

**T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI
2016-YL-003**

**AYDIN-BUHARKENT YÖRESİNDEKİ
JEOTERMAL SULARINDA BAZI KİRLLETİCİ
PARAMETRELERİN ARAŞTIRILMASI**

Simge ER

**Tez Danışmanı:
Prof. Dr. Mustafa DEMİR**

AYDIN-2016

T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı öğrencisi Simge ER tarafından hazırlanan “Aydın-Buharkent Yöresindeki Jeotermal Sularında Bazı Kirlетici Parametrelerin Araştırılması” başlıklı tez 25/12/2015 tarihinde yapılan savunma sonucunda aşağıda isimleri bulunan jüri üyelerince kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı Soyadı	Kurumu	İmzası
Başkan :Prof. Dr. Mustafa DEMİR	ADÜ	
Üye :Prof. Dr. Ersin KARAGÖZLER	ADÜ	
Üye :Prof. Dr. Ahmet BALCI	MSÜ	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilen bu Yüksek Lisans Tezi, Enstitü Yönetim Kurulunun Sayılı kararıyla tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Aydın ÜNAY
Enstitü Müdürü

T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

Bu tezde sunulan tüm bilgi ve sonuçların, bilimsel yöntemlerle yürütülen gerçek deney ve gözlemler çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce, sonuç ve bilgilere bilimsel etik kuralların gereği olarak eksiksiz şekilde uygun atıf yaptığımı ve kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

...../...../2016

Simgе ER

ÖZET

AYDIN-BUHARKENT YÖRESİNDEKİ JEOTERMAL SULARINDA BAZI KİRLİTİCİ PARAMETRELERİN ARAŞTIRILMASI

Simge ER

Yüksek Lisans Tezi, Kimya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa DEMİR

2016, 129 sayfa

Yer kabuğu bol ve çeşitli enerji kaynaklarına sahiptir. Jeotermal enerji yerden gelen ısı anlamında kullanılmaktadır. Tükenmeyen, yenilenebilir ve çevre kirliliğine neden olmayan bir enerji kaynağı olan jeotermal enerjinin daha yaygın kullanım alanları araştırılmaktadır. Jeotermal enerji, elektrik üretiminde, konutların ısıtılmasında, ziraat alanında kullanılmaktadır. Bununla birlikte sağlıklı yaşama olumlu katkılarda bulunduğu için de, son zamanlarda yapılan araştırmalar bu yönde yoğunlaşmaktadır.

Bu tez çalışması, Büyük Menderes Nehri su ve sedimentlerindeki kirlilik parametrelerini incelemek için yapılmıştır. Bu araştırma sırasında periyodik olarak belirlenen istasyonlardan su ve sediment örnekleri alınmış ve su örneklerinin pH, iletkenlik gibi parametreleri yerinde bakılmıştır. Örnekler laboratuvara alındıktan sonra su ve sediment numunelerindeki çeşitli iyonların (B , Cd^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Na^{+} , K^{+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^{+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , NO_3^{-} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) analizi gerçekleştirilmiştir. Su ve sediment örneklerindeki metal analizleri alev atomik absorpsiyon spektrofotometrisi (AAS), SO_4^{2-} , NO_3^{-} , NH_4^{+} analizleri spektrofotometrik yöntemlerle, HCO_3^{2-} , CO_3^{2-} analizleri ise titrasyon yöntemleri ile yapılmıştır. Sodyum, kalsiyum ve magnezyum iyonlarının derişimlerinden yola çıkılarak su kalitesini belirleyen Sodyum Absorpsiyon Oranı (SAR) hesaplanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre SAR değerleri yönetmelikte belirtilen değerlere göre tüm istasyonlarda çok yüksek değerlerde tespit edilmiştir. Mn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} iyonları tüm istasyonlarda tayin edilememiştir. Bor, dördüncü istasyon dışında tüm istasyonlarda yüksek değerlerde tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: , AAS, Ağır Metal, Aydın-Buharkent, İletkenlik, pH, SAR

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE POLLUTION PARAMETERS IN GEOTHERMAL WATERS IN AYDIN-BUHARKENT REGION

Simge ER

M.Sc. Thesis, Department of Chemistry

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa DEMİR

2016, 129 pages

Earth's crust has lots of various energy sources. Geothermal energy comes from the ground - it's never ending, renewable and does not cause any pollution. Researches are in progress to figure out more areas for use of the geothermal energy. It's already being used for generating electricity, heating homes, and in agriculture. Recent researches are also being concentrated on geothermal energy, since it has positive effects on the environment, from the point of pollution and hence health.

The purpose of this research is to investigate the pollution parameters of Buyuk Menderes river and its sediments. During this research, water and sediment samples were collected periodically from the predetermined stations and the parameters like pH and conductivity were checked immediately on site. Analysis of the various ions (B , Cd^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Mn^{2+} , Fe^{3+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) in the water and sediment samples were done after they were taken to the laboratory. Metal analysis of water and sediment samples were conducted by the Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Analysis of SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ were done by spectrophotometric method. Analysis of HCO_3^{2-} , CO_3^{2-} were conducted by titration methods. Sodium absorption ratio (SAR) which determines the water quality was calculated from calcium, magnesium and sodium concentration. Metal analysis of sediment samples were conducted by AAS after sediments samples had been dissolved in microwave device. According to the results, SAR values were determined as being very high for all the stations. Mn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} values couldn't be determined for any of the stations. Boron values were very high except for the fourth station.

Key Words: AAS, Heavy Metal, Aydin-Buharkent, Conductivity, pH, SAR

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında bana yol gösteren, bilimsel birikim ve deneyimleri ile çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen değerli ve çok saygın danışmam hocam Prof. Dr. Mustafa DEMİR' e,

Deneysel çalışmalardaki yardımlarından ve desteklerinden dolayı değerli hocam Prof. Dr. Ersin KARAGÖZLER'e, Adnan Menderes Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Hayvan Besleme Bölümü'nde görev yapan Arş. Gör. Onur TATLI ve tüm akademik personellerine, Adnan Menderes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde görev alan Arş. Gör. Hilmi Saygın SUCUOĞLU'na, numune alımlarında hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Aydın-Buharkent Ziraat Odası Başkan'ı Naim ÖZDAMAR'a, çalışmalarımızı birlikte yürüttüğümüz sevgili dostum Gülsüm Poyraz'a,

Tez çalışmalarımı yürütebilmek için ihtiyaç duyduğum imkanları bana sağlayan Adnan Menderes Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Başkanlığı'na, araştırma projeme kaynak sağlayan Adnan Menderes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu' na,

Bu günlere gelmemin en önemli nedeni olan sevgili babam Derviş ER, annem Türkan ER, ablam Melike ZÖNGÜR'e ve eniştem Alper Zöngür'e

Her daim benden desteğini esirgemeyen ve yanımda olan çok sevgili dostum Özlem YAKAR'a ve ismini saymadığım emeği geçen herkese çok teşekkür ederim.

Simge ER

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	iii
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ	xi
SİMGELER DİZİNİ.....	xvii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1. Jeotermal Enerji	2
1.2. Yerküre Bölümleri	2
1.3. Jeotermal Sistemler	4
1.4. Jeotermal Enerji Kullanım Alanları	5
1.4.1. Elektrik Enerjisi Üretimi	6
1.4.2. Sanayi Alanında Kullanımı	8
1.4.3. Isıtma İşlerinde Kullanımı.....	9
1.4.4. Turizm Alanında Kullanılması.....	9
1.4.5. Sulama Alanında Kullanımı	10
1.4.6. Kimyasal Madde Üretiminde Kullanımı	10
1.5. Jeotermal Enerji Uygulama Alanları.....	10
1.5.1. Dünya’da Jeotermal Enerji Uygulama Alanları	10
1.5.2. Türkiye’de Jeotermal Enerji Uygulama Alanları	12
1.5.2.1. Kızıldere Jeotermal Sahası	15
1.6. Jeotermal Suların Kimyasal Bileşimi	16
1.6.1. Jeotermal Atık Sularında Bulunan Kirleticilerin Çevresel Etkileri	18

1.6.2. Bazı Kirlenici Parametrelerin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri	20
1.7. Atomik Absorpsiyon Spektrometrisi	26
1.7.1. Işık Kaynağı.....	27
1.7.2. Atomlaştırıcı	28
1.7.3. Dedektör	28
1.8. Mikrodalga Cihazı ile Çözünürleştirme Yöntemi.....	29
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	31
3. MATERYAL VE YÖNTEM	34
3.1. Materyal.....	34
3.1.1. İstasyonların Tespiti ve Numunelerin Alınması	34
3.1.2. Deneyde Kullanılan Cihazlar.....	36
3.1.3. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Standart Çözeltiler	36
3.2. Yöntem	39
3.2.1. Arazide Yapılan Analizler	39
3.2.2. Titrimetrik Yöntemle Yapılan Tayinler.....	40
3.2.2.1. Toplam Alkanite Tayini	40
3.2.3. Su Numunelerinin Metal Analizi İçin Hazırlanması	41
3.2.4. Sediment Numunelerinin Mikrodalga Cihazıyla Çözünürleştirilmesi ve Metal Analizi İçin Hazırlanması	41
3.2.5. AAS ile Yapılan Analizler.....	41
3.2.5.1. Kalibrasyon Grafiklerinin Çizilmesi	41
3.2.6. UV-Görünür Bölge Spektrofotometresinde Yapılan Tayinler	49
3.2.6.1. Sülfat Tayini.....	49
3.2.6.2. Amanyum Tahini	51
3.2.6.3. Nitrat Tayini.....	53
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	55
4.1. Bulgular	55

4.1.1. Analizleri Yapılan Parametrelerin Sonuçları ve Hesaplanması	55
4.1.2. Numunelerin SAR Değerlerinin Hesaplanması	55
4.1.3. Yapılan Analizlerin Tayin ve Gözlenebilme Sınırlarının Hesaplanması ve Değerleri	56
4.1.4. Numunelerin Analiz Sonuçları ve Standart Sapma Değerleri	58
4.1.5. Elde Edilen Verilerin Zamana ve İstasyonlara Göre Karşılaştırma Grafikleri	65
4.2. Tartışma	103
4.2.1. pH.....	106
4.2.2. İletkenlik	107
4.2.3. Toplam Alkalinite	107
4.2.4. Sodyum Absorbsiyon Oranı (SAR).....	108
4.2.5. Sülfat	109
4.2.6. Nitrat	109
4.2.7. Amonyum.....	110
4.2.8. Kurşun.....	110
4.2.9. Çinko.....	110
4.2.10. Kadmiyum.....	111
4.2.11. Alüminyum	111
4.2.12. Krom	112
4.2.13. Demir	112
4.2.14. Mangan.....	113
4.2.15. Bakır.....	113
4.2.16. Sodyum	114
4.2.17. Magnezyum.....	114
4.2.18. Kalsiyum	114
4.2.19. Potasyum.....	115

4.2.20. Bor	115
5. SONUÇ	118
KAYNAKLAR.....	121
ÖZGEÇMİŞ.....	129



SİMGELER DİZİNİ

AAS	Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi - Atomic Absorption Spectrometry
AES	Atomik Emisyon Spektroskopisi - Atomic Emission Spectroscopy
EC	Elektiriksel İletkenlik - Electrical Conductivity
Eİİİ	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
kW:	Kilowatt
kWe:	Kiloawatt enerji
MW:	Megawatt
MWe:	Megawatt elektrik
MWt:	Megawatt ısı
mg/L	Miligram/ litre
meq/L	Miliekivalent/ litre
mg	Miligram
mL	Mililitre
ICP	İndüktif Olarak Eşleştirilmiş Plazma - Inductively Coupled Plasma
ppm	mg/L, Parts per million
SAR	Sodyum Absorbsiyon Oranı - Sodium Adsorption Ratio
T.E	Tayin Edilemedi
WEC:	Dünya Enerji Konseyi -World Energy Council

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yerkürenin Bölümleri ve sıcaklık dağılımı	3
Şekil 1.2. İdeal bir jeotermal sisteminin şematik gösterimi	5
Şekil 1.3. Kuru buhar santrali	7
Şekil 1.4. Flash buhar santrali	7
Şekil 1.5. Binary cycle santrali	8
Şekil 1.6. Jeotermal enerjinin dünyada elektrik dışı uygulamaları	11
Şekil 1.7. Türkiye’de jeotermal alanlar	12
Şekil 1.8. Türkiye’de mevcut jeotermal enerji uygulamalarının yüzdesel dağılımı	14
Şekil 1.9. Jeotermal akışkanın içerdiği kimyasal kirleticiler	20
Şekil 1.10. Atomik absorpsiyon spektrometresinin genel şeması	27
Şekil 1.11. Oyuk katot lambası	28
Şekil 3.1. Örneklerin Alındığı İstasyonlar	34
Şekil 3.2. Kurşun için kalibrasyon grafiği	42
Şekil 3.3. Çinko için kalibrasyon grafiği	43
Şekil 3.4. Sodyum için kalibrasyon grafiği	43
Şekil 3.5. Magnezyum için kalibrasyon grafiği	44
Şekil 3.6. Kadmiyum için kalibrasyon grafiği	44
Şekil 3.7. Alüminyum için kalibrasyon grafiği	45
Şekil 3.8. Krom kalibrasyon grafiği	45
Şekil 3.9. Demir kalibrasyon grafiği	46
Şekil 3.10. Mangan kalibrasyon grafiği	46
Şekil 3.11. Kalsiyum kalibrasyon grafiği	47
Şekil 3.12. Potasyum kalibrasyon grafiği	47
Şekil 3.13. Bakır kalibrasyon grafiği	48

Şekil 3.14. Bor kalibrasyon grafiği.....	48
Şekil 3.15. Turbidimetrik metotla tayin edilen sülfat iyonuna ait kalibrasyon grafiği	50
Şekil 3.16. Nessler metodu ile tayin edilen amonyum iyonuna ait kalibrasyon grafiği	52
Şekil 3.17. Brusin metodu ile tayin edilen nitrat azotuna ait kalibrasyon grafiği. 54	
Şekil 4.1. Bir kalibrasyon eğrisi grafiği; cihaz responsu-konsantrasyon değişimi	57
Şekil 4.2. Su örneklerinin pH değerlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği	66
Şekil 4.3. Su örneklerinin pH değerlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği	66
Şekil 4.4. Su örneklerinin iletkenlik değerlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği	67
Şekil 4.5. Su örneklerinin iletkenlik değerlerinin zamana göre karşılaştırma grafiği	68
Şekil 4.6. Su örneklerinin toplam alkanite değerlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği	69
Şekil 4.7. Su örneklerinin toplam alkanite değerlerinin zamana göre karşılaştırma grafiği	69
Şekil 4.8. Sediment örneklerindeki kurşun derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği	70
Şekil 4.9. Sediment örneklerindeki kurşun derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiği	71
Şekil 4.10. Su örneklerinin çinko değerlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği	72
Şekil 4.11 Su örneklerindeki çinko derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiği	72
Şekil 4.12. Sediment örneklerindeki çinko derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği	73

Şekil 4.13. Sediment örneklerindeki çinko derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı	74
Şekil 4.14. Sediment örneklerindeki kadmiyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	75
Şekil 4.15. Sediment örneklerindeki kadmiyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı	75
Şekil 4.16. Su örneklerindeki alüminyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	76
Şekil 4.17. Su örneklerindeki alüminyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı	77
Şekil 4.18. Sediment örneklerindeki alüminyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	78
Şekil 4.19. Sediment örneklerindeki alüminyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı	78
Şekil 4.20. Sediment örneklerindeki krom derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	79
Şekil 4.21. Sediment örneklerindeki krom derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı	80
Şekil 4.22. Su örneklerindeki demir derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı.....	81
Şekil 4.23. Su örneklerindeki demir derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı.....	81
Şekil 4.24. Sediment örneklerindeki demir derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	82
Şekil 4.25. Sediment örneklerindeki demir derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı	83
Şekil 4.26. Su örneklerindeki mangan derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	84
Şekil 4.27 Su örneklerindeki mangan derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı.....	84

Şekil 4.28. Sediment örneklerindeki mangan derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	85
Şekil 4.29. Sediment örneklerindeki mangan derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı	86
Şekil 4.30. Sediment örneklerindeki bakır derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	87
Şekil 4.31. Sediment örneklerindeki bakır derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı	87
Şekil 4.32. Su örneklerindeki bor derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	88
Şekil 4.33. Su örneklerindeki bor derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı	89
Şekil 4.34. Su örneklerindeki bor derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	90
Şekil 4.35. Su örneklerindeki bor derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı	90
Şekil 4.36. Su örneklerindeki sodyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	91
Şekil 4.37. Su örneklerindeki sodyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı	92
Şekil 4.38. Su örneklerindeki magnezyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	93
Şekil 4.39. Su örneklerindeki magnezyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı	93
Şekil 4.40. Su örneklerindeki kalsiyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	94
Şekil 4.41. Su örneklerindeki kalsiyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı	95
Şekil 4.42. Su örneklerindeki potasyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı	96

Şekil 4.43. Su örneklerindeki potasyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı.....	96
Şekil 4.44. Su örneklerindeki sülfat derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı.....	97
Şekil 4.45. Su örneklerindeki sülfat derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı.....	98
Şekil 4.46. Su örneklerindeki nitrat derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı.....	99
Şekil 4.47. Su örneklerindeki nitrat derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı.....	99
Şekil 4.48. Su örneklerindeki amonyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı.....	100
Şekil 4.49. Su örneklerindeki amonyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı.....	101
Şekil 4.50. Su örneklerindeki SAR değerlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı.....	102
Şekil 4.51. Su örneklerindeki SAR değerlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı.....	102

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Jeotermal akışkan sıcaklıklarına göre kullanım alanları	6
Çizelge 1.2. Isıtma sistemi jeotermal kaynaklarla sağlanan illerimiz	9
Çizelge 1.3. Ülkemizdeki jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri ve işletme bilgileri.	13
Çizelge 1.4. Türkiye’de elektrik üretimine uygun jeotermal sahalar	15
Çizelge 1.5. Kızıldere Sondaj Alanında Açılan Sondajlar	16
Çizelge 3.1. Aydın-Buharkent yöresinden alınan su ve sediment numunelerinin alındığı istasyonlar ve seçilme nedenleri	35
Çizelge 3.2. Analizlerde kullanılan cihazlar	36
Çizelge 3.3 Deneylerde Kullanılan Kimyasallar	37
Çizelge 3.4. Deneylerde Kullanılan Çözeltiler ve Hazırlanışı	39
Çizelge 3.5. Elementlerin Kalibrasyon Çalışma Aralıkları	42
Çizelge 4.1. Yapılan analizlerin tayin ve gözlenebilme sınırları	58
Çizelge 4.2. Eylül ayında alınan su numunesi analiz sonuçları	59
Çizelge 4.3. Ocak ayında alınan su numunelerinin analiz sonuçları	60
Çizelge 4.4. Mayıs ayında alınan su numunelerinin analiz sonuçları	61
Çizelge 4.5. Eylül ayında alınan sediment numunelerinin analiz sonuçları	62
Çizelge 4.6. Ocak ayında alınan sediment numunelerinin analiz sonuçları	63
Çizelge 4.7. Mayıs ayında alınan sediment numunelerinin analiz sonuçları	64
Çizelge 4.8. Analiz sonucu elde edilen pH değerleri	65
Çizelge 4.9. Analiz sonucu elde edilen iletkenlik değerleri	67
Çizelge 4.10. Analiz sonucu elde edilen toplam alkanite değerleri	68
Çizelge 4.11. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen kurşun derişimleri	70
Çizelge 4.12. Su örneklerinin analizi sonucu elde edilen çinko derişimleri	71
Çizelge 4.13. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen çinko derişimleri..	73

Çizelge 4.14. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen kadmiyum derişimleri	74
Çizelge 4.15. Su örneklerinin analizi sonucu elde edilen aliminyum derişimleri ..	76
Çizelge 4.16. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen aliminyum derişimleri	77
Çizelge 4.17. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen krom derişimleri ..	79
Çizelge 4.18. Su örneklerinin analizi sonucu elde edilen demir derişimleri	80
Çizelge 4.19. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen demir derişimleri ..	82
Çizelge 4.20. Su örneklerinin analizi sonucu elde edilen mangan derişimleri	83
Çizelge 4.21. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen mangan derişimleri	85
Çizelge 4.22. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen bakır derişimleri...	86
Çizelge 4.23. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen bor derişimleri	88
Çizelge 4.24. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen bor derişimleri	89
Çizelge 4.25. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen sodyum derişimleri	91
Çizelge 4.26. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen magnezyum derişimleri...	92
Çizelge 4.27. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen kalsiyum derişimleri	94
Çizelge 4.28. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen potasyum derişimleri	95
Çizelge 4.29. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen sülfat derişimleri	97
Çizelge 4.30. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen nitrat derişimleri	98
Çizelge 4.31. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen amonyum derişimleri ...	100
Çizelge 4.32. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen SAR değerleri	101
Çizelge 4.33. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin derişimleri	103
Çizelge 4.34. Kıta içi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri	104
Çizelge 4.36. Bitkilerin Bor Mineraline Karşı Dayanıklılıklarına Göre Sulama Sularının Sınıflandırılması	105

Çizelge 4.37. Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri.....	105
Çizelge 4.38. Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri.....	106
Çizelge 4.39. Toprakta Bor Sınır Değerleri	106



1. GİRİŞ

Tüm dünyada hızlı bir artış gösteren enerji gereksiniminin büyük kısmı, bir süre daha fosil yakıtlar ve hidrolik enerji ile karşılanabilecektir. Fosil yakıtların belirli süre sonunda tükenme olasılığının bulunması ve çevreye olumsuz etkileri nedeniyle alternatif enerji kaynaklarının araştırılması zorunlu olmaktadır. Bunlar içerisinde güneş, biyomas, rüzgar ve dalga enerjileri henüz ekonomik ve ticari anlamda kullanıma sunulamamışlardır. Öte yandan jeotermal enerji ilkçağlardan bu yana ekonomik olarak kullanılmaktadır. Jeotermal enerji yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmeyen, ucuz, güvenilir, çevre dostu, yerli ve yeşil bir enerji türüdür (Durak, 1996). Yeryüzüne çıkan termal su ve buharın sıcaklığı 20 °C ile 400°C arasında bulunabilmektedir. Jeotermal enerji, bugünkü teknolojik ve ekonomik koşullar altında başta elektrik enerjisi üretimi, ısıtmacılık olmak üzere (sera, bina, zirai kullanımlar), endüstride (yiyecek kurutulması, kerestecilik, kâğıt ve dokuma sanayinde, dericilikte, soğutma tesislerinde), kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, kuru buz eldesinde) ve sağlık alanında kullanılmaktadır (Yılmaz, 2013).

Jeotermal enerjinin kullanımı, en az kirlilik yaratan formlardan biri olarak kabul edilmesine rağmen, onun da çevreye bazı olumsuz etkileri vardır. Geleneksel atmosferik basınçlı ya da yoğunlaşmalı jeotermal elektrik santrallerinde özellikle hava kalitesi açısından çevreye olan etkiler potansiyel olarak fazladır (Çakın vd., 2005). Fakat küçük jeotermal kaynaklar ve santrallerde (<10 MWe) bu, kabul edilebilir limitlerde tutulabilir. Çift çevirimli (Binary) santrallerde elektrik üretimi ise, çevreyi geleneksel sistemlere göre çok daha az oranda etkiler (Çakın vd., 2005). Çevre üzerinde oluşabilecek olumsuz etkiler yasa ve düzenlemelerle dikkatli bir şekilde takip edilmelidir. Aksi taktirde ekosistem üzerinde ciddi anlamda olumsuz etkiler görülebilir. Örneğin, bir santraldan jeotermal atık suyunun direkt olarak herhangi bir su havzası ya da nehre atılması su sıcaklığının yükselmesine, dolayısıyla ekosisteme zarar verebilir. Sıcaklık değişimine son derece hassas olan bitki ve hayvan organizmaları yavaş yavaş yok olur. Ayrıca su sıcaklığının artışı balık yumurtalarının gelişim sürecine zarar verebilir. Eğer balıklar yeniyorsa ve civardaki bir balıkçı topluluğu için bir geçim kaynağı iseler, balıkların yok olması daha geniş bir topluluk için kritik olabilir (Çakın vd., 2005).

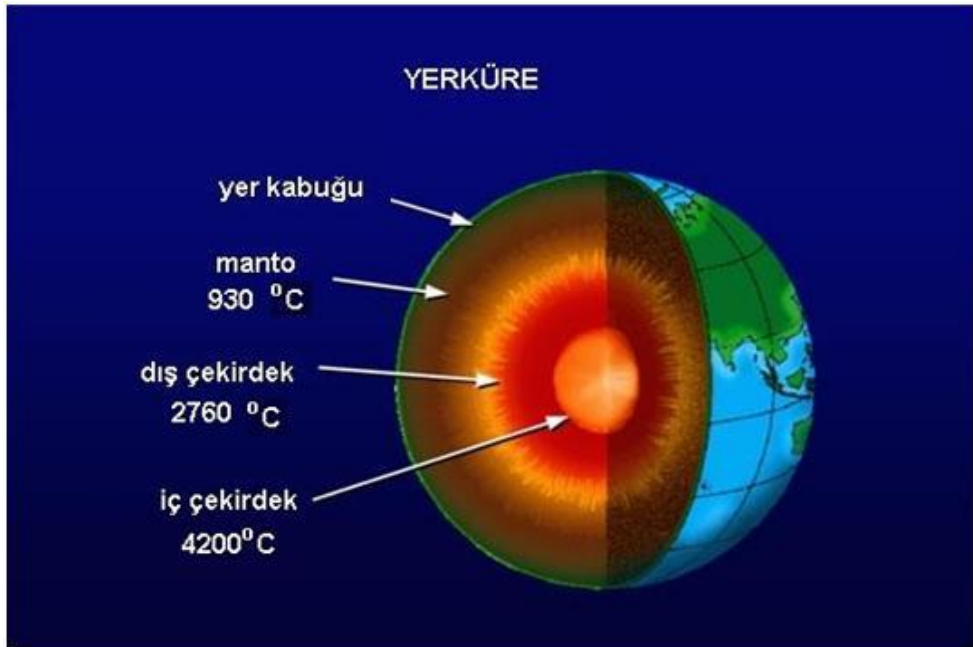
1.1. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji; yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli olarak ortalama sıcaklığın üzerinde olan, çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içeren sıcak su ve buharın taşıdığı enerji olarak tanımlanabilir. Yüzeyden kırık ve çatlaklar aracılığı ile derinlere süzülen meteorik sular, magma tarafından ısıtıldıktan ve mineralce zenginleştikten sonra yükselirler. Bu akışkan termal sular, kırık ve çatlak sistemlerinin oluşturduğu yollarla yeryüzüne ulaşarak ya sıcak su veya buhar çıkışları şeklinde kendilerini gösterirler ya da sondajlarla çıkartılarak kullanıma uygun hale getirilirler. Ayrıca içerisinde akışkan bulunmayan ve yalnızca ısısından yararlanılan, yerin derinliklerinde yer alan "Sıcak Kuru Kayalar" da jeotermal enerji kaynağı sınıfına girmektedir (Durak, 1996).

Jeotermal enerji gerekli tedbirler alındığı müddetçe yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmeyen, çevre dostu ve yeşil bir enerji türüdür. Jeotermal akışkanların çevreye herhangi bir zarar vermemesi için reenjeksiyon şarttır. İçindeki ısı enerjisinin bir bölümü soğurulmuş olan akışkanı hem doğayı kirletmemek hem de yer içindeki rezervuarı beslemek için yer içindeki alıcı ortama geri basılmasına reenjeksiyon denir. Jeotermal akışkan üretildikten sonra, akışkandan ısı enerjisinin bir kısmı soğurulur (doğrudan ya da eşanşörler ile), kalan akışkan, içinde artık ısı enerjisi ile birlikte doğaya zararlı maddelerle (bor, arsenik vd.) birlikte basılır. Bu yöntem, jeotermal enerjinin “sürdürülebilirliğini” sağlar (Danışman, 2011).

1.2. Yerküre Bölümleri

Dünya, yer kabuğu, manto ve çekirdek olmak üzere üç konsantre bölgeden oluşmuştur (Barbier 2002).



Şekil 1.1. Yerkürenin Bölümleri ve sıcaklık dağılımı (BAÜ, 2015).

Yer kabuğu: Bir elmanın kabuğuna benzeyen yer kabuğunun kalınlığı okyanus tabanından 7 km, karalardan 20-65 km kadardır. Sismik çalışmalar okyanus tabanının karalarinkinden daha ince olduğunu göstermiştir. Okyanus ve karalar farklı kaya yapılarına sahiptir. Okyanus tabanı bazalttan, karalarinki ise granitten oluşur (Barbier, 2002).

Manto: Manto yerkabuğundan itibaren 2900 km'lik bir kalınlığa sahiptir. Sıcaklık yaklaşık 930 °C kadardır. Mantonun yapısında çok zengin Fe ve Mg kayalarının olduğu belirtilmektedir. Yerkabuğu ve mantonun en üst kısmı litosferi oluşturur (Barbier, 2002)

Çekirdek: Çekirdek mantodan itibaren 3470 km'lik bir yarıçapa sahiptir. Sıcaklık 4000 °C civarında ve merkezdeki basınç 3.6 milyon bardır (360.000 MPa). Çekirdek iç ve dış çekirdek olmak üzere iki kısımdan meydana gelir (Barbier, 2002).

1.3. Jeotermal Sistemler

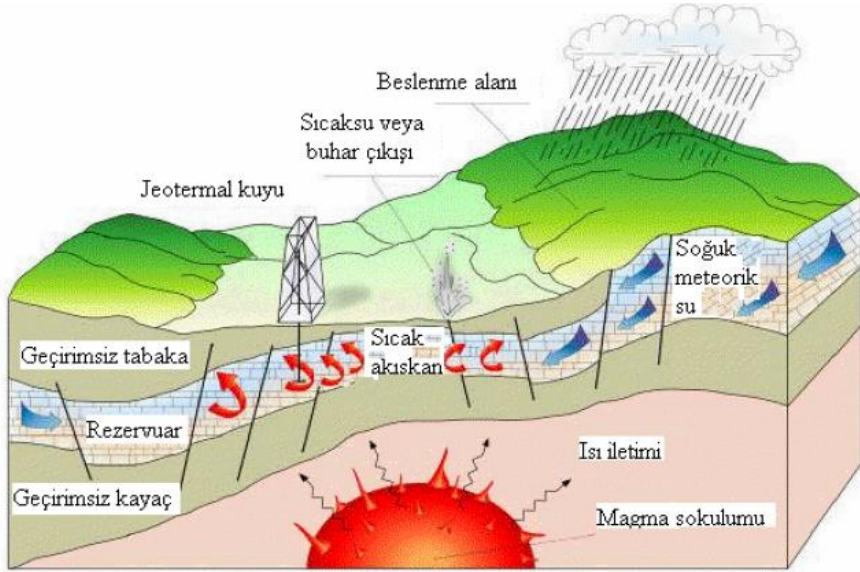
Bugüne kadar yapılan araştırmalar, üç jeotermal sistemin varlığını ortaya koymuştur. Bunlar, sıcak su sistemi, kuru buhar sistemi ve sıcak kuru kaya sistemleridir (Aksoy, 2007).

Sıcak Su Sistemi: Yeryüzünde sıcak su esaslı sistemler buhar esaslı sistemlerden yirmi kat daha fazla bulunmaktadır. Sıcak su sisteminde, derindeki hazne kaya içerisinde, basınç altında, yüksek sıcaklıkta, erimiş kimyasal madde bakımından çok zengin, farklı kimyasal özelliklerde sular bulunmaktadır. Bu tür sistemlerden sondajlarla yeryüzüne çıkarılan sıcak su-buhar karışımından elde edilen buhardan, elektrik enerjisi üretilmekte, buharı alınmış sıcak su ise atılmaktadır (Aksoy, 2007).

Kuru Buhar Sistemi: Buhar esaslı sistemler, sıcak su esaslı sistemlerden farklı olarak, çok fazla ısınmış, nem miktarı az, sıcaklığı yüksek buhar üretirler. Bu tür buhar, bir enerji kaynağı olarak doğrudan jeotermal santrallere gönderilerek elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bunlar yerkabuğu üzerinde oluşmuş, birer doğal nükleer reaktör olarak kabul edilebilirler (Aksoy, 2007).

Sıcak kuru kaya sistemleri: Yerküremizde özellikle genç, aktif volkanik kuşaklarda, jeotermal gradyanın çok yüksek olduğu bölgelerde, sıcak su içermeyen yüksek sıcaklığa sahip kızgın, kuru kayalar bulunmaktadır. Bu tür sistemlere soğuk su basılarak sıcak su-buhar karışımı alınmakta ve bu, bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (Aksoy, 2007).

Bir jeotermal sistem üç ana unsurdan oluşmaktadır: Isı kaynağı, rezervuar ve ısıyı taşıyan akışkan (Şekil 1.2.). Isı kaynağı yüksek sıcaklıklı ($> 600\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen (5-10 km) magmatik akışkanlardır. Rezervuar ise sıcak suyun devir-daim edebileceği çatlaklı (permeable) kayaçlardır. Jeotermal akışkan ise çoğu durumda meteorik sudur ve rezervuarda sıcaklık ve basınca bağlı olarak buhar veya sıvı haldedir. Bu su genellikle bazı kimyasal maddeler ve gazlar (CO_2 , H_2S gibi) içerir (Özdemir, 2007). Şekil 1.2.'de ideal bir jeotermal sistemi göstermektedir.



Şekil 1.2. İdeal bir jeotermal sisteminin şematik gösterimi (Özdemir, 2007)

1.4. Jeotermal Enerji Kullanım Alanları

Jeotermal enerji, insanlar tarafından ilk çağlardan bu yana sağlık, banyo ve yiyecek pişirme gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Gelişen teknolojiye ve enerjiye olan talebin artmasına paralel olarak jeotermal kullanımı da yaygınlaşmış ve çeşitlilik kazanmıştır. Bunların başında elektrik üretimi, ısıtmacılık ve sanayide çeşitli amaçlarla kullanım gelmektedir (Durak, 1996). Jeotermal enerji kaynakları en çok jeotermal sıvının entalpisine (sıvının ısı içeriği) göre sınıflandırılır:

- 1) Düşük Sıcaklıklı Sahalar (20-70 °C sıcaklık)
- 2) Orta Sıcaklıklı Sahalar (70-150 °C sıcaklık)
- 3) Yüksek Sıcaklıklı Sahalar (150 °C den yüksek) (Yılmaz, 2013).

Jeotermal akışkan enerjisi değerlendirilirken, akışkanın fizikokimyasal özellikleri de belirleyici olmaktadır (Danışman, 2011). Jeotermal enerjinin kullanım alanları kaynağın sıcaklığına göre değişmektedir. Jeotermal kaynağın sıcaklığına göre kullanım alanları Çizelge 1.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Jeotermal akışkan sıcaklıklarına göre kullanım alanları (Özdemir, 2007)

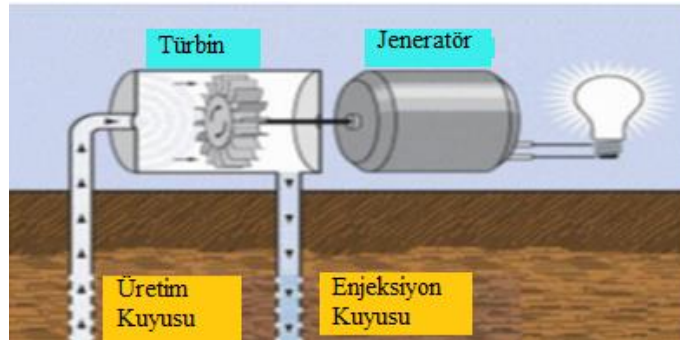
Sıcaklık (°C)		Kullanım Alanı
	180	Yüksek konsantrasyon solüsyonunun buharlaşması, amonyum absorpsiyonu ile soğutma
	170	Hidrojen sülfid yolu ile ağır su eldesi, Diyotomitlerin kurutulması
	160	Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması
	150	Bayer's yoluyla alüminyum eldesi
	140	Konservecilikte, çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulmasında
	130	Şeker endüstrisi, tuz eldesi
Elektrik Üretimi	120	Isıtma Damıtık su eldesi, tuzluluk oranının artırılması
	110	
	100	
	90	
	80	Kent ve sera ısıtması
	70	Soğutma (Alt sıcaklık sınırı)
	60	Kümes ve ahır ısıtma
	50	Mantar yetiştirme, balneolojik kullanımlar
	40	Toprak ısıtma, kent ısıtması (alt sınır), turistik tesisler
	30	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri
	20	Balık çiftlikleri

1.4.1. Elektrik Enerjisi Üretimi

Jeotermal kaynakların elektrik üretiminde kullanılması 1904 yıllarında başlamış ise de artan gelişmeler neticesinde 1980'li yıllarda üretim kapasitesi artırılmış gelişen teknoloji ve malzeme teknikleri ile kapasitenin 12000 MW sınırlarına ulaşmıştır. Bu hızlı artışın en büyük sebeplerinden biri jeotermal enerjinin çevre dostu olmasıdır (Öztemir, 2011). Yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynakların (>150 °C) en önemli kullanım alanı elektrik üretimidir (Özdemir, 2007).

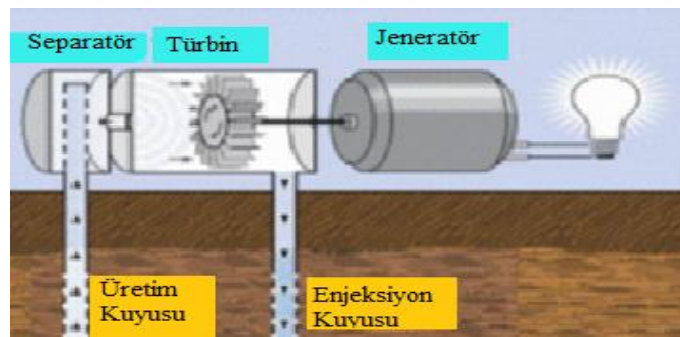
Genelde elektrik üretimi, jeotermal kaynağın karakteristiğine bağlı olarak üç tip santralde yapılmaktadır.

1- Kuru buhar santralleri: Türbini döndürmek için kuyudan üretilen kuru buhar direkt olarak kullanılır. Bir jeneratör vasıtasıyla elektrik üretimi sağlanır, atık jeotermal akışkan borularla tekrar reenjeksiyon kuyusuna gönderilir (Özdemir, 2007).



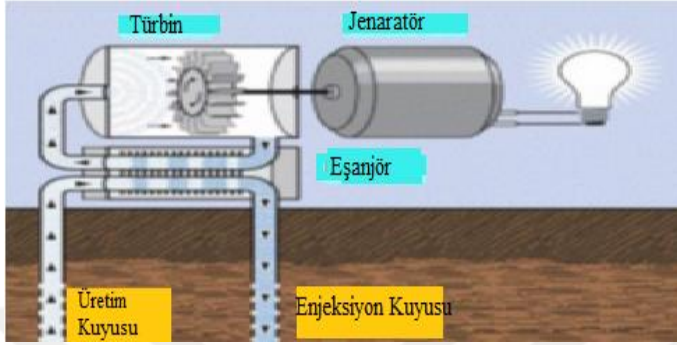
Şekil 1.3. Kuru buhar santrali (Özdemir, 2007).

2- Flaş buhar santralleri: Yüksek basınçla kuyudan gelen akışkan düşük basınçlı separatorlerde su ve buhar olarak ayrılır ve ayrıştırılan buhar ile türbinin döndürülmesi sağlanır. Bir jeneratör vasıtasıyla elektrik üretimi sağlanır, atık jeotermal akışkan borularla tekrar reenjeksiyon kuyusuna gönderilir (Özdemir, 2007).



Şekil 1.4. Flash buhar santrali (Özdemir, 2007).

3- Binary cycle santralleri (çift çevrim): Jeotermal akışkanın sıcaklığından faydalanılarak sudan daha az buharlaşma sıcaklığına sahip akışkan eşanjörde (heat-exchanger) buharlaştırılır ve buharlaşan bu akışkan ile türbinin döndürülmesi sağlanır. Bir jeneratör vasıtasıyla elektrik üretimi sağlanır, atık jeotermal akışkan borularla tekrar reenjeksiyon kuyusuna gönderilir (Özdemir, 2007).



Şekil 1.5. Binary cycle santrali (Özdemir, 2007).

Jeotermal kaynakların kullanılarak elektrik enerjisi üretiminden dolayı oluşan bazı çevresel etkiler de söz konusudur. Jeotermal alanlarda bakteriyel oluşumu ya da kabuklaşmayı önlemek için bazı kimyasallar, kostik soda, sülfürik asit ve pek çok diğer toksik kimyasalların kullanımı bölge ekosistemine zarar verebilir. Ayrıca jeotermal akışkan sıvının reenjeksiyon yapılmadan direkt olarak nehre boşaltılması hem nehir ekosistemine hem de bölge tarımını ciddi anlamda tehdit edebilir.

1.4.2. Sanayi Alanında Kullanımı

Sıcaklığın 90 °C ve üzerinde olduğu hidrotermal kaynaklar, sanayide kurutma işleminin yapımında, gıda sanayi alanında (pastörize süt yapımı, bira mayalama işlemi, ot, sebze, balık ve et kurutulması, buharlaşma ile şeker rafinajı, buharlaşma ve kristalleşme ile tuz üretimi, konserve imali) kullanılır. Sıcaklığı 90-140 °C arasında değişen sular inşaat sanayinde (çimento kurutulması), 110 °C sular, kimya sanayi alanında (damıtma ile saf su elde edilmesi, hidrojen sülfid ve ağır su elde edilmesi, bazı kimyasal maddelerin elde edilmesi) kullanılır. Sıcaklığı 120-170 °C sular ise kâğıt ve selüloz sanayi alanında (mobilya ahşabı ve inşaat kerestelerinin kurutulması ve kraft kağıdı hamurunun hazırlanması, kağıt ağartma işlerinin yapımı) kullanılır (Yılmaz, 2013).

1.4.3. Isıtma İşlerinde Kullanımı

Düşük sıcaklığa sahip jeotermal akışkanlar direkt olarak ısıtmacılıkta kullanılabilir. Isı pompaları yardımıyla 5 °C'deki jeotermal akışkanlardan bile ısıtma işlemlerinde faydalanabilmektedir. Merkezi ısıtma sistemi ile konutlar, seralar, hayvan çiftlikleri, havaalanı pistleri vb. ısıtılabilir. Isıtma sistemi jeotermal kaynaklarla sağlanan illerimiz Çizelge 1.2.'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Isıtma sistemi jeotermal kaynaklarla sağlanan illerimiz (Yılmaz, 2013).

JEOTERMAL SAHA	AKIŞKAN SICAKLIĞI (°C)
GÖNEN (BALIKESİR)	80
SİMAV (KÜTAHYA)	120
KIZILCAHAMAM (ANKARA)	80
BALÇOVA (İZMİR)	137
NARLIDERE (İZMİR)	98
SANDIKLI (AFYON)	80
KIRŞEHİR	57
AFYON	95
KOZAKLI (NEVŞEHİR)	90
DİYADİN (AĞRI)	70
SALİHLİ (MANİSA)	94
SARAYKÖY (DENİZLİ)	140
EDREMİT (BALIKESİR)	160

1.4.4. Turizm Alanında Kullanılması

Jeotermal sistemlerin değerlendirilerek turizm alanında kullanılması dünyada yaygındır. Ülkemiz termal sular bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Ülkemizde termal kaynakların sayısı 1500'den fazladır, buna rağmen maalesef sadece 200 kadarı kaplıca olarak işletilmektedir.

1.4.5. Sulama Alanında Kullanımı

Yer altı sularının 20°C altında olanları sulama amacıyla kullanılmaktadır. Ancak suların içindeki kimyasal bileşimlerin önceden belirlenmesi için tuz oranı özellikle tespit edilip yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlerine göre değerlendirilmelidir.

1.4.6. Kimyasal Madde Üretiminde Kullanımı

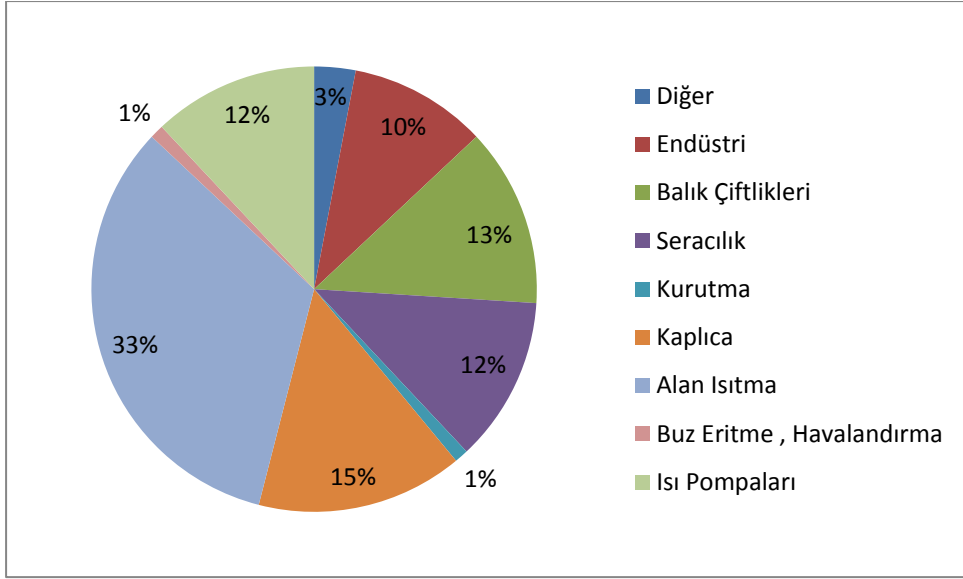
Jeotermal enerjinin bir başka kullanım şekli de kimyasal madde üretimidir. Jeotermal kaynaklar yer içinden farklı derinliklerden geldikleri için, içlerinde çok miktarda mineraller ve kimyasal madde içermektedir. Bu minerallerin bulunma oranları her kaynak için farklılık göstermektedir. Karbondioksit daha önce fueloil ile üretilirken günümüzde Türkiye'de ve Dünya'da ilk defa gerçekleştirilen Kızıldere (Denizli) jeotermal santraline entegre karbondioksit üretim tesisi sayesinde üretilmektedir (Yılmaz, 2013).

1.5. Jeotermal Enerji Uygulama Alanları

1.5.1. Dünya'da Jeotermal Enerji Uygulama Alanları

Dünyadaki jeotermal enerji uygulamalarında düşük sıcaklıklı jeotermal akışkanlar doğrudan ısıtmacılıkta kullanılmaktadır. İlk çağlardan beri ilkel yollarla sağlık amaçlı olarak yararlanılan doğal sıcak su kaynakları ilk defa 1818 yılında İtalya'da borik asit elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra 1904 yılında İtalya'da Larderello yöresinde yine ilk defa jeotermal buhardan elektrik üretimine başlanmış ve 1912 yılında gücü 250 kWe olan turbo jeneratör kurulmuştur. 1930'larda ise jeotermal enerjiden İzlanda'nın Reykjavik kentinde ısıtma amacıyla yararlanılmaya başlanmıştır. 1949 yılında Yeni Zelanda Wairakei sahasında turistik bir otele sıcak su temini amacıyla bağlanan sığ sondajlara daha sonra, elektrik elde edebilmek amacıyla devam edilmiş ve 1954 yılında 200 kWe kapasiteli bir santral kurulmuştur. 1960'da Amerika'da 1961'de Meksika'da ve 1966'da Japonya'da santraller kurularak jeotermal enerjinin kullanımı Dünya çapında yayılmıştır. 1987'de ABD'de (Nevada) jeotermal akışkan altın üretiminde kullanıldı. Şekil 1.6' da dünyada jeotermal enerjinin elektrik dışı uygulamaları dağılımı gösterilmiştir. Düşük sıcaklıklı jeotermal akışkanlar doğrudan ısıtmacılıkta kullanılmaktadır. 40 °C'den fazla sıcaklıktaki jeotermal akışkanlar binaları ve kentleri merkezi sistemle ısıtmada (İzlanda, Fransa, Japonya, Yeni Zelanda, Türkiye, BDT, Macaristan, Kanada, Çin, Meksika, Arjantin, Kuzey

Avrupa ülkeleri) kullanılır. Ayrıca bu jeotermal akışkan yardımıyla seraların ısıtılması ile turfanda sebzecilik, meyvecilik, çiçekçilik yapılmaktadır (Yonar, 2007).



Şekil 1.6. Jeotermal enerjinin elektrik dışı uygulamaları, (EİE, 2015).

Dünyada jeotermal akışkanın endüstriyel uygulamaları olarak, Japonya, ABD, İzlanda, Tayland'da yiyeceklerin kurutulması, sterilize edilmesi ve konservecilik alanında kullanılması verilebilir. Endüstriyel uygulamalardan bazıları, kerestecilik, ağaç kaplama sanayi, kâğıt, dokuma, boyacılıkta, derilerin kurutulması ve islenmesinde, bira ve benzeri endüstrilerde mayalama ve damıtmada, soğutma tesisleri ve beton blok kurutulması jeotermal enerjinin yaygın olarak kullanıldığı alanlara örnek olarak verilebilir. Jeotermal kaynaklardan kimyasal madde üretimi de İtalya, ABD, Japonya, Filipinler ve Meksika'da yaygın olarak yapılmaktadır. 200°C ve daha yüksek sıcaklıktaki jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi gerçekleşmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda daha düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklardan da buharlaşma sıcaklığı düşük olan gazlar (freon, izobütan, vb.) kullanılarak, çeşitli çevrimler yardımıyla elektrik üretimi yapılmaktadır. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi ilk olarak 1904 yılında İtalya'da gerçekleşmiştir (Yonar, 2007).

1.5.2. Türkiye’de Jeotermal Enerji Uygulama Alanları

Alp-Himalaya dağ kuşağı üzerinde yer alan Türkiye’de, genç tektoniğe bağlı aktif kırıkların (fayların), volkanların, hidrotermal ayrıışmış bölgeler ile 1500 dolayındaki sıcak ve mineralli kaynağın varlığı Türkiye’nin önemli bir jeotermal enerji potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Erkul, 2012).

Genç tektonik hareketlerin sonucunda oluşan çöküntülerin (grabenlerin), yaygın volkanizmanın, doğal buhar ve gaz çıkışlarının olması Türkiye’nin önemli bir jeotermal enerji potansiyeli taşıdığını göstermektedir (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Türkiye jeotermal enerji bakımından 31.500 MWt güç ile Avrupa’da birinci, dünyada ise yedinci sırada bulunmaktadır (Dağdaş, 2004). Ülkemizde bulunan jeotermal alanlar Şekil 1.7.’de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Türkiye’de jeotermal kaynaklar dağılımı haritası (MTA, 2015)

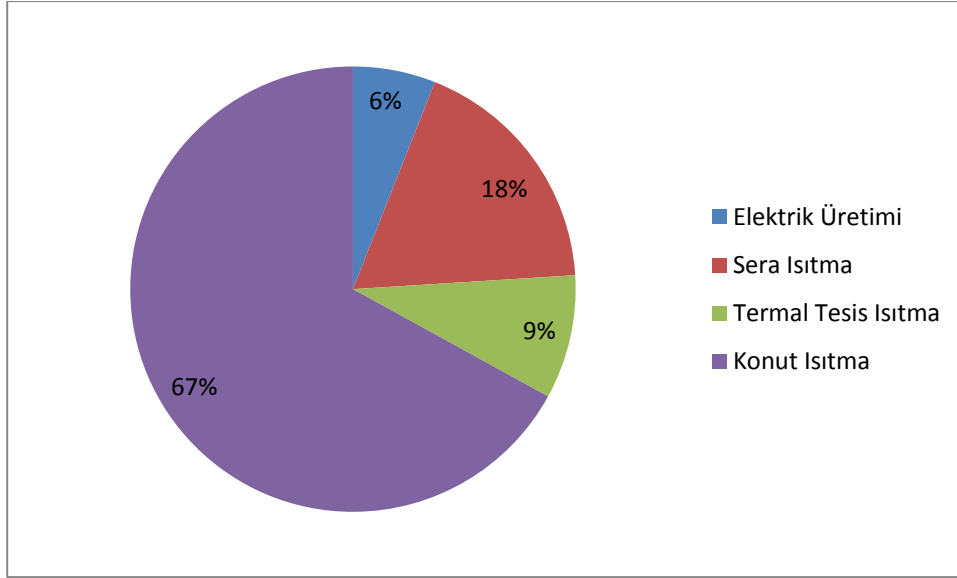
Türkiye’de yüzey sıcaklığı 40°C’nin üzerinde olan 184 adet jeotermal saha vardır ve bu sahaların tümü merkezi ısıtmaya, sera ısıtmasına, endüstriyel proses ısı kullanımına ve kaplıca kullanımına uygundur. Bunlardan 13 jeotermal sahanın elektrik üretimine uygun olduğu tespit edilmiş, bu sahaların ikisinde (Kızıldere-Denizli, Salavatlı-Aydın) elektrik üretimi yapılmakta olup, bir tanesi de (Germencik-Aydın) santral kurma aşamasına gelinmiştir. Diğer iki sahanın ise teknik ve ekonomik olarak uygun olduğu tespit edilmiştir. Geri kalan yedi sahada ise (Balçova ısıtma ve sağlık amaçlı kullanıma sunulduğu için hariç tutulmuştur),

üretime yönelik saha geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir. Şu anda Türkiye’de 29 MWe (20.4 Mwe Denizli Kızıldere, 8.6 Mwe Aydın-Salavatlı) elektrik üretimi yapılmaktadır. Türkiye’nin bugün jeotermal enerjiyi doğrudan kullanım kapasitesi 1278 MW dir. Türkiye’nin toplam 1278 MWt’lık doğrudan kullanımının 696 MWt’lık kısmı (103.000 konut eşdeğeri) 13 değişik ilde konut ısıtmacılığında, 180 MWt’lık kısmı yaklaşık 900.000 m² sera ısıtmasında ve 402 MWt’lık kısmı ise 215 adet termal tesiste kullanılmaktadır. Çizelge 1.3’de ülkemizdeki jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri ve bazı işletme bilgileri, Şekil 1.8’de ise Türkiye’deki mevcut jeotermal enerji uygulamalarının yüzdesel dağılımı verilmiştir. (DEKTMK, 2007), (Özdemir, 2007).

Çizelge 1.3. Ülkemizdeki jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri ve işletme bilgileri (Dağdaş, 2004)

Şehir	Jeotermal Isıtma Kapasitesi (eşdeğer konut sayısı)	Sisteme entegre kullanımlar	İşletmeye alınma yılı	Jeotermal Akışkan Sıcaklığı (°C)
Gönen	3400	K, E	1987	80
Simav	4000	K, S	1991	120
Kızılcacahamam	2500	K, S	1995	80
Balçova	15000	K	1996	137
Afyon	4500	S	1996	95
Kozaklı	1200	S	1996	90
İzmir-Narlıdere	1500	-	1998	98
Diyadin	400	K	1999	70
Sandıklı	3200/5000	K	2000	70
Salihli	3000/24000	K	2002	94
Sarayköy	1500/5000	K	2002	140
Edremit	1300/7500	K	2003	60
Bigadiç	500/3000	K	2005	96

K: Kaplıca, E: Endüstriyel amaçlı, S: Sera



Şekil 1.8. Türkiye’deki mevcut jeotermal enerji uygulamalarının yüzdesel dağılımı (Özdemir, 2007).

Avrupa’nın en zengin jeotermal kaynaklara sahip ülkesi olmasına rağmen, Türkiye’de jeotermal enerjinin elektrik üretiminde kullanımı çok düşüktür. Ülkemizde mevcut kullanımla jeotermal enerji potansiyelinin ancak % 3’üne yakın bir kısmı değerlendirilebilmektedir. Önümüzdeki yıllarda ise jeotermal enerji potansiyelinin gerektiği gibi kullanılması planlanmaktadır. Günümüz teknolojisiyle kuyu sıcaklığı 80°C’nin üzerindeki alanlarda bile elektrik üretimi mümkün olmakla birlikte, sıcaklığın düşmesi ile ekonomikliği sınırlanmaktadır (Köse vd., 2004). Türkiye’de elektrik üretimine uygun potansiyel içeren 13 adet saha bulunmaktadır ve bu sahalar Batı Anadolu’da yer almaktadır (Dağıstan, 2006). Türkiye’de elektrik üretimine uygun jeotermal sahalar Çizelge 1.4.’te verilmiştir.

Çizelge 1.4. Türkiye’de elektrik üretimine uygun jeotermal sahalara (Kaymakçıoğlu ve Kayabaşı, 2013)

Saha Adı	Sıcaklık	2010 Tahminleri	2013 Tahminleri
	°C	MWe	MWe
Denizli-Kızıldere	200-242	75	80
Aydın- Germencik	200-232	100	130
Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere	213	10	15
Manisa- Salihli- Göbekli	182	10	15
Çanakkale-Tuzla	174	75	80
Aydın- Salavatlı	171	60	65
Kütahya- Simav	162	30	35
İzmir- Seferihisar	153	30	35
Manisa- Salihli- Caferbey	150	10	20
Aydın-Sultanhisar	145	10	20
Aydın- Yılmazköy	142	10	20
İzmir- Balçova	136	5	5
İzmir- Dikili	130	30	30
TOPLAM		455	550

1.5.2.1. Kızıldere Jeotermal Sahası

Kızıldere jeotermal sahası, Denizli’nin 40 km batısında Sarayköy ilçesi yakınlarında, Büyük Menderes nehrinin batı ucunda yer alır (Serpen vd., 1998). Denizli-Sarayköy-Karataş köyündeki Kızıldere Havzası Türkiye’de geliştirilmiş ilk jeotermal alan olma özelliğine sahiptir. İlk üretim kuyusu KD-1, 1968’de tamamlanmış ve 540 m derinlikte 198 °C buhar bulunmuştur. 1968-1973 yılları arasında açılan 16 kuyudaki rezervuar sıcaklıkları 170-212 °C arasında değişmektedir. 1975’te KD-13 kuyusundan beslenen 0,5 MW gücünde bir santral MTA tarafından kurulmuş ve elektrik üretimine geçilmiştir. 1998 yılında açılan 2261 m derinlikteki R1 kuyusunda 242 °C rezervuar sıcaklığı tespit edilmiştir. Aynı alanda, ikinci bir elektrik santrali kurulmuştur. Ayrıca, sıcak akışkandan, Kızıldere jeotermal alanından alınan sıcak su yakın civardaki seraların ısıtılmasında kullanılmakta ve turfanda sebze üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu jeotermal akışkandan Sarayköy ilçesinde konut ısıtmasında da yararlanılmakta ve yan ürün olarak karbondioksit (CO₂) değerlendirilmekte ve kuru buz üretimi gerçekleştirilmektedir (Erkul, 2012). Çizelge 1.6. incelendiğinde Denizli Kızıldere jeotermal kaynaklarının sıcaklıklarına bakıldığında 155-240 °C arasında olduğu görülmektedir. WEC sınıflandırmasına göre ise bu sıcaklık aralığındaki jeotermal suların orta sıcaklıklı (entalpili) kaynaklar grubuna girdiği görülmektedir.

Dolayısıyla bu bölgedeki jeotermal kaynaklardan hem elektrik enerjisi üretiminde hem de tarım, sanayi, turizm ve sağlık amaçlı yararlanılabilir.

Çizelge 1.5. Kızıldere Sondaj Alanında Yapılan Sondajlar (Erkul,2012).

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
KD-1	1968	540	203
KD-1A	1968	451	198
KD-2	1968	705	175
KD-3	1969	370	155
KD-4	1969	368	166
KD-111	1969	505	164
KD-6	1970	851	196
KD-9	1970	1241	170
KD-8	1970	576	193
KD-12	1970	405	160
KD-7	1970	645	204
KD-14	1970	597	208
KD-13	1971	760	196
KD-15	1971	510	208
KD-16	1973	667	207
KD-17	1975	350	157
KD-22	1985	888	204
KD-21	1985	898	205
KD-20	1986	810	204
KD-R1	1998	2261	240
KD-R2	1999	1428	204

1.6. Jeotermal Suların Kimyasal Bileşimi

Jeotermal suları normal sulardan ayıran en önemli özelliği jeotermal suların yüksek miktarda tuz içermesidir. Ayrıca, jeotermal sular normal sulara oranla yüksek derişimlerde bor elementi ihtiva etmektedir. Bu sebeple jeotermal suyun sulama suyu olarak kullanılması bitkiye ve ekosisteme ciddi anlamda zarar vereceğinden imkansızdır. Jeotermal suların çözünmüş kimyasal madde miktarı yüksektir. Elementlerin çözünürlüğü su-mineral dengesine bağlıdır. Elementlerin miktarları, sıcaklığın ve bulunduğu ortamın karakteristik bir özelliğidir (Aslan, 2010).

Yılmaz (2013)'ın yaptığı tez çalışma sonuçlarına göre Buharkent bölgesinden alınan jeotermal su numunelerinde bor, sodyum, elektriksel iletkenlik gibi parametreler yüksek değerlerde tespit edilmiştir. Sodyum 1162,39 mg/L, bor 3,77

mg/L, elektriksel iletkenliği 6280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak tespit edilmiştir. Bu parametreler jeotermal suların karakterize özelliklerini belirler.

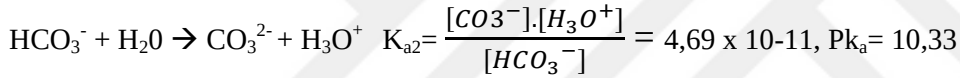
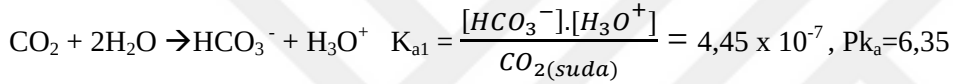
Jeotermal suların bulunduğu ortamlarda su-kayaç ilişkisi ve oluşacak reaksiyon hızı sıcaklığın bir fonksiyonudur. Sıcaklık, genellikle reaksiyon hızını artırıcı yönde etki eder. Ortam sıcaklığındaki her 10°C 'lik artış, reaksiyon hızını 2-3 kat artırır. Bu nedenle 200°C sıcaklığa sahip bir ortamda gerçekteşen reaksiyonun hızı, 20°C sıcaklığa sahip diğer bir ortama göre 2^{10} - 3^{10} kat daha hızlıdır. Yüksek sıcaklığa sahip ortamlardaki kayaçların değişime uğraması bunun sonucudur (Arnorsson, 2000).

Jeotermal sularda yüksek derişimlerde silika, arsenik ve bor bileşikleri bulunur. Bor, sularda borik asit (H_3BO_3) olarak kendini gösterir ve derişimi organik maddelerce zenginleşmiş kayaçlarda 1000 ppm'e kadar çıkabilirken klorürlü sular 10-50 ppm arasında bor içerir. Silika derişimi genellikle 100-300 ppm arasında değişirken bu değer silisyum minerallerinin çözünmesine bağlı olarak 700 ppm'e kadar da çıkabilir. Arsenik, arsenöz asit (H_3AsO_3) veya arsenik asit (H_3AsO_4) olarak bulunur (Aksoy ve Eroğlu, 2003).

Katyon olarak jeotermal sularda Na^+ , K^+ , Li^+ , Rb^+ , Cs^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} gibi toprak alkaliler, Al^{3+} ve Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} gibi geçiş elementleri görölmektedir. Na^+ derişimi 200-2000 ppm arasında değişir. Alüminyum, klorürlü sularda çok düşük derişimlerde bulunur. Li^+ , Rb^+ , Cs^+ derişimleri jeotermal suyun yüzeye çıkma noktasına yaklařtıķa azalmaktadır. Jeotermal sulardaki derişimleri Li^+ , Rb^+ , Cs^+ 2 ppm'den küçüktür. Yüksek sıcaklıktaki jeotermal sularda Mg^{2+} derişimi 0,01-0,1 ppm arasındadır. Daha yüksek derişimler ilk olarak yüzeye yakın kayaçlardan ya da sığ sulardan karışımı aķla getirir. Jeotermal sularda Ca^{2+} derişimi 50 ppm'den küçüktür. Ca derişimi, doğada CaCO_3 (kalsit), CaSO_4 (anhidrit) ve CaF_2 (kalsiyum florür)'in ortamdaki çözünürlüğü ile alakalıdır. CaCO_3 'ün çözünürlüğünü ve çökmesini CO_2 gazının kısmi basıncı doğrudan etkiler. CO_2 'nin kısmi buhar basıncı ortam basıncından yüksek olursa, CO_2 aķıđa çıkar ve CaCO_3 çökeler. . Mangan, jeotermal sularda eser miktarda bulunur. Demir, jeotermal sularda 0,001-1 ppm arasında bulunmaktadır Jeotermal sularda amonyum (NH_4^+) iyonu derişiminin yüksek olması suyun derin sedimanter kayaçlardan gelmesiyle ilgilidir (Aksoy ve Eroğlu, 2003).

Anyonlar olarak ise jeotermal sularda HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , Br^- ve I^- bulunmaktadır. Bikarbonat derişimi, jeotermal sulardaki toplam karbonat ($\text{CO}_{2(\text{suda})}$, H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-}) derişimi, akışkanın pH'sı ve karbondioksit gazının kısmi basıncı ile değişir. Karbon dioksit ile bikarbonat ve karbonat iyonlarının su kimyası üzerinde büyük etkisi vardır. Bu türlerin birbirine oranı suyun pH'sını tamponlayabileceği gibi, özellikle karbonat birçok mineralin çökmesine neden olabilir.

Suda çözünen CO_2 aşağıdaki denge tepkimelerine neden olur.



pH değeri, suda, CO_2 'den türemiş formların hangisinin bulunacağını anlamamıza yarar. Örneğin, $\text{pH} = \text{pK}_{a1} = 6,35$ ise, suda, birbirine eşit derişimde olmak üzere $\text{CO}_{2(\text{su})}$ ve HCO_3^- vardır. Aynı şekilde, $\text{pH} = \text{pK}_{a2} = 10,33$ ise, suda, birbirine eşit derişimde olmak üzere HCO_3^- ve CO_3^{2-} vardır. Suyun pH'sı 4,3'ün altındaysa tamamen CO_2 (suda), pH 8 ile 9 arasında ise tamamen HCO_3^- , pH 11,8'in üzerinde ise tamamen CO_3^{2-} vardır. Basıncın azalmasıyla CO_2 gazı ortamdan ayrılırsa pH yükselir (Aksoy ve Eroğlu, 2003).

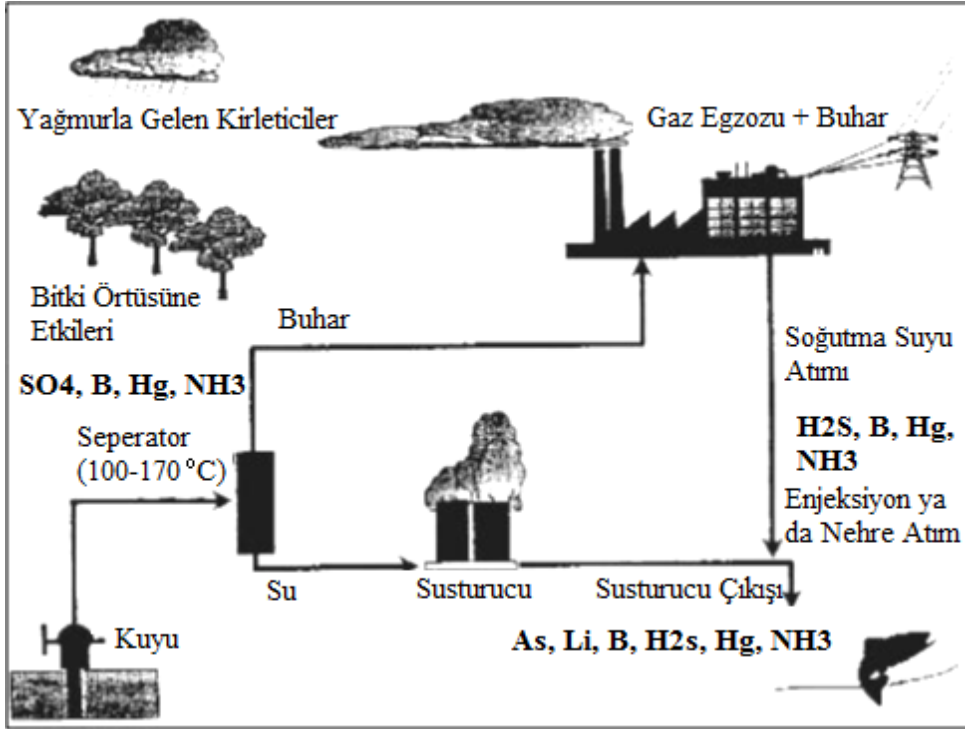
Jeotermal sularda sülfat miktarı normalde 50 ppm'den azdır. Fakat hidrojen sülfidin yükseltgenmesi yüzeye yakın yerlerde gerçekleştiğinden sülfat derişimi bu noktalarda artış gösterir. Jeotermal sularda florür miktarı genellikle 10 ppm'den daha azdır. Bromür ve iyot jeotermal sularda çok az derişimlerde bulunur. Co, Ni, Ag, Au, Cu, Zn, Cd, Hg, Ge, Sn, Ra, Rn, Th, Tn, Se elementleri ise jeotermal sularda eser miktarda bulunurlar (Yılmaz, 2013).

1.6.1. Jeotermal Atık Sularında Bulunan Kirleticilerin Çevresel Etkileri

Jeotermal enerji her ne kadar temiz enerji kaynakları sınıfına girse de onun çevreye bazı olumsuz etkileri vardır. Jeotermal akışkanların önemli çevresel etkilerinden biri de hava ve nehir-göl yataklarında kirliliğe neden olmasıdır. Bir santraldan atık suyun herhangi bir su havzası ya da nehre atılmasıyla sıcaklığın 2-3 °C yükselmesi, ekosisteme zarar verir. Sıcaklık değişimine son derece hassas olan

bitki ve hayvan organizmaları yavaş yavaş yok olur. Su sıcaklığının yükselmesi balık yumurtalarının gelişimine zarar verebilir (Çakın vd., 2003).

Jeotermal akışkanlar; CO_2 , H_2S , NH_3 , CH_3 , N_2 , H_2 gibi yoğunlaşmayan gazlar ve Hg, B ve Rn gibi elementler içerirler (Aslan, 2010). Jeotermal akışkanın çevreye en az zarar verecek forma dönüştürebilmek için reenjeksiyon yapılması gerekir. İçindeki ısı enerjisinin bir bölümü soğurulmuş olan akışkanı hem doğayı kirletmemek hem de yer içindeki rezervuarı beslemek için yer içindeki alıcı ortama geri basılmasına reenjeksiyon denir. Jeotermal akışkan üretildikten sonra, akışkandan ısı enerjisinin bir kısmı soğrulur (doğrudan ya da eşanşörler ile), kalan akışkan, içinde artık ısı enerjisi ile birlikte doğaya zararlı maddelerle (bor, arsenik vd.) birlikte basılır. Bu yöntem, jeotermal enerjinin “sürdürülebilirliğini” sağlar (Danışman, 2011). Ayrıca jeotermal sistemlerde sadece jeotermal akışkan çevre kirliliğine neden olmaz. Onunla birlikte santralin işletimi sırasında çevreye yayılan gazlar atmosferi olumsuz yönde etkiler. Özellikle havaya verilen CO_2 gazı sera etkisine sebep olur. Ayrıca yine havaya verilen gazların içerisinde bulunan B, NH_3 ve Hg toprak ve bitki örtüsünü kirletirler. Ayrıca yüzey suları ve su canlıları üzerinde de etkilidir. Bir su baskın sahada, buhar çevrimli bir jeotermal santraldan yapılan atımların ve ana kimyasal kirleticilerin bir özeti Şekil 1.9’de verilmiştir.



Şekil 1.9. Jeotermal akışkanın içerdği kimyasal kirlenitçiler (Aslan, 2010).

1.6.2. Bazı Kirlenitçi Parametrelerin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri

Günümüzde, ekosistemlerin toprak, su ve hava gibi ortamlarında yaygın bir şekilde birikmeye başlayan ağır metaller, dünya yüzeyindeki tüm organizmaların yaşamını tehdit eden önemli bir çevre sorunu halini almıştır. Ağır metallerin çevreye yayılmasına neden olan etmenlerin başında endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzozları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar ile kentsel atıklar gelmektedir (Stresty ve Madhava Rao, 1999).

Çinko

Çinko, insan ve hayvanlarda olduğu gibi bitkilerde de çok çeşitli ve önemli metabolik işlevlere sahiptir. Protein ve karbonhidrat sentezine katılmasının yanı sıra, enzim aktivasyonu, fotosentez, solunum ve biyolojik membran stabilitesi üzerine etkileri nedeniyle üretilen ürün miktarı ve kalitesini direkt olarak etkilemektedir (Rout ve Das, 2003).

Topraklardaki toplam Zn konsantrasyonu 10-300 ppm, bitkiler tarafından alınabilir. Zn konsantrasyonu 3.6-5.5 ppm arasında değişmektedir. Bitkilerdeki Zn derişimi normal bitkilerde 5-100 ppm arasındadır. Görülen toksisiteler genellikle 400 ppm'den sonra başlamaktadır (Asri ve Sönmez,2006).

Çinko toksisitesinde bitkilerin kök ve sürgün büyümesi azalır, kökler incelir, genç yapraklar kıvrılır ve kloroz görülür, hücre büyümesi ve uzaması engellenir, hücre organelleri parçalanır ve klorofil sentezi azalır (Rout ve Das, 2003).

Bakır

Bakır bitki bünyesinde enzim aktivasyonu, karbonhidrat ve lipid metabolizmasında yer alması nedeniyle önemli bir elementtir (Kacar ve Katkat, 2006). Bakır kirliliği insan aktivitesi sonucu oluşan emisyon ve atmosferik depositler, pestisid kullanımı, kanalizasyon atıklarının gübre olarak değerlendirilmesi, kömür ve maden yataklarından kaynaklanmaktadır.

Toprakta 100 mg/kg, bitki kuru maddesinde ise 15-30 mg/kg'dan fazla bakır toksik etkilidir. Bakır toksisitesi genellikle bitki kök sistemlerinde açığa çıkar ve bitki bünyesinde protein sentezi, fotosentez, solunum, iyon alımı ve hücre membran stabilitesi gibi bazı fizyolojik olayların bozulmasına neden olur (Sossé vd., 2004).

Kadmiyum

Kadmiyumun tarım topraklarına girişı ve yayılması endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübreler, lağım atıkları ve atmosferik depositler yoluyla olmaktadır (Haktanır, 1987). Toprakta 3 mg/kg, bitki kuru maddesinde ise 1 mg/kg'dan fazla kadmiyum toksik etkilidir (Özbek vd., 1995). Bitki ve topraklara ulaşan kadmiyumun büyük kısmı kadmiyum içeren toz zerreciklerinin havadan çökmesi yolu ile olmaktadır. Trafığın yoğun olduğu alanlardaki yol kenarlarındaki topraklarda toz çökmesi ile yılda metrekareye 0.2-1.0 mg kadmiyum ilavesinin olduğu ölçülmüştür (Asri ve Sönmez, 2006).

Bu metal insan, hayvan ve bitkiler için toksik etkili bir elementtir. Bitki bünyesinde azot ve karbohidrat metabolizmalarını değiştirmesi nedeniyle birçok fizyolojik değişikliğe neden olmaktadır. Proteinlerin –SH gruplarındaki enzimleri inaktive etmekte, fotosentezi engellemekte, stomaların kapanmasına, transpirasyon

ile su kaybının azalmasına ve klorofil biyosentezinin bozulmasına neden olmaktadır (Sheoran vd., 1990).

Aşırı kadmiyum dozlarının klorofil biyosentezini bozmasının en önemli nedeni klorofil biyosentezinde görev yapan protoklorofil reduktaz ile aminolevulinik asit sentezini engellemesidir. Ayrıca ağır metallerin serbest radikal oluşumuna yol açtığı ve bu yolla tilakoid membran lipidlerinin oksidatif yıkımına neden olduğu, bu gibi durumlarda ise klorofil yıkımının arttığı ve sentezinin engellendiği bilinmektedir (Asri ve Sönmez, 2006).

Kadmiyum stresi altında bitkilerin su ve iyon alımının azalmasının en önemli nedeni kök büyüme ve gelişmesini engellemesidir (Salt vd., 1995).

Krom

Doğal olarak toprakta bulunmaktadır. Ana materyale göre değişmekle birlikte toprakta 5-100 mg/kg oranlarında bulunur. Bitkide ise kuru maddede 100 mg/kg bulunması birçok yüksek bitki için toksiktir (Asri ve Sönmez, 2006). Bitki bünyesinde toksik seviyeye ulaşan kromun bitkide etkilediği ilk fizyolojik olay tohum çimlenmesidir. Krom kök hücrelerinin bölünme ve uzamasını engelleyerek kök gelişimini engeller. Bu durum topraktan alınan bitki besin maddesi ve suyun azalmasına yol açarak bitki büyüme ve gelişmesini azaltır. Dolayısıyla önemli düzeyde verim ve kalite azalması görülür (Khan vd., 2000). Krom zehirlenmesinde bitki kökleri küçük, yapraklar dar ve kahverengi kırmızı bir renktedir. Yapraklarda küçük yanık lekeler vardır (Bebek,2001).

Bor

Bor, bitki büyüme ve gelişmesi için zorunlu olan elementlerden birisidir. Ancak, bu elementin sulama sularındaki miktarı veya topraktaki çözünürlüğü bitkilerin ihtiyaçlarından fazla olduğunda bitki büyüme ve gelişmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bitkiler sulama suyundan aldıkları Bor'u yapraklara taşıyarak yaprakların uç ve kenar kısımlarında depolamaktadırlar. Bor insan sağlığını olumsuz etkiler. Örneğin, yüksek bor derişimli içme suyu insanda kilo kaybı ve bağırsak sistemi rahatsızlıklarına neden olur. Yüksek bor derişimi sulama sularında, toprağın gözenekliliğini düşürür ve bitki köklerinin hava almasını engelleyerek kurumalarına neden olur (Badruk, 2003). Ayrıca bitkilerde yaprak

dökümü, meyvelerde olgunlaşmadan dökülme, lekelenme ve çürüme gibi etkiler göstermektedir (Kiracı, 2014).

Kurşun

Kurşun elementi bitkiler için mutlak gerekli olmayıp, toprakta 15-40 ppm dozunda bulunur, topraktaki kurşun derişimi 150 ppm'i aşmadığı sürece insan ve bitki sağlığı açısından tehlike oluşturmaz. Ancak 300 ppm'i aştığında potansiyel olarak insan sağlığı açısından tehlikelidir (Dürüst vd., 2004). Kurşun elementi, hücre turgoru ve hücre duvarı stabilitesini olumsuz etkilemesi, stoma hareketlerini ve yaprak alanını azaltması nedeniyle bitki su rejimini etkilemektedir. Aynı zamanda kökler tarafından tutulması ve kök gelişimini azaltması nedeniyle bitkilerin katyon ve anyon alımını azaltmakta dolayısıyla besin alımını etkilemektedir (Sharma ve Dubey, 2005). Bitkilerde kurşun miktarı ve bitkilerin kurşun alınılan insan sağlığı açısından doğrudan bir öneme sahiptir. Bazı bitki türleri için kurşun toksite düzeyi oldukça yüksektir. Bu tür bitkiler sağlıklı göründükleri ve zehirlenme belirtileri göstermedikleri için insan tüketiminde tehlikeler meydana getirebilir (Bebek,2001).

Demir

Demir, sulara Fe^{2+} (ferröz) ve Fe^{3+} (ferrik) şeklinde bulunur. Yeraltı sularında bulunan en yaygın şekli Fe^{2+} dır. Yeraltı suyunun demir içeriğini etkileyen önemli faktörler redoks şartları ve pH'dir. Yüzey sularında demir genellikle Fe^{3+} (ferrik) şeklinde bulunur. Yüzey sularında demir derişimi çoğunlukla 0,5 mg/l'den azdır. Yeraltı sularındaki derişimi ise genellikle daha yüksek olup, bazı termal kaynaklarda 10-100 mg/L arasında değişebilir. Çoğu topraklar yüksek derişimde (> 20.000 mg/kg) Fe içermektedir. Demir içeriği 20 mg/L'yi aşan sular bitkiler üzerinde zehirleyici etkiye sahiptir. Aşırı miktarda demir, bitki için gerekli olan diğer elementleri bağlayarak zararlı olmaktadır. Bu gibi etkilerden bitkilerin korunması için sulama sularının nötral ve alkali topraklarda 20 mg/L'den, asidik topraklarda 5,0 mg/L'den fazla demir içermemesi önerilmektedir. Demir toksisitesi genellikle su altında kalan çeltik topraklarında bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Birkaç haftalık su altında kalma, söz konusu topraklardaki çözünülebilir demir düzeyini 0,1 ppm'den 50-100 ppm'e kadar yükseltebilmektedir. Çeltikte görülen demir toksisitesi "bronzing" olarak bilinmektedir. Bu tür hastalıkta yapraklar ilk olarak ince kahverengi lekelerle

kaplanmakta, ardından tüm yaprak eşit bir şekilde kahverengileşmektedir. Bu durum çoğunlukla 300 ppm'den fazla demir içeren çeltik yapraklarında gözlenmektedir (Bebek, 2001).

Alüminyum

Yeraltı sularında doğal süzülme nedeniyle, alüminyum oldukça azdır. Alüminyum, yerkabuğunda önemli miktarda bulunmasına karşın (% 8,6), az çözünmesi nedeniyle, yeraltı sularında önemsiz miktarda bulunur. pH= 5-9 arasında alüminyum, sularda 1 ppm'den azdır. Genellikle yeraltı sularında 0,005-0,3 ppm arasında alüminyum izlenir, asitli sularda, bu değer 100 ppm'e erişebilir. Alüminyumun suda bulunuşu, özellikle suyun sınıflandırılmasında ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir (Öngay, 2004). Su kirliliği teknik usuller tebliğinde alüminyum için sulama suyunda bulunması gereken sınır değer 5 ppm'dir (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, 1991). Bu derişim üzeri derişimlerde alüminyum toksik etki göstermektedir.

Mangan

Mangan derişimi insanın yaşına ve organlarının yapısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Mitokondri bakımından zengin olan dokularda (bağırsak, karaciğer ve böbrekler) mangan derişimi daha yüksektir. İnsanlarda manganın yarattığı toksik etki psikolojik ve sinir rahatsızlıklarına neden olmaktadır. Hayvanlarda mangan toksik özelliğiyle birlikte büyümede gerileme, kansızlık, mide ve bağırsaklarda bozulmalarda görülmektedir. Bitkilerde ise yaşlı yapraklarda mangan oksitin çökmesine bağlı olarak kahverengi lekeler oluşmaktadır (Kiracı, 2014).

Sülfat, Nitrat ve Amonyum

Kükürt içeren kaya ve minerallerin parçalanma, ayrışma ve oksidasyonu sonucu sülfatlar oluşur. Sülfat, sulama sularında daha az toksiktir. Yüksek derişimlerde sülfat iyonları kalsiyumun çökmesine neden olurlar ve bitkilere toksik olabilirler. Sulama sularında sülfatın bulunma aralığı 0 ile 1000 mg/L arasında değiştiği ön görülmektedir (Çalışkan, 2010).

Tatlı ve tuzlu sularda bir diğer azot kaynağı nitrattır. Genellikle tatlı ve tuzlu sular oksijence doymuş ise azot hemen hemen tamamıyla nitrat formundadır. Kirlenmemiş tatlı sularda nitrat derişimi 0-10 mg/L'dir. Bu miktar mevsimlere göre değişim gösterir.

Suda bulunan azot amonyak, nitrit, nitrat formlarında bulunur. Amonyak, nitrit, nitrat dönüşümü aşamaları belirli bir zaman gerektirdiğinden suda amonyak bulunması taze kirlenmeye ve sakıncalı mikroorganizma sayısına, nitrat bulunması ise eskimiş bir kirlenmeye ve muhtemelen daha az sakıncalı mikroorganizma sayısına işaret eder. Sakıncalı mikroorganizma biyotik ve abiyotik çevrede birbirine dönüşümlü olarak sürekli tehlike arzeder ve gerek çevre sağlığı gerekse halk sağlığı açısından çeşitli önlemlerin alınmasını zorunlu kılar. Su canlıları azottan amonyak veya nitrat formunda yararlanabilirler. Ancak belli bir seviyenin üstünde amonyağın zararlı olduğu bilinmektedir (Savaş ve Cengiz, 1994).

Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)

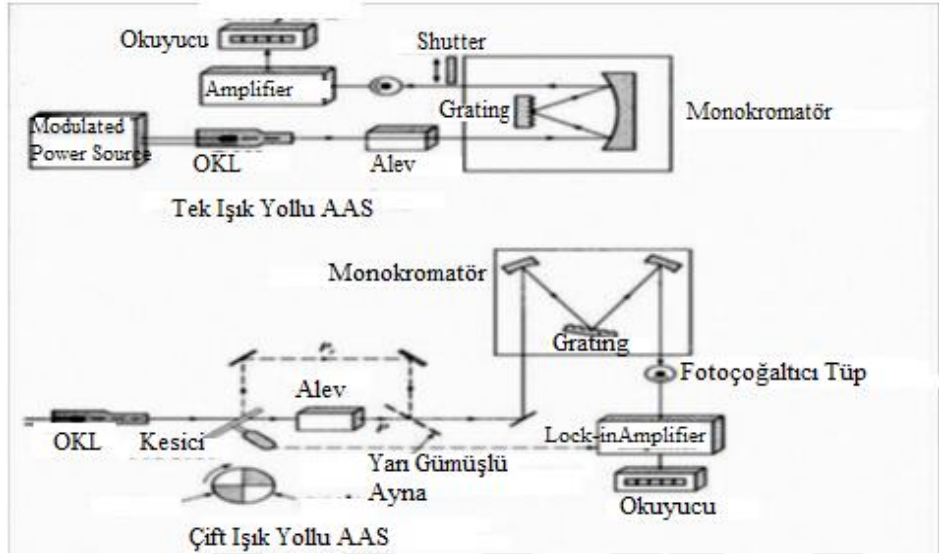
Sulama sularının kalite kriterlerinin belirlenmesinde önemli olan bir diğer belirleyici SAR'dır. Ancak sınıflamanın kesin sınırlarını belirlemek güçtür. Toplam tuz içeriğı (EC, Elektriksel Kondüktivite) ile SAR arasında logaritmik, ters bir ilişki vardır. Suyun EC değeri yükseldikçe, SAR değeri azalmaktadır. Sodyum adsorbsiyon oranının hesaplanması için sulama suyunun içerdigi Na (meq/L), Ca (meq/L), ve Mg (meq/L), iyonlarının derişimlerinin bilinmesi gerekir. Böylece Na katyonunun Ca ve Mg katyonlarına oranı ile SAR değeri aşağıdaki formülle hesaplanır (Çalışkan, 2010).

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}}$$

Sodyum adsorpsiyon oranı, toprak bünyesindeki suda ve sulama suyunda sodyumun baskın iyon olduğu durumu göstermektedir. Yüksek sodyumlu durumlarda, toprak partikülleri birbirinden ayrılmaktadır. Bu durumda, topraktaki porozite (gözeneklilik) azalmakta ve büyük boşluklar tıkanmaktadır. Böylelikle, su ve havanın toprak içine nüfuzu engellenmektedir. (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğı, 2010)

1.7. Atomik Absorpsiyon Spektrometrisi

Atomik absorpsiyon spektrometrisinde metallerin büyük bir kısmı ile az sayıda ametal analiz edilir. Atomik absorpsiyon spektrometrisinde numune çözeltisi önce buharlaştırılır, daha sonra gaz halindeki moleküller ısıнын etkisiyle atomlarına ayrışır ve kaynaktan gelen ışın demetine maruz bırakılır Aynı elementin ışın kaynağından gelen ışınlar absorblanır. Bu şekilde 70 kadar elementin (metal/yarı metal) analizi yapılabilir. Ametallerin absorpsiyon çizgileri vakum UV bölgeye düştüğünden ametallerin bu metotla analizleri yapılamaz. Metodun hassasiyeti yüksektir. Eser miktarda madde analizi yapılabilir. Işığı absorblayan atomlarda temel seviyedeki elektronlar, kararsız uyarılmış enerji düzeylerine geçerler ve absorpsiyon miktarı, temel düzeydeki atom sayısına bağlı olarak değişir (Kamalak, 2006). İlke olarak diğer absorpsiyon spektrometrelerine benzeyen atomik absorpsiyon spektrofotometrelerinin en önemli bileşenleri, analiz elementinin absorblayacağı ışımayı yayan ışık kaynağı, örnek çözeltisinin atomik buhar haline getirildiğı atomlaştırıcı, çalışılan dalgaboyunun diğer dalgaboylarından ayrıldığı monokromatör ve ışık şiddetinin ölçüldüğü dedektördür (Altınışık, 2004). Atomik spektroskopi teknikleri içerisinde atomik absorpsiyon spektroskopisi (AAS), 1950'lerden beri seçiciliğı, basitliğı ve kolaylığından dolayı en yaygın kullanılan tekniklerden biridir. AAS jeolojik, biyolojik, metalurjik, cam, çimento, yağ, sediment, farmakolojik ve atmosferik örneklerdeki eser metal analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Lajunen, 1992).



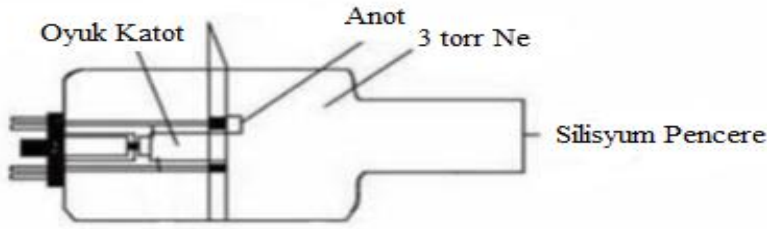
Şekil 1.10. Atomik absorpsiyon spektrometresinin genel şeması (Kurnaz, 2013)

Spektroskopik yöntemlerin çoğunda kullanılan aletin üstünlüğü, doğrudan monokromatörün ayırma gücüne bağlı olduğu halde; atomik absorpsiyon spektrometresinde bu, o kadar önemli değildir. Çünkü AAS' de analite özgü dalga boyunda ışın (bu çoğu zaman en şiddetli rezonans çizgisindedir) kullanılır. Monokromatörün görevi, incelenen elementin dalga boyunu diğer dalga boylarından ayırmaktır. Bu da yüksek ayırıcılık gerektirmez. Çok basit bir monokromatör, emisyon spektrumu en karmaşık elementler için bile bu ayırmayı sağlayabilir (Kurnaz, 2013).

1.7.1. Işık Kaynağı

AAS' de çeşitli ışık kaynakları kullanılmakla birlikte, günümüzde çoğunlukla oyuk katot lambaları kullanılmaktadır. Oyuk katot lambaları düşük basınçta (birkaç mm Hg) neon veya argon gibi asal bir gazla doldurulmuş silindirik biçiminde lambalardır. Lambadaki katot, oyuk bir silindirik şeklinde olup analiz elementinden yapılmıştır. Anot ise tungsten veya nikelden yapılmış teldir. Anot ile katot arasına 100 - 400 voltluk bir gerilim uygulandığında lamba içindeki asal gaz atomları iyonlaşır. Böylece ortamda iyonlar ve elektronlar oluşur. Bu iyonlar, katoda çarparak yüzeydeki metal atomlarını koparır. Atomlar, enerjik iyon ve elektronlarla çarpışarak uyarılırlar. Uyarılan atomlar, temel enerji düzeyine dönerken katot elementine özgü dalga boyunda ışın yayarlar. İncelenen her

element için, o elemente özgü oyuk katot lambasının spektrometreye yerleştirilmesi gerekir. Atomik absorpsiyon spektrometresi ile tayinlerin en önemli dezavantajı, her element için ayrı bir oyuk katot lambası kullanımını gerektirmesidir. Bu nedenle çok elementli oyuk katot lambaları geliştirilmesi düşünülmüştür. Bu lambalarda katot, incelenecek elementleri içeren alaşımlardan, metalik bileşenlerden veya toz haline getirilmiş metal karışımlarından yapılır. Çok elementli lambalarda ortaya çıkan en önemli sorun, özellikle üçten fazla element içeren lambalarda, lambanın emisyon şiddetinin azalması ve bunun sonucu olarak gözlenebilme sınırının büyümesidir (Akıncı, 2012).



Şekil 1.11. Oyuk katot lambası (Bozalan, 2011).

1.7.2. Atomlaştırıcı

AAS de alevli ve elektrotermal olmak üzere iki çeşit atomlaştırıcı kullanılmaktadır. Alevli atomlaştırmacıda kullanılan alev, yanıcı ve yakıcı gazların belirli hacimlerde kullanılması ile elde edilir. Yanıcı ve yakıcı gazlar analizi yapılacak elementin atomlaşma sıcaklığına göre seçilir. Diğer bir atomlaştırıcı olan elektrotermal atomlaştırıcı grafit fırındır. Fırın elektriksel dirençle 3000 °C'ye kadar istenirse kademeli olarak ısıtılabilir. Alevli sistemlere göre daha pahalı fakat daha avantajlıdır. Özellikle ağır metal elementlerinin analizinde ppb düzeyine kadar inebildikleri için daha fazla tercih edilmektedir (Bozalan, 2011).

1.7.3. Dedektör

Atomik absorpsiyon spektrometresinde ışık sinyalinin elektrik sinyaline dönüştürülmesi için, fotoçoğaltıcı tüpler kullanılır. Ultraviyole ve görünür bölgenin tümünde yeterli duyarlılığa sahip bir foto çoğaltıcı bulmak zordur. Bu nedenle ultraviyole bölge ile görünür bölgenin kısa dalga boylarında Cs ve Sb,

görünür bölgenin daha uzun dalga boylarında ise Se katotlu tüpler kullanılır (Kurnaz, 2013). Tayini yapılan atomun, lambadan gelen ışınlarını, aynı atomun alev ortamından oluşan ışınlarından ayırt etmek için, lambadan gelen ışın demeti önüne, demetin yolunu belirli aralıklarla kesen bir ışın demeti kesici konur. Böylece lambadan gelen ışın demeti alternatif akım haline dönüştürülür ve alevden gelen ışınların oluşturduğu akımdan ayrılır. Monokromatörden ayrılan fotonların yoğunluğu ile doğru orantılı bir elektrik sinyali üretilir. Sinyal dedektörden bilgisayara taşınır ve analitik sonuç bilgisayarın ekranında görülür (Akıncı, 2012).

1.8. Mikrodalga Cihazı ile Çözünürleştirme Yöntemi

Örneklerin çözülmesinde için genellikle üç temel yöntem kullanılır: Yaş yakma, kuru yakma, mikrodalgada çözünürleştirme. Bu yöntemlerden hangisinin seçileceği numunenin tipine, kullanılacak donanım ve analizi yapılacak olan elemente bağlıdır. Kül etme yöntemleri aynı zamanda gıdalarda bulunan çok özel minerallerin analizi için örnek hazırlamanın ilk basamağı olarak kullanılır. Geleneksel kullanılan yaş ve kuru örnek hazırlama yöntemlerinde büyük hacimli reaktifler kullanılır ve fazla zaman tüketilir. Ayrıca açık kaplarda ve yüksek miktarda reaktiflerle çalışıldığından örneğin kirlenme riski yüksek olur. Bu çalışmalar sırasında çıkan dumanlar aşındırıcı oldukları için, analizi yapan kişiye ve çevreye zarar verir. Bu nedenle bir diğer çözme tekniği olan mikrodalga çözünürleştiriciler temiz kimya prensibiyle bu sistemlerin yerini almaya başlamıştır (Deveci, 2012).

Mikrodalga sistemi laboratuvarlarda, indüktif eşlenik plazma (ICP), atomik absorpsiyon (AAS) veya atomik emisyon (AES) ölçümleri ile analizden önce, organik moleküllerde ağır metallerin çözünmesi için kullanılan yaygın bir tekniktir. Bu teknik genellikle basınç ve ısıya dayanıklı kapalı bir kap içinde, numunenin kuvvetli bir aside maruz bırakılarak ve mikrodalga ışıması üzerinden basınç ve sıcaklığın artırılmasıyla gerçekleştirilir.

Bu nedenle mikrodalga ile çözünürleştirmede basınç, sıcaklık, süre ve çözünürleştirme için kullanılan reaktif seçimi önemlidir. Çözünürleştirme için genellikle nitrik asit, hidroklorik asit, hidroflorik asit, sülfürik asit, perklorik asit kullanılmaktadır. Hidrojen peroksit ve bunların değişik kombinasyonları da kullanılabilir. Ayrıca katı örneklerin çözülmesi için 10 mL gibi diğer yöntemlere göre oldukça az miktarda çözücüler kullanılır. Modern analiz laboratuvarlarında

mikrodalga çözünürleştirme yöntemleri eser ve ultra eser elementlerin analizinde örneğin çözünürleştirilmesinde gittikçe yaygınlaşarak kullanılmaktadır. Özellikle un, buğday, yenilen deniz ürünleri, şarap gibi farklı gıda maddelerinde ve referans maddelerde eser element analizlerinde farklı çözünürleştirme yöntemleri kullanılmış ve en iyi sonucun mikrodalga çözünürleştirmenin verdiği görülmüştür (Deveci, 2012).



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Yılmaz (2013), Aydın'ın sahip olduğu jeotermal enerji potansiyelini vurgulamış ve bu bölgede bulunan kaplıca sularının analizi yapmıştır. Elde ettiği sıcaklık değerleri, çevre illerin kaplıcalarındaki ortalama verilerine göre daha yüksek bulmuştur. Çalışmada sıcak sularda bulunan çeşitli eser elementler (Cd^{2+} , Cr^{3+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Ba^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} vb.) anyonların (F^- , Cl^- , Br^- , I^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) ve katyonların (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Mn^+ , Fe^{3+}) analizi yapmıştır. Analizleri yapılan kaplıca sularındaki ağır metal düzeylerinin halk sağlığını tehdit edecek sınırların altında olduğunu belirtmiştir.

Tokgöz ve Güneş (2012), Balçova (İzmir) ve Gediz Ilıca (Kütahya) jeotermal alanlarından kaynaklanan arseniğin, yüzeysel su ve yeraltı sularında taşınım ve türleri, depolanması ve giderim mekanizmalarını incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, arsenik derişimlerinin mineral çökelimleri, adsorbsiyon, redoks (Eh) ve pH tarafından kontrol edilmekte olduğunu saptamışlardır.

Çakın vd.,(2005), Jeotermal uygulamaların olası çevresel etkileri kısaca anlatmış daha sonra Balçova Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi'nin çevresel etkilerini incelemiştir. Alüminyum, arsenik, demir, mangan ve bor miktarı içme suyu standardında öngörülen miktarın üzerinde tespit etmiştir. Balçova Jeotermal Sahası'nda ağır metal kirliliğini araştırmış ve krom, nikel ve kurşun miktarının TS266'da izin verilen değerin üzerinde olduğunu belirtmiştir. Sulama suyu standardına göre florür, bor ve mangan miktarlarını izin verilen değerin üzerinde tespit etmiştir. Bunun yanısıra sulama suyu kalitesi açısından sular Na^+ , elektriksel iletkenlik, Cl^- , SO_4^{2-} , iz element vb. içeriklerine göre incelemiştir. Bu değerlendirmelere göre, tüm jeotermal suların sulama amaçlı kullanımda sakıncalı sular sınıfına girmekte olduğunu belirtmiştir. Genel olarak jeotermal kökenli sulara bakıldığında özellikle B miktarı sulama için izin verilen sınır değerlerin çok üstünde yer aldığını tespit etmiştir.

Akar (2003), Havzada uzun süredir işletme halinde olan Denizli-Sarayköy Jeotermal Santrali ile işletmeye yeni açılan Aydın-Salavatlı Jeotermal Santrali'nin Büyük Menderes Nehri'ne deşarj edilen jeotermal atık sularının; nehir suyunda ve bu su ile sulanan verimli tarım arazileriyle bu arazilerde üretimi yapılan narenciye bitkisinde oluşturduğu zararlı etkileri araştırmıştır. Sonuç olarak Büyük Menderes Nehri'ne deşarj edilen jeotermal atık sular, hem sulama suyunda hem de bu su ile

sulanan topraklarda olumsuz etkiler oluşturmakta dolayısıyla bu alanlarda tarımı yapılan bitkilere özellikle de Bor'a çok duyarlı olan narenciye ağaçlarına zarar verdiğini tespit etmiştir.

Hudson ve Archer (2008), San Antonio de Los Cobres (Kuzeybatı Arjantin) jeotermal bölgesindeki kaynak ve dere sularındaki As, Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , B ve Li derişimlerini belirlemişlerdir. Dere suyunun As derişiminin, yanal kaynak suyu katılımları ve mineral çökelmeleriyle azaldığını tespit etmişlerdir.

Şimşek (2003), Balçova jeotermal sahasındaki sularda, insan ve bitkiler için toksik etki gösteren bor (B) ve arsenik (As) yoğunluğu araştırmıştır. Balçova jeotermal suyunda 21,3 mg/L B, 1419 µg/L As tespit etmiştir. İçme suyu standartlarının maksimum kabul edilebilir limitlerine göre B, 10 kat, As ise yaklaşık 28 kat daha fazla bir yoğunluğa sahip olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, Balçova jeotermal sularından etkilenen doğal yeraltı ve yüzey sularında yüksek oranda B ve As olduğunu belirtmiştir. Yüzey ve yeraltı sularında görülen kirlenmenin, sıcak sulardan kaynaklandığını tespit etmiştir.

Öngay (2004), Balıkesir İli'ne 18 km uzaklıkta bulunan Pamukçu beldesi sınırları içerisinde yer alan inceleme alanından alınan sıcak ve soğuk su örnekleri üzerinde jeokimyasal deneyler yapmış suların içerdikleri anyonlar, katyonlar ve eser elementler tespit etmiştir. Yapılan hidrojeokimyasal değerlendirmeler ışığında, sıcak suların $\text{Na-SO}_4\text{-Cl}$ 'lü ve soğuk suların çoğunluğunun $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ 'lü su tipinde olduğunu bulmuştur.

Yonar (2007), büyük bölümü jeotermal enerji ile ısıtılan Kütahya ili Simav ilçesindeki bölgesel ısıtma sistemini incelemiş, çevresel etkilerinin değerlendirilmesi yapmış ve sistem için faydalı olacak yenilikler üzerinde durmuştur.

Aydınöz (2005), Afyon Karahisar bölgesinde bulunan kaplıca sularının mevsimsel analizini gerçekleştirmiştir. Analiz sonuçlarına göre elde edilen sıcaklık değerlerini, çevre illerin kaplıcalarındaki ortalama verilere göre daha yüksek bulmuştur. Bundan dolayı, Afyonkarahisar kaplıcalarının hem kaplıca turizmine, hem de ısıtma amaçlı kullanıma uygun olduğu söylemiştir. Bununla birlikte, 1A, 2A ve 3A grubu elementlerinin kış mevsimindeki değerlerinin genel olarak daha düşük olduğunu belirtmiştir. Kaplıca sularından elde edilen nitrat ve nitrit

değerlerinin TSE-266 ve WHO standartlarına uygun olduğunu saptamıştır. Ayrıca, analizleri yapılan kaplıca sularındaki ağır metal düzeylerinin halk sağlığını tehdit edecek sınırların altında olduğu belirtmiştir.

Akkaş (2010), Hamamboğazı jeotermal sahasında su ve toprak kirlilik etkilerinin araştırmıştır. 16 adet su örneği toplanmış arsenik, bor ve flor derişimleri ve sıcak suların oluşturduğu sedimentlerde As, B ve F analizlerini yapmıştır. Bölgedeki termal sıcak su kaynakları, Sağlık Bakanlığı Kaplıca Suları Yönetmeliğindeki Balneolojik su sınıflamasına göre As, B ve F içeren sular sınıfına girmekte olduğunu söylemiştir. Sulama suyu olarak kullanılan Hamamboğazı Deresinin As, B ve F derişim değerlerini su kirliliği kontrol yönetmeliğinde izin verilebilen maksimum değerlerin çok üzerinde tespit etmiştir.

Serpen (2003), Balçova–İzmir bölgesindeki Agememnon fayından çıkan ve açılmış kuyulardan çekilen suların arsenik, bor ve flor içeriği nedeniyle yeraltı suyunda kirlenmeye neden olduğunu belirtmiş ve kirlilik boyutlarını incelemiştir.

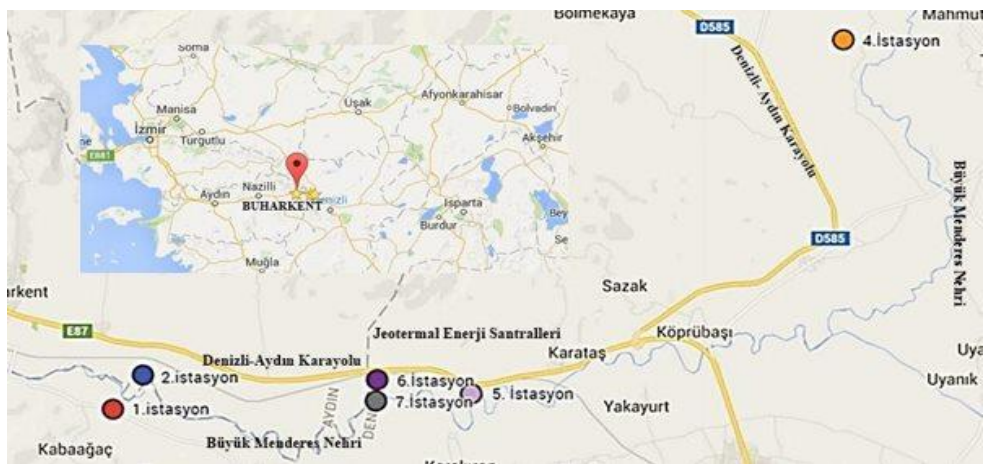
Mroczek (2004), Kawerau (New Zeland) jeotermal sahasındaki jeotermal akışkanın arsenik ve klor derişimleri akışkanın boşaldığı nehrin kotlarında ölçmüştür. Üst kesimlerde arsenik ve klor derişimlerin 0,021 ve 39 mg/L olduğunu tespit etmiştir. Ancak, nehirdeki akış miktarının azaldığı dönemlerde termal su girişimi nedeniyle bu derişimlerin 0,029 ve 50 mg/L ‘ye yükseldiği tespit etmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. İstasyonların Tespiti ve Numunelerin Alınması

Su numuneleri için Aydın- Buharkent çevresinden 7 tane istasyon seçildi. Sediment numuneleri için ise 6 tane istasyon belirlendi. Numuneler, Büyük Menderes Nehrinden, termal otellerden ve jeotermal atık suların nehirle birleşiminin yaklaşık 100-200 metre ilerisinden yani tam karışmanın olduğu noktalardan alındı. Birinci istasyon doğal jeotermal su çıkış noktası olarak seçildi ve bu istasyondan su ve sediment numunesi alındı. İkinci istasyon ise bu doğal jeotermal çıkışın Büyük Menderes Nehri'ne karışma noktası olarak seçildi. Zorlu arazi koşullarından dolayı bu istasyondan sadece su numunesi alındı. Üçüncü istasyon, yine o bölgede fakat birinci istasyondan daha uzakta yer alan doğal jeotermal su çıkış olarak seçildi ve bu istasyondan su ve sediment numunesi alındı. Temiz su kaynağı olarak dördüncü istasyon, jeotermal atık suların Büyük Menderes Nehrine hiç karışmadığı nokta olarak seçildi ve bu istasyondan su ve sediment numunesi alındı. Beş, altı ve yedinci istasyonlar ise bölgede faaliyet gösteren enerji kuruluşları tarafından Büyük Menderes Nehrine bırakılan jeotermal atık suyun nehre karıştığı noktalar olarak seçildi ve bu istasyonlardan su ve sediment numunesi alındı. Su ve sediment numunelerinin alındığı istasyonların adı ve seçilme nedenleri Çizelge 3.1, yerleri ise Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Örneklerin Alındığı İstasyonlar (Google Maps, 14.06.2015, Aydın-Buharkent)

Çizelge 3.1. Aydın-Buharkent yöresinden alınan su ve sediment numunelerinin alındığı istasyonlar ve seçilme nedenleri

No	İstasyon Adı	Seçilme Nedeni
1	Kabaağaç Doğal Çıkış 1, (doğal jeotermal suyu) (su ve sediment)	Jeotermal doğal çıkış suyu olması
2	Kabaağaç Doğal Çıkış 2, (su)	Doğal çıkışın suyunun Büyük Menderes Nehrine karışma noktası olması
3	İnaltı Doğal Çıkış, (doğal jeotermal suyu) (su ve sediment)	Jeotermal doğal çıkış suyu olması
4	Yenicekent, (temiz su kaynağı) (su ve sediment)	Jeotermal atık suların Büyük Menderes Nehrine karışmadığı nokta olması
5	Kızıldere 1, (jeotermal atık suyu) (su ve sediment)	Jeotermal atık sularının Büyük Menderes Nehrine karışma noktası olması
6	Kızıldere 2, (jeotermal atık suyu) (su ve sediment)	Jeotermal atık sularının Büyük Menderes Nehrine karışma noktası olması
7	Kızıldere 3, (jeotermal atık suyu) (su ve sediment)	Jeotermal atık sularının Büyük Menderes Nehrine karışma noktası olması

Jeotermal suların sıcaklıkları yüksek olduğu için numune alınırken uygun kıyafet ve numune kapları tercih edildi. Daha önceden temizlenmiş, saf sudan geçirilmiş ve sıcaklığa dayanıklı olan plastik numune kapları önce alınacak su numunesi ile çalkalandı. Arazide yapılacak olan ölçümler numune alındıktan sonra orada gerçekleştirildi. Numune alınması sırasında pH ve iletkenlik analizleri yerinde yapılarak belirlendi. Kaplarda hava kalmayacak şekilde doldurulup ve ağzı kapatıldı. Sediment örnekleri için 500 mL cam kavanoz kapları kullanıldı. Kapların üzerine istasyon numarası ve adı yazıldı.

Laboratuvara getirilen su numunelerinin aynı gün toplam sertlik ve alkanite analizleri titrimetrik yöntemler ile gerçekleştirildi. Geriye kalan su numunelerinin pH'ı mikroorganizma üremesinin engellenmesi için nitrik asit ile 1,5-2 değerleri arasına getirildi. Su ve sediment örnekleri analizleri gerçekleştirilinceye kadar buzdolabına kaldırılarak muhafaza edildi.

3.1.2. Deneyde Kullanılan Cihazlar

Numunelerin alındığı istasyonlarda WTW Multiline P3 pH/LF-SET pH-metre marka cihazı ile pH ve iletkenlik analizleri yapıldı. Metal analizleri ve spektrofotometrik analizler Adnan Menderes Üniversitesi Kimya Bölümü'nde bulunan Thermo Scientific İce™ 3300 Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS) ve Shimadzu UV-1601 UV-Visible Spektrofotometre cihazı ile gerçekleştirildi. Sediment örneklerinin çözünürleştirme işlemi ise Adnan Menderes Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi'nde bulunan CEM marka Mars 6 mikrodalga cihazı ile yapıldı. Toplam sertlik ve alkanite analizleri Adnan Menderes Üniversitesi Analitik Kimya Araştırma laboratuvarında yapıldı. Deneyler sırasında kullanılan cihazlar Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Analizlerde kullanılan cihazlar

1	Thermo Scientific İce™ 3300 Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre
2	Shimadzu UV-1601 UV-Visible Spektrofotometre
3	CEM Mars 6 Mikrodalga Cihazı
4	Sartorius GC 1603-0CE Analitik Terazî
5	WTW Multiline P3 pH/LF- SET pH-metre/Sıcaklık

3.1.3. Kullanılan Kimyasal Maddeler ve Standart Çözeltiler

Deneylerde kullanılan kimyasal maddelerin kimyasal formülleri ve sağlandığı firmalar detaylı olarak Çizelge 3.3'de verilmiştir. Deneylerde kullanılan standart çözeltiler ve hazırlanışı Çizelge 3.4.'de yer almaktadır.

Çizelge 3.3. Deneylerde Kullanılan Kimyasallar

Malzemenin Adı	Kimyasal Formülü	Markası
Amonyum Klorür	NH_4Cl	Merck
Baryum Klorür	$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Merck
Borik Asit	H_3BO_3	J.T. Baker
Brusin sülfat		Acros
Civa (II) İyodür	HgI_2	Riedel-de haen
Disodyum EDTA	$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Merck
Etil Alkol	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	Merck
Fenolftaleyn	$\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$	J.T. Baker
Gliserin	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	Teknik Kalite
Hidroflorik asit	HF	Merck
Hidroklorik Asit	HCl	Merck
Mangan	Mn	Merck
Metil oranj	$\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$	Merck
Nitrik Asit	HNO_3	Merck
Potasyum İyodür	KI	Riedel-de haen
Sodyum Klorür	NaCl	Merck
Sodyum Potasyum Tartarat	$\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$	Merck
Sodyum Sülfat	Na_2SO_4	Merck
Sülfanilik Asit	$\text{C}_6\text{H}_7\text{NO}_3\text{S}$	Merck
Sülfürik Asit	H_2SO_4	Merck

Çizelge 3.4. Deneylerde Kullanılan Çözeltiler ve Hazırlanışı

Alüminyum Standart Çözeltisi (1000 ppm)	Al^{3+}	Chem-Lab. NV (Hazır stok çözelti)
Bakır Standart Çözeltisi (1000 ppm)	Cu^{2+}	Chem-Lab. NV (Hazır stok çözelti)
Çinko Standart Çözeltisi (1000 ppm)	Zn^{+2}	Chem-Lab. NV (Hazır stok çözelti)
Demir Standart Çözeltisi (1000 ppm)	Fe^{3+}	Chem-Lab. NV (Hazır stok çözelti)
Kadmiyum Standart Çözeltisi (1000 ppm)	Cd^{2+}	Chem-Lab. NV (Hazır stok çözelti)
Kalsiyum Standart Çözeltisi (1000 ppm)	Ca^{2+}	Chem-Lab. NV (Hazır stok çözelti)
Krom Standart Çözeltisi (1000 ppm)	Cr^{3+}	Chem-Lab. NV (Hazır stok çözelti)
Kurşun Standart Çözeltisi (1000 ppm)	Pb^{2+}	Chem-Lab. NV (Hazır stok çözelti)
Magnezyum Standart Çözeltisi (1000 ppm)	Mg^{2+}	Chem-Lab. NV (Hazır stok çözelti)
Potasyum Standart Çözeltisi (1000 ppm)	K^{+}	Chem-Lab. NV (Hazır stok çözelti)
Sodyum Standart Çözeltisi (1000 ppm)	Na^{+}	Chem-Lab. NV (Hazır stok çözelti)
Amonyum Standart Çözeltisi (1000 ppm)	NH_4^{+}	0.2964 g susuz amonyum klorür saf suda çözüldü ve 100 mL'ye seyreltildi.
Amonyum Ara Stok Standart Çözeltisi (10 ppm)	NH_4^{+}	Hazırlanan 1000 ppm'lik standart amonyum azotu çözeltisinden 1.0 mL alındı ve 100.0 mL'ye seyreltildi.
Bor Standart Çözeltisi (1000 ppm)	B^{3+}	0.5720 g H_3BO_3 saf suda çözüldü ve 10 mL derişik HNO_3 eklendikten sonra saf su ile 100 mL'ye tamamlandı.

Çizelge 3.4. Deneylerde Kullanılan Çözeltiler ve Hazırlanışı (devam)

Mangan Standart Çözeltisi (1000 ppm)	Mn	0.100 g Mn metali, 10 mL derişik HNO_3 'te çözüldükten sonra saf su ile 100 mL'ye tamamlandı.
Nitrat Standart Çözeltisi (100 ppm)	NO_3^-	0,1631 g susuz potasyum nitrat (KNO_3) distile suda çözüldü ve 1000 ml'ye tamamlandı.
Sülfat Standart Çözeltisi (1000 ppm)	SO_4^{2-}	0,3697 g susuz sodyum sülfat (Na_2SO_4) damıtık suda çözüldü, 250 mL'ye seyreltili ve iyice karıştırıldı.
Sülfat Ara Stok Standart Çözeltisi (100 ppm)	SO_4^{2-}	Hazırlanan standart stok sülfat çözeltisinden 25 mL alınarak 250 mL'ye tamamlandı.
Brusin Sülfanilik Asit Çözeltisi		1.0 g brusin sülfat ve 0.10 g sülfanilik asit 70 mL sıcak damıtık suda çözüldü. 3.0 mL derişik HCl eklenip soğutuldu. 100.0 mL'ye seyreltili.
Nessler Reaktifi		10.0 g cıva (II) iyodür ve 7.0 g potasyum iyodür 40 mL suda çözüldü. 16.0 g sodyum hidroksitin soğutulan çözeltisine yavaşça çalkalayarak ve karıştırılarak eklendi.
Senyet Reaktifi		50.0 g sodyum potasyum tartarat 100.0 mL'ye seyreltili. 20 mL kalana kadar kaynatıldı. 100.0 mL'ye seyreltili.
Şartlandırma Reaktifi		10,0 mL gliserine, 6,0 mL derişik HCl , 60,0 mL damıtık su, 20,0 mL % 95'lik etil alkol veya izopropil alkol ve 15,0 g sodyum klorür karışımı ilave edilir ve iyice karıştırıldı.

3.2. Yöntem

3.2.1. Arazide Yapılan Analizler

Uygun şartlar altında plastik kaplara alınan su örneklerinin pH ve elektriksel iletkenlik parametrelerine arazide numune alınır alınmaz bakıldı ve değerler not edildi.

3.2.2. Titrimetrik Yöntemle Yapılan Tayinler

3.2.2.1. Toplam Alkanite Tayini

Alkanite miktarını belirlenmesinde kullanılan yöntem asit sarfiyatına dayanmaktadır. Bu yöntem ile numunelerdeki toplam alkanite değerleri hesaplandı. Jeotermal sularda toplam alkanite değeri belirleyici olduğundan sadece toplam alkanite değeri hesaplandı ve sonuçlarda yalnızca bu değere yer verildi. Beyaz bant süzgeç kağıdından süzülen 50 mL su numuneleri 250 mL'lik erlenlere aktarıldı. İndikatör olarak kullanılan fenol ftaleyn çözeltisinden 2-3 damla numuneler üzerine eklendi. Daha önceden ayarlanmış olan yaklaşık 0,02 N HCl (ayarlı HCl çözeltisi, üç anlamlı sayı hassaslığında hazırlanmıştır) ile pembe renkten renksiz olana kadar titre edilip hacim kaydedildi. Renksiz olan örneklerin üzerine indikatör olarak kullanılan metil oranj çözeltisinden 2-3 damla eklendi. İndikatör eklenmesinden sonra daha önceden ayarlanmış 0,02 N HCl ile pembe renkte olana kadar titre edilip elde edilen hacim kaydedildi. Örneklerin toplam alkanite değerleri aşağıdaki denklem ile hesaplandı.

Vf: Fenol ftaleynli ortamdaki asit sarfiyatı

Vm: Metil oranjlı ortamdaki asit sarfiyatı

Vt: Toplam Asit sarfiyatı

$$\text{Toplam alkalinite} = \text{ppm CaCO}_3 = \frac{N_{HCl} \cdot V_T (mL) \cdot 50 \cdot 1000 (mL/L)}{V_{Numune} (mL)}$$

CaCO₃'ün eşdeğer kütlesi = 50

Örneğin,

Titrasyonda dönüm noktasına kadar sarf edilen toplam asit miktarı 25 mL olsun. Asidin normalitesi de 0,02 N olsun ve titrasyon için kullanılan numune hacmi de 50 mL olsun. Yukarıda verilen toplam alkalinite formülünde verilen değerler yerine konulduğunda

$$\text{Toplam alkalinite} = \text{ppm CaCO}_3 = \frac{0,02 \cdot 25 \cdot 50 \cdot 1000}{50} = 500 \text{ ppm olarak hesaplanır.}$$

3.2.3. Su Numunelerinin Metal Analizi İçin Hazırlanması

Su numunelerinin metal analizi için hazırlanmasına numuneye ilk olarak derişik nitrik asit çözeltisi eklenerek pH' ın 1.5 - 2.0 aralığına getirilmesiyle başlandı. pH'ı ayarlanarak mikrobiyal faaliyetleri durdurulan su numuneleri analiz edilinceye kadar buzdolabında +4 °C'de muhafaza edildi. Metal analizi yapılmadan önce su numuneleri, mavi süzgeç kâğıdı ile süzülerek analize hazır hale getirildi.

3.2.4. Sediment Numunelerinin Mikrodalga Cihazıyla Çözünürleştirilmesi ve Metal Analizi İçin Hazırlanması

Buzdolabında muhafaza edilen sediment örnekleri ilk olarak 80 °C'ye ayarlanmış etüvde 6 saat boyunca kurutuldu. Bu işlem ile sediment örneklerindeki nemin uzaklaştırılması sağlandı.

Kurutulan örneklerden yaklaşık 0,5 g tartılıp teflon kaplara konuldu. (örnekler dört anlamlı sayı hassaslığında tartıldı.) Teflon kaplara konulan sediment örneklerinin üzerine 9 mL derişik nitrik asit, 3 mL derişik hidroflorik asit ilave edildi. Daha sonra mikrodalga cihazında yapılacak çözündürme işlemi öncesi, reaksiyonların gerçekleşmesi için 30 dakika çeker ocakta bekletildi. Mikrodalga cihazında, numuneler cihaz yazılımında yüklü olan EPA-3052 metoduna göre çözündürme işlemine tabii tutuldu. Teflon kaplardaki numuneler 5.5 dakikada 180 ± 5 °C'ye ısıtıldı ve spesifik tepkimelerin gerçekleşmesi için bu sıcaklıkta 9.5 dakika tutuldu (Method 3052, 1996). Numunelerin cihazda normal sıcaklığa dönmelerinden sonra teflon kaplar cihazdan çıkartıldı ve sediment örnekleri mavi bant süzgeç kâğıdı ile süzüldü. Süzülen çözeltiler 50 mL hacimdeki balon jojelere aktarılıp hacim çizgisine kadar ultra saf su ile tamamlandı. Böylelikle sediment örnekleri metal analizi için hazır hale getirildi.

3.2.5. AAS ile Yapılan Analizler

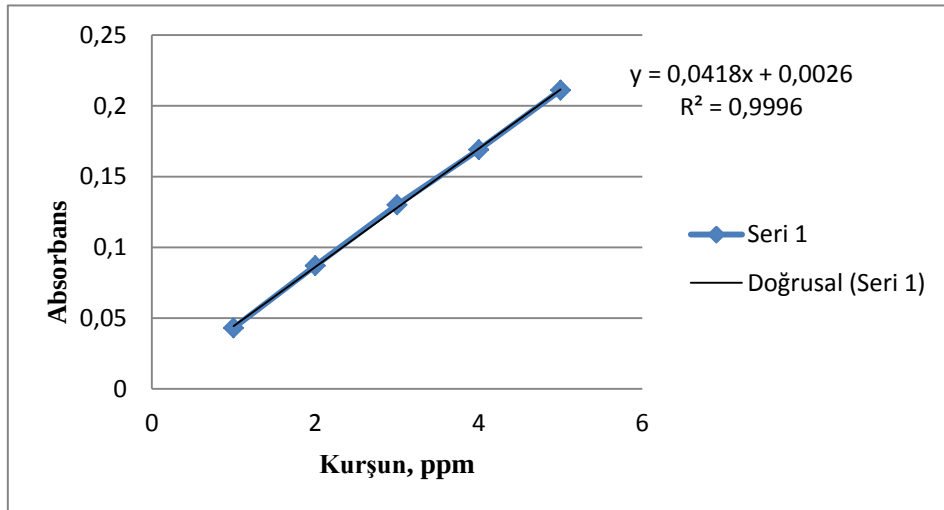
3.2.5.1. Kalibrasyon Grafiklerinin Çizilmesi

Su ve sediment örneklerindeki metallerin derişimlerini belirlemek amacıyla her element için ayrı ayrı kalibrasyon grafiğı oluşturmak için çeşitli denemelerle lineer çalışma aralığı saptandı. Her metal için ayrı ayrı belirlenen lineer çalışma aralığında 1000 ppm'lik hazır alınan stok standart çözeltilerinden 5 farklı derişimde kalibrasyon çözeltileri hazırlandı. Çizelge 3.5'te analizi yapılan

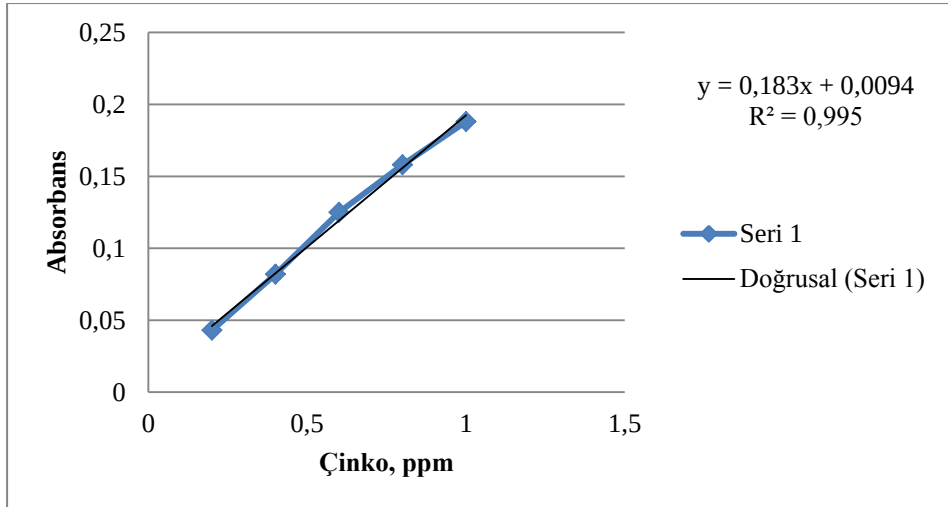
elementlerin tespit edilen lineer kalibrasyon çalışma aralığı ve kalibrasyon çözeltilerinin grafikleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.5. Elementlerin Kalibrasyon Çalışma Aralıkları

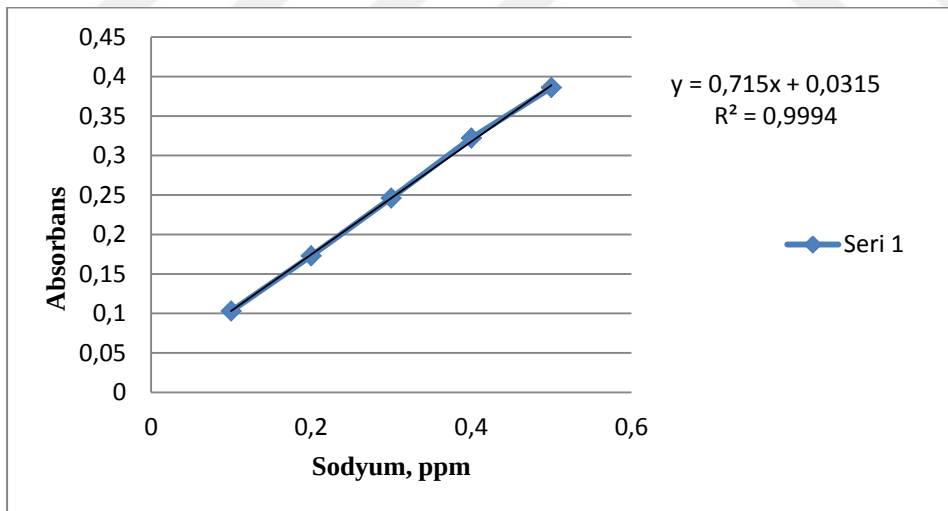
Element	Kalibrasyon Çalışma Aralığı (ppm)
Kurşun	1,0-5,0
Çinko	0,2-1,0
Sodyum	0,1-0,5
Magnezyum	0,1-0,5
Kadmiyum	0,2-0,1
Alüminyum	5,0-25,0
Krom	1,0-5,0
Demir	1,0-5,0
Mangan	0,1-0,9
Kalsiyum	0,1-0,9
Potasyum	1,0-5,0
Bakır	1,0-5,0
Bor	2,0-10,0



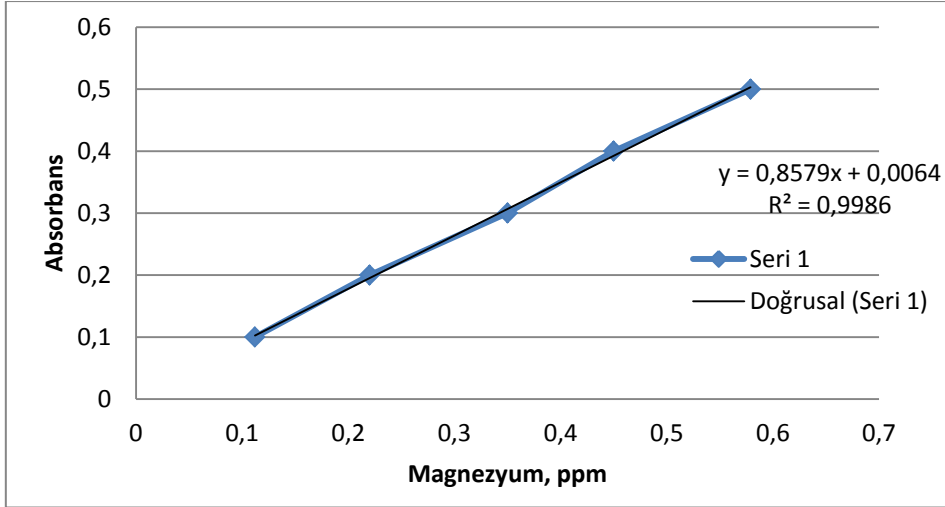
Şekil 3.2. Kurşun için kalibrasyon eğrisi



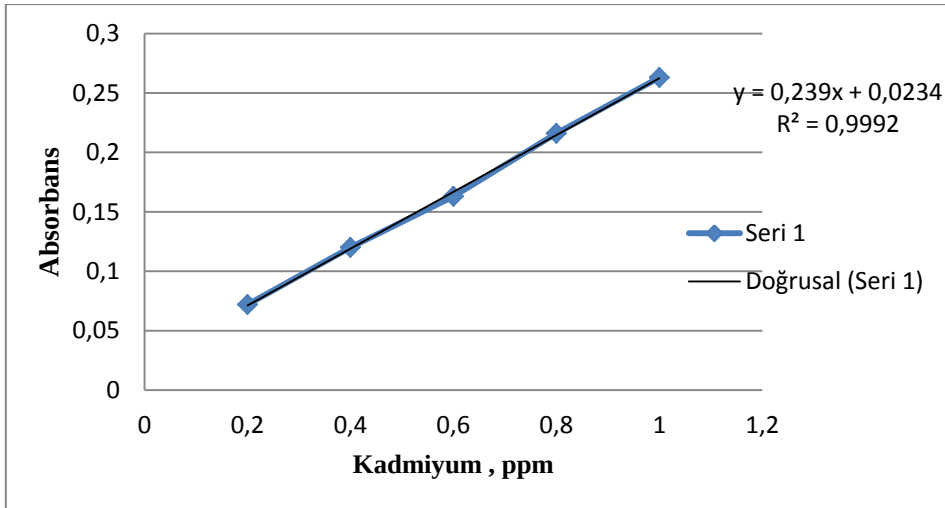
Şekil 3.3. Çinko için kalibrasyon eğrisi



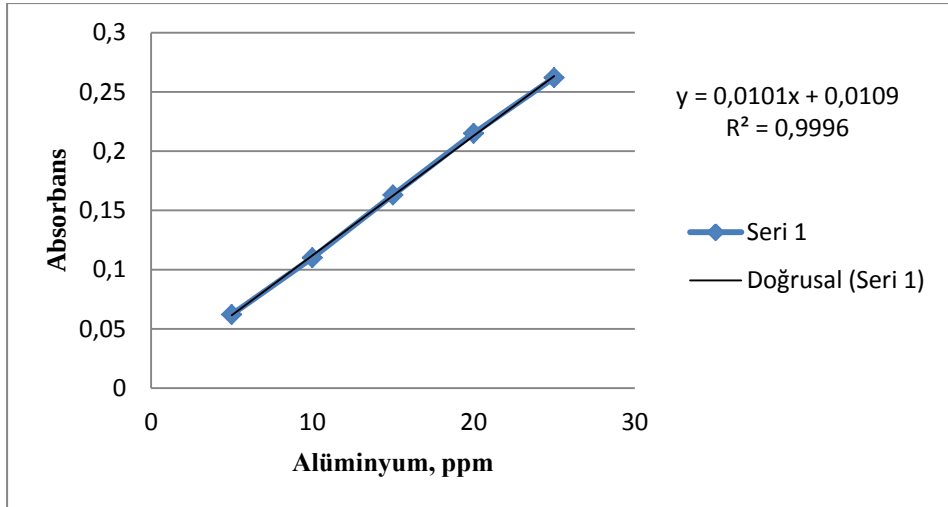
Şekil 3.4. Sodyum için kalibrasyon eğrisi



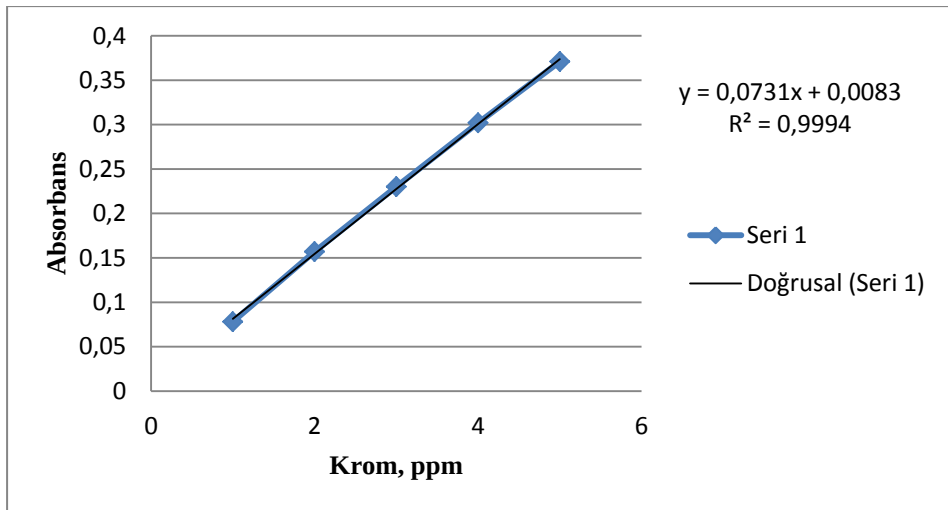
Şekil 3.5. Magnezyum için kalibrasyon eğrisi



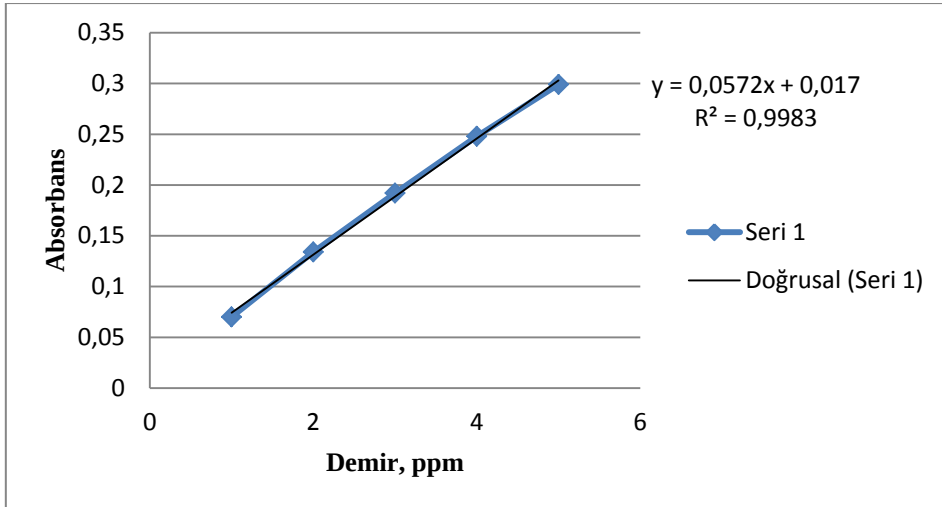
Şekil 3.6. Kadmiyum için kalibrasyon eğrisi



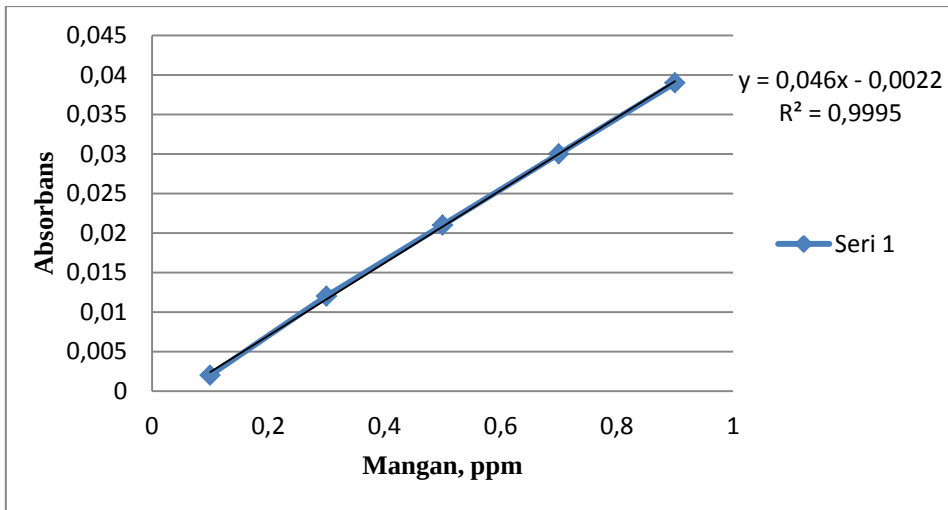
Şekil 3.7. Alüminyum için kalibrasyon eğrisi



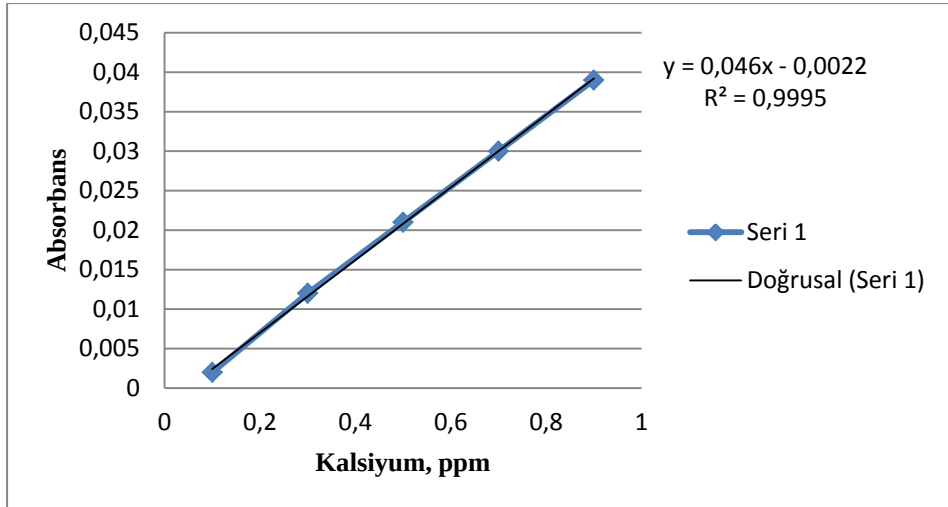
Şekil 3.8. Krom kalibrasyon eğrisi



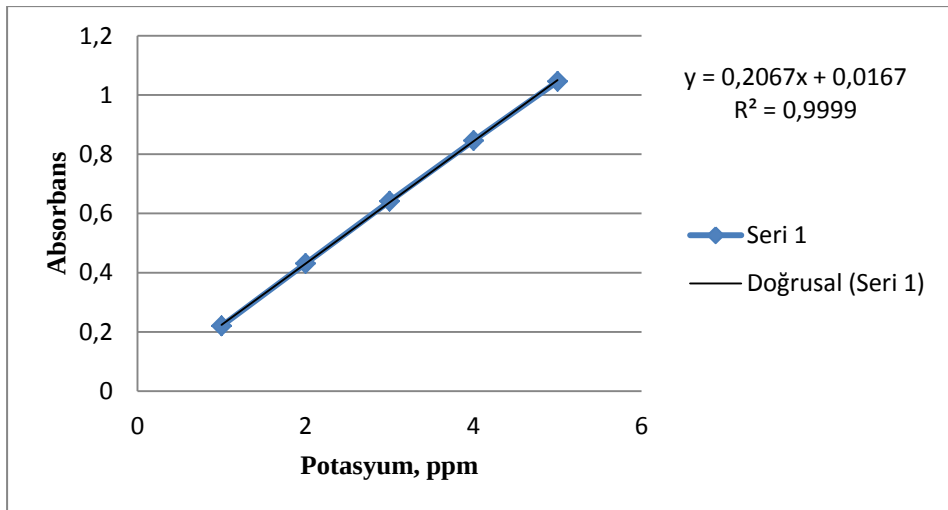
Şekil 3.9. Demir kalibrasyon eğrisi



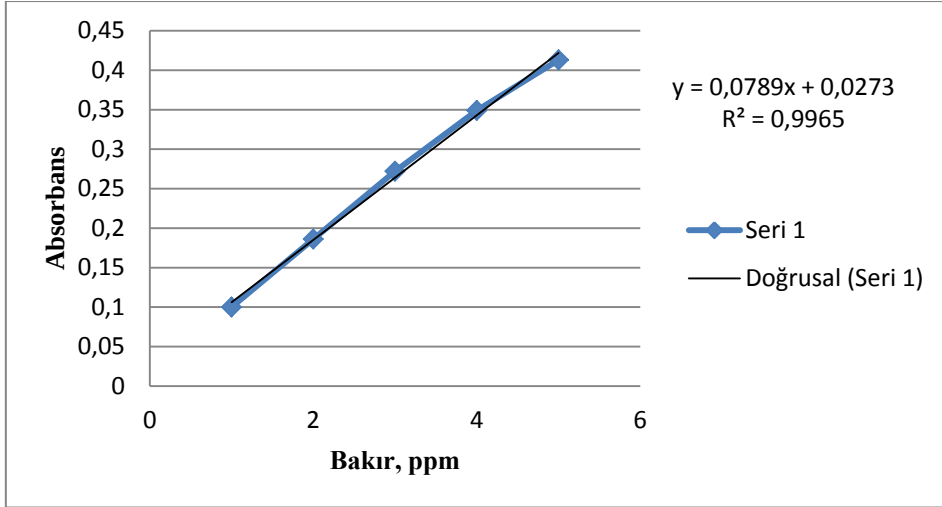
Şekil 3.10. Mangan kalibrasyon eğrisi



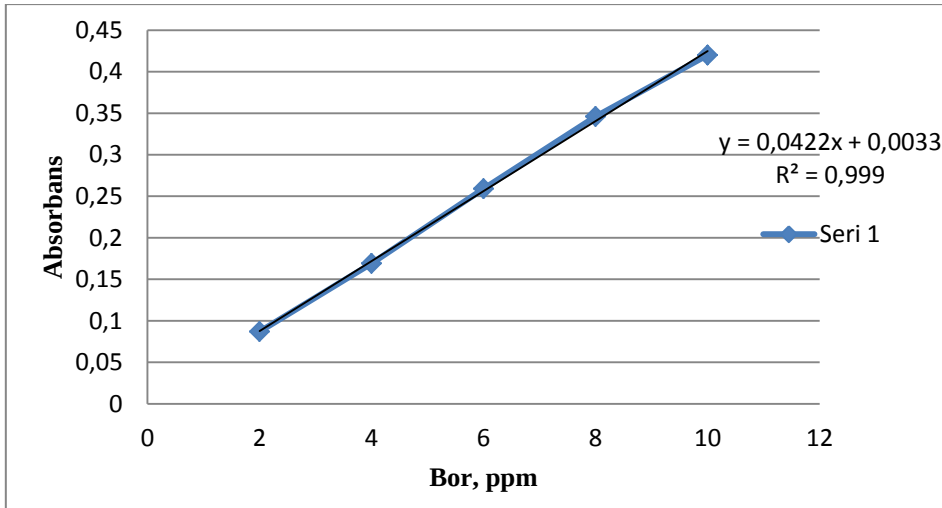
Şekil 3.11. Kalsiyum kalibrasyon eğrisi



Şekil 3.12. Potasyum kalibrasyon eğrisi



Şekil 3.13. Bakır kalibrasyon eğrisi



Şekil 3.14. Bor kalibrasyon eğrisi

3.2.5.2. Numunelerin Analizi

Analize hazırlanan her numune ayrı ayrı üç kez AAS'de okutuldu. Cihazın okuduğu üç ayrı derişim değerlerinin ortalaması not edildi. Derişimleri kalibrasyon grafiğı dışında tespit edilen numunelere seyrelme işlemi yapılmadan önce örneklerdeki metallerin yaklaşık derişimleri AAS ile belirlendi. Elde edilen

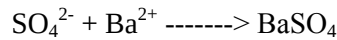
sonuçlara göre örneklerin ne kadar seyreltileceği tespit edildi. Seyrelme işlemi ile kalibrasyon çözeltilerindeki lineer değer aralığında sonuçlar elde etmemiz sağlandı. Elde edilen sonuç ile seyrelme faktörü çarpılarak gerçek sonuca ulaşıldı. Derişimleri kalibrasyon grafiği içinde tespit edilen metallerin yaklaşık derişimleri ise direk olarak not edildi. Kalibrasyon eğrileri çizilen metallerin tayin ve gözlenebilme sınırları hesaplandı. Hesaplanan tayin sınırları ve gözlenebilme sınırları Çizelge 4.1’de yer almaktadır.

3.2.6. UV-Görünür Bölge Spektrofotometresinde Yapılan Tayinler

UV-görünür bölge spektrofotometresinde sülfat, amonyum ve nitrat iyonlarının tayinleri turbidimetrik ve kolorimetrik yöntemleri ile yapıldı.

3.2.6.1. Sülfat tayini

Sülfat tayini için en yaygın kullanılan yöntemler gravimetrik ve turbidimetrik (bulanıklık ölçümü) yöntemlerdir. Bu deneyde turbidimetrik yöntem kullanılmıştır. Turbidimetrik analiz koloidal parçacıklar içeren bulanık bir çözeltinin ışığı saçma özelliğini temel alır. Çözeltinin bulanıklığı ile bu bulanıklığı yaratan maddenin derişimi arasında bir ilişki vardır. Bu ilişki kalibrasyon eğrilerinin hazırlanması ile belirlenir. Suda bulunan sülfat iyonu, suya Ba^{2+} iyonlarının eklenmesi ile asidik koşullarda $BaSO_4$ kristalleri oluşur.



$BaSO_4$ kolloid bir çözelti oluşturur. Suda ne kadar çok SO_4^{2-} iyonu varsa, Ba^{2+} eklenmesinden sonra ($BaCl_2$ şeklinde) o kadar fazla bulanıklık oluşur (EÜ, 2013). Deneyde kullanılan çözeltilerin hazırlanışları aşağıda verilmiştir.

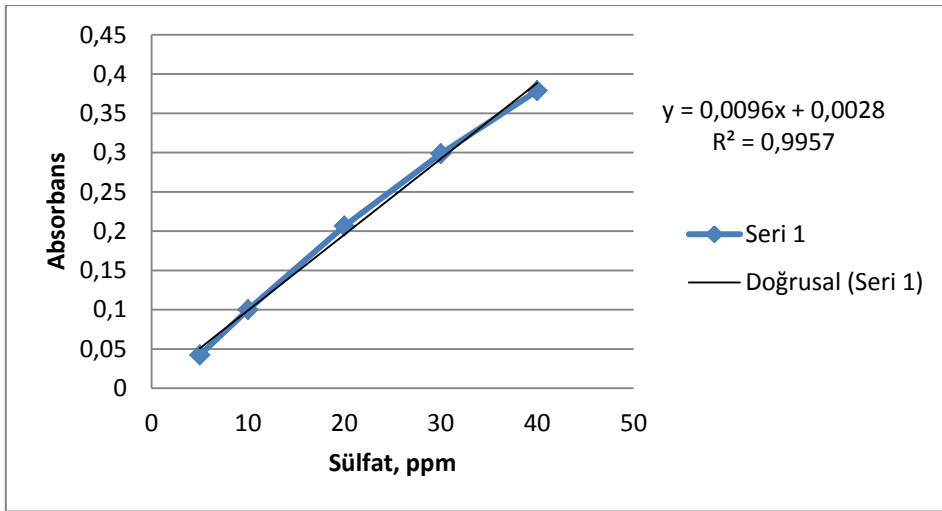
Stok Sülfat Standart Çözeltisi (1000 ppm)= 0,3697 g susuz sodyum sülfat (Na_2SO_4) damıtık suda çözüldü, 250 mL’ye seyreltildi ve iyice karıştırıldı.

Ara Stok Sülfat Standart Çözeltisi (100 ppm)= Hazırlanan standart stok sülfat çözeltisinden 25 mL alınarak 250 mL’ye tamamlandı.

Şartlandırma Reaktifi= 10,0 mL gliserine, 6,0 mL derişik HCl , 60,0 mL damıtık su, 20,0 mL % 95’lik etil alkol veya izopropil alkol ve 15,0 g sodyum klorür karışımı ilave edildi ve iyice karıştırıldı.

Kör Çözelti Hazırlanışı: 50 mL’lik saf su üzerine 5 mL kondisyonlama reaktifi (koruyucu çözelti; yardımcı çözelti) ve 0,2 g BaCl_2 kristali eklenerek 1 dakika boyunca iyice karıştırılırdı.

Kalibrasyon Grafiğinin Çizilmesi: Kalibrasyon grafiğinin oluşturulabilmesi için hazırlanan 1000 ppm’lik standart sülfat çözeltisinden 100 ppm’lik ara stok standart sülfat çözeltisi hazırlandı. Kalibrasyon eğrisinin hazırlanması için, 1 kör çözelti ve 5 tane standarda gerek vardır. Kör çözelti, stok standart çözelti hariç diğer kimyasalların konulmasıyla hazırlanan çözeltidir. Hazırlanan ara stok standart sülfat çözeltisinden 5,0 – 40,0 ppm aralığında derişimi belli olan 5 tane standart sülfat çözeltisi ve bu çözeltilerden bağımsız olan 1 tane kör çözelti 50 mL’lik balon jojelerde hazırlandı. İlk önce hazırlanan kör çözeltiyle spektrofotometre cihazında 420 nm’de sıfırlama ayarı yapıldı. Daha sonra 5,0-40,0 ppm arasında hazırlanan standart çözeltilerin her birine sırayla önce en düşük standardın üzerinden başlayarak 5 mL şartlandırma reaktifi eklendi. Manyetik karıştırıcıda karıştırma esnasında, 0,2 g BaCl_2 kristali eklendi. Sabit hızda 1 dakika karıştırıldı. Spektrofotometrede 420 nm dalga boyunda okunan absorbanslar kaydedildi. Karıştırma sonunda spektrofotometrede okuma 5 ± 0.5 dakikada tamamlandı ve aşağıda Şekil 3.15’te verilen kalibrasyon grafiği çizildi.



Şekil 3.15. Turbidimetrik metotla tayin edilen sülfat iyonuna ait kalibrasyon eğrisi

Numune Analizlerinin Yapılması: Numunenin 50,0 mL’si veya 50,0 mL’ye seyreltilmiş bir kısmı 100 mL’lik bir behere aktarıldı. 5,0 mL şartlandırma reaktifi

ve 0,20 g BaCl_2 kristali eklendi. Yaklaşık 1 dakika karıştırıldı. Karıştırma işleminin hemen arkasından 420 nm dalga boyunda absorbansı ölçüldü. Hazırlanan kalibrasyon doğrusundan numunedeki sülfat derişimi hesaplandı. Numunelerin eylül, ocak ve mayıs aylarında ölçülen sülfat derişimleri Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

3.2.6.2. Amonyum tayini

Spektrofotometrik amonyum tayini, nessler çözeltisi içindeki tetraiyodomerkurat'ın amonyumla oluşturduğu kırmızı-kahverengi renkli kompleksin 420 nm dalga boyunda UV -Vis spektrofotometrede absorbansının okunması esasına dayanır. Deneyde kullanılan çözeltilerin hazırlanışı aşağıda verilmiştir.

Stok Amonyum Klorür Standart Çözeltisi (1000 ppm): 0,3819 g susuz amonyum klorür saf suda çözüldü ve 100 mL'ye seyreltilti.

Stok Amonyum Klorür Ara Stok Standart Çözeltisi (10 ppm): Hazırlanan 1000 ppm'lik standart stok amonyum klorür çözeltisinden 1,0 mL alındı ve 100,0 mL'ye seyreltilti.

Senyet Reaktifi: 50,0 g sodyum potasyum tartarat 100,0 mL'ye seyreltilti. 20 mL kalana kadar kaynatıldı. 100,0 mL'ye seyreltilti.

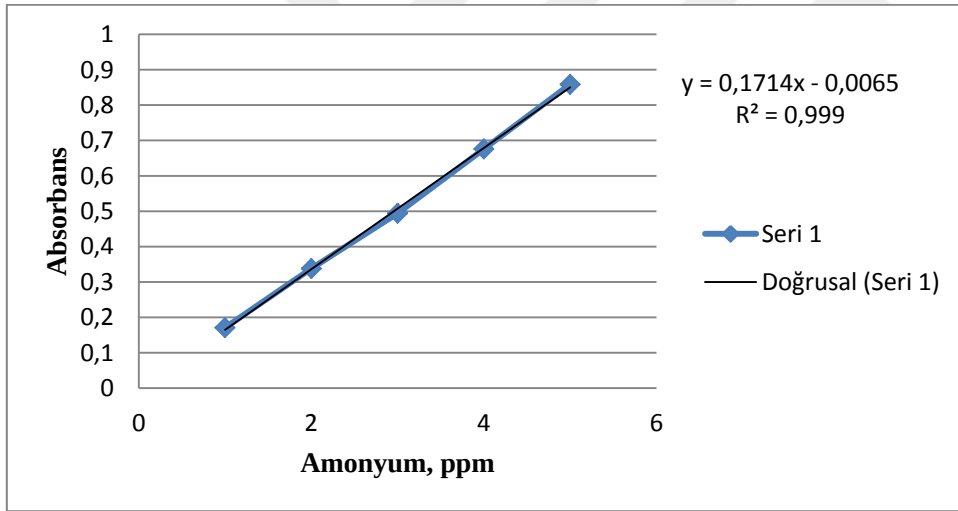
Nessler reaktifi: Potasyum tetraiyodo merkuratin, K_2HgI_4 , alkali çözeltisidir. 10,0 g cıva (II) iyodür ve 7,0 g potasyum iyodür 40 mL suda çözüldü. 16,0 g sodyum hidroksitin soğutulan çözeltisine yavaşça çalkalayarak ve karıştırılarak eklendi. Damıtık su ile 50,0 mL'ye seyreltilti. Soluk sarı renkte bir çözeltidir.

EDTA çözeltisi: 25,0 g disodyum EDTA 5,0 g NaOH içeren 50 mL suda çözüldü. 100,0 mL'ye seyreltilti.

Kör çözelti hazırlanışı: 50 mL saf su üzerine 2,0 mL senyet reaktifi ve 0,10 mL Na_2EDTA çözeltisi eklendi ve iyice çalkalandıktan sonra 2,0 mL Nessler reaktifi eklenip 10 dakika beklendi.

Kalibrasyon grafiğinin çizilmesi: Kalibrasyon grafiğinin hazırlanabilmesi için önce hazırlanan 1000 ppm'lik stok standart amonyum klorür çözeltisinden 10

ppm'lik standart ara stok amonyum klorür çözeltisi hazırlandı. Hazırlanan standart ara stok amonyum klorür çözeltisinden 1,0 – 5,0 ppm amonyum içeren 50,0 mL standart çözeltiler ve 1 tane kör çözelti hazırlandı. İlk önce UV spektrofotometresinde 420 nm dalga boyunda kör çözeltinin absorbansı sıfıra ayarlandı. Daha sonra 1,0-5,0 ppm arasında hazırlanan standart çözeltilerin her birine 2,0 mL senyet reaktifi, 0,10 mL Na₂EDTA çözeltisi eklendi ve iyice çalkalandıktan sonra 2,0 mL nessler reaktifi eklenip renk değişimi için 10 dakika beklendi. UV spektrofotometresinde 420 nm dalga boyunda absorbanslar ölçüldü. Amonyum derişimine karşı absorbans grafiğı çizildi. Kalibrasyon grafiğı Şekil 3.16'de verilmiştir.



Şekil 3.16. Nessler metodu ile tayin edilen amonyum iyonuna ait kalibrasyon eğrisi

Numune Analizlerinin Yapılması: 50,0 mL ya da 50,0 mL'ye seyreltilmiş numune bir behere aktarıldı. 2,0 mL senyet reaktifi ve 0,10 mL Na₂EDTA çözeltisi eklenir ve iyice çalkalandı. 2,0 mL Nessler reaktifi eklenir ve renk gelişimi için 10 dakika beklendi ve UV spektrofotometresinde 420 nm dalga boyunda numunenin absorbansı ölçüldü. Hazırlanan kalibrasyon grafiğinden numunedeki amonyum derişimi hesaplandı. Numunelerin eylül, ocak ve mayıs aylarında ölçülen amonyum derişimleri Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

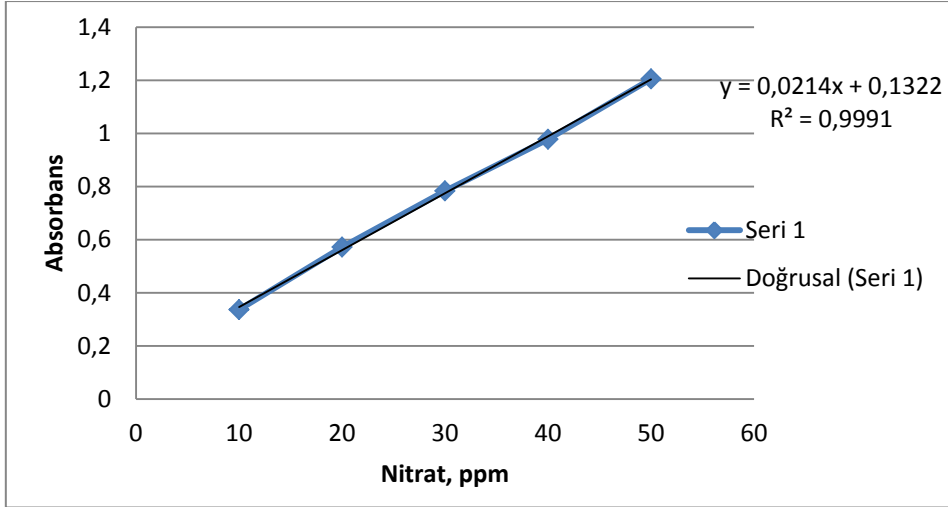
3.2.6.3. Nitrat tayini

Spektrofotometrik nitrat tayini, brucine ve nitrat arasındaki reaksiyonda meydana gelen sarı rengin kolorimetrik tayinine dayanır. Renk oluşumu, reaksiyon sırasında açığa çıkan sıcaklıktan etkilenir. Sıcaklık ve zaman kontrolü önem taşır. Bu yüzden analiz kademeleri dikkatlice uygulanmıştır. Deneyde kullanılan çözeltilerin hazırlanışı aşağıda verilmiştir.

Brusin Sülfanilik Asit Çözeltisi= 1,0 g brusin sülfat ve 0,10 g sülfanilik asit 70 mL sıcak damıtık suda çözüldü. 3,0 mL derişik HC1 eklenip soğutuldu. 100,0 mL'ye seyreltili.

Kör Çözeltinin Hazırlanışı: 2,0 mL saf suyun üzerine 1,0 mL brusin sülfanilik asit çözeltisi eklendi. Karışımın üzerine 10,0 mL derişik H₂SO₄ eklenip karıştırıldı. Çözelti 10 dakika bekletildi. 10 dakika sonra üzerine 10,0 mL saf su ilave edildi ve yine 10 dakika bekletildi.

Kalibrasyon grafiğinin çizilmesi: Kalibrasyon grafiğinin hazırlanabilmesi için ilk önce hazırlanan 100 ppm'lik standart stok nitrat çözeltisinden 10,0 - 50,0 ppm aralığında standart çözeltiler ve 1 tane kör çözelti hazırlandı. İlk önce UV - spektrofotometresinde 410 nm dalga boyunda kör çözeltinin absorbanı sıfıra ayarlandı. 10,0 - 30,0 ppm aralığında nitrat içeren standartların 2,0 mL'si 100 mL'lik erlenlere aktandı. Üzerine 1,0 mL brusin sülfanilik asit çözeltisi eklendi. Karışımın üzerine 10,0 mL derişik H₂SO₄ eklenip karıştırıldı. Çözeltiler 10 dakika bekletildi. 10 dakika sonra üzerine 10,0 mL damıtık su ilave edildi ve tekrar 10 dakika bekletildi. UV - spektrofotometresinde 410 nm dalga boyunda absorbanlar ölçüldü. Nitrat derişimine karşı absorban grafiğı çizildi. Çizilen kalibrasyon grafiğı Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17. Brusin metodu ile tayin edilen nitrat iyonuna ait kalibrasyon eğrisi

Numune Analizlerinin Yapılması: Standart çözeltilerinde olduğu gibi her numuneden 2,0 mL alınıp 100 mL'lik erlenlere aktarıldı. Üzerine 1,0 mL brusin sülfanilik asit çözeltisi eklendi. Karışımın üzerine 10,0 mL derişik H_2SO_4 eklenip karıştırıldı. Çözeltiler 10 dakika bekletildi. 10 dakika sonra üzerine 10,0 mL damıtık su ilave edildi ve yine 10 dakika bekletildi. UV - spektrofotometresinde 410 nm dalga boyunda numunelerin absorbansı ölçüldü ve hazırlanan kalibrasyon grafiğinden numunedeki nitrat derişimi hesaplandı. Numunelerin eylül, ocak ve mayıs aylarında ölçülen nitrat derişimleri Çizelge 4.2, 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulgular

4.1.1. Analizleri Yapılan Parametrelerin Sonuçları ve Hesaplanması

Yaptığımız çalışma kapsamında Büyük Menderes Nehri'nin su kalitesinin belirlenmesinde kullanılan parametreler, su kirliliğine neden olabilecek jeotermal atık su ve sedimentler incelendi. Su kirliliği yaratabilecek on üç tane metalin analizi gerçekleştirildi. Ayrıca spektrofotometrik ve titrimetrik yöntemlerle de başka kirlilik parametreleri de incelendi. Bölgenin çeşitli özellikleri dikkate alınarak yedi farklı istasyon seçildi.

Her bir istasyondan çeşitli zaman dilimlerinde (Eylül-Ocak-Mayıs) su ve sediment numuneleri alındı. Alınan her bir numune analize hazır hale getirildikten sonra AAS ve UV-Vis cihazında ayrı ayrı üç kere okutuldu. Her element için elde edilen üç ayrı derişimin ortalaması alınarak standart sapmaları hesaplandı. Numunelerin standart sapmaları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. Ayrıca numunelerdeki ağır metal derişimlerini belirlemek için oluşturulan kalibrasyon grafiklerinden her element için ayrı ayrı gözlenebilme ve tayin sınırı hesaplandı.

4.1.2. Numunelerin SAR Değerlerinin Hesaplanması

Sodyum absorpsiyon değeri aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}{2}}}$$

Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , iyonlarının derişimleri meq/L cinsinden hesaplanıp elde edilen veriler formülde yerine koyulursa SAR değeri hesaplanır.

Örneğin, analizlenen sodyum iyonunun derişimi 467,77 ppm, kalsiyum iyonunun derişimi 408,57 ppm, magnezyum iyonunun derişimi ise 150,13 ppm olsun. SAR değerinin hesaplanması için formülde belirtilen iyonların derişimleri meq/L cinsinden hesaplanmalıdır. Bunun için aşağıdaki eşitlik kullanılır,

$$mg/L (ppm) = meq/L \cdot eşdeğer kütle$$

$$eşdeğer kütle (element) = Atom kütlesi / Değerlik$$

[Na⁺] iyonunun değeri +1 olduğu için eşdeğer kütlesi atom kütlesine eşittir. Sodyum iyonunun atom kütlesi 23 g/mol'dür. Dolayısıyla formülde yerine koyacak olursak,

$$467,77 \text{ mg/L} = ? \text{ meq/L} \cdot 23 \text{ ise}$$

Sodyum iyonunun derişiminin meq/L cinsinden değeri 20,34 meq/L olarak hesaplanır.

[Ca²⁺] iyonunun değeri +2 olduğundan eşdeğer kütlesi atom kütlesinin yarısına eşittir. Kalsiyum iyonunun atom kütlesi 40 g/mol'dür. Dolayısıyla kalsiyum iyonunun eşdeğer kütlesi 20 olarak hesaplanır.

$$408,57 \text{ mg/L} = ? \text{ meq/L} \cdot 20$$

Kalsiyum iyonunun derişiminin meq/L cinsinden değeri 20,43 olarak hesaplanır.

[Mg²⁺] iyonunun değeri +2 olduğundan eşdeğer kütlesi atom kütlesinin yarısına eşittir. Magnezyum iyonunun atom kütlesi 24 g/mol olduğundan eşdeğer kütlesi 12'ye eşittir.

$$150,13 \text{ mg/L} = ? \text{ meq/L} \cdot 12$$

Magnezyum iyonunun derişiminin meq/L cinsinden değeri 12,51 olarak hesaplanır.

SAR değeri hesaplama formülünde hesaplanan derişimler yerine yazılacak olursa,

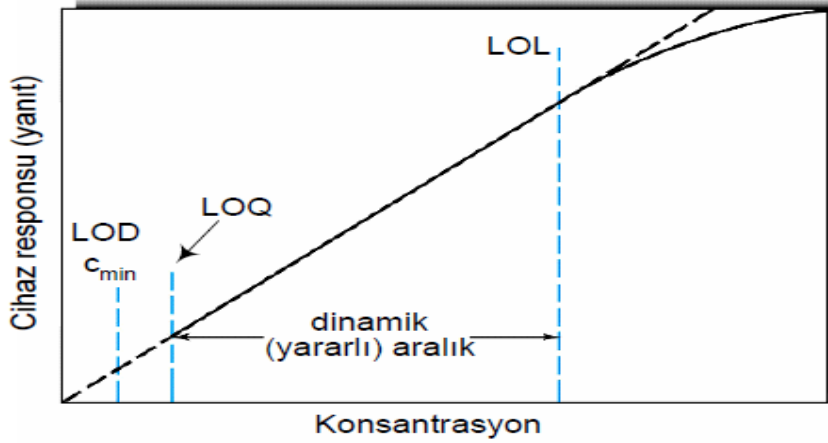
$$\text{SAR} = \frac{23,34}{\sqrt{\frac{20,43 + 12,52}{2}}} = 5,01 \text{ olarak hesaplanır.}$$

4.1.3. Yapılan Analizlerin Tayin ve Gözlenebilme Sınırlarının Hesaplanması ve Değerleri

LOL: Doğrusal Yanıt Sınırı (Limit of Linear Response): Bir enstrüman dedektörünün doygunluk noktasıdır; bu noktadan sonra sinyalde doğrusal bir respons üretemez.

LOD: Gözlenebilme sınırı (Limit of detection): Zemin gürültüsünden farklı olarak tespit edilen fakat miktarı belirlenemeyen en küçük analit derişimidir. Tipik olarak S/N (sinyal/gürültü)'nün 3 katıdır; gürültünün standart sapmasına dayanır.

LOQ: Tayin sınırı (Limit of quantification): Uygulanan test koşulları altında, kabul edilebilir hassasiyet (tekrarlanabilirlik) ve doğrulukla tayin edilebilen en düşük analit konsantrasyonudur. Tipik olarak S/N'nün 10 katıdır.



Şekil 4.1. Bir kalibrasyon eğrisi grafiği; cihaz yanıtı-konsantrasyon değişimi

Örneğin, excel veri çözümleme regrasyon metoduyla hesapladığımız $S_{y/x}$: y eksenindeki standart hata (regrasyon istatistikleri standart hata) 0,0070 olsun, Kalibrasyon grafiğinin eğimi (m) : 0,5571 olsun, kesim noktası ise 0,0078 olsun

Gözlenebilme sınırı: $C_{LOD} = 3 \cdot S_{y/x} / m$ formülünde verilen değerleri yerine koyarsak,

$C_{LOD} = 3 \times 0,0070 / 0,5571 = 0,04$ birim (ppm, ppb..vs.) olarak hesaplanır.

Tayin sınırı: $C_{LOQ} = 10 \cdot S_{y/x} / m$ formülünde verilen değerleri yerine koyarsak,

$C_{LOQ} = 10 \cdot 0,0070 / 0,5571 = 0,13$ birim (ppm, ppb..vs.) olarak hesaplanır.

Hesaplanan gözlenebilme ve tayin sınırları Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Yapılan analizlerin tayin ve gözlenebilme sınırları

Metaller, ppm	Gözlenebilme Sınırı (LOD), ppm	Tayin Sınırı (LOQ), ppm
Pb	0,11	0,35
Zn	0,08	0,22
Na	0,21	0,72
Mg	0,02	0,07
Cd	0,04	0,15
Al	1,18	3,94
Cr	0,50	0,68
Fe	0,34	1,12
Mn	0,10	0,35
Ca	0,04	0,13
K	0,08	0,26
Cu	0,44	1,45
B	0,31	1,02
NH ₄ ⁺	0,45	1,50
NO ₃ ⁻	5,42	18,08
SO ₄ ²⁻	4,30	14,35

4.1.4. Numunelerin Analiz Sonuçları ve Standart Sapma Değerleri

Çizelge 4.2 ve 4.7 arasında numunelerin derişimi ve standart sapma değerleri verilmiştir. Metal analizi ve spektrofotometrik deney sonuçları ppm cinsinden verilmiş olup SAR değeri meq/L, elektriksel iletkenlik değeri ise $\mu\text{S}/\text{cm}$ cinsinden ifade edilmiştir.

Çizelge 4.2. Eylül ayında alınan su numunesi analiz sonuçları (n=3)

İstasyonlar/ ölçülen(ppm)	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon		5.İstasyon		6. İstasyon		7. İstasyon	
	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD
pH	7,06	±0,01	7.54	±0,03	7.90	±0,02	8.25	±0,03	8.59	±0,06	8.28	±0,00	9.43	±0,03
İletkenlik μS/cm	3170	±9,51	2950	±14,75	4150	±4,15	781	±2,34	3790	±22,74	2110	±2,11	2690	±5,38
Toplam Alkalinite	715	±1,43	550	±4,4	645	±7,74	291,3	±4,37	1030,5	±9,27	1612,4	±19,35	1006,6	±5,03
Pb	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Zn	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Na	467,77	±4,21	277.87	±0,28	1070,2	±3,21	146.80	±0,15	237,19	±0,47	252,45	±0,76	524,52	±0,53
Mg	150,13	±0,45	343,40	±0,69	8,45	±0,02	40,79	±0,08	85,62	±0,34	7,90	±0,01	11,99	±0,01
Cd	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Al	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		7,04	±0,08	T.E	
Cr	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Fe	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		2,67		T.E	
Mn	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Ca	408,57	±2,04	376,90	±0,38	49,07	±0,3	79,68	±0,64	107,22	±0,86	46,29	±0,05	35,87	±0,47
K	49,09	±0,25	23,99	±0,8	78,53	±0,79	5,69	±0,03	104,90	±0,11	16,72	±0,07	57,38	±0,12
Cu	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
B	2,30	±0,02	2,42	±0,19	3,2	±0,04	0,65	±0,01	4,78	±0,06	4,35	±0,09	3,90	±0,04
SO ₄ ²⁻	46,51	±0,26	33,72	±0,34	36,61	±0,45	69,65	±0,55	78,37	±0,98	80,32	±1,9	85,51	±1,62
NO ₃ ⁻	9,59	±0,84	8,89	±0,56	8,02	±0,79	T.E		T.E	±0,55	6,75	±0,95	T.E	±1,55
NH ₄ ⁺	3,87	±0,76	1,73	±0,43	13,53	±0,97	0,56	±0,24	1,56	±0,78	42,06	±0,67	18,83	±1,74
SAR, meq/L	5,01	±0,00	4,48	±0,00	37,04	±0,15	3,32	±0,00	4,13	±0,00	9,00	±0,03	19,30	±0,02

T.E: Tayin edilemedi. STD: Standart Sapma

Çizelge 4.3. Ocak ayında alınan su numunelerinin analiz sonuçları. (n=3)

İstasyonlar / ölçülen (ppm)	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon		5.İstasyon		6. İstasyon		7. İstasyon	
	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD
pH	6,65	±0,03	8,03	±0,01	8,25	±0,03	8,40	±0,04	8,99	±0,02	8,52	±0,01	9,84	±0,03
İletkenlik $\mu\text{S}/\text{cm}$	3170	±3,17	3560	±10,68	4040	±8,08	900	±0,9	2100	±6,3	2010	±2,01	2060	±8,24
Toplam Alkalinite	760	±9,12	633	±8,23	680	±6,8	333	±6,66	1400,5	±14,01	1800,5	±23,41	1200,3	±20,41
Pb	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Zn	T.E		0,12	0,00	T.E		0,23	0,00	0,12	0,00	0,19	±0,00	0,09	±0,00
Na	583,91	±4,08	632,32	±2,53	662,09	±4,64	112,81	±0,9	819,52	±10,65	141,64	±0,57	809,88	±5,67
Mg	96,54	±0,29	154,26	±0,16	10,60	±0,04	46,16	±0,09	40,42	±0,04	5,48	±0,02	36,07	±0,11
Cd	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Al	T.E		T.E		T.E		T.E		1,99		T.E		T.E	
Cr	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Fe	0,39	±0,00	T.E		T.E		T.E		4,22	±0,02	0,89	±0,01	2,50	±0,01
Mn	T.E		T.E		T.E		T.E		0,4237	±0,00	T.E		0,29	±0,00
Ca	361,29	±2,17	167,29	±1,67	41,59	±0,67	184,86	±2,03	193,52	±0,19	93,02	±1,77	130,41	±1,17
K	76,57	±0,23	50,26	±0,05	141,03	±0,71	6,55	±0,02	57,99	±0,06	6,90	±0,04	27,28	±0,08
Cu	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
B	2,04	±0,01	1,95	±0,01	2,54	±0,02	0,32	±0,00	4,03	±0,06	3,95	±0,06	3,5	±0,06
SO_4^{2-}	50	±1,59	40	±1,95	50	±1,87	76	±1,98	250	±2,75	400	±2,50	350	±2,96
NO_3^-	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		6,34	±1,7	0,29	±0,63
NH_4^+	8,34	±0,53	3,97	±0,86	7,67	±1,23	0,34	±0,45	1,06	±1,95	48,60	±1,58	6,78	±0,98
SAR, meq/L	6,77	±0,01	8,44	±0,02	13,95	±0,07	1,92	±0,00	23,65	±0,07	3,85	±0,00	16,14	±0,07

T.E.: Tayin edilemedi. STD: Standart Sapma

Çizelge 4.4. Mayıs ayında alınan su numunelerinin analiz sonuçları. (n=3)

İstasyonlar/ ölçülen (ppm)	1. İstasyon		2. İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon		5. İstasyon		6. İstasyon		7. İstasyon	
	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD
pH	8,64	±0,01	9,03	±0,01	9,00	±0,02	9,20	±0,04	10,58	±0,02	10,01	±0,03	10,14	±0,01
İletkenlik µS/cm	3000	±6,01	2800	±2,8	3070	±12,28	250	±0,25	1800	±5,4	1300	±5,2	1040	±3,12
Toplam Alkalinite	890,9	±10,69	750,7	±11,26	700,3	±7,00	467,6	±6,08	1500,9	±24,01	1957,7	±23,49	1475,8	±25,09
Pb	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Zn	3,27	±0,01	0,49	±0,00	0,29	±0,00	0,11	±0,00	T.E		T.E		T.E	
Na	752,39	±15,05	209,56	±2,93	1453,78	±11,63	119,29	±0,40	1679,99	±16,80	433,67	±8,67	616,85	±6,79
Mg	100,33	±0,50	159,32	±0,32	6,66	±0,04	33,41	±0,20	0,39	±0,00	2,46	±0,27	18,01	±0,04
Cd	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Al	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Cr	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Fe	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Mn	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Ca	372,89	±4,10	242,38	±0,24	76,85	±0,69	167,94	±0,67	25,36	±0,25	24,84	±0,28	36,52	±0,11
K	47,34	±0,24	10,84	±0,04	110,09	±0,55	8,93	±0,05	127,85	±0,38	10,56	±0,05	32,07	±0,10
Cu	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
B	2,64	±0,01	2,83	±0,02	3,67	±0,05	0,74	±0,00	5,09	±0,08	5,20	±0,06	4,23	±0,08
SO ₄ ²⁻	54	±2,89	102	±3,76	85,16	±3,25	33,22	±2,25	300	±4,75	400	±3,67	380	±3,03
NO ₃ ⁻	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		4,51	±0,56	0,28	±0,13
NH ₄ ⁺	13,48	±1,79	2,62	±1,25	7,39	±1,86	0,64	±0,46	3,34	±0,66	37,27	±1,89	14,39	±0,87
SAR, meq/L	8,90	±0,02	2,56	±0,00	42,63	±0,17	2,19	±0,00	53,14	±0,11	22,17	±0,04	28,80	±0,17

T.E: Tayin edilemedi. STD: Standart Sapma

Çizelge 4.5. Eylöl ayında alınan sediment numunelerinin analiz sonuçları (n=3)

İstasyonlar/ ölçülen (ppm)	1. İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon		5. İstasyon		6. İstasyon		7. İstasyon	
	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD
Cr	62,62	±0,5	28,48	±0,37	46,65	±0,19	51,55	±0,72	70,81	±0,21	65,09	±0,91
Fe	8484,75	±50,91	2217,67	±6,65	8012,51	±56,09	5340,1	±21,36	8504,85	±34,02	8975,23	±26,93
Mn	305,39	±1,53	200,64	±1,61	371,65	±0,74	414,71	±1,66	384,52	±1,15	487,58	±1,46
Cu	7,55	±0,05	5,38	±0,04	T.E		23,53	±0,16	12,37	±0,14	22,77	±0,32
Zn	46,33	±0,19	54,78	±0,82	1000,47	±15,01	57,62	±0,23	55,30	±0,33	71,77	±0,36
Al	10724,81	±193,05	2666,86	±45,34	2000,34	±28,01	5211,78	±62,54	5222,43	±62,67	6262,17	±125,24
Cd	0,62	±0,00	3,94	±0,02	T.E		1,05	±0,00	0,63	±0,01	0,80	±0,01
Pb	39,71	±0,32	31,50	±0,32	65,86	±0,46	35,81	±0,25	40,86	±0,29	38,10	±0,08
B	2,12	±0,56	1,5	±0,78	T.E		2,87	±0,43	3,14	±0,89	3,02	±0,95

T.E: Tayin edilemedi. STD: Standart Sapma

Çizelge 4.6. Ocak ayında alınan sediment numunelerinin analiz sonuçları (n=3)

İstasyonlar/ ölçülen (ppm)	1. İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon		5. İstasyon		6. İstasyon		7. İstasyon	
	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD
Cr	46,37	±0,16	27,85	±0,17	47,22	0,28	46,47	±0,09	41,01	±0,12	38,04	±0,57
Fe	4454,55	±57,91	2117,79	±8,47	6438,29	6,44	3897,58	±11,69	8297,99	±49,79	6569,413	±39,42
Mn	960,56	±2,88	74,34	±0,22	417,81	2,92	381,57	±0,76	307,30	±1,54	314,88	±0,63
Cu	21,16	±0,15	T.E		1,57	0,00	5,46	±0,02	T.E		T.E	
Zn	60,89	±0,12	53,21	±0,21	60,72	0,36	4734,28	±94,69	4076,20	±44,84	320,31	±3,52
Al	11225,70	±33,68	1800,09	±9,00	2500,56	15,00	8600,76	±25,80	7452,61	±29,81	8762,87	±78,87
Cd	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Pb	28,99	±0,15	18,71	±0,26	22,70	0,25	85,87	±0,60	79,72	±0,56	27,09	±0,30
B	2,1	±0,45	1,3	±0,58	T.E		2,34	±0,87	2,56	±0,79	2,16	±1,02

T.E: Tayin edilemedi. STD: Standart Sapma

Çizelge 4.7. Mayıs ayında alınan sediment numunelerinin analiz sonuçları (n=3)

İstasyonlar/ ölçülen (ppm)	1. İstasyon		3. İstasyon		4. İstasyon		5. İstasyon		6. İstasyon		7. İstasyon	
	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	STD	Değer	%RSD
Cr	54,28	±0,11	12,8	±0,04	119,54	±0,12	83,44	±0,17	22,04	±0,09	88,54	±0,18
Fe	4850,72	±4,85	1926,81	±3,85	9421,60	±37,69	10301,92	±30,91	8221,57	±41,11	10259,18	±82,07
Mn	242,25	±0,49	61,96	±0,43	475,06	±4,28	427,61	±0,86	277,05	±0,28	450,42	±2,25
Cu	T.E		T.E		0,75	±0,01	22,43	±0,02	T.E		7,79	±0,02
Zn	100,47	±0,30	53,72	±0,11	59,36	±0,24	1737,15	±0,5	422,31	±1,27	94,75	±0,47
Al	10562,76	±21,13	1500,89	±6,00	1600,75	±4,80	7500,93	±8,69	5065,90	±45,59	6389,41	±89,45
Cd	T.E		T.E		T.E		T.E		T.E		T.E	
Pb	48,18	±0,15	15,09	±0,09	22,58	±0,11	54,78	±0,16	26,91	±0,16	34,54	±0,07
B	2,26	±0,34	1,6	±0,56	T.E		2,89	±0,64	2,93	±0,95	3,13	±1,10

T.E: Tayin edilemedi. STD: Standart Sapma

4.1.5. Elde Edilen Verilerin Zamana ve İstasyonlara Göre Karşılaştırma Grafikleri

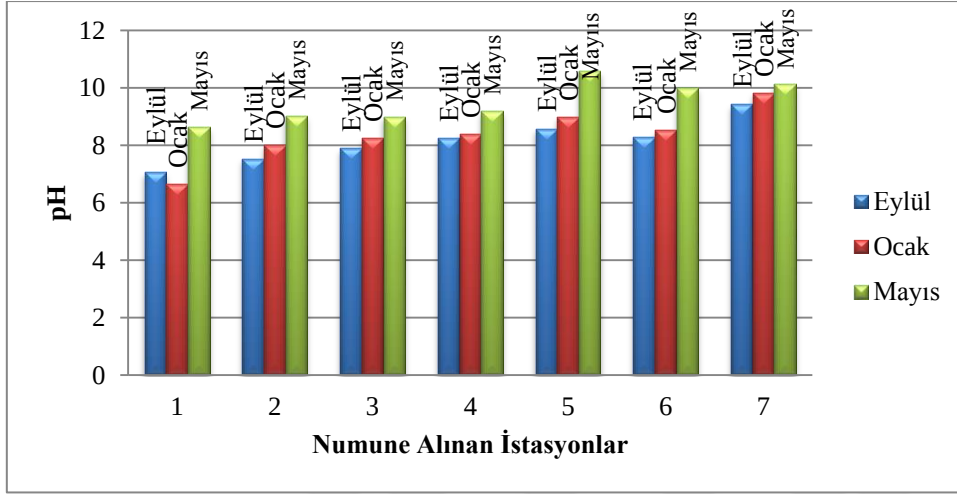
Büyük Menderes Nehri'nden Eylül-Ocak-Mayıs aylarında sediment ve su örnekleri alınmıştır. Alınan sediment örneklerinde ağır metal miktarları, su örneklerinde ise pH, sıcaklık, iletkenlik, toplam sertlik, alkanite ve ağır metal miktarları belirlenmiştir. Analizi yapılan parametrelerin her biri için istasyonlara ve numune alınan periyotlara göre grafikleri ayrı ayrı çizilmiştir. İncelenen parametrelerin değerleri tablolar şeklinde verilmiştir.

pH

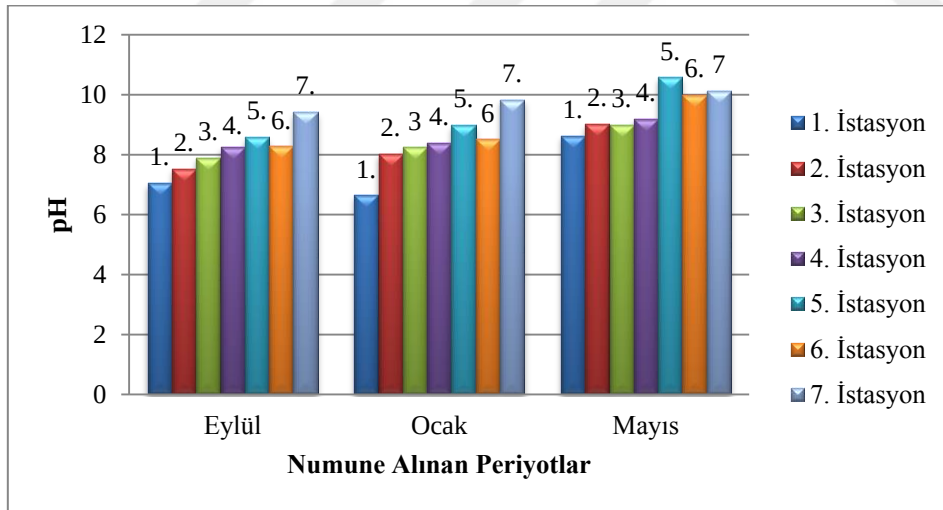
Numunelerin alınması esnasında ölçümünü yaptığımız pH değerleri Çizelge 4.8'de, grafikleri ise Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Analiz sonucu elde edilen pH değerleri

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	7,06	6,65	8,64
2. İstasyon	7,54	8,03	9,03
3. İstasyon	7,90	8,25	9,00
4.İstasyon	8,25	8,40	9,20
5. İstasyon	8,59	8,99	10,58
6. İstasyon	8,28	8,52	10,01
7.İstasyon	9,43	9,84	10,14



Şekil 4.2. Su örneklerinin pH değerlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği



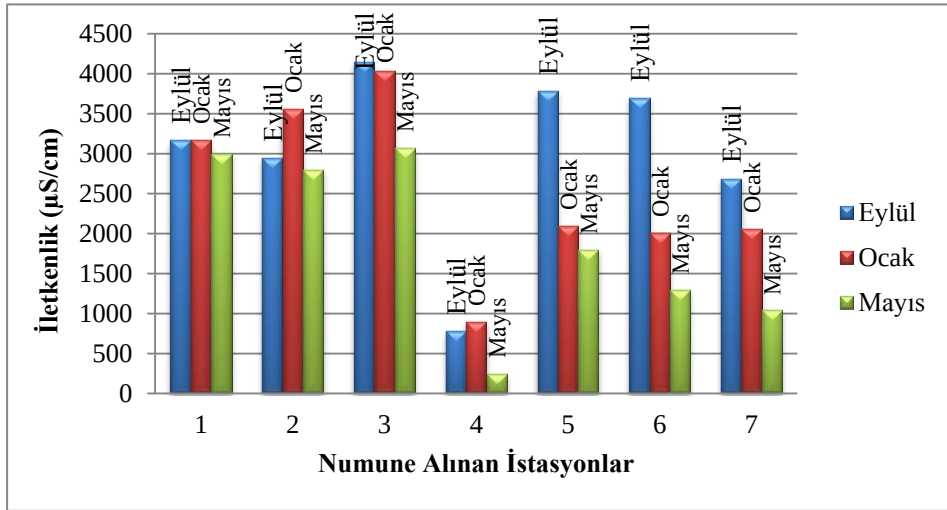
Şekil 4.3. Su örneklerinin pH değerlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği

. İletkenlik

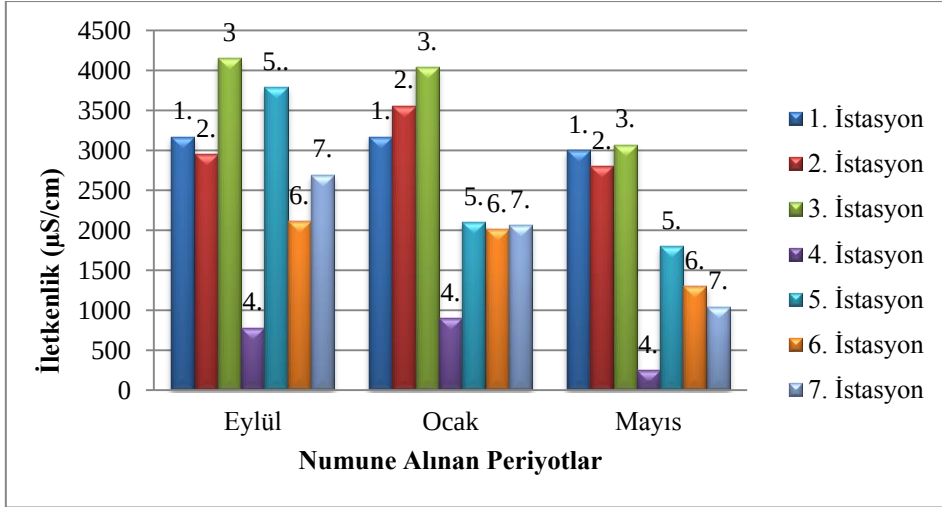
Numunelerin alınması esnasında ölçümünü yaptığımız iletkenlik değerleri Çizelge 4.9’da, grafikleri ise Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Analiz sonucu elde edilen iletkenlik değerleri ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	3170	3170	3000
2. İstasyon	2950	3560	2800
3. İstasyon	4150	4040	3070
4. İstasyon	781	900	650
5. İstasyon	3790	2100	1800
6. İstasyon	3700	2010	1300
7. İstasyon	2690	2060	1040



Şekil 4.4. Su örneklerinin iletkenlik değerlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği



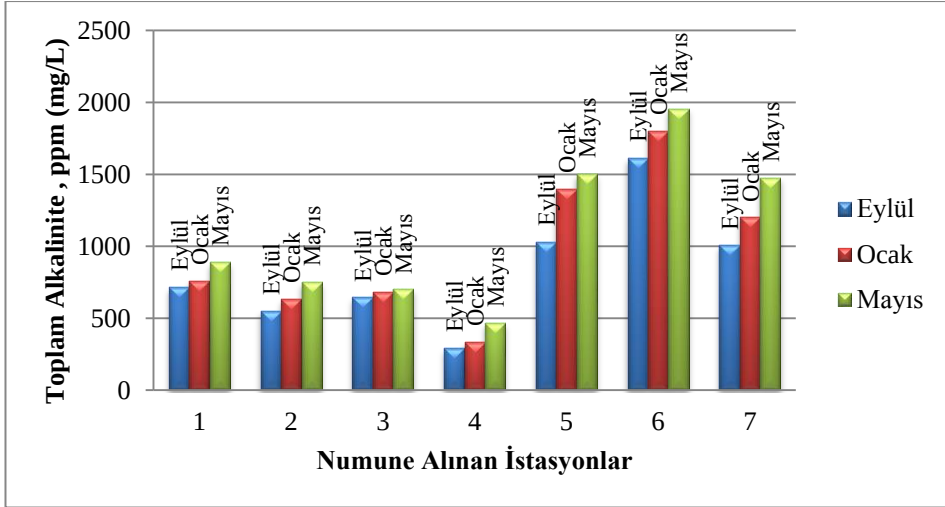
Şekil 4.5. Su örneklerinin iletkenlik değerlerinin zamana göre karşılaştırma grafiği

Toplam Alkalinite

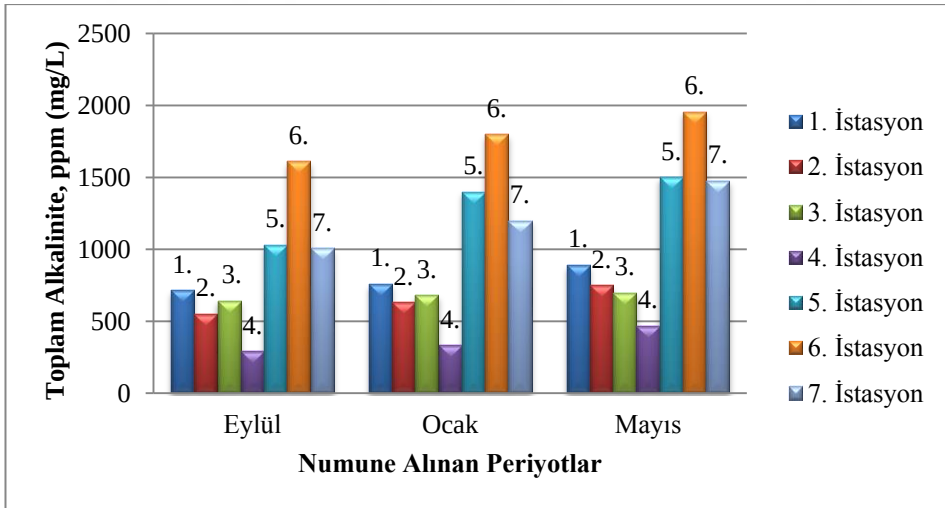
Laboratuvarda titrimetrik yöntem ile elde ettiğimiz toplam alkalinite değerleri Çizelge 4.10'de, grafikleri ise Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Analiz sonucu elde edilen toplam alkalinite değerleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	715,0	760,0	890,90
2. İstasyon	550,0	633,0	750,70
3. İstasyon	645,0	680,0	700,30
4.İstasyon	291,30	333,0	467,60
5. İstasyon	1030,50	1400,50	1500,90
6. İstasyon	1612,40	1800,50	1957,70
7.İstasyon	1006,60	1200,30	1475,80



Şekil 4.6. Su örneklerinin toplam alkalinite değerlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği



Şekil 4.7. Su örneklerinin toplam alkalinite değerlerinin zamana göre karşılaştırma grafiği

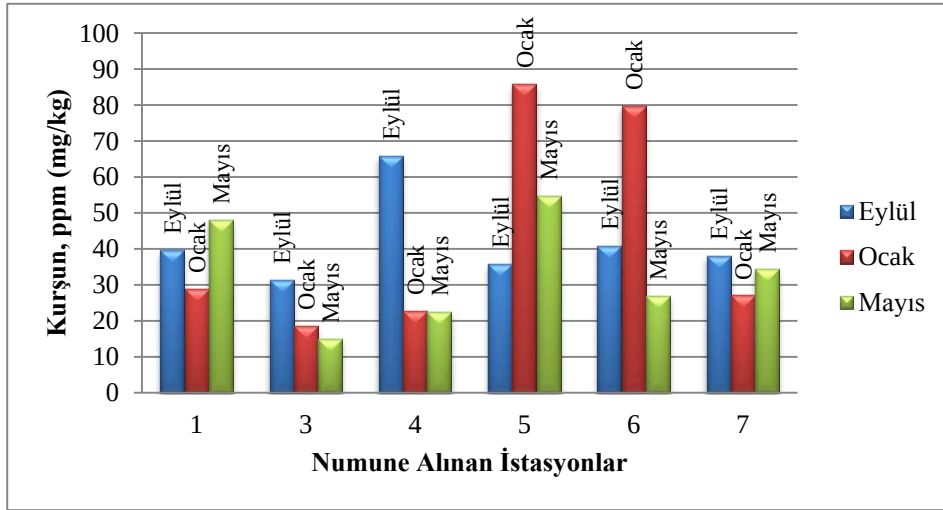
Kurşun

Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz kurşun derişimleri tayin sınırının altında bulunmuştur.

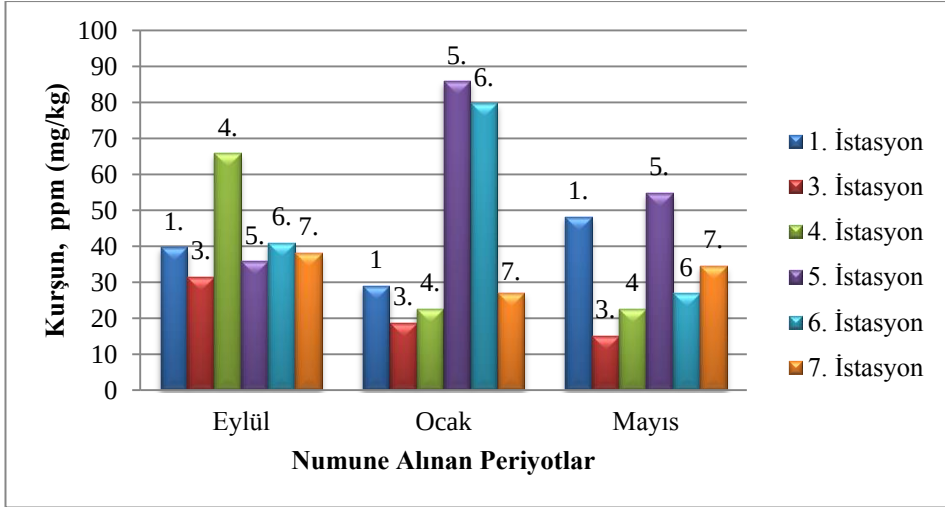
Sediment numunelerinin analizi sonucunda elde ettiğimiz kurşun derişimleri Çizelge 4.11’de, grafikleri ise Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.11. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen kurşun derişimleri (mg/kg)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	39,71	28,99	48,18
3. İstasyon	31,50	18,71	15,09
4. İstasyon	65,86	22,70	22,58
5. İstasyon	35,81	85,87	54,78
6. İstasyon	40,86	79,72	26,91
7. İstasyon	38,10	27,09	34,54



Şekil 4.8. Sediment örneklerindeki kurşun derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği



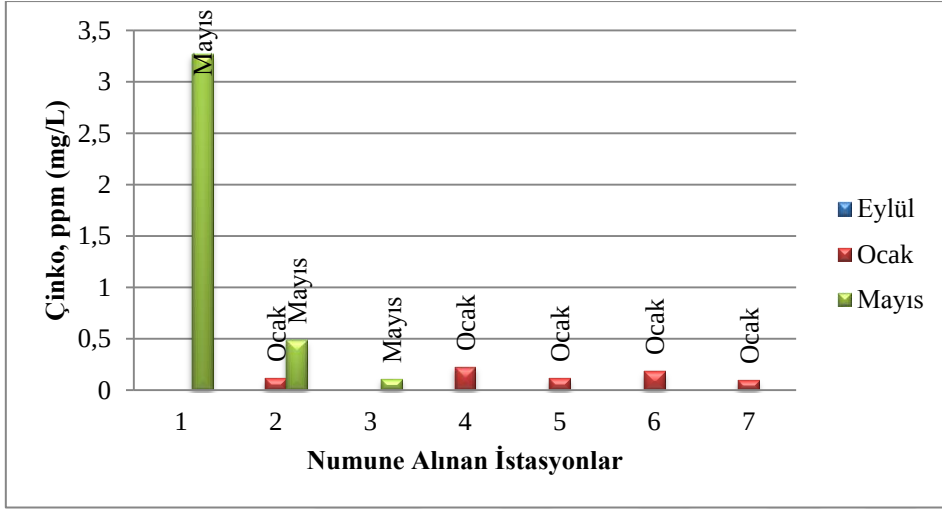
Şekil 4.9. Sediment örneklerindeki kurşun derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiği

Çinko

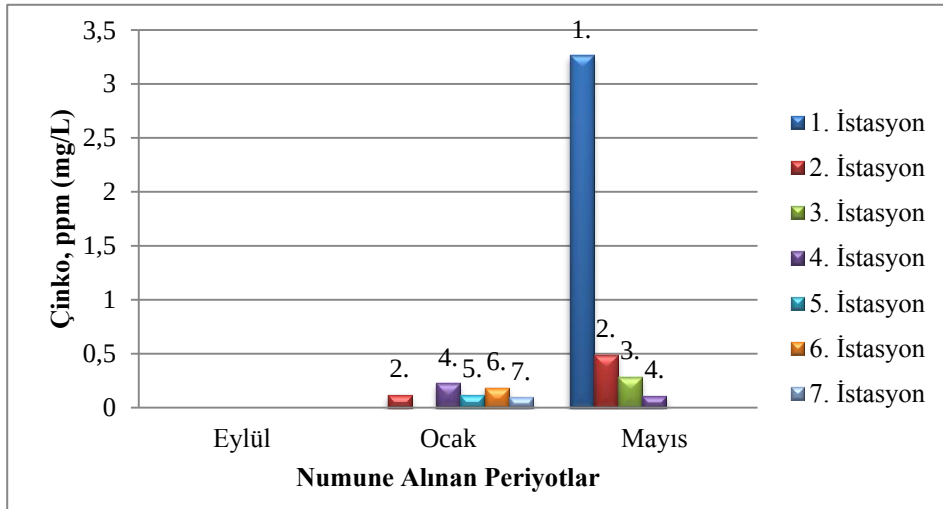
Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz çinko derişimleri Çizelge 4.12’de, grafikleri ise Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Su örneklerinin analizi sonucu elde edilen çinko derişimleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	T.E	T.E	3,27
2. İstasyon	T.E	0,12	0,49
3. İstasyon	T.E	T.E	0,29
4.İstasyon	T.E	0,23	0,11
5. İstasyon	T.E	0,13	T.E
6. İstasyon	T.E	0,19	T.E
7. İstasyon	T.E	0,09	T.E



Şekil 4.10. Su örneklerinin çinko değerlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği

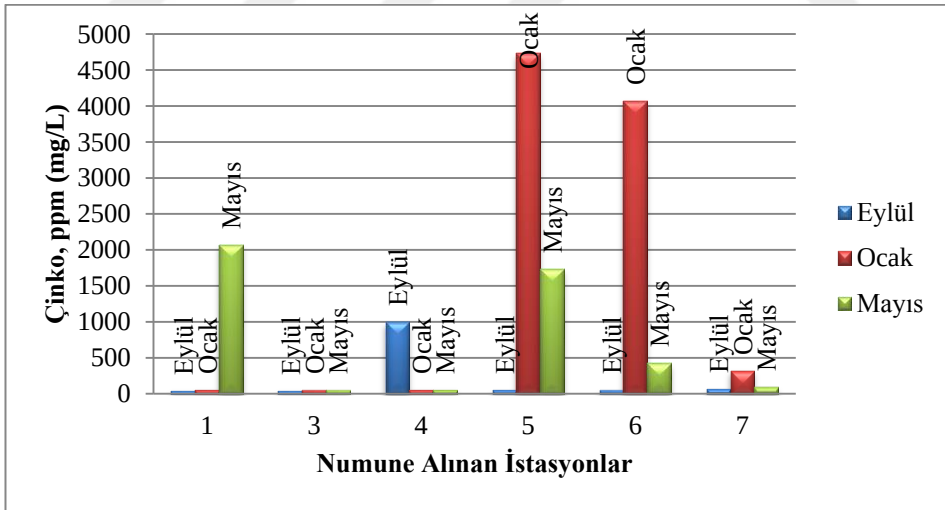


Şekil 4.11. Su örneklerindeki çinko derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiği

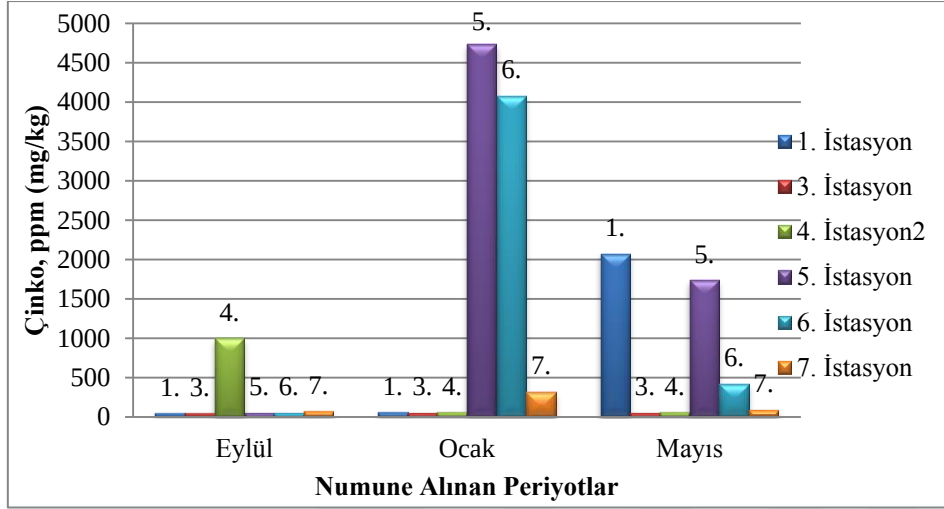
Sediment numunelerinin analizi sonucunda elde ettiğimiz çinko derişimleri Çizelge 4.13’de, grafikleri ise Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen çinko derişimleri (mg/kg)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	46,33	60,89	2074,47
3. İstasyon	46,33	53,21	53,72
4. İstasyon	1000,47	60,72	59,36
5. İstasyon	57,62	4734,28	1737,15
6. İstasyon	55,30	4076,20	422,31
7. İstasyon	71,77	320,31	94,75



Şekil 4.12. Sediment örneklerindeki çinko derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



Şekil 4.13. Sediment örneklerindeki çinko derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

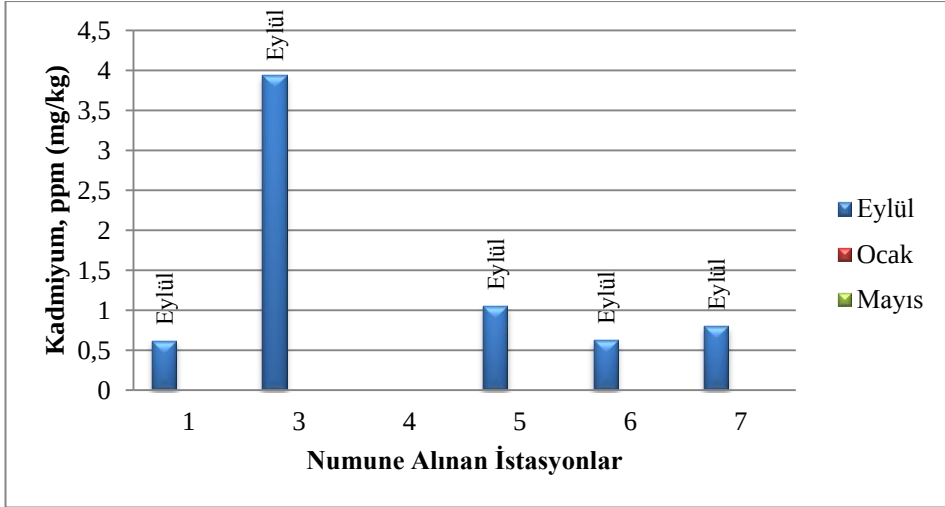
Kadmiyum

Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz kadmiyum derişimleri tayin sınırı altında bulunmuştur.

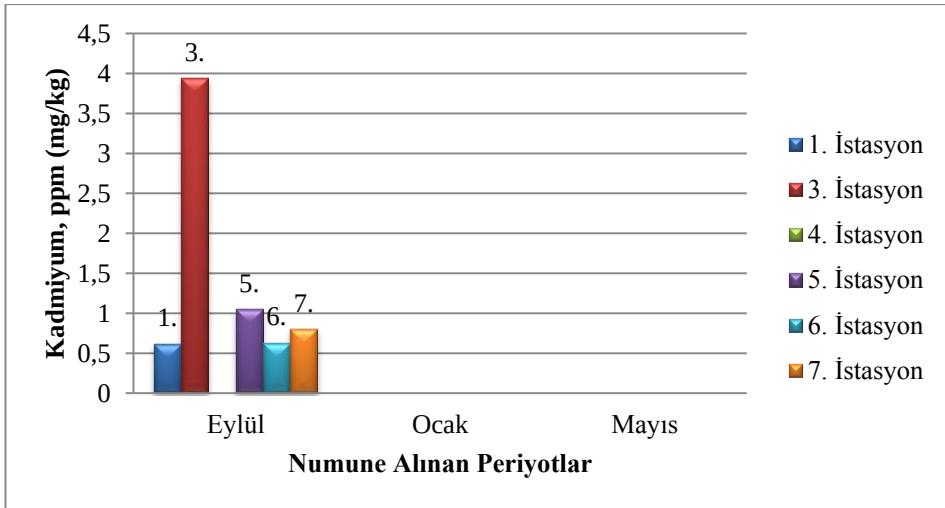
Sediment numunelerinin analizi sonucunda elde ettiğimiz çinko derişimleri Çizelge 4.14, grafikleri ise Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen kadmiyum derişimleri (mg/kg)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	0,62	T.E	T.E
3. İstasyon	3,94	T.E	T.E
4. İstasyon	T.E	T.E	T.E
5. İstasyon	1,05	T.E	T.E
6. İstasyon	0,63	T.E	T.E
7. İstasyon	0,80	T.E	T.E



Şekil 4.14. Sediment örneklerindeki kadmiyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



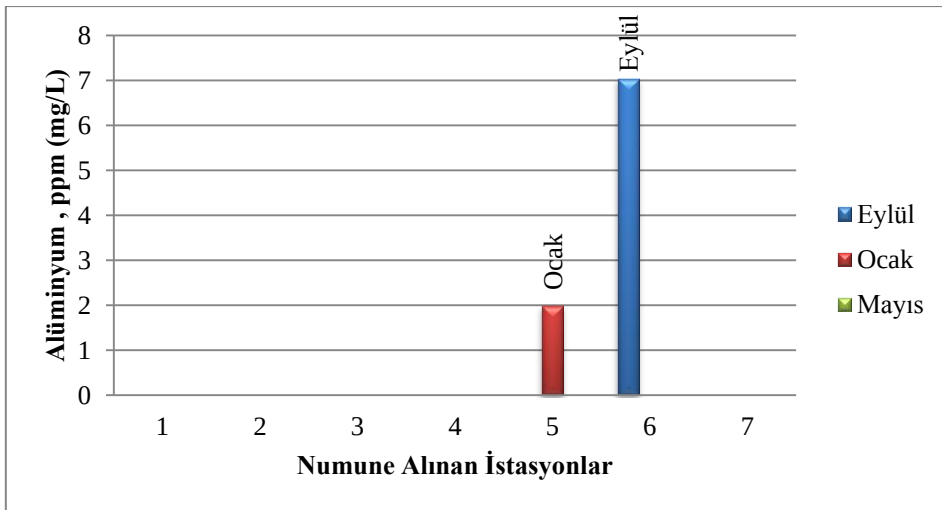
Şekil 4.15. Sediment örneklerindeki kadmiyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

Alüminyum

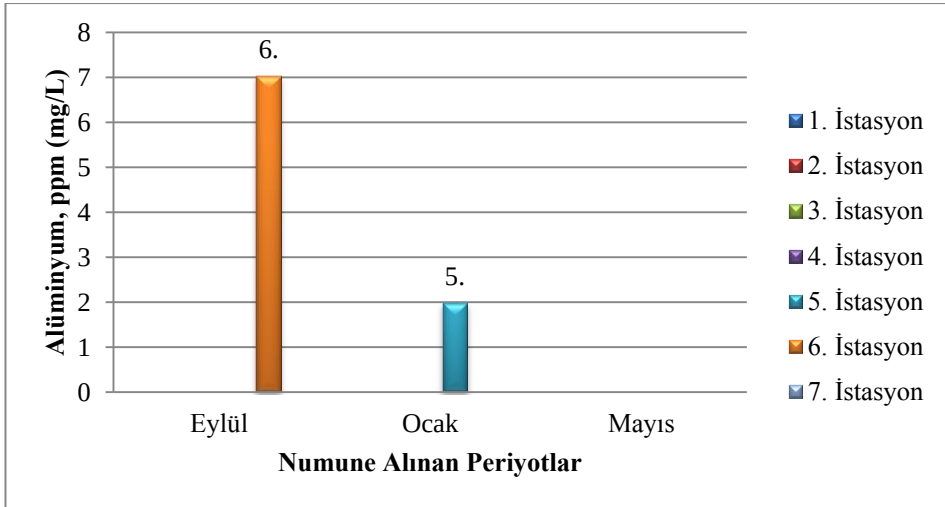
Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz alüminyum derişimleri Çizelge 4.15’de, grafikleri ise Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de gösterilmiştir.

Çizelge.4.15. Su örneklerinin analizi sonucu elde edilen alüminyum derişimleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	T.E	T.E	T.E
2. İstasyon	T.E	T.E	T.E
3. İstasyon	T.E	T.E	T.E
4.İstasyon	T.E	T.E	T.E
5. İstasyon	T.E	1,99	T.E
6. İstasyon	7,04	T.E	T.E
7. İstasyon	T.E	T.E	T.E



Şekil 4.16. Su örneklerindeki alüminyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı

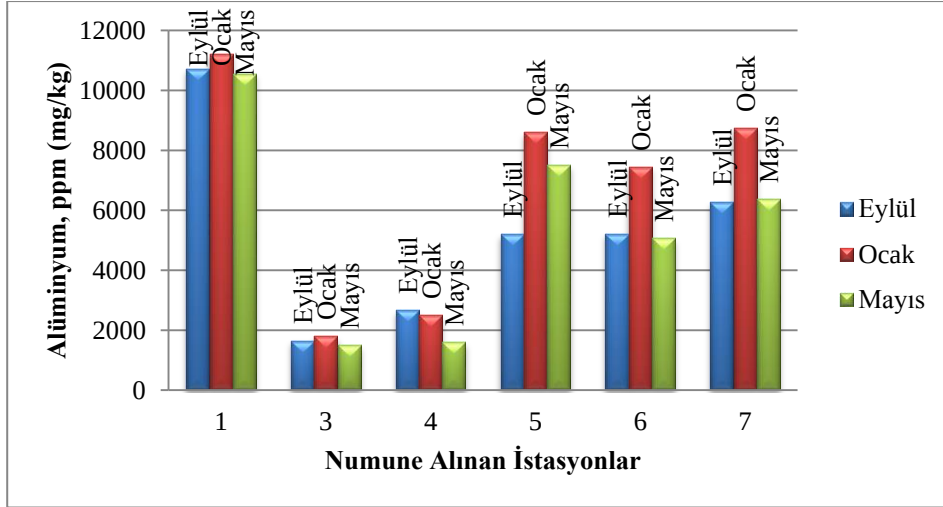


Şekil 4.17. Su örneklerindeki alüminyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

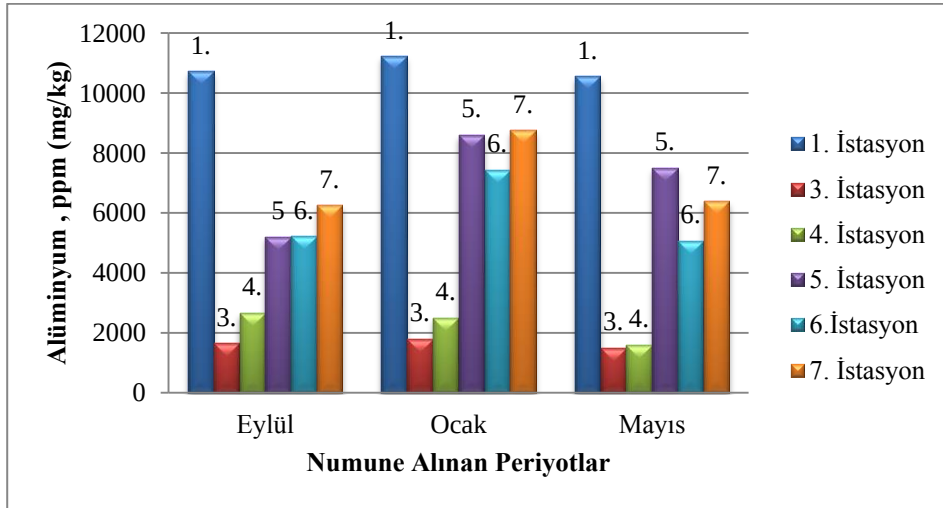
Sediment numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz alüminyum derişimleri Çizelge 4.16’de, grafikleri ise Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.16. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen alüminyum derişimleri (mg/kg)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	10724,81	11225,70	10562,76
3. İstasyon	1660,03	1800,09	1500,89
4. İstasyon	2666,86	2500,56	1600,75
5. İstasyon	5211,78	8600,76	7500,93
6. İstasyon	5222,43	7452,61	5065,90
7. İstasyon	6262,17	8762,87	6389,41



Şekil 4.18. Sediment örneklerindeki alüminyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



Şekil 4.19. Sediment örneklerindeki alüminyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

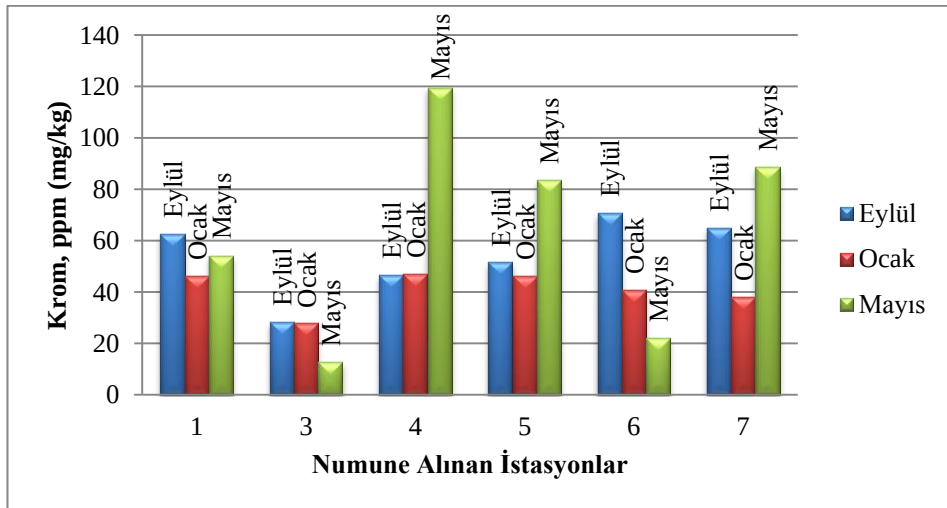
Krom

Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz krom derişimleri tayin sınırı altında bulunmuştur.

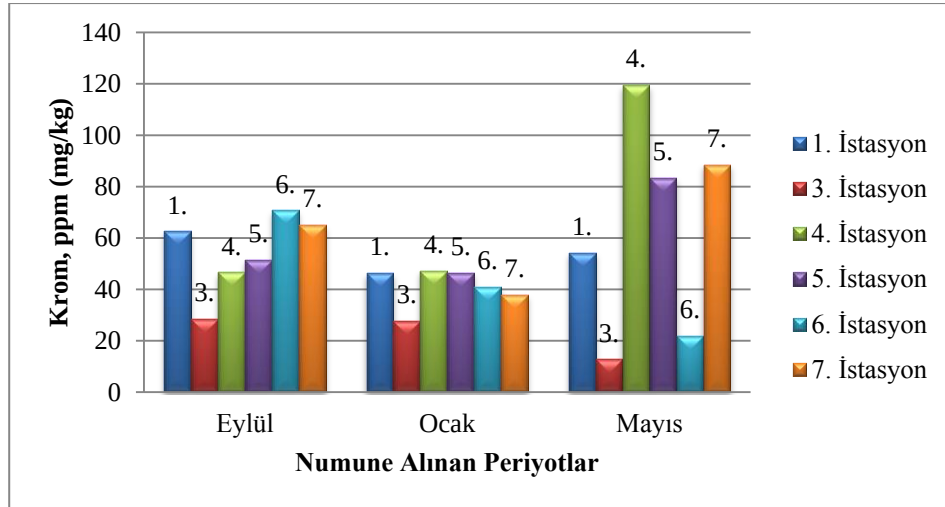
Sediment numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz krom derişimleri Çizelge 4.17’de, grafikleri ise Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen krom derişimleri (mg/kg)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	62,62	46,37	54,28
3. İstasyon	28,48	27,85	12,80
4. İstasyon	46,65	47,22	119,54
5. İstasyon	51,55	46,47	83,44
6. İstasyon	70,81	41,01	22,04
7. İstasyon	65,09	38,04	88,54



Şekil 4.20. Sediment örneklerindeki krom derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği



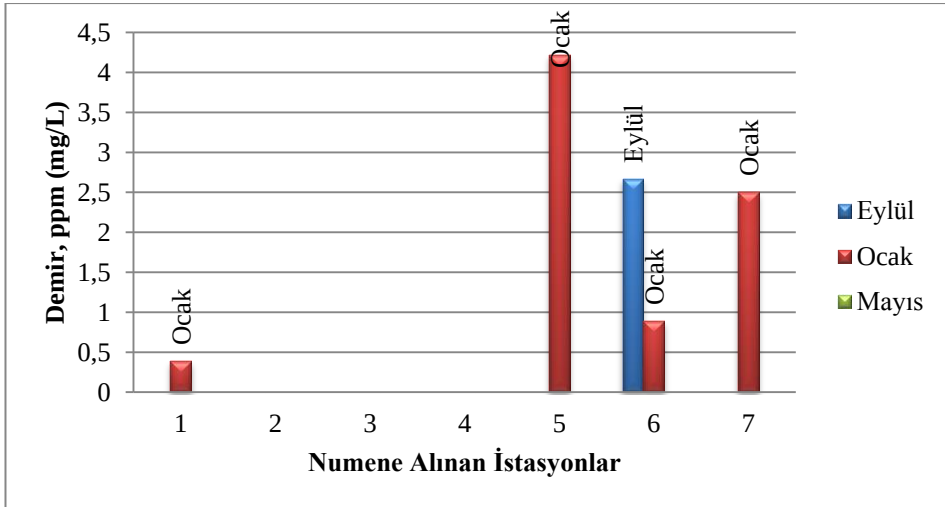
Şekil 4.21. Sediment örneklerindeki krom derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

Demir

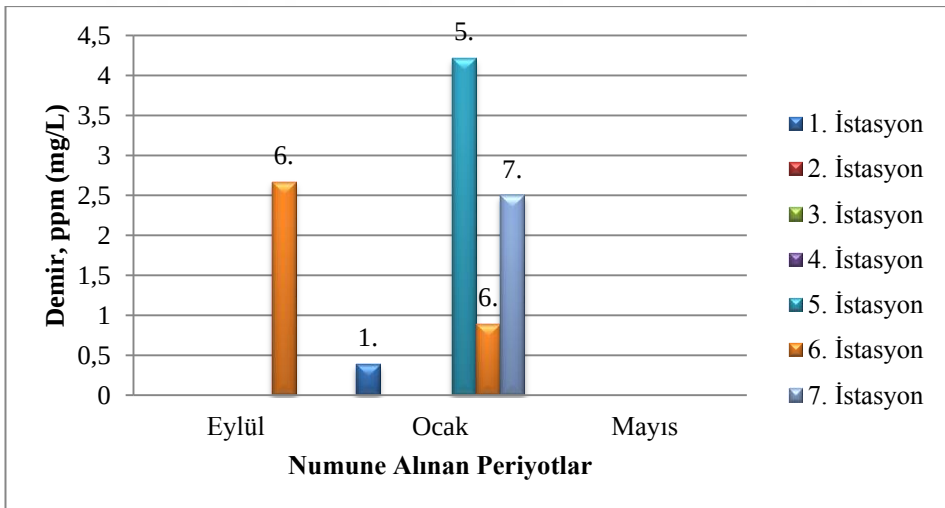
Su numunelerinin analizi sonucunda elde ettiğimiz demir derişimleri Çizelge 4.18’de, grafikleri ise Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. Su örneklerinin analizi sonucu elde edilen demir derişimleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	T.E	0,39	T.E
2. İstasyon	T.E	T.E	T.E
3. İstasyon	T.E	T.E	T.E
4.İstasyon	T.E	T.E	T.E
5. İstasyon	T.E	4,22	T.E
6. İstasyon	2,67	0,89	T.E
7. İstasyon	T.E	2,50	T.E



Şekil 4.22. Su örneklerindeki demir derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı

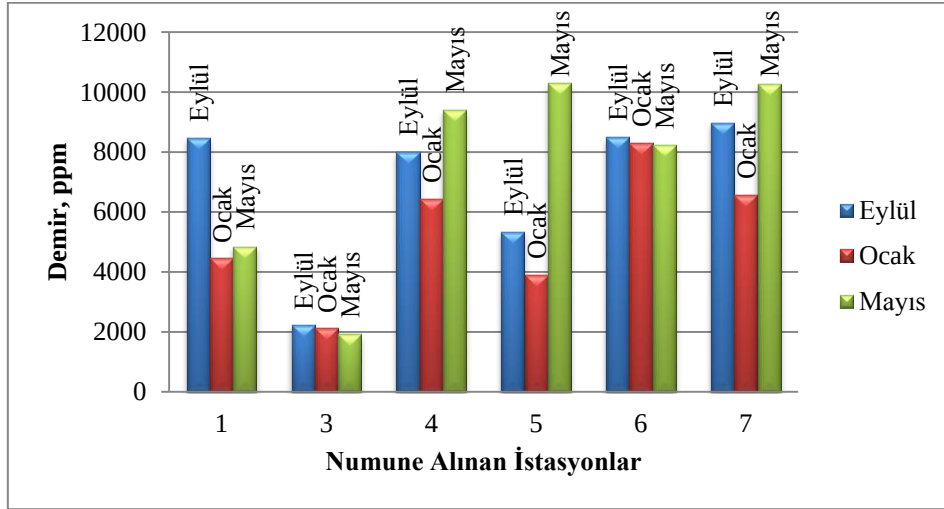


Şekil 4.23. Su örneklerindeki demir derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

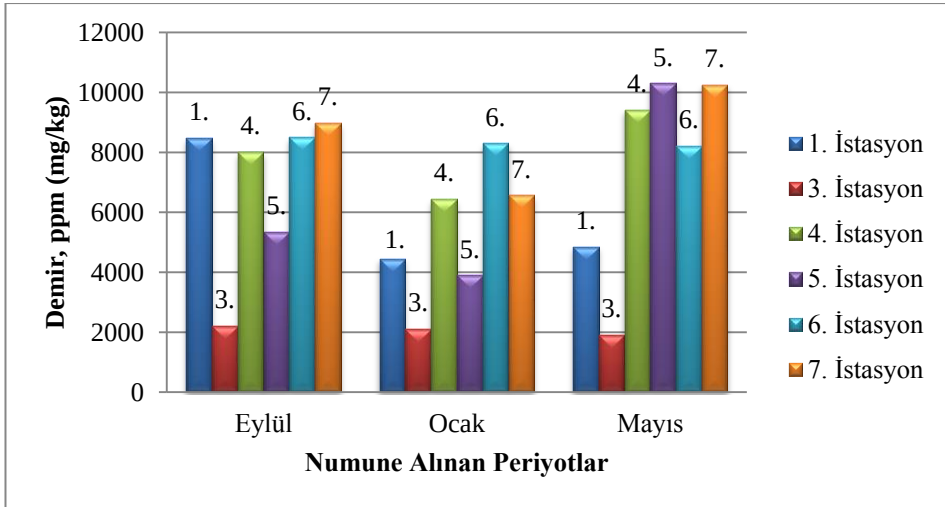
Sediment numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz demir derişimleri Çizelge 4.19’da, grafikleri ise Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen demir derişimleri (mg/kg)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	8484,75	4454,55	4850,72
3. İstasyon	2217,67	2117,79	1926,81
4. İstasyon	8012,51	6438,29	9421,60
5. İstasyon	5340,10	3897,58	10301,92
6. İstasyon	8504,85	8297,99	8221,57
7. İstasyon	8975,23	6569,41	10259,18



Şekil 4.24. Sediment örneklerindeki demir derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



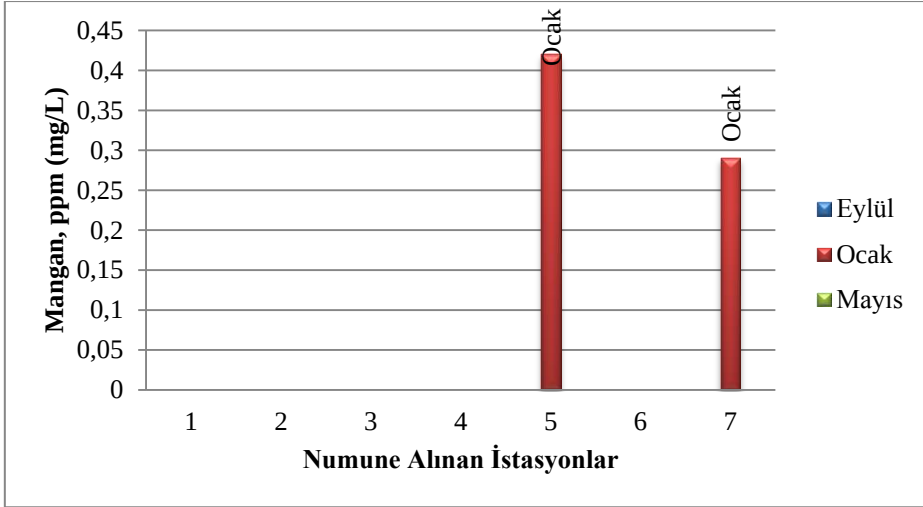
Şekil 4.25. Sediment örneklerindeki demir derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

Mangan

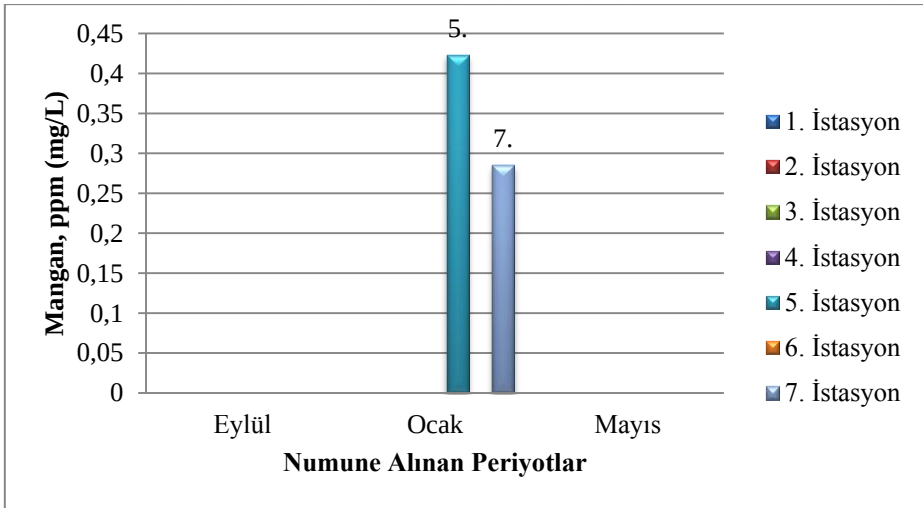
Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz mangan derişimleri Çizelge 4.20’de, grafikleri ise Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. Su örneklerinin analizi sonucu elde edilen mangan derişimleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	T.E	T.E	T.E
2. İstasyon	T.E	T.E	T.E
3. İstasyon	T.E	T.E	T.E
4.İstasyon	T.E	T.E	T.E
5. İstasyon	T.E	0,42	T.E
6. İstasyon	T.E	T.E	T.E
7. İstasyon	T.E	0,29	T.E



Şekil 4.26. Su örneklerindeki mangan derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı

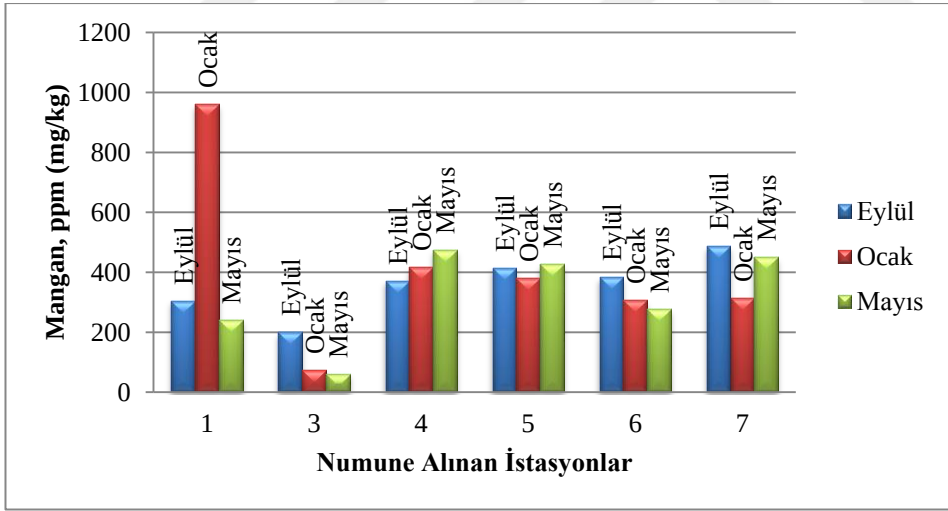


Şekil 4.27. Su örneklerindeki mangan derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

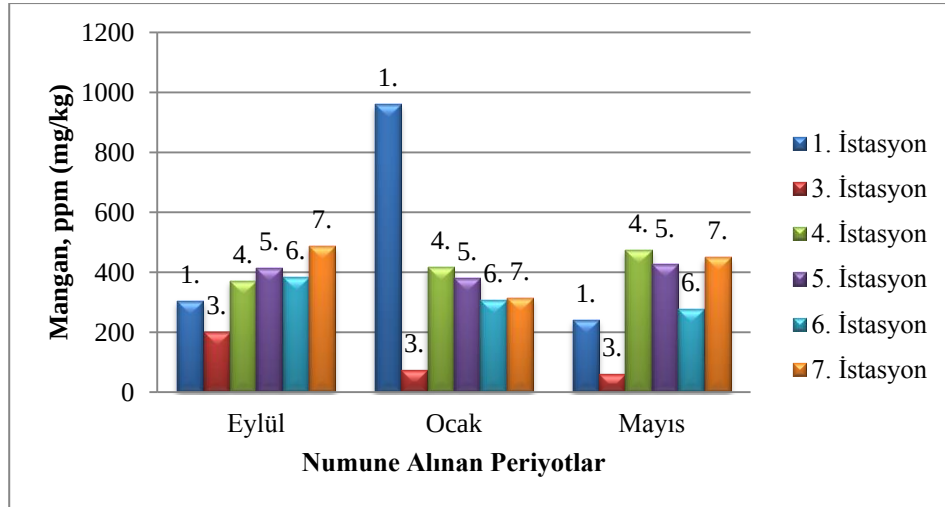
Sediment numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz mangan derişimleri Çizelge 4.21’de, grafikleri ise Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.21. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen mangan derişimleri (mg/kg)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	305,39	960,56	242,25
3. İstasyon	200,64	74,34	61,96
4. İstasyon	371,65	417,81	475,06
5. İstasyon	414,71	381,57	427,61
6. İstasyon	384,52	307,30	277,05
7. İstasyon	487,58	314,88	450,42



Şekil 4.28. Sediment örneklerindeki mangan derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



Şekil 4.29. Sediment örneklerindeki mangan derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

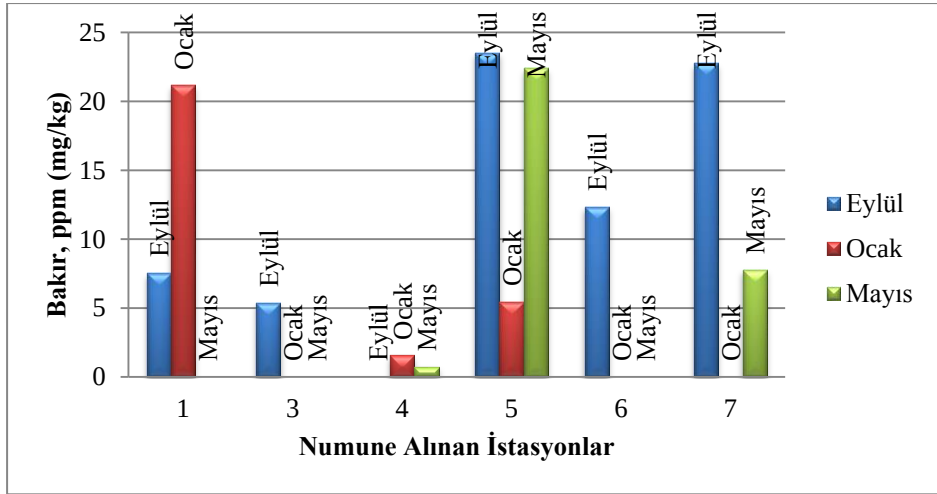
Bakır

Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz bakır derişimleri tayin sınırının altında bulunmuştur.

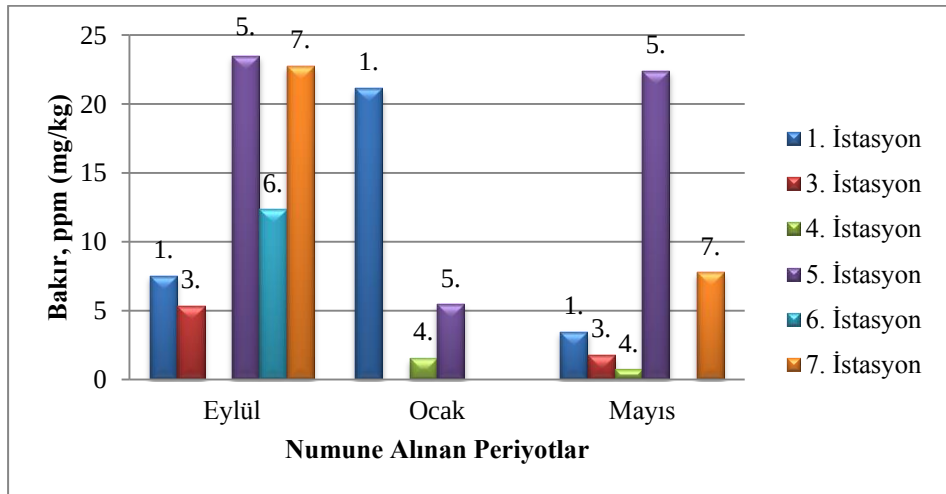
Sediment numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz bakır derişimleri Çizelge 4.22’de, grafikleri ise Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.22. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen bakır derişimleri (mg/kg)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	7,55	21,16	T.E
3. İstasyon	5,38	T.E	T.E
4. İstasyon	T.E	1,57	0,75
5. İstasyon	23,53	5,46	22,43
6. İstasyon	12,37	T.E	T.E
7. İstasyon	22,77	T.E	7,79



Şekil 4.30. Sediment örneklerindeki bakır derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



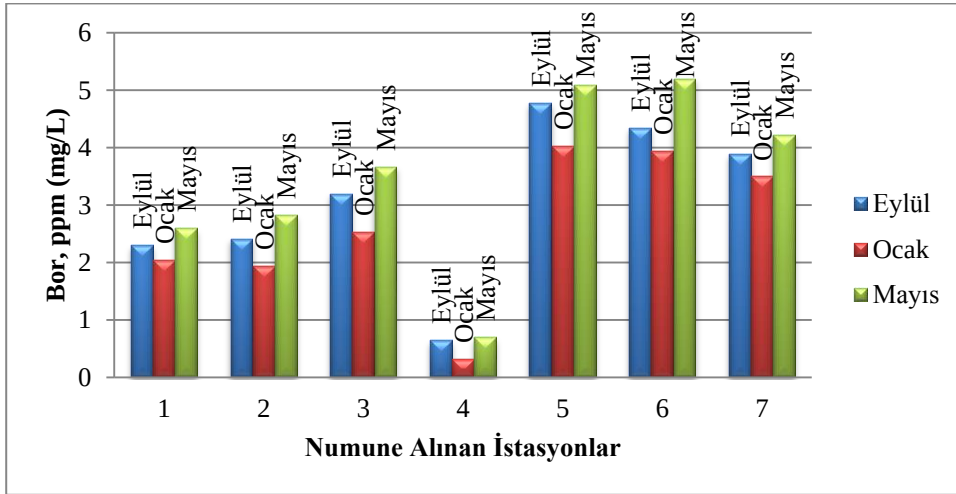
Şekil 4.31. Sediment örneklerindeki bakır derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

Bor

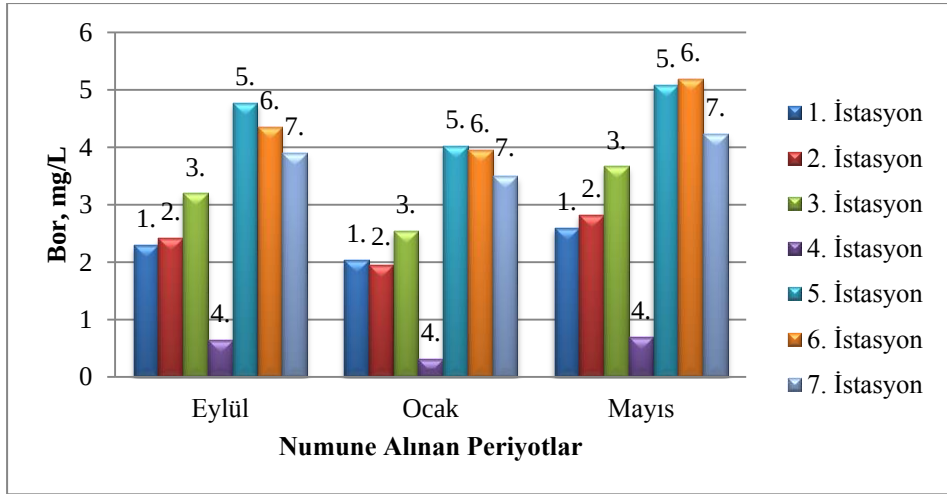
Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz bor derişimleri Çizelge 4.23’de, grafikleri ise Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.23. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen bor derişimleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	2,30	2,04	2,60
2. İstasyon	2,42	1,95	2,83
3. İstasyon	3,20	2,54	3,67
4. İstasyon	0,65	0,32	0,70
5. İstasyon	4,78	4,03	5,09
6. İstasyon	4,35	3,95	5,20
7. İstasyon	3,90	3,50	4,23



Şekil 4.32. Su örneklerindeki bor derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği

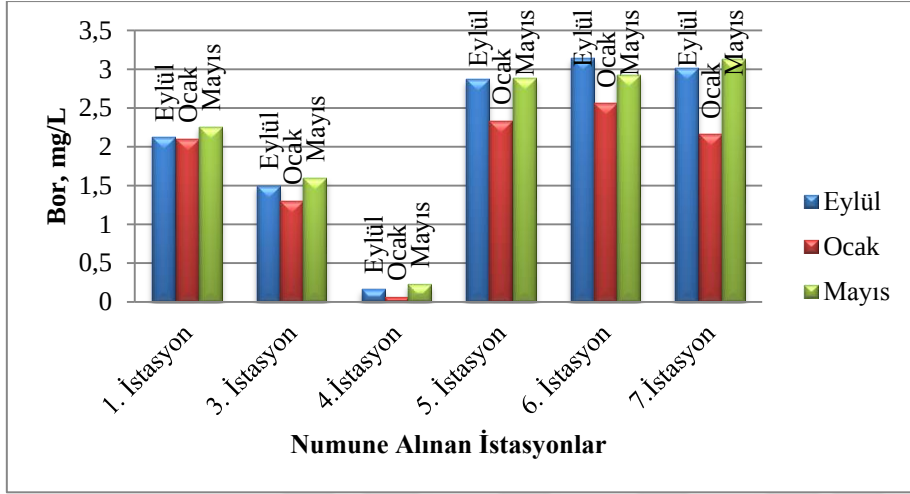


Şekil 4.33. Su örneklerindeki bor derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

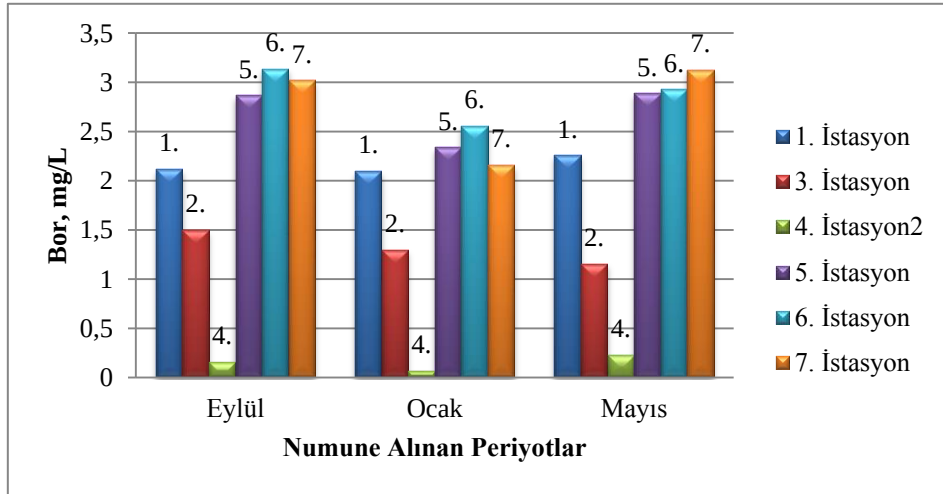
Sediment numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz bor derişimleri Çizelge 4.24’de, grafikleri ise Şekil 4.34 ve Şekil 4.35’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.24. Sediment örneklerini analizi sonucu elde edilen bor derişimleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	1,12	1,10	1,26
3. İstasyon	1,50	1,30	1,60
4.İstasyon	0,16	0,07	0,23
5. İstasyon	2,87	2,34	2,89
6. İstasyon	3,14	2,56	2,93
7.İstasyon	3,02	2,16	3,13



Şekil 4.34. Sediment örneklerindeki bor derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



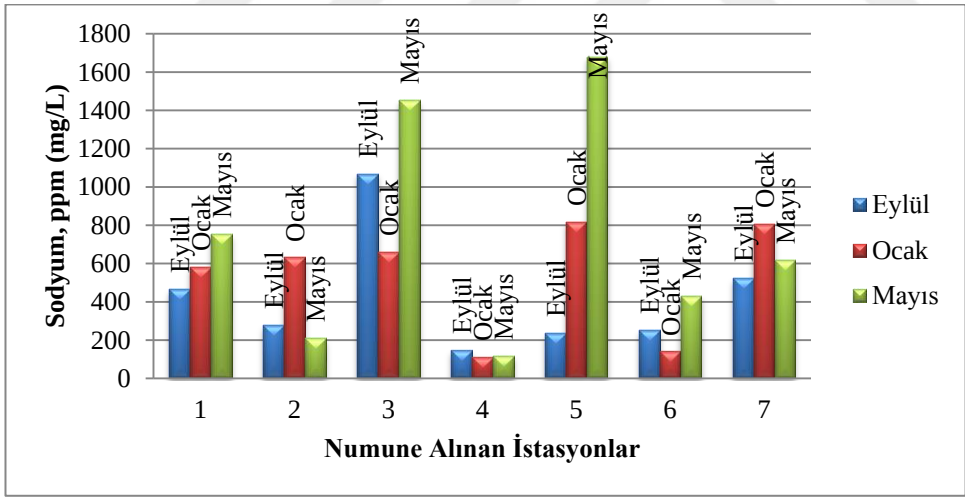
Şekil 4.35. Sediment örneklerindeki bor derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

Sodyum

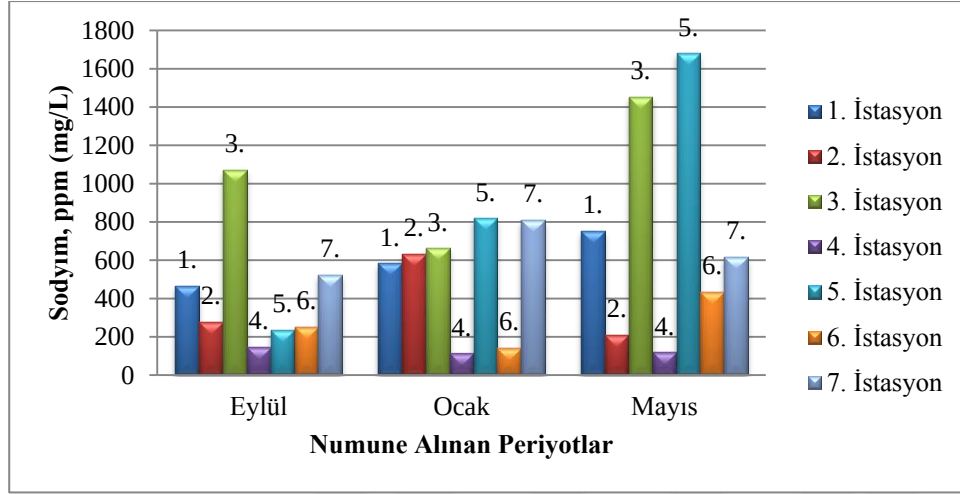
Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz sodyum derişimleri Çizelge 4.25’de, grafikleri ise Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.25. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen sodyum derişimleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	467,77	583,91	752,39
2. İstasyon	277,87	632,32	209,56
3. İstasyon	1070,29	662,09	1453,79
4.İstasyon	146,80	112,81	119,29
5. İstasyon	237,19	819,52	1679,99
6. İstasyon	252,45	141,64	433,67
7. İstasyon	524,52	809,88	616,85



Şekil 4.36. Su örneklerindeki sodyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



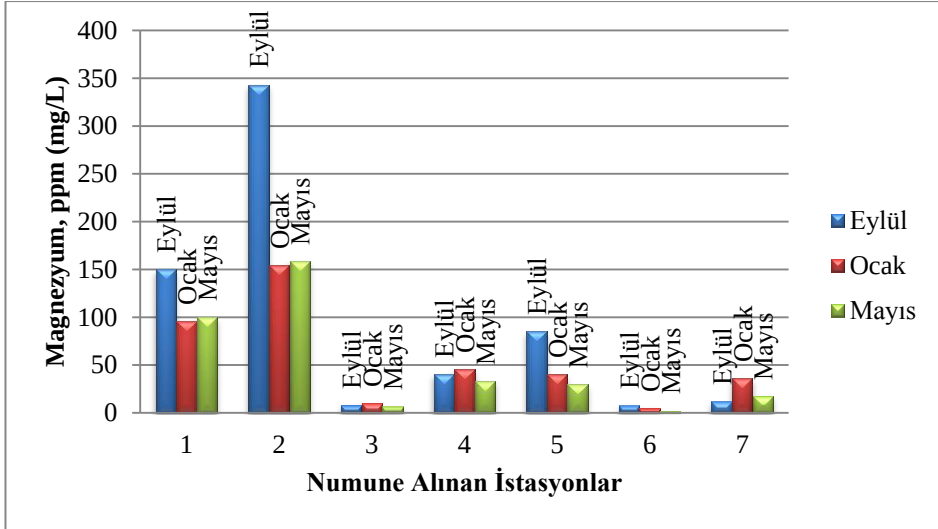
Şekil 4.37. Su örneklerindeki sodyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

Magnezyum

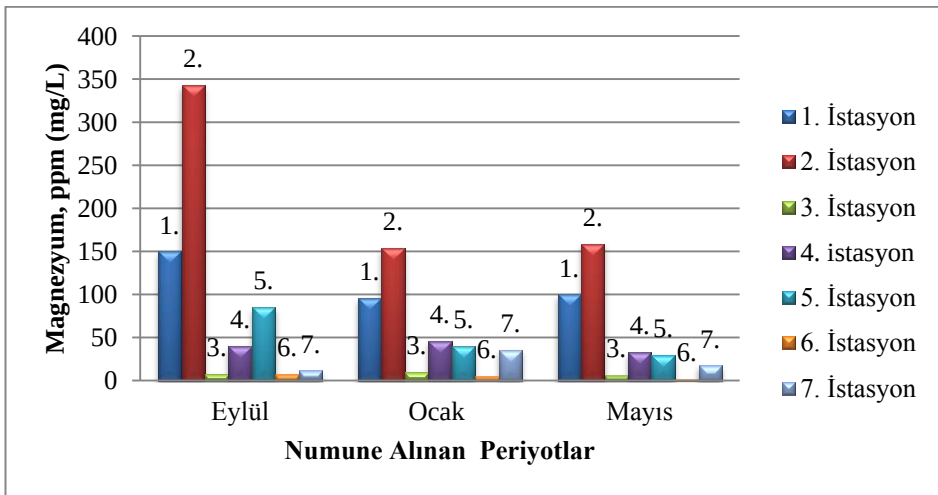
Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz magnezyum derişimleri Çizelge 4.26’da, grafikleri ise Şekil 4.38 ve Şekil 4.39’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.26. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen magnezyum derişimleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	150,13	96,54	100,33
2. İstasyon	343,40	154,26	159,32
3. İstasyon	8,45	10,60	6,66
4.İstasyon	40,79	46,16	33,41
5. İstasyon	85,62	40,42	30,15
6. İstasyon	7,90	5,48	2,46
7. İstasyon	11,99	36,07	18,01



Şekil 4.38. Su örneklerindeki magnezyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



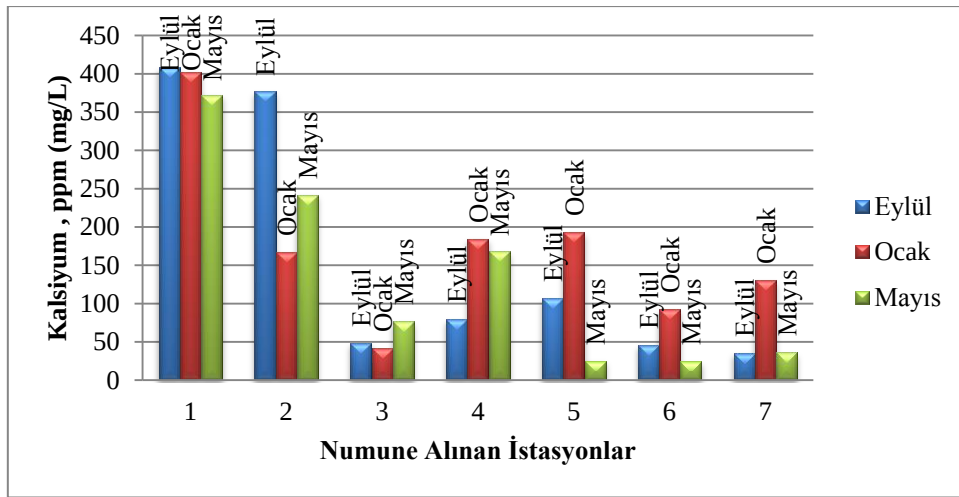
Şekil 4.39. Su örneklerindeki magnezyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

Kalsiyum

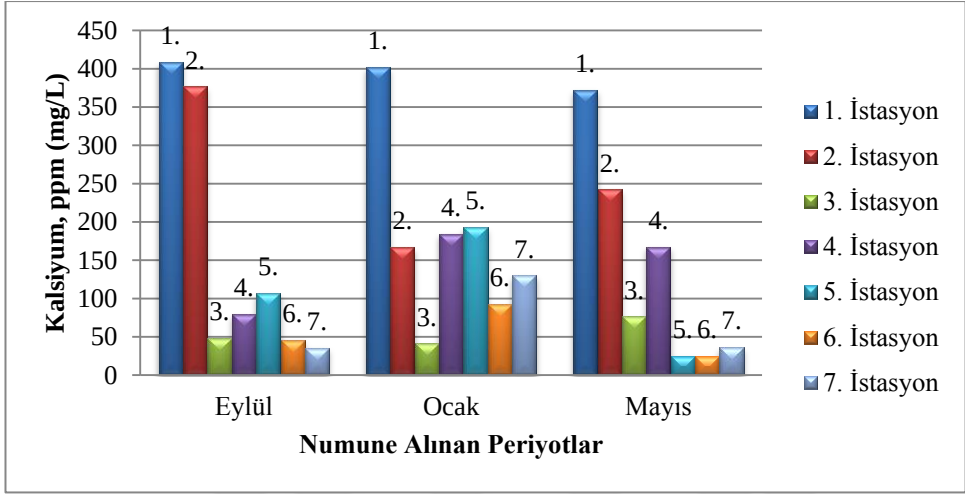
Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz kalsiyum derişimleri Çizelge 4.27’de, grafikleri ise Şekil 4.40 ve Şekil 4.41’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.27. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen kalsiyum derişimleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	408,57	402,27	372,90
2. İstasyon	376,90	167,30	242,38
3. İstasyon	49,07	41,59	76,85
4.İstasyon	79,68	184,86	167,94
5. İstasyon	107,22	193,52	25,36
6. İstasyon	46,29	93,02	24,84
7. İstasyon	35,87	130,42	36,52



Şekil 4.40. Su örneklerindeki kalsiyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



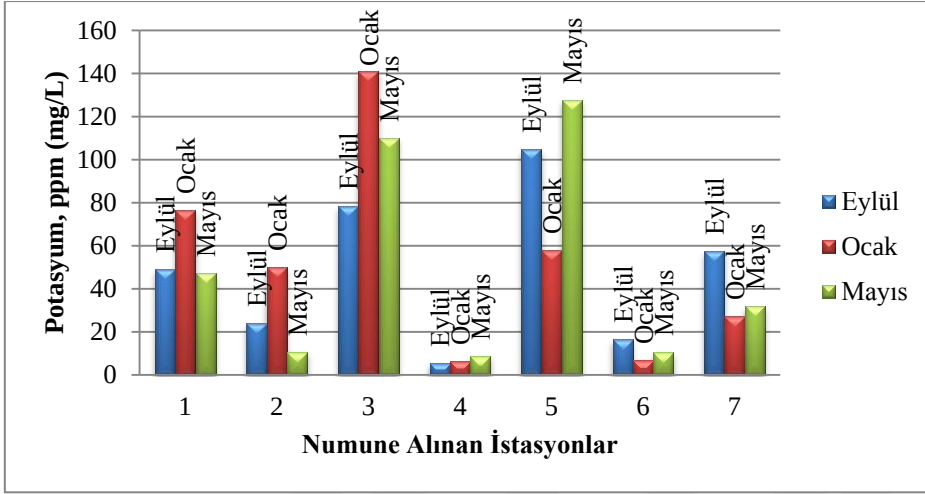
Şekil 4.41. Su örneklerindeki kalsiyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

Potasyum

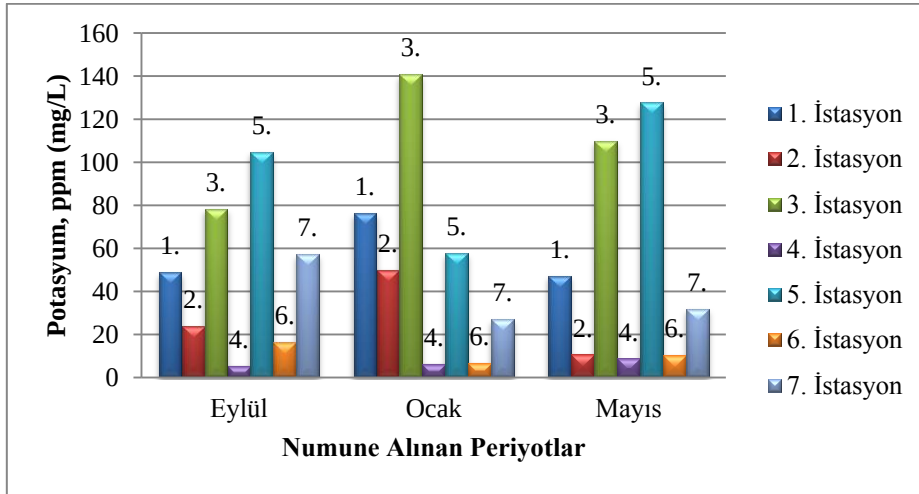
Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz potasyum derişimleri Çizelge 4.28’de, grafikleri ise Şekil 4.42 ve Şekil 4.43’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.28. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen potasyum derişimleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	49,09	76,57	47,34
2. İstasyon	23,99	50,26	10,84
3. İstasyon	78,53	141,03	110,09
4.İstasyon	5,69	6,55	8,93
5. İstasyon	104,90	57,99	127,85
6. İstasyon	16,72	6,90	10,56
7. İstasyon	57,38	27,28	32,07



Şekil 4.42. Su örneklerindeki potasyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



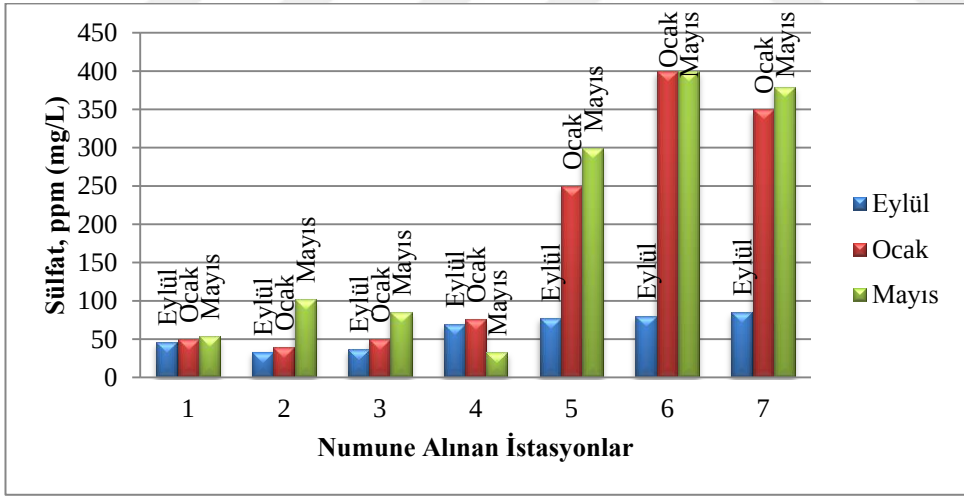
Şekil 4.43. Su örneklerindeki potasyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

Sülfat

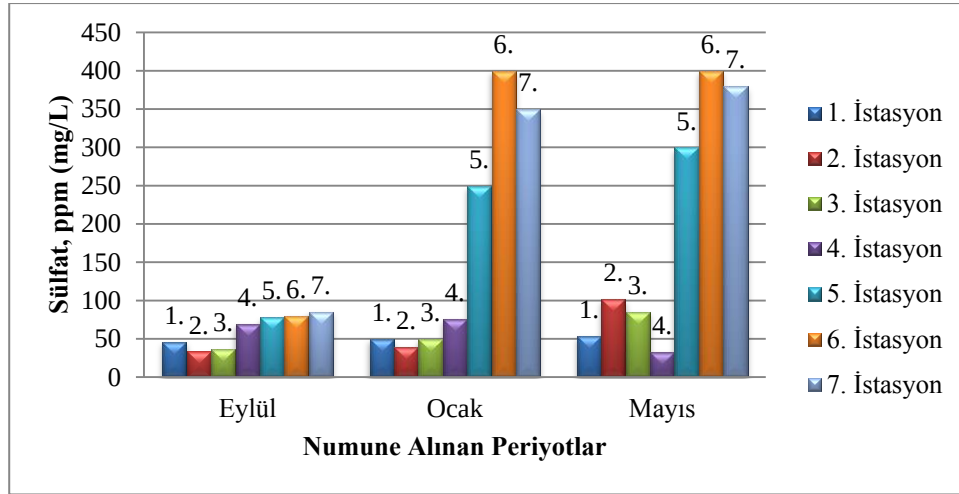
Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz sülfat derişimleri Çizelge 4.29’de, grafikleri ise Şekil 4.44 ve Şekil 4.45’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.29. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen sülfat derişimleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	46,50	50,0	54,0
2. İstasyon	33,70	40,0	102,0
3. İstasyon	36,60	50,0	85,16
4. İstasyon	69,60	76,0	33,22
5. İstasyon	78,30	250,0	300,0
6. İstasyon	80,30	400,0	400,0
7. İstasyon	85,50	350,0	380,0



Şekil 4.44. Su örneklerindeki sülfat derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



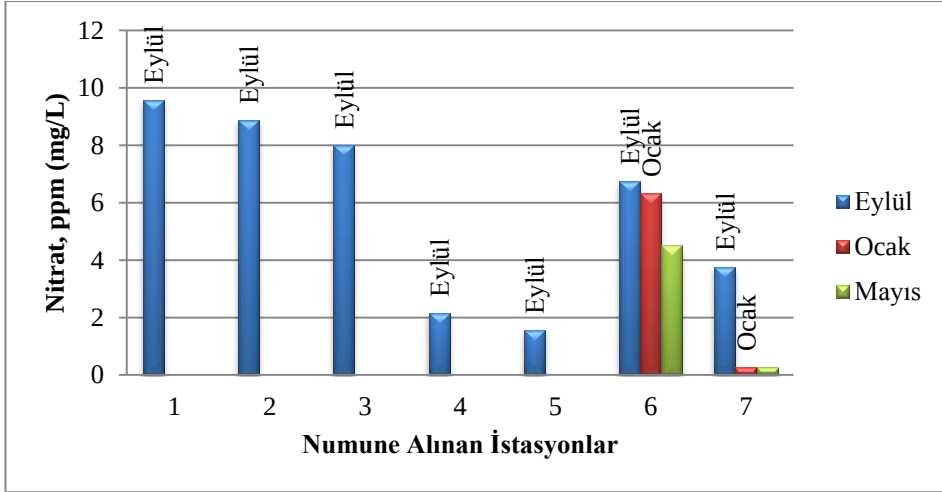
Şekil 4.45. Su örneklerindeki sülfat derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

Nitrat

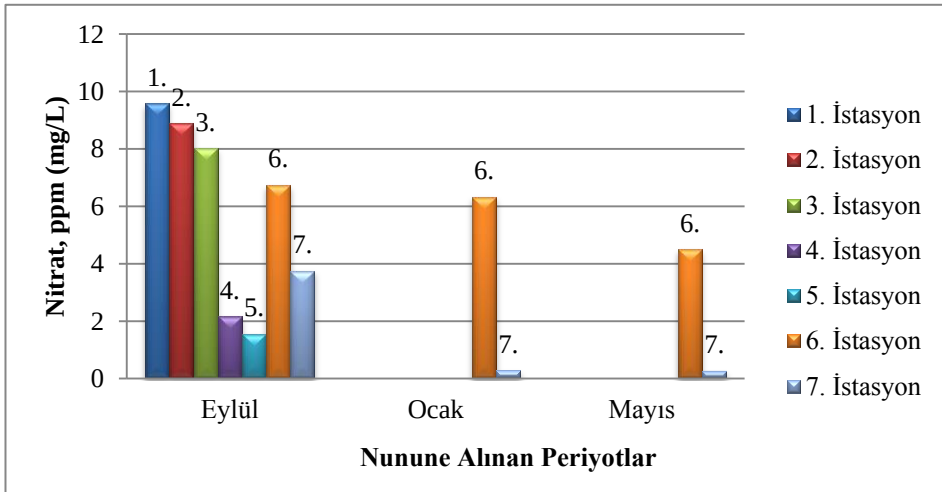
Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz nitrat derişimleri Çizelge 4.30'da, grafikleri ise Şekil 4.46 ve Şekil 4.47'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.30. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen nitrat derişimleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	9,59	T.E	T.E
2. İstasyon	8,89	T.E	T.E
3. İstasyon	8,02	T.E	T.E
4.İstasyon	2,17	T.E	T.E
5. İstasyon	1,57	T.E	T.E
6. İstasyon	6,75	6,34	4,51
7. İstasyon	3,77	0,29	0,28



Şekil 4.46. Su örneklerindeki nitrat derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



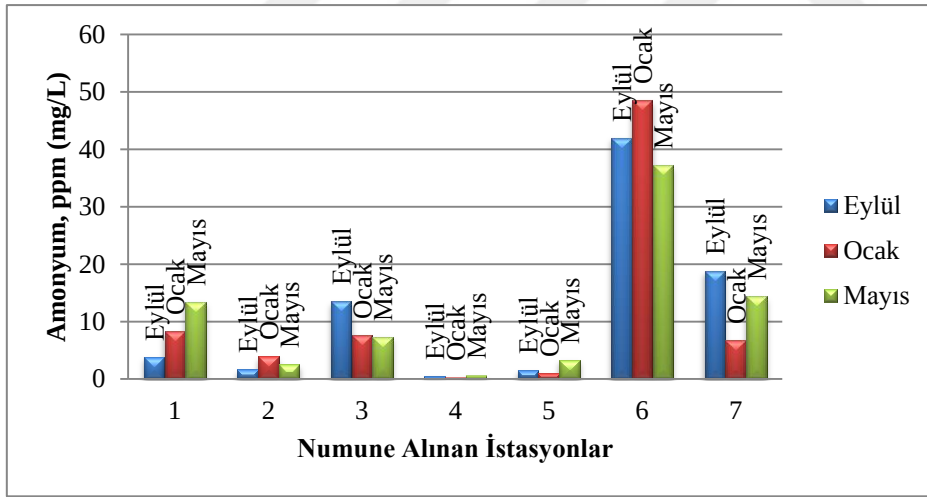
Şekil 4.47. Su örneklerindeki nitrat derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

Amonyum

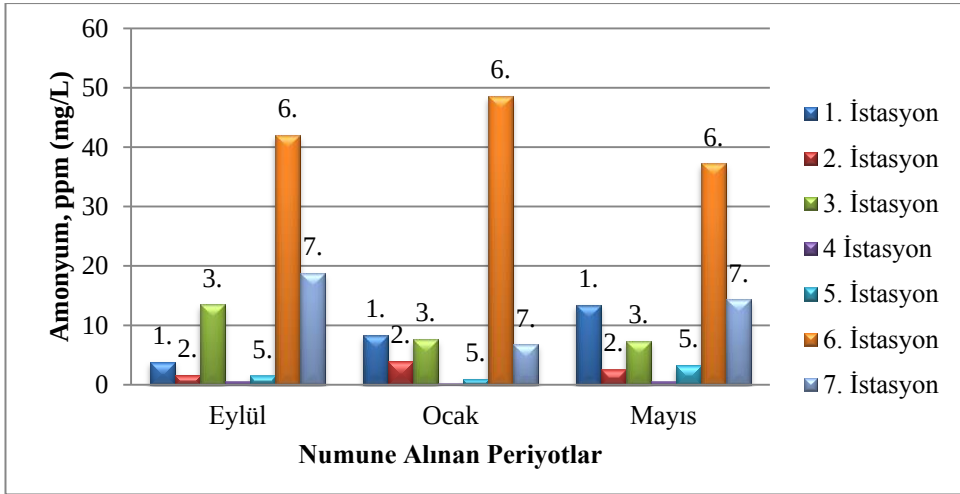
Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz amonyum derişimleri Çizelge 4.31’de, grafikleri ise Şekil 4.48 ve Şekil 4.49’da gösterilmiştir.

Çizelge 4.31. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen amonyum derişimleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	3,87	8,34	13,48
2. İstasyon	1,73	3,97	2,62
3. İstasyon	13,53	7,67	7,39
4. İstasyon	0,56	0,34	0,64
5. İstasyon	1,56	1,06	3,34
6. İstasyon	42,06	48,60	37,27
7. İstasyon	18,83	6,78	14,39



Şekil 4.48. Su örneklerindeki amonyum derişimlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiğı



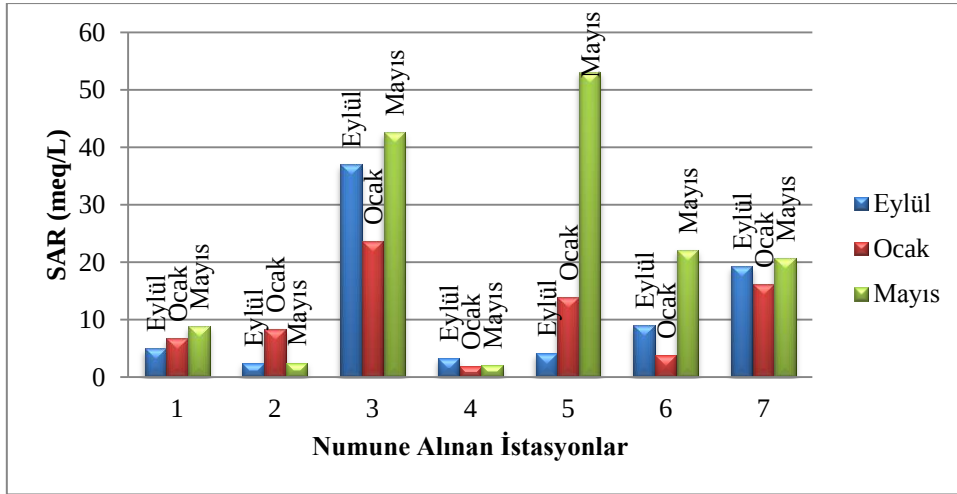
Şekil 4.49. Su örneklerindeki amonyum derişimlerinin zamana göre karşılaştırma grafiğı

SAR

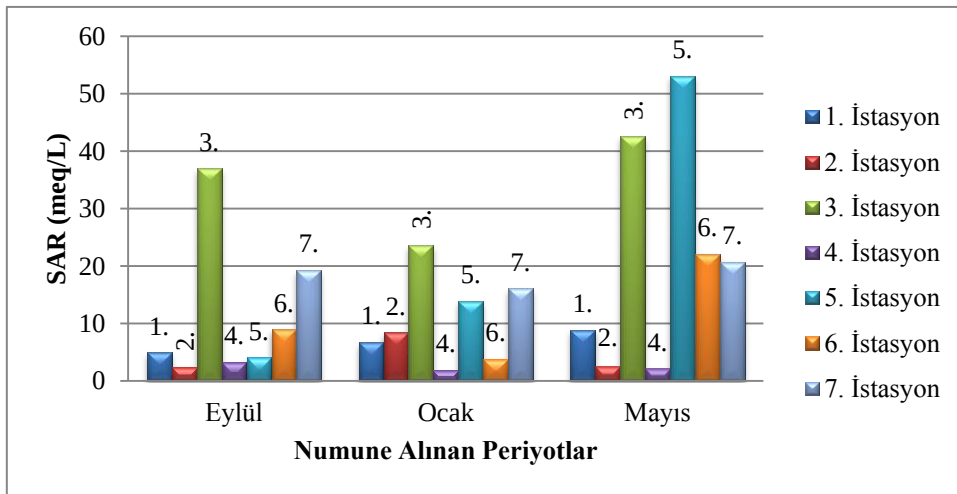
Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz SAR değerleri Çizelge 4.32’de, grafikleri ise Şekil 4.50 ve Şekil 4.51’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.32. Su örneklerini analizi sonucu elde edilen SAR değerleri (mg/L)

İstasyonlar	Eylül	Ocak	Mayıs
1. İstasyon	5,01	6,77	8,90
2. İstasyon	2,48	8,44	2,56
3. İstasyon	37,04	23,65	42,63
4.İstasyon	3,32	1,92	2,19
5. İstasyon	4,13	13,95	53,14
6. İstasyon	9,00	3,86	22,17
7. İstasyon	19,30	16,14	20,80



Şekil 4.50. Su örneklerindeki SAR değerlerinin istasyonlara göre karşılaştırma grafiği



Şekil 4.51. Su örneklerindeki SAR değerlerinin zamana göre karşılaştırma grafiği

4.2. Tartışma

Bu çalışmada Buharkent bölgesinde belirlenen istasyonlardan alınan su ve sediment örneklerindeki metal miktarları belirlenmiştir. Su örneklerinde metal dışında pH, iletkenlik, toplam alkanite, sülfat, nitrat, amonyum, SAR değerleri gibi jeotermal suları karakterize eden parametreler incelenmiştir. İncelemiş olduğumuz parametreler yönetmelikte belirtilen sınır değerlere göre yorumlanmıştır. Yorumlarda kullanılan yönetmeliklerdeki sınır değerler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Çizelge 4.33. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin derişimleri (Atık su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 2010).

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum toplam miktarlar, kg/ha	İzin verilen maksimum derişimler	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler mg/L	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 24 yıldan daha az sulama yapıldığında, mg/L
Alüminyum (Al)	4600	5,0	20,0
Bor (B)	680	-	2,0
Kadmiyum (Cd)	9	0,01	0,05
Krom (Cr)	90	0,1	1,0
Bakır (Cu)	190	0,2	5,0
Demir (Fe)	4600	5,0	20,0
Kurşun (Pb)	4600	5,0	10,0
Manganez (Mn)	920	0,2	10,0
Çinko (Zn)	1840	2,0	10,0

Çizelge 4.34. Kıta içi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri
(Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği, 2015).

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları			
	I	II	III	IV
Genel Şartlar				
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	< 6,0 veya > 9,0
İletkenlik (µS/cm)	<400	1000	3000	>3000
B) Nutrient (Besin Elementleri) Parametreleri				
Amonyum (mg/L NH ₄ ⁺)	< 0,2	1	2	> 2
Nitrat azotu (mg/L NO ₃ ⁻)	< 5	10	20	> 20
C) İz Elementler (Metaller) ve İnorganik Kirlilik Parametreleri				
Alüminyum (mg Al/L)	≤ 0,3	≤ 0,3	1	> 1
Bakır (µg Cu/L)	≤ 20	50	200	> 200
Bor (µg B/L)	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1000	> 1000
Çinko (µg Zn/L)	≤ 200	500	2000	> 2000
Demir (µg Fe/L)	≤ 300	1000	5000	> 5000
Kadmiyum (µg Cd/L)	≤ 2	5	7	> 7
Krom (µg Cr ⁺⁶ /L)	Ölçülmeyecek kadar az	20	50	> 50
Krom (toplam) (µg Cr/L)	≤ 20	50	200	> 200
Kurşun (µg Pb/L)	≤ 10	20	50	> 50
Mangan (µg Mn/L)	≤ 100	500	3000	> 3000

Çizelge 4.35. Değişik bitkilerin sulama suyunda bulunan sodyuma toleransı (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 2010).

Toleransı	SAR değeri	Bitki	Durum
Çok hassas	2-8	Yaprak döken meyve ağaçları, avokado, turunçgiller,	Yaprakta yanma
Hassas	8-18	Fasulyeler	Büyümenin engellenmesi, bodur kalma
Orta toleranslı	18-46	Yonca, yulaf, pirinç	Nütrient ve toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma
Toleranslı	46-102	Buğday, kaba yonca, arpa, domates, şeker pancarı, değişik çimen türleri	Zayıf toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma

Çizelge 4.36.. Bitkilerin Bor Mineraline Karşı Dayanıklılıklarına Göre Sulama Sularının Sınıflandırılması (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 2010).

Sulama Suyundaki Bor Derişimi (mg/L)			
Sulama Suyu Sınıfı	Duyarlı Bitkiler (mg/L)	Orta Derecede Dayanıklı Bitkiler	Dayanıklı Bitkiler
I	0,33'ten az	0,67'den az	1,0'den az
II	0,33-0,67	0,67-1,33	1,00-2,00
III	0,67-1,00	1,33-2,00	2,00-3,00
IV	1,00-1,25	2,00-2,50	3,00-3,75
V	1,25'ten fazla	2,50'den fazla	3,75'den fazla

Çizelge 4.37. Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, 1991).

	Sulama suyu sınıfı				
	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmamalı)	V. sınıf su (zararlı) uygun değil
Kalite kriterleri					
EC ₂₅ x10 ⁶ (μS/cm)	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	> 3000
Sodyum Absorbsiyon oranı (SAR)	< 10	10-18	18-26	> 26	
Sülfat (SO ₄ ²⁻) meq/L	0-4	4-7	7-12	12-20	> 20
mg/L	0-192	192-336	336-575	575-960	> 960
NO ₃ ⁻ veya NH ₄ ⁺ mg/L	0-5	5-10	10-30	30-50	> 50

Çizelge 4.38. Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri (Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, 2005).

Ağır Metal (Toplam)	PH 5- 6 mg/kg Fırın Kuru Toprak	pH>6 mg/kg Fırın Kuru Toprak
Kurşun	50 **	300 **
Kadmiyum	1 **	3 **
Krom	100 **	100 **
Bakır*	50 **	140 **
Nikel*	30 **	75 **
Çinko *	150 **	300 **
Civa	1 **	1,5 **

Çizelge 4.39. Toprakta Bor Sınır Değerleri (Toprak Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı).

B (ppm)	Bor Sınıfı	Açıklama
< 1	Borsuz	1 ppm B, bor'a hassas bitkiler için üst sınırı teşkil eder
1-2	Orta Borlu	
> 2	Borlu	Toksik/marjinal sınır

4.2.1. pH

pH analiz sonuçlarına bakıldığında en yüksek değerlerin beşinci (10,58), altıncı (10,01) ve yedinci istasyonların (10,14) Mayıs ayında olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 4.34.'te belirtilen kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre jeotermal atık suyunun Büyük Menderes Nehri'ne karışma noktaları olarak tespit edilen beşinci, altıncı ve yedinci istasyonlarının su kalitesi 4. Sınıf (Zararlı) olarak tespit edilmiştir. Birinci ve üçüncü istasyon olarak seçilen doğal jeotermal su çıkışlarında periyodik olarak alınan su örneklerinin pH değerleri birbirine yakın olup az miktarda artış göstermişlerdir. pH değerlerindeki bu az miktardaki artışın nedeni buharlaşma olarak düşünülmektedir ve genel olarak pH bakımından 3. Sınıf (kullanılabilir) olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde jeotermal doğal çıkış suyunun nehre karışma noktası olan ikinci istasyon pH bakımından 3. Sınıf su kalitesine girmektedir. Temiz su kaynağı olarak seçilen dördüncü istasyon suyunun pH değeri yine birbirine yakın olarak bir artış göstermiştir. Bunun sebebi olarak Ocak ayında suyun akış yönünün aksi yönde değiştirilmesi ve Mayıs ayındaki buharlaşmanın etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca Denizli-Sarayköy

civarındaki fabrika atıklarının Büyük Menderese deşarjının da bu pH artışında rolü olduğu düşünülmektedir. Temiz su kaynağı olarak belirlenen dördüncü istasyondan alınan su örneklerinin pH bakımından genel olarak 3. Sınıf (kullanılabilir) olarak tespit edilmiştir.

4.2.2. İletkenlik

Analiz sonuçlarına bakıldığında ikinci istasyon hariç iletkenlik değerlerinde eylül ayından itibaren bir azalma tespit edilmiştir. Birinci istasyon ve üçüncü istasyon olarak seçilen doğal çıkış jeotermal sularının en yüksek elektriksel iletkenlikleri sırasıyla 3170, 4040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak tespit edilmiştir. Doğal jeotermal çıkış kaynağının Büyük Menderes Nehri'ne karışma noktası olarak seçilen ikinci istasyonun elektriksel iletkenliği ise 3560 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak tespit edilmiştir. Çizelge 4.37'de belirtilen sulama sularının sınıflandırılmasında esas alınan sulama suyu kalite parametreleri gereğince bu üç istasyon iletkenlik değeri bakımından 3. Sınıf (tehlikeli) olarak tespit edilmiştir. Bu istasyonlardan birinci ve üçüncü istasyon jeotermal çıkış suyu olduğundan termal tesislerde kullanılmaktadır. Fakat ikinci istasyon birinci istasyondaki doğal jeotermal çıkış suyunun Büyük Menderes Nehri'ne karışma noktası olduğundan bu istasyon suyunun sulamada kullanılması tehlikelidir. Beşinci, altıncı ve yedinci istasyon olarak seçilen jeotermal atık sularının nehre karışma noktası olarak seçilen istasyon suları 3. Sınıf (tehlikeli) olarak tespit edilmiştir. Dördüncü istasyon olarak seçilen temiz su kaynağı ise 2. Sınıf (az zararlı) olarak tespit edilmiştir. Jeotermal kaynakların tepkimeleri orta asit-hafif alkali özelliğindedir. Sulama suyu kalitesi yönünden aşırı tuzlu sular sınıfı olarak yerleştirilir ki, bunun tarımsal açıdan herhangi bir sulama suyu olarak kullanımı söz konusu değildir. Bütün bu değerlendirmelere göre yönetmelikteki değerler de göz önüne alınacak olursa doğal çıkış jeotermal suları ve jeotermal atık sularının nehre karışma noktası olarak seçilen istasyon sularının sulama suyu olarak kullanılması çevre ekosistemine zarar vermektedir. Bütün istasyonlar içerisinde temiz su kaynağı olarak seçilen dördüncü istasyon suyu öngörümüzü doğrulamış olup sulama suyu olarak kullanılmasında bir sakınca yoktur.

4.2.3. Toplam Alkalinite

Analiz sonuçlarına bakıldığında tüm istasyonların eylül ayından itibaren toplam alkalinite değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Eylül ve ocak aylarında en yüksek alkalinite değeri altıncı istasyon (1612,4 mg/L, 1800,5 mg/L), mayıs ayında ise

beşinci (1500,9 mg/L), altıncı (1957,7 mg/L), yedinci (1475,8 mg/L) istasyonların en yüksek değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Alkalinite değerleri ile pH arasında bir ilişki bulunmaktadır. Suyun asiditesi azaldığında alkalinite değerinin yükseldiği grafiklerde de görülmektedir.

Jeotermal kaynakların civarında CaCO_3 çökeltilerine yoğun olarak rastlanılır. Termal suların etkisiyle çözünme sürecindeki kalsiyumun artışı kalsit çökelmelerine neden olur. Jeotermallerin çevresindeki çökelmelerin yoğunlaşması termal suların bileşimindeki HCO_3^- , SO_4^{2-} vb. iyonların azalmasına neden olur. (Camgöz vd., 2010)

4.2.4. Sodyum Absorbsiyon Oranı (SAR)

Analiz sonuçlarından yola çıkarak hesapladığımız Sodyum Absorbsiyon Oranı (SAR) değerlerine bakılacak olursa eylül ayında en yüksek SAR değerlerine üçüncü (37,04 meq/L) ve yedinci (19,30 meq/L) istasyonlar sahiptir. Ocak ayında ise yine üçüncü (23,65 meq/L), beşinci (13,95 meq/L) ve yedinci (16,14 meq/L) istasyonlarda yüksek SAR değerlerine rastlanmıştır. Mayıs ayında ise üçüncü (42,63 meq/L), beşinci (53,14 meq/L), altıncı (22,17 meq/L) ve yedinci (20,80 meq/L) istasyonlarda yüksek SAR değerlerine rastlanmıştır. SAR değerlerinin en düşük olduğu istasyon ise temiz su kaynağı olarak seçilen dördüncü istasyon suyudur. Dördüncü istasyonda SAR değerleri eylül, ocak ve mayıs aylarında sırasıyla 3,32 meq/L, 1,92 meq/L, 2,19 meq/L olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.35.'te verilen değerlere göre SAR değeri 2-8 meq/L olan sularla sulamada çok hassas bitkilerde yaprakta yanma, SAR değeri 8-18 meq/L olan sularla sulamada hassas bitkilerde büyümenin engellenmesi, bodur kalma, SAR değeri 18-46 meq/L olan sularla sulamada orta toleranslı bitkilerde toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalma, SAR değeri 46-102 meq/L arasında olan sularla sulamada toleranslı bitkilerde zayıf toprak yapısından dolayı büyümenin engellenmesi ve bodur kalmaya sebep olmaktadır (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 2010). Buharkent ve çevresinde yetiştirilen bitkiler ise genel olarak duyarlı ve orta derece dayanıklı bitkiler grubuna girmektedir. Duyarlı bitkiler grubunda ceviz, limon, incir, elma, üzüm ve fasulye, orta derece dayanıklı bitkiler grubuna ise arpa, buğday, mısır, yulaf, zeytin ve pamuk bitkileri girmektedir. Analiz sonuçlarına bakılacak olursa temiz su kaynağı olan dördüncü istasyon hariç diğer istasyonların SAR değerleri genel

olarak 16-46 meq/L arasındadır. Dolayısıyla bu sularla yapılan bölge tarım arazileri bitkileri ve ağaçlarında büyümenin engellenmesi ve bodur kalma sebebi SAR değerinin yüksek olması olarak gösterilebilir. Jeotermal sular tuzlu sulardır. Jeotermal atık suların kontrolsüzce Büyük Menderes Nehri'ne deşarj edilmesi suda sodyum derişimini arttırmaktadır. Sodyum derişimi arttıkça SAR değeri de artmaktadır. Bu değerin artması sonucu da bölge ekosistemi ciddi anlamda olumsuz yönde etkilenmektedir.

4.2.5. Sülfat

Su numunelerinin analizi sonucu elde ettiğimiz sülfat derişimlerine bakıldığında Ocak ve mayıs ayında jeotermal atık suyunun karışma noktası olan altıncı ve yedinci istasyonlarda sülfat derişimi diğer istasyonlara göre daha yüksek tespit edilmiştir. Temiz su kaynağı olarak seçilen dördüncü istasyon ise eylül, ocak ve mayıs aylarında sülfat derişimi sırasıyla 69,6 mg/L, 76,0 mg/L, 33,22 mg/L olarak tespit edilmiştir. Çizelge 4.37.'de yer alan sulama suyu kalite parametrelerine göre dördüncü istasyon 1. Sınıf su kalitesindedir. Diğer tüm istasyonlarda da sülfat kirlenmesi görülmemiştir.

Derin jeotermal sularda sülfat miktarı 50 ppm'den azdır. Yüzeye yakın yerlerde hidrojen sülfürün yükseltgenmesi ile artış gösterir. Yüzey sularındaki sülfat artışı yüzeye yakın buhar yoğunlaşmasından kaynaklanmaktadır (Aksoy ve Eroğlu, 2003).

4.2.6. Nitrat

Su numunelerinin analizi sonucu elde ettiğimiz nitrat derişimlerine bakıldığında eylül ayında en yüksek nitrat derişimi birinci istasyonda (9,59 mg/L) tespit edilmiştir. Ocak ayında ise yalnızca altıncı (6,34 mg/L) ve yedinci istasyonlarda (0,29 mg/L) nitrat tespit edilmiştir. Mayıs ayında ise yine yalnızca altıncı (4,51 mg/L) ve yedinci istasyonlarda (0,28 mg/L) tespit edilmiştir. Nitrat tespit edilemeyen istasyonlar hariç diğer tüm istasyonlar Çizelge 4.37.'de yer alan sulama suyu kalite parametrelerine göre 2. Sınıf su sınıfına girmektedir. Sulama suyunda yüksek miktarda nitrat bulunması toprakların yapı ve hidrolik iletkenliğini kötü biçimde etkiler.

4.2.7. Amonyum

Su numunelerinin analizi sonucu elde ettiğimiz sonuçlara bakıldığında eylül, ocak ve mayıs aylarında en yüksek amonyum derişimine jeotermal atık suyun nehre karışma noktası olan altıncı istasyonda (42,06, 48,60, 37,27 mg/L) rastlanmıştır. Çizelge 4.37’ de yer alan sulama suyu kalite parametrelerine göre altıncı istasyon 4. Sınıf su sınıfına girmektedir. Yedinci istasyon 3. Sınıf su sınıfına, diğer istasyonlar ise genel olarak 2. Sınıf su sınıfına girmektedir. Jeotermal sularda amonyum (NH_4^+) iyonu ve amonyak gazı (NH_3) bulunur. Yüksek miktarda NH_4^+ yüzeye yakın yerde buhar etkisiyle ısınan suların bir ürünüdür. Derin kayalardan gelen sularda da yüksek miktarda NH_4^+ bulunur. Sulama sularında amonyum tuzlarının olması topraklarda ayrışmayı (dispersiyon) arttırıcı, geçirgenliği düşürücü etki yapar (Aksoy ve Eroğlu, 2003).

4.2.8. Kurşun

Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz kurşun derişimleri tayin sınırının altında bulunmuştur.

Sediment örneklerinin analiz sonuçlarına bakıldığında kurşun miktarının en yüksek değerleri beşinci (85,87 mg/kg) ve altıncı istasyonlarda (79,72 mg/kg) tespit edilmiştir. Çizelge 4.38.’de kurşun için belirtilen sınır değer 300 mg/kg olduğundan Büyük Menderes Nehri’nin çeşitli bölgelerinden aldığımız su örneklerinde kurşun kirliliği tespit edilmemiştir.

4.2.9. Çinko

Analiz sonuçlarına göre su örneklerinde eylül ayında çinko derişimi tayin sınırının altında olduğundan tespit edilememiştir. Ocak ayında ise en yüksek çinko derişimi dördüncü istasyonda (0,23 mg/L) tespit edilirken, mayıs ayında ise en yüksek çinko derişimi birinci istasyonda (3,27 mg/L) tespit edilmiştir. Çizelge 4.33’de çinkonun maksimum derişimi 2,0 mg/L olarak belirtilmiştir. Dolayısıyla sadece birinci istasyonun mayıs ayı analiz sonucunda (3,27 mg/L) çinko sınır değerinin aşıldığı söylenebilir ve Çizelge 4.34’de belirtilen sınıflandırmaya göre bu istasyon suyu 4. Sınıf su kalitesindedir. Birinci istasyon hariç Çizelge 4.34’ de belirtilen su kalite sınıflandırılmasına göre ise genel olarak çinko için istasyon suları 1. Sınıf su kalitesindedir.

Sediment örneklerinin analiz sonuçlarına bakıldığında eylül ayında dördüncü istasyon (1000,47 mg/kg), ocak ayında beşinci (4734,28 mg/kg), altıncı (4076,20 mg/kg) ve yedinci (320,31 mg/kg) istasyonlarda Çizelge 4.38.'de çinko için belirtilen 300 mg/kg sınır değeri aşılmıştır.

Sedimentler ağır metallerin önemli birikim yerleridir ve bu nedenle sucul ortamların metal kirliliğinin belirlenmesinde izlenmesi gereken bir alan özelliğini taşırlar (Salamons vd., 1987). Suda tespit edilemeyen metaller sedimentte tespit edilirken yine su örneklerinde düşük seviyelerde bulunabilecek metaller sedimentte yüksek derişimlerde çıkabilmektedir. Buda metallerin kimyasal ve fiziksel reaksiyonlarla sedimentte birikimi ile açıklanabilir.

4.2.10. Kadmiyum

Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz kadmiyum derişimleri tayin sınırı altında bulunmuştur.

Sediment örneklerinin analiz sonuçlarına bakıldığında eylül ayında üçüncü istasyonda (3,94 mg/kg) Çizelge 4.38.'de belirtilen 3 mg/kg sınır değeri aşıldığı tespit edilmiştir. Diğer istasyonlardaki kadmiyum değeri ise çoğunlukla tayin sınırının altında olup tayin edilebilenler ise yönetmelik sınır değerinin altındadır.

4.2.11. Alüminyum

Analiz sonuçlarına göre su örneklerinde eylül ayında yalnızca altıncı istasyonda (7,04 mg/L) alüminyum derişimi Çizelge 4.33'de sulama suyu kriterleri bakımından alüminyum için belirtilen 5 mg/L sınır değeri aşılmıştır. Çizelge 4.34'de alüminyum için belirtilen kıta içi su kaynakları sınıflarına göre 4. Sınıf su kalitesindedir. Diğer istasyonlarda alüminyum derişimi tayin sınırının altındadır. Ocak ayında ise alüminyum yalnızca beşinci istasyonda (1,99 mg/L) tespit edilmiş olup sınır değerinin altındadır. Yine Çizelge 4.34'de belirtilen sınıflandırmaya göre beşinci istasyon suyu 4. Sınıf su kalitesindedir. Ocak ayında diğer istasyonlarda alüminyum derişimi tayin sınırının altındadır. Mayıs ayında ise alüminyum derişimi bütün istasyonlarda tayin sınırının altında tespit edilmiştir.

Sediment numunelerindeki analiz sonuçlarına bakıldığında ise birinci istasyonda alüminyum derişimi diğer istasyonlara göre eylül (10724,81 mg/kg), ocak (11225,70 mg/kg), mayıs (10562,76 mg/kg) aylarında en yüksek değerde tespit

edilmiştir. Sulama sularında her zaman bulunan düşük derişimlerdeki alüminyumun toprak veya bitkiye bir etkisi yoktur. Asitli topraklarda olduğu gibi su içerisinde yüksek derişimlerde bulunduğu durumlarda birçok bitkiye zehir etkisi yapar.

4.2.12. Krom

Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz krom derişimleri tayin sınırı altında bulunmuştur.

Sediment numunelerindeki analiz sonuçlarına bakıldığında ise sadece mayıs ayında dördüncü istasyonda (119 mg/kg) Çizelge 4.38’de krom için belirtilen 100 mg/kg sınır değerinin aşıldığı tespit edilmiştir. Yalnızca mayıs ayında gözlenen bu durumun Denizli-Sarayköy civarında bulunan tekstil fabrikalarının Büyük Menderes Nehri’ne atık sularının direkt deşarjı sonucu olduğu düşünülmektedir. Diğer istasyonlarda çinko derişimleri yönetmelikte belirtilen sınır değerin altında tespit edilmiştir.

4.2.13. Demir

Su numunelerindeki analiz sonucunda elde ettiğimiz demir derişimlerine baktığımızda çoğu istasyonda demir derişimi tayin sınırının altında tespit edilmiş olup tayin edilen istasyonlarda ise demir için Çizelge 4.33’de belirtilen sınır değer (5 mg/L) aşılmamıştır. Çizelge 4.34.’de demir için belirtilen değere göre beşinci istasyonun ocak ayı verisi (4,22 mg/L) 3. Sınıf su sınıfına girmektedir.

Sediment numunelerindeki analiz sonuçlarına bakıldığında ise mayıs ayında beşinci istasyonda (10301,92 mg/kg) ve yedinci istasyonda (10259,18 mg/kg) demir miktarının en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Su örneklerinde aynı istasyonlarda demir tespit edilememiştir. 180°C’den daha yüksek sıcaklığa sahip sular pirit ile dengededir. Bu sıcaklığın altındaki sıcaklıkta soğuma ile çökeltme başlar ve bu da sularda demir derişimleri oldukça düşükken sediment örneklerinde demir derişimlerinin yüksek çıkmasını açıklar. Demir, havalanması iyi olan topraklar için olumsuz etki yaratmaz.

4.2.14. Mangan

Su numunelerindeki elde ettiğimiz analiz sonuçlarına baktığımızda mangan çoğu istasyonda tayin sınırının altında bulunurken yalnızca beşinci (0,42 mg/L) ve yedinci (0,29 mg/L) istasyonların ocak ayında yapılan analizleri sonucu tayin sınırının üstünde tespit edilmiştir. Çizelge 4.33.'de mangan için sınır değer 0,2 mg/L olarak belirtilmiştir. Dolayısıyla bu istasyonlarda sınır değeri aşılmıştır. Ayrıca bu istasyon suları Çizelge 4.34'de belirtilen su kaynakları sınıflarına göre 2. Sınıf su sınıfına girmektedir. Yalnızca ocak ayında derişimin yüksek çıkmasının sebebi olarak su akış yönünün değiştirilmesi ve bölgede faaliyet gösteren jeotermal sulardan elektrik üretimi yapan tesislerin reenjeksiyon yapmadan jeotermal atık suyunun nehre deşarj edilmesi olarak düşünülmektedir.

Mangan, jeotermal sularda eser miktarda bulunur. Nadiren 0.01 ppm'i aşar (Eroğlu ve Aksoy, 2003).

Sediment numunelerindeki analiz sonuçlarına bakıldığında ise mangan derişimi birinci istasyonun ocak ayında (960,56 mg/kg) en yüksek derişimi tespit edilmiştir. Üçünü istasyonda eylül ayındaki mangan derişimi ocak ayında ciddi bir düşüş yaşamıştır. Kış ayı dolayısıyla bölgenin yağış alması mangan derişimde düşüşe yol açtığı düşünülmektedir. Mayıs ayında bu düşüşün devam ettiği görülmektedir. Diğer istasyonların mangan derişimlerinde çok ciddi artış ya da azalma görülmemiştir.

4.2.15. Bakır

Su numunelerindeki analizi sonucunda elde ettiğimiz bakır derişimleri tayin sınırının altında bulunmuştur.

Sediment örneklerinin analiz sonuçlarına bakıldığında ise bakır derişiminin eylül ayında beşinci istasyonda (23,53 mg/L), yedinci istasyonda (22,77 mg/L) birinci istasyonun ocak ayında (21,16 mg/L) en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Diğer istasyonların bazılarında bakır derişimi tayin limitin altında bulunurken tayin limitinin üstünde tespit edilenler ise yönetmelikte belirtilen sınır değerin altında tespit edilmiştir. Çizelge 4.38'de bakır için belirtilen sınır değeri 140 mg/kg 'dır.

4.2.16. Sodyum

Su numunelerinin analizi sonucu elde ettiğimiz sodyum derişimlerine bakıldığında dördüncü istasyon hariç diğer istasyonların tümünde çok yüksek sodyum derişimi tespit edilmiştir. En yüksek sodyum derişimi beşinci istasyonun (1679,99 mg/L) mayıs ayında alınan numunesinde tespit edilmiştir. Temiz su kaynağı olarak seçilen dördüncü istasyon hariç genel olarak istasyonların tümünde eylül ayından mayısa doğru bir artış söz konusudur. Jeotermal sularda Na derişimi 200-2000 ppm arasında değişir (Eroğlu ve Aksoy, 2003). Bölgede faaliyet gösteren jeotermal sulardan elektirik üretimi yapan tesisler atık jeotermal sularını reenjeksiyon yapmadan direkt olarak Büyük Menderes Nehri'ne deşarjı sonucu sularda sodyum derişimini arttırmıştır. Yüksek düzeydeki sodyum bitkilere zehir etkisi yapar. Tipik sodyum zehirlenmesi belirtileri kenarlara doğru yaprak yanması şeklinde kendini gösterir. Ayrıca yüksek sodyum toprağın fiziksel yapısını bozduğu içinde dolaylı olarak bitki gelişimini engeller. Tarım arazi sulamalarında bu suyun kullanılmasıyla bu bölge bitkilerinin olumsuz yönde etkilendiği açıktır.

4.2.17. Magnezyum

Su numunelerinin analizi sonucu elde ettiğimiz magnezyum derişimlerine bakıldığında eylül, ocak, mayıs aylarında beşinci istasyonun (85,62, 40,42, 30,15 mg/L) en yüksek derişime sahip olduğu tespit edilmiştir. Diğer istasyonlarda eylül'den mayıs ayna doğru genel olarak bir azalma söz konusudur. Yüksek sıcaklığa sahip jeotermal sularda Mg derişimi 0.01-0.1 ppm arasındadır. Daha yüksek derişimler yüzeye yakın kayaçlardan ya da sığ sulardan karışımı göstermektedir (Eroğlu ve Aksoy, 2003). Jeotermal doğal çıkış suyu olarak seçilen istasyonlarda bu yüksek magnezyum derişimi başka kaynaklardan su karışımının olduğunu göstermektedir. Diğer istasyonlardaki yüksek çıkmasının sebebi numunelerin jeotermal atık suyunun nehre karıştığı noktadan alınmasıdır.

4.2.18. Kalsiyum

Su numunelerinin analizi sonucu elde ettiğimiz kalsiyum derişimlerine bakıldığında eylül, ocak ve mayıs aylarında ikisi de doğal çıkış olan birinci ve ikinci istasyonlarda (408,57 mg/L, 402,27 mg/L, 372,90 mg/L) en yüksek kalsiyum derişimleri tespit edilmiştir. Ayrıca jeotermal atıkların nehre direkt deşarjının gerçekleştiği beşinci istasyonda eylül ve ocak aylarında (107,22 mg/L,

193,52 mg/L) yüksek kalsiyum derişimleri tespit edilmiştir. Jeotermal sularındaki kalsiyum derişimi, doğada yaygın olarak gözlenen CaCO_3 (kalsit, aragonit), CaSO_4 (anhidrit, jips), CaF_2 (fluorit) ve diğer kalsiyum minerallerinin ortamdaki çözünürlüğü ile ilgilidir. CO_2 gazının kısmi basıncı CaCO_3 'ün çözünürlüğü ve çökmesini etkiler. Ortam basıncı CO_2 'nin kısmi buhar basıncının altına düşerse, serbest kalan CO_2 açığa çıkar ve ortamdaki CaCO_3 çökeler (Eroğlu ve Aksoy, 2003).

4.2.19. Potasyum

Su numunelerin analizi sonucu elde ettiğimiz potasyum derişimlerine bakıldığında eylül ve mayıs aylarında en yüksek potasyum derişimi jeotermal atık suların nehre karışma noktası olan beşinci istasyonda (104,90 mg/L) tespit edilmiştir. Ocak ayında ise doğal çıkışın nehre karışma noktası olan üçüncü istasyonda (141,03 mg/L) en yüksek potasyum derişimi tespit edilmiştir. Potasyum, çok nadir hallerde yüksek derişimlerde bulunur ve yüksek derişimi toksik etki yapar.

4.2.20. Bor

Su örneklerinin analizi sonucu elde ettiğimiz bor derişimlerine bakıldığında eylül ayında en yüksek bor derişimi beşinci (4,78 mg/L), altıncı (4,35 mg/L) ve yedinci (3,90 mg/L) istasyonlarda tayin edilmiştir. Ocak ayında ise yine beşinci (4,03 mg/L), altıncı (3,95 mg/L) ve yedinci (3,50 mg/L) istasyonlarda en yüksek bor derişimlerine rastlanmıştır. Mayıs ayında yine beşinci (5,09 mg/L), altıncı (5,20 mg/L) ve yedinci (4,23 mg/L) istasyonlarda yüksek bor derişimine rastlanmıştır. Aslında, bütün bitkilerin normal gelişmeleri için az miktar da olsa bora ihtiyaçları vardır. Ancak borun bitkilere gerekli miktarı ile zehirlilik yaratan miktarı arasında çok dar bir sınır vardır ve bu sınır bitki türlerine göre değişmektedir. Toprakta veya sulama suyunda bu belirtilen sınırların üstünde bor bulunması bitki yapraklarında sararma, yanma ve yarılmalara, olgunlaşmamış yapraklarda dökülme ve büyüme hızının yavaşlaması ile verimde azalmaya neden olur (Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği, 2010). Çizelge 4.36'da da belirtilen Bitkilerin Bor Mineraline Karşı Dayanıklılıklarına Göre Sulama Sularının Sınıflandırılması tablosuna göre bu üç istasyonun dayanıklı bitkiler için 5. Sınıf su kalitesi için verilen 3,75 mg/L sınır değerini bile aştığı görülmektedir. Dayanıklı bitki grubuna ise şeker pancarı, yonca, bakla, soğan, marul ve havuç gibi bitkiler girmektedir. Buharkent ve çevresinde yetiştirilen bitkiler ise genel olarak duyarlı

ve orta derece dayanıklı bitkiler grubuna girmektedir. Çizelge 4.36'da belirtildiği üzere duyarlı bitkiler grubunda ceviz, limon, incir, elma, üzüm ve fasulye, orta derece dayanıklı bitkiler grubuna ise arpa, buğday, mısır, yulaf, zeytin ve pamuk bitkileri girmektedir. Dolayısıyla en yüksek bor derişimine sahip bu üç istasyonun bor bakımından 5. Sınıf su sınıfına girmektedir. Aynı şekilde birinci, ikinci ve üçüncü istasyonlar da bor bakımından 5. Sınıf su kalitesine girmektedir. Yapılan analiz sonuçlarına göre yalnızca temiz su kaynağı olarak seçilen dördüncü istasyon sularında bor kirlenmesi görülmemiştir ve eylül, ocak ve mayıs aylarının tümünde genel olarak yönetmelikte belirtilen sulama suyu sınıfına göre bor bakımından 2. Sınıf su sınıfına girmektedir. Bu istasyonda bor miktarının az olmasının sebebi jeotermal atık noktalarından uzak ve temiz su kaynağı olmasıdır.

Sediment örneklerinin analiz sonucuna bakıldığında ise, su örneklerindeki bor derişimleriyle, sedimentlerdeki bor derişimleri birbirlerini destekler niteliktedir. Eylül ayında en yüksek bor derişimi altıncı (3,14 mg/L), yedinci (3,02 mg/L) ve beşinci (2,87 mg/L) istasyonda tespit edilmiştir. Yine ocak ve mayıs aylarında yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında altı, yedi ve beşinci istasyonlarda tespit edilen bor derişimleri ile eylül ayı verileri çok farklılık göstermemektedir. Su örneklerinde de bu istasyonlarda bor derişimi yönetmelikte verilen sınır değerlerin üstünde tespit edilmiştir. Dolayısıyla jeotermal atık suda bulunan yüksek bor derişiminin adı geçen istasyonların sedimentlerini etkilediği gayet açıktır. Orman Toprak ve Ekoloji Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü'nde Toprak Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi'nde belirtilen sınır değerlere göre 2 mg/kg üzerinde bor miktarı toksik olarak nitelendirilmektedir. Dolayısıyla beş, altı ve yedinci istasyonların sediment örnekleri ciddi anlamda toksik içermektedir ve bu durum jeotermal atık suların nehir ekosistemini olumsuz yönde etkilemesinin bir kanıtıdır. Birinci istasyonda eylül, ocak ve mayıs aylarında bor derişimi sırasıyla 1,12 mg/L, 1,10 mg/L ve 1,26 mg/L olarak tespit edilmiştir. Bu istasyon jeotermal doğal çıkış suyu olduğundan, jeotermal sularda bulunan bor derişimini göz önüne alırsak sedimentlerdeki bor derişimi anormal bir durumu göstermemektedir. Zaten bu istasyondan çıkan su sulama suyu olarak kullanılmadığından doğa için bir tehlike arz etmemektedir. Çizelge 4.39'da Toprak Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi tablosunda belirtilen sınır değerlere göre 1-2 mg/kg bor miktarı orta borlu toprak sınıfına girmektedir. Dolayısıyla birinci istasyon sedimenti örneği bor bakımından orta borlu toprak sınıfına girmektedir. Üçüncü istasyon verilerine bakılacak olursak eylül, ocak ve mayıs aylarında bor derişimi sırayla 1,5

mg/L, 1,3 mg/L, 1,6 mg/L olarak tespit edilmiştir. Üçüncü istasyonda aynı birinci istasyon gibi doğal çıkış olduğundan elde edilen veriler birinci istasyonla uyumludur. Yine Çizelge 5.8’te belirtilen sınır değerlere göre 1-2 mg/kg bor miktarı orta borlu toprak sınıfına girmektedir. Dolayısıyla üçüncü istasyon sedimenti örneği bor bakımından orta borlu toprak sınıfına girmektedir. Dördüncü istasyon sedimenti Yenicekent’ten alınmıştır. Bu bölge suyuna herhangi bir jeotermal atık suyunun karışmadığı ve temiz su kaynağı olduğu daha önceki yorumlarda bahsedilmiştir. Bu sebeple dördüncü istasyon sedimentlerinde eylül, ocak ve mayıs aylarında bor tayin sınırının altında tespit edilmiştir. Dolayısıyla dördüncü istasyonda bor kirlenmesi mevcut olmadığı gibi istasyonlar içerisinde sulama suyu kullanımına en uygun istasyondur.

5. SONUÇ

Su Kirliliği Açısından Değerlendirilmesi

Tüm istasyonları göz önüne alacak olursak temiz su kaynağı olan dördüncü istasyon hariç tüm istasyonlarda SAR, pH, iletkenlik parametreleri, bor ve amonyum derişimleri yönetmeliklerde belirtilen limit değerlerin üzerinde tespit edilmiştir. Büyük Menderes Nehri sularında ve sedimentlerinde özellikle bor kirlenmesi mevcuttur denilebilir. Bu parametreler jeotermal suları karakterize eden parametrelerdir. Jeotermal sular tuzlu ve yüksek miktarda bor içerdüğinden Büyük Menderes Nehri'nde jeotermal kaynaklı kirlilik olduğu söylenebilir. Eylül, Ocak, Mayıs aylarında su numunelerinin analiz sonuçlarına bakacak olursak Pb, Zn, Cd, Al, Cr, Fe, Mn, Cu genel olarak tayin limitin altında tespit edildiğinden ve tayin edilebilenler ise Atık su Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği'nde ilgili elementler için belirtilen sınır değeri aşmadığından Büyük Menderes Nehri sularında adı geçen metallere kaynaklı kirlilik genel olarak yoktur denilebilir. Ayrıca sülfat ve nitrat derişimleri de tüm istasyonlarda Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'nde belirtilen sınır değerinin altında tespit edildiğinden nehir sularında sülfat ve nitrat kirlenmesi yoktur denilebilir. Sediment numunelerinin analiz sonucuna bakacak olursak Pb, Cd, Cr, Mn, Cu elementleri Toprak Kirlilik Yönetmeliği'nde belirtilen limit değerlerin altında tespit edildiğinden sularda olduğu gibi nehir sedimentlerinde de genel olarak bu metallere kaynaklı kirlilik yoktur denilebilir. Toprak Kirlilik Yönetmeliği'nde Al, Fe, Mn elementleri için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.

Jeotermal Kirlilik Açısından Değerlendirilmesi

İstasyonları tekrar ele alacak olursak birinci ve üçüncü istasyon jeotermal doğal çıkış kaynağıdır. İkinci istasyon birinci istasyonun Büyük Menderes Nehri'ne karışma noktası, dördüncü istasyon jeotermal atık sularından ve tesislerden en uzak nokta olarak seçilen temiz su kaynağıdır. Beş, altı ve yedinci istasyonlar ise enerji üretim tesislerinin jeotermal atık sularının Büyük Menderes Nehri'ne karışma noktalarıdır. Elde edilen veriler göz önüne alınacak olursa birinci ve üçüncü istasyon suları jeotermal doğal çıkış suyu olduğundan tipik jeotermal suların özelliklerini taşıdığını söyleyebiliriz. Bu istasyonlarda gerek SAR ve iletkenlik değeri, gerekse bor derişimi çok yüksek miktarlarda tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu doğal çıkış sularının tarımda kullanılması yönetmelik gereğince de

kullanılmaması gerekir. Zaten bu doğal çıkış suları bölgede yalnızca termal tesislerde kullanılmakta olduğundan bölge ekosistemi açısından bir tehlike arz etmemektedir. İkinci istasyon birinci istasyon olan doğal çıkış kaynağının nehre karışma noktasıdır. Bu istasyonda pH, iletkenlik ve SAR değerleri yönetmelik sınır değerlerinin üzerinde tespit edilmiş olup metal içeriği bakımından da bor kirliliği mevcuttur. İkinci istasyonda iletkenlik ve SAR parametrelerinin yüksek çıkması birinci istasyon olan jeotermal doğal çıkış suyunun nehre karışması ve sodyum derişimini arttırması olarak açıklanabilir. Jeotermal sular bol miktarda tuz ve bor içermektedir. Bu parametre değerlerinin yüksek çıkması nehir suyunun tarım sulamasında kullanılmaması gerektiğini ifade etmektedir. Dördüncü istasyon olarak seçilen temiz su kaynağı jeotermal tesislerden çok uzakta olup herhangi bir jeotermal atık bu bölge suyuna karışmamaktadır. Dördüncü istasyonun analiz sonuçlarına bakıldığında bu bölgenin nehir suyunda dikkate değer bir kirlenme mevcut değildir. Tarım arazilerinin bu su ile sulanmasında yönetmelikler gereğince de hiçbir sakınca yoktur. Beş, altı ve yedinci istasyonlarda ciddi anlamda bor, çinko amonyum kirliliği söz konusudur. Ayrıca, bu istasyonların pH, iletkenlik ve SAR değerleri çok yüksektir ki bu değerler yönetmelikler gereğince de zararlıdır. Bu üç istasyonun ortak özelliği jeotermal atık sularının Büyük Menderes Nehri'ne karıştığı nokta olmasıdır. Bu jeotermal atık sularının Büyük Menderes Nehri'ne verilmesi nehir suyunda başta bor olmak üzere diğer kirletici maddelerin aşırı artmasına ve bunun doğal sonucu olarak bölgede yetiştirilen bitkilerde ciddi verim kaybına neden olabilmektedir. Bu suların etkisi altında kalan topraklarda tarım yapılması bitkilere ve toprağa çok ciddi zarar verebilmektedir. Bu sularla sulanmış toprakların ıslahı ise çok zor ve maliyetli işlemler gerektirmektedir.

Genel olarak bakıldığında verilerden yola çıkarak jeotermal karışmanın olmadığı istasyon olan dördüncü istasyonla karışmanın olduğu ikinci, beşinci, altıncı ve yedinci istasyonlarının analiz sonuçlarını karşılaştıracak olursak jeotermal atık suyunun Büyük Menderes Nehri'ne karışması hem nehir ekosisteminde hem bölge ekosisteminde ciddi anlamda kirliliğe sebep olmaktadır. Jeotermal kaynakların yüzeye çıkması ile buhar fazındaki CO₂, H₂S, CH₄, NH₃ vb. gazları ayrılır ve sonuçta pH yükselmeye başlar. Zeminde sıcaklığın azalması, derişim ve pH'nın artması sıcak sulardaki kalsit, dolomit, klorür, sülfat, silisyum vb. maddelerin çökmesine neden olur (Camgöz, vd., 2010). Bu maddeler doğal ortama girerek yörenin ekosistemin dengesine zarar vermekte ve zaman süreci içerisinde toprak

yapısını bozarak etkilediği alanları çorak, bitkisiz bir konuma getirmektedir. Nitekim kirlenmenin fazla olduğu bölgelerdeki ağaçların meyvelerinde küçük kalma ve damarlaşıma sorunları mevcuttur. Toprakta verimsizleşmenin geniş alana yayıldığı görülmektedir. Tarım arazilerinin sulama ihtiyacının Büyük Menderes Nehri'den karşılandığı göz önüne alınacak olursa bu sonuç kaçınılmazdır.

Bugüne kadar yapılan jeotermal çalışmalar sırasında elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda görülmektedir ki, sadece jeotermal potansiyelin ortaya çıkarılması yeterli olmayıp, bu enerjiden yararlanma ve geliştirme aşamaları da bilimsel ve teknik çalışmalarla desteklenerek gerçekleştirilmelidir. Böylece jeotermal sahalarımızda gereğinden fazla, bilinçsiz ve kontrolsüz sondaj yapılması önlenerek, üretimde besleme boşaltım dengesi gözetilerek jeotermal kaynağın yenilenebilirliği de korunmuş olacaktır (ETKB, 2011). Jeotermal enerjiye ait bazı dezavantajların iyileştirilebilmesi bakımından incelendiğinde, jeotermal akışkanın kimyasal özelliklerinden dolayı içerisindeki korozyif özellikli maddelerin, kalıntı bırakan veya yoğunlaşmayan bileşenlerin doğrudan sisteme gönderilmesi çeşitli problemlere neden olmaktadır. Bu duruma çözüm olarak, kullanılan jeotermal akışkanın kimyasal özelliklerine uygun inhibitörlerin seçimi ve doğru ekipmanlarla yapılmış sistem dizaynı esastır. Bu sayede jeotermal akışkanın kabuklaşma ve korozyon sorunu giderilerek çok daha verimli bir şekilde kullanılması sağlanmaktadır ki bu da hem çözüm hem de kazanç getirmektedir (Kılıç ve Kılıç, 2013).

Bütün bunlar göz önüne alındığında, başta devlet kurumlarında bu konuyla ilgilenen yetkili mercilere ve bölgede faaliyet gösteren elektrik üretim tesislerine büyük sosyal sorumluluk düşmektedir. Reenjeksiyon sistemi, yeraltından alınan akışkanın kullanıldıktan sonra tekrar yeraltına verilmesiyle hem ısı kaybını önlemekte, hem çevrenin kirlenmesine engel olmakta hem de enerjinin devamlılığını sağlamaktadır. Akışkanın jeotermal sahanın yakınındaki nehre, göle ya da denize verilmesi doğru çözüm değildir ve ciddi çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla doğru olanı, suyu geldiği yere veya uygun yeraltı formasyonlarına basmaktır. Bu bölgedeki üretim tesisleri, yönetmeliklere uygun olarak jeotermal atık sularını hiç nehre vermeden reenjeksiyon sistemini daimi olarak kullanırsa bölge ekosistemine daha az vererek jeotermal enerjiden yararlanılmış olunur. Belki şu ana kadar doğaya ve tarıma verilen zarar tam anlamıyla telafi edilemez ama en azından bu yöntemle bölge ekosistemi geri dönüşü olmayan bir yola girmekten kurtarılabilir.

KAYNAKLAR

- Akar, D. 2003. Jeotermal Santrallerin Çevresel Etkileri. **Jeotermal Enerji Semineri Kitabı**, pp. 161-170, İzmir.
- Akkaş, B. 2010. Banaz-Hamamboğazı (Uşak) Jeotermal Sahasında Su ve Toprak Kirlilik Etkilerinin İncelenmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Akıncı, H.İ. 2012. Kan Bankası Donörlerinden Alınan Kanlarda Toksik Metal ve İz Element Düzeyleri. Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- Aksoy, M. 2007. Jeotermal Kaynaklardan Elektrik Üretimi. **EMO Bilimsel Dergi**, 19:56-58.
- Altınışik, M. Spektroskopik Analiz Yöntemleri, [http://www.mustafaaltinisik.org.uk/45-uzm-02.pdf], Erişim Tarihi: 08.11.2015.
- Arnorsson, S. 2000. Chemical Reactions and Chemical Equilibria. Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use, International Atomic Energy Agency, 343, Vienna.
- Aslan, E. 2010. Alangüllü (Aydın) Jeotermal Kaynağının Kimyasal Özellikleri ve Çevreye Olan Etkilerinin Uzaktan Algılama ve CBS Kullanılarak Belirlenmesi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Asri, Ö.F., Sönmez S. 2006. Ağır Metal Toksisitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri. **DERİM Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü**, 23:36-45.
- Aydingöz, M., 2005. Afyonkarahisar bölgesinde bulunan kaplıca sularının mevsimsel analizi. Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.

- Badruk, M. 2003, Jeotermal enerji uygulamalarında çevre sorunları. **Jeotermal Enerji Semineri Kitabı**, pp.259-271, İzmir.
- Barbier, E. 2002. Geothermal Energy Technology and Current Status: An Overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 6: 3-65.
- BAÜ, 2015. Yerkürenin Bölümleri ve Sıcaklık Dağılımı [<http://jeotermal.balikesir.edu.tr/jeotermalnedir.php>] Erişim Tarihi: 24.08.2015
- Bozalan, M. 2011. Oyuncaklarda Kurşun Düzeyinin Atomik Absorbsiyon Spektrometre İle Tayini. Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Bebek, M.T. 2001. Ulubat Gölü ve Gölü Besleyen Su Kaynaklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Camgöz, B., Saç, M.M., Bolca, M., Özen, F., Oruç, E.Ö., Demirel, N. 2010. Termal Suların Radyoaktivite ve Kimyasal İçeriklerinin İncelenmesi, İzmir, Seferihisar Bölgesi Örneği, **Ekoloji Dergisi** 19:76,78-87.
- Çakın, A., Gökçen G., Eroğlu A. 2005. Jeotermal Uygulamaların Çevresel Etkileri: Balçova Jeotermal Bölgesel Isıtma Sistemi Örneği. **Jeotermal Enerji Semineri Kitabı**, MMO Yayın No: E/2005/393-2, pp. 345-357.
- Çalışkan, D. 2010. Ankara Çayı'nın Tarımsal Sulama Amaçlı Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Danışman, M.A. 2011. Jeotermal Nedir Ne Değildir?. **Jeofizik Bülteni**, 68:4-9.
- Dağdaş, A. 2004. Jeotermal Enerjiden Yararlanmada Türkiye'nin Dünyadaki Konumu ve Potansiyeli. **TMMOB Tesisat Mühendisliği Dergisi**, 80:38-48.
- Dağıstan, H. 2006. Yenilenebilir Enerji ve Jeotermal Kaynaklarımız. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi, (27-30 Kasım 2006), pp. 73-80, İstanbul.

- Deveci, T. 2012. Gaziantep’te Atık Sulardan Etkilenen Toprak ve Bitkilerde Eser Element (Cu, Co, Mn ve Zn) ve Fe Konsantrasyonlarının İcp-İms İle Tayini. Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kilis.
- Durak, S. 1996. Jeotermal Enerji Alternatif mi?. MTA, **Madencilik Bülteni**, 49:22-24.
- Dürüst, N., Dürüst, Y., Tuğrul, D., Zengin, M. 2004. Heavy Metal Contents of Pinus Radiata Trees of İzmit (Turkey). **Asian Journal of Chemistry**, 16:1129-1134.
- EİE, 2015. Jeotermal enerjinin elektrik dışı uygulamaları. [http://www.eie.gov.tr/eieweb/turkce/YEK/jeotermal/12dunyada_jeoterma1.html], Erişim Tarihi: 16.08.2015
- Erciyes Üniversitesi, 2013. Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Kimyası Laboratuvarı Dersi- II.Dönem Ders Notu. [Erişim Adresi: evre.erciyes.edu.tr/dosyalar/dokumanlar/ÇKL%20Yeni/SO4%20Sülfat%20Tayini.pdf].
- Erkul, H. 2012. Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği. **Yönetim Bilimleri Dergisi**, 10: 1-30.
- Eroğlu, A., Aksoy, N. 2003. Jeotermal Suların Kimyasal Analizi, **Jeotermal Enerji Semineri Kitabı**, pp.149-180, İzmir.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z. 1997. Türkiye’de Jeotermal Enerji. Enerji ve Çevre, Sağlık Bakanlığı Yayını, 120, Ankara.
- Haktanır, K., 1987. Çevre Kirliliği. A.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Notu, Teksir No:140.
- Hudson, K.A, Archer, J., 2008. Geochemistry of Arsenic (As) in Spring and Stream Waters from San Antonio de los Cobres, NW Argentina. **Mineralogical Magazine**, 72:425-427.
- Kacar, B., Katkat, V. 2006. Bitki Besleme. Nobel Yayın No:849

- Kamalak, F. 2006. Kahramanmaraş Bölgesindeki Akarsu Ve Kaynak Sularındaki Kurşun, Kadmiyum ve Bakırın Birlikte Çöktürme/Özenginleştirme ve Alev Atomik Absorpsiyon Spektrometresiyle Tayini. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
- Kaymakçıoğlu, F., Kayabaşı, A. 2013. Elektrik Üretiminde Jeotermal Enerjinin Kullanımı ve İleriye Dönük Perspektifler. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi, (27-30 Kasım 2006), pp. 81-89, İstanbul.
- Khan, A.G., Kuek, C., Chaudhry, T.M., Khoo, C.S., Hayes, W.J. 2000. Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*, 41:197-207.
- Kılıç, F. Ç., Kılıç, M, K. 2013. Jeotermal Enerji ve Türkiye. **Mühendis ve Makina**, 54:45-56.
- Kıracı, A. 2014. Azap Gölü'nün Sedimentlerindeki ve Sularındaki Ağır Metal Miktarlarının Belirlenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aydın
- Köse, R., Tugcu, A., Yamık, A. 2004. Kütahya'da jeotermal enerji kullanımının irdelenmesi. II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi Bildirisi Kitabı, (26-28 Mayıs,2004) Kütahya, pp. 278-283.
- Kurnaz, H. 2013. Bazı Balık Dokularında Selenyum Birikiminin Hidrür Oluşturma ve Grafit Fırın Atomik Absorbsiyon Spektrometri ile İncelenmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Edirne.
- Lajunen, L.H.J. 1992. Atomik Absorption Spectrometry. *Spectrochemical Analysis by Atomic Absorption and Emission*. **The Royal Society of Chemistry**, pp.1, 55, 72-116, British.
- Mavi Kitap Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı ve İlgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri. 2011. Ankara.

- Method 3052. 1996. Microwave Assisted Acid Digestion Of Siliceous And Organically Based Matrices, December.
- MTA, 2015. Jeotermal Kaynaklar Dağılım Haritası. [http://www.mta.gov.tr/v2.0/daire-baskanliklari/enerji/images/siteharitalar/1.jpg], Erişim Tarihi: 30.07.2015.
- Mroczek, M. 2004. The Distribution of the Geothermal Fields in the Taupo Volcanic Zone, Wairekei Research Centre, Kawerau, New Zealand.
- Öngay, E. 2004. Balıkesir-Pamukçu Jeotermal Alanı Ve Çevresinin Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelemesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H. 1995. Toprak Bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Genel Yayın No: 73 Ders Kitapları Yayın No:16, ADANA.
- Özdemir, A. 2007. Jeotermal Enerji ve Elektrik Üretimi. **Jeofizik Bülteni**, 55:300-310.
- Öztemir M.H. 2011. Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi ve Aydın-Salavatlı Sahası Elektrik Üretim Santrali, **TMMOB Makine Mühendisleri Odası**, Mart, 9-15. [Erişim: http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/2b0842b119724e5_ek.pdf?dergi=1105]
- Rout, G.R., Das, P. 2003. Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. **Agronomie** [Electronic Journal], 23:3-11.
- Salt, D., Price, R., Pickering, I., Raskin, I. 1995. Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard. *Plant Physiol.*, 109, 1427-1433.
- Savaş, S., Cengiz M. 1994. Köprüçay Irmağının Eğirdir Gölü'ne Dökülen Kolunda Su Kalitesi Değişimi Üzerinde Bir Araştırma. Ege Üniversitesi, **Journal of Fisheries and Aquatic Science**, 11:42-44.

- Serpen, U. 2003. Hydrogeological Investigations on Balçova Geothermal Systems in Turkey. **Geothermics**, 33:309–335.
- Serpen, U., Satman, A., Kasap, İ. 1998. Assessment of Well Testing in Kizildere Geothermal Field. **Transactions Geothermal Resources Council**, 22:589-594.
- Sharma, P., Dubey, R.S. 2005. Lead Toxicity in Plants. **Braz. J. Plant Physiol.**, 17(1):35-52.
- Sheoran, I.S., Singal, H.R, Singh, R.1990. Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). **Photosynthesis Research**, 23:345-351.
- Sossé, B.A., Genet, P., Dunand-Vinit, F., Toussaint, L.M., Epron, D., Badot, P.M. 2004. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. **Plant Science**, 166:1213-1218.
- Stresty, T.V.S., Madhava Rao, K.V. 1999. Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cell of pigeonpea, **Environmental and Experimental Botany**, 41:3-13.
- Şimşek, C. 2003. Balçova Jeotermal Sahasında Bor ve Arsenik Kirliliği. Jeotermal Enerji Semineri, pp. 361-368.
- T.C. Resmi Gazete, Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği Ek 7, 27527, 20 Mart 2010, 83-84.
- T.C. Resmi Gazete, Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Ek 1A 25831, 31.05.2005, 5-6.
- T.C. Resmi Gazete, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği, 20748, 7 Ocak 1991, Tablo 9.
- Tokgöz, G.S., Güneş, C. 2012. Jeotermal Kaynaklı Arseniğin Yeraltısuyu Ve Yüzeysel sulardaki Jeokimyasal Davranışı: Birlikte Çökeltme, Adsorbsiyon, pH-Eh. DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14:43-64.

Toprak Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi, T.C. Orman ve Su işleri Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü, 1-3. Erişim Adresi: [http://ekoloji.ogm.gov.tr/Dokumanlar/Toprak%20analizi%20sonu%C3%A7lar%C4%B1n%C4%B1n%20de%C4%9Ferlendirilmesi.pdf]

Yılmaz, N. 2013. Aydın ve Çevresindeki Jeotermal Sulardaki Bazı Elementlerin ve İyonların İcp-Oes ve İc İle Analizi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aydın.

Yonar, G. 2007. Jeotermal Enerji ile Isıtılan Kütahya İli Simav İlçesindeki Isıtma Sisteminin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi ve Uygulanması Gereken Yenilikler. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Simge ER
Doğum Yeri ve Tarihi : Konak, 01.01.1990

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Adnan Menderes Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü
2008-2012
Yüksek Lisans Öğrenimi : Adnan Menderes Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı
2013-2015

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Makaleler

-SCI

-Diğer

b) Bildiriler

-Uluslararası

-Ulusal

c) Katıldığı Projeler

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl :

İLETİŞİM

E-posta Adresi : simgeer89@gmail.com

Tarih :15.12.2015