

**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ASİDİK MADEN SIZINTI SULARININ YERALTI SUYU KALİTESİNE  
ETKİSİ: ERGANİ – MADEN BAKIR İŞLETMESİ ÖRNEĞİ**

**ZEKİYE KADIRAĞAĞIL**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA**

**2011**



**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ASİDİK MADEN SIZINTI SULARININ YERALTI SUYU KALİTESİNE  
ETKİSİ: ERGANİ – MADEN BAKIR İŞLETMESİ ÖRNEĞİ**

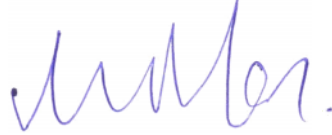
**ZEKİYE KADIRAĞAĞIL**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

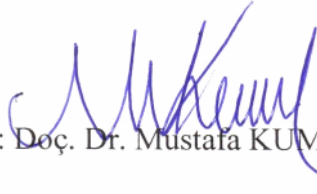
**ŞANLIURFA**

**2011**

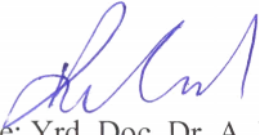
Doç. Dr. M. İrfan YEŞİLNACAR danışmanlığında, Zekiye KADİRAĞAGİL'in hazırladığı "Asidik Maden Sızıntı Sularının Yeraltı Suyu Kalitesine Etkisi: Ergani – Maden Bakır İşletmesi Örneği" konulu bu çalışma 07.06.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Danışman: Doç. Dr. M. İrfan YEŞİLNACAR



Üye: Doç. Dr. Mustafa KUMRAL



Üye: Yrd. Doç. Dr. A. Dilek ATASOY

**Bu Tezin Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yapıldığını Ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.**


**Prof. Dr. Mehmet CİCİ**  
**Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma TÜBİTAK ve HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.**

**TÜBİTAK Proje No: :108Y036**

**HÜBAK Proje No: (2009/081)**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirimlerin çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 Sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vi
1.GİRİŞ .....	1
1.1.Çalışma alanının coğrafi konumu .....	2
1.2.Çalışma alanı genel özellikleri.....	3
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	6
3.MATERYAL VE YÖNTEM .....	8
3.1.Materyal .....	9
3.1.1.Çalışma alanının jeolojisi .....	9
3.1.1.1.Guleman grubu .....	9
3.1.1.2.Peridodit birimi .....	10
3.1.1.3.Banlı gabro birimi .....	10
3.1.1.4.Bazalt birimi .....	10
3.1.1.5.Maden grubu .....	11
3.1.1.6.Alt volkanik-sediment birimi .....	11
3.1.1.7.Üst volkanik birim .....	12
3.1.1.8.Lice formasyonu .....	12
3.1.1.9.Yapısal jeoloji .....	13
3.1.1.10.Bölgedeki cevherleşmeler .....	14
3.1.2.Çalışmada kullanılan alet ve cihazlar .....	19
3.1.3.Çalışmada kullanılan yazılımlar .....	22
3.2.Yöntem .....	23
3.2.1.Ölçülen ve analiz edilen parametreler .....	23
3.2.2.Örneklerin alınması ve korunması .....	23
3.2.3.Su kalitesi sınıflamaları .....	25
3.2.3.1.İnsani tüketim amaçlı suların sınıflamaları .....	26
3.2.3.1.1.Sıcaklık .....	26
3.2.3.1.2.Ph .....	26
3.2.3.1.3.EC .....	27
3.2.3.1.4.Sodyum ve potasyum .....	27
3.2.3.1.5.Klorür .....	28
3.2.3.1.6.Sülfat .....	28
3.2.3.1.7.Nitrat .....	29
3.2.3.1.8.Alüminyum .....	30
3.2.3.1.9.Bakır .....	30
3.2.3.1.10.Çinko .....	31
3.2.3.1.11.Demir .....	32
3.2.3.1.12.Kadmiyum.....	33
3.2.3.1.13.Kalsiyum.....	35
3.2.3.1.14.Kurşun.....	36
3.2.3.1.15.Magnezyum.....	37
3.2.3.1.16.Mangan .....	38
3.2.3.1.17.Nikel .....	38
3.2.3.1.18.Schoeller içilebilirlik diyagramı .....	39
3.2.3.2.Sulama suyu sınıflamaları .....	41
3.2.3.2.1.Wilcox diyagramı (Wilcox, 1955) .....	41
3.2.3.2.2.ABD Tuzluluk diyagramı (Richards, 1954) .....	42
3.2.3.3.Hidrokimyasal fasiyes sınıflaması .....	45
3.2.3.3.1.Piper sınıflaması (Piper, 1944) .....	45
3.2.3.3.2.Yarı logaritmik Schoeller sınıflaması (Schoeller, 1955; 1962) .....	46

4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	48
4.1.Su kalitesi sınıflamaları .....	48
4.1.1.İnsani tüketim amaçlı suların sınıflamaları .....	48
4.1.1.1.Sıcaklık .....	48
4.1.1.2.pH .....	49
4.1.1.3. EC .....	50
4.1.1.4.Sodyum ve potasyum .....	51
4.1.1.5.Klorür .....	52
4.1.1.6.Sülfat .....	53
4.1.1.7.Nitrat .....	54
4.1.1.8.Alüminyum .....	55
4.1.1.9.Bakır .....	56
4.1.1.10.Çinko .....	57
4.1.1.11.Demir .....	58
4.1.1.12.Kadmiyum .....	59
4.1.1.13.Kalsiyum .....	60
4.1.1.14.Kurşun .....	61
4.1.1.15.Magnezyum .....	62
4.1.1.16.Mangan .....	63
4.1.1.17.Nikel .....	64
4.1.1.18.Schoeller içilebilirlik diyagramı .....	66
4.1.2.Sulama suyu sınıflamaları.....	74
4.1.2.1.Wilcox diyagramı (Wilcox, 1955) .....	74
4.1.2.2.ABD Tuzluluk diyagramı (Richards, 1954) .....	80
4.1.3.Hidrokimyasal fasiyes sınıflaması .....	85
4.1.3.1.Piper sınıflaması (Piper, 1944) .....	85
4.1.3.2.Schoeller sınıflaması .....	89
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	93
5.1.SONUÇLAR.....	93
5.2.ÖNERİLER .....	94
KAYNAKLAR .....	95
ÖZGEÇMİŞ .....	99
ÖZET .....	100
SUMMARY .....	101

## ÖZ

### Yüksek Lisans Tezi

#### ASİDİK MADEN SIZINTI SULARININ YERALTI SUYU KALİTESİNE ETKİSİ: ERGANİ – MADEN BAKIR İŞLETMESİ ÖRNEĞİ

ZEKİYE KADİRAĞAĞİL

Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr.M.İrfan YEŞİLNACAR  
Yıl:2011, Sayfa 101

Asidik maden drenajı (AMD), bir maden işletmesinin çalışması boyunca ve kapatılması sonrasında sülfürlü cevherler (pirit, kalko-pirit, çinkoblend, galen gibi) ile suyun ve oksijenin temas halinde bulunmasıyla meydana gelen bir dizi kompleks hidrojeokimyasal ve biyojeokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşur. Sonuçta; oluşan su, genel olarak yüksek asidite (düşük pH) ve yüksek konsantrasyonda çözülmüş metalleri (Cu, Fe, Pb, Zn vb.) içerir.

Yapılacak madencilik faaliyetlerinde konu hassas bir şekilde incelenmeli ve yeraltı sularına olabilecek etkileri irdelenmelidir. Faaliyetler esnasında, açığa çıkacak farklı kayaç tiplerinin asit üretme ve nötrleştirme potansiyelleriyle kirleticilerin ve metallerin potansiyellerinin ne olduğu, hangi koşullarda probleme dönüşeceği sorularının cevaplanması gerekmektedir. Bunun için, ilk adımda, maden alanının ilgili yerlerinden alınan temsili numunelerin kimyasal ve mineralojik analizleriyle onların fiziksel ve jeoteknik karakterlerinin tayini, sıvı ve katı numunelerde demir ve sülfürleri oksitleyen bakterilerin mevcudiyetini ve miktarını tespit etmek gerekir .

Bu çalışmada, AMD'lerin yeraltı suyu kalitesine etkilerini araştırmak amacıyla, Elâzığ iline bağlı Maden ve Diyarbakır iline bağlı Ergani ilçeleri arasında ve Dicle Nehri havzasında yer alan Ergani - Maden Bakır Madeni Açık İşletmesi çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Bu sahada dört örnekleme dönemi boyunca üç farklı lokasyondan su örnekleri alınarak Sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC) ölçülmüş, ayrıca Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Al, Cd, Pb parametreleri analiz edilmiştir. Çalışmanın analiz ve ölçüm sonuçları, içme suyu kalitesi (ulusal ve uluslararası), tarımsal sulama suyu kalitesi ve hidrojeokimyasal fasiyes açısından sınıflamalara tabi tutulmuştur.

**ANAHTAR KELİMELER:** Asidik Maden Sızıntı Suyu, Yeraltı suyu kalitesi, Ergani-Maden, ağır metal

## ABSTRACT

MSc Thesis

### EFFECT OF ACID MINE DRAINAGE ON GROUNDWATER QUALITY: A CASE STUDY FROM ERGANI-MADEN COPPER FACILITY

**ZEKİYE KADİRAĞAĞİL**

**Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering**

**Supervisor: Assoc.Prof.Dr.M.İrfan YEŞİLNACAR  
Year: 2011, Page 101**

Acid mine drainage (AMD) occurs the result of hydrogeochemical and biogeochemical reactions by the contact of sulphur ores (pyrite, chalcopyrite, zincblende, galena, etc.) with water and oxygen during and after the working of a mine facility. Finally ; produced water contains high acidity (low pH) and high concentrations of dissolved metals (Cu, Fe, Pb, Zn etc.)

For the mine activity, the subject must be examined sensitively and the probable effects on groundwater must be discussed. The questions like; what is the potential of acid produce and neutralization of various rock types and what is the potential of pollutants and metals and in which conditions they will turn to problem during the activity must be replied. Hence , first, it is necessary to determine the chemical and mineralogic analysis of samples that taken from mine area , the characteristic of physical and geotechnic of them ,the presence of bacteria that oxide iron and sulphur in solid and liquid samples.

In this study, Ergani-Maden open-pit mining , which is located in Ergani Maden Diyarbakır is specifically choosen in order to study the effect of AMD on groundwater quality.

In this area, during four sampling period, water samples taken from three different locations and values of temperature, pH, electrical conductivity (EC) were calculated also Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> , Fe , Co , Cr, Mn ,Ni ,Cu ,Zn ,Al ,Cd ,Pb were analyzed. Results of the analyses and measurements of the study were subjected to the classifications with regard to drinking water quality (national and international level), irrigation water quality and hydrochemical facies

**KEY WORDS:** Acid Mine Drainage, Groundwater quality, Ergani-Maden, Heavy metal



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca bilgi, deneyim ve yardımlarımı esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Sayın Doç.Dr. M. İrfan YEŞİLNACAR'a, laboratuvar çalıőmalarımdaki destekleri için Arş. Gör. Deniz UÇAR'a, tez yazım sürecinde yardımlarımı esirgemeyen Çevre Mühendisliği öğrencisi Ömer KOTAN'a ve arkadaşım, meslektaşım Çevre Mühendisi Nisa KASAR'a ve eğitim hayatım süresince bana sonsuz destek olan anneme teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, HÜBAK (2009/081) ve TÜBİTAK (108Y036) tarafından finansal açıdan desteklenmiştir.

Zekiye KADİRAĞAĞİL , 2011

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. Örnekleme noktaları lokasyon haritası.....	3
Şekil 3.1. Çalışma alanının jeoloji haritası .....	16
Şekil 3.2. Maden yöresinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti .....	17
Şekil 3.3. Çalışma alanı 1 nolu örnekleme noktası, drenaj kanalı ve drenaj havuzu lokasyon haritası .....	18
Şekil 3.4. Genel görünüm ve 1 nolu örnekleme noktası(M1), drenaj kanalı(M2) ve drenaj havuzu(M3) yerlerini gösteren uydu görüntüsü .....	19
Şekil 3.5. Magellan marka Meridian Platinum el tipi GPS aleti .....	20
Şekil 3.6. Spectroquant NOVA 60 fotometreveri aktarımı .....	20
Şekil 3.7. Varian marka Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazı .....	21
Şekil 3.8. Mettler marka EC, TDS, sıcaklık ölçüm cihazı .....	21
Şekil 3.9. Mettler marka pH ölçüm cihazı .....	22
Şekil 3.10. (3) nolu örnekleme noktasından numune alımı .....	25
Şekil 3.11. Örnek bir schoeller diyagramı .....	40
Şekil 3.12. Örnek bir wilcox diyagramı .....	42
Şekil 3.13. Örnek bir ABD tuzluluk diyagramı .....	44
Şekil 3.14. Örnek bir Piper diyagramı .....	46
Şekil 3.15. Örnek bir yarı logaritmik Schoeller diyagramı .....	47
Şekil 4.1. Sıcaklık değerlerinin mevsimsel değişimi .....	49
Şekil 4.2. pH değerlerinin mevsimsel değişimi .....	50
Şekil 4.3. EC Değerlerinin mevsimsel değişimi .....	51
Şekil 4.4. Sodyum ve potasyum değerlerinin mevsimsel değişimi .....	52
Şekil 4.5. Klor değerlerinin mevsimsel değişimi .....	53
Şekil 4.6. Sülfat değerlerinin mevsimsel değişimi .....	54
Şekil 4.7. Nitrat değerlerinin mevsimsel değişimi .....	55
Şekil 4.8. Alüminyum değerlerinin mevsimsel değişimi .....	56
Şekil 4.9. Bakır değerlerinin mevsimsel değişimi .....	57
Şekil 4.10. Çinko değerlerinin mevsimsel değişimi .....	58
Şekil 4.11. Demir değerlerinin mevsimsel değişimi .....	59
Şekil 4.12. Kadmiyum değerlerinin mevsimsel değişimi .....	60
Şekil 4.13. Kalsiyum değerlerinin mevsimsel değişimi .....	61
Şekil 4.14. Kurşun değerlerinin mevsimsel değişimi .....	62
Şekil 4.15. Magnezyum değerlerinin mevsimsel değişimi .....	63
Şekil 4.16. Mangan değerlerinin mevsimsel değişimi .....	64
Şekil 4.17. Nikel değerlerinin mevsimsel değişimi .....	65
Şekil 4.18. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 1. örnekleme noktası .....	66
Şekil 4.19. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 2. örnekleme noktası .....	68
Şekil 4.20. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 3. örnekleme noktası .....	70
Şekil 4.21. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre tüm örnekleme noktalarının ortalamaları .....	72
Şekil 4.22. ( 1.) örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu .....	74
Şekil 4.23. ( 2.) örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu .....	76
Şekil 4.24. ( 3.) örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu .....	77
Şekil 4.25. Tüm örnekleme noktalarının wilcox diyagramındaki konumu .....	79
Şekil 4.26. 1. örnekleme noktasının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi .....	80
Şekil 4.27. 2. Örnekleme noktasının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi .....	82
Şekil 4.28. 3. Örnekleme noktasının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi .....	83
Şekil 4.29. Tüm örnekleme noktalarının ortalamalarının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi .....	84
Şekil 4.30. Piper diyagramına göre 1. örnekleme noktasının hidrokimyasal tipleri .....	85

Şekil 4.31. Piper diyagramına göre 2.örnekleme noktasının hidrokimyasal tipleri .....	86
Şekil 4.32. Piper diyagramına göre 3.örnekleme noktasının hidrokimyasal tipleri .....	87
Şekil 4.33.Piper diyagramına göre tüm örnekleme noktalarının hidrokimyasal tipleri .....	88
Şekil 4.34.(1.)Örnekleme noktasının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu .....	89
Şekil 4.35.(2.)Örnekleme noktasının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu .....	90
Şekil 4.36.(3.)Örnekleme noktasının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu .....	91
Şekil4 37.Tüm örnekleme noktalarının ortalamalarının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu .....	92

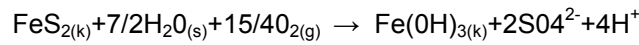
## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1. Sıcaklık ölçümleri .....	48
Çizelge 4.2. pH ölçümleri .....	49
Çizelge 4.3. EC ölçümleri .....	50
Çizelge 4.4. Sodyum ve Potasyum ölçümleri .....	51
Çizelge 4.5. Klorür ölçümleri .....	52
Çizelge 4.6. Sülfat ölçümleri .....	53
Çizelge 4.7. Nitrat ölçümleri .....	54
Çizelge 4.8. Alüminyum ölçümleri .....	55
Çizelge 4.9. Bakır ölçümleri .....	56
Çizelge 4.10.Çinko ölçümleri .....	57
Çizelge 4.11.Demir ölçümleri .....	58
Çizelge 4.12.Kadmiyum ölçümleri .....	59
Çizelge 4.13.Kalsiyum ölçümleri .....	60
Çizelge 4.14.Kurşun ölçümleri .....	61
Çizelge 4.15.Magnezyum ölçümleri .....	62
Çizelge 4.16. Mangan ölçümleri .....	63
Çizelge 4.17.Nikel ölçümleri .....	64

## 1.GİRİŞ

Asidik maden drenajı (AMD), bir maden işletmesinin çalışması boyunca ve kapatılması sonrasında sülfürlü cevherler (pirit, kalko-pirit, çinkoblend, galen gibi) ile suyun ve oksijenin temas halinde bulunmasıyla meydana gelen bir dizi kompleks hidrojeokimyasal ve biyojeokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşur. Sonuçta; oluşan su, genel olarak yüksek asidite (düşük pH) ve yüksek konsantrasyonda çözülmüş metalleri (Cu, Fe, Pb, Zn vb.) içerir (Costello, 2003; Tsukamoto ve ark., 2004; Ridge ve Seif, 2005; Akçıl ve Koldaş, 2006; Karadeniz, 2008).

Bu tür madencilik uygulamalarında, artık malzemenin depolanması ve atılması sırasında gerekli önlemler alınmadığı takdirde çevrenin kirlenmesine neden olan önemli sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Madencilik işlemleri sonucu oluşan artık malzemede bulunan sülfürlü mineraller çoğunlukla pirit ( $FeS_2$ ) ve pirotin ( $FeS$ ), oksijen ve suya maruz kaldığı zaman asit oluşumu meydana gelmektedir.



Temelde bu aşamalar, sülfürlü minerallerin oksidasyonu ve asitin oluşumudur. Daha sonra oksitlenmiş bileşiklerin yıkanma işlemi meydana gelmektedir. Eğer ortam yeterince bazik değilse veya tampon mineraller (kalsit vb.) asiti nötr hale getiremiyorsa, sonuçta sızıntı suyu asidik karakterde olmaktadır. Bu sıvı, genel olarak asidik maden drenajı olarak adlandırılmaktadır. AMD, yüksek asidite ( $pH < 2-3$ ) ve yüksek konsantrasyonda Fe, Mn, Al, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, As vb. metalleri ve sülfatları içerir (Kuyucak, 2002).

Eğer bir maden işletmesinde, asit drenaj oluşma potansiyeli varsa ve gereken tedbirler alınmazsa, drenajın gelişimiyle bazı çevresel etkilerle karşı karşıya

kalınması olasıdır. Etki altına girmesi beklenen alıcı ortamlar ise yüzey suları, yeraltı suları ve göllerdir.

AMD, yüzey akıntıları, yağmur suları, sızma ve süzölmeler yoluyla taşınarak nehirlere, göllere ve yeraltı su sistemlerine karışabilir. Böylece, su kalitesi değişimine maruz kalarak kirlenme gerçekleşir. Bu bağlamda, alıcı ortamlarla bağlantılı ekosistemler etki altına girebilir. Neticede, türlerin yok olması, besin zincirinin basitleşmesi ve ekolojik duyarlılığın azalması görülebilir.

Yapılacak madencilik faaliyetlerinde konu hassas bir şekilde incelenmeli ve yeraltı sularına olabilecek etkileri irdelenmelidir. Faaliyetler esnasında, açığa çıkacak farklı kayaç tiplerinin asit üretme ve nötrleştirme potansiyelleriyle kirleticilerin ve metallerin potansiyellerinin ne olduğu, hangi koşullarda probleme dönüşeceği sorularının cevaplanması gerekmektedir. Bunun için, ilk adımda, maden alanının ilgili yerlerinden alınan temsili numunelerin kimyasal ve mineralojik analizleriyle onların fiziksel ve jeoteknik karakterlerinin tayini, sıvı ve katı numunelerde demir ve sülfürleri oksitleyen bakterilerin mevcudiyetini ve miktarını tespit etmek gerekir (Bal ve Kocabaş, 2009).

Bu çalışmada, AMD'lerin yeraltı suyu kalitesine etkilerini araştırmak amacıyla, Elâzığ iline bağlı Maden ve Diyarbakır iline bağlı Ergani ilçeleri arasında ve Dicle Nehri havzasında yer alan Ergani - Maden Bakır Madeni Açık İşletmesi çalışma alanı olarak seçilmiştir.

### **1.1.Çalışma Alanının Coğrafi Konumu**

Ergani-Maden bakır yatağı Doğu Anadolu'da, Elazığ'ın yaklaşık 80 km güneydoğusunda, adını aldığı Maden İlçesi'nin hemen batısında bulunmaktadır (Şekil 1.1). Yatağa Elazığ- Diyarbakır demiryolu ve karayolu ile ulaşılmaktadır.



Şekil 1.1. Örnekleme noktaları lokasyon haritası

## 1.2.Çalışma Alanı Genel Özellikleri

Ergani-Maden bakır yatağı Türkiye'nin en önemli ve tarihi maden yatağıdır. 4000 yıldan beri madenciliğin yapıldığı yatak, 19. yüzyılın ortalarından beri düzenli olarak işletilmektedir (Seeliger ve diğ., 1985; Tızlak, 1991). 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.

Yatağın ekonomik rezervlerinin tükenmesi ve tesislerin de eskimesi nedeniyle Etibank tarafından işletmenin 1998 yılına kadar kapatılmasına karar verilmiştir. (Çelik, 1993). Daha sonra, 5 Nisan 1994 tarihinde hükümetin aldığı tasarruf önlemleri kapsamında tesis işletmeye kapatılmıştır. Eti Holding A.Ş. söz konusu maden işletmesinin ruhsat, arsa ve tesislerinin devrine ilişkin olarak

08.05.2007 tarihinde açık artırma yolu ile ihale düzenlemiştir. İhale sonucunda, işletme Yıldızlar Holdige geçmiştir. 20.07.2007 tarihinde Eti Holding ve Yıldızlar Holding arasında sözleşme imzalanmıştır.

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 İşletmeye 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 işletmesinde, 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<sub>2</sub> '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<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 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 cürufu ile fırın rejiminin bozuk olduğu dönemlerde ve pota çırpmaları esnasında daha az miktarda soğuk konverter cürufu atılmıştır. Reverber cürufunun büyük kısmı çimento katkı maddesi olarak kullanılmış, halen atık sahasında bulunan yaklaşık 30 000 ton konverter cürufu üzerinde üç çalışmaları sürdürülmektedir.

Flotasyon ve sülfirik asit tesislerinin de çalıştığı dönemde (1972-1986 arasında) dik ve meyilli atık sahasına reverber ve soğuk konverter cüruflarına ilaveten pirit kavurma tesisi atığı da (pirit külü) atılmış ve pirit ayrıldıktan sonra kalan flotasyon atığı doğrudan Maden Çayına verilmiştir.

1986 yılından itibaren, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 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 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>'dür. Ancak, kış aylarında, özellikle Maden Çayı'nın debisinin yüksek olduğu dönemlerde flotasyon atıksulan doğrudan Maden Çayı'na verilmektedir.

Yatak, uzun işletme tarihi, ekonomik ve jeolojik önemi nedenleriyle çok yönlü incelenmiştir. Ancak yapılan araştırmalar genel olarak jeoloji (Sirel, 1950; Griffiths ve diğ. 1972; Bamba, 1976; Erler, 1983 ve Yazgan, 1987) ve mineraloji (Çağatay, 1968, 1977; Göymen-Aslaner, 1969 ve Erdoğan, 1977) ile madencilik (Wyllie, 1972; MMO, 1974 ve Bannert, 1986) ağırlıklıdır. Buna karşın jeokimyasal araştırmalar Erdoğan (1977) ve Göymen-Aslaner (1969) ile kısıtlıdır. Oysa jeokimyasal araştırmalar bir maden yatağındaki elementlerin dağılımlarının ve oluşum sürecindeki değişimlerinin incelenmesi bakımından oldukça önemlidir.

**2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

Yapılan literatür taramasında, çalışma konusuyla birebir örtüşen çok fazla araştırmaya rastlanılmamıştır. Bu bölümde önceki çalışmalar iki konu altında verilmiştir. Birincisi, direkt çalışma alanıyla ilgili olanlar, ikincisi genel anlamda AMD'lerin yer altı suyuna etkileri ile ilgili olanlardır.

Özdemir (1996), tarafından Maden Çayı boyunca (Maden-Elazığ) su, toprak ve bitki örneklerindeki bakır, çinko, mangan ve demir anomalileri ve bu elementler için uygun indikatör bitkiler saptanmıştır.

Özdemir ve Sağıroğlu (1998), Maden Çayı (Maden – Elazığ) boyunca Fe elementi için biyojeokimyasal anomalileri incelemişler ve bazı bitki türlerinin Fe elementi için belirleyici olduğunu belirleyerek, biyojeokimyasal prospeksiyonda başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Karadeniz (2005), Asit Maden Drenajında Aktif ve Pasif Çözüm Yöntemleri adlı çalışmasında, çok sayıda aktif ve pasif yöntem geliştirildiğini, ancak, maden yataklarının ve buna bağlı ortam koşullarının kendine özgü olması sebebiyle, tüm yataklara uygulanabilen bir yöntemin mevcut olmadığını vurgulamıştır. Ayrıca, yöntem seçiminde belirleyici unsurların; ortam koşulları, güvenilirlik, maliyet ve çevre standartları olduğunu belirtmiştir.

Mahiroğlu (2006), AMD arıtımında fenton prosesinin başlangıcında hem pH hem de  $Fe^{2+}$  ayarlamasında kimyasal tüketmeyen ve bileşiminde bulunan asit pH ile  $Fe^{2+}$ ye ilaveten oldukça az miktarda  $H_2O_2$  kullanan bir proses olarak uygulanabileceğini başarı ile ortaya koymuştur.

Çiftçi ve Akçıl (2006), AMD giderilmesinde uygulanan biyolojik yöntemler ile ilgili pasif biyolojik giderim sistemlerinin, kimyasal yöntemlere göre düşük maliyetli

ve sürdürülebilir bir alternatif olduğunu, ayrıca kimyasal yöntemlerle karşılaştırıldığında düşük enerji ve malzeme girişi ile düşük bakım gereksinimi sunduğunu vurgulamışlardır.

Şahinkaya ve ark. (2009), AMD'lerdeki metallerin geri kazanılmasında, kullanılan aktif biyoreaktörlerin klasik yöntemlere kıyasla önemli avantajlar sağladığı; performanslarının daha kolay tahmin edilebilir olduğunu, metallerin seçici olarak çöktürülerek geri kazanılabilir olduğunu, oluşan çamurun düşük hacimde ve kolay çökebildiğini, çıkışta çok daha düşük sülfat ve metal konsantrasyonları elde edilebilir olduğunu belirtmişlerdir.

Monjezi ve ark. (2009), tarafından İran'da gerçekleştirilen bir çalışmada, bir yöredeki bakır madeni işletmesinin, başta hava kalitesi bozulması olmak üzere birçok olumsuz çevresel etki meydana getirdiği tespit edilmiştir.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Ülkemizde madencilik önemli bir sektör olup, madencilik aktiviteleri sırasında oluşan AMD'nin arıtılması, özellikle yeraltı suyuna etkisi gibi olumsuz çevresel etkilerinin en aza indirilmesi ve değerli metallerin geri kazanılması oldukça önemlidir. Çalışma alanı olarak seçilen, Ergani - Maden Bakır İşletmesi 1937–1994 yılları arasında açık işletme olarak kullanılmış ve 1994 yılında işletme kapatılmıştır. Buna rağmen, AMD'ler herhangi bir arıtma işlemine tabi tutulmadan Maden Çayına deşarj edildiği Özdemir (1996) tarafından bildirilmiştir. Maden Çayı aynı zamanda Dicle Barajına depo görevi gören Kralkızı Barajına (Açılış yılı 1997) su sağlamaktadır. Dolayısıyla, AMD'lerin yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarını kirletmesi kuvvetle olasıdır.

Ülkemizde gerek AMD arıtımı gerekse bu suların yeraltı sularını olumsuz etkilenmesine yönelik çalışmalar oldukça sınırlı olup, yapılacak bu çalışmayla seçilen bölgenin yeraltı suyu kalitesine etkileri araştırılmaya çalışılmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen Ergani – Maden yöresinin genel jeolojik yapısı aşağıda verilmiştir.

Bu amaçla, tez çalışmasının üç aşamada gerçekleştirileceği planlanmaktadır. Birinci aşama; bölgenin genel jeoloji haritası MTA Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. İkinci aşama; birinci aşamada elde edilen belge ve bilgiler, bir ofis çalışmasıyla değerlendirilmiş ve bu bilgiler ışığında Ergani – Maden Bakır İşletmesine bir arazi çalışması yapılmıştır. Daha sonra, sızıntı kaynaklarının yeraltı suyuna olası etkileri olacak kuyular belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise, belirlenen kuyulardan sistematik ve periyodik numuneler alınmıştır. Numune alım periyodu mevsimsel olarak düşünülmüş ve yılda toplam 4 numune alım dönemini kapsamıştır. AMD'ler üzerinde yapılacak fiziksel ve kimyasal analizler yerinde ve laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm ve analizler; pH, elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık,

Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca, <sup>+2</sup> Mg<sup>+2</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Al, Cd ve Pb'dir.

### **3.1. Materyal**

Bu bölümde, çalışma alanının genel durumu, bölgenin karakteristik jeolojik ve hidrojeolojik durumu, çalışmada kullanılan alet ve cihazların başlıca özellikleri ve ölçüm-analizlerin değerlendirilmesinde kullanılan yazılımlar irdelenmiştir.

#### **3.1.1.Çalışma alanının jeolojisi**

Güneydoğu Anadolu'da Ergani-Maden yöresi ve çevresinde, oluşum, başkalaşım, deformasyon ve bulundukları kaya türleri yönünden farklı üç tektonik kuşak ayırt edilir. Bunlar en kuzeyde Bitlis ve Malatya-Pötürge metamorfik masifleri, bu kuşağın güneyinde ultramafik, volkanik ve tortul kayalardan oluşmuş ofiyolit kuşağı ve en güneyde Arap kıtasının kuzey uzantısı üzerinde, uzun jeolojik zaman aralığında kenar kıvrımları kuşağıdır. Bölgesel analizler yapan değişik araştırmacılar sözü geçen kuşaklara değişik adlar vermişlerdir. (Erdoğan, 1982 ve Yiğitbaş vd, 1993).

Güneydoğu Anadolu'nun Ofiyolit Kuşağı Ergani-Maden yöresinde iki grup ayırtlanmıştır. Yaşlı olan grup Guleman ilçesinin kuzey batısında en yaygın görünümünü veren ve alttan üste doğru peridotit, bantlı gabro ve bazalt birimlerinden oluşmuş Guleman grubudur. Üstteki Maden Grubu ise tabanında, yanal yönde devamsız bir çakıl taşı düzeyi ile uyumsuz dokanakla oturur. (Erdoğan, 1982). Aşağıda çalışma alanı içine giren birimler yaşlıdan gence doğru verilmiştir.

##### **3.1.1.1.Guleman Grubu**

Ergani-Maden yöresinde ana antiklinal eksenleri boyunca yüzeylenen Guleman Grubu, yaklaşık 5-10 km genişlikte yüzlekler sunar. Bu birim alttan üste doğru birbiriyle geçişli dokanak ilişkisi gösteren üç birimden oluşmuştur.

### **3.1.1.2.Peridotit Birimi**

İnceleme alanının doğusunda yer alan birim, bazen 3 km'nin üzerinde kalınlığa erişmektedir. Alt düzeylerinde serpantinlenmiş dunit, harzburjit ve lerzolitlerden oluşmuştur. Birimin üst dokanağının 500 m altında, kalın bir düzey halinde dunitler yer alır. Guleman bölgesinin en büyük krom oluşuklarını içerir. Dunit düzeyinin üzerinde harzburjitler yaygındır ve içerisinde yanıl yönde devamlılık gösteren piroksenit yığışmaları (kümülatları) bulunur. Üstteki birime geçiş, son 50 m içinde gabroların yavaş yavaş artması ile gerçekleşir. Birimin alt dokanağı (görüldüğü yerlerde) kenar kıvrımlar kuşağının Lice Formasyonu (Miyosen) üzerine bindirmiş tektonik dokanaktır (Erdoğan, 1982).

### **3.1.1.3.Bantlı Gabro Birimi**

Bu birim 100- 900 (?) m arası kalınlıkta Alt düzeylerinde 10- 50 cm kalınlıklarda piroksenit ve harburjit yığışmaları içeren birim belirgin bantlı yapı sunar. Orta kısımlarına doğru piroksenit bantları yavaş yavaş kaybolur ve orta-ince kristalli gabrolara geçer. Üst düzeylerde ise, orta-ince kristalli homojen görünümlü holo kristalen gabrolar yaygındır ve bunların içerisinde 1-7 m kalınlıkta, iri (2-7 cm) piroksen ve plajiyoklas kristallerinden oluşmuş pegmatitik gabro daykları bulunur.

Bantlı gabro birimi, alttaki peridotit birimi ile geçişlidir; üstte ise, bazalt birimine diyabaz dayklarının yaygın olduğu yaklaşık 50-60 m kalınlıkta bir zon boyunca geçer (Erdoğan, 1982).

### **3.1.1.4.Bazalt Birimi**

Guleman grubunun en üst birimini oluşturan bazalt birimi, bazaltik lav akıntıları, yastık lavlar ve diyabaz dayklarından oluşmuştur.

Diyabaz daykları birimin alt düzeylerinde ve özellikle gabrolarla dokanak zonunda yer alır. Diyabaz daykları 0.5 ile 2 m kalınlıklar arasında değişir. Diyabaz dayklarının arasında bazalt lavları ve yastık lavlar vardır. Ergani-Maden yöresinde, birimin en altta 100-200 m kalınlıktaki kesimi mostra verir ve üst düzeyler aşınmıştır (Erdoğan, 1982).

### **3.1.1.5.Maden Grubu**

Çeşitli araştırmacılar tarafından Maden Kompleksi, Maden Birimi ve Maden Melanji olarak adlandırılan Maden Grubu; İnceleme alanında Guleman Grubu üzerinde yer alır.Yanal ve düşey yönde girik bazaltik ve andezitik volkanitler, volkanik kırıntılı kayalar, tüfler, çamur taşları ve kireçtaşlarından oluşmuş bu grup içerisinde birbiriyle düşey geçişli Alt Volkanik-Sediment Birimi ve üst Volkanik Birimi olarak ayırtlanmıştır. Petrografik olarak her iki birimin volkanik kayaları arasında bir farklılık yoktur ve baskın olarak bazaltlar ile çok ender bazaltik andezitlerden meydana gelmiştir (Erdoğan, 1982).

### **3.1.1.6.Alt Volkanik-Sediment Birimi**

Bu birim açısız uyumsuzlukla Guleman Grubunu üstler ve tabanında yer yer 15 m kalınlığa erişen, yanal yönde devamsız çakıl taşı (ortalama 3-4 cm boyutta) düzeyi ile başlar ve değişik kaya türleri yanal ve düşey yönde griklilikler gösterir. Çamurtaşlarından bazaltik volkanitlere, bazaltik tüfler ve tuf mercekli çamurtaşlarıyla geçilir. 2-5 cm boyutunda Lamellibrans kavkuları içeren kırmızı-gri çamurtaşları, yanal ve düşey yönde kalkerli şeyl geçişleriyle merceksel konumlu ve ince katmanlı pelajik kireçtaşlarına geçer.

Pembe ve gri renkli pelajik kireçtaşları içinde arakatkılı olarak, 5-20 cm kalınlıklarda ve yanal yönde 20-30 m izlenebilen taşınmış Nummulites sp. fosilleri içeren çakıltaşı düzeyleri bulunur.

Alt volkanik-sediment biriminde, ayrıca gri renkli, kalın katmanlı ve yer yer kumlu kireçtaşları bulunur (bunlar olistolit şeklindedirler). Bu kireçtaşlarında bol olarak Nummulites sp. fosilleri içerir ve kendilerini çevreleyen çamurtaşlarıyla eş yaşıdır.

Alt volkanik-sediment birikiminin yaşının, içindeki merceksel pelajik kireçtaşları ve kalkerli şeylerde bulunan fosillere dayanarak, Üst Maestrihtiyen'den Orta Eosen'e kadar uzandığı saptanmıştır (Erdoğan, 1982).

### **3.1.1.7.Üst Volkanik Birim**

Bu birim yastık lavlar, bazaltik aglomerelalar ve tüflerden oluşmuştur. Aglomera ve tüfler, bazik lavlara oranla daha yaygın olarak bulunur. Bazaltik lavlar kahverengi ve yeşil renklidir, porfiritik dokuda ve gözeneklidir.

Bu birim alttaki Alt Volkanik-Sediment Birimiyle düşey geçişlidir. Üst volkanik birim içindeki tuf ara katkılarında fosil bulunamamıştır ve alttaki birim ile geçişli ilişkisi nedeniyle yaşının Üst Eosen olabileceği düşünülmektedir (Erdoğan, 1982).

### **3.1.1.8.Lice Formasyonu**

Formasyon ilk kez Schmdt (1958) tarafından tanımlanmış (Perinçek, 1979) ve Güney Doğu Anadolu Bindirme'sinin önünde denizel bir klastik istif olarak yaygın bir şekilde yüzeylenmektedir. Lice Formasyonu Dicle Yükselim'inden ve Ergani'nin güneyinden geçen bir doğrunun güneyinden daha çok kaba kumtaşı olarak görülmektedir ve yaklaşık kalınlığı 150 m'yi geçmemektedir. Ergani'nin kuzeyinde ise formasyon ince katmanlı kireçtaşı arakatmanlı düzgün şeyl ve marn araldanması olarak bulunmaktadır. Ergani'den bindirme kuşağına kadar görülen kalınlığı 1000 m'den fazla, Kuzeye doğru kireçtaşı arakatmanları seyrekleşir ve formasyon, kumtaşı şeyl araldanmasından ibaret fliş görünümü kazanır.



Dayanımsız bir yapıda olduğundan, topoğrafik olarak düşük seviyeleri ve çok az engebeli alanları oluşturmuştur. Formasyon kuzeye doğru bindirme düzlemi altında Guleman penceresinden yüzeyleir (Özkaya, 1978).

### **3.1.1.9.Yapısal Jeoloji**

Çalışma alanı gerek paleotektonik gerekse neotektonik açıdan, Türkiye'nin önemli tektonik birliğinden biri olan Toros Orojenik Kuşağının doğu kesiminde, oldukça ilginç bir bölümünü içine almaktadır.Söz konusu bölge, Türkiye'nin önemli tektonik unsurları sayılan Güney Doğu Anadolu Bindirme Kuşağı ve Doğu Anadolu Fayını içinde bulundurur.

Bu açıdan bölge özellikle tektonik açıdan yer bilimcilerin ilgisini çekmiştir.

Çalışma alanı içindeki Maden Grubu tektonik olayların etkisiyle, büyük ve küçük ölçekte kırıklı yapılar kazanmıştır. Ancak bu kırıklı yapıların volkanik kayaçlarda çok iyi gözlenebilmesine karşın, volkanik kayaçların olmadığı yerlerde tanınması oldukça zordur.

Şengör (1980), Üstüntaş ve Sağıroğlu'nun (1993) araştırmalarında; Anadolu ve Arap plakaları arasındaki çarpışma tektoniği ile ilişkili, sıkışma rejimine bağlı olarak, Maden grubu içinde kıvrımlı yapılardan çok, kırıklı yapıların geliştiği anlatılmıştır.Lice Formasyon'un da (Arap platformu) ise; eksenleri D-B doğrultulu olmak üzere, daha çok kıvrımlı yapıların geliştiğine değinilirken, bunun sonucu olarakta bölgenin K-G doğrultuda daralması ve D-B doğrultuda genişlemesinin söz konusu olabileceği vurgulanmıştır.

Geniş yayılım sunan Maden Grubu düzensiz bir iç yapı gösterir. Yapı içerisinde küçük çapta gelişmiş, kıvrımlar nedeniyle tabaka, eğim, doğrultuları kısa aralıklarla bile önemli değişiklikler gösterir. Lice Formasyonu ise; daha düzenli bir iç yapı sunmaktadır. Maden bölgesinde Güney Doğu Anadolu Bindirmesi ile ilişkili olarak gelişen tektonik pencereden, Lice Formasyonu Maden Grubu altında

yüzeilenmektedir (Üstüntaş ve Sağıroğlu, 1993). Kral kızı barajı civarında ise; Lice Formasyonunu izlemek olasıdır.

### **3.1.1.10.Bölgedeki Cevherleşmeler**

Çalışma bölgesi Toros tektonik birliğinin dokanağını oluşturan Güney Doğu Anadolu Bindirme Kuşaağı üzerinde yer alır. Bu kuşak boyunca Maden grubu içerisinde çeşitli yerlerde çok sayıda volkanik kökenli masif sülfid yatağı ve cevherleşmeleri yer alır. Bunlardan batıdan doğuya doğru bazıları Elmalı (Kahramanmaraş) , Helezür (Elazığ) , Çüngüş-Midyeköy (Diyarbakır) ,Ergani-Maden bölgesi yatakları, Lice-Karadere (Diyarbakır) ve Madenköy (Siirt) dür (Üstüntaş, 1988).

Bunlardan çok eskilerden beri bilineni Ergani-Maden yöresi bakır yataklarıdır. Maden Formasyonu içinde yer alan Anayatak ve çevresi (Weiss, Mızırtepe, Şeyhgel tepe, Caferağa Bahçesi) ile diğer sahalardaki cevherleşmeler, bazik volkanitlerle (bazalt, spilit,diyabaz) ilişkilidir ve genellikle yüzeyde bir alterasyon zonu ile belirgindir. Cevherleşmeler masif, ağsal, damar ve dissemine şekillerle olabilmektedir. Başlıca cevher mineralleri pirit ve kalkopirittir. Sfalerit ve Galenit ise çok az miktardadır. Nikel-kobalt mineralleri, pirotin ve manyetit önemli oranlarda bulunabilmektedir. Denizaltı ortamında oluşmuş, volkanik kayaaçlarla birlikte bulunan bu yataklar, büyük bir olasılıkla volkanik kayaaçların yerleşmesi sırasında veya hemen sonrasında oluşmuşlardır. Bakır cevherleşmesi, hidrotermal çözeltilerin çatlaklar-kırıklar boyunca yükselmesi ile birlikte çatlak-damar dolguları (ağsal-damar) ve ornatmalarla başlar, deniz tabanında da çökelmelerle (bandlar, masif sülfid merccekleri) sürer. Böylece aynı yatakta epijenetik ve sinjenetik oluşumlara işareten verileri bulmak olasıdır (Pehlivanoğlu vd, 1990).

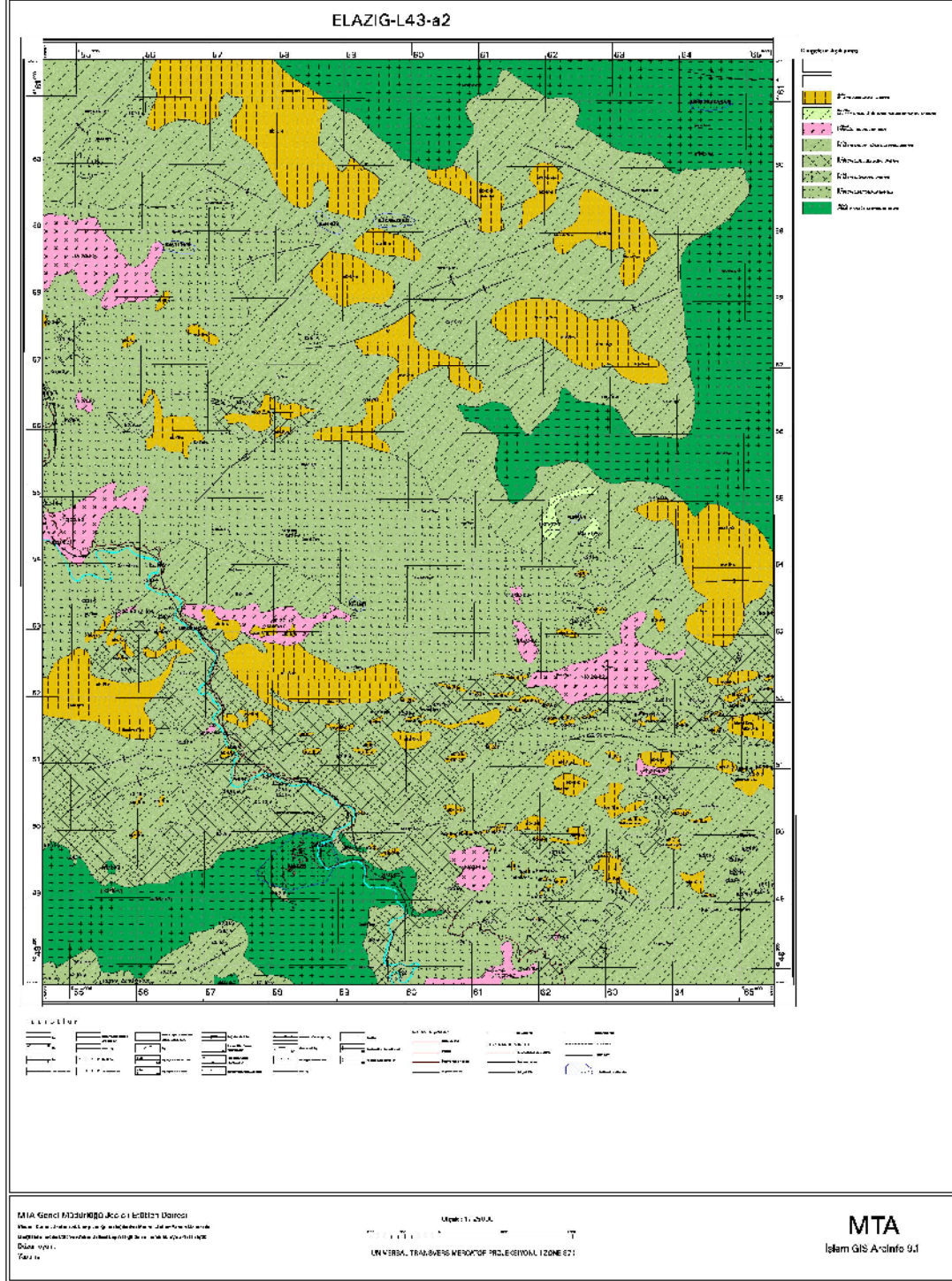
Pehlivanoğlu vd'lerinin (1990) yaptıkları çalışmalar ve değerlendirmeler sonucunda Ergani-Maden bölgesi için, şu cevherleşme sonuçları verilmiştir.

a) Gurbet Mezrası, Mehlemlik, Cellopınarı, Mahmudan, Midye, Kırmızı Tarla, Caferağa Bahçesi, Şeyhgel Tepe, Davudan, Kündikan, Zahuran, Hasanekevleri, Domuz Tepe, Mergen Tepe ve Topal Uşağı sahalarında önemli ve/veya ekonomik olabilecek bir bakır cevherleşmesi potansiyeli bulunmamaktadır.

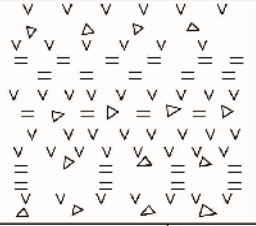
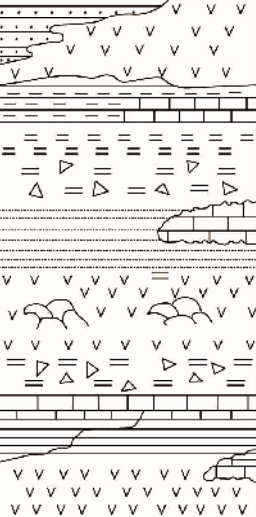

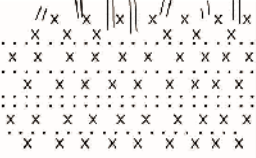
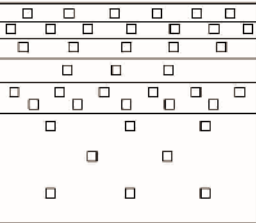
b)Anayatak-Weiss-Mızır Tepe ve Hacan yataklarının bilinen potansiyelleri dışında büyük ve/veya ekonomik bir bakır cevherleşmesi potansiyeli taşımamaktadırlar.

c)Anayatak-Weiss, Anayatak-Mızır Tepe arasında gabro ve serpantinit yüzüylendiğinden buralarda cevherleşme ihtimali görülmemektedir.

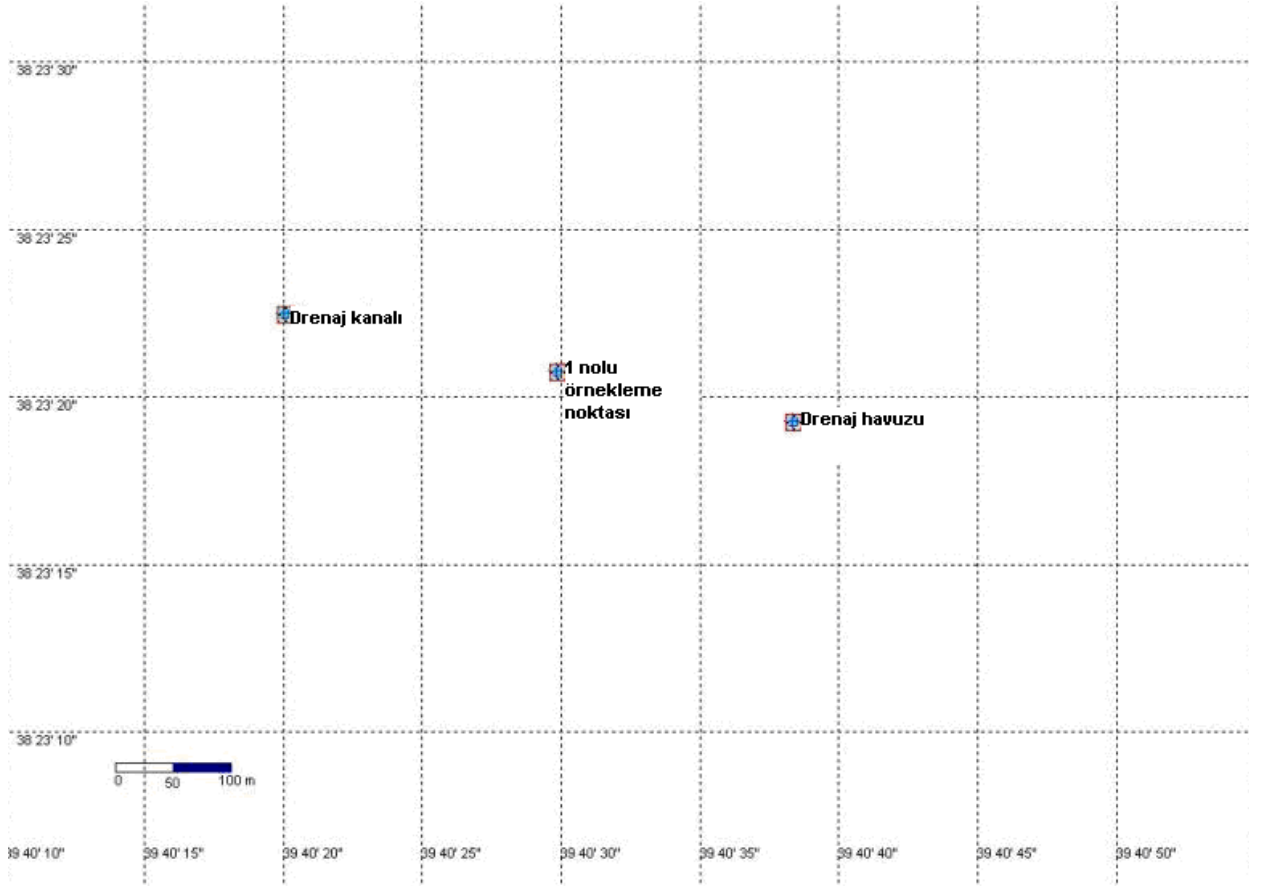
d)Putyan sahasında yapılan sondajlar sonucunda ortalama %1.56 Cu tenörlü 509 932 ton görünür rezerv saptanmıştır.



Şekil 3.1. Çalışma alanının jeoloji haritası

YAŞ	GRUP	BİRİM	İŞARET	KALINLIK	STRATİGRAFİK DİKME	AÇIKLAMALAR
ORTA-ÜST EÖSEN		ÜST VOLKANİK	K <sub>Tema</sub>	400 (?)		Mafik volkanikler, aglomeralar tüfler
MAASTRIHTIYEN - ORTA EÖSEN	MADEN	ALT VOLKANİK SEDİMENT	K <sub>Tema</sub>	1000 - 3000 (?)		Yanal ve düşey girik malik volkanikler çamurtaşları pelajik kireçtaşları, Masif kireçtaşı blokları  Seyl - kalkerli şeyl  Devamsız çakıltı
JURASİK(?) KRETASE	GÜLEMAN	BAZALT	J <sub>Kg</sub>	1000 (?)		Yaslık lavlar, diyabaz daykları
		SANTLI GABRO	J <sub>Kg</sub>	100-900 (?)		Banlı gabbro, pegmatik dayklar
		PERİODİK	J <sub>Kg</sub>	3000 (?)		Dunit harzburjit ve lertzolitler piroksenit yığışmaları

Şekil 3.2. Maden yöresinin geliştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Erdoğan, 1982)



Şekil 3.3. Çalışma alanı 1 nolu örnekleme noktası, drenaj kanalı ve drenaj havuzu lokasyon haritası

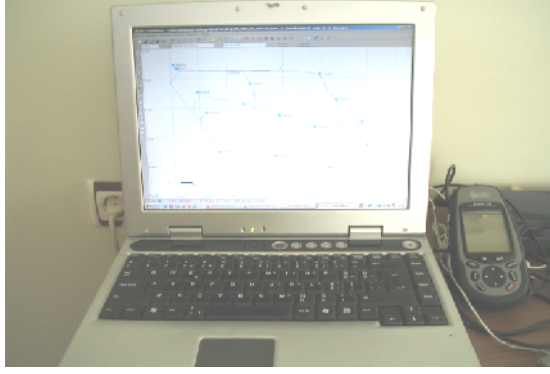


Şekil 3.4. Genel görünüm ve 1 nolu örnekleme noktası(M1), drenaj kanalı(M2) ve drenaj havuzu(M3) yerlerini gösteren uydu görüntüsü

### 3.1.2. Çalışmada Kullanılan Alet ve Cihazlar

Proje, arazi ve laboratuvar çalışmalarını kapsayan iki ana bölümden oluşmuştur. Bu bölümde, arazide ve laboratuvarında ölçüm yapılan alet ve cihazların başlıca özellikleri ve ölçüm yapılan parametreler verilecektir.

**GPS aleti:** Örnekleme noktalarının koordinatları ve kotları Magellan marka Meridian Platinum el tipi GPS ile ölçülmüştür.



Şekil 3.5. Magellan marka Meridian Platinum el tipi GPS aleti

**Fotometre cihazı:**  $\text{NO}_3^-$  parametresi Merck marka Spectroquant NOVA 60 fotometre cihazı ile ölçülmüştür.



Şekil 3.6. Spectroquant NOVA 60 fotometre

**Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometre Cihazı:**  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , Fe, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Al, Cd, Pb parametreleri Varian marka Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazında ölçülmüş, bu parametrelere ait değerler elde edilmiştir.





Şekil 3.7.Varian marka Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazı

**Mettler toledo sevenGo pro-SG7:** Metler Toledo SevenGo pro-SG7 cihazı arazide sıcaklık, EC ve TDS parametrelerinin değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Mettler marka EC, TDS, sıcaklık ölçüm cihazı

**Mettler toledo sevenGo pro pH metre:** Metler Toledo SevenGo Pro cihazı arazide pH parametrelerinin değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Mettler marka pH ölçüm cihazı

### 3.1.3. Çalışmada kullanılan yazılımlar

Çalışma boyunca verilerin alınmasında, toplanmasında ve değerlendirilmesinde bir takım yazılımlar kullanılmıştır. Bu yazılımlar:

- GPS TrackMaker® Professional 3.8
- RockWare Aq.QA 1.1 (1.1.4.1)

**GPS TrackMaker® Professional 3.8:** Magellan marka Meridian Platinum el tipi GPS aleti ile arazide alınan koordinatlar cihazın belleğine alınır. Daha sonra, GPS aleti RS-232 kablosuyla bilgisayara bağlandıktan sonra bu yazılım vasıtasıyla veriler bilgisayara aktarılır. Aktarılan verilerle otomatik olarak çalışma sahasının tüm koordinatları, güzergah, zaman, mesafe, hız vb. bilgiler oluşturulan haritada görünür hale gelir. Elde edilen bu harita GIS türü yazılımlara altlık teşkil eder.

**RockWare Aq.QA 1.1 (1.1.4.1):** Analiz sonuçlarına göre her parametre için veya her mevki için bir veritabanı oluşturmaya yarayan yazılım aynı zamanda bu parametrelerden hareketle %Na, SAR, toplam sertlik gibi bir takım değerleri hesaplamaktadır. Bir diğer önemli özelliği ise her lokasyon için veya bunların kombinasyonu için ortak değerlendirmeler yapabilmekte ve bunlara ait Piper, yarı

logaritmik Schoeller vb. diyagramları yapabilmektedir. Projede, MS Office XP Excel'e ilaveten bu yazılımdan da oldukça yararlanılmıştır.

### **3.2. Yöntem**

Bu bölümde, çalışmada ölçülen ve analiz edilen parametreler, su örneklerinin alımı, taşınması ve korunmasıyla ilgili standart, yönerge vb. normlar ile ulusal ve uluslararası düzeyde sıkça kullanılan su kalitesi sınıflamaları ve bunların temel özellikleri tartışılmıştır.

#### **3.2.1. Ölçülen ve analiz edilen parametreler**

Bu çalışmada, örnekleme Kasım 2009 -Haziran 2010 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Alınan numunelerde analizi yapılan parametreler: Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Al, Cd, Pb. Yerinde (in-situ) ölçülen parametreler ise sıcaklık, pH, EC'dir. Analizlerin güvenilirliği için anyon-katyon dengesi hesaplanarak sonuçlar APHA-AWWA-WEF (1999) tarafından önerilen ve kabul edilebilir sınır olan % 5'in altında çıkmıştır. % 5'in altında çıkmayan sonuçlarda deneyler tekrar edilmiştir.

#### **3.2.2. Örneklerin alınması ve korunması**

Geniş alanlarda yapılan çalışmalarda, örneklerin alınması, bu örneklerin laboratuara bekletilmeden getirilmesi çok titiz, doğru, hassas ve güvenilir bir çalışmayı gerektirir. Yukarıdaki bölümde anlatıldığı üzere örneklerin analizi birkaç cihazda aynı anda yapılarak olası hatalar minimize edilmeye çalışılmıştır.

- D4448-01 Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells (ASTM, 2001)
- D6517-00 Standard Guide for Field Preservation of Ground-Water Samples (ASTM, 2005)

- TS 5090 EN 25667-2/Nisan 1997, Su Kalitesi - Numune Alma Bölüm 2: Numune Alma Teknikleri – Kılavuzu (TSE, 1997a)
- TS 5106 ISO 5667-3/Nisan 1997, Su Kalitesi - Numune Alma Bölüm 3: Numunelerin Muhafaza Ve Taşınma Kuralları (TSE, 1997b)
- Numune Alma Kılavuzu 2004-1, (Anonim, 2004a)
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metotları Tebliği (Anonim, 1991)



Şekil 3.10. 3 nolu örnekleme noktasından numune alımı

### 3.2.3.Su Kalitesi Sınıflamaları

Suyun; nitel ve nicel anlamda kaliteli olması insan, hayvan, tarım, endüstri ve çevre açısından hayati bir öneme sahiptir. Suyun kalitesi, önceleri, insanlar tarafından nitel gözlemler sayesinde (tat, koku, sıcaklık, renk vb.) kabul edilmişti. Gelişen teknolojiyle birlikte bugün doğadaki suyun kalitesi, fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreleri tanımlanmış alt ve üst sınırlarının konulmasıyla mümkün olabileceği gösterilmiştir.

Türkiye de yaygın olarak kullanılan “içme suyu standardı veya sınıfı” terimi, Avrupa Birliğine giriş sürecinde tüm kurum ve kuruluşlar tarafından “the quality of water intended for human consumption” teriminin bir çevirisi şeklinde “İnsani Tüketim Amaçlı Sular” olarak ifade edilmektedir.

Bu bağlamda, bu çalışmada, suyun kalitesi insani tüketim amaçlı ve tarımsal kullanım amacına göre ulusal ve uluslararası standartlara göre belirlenmiştir. Ayrıca, suyun hidrokimyasal fasiyesi de belirlenmiştir.

### **3.2.3.1. İnsani Tüketim Amaçlı Suların Sınıflamaları**

İçme suyu açısından ulusal düzeyde kullanılan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY, 2004), TS 266 Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular (TSE, 2005) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (Anonim, 2005)'lerdir. Son yönetmelik, Avrupa Birliği İçme Suyu Direktifi 98/83/EC uyarınca hazırlanmıştır.

Dünya Sağlık Örgütü tarafından yayımlanan “Guidelines for drinking-water quality” (WHO, 1993) ve Avrupa Konseyi İçme Suyu Direktifi (Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption) uluslararası düzeyde kullanılan standartlar veya direktiflerdir (EU, 1998).

Bu çalışmada ölçülen ve analiz edilen parametreler ve kısa açıklamaları şöyledir:

#### **3.2.3.1.1.Sıcaklık**

Suların sıcaklığının mevsimlere göre değişmesi ya da değişmemesi suların kökeni ve geliş yeri hakkında bilgi verir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Genel olarak içme sularının sıcaklığı 7 – 10 °C arasında olmalıdır (Şahinci, 1991). Anonim, (2004c)'e göre 1. ve 2. sınıf sular 25 °C, 3. sınıf sular 30 °C ve 4. sınıf sular 30 °C' den büyük olan sulardır.

#### **3.2.3.1.2.pH**

pH bir çözeltinin asit veya baz olma özelliğinin şiddetini gösteren bir kısaltmadır ve çözeltide bulunan H<sup>+</sup> iyonu konsantrasyonunun bir ifade şeklidir. Doğal suların pH değeri genellikle 4-9 arasında olup bu suların büyük bir kısmı karbonat ve bikarbonatlar nedeniyle hafifçe bazik niteliktedir (Şengül ve Müezzinoğlu, 1995; Sawyer et al., 2003). Yeraltı sularında pH için istenen değer 6.5-8.5 arasında olmasıdır.

### 3.2.3.1.3.EC (Elektriksel iletkenlik)

Elektriksel iletkenlik bir maddenin elektrik akımını iletme yeteneğidir. Birimi ohm-metre'nin tersi olup SI sisteminde metre başına siemens (S/m)'dir. Elektriksel iletkenlik belirli bir sıcaklıkta, birim uzunluk ve birim kesit alanındaki sıvının cisim veya kütesinin iletkenliğidir. Yeraltı suyu literatüründe elektriksel iletkenlik normalde miliohm'un tersi milimho veya mikroohm'un tersi olan ve mikromho cinsinden rapor edilir. SI sisteminde 1 milimho 1 milisiemens (mS) ve 1 mikromho da 1 mikrosiemens ( $\mu$ S) olarak ifade edilmektedir (Freeze and Cherry, 1979).

Saf suyun elektriksel iletkenliği çok düşük olup 25°C'de mikrosiemens'in onda birinden daha azdır (HEM, 1970). Yüklü iyonik türlerin çözeltide bulunması çözeltiye iletkenlik kazandırır. Doğal sularda değişik miktar ve oranlarda çok çeşitli iyonik ve yüksüz tür bulunduğundan, iyon konsantrasyonlarının veya toplam çözünmüş maddenin sağlıklı bir şekilde bulunmasında iletkenlik tanımlamaları kullanılamaz. Ancak, spesifik iletkenlik değerleri toplam çözünmüş katıyı (TDS) pratikte genel olarak verebilen faydalı bir parametredir. İletkenlik ve TDS arasında dönüşüm için aşağıdaki ilişki kullanılmaktadır (HEM, 1970):

$$TDS = AC$$

Burada C mikrosiemens veya mikromho cinsinden iletkenlik; A da dönüşüm faktörüdür. TDS  $g/m^3$  veya mg/l cinsinden ifade edilir. Çözeltinin iyonik bileşimine bağlı olarak çoğu yeraltı sularında A 0,55 ile 0,75 arasında değişmektedir.

### 3.2.3.1.4.Sodyum ( $Na^+$ ) ve Potasyum ( $K^+$ )

Sodyum doğada bulunan en yaygın alkali metaldir. Bütün sodyum bileşikleri suda kolayca çözünürler. Doğal suların hepsi bir miktar sodyum içerir. Yeraltı sularının sodyum içeriği normal olarak 6-130 mg/l arasında değişir. Magmasal kayalar, kil mineralleri, feldspatlar, feldspatoidler, evaporitler (NaCl gibi) sodyum içeren başlıca kayaç ve minerallerdir. Sodyum insan vücudundaki hücre dışı sıvısında en fazla bulunan katyondur. Vücudun sodyum düzeyini kontrol etmede

etkin mekanizmaları bulunduğu için sodyum akut zehirlenme etkisi olan bir metal değildir. Bununla birlikte kalp, böbrek ve dolaşım sistemi hastalıkları olan kişilerde olumsuz etkiler yapabilir (McNeely et al., 1979).

Potasyum yer kabuğunun %2.5'ünü oluşturur ve esas olarak feldspatlarda (ortoklaz, mikroklin), mikalarda, feldspatoidlerde ve kil minerallerinde bulunur. Bitki ve hayvanlarda bulunan ana elementlerden biridir. Doğada oldukça yaygın bulunmasına karşın doğal sulara genellikle birkaç mg/l düzeyinde bulunur. Sulardaki orta derecedeki potasyum derişimi suyun kullanımını olumsuz yönde etkilemez. Potasyum bitki ve hayvan yaşamı için ana besinlerden biri olmasına karşın, çok yüksek derişimleri (>2000 mg/l) sinir ve sindirim sistemi için zararlıdır. Sodyumun, 100-200 mg/l arasında olması tavsiye edilir.

#### **3.2.3.1.5.Klorür (Cl)**

Yeraltı sularındaki klorür miktarı genellikle yağışlı bölgelerde az, kurak bölgelerde çoktur. Klorür, sedimanter kayalarda, özellikle evaporitlerde bulunur. Sulardaki klorür iyonu, hidrolojik çevrim sırasında iyi korunabilen iyonlardandır. Bu nedenle iyi bir izleyici olarak bilinir. Yüksek derişimdeki klorür iyonu, bitkilerin gelişmesini engeller. Bitkiler tarafından kolayca soğurulan klorür iyonu, bitki dokularında ve yapraklarda birikerek yaprak yanmasına neden olur. Tuz yataklarının bulunuşu, yapay tarım gübrelere, fabrika, lağım suları, çürümüş hayvan ve bitki artıklarının, buzlanmayı önlemek için yollara atılan tuzların yeraltısularına karışması sonucu klorür miktarı artabilir.

Klorürün sulara 250 mg/l düzeyinin geçmemesi istenir

#### **3.2.3.1.6.Sülfat (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)**

Yeraltı sularındaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidritten ileri gelmektedir. Bunların dışında az miktarda piritin oksidasyonu ile oluşan demir



sülfattan, magnezyum ve sodyum sülfattan da gelebilir. Özellikle Orta ve Güneydoğu Anadolu bölgelerindeki evaporitik seri içinde bol miktarda jips ve anhidrit bulunduğundan, bu bölgelerin yeraltı sularında sülfat iyonuna çokça rastlanılmaktadır. Sülfatın, tarımda toprağın tuzluluğunu arttırması dışında zararlı etkisi yoktur. Sulama sularında 250 mg/l'ye kadar olan miktarlar bitki beslenmesi için faydalıdır. Bu miktar 500 mg/l'nin üzerine çıktığında zararlı olmaya başlar (Erguvanlı ve Yüzer, 1987).

Sülfatın sularda 250 mg/l düzeyini geçmemesi istenir.

### **3.2.3.1.7.Nitrat (NO<sub>3</sub>)**

Yeraltı sularında, en problemlisi, en yaygın ve büyük miktarda bulunan potansiyel kirleticilerden biri nitratdır (Keeney, 1986). Yeraltı sularında nitratın kaynağı başlıca dört kategoride sayılabilir: Doğal kaynaklar, atıklar, gübreleme ve sulu tarım (Canter, 1997). Nitrat pekçok doğal su ortamlarında makul konsantrasyonlarda bulunur; ancak gerek atıksuların deşarjı ve gerekse gübre kullanımına bağlı olarak nitrat konsantrasyonu yeraltı sularında yüksek değerlere çıkarak bir kirletici halini alabilir. Nitrat iyonları çocuklarda ve hamile kadınlarda önemli sağlık riskleri taşıdığı bilinmektedir. Bu durum muhtemelen çocukların midelerinde nitratların nitritlere indirgenmesine bağlıdır. Nitratlar, bebeklerde hemoglobinle birleşebilir ve böylece hücrelere oksijen taşınımını olumsuz etkileyebilir (mavi bebek sendromu olarak ta bilinen mavimsi bir deri renginin ortaya çıkmasına neden olur).

Azot gübrelerinin yaygın kullanımı yeşil sebzelerde yüksek nitrat düzeylerine neden olabilir. Belli koşullar altında nitrat çok daha zehirli olan nitrite, ve hatta, nihai olarak kanserojenik etki yapan nitrosamine de dönüşebilir (etki başlıca bağırsaklarda görülür) (Richard,1980). İnsan atıkları da alıcı ortamlarda azotta önemli artışlara sebebiyet verirler. Hatta gübreler, hayvan atıkları, kentsel ve endüstriyel atıklar yer altı suyunda nitrat kirliliğinin önemli kaynağı olarak düşünülürler (WHO,1978).

Ulusal ve uluslararası bilimsel ve teknik kuruluşların neredeyse tümü sularda max. nitrat düzeyini 50 mg/l olarak kabul etmiştir. Bilimsel raporlarda nitrat ya  $\text{NO}_3^-$  ya da  $\text{NO}_3\text{-N}$  şeklinde ifade edilir.

### **3.2.3.1.8. Alüminyum (Al)**

Alüminyum yer kabuğunda en çok bulunan elementlerden üçüncüsü olmasına rağmen suyun kapsamında az bulunur. Suda çok az bulunduğu zaman bile renk değişimine neden olabilir. Suda 0, 1-0, 2 mg/litreyi aşması durumunda meydana gelen renk değişikliği tüketicinin yakınmasına neden olur. Alüminyum doğal sularda toprak ve kayalardan erime nedeniyle bulunmaktadır. Suda çözülmüş tuz, kolloid veya çözünmeyen bileşikler halinde bulunur. Doğal suların pH sı genellikle 5- 9 arasındadır. Bu pH da alüminyum veya alüminat iyonları dissosiyasyon olurlar. Normal pH daki sular 10 mg/l ye kadar kolloidal alüminyum kapsayabilirler. Alüminyum iyonu, organik madde, sülfat ve florür ile kuvvetli kompleks iyonlar verir. Bu nedenle bazı suların bileşiminde daha yüksek konsantrasyonda alüminyuma rastlanır. İnsanların gıdalarla birlikte sularla günde 88 mg alüminyum aldığı tahmin edilmektedir. Bir insanın litresinde 1, 5 mg Al. içeren sudan 2 lt içtiği tahmin edilirse yalnızca sudan 3 mg Alüminyum alıyor demektir ki bu da günlük alınan alüminyumun % 4 ünden daha az miktardır. İnsanlar için Al temel besin maddelerinden değildir. Fosfat tuzları halinde kompleks olarak su ve gıdalardan alınır. Gıda ile dışarı atılır. Uzun süre fazla miktarda alüminyum hidroksitinin alınması vücuttan fosfatların kaybına neden olur.(Güler, 1997)

Alüminyumun sularda su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 1 mg/l'yi geçmemesi istenir.

### **3.2.3.1.9.Bakır (Cu)**

Bakır ve bileşikleri çevrede dolayısıyla yüzeysel sularda bulunabilirler. Sudaki bakır, suyun pH sı ve karbonat konsantrasyonu ve diğer anyonlarla ilgilidir. Musluk suyunda bulunan bakır miktarı ham su kaynağında ve

artılmış suda bulunan bakır miktarından fazla olabilir. Çünkü bakır tuzları dağıtım sistemlerindeki çamur kontrolü ve manganezin yükseltgenmesini katalizlemesi yönünden, depolardaki bakteri büyümelerinin kontrolünde kullanılır. Pirinç, bronz borular ve bağlantılarının korozyonu sonucunda, suda ölçülebilecek miktarlarda bakır bulunabilir. Suda bulunan bakır zararlı değildir. Ancak alüminyum, çinko gibi boruların korozyonunu artırır. Suda litrede 1 mg daha fazla bakır çamaşırlarda leke yapar. Bu değer 5 mg/gr olması halinde bakır suya belirgin bir şekilde acı bir lezzet verir. İnsan metabolizmasında bakır esas elementlerden birisidir. Yetişkinlerin günde 2. 0 mg bakıra ihtiyaç duyduğu tahmin edilmektedir. İnsan kanında ise litrede 0. 8 mg Cu +2 iyonu vardır. Eritrosit oluşumunda doku demirimin serbest bırakılmasında, kemik, merkezi sinir sistemi ve bağ doku gelişmesinde önemli rol oynar. Fazla miktarda alınması halinde mukoza iltihaplanması, damar hastalıkları, karaciğer ve böbrek hastalıkları ve depresyonla seyreden merkezi sinir sistemi irritasyonları görülebilir.(Güler, 1997)

Bakırın sularda su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 0,2 mg/l 'yi geçmemesi istenir.

### **3.2.3.1.10.Çinko (Zn)**

Bol miktarda bulunan çinko yeryüzü kabuğunun % 0, 004 ünü oluşturur. En çok bulunan minerali sfalerit (ZnS) dir. Bu bileşik Pb, Cu, Cd ve demir sülfürle beraberdir. Topraktaki çinko miktarı 1-300 mikrogram/gr arasında hesaplanmıştır. Atmosferdeki çinko miktarı kaynak noktasına bağlı olarak değişir. Çinko sülfür, oksit ve karbonatları yüksek klorürlü suda çözünür, çinko sülfat tuzları çinko hidroksit ve çinko karbonat şeklinde hidrolize olmaya meyillidir. Doğal sularda çinko az bulunur. Adsorbsiyonla çözülmüş çinkonun miktarı düşer. Musluk suyunda çinko miktarı, galvanizli pirinç borular ve diğer çinkolu yapımlardan gelen çinko nedeniyle yüzey sularından daha fazladır. Musluk suyunda çinko miktarı 0, 01-1, 0 mg/l arasında genel olarak değişiklik gösterir. Çinko gerek insan ve gerekse hayvanlar için gerekli esansiyel elementlerdendir. Et ve süt ürünleri çinko yönünden zengindir. Baklagiller ve balık zengin çinko kaynağıdır. Normal bir insan gıdalarla

ortalama günde 12 mg çinko almaktadır. İçme suyuyla alınan miktar 400 mikro gramı geçmez. Hava ise insanlar için düşük gıda kaynağıdır. Biyokimyasal yönden çinkonun önemi bazı enzimlerin aktivasyonu için, vazgeçilmez bir madde oluşundan kaynaklanmaktadır. En fazla çinko prostat da bulunur. Pankreasda oldukça büyük miktarda bulunur. Pankreastaki çinko insülin ile birleşmiş haldedir. İnsülin pankreasta çinko bileşiği halinde depo edilir. Ayrıca kemik, adale ve karaciğerde de bulunur. Yaş ve cinsiyete bağlı olarak gerekli olan günlük çinko miktarı 4-15 mg olarak önerilmektedir. Gerek insan ve gerekse hayvanlarda çinkonun absorpsiyonu, protein, vitamin ve metallerin alınması gibi birçok faktörlerden etkilenmektedir. Alman çinkonun fazlası vücuttan atılır, dokularda birikim olmaz. Serum ve plazmadaki çinko miktarı litrede 1 mg dır. Kandaki miktarı bunun 5 katıdır. Kırmızı kan hücrelerinde ise litrede 10 mg dır. Çinko zehirli değildir. İnsanlarda çinko zehirlenmesinin belirtisi, kusma, su eksikliği, elektrolit dengesizliği, karın ağrısı, bulantı, uyuşukluk, baş dönmesi, adale kondisyonunda eksiklik şeklinde görülür. Çinko klorürün neden olduğu böbrek yetersizliği görülmüştür.(Güler, 1997)

Çinkonun sularda su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 2 mg/l 'yi geçmemesi istenir

### **3.2.3.1.11.Demir (Fe)**

Demirin jeokimyasal özellikleri sıkı bir şekilde oksijen, kükürt ve karbona bağlıdır. Bu üç element yanında demir ve manganez yer kabuğunda oldukça bol bulunur. Atmosferdeki oksijen, iki değerli demir minerallerini oksitleyerek Fe<sup>+3</sup> bileşiklerini meydana getirir. Tortul oluşuklarda; bakteriler organik karbonun yardımı ile Fe<sup>+3</sup> 'i Fe<sup>+2</sup> bileşiklerine ve sülfatları sülfidlere dönüştürürler.

Alkali yüzey sularında demir ender olarak 1 mg/l'te değerinden daha fazla konsantrasyonlarda bulunur. Diğer taraftan bazı yeraltı suları ve asidik yüzey sularında fazla miktarda Fe bulunabilir. Litrede 0.3 mg dan itibaren demir içeren suların lezzeti hoş değildir. Böyle sular sanayi ve günlük gereksinim bakımından kullanılmaya da uygun değildir. Çünkü bazı küçük canlıların oluşumuna yardım

ettikleri gibi bunların çoğalarak (alg oluşumu) çöken hidroksitle beraber boruları tıkama tehlikesi vardır. Dokuma, boya, yıkama, tutkal, yapay ipek, fotoğraf malzemesi, cam, seramik maddeleri imal eden sanayiler litresinde 0,1 mg dan daha fazla demirli suları kullanamazlar. Bu gibi sular çöküp tıkama olasılığından dolayı kalorifer tesislerinde de kullanılmaz. En uygunu litresinde 0, 05 mg dan fazla demiri olmayan suları kullanmaktır. Demir insan organizmasında özellikle alyuvarların yapısında bulunan, hemoglobinin fonksiyonel bir parçası olması yönünden önemlidir. Bunun dışında demir, kasların myoglobininde, sitokrom, peroksidaz ve katalaz sistemlerinde yer alan yaşamsal önemde bir mineraldir. Bütün insan vücudundaki total miktarının ancak 4-5 gram arasında olmasına karşın bunun 700 mg kadarı karaciğerdedir. Demirin biyokimyasal reaksiyonlar yönünden özellikle solunum sistemi yönünden büyük görevleri vardır. Hayvansal organizma büyük kısmıyla alyuvarlarda yer alan demir içeriğini tekrar tekrar kullanma yeteneğindedir. Bu nedenle günlük demir gereksinimi oldukça ufaktır. Bu çocuklar için 10-15 mg arasında değişir, büyüklerin demir gereksinimi de kadın, erkek, genç veya yaşlı oluşuna göre farklılık gösterir. Genç kadınlarda ve emziren annelerde 18 mg kadardır. Vücuttan dışkı, idrar ve terle atılan demir miktarı ise sadece 1 mg civarındadır.(Güler,1997)

Demirin sulara su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 5 mg/l 'yi geçmemesi istenir.

### **3.2.3.1.12.Kadmiyum (Cd)**

Endüstride kadmiyumlu minerallerden, kadmiyum içeren plastik metal atıklarından çevreye yayılan kadmiyum, hava, su ve toprağı kirletmektedir. Toprak ve suda biriken kadmiyum ise sudaki organizmalara geçmekte, buradan da besin zinciriyle balık ve insanlara ulaşabilmektedir. Besinlerde kadmiyum, en çok kabuklu su hayvanlarının karaciğer ve böbreklerinde birikir. Bu besinlerdeki kadmiyumun miktarı 10 mg/g'ın (yaş ağırlık) üzerine çıkabilir. Kadmiyum, bileşiklerinde Cd (+2) değerliğindedir. Cd doğada Zn ile birlikte bulunur. Kadmiyum, balığın büyüme ve gelişmesi için gerekli olmadığı halde, memeli sistemlerle veya herhangi bir biyolojik

sistemle karşılaştığı zaman, esansiyel elementler olan Zn ve Cu gibi davranır, metalotiyoneinin Cu ve Zn ile bağlanacağı -SH gruplarına bağlanarak karaciğer ve böbreklerde depo edilebilir. Aşırı derecede toksik bir metaldir (Dunnick ve ark., 1988).

Kadmiyum, civadan sonra en toksik ikinci metaldir. Düşük konsantrasyonlarda toksik olabilen ve metabolik aktivite için gerekli olmayan bir metaldir. Sıcaklıktaki bir değişme, kadmiyum alınmasını ve toksisitesini artırır. Oysa, tuz veya suyun sertliğinin artması kadmiyumun etkisini azaltır. Genel olarak suyun organik içeriğinin kadmiyumu bağlayıp tutmasıyla ortamdaki miktarı azalır, böylece canlı organizmalardaki etkisi de azalmış olur (Teague, 1999).

Kadmiyumun suda çözünen tuzları, kolayca solungaçlar yolu ile kana absorbe olabildiği halde, suda çözünemeyenleri uzaklaştırılmakta veya gastrointestinal yolla yutulmaktadır. İnce bağırsaktaki absorpsiyonu kalsiyum, demir ve protein eksikliğinde artar. Ortamda kalsiyum miktarı azaldığında, kadmiyum absorpsiyonu hızlanmakta, kalsiyum miktarının artması durumunda ise kadmiyum absorpsiyonu azalmaktadır. Bu da her iki metalin hücre içerisine girişinin benzer yollarla olduğunu göstermektedir. Kadmiyum kanda proteinlere ve alyuvarlara bağlanır ve bu şekilde taşınır. Fakat taşınan kadmiyumun %50-70'i karaciğer ve böbreklerde birikmektedir. Özellikle zararlı olmaya başladığında böbreklerle dışarı atılır. Bulunduğu ortama bağlı olarak yaş ilerledikçe vücuttaki kadmiyum birikimi artmakla beraber atılım miktarı değişmez. Özellikle kadmiyuma kronik olarak maruz bırakılma sonucunda böbrek hasarı, akut maruz bırakılmalarından sonra ise testislerin hasarına sebep olduğu bilinmektedir. Bu metal, kalsiyum metabolizmasının bozulmasına ve kemiklerin daha kırılır duruma gelmesine neden olabilir. (Teague, 1999).

Kadmiyumun sularda su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 0,01 mg/l 'yi geçmemesi istenir.

**3.2.3.1.13. Kalsiyum (Ca)**

Doğadaki başlıca kalsiyum kaynakları karbonatlar ( $\text{CaCO}_3$  yani kireç taşı veya mermer) aragonit, dolomit ( $\text{CaCO}_3 \text{ MgCO}_3$ ) Jips ( $\text{CaSO}_4$  yani alçı taşı) anhidrit, apatit mineralleridir. Ayrıca silikat taşlarında % 1-10 Ca iyonunu içeren kalsiyum silikatlar şeklinde de bulunur. Kalsiyum silikatlar hava ve yağmurun etkisiyle çözünebilir kalsiyum tuzlarına ve kil minerallerine dönüşür. Genellikle sudaki kalsiyum iyonu kaynağını karbonatlı ve sülfatlı kalsiyum mineralleri teşkil eder. Bu nedenle sularda, çok değişik konsantrasyonlarda kalsiyum bulunabilir. Kalsiyum suya sertlik özelliği veren en önemli iyondur. Kalsiyumlu sularda karbonat ve sülfat da bulunuyorsa  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{SO}_4$  çökerek kabuk meydana getirir. Borularda az miktarda Ca-  $\text{CO}_3$  in çökerek, iç yüzeyi bir tabaka halinde örtmesi halinde boruların korozyona uğramasını engeller, Kalsiyum sulama sularında toprağın yapısı ve geçirgenliği yönünden yararlıdır.

Kalsiyumun büyük bir biyolojik önemi vardır ve insan organizmasında en yoğun şekilde bulunan katyondur. Vücutta bulunan kalsiyumun çok büyük kısmı, kemik dokusunda "hidroksiapatit" kristalleri halinde fosfatlarla birlikte bulunur. Kalsiyumun plazmadaki düzeyi % 10 mg civarındadır. Kalsiyum özellikle kanın pıhtılaşmasında önemli bir rol oynar. Kalsiyum kasların fonksiyonu yönünden de önemlidir. Ayrıca hücre zarının permeabilitesinde ve sinirsel aktivite de de kalsiyum rol oynar. Normal bir diyetle beslenen, bir kişi günde 800 mg kadar kalsiyum alır. Bunun 700 mg kadarı gaita ile tekrar vücut dışına atılır. Vücutta net olarak 100 mg kalsiyum sağlanmış olur. Vücutta, kalan ve kemiklerde depo edilen 100 mg kalsiyumun bir bölümü de yine gaita ile dışarı atılır. Böbrek yolu ile çok az kalsiyum dışarı atılır.(Güler,1997)

Kalsiyumun, içme suyu standardı (TS-266)na göre, 200 mg/l'yi geçmemesi istenir.

**3.2.3.1.14.Kurşun (Pb)**

Toprağın doğal elementlerinden olan kurşun yaklaşık olarak toprakta kilogramda 16 mg miktarında bulunur. Dünya üzerinde göl ve nehir sularının ortalama kurşun içeriği ise litrede 1-10 mikrogramdır. Ancak sulardaki bu değer nadir olmakla beraber endüstriyel bulaşma sonucu daha yüksekte olabilir. Ancak arıtma işleminden sonra suyun dağıtım şebekesine verilmeden önce bu değer çok düşüktür. Evlere verilen çeşme suyunda ise, eğer dağıtım kurşun borularla yapılıyorsa veya kurşunla kaplı depolarda bekletiliyorsa bu miktar daha yüksek olmaktadır. Özellikle bu miktar suyun yumuşak, bol oksijenli, nitrat miktarı fazla ve asidik karakterde olması durumunda korozyonun artmasından dolayı daha fazla olmaktadır. Kurşun borular su dağıtımında artık genelde kullanılmasa da bazı ülkelerde henüz kullanılmaktadır. Günde ortalama 2 litre su içilebileceği dikkate alındığında su ile günde 10-20 mikrogramdan 1 mg a kadar kurşun alınabileceği tahmin edilmektedir. İçme suyu içindeki kurşunun sindirim sisteminden olduğu gibi emilmesi önemli bir noktadır. Her ne kadar su içindeki çok ince kurşun partiküllerinin emilebilmesi hakkında fazla bilgi yoksa da suda erimiş kurşunun kolayca emildiği bilinmektedir.

İnsan vücudundaki kurşun miktarı tahmini ortalama olarak 125-200 mg civarındadır ve normal koşullarda insan vücudu normal fonksiyonlarla günde 1-2 mg kadar kurşunu atabilme yeteneğine sahiptir. Birçok kişinin maruz kaldığı günlük miktar 300- 400 mg ı geçmemektedir. Kurşunun vücutta absorpsiyonu çocuklarda daha yüksek olmakla beraber normalde % 5 gibi düşük bir oranda gerçekleşmektedir Bu oran dahi kalsiyum ve demir gibi birçok mineralin vücut tarafından emilimini azaltmaktadır. Kana karışan kurşun buradan kemiklere ve diğer dokulara gitmekte ya da dışkı ve böbrekler yoluyla vücuttan atılmaktadır. Kemiklerde biriken kurşun zamana bağlı olarak (yarılanma ömrü yaklaşık 20 yıl) çözünerek böbreklerde tahribata neden olur. Kurşun bir nevi nörotoksindir ve anormal beyin ve sinir sistemi fonksiyonlarına sebep olmaktadır. Çocuklar üzerinde yapılan araştırmalarda kanda kurşun miktarı arttıkça IQ seviyesinin düştüğü tespit edilmiştir. Diğer taraftan kurşun



nörotoksik özelliğinden dolayı sinir sisteminde iletimin azalmasına da yol açmaktadır.

Kurşunun çoğu kemiklerde depolanmasına rağmen beyne, anne karnındaki cenine ve anne sütüne de geçebilmektedir. Bebekler ve çocuklarda düşük olan kurşun oranı, ilerleyen yaşla beraber, kurşuna maruz kalınmasıyla artış göstermektedir. Kanda 40 mg/l seviyesini aşınca tansiyon artırıcı etki de ortaya çıkar. Dünya sağlık örgütü sınıflandırmasına göre (1995) kurşun 2. sınıf kansorejen gruptadır. Ekolojik olarak kurşun katı olarak çökme eğilimindedir ve özel durumlar dışında kompleks oluşturmaz.(Güler, 1997)

Kurşunun sulara su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 0,05 mg/l 'yi geçmemesi istenir.

#### **3.2.3.1.15. Magnezyum (Mg)**

Magnezyum suyun sertliğini meydana getiren iyonlardan biridir. Sıcak sulara kırılğan bir kabuk meydana getirir. Suda bulunan karbondioksit, karbonatlı ve sislikatlı minerallerdeki magnezyumun suya geçmesinde rol oynar. Granit ve silisli kumlarda bulunan suların kapsamında 5 mg kadar magnezyum bulunur. Magnezyumun sülfat ve klorürleri suda kolay çözülür. İnsan biyolojisinde gerekli bir mineraldir. Kemik, kas ve sinirsel dokularda bulunur. Magnezyum daha çok bir hücre içi elemandır. Yetişkin bir insanın günlük 35 mg magnezyuma gereksinimi vardır. Alyuvarlarda da magnezyum vardır. Magnezyumun plazmadaki miktarı % 2, 5 mg kadardır. Hücrelerdeki miktarı daha fazladır. Kas hücrelerinde % 20 kadar magnezyum bulunur. Yetişkin bir insanın günde 50 mg magnezyuma gereksinimi vardır.(Güler, 1997)

Magnezyumun, içme suyu standardı (TS-266)na göre 150 mg/l'yi geçmemesi istenir.

**3.2.3.1.16.Mangan (Mn)**

Toprakta minerallerden geçmiş mangana rastlanır. Toprak veya tortul kütlelerdeki mangan atmosferik olayların etkisiyle çözünerek suya geçer. Demiri fazla olan sularda, çok defa mangana rastlanır. Fakat miktarı çok az olup;litrede 0, 3 mg ı geçmez. Yeraltı sularında bulunan mangan ortamda oksijenin bulunmayışı nedeniyle iki değerliklidir. Yüzeysel sularda, özellikle göl ve baraj gibi rezervuarların dip çökeltisi çamurları içerisinde bulunur ve indirgeyici ortamda çamurdan suya geçer. Manganın suda bulunmasının zararı endüstri sularında hemen hemen demirin etkisinin aynısıdır. Bu da suda bazı bakterilerin çoğalmasına yardım ettiği gibi, boruların tıkanmasına demirden fazla neden olur. 0. 5 mg/ lt mangan dan fazlası sulara kötü bir lezzet verir. Çay ve kahve hazırlamaya, çamaşır yıkamaya uygun değildir. Endüstride manganlı suların arıtımı gerekmektedir. Yiyeceklerdeki mangan miktarları önemli derecede değişiklik gösterir. Süt ürünlerinde düşük konsantrasyonlarda etlerde 0-0. 8 mg/kg, balıkta 0-0. 1 mg/kg bulunur. Fındıkta fazladır. Mangan en az zehirli elementtir. Birkaç olay dışında sudaki mangandan dolayı bir zehirlilik görülmemiştir.(Güler, 1997)

Manganın sularda su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 3 mg/l ‘yi geçmemesi istenir.

**3.2.3.1.17. Nikel (Ni)**

Nikel her yerde bulunur, başlıca alaşımları arsenid ve sulfit dir. Madenlerin işlemleri sonucu çevreye yayılabilir. Nikel bazı alaşımlarda katalisit olarak metal kaplamalarda kullanılmaktadır. Gıda, konserve ve fabrikalarındaki tesisatta nikel kullanılması gıdalarda kontaminasyon yapabilir. Nikel tuzlarının pek çoğu suda eriyebilir, bu nedenle bulaşma kolay olur, özellikle nikel içeren bileşiklerin nehirlere atılması bu bulaşmada rol oynar. Yüzey sularında 1 mg/l gibi yüksek oranlar bildirilmiştir. Normalde bu sulardaki oran 5 - 20 mikrogram/l gibi düşük bir seviyededir. Belirli su işlem metodlarıyla nikelin bir kısmı giderilmektedir. Bu

nedenle işlenmiş sularda, işlenmemiş sulardan daha az bulunur. Genel olarak 2 - 5 mikrogram /l rastlanan tipik değerlerdir. Özellikle nikel karışımı su iletim boruları kullanıldığında bu miktar artabilir. Nadiren 0, 5 mg/l miktarlar bildirilmiştir. Günde 2 lt su içildiği dikkate alınır normal olarak içme suyu ile alınabilecek miktarı 10-20 mikrogramı geçmez. Nikel toksik olmayan bir elementtir. Gıda ve sularda bulunan nikelin ciddi bir sağlık problemi yaratacağı düşünülemez.(Güler, 1997)

Nikelin sularda su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 0,2 mg/l 'yi geçmemesi istenir.

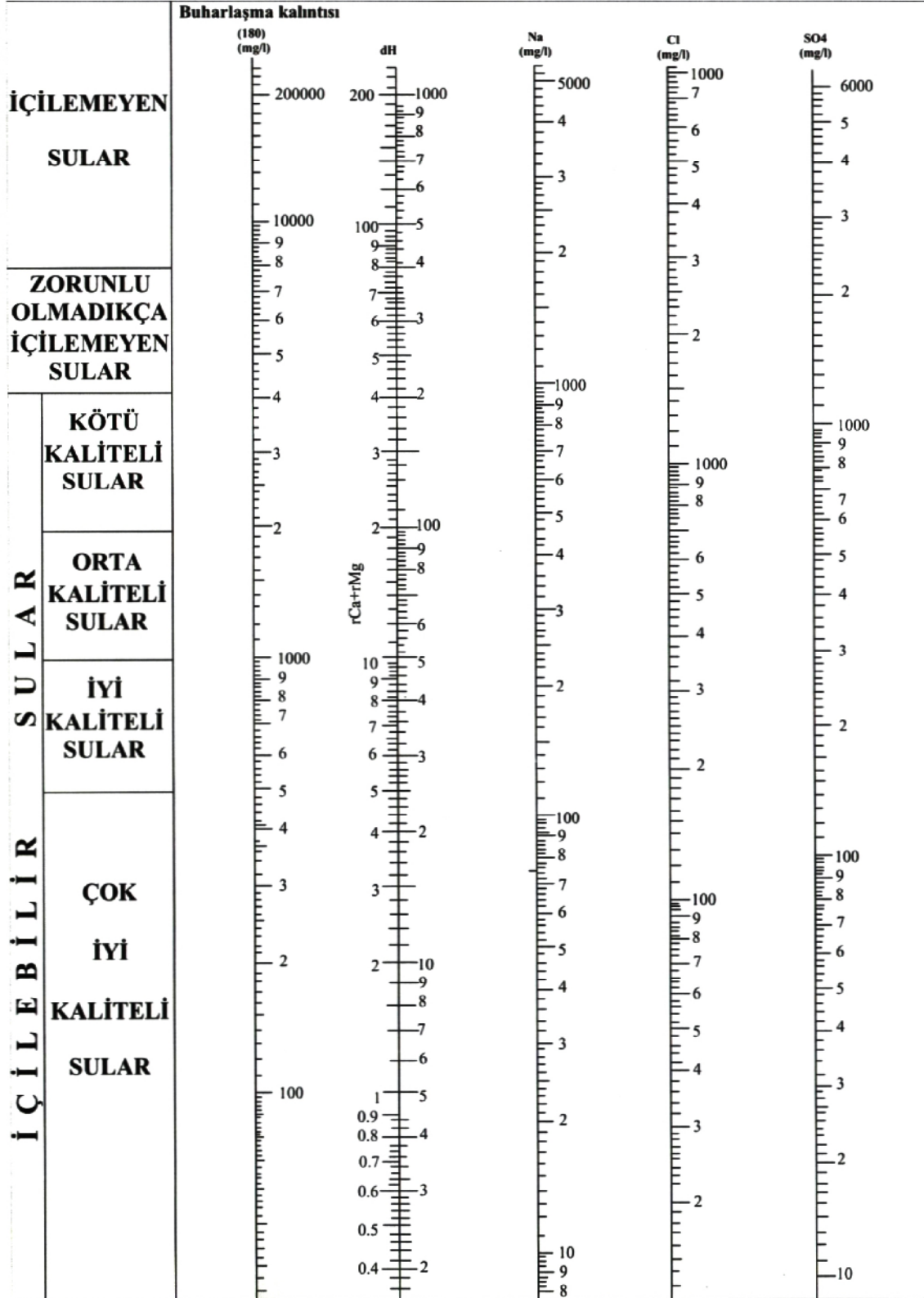
### **3.2.3.1.18.Schoeller İçilebilirlik Diyagramı**

Schoeller (1955) tarafından önerilen suların içilebilirlik diyagramı (Şekil 3.11) pratik olduğu için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.Bu diyagramda; sırasıyla buharlaşma kalıntısı, toplam sertlik,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  ve  $SO_4^{-2}$  (mg/l) değerleri logaritmik düşey cetvel üzerine işaretlenir.İşaretli bu noktalar düz bir çizgiyle birleştirilir. Oluşan bu çizginin en kötü kaliteye tekabül eden noktası o suyun genel içilebilirlik kalitesini verir. Bu diyagramda sular:

- İçilebilir Sular
  - Çok iyi kaliteli
  - İyi kaliteli
  - Orta kaliteli
  - Kötü kaliteli
- Zorunlu olmadıkça içilemeyen sular
- İçilemeyen sular

olarak sınıflandırılmıştır.

Bu çalışmada, her örnekleme noktası için bu diyagram üzerine değişim mevsimsel olarak işlenmiştir.



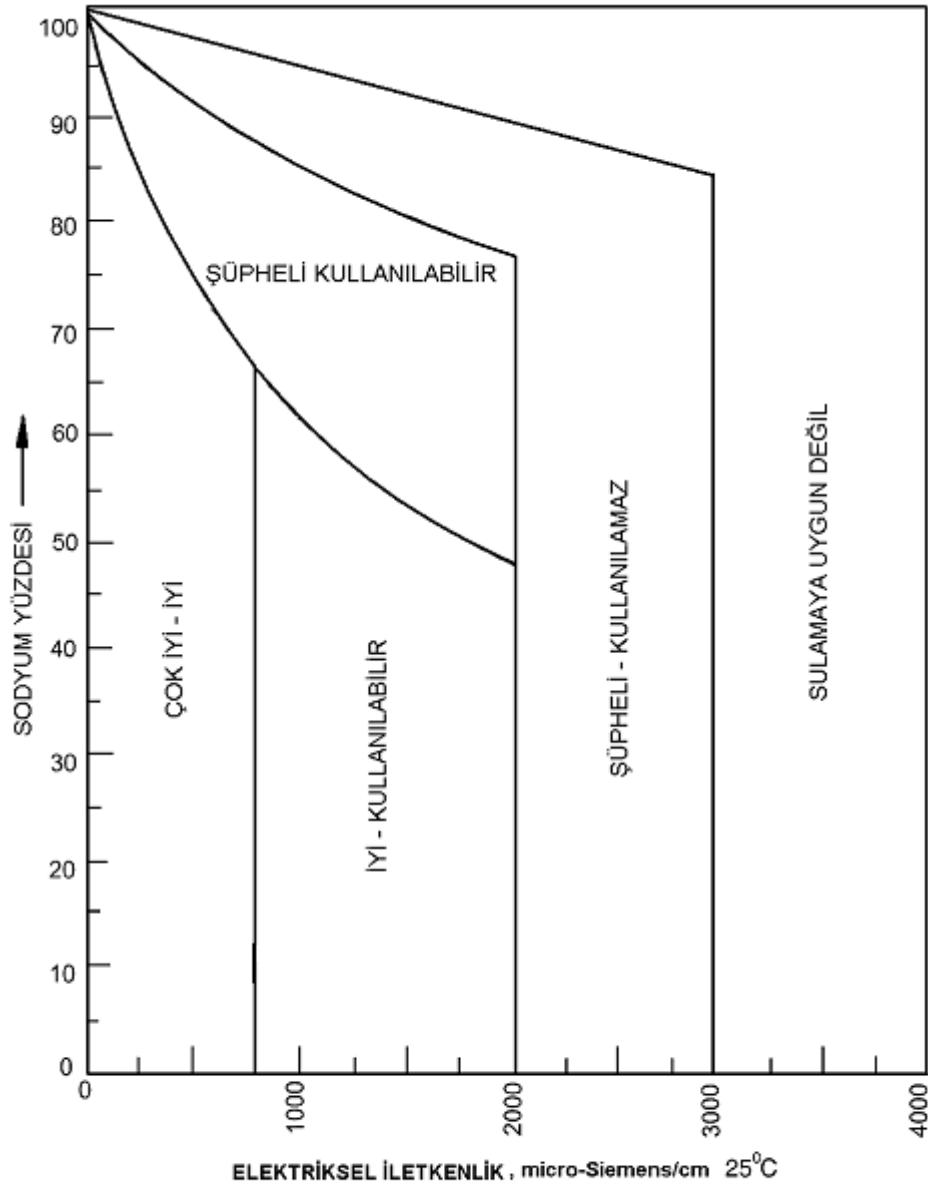
Şekil 3.11. Örnek bir Schoeller diyagramı

### 3.2.3.2. Sulama suyu sınıflamaları

Sulamada kullanılan suların içinde çözülmüş fazla miktarda iyonlar, bitkilere ve tarım toprağına fiziksel ve kimyasal yollarla etkiyerek, verimi düşürür. Bu iyonların fiziksel etkisi, bitki yapısındaki hücrelerde osmotik basıncı azaltarak suyun dal ve yapraklara erişmesini engeller; kimyasal yolla ise, bitki metabolizmasını bozarlar. Tuzlu sulardaki  $Na^+$ , zemindeki  $Ca^{+2}$  iyonları ile yer değiştirmesi sonucu toprağın geçirgenliği ve havalanması azalır; böylece, dolaylı olarak bitkilerin gelişmesi yavaşlar. Bitkilerin sudaki tuzlara karşı dirençleri farklı olduğundan, sulama için kullanılan suların tuz derişiminin kesin üst sınırını vermek güçtür. Bitki gelişmesi ile su kalitesi arasındaki ilgi yanında, toprağın akaçlaması da önemli bir yer tutar. Geçirgenliği fazla, akaçlaması iyi tarım topraklarında, su tuzlu da olsa bitkilerin gelişmesini engellemez. Tersine, geçirgenliği ve akaçlaması fena zeminlerde, su az tuzlu olsa bile, bitki köklerinde tuz birikmeleri meydana gelerek bitkilerin gelişmesi güçleşir. Toplam tuz derişiminden çok, suda bulunan sodyum ve bor gibi bazı iyonların miktarı bitkilerin gelişmesini etkiler. Böylece, bitkilerin gelişmesini su kalitesinden başka, toprağın cinsi, geçirgenliği, akaçlaması, iklim koşulları, kullanılan su miktarı, bitki türü, sulama şekilleri ve uygulanan yetiştirme yöntemleri de etkiler (Şahinci, 1991). Sulama sularının sınıflamasında en yaygın olanları ve bu çalışmada kullanılanları aşağıda sunulmuştur.

#### 3.2.3.2.1. Wilcox diyagramı (Wilcox, 1955)

Bu diyagramda düşey eksene % Na miktarı, yatay eksende elektriksel iletkenlik gösterilmiştir. Suyun kimyasal analizlerinde % Na hesaplanarak düşey eksen üzerine işaretlenir ve bu noktadan yatay eksene bir paralel çizilir. Verilen elektriksel iletkenlik yatay eksende bulunarak, bu noktadan yatay eksene bir dik çıkılır ve % Na' dan çizilen paraleli kestiği nokta, suyun özelliğini verir. Wilcox diyagramına (Şekil 3.12) ve bitkilerin bora karşı duyarlılığına göre sulama suları sınıflandırılabilir.



Şekil 3.12. Örnek bir Wilcox diyagramı

### 3.2.3.2.2.ABD tuzluluk diyagramı (Richards, 1954)

Wilcox diyagramında bazı değişiklikler yapılarak hazırlanan bu diyagramda (Şekil 3.13) sulama suları 16 sınıfa ayrılmıştır. Düşey ekseninde SAR değeri, yatay ekseninde ise elektriksel iletkenlik (EC) bulunur. Suyun sınıfının saptanması, Wilcox diyagramında olduğu gibidir. Bu diyagramın yorumu şöyledir:

Genel tuzluluk özellikleri:

C1 (EC 250 mikromho/cm'den az), az tuzlu sular: her toprakta, tüm bitkilerin sulanmasına uygundur,

C2 (EC 250-750 mikromho/cm arası), orta tuzlu sular: orta akaçlama özelliğindeki topraklarda, tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir,

C3 (EC 750-2250 mikromho/cm arası), tuzlu sular: akaçlaması kötü olan arazilerde, sulamada kullanılamaz. Zemindeki tuz miktarının gözlenmesi gerekebilir. Bu özellikteki sular kullanılacaksa, tuza dayanıklı bitkiler seçilmelidir,

C4 (EC 2250 mikromho/cm'den fazla), çok tuzlu sular: Geçirgenliği ve akaçlaması çok iyi topraklarda, zeminin yıkanmasını sağlamak için bol su verilmelidir ve tuza fazla dayanıklı bitki türleri seçilmelidir.

Genel sodyum tehlikesi özellikleri:

S1, az sodyumlu sular: hemen tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir,

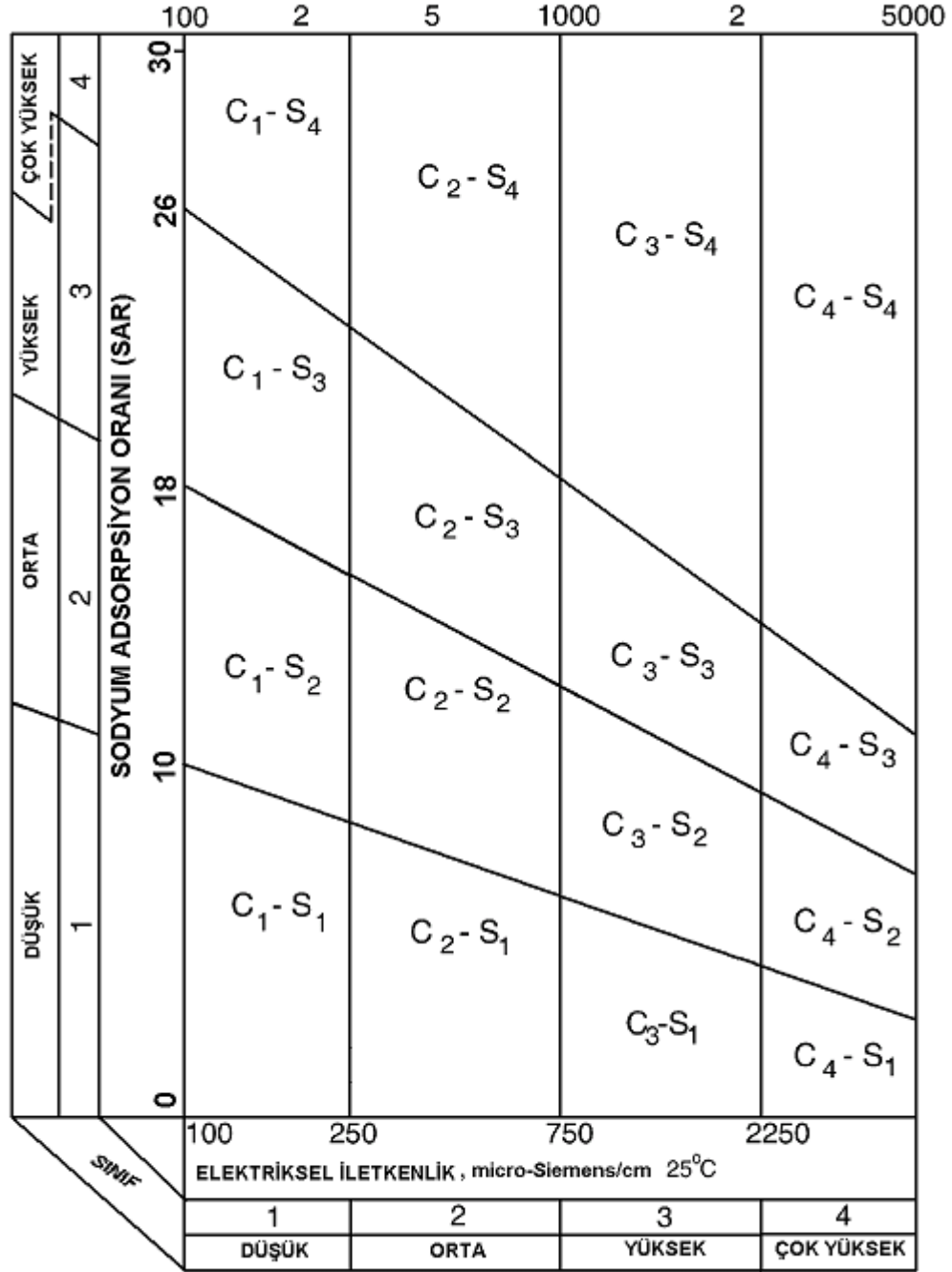
S2, orta sodyumlu sular: geçirgen veya bol jipsli arazilerde kullanılabilir. Yıkama ile toprağın tuzluluğu azaltılıyorsa, özellikle bu tip sular kullanılmalıdır.

S3, yüksek sodyumlu sular: bir çok toprak cinslerinde sodyum tehlikesi olabilir. Çok iyi geçirgen ve akaçlama gösteren arazilerde bol su kullanarak, belirli sürelerde yapılacak kimyasal analizlerle sodyum tehlikesi denetlenmelidir,

S4, çok yüksek sodyumlu sular: genel olarak, sulama için uygun değildir. Ancak, suyun toplam tuz miktarı düşük ise, sulamada kullanılabilir.

Böylece, C1S1, C2S1, C3S1 her türlü sulamada, C4S1, C3S2 bazı özel koşullarda kullanılabilir. C4S2, C4S3 sulamada kullanılamaz. Ancak, Türkiye gibi yarı-kurak ülkeler, oldukça tuzlu suları sulamada kullanmak zorundadırlar. Suyun pH'ı, sulamada önemli bir yer tutar ve genel olarak pH 9'u geçmemelidir. Toplam iyon miktarı 7.5 meq/l'den az sular, genellikle her türlü sulamaya uygundur. İyon miktarı arttıkça suyun sulama özelliği azalır ve bu değer 22.5 meq/l'yi geçtiğinde sulama için elverişli değildir. Bu sınıflamadan yararlanarak, değişik bitki türlerinin

tuza karşı duyarlılıkları belirlenmiştir. Bu çalışmada, sular, sulama amacıyla yukarıda belirtilen sınıflamalara tabi tutulmuştur.



Şekil 3.13.Örnek bir ABD tuzluluk diyagramı



### 3.2.3.3. Hidrokimyasal Fasiyes Sınıflaması

Hidrokimyasal fasiyes terimi, jeologlar tarafından kullanılan fasiyes tanımının bir başka ifadesidir. Fasiyes, herhangi bir cisim veya sistemin birbirinden farklı fakat birbiriyle jenetik (köken) olarak ilişkili parçaları olarak tanımlanır (Freeze and Cherry, 1979). Bir akiferde su akarken litolojik yapıyla etkileşime uygun karakteristik bir kimyasal bileşim sunar. Hidrokimyasal fasiyes terimi, bir akiferde kimyasal bileşimleri farklı olan YAS kütlelerini tanımlamak için kullanılır. Söz konusu fasiyesler akiferin litolojisinin, çözelti kinetiklerinin ve akış paternlerinin bir fonksiyonudur (Fetter, 2001; Back, 1960; 1966). Bu bölümde suların kökensel sınıflaması, aşağıda açıklanan Piper Diyagramı ve Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı'na göre yapılmıştır.

#### 3.2.3.3.1.Piper Sınıflaması (Piper, 1944)

Suları gruplandırmak ve tiplerini belirlemede kullanılan bu diyagramlar bir eşkenar üçgenden ibarettir (Şekil 3.14). Bu metotta iyonlar % meq/L değerleri ile diyagrama geçirilir. Anyonlar ve katyonlar için ayrı ayrı birer üçgen kullanılabileceği gibi, tek bir üçgene hem anyon hem katyonlarda işaretlenebilir. Eşkenar dörtgende suyu temsil eden noktanın bulunduğu bölge suyun ana karakterini gösterir. Bütün sular için noktalar işaretlendiğinde, aynı kökenli sular yaklaşık olarak aynı bölgede toplanır. Böylece üçgen diyagramlar suların tiplerini belirlemek ve suları gruplandırmakta faydalı olurlar. Bu sınıflamaya göre her bir üçgende anyon ve katyonların kimyasal özelliklerini saptamak mümkündür; ayrıca, paralel kenar diyagram dokuz bölüme ayrılmıştır.

-1 nolu alan: Alkali toprak elementler (Ca+Mg) > Alkali elementler (Na+K)

-2 nolu alan: (Ca+Mg) < (Na+K)

-3 nolu alan: Zayıf asit kökleri ( $\text{CO}_3^{=}$  +  $\text{HCO}_3^{-}$ ) > Güçlü asit kökleri ( $\text{Cl}^{-}$  +  $\text{SO}_4^{=}$ )

- 4 nolu alan: ( $\text{SO}_4^{=}$  +  $\text{Cl}^{-}$ ) > ( $\text{CO}_3^{=}$  +  $\text{HCO}_3^{-}$ )

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

- 6 nolu alan: Karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular;

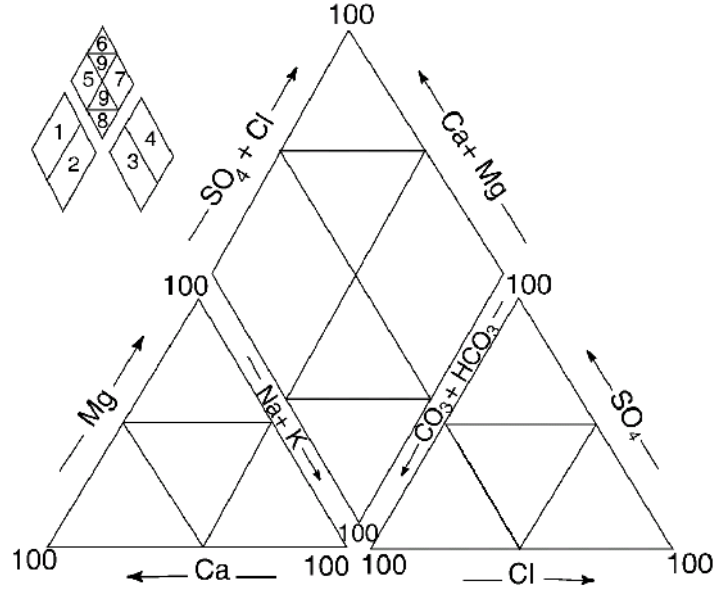
$\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$

- 7 nolu alan: Karbonat olmayan alkalitesi %50'den fazla olan sular:

$\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır;

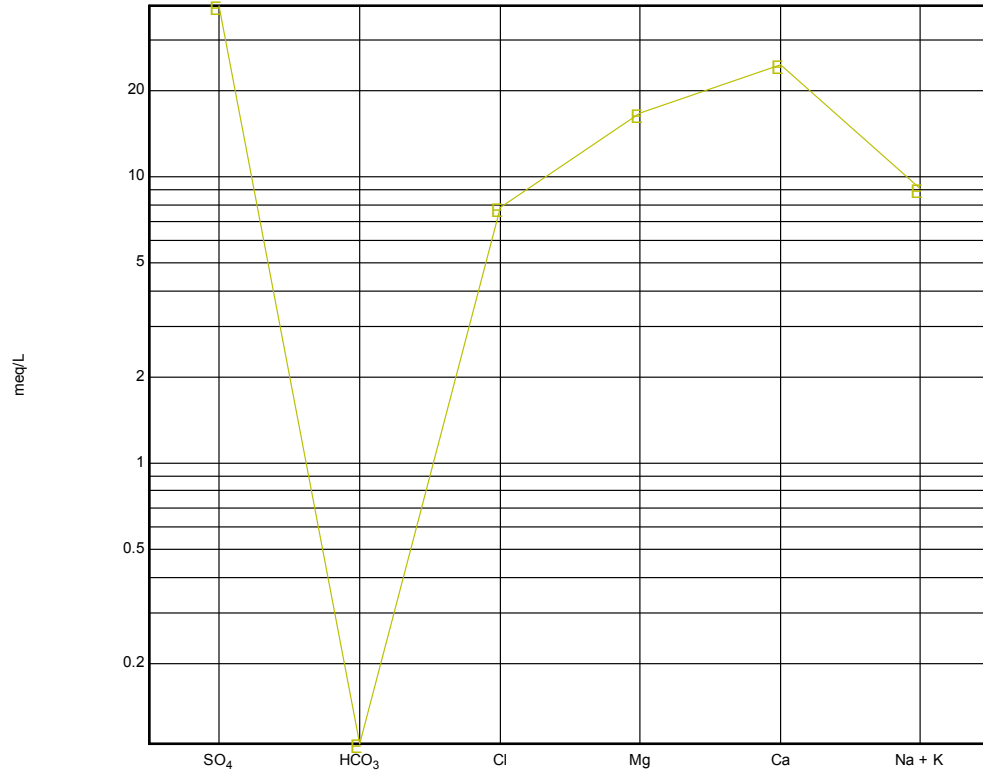
- 8 nolu alan: Karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer

- 9 nolu alan: İyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen, karışık sular bu alana girer.



Şekil 3.14. Örnek bir Piper diyagramı

**3.2.3.3.2.Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı (Schoeller, 1955; 1962):** Bu diyagramda yatay eksene belirli aralıklar ile  $r\text{Ca}^{+2}$ ,  $r\text{Mg}^{+2}$ ,  $r(\text{Na}^{+}+\text{K}^{+})$ ,  $r\text{Cl}^{-}$ ,  $r\text{SO}_4^{-2}$  ve  $r\text{HCO}_3^{-}$  iyonları sıralanır. Düşey eksen logaritmik ölçeklidir. Bir su örneği, bu diyagramda gösterilirken her iyonun meq/L (r) değeri, kendine ait logaritmik eksende işaretlenerek elde edilen noktalar birleştirilir (Şekil 3.15). Böylece bir su, kırık çizgiler halinde temsil edilmiş olur. Ayrıca bu diyagramda birden fazla su bir arada gösterilebilir. Her iyonun değeri tek başına görülebildiği gibi, iyonların birbirine oranları da bir bakışta görülebilir. Yarı logaritmik diyagrama çizilen su analizlerinde, kırık çizgileri birbirine paralel sular, aynı tür formasyondan gelen suları gösterir.

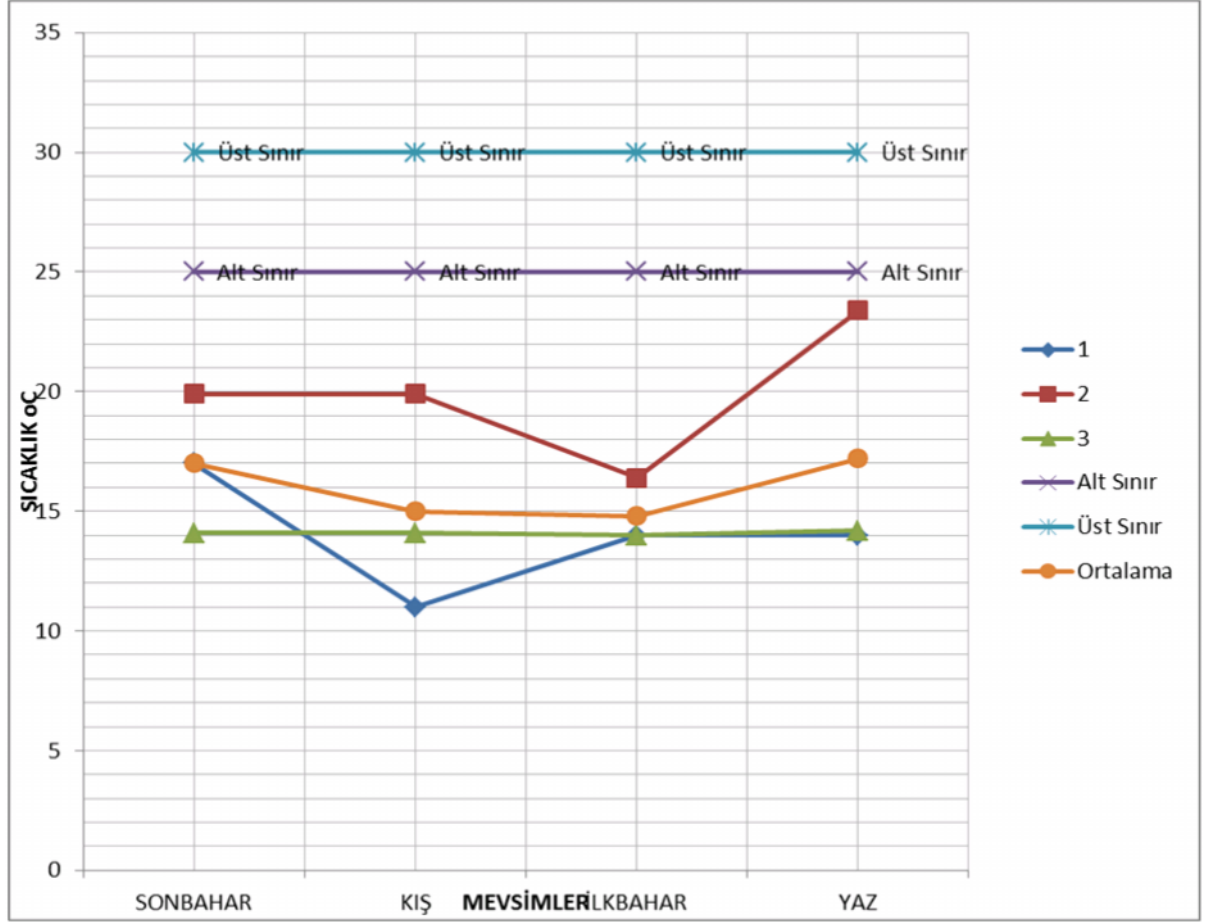


Şekil 3.15. Örnek bir yarı logaritmik Schoeller diyagramı

**4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****4.1. Su Kalitesi Sınıflamaları****4.1.1.İnsani tüketim amaçlı suların sınıflamaları****4.1.1.1.Sıcaklık**

Çizelge 4.1. Sıcaklık Ölçümleri

		<b>SICAKLIK (°C)</b>			
<b>Örnekleme Dönemi</b>	<b>Örnekleme Noktası</b>	<b>SONBAHAR</b>	<b>KIŞ</b>	<b>İLKBAHAR</b>	<b>YAZ</b>
	<b>1</b>	17,00	11,00	14,00	14,00
	<b>2</b>	19,90	19,90	16,40	23,40
	<b>3</b>	14,10	14,10	14,00	14,20
	<b>Ortalama</b>	17,00	15,00	14,80	17,20
	<b>Alt Sınır</b>	25,00	25,00	25,00	25,00
	<b>Üst Sınır</b>	30,00	30,00	30,00	30,00



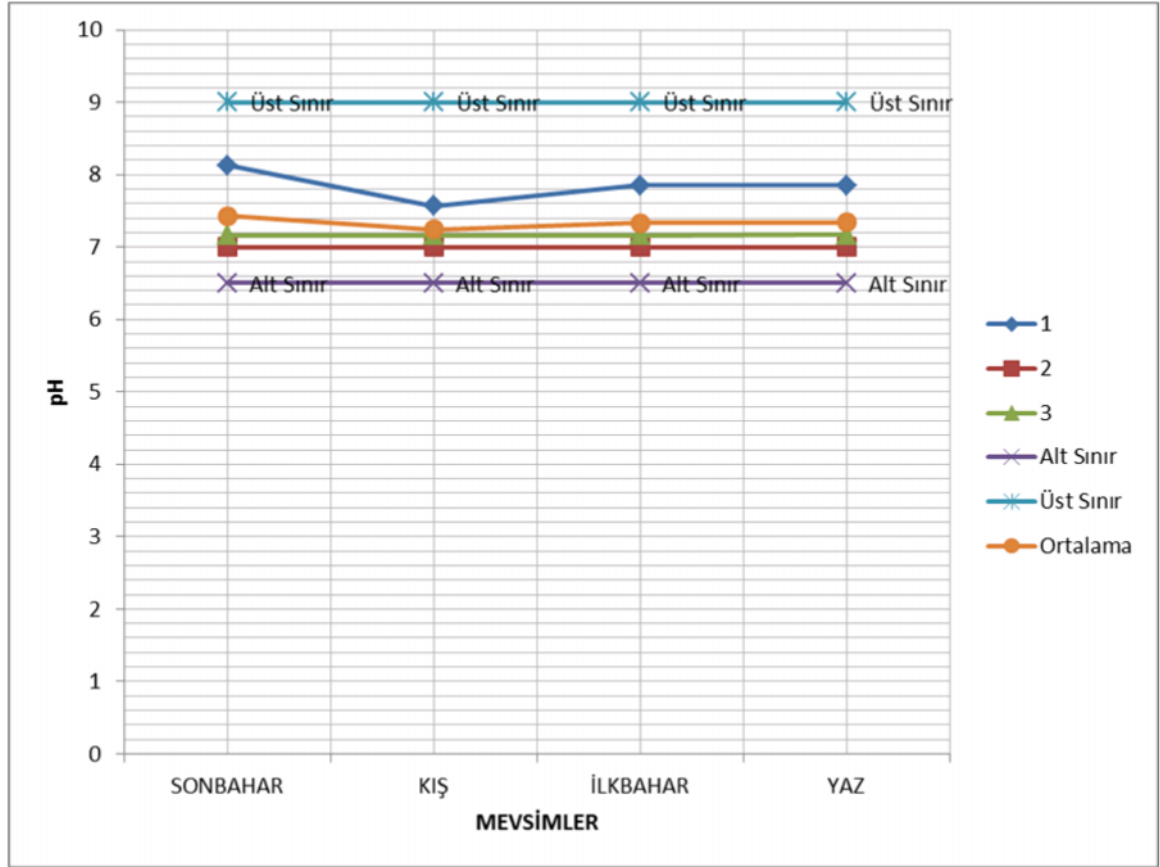
Şekil 4.1.Sıcaklık değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin sıcaklık değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre alt sınırın altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.2.Ph

Çizelge4.2. pH Ölçümleri

Örnekleme Dönemi Örnekleme Noktası	pH			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	8,13	7,57	7,85	7,85
2	7,00	7,00	7,00	7,00
3	7,16	7,16	7,16	7,17
Ortalama	7,43	7,24	7,33	7,34
Alt Sınır	6,50	6,50	6,50	6,50
Üst Sınır	9,00	9,00	9,00	9,00



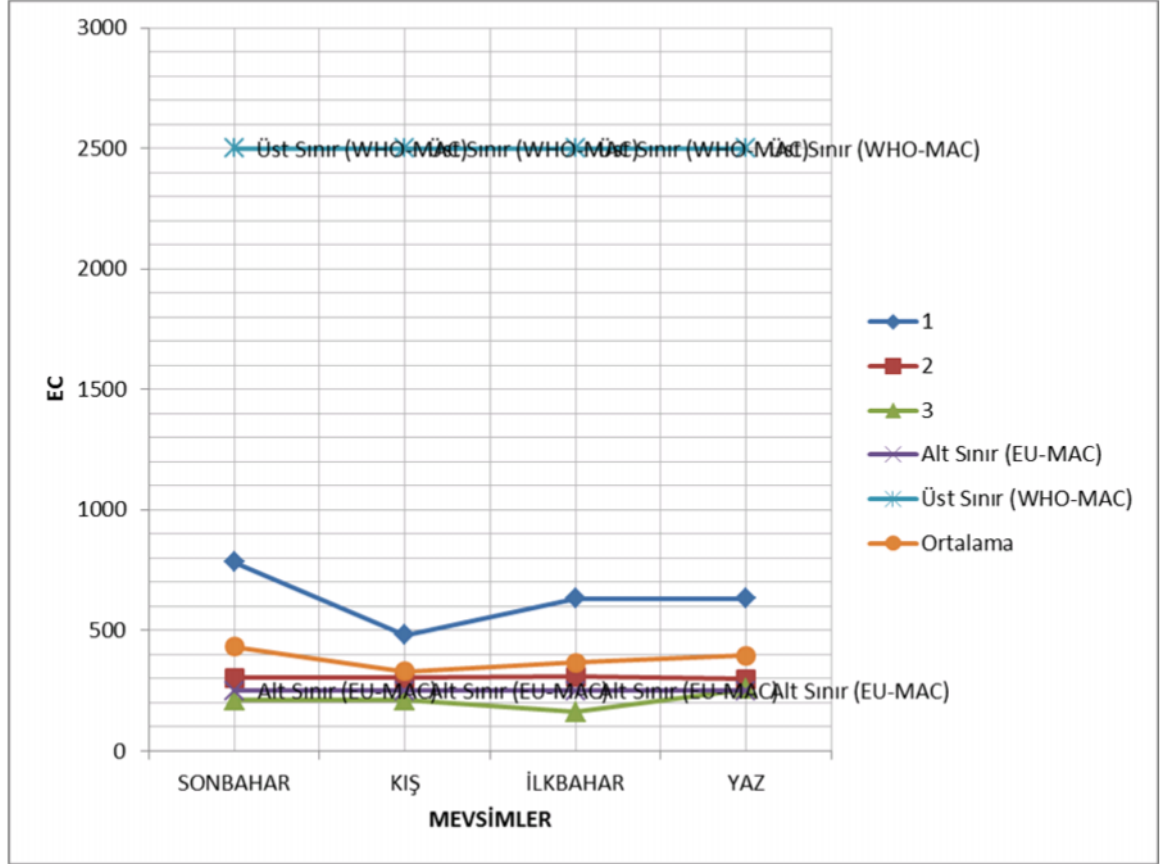
Şekil 4.2. pH değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin pH ölçümlerinin Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre; alt sınır ve üst sınır aralığında olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.1.3.EC

Çizelge 4.3. EC Ölçümleri

Örnekleme Dönemi Örnekleme Noktası	EC			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	783,00	480,00	631,50	631,50
2	303,00	303,00	308,00	298,00
3	210,40	210,40	162,80	258,00
Ortalama	432,13	331,13	367,43	395,83
Alt Sınır (EU-MAC)	250,00	250,00	250,00	250,00
Üst Sınır (WHO-MAC)	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00



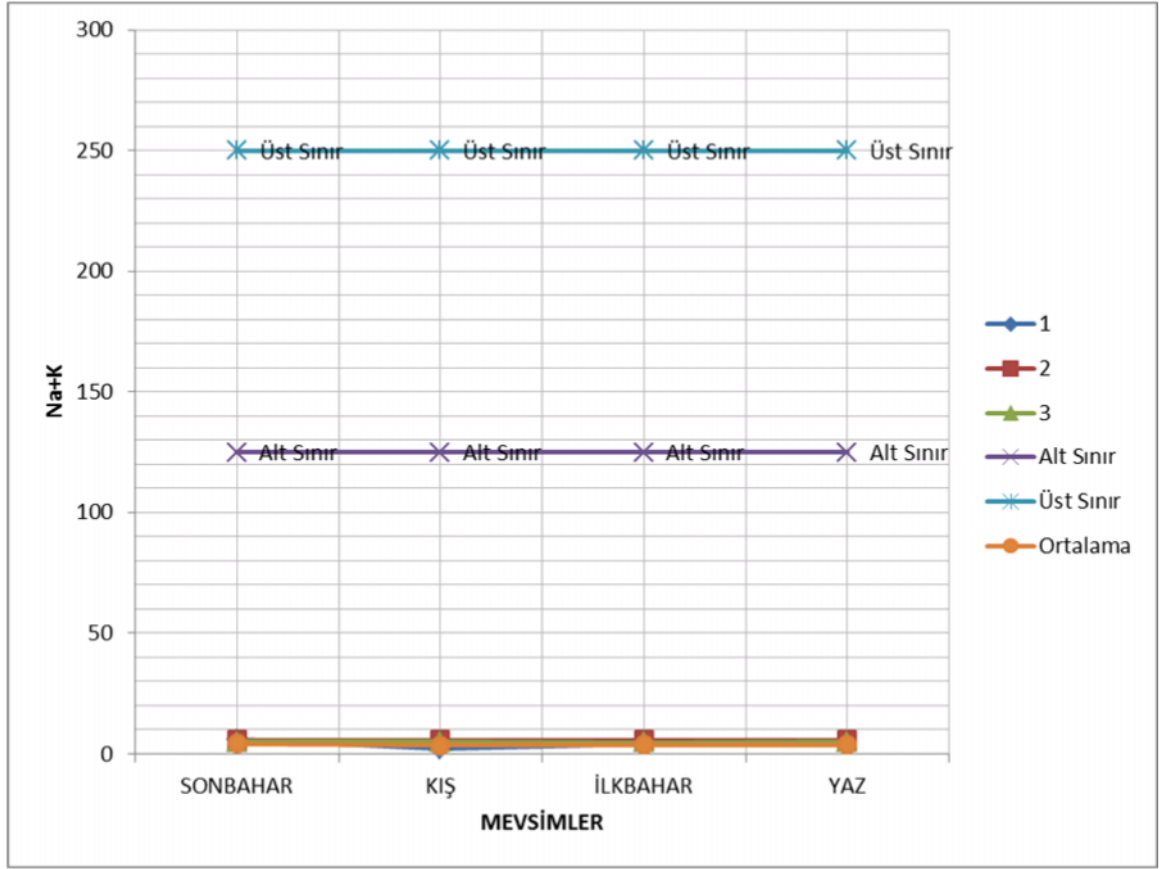
Şekil 4.3. EC değerlerinin mevsimsel değerleri

1. ve 2. örnekleme noktalarından alınan su örneklerinin EC değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır ve üst sınır aralığında, 3. örnekleme noktasından alınan su örneklerinin ise sonbahar, kış ve ilkbahar dönemlerinde EC değerlerinin alt sınırın altında, yaz döneminde ise alt sınır ve üst sınır aralığında olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.1.4.Sodyum ( $\text{Na}^+$ ) ve potasyum ( $\text{K}^+$ )

Çizelge 4.4. Sodyum ve Potasyum Ölçümleri

Örnekleme Dönemi Örnekleme Noktası	Na+K			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	5,91	2,09	4,00	4,00
2	5,68	5,68	5,68	5,69
3	4,89	4,89	4,76	5,02



Şekil 4.4. Sodyum ve Potasyum değerlerinin mevsimsel değerleri

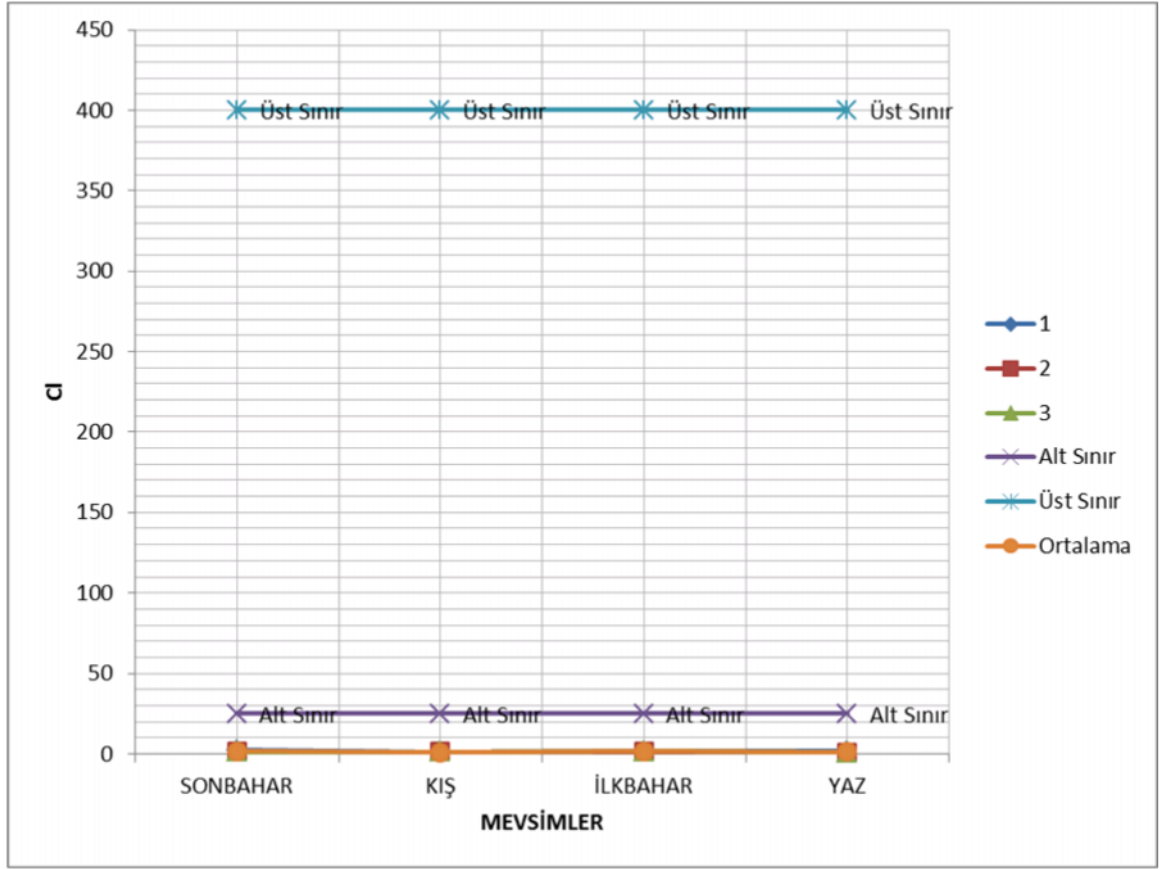
Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin Na+K ölçümlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre alt sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.5.Klorür (Cl)

Çizelge 4.5.Klorür Ölçümleri

Örnekleme Dönemi Örnekleme Noktası	Cl			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	< 2,50	0,77	1,58	1,58
2	1,10	1,10	1,31	0,90
3	1,13	1,13	1,48	0,79
Ortalama	1,54	1,00	1,45	1,09
Alt Sınır	25,00	25,00	25,00	25,00
Üst Sınır	400,00	400,00	400,00	400,00





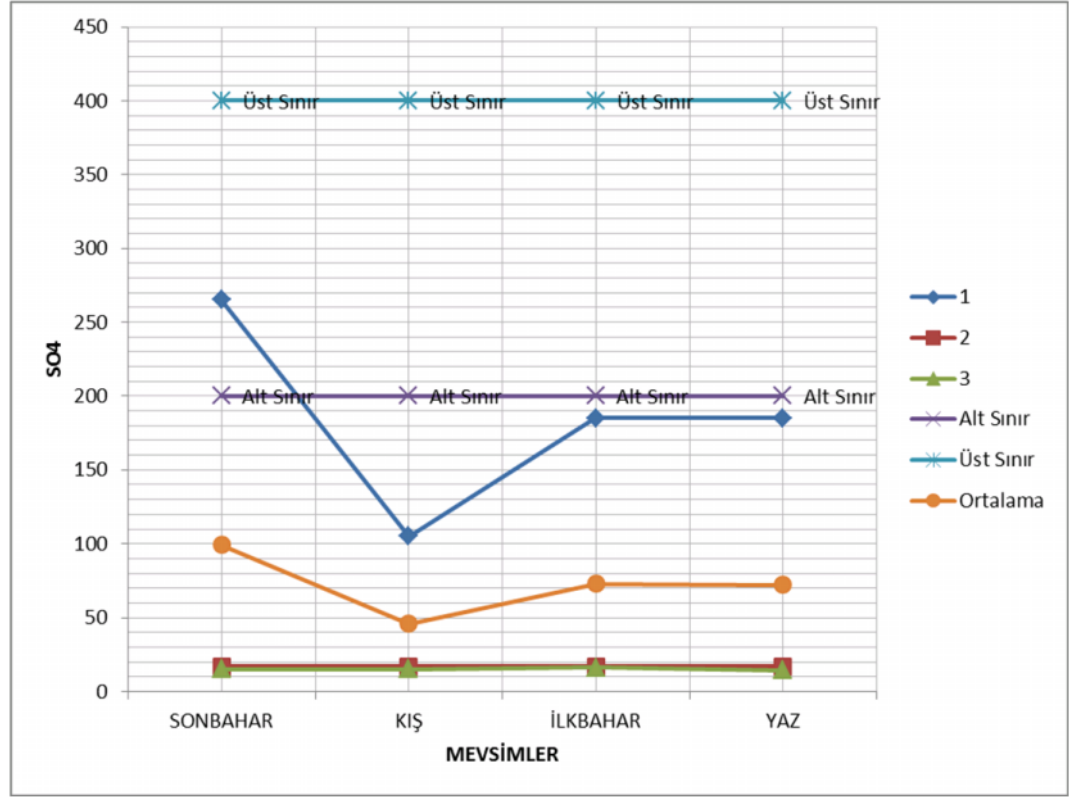
Şekil 4.5. Klorür değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin  $Cl^-$  değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir.

#### 4.1.1.6.Sülfat ( $SO_4^{-2}$ )

Çizelge 4.6. Sülfat Ölçümleri

SO4-2				
Örnekleme Dönemi / Örnekleme Noktası	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	265,20	105,08	185,14	185,14
2	16,88	16,88	16,96	16,81
3	15,19	15,19	16,13	14,25
Ortalama	99,09	45,71	72,74	72,06
Alt Sınır	200,00	200,00	200,00	200,00
Üst Sınır	400,00	400,00	400,00	400,00



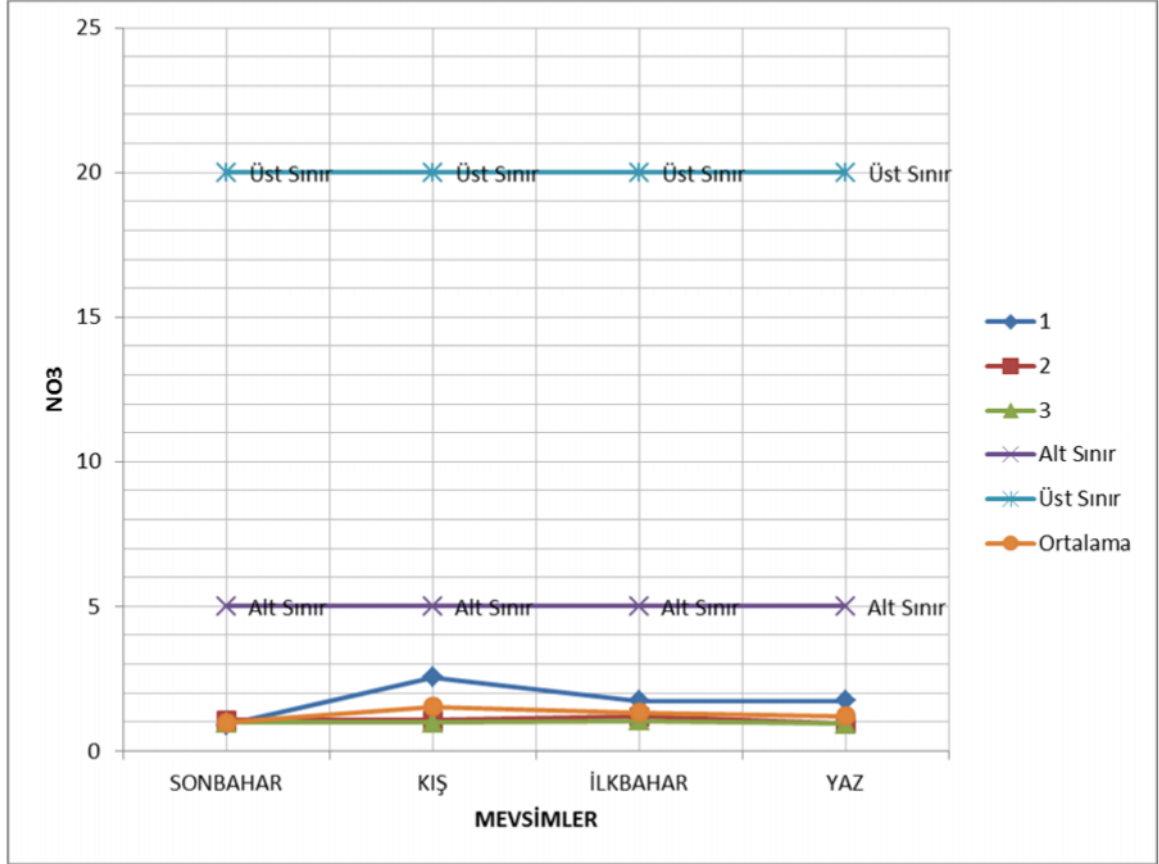
Şekil 4.6. Sülfat değerlerinin mevsimsel değişimi

1. örnekleme noktasından sonbahar döneminde alınan su örneğinin sülfat değerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır ve üst sınır aralığında, diğer dönemlerde ve diğer örnekleme noktalarından tüm dönemlerde alınan su örneklerinin sülfat değerlerinin alt sınırın altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.7.Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )

Çizelge 4.7. Nitrat Ölçümleri

NO3-1				
Örnekleme Dönemi / Örnekleme Noktası	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	< 1	2,55	1,72	1,72
2	1,07	1,07	1,19	0,95
3	0,99	0,99	1,04	0,94
Ortalama	0,98	1,53	1,31	1,20
Alt Sınır	5,00	5,00	5,00	5,00
Üst Sınır	20,00	20,00	20,00	20,00



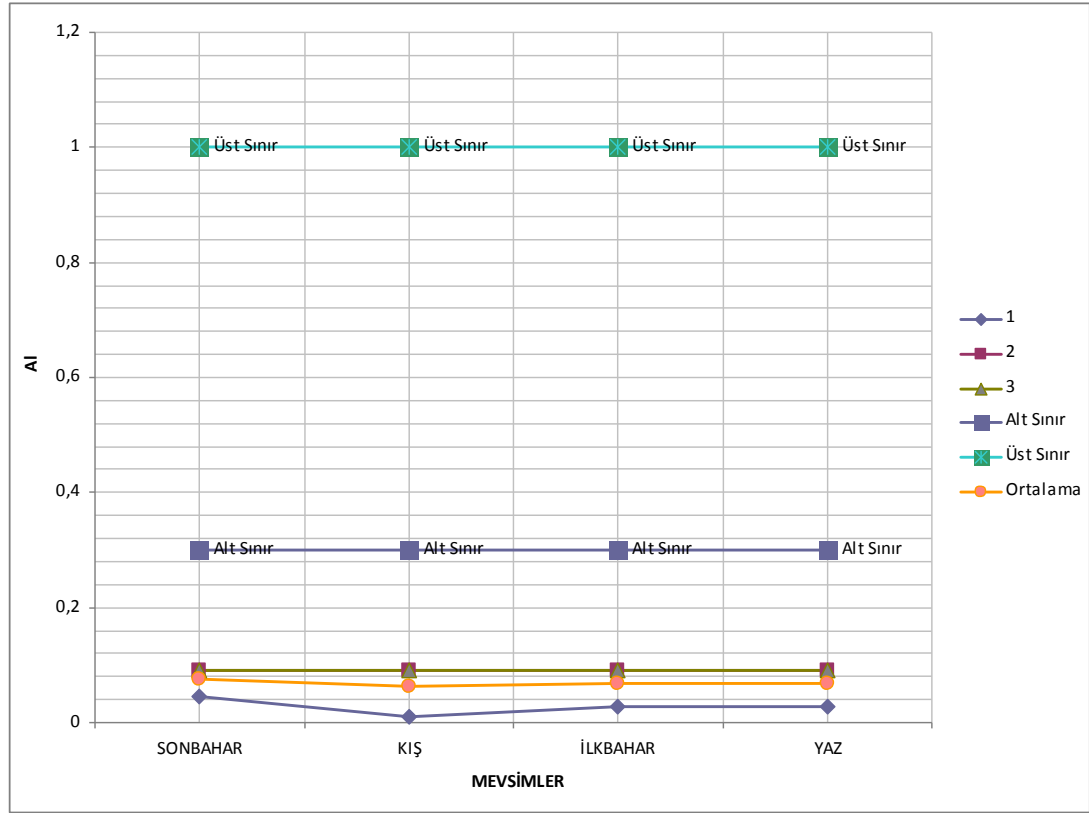
Şekil 4.7. Nitrat değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin nitrat ölçümlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.8. Alüminyum

Çizelge 4.8. Alüminyum Ölçümleri

		Al			
Örnekleme Dönemi		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası					
1		0,04	0,00	0,02	0,02
2		0,09	0,09	0,09	0,09
3		0,09	0,09	0,09	0,09
Ortalama		0,07	0,06	0,06	0,06
Alt Sınır		0,30	0,30	0,30	0,30
Üst Sınır		1,00	1,00	1,00	1,00



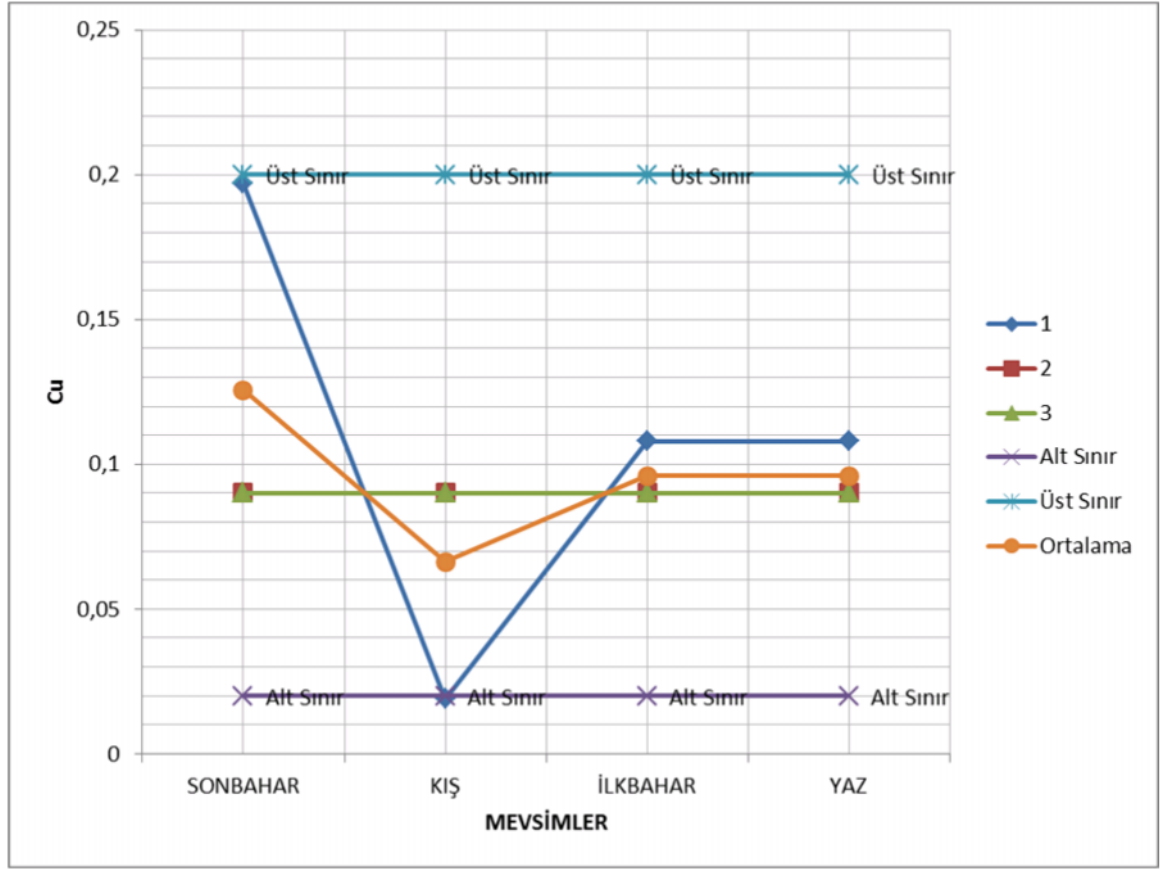
Şekil 4.8. Alüminyum değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin alüminyum ölçümlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.9.Bakır

Çizelge 4.9.Bakır Ölçümleri

		Cu			
Örnekleme Dönemi		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası					
1		0,19	< 0,02	0,10	0,10
2		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
3		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ortalama		0,12	0,06	0,09	0,09
Alt Sınır		0,02	0,02	0,02	0,02
Üst Sınır		0,20	0,20	0,20	0,20



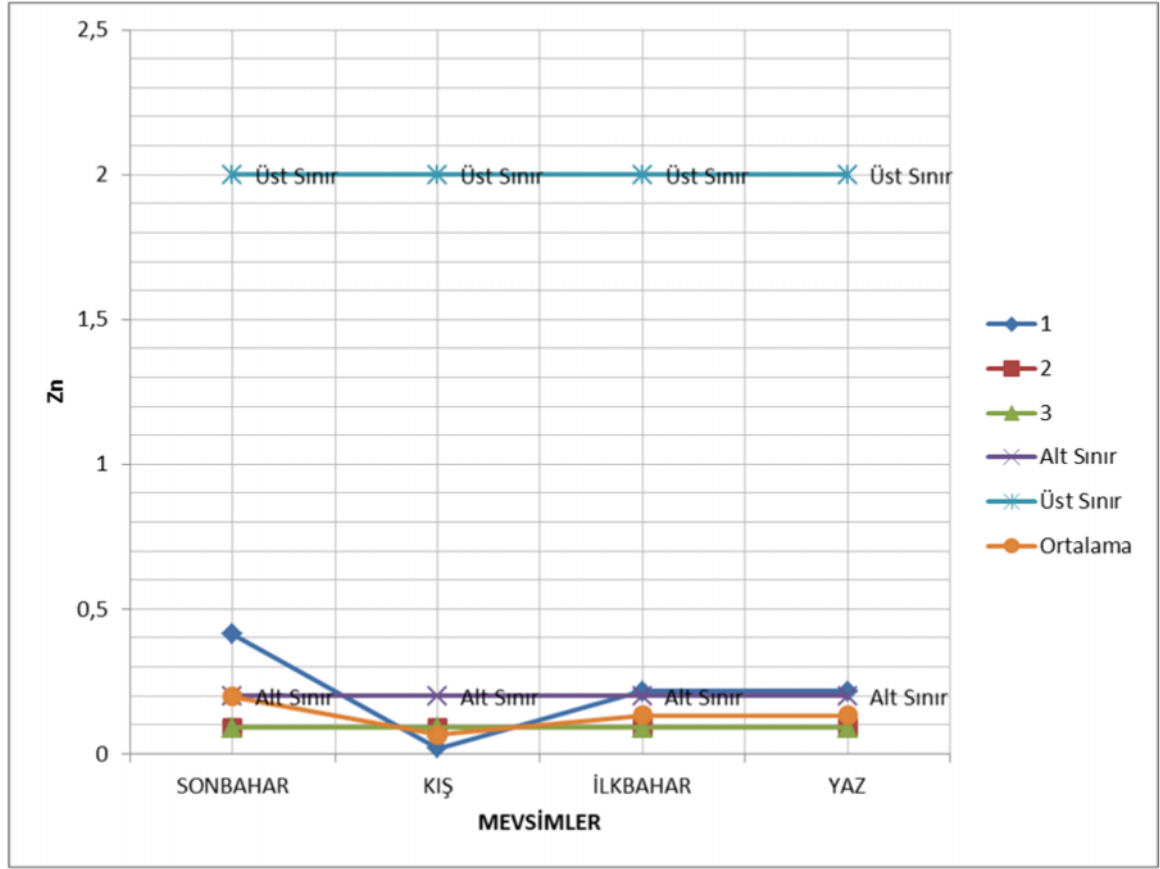
Şekil 4.9. Bakır eğerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin bakır değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır ve üst sınır değerlerinin arasında olduğu belirlenmiştir.

#### 4.1.1.10.Çinko

Çizelge 4.10. Çinko Ölçümleri

Örnekleme Dönemi Örnekleme Noktası	Zn			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	0,41	< 0,02	0,21	0,21
2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ortalama	0,19	0,06	0,13	0,13
Alt Sınır	0,20	0,20	0,20	0,20
Üst Sınır	2,00	2,00	2,00	2,00



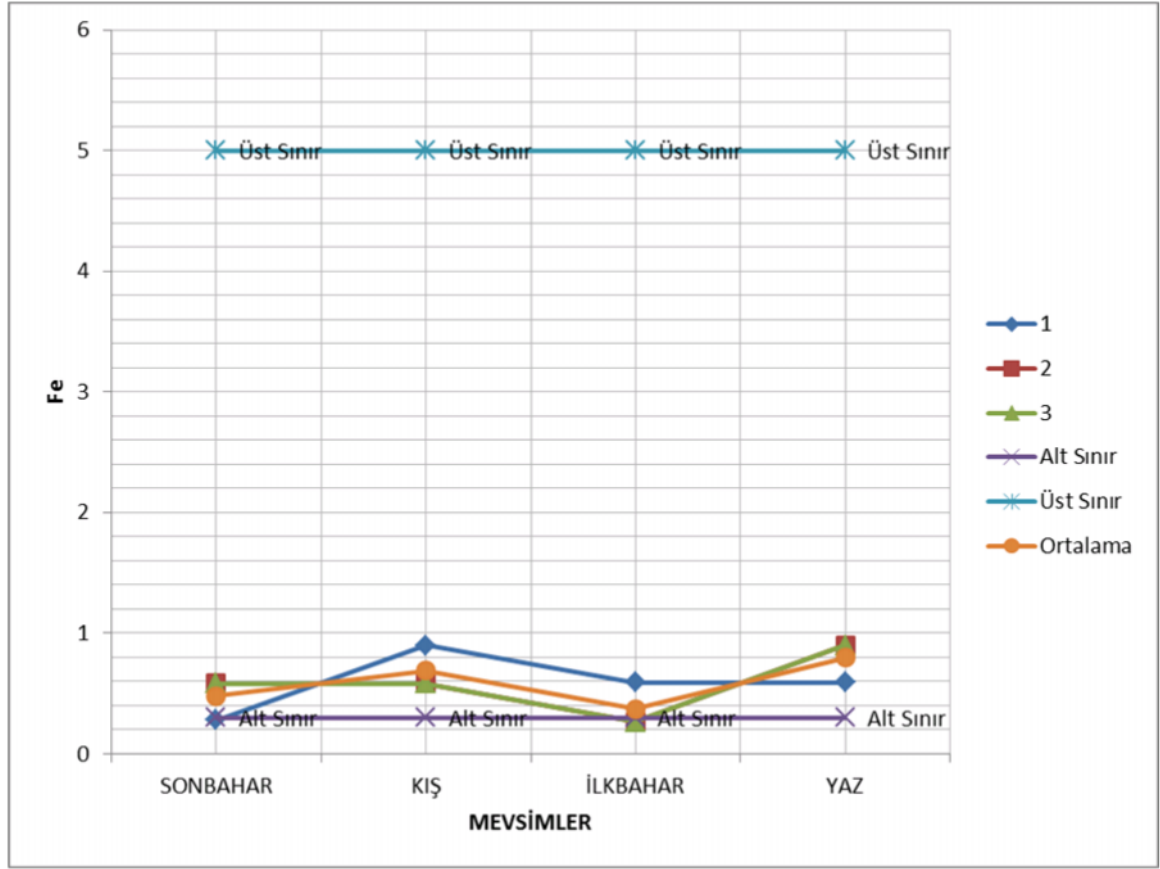
Şekil 4.10. Çinko değerlerinin mevsimsel değişimi

1. örnekleme noktasından sonbahar döneminde alınan su örneğinin çinko değerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır ve üst sınır aralığında, diğer dönemlerde alt sınır ve üst sınır aralığında ve diğer örnekleme noktalarından tüm dönemlerde alınan su örneklerinin çinko değerlerinin alt sınırın altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.11. Demir

Çizelge 4.11. Demir Ölçümleri

Örnekleme Dönemi / Örnekleme Noktası	Fe			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	0,28	< 1	0,59	0,59
2	0,58	0,58	0,26	< 1
3	0,58	0,58	0,26	< 1
Ortalama	0,48	0,68	0,37	0,79
Alt Sınır	0,30	0,30	0,30	0,30
Üst Sınır	5,00	5,00	5,00	5,00



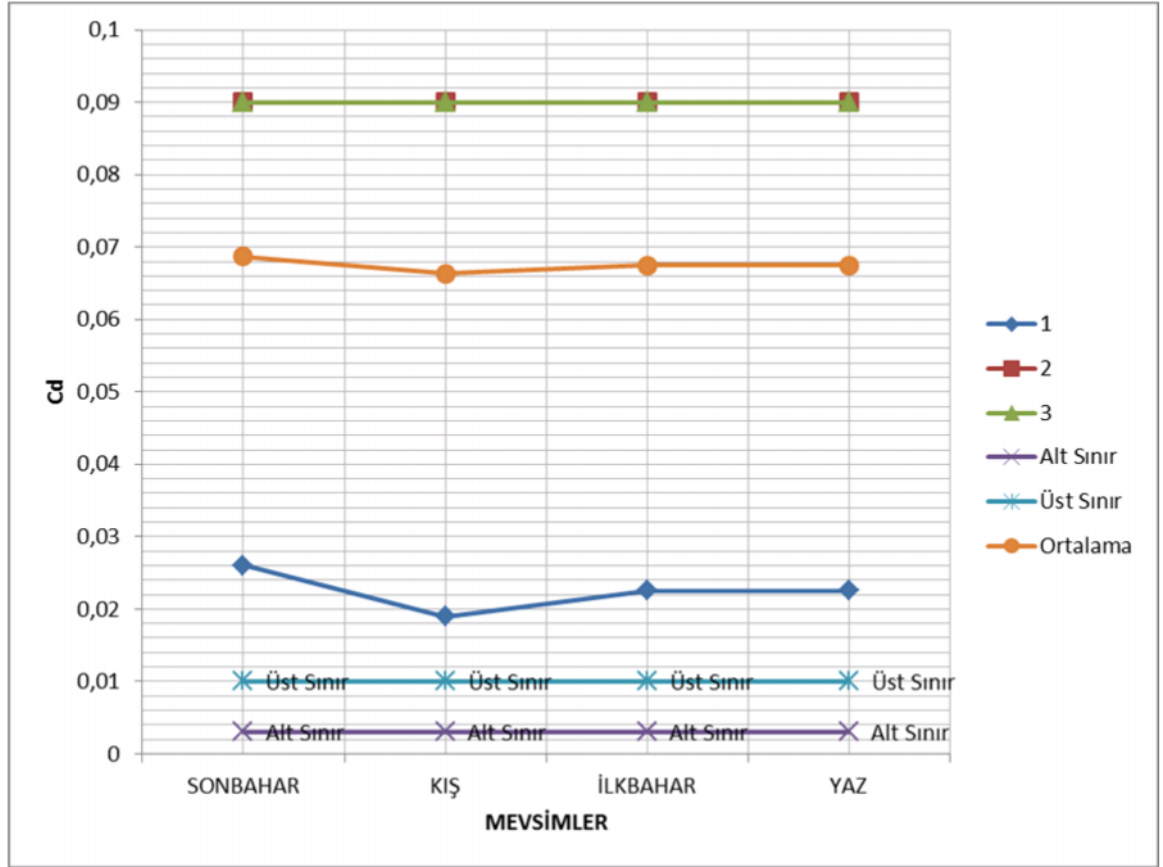
Şekil 4.11. Demir değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin demir değerlerinin , Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır ve üst sınır değerlerinin arasında olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.1.12.Kadmiyum

Çizelge 4.12. Kadmiyum ölçümleri

Örnekleme Dönemi Örnekleme Noktası	Cd			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	0,02	< 0,02	0,02	0,02
2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ortalama	0,06	0,06	0,06	0,06
Alt Sınır	0,003	0,003	0,003	0,003
Üst Sınır	0,01	0,01	0,01	0,01



Şekil 4.12. Kadmiyum değerlerinin mevsimsel değişimi

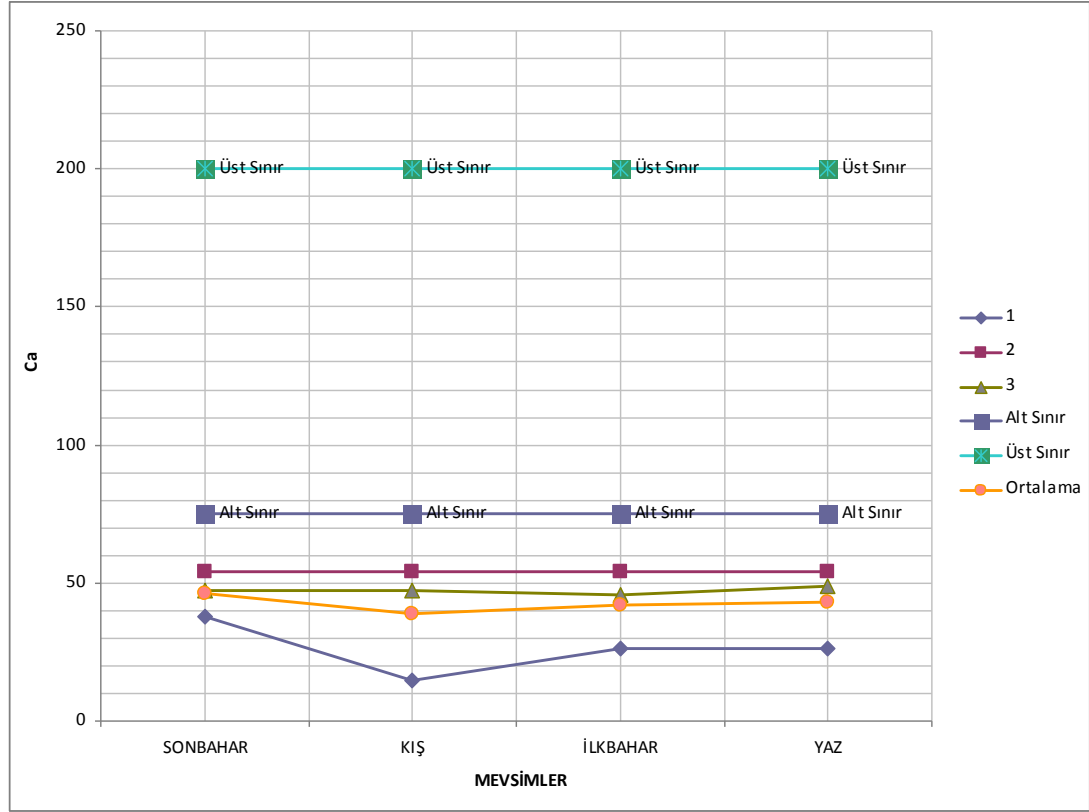
Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin kadmiyum değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, üst sınırın üstünde olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.1.13. Kalsiyum

Çizelge 4.13. Kalsiyum Ölçümleri

		Ca			
Örnekleme Dönemi		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası					
1		37,93	14,89	26,41	26,41
2		54,04	54,04	53,85	54,23
3		47,27	47,27	45,83	48,72
<b>Ortalama</b>		46,41	38,73	42,03	43,12
<b>Alt Sınır</b>		75,00	75,00	75,00	75,00
<b>Üst Sınır</b>		200,00	200,00	200,00	200,00





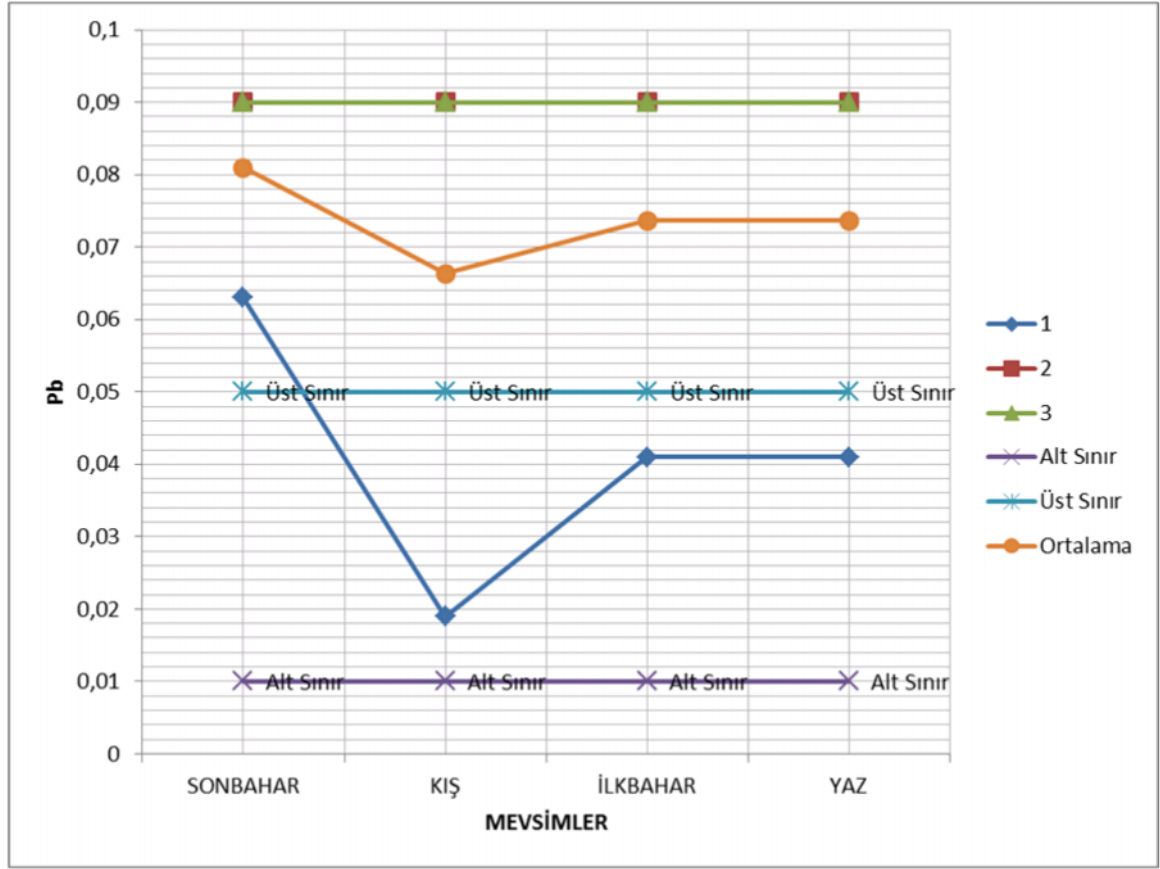
Şekil 4.13. Kalsiyum değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin kalsiyum değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınırın altında olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.1.14.Kurşun(Pb)

Çizelge 4.14. Kurşun Ölçümleri

Örnekleme Dönemi / Örnekleme Noktası		Pb			
		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1		0,06	< 0,02	0,04	0,04
2		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
3		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ortalama		0,08	0,06	0,07	0,07
Alt Sınır		0,01	0,01	0,01	0,01
Üst Sınır		0,05	0,05	0,05	0,05



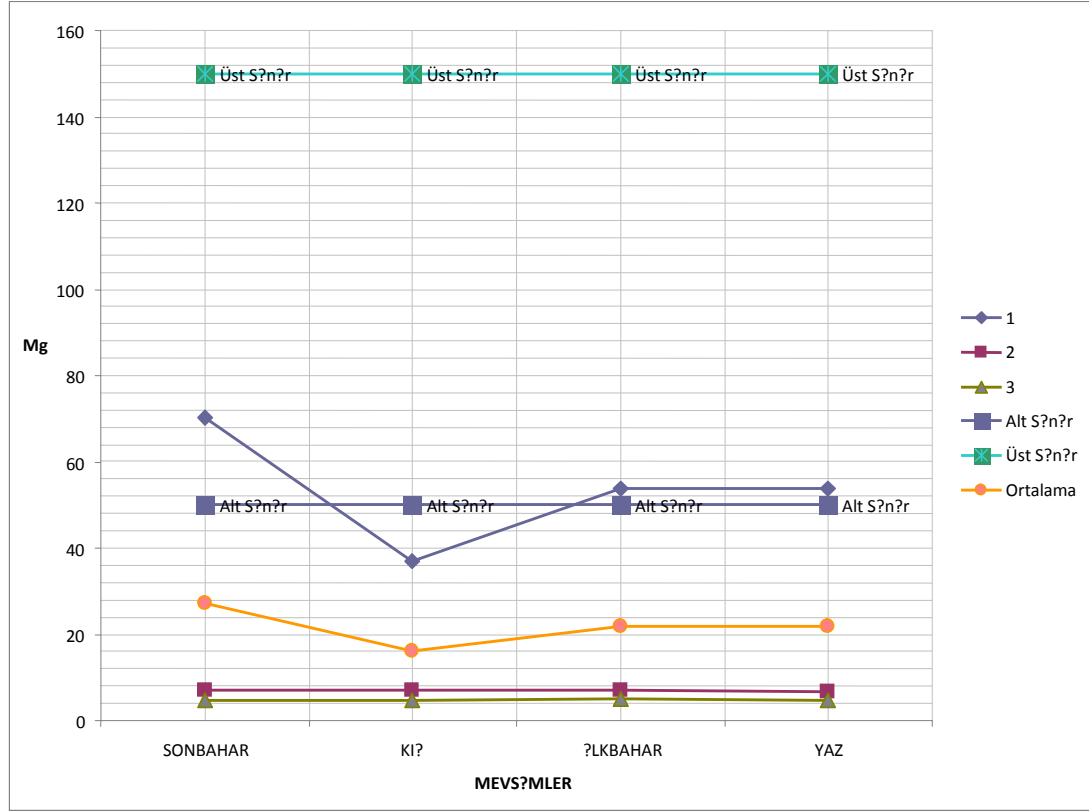
Şekil 4.14. Kurşun değerlerinin mevsimsel değişimi

1. örnekleme noktasından kış, ilkbahar ve yaz döneminde alınan su örneklerinin kurşun değerlerinin alt sınır –üst sınır aralığında, sonbahar döneminde ve diğer örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin kurşun değerlerinin ise üst sınırın üstünde olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.15.Magnezyum

Çizelge 4.15. Magnezyum Ölçümleri

		Mg			
Örnekleme Dönemi		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası					
1		70,4	36,91	53,65	53,65
2		6,90	6,90	6,98	6,82
3		4,81	4,81	4,94	4,68
<b>Ortalama</b>		<b>27,37</b>	<b>16,20</b>	<b>21,86</b>	<b>21,71</b>
<b>Alt Sınır</b>		<b>50,00</b>	<b>50,00</b>	<b>50,00</b>	<b>50,00</b>
<b>Üst Sınır</b>		<b>150,00</b>	<b>150,00</b>	<b>150,00</b>	<b>150,00</b>



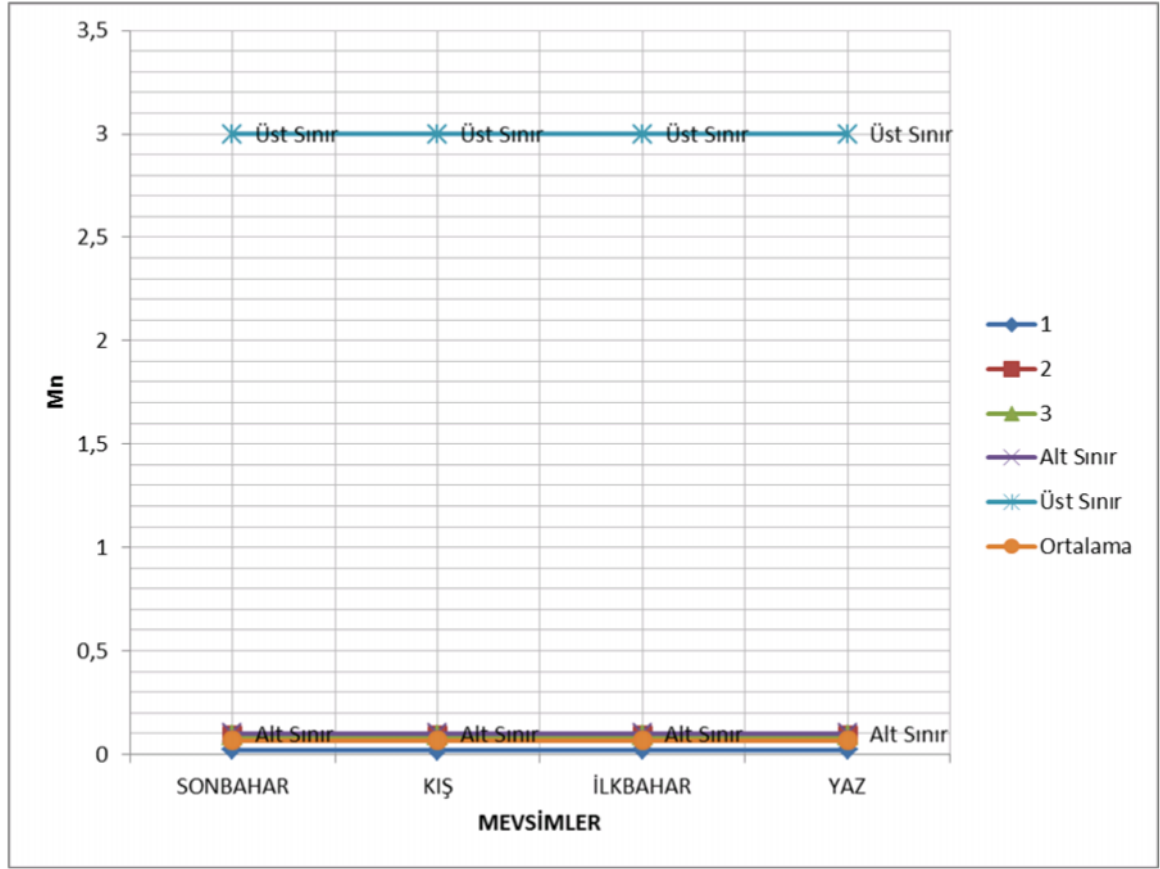
Şekil 4.15. Magnezyum değerlerinin mevsimsel değişimi

1. örnekleme noktasından sonbahar döneminde alınan su örneğinin magnezyum değerinin alt sınır ve üst sınır aralığında kış döneminde alt sınırın altında ilkbahar ve yaz döneminde ise alt sınır üst sınır aralığında olduğu, diğer örnekleme noktalarından tüm dönemlerde alınan su örneklerinin magnezyum değerlerinin alt sınırın altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.16.Mangan

Çizelge 4.16. Mangan ölçümleri

		Mn			
Örnekleme Dönemi		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası					
1		0,022	< 0,02	0,02	0,02
2		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
3		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ortalama		0,06	0,06	0,06	0,06
Alt Sınır		0,10	0,10	0,10	0,10
Üst Sınır		3,00	3,00	3,00	3,00



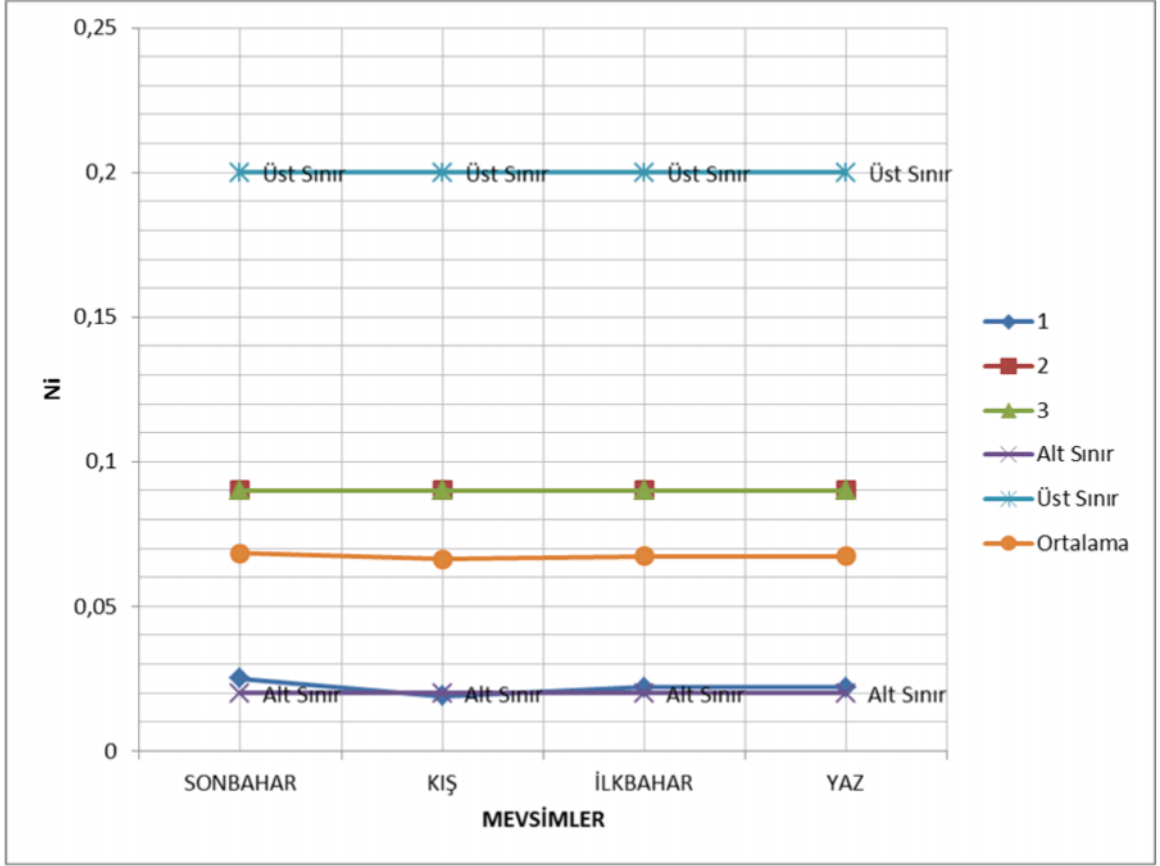
Şekil 4.16. Mangana değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin mangana değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır değerlerinin altında olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.1.17. Nikel

Çizelge 4.17. Nikel ölçümleri

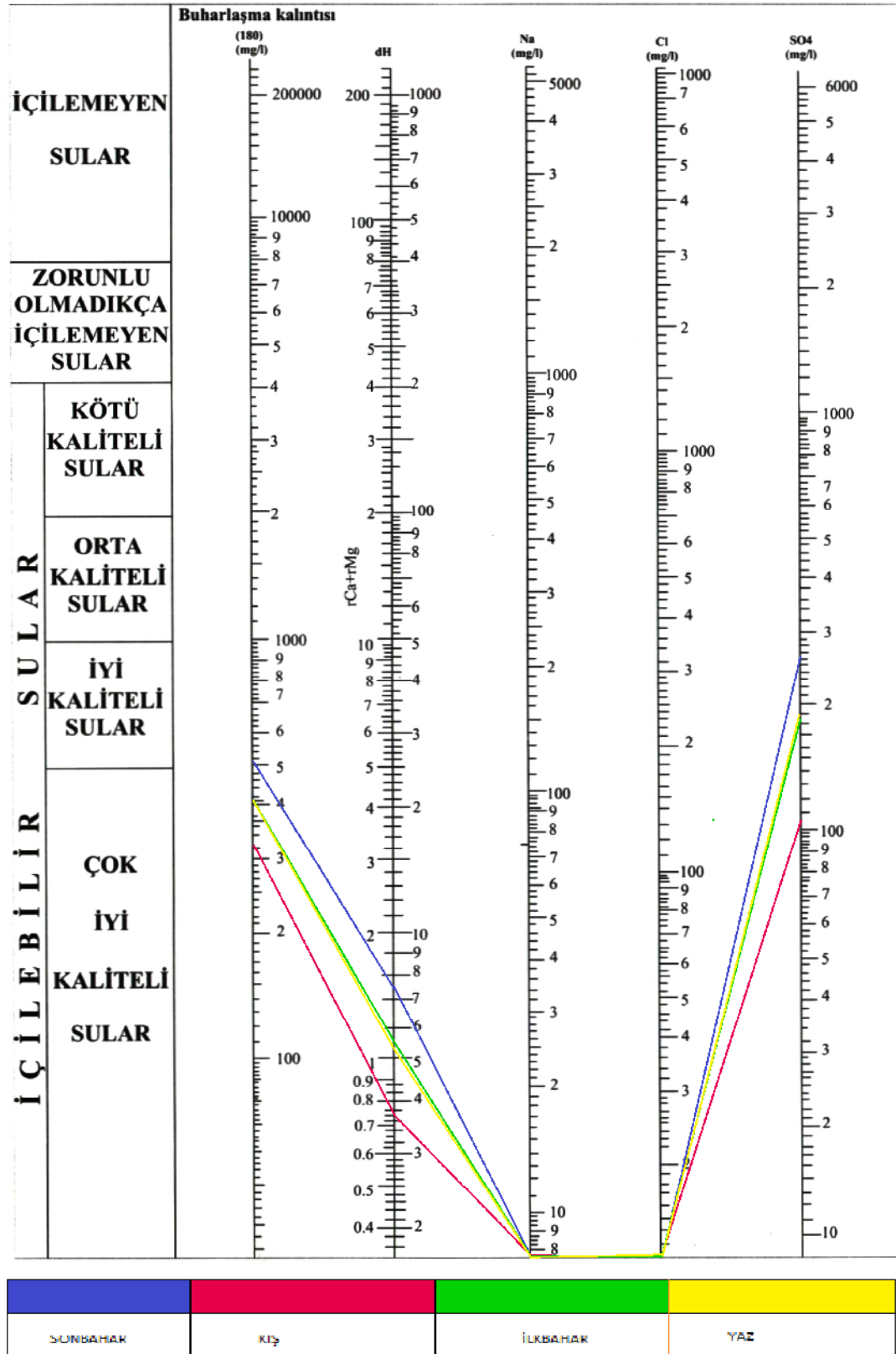
		Ni			
Örnekleme Dönemi		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası					
1		0,02	< 0,02	0,02	0,02
2		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
3		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ortalama		0,06	0,06	0,06	0,06
Alt Sınır		0,02	0,02	0,02	0,02
Üst Sınır		0,20	0,20	0,20	0,20



Şekil 4.17. Nikel değerlerinin mevsimsel değişimi

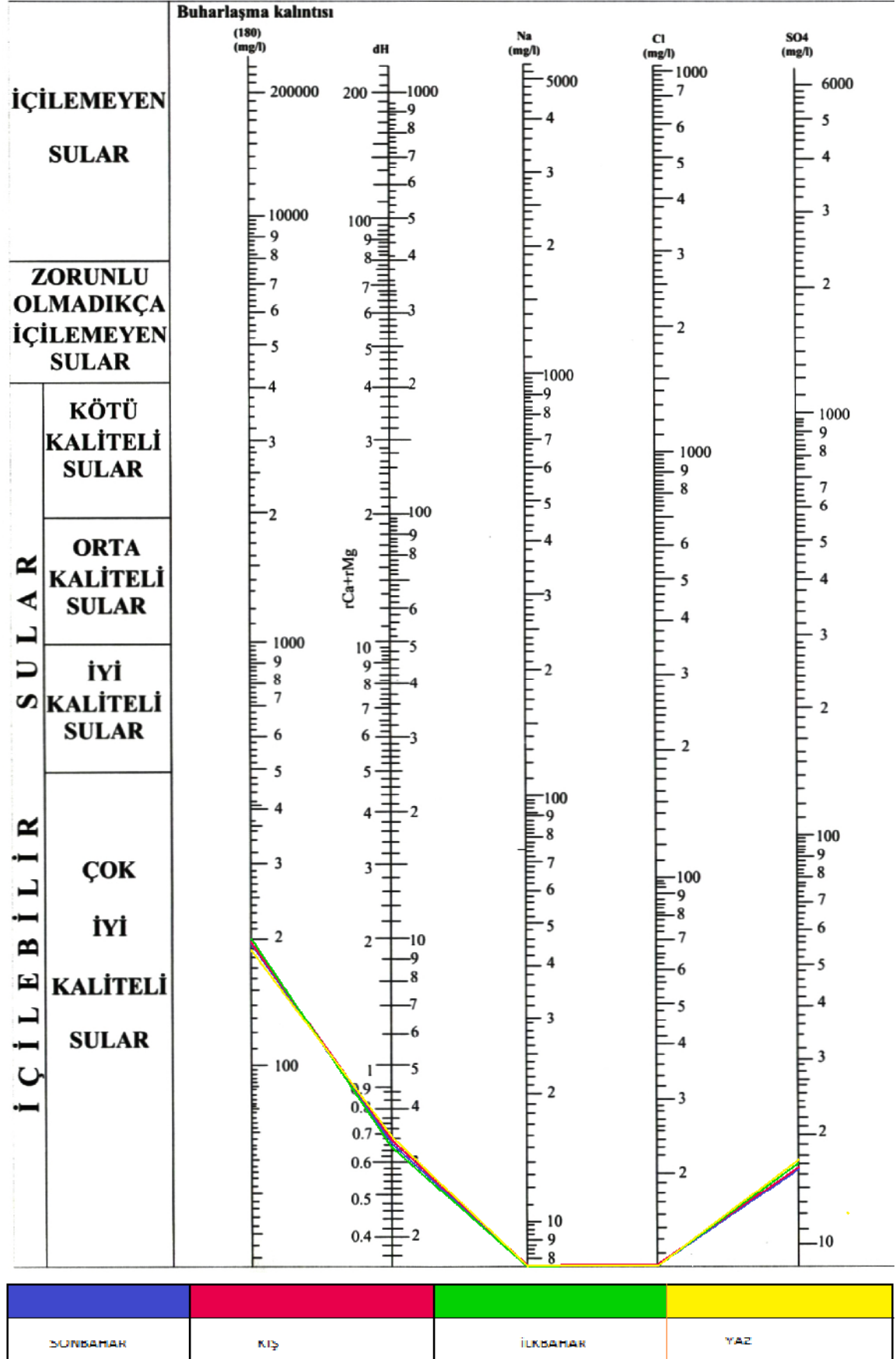
Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin nikel değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır ve üst sınır aralığında olduğu görülmüştür.

## 4.1.1.18. Schoeller İçilebilirlik Diyagramı



Şekil 4.18.Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 1. örnekleme noktası

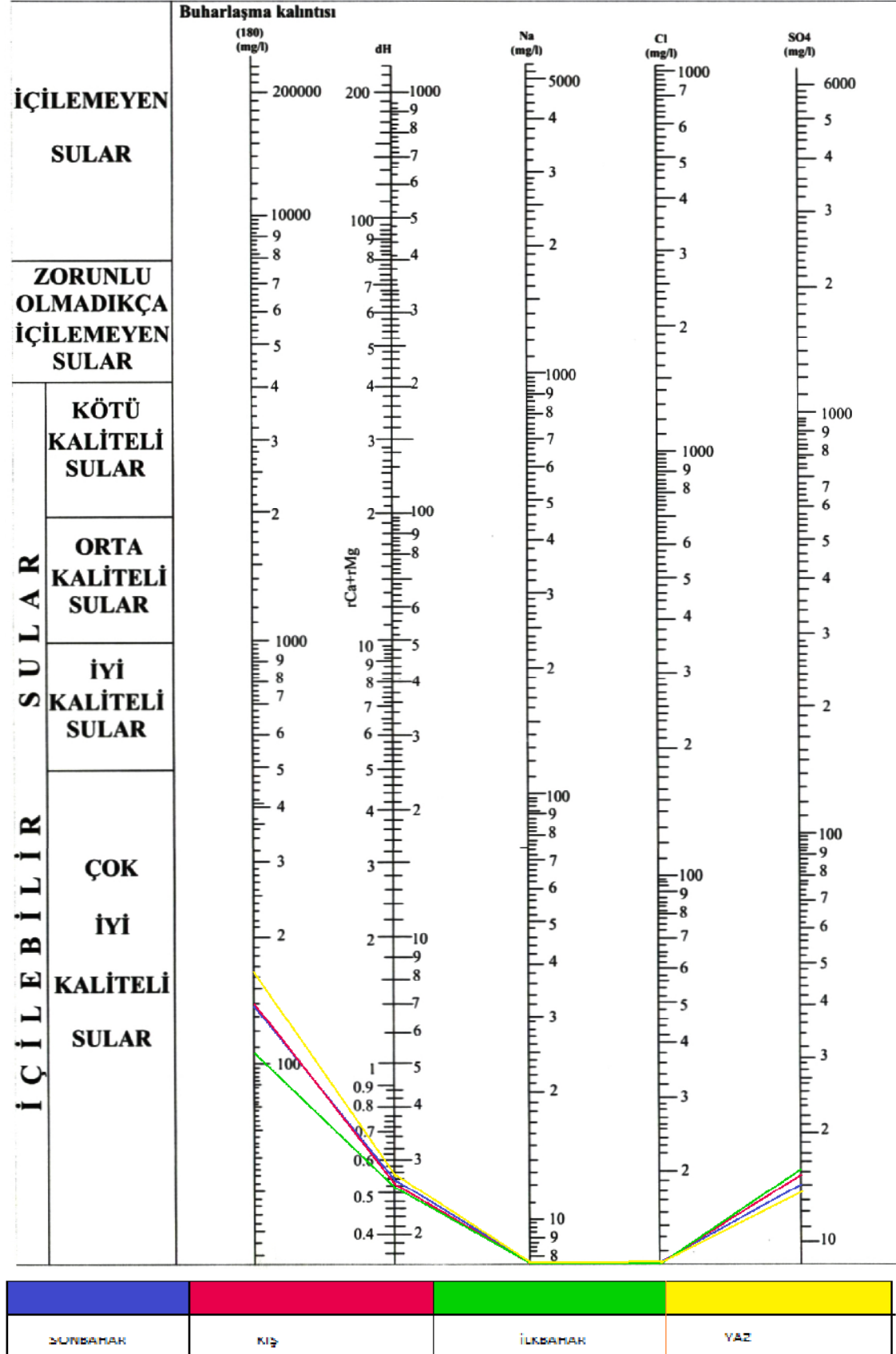
1. Örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su rnekleleri Schoeller içilebilirlik diyagramına tabi tutulduğunda tüm rneklelerin ‘ok iyi kaliteli sular’ sınıfında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.19. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 2. örnekleme noktası

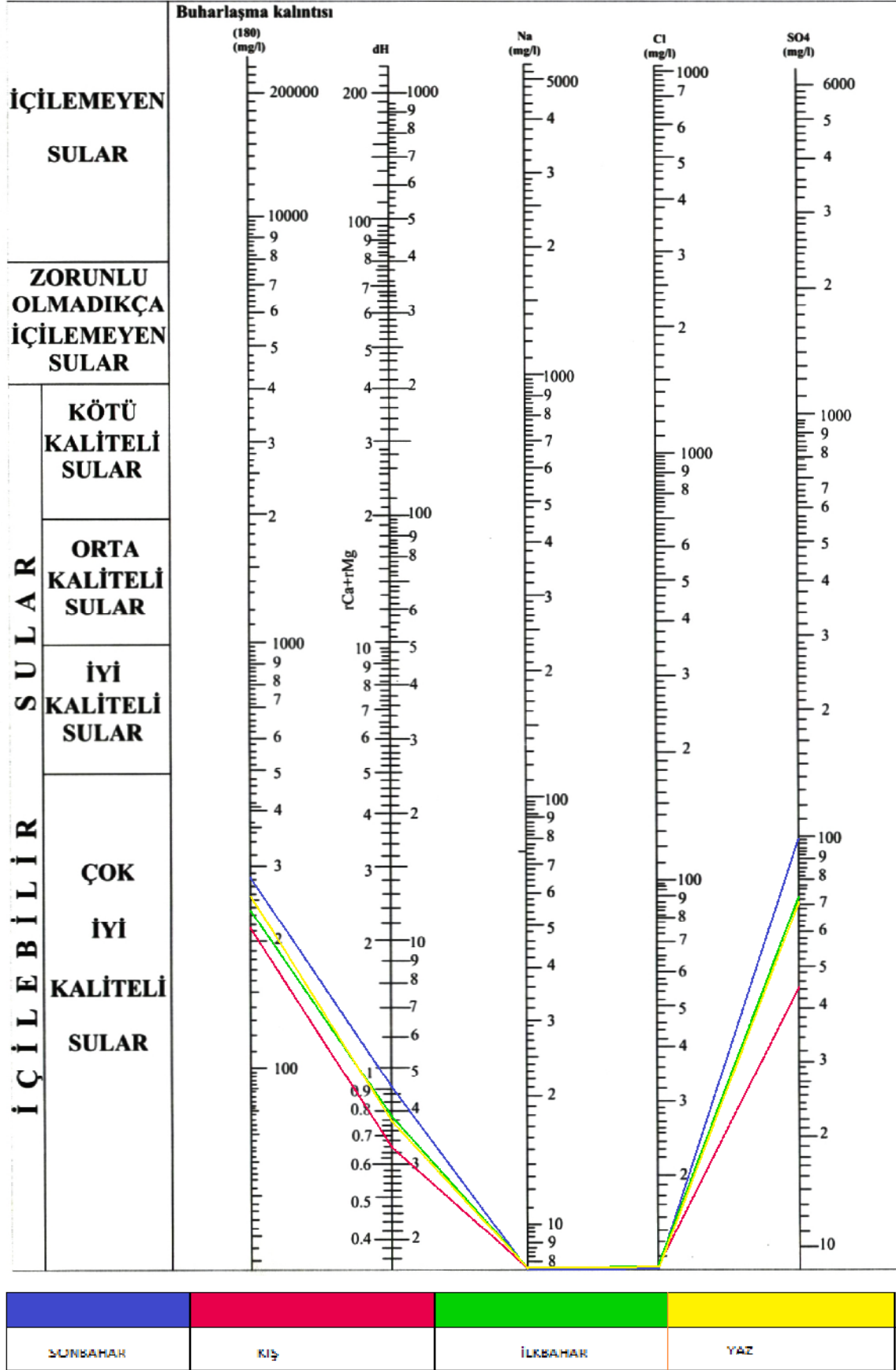


2. Örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su örneklere Schoeller içilebilirlik diyagramına tabi tutulduğunda tüm örneklere 'çok iyi kaliteli sular' sınıfında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.20. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 3. örnekleme noktası

3. Örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su rnekleleri Schoeller içilebilirlik diyagramına tabi tutulduğunda tüm rneklelerin ‘ok iyi kaliteli sular’ sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

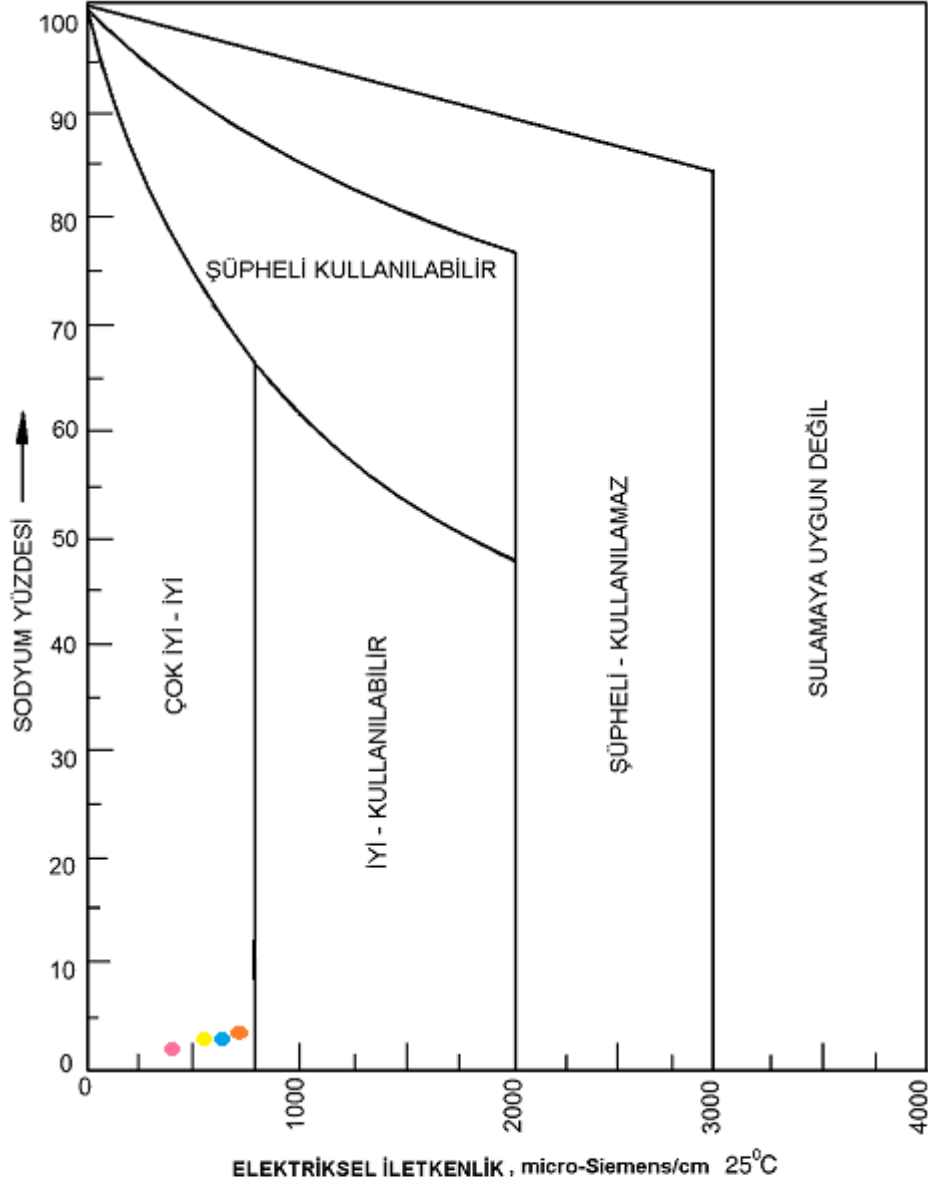


Şekil 4.21.Schoeller içilebilirlik diyagramına göre tüm örnekleme noktalarının ortalamaları

Tüm rnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su rneklelerinin ortalamaları Schoeller içilebilirlik diyagramına tabi tutulduğunda tüm rneklelerin ‘ok iyi kaliteli sular’ sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

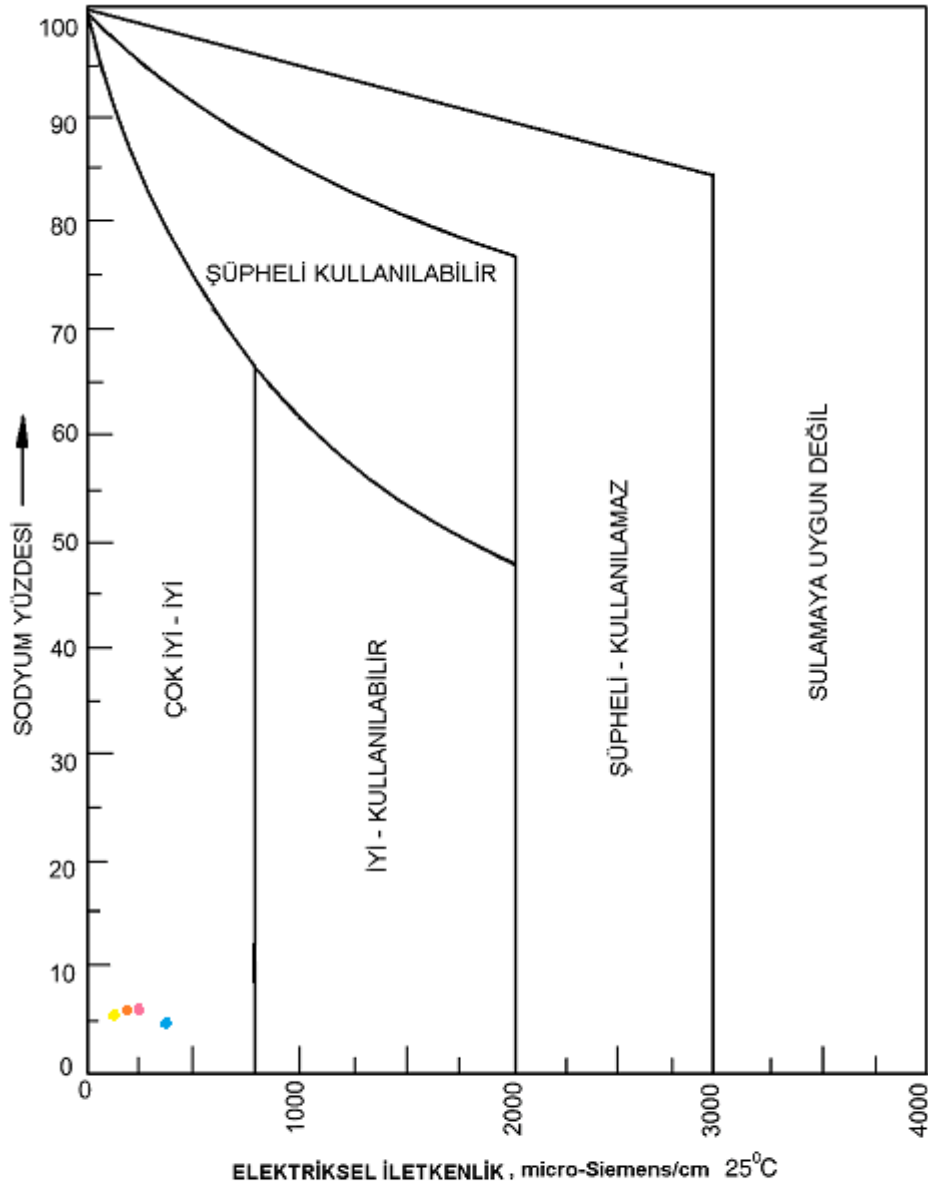
## 4.1.2.Sulama Suyu Sınıflamaları

## 4.1.2.1.Wilcox diyagramı (Wilcox, 1955)



Şekil 4.22. (1.) örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu

1. Örnekleme notasından dört dönem boyunca alınan su rnekleleri Wilcox diyagramına tabi tutulduğunda tüm rneklelerin ‘ok iyi-iyi’ sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

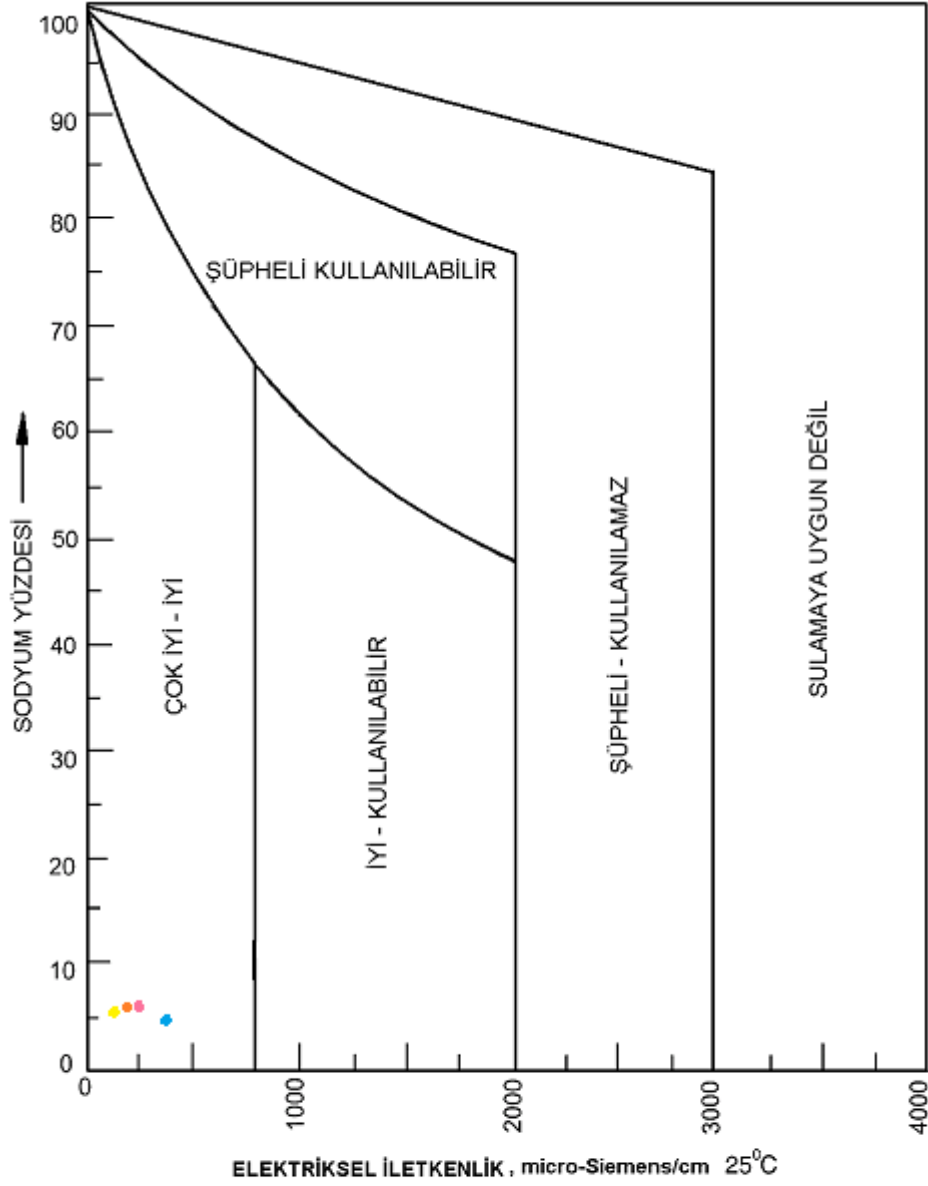


SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ

Şekil 4.23. (2.) örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu

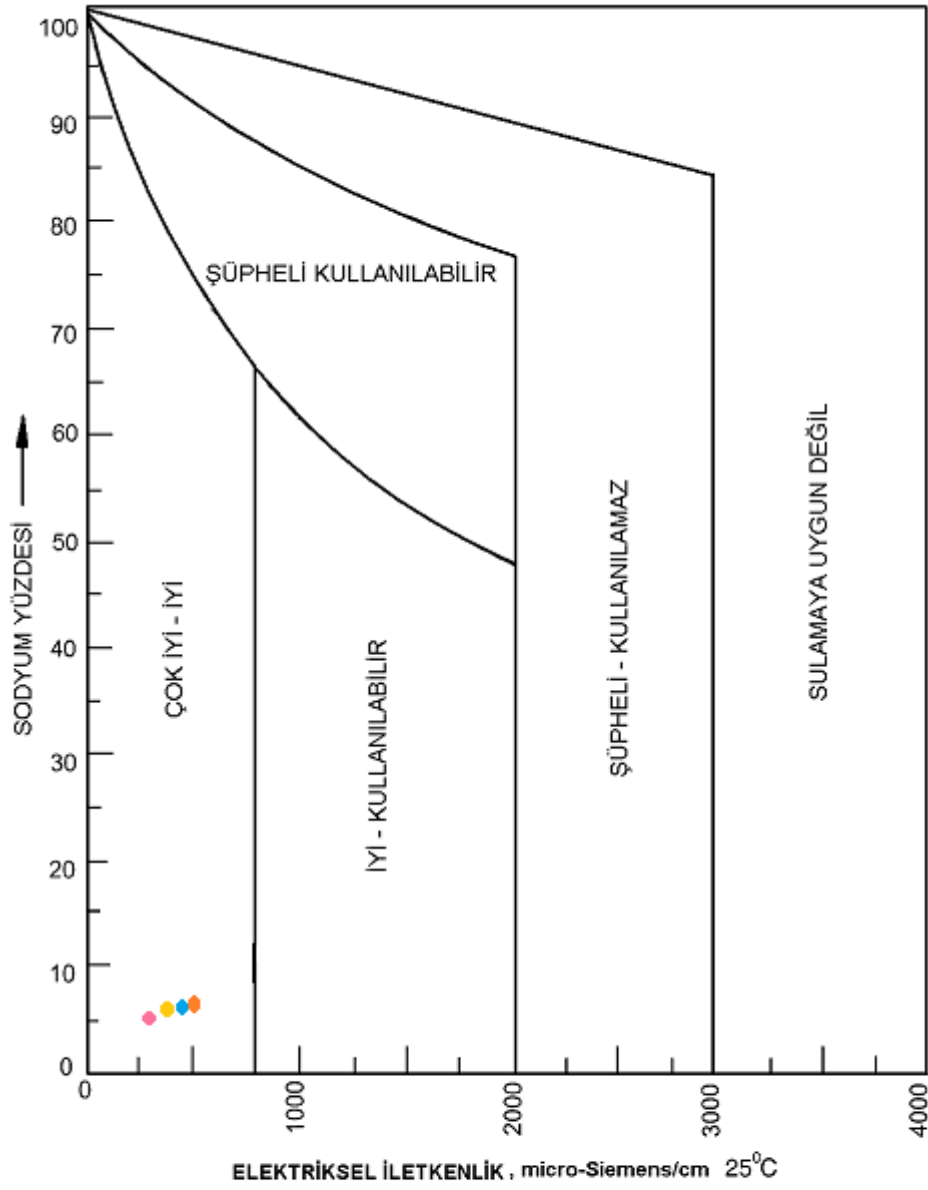
2. örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su örnekleri Wilcox diyagramına tabi tutulduğunda tüm örneklerin 'çok iyi-iyi' sınıfında olduğu tespit edilmiştir.





Şekil 4.24. (3.)örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu

3. Örnekleme notasından dört dönem boyunca alınan su rnekleleri Wilcoxon diyagramına tabi tutulduğunda tüm rneklelerin ‘ok iyi-iyi’ sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

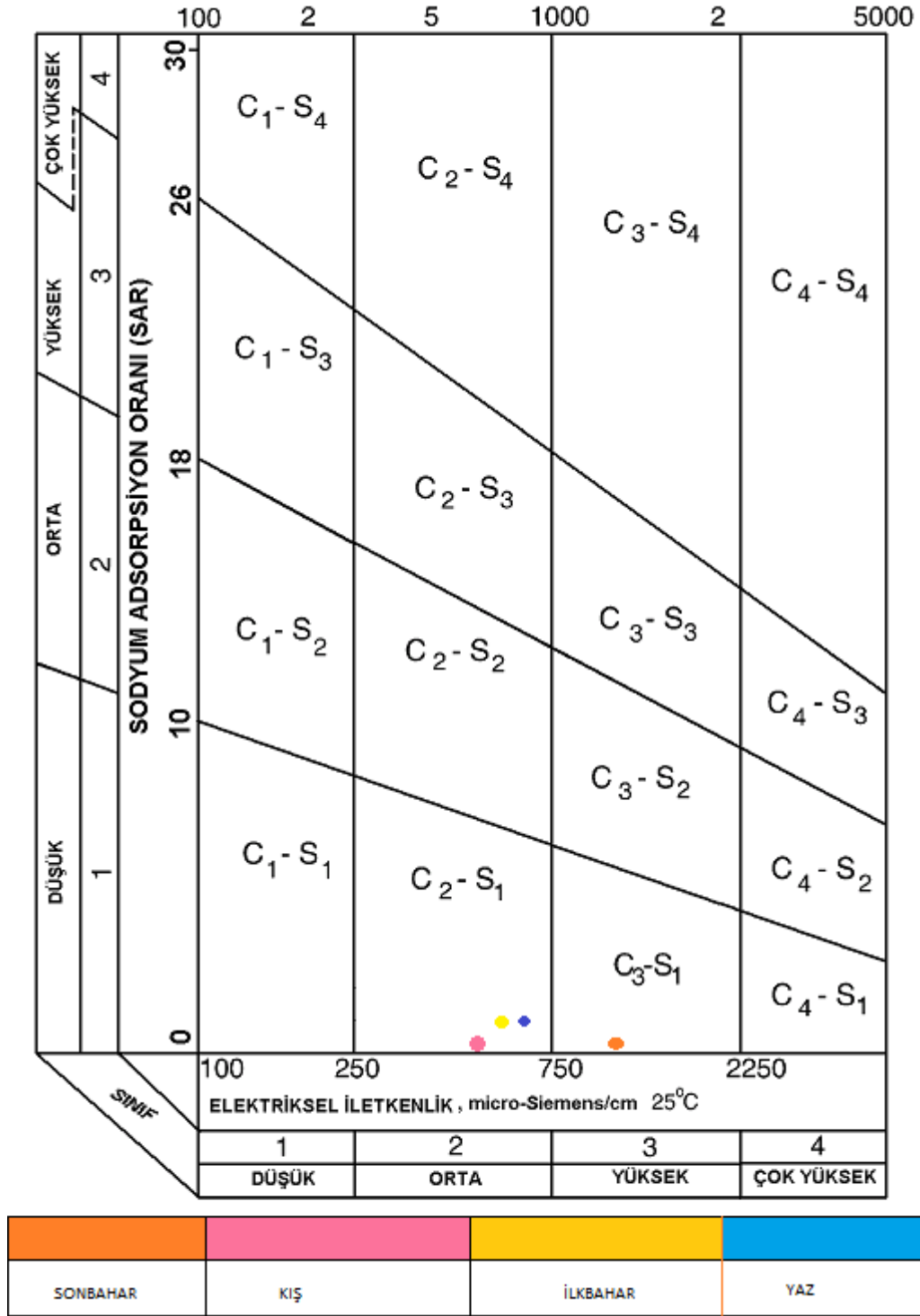


SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ

Şekil 4.25. Tüm örnekleme noktalarının ortalamalarının wilcox diyagramındaki konumu

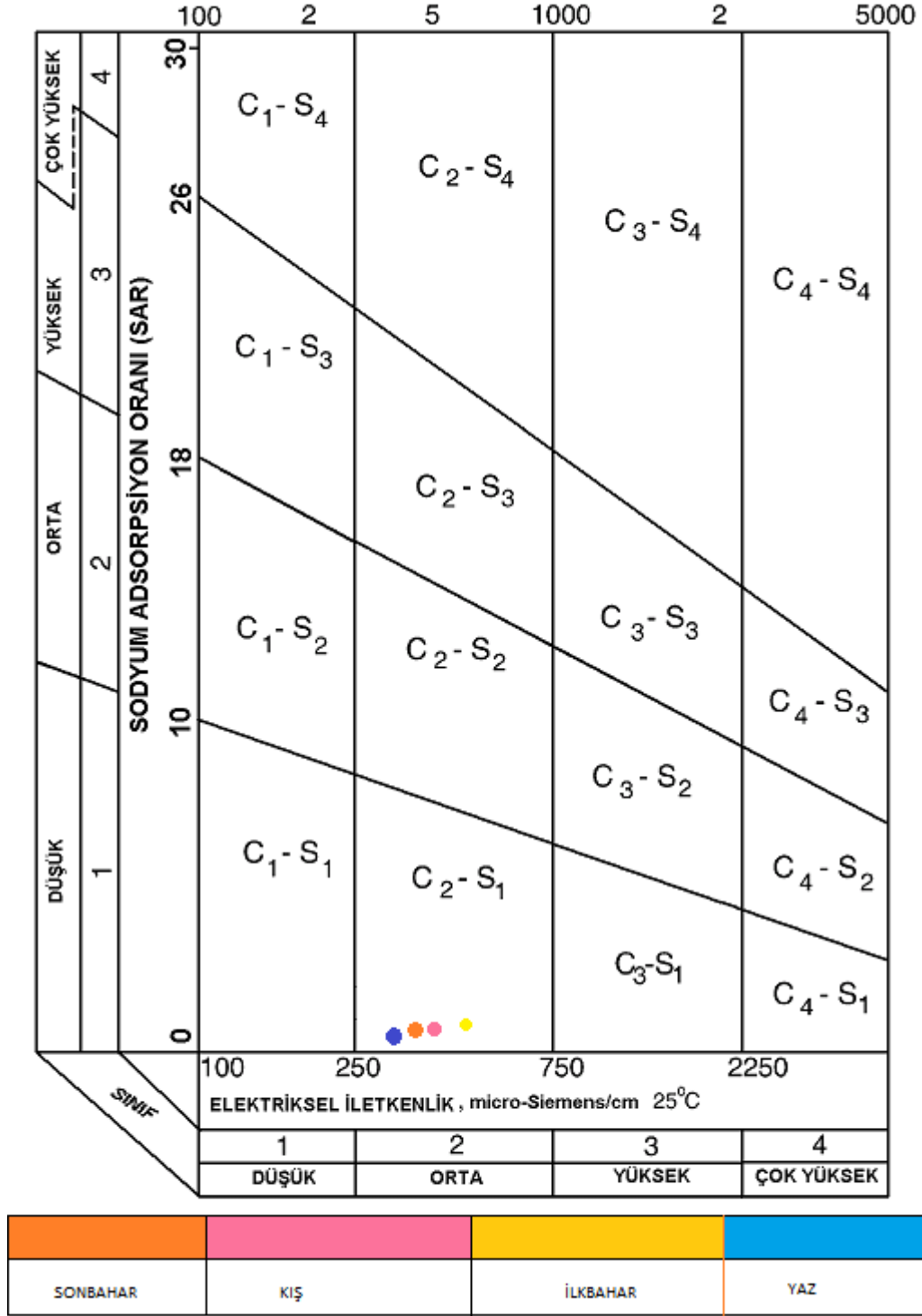
Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin ortalamaları Wilcox diyagramına tabi tutulduğunda tüm örneklerin ‘çok iyi-iyi’ sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

## 4.1.2.2. ABD tuzluluk diyagramı (Richards, 1954)



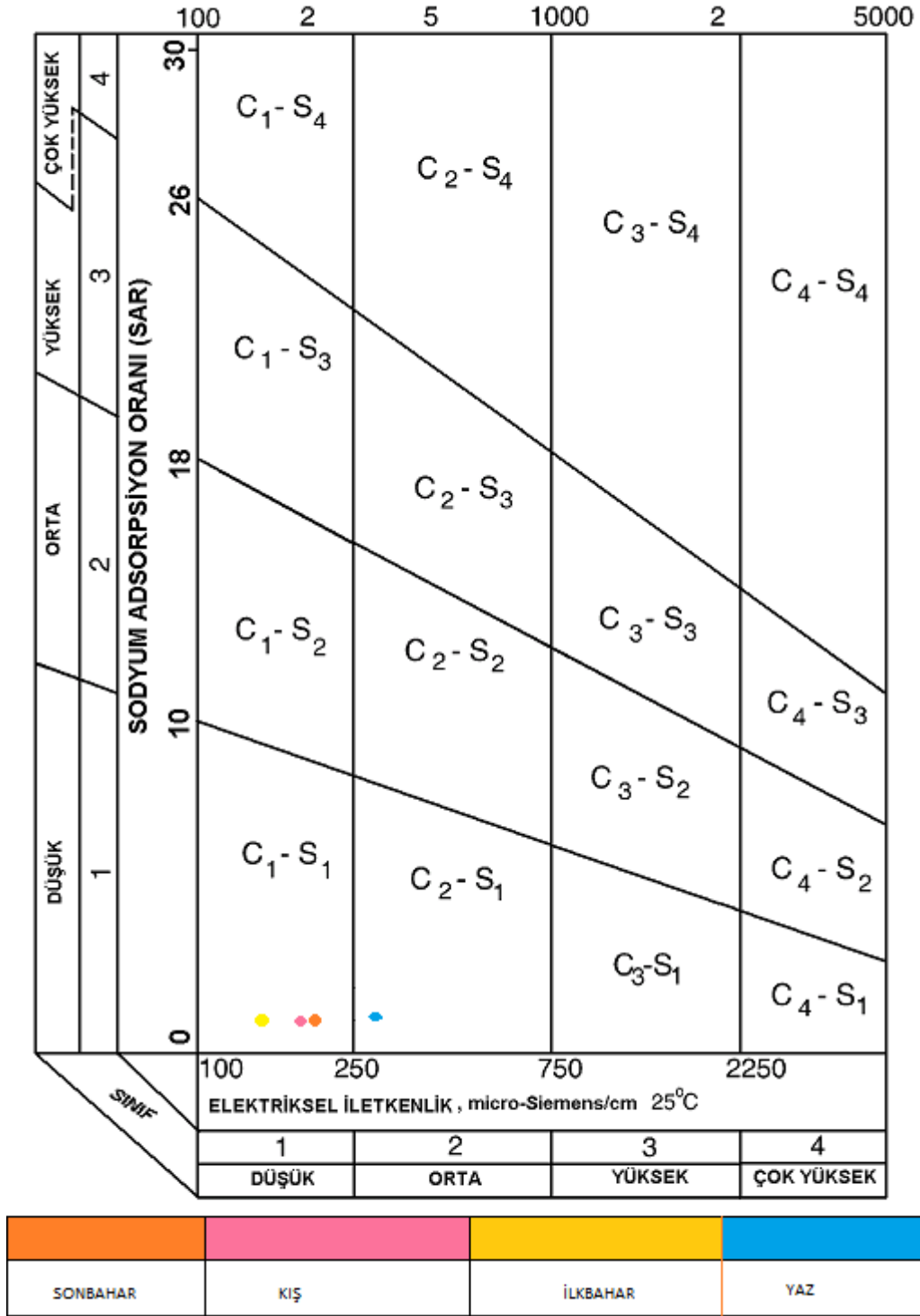
Şekil 4.26. (1.)Örnekleme noktasının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi

1. Örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su örneklere, ABD Tuzluluk diyagramına tabi tutulduğunda, tüm örneklere  $C_2-S_1$  ve  $C_3-S_1$  bölgesinde (her türlü sulamada kullanılabilen) olduğu tespit edilmiştir.



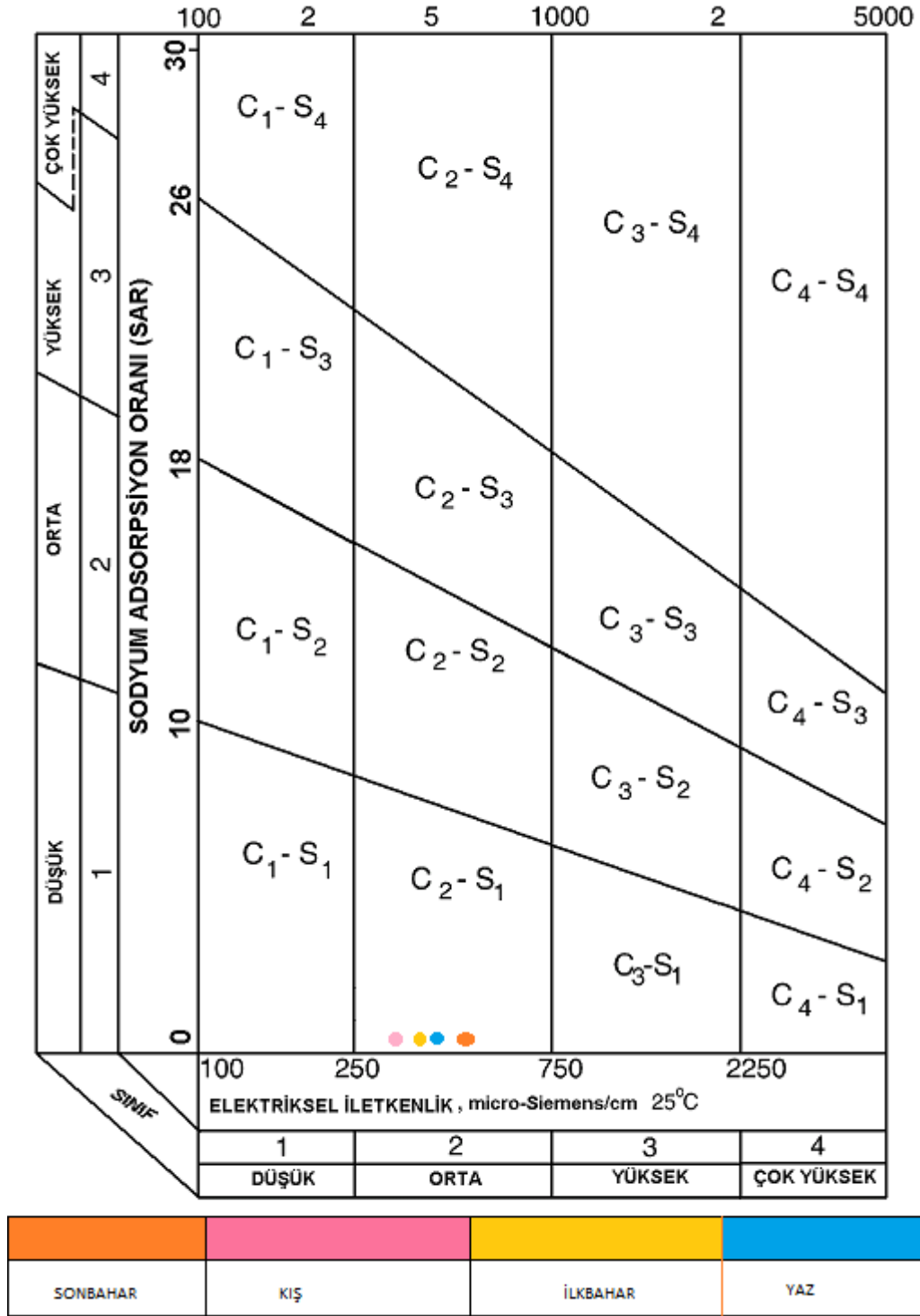
Şekil 4.27.(2.) Örnekleme noktasının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi

2.örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su örnekleri, ABD Tuzluluk diyagramına tabi tutulduğunda, tüm örneklerin C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> bölgesinde (her türlü sulamada kullanılabilen) olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.28. (3.) Örnekleme noktasının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi

3. örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su örnekleri, ABD Tuzluluk diyagramına tabi tutulduğunda, tüm örneklerin C<sub>1</sub>-S<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> bölgesinde (her türlü sulamada kullanılabilen) olduğu tespit edilmiştir.



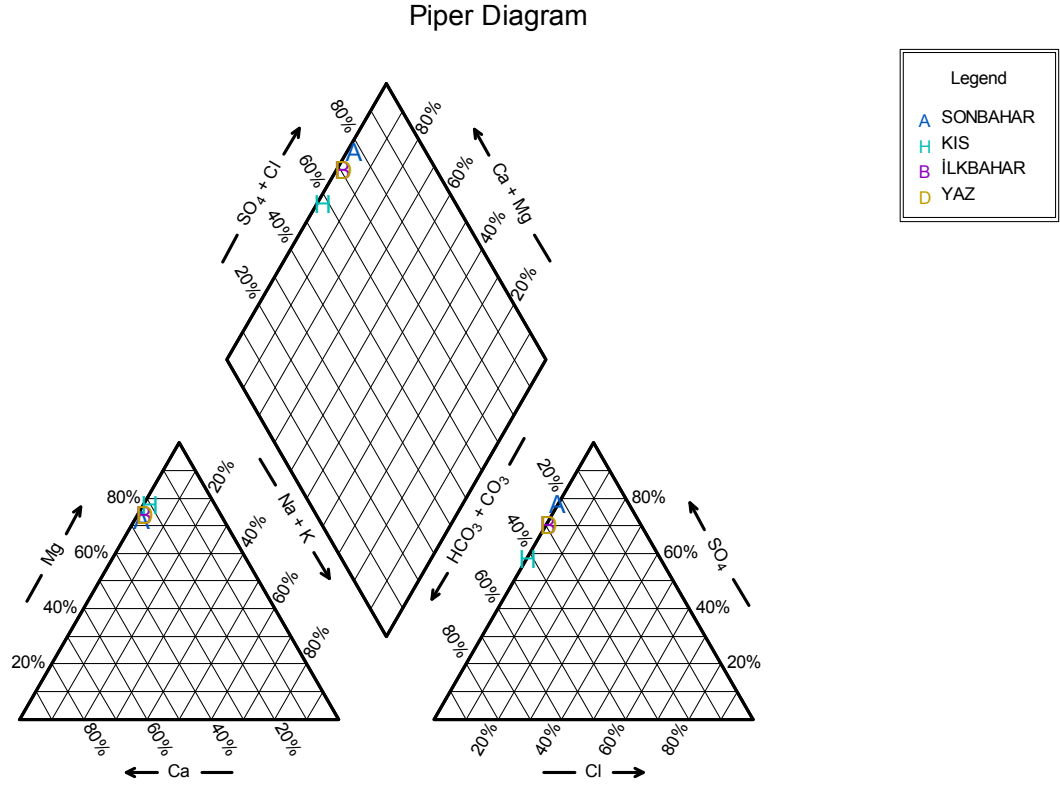
Şekil 4.29. Tüm örnekleme noktalarının ortalamalarının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örnekleri, ABD Tuzluluk diyagramına tabi tutulduğunda, tüm örneklerin C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> bölgesinde (her türlü sulamada kullanılabilen) olduğu belirlenmiştir.



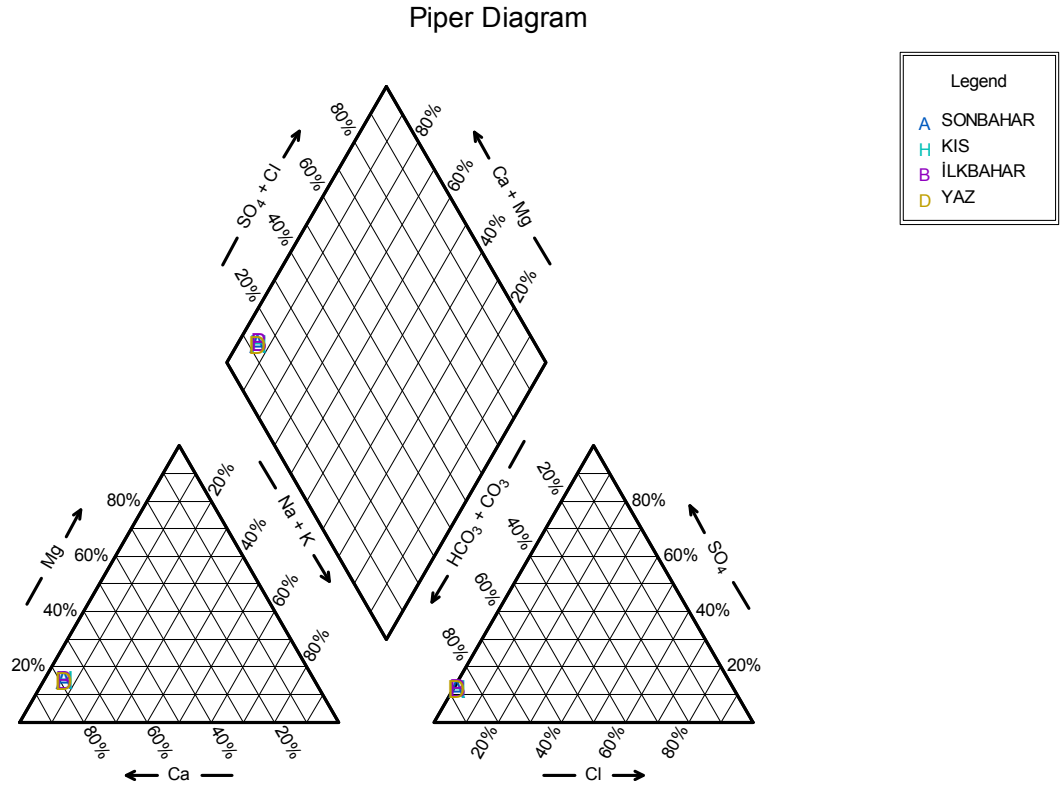
### 4.1.3.Hidrokimyasal Fasiyes Sınıflaması

#### 4.1.3.1. Piper Sınıflaması (Piper, 1944)



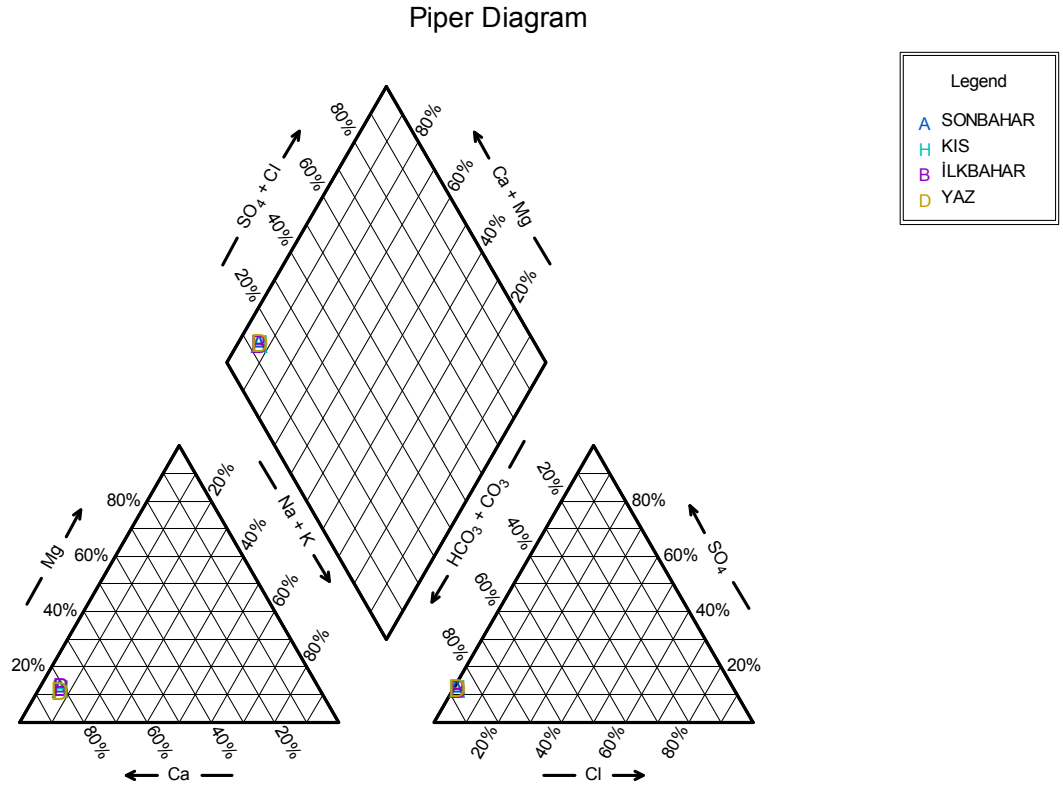
Şekil 4.30. Piper diyagramına göre 1.örnekleme noktasının hidrokimyasal fasiyes tipleri

1. örnekleme noktasından alınan su örnekleri piper diyagramına tabi tutulduğunda 6 nolu alan (karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular) içinde olduğu görülmüştür.



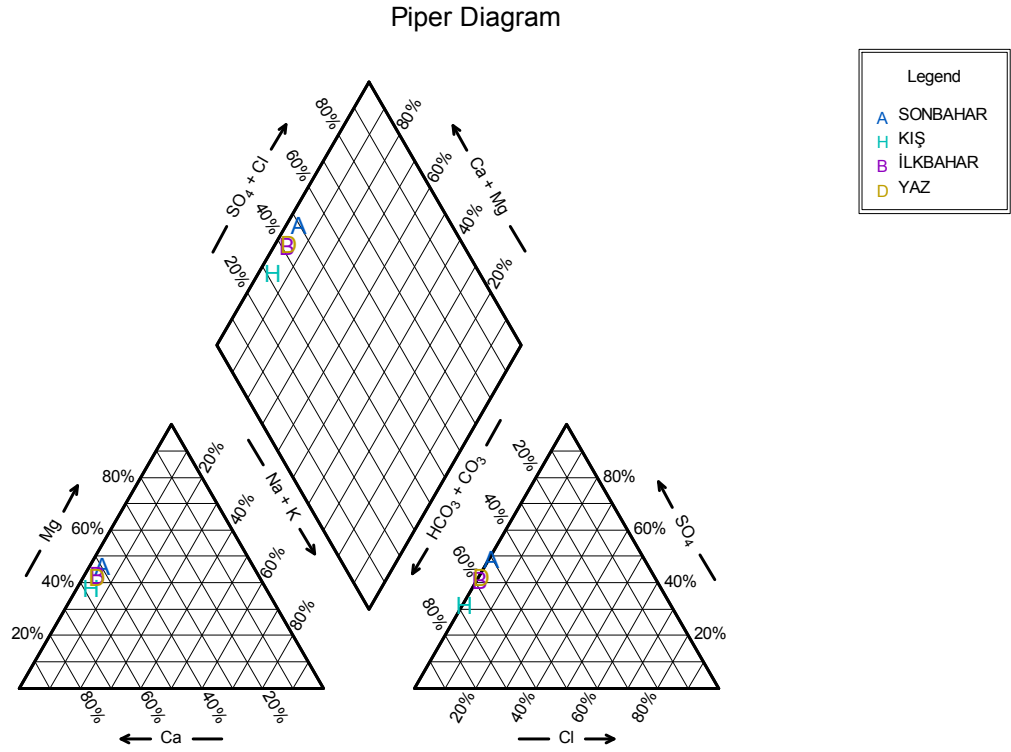
Şekil 4.31. Piper diyagramına göre 2.örnekleme noktasının hidrokimyasal fasiyes tipleri

2. örnekleme noktasından alınan su örnekleri piper diyagramına tabi tutulduğunda 5 nolu alan (karbonat sertliği %50'den fazla olan sular) içinde kaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.32. Piper diyagramına göre 3.örnekleme noktasının hidrokimyasal fasiyes tipleri

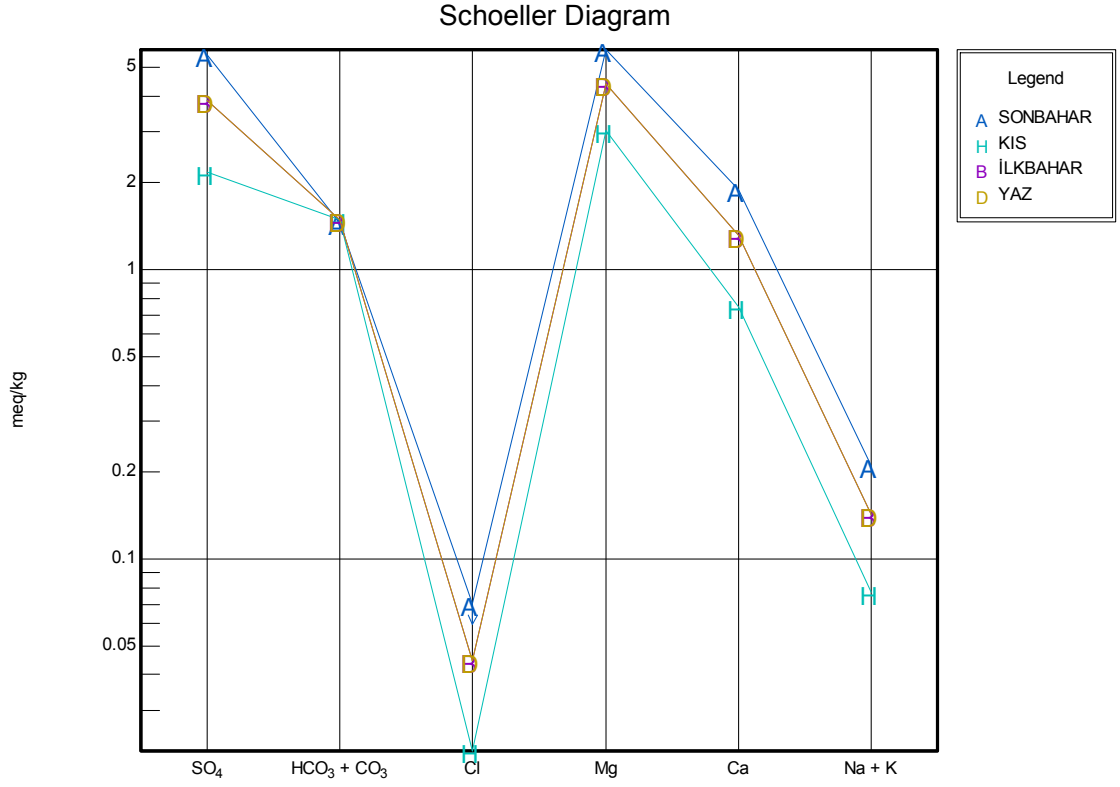
3. örnekleme noktasından alınan su örnekleri piper diyagramına tabi tutulduğunda 5 nolu alan (karbonat sertliği %50'den fazla olan sular) içinde kaldığı tespit edilmiştir.



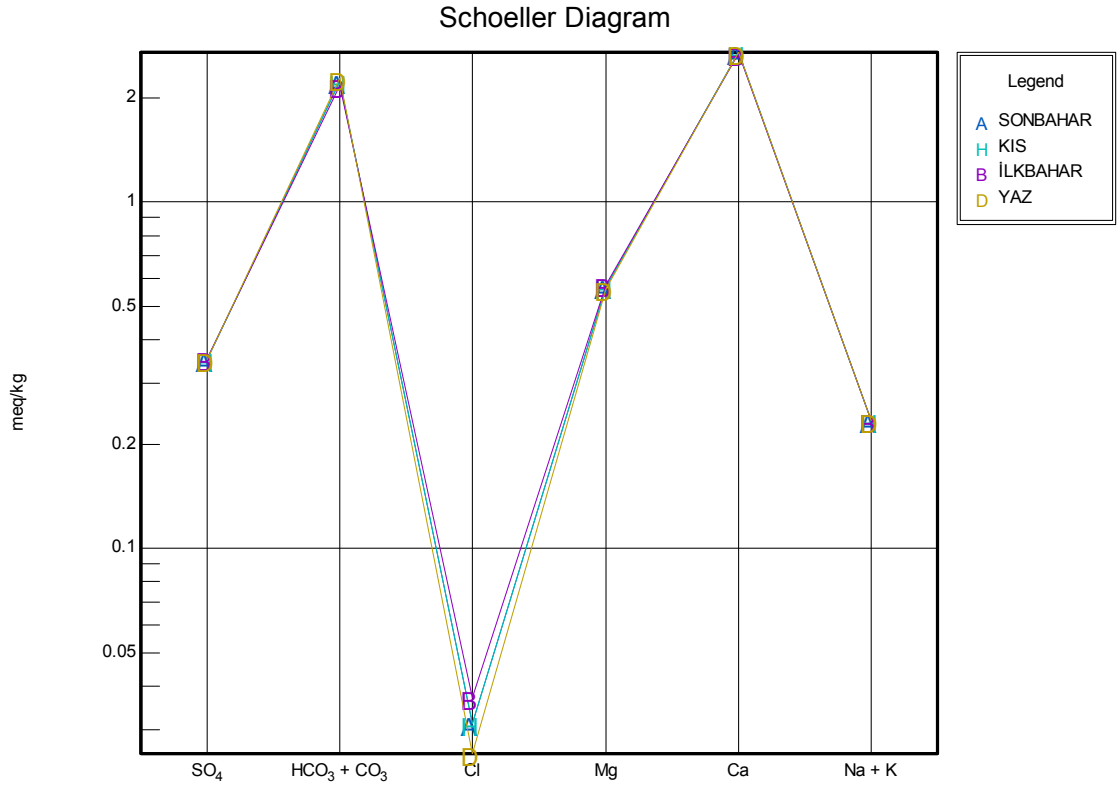
Şekil 4.33. Piper diyagramına göre tüm örnekleme noktalarının ortalamalarının hidrokimyasal fasiyes tipleri

Tüm örnekleme noktalarının ortalamaları piper diyagramına tabi tutulduğunda 5 nolu alan (karbonat sertliği %50'den fazla olan sular) içinde kaldığı tespit edilmiştir.

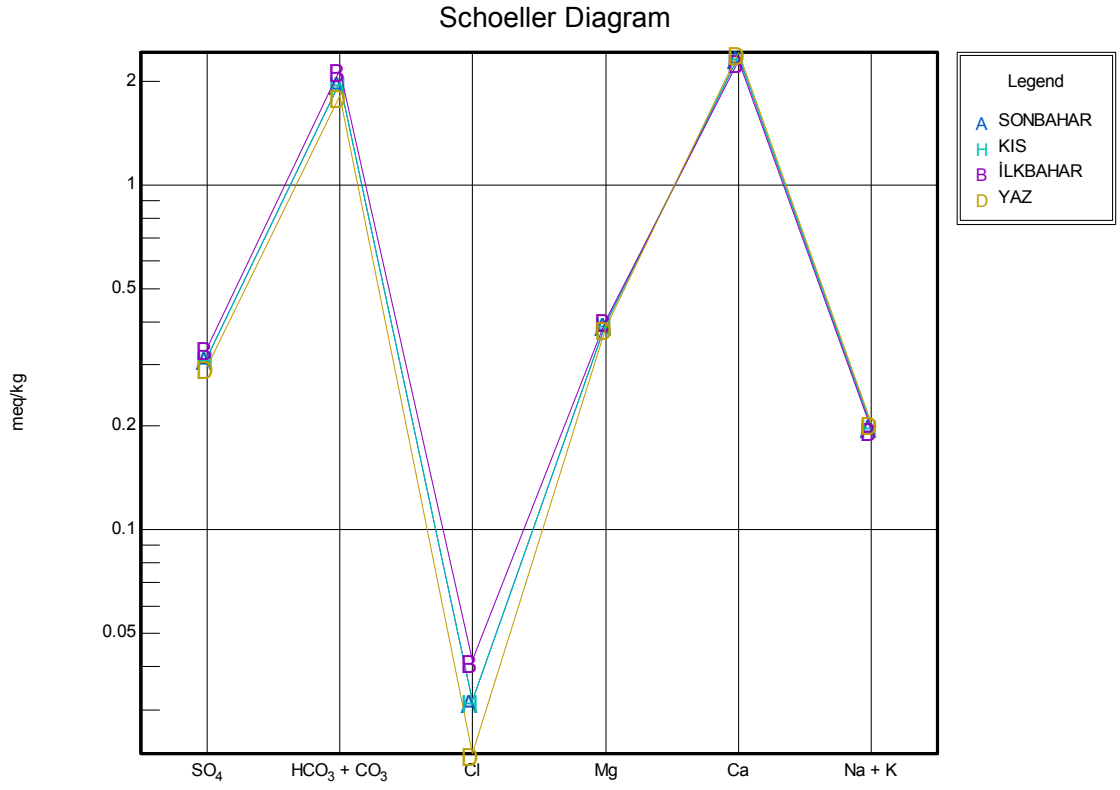
## 4.1.3.2.Schoeller Sınıflaması



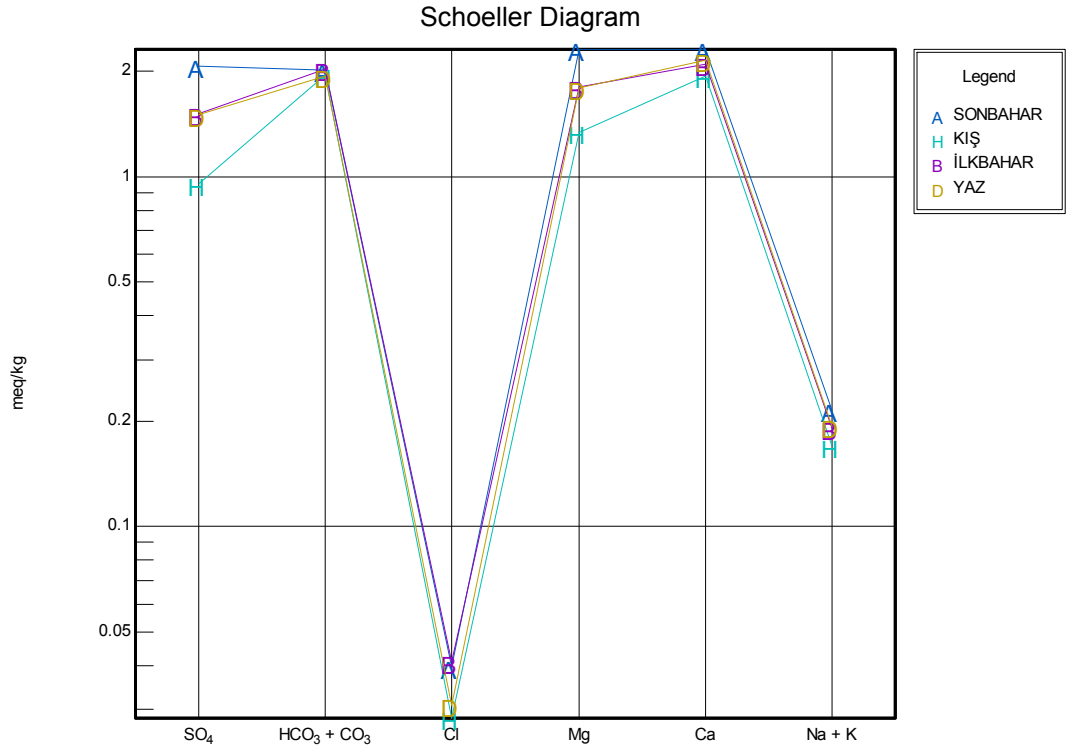
Şekil 4.34.(1.)Örnekleme noktasının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu



Şekil 4.35.(2.)Örnekleme noktasının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu



Şekil 4.36.(3.)Örnekleme noktasının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu



Şekil 4.37. Tüm örnekleme noktalarının ortalamalarının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu

Tüm örnekleme noktalarından alınan su örnekleri yarı logaritmik schoeller diyagramına tabi tutulduğunda 1. örnekleme noktasından alınan su örneği ile 2. ve 3. örnekleme noktalarından alınan su örneklerinin kökenlerinin farklı olduğu görülmüştür.

1. örnekleme noktası ofiyolitik kaya, 2. ve 3. örnekleme noktaları ise çamurtaşlı kaya formasyonundadır.



## 5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1.SONUÇLAR

Kasım 2009- Haziran 2010 tarihleri arasında dört örnekleme dönemi boyunca üç farklı örnekleme noktasından su örnekleri alınmış, bu örnekler aşağıdaki parametreler için analiz edilmiştir.

Sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC) , Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Al, Cd, Pb

Bölgenin genel jeolojik yapısı değerlendirilmiştir.Çalışma alanının Maden grubunun alt volkanik sediment biriminde olduğu görülmüştür. Maden grubu düzensiz bir iç yapı gösterir.Yapı içerisinde küçük çapta gelişmiş, kıvrımlar nedeniyle tabaka, eğim, doğrultuları kısa aralıklarla bile önemli değişiklikler gösterir.

Alınan örnekler üzerinde, insani tüketim amaçlı suların sınıflamaları yapılmıştır. Sonuçta, kadmiyum ve kurşun değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre; üst sınır değerlerinin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Buna göre; Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği gereğince, bu suyun 4. sınıf su olduğu belirlenmiştir.

Aynı su örnekleri sulama suyu sınıflamalarına tabi tutulmuştur. Bu sınıflamalardan Wilcox diyagramına göre ölçülen /analiz edilen değerlerin ‘çok iyi-iyi’ alanı içerisinde kaldıkları görülmüştür.ABD Tuzluluk diyagramına göre ise de tüm örneklerin; C<sub>1</sub>-S<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> ve C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> bölgelerinde (her türlü sulamada kullanılabilen) olduğu tespit edilmiştir.

Aynı zamanda bu örnekler üzerinde AqQA yazılımı aracılığıyla hidrokimyasal fasiyes sınıflamaları yapılmıştır.Bu sınıflamalardan yarı logaritmik

schoeller diyagramına göre 1. örnekleme noktası ofiyolitik kaya, 2. ve 3. örnekleme noktaları ise çamurtaşlı kaya formasyonundadır.

Piper sınıflamasına göre ise 1. örnekleme noktasının 6 nolu alan (karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular) içinde 2. ve 3. örnekleme noktalarının ise 5 nolu alan (karbonat sertliği %50'den fazla olan sular) içinde yer aldığı görülmüştür.

2 ve 3 nolu örnekleme noktalarına göre 1 nolu örnekleme noktasında EC değerinin yüksek çıkması AMD kanal ve havuzundan kaynaklanabileceği görülmüştür. Ayrıca 1 nolu örnekleme noktasının 1939 yılından itibaren işletilen sahanın içerisinde kalması da önemli yüksek iyon konsantrasyonu olmasına neden olmaktadır.

## **5.2.ÖNERİLER**

Mevcut maden sahası ve çevresindeki akarsu, göl vb. su kaynaklarının toplam yüzey alanları, yer altı su düzeyi ile yağmur suyunun yeraltına sızma oranları ve kimyasal özellikleri periyodik olarak izlenmelidir.

Madencilik faaliyetinin, yeraltı ve yerüstü sularında meydana getirebileceği muhtemel niteliksel ve niceliksel değişiklikler araştırılmalıdır. Bu amaçla yapılacak, hidrojeolojik araştırmalar aşağıdaki konuları kapsamalıdır:

- Akiferlerin drenajı sonucu kuyulardaki su seviyesinin düşmesi izlenmeli,
- Yığın ve pasaların sebep olduğu su birikmeleri tespit edilmeli,
- Yeraltı ve yerüstü sularının kirlenme potansiyelleri belirlenmelidir.

## KAYNAKLAR

- AKÇIL, A., KOLDAŞ, S., 2006. Acid Mine Drainage (AMD): Causes, Treatment and Case Studies. *Journal of Cleaner Production*, 14(12 – 13), 1139 – 1145.
- ANONİM, 1991. Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metotları Tebliği, 7 Ocak 1991 tarih ve 20748 sayılı Resmi Gazete.
- ANONİM, 2004a. Numune Alma Kılavuzu 2004-1, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Çevre Referans Lab., 17 s., Ankara.
- ANONİM, 2004c. Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği, Tarih: 31.12.2004 Sayı: 25687 sayılı Resmi Gazete.
- ASTM (The American Society for Testing and Materials), 2001. Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells, D4448-01, p.17, USA
- ASTM, 2005. D6517-00, 2005. Standard Guide for Field Preservation of Ground-Water Samples
- BACK, W., 1960. Origin of hydrochemical facies in groundwater in the Atlantic coastal plain. *Proceedings of International Geological Congress (Copenhagen)*, 1:87-95.
- BACK, W., 1966. Hydrochemical facies and groundwater flow patterns in northern part of Atlantic coastal plain. *US Geological Survey Professional Paper 498-A*.
- BAL, N., KOCABAŞ, G., 2009. Madencilik faaliyetlerinin yer altı sularına etkisi ve ilgili mevzuatlar, 3. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara, 53-65.
- BAMBA, T., 1976 Güneydoğu Anadolu Ergani-Maden Bölgesi ofiyolit ve ilgili bakır yatağı: *MTA Dergisi* 86, 35-49.
- BANNERT, V., 1986, Der Grubenbetrieb des Kupferwerkes Ergani der Ergani Bakır işletmeleri Müessesesi in Maden, Provinz Elazığ (Türkei): *Erzmetall* 39/1,45/48.
- CANTER, L.W., 1997. *Nitrates in Groundwater*, CRS Press LLC, 263 p., USA Catalog No. En 37 – 54. 89 p.
- COSTELLO, C., 2003. *Acid Mine Drainage: Innovative Treatment Technologies*, U.S.Environmental Protection Agency (EPA), Office of Solid Waste and Emergency Response, Technology Innovation Office, 47 pp, Washington, DC, USA.
- ÇAĞATAY, A., 1977, Güneydoğu Anadolu bakır yatak ve zuhurlarının jeolojik-mineralojik etüdü sonunda elde edilen jenetik bulgular: *MTA Dergisi* 89, 46-70.
- ÇAĞATAY, A., 1968, *Erzmikroskopische Untersu chungen des Weib-Vorkommens bei Ergani-Maden, Türkei und genetische Deutung von Kupferlagerstaette Ergani- Maden: N. Jb. Min. Abh.* 109, 1/2, 131-155.
- ÇELEBİ, H., PEKER, İ., 1994. Ergani-Maden (Elazığ) bakır yatağı cevherlerinin Bi, La5 Ce9 Th ve U eser elementleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 37(2), 149-154
- ÇİFTÇİ, H., AKÇIL, A., 2006. AMD Giderilmesinde Uygulanan Biyolojik Yöntemler, *Madencilik Dergisi*, 45(1), 35-45.
- DUNNICK, J.K. and FOVLER, A.B. 1988. Cadmium in *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*, Marcel Dekkerine, USA, PP. 156-174.

- ERDOĞAN, B. 1982. Ergani-Maden yöresindeki Güney Doğu Anadolu Ofiyolit kuşağının jeolojisi ve volkanik kayaları, TJK Bülteni, 25(1), 49-59.
- ERLER, A., 1983, Tectonic setting of the massive sulphide deposit of the Southeast Anatolian thrust belt: Ed., Tekeli, O. ve Göncüoğlu, M.C., 1983, Geology of the Taurus Belt, MTA Matbaası, 309-316, Ankara.
- ERDOĞAN, B., 1977, Geology, geochemistry and genesis of the sulphide deposit of the Ergani-Maden region, SE Turkey: Doktora Tezi (yayınlanmamış), New Brunswick Univ., 249 s., New Brunswick/Kanada.
- ERGUVANLI, K., ve YÜZER, E., 1987. Yeraltı suları Jeolojisi (Hidrojeoloji), İTÜ Maden Fakültesi, 339s., İstanbul.
- EU (European Union), 1998. Council Directive 98/83/EC of European Communities on the quality of water intended for human consumption, 3 November 1998, p.32.
- FETTER, C.W., 2001. Applied Hydrogeology (4th Edition), Prentice Hall, 691 p.
- FREEZE, R.A., ve CHERRY, J.A., 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 604 p., U.S.A.
- GRİFFİTT, W.R., ALBERS, J.P. ve ÖNER, Ö., 1972, Massive sulfide copper deposit of the Ergani-Maden Area, South- Eastern Turkey: Econ. Geol. 67, 701-716.
- GÖYMEN-ARSLANER. M.G., 1969, Ergani bakır yatağının maden mikroskopik incelenmesi: MTA Dergisi. 72, 176-188.
- GÜLER, Ç., 1997. Su Kalitesi, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No: 43, 94s. Ankara
- GÜR, F., 1993: Ergani Bakır İşletmesi flotasyon atık sularının Maden Çayı'ndaki kirlilik potansiyeli. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, 81 s., Fırat Univ., Elazığ.
- KARADENİZ, M., 2005. Asit Maden (Kaya) Drenajında Aktif ve Pasif Çözüm Yöntemleri, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- KARADENİZ, M., 2008. Asit Maden Drenajı, TMMOB Yayınları, 231 s, Ankara.
- KUYUCAK, N., 2002. Role of Microorganisms in Mining: Generation of Acid Rock Drainage and its Mitigation and Treatment, The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection, 2(3), 179-196.
- MAHIROĞLU, A., 2006. Asitli maden drenajlarının (amd) fenton prosesiyle arıtımı, S.Ü. Fen Bil. Ens. Yüksek lisans tezi (Yayınlanmamış), 127 s.
- MCNEELY, R. N., NEIMANIS, V. P., ve DAWYER, L., 1979. Water Quality Sources Book, a Guide to Water Quality Parameters. Minister of Supply and Services Canada.
- MONJEZI, M., SHAHRIAR, K., DEHGHANI, H., SAMIMI-NAMİN, F., 2009. Environmental impact assessment of open pit mining in Iran, Environ Geol, 58, 205–216.
- MMO(Yayımlayan), 1974, Ergani Bakır işletmesi Müessesesi: Ergani bakır yatağının ve işletme tesislerinin tanıtımı. Madencilik, bakır özel sayısı, 163-178.
- ÖZDEMİR, Z., 1996. Maden Çayı (Elazığ) boyunca biyojeokimyasal anomalilerin incelenmesi, F.Ü. Fen Bil. Ens. Doktora Tezi (yayınlanmamış), 146 s.
- ÖZDEMİR, Z., SAĞIROĞLU. A., 1998. Maden Çayı (Maden-Elazığ) boyunca Fe elementi için biyojeokimyasal anomalilerin incelenmesi, Türkiye Jeoloji Bülteni 41(1), 49-54.

- ÖZKAYA, İ. 1978. 'Ergani-Maden yöresi Stratigrafisi' TJK bülteni 21 Ağustos, 129-39 Ankara
- PEHLİVANOĞLU, H., YILDIRIM, R., ERBAYAR, M. ve ERDOĞAN, R. 1990. 'Ergani Bakır Aramaları Projesi Hedef Sahaları Nihai Raporu' MTA Projesi s.83 Ankara
- PIPER, A.M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Transactions, American Geophysical Union 25:914-23.
- RICHARDS, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. U.S. Department of Agricultural Handbook 60.
- RICHARD, Y., 1980. Denitrification of Water for Human Consumption. Prog. Water Technol. 12, 173.
- RIDGE, T., SEIF, J.M., 2005. The Science of Acid Mine Drainage and Passive Treatment", Department of Environmental Protection, Bureau of Abandoned Mine Reclamation, [http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/minres/bamr/amd/science\\_of\\_amd.htm](http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/minres/bamr/amd/science_of_amd.htm).
- SAWYER, C.N., MCCARTY P.L., ve PARKIN G.F., 2003. Chemistry for Environmental Engineering and Science, 5th edition, McGraw-Hill Companies, 752 p. ABD
- SCHOELLER, H., 1955. Geochemie des eaux souterraines, Revue de L'Institute Francois du Petrole 10:230-44.
- SCHOELLER, H., 1962. Les Eaux souterraines. Mason et Cie. Paris. (Subramani ve ark.,2005)
- SEELİGER, T. C, PERNİCKA, E., WAGNER. G. A., BEGEMANN. F., SCHMITT-STRECKER. S., EİBNER, C, ÖZTUNALI, ö. ve BARANYİ. I., 1985. Archaeometallurgische untersuchungen in Nord- und Ost-anatolien: 32. Jahrbuch des Rönisch- Germanischen Zentral-museums, 597-659, Mainz.
- SİREİ, M.A., 1950, Die Kupferlagerstaette Ergani-Maden in der Turkei: N. Jhb. Miner. Abh. Abt A 80,36-95.
- ŞAHİNCİ, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, 548s., İzmir.
- ŞAHİNKAYA, E., BAYRAKDAR, A., GÜNGÖR, M., YÜCESOY, Z., UYANIK, S., YEŞİLNACAR, M. İ., ATASOY, A. D., 2009. AMD Oluşumu, Aktif arıtım sistemleri ve metal geri kazanımı, 3.Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara, 107-116.
- ŞENGÖR, A. M. C., 1980. 'Türkiye'nin neotektoniğinin esasları' TJK konferanslar dizisi s.39 Ankara
- ŞENGÜL, F., ve MÜEZZİNOĞLU, A., 1995. Çevre Kimyası (2. Baskı), DEÜ Müh. Fak. Matbaası, 243 s., İzmir.
- TEAGUE HOLLY, E., 1999. Evaluation of Heavy Metal Bioaccumulation in Selected Species of Amazon Fish. Thesis Presented to The Faculty of The University of Houston Clear Lake, USA, pp: 19-27.
- TIZLAK, F., 1991, Keban-Ergani yöresinde Madencilik (1780- 1850): Doktora Tezi (yayınlanmamış), Fırat Üniversitesi, 402 s.. Elazığ.
- TSE, 1997a. TS 5090 EN 25667-2/Nisan 1997. Su Kalitesi - Numune Alma Bölüm 2: Numune Alma Teknikleri – Kılavuzu
- TSE, 1997b. TS 5106 ISO 5667-3/Nisan 1997. Su Kalitesi - Numune Alma Bölüm 3: Numunelerin Muhafaza ve Taşınma Kuralları
- TSE, 2005. Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular, TS 266, TSE Ankara.

- TSUKAMOTO, T.K., KILLION, H.A., MILLER, G.C., 2004. Column Experiments for Microbiological Treatment of Acid Mine Drainage: Lowtemperature, Low-pH and Matrix Investigations, Water Research, 38, 1405-1418.
- ÜSTÜNTAŞ, A., 1988. 'Zahuran-Maden Elazığ pritik Cu cevherleşmeleri' F.Ü. Fen. Bil. Ens.Yük. Lis. Tez. s 58 Elazığ (Yayınlanmamış).
- ÜSTÜNTAŞ, A. ve SAĞIROĞLU, A., 1993. 'Zahuran (Maden-Elazığ) yöresindeki iki farklı tip Cu cevherleşmesi' TJK bülteni Ağustos, 36,179-189 Ankara
- WHO (World Health Organization), 1978. Nitrate, Nitrites And Nitrosocompounds. Env. Health Criteria-5. WHO, Geneva.
- WHO, 1993. The Guidelines for Drinking-Water Quality, Second edition, WHO, Geneva.
- WYLLIE, R.J.M., 1972, Ergani mine, mill and smelter is Turkey's largest copper producer: World Min. 3,42-45.
- YİĞİTBAŞ, E., GENÇ, Ş.C., YILMAZ, Y., 1993. 'Güney Doğu Anadolu orojenik kuşağında Maden grubunun tektonik konumu ve jeolojik önemi' A. Suat Erk Sempozyumu bildirileri A.Ü.Fen Fak. Jeo. Müh. Böl. s.251-264 Ankara
- YAZGAN,E., 1987, Malatya Güneydoğusunun jeolojisi ve Doğu Toroslann jeodinamik evrimi: MTA Gen. Müd., Rapor No. 297 (yayınlanmamış), 38 s., Ankara. 154

**ÖZGEÇMİŞ**

1975 yılında Şanlıurfa'da doğdu. 1993 yılında Şanlıurfa Anadolu Lisesinden mezun olduktan sonra 1994 yılında Harran Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 1998 yılında bu bölümden mezun oldu. 2008-2009 Güz Dönemi Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisansa başladı. Halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

## ÖZET

Asidik maden drenajı (AMD), bir maden işletmesinin çalışması boyunca ve kapatılması sonrasında sülfürlü cevherler (pirit, kalko-pirit, çinkoblend, galen gibi) ile suyun ve oksijenin temas halinde bulunmasıyla meydana gelen bir dizi kompleks hidrojeokimyasal ve biyojeokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşur. Sonuçta; oluşan su, genel olarak yüksek asidite (düşük pH) ve yüksek konsantrasyonda çözülmüş metalleri (Cu, Fe, Pb, Zn vb.) içerir.

Yapılacak madencilik faaliyetlerinde konu hassas bir şekilde incelenmeli ve yeraltı sularına olabilecek etkileri irdelenmelidir. Faaliyetler esnasında, açığa çıkacak farklı kayaç tiplerinin asit üretme ve nötrleştirme potansiyelleriyle kirleticilerin ve metallerin potansiyellerinin ne olduğu, hangi koşullarda probleme dönüşeceği sorularının cevaplanması gerekmektedir. Bunun için, ilk adımda, maden alanının ilgili yerlerinden alınan temsili numunelerin kimyasal ve mineralojik analizleriyle onların fiziksel ve jeoteknik karakterlerinin tayini, sıvı ve katı numunelerde demir ve sülfürleri oksitleyen bakterilerin mevcudiyetini ve miktarını tespit etmek gerekir .

Bu çalışmada, AMD'lerin yeraltı suyu kalitesine etkilerini araştırmak amacıyla, Elâzığ iline bağlı Maden ve Diyarbakır iline bağlı Ergani ilçeleri arasında ve Dicle Nehri havzasında yer alan Ergani - Maden Bakır Madeni Açık İşletmesi çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Bu sahada dört örnekleme dönemi boyunca üç farklı lokasyondan su örnekleri alınarak Sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC) ölçülmüş, ayrıca Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Al, Cd, Pb parametreleri analiz edilmiştir. Çalışmanın analiz ve ölçüm sonuçları, içme suyu kalitesi (ulusal ve uluslararası), tarımsal sulama suyu kalitesi ve hidrojeokimyasal fasiyes açısından sınıflamalara tabi tutulmuştur.



**SUMMARY**

Acid mine drainage (AMD) occurs the result of hydrogeochemical and biogeochemical reactions by the contact of sulphur ores (pyrite, chalcopyrite, zincblende, galena, etc.) with water and oxygen during and after the working of a mine facility. Finally ; produced water contains high acidity (low pH) and high concentrations of dissolved metals (Cu, Fe, Pb, Zn etc.)

For the mine activity, the subject must be examined sensitively and the probable effects on groundwater must be discussed. The questions like; what is the potential of acid produce and neutralization of various rock types and what is the potential of pollutants and metals and in which conditions they will turn to problem during the activity must be replied. Hence , first, it is necessary to determine the chemical and mineralogic analysis of samples that taken from mine area , the characteristic of physical and geotechnic of them ,the presence of bacteria that oxide iron and sulphur in solid and liquid samples.

In this study, Ergani-Maden open-pit mining , which is located in Ergani Maden Diyarbakır is specifically choosen in order to study the effect of AMD on groundwater quality.

In this area, during four sampling period, water samples taken from three different locations and values of temperature, pH, electrical conductivity (EC) were calculated also Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> , Fe, Co, Cr, Mn ,Ni ,Cu ,Zn ,Al ,Cd ,Pb were analyzed. Results of the analyses and measurements of the study were subjected to the classifications with regard to drinking water quality (national and international level), irrigation water quality and hydrochemical facies

Doç. Dr. M. İrfan YEŞİLNACAR danışmanlığında, Zekiye KADİRAĞAĞIL'in hazırladığı "Asidik Maden Sızıntı Sularının Yeraltı Suyu Kalitesine Etkisi: Ergani – Maden Bakır İşletmesi Örneği" konulu bu çalışma 07.06.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. M. İrfan YEŞİLNACAR

Üye: Doç. Dr. Mustafa KUMRAL

Üye: Yrd. Doç. Dr. A. Dilek ATASOY

**Bu Tezin Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yapıldığını Ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.**

**Prof. Dr. Mehmet CİCİ**  
**Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma TÜBİTAK ve HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.**

**TÜBİTAK Proje No: :108Y036**

**HÜBAK Proje No: (2009/081)**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirilerin çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 Sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vi
1.GİRİŞ .....	1
1.1.Çalışma alanının coğrafi konumu .....	2
1.2.Çalışma alanı genel özellikleri.....	3
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	6
3.MATERYAL VE YÖNTEM .....	8
3.1.Materyal .....	9
3.1.1.Çalışma alanının jeolojisi .....	9
3.1.1.1.Guleman grubu .....	9
3.1.1.2.Peridodit birimi .....	10
3.1.1.3.Banlı gabro birimi .....	10
3.1.1.4.Bazalt birimi .....	10
3.1.1.5.Maden grubu .....	11
3.1.1.6.Alt volkanik-sediment birimi .....	11
3.1.1.7.Üst volkanik birim .....	12
3.1.1.8.Lice formasyonu .....	12
3.1.1.9.Yapısal jeoloji .....	13
3.1.1.10.Bölgedeki cevherleşmeler .....	14
3.1.2.Çalışmada kullanılan alet ve cihazlar .....	19
3.1.3.Çalışmada kullanılan yazılımlar .....	22
3.2.Yöntem .....	23
3.2.1.Ölçülen ve analiz edilen parametreler .....	23
3.2.2.Örneklerin alınması ve korunması .....	23
3.2.3.Su kalitesi sınıflamaları .....	25
3.2.3.1.İnsani tüketim amaçlı suların sınıflamaları .....	26
3.2.3.1.1.Sıcaklık .....	26
3.2.3.1.2.Ph .....	26
3.2.3.1.3.EC .....	27
3.2.3.1.4.Sodyum ve potasyum .....	27
3.2.3.1.5.Klorür .....	28
3.2.3.1.6.Sülfat .....	28
3.2.3.1.7.Nitrat .....	29
3.2.3.1.8.Alüminyum .....	30
3.2.3.1.9.Bakır .....	30
3.2.3.1.10.Çinko .....	31
3.2.3.1.11.Demir .....	32
3.2.3.1.12.Kadmiyum.....	33
3.2.3.1.13.Kalsiyum.....	35
3.2.3.1.14.Kurşun.....	36
3.2.3.1.15.Magnezyum.....	37
3.2.3.1.16.Mangan .....	38
3.2.3.1.17.Nikel .....	38
3.2.3.1.18.Schoeller içilebilirlik diyagramı .....	39
3.2.3.2.Sulama suyu sınıflamaları .....	41
3.2.3.2.1.Wilcox diyagramı (Wilcox, 1955) .....	41
3.2.3.2.2.ABD Tuzluluk diyagramı (Richards, 1954) .....	42
3.2.3.3.Hidrokimyasal fasiyes sınıflaması .....	45
3.2.3.3.1.Piper sınıflaması (Piper, 1944) .....	45

3.2.3.3.2.Yarı logaritmik Schoeller sınıflaması (Schoeller, 1955; 1962) .....	46
4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	48
4.1.Su kalitesi sınıflamaları .....	48
4.1.1.İnsani tüketim amaçlı suların sınıflamaları .....	48
4.1.1.1.Sıcaklık .....	48
4.1.1.2.pH .....	49
4.1.1.3. EC .....	50
4.1.1.4.Sodyum ve potasyum .....	51
4.1.1.5.Klorür .....	52
4.1.1.6.Sülfat .....	53
4.1.1.7.Nitrat .....	54
4.1.1.8.Alüminyum .....	55
4.1.1.9.Bakır .....	56
4.1.1.10.Çinko .....	57
4.1.1.11.Demir .....	58
4.1.1.12.Kadmiyum .....	59
4.1.1.13.Kalsiyum .....	60
4.1.1.14.Kurşun .....	61
4.1.1.15.Magnezyum .....	62
4.1.1.16.Mangan .....	63
4.1.1.17.Nikel .....	64
4.1.1.18.Schoeller içilebilirlik diyagramı .....	66
4.1.2.Sulama suyu sınıflamaları.....	74
4.1.2.1.Wilcox diyagramı (Wilcox, 1955) .....	74
4.1.2.2.ABD Tuzluluk diyagramı (Richards, 1954) .....	80
4.1.3.Hidrokimyasal fasiyes sınıflaması .....	85
4.1.3.1.Piper sınıflaması (Piper, 1944) .....	85
4.1.3.2.Schoeller sınıflaması .....	89
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	93
5.1.SONUÇLAR.....	93
5.2.ÖNERİLER .....	94
KAYNAKLAR .....	95
ÖZGEÇMİŞ .....	99
ÖZET .....	100
SUMMARY .....	101

## ÖZ

### Yüksek Lisans Tezi

#### ASİDİK MADEN SIZINTI SULARININ YERALTI SUYU KALİTESİNE ETKİSİ: ERGANİ – MADEN BAKIR İŞLETMESİ ÖRNEĞİ

ZEKİYE KADİRAĞAĞİL

Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr.M.İrfan YEŞİLNACAR  
Yıl:2011, Sayfa 101

Asidik maden drenajı (AMD), bir maden işletmesinin çalışması boyunca ve kapatılması sonrasında sülfürlü cevherler (pirit, kalko-pirit, çinkoblend, galen gibi) ile suyun ve oksijenin temas halinde bulunmasıyla meydana gelen bir dizi kompleks hidrojeokimyasal ve biyojeokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşur. Sonuçta; oluşan su, genel olarak yüksek asidite (düşük pH) ve yüksek konsantrasyonda çözülmüş metalleri (Cu, Fe, Pb, Zn vb.) içerir.

Yapılacak madencilik faaliyetlerinde konu hassas bir şekilde incelenmeli ve yeraltı sularına olabilecek etkileri irdelenmelidir. Faaliyetler esnasında, açığa çıkacak farklı kayaç tiplerinin asit üretme ve nötrleştirme potansiyelleriyle kirleticilerin ve metallerin potansiyellerinin ne olduğu, hangi koşullarda probleme dönüşeceği sorularının cevaplanması gerekmektedir. Bunun için, ilk adımda, maden alanının ilgili yerlerinden alınan temsili numunelerin kimyasal ve mineralojik analizleriyle onların fiziksel ve jeoteknik karakterlerinin tayini, sıvı ve katı numunelerde demir ve sülfürleri oksitleyen bakterilerin mevcudiyetini ve miktarını tespit etmek gerekir .

Bu çalışmada, AMD'lerin yeraltı suyu kalitesine etkilerini araştırmak amacıyla, Elâzığ iline bağlı Maden ve Diyarbakır iline bağlı Ergani ilçeleri arasında ve Dicle Nehri havzasında yer alan Ergani - Maden Bakır Madeni Açık İşletmesi çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Bu sahada dört örnekleme dönemi boyunca üç farklı lokasyondan su örnekleri alınarak Sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC) ölçülmüş, ayrıca Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Al, Cd, Pb parametreleri analiz edilmiştir. Çalışmanın analiz ve ölçüm sonuçları, içme suyu kalitesi (ulusal ve uluslararası), tarımsal sulama suyu kalitesi ve hidrojeokimyasal fasiyes açısından sınıflamalara tabi tutulmuştur.

**ANAHTAR KELİMELER:** Asidik Maden Sızıntı Suyu, Yeraltı suyu kalitesi, Ergani-Maden, ağır metal

## ABSTRACT

MSc Thesis

**EFFECT OF ACID MINE DRAINAGE ON GROUNDWATER QUALITY: A CASE STUDY  
FROM ERGANI-MADEN COPPER FACILITY****ZEKİYE KADİRAĞAĞIL****Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering****Supervisor: Assoc.Prof.Dr.M.İrfan YEŞİLNACAR  
Year: 2011, Page 101**

Acid mine drainage (AMD) occurs the result of hydrogeochemical and biogeochemical reactions by the contact of sulphur ores (pyrite, chalcopyrite, zincblende, galena, etc.) with water and oxygen during and after the working of a mine facility. Finally ; produced water contains high acidity (low pH) and high concentrations of dissolved metals (Cu, Fe, Pb, Zn etc.)

For the mine activity, the subject must be examined sensitively and the probable effects on groundwater must be discussed. The questions like; what is the potential of acid produce and neutralization of various rock types and what is the potential of pollutants and metals and in which conditions they will turn to problem during the activity must be replied. Hence , first, it is necessary to determine the chemical and mineralogic analysis of samples that taken from mine area , the characteristic of physical and geotechnic of them ,the presence of bacteria that oxide iron and sulphur in solid and liquid samples.

In this study, Ergani-Maden open-pit mining , which is located in Ergani Maden Diyarbakır is specifically choosen in order to study the effect of AMD on groundwater quality.

In this area, during four sampling period, water samples taken from three different locations and values of temperature, pH, electrical conductivity (EC) were calculated also Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> , Fe , Co , Cr, Mn ,Ni ,Cu ,Zn ,Al ,Cd ,Pb were analyzed. Results of the analyses and measurements of the study were subjected to the classifications with regard to drinking water quality (national and international level), irrigation water quality and hydrochemical facies

**KEY WORDS:** Acid Mine Drainage, Groundwater quality, Ergani-Maden, Heavy metal

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca bilgi, deneyim ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Sayın Doç.Dr. M. İrfan YEŞİLNACAR'a, laboratuvar çalışmalarımıdaki destekleri için Arş. Gör. Deniz UÇAR'a, tez yazım sürecinde yardımlarını esirgemeyen Çevre Mühendisliği öğrencisi Ömer KOTAN'a ve arkadaşım, meslektaşım Çevre Mühendisi Nisa KASAR'a ve eğitim hayatım süresince bana sonsuz destek olan anneme teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, HÜBAK (2009/081) ve TÜBİTAK (108Y036) tarafından finansal açıdan desteklenmiştir.

Zekiye KADİRAĞAĞIL , 2011

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Örnekleme noktaları lokasyon haritası.....	3
Şekil 3.1. Çalışma alanının jeoloji haritası .....	16
Şekil 3.2. Maden yöresinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti .....	17
Şekil 3.3. Çalışma alanı 1 nolu örnekleme noktası, drenaj kanalı ve drenaj havuzu lokasyon haritası .....	18
Şekil 3.4. Genel görünüm ve 1 nolu örnekleme noktası(M1), drenaj kanalı(M2) ve drenaj havuzu(M3) yerlerini gösteren uydu görüntüsü .....	19
Şekil 3.5. Magellan marka Meridian Platinum el tipi GPS aleti .....	20
Şekil 3.6. Spectroquant NOVA 60 fotometreveri aktarımı .....	20
Şekil 3.7. Varian marka Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazı .....	21
Şekil 3.8. Mettler marka EC, TDS, sıcaklık ölçüm cihazı .....	21
Şekil 3.9. Mettler marka pH ölçüm cihazı .....	22
Şekil 3.10. (3) nolu örnekleme noktasından numune alımı .....	25
Şekil 3.11. Örnek bir schoeller diyagramı .....	40
Şekil 3.12. Örnek bir wilcox diyagramı .....	42
Şekil 3.13. Örnek bir ABD tuzluluk diyagramı .....	44
Şekil 3.14. Örnek bir Piper diyagramı .....	46
Şekil 3.15. Örnek bir yarı logaritmik Schoeller diyagramı .....	47
Şekil 4.1. Sıcaklık değerlerinin mevsimsel değişimi .....	49
Şekil 4.2. pH değerlerinin mevsimsel değişimi .....	50
Şekil 4.3. EC Değerlerinin mevsimsel değişimi .....	51
Şekil 4.4. Sodyum ve potasyum değerlerinin mevsimsel değişimi .....	52
Şekil 4.5. Klor değerlerinin mevsimsel değişimi .....	53
Şekil 4.6. Sülfat değerlerinin mevsimsel değişimi .....	54
Şekil 4.7. Nitrat değerlerinin mevsimsel değişimi .....	55
Şekil 4.8. Alüminyum değerlerinin mevsimsel değişimi .....	56
Şekil 4.9. Bakır değerlerinin mevsimsel değişimi .....	57
Şekil 4.10. Çinko değerlerinin mevsimsel değişimi .....	58
Şekil 4.11. Demir değerlerinin mevsimsel değişimi .....	59
Şekil 4.12. Kadmiyum değerlerinin mevsimsel değişimi .....	60
Şekil 4.13. Kalsiyum değerlerinin mevsimsel değişimi .....	61
Şekil 4.14. Kurşun değerlerinin mevsimsel değişimi .....	62
Şekil 4.15. Magnezyum değerlerinin mevsimsel değişimi .....	63
Şekil 4.16. Mangan değerlerinin mevsimsel değişimi .....	64
Şekil 4.17. Nikel değerlerinin mevsimsel değişimi .....	65
Şekil 4.18. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 1. örnekleme noktası .....	66
Şekil 4.19. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 2. örnekleme noktası .....	68
Şekil 4.20. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 3. örnekleme noktası .....	70
Şekil 4.21. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre tüm örnekleme noktalarının ortalamaları .....	72
Şekil 4.22. ( 1.) örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu .....	74
Şekil 4.23. ( 2.) örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu .....	76
Şekil 4.24. ( 3.) örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu .....	77
Şekil 4.25. Tüm örnekleme noktalarının wilcox diyagramındaki konumu .....	79
Şekil 4.26. 1. örnekleme noktasının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi .....	80
Şekil 4.27. 2. örnekleme noktasının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi .....	82
Şekil 4.28. 3. örnekleme noktasının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi .....	83
Şekil 4.29. Tüm örnekleme noktalarının ortalamalarının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi .....	84
Şekil 4.30. Piper diyagramına göre 1. örnekleme noktasının hidrokimyasal tipleri .....	85



Şekil 4.31. Piper diyagramına göre 2.örnekleme noktasının hidrokimyasal tipleri .....	86
Şekil 4.32. Piper diyagramına göre 3.örnekleme noktasının hidrokimyasal tipleri .....	87
Şekil 4.33.Piper diyagramına göre tüm örnekleme noktalarının hidrokimyasal tipleri .....	88
Şekil 4.34.(1.)Örnekleme noktasının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu .....	89
Şekil 4.35.(2.)Örnekleme noktasının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu .....	90
Şekil 4.36.(3.)Örnekleme noktasının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu .....	91
Şekil 4.37.Tüm örnekleme noktalarının ortalamalarının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu .....	92

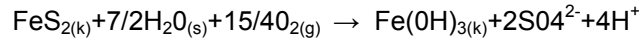
## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1. Sıcaklık ölçümleri .....	48
Çizelge 4.2. pH ölçümleri .....	49
Çizelge 4.3. EC ölçümleri .....	50
Çizelge 4.4. Sodyum ve Potasyum ölçümleri .....	51
Çizelge 4.5. Klorür ölçümleri .....	52
Çizelge 4.6. Sülfat ölçümleri .....	53
Çizelge 4.7. Nitrat ölçümleri .....	54
Çizelge 4.8. Alüminyum ölçümleri .....	55
Çizelge 4.9. Bakır ölçümleri .....	56
Çizelge 4.10.Çinko ölçümleri .....	57
Çizelge 4.11.Demir ölçümleri .....	58
Çizelge 4.12.Kadmiyum ölçümleri .....	59
Çizelge 4.13.Kalsiyum ölçümleri .....	60
Çizelge 4.14.Kurşun ölçümleri .....	61
Çizelge 4.15.Magnezyum ölçümleri .....	62
Çizelge 4.16. Mangan ölçümleri .....	63
Çizelge 4.17.Nikel ölçümleri .....	64

## 1.GİRİŞ

Asidik maden drenajı (AMD), bir maden işletmesinin çalışması boyunca ve kapatılması sonrasında sülfürlü cevherler (pirit, kalko-pirit, çinkoblend, galen gibi) ile suyun ve oksijenin temas halinde bulunmasıyla meydana gelen bir dizi kompleks hidrojeokimyasal ve biyojeokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşur. Sonuçta; oluşan su, genel olarak yüksek asidite (düşük pH) ve yüksek konsantrasyonda çözülmüş metalleri (Cu, Fe, Pb, Zn vb.) içerir (Costello, 2003; Tsukamoto ve ark., 2004; Ridge ve Seif, 2005; Akçıl ve Koldaş, 2006; Karadeniz, 2008).

Bu tür madencilik uygulamalarında, artık malzemenin depolanması ve atılması sırasında gerekli önlemler alınmadığı takdirde çevrenin kirlenmesine neden olan önemli sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Madencilik işlemleri sonucu oluşan artık malzemede bulunan sülfürlü mineraller çoğunlukla pirit ( $FeS_2$ ) ve pirotin ( $FeS$ ), oksijen ve suya maruz kaldığı zaman asit oluşumu meydana gelmektedir.



Temelde bu aşamalar, sülfürlü minerallerin oksidasyonu ve asitin oluşumudur. Daha sonra oksitlenmiş bileşiklerin yıkanma işlemi meydana gelmektedir. Eğer ortam yeterince bazik değilse veya tampon mineraller (kalsit vb.) asiti nötr hale getiremiyorsa, sonuçta sızıntı suyu asidik karakterde olmaktadır. Bu sıvı, genel olarak asidik maden drenajı olarak adlandırılmaktadır. AMD, yüksek asidite ( $pH < 2-3$ ) ve yüksek konsantrasyonda Fe, Mn, Al, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, As vb. metalleri ve sülfatları içerir (Kuyucak, 2002).

Eğer bir maden işletmesinde, asit drenaj oluşma potansiyeli varsa ve gereken tedbirler alınmazsa, drenajın gelişimiyle bazı çevresel etkilerle karşı karşıya

kalınması olasıdır. Etki altına girmesi beklenen alıcı ortamlar ise yüzey suları, yeraltı suları ve göllerdir.

AMD, yüzey akıntıları, yağmur suları, sızma ve süzölmeler yoluyla taşınarak nehirlere, göllere ve yeraltı su sistemlerine karışabilir. Böylece, su kalitesi değişimine maruz kalarak kirlenme gerçekleşir. Bu bağlamda, alıcı ortamlarla bağlantılı ekosistemler etki altına girebilir. Neticede, türlerin yok olması, besin zincirinin basitleşmesi ve ekolojik duyarlılığın azalması görülebilir.

Yapılacak madencilik faaliyetlerinde konu hassas bir şekilde incelenmeli ve yeraltı sularına olabilecek etkileri irdelenmelidir. Faaliyetler esnasında, açığa çıkacak farklı kayaç tiplerinin asit üretme ve nötrleştirme potansiyelleriyle kirleticilerin ve metallerin potansiyellerinin ne olduğu, hangi koşullarda probleme dönüşeceği sorularının cevaplanması gerekmektedir. Bunun için, ilk adımda, maden alanının ilgili yerlerinden alınan temsili numunelerin kimyasal ve mineralojik analizleriyle onların fiziksel ve jeoteknik karakterlerinin tayini, sıvı ve katı numunelerde demir ve sülfürleri oksitleyen bakterilerin mevcudiyetini ve miktarını tespit etmek gerekir (Bal ve Kocabaş, 2009).

Bu çalışmada, AMD'lerin yeraltı suyu kalitesine etkilerini araştırmak amacıyla, Elâzığ iline bağlı Maden ve Diyarbakır iline bağlı Ergani ilçeleri arasında ve Dicle Nehri havzasında yer alan Ergani - Maden Bakır Madeni Açık İşletmesi çalışma alanı olarak seçilmiştir.

### **1.1.Çalışma Alanının Coğrafi Konumu**

Ergani-Maden bakır yatağı Doğu Anadolu'da, Elazığ'ın yaklaşık 80 km güneydoğusunda, adını aldığı Maden İlçesi'nin hemen batısında bulunmaktadır (Şekil 1.1). Yatağa Elazığ- Diyarbakır demiryolu ve karayolu ile ulaşılmaktadır.



Şekil 1.1. Örnekleme noktaları lokasyon haritası

## 1.2.Çalışma Alanı Genel Özellikleri

Ergani-Maden bakır yatağı Türkiye'nin en önemli ve tarihi maden yatağıdır. 4000 yıldan beri madenciliğin yapıldığı yatak, 19. yüzyılın ortalarından beri düzenli olarak işletilmektedir (Seeliger ve diğ., 1985; Tızlak, 1991). 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.

Yatağın ekonomik rezervlerinin tükenmesi ve tesislerin de eskimesi nedeniyle Etibank tarafından işletmenin 1998 yılına kadar kapatılmasına karar verilmiştir. (Çelik, 1993). Daha sonra, 5 Nisan 1994 tarihinde hükümetin aldığı tasarruf önlemleri kapsamında tesis işletmeye kapatılmıştır. Eti Holding A.Ş. söz konusu maden işletmesinin ruhsat, arsa ve tesislerinin devrine ilişkin olarak

08.05.2007 tarihinde açık artırma yolu ile ihale düzenlemiştir. İhale sonucunda, işletme Yıldızlar Holdige geçmiştir. 20.07.2007 tarihinde Eti Holding ve Yıldızlar Holding arasında sözleşme imzalanmıştır.

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 İşletmeye 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 işletmesinde, 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<sub>2</sub> '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<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 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 cürufu ile fırın rejiminin bozuk olduğu dönemlerde ve pota çırpmaları esnasında daha az miktarda soğuk konverter cürufu atılmıştır. Reverber cürufunun büyük kısmı çimento katkı maddesi olarak kullanılmış, halen atık sahasında bulunan yaklaşık 30 000 ton konverter cürufu üzerinde üç çalışmaları sürdürülmektedir.

Flotasyon ve sülfirik asit tesislerinin de çalıştığı dönemde (1972-1986 arasında) dik ve meyilli atık sahasına reverber ve soğuk konverter cüruflarına ilaveten pirit kavurma tesisi atığı da (pirit külü) atılmış ve pirit ayrıldıktan sonra kalan flotasyon atığı doğrudan Maden Çayına verilmiştir.

1986 yılından itibaren, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 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 x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>'dür. Ancak, kış aylarında, özellikle Maden Çayı'nın debisinin yüksek olduğu dönemlerde flotasyon atıksulan doğrudan Maden Çayı'na verilmektedir.

Yatak, uzun işletme tarihi, ekonomik ve jeolojik önemi nedenleriyle çok yönlü incelenmiştir. Ancak yapılan araştırmalar genel olarak jeoloji (Sirel, 1950; Griffiths ve diğ. 1972; Bamba, 1976; Erler, 1983 ve Yazgan, 1987) ve mineraloji (Çağatay, 1968, 1977; Göymen-Aslaner, 1969 ve Erdoğan, 1977) ile madencilik (Wyllie, 1972; MMO, 1974 ve Bannert, 1986) ağırlıklıdır. Buna karşın jeokimyasal araştırmalar Erdoğan (1977) ve Göymen-Aslaner (1969) ile kısıtlıdır. Oysa jeokimyasal araştırmalar bir maden yatağındaki elementlerin dağılımlarının ve oluşum sürecindeki değişimlerinin incelenmesi bakımından oldukça önemlidir.

**2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

Yapılan literatür taramasında, çalışma konusuyla birebir örtüşen çok fazla araştırmaya rastlanılmamıştır. Bu bölümde önceki çalışmalar iki konu altında verilmiştir. Birincisi, direkt çalışma alanıyla ilgili olanlar, ikincisi genel anlamda AMD'lerin yer altı suyuna etkileri ile ilgili olanlardır.

Özdemir (1996), tarafından Maden Çayı boyunca (Maden-Elazığ) su, toprak ve bitki örneklerindeki bakır, çinko, mangan ve demir anomalileri ve bu elementler için uygun indikatör bitkiler saptanmıştır.

Özdemir ve Sağıroğlu (1998), Maden Çayı (Maden – Elazığ) boyunca Fe elementi için biyojeokimyasal anomalileri incelemişler ve bazı bitki türlerinin Fe elementi için belirleyici olduğunu belirleyerek, biyojeokimyasal prospeksiyonda başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Karadeniz (2005), Asit Maden Drenajında Aktif ve Pasif Çözüm Yöntemleri adlı çalışmasında, çok sayıda aktif ve pasif yöntem geliştirildiğini, ancak, maden yataklarının ve buna bağlı ortam koşullarının kendine özgü olması sebebiyle, tüm yataklara uygulanabilen bir yöntemin mevcut olmadığını vurgulamıştır. Ayrıca, yöntem seçiminde belirleyici unsurların; ortam koşulları, güvenilirlik, maliyet ve çevre standartları olduğunu belirtmiştir.

Mahiroğlu (2006), AMD arıtımında fenton prosesinin başlangıcında hem pH hem de  $Fe^{2+}$  ayarlamasında kimyasal tüketmeyen ve bileşiminde bulunan asit pH ile  $Fe^{2+}$ ye ilaveten oldukça az miktarda  $H_2O_2$  kullanan bir proses olarak uygulanabileceğini başarı ile ortaya koymuştur.

Çiftçi ve Akçıl (2006), AMD giderilmesinde uygulanan biyolojik yöntemler ile ilgili pasif biyolojik giderim sistemlerinin, kimyasal yöntemlere göre düşük maliyetli



ve sürdürülebilir bir alternatif olduğunu, ayrıca kimyasal yöntemlerle karşılaştırıldığında düşük enerji ve malzeme girişi ile düşük bakım gereksinimi sunduğunu vurgulamışlardır.

Şahinkaya ve ark. (2009), AMD'lerdeki metallerin geri kazanılmasında, kullanılan aktif biyoreaktörlerin klasik yöntemlere kıyasla önemli avantajlar sağladığı; performanslarının daha kolay tahmin edilebilir olduğunu, metallerin seçici olarak çöktürülerek geri kazanılabilir olduğunu, oluşan çamurun düşük hacimde ve kolay çökebildiğini, çıkışta çok daha düşük sülfat ve metal konsantrasyonları elde edilebilir olduğunu belirtmişlerdir.

Monjezi ve ark. (2009), tarafından İran'da gerçekleştirilen bir çalışmada, bir yöredeki bakır madeni işletmesinin, başta hava kalitesi bozulması olmak üzere birçok olumsuz çevresel etki meydana getirdiği tespit edilmiştir.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

Ülkemizde madencilik önemli bir sektör olup, madencilik aktiviteleri sırasında oluşan AMD'nin arıtılması, özellikle yeraltı suyuna etkisi gibi olumsuz çevresel etkilerinin en aza indirilmesi ve değerli metallerin geri kazanılması oldukça önemlidir. Çalışma alanı olarak seçilen, Ergani - Maden Bakır İşletmesi 1937–1994 yılları arasında açık işletme olarak kullanılmış ve 1994 yılında işletme kapatılmıştır. Buna rağmen, AMD'ler herhangi bir arıtma işlemine tabi tutulmadan Maden Çayına deşarj edildiği Özdemir (1996) tarafından bildirilmiştir. Maden Çayı aynı zamanda Dicle Barajına depo görevi gören Kralkızı Barajına (Açılış yılı 1997) su sağlamaktadır. Dolayısıyla, AMD'lerin yeraltı ve yüzeysel su kaynaklarını kirletmesi kuvvetle olasıdır.

Ülkemizde gerek AMD arıtımı gerekse bu suların yeraltı sularını olumsuz etkilenmesine yönelik çalışmalar oldukça sınırlı olup, yapılacak bu çalışmayla seçilen bölgenin yeraltı suyu kalitesine etkileri araştırılmaya çalışılmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen Ergani – Maden yöresinin genel jeolojik yapısı aşağıda verilmiştir.

Bu amaçla, tez çalışmasının üç aşamada gerçekleştirileceği planlanmaktadır. Birinci aşama; bölgenin genel jeoloji haritası MTA Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. İkinci aşama; birinci aşamada elde edilen belge ve bilgiler, bir ofis çalışmasıyla değerlendirilmiş ve bu bilgiler ışığında Ergani – Maden Bakır İşletmesine bir arazi çalışması yapılmıştır. Daha sonra, sızıntı kaynaklarının yeraltı suyuna olası etkileri olacak kuyular belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise, belirlenen kuyulardan sistematik ve periyodik numuneler alınmıştır. Numune alım periyodu mevsimsel olarak düşünülmüş ve yılda toplam 4 numune alım dönemini kapsamıştır. AMD'ler üzerinde yapılacak fiziksel ve kimyasal analizler yerinde ve laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm ve analizler; pH, elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık,

Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca, <sup>+2</sup> Mg<sup>+2</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Al, Cd ve Pb'dir.

### **3.1. Materyal**

Bu bölümde, çalışma alanının genel durumu, bölgenin karakteristik jeolojik ve hidrojeolojik durumu, çalışmada kullanılan alet ve cihazların başlıca özellikleri ve ölçüm-analizlerin değerlendirilmesinde kullanılan yazılımlar irdelenmiştir.

#### **3.1.1.Çalışma alanının jeolojisi**

Güneydoğu Anadolu'da Ergani-Maden yöresi ve çevresinde, oluşum, başkalaşım, deformasyon ve bulundukları kaya türleri yönünden farklı üç tektonik kuşak ayırt edilir. Bunlar en kuzeyde Bitlis ve Malatya-Pötürge metamorfik masifleri, bu kuşağın güneyinde ultramafik, volkanik ve tortul kayalardan oluşmuş ofiyolit kuşağı ve en güneyde Arap kıtasının kuzey uzantısı üzerinde, uzun jeolojik zaman aralığında kenar kıvrımları kuşağıdır. Bölgesel analizler yapan değişik araştırmacılar sözü geçen kuşaklara değişik adlar vermişlerdir. (Erdoğan, 1982 ve Yiğitbaş vd, 1993).

Güneydoğu Anadolu'nun Ofiyolit Kuşağı Ergani-Maden yöresinde iki grup ayırtlanmıştır. Yaşlı olan grup Guleman ilçesinin kuzey batısında en yaygın görünümlerini veren ve alttan üste doğru peridotit, bantlı gabro ve bazalt birimlerinden oluşmuş Guleman grubudur. Üstteki Maden Grubu ise tabanında, yanal yönde devamsız bir çakıl taşı düzeyi ile uyumsuz dokanakla oturur. (Erdoğan, 1982). Aşağıda çalışma alanı içine giren birimler yaşlıdan gence doğru verilmiştir.

##### **3.1.1.1.Guleman Grubu**

Ergani-Maden yöresinde ana antiklinal eksenleri boyunca yüzeylenen Guleman Grubu, yaklaşık 5-10 km genişlikte yüzlekler sunar. Bu birim alttan üste doğru birbiriyle geçişli dokanak ilişkisi gösteren üç birimden oluşmuştur.

### **3.1.1.2.Peridotit Birimi**

İnceleme alanının doğusunda yer alan birim, bazen 3 km'nin üzerinde kalınlığa erişmektedir. Alt düzeylerinde serpantinlenmiş dunit, harzburjit ve lerzolitlerden oluşmuştur. Birimin üst dokanağının 500 m altında, kalın bir düzey halinde dunitler yer alır. Guleman bölgesinin en büyük krom oluşuklarını içerir. Dunit düzeyinin üzerinde harzburjitler yaygındır ve içerisinde yanal yönde devamlılık gösteren pirokсенit yığılımları (kümülatları) bulunur. Üstteki birime geçiş, son 50 m içinde gabroların yavaş yavaş artması ile gerçekleşir. Birimin alt dokanağı (görüldüğü yerlerde) kenar kıvrımlar kuşağının Lice Formasyonu (Miyosen) üzerine bindirmiş tektonik dokanaktır (Erdoğan, 1982).

### **3.1.1.3.Bantlı Gabro Birimi**

Bu birim 100- 900 (?) m arası kalınlıkta Alt düzeylerinde 10- 50 cm kalınlıklarda pirokсенit ve harburjit yığılımları içeren birim belirgin bantlı yapı sunar. Orta kısımlarına doğru pirokсенit bantları yavaş yavaş kaybolur ve orta-ince kristalli gabrolara geçer. Üst düzeylerde ise, orta-ince kristalli homojen görünümlü holo kristalen gabrolar yaygındır ve bunların içerisinde 1-7 m kalınlıkta, iri (2-7 cm) pirokсен ve plajiyoklas kristallerinden oluşmuş pegmatitik gabro daykları bulunur.

Bantlı gabro birimi, alttaki peridotit birimi ile geçişlidir; üstte ise, bazalt birimine diyabaz dayklarının yaygın olduğu yaklaşık 50-60 m kalınlıkta bir zon boyunca geçer (Erdoğan, 1982).

### **3.1.1.4.Bazalt Birimi**

Guleman grubunun en üst birimini oluşturan bazalt birimi, bazaltik lav akıntıları, yastık lavlar ve diyabaz dayklarından oluşmuştur.

Diyabaz daykları birimin alt düzeylerinde ve özellikle gabrolarla dokanak zonunda yer alır. Diyabaz daykları 0.5 ile 2 m kalınlıklar arasında değişir. Diyabaz dayklarının arasında bazalt lavları ve yastık lavlar vardır. Ergani-Maden yöresinde, birimin en altta 100-200 m kalınlıktaki kesimi mostra verir ve üst düzeyler aşınmıştır (Erdoğan, 1982).

### **3.1.1.5.Maden Grubu**

Çeşitli araştırmacılar tarafından Maden Kompleksi, Maden Birimi ve Maden Melanji olarak adlandırılan Maden Grubu; İnceleme alanında Guleman Grubu üzerinde yer alır.Yanal ve düşey yönde girik bazaltik ve andezitik volkanitler, volkanik kırıntılı kayalar, tüfler, çamur taşları ve kireçtaşlarından oluşmuş bu grup içerisinde birbiriyle düşey geçişli Alt Volkanik-Sediment Birimi ve üst Volkanik Birimi olarak ayırtlanmıştır. Petrografik olarak her iki birimin volkanik kayaları arasında bir farklılık yoktur ve baskın olarak bazaltlar ile çok ender bazaltik andezitlerden meydana gelmiştir (Erdoğan, 1982).

### **3.1.1.6.Alt Volkanik-Sediment Birimi**

Bu birim açısız uyumsuzlukla Guleman Grubunu üstler ve tabanında yer yer 15 m kalınlığa erişen, yanal yönde devamsız çakıl taşı (ortalama 3-4 cm boyutta) düzeyi ile başlar ve değişik kaya türleri yanal ve düşey yönde griklilikler gösterir. Çamurtaşlarından bazaltik volkanitlere, bazaltik tüfler ve tuf mercekli çamurtaşlarıyla geçilir. 2-5 cm boyutunda Lamellibrans kavkuları içeren kırmızı-gri çamurtaşları, yanal ve düşey yönde kalkerli şeyl geçişleriyle merceksel konumlu ve ince katmanlı pelajik kireçtaşlarına geçer.

Pembe ve gri renkli pelajik kireçtaşları içinde arakatkılı olarak, 5-20 cm kalınlıklarda ve yanal yönde 20-30 m izlenebilen taşınmış Nummulites sp. fosilleri içeren çakıltaşı düzeyleri bulunur.

Alt volkanik-sediment biriminde, ayrıca gri renkli, kalın katmanlı ve yer yer kumlu kireçtaşları bulunur (bunlar olistolit şeklindedirler). Bu kireçtaşlarında bol olarak Nummulites sp. fosilleri içerir ve kendilerini çevreleyen çamurtaşlarıyla eş yaşıdır.

Alt volkanik-sediment birikiminin yaşının, içindeki merceksel pelajik kireçtaşları ve kalkerli şeylerde bulunan fosillere dayanarak, Üst Maestrihtiyen'den Orta Eosen'e kadar uzandığı saptanmıştır (Erdoğan, 1982).

### **3.1.1.7.Üst Volkanik Birim**

Bu birim yastık lavlar, bazaltik aglomerelalar ve tüflerden oluşmuştur. Aglomera ve tüfler, bazik lavlara oranla daha yaygın olarak bulunur. Bazaltik lavlar kahverengi ve yeşil renklidir, porfiritik dokuda ve gözeneklidir.

Bu birim alttaki Alt Volkanik-Sediment Birimiyle düşey geçişlidir. Üst volkanik birim içindeki tuf ara katkılarında fosil bulunamamıştır ve alttaki birim ile geçişli ilişkisi nedeniyle yaşının Üst Eosen olabileceği düşünülmektedir (Erdoğan, 1982).

### **3.1.1.8.Lice Formasyonu**

Formasyon ilk kez Schmdt (1958) tarafından tanımlanmış (Perinçek, 1979) ve Güney Doğu Anadolu Bindirme'sinin önünde denizel bir klastik istif olarak yaygın bir şekilde yüzeylenmektedir. Lice Formasyonu Dicle Yükselim'inden ve Ergani'nin güneyinden geçen bir doğrunun güneyinden daha çok kaba kumtaşı olarak görülmektedir ve yaklaşık kalınlığı 150 m'yi geçmemektedir. Ergani'nin kuzeyinde ise formasyon ince katmanlı kireçtaşı arakatmanlı düzgün şeyl ve marn araldanması olarak bulunmaktadır. Ergani'den bindirme kuşağına kadar görülen kalınlığı 1000 m'den fazla, Kuzeye doğru kireçtaşı arakatmanları seyrekleşir ve formasyon, kumtaşı şeyl araldanmasından ibaret fliş görünümü kazanır.

Dayanımsız bir yapıda olduğundan, topoğrafik olarak düşük seviyeleri ve çok az engebeli alanları oluşturmuştur. Formasyon kuzeye doğru bindirme düzlemi altında Guleman penceresinden yüzeyleir (Özkaya, 1978).

### **3.1.1.9.Yapısal Jeoloji**

Çalışma alanı gerek paleotektonik gerekse neotektonik açıdan, Türkiye'nin önemli tektonik birliğinden biri olan Toros Orojenik Kuşağının doğu kesiminde, oldukça ilginç bir bölümünü içine almaktadır.Söz konusu bölge, Türkiye'nin önemli tektonik unsurları sayılan Güney Doğu Anadolu Bindirme Kuşağı ve Doğu Anadolu Fayını içinde bulundurur.

Bu açıdan bölge özellikle tektonik açıdan yer bilimcilerin ilgisini çekmiştir.

Çalışma alanı içindeki Maden Grubu tektonik olayların etkisiyle, büyük ve küçük ölçekte kırıklı yapılar kazanmıştır. Ancak bu kırıklı yapıların volkanik kayaçlarda çok iyi gözlenebilmesine karşın, volkanik kayaçların olmadığı yerlerde tanınması oldukça zordur.

Şengör (1980), Üstüntaş ve Sağıroğlu'nun (1993) araştırmalarında; Anadolu ve Arap plakaları arasındaki çarpışma tektoniği ile ilişkili, sıkışma rejimine bağlı olarak, Maden grubu içinde kıvrımlı yapılardan çok, kırıklı yapıların geliştiği anlatılmıştır.Lice Formasyon'un da (Arap platformu) ise; eksenleri D-B doğrultulu olmak üzere, daha çok kıvrımlı yapıların geliştiğine değinilirken, bunun sonucu olarakta bölgenin K-G doğrultuda daralması ve D-B doğrultuda genişlemesinin söz konusu olabileceği vurgulanmıştır.

Geniş yayılım sunan Maden Grubu düzensiz bir iç yapı gösterir. Yapı içerisinde küçük çapta gelişmiş, kıvrımlar nedeniyle tabaka, eğim, doğrultuları kısa aralıklarla bile önemli değişiklikler gösterir. Lice Formasyonu ise; daha düzenli bir iç yapı sunmaktadır. Maden bölgesinde Güney Doğu Anadolu Bindirmesi ile ilişkili olarak gelişen tektonik pencereden, Lice Formasyonu Maden Grubu altında

yüzeilenmektedir (Üstüntaş ve Sağıroğlu, 1993). Kral kızı barajı civarında ise; Lice Formasyonunu izlemek olasıdır.

### **3.1.1.10.Bölgedeki Cevherleşmeler**

Çalışma bölgesi Toros tektonik birliğinin dokanağını oluşturan Güney Doğu Anadolu Bindirme Kuşaağı üzerinde yer alır. Bu kuşak boyunca Maden grubu içerisinde çeşitli yerlerde çok sayıda volkanik kökenli masif sülfid yatağı ve cevherleşmeleri yer alır. Bunlardan batıdan doğuya doğru bazıları Elmalı (Kahramanmaraş) , Helezür (Elazığ) , Çüngüş-Midyeköy (Diyarbakır) ,Ergani-Maden bölgesi yatakları, Lice-Karadere (Diyarbakır) ve Madenköy (Siirt) dür (Üstüntaş, 1988).

Bunlardan çok eskilerden beri bilineni Ergani-Maden yöresi bakır yataklarıdır. Maden Formasyonu içinde yer alan Anayatak ve çevresi (Weiss, Mızırtepe, Şeyhgel tepe, Caferağa Bahçesi) ile diğer sahalardaki cevherleşmeler, bazik volkanitlerle (bazalt, spilit,diyabaz) ilişkilidir ve genellikle yüzeyde bir alterasyon zonu ile belirgindir. Cevherleşmeler masif, ağsal, damar ve dissemine şekillerle olabilmektedir. Başlıca cevher mineralleri pirit ve kalkopirittir. Sfalerit ve Galenit ise çok az miktardadır. Nikel-kobalt mineralleri, pirotin ve manyetit önemli oranlarda bulunabilmektedir. Denizaltı ortamında oluşmuş, volkanik kayaaçlarla birlikte bulunan bu yataklar, büyük bir olasılıkla volkanik kayaaçların yerleşmesi sırasında veya hemen sonrasında oluşmuşlardır. Bakır cevherleşmesi, hidrotermal çözeltilerin çatlaklar-kırıklar boyunca yükselmesi ile birlikte çatlak-damar dolguları (ağsal-damar) ve ornatmalarla başlar, deniz tabanında da çökelmelerle (bandlar, masif sülfid mercikleri) sürer. Böylece aynı yatakta epijenetik ve sinjenetik oluşumlara işareten verileri bulmak olasıdır (Pehlivanoğlu vd, 1990).

Pehlivanoğlu vd'lerinin (1990) yaptıkları çalışmalar ve değerlendirmeler sonucunda Ergani-Maden bölgesi için, şu cevherleşme sonuçları verilmiştir.

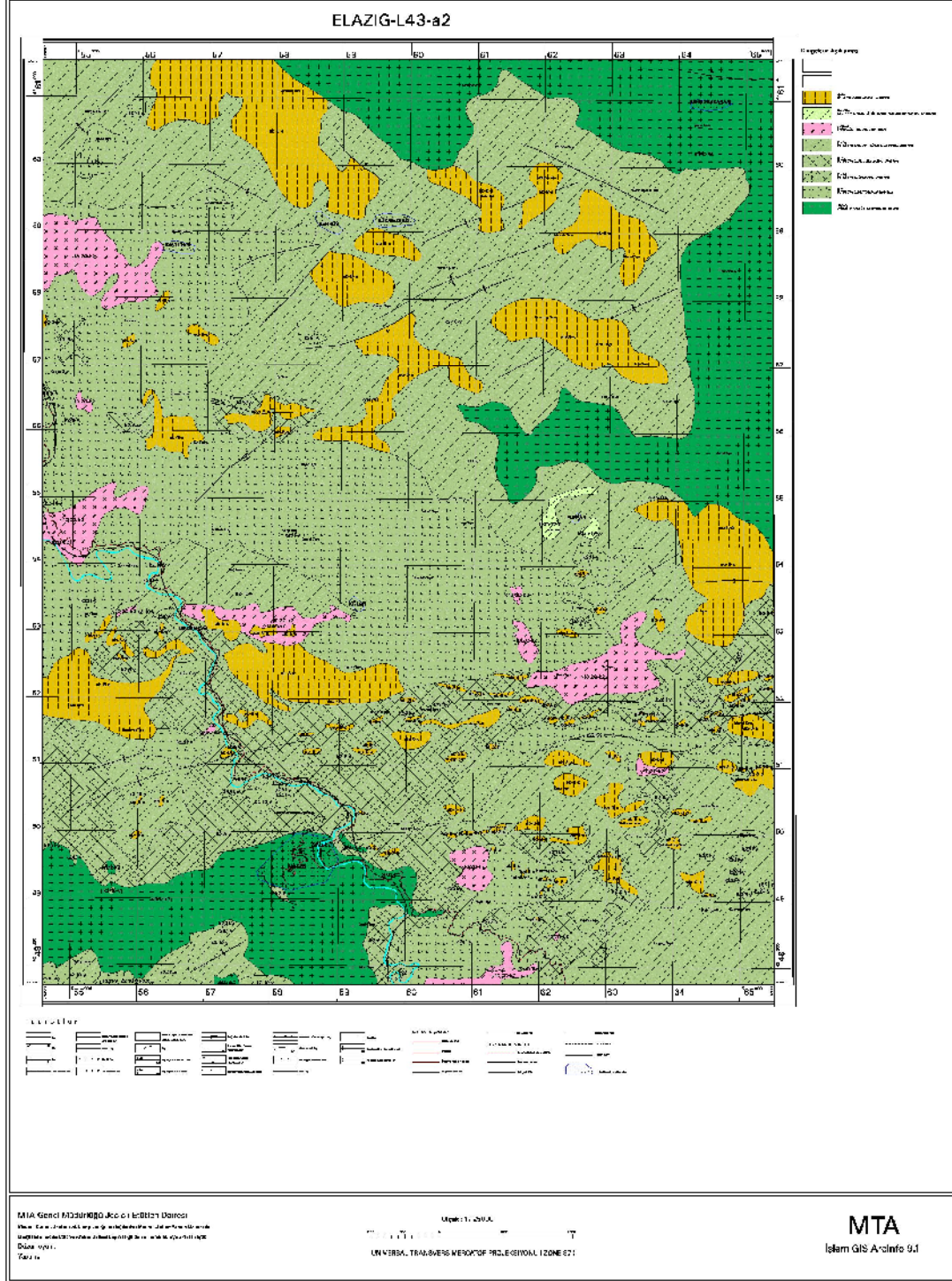


a) Gurbet Mezrası, Mehlemlik, Cellopınarı, Mahmudan, Midye, Kırmızı Tarla, Caferağa Bahçesi, Şeyhgel Tepe, Davudan, Kündikan, Zahuran, Hasanekevleri, Domuz Tepe, Mergen Tepe ve Topal Uşağı sahalarında önemli ve/veya ekonomik olabilecek bir bakır cevherleşmesi potansiyeli bulunmamaktadır.

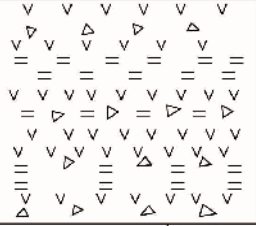
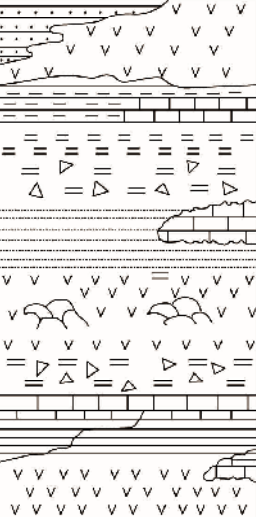

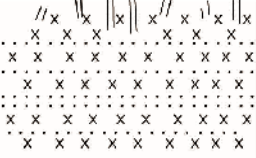
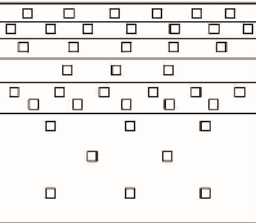
b)Anayatak-Weiss-Mızır Tepe ve Hacan yataklarının bilinen potansiyelleri dışında büyük ve/veya ekonomik bir bakır cevherleşmesi potansiyeli taşımamaktadırlar.

c)Anayatak-Weiss, Anayatak-Mızır Tepe arasında gabro ve serpantinit yüzüylendiğinden buralarda cevherleşme ihtimali görülmemektedir.

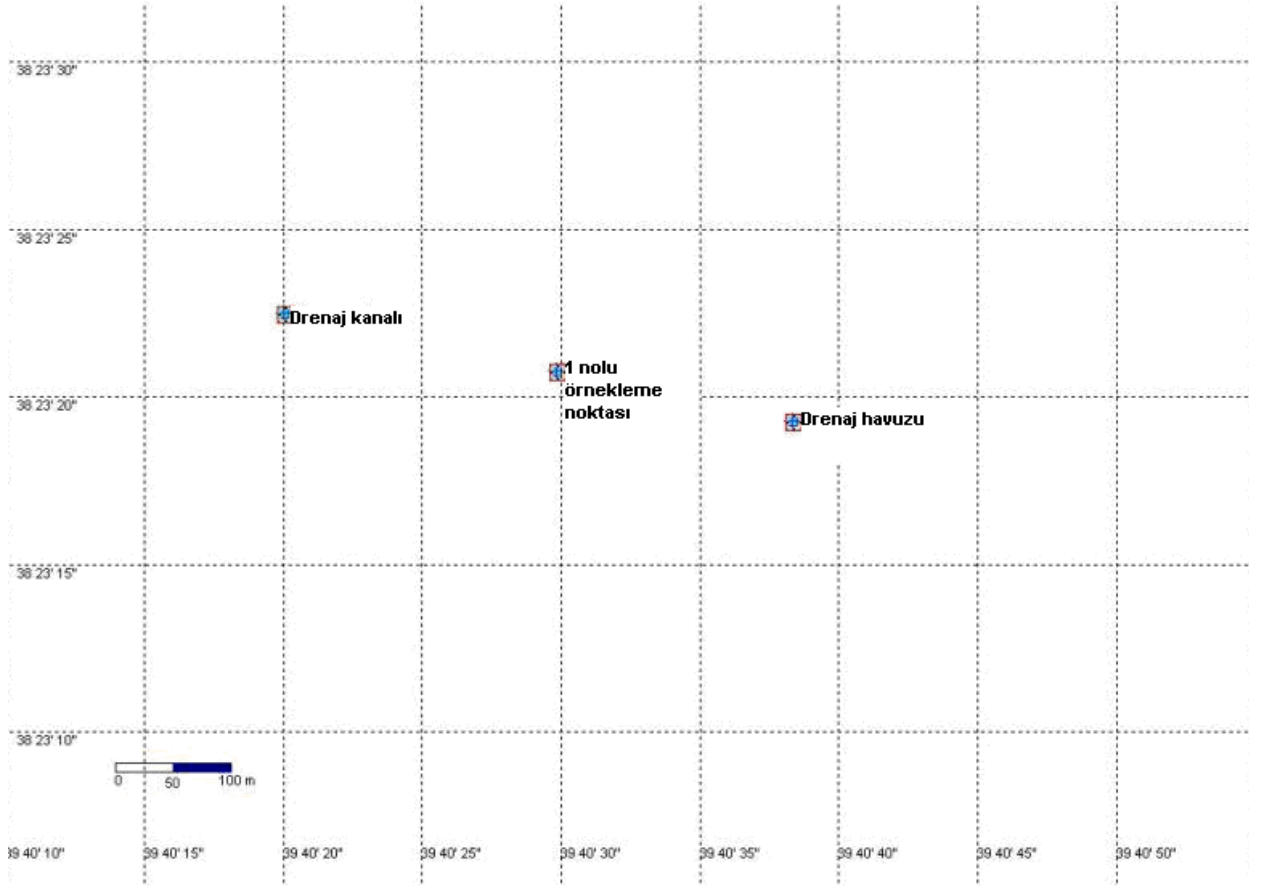
d)Putyan sahasında yapılan sondajlar sonucunda ortalama %1.56 Cu tenörlü 509 932 ton görünür rezerv saptanmıştır.



Şekil 3.1. Çalışma alanının jeoloji haritası

YAŞ	GRUP	BİRİM	İŞARET	KALINLIK	STRATİGRAFİK DİKME	AÇIKLAMALAR
ORTA-ÜST EÖSEN		ÜST VOLKANİK	K <sub>Tem</sub>	400 (?)		Mafik volkanikler, aglomeralar tüfler
MAASTRIHTIYEN - ORTA EÖSEN	MADEN	ALT VOLKANİK SEDİMENT	K <sub>Tem</sub>	1000 - 3000 (?)		Yanal ve düşey girik malik volkanikler çamurtaşları pelajik kireçtaşları, Masif kireçtaşı blokları  Seyl - kalkerli şeyl  Devamsız çakıltaşı
JURASİK(?) KRETASE	GÜLEMAN	BAZALT	J <sub>Kg</sub>	1000 (?)		Yaslık lavlar, diyabaz daykları
		SANTLI GABRO	J <sub>Kg</sub>	100-900 (?)		Banlı gabbro, pegmatit dayklar
		PERİODİK	J <sub>Kg</sub>	3000 (?)		Dunit harzburjit ve lertzolitler piroksenit yığılımları

Şekil 3.2. Maden yöresinin geliştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Erdoğan, 1982)



Şekil 3.3. Çalışma alanı 1 nolu örnekleme noktası, drenaj kanalı ve drenaj havuzu lokasyon haritası

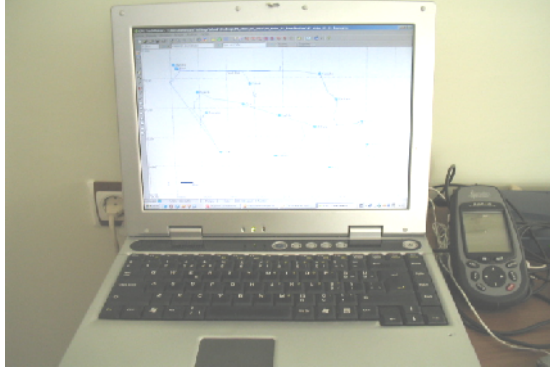


Şekil 3.4. Genel görünüm ve 1 nolu örnekleme noktası(M1), drenaj kanalı(M2) ve drenaj havuzu(M3) yerlerini gösteren uydu görüntüsü

### 3.1.2. Çalışmada Kullanılan Alet ve Cihazlar

Proje, arazi ve laboratuvar çalışmalarını kapsayan iki ana bölümden oluşmuştur. Bu bölümde, arazide ve laboratuvarında ölçüm yapılan alet ve cihazların başlıca özellikleri ve ölçüm yapılan parametreler verilecektir.

**GPS aleti:** Örnekleme noktalarının koordinatları ve kotları Magellan marka Meridian Platinum el tipi GPS ile ölçülmüştür.



Şekil 3.5. Magellan marka Meridian Platinum el tipi GPS aleti

**Fotometre cihazı:**  $\text{NO}_3^-$  parametresi Merck marka Spectroquant NOVA 60 fotometre cihazı ile ölçülmüştür.



Şekil 3.6. Spectroquant NOVA 60 fotometre

**Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometre Cihazı:**  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , Fe, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Al, Cd, Pb parametreleri Varian marka Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazında ölçülmüş, bu parametrelere ait değerler elde edilmiştir.



Şekil 3.7.Varian marka Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrometre cihazı

**Mettler toledo sevenGo pro-SG7:** Metler Toledo SevenGo pro-SG7 cihazı arazide sıcaklık, EC ve TDS parametrelerinin değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Mettler marka EC, TDS, sıcaklık ölçüm cihazı

**Mettler toledo sevenGo pro pH metre:** Metler Toledo SevenGo Pro cihazı arazide pH parametrelerinin değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Mettler marka pH ölçüm cihazı

### 3.1.3. Çalışmada kullanılan yazılımlar

Çalışma boyunca verilerin alınmasında, toplanmasında ve değerlendirilmesinde bir takım yazılımlar kullanılmıştır. Bu yazılımlar:

- GPS TrackMaker® Professional 3.8
- RockWare Aq.QA 1.1 (1.1.4.1)

**GPS TrackMaker® Professional 3.8:** Magellan marka Meridian Platinum el tipi GPS aleti ile arazide alınan koordinatlar cihazın belleğine alınır. Daha sonra, GPS aleti RS-232 kablosuyla bilgisayara bağlandıktan sonra bu yazılım vasıtasıyla veriler bilgisayara aktarılır. Aktarılan verilerle otomatik olarak çalışma sahasının tüm koordinatları, güzergah, zaman, mesafe, hız vb. bilgiler oluşturulan haritada görünür hale gelir. Elde edilen bu harita GIS türü yazılımlara altlık teşkil eder.

**RockWare Aq.QA 1.1 (1.1.4.1):** Analiz sonuçlarına göre her parametre için veya her mevki için bir veritabanı oluşturmaya yarayan yazılım aynı zamanda bu parametrelerden hareketle %Na, SAR, toplam sertlik gibi bir takım değerleri hesaplamaktadır. Bir diğer önemli özelliği ise her lokasyon için veya bunların kombinasyonu için ortak değerlendirmeler yapabilmekte ve bunlara ait Piper, yarı



logaritmik Schoeller vb. diyagramları yapabilmektedir. Projede, MS Office XP Excel'e ilaveten bu yazılımdan da oldukça yararlanılmıştır.

### **3.2. Yöntem**

Bu bölümde, çalışmada ölçülen ve analiz edilen parametreler, su örneklerinin alımı, taşınması ve korunmasıyla ilgili standart, yönerge vb. normlar ile ulusal ve uluslararası düzeyde sıkça kullanılan su kalitesi sınıflamaları ve bunların temel özellikleri tartışılmıştır.

#### **3.2.1. Ölçülen ve analiz edilen parametreler**

Bu çalışmada, örnekleme Kasım 2009 -Haziran 2010 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Alınan numunelerde analizi yapılan parametreler:  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $NO_3^-$ , Fe, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Al, Cd, Pb. Yerinde (in-situ) ölçülen parametreler ise sıcaklık, pH, EC'dir. Analizlerin güvenilirliği için anyon-katyon dengesi hesaplanarak sonuçlar APHA-AWWA-WEF (1999) tarafından önerilen ve kabul edilebilir sınır olan % 5'in altında çıkmıştır. % 5'in altında çıkmayan sonuçlarda deneyler tekrar edilmiştir.

#### **3.2.2. Örneklerin alınması ve korunması**

Geniş alanlarda yapılan çalışmalarda, örneklerin alınması, bu örneklerin laboratuara bekletilmeden getirilmesi çok titiz, doğru, hassas ve güvenilir bir çalışmayı gerektirir. Yukarıdaki bölümde anlatıldığı üzere örneklerin analizi birkaç cihazda aynı anda yapılarak olası hatalar minimize edilmeye çalışılmıştır.

- D4448-01 Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells (ASTM, 2001)
- D6517-00 Standard Guide for Field Preservation of Ground-Water Samples (ASTM, 2005)

- TS 5090 EN 25667-2/Nisan 1997, Su Kalitesi - Numune Alma Bölüm 2: Numune Alma Teknikleri – Kılavuzu (TSE, 1997a)
- TS 5106 ISO 5667-3/Nisan 1997, Su Kalitesi - Numune Alma Bölüm 3: Numunelerin Muhafaza Ve Taşınma Kuralları (TSE, 1997b)
- Numune Alma Kılavuzu 2004-1, (Anonim, 2004a)
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metotları Tebliği (Anonim, 1991)



Şekil 3.10. 3 nolu örnekleme noktasından numune alımı

### 3.2.3.Su Kalitesi Sınıflamaları

Suyun; nitel ve nicel anlamda kaliteli olması insan, hayvan, tarım, endüstri ve çevre açısından hayati bir öneme sahiptir. Suyun kalitesi, önceleri, insanlar tarafından nitel gözlemler sayesinde (tat, koku, sıcaklık, renk vb.) kabul edilmişti. Gelişen teknolojiyle birlikte bugün doğadaki suyun kalitesi, fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreleri tanımlanmış alt ve üst sınırlarının konulmasıyla mümkün olabileceği gösterilmiştir.

Türkiye de yaygın olarak kullanılan “içme suyu standardı veya sınıfı” terimi, Avrupa Birliğine giriş sürecinde tüm kurum ve kuruluşlar tarafından “the quality of water intended for human consumption” teriminin bir çevirisi şeklinde “İnsani Tüketim Amaçlı Sular” olarak ifade edilmektedir.

Bu bağlamda, bu çalışmada, suyun kalitesi insani tüketim amaçlı ve tarımsal kullanım amacına göre ulusal ve uluslararası standartlara göre belirlenmiştir. Ayrıca, suyun hidrokimyasal fasiyesi de belirlenmiştir.

### 3.2.3.1. İnsani Tüketim Amaçlı Suların Sınıflamaları

İçme suyu açısından ulusal düzeyde kullanılan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY, 2004), TS 266 Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular (TSE, 2005) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (Anonim, 2005)'lerdir. Son yönetmelik, Avrupa Birliği İçme Suyu Direktifi 98/83/EC uyarınca hazırlanmıştır.

Dünya Sağlık Örgütü tarafından yayımlanan “Guidelines for drinking-water quality” (WHO, 1993) ve Avrupa Konseyi İçme Suyu Direktifi (Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption) uluslararası düzeyde kullanılan standartlar veya direktiflerdir (EU, 1998).

Bu çalışmada ölçülen ve analiz edilen parametreler ve kısa açıklamaları şöyledir:

#### 3.2.3.1.1.Sıcaklık

Suların sıcaklığının mevsimlere göre değişmesi ya da değişmemesi suların kökeni ve geliş yeri hakkında bilgi verir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Genel olarak içme sularının sıcaklığı 7 – 10 °C arasında olmalıdır (Şahinci, 1991). Anonim, (2004c)'e göre 1. ve 2. sınıf sular 25 °C, 3. sınıf sular 30 °C ve 4. sınıf sular 30 °C' den büyük olan sulardır.

#### 3.2.3.1.2.pH

pH bir çözeltinin asit veya baz olma özelliğinin şiddetini gösteren bir kısaltmadır ve çözeltide bulunan H<sup>+</sup> iyonu konsantrasyonunun bir ifade şeklidir. Doğal suların pH değeri genellikle 4-9 arasında olup bu suların büyük bir kısmı karbonat ve bikarbonatlar nedeniyle hafifçe bazik niteliktedir (Şengül ve Müezzinoğlu, 1995; Sawyer et al., 2003). Yeraltı sularında pH için istenen değer 6.5-8.5 arasında olmasıdır.

### 3.2.3.1.3.EC (Elektriksel iletkenlik)

Elektriksel iletkenlik bir maddenin elektrik akımını iletme yeteneğidir. Birimi ohm-metre'nin tersi olup SI sisteminde metre başına siemens (S/m)'dir. Elektriksel iletkenlik belirli bir sıcaklıkta, birim uzunluk ve birim kesit alanındaki sıvının cisim veya kütesinin iletkenliğidir. Yeraltı suyu literatüründe elektriksel iletkenlik normalde miliohm'un tersi milimho veya mikroohm'un tersi olan ve mikromho cinsinden rapor edilir. SI sisteminde 1 milimho 1 milisiemens (mS) ve 1 mikromho da 1 mikrosiemens ( $\mu$ S) olarak ifade edilmektedir (Freeze and Cherry, 1979).

Saf suyun elektriksel iletkenliği çok düşük olup 25°C'de mikrosiemens'in onda birinden daha azdır (HEM, 1970). Yüklü iyonik türlerin çözeltide bulunması çözeltiye iletkenlik kazandırır. Doğal sularda değişik miktar ve oranlarda çok çeşitli iyonik ve yüksüz tür bulunduğundan, iyon konsantrasyonlarının veya toplam çözünmüş maddenin sağlıklı bir şekilde bulunmasında iletkenlik tanımlamaları kullanılamaz. Ancak, spesifik iletkenlik değerleri toplam çözünmüş katıyı (TDS) pratikte genel olarak verebilen faydalı bir parametredir. İletkenlik ve TDS arasında dönüşüm için aşağıdaki ilişki kullanılmaktadır (HEM, 1970):

$$TDS = AC$$

Burada C mikrosiemens veya mikromho cinsinden iletkenlik; A da dönüşüm faktörüdür. TDS  $g/m^3$  veya mg/l cinsinden ifade edilir. Çözeltinin iyonik bileşimine bağlı olarak çoğu yeraltı sularında A 0,55 ile 0,75 arasında değişmektedir.

### 3.2.3.1.4.Sodyum ( $Na^+$ ) ve Potasyum ( $K^+$ )

Sodyum doğada bulunan en yaygın alkali metaldir. Bütün sodyum bileşikleri suda kolayca çözünürler. Doğal suların hepsi bir miktar sodyum içerir. Yeraltı sularının sodyum içeriği normal olarak 6-130 mg/l arasında değişir. Magmasal kayalar, kil mineralleri, feldspatlar, feldspatoidler, evaporitler (NaCl gibi) sodyum içeren başlıca kayaç ve minerallerdir. Sodyum insan vücudundaki hücre dışı sıvısında en fazla bulunan katyondur. Vücudun sodyum düzeyini kontrol etmede

etkin mekanizmaları bulunduğu için sodyum akut zehirlenme etkisi olan bir metal değildir. Bununla birlikte kalp, böbrek ve dolaşım sistemi hastalıkları olan kişilerde olumsuz etkiler yapabilir (McNeely et al., 1979).

Potasyum yer kabuğunun %2.5'ünü oluşturur ve esas olarak feldspatlarda (ortoklaz, mikroklin), mikalarda, feldspatoidlerde ve kil minerallerinde bulunur. Bitki ve hayvanlarda bulunan ana elementlerden biridir. Doğada oldukça yaygın bulunmasına karşın doğal sularda genellikle birkaç mg/l düzeyinde bulunur. Sulardaki orta derecedeki potasyum derişimi suyun kullanımını olumsuz yönde etkilemez. Potasyum bitki ve hayvan yaşamı için ana besinlerden biri olmasına karşın, çok yüksek derişimleri (>2000 mg/l) sinir ve sindirim sistemi için zararlıdır. Sodyumun, 100-200 mg/l arasında olması tavsiye edilir.

#### **3.2.3.1.5.Klorür (Cl)**

Yeraltı sularındaki klorür miktarı genellikle yağışlı bölgelerde az, kurak bölgelerde çoktur. Klorür, sedimanter kayalarda, özellikle evaporitlerde bulunur. Sulardaki klorür iyonu, hidrolojik çevrim sırasında iyi korunabilen iyonlardandır. Bu nedenle iyi bir izleyici olarak bilinir. Yüksek derişimdeki klorür iyonu, bitkilerin gelişmesini engeller. Bitkiler tarafından kolayca soğurulan klorür iyonu, bitki dokularında ve yapraklarda birikerek yaprak yanmasına neden olur. Tuz yataklarının bulunuşu, yapay tarım gübrelere, fabrika, lağım suları, çürümüş hayvan ve bitki artıklarının, buzlanmayı önlemek için yollara atılan tuzların yeraltısularına karışması sonucu klorür miktarı artabilir.

Klorürün sularda 250 mg/l düzeyinin geçmemesi istenir

#### **3.2.3.1.6.Sülfat (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)**

Yeraltı sularındaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidritten ileri gelmektedir. Bunların dışında az miktarda piritin oksidasyonu ile oluşan demir

sülfattan, magnezyum ve sodyum sülfattan da gelebilir. Özellikle Orta ve Güneydoğu Anadolu bölgelerindeki evaporitik seri içinde bol miktarda jips ve anhidrit bulunduğundan, bu bölgelerin yeraltı sularında sülfat iyonuna çokça rastlanılmaktadır. Sülfatın, tarımda toprağın tuzluluğunu arttırması dışında zararlı etkisi yoktur. Sulama sularında 250 mg/l'ye kadar olan miktarlar bitki beslenmesi için faydalıdır. Bu miktar 500 mg/l'nin üzerine çıktığında zararlı olmaya başlar (Erguvanlı ve Yüzer, 1987).

Sülfatın sularda 250 mg/l düzeyini geçmemesi istenir.

### **3.2.3.1.7.Nitrat (NO<sub>3</sub>)**

Yeraltı sularında, en problemlisi, en yaygın ve büyük miktarda bulunan potansiyel kirleticilerden biri nitratdır (Keeney, 1986). Yeraltı sularında nitratın kaynağı başlıca dört kategoride sayılabilir: Doğal kaynaklar, atıklar, gübreleme ve sulu tarım (Canter, 1997). Nitrat pekçok doğal su ortamlarında makul konsantrasyonlarda bulunur; ancak gerek atıksuların deşarjı ve gerekse gübre kullanımına bağlı olarak nitrat konsantrasyonu yeraltı sularında yüksek değerlere çıkarak bir kirletici halini alabilir. Nitrat iyonları çocuklarda ve hamile kadınlarda önemli sağlık riskleri taşıdığı bilinmektedir. Bu durum muhtemelen çocukların midelerinde nitratların nitritlere indirgenmesine bağlıdır. Nitratlar, bebeklerde hemoglobinle birleşebilir ve böylece hücrelere oksijen taşınımını olumsuz etkileyebilir (mavi bebek sendromu olarak ta bilinen mavimsi bir deri renginin ortaya çıkmasına neden olur).

Azot gübrelerinin yaygın kullanımı yeşil sebzelerde yüksek nitrat düzeylerine neden olabilir. Belli koşullar altında nitrat çok daha zehirli olan nitrite, ve hatta, nihai olarak kanserojenik etki yapan nitrosamine de dönüşebilir (etki başlıca bağırsaklarda görülür) (Richard,1980). İnsan atıkları da alıcı ortamlarda azotta önemli artışlara sebebiyet verirler. Hatta gübreler, hayvan atıkları, kentsel ve endüstriyel atıklar yer altı suyunda nitrat kirliliğinin önemli kaynağı olarak düşünülürler (WHO,1978).

Ulusal ve uluslararası bilimsel ve teknik kuruluşların neredeyse tümü sularda max. nitrat düzeyini 50 mg/l olarak kabul etmiştir. Bilimsel raporlarda nitrat ya  $\text{NO}_3^-$  ya da  $\text{NO}_3\text{-N}$  şeklinde ifade edilir.

### **3.2.3.1.8. Alüminyum (Al)**

Alüminyum yer kabuğunda en çok bulunan elementlerden üçüncüsü olmasına rağmen suyun kapsamında az bulunur. Suda çok az bulunduğu zaman bile renk değişimine neden olabilir. Suda 0, 1-0, 2 mg/litreyi aşması durumunda meydana gelen renk değişikliği tüketicinin yakınmasına neden olur. Alüminyum doğal sularda toprak ve kayalardan erime nedeniyle bulunmaktadır. Suda çözülmüş tuz, kolloid veya çözünmeyen bileşikler halinde bulunur. Doğal suların pH sı genellikle 5- 9 arasındadır. Bu pH da alüminyum veya alüminat iyonları dissosiyasyon olurlar. Normal pH daki sular 10 mg/l ye kadar kolloidal alüminyum kapsayabilirler. Alüminyum iyonu, organik madde, sülfat ve florür ile kuvvetli kompleks iyonlar verir. Bu nedenle bazı suların bileşiminde daha yüksek konsantrasyonda alüminyuma rastlanır. İnsanların gıdalarla birlikte sularla günde 88 mg alüminyum aldığı tahmin edilmektedir. Bir insanın litresinde 1, 5 mg Al. içeren sudan 2 lt içtiği tahmin edilirse yalnızca sudan 3 mg Alüminyum alıyor demektir ki bu da günlük alınan alüminyumun % 4 ünden daha az miktardır. İnsanlar için Al temel besin maddelerinden değildir. Fosfat tuzları halinde kompleks olarak su ve gıdalardan alınır. Gıda ile dışarı atılır. Uzun süre fazla miktarda alüminyum hidroksitinin alınması vücuttan fosfatların kaybına neden olur.(Güler, 1997)

Alüminyumun sularda su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 1 mg/l'yi geçmemesi istenir.

### **3.2.3.1.9.Bakır (Cu)**

Bakır ve bileşikleri çevrede dolayısıyla yüzeysel sularda bulunabilirler. Sudaki bakır, suyun pH sı ve karbonat konsantrasyonu ve diğer anyonlarla ilgilidir. Musluk suyunda bulunan bakır miktarı ham su kaynağında ve



artılmış suda bulunan bakır miktarından fazla olabilir. Çünkü bakır tuzları dağıtım sistemlerindeki çamur kontrolü ve manganezin yükseltgenmesini katalizlemesi yönünden, depolardaki bakteri büyümelerinin kontrolünde kullanılır. Pirinç, bronz borular ve bağlantılarının korozyonu sonucunda, suda ölçülebilecek miktarlarda bakır bulunabilir. Suda bulunan bakır zararlı değildir. Ancak alüminyum, çinko gibi boruların korozyonunu artırır. Suda litrede 1 mg daha fazla bakır çamaşırlarda leke yapar. Bu değer 5 mg/gr olması halinde bakır suya belirgin bir şekilde acı bir lezzet verir. İnsan metabolizmasında bakır esas elementlerden birisidir. Yetişkinlerin günde 2. 0 mg bakıra ihtiyaç duyduğu tahmin edilmektedir. İnsan kanında ise litrede 0. 8 mg Cu +2 iyonu vardır. Eritrosit oluşumunda doku demirinin serbest bırakılmasında, kemik, merkezi sinir sistemi ve bağ doku gelişmesinde önemli rol oynar. Fazla miktarda alınması halinde mukoza iltihaplanması, damar hastalıkları, karaciğer ve böbrek hastalıkları ve depresyonla seyreden merkezi sinir sistemi irritasyonları görülebilir.(Güler, 1997)

Bakırın sularda su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 0,2 mg/l 'yi geçmemesi istenir.

### **3.2.3.1.10.Çinko (Zn)**

Bol miktarda bulunan çinko yeryüzü kabuğunun % 0, 004 ünü oluşturur. En çok bulunan minerali sfalerit (ZnS) dir. Bu bileşik Pb, Cu, Cd ve demir sülfürle beraberdir. Topraktaki çinko miktarı 1-300 mikrogram/gr arasında hesaplanmıştır. Atmosferdeki çinko miktarı kaynak noktasına bağlı olarak değişir. Çinko sülfür, oksit ve karbonatları yüksek klorürlü suda çözünür, çinko sülfat tuzları çinko hidroksit ve çinko karbonat şeklinde hidrolize olmaya meyillidir. Doğal sularda çinko az bulunur. Adsorbsiyonla çözülmüş çinkonun miktarı düşer. Musluk suyunda çinko miktarı, galvanizli pirinç borular ve diğer çinkolu yapımlardan gelen çinko nedeniyle yüzey sularından daha fazladır. Musluk suyunda çinko miktarı 0, 01-1, 0 mg/l arasında genel olarak değişiklik gösterir. Çinko gerek insan ve gerekse hayvanlar için gerekli esansiyel elementlerdendir. Et ve süt ürünleri çinko yönünden zengindir. Baklagiller ve balık zengin çinko kaynağıdır. Normal bir insan gıdalarla

ortalama günde 12 mg çinko almaktadır. İçme suyuyla alınan miktar 400 mikro gramı geçmez. Hava ise insanlar için düşük gıda kaynağıdır. Biyokimyasal yönden çinkonun önemi bazı enzimlerin aktivasyonu için, vazgeçilmez bir madde oluşundan kaynaklanmaktadır. En fazla çinko prostat da bulunur. Pankreasda oldukça büyük miktarda bulunur. Pankreastaki çinko insülin ile birleşmiş haldedir. İnsülin pankreasta çinko bileşiği halinde depo edilir. Ayrıca kemik, adale ve karaciğerde de bulunur. Yaş ve cinsiyete bağlı olarak gerekli olan günlük çinko miktarı 4-15 mg olarak önerilmektedir. Gerek insan ve gerekse hayvanlarda çinkonun absorpsiyonu, protein, vitamin ve metallerin alınması gibi birçok faktörlerden etkilenmektedir. Alman çinkonun fazlası vücuttan atılır, dokularda birikim olmaz. Serum ve plazmadaki çinko miktarı litrede 1 mg dır. Kandaki miktarı bunun 5 katıdır. Kırmızı kan hücrelerinde ise litrede 10 mg dır. Çinko zehirli değildir. İnsanlarda çinko zehirlenmesinin belirtisi, kusma, su eksikliği, elektrolit dengesizliği, karın ağrısı, bulantı, uyuşukluk, baş dönmesi, adale kondisyonunda eksiklik şeklinde görülür. Çinko klorürün neden olduğu böbrek yetersizliği görülmüştür.(Güler, 1997)

Çinkonun sularda su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 2 mg/l 'yi geçmemesi istenir

### **3.2.3.1.11.Demir (Fe)**

Demirin jeokimyasal özellikleri sıkı bir şekilde oksijen, kükürt ve karbona bağlıdır. Bu üç element yanında demir ve manganez yer kabuğunda oldukça bol bulunur. Atmosferdeki oksijen, iki değerli demir minerallerini oksitleyerek  $Fe^{+3}$  bileşiklerini meydana getirir. Tortul oluşuklarda; bakteriler organik karbonun yardımı ile  $Fe^{+3}$  'i  $Fe^{+2}$  bileşiklerine ve sülfatları sülfidlere dönüştürürler.

Alkali yüzey sularında demir ender olarak 1 mg/l'te değerinden daha fazla konsantrasyonlarda bulunur. Diğer taraftan bazı yeraltı suları ve asidik yüzey sularında fazla miktarda Fe bulunabilir. Litrede 0.3 mg dan itibaren demir içeren suların lezzeti hoş değildir. Böyle sular sanayi ve günlük gereksinim bakımından kullanılmaya da uygun değildir. Çünkü bazı küçük canlıların oluşumuna yardım

ettikleri gibi bunların çoğalarak (alg oluşumu) çöken hidroksitle beraber boruları tıkama tehlikesi vardır. Dokuma, boya, yıkama, tutkal, yapay ipek, fotoğraf malzemesi, cam, seramik maddeleri imal eden sanayiler litresinde 0,1 mg dan daha fazla demirli suları kullanamazlar. Bu gibi sular çöküp tıkama olasılığından dolayı kalorifer tesislerinde de kullanılmaz. En uygunu litresinde 0, 05 mg dan fazla demiri olmayan suları kullanmaktır. Demir insan organizmasında özellikle alyuvarların yapısında bulunan, hemoglobinin fonksiyonel bir parçası olması yönünden önemlidir. Bunun dışında demir, kasların myoglobininde, sitokrom, peroksidaz ve katalaz sistemlerinde yer alan yaşamsal önemde bir mineraldir. Bütün insan vücudundaki total miktarının ancak 4-5 gram arasında olmasına karşın bunun 700 mg kadarı karaciğerdedir. Demirin biyokimyasal reaksiyonlar yönünden özellikle solunum sistemi yönünden büyük görevleri vardır. Hayvansal organizma büyük kısmıyla alyuvarlarda yer alan demir içeriğini tekrar tekrar kullanma yeteneğindedir. Bu nedenle günlük demir gereksinimi oldukça ufaktır. Bu çocuklar için 10-15 mg arasında değişir, büyüklerin demir gereksinimi de kadın, erkek, genç veya yaşlı oluşuna göre farklılık gösterir. Genç kadınlarda ve emziren annelerde 18 mg kadardır. Vücuttan dışkı, idrar ve terle atılan demir miktarı ise sadece 1 mg civarındadır.(Güler,1997)

Demirin sulara su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 5 mg/l 'yi geçmemesi istenir.

### **3.2.3.1.12.Kadmiyum (Cd)**

Endüstride kadmiyumlu minerallerden, kadmiyum içeren plastik metal atıklarından çevreye yayılan kadmiyum, hava, su ve toprağı kirletmektedir. Toprak ve suda biriken kadmiyum ise sudaki organizmalara geçmekte, buradan da besin zinciriyle balık ve insanlara ulaşabilmektedir. Besinlerde kadmiyum, en çok kabuklu su hayvanlarının karaciğer ve böbreklerinde birikir. Bu besinlerdeki kadmiyumun miktarı 10 mg/g'ın (yaş ağırlık) üzerine çıkabilir. Kadmiyum, bileşiklerinde Cd (+2) değerliğindedir. Cd doğada Zn ile birlikte bulunur. Kadmiyum, balığın büyüme ve gelişmesi için gerekli olmadığı halde, memeli sistemlerle veya herhangi bir biyolojik

sistemle karşılaştığı zaman, esansiyel elementler olan Zn ve Cu gibi davranır, metalotiyoneinin Cu ve Zn ile bağlanacağı -SH gruplarına bağlanarak karaciğer ve böbreklerde depo edilebilir. Aşırı derecede toksik bir metaldir (Dunnick ve ark., 1988).

Kadmiyum, civadan sonra en toksik ikinci metaldir. Düşük konsantrasyonlarda toksik olabilen ve metabolik aktivite için gerekli olmayan bir metaldir. Sıcaklıktaki bir değişme, kadmiyum alınmasını ve toksisitesini artırır. Oysa, tuz veya suyun sertliğinin artması kadmiyumun etkisini azaltır. Genel olarak suyun organik içeriğinin kadmiyumu bağlayıp tutmasıyla ortamdaki miktarı azalır, böylece canlı organizmalardaki etkisi de azalmış olur (Teague, 1999).

Kadmiyumun suda çözünen tuzları, kolayca solungaçlar yolu ile kana absorbe olabildiği halde, suda çözünemeyenleri uzaklaştırılmakta veya gastrointestinal yolla yutulmaktadır. İnce bağırsaktaki absorpsiyonu kalsiyum, demir ve protein eksikliğinde artar. Ortamda kalsiyum miktarı azaldığında, kadmiyum absorpsiyonu hızlanmakta, kalsiyum miktarının artması durumunda ise kadmiyum absorpsiyonu azalmaktadır. Bu da her iki metalin hücre içerisine girişinin benzer yollarla olduğunu göstermektedir. Kadmiyum kanda proteinlere ve alyuvarlara bağlanır ve bu şekilde taşınır. Fakat taşınan kadmiyumun %50-70'i karaciğer ve böbreklerde birikmektedir. Özellikle zararlı olmaya başladığında böbreklerle dışarı atılır. Bulunduğu ortama bağlı olarak yaş ilerledikçe vücuttaki kadmiyum birikimi artmakla beraber atılım miktarı değişmez. Özellikle kadmiyuma kronik olarak maruz bırakılma sonucunda böbrek hasarı, akut maruz bırakılmalarından sonra ise testislerin hasarına sebep olduğu bilinmektedir. Bu metal, kalsiyum metabolizmasının bozulmasına ve kemiklerin daha kırılır duruma gelmesine neden olabilir. (Teague, 1999).

Kadmiyumun sularda su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 0,01 mg/l 'yi geçmemesi istenir.

### 3.2.3.1.13. Kalsiyum (Ca)

Doğadaki başlıca kalsiyum kaynakları karbonatlar ( $\text{CaCO}_3$  yani kireç taşı veya mermer) aragonit, dolomit ( $\text{CaCO}_3 \text{ MgCO}_3$ ) Jips ( $\text{CaSO}_4$  yani alçı taşı) anhidrit, apatit mineralleridir. Ayrıca silikat taşlarında % 1-10 Ca iyonunu içeren kalsiyum silikatlar şeklinde de bulunur. Kalsiyum silikatlar hava ve yağmurun etkisiyle çözünebilen kalsiyum tuzlarına ve kil minerallerine dönüşür. Genellikle sudaki kalsiyum iyonu kaynağını karbonatlı ve sülfatlı kalsiyum mineralleri teşkil eder. Bu nedenle sularda, çok değişik konsantrasyonlarda kalsiyum bulunabilir. Kalsiyum suya sertlik özelliği veren en önemli iyondur. Kalsiyumlu sularda karbonat ve sülfat da bulunuyorsa  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{SO}_4$  çökerek kabuk meydana getirir. Borularda az miktarda Ca-  $\text{CO}_3$  in çökerek, iç yüzeyi bir tabaka halinde örtmesi halinde boruların korozyona uğramasını engeller, Kalsiyum sulama sularında toprağın yapısı ve geçirgenliği yönünden yararlıdır.

Kalsiyumun büyük bir biyolojik önemi vardır ve insan organizmasında en yoğun şekilde bulunan katyondur. Vücutta bulunan kalsiyumun çok büyük kısmı, kemik dokusunda "hidroksiapatit" kristalleri halinde fosfatlarla birlikte bulunur. Kalsiyumun plazmadaki düzeyi % 10 mg civarındadır. Kalsiyum özellikle kanın pıhtılaşmasında önemli bir rol oynar. Kalsiyum kasların fonksiyonu yönünden de önemlidir. Ayrıca hücre zarının permeabilitesinde ve sinirsel aktivite de de kalsiyum rol oynar. Normal bir diyetle beslenen, bir kişi günde 800 mg kadar kalsiyum alır. Bunun 700 mg kadarı gaita ile tekrar vücut dışına atılır. Vücutta net olarak 100 mg kalsiyum sağlanmış olur. Vücutta, kalan ve kemiklerde depo edilen 100 mg kalsiyumun bir bölümü de yine gaita ile dışarı atılır. Böbrek yolu ile çok az kalsiyum dışarı atılır.(Güler,1997)

Kalsiyumun, içme suyu standardı (TS-266)na göre, 200 mg/l'yi geçmemesi istenir.

**3.2.3.1.14.Kurşun (Pb)**

Toprağın doğal elementlerinden olan kurşun yaklaşık olarak toprakta kilogramda 16 mg miktarında bulunur. Dünya üzerinde göl ve nehir sularının ortalama kurşun içeriği ise litrede 1-10 mikrogramdır. Ancak sulardaki bu değer nadir olmakla beraber endüstriyel bulaşma sonucu daha yüksekte olabilir. Ancak arıtma işleminden sonra suyun dağıtım şebekesine verilmeden önce bu değer çok düşüktür. Evlere verilen çeşme suyunda ise, eğer dağıtım kurşun borularla yapılıyorsa veya kurşunla kaplı depolarda bekletiliyorsa bu miktar daha yüksek olmaktadır. Özellikle bu miktar suyun yumuşak, bol oksijenli, nitrat miktarı fazla ve asidik karakterde olması durumunda korozyonun artmasından dolayı daha fazla olmaktadır. Kurşun borular su dağıtımında artık genelde kullanılmasa da bazı ülkelerde henüz kullanılmaktadır. Günde ortalama 2 litre su içilebileceği dikkate alındığında su ile günde 10-20 mikrogramdan 1 mg a kadar kurşun alınabileceği tahmin edilmektedir. İçme suyu içindeki kurşunun sindirim sisteminden olduğu gibi emilmesi önemli bir noktadır. Her ne kadar su içindeki çok ince kurşun partiküllerinin emilebilmesi hakkında fazla bilgi yoksa da suda erimiş kurşunun kolayca emildiği bilinmektedir.

İnsan vücudundaki kurşun miktarı tahmini ortalama olarak 125-200 mg civarındadır ve normal koşullarda insan vücudu normal fonksiyonlarla günde 1-2 mg kadar kurşunu atabilme yeteneğine sahiptir. Birçok kişinin maruz kaldığı günlük miktar 300- 400 mg ı geçmemektedir. Kurşunun vücutta absorpsiyonu çocuklarda daha yüksek olmakla beraber normalde % 5 gibi düşük bir oranda gerçekleşmektedir Bu oran dahi kalsiyum ve demir gibi birçok mineralin vücut tarafından emilimini azaltmaktadır. Kana karışan kurşun buradan kemiklere ve diğer dokulara gitmekte ya da dışkı ve böbrekler yoluyla vücuttan atılmaktadır. Kemiklerde biriken kurşun zamana bağlı olarak (yarılanma ömrü yaklaşık 20 yıl) çözünerek böbreklerde tahribata neden olur. Kurşun bir nevi nörotoksindir ve anormal beyin ve sinir sistemi fonksiyonlarına sebep olmaktadır. Çocuklar üzerinde yapılan araştırmalarda kanda kurşun miktarı arttıkça IQ seviyesinin düştüğü tespit edilmiştir. Diğer taraftan kurşun

nörotoksik özelliğinden dolayı sinir sisteminde iletimin azalmasına da yol açmaktadır.

Kurşunun çoğu kemiklerde depolanmasına rağmen beyne, anne karnındaki cenine ve anne sütüne de geçebilmektedir. Bebekler ve çocuklarda düşük olan kurşun oranı, ilerleyen yaşla beraber, kurşuna maruz kalınmasıyla artış göstermektedir. Kanda 40 mg/l seviyesini aşınca tansiyon artırıcı etki de ortaya çıkar. Dünya sağlık örgütü sınıflandırmasına göre (1995) kurşun 2. sınıf kansorejen gruptadır. Ekolojik olarak kurşun katı olarak çökme eğilimindedir ve özel durumlar dışında kompleks oluşturmaz.(Güler, 1997)

Kurşunun sulara su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 0,05 mg/l 'yi geçmemesi istenir.

#### **3.2.3.1.15. Magnezyum (Mg)**

Magnezyum suyun sertliğini meydana getiren iyonlardan biridir. Sıcak sulara kırılğan bir kabuk meydana getirir. Suda bulunan karbondioksit, karbonatlı ve sislikatlı minerallerdeki magnezyumun suya geçmesinde rol oynar. Granit ve silisli kumlarda bulunan suların kapsamında 5 mg kadar magnezyum bulunur. Magnezyumun sülfat ve klorürleri suda kolay çözülür. İnsan biyolojisinde gerekli bir mineraldir. Kemik, kas ve sinirsel dokularda bulunur. Magnezyum daha çok bir hücre içi elemandır. Yetişkin bir insanın günlük 35 mg magnezyuma gereksinimi vardır. Alyuvarlarda da magnezyum vardır. Magnezyumun plazmadaki miktarı % 2, 5 mg kadardır. Hücrelerdeki miktarı daha fazladır. Kas hücrelerinde % 20 kadar magnezyum bulunur. Yetişkin bir insanın günde 50 mg magnezyuma gereksinimi vardır.(Güler, 1997)

Magnezyumun, içme suyu standardı (TS-266)na göre 150 mg/l'yi geçmemesi istenir.

**3.2.3.1.16.Mangan (Mn)**

Toprakta minerallerden geçmiş mangana rastlanır. Toprak veya tortul kütlelerdeki mangan atmosferik olayların etkisiyle çözünerek suya geçer. Demiri fazla olan sularda, çok defa mangana rastlanır. Fakat miktarı çok az olup;litrede 0, 3 mg ı geçmez. Yeraltı sularında bulunan mangan ortamda oksijenin bulunmayışı nedeniyle iki değerliklidir. Yüzeysel sularda, özellikle göl ve baraj gibi rezervuarların dip çökeltisi çamurları içerisinde bulunur ve indirgeyici ortamda çamurdan suya geçer. Manganın suda bulunmasının zararı endüstri sularında hemen hemen demirin etkisinin aynısıdır. Bu da suda bazı bakterilerin çoğalmasına yardım ettiği gibi, boruların tıkanmasına demirden fazla neden olur. 0. 5 mg/ lt mangan dan fazlası sulara kötü bir lezzet verir. Çay ve kahve hazırlamaya, çamaşır yıkamaya uygun değildir. Endüstride manganlı suların arıtımı gerekmektedir. Yiyeceklerdeki mangan miktarları önemli derecede değişiklik gösterir. Süt ürünlerinde düşük konsantrasyonlarda etlerde 0-0. 8 mg/kg, balıkta 0-0. 1 mg/kg bulunur. Fındıkta fazladır. Mangan en az zehirli elementtir. Birkaç olay dışında sudaki mangandan dolayı bir zehirlilik görülmemiştir.(Güler, 1997)

Manganın sularda su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 3 mg/l ‘yi geçmemesi istenir.

**3.2.3.1.17. Nikel (Ni)**

Nikel her yerde bulunur, başlıca alaşımları arsenid ve sulfit dir. Madenlerin işlemleri sonucu çevreye yayılabilir. Nikel bazı alaşımlarda katalisit olarak metal kaplamalarda kullanılmaktadır. Gıda, konserve ve fabrikalarındaki tesisatta nikel kullanılması gıdalarda kontaminasyon yapabilir. Nikel tuzlarının pek çoğu suda eriyebilir, bu nedenle bulaşma kolay olur, özellikle nikel içeren bileşiklerin nehirlere atılması bu bulaşmada rol oynar. Yüzey sularında 1 mg/l gibi yüksek oranlar bildirilmiştir. Normalde bu sulardaki oran 5 - 20 mikrogram/l gibi düşük bir seviyededir. Belirli su işlem metodlarıyla nikelin bir kısmı giderilmektedir. Bu



nedenle işlenmiş sularda, işlenmemiş sulardan daha az bulunur. Genel olarak 2 - 5 mikrogram /l rastlanan tipik değerlerdir. Özellikle nikel karışımı su iletim boruları kullanıldığında bu miktar artabilir. Nadiren 0, 5 mg/l miktarlar bildirilmiştir. Günde 2 lt su içildiği dikkate alınırsa normal olarak içme suyu ile alınabilecek miktarı 10-20 mikrogramı geçmez. Nikel toksik olmayan bir elementtir. Gıda ve sularda bulunan nikelin ciddi bir sağlık problemi yaratacağı düşünülemez.(Güler, 1997)

Nikelin sularda su kirliliği kontrol yönetmeliğine göre, 0,2 mg/l 'yi geçmemesi istenir.

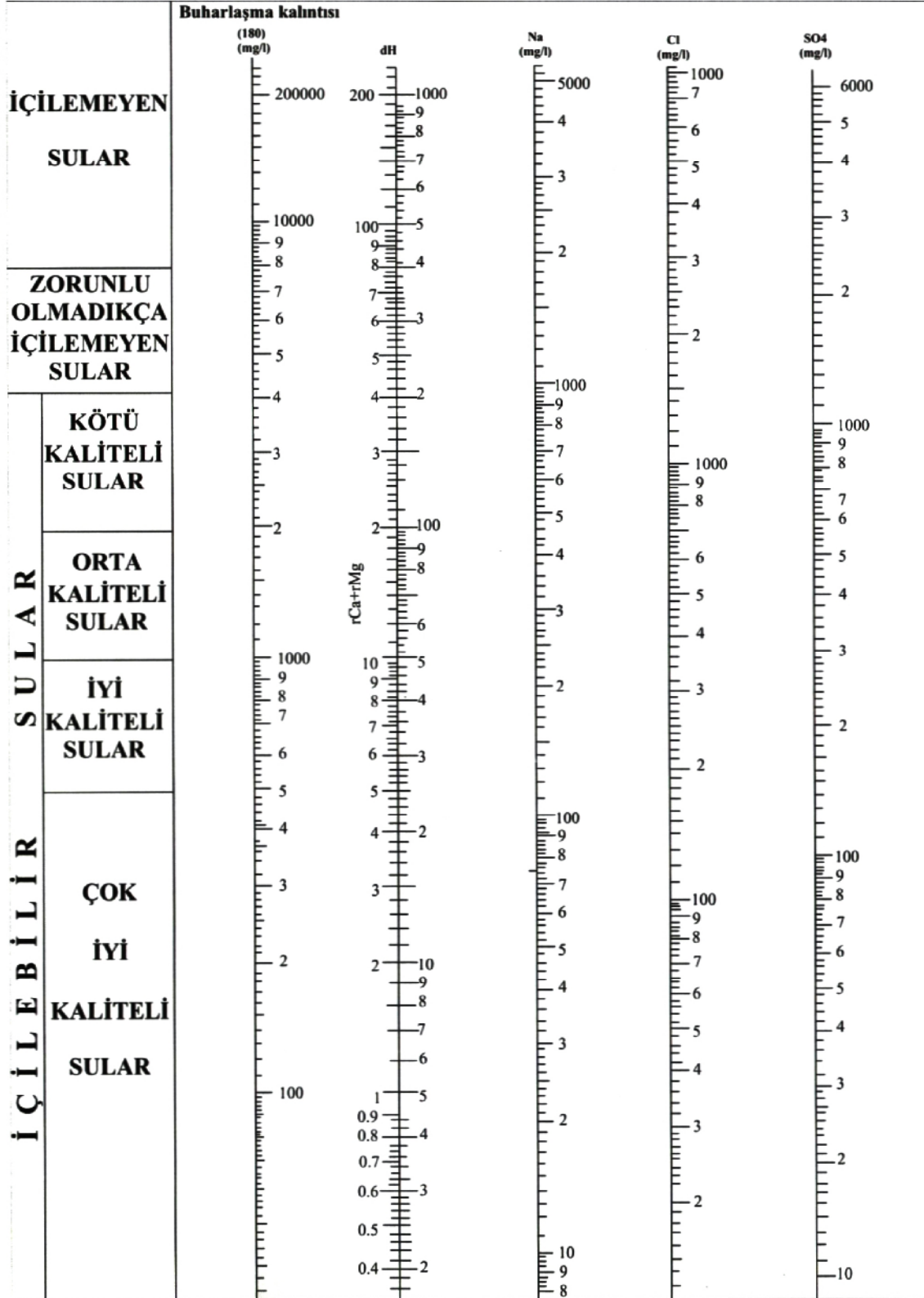
### **3.2.3.1.18.Schoeller İçilebilirlik Diyagramı**

Schoeller (1955) tarafından önerilen suların içilebilirlik diyagramı (Şekil 3.11) pratik olduğu için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.Bu diyagramda; sırasıyla buharlaşma kalıntısı, toplam sertlik,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  ve  $SO_4^{-2}$  (mg/l) değerleri logaritmik düşey cetvel üzerine işaretlenir.İşaretli bu noktalar düz bir çizgiyle birleştirilir. Oluşan bu çizginin en kötü kaliteye tekabül eden noktası o suyun genel içilebilirlik kalitesini verir. Bu diyagramda sular:

- İçilebilir Sular
  - Çok iyi kaliteli
  - İyi kaliteli
  - Orta kaliteli
  - Kötü kaliteli
- Zorunlu olmadıkça içilemeyen sular
- İçilemeyen sular

olarak sınıflandırılmıştır.

Bu çalışmada, her örnekleme noktası için bu diyagram üzerine değişim mevsimsel olarak işlenmiştir.



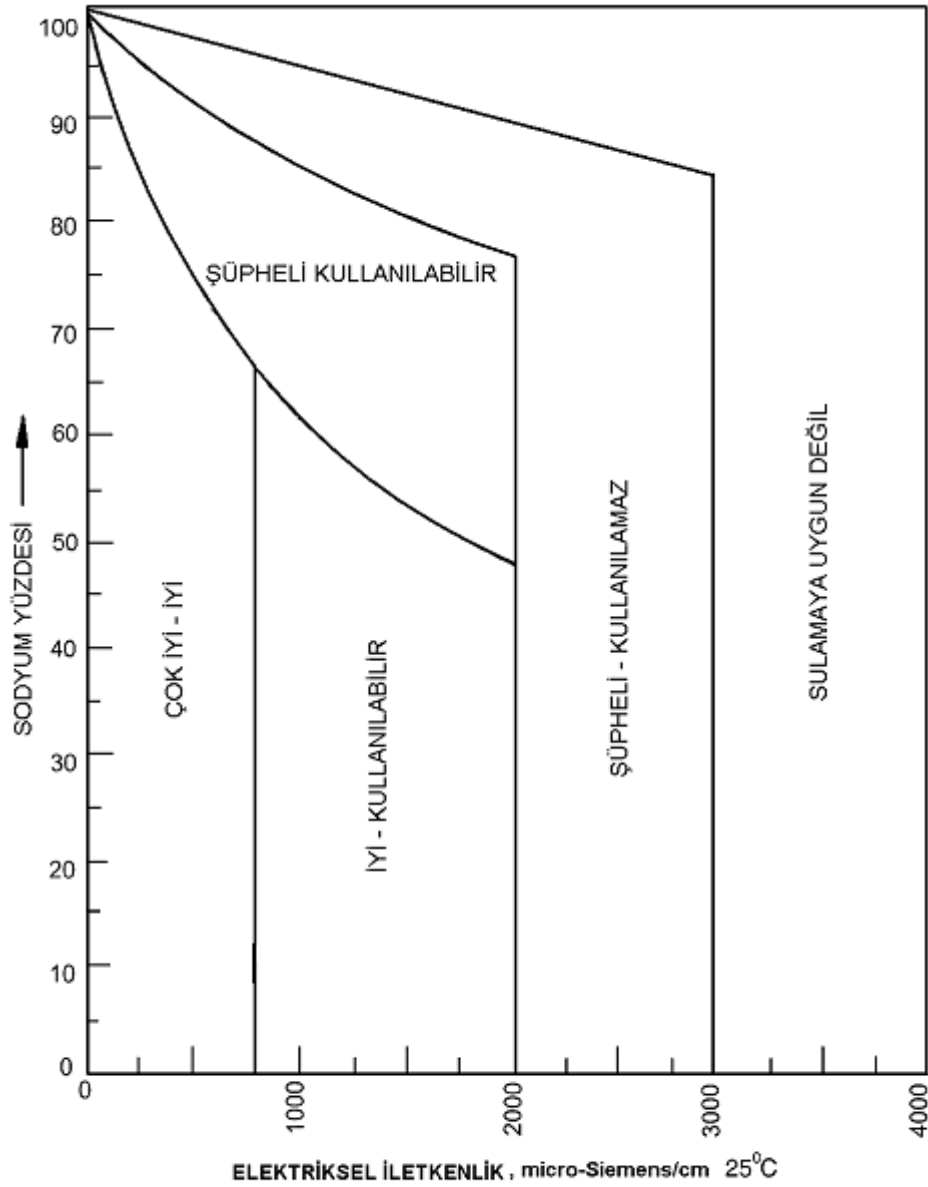
Şekil 3.11. Örnek bir Schoeller diyagramı

### 3.2.3.2. Sulama suyu sınıflamaları

Sulamada kullanılan suların içinde çözülmüş fazla miktarda iyonlar, bitkilere ve tarım toprağına fiziksel ve kimyasal yollarla etkiyerek, verimi düşürür. Bu iyonların fiziksel etkisi, bitki yapısındaki hücrelerde osmotik basıncı azaltarak suyun dal ve yapraklara erişmesini engeller; kimyasal yolla ise, bitki metabolizmasını bozarlar. Tuzlu sulardaki  $\text{Na}^+$ , zemindeki  $\text{Ca}^{+2}$  iyonları ile yer değiştirmesi sonucu toprağın geçirgenliği ve havalanması azalır; böylece, dolaylı olarak bitkilerin gelişmesi yavaşlar. Bitkilerin sudaki tuzlara karşı dirençleri farklı olduğundan, sulama için kullanılan suların tuz derişiminin kesin üst sınırını vermek güçtür. Bitki gelişmesi ile su kalitesi arasındaki ilgi yanında, toprağın akaçlaması da önemli bir yer tutar. Geçirgenliği fazla, akaçlaması iyi tarım topraklarında, su tuzlu da olsa bitkilerin gelişmesini engellemez. Tersine, geçirgenliği ve akaçlaması fena zeminlerde, su az tuzlu olsa bile, bitki köklerinde tuz birikmeleri meydana gelerek bitkilerin gelişmesi güçleşir. Toplam tuz derişiminden çok, suda bulunan sodyum ve bor gibi bazı iyonların miktarı bitkilerin gelişmesini etkiler. Böylece, bitkilerin gelişmesini su kalitesinden başka, toprağın cinsi, geçirgenliği, akaçlaması, iklim koşulları, kullanılan su miktarı, bitki türü, sulama şekilleri ve uygulanan yetiştirme yöntemleri de etkiler (Şahinci, 1991). Sulama sularının sınıflamasında en yaygın olanları ve bu çalışmada kullanılanları aşağıda sunulmuştur.

#### 3.2.3.2.1. Wilcox diyagramı (Wilcox, 1955)

Bu diyagramda düşey eksene % Na miktarı, yatay eksende elektriksel iletkenlik gösterilmiştir. Suyun kimyasal analizlerinde % Na hesaplanarak düşey eksen üzerine işaretlenir ve bu noktadan yatay eksene bir paralel çizilir. Verilen elektriksel iletkenlik yatay eksende bulunarak, bu noktadan yatay eksene bir dik çıkılır ve % Na' dan çizilen paraleli kestiği nokta, suyun özelliğini verir. Wilcox diyagramına (Şekil 3.12) ve bitkilerin bora karşı duyarlılığına göre sulama suları sınıflandırılabilir.



Şekil 3.12. Örnek bir Wilcox diyagramı

### 3.2.3.2.2.ABD tuzluluk diyagramı (Richards, 1954)

Wilcox diyagramında bazı değişiklikler yapılarak hazırlanan bu diyagramda (Şekil 3.13) sulama suları 16 sınıfa ayrılmıştır. Düşey ekseninde SAR değeri, yatay ekseninde ise elektriksel iletkenlik (EC) bulunur. Suyun sınıfının saptanması, Wilcox diyagramında olduğu gibidir. Bu diyagramın yorumu şöyledir:

Genel tuzluluk özellikleri:

C1 (EC 250 mikromho/cm'den az), az tuzlu sular: her toprakta, tüm bitkilerin sulanmasına uygundur,

C2 (EC 250-750 mikromho/cm arası), orta tuzlu sular: orta akaçlama özelliğindeki topraklarda, tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir,

C3 (EC 750-2250 mikromho/cm arası), tuzlu sular: akaçlaması kötü olan arazilerde, sulamada kullanılamaz. Zemindeki tuz miktarının gözlenmesi gerekebilir. Bu özellikteki sular kullanılacaksa, tuza dayanıklı bitkiler seçilmelidir,

C4 (EC 2250 mikromho/cm'den fazla), çok tuzlu sular: Geçirgenliği ve akaçlaması çok iyi topraklarda, zeminin yıkanmasını sağlamak için bol su verilmelidir ve tuza fazla dayanıklı bitki türleri seçilmelidir.

Genel sodyum tehlikesi özellikleri:

S1, az sodyumlu sular: hemen tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir,

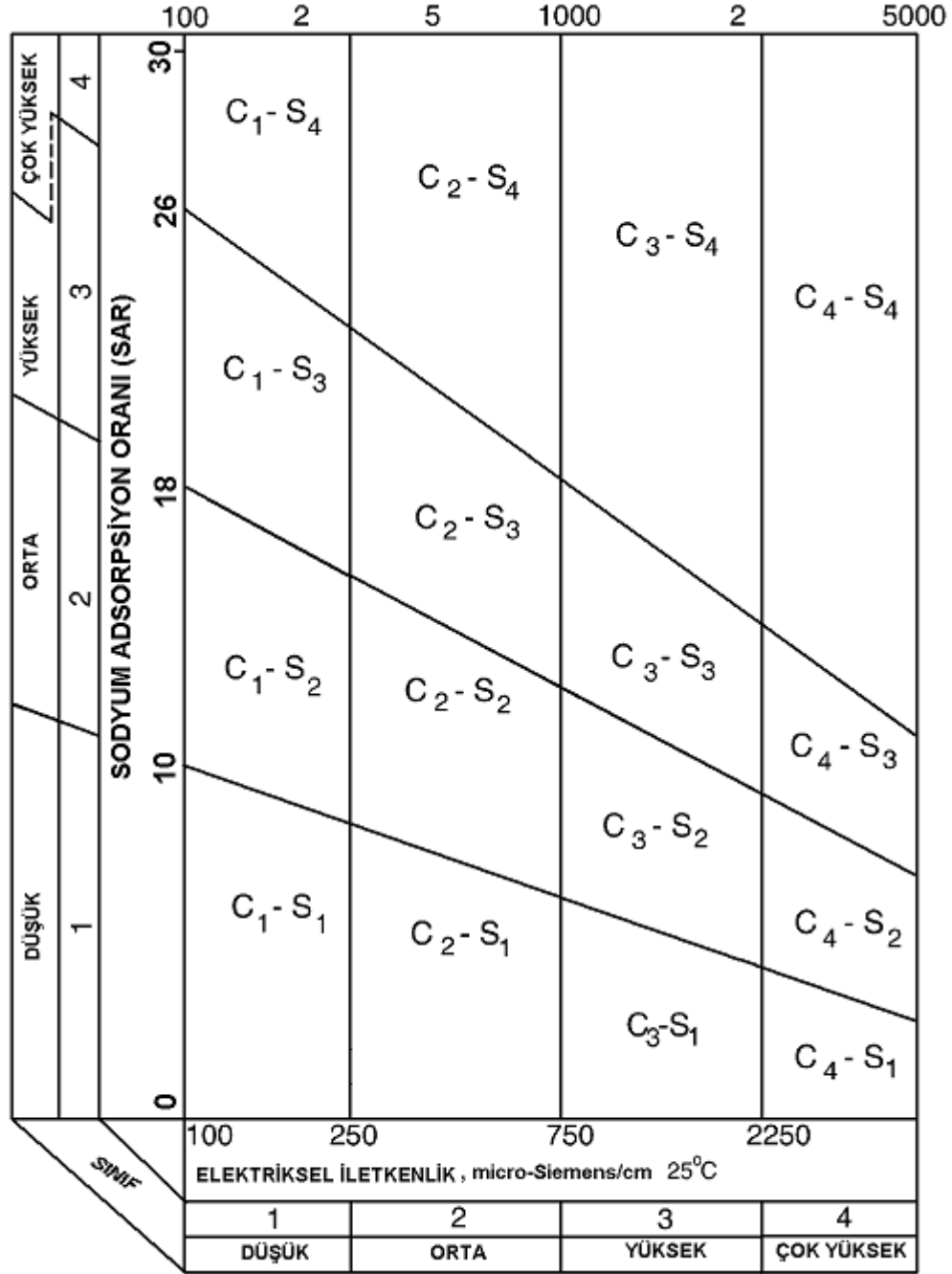
S2, orta sodyumlu sular: geçirgen veya bol jipsli arazilerde kullanılabilir. Yıkama ile toprağın tuzluluğu azaltılıyorsa, özellikle bu tip sular kullanılmalıdır.

S3, yüksek sodyumlu sular: bir çok toprak cinslerinde sodyum tehlikesi olabilir. Çok iyi geçirgen ve akaçlama gösteren arazilerde bol su kullanarak, belirli sürelerde yapılacak kimyasal analizlerle sodyum tehlikesi denetlenmelidir,

S4, çok yüksek sodyumlu sular: genel olarak, sulama için uygun değildir. Ancak, suyun toplam tuz miktarı düşük ise, sulamada kullanılabilir.

Böylece, C1S1, C2S1, C3S1 her türlü sulamada, C4S1, C3S2 bazı özel koşullarda kullanılabilir. C4S2, C4S3 sulamada kullanılamaz. Ancak, Türkiye gibi yarı-kurak ülkeler, oldukça tuzlu suları sulamada kullanmak zorundadırlar. Suyun pH'ı, sulamada önemli bir yer tutar ve genel olarak pH 9'u geçmemelidir. Toplam iyon miktarı 7.5 meq/l'den az sular, genellikle her türlü sulamaya uygundur. İyon miktarı arttıkça suyun sulama özelliği azalır ve bu değer 22.5 meq/l'yi geçtiğinde sulama için elverişli değildir. Bu sınıflamadan yararlanarak, değişik bitki türlerinin

tuza karşı duyarlılıkları belirlenmiştir. Bu çalışmada, sular, sulama amacıyla yukarıda belirtilen sınıflamalara tabi tutulmuştur.



Şekil 3.13.Örnek bir ABD tuzluluk diyagramı

### 3.2.3.3. Hidrokimyasal Fasiyes Sınıflaması

Hidrokimyasal fasiyes terimi, jeologlar tarafından kullanılan fasiyes tanımının bir başka ifadesidir. Fasiyes, herhangi bir cisim veya sistemin birbirinden farklı fakat birbiriyle jenetik (köken) olarak ilişkili parçaları olarak tanımlanır (Freeze and Cherry, 1979). Bir akiferde su akarken litolojik yapıyla etkileşime uygun karakteristik bir kimyasal bileşim sunar. Hidrokimyasal fasiyes terimi, bir akiferde kimyasal bileşimleri farklı olan YAS kütlelerini tanımlamak için kullanılır. Söz konusu fasiyesler akiferin litolojisinin, çözelti kinetiklerinin ve akış paternlerinin bir fonksiyonudur (Fetter, 2001; Back, 1960; 1966). Bu bölümde suların kökensel sınıflaması, aşağıda açıklanan Piper Diyagramı ve Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı'na göre yapılmıştır.

#### 3.2.3.3.1.Piper Sınıflaması (Piper, 1944)

Suları gruplandırmak ve tiplerini belirlemede kullanılan bu diyagramlar bir eşkenar üçgenden ibarettir (Şekil 3.14). Bu metotta iyonlar % meq/L değerleri ile diyagrama geçirilir. Anyonlar ve katyonlar için ayrı ayrı birer üçgen kullanılabileceği gibi, tek bir üçgene hem anyon hem katyonlarda işaretlenebilir. Eşkenar dörtgende suyu temsil eden noktanın bulunduğu bölge suyun ana karakterini gösterir. Bütün sular için noktalar işaretlendiğinde, aynı kökenli sular yaklaşık olarak aynı bölgede toplanır. Böylece üçgen diyagramlar suların tiplerini belirlemek ve suları gruplandırmakta faydalı olurlar. Bu sınıflamaya göre her bir üçgende anyon ve katyonların kimyasal özelliklerini saptamak mümkündür; ayrıca, paralel kenar diyagram dokuz bölüme ayrılmıştır.

-1 nolu alan: Alkali toprak elementler (Ca+Mg) > Alkali elementler (Na+K)

-2 nolu alan: (Ca+Mg) < (Na+K)

-3 nolu alan: Zayıf asit kökleri ( $\text{CO}_3^{=}$  +  $\text{HCO}_3^-$ ) > Güçlü asit kökleri ( $\text{Cl}^-$  +  $\text{SO}_4^{=}$ )

- 4 nolu alan: ( $\text{SO}_4^{=}$  +  $\text{Cl}^-$ ) > ( $\text{CO}_3^{=}$  +  $\text{HCO}_3^-$ )

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

- 6 nolu alan: Karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular;

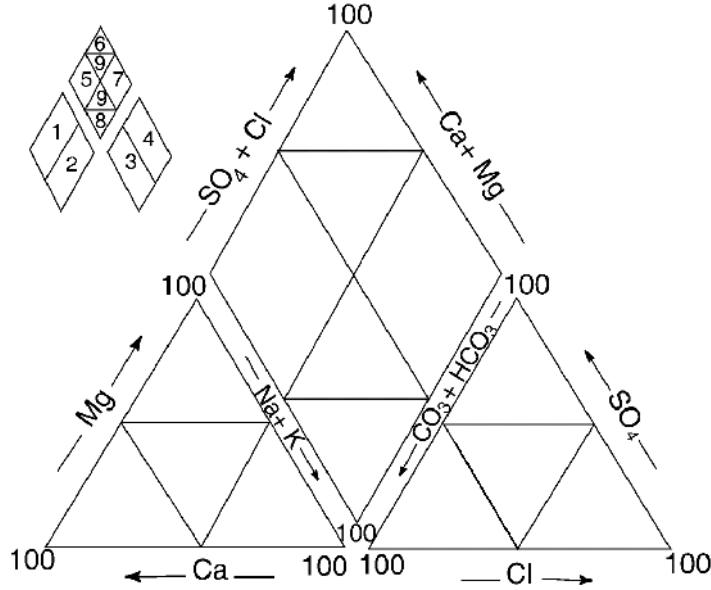
$\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$

- 7 nolu alan: Karbonat olmayan alkalitesi %50'den fazla olan sular:

$\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır;

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

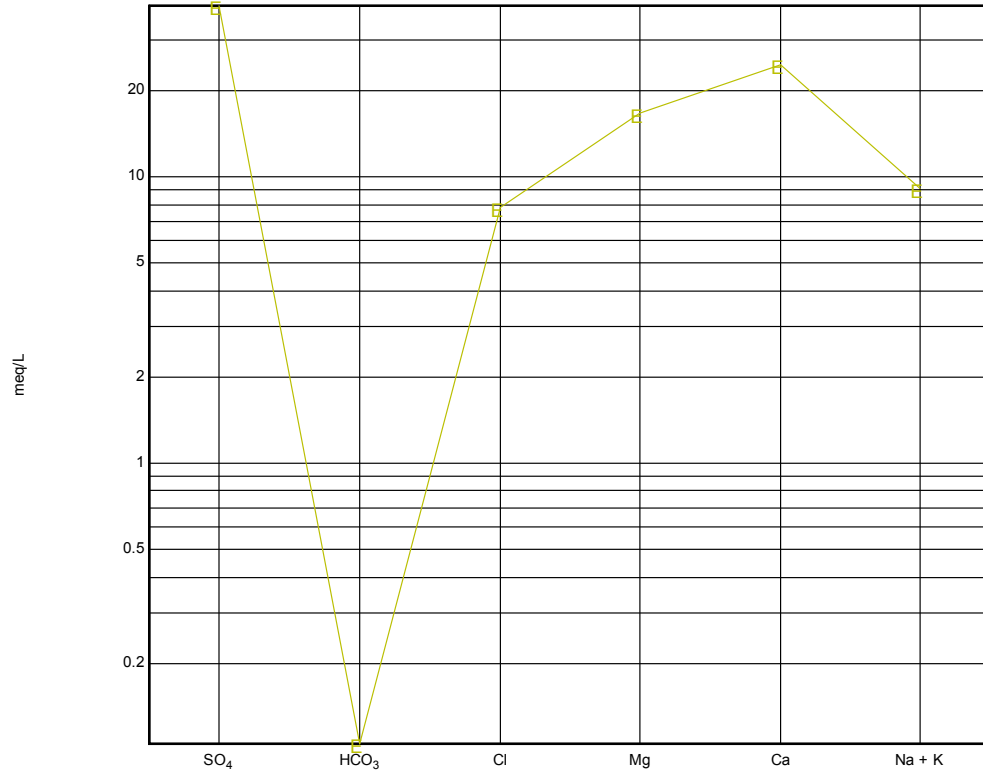
- 9 nolu alan: İyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen, karışık sular bu alana girer.



Şekil 3.14. Örnek bir Piper diyagramı

**3.2.3.3.2.Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı (Schoeller, 1955; 1962):** Bu diyagramda yatay eksene belirli aralıklar ile  $r\text{Ca}^{+2}$ ,  $r\text{Mg}^{+2}$ ,  $r(\text{Na}^{+}+\text{K}^{+})$ ,  $r\text{Cl}^{-}$ ,  $r\text{SO}_4^{-2}$  ve  $r\text{HCO}_3^{-}$  iyonları sıralanır. Düşey eksen logaritmik ölçeklidir. Bir su örneği, bu diyagramda gösterilirken her iyonun meq/L (r) değeri, kendine ait logaritmik eksende işaretlenerek elde edilen noktalar birleştirilir (Şekil 3.15). Böylece bir su, kırık çizgiler halinde temsil edilmiş olur. Ayrıca bu diyagramda birden fazla su bir arada gösterilebilir. Her iyonun değeri tek başına görülebildiği gibi, iyonların birbirine oranları da bir bakışta görülebilir. Yarı logaritmik diyagrama çizilen su analizlerinde, kırık çizgileri birbirine paralel sular, aynı tür formasyondan gelen suları gösterir.



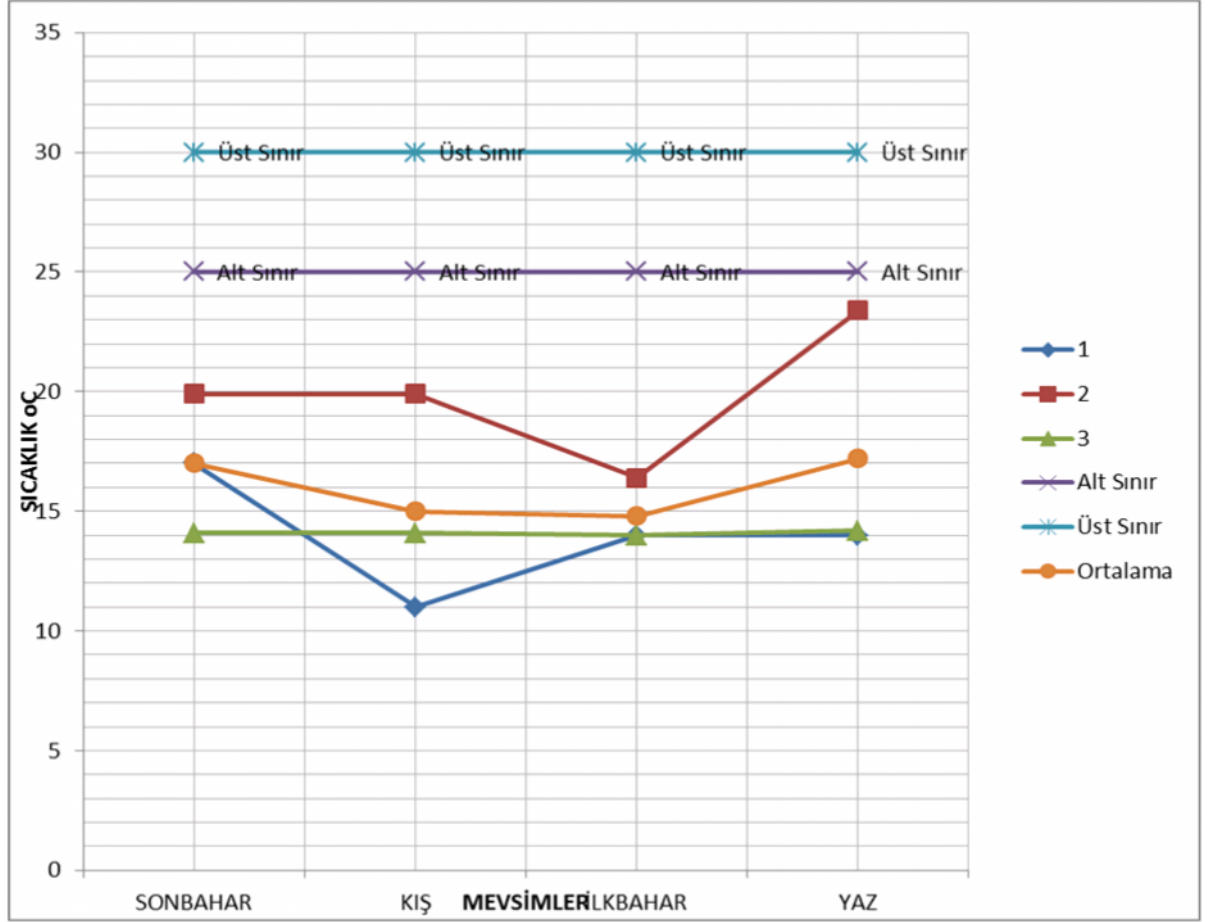


Şekil 3.15. Örnek bir yarı logaritmik Schoeller diyagramı

**4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA****4.1. Su Kalitesi Sınıflamaları****4.1.1.İnsani tüketim amaçlı suların sınıflamaları****4.1.1.1.Sıcaklık**

Çizelge 4.1. Sıcaklık Ölçümleri

		SICAKLIK (°C)			
Örnekleme Dönemi	Örnekleme Noktası	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
	1	17,00	11,00	14,00	14,00
	2	19,90	19,90	16,40	23,40
	3	14,10	14,10	14,00	14,20
	Ortalama	17,00	15,00	14,80	17,20
	Alt Sınır	25,00	25,00	25,00	25,00
	Üst Sınır	30,00	30,00	30,00	30,00



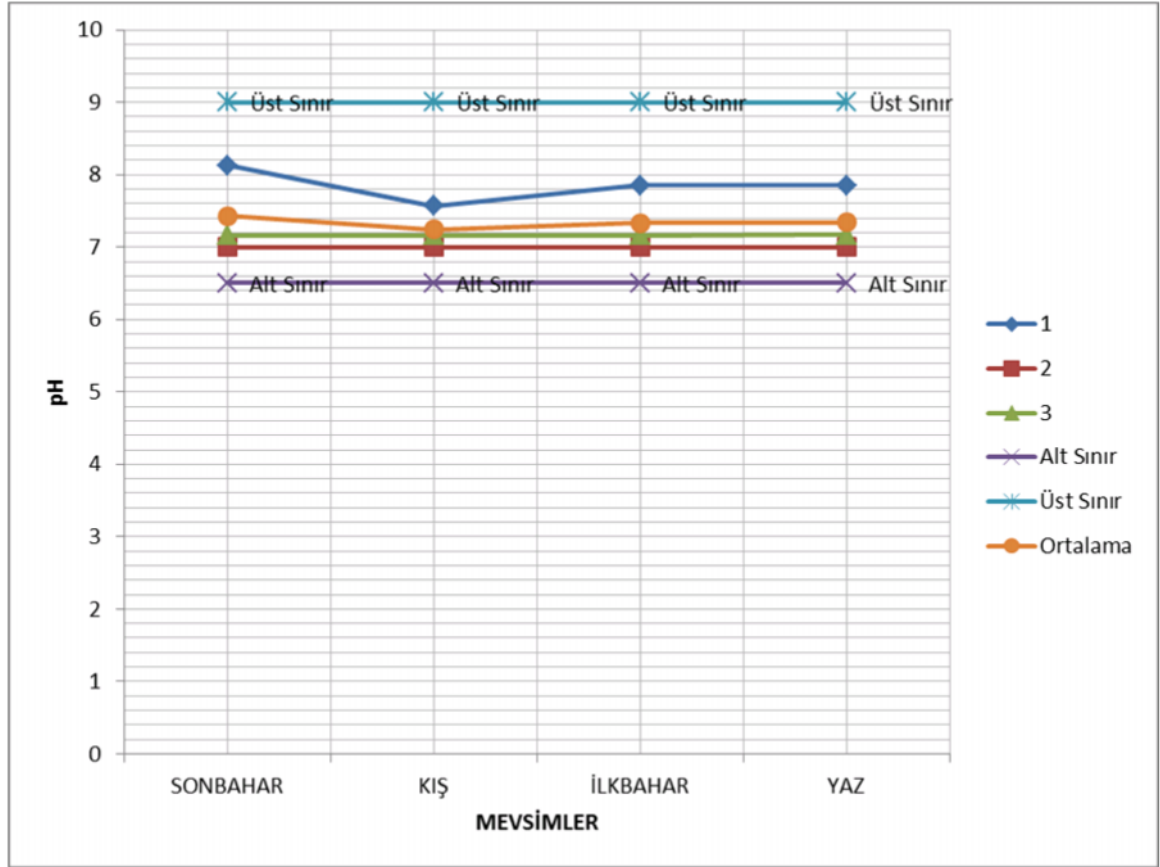
Şekil 4.1.Sıcaklık değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin sıcaklık değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre alt sınırın altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.2.Ph

Çizelge4.2. pH Ölçümleri

Örnekleme Dönemi Örnekleme Noktası	pH			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	8,13	7,57	7,85	7,85
2	7,00	7,00	7,00	7,00
3	7,16	7,16	7,16	7,17
Ortalama	7,43	7,24	7,33	7,34
Alt Sınır	6,50	6,50	6,50	6,50
Üst Sınır	9,00	9,00	9,00	9,00



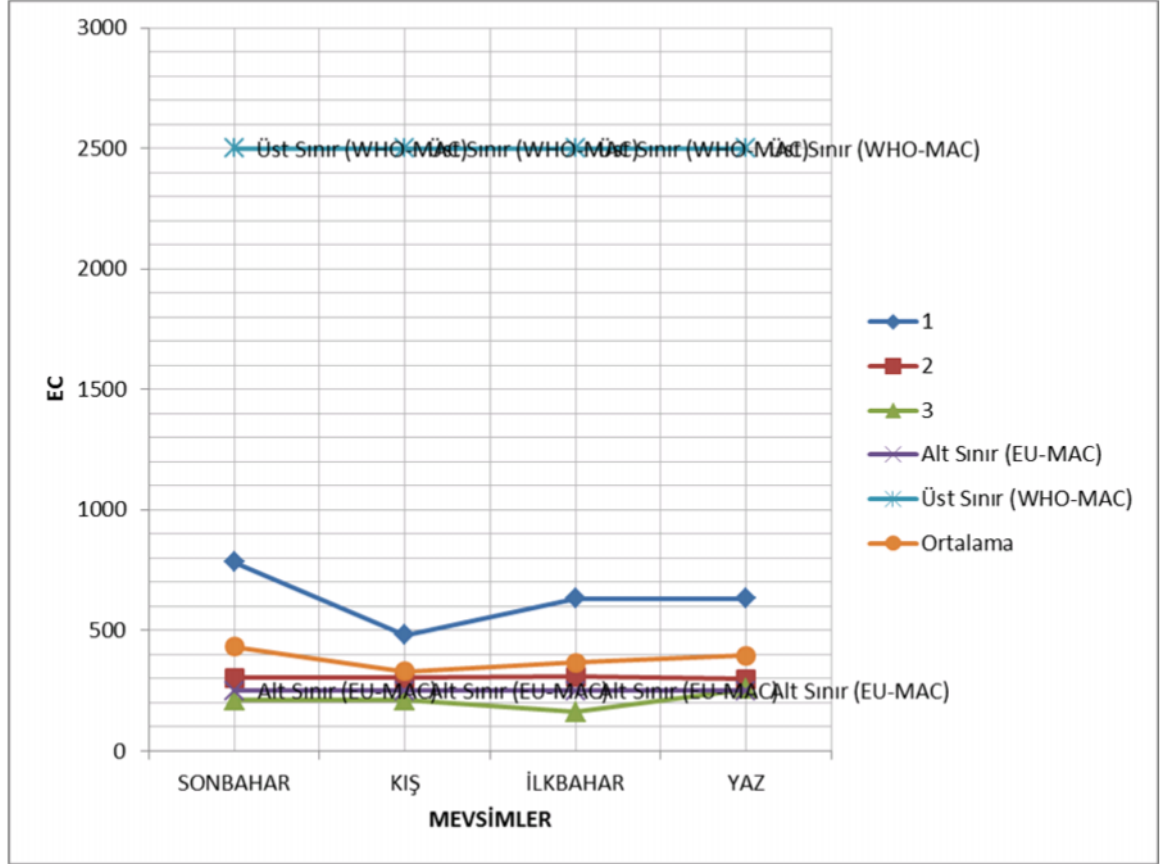
Şekil 4.2. pH değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin pH ölçümlerinin Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre; alt sınır ve üst sınır aralığında olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.1.3.EC

Çizelge 4.3. EC Ölçümleri

Örnekleme Dönemi / Örnekleme Noktası	EC			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	783,00	480,00	631,50	631,50
2	303,00	303,00	308,00	298,00
3	210,40	210,40	162,80	258,00
Ortalama	432,13	331,13	367,43	395,83
Alt Sınır (EU-MAC)	250,00	250,00	250,00	250,00
Üst Sınır (WHO-MAC)	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00



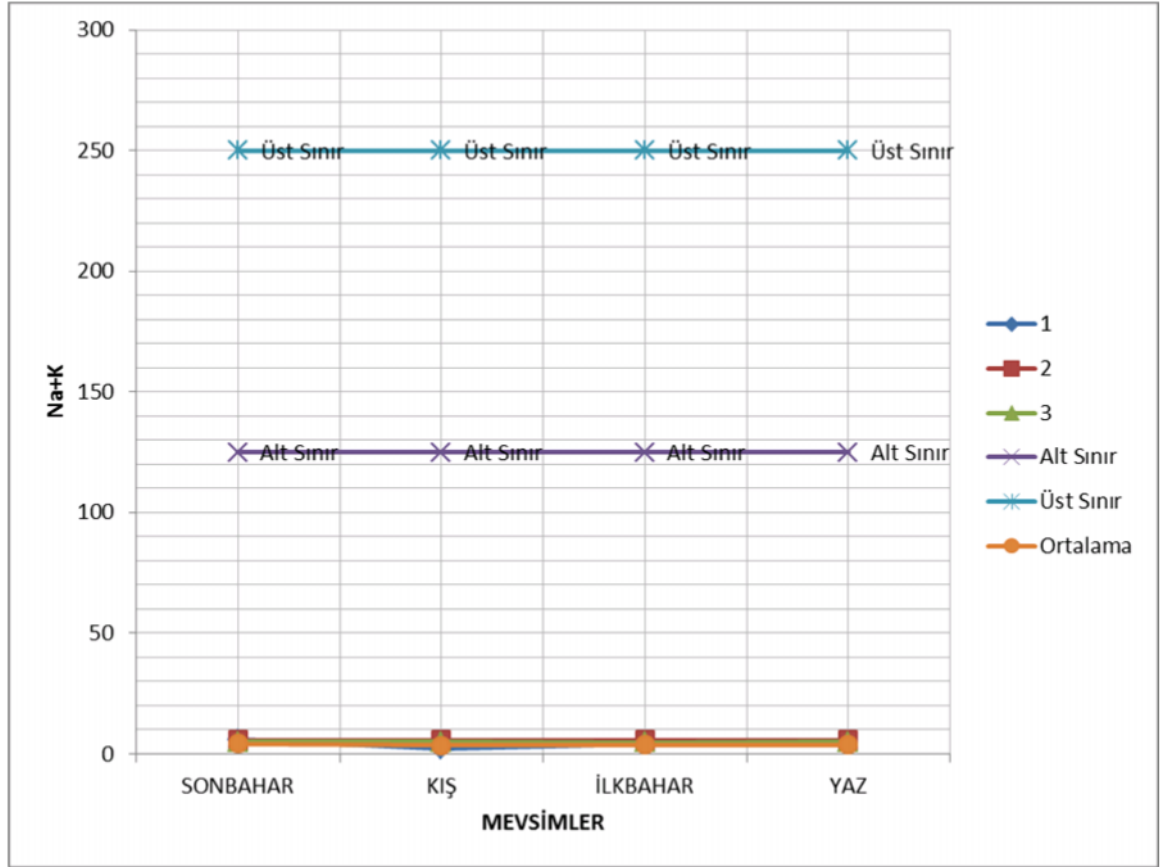
Şekil 4.3. EC değerlerinin mevsimsel değerleri

1. ve 2. örnekleme noktalarından alınan su örneklerinin EC değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır ve üst sınır aralığında, 3. örnekleme noktasından alınan su örneklerinin ise sonbahar, kış ve ilkbahar dönemlerinde EC değerlerinin alt sınırın altında, yaz döneminde ise alt sınır ve üst sınır aralığında olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.1.4.Sodyum ( $\text{Na}^+$ ) ve potasyum ( $\text{K}^+$ )

Çizelge 4.4. Sodyum ve Potasyum Ölçümleri

Örnekleme Dönemi Örnekleme Noktası	Na+K			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	5,91	2,09	4,00	4,00
2	5,68	5,68	5,68	5,69
3	4,89	4,89	4,76	5,02



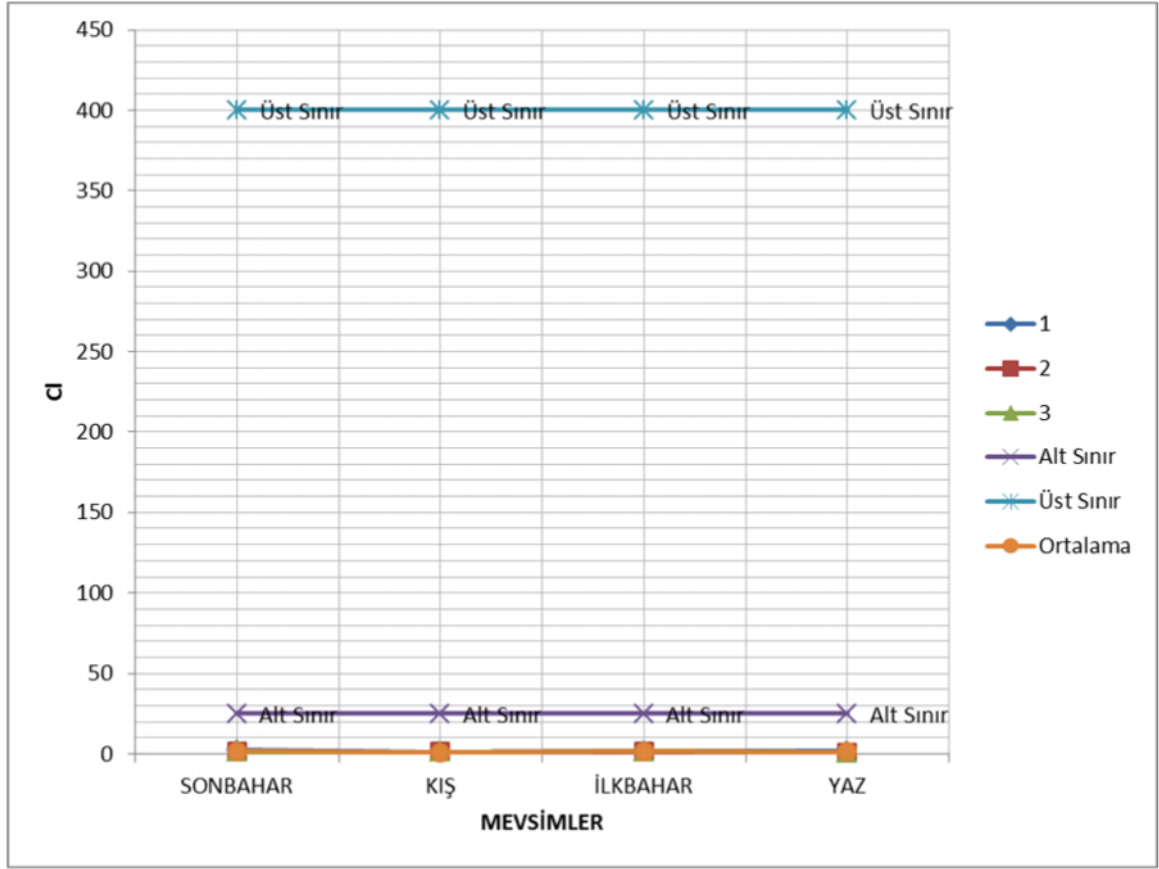
Şekil 4.4. Sodyum ve Potasyum değerlerinin mevsimsel değerleri

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin Na+K ölçümlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre alt sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.5.Klorür (Cl)

Çizelge 4.5.Klorür Ölçümleri

Örnekleme Dönemi Örnekleme Noktası	Cl			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	< 2,50	0,77	1,58	1,58
2	1,10	1,10	1,31	0,90
3	1,13	1,13	1,48	0,79
Ortalama	1,54	1,00	1,45	1,09
Alt Sınır	25,00	25,00	25,00	25,00
Üst Sınır	400,00	400,00	400,00	400,00



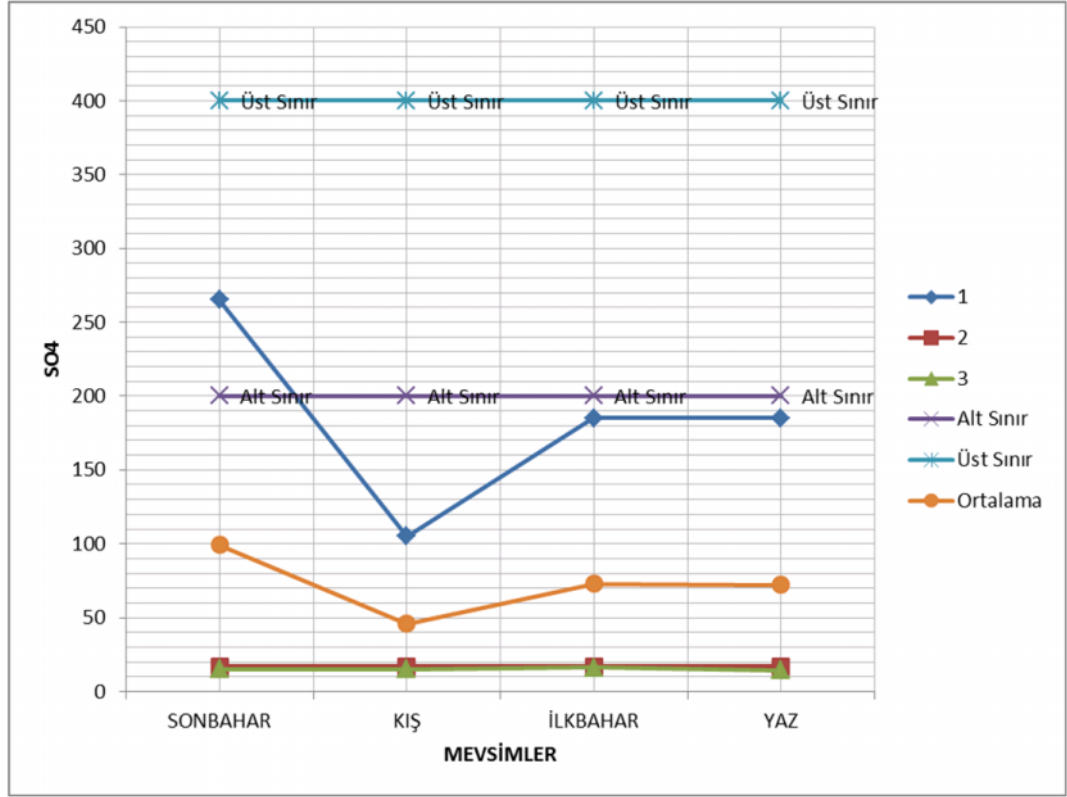
Şekil 4.5. Klorür değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin  $Cl^-$  değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır değerlerinin altında olduğu belirlenmiştir.

#### 4.1.1.6.Sülfat ( $SO_4^{2-}$ )

Çizelge 4.6. Sülfat Ölçümleri

SO4-2				
Örnekleme Dönemi	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası				
1	265,20	105,08	185,14	185,14
2	16,88	16,88	16,96	16,81
3	15,19	15,19	16,13	14,25
Ortalama	99,09	45,71	72,74	72,06
Alt Sınır	200,00	200,00	200,00	200,00
Üst Sınır	400,00	400,00	400,00	400,00



Şekil 4.6. Sülfat değerlerinin mevsimsel değişimi

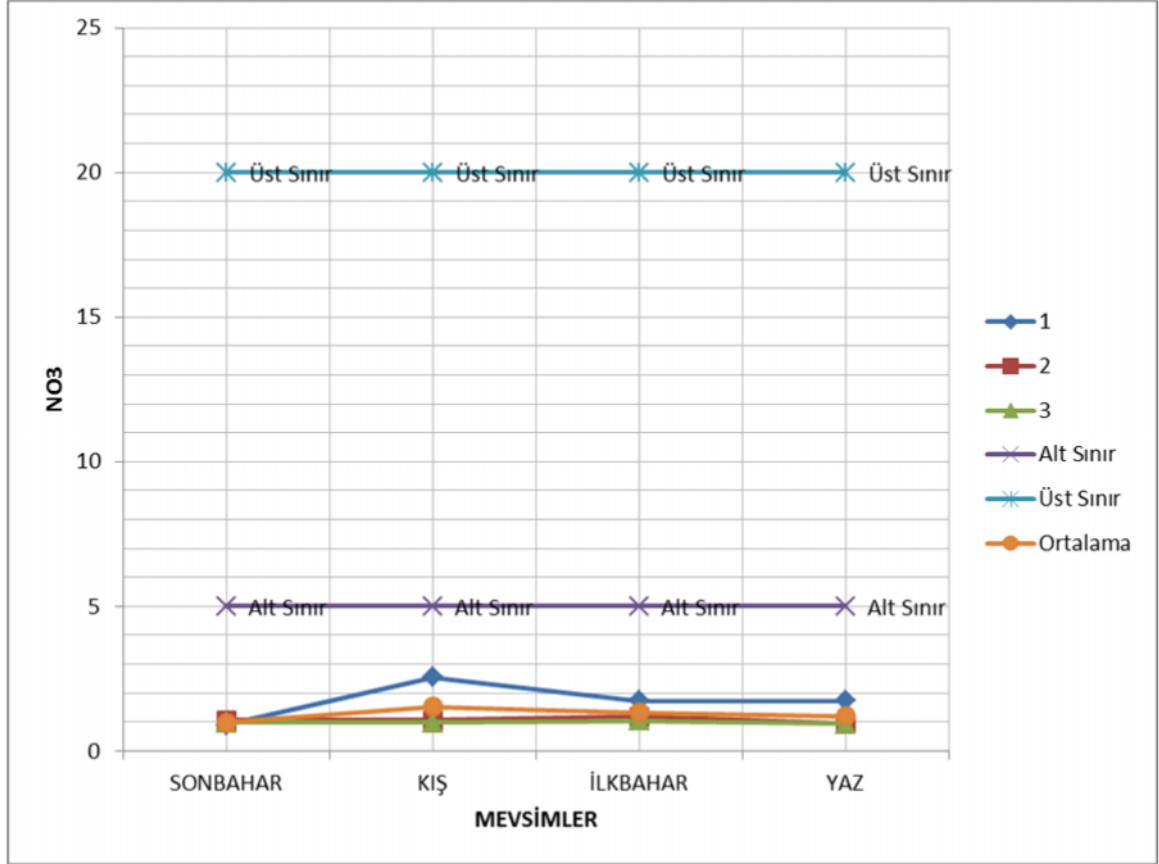
1. örnekleme noktasından sonbahar döneminde alınan su örneğinin sülfat değerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır ve üst sınır aralığında, diğer dönemlerde ve diğer örnekleme noktalarından tüm dönemlerde alınan su örneklerinin sülfat değerlerinin alt sınırın altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.7. Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )

Çizelge 4.7. Nitrat Ölçümleri

NO3-1				
Örnekleme Dönemi / Örnekleme Noktası	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	< 1	2,55	1,72	1,72
2	1,07	1,07	1,19	0,95
3	0,99	0,99	1,04	0,94
Ortalama	0,98	1,53	1,31	1,20
Alt Sınır	5,00	5,00	5,00	5,00
Üst Sınır	20,00	20,00	20,00	20,00





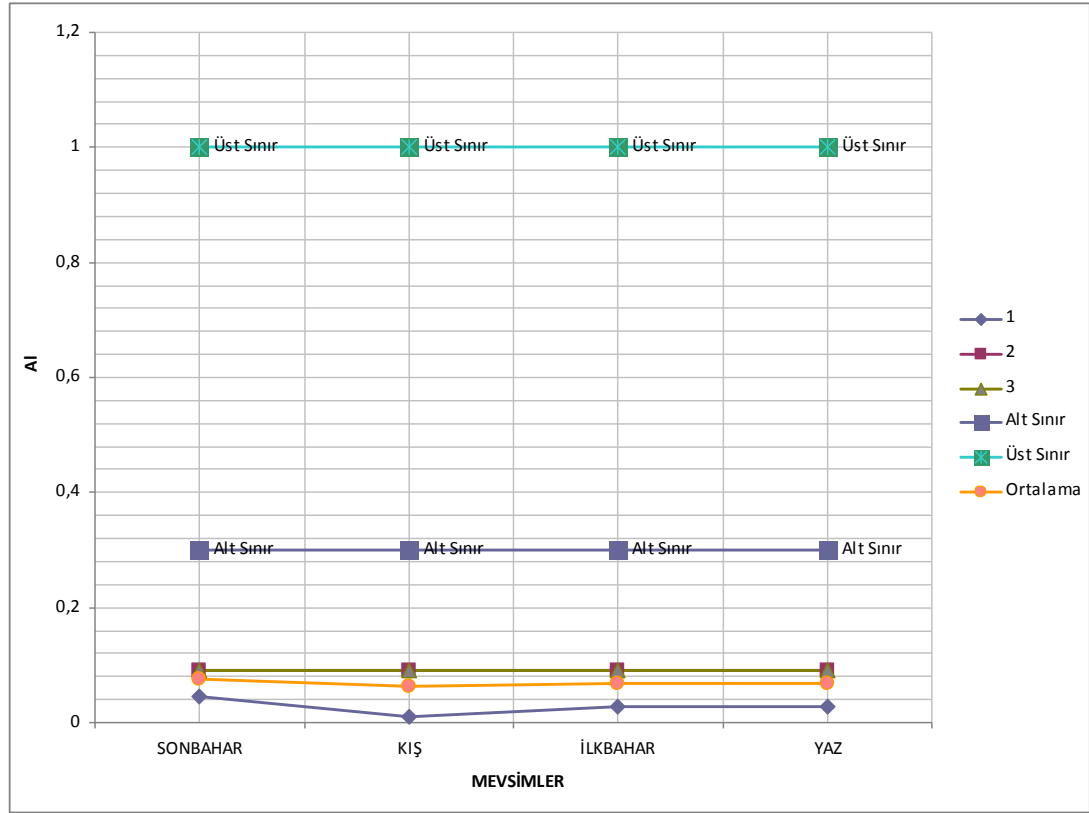
Şekil 4.7. Nitrat değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin nitrat ölçümlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.8. Alüminyum

Çizelge 4.8. Alüminyum Ölçümleri

		Al			
Örnekleme Dönemi		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası					
1		0,04	0,00	0,02	0,02
2		0,09	0,09	0,09	0,09
3		0,09	0,09	0,09	0,09
Ortalama		0,07	0,06	0,06	0,06
Alt Sınır		0,30	0,30	0,30	0,30
Üst Sınır		1,00	1,00	1,00	1,00



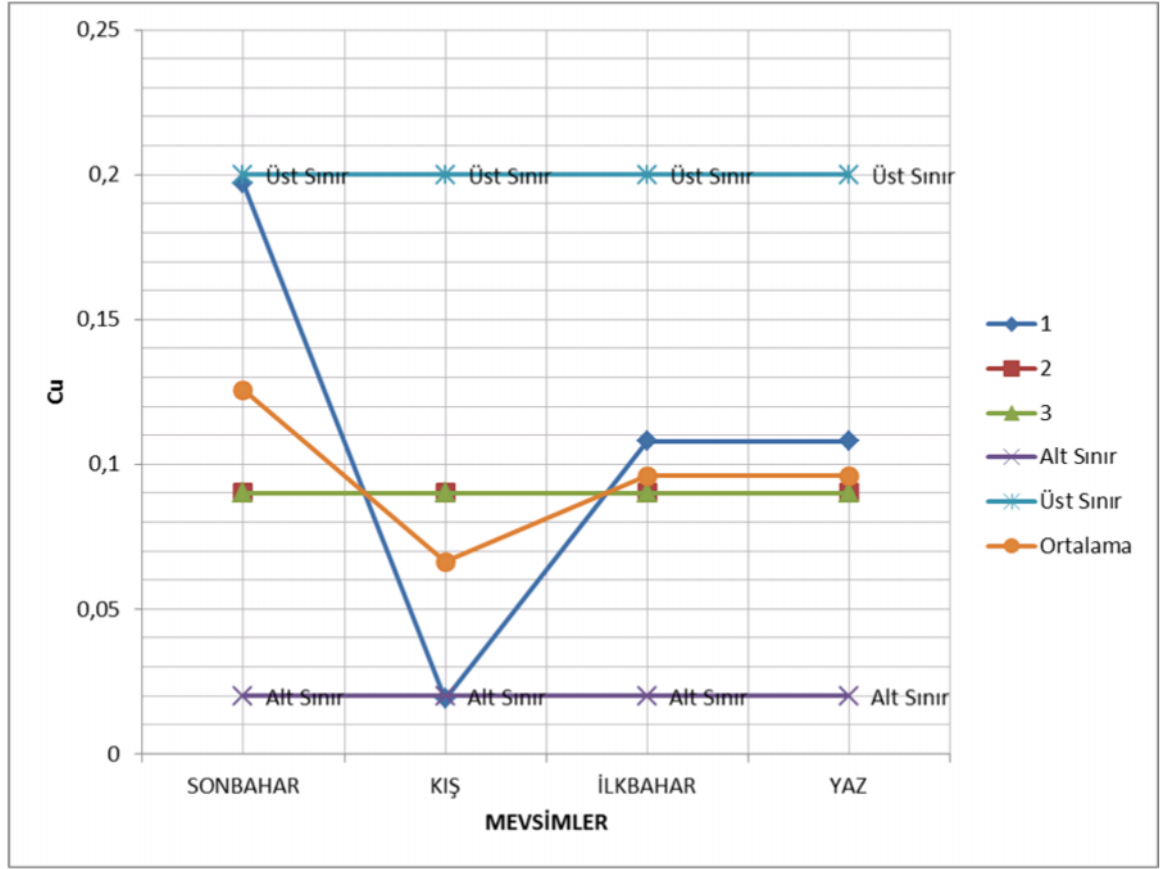
Şekil 4.8. Alüminyum değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin alüminyum ölçümlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.9.Bakır

Çizelge 4.9.Bakır Ölçümleri

		Cu			
Örnekleme Dönemi		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası					
1		0,19	< 0,02	0,10	0,10
2		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
3		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ortalama		0,12	0,06	0,09	0,09
Alt Sınır		0,02	0,02	0,02	0,02
Üst Sınır		0,20	0,20	0,20	0,20



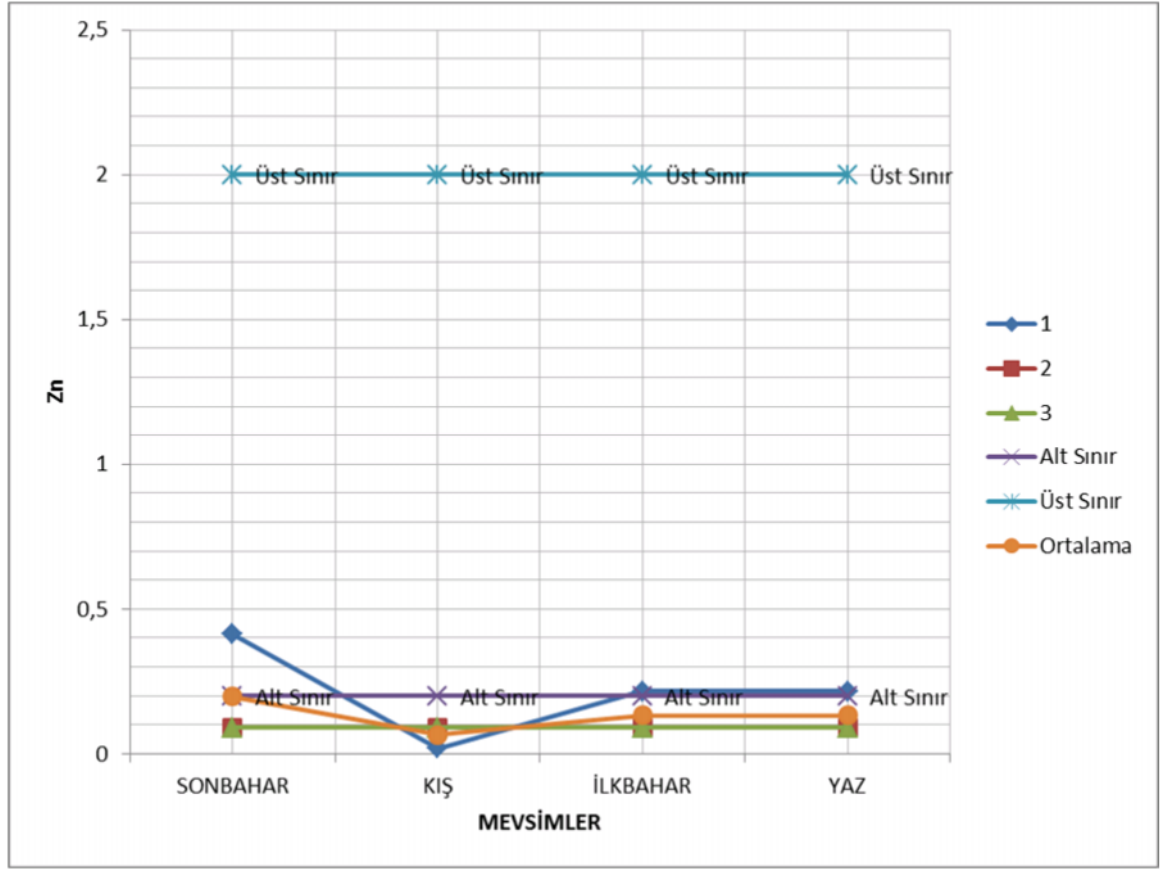
Şekil 4.9. Bakır eğerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin bakır değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır ve üst sınır değerlerinin arasında olduğu belirlenmiştir.

#### 4.1.1.10.Çinko

Çizelge 4.10. Çinko Ölçümleri

		Zn			
Örnekleme Dönemi		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası					
1		0,41	< 0,02	0,21	0,21
2		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
3		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ortalama		0,19	0,06	0,13	0,13
Alt Sınır		0,20	0,20	0,20	0,20
Üst Sınır		2,00	2,00	2,00	2,00



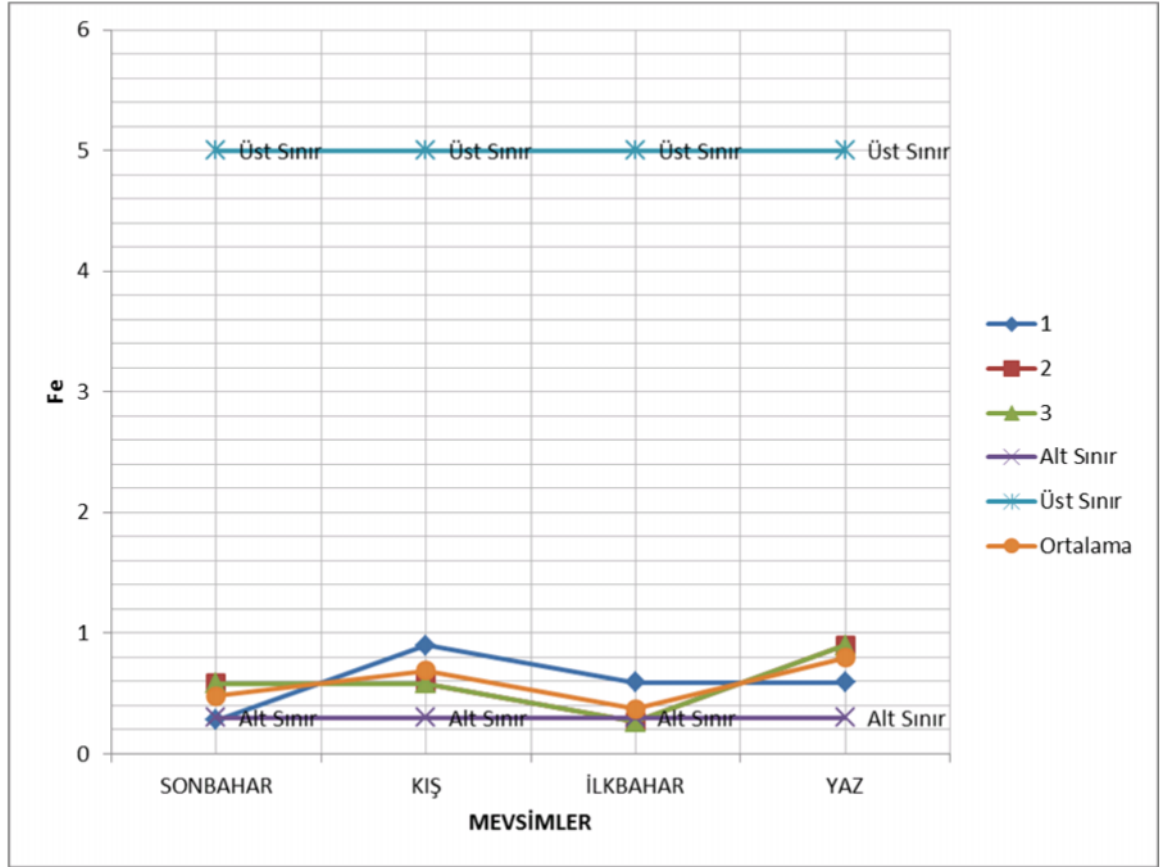
Şekil 4.10. Çinko değerlerinin mevsimsel değişimi

1. örnekleme noktasından sonbahar döneminde alınan su örneğinin çinko değerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır ve üst sınır aralığında, diğer dönemlerde alt sınır ve üst sınır aralığında ve diğer örnekleme noktalarından tüm dönemlerde alınan su örneklerinin çinko değerlerinin alt sınırın altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.11. Demir

Çizelge 4.11. Demir Ölçümleri

Örnekleme Dönemi Örnekleme Noktası	Fe			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	0,28	< 1	0,59	0,59
2	0,58	0,58	0,26	< 1
3	0,58	0,58	0,26	< 1
Ortalama	0,48	0,68	0,37	0,79
Alt Sınır	0,30	0,30	0,30	0,30
Üst Sınır	5,00	5,00	5,00	5,00



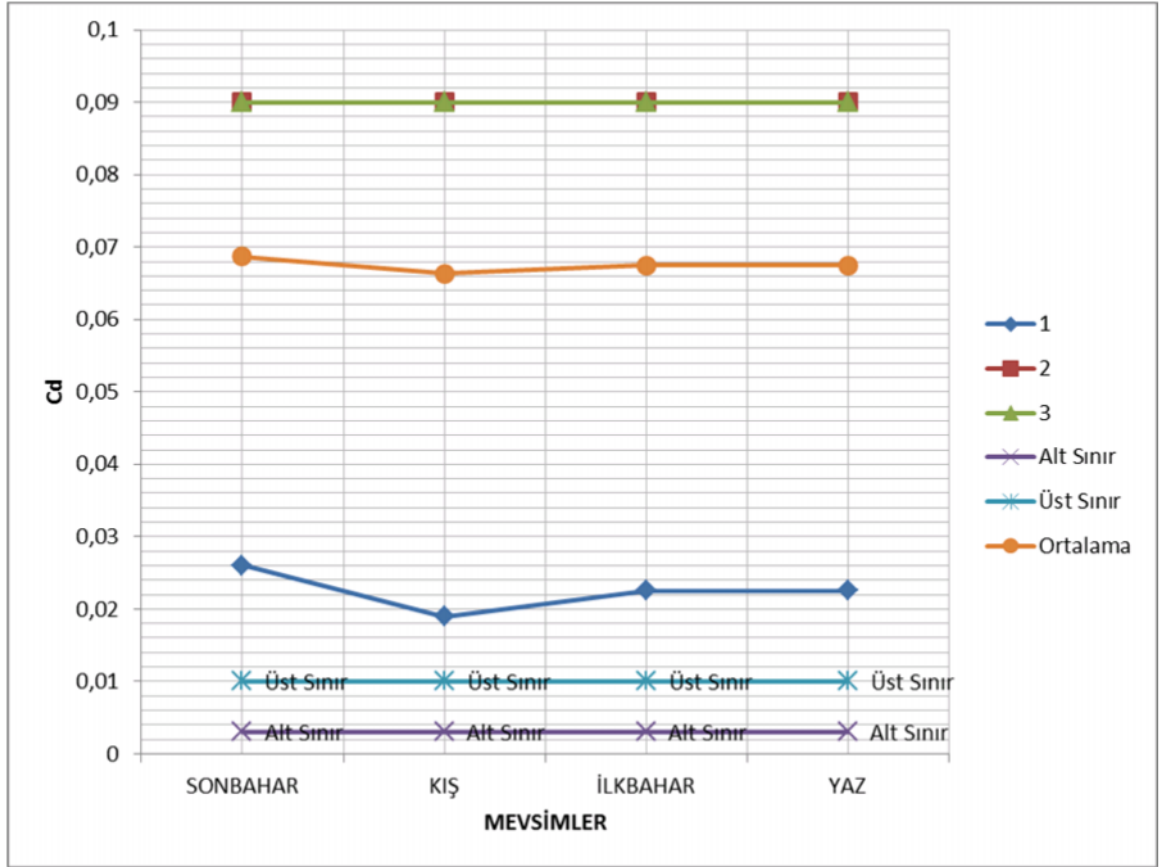
Şekil 4.11. Demir değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin demir değerlerinin , Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır ve üst sınır değerlerinin arasında olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.1.12.Kadmiyum

Çizelge 4.12. Kadmiyum ölçümleri

Örnekleme Dönemi Örnekleme Noktası	Cd			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	0,02	< 0,02	0,02	0,02
2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ortalama	0,06	0,06	0,06	0,06
Alt Sınır	0,003	0,003	0,003	0,003
Üst Sınır	0,01	0,01	0,01	0,01



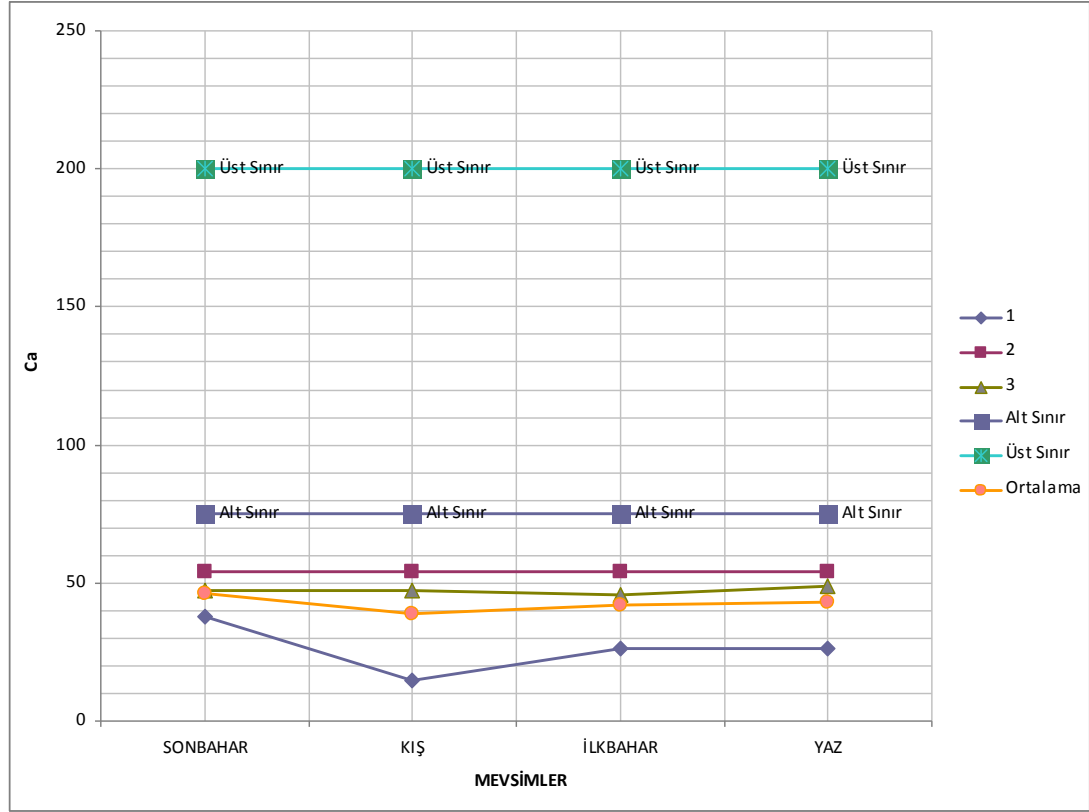
Şekil 4.12. Kadmiyum değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin kadmiyum değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, üst sınırın üstünde olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.1.13. Kalsiyum

Çizelge 4.13. Kalsiyum Ölçümleri

		Ca			
Örnekleme Dönemi		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası					
1		37,93	14,89	26,41	26,41
2		54,04	54,04	53,85	54,23
3		47,27	47,27	45,83	48,72
<b>Ortalama</b>		46,41	38,73	42,03	43,12
<b>Alt Sınır</b>		75,00	75,00	75,00	75,00
<b>Üst Sınır</b>		200,00	200,00	200,00	200,00



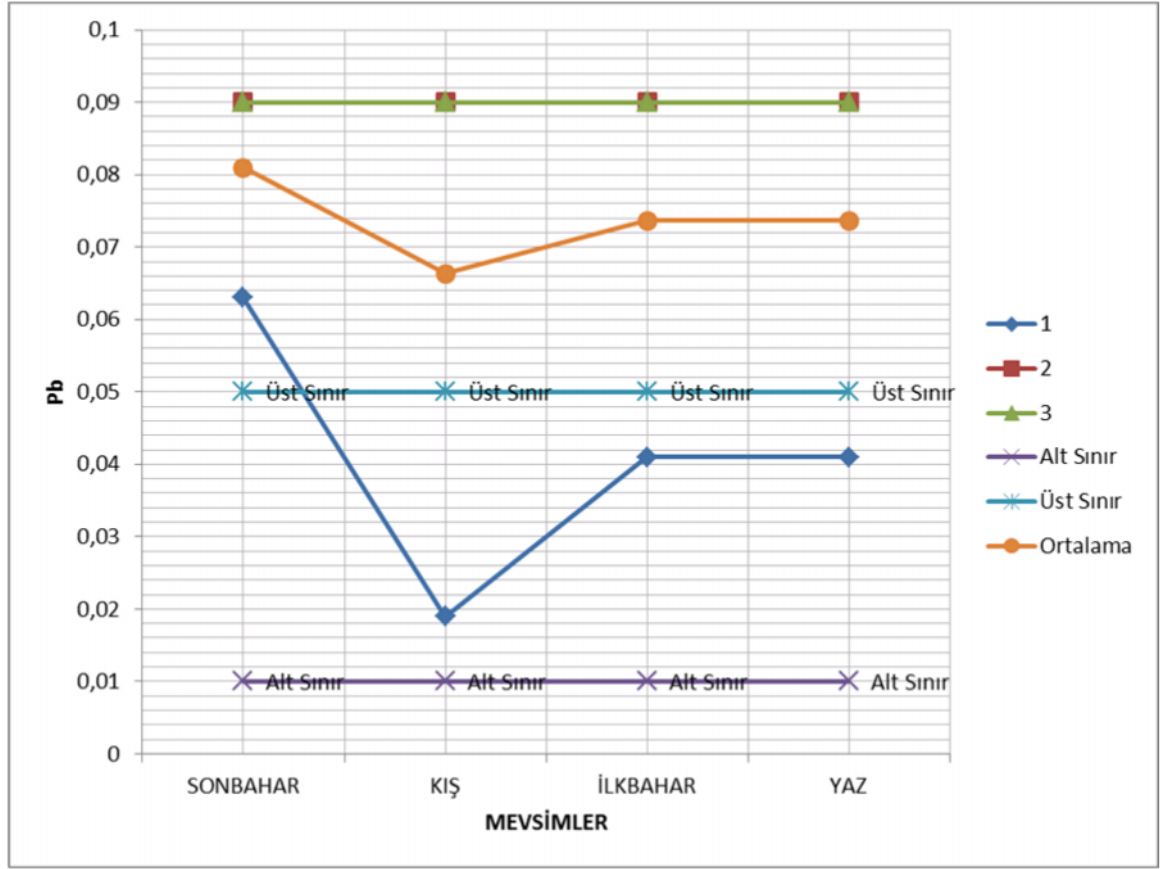
Şekil 4.13. Kalsiyum değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin kalsiyum değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınırın altında olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.1.14.Kurşun(Pb)

Çizelge 4.14. Kurşun Ölçümleri

		Pb			
Örnekleme Dönemi		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası					
1		0,06	< 0,02	0,04	0,04
2		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
3		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ortalama		0,08	0,06	0,07	0,07
Alt Sınır		0,01	0,01	0,01	0,01
Üst Sınır		0,05	0,05	0,05	0,05



Şekil 4.14. Kurşun değerlerinin mevsimsel değişimi

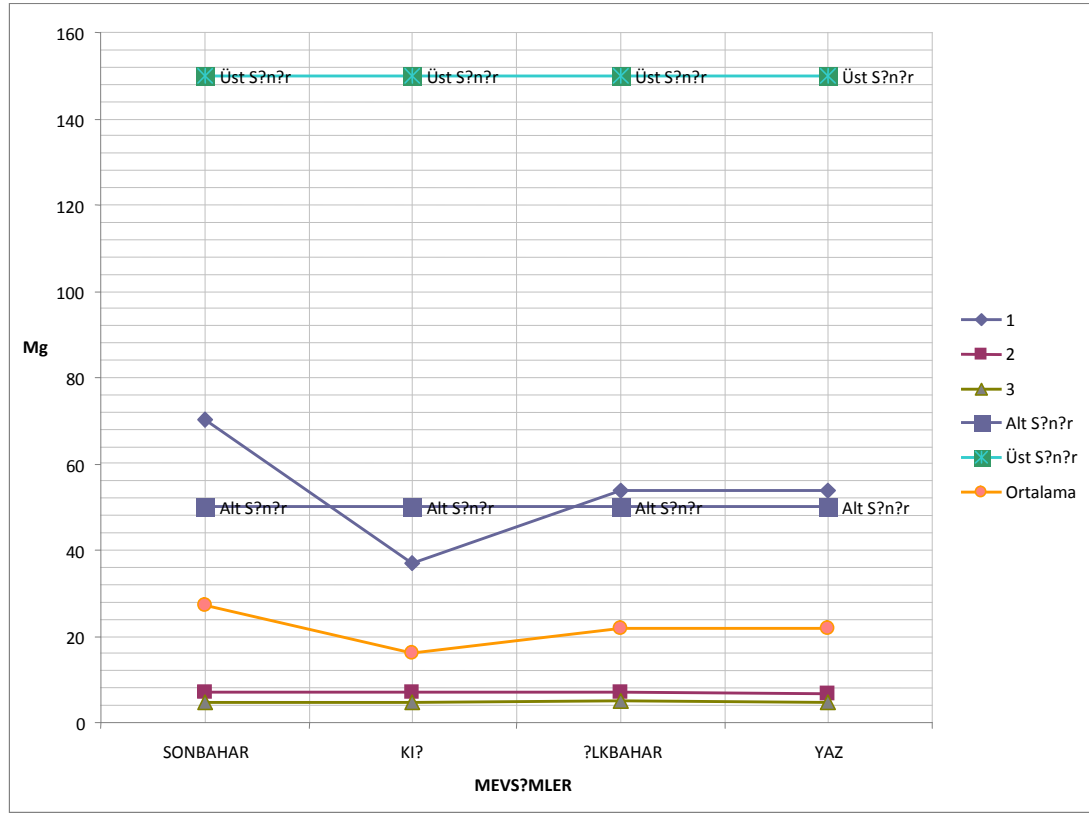
1. örnekleme noktasından kış, ilkbahar ve yaz döneminde alınan su örneklerinin kurşun değerlerinin alt sınır –üst sınır aralığında, sonbahar döneminde ve diğer örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin kurşun değerlerinin ise üst sınırın üstünde olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.15.Magnezyum

Çizelge 4.15. Magnezyum Ölçümleri

		Mg			
Örnekleme Dönemi		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası					
1		70,4	36,91	53,65	53,65
2		6,90	6,90	6,98	6,82
3		4,81	4,81	4,94	4,68
<b>Ortalama</b>		<b>27,37</b>	<b>16,20</b>	<b>21,86</b>	<b>21,71</b>
<b>Alt Sınır</b>		<b>50,00</b>	<b>50,00</b>	<b>50,00</b>	<b>50,00</b>
<b>Üst Sınır</b>		<b>150,00</b>	<b>150,00</b>	<b>150,00</b>	<b>150,00</b>





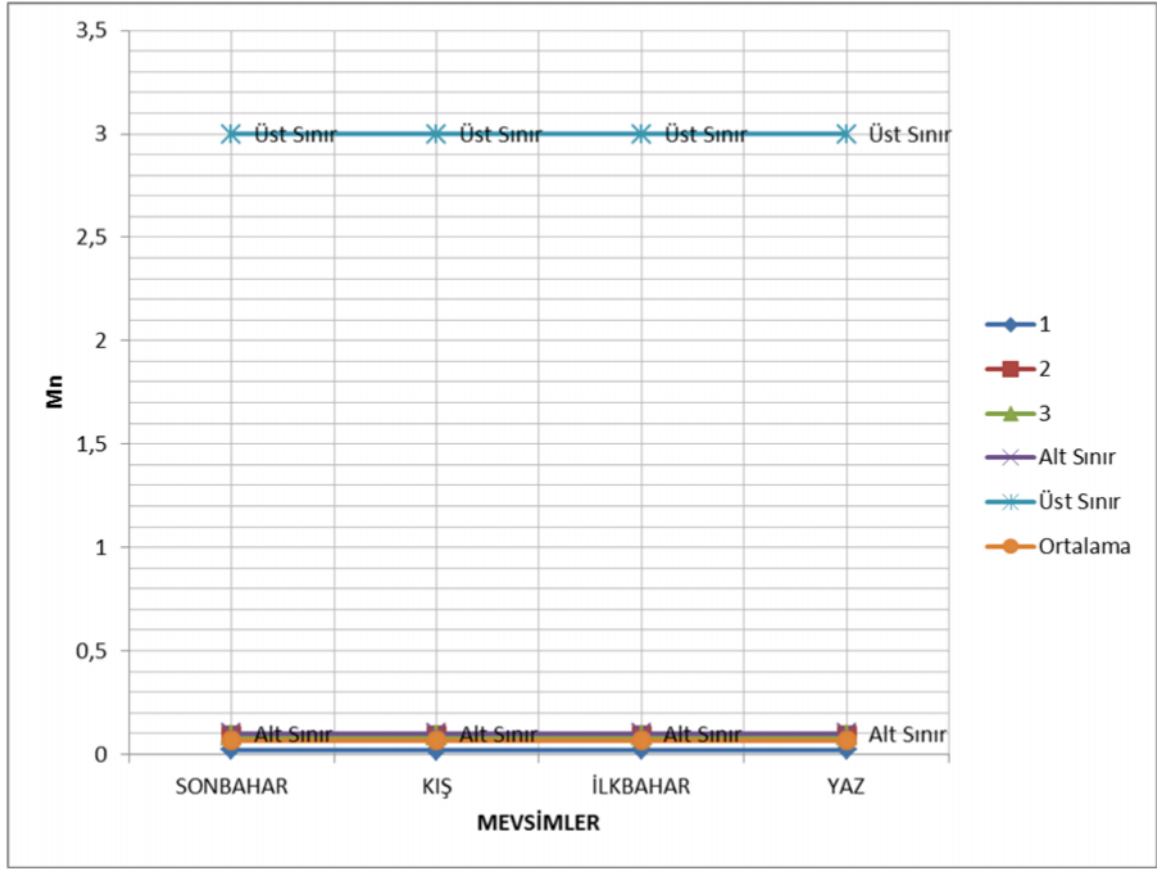
Şekil 4.15. Magnezyum değerlerinin mevsimsel değişimi

1. örnekleme noktasından sonbahar döneminde alınan su örneğinin magnezyum değerinin alt sınır ve üst sınır aralığında kış döneminde alt sınırın altında ilkbahar ve yaz döneminde ise alt sınır üst sınır aralığında olduğu, diğer örnekleme noktalarından tüm dönemlerde alınan su örneklerinin magnezyum değerlerinin alt sınırın altında olduğu görülmüştür.

#### 4.1.1.16.Mangan

Çizelge 4.16. Mangan ölçümleri

		Mn			
Örnekleme Dönemi		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
Örnekleme Noktası		SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1		0,022	< 0,02	0,02	0,02
2		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
3		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ortalama		0,06	0,06	0,06	0,06
Alt Sınır		0,10	0,10	0,10	0,10
Üst Sınır		3,00	3,00	3,00	3,00



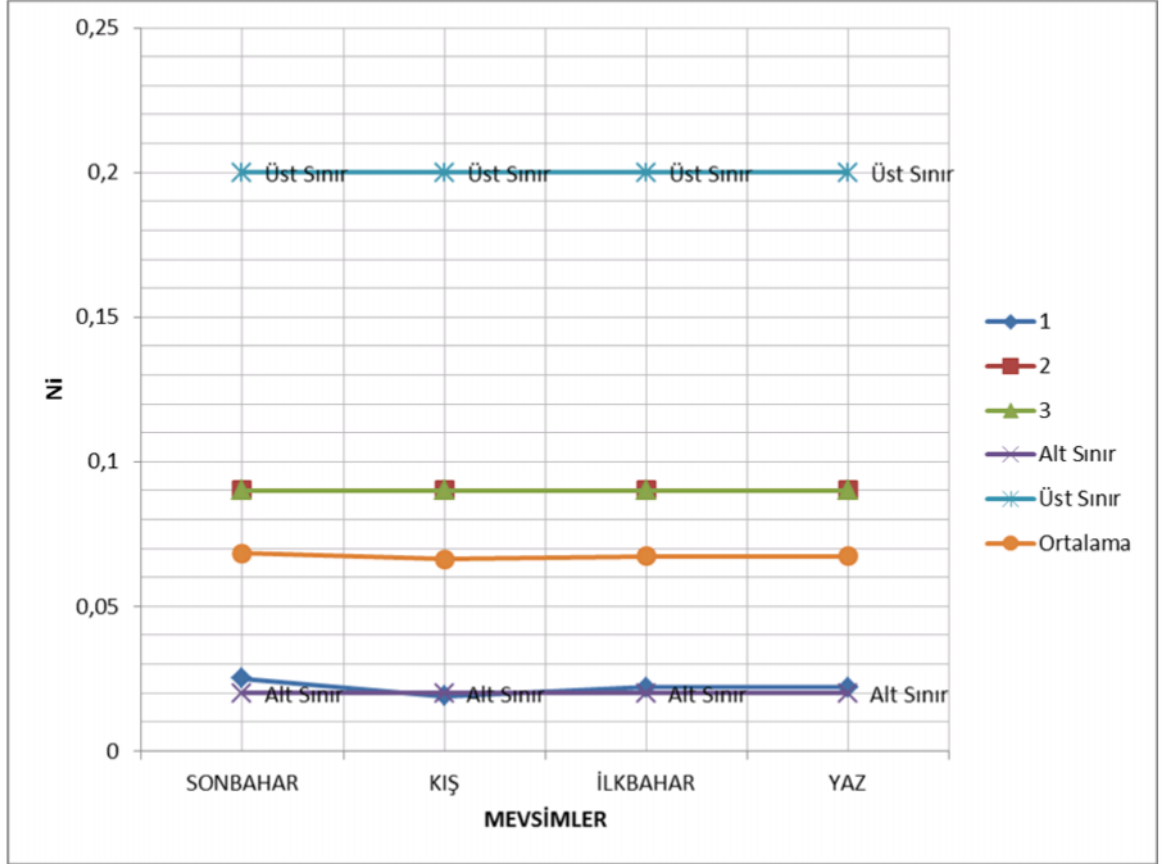
Şekil 4.16. Mangan değerlerinin mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin mangan değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır değerlerinin altında olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.1.1.17.Nikel

Çizelge 4.17. Nikel ölçümleri

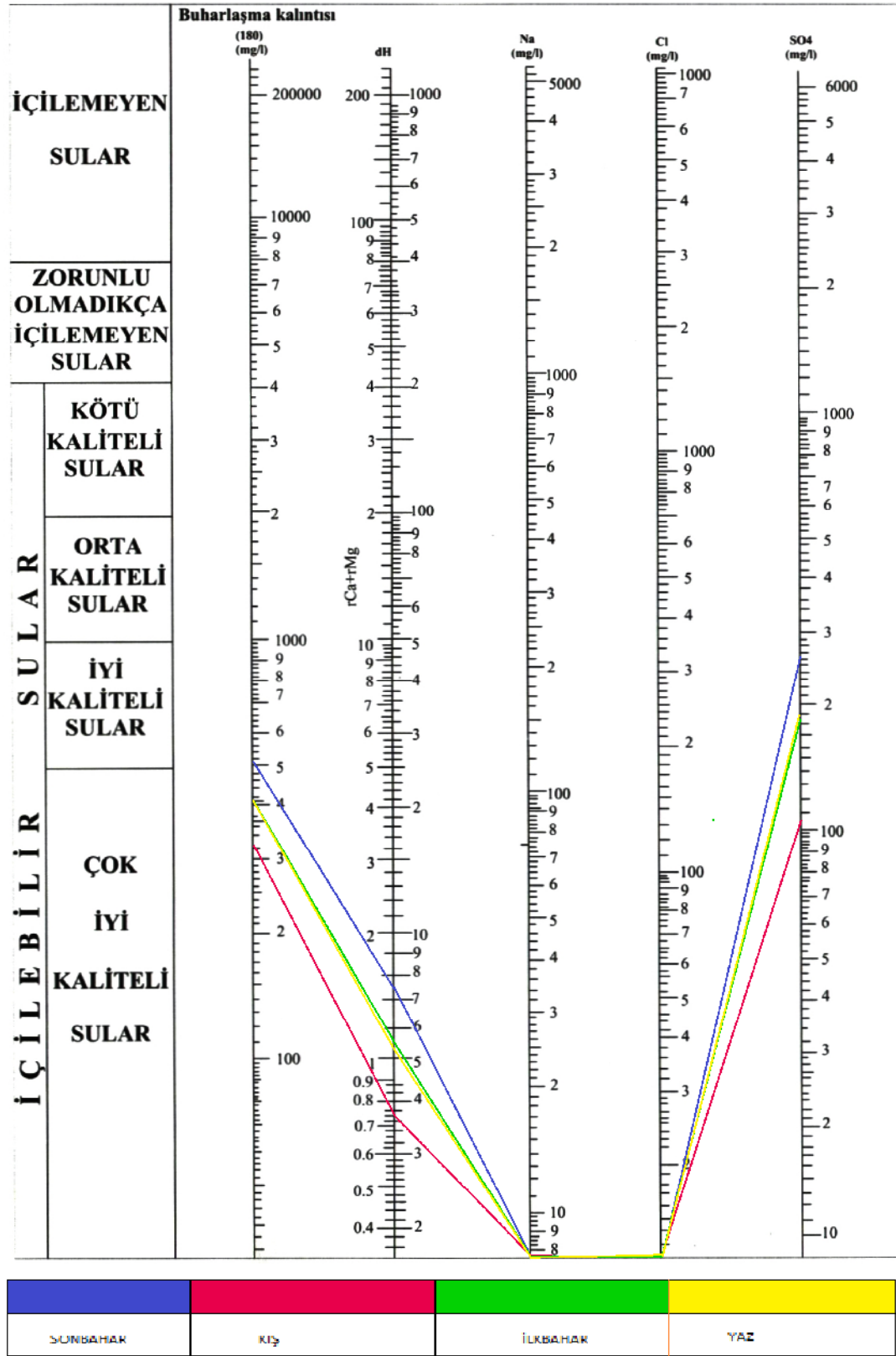
Örnekleme Dönemi / Örnekleme Noktası	Ni			
	SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ
1	0,02	< 0,02	0,02	0,02
2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Ortalama	0,06	0,06	0,06	0,06
Alt Sınır	0,02	0,02	0,02	0,02
Üst Sınır	0,20	0,20	0,20	0,20



Şekil 4.17. Nikel değerlerinin mevsimsel değişimi

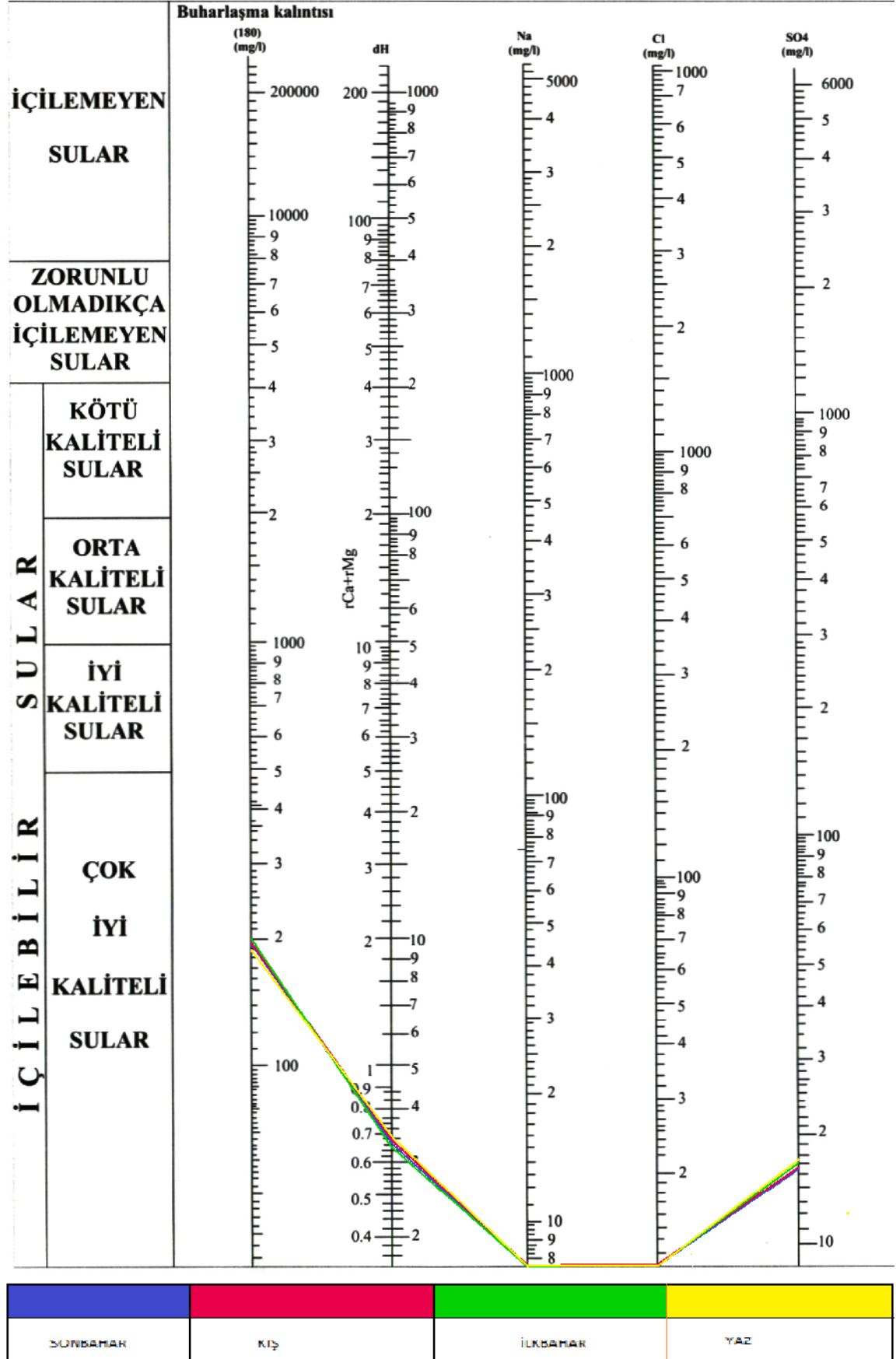
Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin nikel değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre, alt sınır ve üst sınır aralığında olduğu görülmüştür.

## 4.1.1.18. Schoeller İçilebilirlik Diyagramı



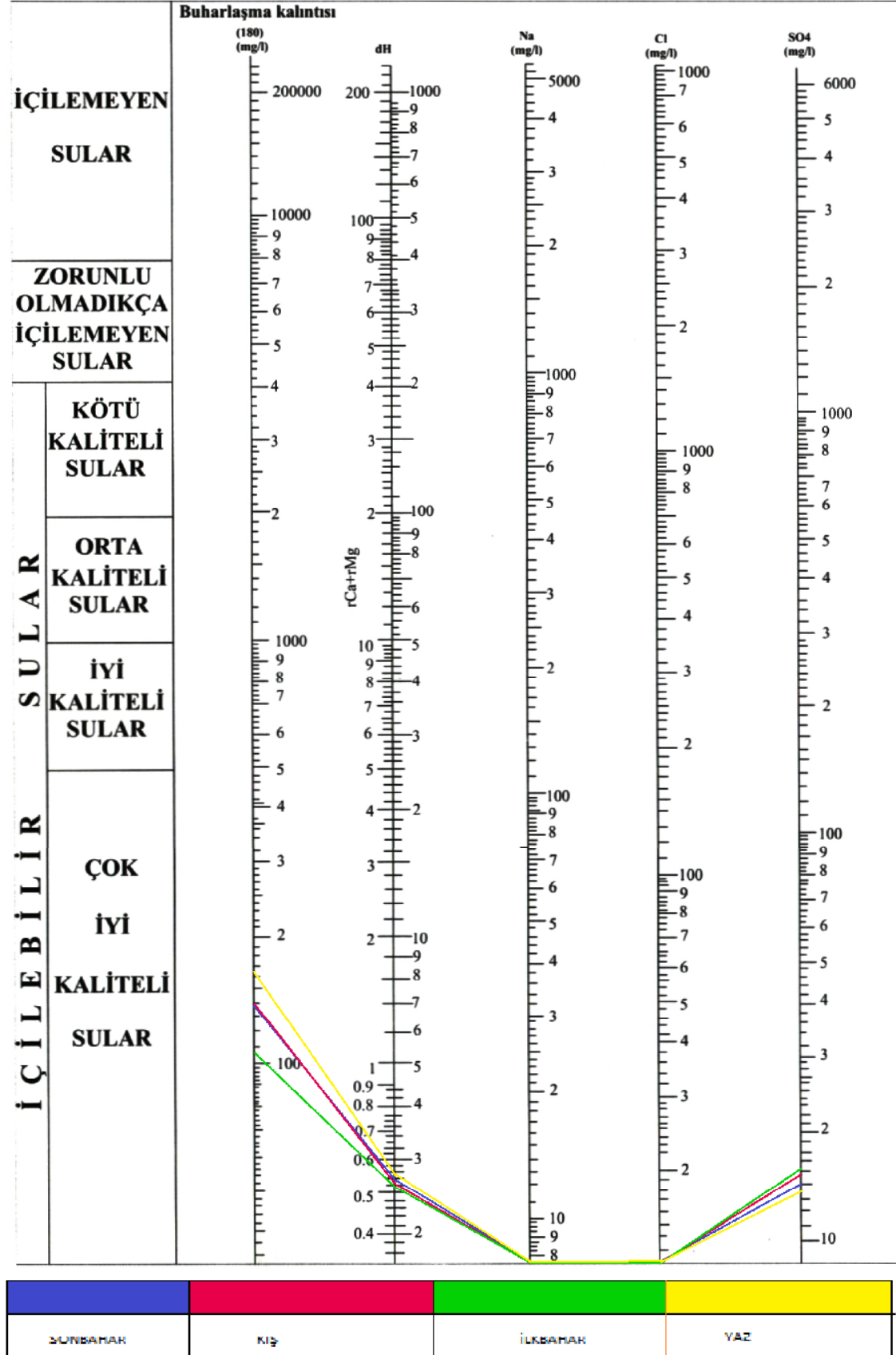
Şekil 4.18.Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 1. örnekleme noktası

1. Örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su rneklei Schoeller içilebilirlik diyagramına tabi tutulduğunda tüm rneklelerin ‘ok iyi kaliteli sular’ sınıfında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.19. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 2. örnekleme noktası

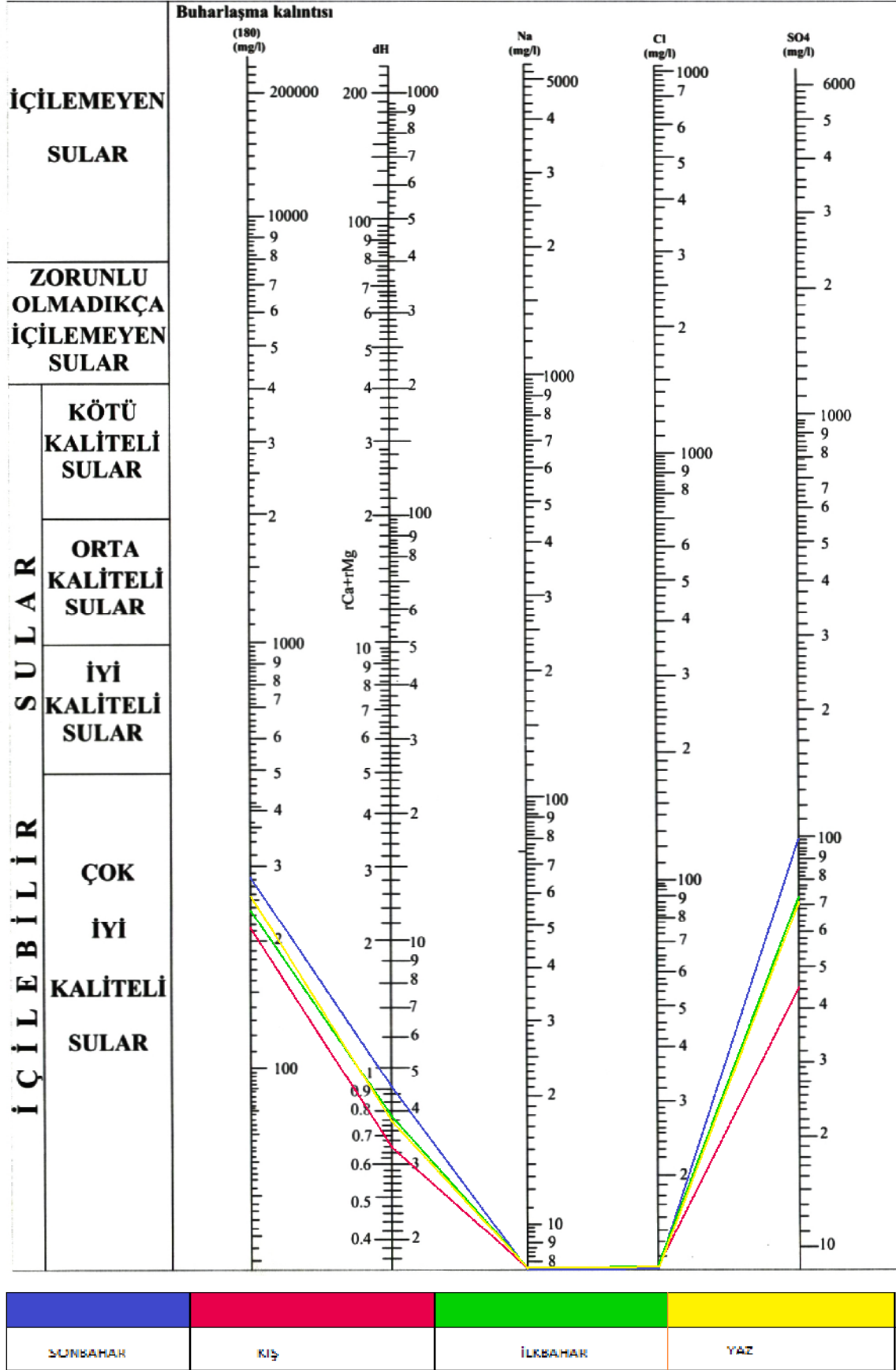
2. Örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su rnekleleri Schoeller içilebilirlik diyagramına tabi tutulduğunda tüm rneklelerin ‘ok iyi kaliteli sular’ sınıfında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.20. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre 3. örnekleme noktası



3. Örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su rnekleleri Schoeller içilebilirlik diyagramına tabi tutulduğunda tüm rneklelerin ‘ok iyi kaliteli sular’ sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

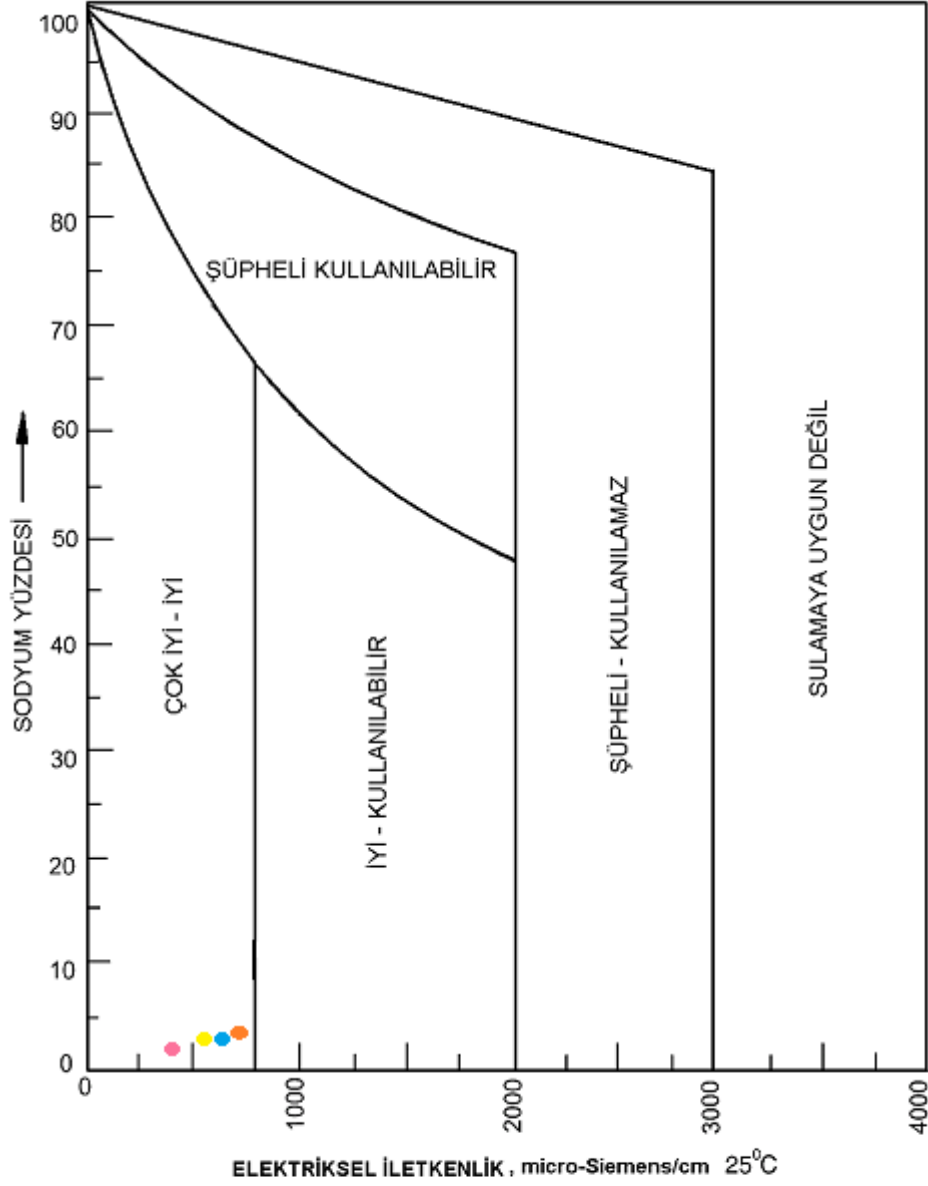


Şekil 4.21.Schoeller içilebilirlik diyagramına göre tüm örnekleme noktalarının ortalamaları

Tüm rnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su rneklelerinin ortalamaları Schoeller içilebilirlik diyagramına tabi tutulduğunda tüm rneklelerin ‘ok iyi kaliteli sular’ sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

## 4.1.2.Sulama Suyu Sınıflamaları

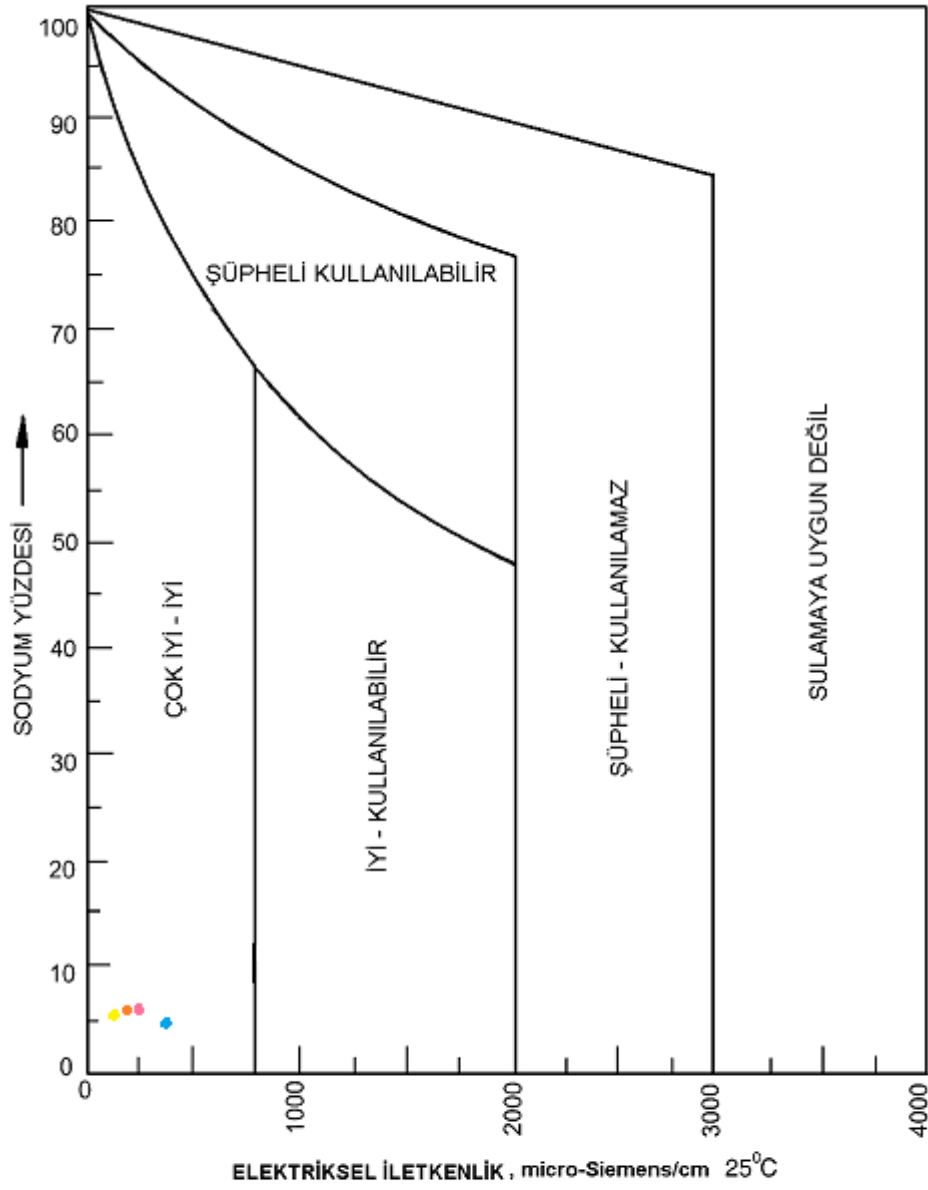
## 4.1.2.1.Wilcox diyagramı (Wilcox, 1955)



SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ

Şekil 4.22. (1.) örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu

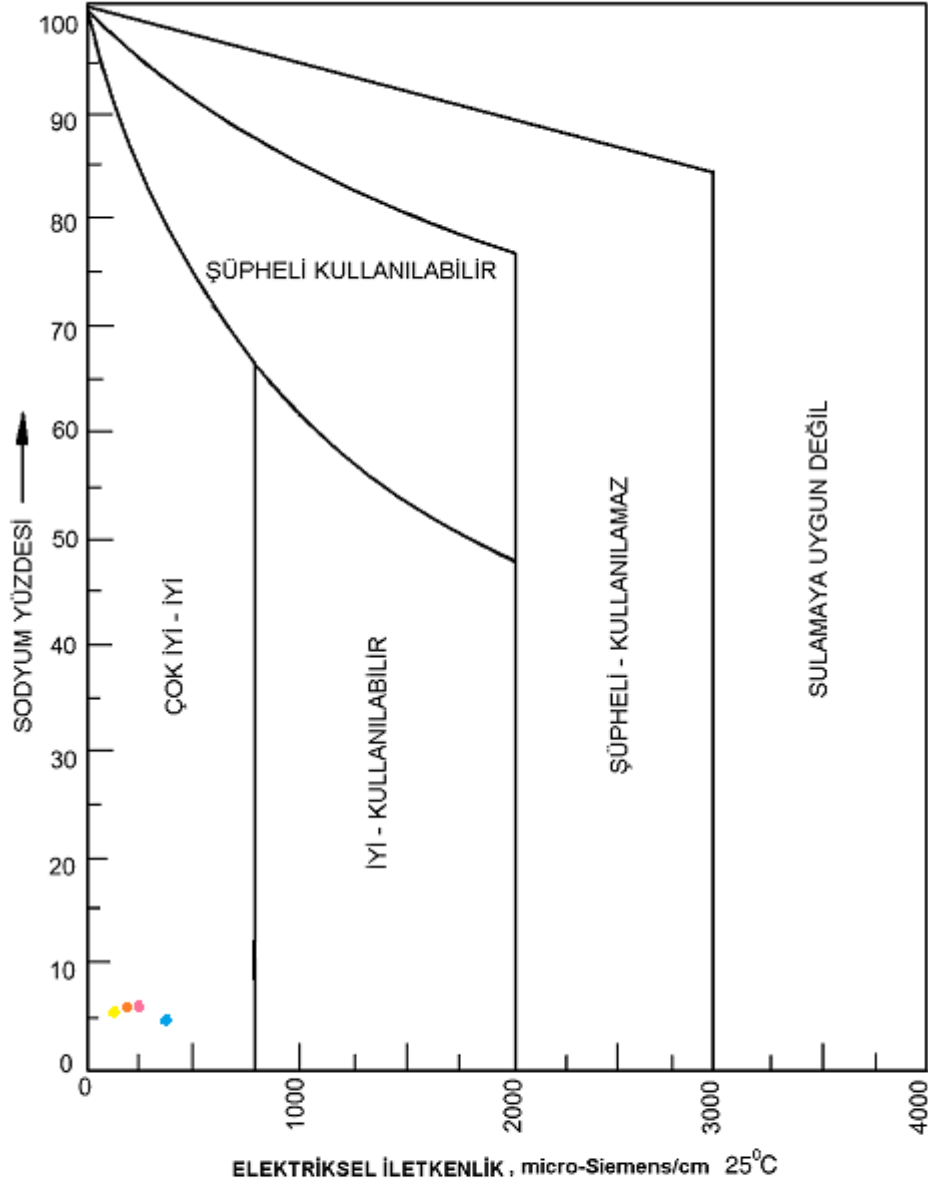
1. Örnekleme notasından dört dönem boyunca alınan su rnekleleri Wilcox diyagramına tabi tutulduğunda tüm rneklelerin ‘ok iyi-iyi’ sınıfında olduğu tespit edilmiştir.



SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ

Şekil 4.23. (2.) örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu

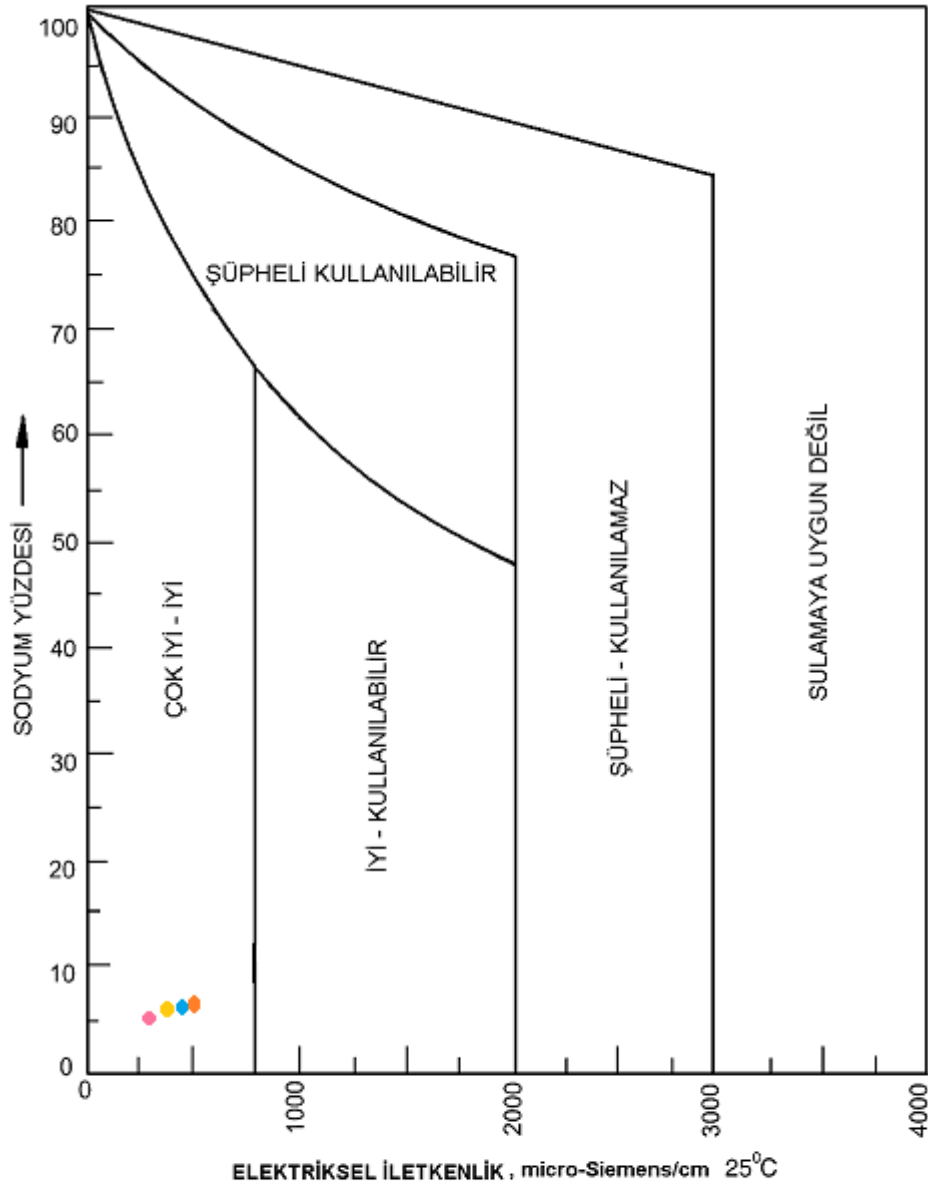
2. örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su örnekleri Wilcox diyagramına tabi tutulduğunda tüm örneklerin 'çok iyi-iyi' sınıfında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.24. (3.)örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu

3. Örnekleme notasından dört dönem boyunca alınan su rneklei Wilcox diyagramına tabi tutulduğunda tüm rneklelerin ‘ok iyi-iyi’ sınıfında olduğu tespit edilmiştir.



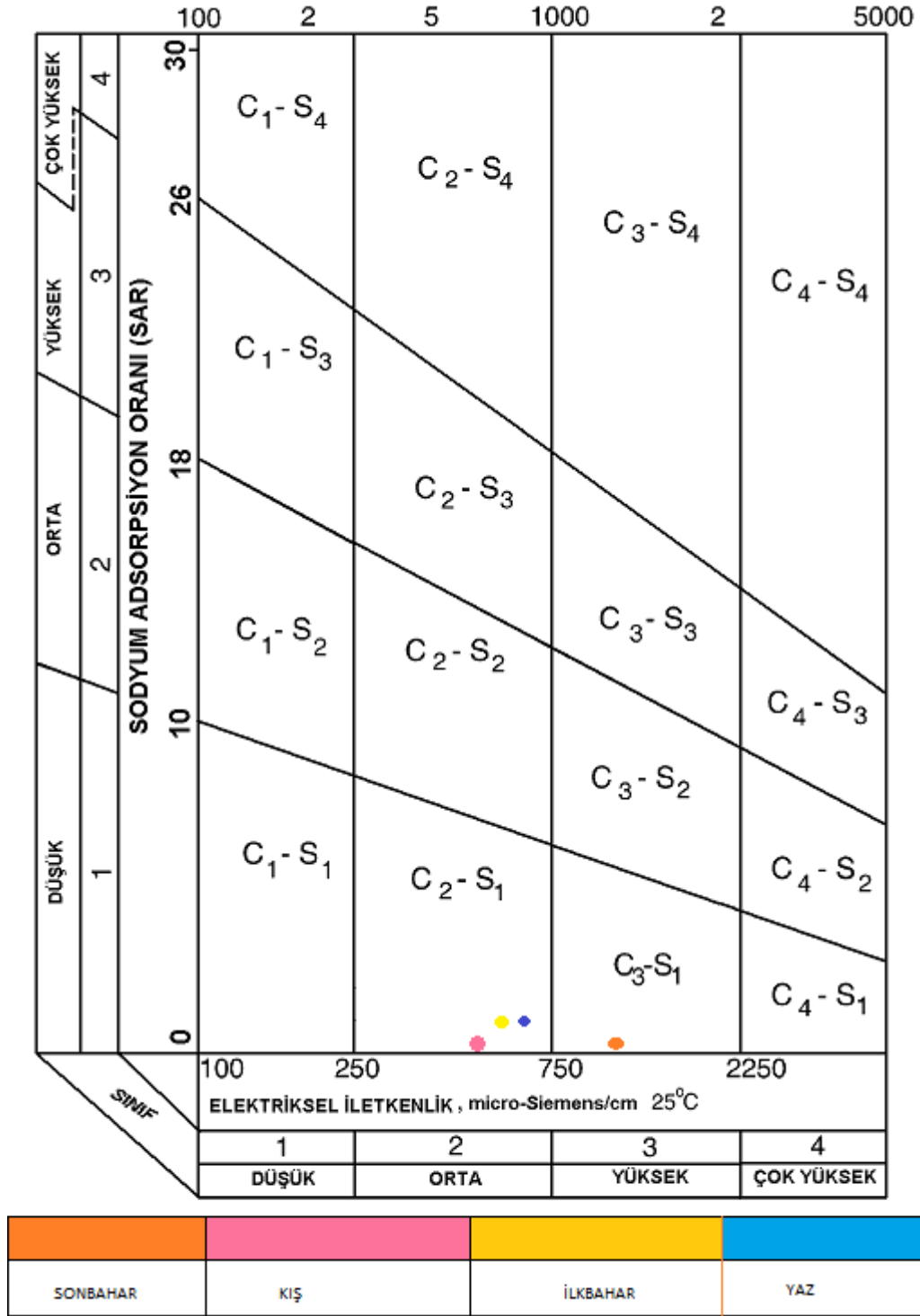


SONBAHAR	KIŞ	İLKBAHAR	YAZ

Şekil 4.25. Tüm örnekleme noktalarının ortalamalarının wilcox diyagramındaki konumu

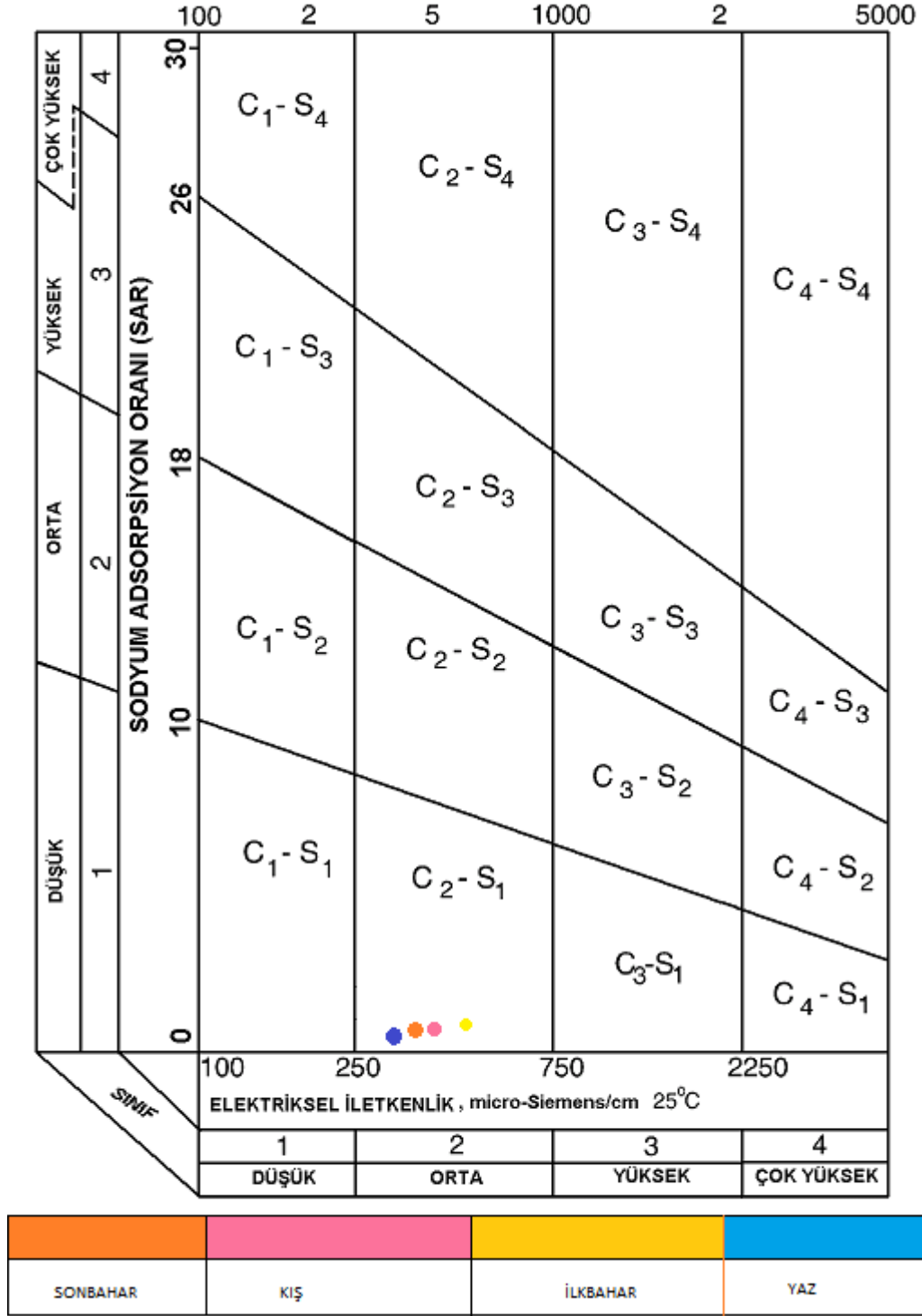
Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örneklerinin ortalamaları Wilcox diyagramına tabi tutulduğunda tüm örneklerin 'çok iyi-iyi' sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

## 4.1.2.2. ABD tuzluluk diyagramı (Richards, 1954)



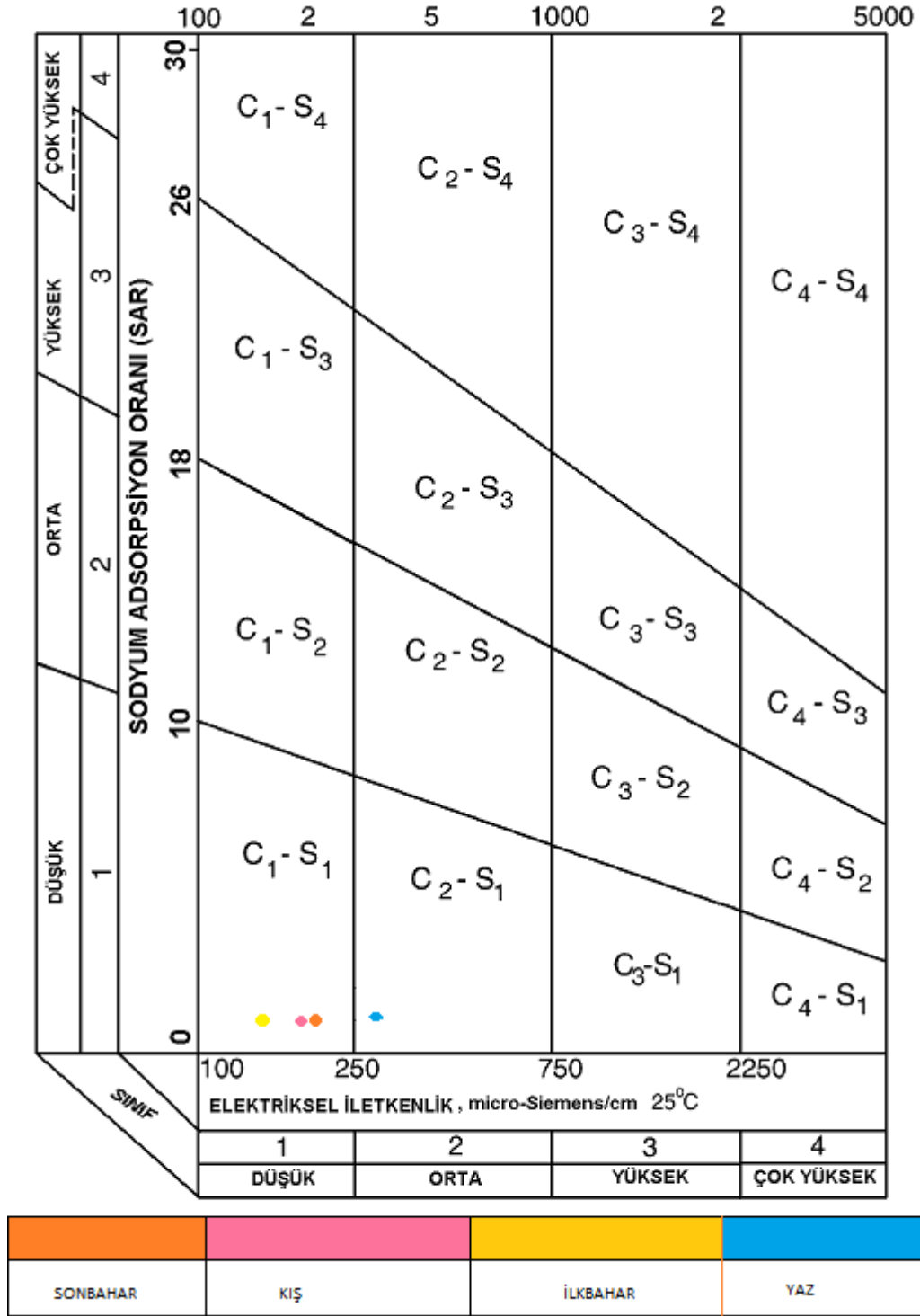
Şekil 4.26. (1.)Örnekleme noktasının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi

1. Örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su rnekleri, ABD Tuzluluk diyagramına tabi tutulduğunda, tüm rnekların  $C_2-S_1$  ve  $C_3-S_1$  bölgesinde (her türlü sulamada kullanılabilen) olduğu tespit edilmiştir.



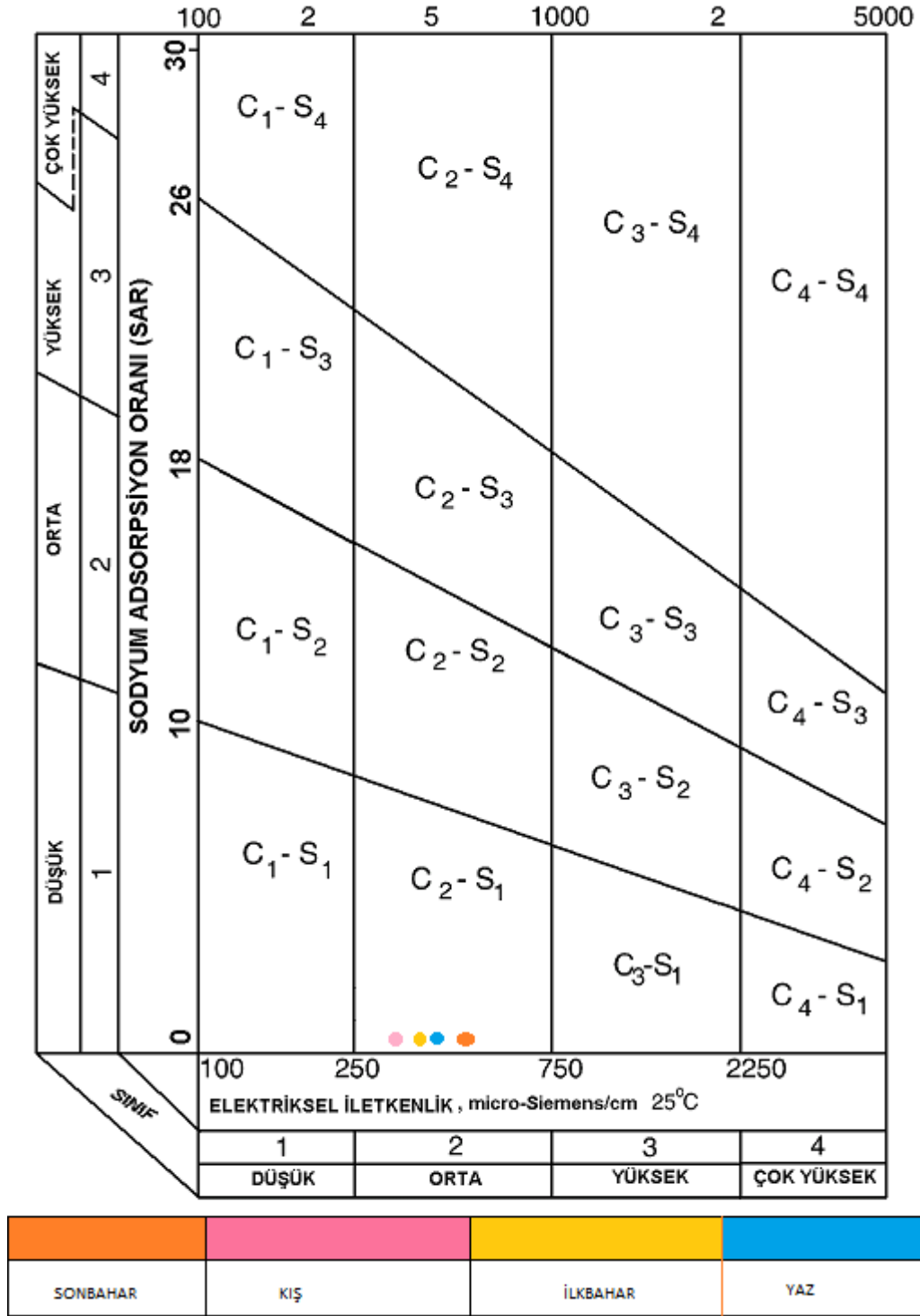
Şekil 4.27.(2.) Örnekleme noktasının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi

2.örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su örnekleri, ABD Tuzluluk diyagramına tabi tutulduğunda, tüm örneklerin C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> bölgesinde (her türlü sulamada kullanılabilen) olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.28. (3.) Örnekleme noktasının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi

3. örnekleme noktasından dört dönem boyunca alınan su örnekleri, ABD Tuzluluk diyagramına tabi tutulduğunda, tüm örneklerin C<sub>1</sub>-S<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> bölgesinde (her türlü sulamada kullanılabilen) olduğu tespit edilmiştir.

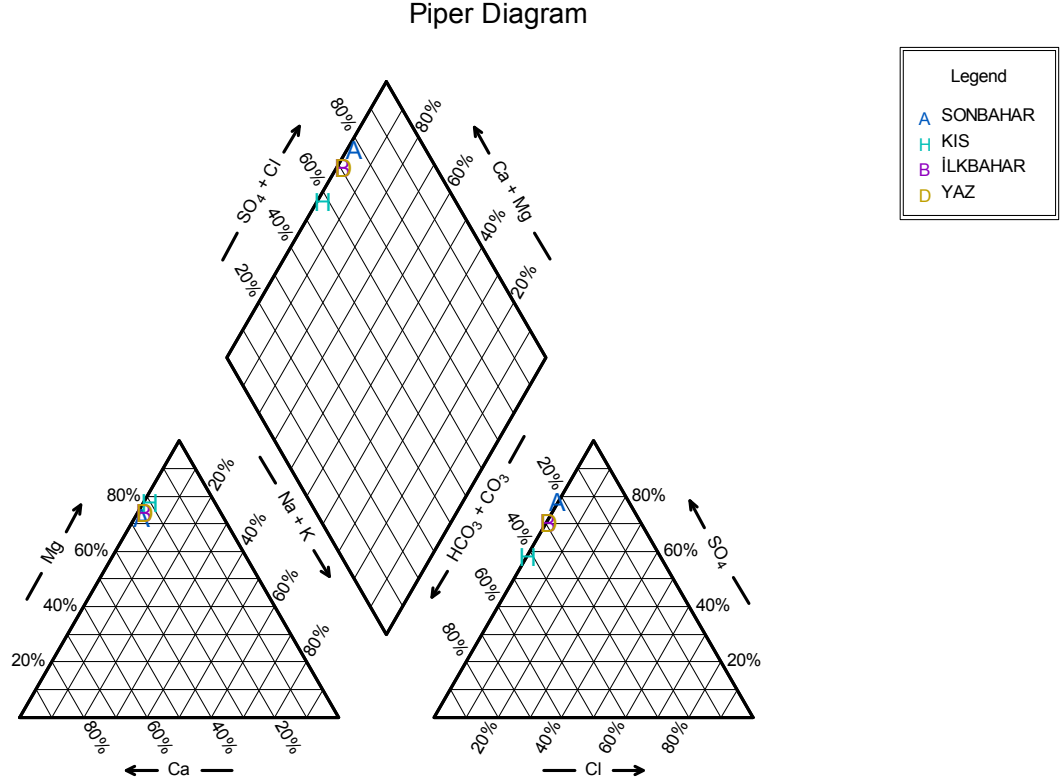


Şekil 4.29. Tüm örnekleme noktalarının ortalamalarının ABD tuzluluk diyagramı üzerindeki mevsimsel değişimi

Tüm örnekleme noktalarından dört dönem boyunca alınan su örnekleri, ABD Tuzluluk diyagramına tabi tutulduğunda, tüm örneklerin C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> bölgesinde (her türlü sulamada kullanılabilen) olduğu belirlenmiştir.

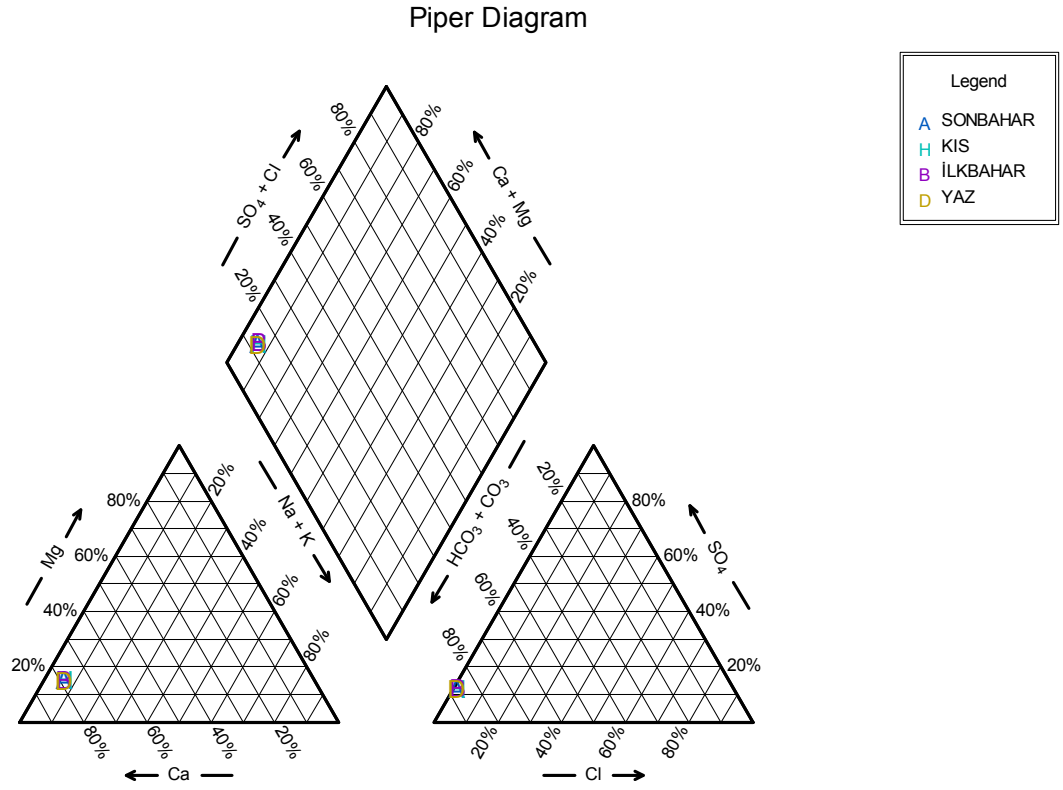
### 4.1.3.Hidrokimyasal Fasiyes Sınıflaması

#### 4.1.3.1. Piper Sınıflaması (Piper, 1944)



Şekil 4.30. Piper diyagramına göre 1.örnekleme noktasının hidrokimyasal fasiyes tipleri

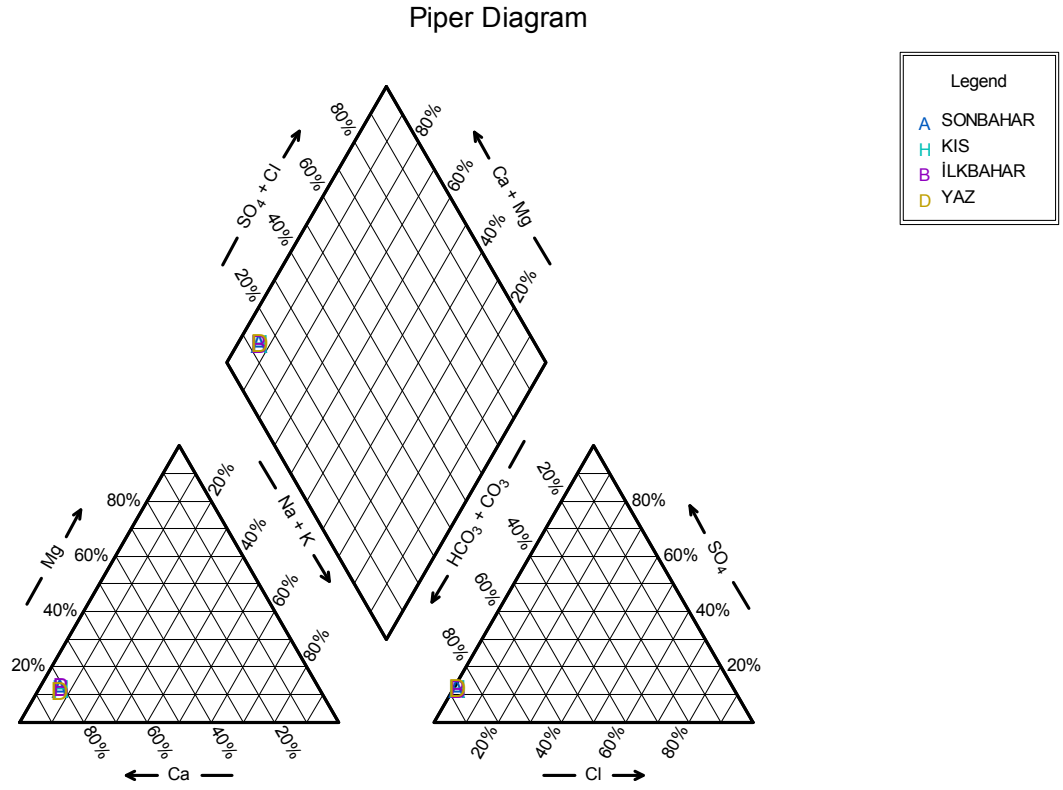
1. örnekleme noktasından alınan su örnekleri piper diyagramına tabi tutulduğunda 6 nolu alan (karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular) içinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.31. Piper diyagramına göre 2.örnekleme noktasının hidrokimyasal fasiyes tipleri

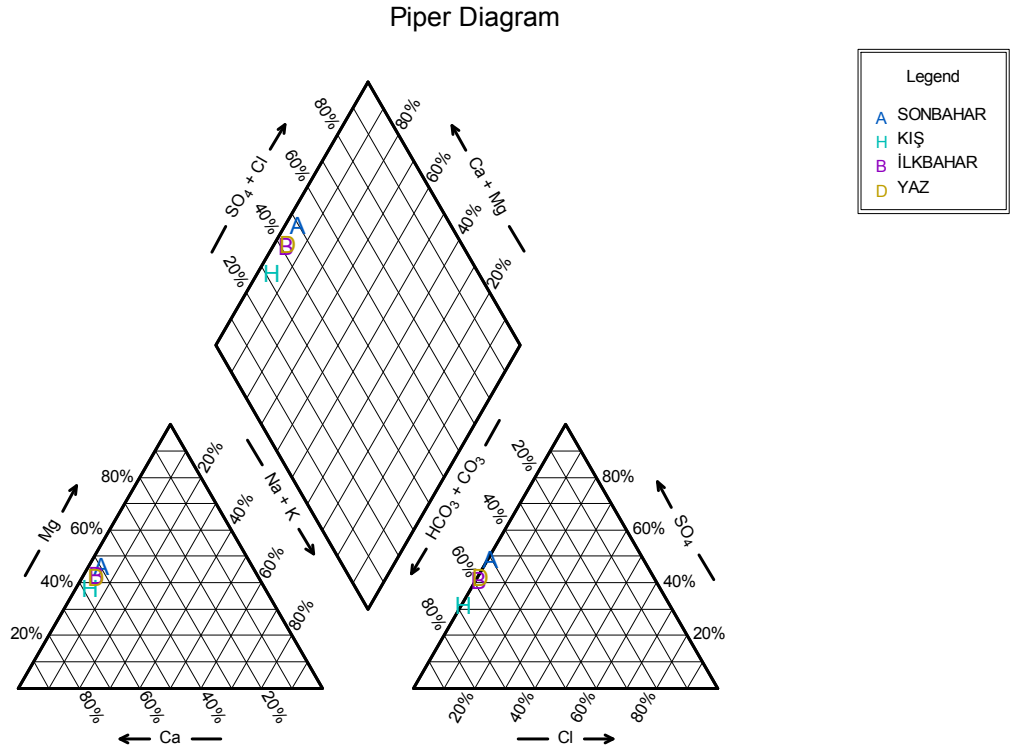
2. örnekleme noktasından alınan su örnekleri piper diyagramına tabi tutulduğunda 5 nolu alan (karbonat sertliği %50'den fazla olan sular) içinde kaldığı tespit edilmiştir.





Şekil 4.32. Piper diyagramına göre 3.örnekleme noktasının hidrokimyasal fasiyes tipleri

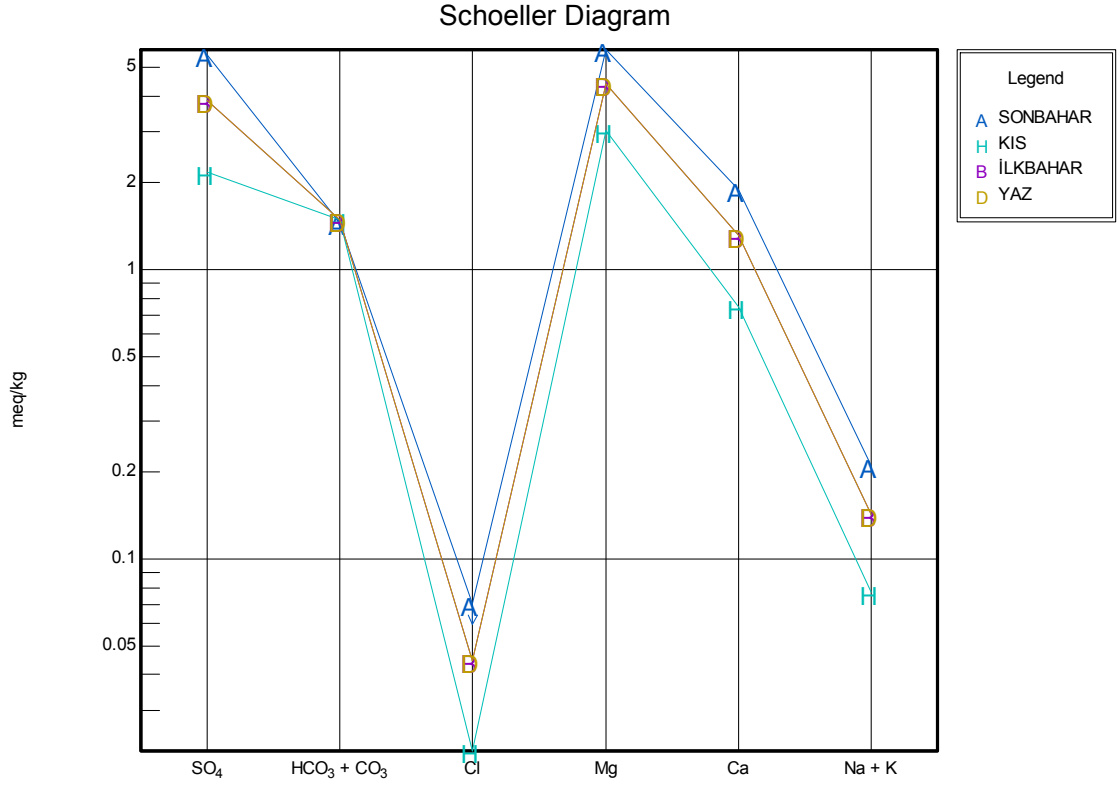
3. örnekleme noktasından alınan su örnekleri piper diyagramına tabi tutulduğunda 5 nolu alan (karbonat sertliği %50'den fazla olan sular) içinde kaldığı tespit edilmiştir.

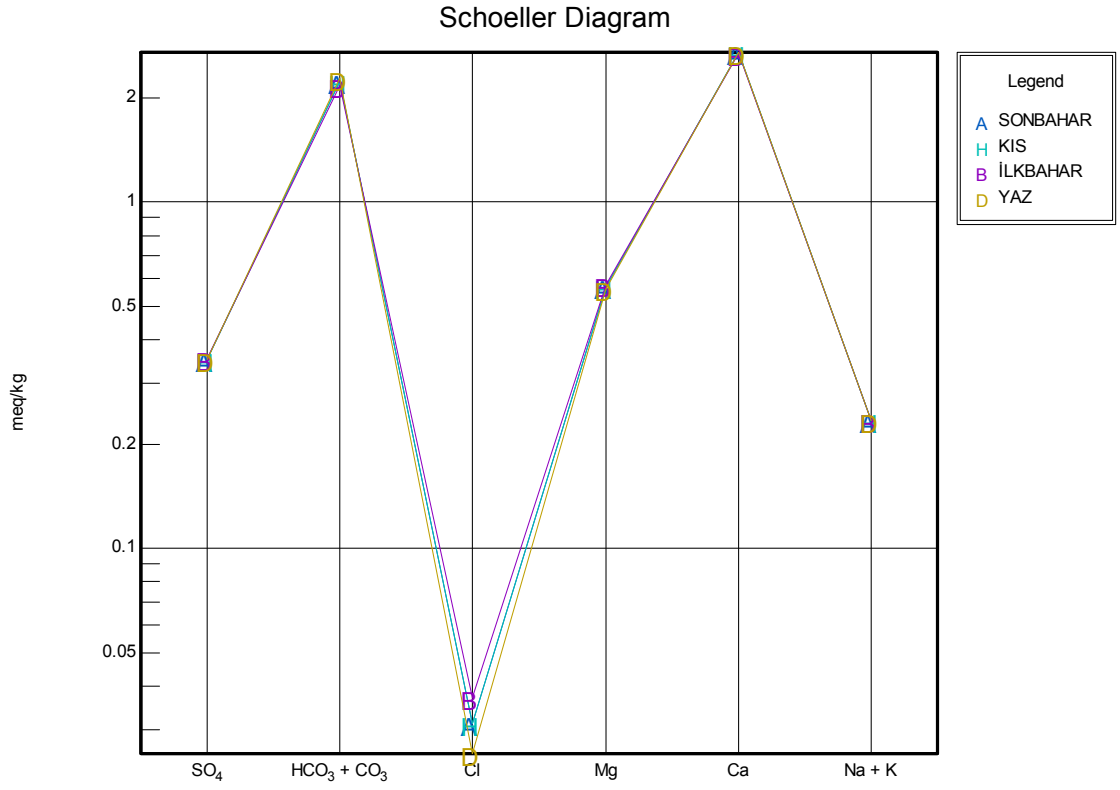


Şekil 4.33. Piper diyagramına göre tüm örnekleme noktalarının ortalamalarının hidrokimyasal fasiyes tipleri

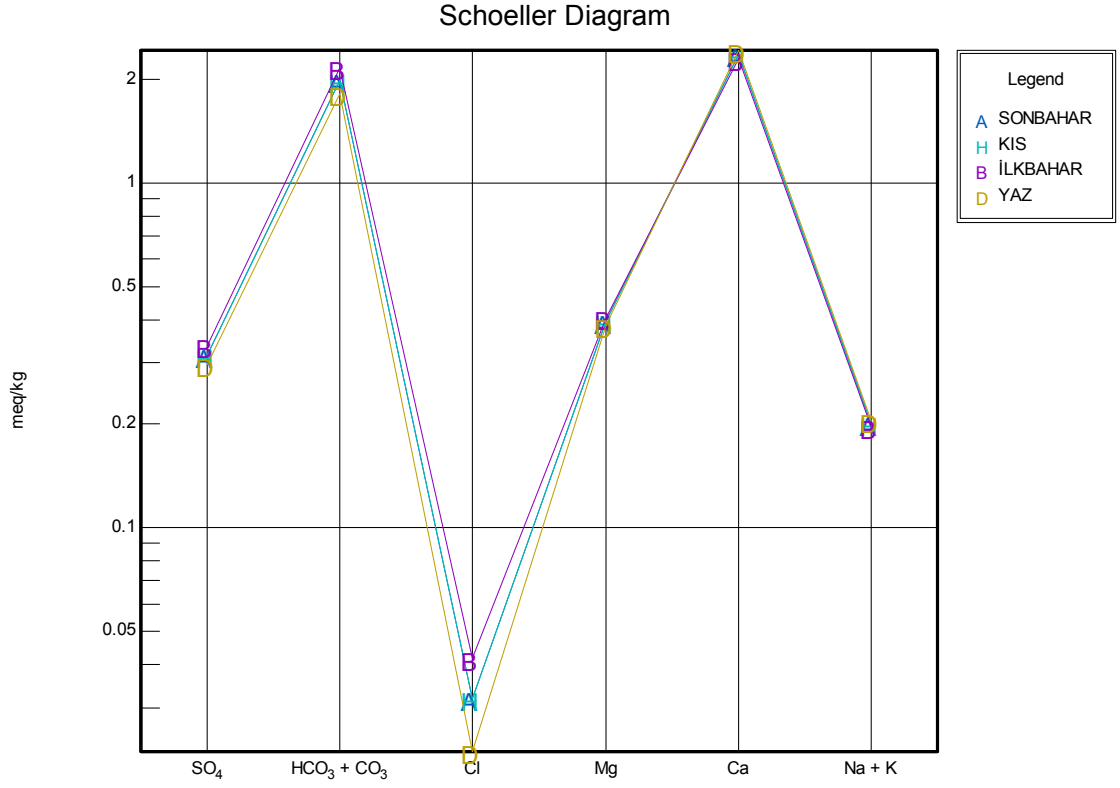
Tüm örnekleme noktalarının ortalamaları piper diyagramına tabi tutulduğunda 5 nolu alan (karbonat sertliği %50'den fazla olan sular) içinde kaldığı tespit edilmiştir.

## 4.1.3.2.Schoeller Sınıflaması

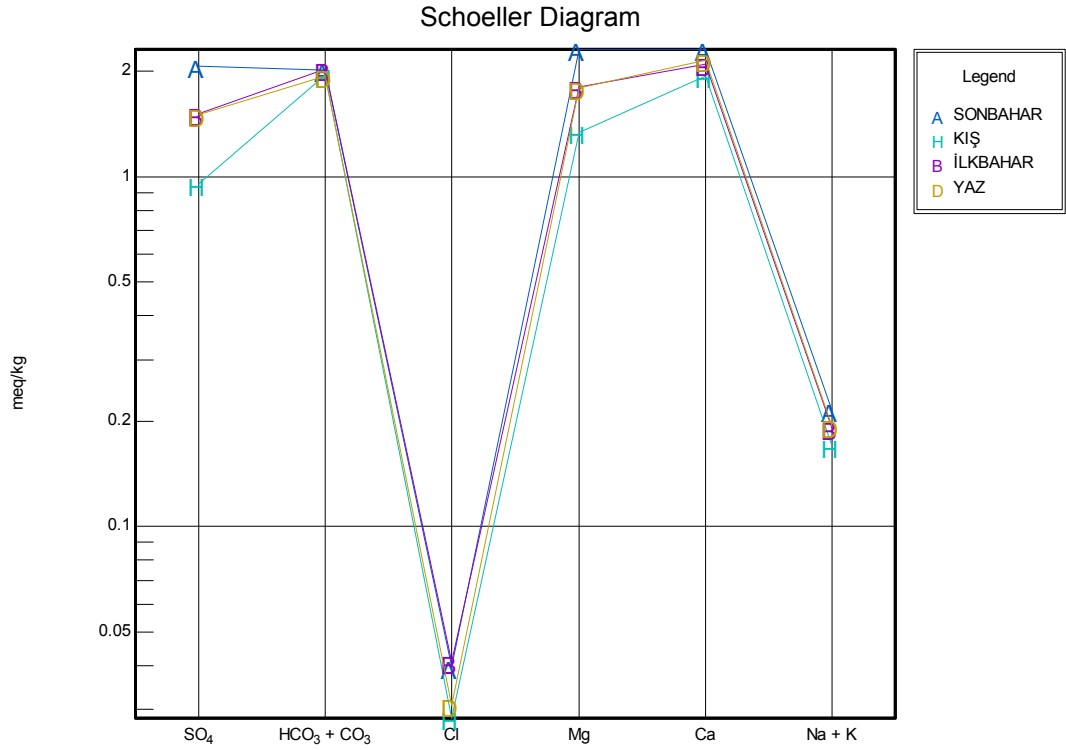




Şekil 4.35.(2.)Örnekleme noktasının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu



Şekil 4.36.(3.)Örnekleme noktasının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu



Şekil 4.37. Tüm örnekleme noktalarının ortalamalarının yarı logaritmik schoeller diyagramındaki konumu

Tüm örnekleme noktalarından alınan su örnekleri yarı logaritmik schoeller diyagramına tabi tutulduğunda 1. örnekleme noktasından alınan su örneği ile 2. ve 3. örnekleme noktalarından alınan su örneklerinin kökenlerinin farklı olduğu görülmüştür.

1. örnekleme noktası ofiyolitik kaya, 2. ve 3. örnekleme noktaları ise çamurtaşlı kaya formasyonundadır.

## 5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 5.1.SONUÇLAR

Kasım 2009- Haziran 2010 tarihleri arasında dört örnekleme dönemi boyunca üç farklı örnekleme noktasından su örnekleri alınmış, bu örnekler aşağıdaki parametreler için analiz edilmiştir.

Sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC) , Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Al, Cd, Pb

Bölgenin genel jeolojik yapısı değerlendirilmiştir.Çalışma alanının Maden grubunun alt volkanik sediment biriminde olduğu görülmüştür. Maden grubu düzensiz bir iç yapı gösterir.Yapı içerisinde küçük çapta gelişmiş, kıvrımlar nedeniyle tabaka, eğim, doğrultuları kısa aralıklarla bile önemli değişiklikler gösterir.

Alınan örnekler üzerinde, insani tüketim amaçlı suların sınıflamaları yapılmıştır. Sonuçta, kadmiyum ve kurşun değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre; üst sınır değerlerinin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Buna göre; Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği gereğince, bu suyun 4. sınıf su olduğu belirlenmiştir.

Aynı su örnekleri sulama suyu sınıflamalarına tabi tutulmuştur. Bu sınıflamalardan Wilcox diyagramına göre ölçülen /analiz edilen değerlerin ‘çok iyi-iyi’ alanı içerisinde kaldıkları görülmüştür.ABD Tuzluluk diyagramına göre ise de tüm örneklerin; C<sub>1</sub>-S<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> ve C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> bölgelerinde (her türlü sulamada kullanılabilen) olduğu tespit edilmiştir.

Aynı zamanda bu örnekler üzerinde AqQA yazılımı aracılığıyla hidrokimyasal fasiyes sınıflamaları yapılmıştır.Bu sınıflamalardan yarı logaritmik

schoeller diyagramına göre 1. örnekleme noktası ofiyolitik kaya, 2. ve 3. örnekleme noktaları ise çamurtaşlı kaya formasyonundadır.

Piper sınıflamasına göre ise 1. örnekleme noktasının 6 nolu alan (karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular) içinde 2. ve 3. örnekleme noktalarının ise 5 nolu alan (karbonat sertliği %50'den fazla olan sular) içinde yer aldığı görülmüştür.

2 ve 3 nolu örnekleme noktalarına göre 1 nolu örnekleme noktasında EC değerinin yüksek çıkması AMD kanal ve havuzundan kaynaklanabileceği görülmüştür. Ayrıca 1 nolu örnekleme noktasının 1939 yılından itibaren işletilen sahanın içerisinde kalması da önemli yüksek iyon konsantrasyonu olmasına neden olmaktadır.

## **5.2.ÖNERİLER**

Mevcut maden sahası ve çevresindeki akarsu, göl vb. su kaynaklarının toplam yüzey alanları, yer altı su düzeyi ile yağmur suyunun yeraltına sızma oranları ve kimyasal özellikleri periyodik olarak izlenmelidir.

Madencilik faaliyetinin, yeraltı ve yerüstü sularında meydana getirebileceği muhtemel niteliksel ve niceliksel değişiklikler araştırılmalıdır. Bu amaçla yapılacak, hidrojeolojik araştırmalar aşağıdaki konuları kapsamalıdır:

- Akiferlerin drenajı sonucu kuyulardaki su seviyesinin düşmesi izlenmeli,
- Yığın ve pasaların sebep olduğu su birikmeleri tespit edilmeli,
- Yeraltı ve yerüstü sularının kirlenme potansiyelleri belirlenmelidir.



## KAYNAKLAR

- AKÇIL, A., KOLDAŞ, S., 2006. Acid Mine Drainage (AMD): Causes, Treatment and Case Studies. *Journal of Cleaner Production*, 14(12 – 13), 1139 – 1145.
- ANONİM, 1991. Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metotları Tebliği, 7 Ocak 1991 tarih ve 20748 sayılı Resmi Gazete.
- ANONİM, 2004a. Numune Alma Kılavuzu 2004-1, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Çevre Referans Lab., 17 s., Ankara.
- ANONİM, 2004c. Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği, Tarih: 31.12.2004 Sayı: 25687 sayılı Resmi Gazete.
- ASTM (The American Society for Testing and Materials), 2001. Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells, D4448-01, p.17, USA
- ASTM, 2005. D6517-00, 2005. Standard Guide for Field Preservation of Ground-Water Samples
- BACK, W., 1960. Origin of hydrochemical facies in groundwater in the Atlantic coastal plain. *Proceedings of International Geological Congress (Copenhagen)*, 1:87-95.
- BACK, W., 1966. Hydrochemical facies and groundwater flow patterns in northern part of Atlantic coastal plain. *US Geological Survey Professional Paper* 498-A.
- BAL, N., KOCABAŞ, G., 2009. Madencilik faaliyetlerinin yer altı sularına etkisi ve ilgili mevzuatlar, 3. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara, 53-65.
- BAMBA, T., 1976 Güneydoğu Anadolu Ergani-Maden Bölgesi ofiyolit ve ilgili bakır yatağı: *MTA Dergisi* 86, 35-49.
- BANNERT, V., 1986, Der Grubenbetrieb des Kupferwerkes Ergani der Ergani Bakır işletmeleri Müessesesi in Maden, Provinz Elazığ (Türkei): *Erzmetall* 39/1,45/48.
- CANTER, L.W., 1997. *Nitrates in Groundwater*, CRS Press LLC, 263 p., USA Catalog No. En 37 – 54. 89 p.
- COSTELLO, C., 2003. *Acid Mine Drainage: Innovative Treatment Technologies*, U.S.Environmental Protection Agency (EPA), Office of Solid Waste and Emergency Response, Technology Innovation Office, 47 pp, Washington, DC, USA.
- ÇAĞATAY, A., 1977, Güneydoğu Anadolu bakır yatak ve zuhurlarının jeolojik-mineralojik etüdü sonunda elde edilen jenetik bulgular: *MTA Dergisi* 89, 46-70.
- ÇAĞATAY, A., 1968, *Erzmikroskopische Untersu chungen des Weib-Vorkommens bei Ergani-Maden, Türkei und genetische Deutung von Kupferlagerstaette Ergani- Maden: N. Jb. Min. Abh.* 109, 1/2, 131-155.
- ÇELEBİ, H., PEKER, İ., 1994. Ergani-Maden (Elazığ) bakır yatağı cevherlerinin Bi, La5 Ce9 Th ve U eser elementleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 37(2), 149-154
- ÇİFTÇİ, H., AKÇIL, A., 2006. AMD Giderilmesinde Uygulanan Biyolojik Yöntemler, *Madencilik Dergisi*, 45(1), 35-45.
- DUNNICK, J.K. and FOVLER, A.B. 1988. Cadmium in *Handbook on Toxicity of Inorganic Compounds*, Marcel Dekkerine, USA, PP. 156-174.

- ERDOĞAN, B. 1982. Ergani-Maden yöresindeki Güney Doğu Anadolu Ofiyolit kuşağının jeolojisi ve volkanik kayaları, TJK Bülteni, 25(1), 49-59.
- ERLER, A., 1983, Tectonic setting of the massive sulphide deposit of the Southeast Anatolian thrust belt: Ed., Tekeli, O. ve Göncüoğlu, M.C., 1983, Geology of the Taurus Belt, MTA Matbaası, 309-316, Ankara.
- ERDOĞAN, B., 1977, Geology, geochemistry and genesis of the sulphide deposit of the Ergani-Maden region, SE Turkey: Doktora Tezi (yayınlanmamış), New Brunswick Univ., 249 s., New Brunswick/Kanada.
- ERGUVANLI, K., ve YÜZER, E., 1987. Yeraltı suları Jeolojisi (Hidrojeoloji), İTÜ Maden Fakültesi, 339s., İstanbul.
- EU (European Union), 1998. Council Directive 98/83/EC of European Communities on the quality of water intended for human consumption, 3 November 1998, p.32.
- FETTER, C.W., 2001. Applied Hydrogeology (4th Edition), Prentice Hall, 691 p.
- FREEZE, R.A., ve CHERRY, J.A., 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 604 p., U.S.A.
- GRİFFİTT, W.R., ALBERS, J.P. ve ÖNER, Ö., 1972, Massive sulfide copper deposit of the Ergani-Maden Area, South- Eastern Turkey: Econ. Geol. 67, 701-716.
- GÖYMEN-ARSLANER. M.G., 1969, Ergani bakır yatağının maden mikroskopik incelenmesi: MTA Dergisi. 72, 176-188.
- GÜLER, Ç., 1997. Su Kalitesi, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No: 43, 94s. Ankara
- GÜR, F., 1993: Ergani Bakır İşletmesi flotasyon atık sularının Maden Çayı'ndaki kirlilik potansiyeli. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, 81 s., Fırat Univ., Elazığ.
- KARADENİZ, M., 2005. Asit Maden (Kaya) Drenajında Aktif ve Pasif Çözüm Yöntemleri, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- KARADENİZ, M., 2008. Asit Maden Drenajı, TMMOB Yayınları, 231 s, Ankara.
- KUYUCAK, N., 2002. Role of Microorganisms in Mining: Generation of Acid Rock Drainage and its Mitigation and Treatment, The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection, 2(3), 179-196.
- MAHIROĞLU, A., 2006. Asitli maden drenajlarının (amd) fenton prosesiyle arıtımı, S.Ü. Fen Bil. Ens. Yüksek lisans tezi (Yayınlanmamış), 127 s.
- MCNEELY, R. N., NEIMANIS, V. P., ve DAWYER, L., 1979. Water Quality Sources Book, a Guide to Water Quality Parameters. Minister of Supply and Services Canada.
- MONJEZI, M., SHAHRIAR, K., DEHGHANI, H., SAMIMI-NAMİN, F., 2009. Environmental impact assessment of open pit mining in Iran, Environ Geol, 58, 205–216.
- MMO (Yayımlayan), 1974, Ergani Bakır İşletmesi Müessesesi: Ergani bakır yatağının ve işletme tesislerinin tanıtımı. Madencilik, bakır özel sayısı, 163-178.
- ÖZDEMİR, Z., 1996. Maden Çayı (Elazığ) boyunca biyojeokimyasal anomalilerin incelenmesi, F.Ü. Fen Bil. Ens. Doktora Tezi (yayınlanmamış), 146 s.
- ÖZDEMİR, Z., SAĞIROĞLU, A., 1998. Maden Çayı (Maden-Elazığ) boyunca Fe elementi için biyojeokimyasal anomalilerin incelenmesi, Türkiye Jeoloji Bülteni 41(1), 49-54.

- ÖZKAYA, İ. 1978. 'Ergani-Maden yöresi Stratigrafisi' TJK bülteni 21 Ağustos, 129-39 Ankara
- PEHLİVANOĞLU, H., YILDIRIM, R., ERBAYAR, M. ve ERDOĞAN, R. 1990. 'Ergani Bakır Aramaları Projesi Hedef Sahaları Nihai Raporu' MTA Projesi s.83 Ankara
- PIPER, A.M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Transactions, American Geophysical Union 25:914-23.
- RICHARDS, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. U.S. Department of Agricultural Handbook 60.
- RICHARD, Y., 1980. Denitrification of Water for Human Consumption. Prog. Water Technol. 12, 173.
- RIDGE, T., SEIF, J.M., 2005. The Science of Acid Mine Drainage and Passive Treatment", Department of Environmental Protection, Bureau of Abandoned Mine Reclamation, [http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/minres/bamr/amd/science\\_of\\_amd.htm](http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/minres/bamr/amd/science_of_amd.htm).
- SAWYER, C.N., MCCARTY P.L., ve PARKIN G.F., 2003. Chemistry for Environmental Engineering and Science, 5th edition, McGraw-Hill Companies, 752 p. ABD
- SCHOELLER, H., 1955. Geochemie des eaux souterraines, Revue de L'Institute Francois du Petrole 10:230-44.
- SCHOELLER, H., 1962. Les Eaux souterraines. Mason et Cie. Paris. (Subramani ve ark.,2005)
- SEELİGER, T. C, PERNİCKA, E., WAGNER. G. A., BEGEMANN. F., SCHMITT-STRECKER. S., EİBNER, C, ÖZTUNALI, ö. ve BARANYİ. I., 1985. Archaeometallurgische untersuchungen in Nord- und Ost-anatolien: 32. Jahrbuch des Röniisch- Germanischen Zentral-museums, 597-659, Mainz.
- SİREİ, M.A., 1950, Die Kupferlagerstaette Ergani-Maden in der Turkei: N. Jhb. Miner. Abh. Abt A 80,36-95.
- ŞAHİNCİ, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, 548s., İzmir.
- ŞAHİNKAYA, E., BAYRAKDAR, A., GÜNGÖR, M., YÜCESOY, Z., UYANIK, S., YEŞİLNACAR, M. İ., ATASOY, A. D., 2009. AMD Oluşumu, Aktif arıtım sistemleri ve metal geri kazanımı, 3.Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara, 107-116.
- ŞENGÖR, A. M. C., 1980. 'Türkiye'nin neotektoniğinin esasları' TJK konferanslar dizisi s.39 Ankara
- ŞENGÜL, F., ve MÜEZZİNOĞLU, A., 1995. Çevre Kimyası (2. Baskı), DEÜ Müh. Fak. Matbaası, 243 s., İzmir.
- TEAGUE HOLLY, E., 1999. Evaluation of Heavy Metal Bioaccumulation in Selected Species of Amazon Fish. Thesis Presented to The Faculty of The University of Houston Clear Lake, USA, pp: 19-27.
- TIZLAK, F., 1991, Keban-Ergani yöresinde Madencilik (1780- 1850): Doktora Tezi (yayınlanmamış), Fırat Üniversitesi, 402 s.. Elazığ.
- TSE, 1997a. TS 5090 EN 25667-2/Nisan 1997. Su Kalitesi - Numune Alma Bölüm 2: Numune Alma Teknikleri – Kılavuzu
- TSE, 1997b. TS 5106 ISO 5667-3/Nisan 1997. Su Kalitesi - Numune Alma Bölüm 3: Numunelerin Muhafaza ve Taşınma Kuralları
- TSE, 2005. Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular, TS 266, TSE Ankara.

- TSUKAMOTO, T.K., KILLION, H.A., MILLER, G.C., 2004. Column Experiments for Microbiological Treatment of Acid Mine Drainage: Lowtemperature, Low-pH and Matrix Investigations, Water Research, 38, 1405-1418.
- ÜSTÜNTAŞ, A., 1988. 'Zahuran-Maden Elazığ pritik Cu cevherleşmeleri' F.Ü. Fen. Bil. Ens.Yük. Lis. Tez. s 58 Elazığ (Yayınlanmamış).
- ÜSTÜNTAŞ, A. ve SAĞIROĞLU, A., 1993. 'Zahuran (Maden-Elazığ) yöresindeki iki farklı tip Cu cevherleşmesi' TJK bülteni Ağustos, 36,179-189 Ankara
- WHO (World Health Organization), 1978. Nitrate, Nitrites And Nitrosocompounds. Env. Health Criteria-5. WHO, Geneva.
- WHO, 1993. The Guidelines for Drinking-Water Quality, Second edition, WHO, Geneva.
- WYLLIE, R.J.M., 1972, Ergani mine, mill and smelter is Turkey's largest copper producer: World Min. 3,42-45.
- YİĞİTBAŞ, E., GENÇ, Ş.C., YILMAZ, Y., 1993. 'Güney Doğu Anadolu orojenik kuşağında Maden grubunun tektonik konumu ve jeolojik önemi' A. Suat Erk Sempozyumu bildirileri A.Ü.Fen Fak. Jeo. Müh. Böl. s.251-264 Ankara
- YAZGAN,E., 1987, Malatya Güneydoğusunun jeolojisi ve Doğu Toroslann jeodinamik evrimi: MTA Gen. Müd., Rapor No. 297 (yayınlanmamış), 38 s., Ankara. 154

## **ÖZGEÇMİŞ**

1975 yılında Şanlıurfa'da doğdu. 1993 yılında Şanlıurfa Anadolu Lisesinden mezun olduktan sonra 1994 yılında Harran Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 1998 yılında bu bölümden mezun oldu. 2008-2009 Güz Dönemi Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümünde yüksek lisansa başladı. Halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

## ÖZET

Asidik maden drenajı (AMD), bir maden işletmesinin çalışması boyunca ve kapatılması sonrasında sülfürlü cevherler (pirit, kalko-pirit, çinkoblend, galen gibi) ile suyun ve oksijenin temas halinde bulunmasıyla meydana gelen bir dizi kompleks hidrojeokimyasal ve biyojeokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşur. Sonuçta; oluşan su, genel olarak yüksek asidite (düşük pH) ve yüksek konsantrasyonda çözülmüş metalleri (Cu, Fe, Pb, Zn vb.) içerir.

Yapılacak madencilik faaliyetlerinde konu hassas bir şekilde incelenmeli ve yeraltı sularına olabilecek etkileri irdelenmelidir. Faaliyetler esnasında, açığa çıkacak farklı kayaç tiplerinin asit üretme ve nötrleştirme potansiyelleriyle kirleticilerin ve metallerin potansiyellerinin ne olduğu, hangi koşullarda probleme dönüşeceği sorularının cevaplanması gerekmektedir. Bunun için, ilk adımda, maden alanının ilgili yerlerinden alınan temsili numunelerin kimyasal ve mineralojik analizleriyle onların fiziksel ve jeoteknik karakterlerinin tayini, sıvı ve katı numunelerde demir ve sülfürleri oksitleyen bakterilerin mevcudiyetini ve miktarını tespit etmek gerekir .

Bu çalışmada, AMD'lerin yeraltı suyu kalitesine etkilerini araştırmak amacıyla, Elâzığ iline bağlı Maden ve Diyarbakır iline bağlı Ergani ilçeleri arasında ve Dicle Nehri havzasında yer alan Ergani - Maden Bakır Madeni Açık İşletmesi çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Bu sahada dört örnekleme dönemi boyunca üç farklı lokasyondan su örnekleri alınarak Sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC) ölçülmüş, ayrıca Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Fe, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Al, Cd, Pb parametreleri analiz edilmiştir. Çalışmanın analiz ve ölçüm sonuçları, içme suyu kalitesi (ulusal ve uluslararası), tarımsal sulama suyu kalitesi ve hidrojeokimyasal fasiyes açısından sınıflamalara tabi tutulmuştur.

## SUMMARY

Acid mine drainage (AMD) occurs the result of hydrogeochemical and biogeochemical reactions by the contact of sulphur ores (pyrite, chalcopyrite, zincblende, galena, etc.) with water and oxygen during and after the working of a mine facility. Finally ; produced water contains high acidity (low pH) and high concentrations of dissolved metals (Cu, Fe, Pb, Zn etc.)

For the mine activity, the subject must be examined sensitively and the probable effects on groundwater must be discussed. The questions like; what is the potential of acid produce and neutralization of various rock types and what is the potential of pollutants and metals and in which conditions they will turn to problem during the activity must be replied. Hence , first, it is necessary to determine the chemical and mineralogic analysis of samples that taken from mine area , the characteristic of physical and geotechnic of them ,the presence of bacteria that oxide iron and sulphur in solid and liquid samples.

In this study, Ergani-Maden open-pit mining , which is located in Ergani Maden Diyarbakır is specifically choosen in order to study the effect of AMD on groundwater quality.

In this area, during four sampling period, water samples taken from three different locations and values of temperature, pH, electrical conductivity (EC) were calculated also  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  , Fe, Co, Cr, Mn ,Ni ,Cu ,Zn ,Al ,Cd ,Pb were analyzed. Results of the analyses and measurements of the study were subjected to the classifications with regard to drinking water quality (national and international level), irrigation water quality and hydrochemical facies