

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

**ORDU İLİ ÇEVRE SULARINDA YAYGIN ANYON
VE KATYONLARIN POTANSİYOMETRİ-
KROMATOĞRAFI METOTLARI İLE TAYİNLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öğrencinin Adı SOYADI : Meral GÜNAY
ORCID : 0000-0002-2643-7804
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :/08/2020

Enstitü Anabilim Dalı : Kimya

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat YOLCU
ORCID : 0000-0003-3477-3792

**Ağustos 2020
GİRESUN**

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ORDU İLİ ÇEVRE SULARINDA YAYGIN ANYON
VE KATYONLARIN POTANSİYOMETRİ-
KROMATOĞRAFI METOTLARI İLE TAYİNLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meral GÜNAY

Enstitü Anabilim Dalı

:

Kimya

Bu tez 11/08/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

..... Dr.
.....
Jüri Başkanı

..... Dr.
.....
Üye

.... Dr.
.....
Üye

..... Dr.
.....
Enstitü Müdürü

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Meral GÜNAY

11/08/20

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince fikir ve tecrübelerini bizlerle paylaşan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen hem mesleğine hem de hayata yaklaşımıyla bizlere örnek olan, ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı, çok değerli danışman hocam Sayın **Doç. Dr. Murat YOLCU'ya** sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve laboratuvarını bizlerin her türlü ihtiyacına açarak desteğini sağlayan değerli hocam Sayın **Dr. Öğr. Üyesi Zuhal YOLCU'ya** çok teşekkür ederim. Lisans ve Yüksek Lisans eğitimlerim süresince desteklerini gördüğüm Kimya Bölümündeki diğer hocalarıma da teşekkür ederim. Çalışmalarım için gerekli bazı kimyasalların temin edilmesinde destek olan Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Öğretim Üyeleri Sayın **Doç. Dr. Osman ÇUBUK** ve Sayın **Doç. Dr. Fatih ÇOLDUR'a** çok teşekkür ederim.

Laboratuvarda bilgi, tecrübe ve yardımını gördüğüm, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmalarım boyunca bütün sorularıma, deneylerime ve her türlü ihtiyacıma hızla koşan çok değerli arkadaşım **Öğr. Gör. Nursen DERE'ye** çok teşekkür ederim. Değerli arkadaşım **Öğr. Gör. Yunus ŞENTÜRK'e** de desteği için teşekkür ederim.

Sonsuz sabırla bu günlere gelmemi sağlayan, dualarını ve desteklerini daima üzerimde hissettiğim, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, ihtiyaç duyduğum her konuda destek olan sevgili can babam harika insan Ziraat Mühendisi **Sadık Şahin GÜNEY'a** ve biricik annem **Remihan GÜNEY'a**, ayrıca manevi olarak her zaman desteğini yanımda hissettiğim ve eğitimci olarak yol gösteren canım ablam Sınıf Öğretmeni **Canan GÜNEY'a** ve güzel kardeşim **Hilal GÜNEY'a** da tüm desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
ÖZET.....	X
SUMMARY	XI
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
2.1. Su Çeşitleri.....	6
2.1.1. Yağış Suları	7
2.1.2. Yüzeysel Sular.....	7
2.1.3. Yeraltı Suları.....	7
2.1.4. Atık Sular	7
2.1.5. Maden Suyu	8
2.1.6. Gazlı Şişe Suyu	8
2.1.7. Deniz Suyu.....	8
2.1.8. Tatlı Su	8
2.1.9. Şişe Suyu.....	9
2.1.10. İşlenmiş İçme Suyu.....	9
2.1.11. Steril/sterilize Su	9
2.1.12. Ağır Su (D ₂ O).....	9
2.2. Su Analizlerinin Önemi.....	9
2.2.1. Su ve Çevre Analizleri Laboratuvarında Yapılan Analizler	10
2.3. Suyun İdeal pH'ı	10
2.4. Suyun Sertliği.....	11
2.5. Su Kirlilik Kaynakları	11
2.6. Kromatografi.....	13

2.7. Kromatografinin Sınıflandırılması	15
2.7.1. İyon Kromatografisi.....	17
2.8. Potansiyometri	17
2.8.1. Potansiyometrik Tayin İlkesi.....	19
2.8.2. Referans Elektrotlar	21
2.8.2.1. Kalomel Elektrot	21
2.8.2.2. Gümüş/Gümüş Klorür Elektrot	22
2.8.2.3. İyon-Seçici Elektrotlar	23
2.8.3. İyon-Seçici Elektrotların Sınıflandırılması	23
2.8.3.1. Cam İyon-Seçici Elektrotlar.....	24
2.8.3.2. Metalik (Katı-Hal) İyon-Seçici Membran Elektrotlar.....	25
2.8.3.2.1. I. Sınıf Elektrotlar.....	26
2.8.3.2.2. II. Sınıf Elektrotlar	26
2.8.3.2.3. III. Sınıf Elektrotlar	27
2.8.3.3. Sıvı-Hal İyon-Seçici Elektrotlar.....	27
2.8.3.4. Kaplama Tel İndikatör Elektrotlar.....	28
2.8.3.5. Gaz ve Enzim Elektrotlar	28
2.8.3.6. İyon Seçici Alan Etki Transistörleri (ISFET).....	29
2.8.3.7. Kompozit Elektrotlar.....	30
2.8.3.8. Sıvı-Membran İyon-Seçici Elektrotlar	30
2.8.4. İyon Seçici Elektrotların Farklı Bir Sınıflandırılması	32
2.8.5. İyon-Seçici Elektrotların Performansına Etki Eden Faktörler	32
2.8.5.1. Cevap Zamanı	33
2.8.5.2. Tayin Limiti (Ölçümlerin Duyarlılığı)	34
2.8.5.3. Seçicilik.....	35
2.8.5.4. Tekrarlanabilirlik.....	35
2.8.5.5. Doğrusal Çalışma Aralığı.....	35
2.8.5.6. pH Çalışma Aralığı.....	35
2.8.5.7. Yaşam Süresi	36
2.8.6. İyon Seçici Elektrotların Avantaj ve Dezavantajları	36
2.8.7. İyon-Seçici Elektrotların Uygulamaları	37
2.8.7.1. Doğrudan Ölçümler.....	37
2.8.7.2. Potansiyometrik Titrasyonların Dönüm Noktalarının Tayini.....	39
2.8.7.3. Denge Sabiti ve Buna Bağlı Fiziksel Sabitlerin Hesaplanması	39

2.8.7.4. İyon-Seçici Elektrotların Hareketli Ortamlarda Kullanılması	40
BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM	48
3.1. Materyal	48
3.1.1. Kullanılan Kimyasallar	48
3.1.2. Kullanılan Cihazlar	48
3.2.Yöntem.....	48
3.2.1. Standart Çözeltilerin Hazırlanması	48
3.2.2. İyon Duyarlı Mikrosensörlerin Hazırlanması	49
3.2.3. Çalışma Yöntemi.....	50
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI	53
4.1. Sensörlerin Davranışları.....	53
4.1.1. Katyon-Duyarlı Sensör.....	53
4.1.2. Anyon-Duyarlı Sensör.....	58
4.2. Gerçek Numune Analizi	62
4.2.1. Potansiyometrik Analiz Sonuçları.....	62
4.2.2. İyon Kromatografik Analiz Sonuçları.....	86
4.3. İstatistiksel Analiz	111
BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ	116
KAYNAKLAR.....	122
ÖZGEÇMİŞ	128

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAS	: Atomik Absorbsiyon Spektropisi
Ag	: Gümüş
AgBr	: Gümüş bromür
AgCl	: Gümüş klorür
AgI	: Gümüş iyodür
Ag ₃ PO ₄	: Gümüş fosfat
Ag ₂ S	: Gümüş sülfür
AgSCN	: Gümüş tiyosiyanat
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
A°S	: Alman Sertlik Derecesi
BrO ₃ ⁻	: Bromat İyonu
CaCl ₂	: Kalsiyum Klorür
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
CaO	: Kalsiyum Oksit
CLS	: Klasik En Küçük Kareler
CO ₂	: Karbon Dioksit
CPE	: Carbo Paste Electrode
DB18C6	: Dibenzo18crown6
F°S	: Fransız Sertlik Derecesi
HCl	: Hidroklorik Asit
HCO ₃ ⁻	: Hidrojen Karbonat
H ₂ CO ₃	: Karbonik Asit
HNO ₃	: Nitrik Asit
ICP-MS	: Inductivelu Coupled Plasma-Mass Spectrometer
ICP-OES	:İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi
IGFET	: İzole-Geçiş-Alan Etki Transistörleri

IUPAC	: Uluslararası Uygulamalı Kimya Birliği
ISE	: İyon Seçici Elektrot
ISFET	: İyon-Seçici Alan Etki Transistörleri
İ°S	: İngiliz Sertlik Derecesi
KCl	: Potasyum Klorür
KNO ₃	: Potasyum Nitrat
M veya mol.L ⁻¹	: 1 litre çözeltideki maddenin mol miktarını ifade eder.
mg/L	: 1 litre çözeltideki maddenin milligram miktarını ifade eder.
MOSFET	: Metal-Oksit Alan Etki Transistor
mV	: Milivolt
MIC	: Microvave induced combustion
NaCl	: Sodyum Klorür
NaHCO ₃	: Sodyum Bikarbonat
NaNO ₃	: Sodyum Nitrat
NaOH	: Sodyum Hidroksit
Ni-sac	: Nikel Sakkarin
NPOE	: o-nitrofeniloktileter
PCR	: Temel Bileşen Regrasyonu
PLS1	: Kısmi En Küçük Kareler
PVC	: Yüksek Molekül Ağırlıklı Polivinilklorür
TDABr	: Tetradodesilamonyumbromür
THF	: Tetrahidrofuran
UV	: Ultraviyole
V	: Volt
WHO	: World Halt Organization
µm	: Mikrometre

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. H ₂ O molekül bağlanması ve 3 boyutlu gösterimi	2
Şekil 1.2. H ₂ O molekülünün açılı derecesi	2
Şekil 2.1. Su oluşumu	7
Şekil 2.2. Mikhail TSVETT	14
Şekil 2.3. Kromatografi cihazı	15
Şekil 2.4 Potansiyometrenin çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi	18
Şekil 2.5. Basit bir potansiyometrik sistem	19
Şekil 2.6.(a) Laboratuvarda hazırlanabilen bir doygun kalomel elektrot, (b) ve (c) tipik ticari kalomel elektrotlar	22
Şekil 2.7. (a) Tipik bir gümüş/gümüş klorür referans elektrot, ve (b) bir cam indikatör ve bir gümüş/gümüş referans elektrottan oluşan kombinasyon prob	23
Şekil 2.8. Cam elektrotta asit-baz hatası	25
Şekil 2.9. Yaygın olarak kullanılan katı-hal tipi iyon seçici elektrot	25
Şekil 2.10. Gaz duyarlı bir elektrot	28
Şekil 2.11. Bir ISFET'in şeması	29
Şekil 2.12. o-fenantrolin'in yapısı	31
Şekil 2.13. Potasyum tetrakis (p-klorofenil) borat'ın yapısı	31
Şekil 2.14. Bazı lityum iyonoforların yapısı	32
Şekil 2.15. IUPAC'a göre cevap zamanı	33
Şekil 2.16. IUPAC'a göre tayin limiti	34
Şekil 2.17. Basit bir kalibrasyon grafiği	38
Şekil 2.18. Standart ekleme metodu ile iyon tayini	39
Şekil 2.19. Hareketli ortamda ölçüm sistemi	41
Şekil 3.1. Geliştirilen sensörlerin hazırlanış safhalarındaki görüntüleri	49
Şekil 3.2. Turnasuyu Çayı su numunelerinin toplandığı istasyonlar (1: Turnasuyu-deniz birleşim, 2: Karapınar OSB, 3: Kayabaşı, 4: Eyüplü, 5: Eyüplü, 6: Sağırılı, 7: Kovancı, 8: Kuyulu, 9: Gümüşköy, 10: Akgüney)	51
Şekil 4.2. Katyon-duyarlı sensörün standart KNO ₃ çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri	55
Şekil 4.3. Katyon-duyarlı sensörün standart NaCl çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri	56
Şekil 4.4. Katyon-duyarlı sensörün standart NaNO ₃ çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri	57
Şekil 4.5. Anyon-duyarlı sensörün standart KCl çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri	58
Şekil 4.6. Anyon-duyarlı sensörün standart NaCl çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri	59
Şekil 4.7. Anyon-duyarlı sensörün standart KNO ₃ çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri	60
Şekil 4.8. Anyon-duyarlı sensörün standart NaNO ₃ çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri	61

Şekil 4.9. Standart katyon karışımı için elde edilen kromatogram	86
Şekil 4.10. Na ⁺ ve K ⁺ için iyon kromatografik kalibrasyon grafikleri.....	87
Şekil 4.11. Mart-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram	87
Şekil 4.12. Nisan-7 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram.....	88
Şekil 4.13. Mayıs-4 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram	89
Şekil 4.14. Haziran-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram	90
Şekil 4.15. Temmuz-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram.....	91
Şekil 4.16. Ağustos-8 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram	92
Şekil 4.17. Eylül-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram	92
Şekil 4.18. Ekim-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram	93
Şekil 4.19. Kasım-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram.....	94
Şekil 4.20. Aralık-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram.....	95
Şekil 4.21. Ocak-6 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram.....	95
Şekil 4.22. Şubat-2 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram	96
Şekil 4.23. Standart anyon karışımı için elde edilen kromatogram	98
Şekil 4.24. Cl ⁻ ve NO ₃ ⁻ için iyon kromatografik kalibrasyon grafikleri.....	98
Şekil 4.25. Mart-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram	99
Şekil 4.26. Nisan-7 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram.....	100
Şekil 4.27. Mayıs-4 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram	101
Şekil 4.28. Haziran-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram.....	102
Şekil 4.29. Temmuz-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram	103
Şekil 4.30. Ağustos-8 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram	104
Şekil 4.31. Eylül-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram.....	105
Şekil 4.32. Ekim-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram.....	106
Şekil 4.33. Kasım-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram.....	107
Şekil 4.34. Aralık-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram	108
Şekil 4.35. Ocak-6 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram.....	109
Şekil 4.36. Şubat-2 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram	110
Şekil 4.37. 1 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü ...	117
Şekil 4.38. 2 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü ...	117
Şekil 4.39. 3 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü ...	118
Şekil 4.40. 4 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü ...	118
Şekil 4.41. 5 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü ...	119
Şekil 4.42. 6 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü ...	119
Şekil 4.43. 7 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü ...	120
Şekil 4.44. 8 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü ...	120
Şekil 4.45. 9 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü ...	121
Şekil 4.46. 10 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü ..	121

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1.1. Bazı katı-hal iyon-seçici membranlar (Skoog, 1990)	26
Tablo 3.1. Turnasuyu Çayı'nda belirlenen istasyonların enlem ve boylamları	51
Tablo 3.2. İyon kromatografik analizler için uygulanan parametreler.....	52
Tablo 4.1. İyon duyarlı sensörler için membran bileşimleri	53
Tablo 4.2. Katyon-duyarlı sensörün KCl çözeltileri için potansiyometrik performans karakteristikleri	54
Tablo 4.3. Katyon-duyarlı sensörün KNO ₃ çözeltileri için potansiyometrik performans karakteristikleri	55
Tablo 4.4. Katyon-duyarlı sensörün NaCl çözeltileri için potansiyometrik performans karakteristikleri	56
Tablo 4.5. Katyon-duyarlı sensörün NaNO ₃ için bazı potansiyometrik performans karakteristikleri	57
Tablo 4.6. Anyon-duyarlı sensörün KCl çözeltileri için potansiyometrik performans karakteristikleri	58
Tablo 4.7. Anyon-duyarlı sensörün NaCl çözeltileri için potansiyometrik performans karakteristikleri	59
Tablo 4.8. Anyon-duyarlı sensörün KNO ₃ çözeltileri için potansiyometrik performans karakteristikleri	60
Tablo 4.9. Anyon-duyarlı sensörün NaNO ₃ çözeltisi için potansiyometrik performans karakteristikleri	61
Tablo 4.10. Turnasuyu Çayı Mart ayı su numuneleri için Dibenzo18crown6 (DB18C6) kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları	62
Tablo 4.11. Turnasuyu Çayı Mart ayı su numuneleri için Tetradodesil amonyum bromür (TDABr) iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları	63
Tablo 4.12. Turnasuyu Çayı Nisan ayı su numuneleri için Dibenzo18crown6 (DB18C6) kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları	64
Tablo 4.13. Turnasuyu Çayı Nisan ayı su numuneleri için Tetradodesil amonyum bromür (TDABr) iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları	65
Tablo 4.14. Turnasuyu Çayı Mayıs ayı su numuneleri için Dibenzo18crown6 (DB18C6) kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları	66
Tablo 4.15. Turnasuyu Çayı Mayıs ayı su numuneleri için Tetradodesil amonyum bromür (TDABr) iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları	67
Tablo 4.16. Turnasuyu Çayı Haziran ayı su numuneleri için Dibenzo18crown6 (DB18C6) kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları	68
Tablo 4.17. Turnasuyu Çayı Haziran ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları	69
Tablo 4.18. Turnasuyu Çayı Temmuz ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları	70
Tablo 4.19. Turnasuyu Çayı Temmuz ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları	71

Tablo 4.20. Turnasuyu Çayı Ağustos ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları	72
Tablo 4.21. Turnasuyu Çayı Ağustos ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları	73
Tablo 4.22. Turnasuyu Çayı Eylül ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları	74
Tablo 4.23. Turnasuyu Çayı Eylül ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları	75
Tablo 4.24. Turnasuyu Çayı Ekim ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları	76
Tablo 4.25. Turnasuyu Çayı Ekim ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları	77
Tablo 4.26. Turnasuyu Çayı Kasım ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları	78
Tablo 4.27. Turnasuyu Çayı Kasım ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları	79
Tablo 4.28. Turnasuyu Çayı Aralık ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları	80
Tablo 4.29. Turnasuyu Çayı Aralık ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları	81
Tablo 4.30. Turnasuyu Çayı Ocak ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları	82
Tablo 4.31. Turnasuyu Çayı Ocak ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları	83
Tablo 4.32. Turnasuyu Çayı Şubat ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları	84
Tablo 4.33. Turnasuyu Çayı Şubat ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları	85
Tablo 4.34. Turnasuyu Çayı su numunelerinin kasyon içerikleri için iyon kromatografik sonuçlar	97
Tablo 4.35. Turnasuyu Çayı su numunelerinin anyon içerikleri için iyon kromatografik sonuçlar	111
Tablo 4.36. Su numunelerinin kasyon duyarlı Na^+ içeriğinin potansiyometri ve iyon kromatografi metotları ile elde edilen karşılaştırmalı analiz sonuçları (% 95 güven seviyesinde N = 3 için).....	112
Tablo 4.37. Su numunelerinin kasyon duyarlı K^+ içeriğinin potansiyometri ve iyon kromatografi metotları ile elde edilen karşılaştırmalı analiz sonuçları (% 95 güven seviyesinde N = 3 için).....	113
Tablo 4.38. Su numunelerinin anyon duyarlı Cl^- içeriğinin potansiyometri ve iyon kromatografi metotları ile elde edilen karşılaştırmalı analiz sonuçları (% 95 güven seviyesinde N = 3 için).....	114
Tablo 4.39. Su numunelerinin anyon duyarlı NO_3^- içeriğinin potansiyometri ve iyon kromatografi metotları ile elde edilen karşılaştırmalı analiz sonuçları (% 95 güven seviyesinde N = 3 için).....	115

ORDU İLİ ÇEVRE SULARINDA YAYGIN ANYON VE KATYONLARIN POTANSİYOMETRİ-KROMATOĞRAFI METOTLARI İLE TAYİNLERİ

ÖZET

Bu çalışmada, bütünüyle katı-hal PVC-membran anyon ve katyon duyarlı mikrosensörler hazırlanmış ve potansiyometrik performans özellikleri araştırılmıştır. Hazırlanan mikrosensörlerin potansiyometrik performansları (doğrusal çalışma aralığı, tayin limiti, cevap zamanı, eğim, pH çalışma aralığı, kullanım ömrü vb.) araştırılmıştır. Optimum karaktere sahip sensörler kullanılarak; Ordu İli Turnasuyu Çayı boyunca 10 istasyondan 1 yıl boyunca düzenli aralıklarla toplanan su numunelerinde bulunması muhtemel bazı katyon ve anyonların potansiyometrik tayinlerinin yapılması amaçlanmıştır. Hazırlanan sensörler kullanılarak su numunelerindeki Cl^- , NO_3^- , K^+ ve Na^+ iyonlarının hızlı, doğru, hassas ve ekonomik tayinleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aynı numuneler eş zamanlı iyon kromatografisi sisteminde analiz edilmiştir. Elde edilen potansiyometrik ve iyon kromatografik sonuçlar istatistiki olarak karşılaştırılmış (çift taraflı t-testi) ve sonuçların % 95 güven aralığında birbiriyle uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Sensör, Potansiyometri, İyon Kromatografisi, Suda İyon Tayini, Ordu Turnasuyu Çayı

DETERMINATION OF COMMON ANIONS AND CATIONS IN ENVIRONMENTAL WATERS OF ORDU PROVINCE BY POTENTIOMETRY-CHROMATOGRAPHY METHODS

SUMMARY

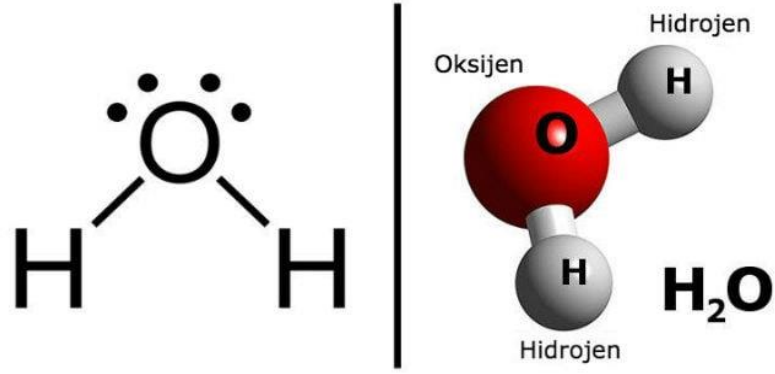
In this study, all solid-state PVC-membrane anions and cations sensitive microsensors were prepared and potentiometric performances of the microsensors were investigated. The potentiometric performances (linear working range, detection limit, response time, slope, pH working range, lifetime etc.) of the prepared microsensors were investigated. By using the microsensors as optimum ones; it is aimed to be potentiometric determination of some cations and anions in water samples that collected from 10 stations along Turnasuyu Stream of Ordu Province for 1 year at regular intervals. Fast, accurate, sensitive and economical determinations of Cl^- , NO_3^- , K^+ , and Na^+ ions in water samples were successfully performed using the prepared sensors. Also the water samples were analysed by dual-ion chromatography system. The obtained potentiometric and ion chromatographic results were compared statistically (pared t-test) and the results were found to be in agreement with each other in the 95 % confidence interval.

Keywords: Sensor, Potentiometry, Ion Chromatography, Ion Determination in Water, Ordu Turnasuyu Stream

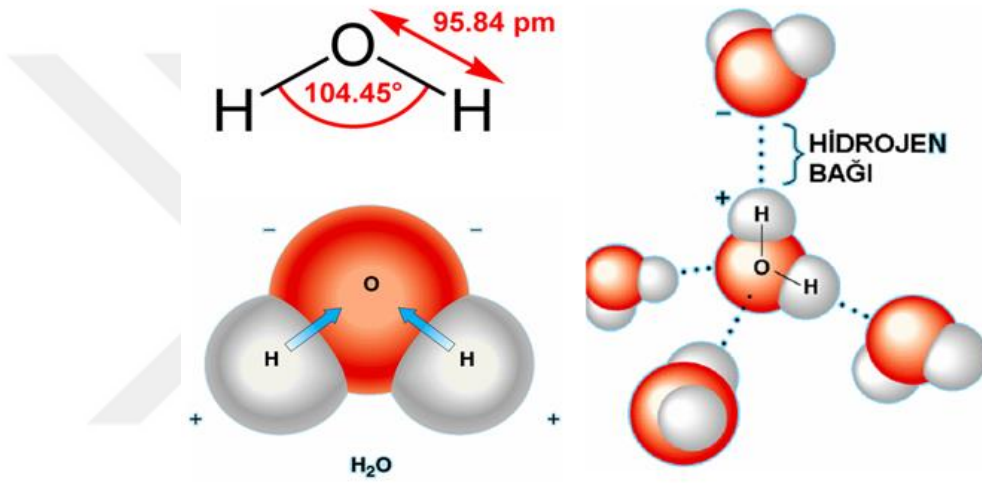
BÖLÜM 1. GİRİŞ

Su, dünyada var olan mikroorganizmadan, en büyük canlı varlığa kadar, bütün biyolojik hayati ve insani faaliyetlerin yürütülmesinde büyük önem arz etmektedir. Hayatımızı devam ettirebilmemiz için en önemli besin kaynağı olarak belirtilen su, sindirim ve dolaşım sistemlerinin çalışmasında en temel madde olduğu gibi, metabolizma olayları sonucu oluşan atık ve zehirli maddelerin de vücuttan uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (<http://ders.im/dokuman/sularda-fiziksel-kontroller>). Su dünya üzerinde var olan çözücülerin en iyisidir. Doğadaki içeriğinde pek çok katı parçacık, makro ve mikro boyutta birçok canlı ve çözünmüş madde barındırır. İnsanlar günlük hayatlarını devam ettirebilmek ve ekonomik ihtiyaçlarını karşılayabilmek için suyu hidrolojik çevrim denilen suyun doğadaki kendi döngüsünden alırlar ve kullandıktan sonra bu döngüye tekrar geri verirler. Bu döngü sırasında suya karışan maddeler, suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin değişimine neden olurlar (Akkurt ve ark., 2002; Aydınöz, 2005). “Yaşam suda başlamıştır.” önermesi suyun yeryüzünde sahip olduğu önemin göstergesidir (Ulusoy, 2007:25).

Dünyanın var oluşuyla ortaya çıkan ve tarihi insanlığın var oluşundan daha öncesi bir döneme dayanan, aynı zamanda normal sıcaklık ve basınç altında sıvı halde bulunan su (H_2O); bir molekülünde bir oksijen ve iki hidrojen atomu barındıran, saf halinde; renksiz, kokusuz ve tatsız bir maddedir. Diğer bir deyişle su, yeryüzü ve canlı yapısının %70’ini oluşturan, doğada içeriğinde safsızlıklar bulunduran sıvı bir maddedir (Ulusoy, 2007:25).



Şekil 1.1. H₂O molekül bağlanması ve 3 boyutlu gösterimi (<http://www.olaganustukanitlar.com/iki-yanici-gazdan-hidrojen-ve-oksijen-olusmus-olmasina-ragmen-su-neden-yanmaz/>)



Şekil 1.2. H₂O molekülünün açı derecesi (<https://www.su.gen.tr/suyun-molekul-yapisi.html>.
02.03.2020)

Dünya üzerinde bulunduğu ve bulunduğu noktalardaki görevleri düşünüldüğünde yerine başka hiçbir maddenin kullanılamayacağı su, insanın yaşamını devam ettirebilmesi için oksijen kadar hayati bir maddedir. Suyu ilk defa dünya üzerindeki en yaşlı kayalar olduğu belirlenen Greenland'deki Isua Kayaları içerisinde rastlanmış ve yapılan incelemelerde söz konusu kayaların içindeki suyun 3,8 milyar yıllık olduğu saptanmıştır (Ulusoy, 2007:25).

Dünyada bulunan toplam suyun % 97'sini denizler ve okyanuslar, % 2'sini kutuplardaki buzullar ve % 0,5'ini ise yeraltı ve toprak suyu oluşturmaktadır. Dünyadaki tatlı su miktarı toplam suyun % 0,01'ini ve tatlı suların da yaklaşık % 97'sini yeraltı suları oluşturmaktadır (<http://ders.im/dokuman/sularda-fiziksel-kontroller>).

Sularda bulunabilecek her türden madde belirli bir derişimde sağlık için gereklidir ancak bu derişimin üzerine çıkıldığında sağlık için zararlıdır. Bu maddelerin su içerisindeki derişim sınırı bazıları için yüksek olmasına karşın bir kısmı daha dar sınırlar içerisinde sularda bulunulması istenen maddelerdir. Zehirli maddeler içinde aynı koşullar geçerlidir ancak yine bu maddelerinde bazı türlerinin suda çok küçük derişimler de bulunmaları halinde dahi sağlığa zarar verici etkiye sahip olabilecekleri ve bunun sonucu olarak insanlarda hastalıklara yol açabilecekleri bilinmektedir. Eser miktarda bile sağlık açısından büyük zararlar açığa çıkaran bu maddelerden en sık rastlananlar arasında “ağır metaller” olarak adlandırılan Sb, As, Ag, Be, Se, Cr, Pb, Mn, Hg, Ni, Cd ve Zn gibi elementler bulunmaktadır (Dişli ve ark., 2004). Bununla birlikte, bilinçsiz olarak kimyasal temelli zirai ilaç kullanımı, endüstriyel atıklar ve bu yapılarla kirlenen suların yer altı suları ile birleşmesi ardından bu kaynak sularında nitrat ve nitrit düzeyleri de büyük oranda değişmekte sonuç olarakta su kaynakları kirlenmektedir. Bu nedenle verilen bu büyüklüklerin sürekli olarak saptanması ve kontrol altında tutulması halk sağlığı açısından önemlidir (Yılmaz, 2013).

İyonik türlerin çok çeşitli çevre, endüstriyel ve biyolojik numunelerde doğru, hassas ve hızlı tayinleri yukarıda belirtilen nedenlerden ötürü büyük önem arz etmektedir. Karmaşık numunelerde iyonik türlerin analiz edilmesi için iyon kromatografi gibi teknikler kullanılmaktadır (Isildak ve ark., 1990). Bu tür yöntemlerin maliyetleri ve uygulanma zorluğu gibi dezavantajları düşünüldüğünde maliyeti düşük olan tayin yöntemleri daha cazip hale gelmektedir (Takeuchi ve ark., 1999). Literatürde sulu çözeltilerdeki iyonik türlerin tayinlerinde iyon-seçici elektrotların (ISE) kullanımıyla yaygın olarak uygulanan potansiyometrik yöntemler üzerine yapılan çalışmalara sıklıkla rastlanmaktadır (Koch, 1988).

İlk olarak geliştirilen iyon-seçici elektrot, pH cam elektrodun temelini oluşturan hidrojen iyonuna duyarlı cam membran elektrottur. Sonraki yıllarda camın bileşimi değiştirilerek ve farklı türde polimer materyaller kullanılarak Na^+ , K^+ ve Li^+ gibi diğer iyonlara karşı seçicilik özelliği gösteren çok sayıda elektrot geliştirilmiştir (Haddad ve Jackson, 1990). Hazırlanmaları çok daha kolay olan katı hal iyon-seçici

polimer membran elektrotların keşfi ile birlikte elektrotlar ile ilgili çalışmalar çeşitlilik kazanmıştır (Deelder ve ark., 1981). Hazırlanması kolay, maliyeti düşük ve minyatürize edilebilen tamamıyla katı-hal ISE'lerin geliştirilmesi, çok sayıda anyon ve katyonun hassas, doğru, kolay ve seçici olarak tayin edilebilmesini sağlamıştır (Isildak ve Asan, 1999). Daha sonraki yıllarda değişik yapı ve özelliklerdeki membranlar geliştirilerek farklı katyon ve anyonlara seçicilik sergileyen elektrotlar da geliştirilmiştir. Günümüzde sıvı-membran ISE ve bunlara alternatif olarak son yıllarda uygulama alanı bulan tamamıyla katı-hal ISE vasıtasıyla çok sayıda anyon ve katyon doğru, hassas, kolay ve seçici olarak tayin edilebilmektedir (Moody ve Thomas, 1988; Nomura ve ark., 1988; Lindner ve ark., 1992;).

İyon-seçici elektrotlarda en önemli özellik birçok iyon yanında sadece bir iyon seçicilik göstermesidir, iyon-seçici elektrotlarla ilgili yapılan araştırmaların büyük bir bölümü bu özelliğin geliştirilmesi üzerinedir. Bu nedenle günümüzde çok sayıda anyon ve katyona duyarlı iyon-seçici membran elektrotlar geliştirilmiştir. Öte yandan zaman içinde, iyon-seçici elektrot teknolojisindeki gelişmeler, ekonomik oluşları, çalışma mekanizmalarının anlaşılması ve akış hücrelerinin hazırlanabilmesi, bu tür elektrotların akış yolu-enjeksiyonu ve kromatografik analizlerde dedektör olarak da yaygın bir biçimde kullanılmasına olanak sağlamıştır (Smith, 1984; Alegret, 1989; Nomura, 1990; Kolycheva ve Muller, 1991; Isildak ve Covington, 1993; Isildak ve Asan, 1999;). Belirlenen bu avantajları yanında iyon-seçici elektrotların dedektör olarak kullanılmasının bazı dezavantajları da vardır. Bunlar iyon-seçici elektrotların ana iyon yanında diğer bazı iyonlara daha az duyarlı olması, kısa ömürlü olmaları ve düşük hacime sahip hareketli ortam akış hücrelerinin dizaynında bazı güçlüklerle karşılaşılması şeklinde sıralanabilir. Bu dezavantajlar membran bileşimindeki aktif maddeler değiştirilerek, elektrodun ana iyonla karşı seçiciliğinin artırılması ile azaltılabilmektedir. Ancak daha çok tek bir iyonla seçici ve daha uzun ömürlü minyatür elektrotların geliştirilmesi geçmişten günümüze kadar var olan bir ihtiyaçtır.

Bu çalışmada, bütünüyle katı-hal PVC-membran anyon ve katyonlara duyarlı mikrosensörler hazırlanarak potansiyometrik performans özellikleri araştırılmıştır. Hazırlanan mikrosensörlerin potansiyometrik performansları (doğrusal çalışma

aralığı, tayin limiti, cevap zamanı, eğim, pH çalışma aralığı, kullanım ömrü vb.) ayrıntılı olarak incelenmiştir. Hazırlanan mikrosensörler kullanılarak Ordu ili Turnasuyu Çayı boyunca belirlenen 10 istasyondan 1 yıl boyunca düzenli aralıklarla toplanan su numunelerinde bulunması muhtemel Cl^- , NO_3^- , K^+ ve Na^+ iyonlarının potansiyometrik tayinleri başarıyla gerçekleştirilmiştir. Belirlenen bazı numuneler için elde edilen potansiyometrik sonuçlar ile iyon kromatografi yöntemiyle elde edilen sonuçlar istatistiki olarak karşılaştırılmıştır.



BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Su Çeşitleri

İnsanların ihtiyaçları doğrultusunda kullandıkları sular; kaynaklardan, göllerden, nehirlerden, kuyulardan, yapay ya da doğal birikinti bölgelerinden, hatta pahalı olmasına rağmen zorunlu olduğu durumlarda deniz suyunun arıtılmasıyla elde edilir. Ancak bütün bu su kaynaklarının temelini yağışlar oluşturmakla birlikte su çeşitlerini şöyle sıralayabiliriz; (Güler ve Çobanoğlu, 1994)

- Yağış suları (Dolu, kar, yağmur ve sarnıçlarda biriktirilen sular)
- Yüzeysel sular (Nehir, göl, baraj, vb.)
- Yeraltı suları (Kaynak, Artezyen suyu veya artezyen kuyu suyu)
- Atık Sular
- Maden suyu
- Gazlı şişe suyu
- Deniz Suyu
- Tatlı su
- Şişe Suyu
- İşlenmiş içme suyu
- Steril/Sterilize su
- Ağır su (D_2O)



Şekil 2.1. Su oluşumu (<https://www.fendelisi.com/2019/03/3-madde-donguleri-ve-cevre-sorunlar.html>, 02.03.2020)

2.1.1. Yağış Suları

Yağmur ve karın sarnıçlarda biriktirilmesi sonucu elde edilen sulardır. Su kaynaklarının ve su dağıtım yöntemlerinin yetersiz olduğu geçmiş dönemlerde, farklı amaçlar uğruna kullanılarak suların içilemez hale getirilmesi sonucu insanlar gelecekte zor durumda kalmamak amacıyla suları depolayabildikleri büyük sarnıçlar yapmıştır.

2.1.2. Yüzeysel Sular

Akarsular, akarsuların önlerinin kapatılmasıyla oluşan baraj suları ve göller yüzeysel suları oluşturur. Yüzey suları yağışlarla ve yeraltı suları ile beslenir.

2.1.3. Yeraltı Suları

Kuyu ve kaynak sularından elde edilen sulardır. Yağış ve yüzeysel sularla beslenir. Aynı ayrı tanımlanmasına rağmen bu su kaynakları birbiri ile ilişkilidir. Tanımlanan üç kaynakta bulunan suların çeşitli özellikleri ve kirlenme ihtimalleri farklılık gösterebilir.

2.1.4. Atık Sular

Evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen ya da tamamen değişmiş sular ile maden ocakları ve cevher hazırlama tesislerinde içeriğine çeşitli safsızlıkların karıştığı sular, yapılaşmış cadde, otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya yüzey altı akışa dönüşmesi sonucunda gelen sulardır.

2.1.5. Maden Suyu

Çözünmüş katı madde içeriğinin toplam 250 ppm'den daha az olmadığı, jeolojik ve fiziksel olarak korunan yeraltı sularının kuyu açılarak veya kaynaktan doldurularak elde edildiği sulardır. Çözünmüş mineral tuzları, elementler ve gaz içerirler. Mineralli suları farklı kılan özelliği, herhangi bir işlem görmeden kaynağından elde edildiği saf haliyle belirlenen miktar ve oranlarda mineraller ve iz elementler içermesidir. 500 ppm'den daha az mineral içerenlere “düşük mineralli su”, 1500 ppm'den daha fazla içerenlere “yüksek mineralli su” denir.

2.1.6. Gazlı Şişe Suyu

İşlendikten ve karbondioksiti yerine konduktan sonra kaynağından elde edildiği andakiyle aynı miktarda karbondioksit içerir hale getirilmiş olan su olarak tanımlanır.

2.1.7. Deniz Suyu

Deniz ve okyanuslarda var olan sulardır. Bu suların önemli bir özelliği içeriğinde tuzluluk barındırmasıdır. Dünyadaki bütün okyanuslardaki ortalama tuzluluk yaklaşık % 3,5'tur. Bu oran, her bir kilogram (ya da litre) deniz suyunun yaklaşık 35 gram çözünmüş tuz [çoğunluğu sodyum klorür iyonları olan sodyum (Na^+) ve klor (Cl^-)] içeriğinin göstergesidir.

2.1.8. Tatlı Su

Deniz suyundan farklı olarak daha az miktarda tuz ve diğer çözünmüş maddeleri içeren sulardır. Tatlı su kavramı suyun içilebilir nitelikte kimyasal içeriğe sahip olduğunu tanımlayan bir kavramdır. Canlı ve cansız varlıkların kendi çevresinde var olan ve ekolojik döngü olarak tanımlanan döngüde doğada kendiliğinden oluşabileceği gibi insan yapımı gölet ve sarnıçlarda biriktirme ve damıtma yoluyla da elde edilebilir.

2.1.9. Şişe Suyu

Güvenli ve uygun anti mikrobiyal maddeler haricinde hiçbir madde ilave etmeden, insan tüketimine uygun olarak doldurulmuş, şişelerde veya başka kaplarda muhafaza edilen sulardır. Bu sulara isteğe göre ve belirli sınırlar içerisinde flor (F) ilavesi yapılabilir.

2.1.10. İşlenmiş İçme Suyu

Yeraltından gelen suların, ileri teknoloji ile saflaştırılıp, ozonlama işleminden geçirilip, damak zevkine uygun minerallerin ilave edilmesi ile üretilmiş olan sulardır.

2.1.11. Steril/sterilize Su

Sterilizasyon testlerinin belirlediği sınırlarda canlı veya cansız yapılar içerecek şekilde üretilen sulardır.

2.1.12. Ağır Su (D₂O)

Nükleer reaktörlerde kullanılan hidrojen yerine hidrojenin bir izotopu olan döteryum'a sahip yoğunluğu yüksek olan sudur.

2.2. Su Analizlerinin Önemi

Su analizleri; suyun mikrobiyolojik kalitesinin belirlenmesinde, başka bir deyişle su içerisinde bulunduğu önemli sağlık sorunlarına neden olabilecek mikroorganizmaların varlığının tespitinde büyük rol oynarlar. Bu kapsamda tüketici sağlığı açısından büyük önem taşıyan su analizleri, su analiz laboratuvarında gerçekleştirilmektedir. Sular yüksek oranda zengin organik madde içerebilmeleri durumunda hastalık yapıcı bakteri üremesine elverişli bir yapıya sahip olabilirler. Bu bakteriler ise insan vücudunda çeşitli bakterilerin oluşmasına neden olmaktadır. Su analizleri bu gibi durumları önceden belirleyerek belirtilen bu risklere karşı önlem alınmasına olanak sağlar (GDA Lab. Hiz.).

2.2.1. Su ve Çevre Analizleri Laboratuvarında Yapılan Analizler

- Havuz Suyu Analizleri
- Fiziksel Su Analizleri
- Kimyasal Su Analizleri
- Mikrobiyolojik Su Analizleri
- Hemodiyaliz Suyu Analizleri
- Kullanım Suyu Analizleri
- İçme Suyu Analizleri
- Atık Su Analizleri
- Deniz Suyu Analizleri
- Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Analizleri

2.3. Suyun İdeal pH'ı

pH bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini belirten ölçü birimidir. Suyun dünya üzerinde en iyi çözücü madde olması doğada var olan birçok maddeyi doğal şartlarda içerisinde çözebilmesi nedeni ile de pH suyun asitlik derecesini gösteren bir terim olarak da tanımlanabilir. Suda pH aralığı 0-14 arasında değişir. 7 nötr, 0-7 arası asidik, 7-14 arası alkali (bazik) su olarak kabul edilir. Bir su ne kadar çok kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve potasyum (K) içeriyorsa asitliği de o kadar az olur; yani

pH alkali yönde kayma gösterir. Suyun pH değerinin nötr değere yakın ancak hafif alkali (7,5-8,5 arasında) bir değere sahip olması istenen bir durumdur (Aydın, 2013).

2.4. Suyun Sertliği

Suyun mineralleri yüksek oranda çözme yeteneğinin olması doğada var olan sularda belirli oranlarda mineral madde bulunmasında etkili olmaktadır. Özellikle Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarına doğada yüksek oranda rastlanması bu iyonların su içerisinde de yüksek oranlarda bulunmasına en büyük etkendir ki bu minerallerin oluşturdukları çeşitli bileşikler sularda farklı türlerde sertlik oluşumuna neden olmaktadır. Sularda sertlik, geçici ve kalıcı sertlik olmak üzere iki farklı yapıda gözlemlenmektedir. Geçici sertlik Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarının karbonat ve bikarbonat bileşikleriyle oluşturduğu sertliktir ki suyun ısıtılması ile giderilebilir. Ancak bu iyonların klorür, nitrat, sülfat, silikat ve fosfatlarından oluşan sularda kalıcı sertlik olarak tanımlanan yapı oluşur ve bu yapı geçici sertlikte olduğu gibi kolaylıkla giderilemez. Sert sular deterjan ve sabunu köpürtmez. Sularda sertliğin kimyasal birimi Dünya Sağlık Teşkilatı'nca miliequivalent (mval)/l olarak tanımlanmıştır. Bunun dışında Alman sertlik derecesi, Fransız sertlik derecesi, İngiliz sertlik derecesi, Amerikan sertlik derecesi veya ppm birimleri de kullanılmaktadır. Alman sertlik derecesi: 100 mL'sinde 1 mg Kalsiyum Oksit (CaO)'e eşdeğer Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonu içeren suyun sertliğine 1 Alman sertlik derecesi (1 A°S) denir. Fransız sertlik derecesi: 100 mL'sinde 1 mg Kalsiyum Karbonat (CaCO_3)'a eşdeğer Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonu içeren suyun sertliğine 1 Fransız sertlik derecesi (1 F°S) denir. İngiliz sertlik derecesi: 70 mL'sinde 1 mg Kalsiyum Karbonat (CaCO_3)'a eşdeğer Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonu içeren suyun sertliğine 1 İngiliz sertlik derecesi (1 İ°S) denir. Ülkemizde Fransız Sertliği (Fr) birimi kullanılmaktadır.

2.5. Su Kirlilik Kaynakları

Suyun çevresel döngüsü (hidrolojik döngü) sırasında antropojenik kullanımdan kaynaklanan farklı türlerde yabancı madde ile karışması ya da sularda normal konsantrasyonlarda bulunan maddelerin farklı nedenlerden dolayı değerlerinin artması, sularda ciddi derecede öneme sahip sorunların ortaya çıkmasına neden olur.

Ayrıca insanların su kaynakları üzerine kurdukları yapay birimlerde (baraj, kapalı su iletim sistemleri, kanallar ve göletler gibi) hidrolojik döngüye yapay etkiler oluşturur. Yerleşim bölgelerinde ve endüstri bölgelerinde kullanılan sularda azımsanmayacak miktarlarda atık madde taşıyan kirli sular ortaya çıkarır.

Endüstriyel Kirlilik: Kağıt imalathaneleri, kağıt hamuru hazırlama atölyeleri, tekstil fabrikaları, çelik fabrikaları, kimyasal 17 üretim, gıda işleme birimleri sularda endüstriyel kirliliğe neden olurlar.

Kentsel Kirlilik: Küçük fabrika ve iş alanlarından kanalizasyon sularına karışan maddeler, yetersiz arıtma uygulanmış kanalizasyon suları, evsel atıklarla sulara ulaşan kimyasallar nedeni ile suların doğal içeriğinin kaybedilmesi olayıdır.

Kombine Kanalizasyon Tesisatları Kirliliği: Yüzeysel akıntılarla sürüklenen kimyasalların karışmasına neden olabilir.

Tarımsal Kirlleticiler: Hasat, otlaklar, ambarlar, değişik doğal alanlar, tarlalar

Silvikültürel Kirlilik: Ormancılık, ekip biçme yol inşaatı

İmar Çalışmaları Kirliliği: Toprak ıslahı, otobanlar

Doğal Kaynakların Eldesi Kirliliği: Madencilik, petrol kuyuları, maden atıklarından sızıntılar sularda kirliliğe neden olur.

Atık Yok Etme Uygulamaları Kirliliği: Septik tanklardan, gömülen çöplerden, zararlı atık yok etme bölgelerinden olan sızıntılar sularda kirliliğe neden olurlar.

Hidrolojik Müdahaleler Kirliliği: Baraj yapımı, kanal açma, sulama çalışmaları vb. uygulamalar sonucunda suların kirlenmesi işlemidir.

2.6. Kromatografi

Kromatografi ilk kez Rus botanikçi Mikhail Tsvett (1903) tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Bu yöntem, bir karışımın bileşenlerini, bunlara seçimsel ilgi gösteren iki ya da daha çok evreden sistemler arasında farklı göçlerine bakarak tanımak, gerektiğinde niceliklerini belirlemek amacıyla yapılan ve ayırma işlemine dayanan analitik yöntemdir. Başlangıçta, bitki pigmentlerinin renkli bileşenlerini ayırmakta kullanıldı ancak zamanla uygulama alanı oldukça genişledi. Kromatografi terimi ismini de bu ayırma mekanizmasından almıştır. Bitkisel pigment anlamına gelen “Chroma” ve yazma anlamına gelen “Tography” kelimelerinin birleşimi bilimsel isim olarak bu yönetime verilmiştir. Kromatografi günümüzde yüksek duyarlılığa sahip ve etkin kullanım alanı olan bir ayırma yöntemidir. Kromatografide farklı olarak iki temel mekanizma kullanılmaktadır. Bu mekanizmalardan ilkinde bileşikler iki sıvı evre arasında paylaşılır ki buna dağılım kromatografisi denilmektedir, diğeri ise paylaşım kromatografisidir. Hareket halindeki bileşikler durağan katı bir evre yüzeyine bağlanır. Eğer hareketli bileşikler ile katı yüzey arasındaki bağlar yüzeysel ve fiziksel bir nitelik taşıyorsa yüzeyde tutma kromatografisinden (tersinir bağ, bileşiğin bütünlüğünün korunması), buna karşılık hareketli ve yüzde tutulan bileşikler arasında gerçek kimyasal bağlar oluşmuş ise iyon değişimi kromatografisinden söz edilir. Birbirleri ile yakın fiziksel ve kimyasal özellik gösteren bileşiklerden oluşan karışımları damıtma ve ayrımsal kristallendirme ile ayırmak güç olabilir. Bu tür karışımlar için çeşitli kromatografi teknikleri kullanılarak karışım bileşenlerine ayrılabilir (wikipedia).



Şekil 2.2. Mikhail TSVETT (wikipedia)

Çok değişik sistem ve tekniğe uygulanması, kromatografi teriminin tam bir tanımının yapılmasını güçleştirmektedir. Fakat genel olarak kromatografi, akış halindeki gaz veya sıvı bir fazla (hareketli faz) birlikte karışımdaki bileşenler, durgun faz (sabit faz) üzerinden geçirilerek bileşenlerin göç hızlarına ya da alıkonma (tutunma) sürelerine bağlı olarak ayırımlarının gerçekleştirildiği analitik yöntem olarak tanımlanır.

Kromatografide kullanılan elüsyon terimi hareketli fazın ilerlemesiyle çözünen maddelerin sabit faz üzerinden yıkanarak taşınmaları, elüent terimi ise maddelerin faz üzerinden karışımdaki bileşenleri taşımak için kullanılan çözücüye denir.



Şekil 2.3. Kromatografi cihazı (<http://grumlab.giresun.edu.tr/tr/page/lc-ms-gc-ms-laboratuvari/4284>, 24.06.2020)

- **Sabit faz:** Kromatografi’de, bir kolon içerisine veya düz bir yüzeyde sabit olarak bulunan faza, sabit faz (hareketsiz faz; durgun faz) denir. Bu faz daima bir “katı” veya “bir katı materyal üzerine emdirilmiş bir sıvı tabakadan” oluşur.
- **Hareketli faz:** Sabit fazın üzerinden veya arasından geçirilen faza denir. Bu faz daima bir “sıvı” veya “gaz”dan oluşur.
- **Sabit faz, hareketli faz ve karışımında yer alan maddeler arasındaki etkileşimin türü:** Kromatografi’de “yüzeyde tutunma (adsorpsiyon)” ile “çözünürlük” terimleri temel etkileşim türlerini oluştururlar.

2.7. Kromatografinin Sınıflandırılması

Analizde var olan mekanizmalara göre farklı türlerde kromatografik yöntemler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemler her ne kadar birbirinden farklı olsalar da kromatografik yöntemlerde çalışma mekanizması daima aynıdır. Ayrımı yapılacak karışım; hareketli ve sabit faz ile etkileşime girer ve karışımı oluşturan bileşenlerine ayrılır. Bu durum, sabit ve hareketli fazların karışımdaki bileşenleri tutma yarışı olarak özetlenebilir. Bir yarış olarak nitelendirilen bu olayda, sabit faz üzerinde

bulunan karışım; üzerinden hareketli faz geçirilirken, arasında bulunduğu iki faz ile farklı şekil ve miktarlarda fiziksel ve kimyasal etkileşim verir. Bu etkileşimler sonucunda karışımdaki bileşenler, hareketli faz tarafından sürüklenme, sabit faz tarafından tutulma eğilimindedirler ve bu durum bileşenlerin sabit fazdan farklı sürelerde ayrılmasına neden olur. Böylece karışımdaki bileşenler karışımı oluşturan bileşenler birbirinden ayrılmış olurlar.

Kromatografik yöntemler sınıflandırılırken ana gruplama genellikle hareketli fazda kullanılan malzemenin türüne göre yapılır. Yapılan bu ana grupların alt türleri belirlenirken ise sabit fazın türü dikkate alınır (Özöğüt, 14.04.2018).

1. Ayrılma Mekanizmalarına Göre

- Adsorpsiyon kromatografisi
- Partisyon kromatografisi
- İyon değiştirme kromatografisi
- Jel filtrasyon (Moleküler eleme) kromatografisi
- İyon çifti kromatografisi
- Afinite kromatografisi

2. Uygulama Biçimine Göre

- a. Düzlemsel kromatografi
 - Kağıt kromatografisi
 - İnce tabaka kromatografisi (TLC)
- b. Kolon kromatografisi
 - Gaz kromatografisi (GC)
 - Sıvı kromatografisi (LC)
 - Yüksek basınçlı sıvı kromatografisi (HPLC)

3. Faz Tiplerine Göre

- a. Sıvı kromatografisi
 - Sıvı-Katı kromatografisi
 - Sıvı-Sıvı kromatografisi

- b. Gaz kromatografisi
 - Gaz-Katı kromatografisi
 - Gaz-Sıvı kromatografisi

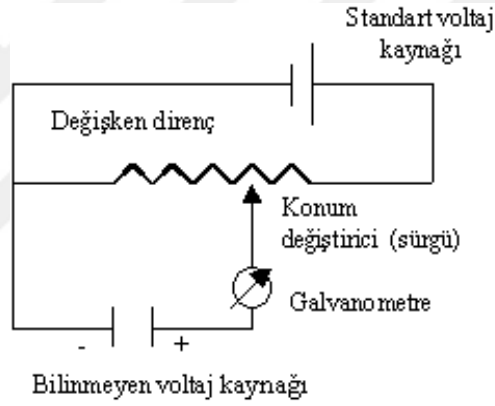
2.7.1. İyon Kromatografi

Modern İyon Kromatografinin temelleri 1975 yılında, anyonik ve katyonik türlerin ayrımı ve kondüktometrik deteksiyonu için, değişik ve yeni bir iyon-değişim kromatografik metot tanımlayan Small, Stevens ve Bauman tarafından atılmıştır (Haddad ve Jackson, 1990). İyon Kromatografi, iyonik türlerin ayrımı ve tayini için kullanılan bir analitik tekniktir ve sıvı kromatografik metotlardan “sıvı-katı kromatografik metotlar”ın genel sınıflandırması başlığı altında incelenebilir. İyon Kromatografi pek çok basit anyon ve katyonun eşzamanlı tayininde güvenilir ve kesin bir metot sağladığı için çok hızlı bir gelişim süreci geçirmiştir. İyon Kromatografi, genel kromatografinin temeline uygun olmakla birlikte, çözücü sıvı içerisine enjekte edilen bir karışıma ait bileşenlerin, katı bir sabit faz üzerinden geçerek bir akış hücresi dedektörüne gelmesi ve sabit faz vasıtası ile ayrılan bileşenlerin tayin edilmesi esasına dayanır. Sabit faz genellikle silindir şeklindeki bir kolon içerisine doldurulmuş mikrometre (μm) boyutunda çapa sahip, birbiri ile benzer özellikler gösteren partiküllerden ibarettir. Kolon paslanmaz çelik veya plastik benzeri sert bir materyalden üretilir ve uzunluğu 5-30 cm ve iç çapı 4-9 mm’dir. Amaca uygun olarak seçilen hareketli faz kolon boyunca 1-2 mL/dk’lık bir akış hızında geçmektedir ve bu fazı belirtilen bu hızda uygun bir şekilde sürükleyebilmek için, bir yüksek basınç pompası gerekir. Ayrımı yapılacak numune, kolondan daha önde bulunan bir enjeksiyon bölümü vasıtasıyla, hareketli faz içerisine eklenir. Kullanılan dedektör genellikle düşük akış-hücre hacmine sahiptir ve seçilen metoda göre çeşitli tipte ve şekilde olabilir.

2.8. Potansiyometri

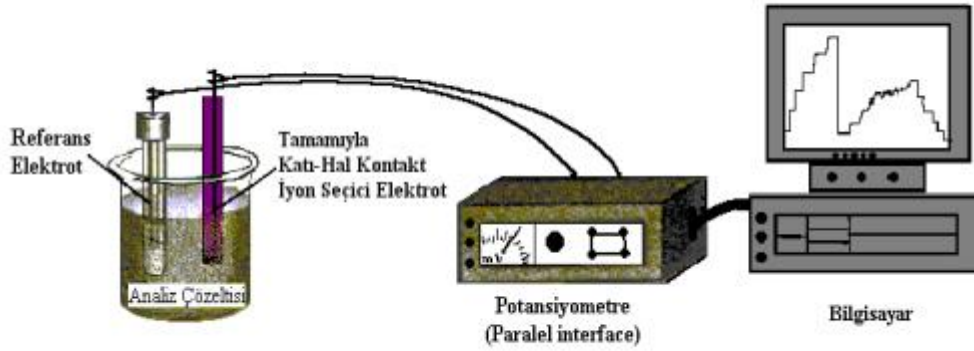
Akımın çok az geçtiği ya da hiç geçmediği sistemlerde, indikatör elektrodun referans elektrota karşı gösterdiği, madde yoğunluğunun değişimine bağlı olarak değişen

potansiyel değerin belirlendiği tayin yöntemine “potansiyometri” ve kullanılan cihaza ise “potansiyometre” denir. Elektrokimyasal analiz yöntemlerinden biri olan potansiyometri, bir elektrot sisteminin potansiyelinin ölçülmesine dayanır. Potansiyometrik ölçüm sistemleri, referans ve gösterge elektrodu adı verilen iki elektrottan oluşur. Referans elektrot belirli bir sıcaklıkta sabit bir elektrot potansiyeline sahipken, gösterge elektrot potansiyeli analit konsantrasyonuna göre değişen elektrottur. Şekil 2.4.’de bir potansiyometrenin çalışma prensibi şematize edilmiştir. Değişken direncin ayarlanması ile, standart voltajın bilinen kısmı bilinmeyen voltaja karşı işaretlenir. İki voltaj eşit olduğu an, galvanometreden herhangi bir akım geçmez. Böylelikle bilinmeyen voltaj, değişken direncin pozisyonundan okunabilir (Covington, 1974).



Şekil 2.4 Potansiyometrenin çalışma prensibinin şematik olarak gösterimi (Covington, 1974)

Potansiyometrik sistem; bir test hücresi (analit çözeltisi), buna bağlantılı olan indikatör elektrot (değişken potansiyel) ve referans elektrot (sabit potansiyel) ile kararlı bir potansiyometreden oluşur. Bunlara “potansiyometrik hücre elemanları” da denir. Şekil 2.5.’de bilgisayar kontrollü bir potansiyometrik ölçüm sistemi görülmektedir. Analit çözeltisine daldırılan indikatör elektrotta, mevcut iyon veya iyonların konsantrasyonuna bağlı olan bir potansiyel değişimi meydana gelir. Dolayısıyla potansiyel değişimi ölçülerek iyonların konsantrasyonları tayin edilebilir.

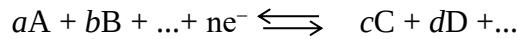


Şekil 2.5. Basit bir potansiyometrik sistem (Kemer, 2010)

2.8.1. Potansiyometrik Tayin İlkesi

Modern bir iyon seçici elektrotta, iyon-seçici membran iç standart ve test çözeltisindeki iyonları ayırır. Elektronlar, basit iyonlar veya test edilen iyonun yüklü ya da nötral kompleksleri, membranın iç kısımlarına doğru iç standart çözeltinin kompozisyonuyla orantılı olarak taşınırlar. Böylece oluşan elektrostatik motor kuvveti (EMK), standart referans elektrot yarı hücresiyle membran elektrot yarı hücresi birleştirilerek ölçülür (Skoog ve ark., 1990).

Konsantrasyon ile elektrot potansiyeli arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.



tersinir yarı reaksiyonu ele alındığında, bir elektrodun potansiyel farkı (E), Nernst (Nernstian) Eşitliğiyle verilmiştir (Skoog ve ark., 1990).

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[C]^c [D]^d \dots}{[A]^a [B]^b \dots}$$

E: İndikatör elektrot potansiyeli

E°: Standart elektrot potansiyeli

R: Gaz sabiti, 8,314 J.mol⁻¹.K⁻¹

T: Sıcaklık, kelvin (0°C için 273,15 K)

F: Faraday sabiti = 96486 J.volt⁻¹

[A], [B], [C] ve [D]: Elektrotta hissedilen iyon aktiviteleri

a, b, c ve d: Yarı reaksiyonda yer alan her bir türün mol sayısı

n: Alınip-verilen electron sayısı veya membrandaki aktif iyon yüküdür.

a_i: İyon aktivitesi olmak üzere, eşitlik tek bir iyon için yazılırsa, aşağıdaki gibi olur.

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln a_i$$

(±); Anyonlar için (-), katyonlar için (+) olur;

Eğer iyon aktivitesi a₁'den a₂'ye değişirse potansiyel değişimi aşağıdaki gibi olur.

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_2}{a_1}$$

Eşitliğe göre; çözeltilerde iyon aktivitesinin artması sonucu elektrodun cevabı logaritmik olarak gözlenir.

$$E = E^0 - \frac{2,303 \cdot RT}{nF} \log \frac{a_2}{a_1}$$

Eğer ölçümler 25°C'de alınırsa, sabit sayılar yerine yazıldığında Nernst Eşitliği aşağıdaki gibi olur.

$$E = E^0 - \frac{0,0592}{n} \log \frac{a_2}{a_1}$$

Buna göre 25 °C'de her Logaritmik birim başına teorik değişim n yüklü iyonlar için 59,2/n mV'dur. Bu değişim genel olarak katyonlar için pozitif anyonlar için

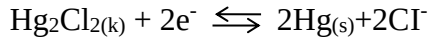
negatiftir. Dolayısıyla ± 1 yüklü, ± 2 yüklü ve ± 3 yüklü iyonlar için bu değer sırasıyla 59,2 mV, 29,6 mV ve 19,8 mV olur (Skoog ve ark., 1990).

2.8.2. Referans Elektrotlar

Bir hücrede kullanıldığı esnada potansiyeli değişmeyen elektrotlara “referans elektrotlar” denir. Bu elektrotlara “standart elektrotlar” da denir. Referans elektrotların potansiyeli, çalışmanın yürütüldüğü çözeltiden bağımsızdır. İncelenen çözeltide analitin veya diğer iyonların konsantrasyonundan etkilenmez. Fakat sıcaklık değiştirildiğinde referans elektrotların potansiyeli bir miktar değişim gösterir. En yaygın kullanılan referans elektrotlar, kalomel elektrot ve gümüş/gümüş klorür elektrotlardır.

2.8.2.1. Kalomel Elektrot

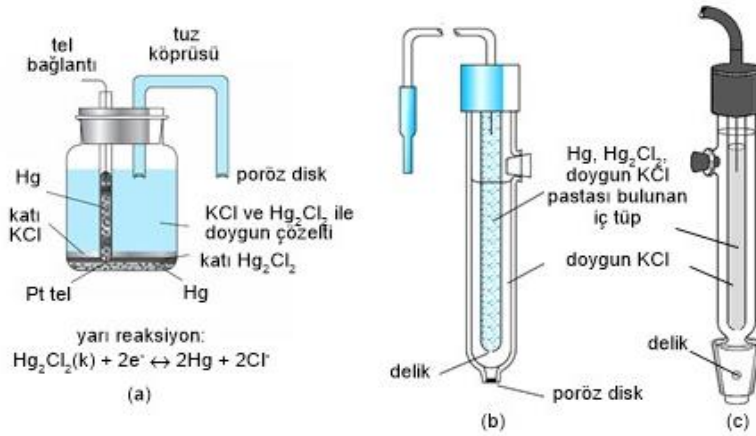
Referans elektrot olarak sıklıkla kullanılan bir elektrottur. Elektrotta gerçekleşen reaksiyon şu şekildedir;



Reaksiyonda potansiyel, klor iyonu derişimine bağlıdır.

$$E = E^0 - \frac{0,0592}{n} \log[\text{Cl}^-]^2$$

Verilen tepkimede elektrotta oluşan klorür ortamda bulunan Hg(I) iyonu ile tepkime verir ve klorür (Cl^-) derişiminin sabit kalması sağlanır. Sonuç olarak da yukarıda verilen eşitliğe göre potansiyelin ($E = 0,2444$ V) sabit kalması sağlanmış olur. Potasyum Klorür (KCl) ile doymuş kalomel elektroda, “doymuş veya doymuş kalomel elektrot (DKE)” denir.



Şekil 2.6.(a) Laboratuvar ortamında hazırlanabilen bir doygun kalomel elektrot, (b) ve (c) tipik ticari kalomel elektrotlar (<http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/18.html>, 04.03.2020)

2.8.2.2. Gümüş/Gümüş Klorür Elektrot

Gümüş/gümüş klorür elektrot, genellikle bir gümüş veya platin tel yüzeyine gümüş klorür kaplanmasıyla hazırlanır. Elektrot reaksiyonu şu şekildedir;



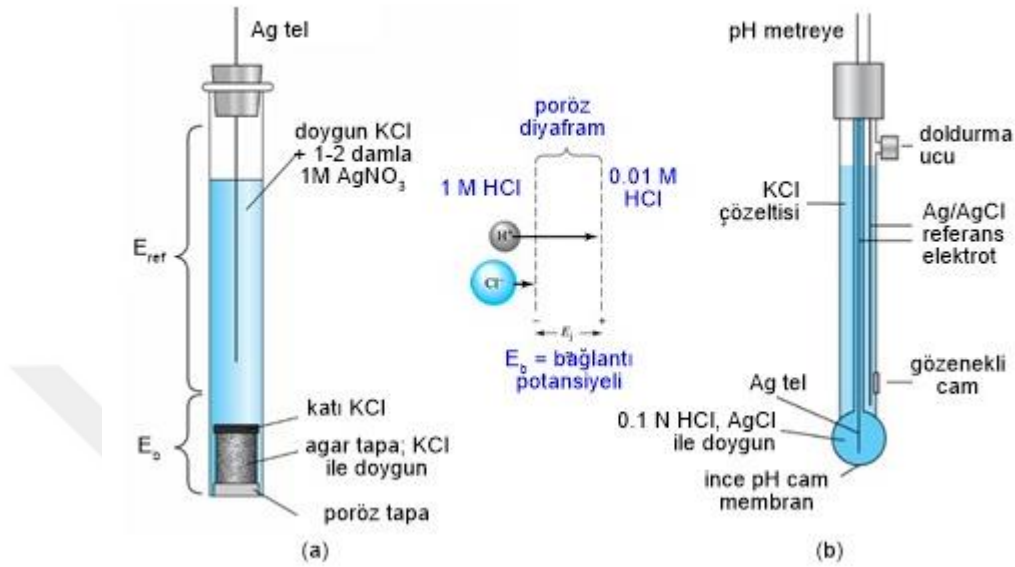
$$E = E^\circ_{\text{AgCl/Ag}} - 0,059 \log [\text{Cl}^-]$$

Verilen eşitlikte de görüleceği üzere elektrot potansiyeli klorür derişimine bağlıdır. Elektrotta meydana gelen indirgenme-yükseltgenme tepkimeleri sonucu oluşabilecek potansiyel değişimine karşı, ortamdaki KCl tampon görevi yapar. Bu elektrodun potansiyeli 25°C’de 0,1990 V’dur.

Gümüş/gümüş klorür elektrot, standart hidrojen elektroduna karşı 0,197 voltluk bir potansiyel gösterir. Gümüş/gümüş klorür elektrot 275°C gibi yüksek sıcaklıklarda dahi kullanılabilir. Bu elektrotun kalomel elektrotta tercih edilmesinin iki temel nedeni vardır.

1. Kalomel elektrotta civa kullanılması ve civa’nın yüksek derecede zehirli yapısının bulunması.

2. Bu elektrotun minyatürize edilebilmesi. Bu durum elektrota çalışmalarda büyük avantajlar sağlamaktadır.



Şekil 2.7. (a) Tipik bir gümüş/gümüş klorür referans elektrot, ve (b) bir cam indikatör ve bir gümüş/gümüş referans elektrottan oluşan kombinasyon prob
(<http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/18.html>, 04.03.2020)

2.8.2.3. İyon-Seçici Elektrotlar

Ortamda bulunan çok çeşitli iyonlara karşın tek bir iyonla cevap veren elektrotlara “iyon-seçici elektrotlar (ISE)” denir. İyon-seçici elektrotlar, serbest iyonun aktifliğine duyarlıdır. İyonik şiddet sabit tutulursa konsantrasyon aktiflikle doğru orantılı olduğundan ISE ile konsantrasyonlar ölçülmüş olur. Hiçbir elektrot sadece tek bir iyon çeşidine cevap vermez, fakat bir iyonla karşı bilinen bir seçicilik gösterir (Covington, 1974).

2.8.3. İyon-Seçici Elektrotların Sınıflandırılması

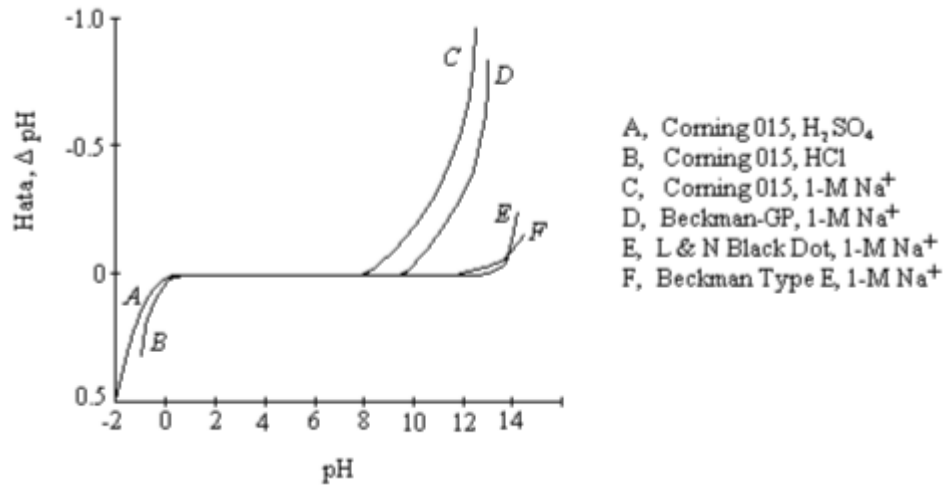
1. Cam iyon-seçici elektrotlar
2. Metalik (katı-hal) iyon-seçici membran elektrotlar (I., II. ve III. Sınıf)
3. Sıvı-hal iyon-seçici elektrotlar

4. Kaplama tel elektrotlar
5. Gaz ve enzim elektrotlar
6. İyon-seçici alan etki transistörleri (ISFET)
7. Kompozit elektrot
8. Sıvı-membran iyon-seçici elektrotlar (polimer-membran elektrotlar)

2.8.3.1. Cam İyon-Seçici Elektrotlar

Cam elektrot H^+ iyonuna karşı duyarlıdır. Konsantrasyonları farklı olan iki asit çözeltisi özel olarak hazırlanmış bir cam membran ile ayrıldığında, protonlar cam membranın silikat yapısındaki hareketli sodyum iyonlarıyla yer değiştirir (Skoog ve ark., 1990). Sonuç olarak membranın iç ve dış yüzeyindeki H^+ derişiminin değişimiyle bir potansiyel farkı oluşur. Dolayısıyla oluşan bu potansiyel farkı ölçülerek Nernst Eşitliğinden H^+ derişimi hesaplanabilir. Bu potansiyel farkı; $E_H = k(sbt) - 0.059 \text{ pH}$ şeklinde gösterilir.

Bu eşitlikten yararlanarak pH tayinleri yapılır. Birçok cam elektrot 1-10 pH aralığında kullanılır. pH 10'u değtiği zaman elektrot alkali iyonlarına özellikle de Na^+ , K^+ gibi iyonlara duyarlı olduğundan hatalı sonuçlar verir. Bu hataya “Negatif Hata (Alkali Hatası)” denir. Çok düşük pH'larda ise çözeltinin pH'ı beklenenden düşük çıkar. Bu hataya “Pozitif Hata (Asit Hatası)” denir. Alkali ve asit hatalarını gösteren grafik Şekil 2.8.'de görölmektedir. Bu hataları en aza indirmek ve girişim yapan iyonun varlığında elektrodun ölçölen iyon duyarlılığını artırmak amacıyla yeni cam kompozisyonları önerilmiştir. Camın bileşimi değiştirilerek hidrojen iyonuna olduğu gibi K^+ , Na^+ , Cs^+ , Li^+ , Rb^+ gibi tek yüklü katyonlara duyarlı cam elektrotlar da yapılmıştır (Skoog ve ark., 1990). Cam elektrotlar, organik ve inorganik asitlerin pH'larının doğrudan tayininde ve çözünebilen anyon ve katyonların dolaylı olarak tayininde kullanılabilir.

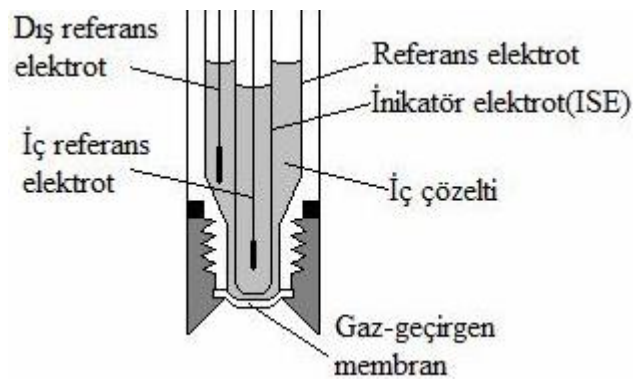


Şekil 2.8. Cam elektrotta asit-baz hatası

(<https://www.slideshare.net/pavanichowdarychowda/potentiometry-88102261>, 24.06.2020)

2.8.3.2. Metalik (Katı-Hal) İyon-Seçici Membran Elektrotlar

Bu tür elektrotlar, özel bir yöntemle hazırlanan iyonik kristallerden oluşmaktadır. Katı-hal veya kristal membran iyon-seçici elektrotlarda, katı materyal, iç çözelti ile dış çözelti arasında bir iyon seçici zar gibi davranır. Bu elektrotların herhangi bir iyon duyarlılığı, bu iyonun membran matriks içinde bağlı hareketliliğine ve membranın iyon değişim kapasitesine bağlıdır (Covington, 1974; Pandey ve Tripathi, 1982; Skoog ve ark., 1990).



Şekil 2.9. Yaygın olarak kullanılan katı-hal tipi iyon seçici elektrot (Yolcu, 2008)

Tablo 1.1.'de bazı katı-hal membran iyon-seçici elektrotlar ve ölçülebilen iyonlar görülmektedir (Skoog ve ark., 1990).

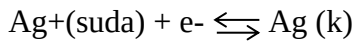
Tablo 1.1. Bazı katı-hal iyon-seçici membranlar (Skoog, 1990)

Ölçülen İyon	Membran	Ölçüm Aralığı, M	Girişim Yapan İyonlar
F ⁻	LaF ₃	Doygun-1.10 ⁻⁶	OH ⁻
Cl ⁻	AgCl(Ag ₂ S)	10 ⁰ -5.10 ⁻⁵	Br ⁻ , I ⁻ , S ²⁻ , NH ₃ , CN ⁻
Br ⁻	AgBr(Ag ₂ S)	10 ⁰ -5.10 ⁻⁶	I ⁻ , S ²⁻ , NH ₃ , CN ⁻
I ⁻	AgI(Ag ₂ S)	10 ⁰ -5.10 ⁻⁸	S ²⁻ , CN ⁻
SCN ⁻	AgSCN	10 ⁰ -5.10 ⁻⁶	Br ⁻ , I ⁻ , S ²⁻ , NH ₃ , CN ⁻
CN ⁻	AgI	10 ⁻² -1.10 ⁻⁶	I ⁻ , S ²⁻
Cu ²⁺	CuS	10 ⁻¹ -1.10 ⁻⁸	Hg ²⁺ , Ag ⁺
Pb ²⁺	PbS	10 ⁻¹ -1.10 ⁻⁷	Hg ²⁺ , Ag ⁺ , Cu ²⁺
Cd ²⁺	CdS	10 ⁻¹ -1.10 ⁻⁷	Hg ²⁺ , Ag ⁺ , Cu ²⁺
S ²⁻ , Ag ⁺	Ag ₂ S	Ag ⁺ : 10 ⁰ -1.10 ⁻⁷ S ²⁻ : 10 ⁰ -1.10 ⁻⁷	Hg ²⁺

Katı-hal iyon-seçici membran elektrotlar üç sınıfta ele alınabilirler;

2.8.3.2.1. I. Sınıf Elektrotlar

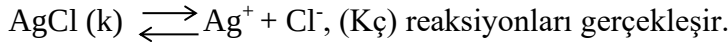
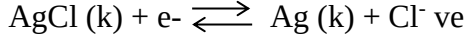
Cd, Pb, Zn, Hg, Cu, Ag gibi yumuşak metallere hazırlanmış elektrotlardır. Bunların reaksiyonları tersinir ve tekrarlanabilir olduğundan, tuzlarının çözeltilerine daldırılarak elde edilen potansiyel etkinliklerini ölçmeye yarar. Ni, Fe, Co, Cr gibi sert metallerin elektrotları tekrarlanabilen potansiyel vermedikleri için, indikatör elektrot olarak kullanılamazlar. Çünkü kristal yapıları gergindir ve yüzeyleri bir oksit tabakasıyla kaplıdır. Gümüş metali ile oluşturulan I. sınıf elektrotta potansiyel-aktivite ilişkisi aşağıdaki gibidir.



$$E = E^\circ - 0.059 \log (1/[\text{Ag}^+])$$

2.8.3.2.2. II. Sınıf Elektrotlar

I. Sınıf elektrotların yapımında kullanılan metaller, az çözünen bileşikler veren anyonlarla birleştirilirse, II. sınıf elektrotlar elde edilir. Gümüş elektrotta olduğu gibi, kendi iyonundan başka bir iyonun aktivitesini de tayin etmeye yarıyorsa bu elektrotlara “II. sınıf elektrotlar” denir. Gümüş klorürle kaplanmış bir gümüş elektrotta,



$$E = E^\circ - 0,059 \log (1/[\text{Ag}^+]) \text{ K}_\text{ç} = [\text{Ag}^+] [\text{Cl}^-] \text{ 'den } [\text{Ag}^+] \text{ yerine yazılırsa;}$$

$$E = E^\circ - 0,059 \log [\text{Cl}^-] + 0,059 \log \text{K}_\text{ç}$$

$$E = 0,220 - 0,059 \log [\text{Cl}^-] \text{ denkleminde } [\text{Cl}^-] \text{ tayin edilir.}$$

2.8.3.2.3. III. Sınıf Elektrotlar

Örneğin, az çözünen civa (I) okzalat ile yine az çözünen kalsiyum okzalat tuzları civayla karıştırılıp bir pasta haline getirilir ve elde edilen karışımdan elektrot yapılırsa kalsiyum tayini yapılabilir. Bu şekilde hazırlanan elektrotlara, “III. sınıf elektrotlar” denir. III. Sınıf elektrotlarda tayini yapılacak katyonun tuzunun, elektrot asıl metal katyon tuzundan daha çok çözünmesi gerekir. Bu tür elektrotlarda denge çok zor kurulur.

2.8.3.3. Sıvı-Hal İyon-Seçici Elektrotlar

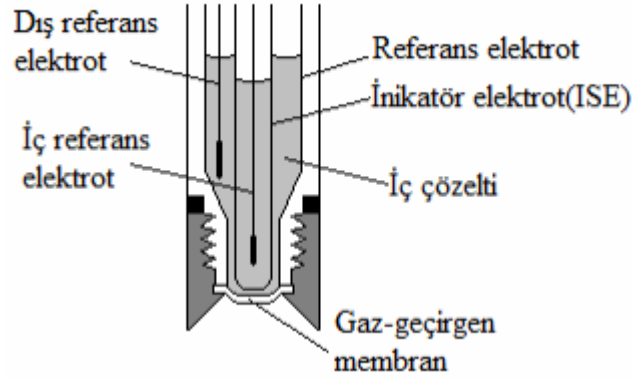
Bunlar iyon-seçici mikroeletrotlar olarak da bilinirler. Genellikle iyon değiştirici veya kompleks yapıcı organik bileşiklerin uygun bir çözücünde çözülüp viskoz bir sıvı hazırlanmasıyla gerçekleştirilen sıvı-hal elektrotlar çok küçük (yaklaşık 1 µm) ölçüm hacmine sahip bir özellik sergilerler. Özellikle canlıların yaşayan hücrelerinde ölçümler almak için kullanılmaktadır.

2.8.3.4. Kaplama Tel İndikatör Elektrotlar

Kaplama tel elektrotlar kullanılarak oldukça faydalı potansiyometrik tayinler gerçekleştirilmiştir. Bu tip elektrotlarda çözünebilme kapasitesi çok az olan organik ve inorganik tuzlar kaplama maddesi olarak kullanılabilirler. Örneğin; az çözünen gümüş tuzları, Ag_2S , AgCl , AgBr , Ag_3PO_4 , AgI ve AgSCN veya bazı polimer veya hazırlanan sıvı membranın bir metal tel üzerine kaplanması ile indikatör elektrot olarak kullanılabilir.

2.8.3.5. Gaz ve Enzim Elektrotlar

Gaz duyarlı ve enzim esaslı elektrotlar genellikle yaygın bir elektrodun yüzeyine ilave bir membranın birleştirilmesiyle hazırlanır. Gaz duyarlı bir elektrot Şekil 2.10.'da görülmektedir.



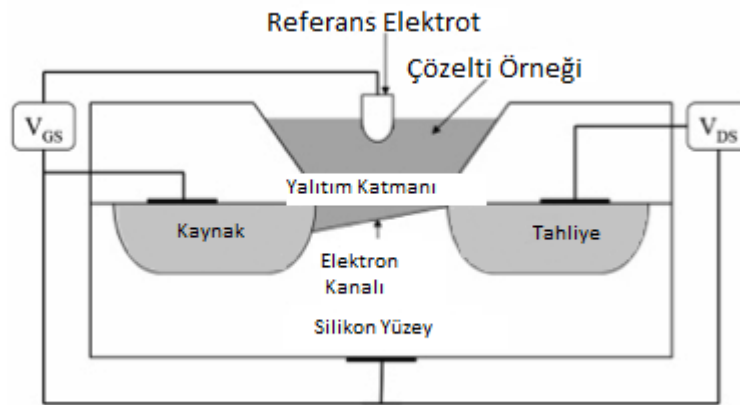
Şekil 2.10. Gaz duyarlı bir elektrot (Yolcu, 2008)

Bu elektrot teflon, kauçuk veya polietilen ile hazırlanmış, yarı geçirgen bir zarla kaplanmış normal bir cam pH elektrodundan oluşmaktadır. Elektrolit çözeltisine daldırılmış gümüş/gümüş klorür elektrot referans görevi yapar. Örneğin, gaz elektrotta CO_2 yarı geçirgen zardan geçiş yaptığında, elektrolitin pH'sını değiştirir. Cam elektrodun pH değişimine cevabı dikkate alınarak ise CO_2 tayini yapılır. NH_3 , H_2S , SO_2 ve NO_x (azot oksitler) gibi diğer asidik ve bazik gazlar da aynı yöntemle

tain edilebilmektedir. Bu elektrotlar, sıklıkla gaz fazındaki veya çözeltide çözünmüş gazların ölçümünde kullanılmaktadır. Biyolojik önem arz eden çok fazla sayıdaki bileşik için enzimlerin kullanıldığı, elektrotlar yapılmıştır. Bu tür elektrotlar çoğunlukla ölçüm çözeltisindeki maddenin reaksiyonunu katalizleyen bir enzimin yaygın olarak kullanılan membran elektrotlardan biri yüzeyine kaplanmasıyla hazırlanır. Reaksiyon ürünü elektrotla izlenerek tainleri yapılabilmektedir (Covington, 1974).

2.8.3.6. İyon Seçici Alan Etki Transistörleri (ISFET)

1980'li yıllarda katı-hal tipi entegre devrelerindeki teknolojik gelişmelerle iyon seçici elektrotların önemli ölçüde minyatürizasyonu mümkün olmuştur. Gelişmeler sonucunda iyon-seçici alan etki transistörleri (ISFET) ortaya çıkmıştır. Şekil 2.11.'de bir ISFET'in şematik diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.11. Bir ISFET'in şeması (<https://www.epfl.ch/labs/lis/page-13130-en-html/page-87745-en-html/>, 30.06.2020)

Bu katı-hal entegre devrelerindeki metal-oksit alan etki transistöründe (MOSFET) bulunan metal bölüme, referans elektroda da komşu olarak, bir iyon seçici membran yerleştirilmiştir. Tüm bu tanımlanan isimleri IGFET (izole-geçiş-alan etki transistörleri) kapsar, ancak iyon seçiciliği ISFET'de kesin belirtildiğinden bu tercih edilir. Bu tür elektrotlar toprak, insan ve hayvan fizyolojisi ve çevre örneklerinde iyonik türlerin taini için uygulama bulmaktadır (Skoog ve ark., 1990).

2.8.3.7. Kompozit Elektrotlar

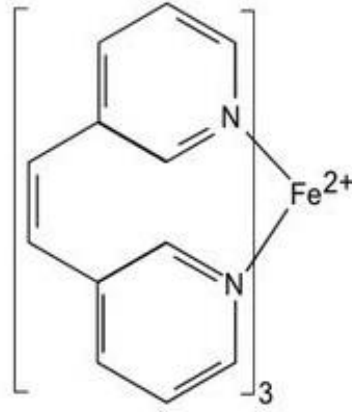
İyon-seçici elektrotlarda yeni bir tür olarak 1980'li yıllarda üretilmeye başlanmıştır. Bu tür elektrotlara “geleneksel olmayan katı-hal iyon-seçici elektrotlar” da denilmektedir. Son yıllarda bu yeni tip elektrotların geliştirilmesi üzerine yoğun çalışmalar gözlemlenmektedir. Bu elektrotlar karbon ve polimerik durağan bir matriks içine organik veya inorganik iyon-değişim reçinesinin dope edilmesi yoluyla hazırlanmaktadır (Yolcu, 2008). Çok küçük boyutlarda hazırlanabilmesi ve uzun ömürlü oluşları en büyük avantajlarıdır.

2.8.3.8. Sıvı-Membran İyon-Seçici Elektrotlar

Bu elektrotların çalışma prensibi de katı-hal ve cam elektrotların çalışma prensibi ile benzerdir. İyona bağlı bir membran potansiyelinin görülebilmesi için, membranın her iki yüzeyinde bir iyon değişim dengesi olmalıdır ve potansiyelin ölçülebilmesi için membrandan çok küçük bir elektrik akımının kesinlikle geçmesi gerekir. Cam elektrotta bu akım, cam içerisinde bulunan hareketli H^+ iyonları ile olur. Sıvı membranlarda ise, yapıdaki hareketli anyon veya katyonlar vasıtasıyla akım taşınır (Skoog ve ark., 1990). Sıvı-membran elektrotlarda, membran hidrofobik bir iyon değiştirici emdirilmiş sıvıdır. İyon değiştiricilerin genel özelliği zıt işaretli yüklü bölgelerinden ve organik nötral bölümlerinden küçük iyonları bağlayabilmeleridir. Membranın yüzey kısmında iyon-değişimi daha hızlı gerçekleşir. Elektrodun seçiciliğini etkileyen önemli bir faktör iyon değişim işlemi sırasında oluşan kompleksin kararlılığıdır.

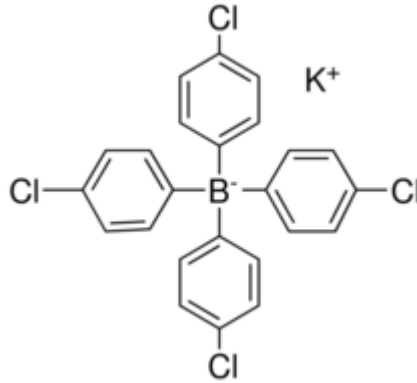
Genellikle membran içerisinde iyon değişimini sağlayan aktif maddeler; organik iyon-değiştiriciler, şelat halkalı yapılar ve iyonofor özellikteki maddelerdir (Covington, 1974). Bu maddeler yüklerine göre üç grupta toplanırlar;

Pozitif yüklü iyon-değiştiriciler: Anyon duyarlı maddelerdir. Örneğin; Cl^- , NO_3^- , CO_3^{2-} gibi anyonlar için tetraalkil amonyum tuzları iyon-değiştirici olarak kullanılır. Yine ClO_4^- , NO_3^- gibi anyonlar için Şekil 2.12.'de yapısı gösterilen o-fenantrolin tuzları iyon-değiştirici olarak kullanılır.



Şekil 2.12. o-fenantrolin'in yapısı (<https://tr.pinterest.com/pin/95208979606458953/>, 24.06.2020)

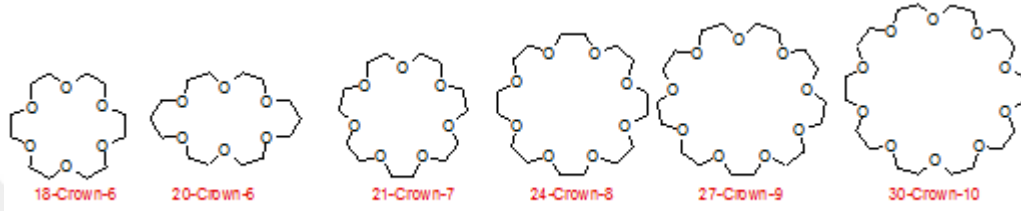
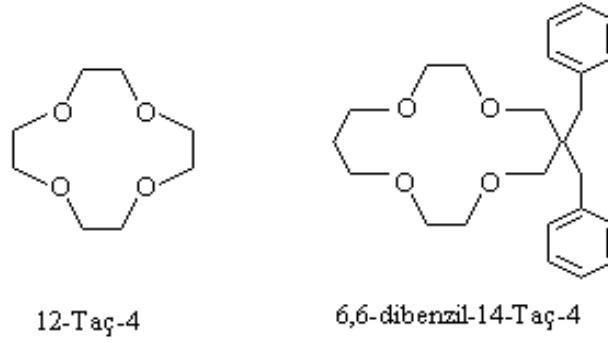
Negatif yüklü iyon-değiştiriciler: Katyon duyarlı maddelerdir. Örneğin; K^+ için Şekil 2.13.'de yapısı gösterilen potasyum tetrakis (p-klorofenil) borat (KTpClPB) tuzu iyon-değiştirici olarak kullanılır.



Şekil 2.13. Potasyum tetrakis (p-klorofenil) borat'ın yapısı

(<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/365254?lang=en®ion=TR>, 30.06.2020)

Nötral taşıyıcı iyon-değiştiriciler: Katyon duyarlı maddelerdir. Örneğin; K^+ ve NH_4^+ için makrosiklik yapıdaki valinomisin ve nonaktin, Na^+ ve K^+ için polisiklik eterler (taç eterler), Ca^{2+} ve Li^+ için sentetik bazı iyonoforlar iyon-değiştirici olarak kullanılır. Şekil 2.14.'de lityum iyonu için kullanılan bazı iyonofor maddeler görülmektedir.



Şekil 2.14. Bazı lityum iyonoforların yapısı (<http://www.kimyaders.com/eterlerin-siniflandirilmesi-adlandirilmasi.html>, 24.06.2020)

2.8.4. İyon Seçici Elektrotların Farklı Bir Sınıflandırılması

İyon seçici elektrotlar, kullanılan aktif maddelere göre aşağıdaki gibi de sınıflandırılabilir.

a) Cam İyon-Seçici Elektrotlar: Aktif madde camın kendisidir. Elektrot hidrojen iyonuna (H^+) karşı duyarlıdır.

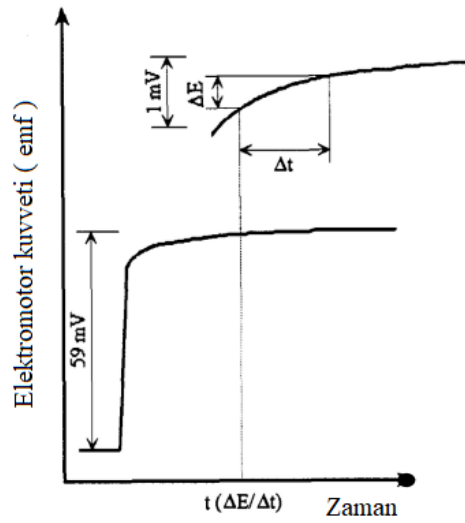
b) Çözünmeyen İnorganik Tuzlardan Yapılan İyon-Seçici Elektrotlar: Bu elektrotlar katı-hal membranlar olarak bilinir. $AgCl$ gibi çok az çözünen inorganik tuzların kristalinin veya kompakt diskinin aktif bileşen olarak kullanımını içerir.

c) Organik Materyallerden Yapılan İyon-Seçici Elektrotlar: Bu grupta, uzun zincirli iyon-değiştiriciler, kompleks yapan bileşikler, siklik ve asiklik nötral bileşikler aktif bileşen olarak kullanılmaktadır.

2.8.5. İyon-Seçici Elektrotların Performansına Etki Eden Faktörler

2.8.5.1. Cevap Zamanı

İyon-seçici elektrotlarda cevap zamanı temel olarak elektrodun fiziksel yapısıyla ilgili bir özelliktir. Cevap zamanı, temel olarak membranın duyarlı bölümüyle çözeltideki iyonun dengeye gelmesi için geçen süre olarak tanımlanır. IUPAC'a göre (IUPAC, 1994) ise; dengeye gelme zamanının % 95'i olarak alınır ve t_{95} olarak gösterilir (denge potansiyelinin de % 95'ine karşılık gelir). Şekil 2.15.'de IUPAC'a göre cevap zamanı grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.15. IUPAC'a göre cevap zamanı (Buck ve Lindner, 1994)

Girişim yapan iyonlar, bir Nernst potansiyel farkı oluşması için taşınması gereken iyonların aktif elektrot yüzeyine ulaşmalarını geciktirir ve cevap zamanını etkiler.

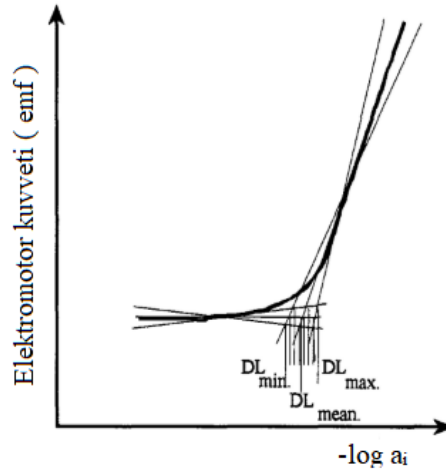
Cevap zamanı aşağıdaki işlemlerle azaltılabilir;

1. Etkili karıştırma (veya akış hızının artırılması)
 2. Membran yüzeyinin safsızlıktan arındırılması veya çok küçük membran yüzeyli mikro elektrotlar kullanılması
 3. Ölçüm sırasında kullanılan çözeltinin derişimi düşükten yükseğe doğru olmalıdır.
- Nötral taşıyıcı membranlarda, aktif maddeye (ligant veya kompleks) çözeltideki iyonun tutunma hızı, cevap zamanını etkileyen en önemli faktördür. Bunun dışında;

1. İyon ekstraksiyon kapasitesi
2. Difüzyona karşı direnç
3. Membran kalınlığı
4. Membrandaki çözücünün polaritesi de cevap zamanını etkileyen faktörlerdir.

2.8.5.2. Tayin Limiti (Ölçümlerin Duyarlılığı)

İyon-seçici elektrotların tayin limiti, membranda fazlar arasında ölçülebilecek düzeyde potansiyel fark oluşturan minimum iyon konsantrasyonu olarak tanımlanır. IUPAC'a göre (IUPAC, 1994); çoğunlukla tayin limiti, tek yüklü anyon ve katyonlara duyarlı elektrotlarda elektrodun sabit potansiyel sergilediği potansiyel değerinden 18 mV farklılık gösterdiği potansiyel değerine karşılık gelen madde miktarı alınırken, bu potansiyel farkı iki yüklü anyon ve katyonlar için 9 mV olarak kabul edilmiştir. Şekil 2.16.'da IUPAC'a göre tayin limiti grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.16. IUPAC'a göre tayin limiti (Buck ve Lindner, 1994)

Birçok iyon-seçici elektrot için tayin limiti 10^{-5} M düzeyindedir. Bazılarında ise bu değer aralığı 10^{-7} M'a kadar düşürülebilir. Ortamdaki girişim yapan iyonlar ve moleküller ile belirlenen bu limitler ters yönde etkilenebilir (konsantre sulu çözeltilerde su molekülleri iyonların hidrofobik membrana girişini önler ve tayin limiti ters yönde etkilenir).

2.8.5.3. Seçicilik

Potansiyometrik analiz için kullanılan elektrotlar sadece tek bir iyonla duyarlı değildir. Seçicilik, örnek karışımında bulunan diğer türlerden etkilenmeden belirli bir türü belirleme yeteneğidir. Nicolsky ilk kez hidrojen ve sodyum iyonlarına duyarlı cam elektrotlar için seçicilik kullandı. Elektrodun farklı iyonik türlere duyarlılığı, seçicilik katsayısı ile belirlenir. İyon seçici bir elektrotun diğer iyonlara cevabının ölçüsüne seçicilik katsayısı denir.

2.8.5.4. Tekrarlanabilirlik

Hataları en aza indirmek ve analizin yüksek güvenilirliğini sağlamak için hazırlanan kimyasal sensörler tekrarlanabilir sonuçlar sağlamalıdır. Tekrarlanabilirlik, elektrot çözeltiden çıkarıldıktan ve yıkandıktan ve tekrar çözeltilere daldırıldıktan sonra ölçülen farklı konsantrasyonlarda standart çözeltilerdeki potansiyel değerler serisinin standart sapması olarak verilebilir (Isildak, 2020).

2.8.5.5. Doğrusal Çalışma Aralığı

Çizilen kalibrasyon grafikleri, iyon seçici elektrotların doğrusal çalışma aralığını belirler. Elektrodun doğrusal çalışma aralığı, kalibrasyon eğrisindeki veri noktalarının doğrusallıktan 2 mV'dan fazla sapmadığı aralık olarak tanımlanır (Fogg ve ark., 1974). İncelenen aralıktaki konsantrasyon potansiyeli değişikliğinin doğrusallığı R^2 değeri ile verilebilir (Isildak, 2020).

2.8.5.6. pH Çalışma Aralığı

Elektrotların pH çalışma aralığı ölçülürken, pH 2.0-12.0 tampon çözeltileri genellikle elektrodun seçici olarak muamele edildiği türlerin $1,0 \times 10^{-2}$ M konsantrasyonunda hazırlanır. Bu çözeltilerin potansiyelleri ölçülür. Potansiyel olarak önemli bir

değişikliğin meydana gelmediği aralık, elektrodun pH çalışma aralığıdır (Isildak, 2020).

2.8.5.7. Yaşam Süresi

İyon seçici bir elektrotun ömrü en önemli özelliklerden biridir. Elektrotların hizmet ömrü, on kat konsantrasyon değişikliği sırasında belirli aralıklarla ortaya koydukları potansiyel farklılıklar incelenerek belirlenir. Grafikler, ölçülen bu potansiyel farklar kullanılarak zamana karşı üretilir. Eğimin önemli bir farkı olmadığı zaman, yaşam süresi olarak verilebilir (Isildak, 2020).

2.8.6. İyon Seçici Elektrotların Avantaj ve Dezavantajları

İyon seçici elektrotlar aşağıdaki avantajlara sahiptirler;

1. Elektrotlar, pek çok kimyasal tür için geniş bir konsantrasyon aralığında doğrusal olarak değişim gösterirler.
2. Numune üzerinde önemsenmeyecek düzeyde kirliliğe neden olurlar. Numunede herhangi bir bozunmaya neden olmazlar.
3. Elektrotların cevap süreleri genellikle kısadır (saniye ve dakika seviyelerinde). Bu nedenle klinik ve endüstriyel numunelerin tayininde kullanılırlar.
4. Spektrofotometrik ölçümlere uygun olmayan, koyu renkli ve bulanık çözeltiler elektrotlarla kolaylıkla ölçülebilirler.
5. Canlı bir hücrenin iç yapısı gibi ulaşılması çok zor olan ortamlarda özel olarak üretilmiş elektrotlarla ölçüm yapılabilir.
6. Elektrotlar, kromatografik ve akış yolu-enjeksiyonu analiz yöntemlerinde dedektör olarak kullanılabilirler.

Bu avantajlarının yanı sıra elektrotların bazı dezavantajları vardır;

1. Elektrotlarla ile yürütülen çalışmalarda olumlu sonuç elde edebilmek için çok dikkatli olmak gerekir.
2. İyon seçici elektrotlarla yapılan ölçümlerin kesinliği nadiren % 1'den daha iyi olup, genellikle daha düşüktür.

3. Elektrotlar, potansiyellerin kararsız olmasına ve kaymasına yol açacak şekilde, proteinler ve diğer organik maddeler vasıtasıyla kirlenebilirler.
4. Bazı iyonik türler girişim yapar veya elektrotları zehirlerler.

2.8.7. İyon-Seçici Elektrotların Uygulamaları

İyon-seçici elektrotlar genellikle dört farklı analitik uygulamada yaygın olarak kullanılır. Bunlar;

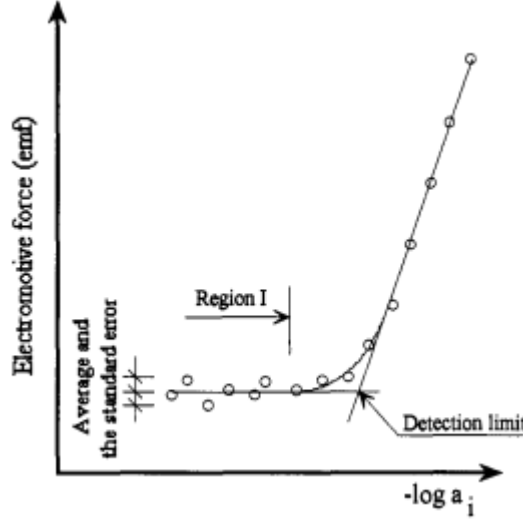
1. Doğrudan ölçümlerde,
2. Potansiyometrik titrasyonların dönüm noktalarının tayininde,
3. Denge sabiti ve buna bağlı fiziksel sabitlerin hesaplanmasında,
4. Hareketli ortamlarda dedektörler olarak kullanılırlar.

2.8.7.1. Doğrudan Ölçümler

İyon-seçici elektrotlar analit konsantrasyonlarını doğrudan ve seçimli olarak ölçmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Skoog ve ark., 1990). Doğrudan ölçüm yöntemlerinden en sık kullanılanı, ölçümü yapılan bir iyonun konsantrasyonuna karşı ölçülen potansiyelin grafiğe geçirilmesiyle alınan kalibrasyon eğrisini içerir.

Kalibrasyon grafiği, belirli bir iyon seçici elektrot hücre düzeneğinin hücre emfinin, belirli bir türün tek iyonik aktivitesinin logaritmasını gösteren bir çizimdir. Kalibrasyon eğrisi yöntemi oldukça doğru sonuç verir. Fakat yorucudur, fazlaca ölçüm gerektirir. Kalibrasyon almak için kullanılan standart çözelti konsantrasyonlarının, test çözeltilerinde tayini yapılacak olan iyonun konsantrasyonuna yakın olması elde edilecek sonuçların doğruluğunu daha da artırabilir. Şekil 2.17.'de basit bir kalibrasyon grafiği görülmektedir. Bir ISE membran arayüzündeki potansiyel farktan bahsedilirken, çalışılan hücre emfinin bir kısmını ayırt etmek için arayüz potansiyel farkı ve ISE veya membran potansiyel farkı terimleri kullanılmalıdır.

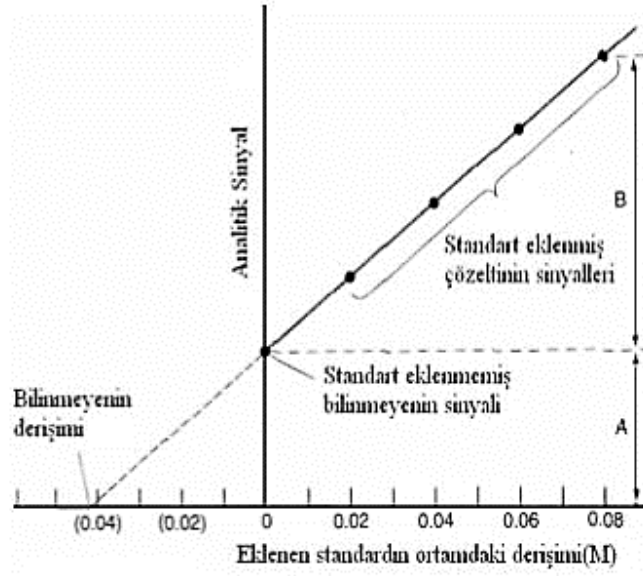
Bu yöntemle iyon-seçici elektrot ile doğrudan ölçülen analit potansiyeline (E_x) karşılık gelen bilinmeyen konsantrasyon (C_x) kalibrasyon grafiği ile tayin edilebilir.



Şekil 2.17. Basit bir kalibrasyon grafiği (Buck ve Lindner, 1994)

Doğrudan ölçüm yöntemlerinden bir diğeri de standart ekleme metodudur. Bu metot, bilinen hacimdeki bir analit çözeltisine standart çözeltinin bilinen hacimde ilavesinden önce ve sonra elektrot sisteminin potansiyelinin tayinine dayanır.

Standart ekleme yöntemi ortam etkisinden kaynaklanabilecek girişimlerin en aza indirgenmiş olması nedeni ile kalibrasyon yöntemine göre avantaj sağlamaktadır. Numune içeriği kalibrasyonda birbirinden farklı iken, standart eklemede aynı ortam şartları sağlanır. Şekil 2.18’de standart ekleme metodu ile iyon tayini grafiksel olarak görülmektedir.



Şekil 2.18. Standart ekleme metodu ile iyon tayini (<https://www.slideserve.com/brody/evresel-al-malarda-aletli-analiz-ev-328>, 24.06.2020)

2.8.7.2. Potansiyometrik Titrasyonların Dönüm Noktalarının Tayini

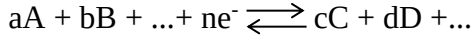
Potansiyometrik titrasyonlar, titrant hacminin fonksiyonu olarak uygun bir iyon seçici elektrot ile potansiyel değişiminin ölçülmesi olayı olarak bilinir. Kimyasal indikatörlerin kullanıldığı titrasyonlardan elde edilen verilerden daha makul sonuçlar verirler ve özellikle renkli veya bulanık çözeltilere de uygulanabilirler. Bu yolla;

1. Potansiyometrik çöktürme titrasyonları
2. Kompleks oluşum titrasyonları
3. Nötralleşme titrasyonları
4. Yükseltgenme/indirgenme titrasyonlarının dönüm noktaları tayin edilebilmektedir (Skoog ve ark., 1990).

2.8.7.3. Denge Sabiti ve Buna Bağlı Fiziksel Sabitlerin Hesaplanması

İyon-seçici elektrotlar ile hücre potansiyelleri ölçülerek; çözünürlük çarpımı sabitleri (K_c), iyonlaşma sabitleri (K_i , K_a , K_b) ve oluşum sabitleri (K_f) için sayısal değerler kolayca elde edilebilir. Bu tekniğin önemli bir yönü, ölçümlerin çözeltide mevcut olabilen diğer dengelerden önemli ölçüde etkilenmeden yapılabilmesidir.

Aşağıdaki reaksiyonun denge sabiti (K_d) elektrot potansiyeli ölçülerek Nernst Eşitliğinden (türetilen diğer eşitliklerden de yararlanılarak) hesaplanabilir (Alpaut, 1978).

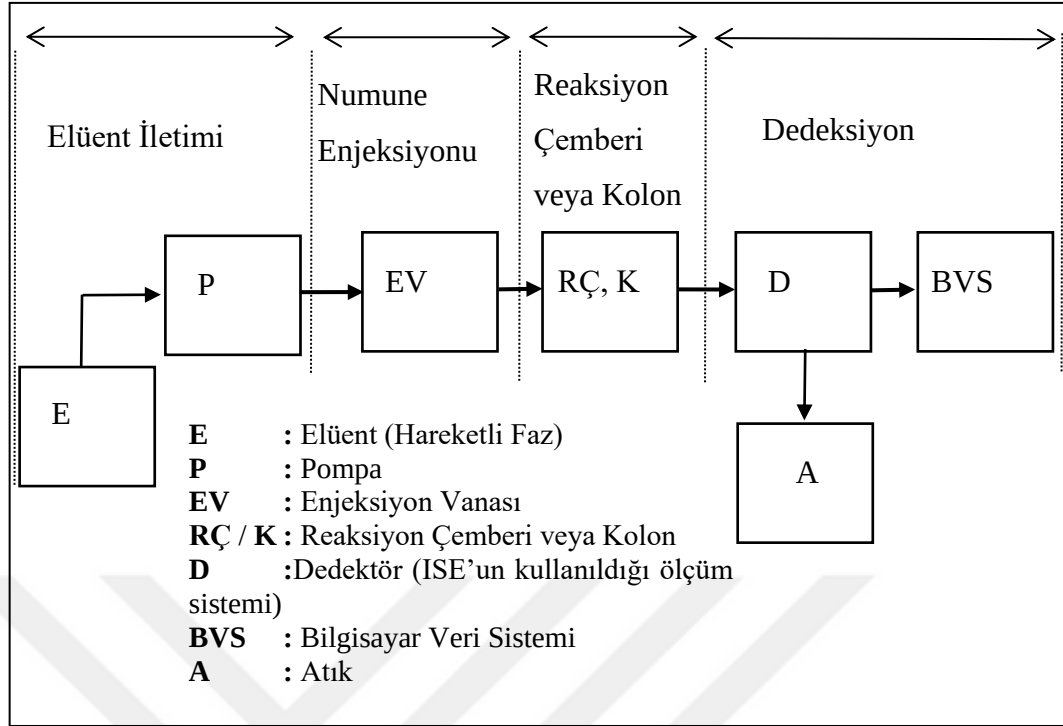


$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[C]^c [D]^d \dots}{[A]^a [B]^b \dots} \quad K_d = \frac{[C]^c [D]^d \dots}{[A]^a [B]^b \dots}$$

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln K_d \quad \ln K_d = \frac{nF\Delta E}{RT} \quad \log K_d = \frac{n\Delta E}{0,059}$$

2.8.7.4. İyon-Seçici Elektrotların Hareketli Ortamlarda Kullanılması

Elektrotların potansiyometrik bir dedektör olarak hareketli ortamlarda kullanımı yaygınlaşmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, PVC’de temel teşkil eden ve iç referans çözeltinin kullanılmadığı katı-hal kontakt tipi sıvı-membran iyon seçici elektrotların yaygınlık kazandığı gözlenmektedir. İyon kromatografi ve akış yolu enjeksiyonu yöntemleri ile potansiyometrik tayinlerde en fazla iyon-seçici elektrotlar kullanılmaktadır. İyon seçici elektrotların dedektör olarak kullanıldığı bir hareketli ortam ölçüm sistemi Şekil 2.19’da görülmektedir (Yolcu, 2008). Genel olarak, ISE akış yolu üzerine ya bir kromatografik kolondan hemen sonra veya reaksiyon çemberinden hemen sonra yerleştirilerek seçici olarak tayin amaçlanır (Isildak, 1993).



Şekil 2.19. Hareketli ortamda ölçüm sistemi (Yolcu, 2008)

Kasım. Demir Ordu Üniversitesi'nde (2019) yüksek lisans tez çalışmasında, Ordu ili ve ilçelerindeki içme sularında F^- içeriğinin spektrofotometrik yöntemlerle analizini içermektedir. Florür analizi için spektrofotometrik yöntem uygulanmıştır. İçme-kullanma sularında florür analizi için iki yöntem uygulanmıştır. Florür küvet testi (LCK 323) ve Hach küvet testi (LCK 323). Yapılan çalışmada elde edilen veriler Ordu İlinin 19 ilçesinde nüfus yoğunluğuna göre belirlenen ve toplam 100 farklı izleme noktasından 2017-2018 yılları içinde alınan su numunelerinde yapılan mevsimsel florür analizleri neticesinde elde edilen veriler değerlendirilmiş, analiz sonuçlarına göre, izleme noktalarından alınan sularda mevsimsel florür içeriği 0,01 ile 0,71 mg/L F^- aralığında ölçülmüştür. Ordu ili genelinde sulardaki ortalama florür değeri $0,336 \pm 0,073$ mg/L olarak bulunmuştur. İçme-kullanma sularında ölçülen bu florür değeri mevzuatlarda belirtilen değerlerin oldukça altındadır (Demir, 2019).

Hilal Eren ve Müberra Andaç'ın (2010) çalışmalarında, ticari nitrit seçici iyonofor kullanarak potansiyometrik sensör geliştirmişlerdir. Sensörün potansiyometrik performans özellikleri test edilmiş, sensörün doğrusal çalışma aralığı 1×10^{-1} - 1×10^{-6} M tayin limiti $5,5 \times 10^{-7}$ M, cevap zamanı 5 sn, yaşam süresi yaklaşık 16 hafta olarak

bulunmuştur. Hazırlanan PVC membran NO_2^- seçici sensor çevre sularında nitrit iyonunun tayini için kullanılmış ve elde edilen sonuçlar iyon kromatografi sonuçları ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir (Eren ve Andaç, 2010).

Adem Asan'ın (2019) bir çalışmasında, su numunelerindeki magnezyum derişiminin belirlenmesinde kullanılabilecek ticari olarak satın alınan bir iyonofor madde ile Mg^{2+} -seçici mikro potansiyometrik PVC-membran elektrot geliştirmiş olup elektrotun potansiyometrik performans karakteristiklerini belirlemiş ve çevresel analizlere uygunluğu araştırılmıştır. Hazırlanan Mg^{2+} -seçici elektrot ile yapılan deneylerde alınan ölçümlerdeki ana iyon çözeltisine karşı her 10 kat konsantrasyon değişimi için 27,6 mV potansiyel farkı gözlemlemiştir. Elektrotun, 1×10^{-1} - 1×10^{-5} M derişimleri arasında ana iyon çözeltisine karşı doğrusal davranış sergilediği belirtilmiş, alkali ve toprak alkali metal iyonlarının yanında ana iyonla karşı oldukça seçici olduğunu belirlemiştir. Su numunelerindeki magnezyum iyonu tayini standart ekleme yöntemi kullanılarak yapılmış ve elde edilen veriler potansiyometrik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ise geliştirilen Mg^{2+} -seçici potansiyometrik PVC-membran mikro elektrot ile çevre sularında magnezyum iyonunun rutin tayininde etkin bir şekilde kullanılabileceği belirlenmiştir (Asan, 2019).

Cemil Can Eylem'in (2016) tez çalışmasında, Cu^{2+} ve Zn^{2+} iyonlarının eş zamanlı tayinleri için çoklu iyon seçici elektrot dizini ve çoklu kalibrasyon teknikleri kullanılarak bir yöntem geliştirmiştir. İyon seçici elektrot dizini, sekiz elektrot ve bir pH elektrottan oluşturulmuş, sekiz elektrot yüzeyine bakır ve çinko seçici iyonoforlardan yola çıkılarak hazırlanan kokteyl membranlar uygulanmıştır. Çoklu kalibrasyon tekniklerinden CLS, PCR ve PLS1 teknikleri kullanılmıştır. Geliştirilen çoklu iyon seçici elektrot sistemi ile sentetik numuneler ve pirinç numuneleri içerisinde var olan Cu^{2+} ve Zn^{2+} iyonları tayin edilmiştir. Aynı çalışmada pirinç numunesi gravimetrik olarak analiz edilmiş ve Cu^{2+} için $\% 63,52 \pm 1,38$, Zn^{2+} için $25,92 \pm 1,65$ değerleri bulunmuştur. Pirinç numunelerinde sonuçlar PCR yöntemiyle gerçek numunelerde, Cu^{2+} için: $\% 62,64 \pm 3,29$, Zn^{2+} için: $\% 24,29 \pm 3,45$; PLS1

yöntemiyle, Cu^{2+} için: % (60,37±5,41), Zn^{2+} için: % 20,04±6,83 elde edilmiştir. (Eylem, 2016).

Cihan Topcu'nun (2016) çalışmasında, nikel-sakkarin (Ni-sac) kompleksinin iyon seçici elektrotların yapısında aktif bileşen olarak kullanılması sonucu belirli bir iyonik türe karşı seçici PVC-membran iyon seçici elektrotlar geliştirilmiştir. Potansiyometrik ölçümler sonucunda Ni-sac kompleksi ile hazırlanan elektrotların karbonat iyonlarına karşı seçici davranış sergilediği ve en iyi membran bileşiminin % 30 PVC, % 67 plastikleştirici (Dibütilftalat) ve % 3 iyonofor (Ni-sac) olduğu belirtilmiştir. Hazırlanan elektrodun karbonat iyonlarına karşı $1,0 \times 10^{-2}$ - $1,0 \times 10^{-6}$ M arasında derişim aralığında doğrusal cevap sergilediği gözlemlenmiştir. Elektrodun cevap zamanı ortalama olarak 12 saniye ve tayin limiti ise $6,1 \times 10^{-7}$ M olarak belirlenmiştir. Elektrodun potansiyometrik cevabının pH=5,0-9,0 arasında çözeltinin pH değişiminden etkilenmediği tespit edildiği ve ayrıca 8 hafta kullanım ömrüne sahip olduğu belirlenmiştir. Karbonat seçici elektrot, ticari olarak satılan farklı maden suyu numunelerindeki karbonat iyonlarının kantitatif tayininde başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmış ve maden suyu numunelerinde kullanılmıştır (Topçu, 2016).

Fatih Çoldur ve arkadaşlarının (2016) çalışmalarında PVC-membran elektrotların sadece sulara iyon analizi için değil sağlık alanında da önemli bir uygulama sahasının olduğunu göstermiştir. Yapılan çalışmada tüberküloz hastalığının tedavisinde kullanılan ve insan vücudunda belirli sınırların üstüne çıktığında ölümcül etkileri olan izoniazid'in tayinini gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, geliştirilen elektrodun hazırlanışının basit oluşu, maliyetinin düşük, hızlı, duyarlı ve oldukça seçici özellikler sunması, geniş doğrusal çalışma aralığı, düşük tayin sınırı gibi avantajları ve izoniazid maddesinin belirlenmesi çalışmasında olumlu sonuçlar vermesi yanında elde edilen bu sonuçların UV-görünür spektroskopi tekniğinden elde edilen sonuçlarla uyumlu olması nedeni ile bu alanda uygulanabilirliği önerilmiştir (Çoldur ve ark., 2016).

Sema Tofan (2008) yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında Konya bölgesindeki içme sularında metal tayini yapmıştır. Çalışmada ICP-OES cihazı kullanılmış ve elde edilen yüksek sıcaklıklar, çok kararlı bileşiklerin dahi plazma sıcaklığında atomlarına ayrışması nedeni ile tayin edilebilmelerine olanak sağlamıştır. AAS’de ayarlamaların ardından bir elementin analizi yapılabilirken, ICP-OES’te birden fazla elementin analizi gerçekleştirilebilmektedir. (Tofan, 2008).

Fatih Ahmet Erulaş (2010) tez çalışmasında biyolojik sıvılarda iyon kromatografi yöntemi ile anyon tayini uygulamalarını incelemiştir. Çalışmada Tip2 diyabet hastalığının teşhisinde birer parametre olarak kullanılan F^- , Cl^- , Br^- , BrO_3^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} gibi anyonların tespiti yapılmıştır. İyon kromatografi yöntemiyle hastaların idrar, tükürük ve serum örneklerinde başarıyla, kolay ve güvenilir sonuçlar elde edilebilir olduğu görülmüş ve bu alandaki tedavi aşamalarında bu yöntemin kullanılabileceğı belirtilmiştir (Erulaş, 2010).

Havva Ataş (2015) tez çalışmasında çoklu iyon-seçici elektrot sistemleri kullanılarak farklı su numunelerindeki bazı iyonların eş zamanlı olarak tayinini gerçekleştirmiştir. İyon-seçici elektrot sistemleri maden suyu, kaplıca suyu ve nehir sularındaki Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} ve NH_4^+ iyonlarının eş zamanlı tayini için geliştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen veriler AAS ve UV spektroskopisi gibi diğerk analitik yöntemlerle elde edilen verilerle karşılaştırılmış ve sonuçlar arasında büyük bir fark olmadığı belirtilmiştir (Ataş, 2015).

Hüseyin Altundağ ve arkadaşlarının (2011) Sakarya ilinde yapmış oldukları çalışmada içme sularının florür içeriğini geliştirdikleri F^- iyon-seçici elektrot ve iyon kromatografi yöntemlerini kullanarak belirlemişlerdir. Her iki yöntemle elde edilen verilerin birbiri ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. İyon-seçici elektrotlar sahip oldukları üstün özellikler göz önünde bulundurulduğunda birçok uygulamada kullanılabileceğı belirtilmiştir (Altundağ ve ark., 2011).

Nitrit, gıda ve çevre sistemlerinde katkı ve korozyon önleyici olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu madde gıda koruyucu olarak kullanılır (E249, E250) ve

tuzlarının toprakta yüksek miktarda olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, nanoyapılı materyaller olarak manyetit nanokürecileri ve yeni sentezlenmiş bir kobalt (II) - Schiff baz kompleksi ile modifiye edilen karbon macunu elektrot (CPE) kullanılarak su numunelerindeki nitrit iyonunun belirlenmesi için basit ve hassas bir elektrokimyasal sensör geliştirilmiştir. Çeşitli deneysel parametrelerin nitrit iyonlarının elektrokimyasal oksidasyon cevabı üzerindeki etkileri araştırılmış ve optimize edilmiştir. Nitrit iyonuna karşı duyarlılığın, kobalt kompleksinin varlığından dolayı analitin modifiye edilmiş elektrot yüzeyinde önceden yoğunlaştırılmasıyla önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir. Optimum koşullarda sensörün 0,2–30,0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ konsantrasyon aralığında doğrusal bir yanıtı ve $1,5 \times 10^{-2}$ $\mu\text{mol L}^{-1}$ gibi düşük bir tespit limitinin olduğu belirlenmiştir. Son olarak, sensör bazı gerçek su numunelerinde nitrit içeriğinin belirlenmesine uygulanmış ve sonuçların tatmin edici olduğu belirtilmiştir (Parsaei ve ark.; 2015).

Kurşun iyonu, insan sağlığını ve çevreyi ciddi şekilde etkileyebilen en toksik kirleticilerden biridir. Pb^{2+} iyon birikimi beyne, merkezi sinir sistemine, kaslara ve böbrek sistemlerine ciddi zarar verebilir. Bu nedenle, çevresel ve biyolojik numunelerde kurşun iyonunun rutin olarak izlenmesi çok önemlidir ve önemli bir kimyasal analiz konusu olmuştur. Bu çalışmada kısa guanin açısından zengin ssDNA problemleri ile modifiye edilmiş altın elektrotların Pb^{2+} tayini için kullanım olasılığı incelenmiştir. Akım sinyali üretmek için harici bir redoks etiketi (metilen mavisi) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, kısa oligonükleotidlerle modifiye edilmiş altın elektrotların Pb^{2+} iyonunun voltametrik tayini için kullanılabileceğini göstermiştir. Önerilen oligonükleotid bazlı biyosensör, 34,7 nmol/L'lik bir tespit limiti ile kendini ön plana çıkardığı belirtilmiş ve kurşun iyonlarına karşı yüksek seçicilik sergilediği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kurşun iyonlarının tespiti için diğer aptasensörlere kıyasla ümit vericidir (Jarczewska ve ark.; 2015).

İçme suyu kalitesinin kontrolü florozu önlemede kritik öneme sahiptir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) yönergelerine göre, florür iyonu (F^-) içme suyundaki konsantrasyonu 1,5 mg/L'nin üzerinde olduğunda insan sağlığına zararlıdır (World Health Organization, 2011). Florürler, florür içeren kayaların ve toprakların ayrışması ve

çözünmesi yoluyla doğal olarak suya salınır. Bu çalışmanın amacı (i) değişken fizikokimyasal koşullar altında farklı HS tiplerinin toplanmasını inceleyerek HS ve F^- ISE ölçümü arasındaki ilişkiyi sistematik olarak anlamayı amaçlamaktadır; (ii) HS'nin F^- konsantrasyonu üzerindeki etkisini değerlendirmek ve (iii) HS'nin F^- ISE ölçümünden kaynaklanan parazitini ortadan kaldırmak için uygun bir yöntem oluşturmak olarak bildirilmiştir. Bu çalışmada hümik maddeler (HS) sudaki doğal organik maddeyi (NOM) temsil etmektedir. HS toplandığında florür iyonu seçici elektrotların (İMKB) tepkisinin bozulabileceğini gösterilmiştir (Shen ve ark., 2016).

Orta derecede florür tüketimi, ağız sağlığı bakımına katkısı nedeniyle birçok sağlık yararı sunar. Yetişkinler ve çocukların gereksinimleri ile erkek ve kadınlar için gereksinimler değişse de, önerilen florür alımı günde 0,01 ila 4,0 mg arasındadır. Bu çalışmanın temel amacı, şifalı bitkilerdeki flor konsantrasyonunu belirlemek olarak belirtilmiştir. Şifalı bitkiler için numune hazırlama ve İMKB ile potansiyometri kullanılarak daha fazla florür tayini için MIC bazlı bir yöntemin geliştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, şifalı bitkilerdeki florür konsantrasyonu 2,5-250 $\mu g g^{-1}$ aralığında belirlenmiştir. Bu yöntemi kullanarak, tıbbi bitkilerdeki florür seviyeleri için oldukça çekici bir kalite kontrol yöntemi olarak kabul edilen düşük konsantrasyondaki numuneler için İMKB tarafından florür tespiti mümkün olmuştur. MIC yönteminin, İMKB kullanılarak daha fazla florür tayininde numune sindirimi için uygun olduğu düşünülmüştür. Yanma yönteminin numune hazırlama olarak kullanılması, numunelerdeki toplam flor içeriğinin belirlenmesine olanak sağlamıştır. Sertifikalı değerler ile MIC sindiriminden sonra İMKB kullanılarak elde edilen değerler arasında istatistiksel bir fark (t-testi, güven düzeyinin % 95'i) gözlenmemiştir. Optimize edilmiş koşullar altında % 95'ten daha iyi geri kazanımlar elde edildi. Önerilen MIC yöntemi nispeten yüksek verim sağladığı (en fazla sekiz numune 25 dakika içinde aynı anda sindirilebilir), seyreltilmiş çözeltilerin kullanımı laboratuvar kalıntılarının oluşumunu en aza indirebileceği belirlenmiştir. MIC kullanmanın avantajları ve flor içeren bileşikler bile florüre dönüştürme kabiliyeti göz önünde bulundurularak, bu yöntem rutin tıbbi bitkiler kalite kontrolünde daha fazla toplam flor tayini için kullanılabileceği belirtilmiştir (Mendez ve ark., 2020).

Doğal olarak oluşan bir element olarak bor ve bileşikleri, cam üretimi, evsel yıkama maddeleri ve tarımsal gübreler gibi tarımsal ve endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşırı bor, bitkiler ve insanlar için toksik olarak kabul edilir. İçme suyundaki bor için maksimum sınır değerine WHO tarafından 2,4 mg/L olarak karar verilmiştir (World Health Organization, 2011). Bu nedenle, endüstriyel ve çevresel numunelerde bor tayini gereklidir. Borun belirlenmesi için çeşitli analitik yöntemler geliştirilmiştir. Yöntemler arasında spektrofotometri, spektroflorimetri, atomik absorpsiyon spektrometrisi, endüktif olarak bağlanmış plazma-atomik emisyon spektrometrisi, endüktif olarak bağlanmış plazma-kütle spektrometrisi, voltametri ve potansiyometri kullanılmıştır. Bunlar arasında, spektrometrik yöntemler, 0,01 mg/L'ye kadar konsantrasyonlarda boratın saptanması ve suda borun analizi için yaygın olarak kullanılan yöntem için uygulanabilir. Ancak, tüm bu teknikler daha küçük laboratuvarlar için uygun olmayan sofistike ve pahalı ekipmanlardır. Bu nedenle çalışmada yapılan deneyler sonucunda yeni bir bor seçici membran elektrot toprak, kaya ve su örneklerinde bor tayini için geliştirilmiştir. Geliştirilen elektrot, 1×10^{-1} M ve 1×10^{-4} M borat iyonu konsantrasyon aralığı üzerinde 34 mV/on Nernstian eğimi ve 2×10^{-5} saptama sınırı ile kararlı ve doğrusal bir potansiyometrik davranış sergiledi. Elektrot, iyonu sülfat, klorür, nitrat ve diğer birçok inorganik asit anyonu üzerinde boratlamak için açık bir seçicilik gösterdi. Elektrodun tepki süresi 14 saniyeden az bulundu. Elektrotun potansiyometrik okumaları, pH 8 ile 8 arasındayken yaklaşık 3 ay arasında tutarlıydı. Geliştirilen borat seçici kompozit membran elektrot doğrudan gerçek su örneklerinde borat iyonlarının ölçümü için uygulanır. Geliştirilen elektrot yöntemi ile elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak analiz edilmiş ve ICP-MS yöntemi ile elde edilenlerle karşılaştırılmıştır. Doğruluk veya kesinlik açısından önemli bir fark gözlenmemiştir. Geliştirilen elektrot yöntemi, çevresel örneklerde bor tayininde yaygın olarak kullanılan ICP-MS tekniğine kıyasla kesin ve doğru bulunmuştur. Geliştirilen elektrodun kısa tepki süresi, elektrotun akış enjeksiyon analiz sisteminde bir dedektör olarak güvenilirliğini arttırmaktadır (Bahar ve ark., 2020).

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan Kimyasallar

Tetrahidrofuran (THF), yüksek molekül ağırlıklı polivinilklorür (PVC), dibenzo18crown6 (DB18C6), Tetradodesilamonyumbromür (TDABr), o-nitrofeniloktileter (NPOE), dioktil sebekat (DOS), grafit, epoksi reçinesi (Ultrapur SU 2227 Victor (Italy) firmasından, sertleştirici (Desmodur RFE) Bayer AG (Germany) firmasından, potasyumklorür (KCl), potasyum nitrat (KNO_3), sodyum nitrat (NaNO_3), sodyum klorür (NaCl) ve çalışmada kullanılan diğer bütün çözücüler Merck (Darmstadt, Germany) firmasından sağlandı.

3.1.2. Kullanılan Cihazlar

Potansiyel ölçümleri, Giresun Üniversitesi FEN-BAP-A-36 nolu proje ile tasarlanan ve bilgisayar program ile desteklenmiş çok kanallı potansiyometre cihazıyla gerçekleştirildi. Potansiyel ölçümlerinde referans elektrot olarak, Ag/AgCl elektrot (Basi-MF-2079-RE-5B) kullanıldı. İyon Kromatografik analizle Thermo-Dionex Marka (Model: ICS-5000) Dual İyon Kromatografi cihazı kullanıldı. Tartım işlemlerinde, Shimadzu (model AUX220) marka analitik terazi kullanıldı. Çözeltilerin hazırlanmasında kullanılan deiyonize su Sartorius Stedim (Arium*611UV) marka ultra deiyonize su cihazı kullanılarak temin edildi. Çözeltilerin pH ayarlanmasında HANNA pH 211 marka pH metre kullanıldı.

3.2.Yöntem

3.2.1. Standart Çözeltilerin Hazırlanması

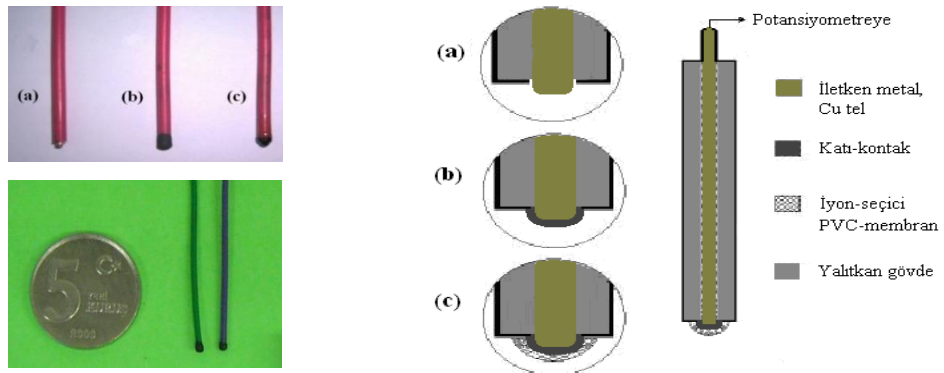
Kullanılan standart anyon ve katyon çözeltileri, anyon ve katyonların klorür ve nitrat tuzlarından hazırlandı. Bütün standart stok çözeltileri deiyonize su ile analitik saflıkta maddelerden 0,1 M olacak şekilde hazırlandı ve sonrasında istenilen konsantrasyonlara seyreltildi.

3.2.2. İyon Duyarlı Mikrosensörlerin Hazırlanması

Genel olarak sensörlerin hazırlanması; alt yapıyı oluşturan katı kontak karışımının ve PVC membran kokteyllerinin hazırlanmasını ve katı kontak yüzeyine membran kokteyllinin kaplanması aşamalarını içermektedir (Yolcu, 2008).

Katı kontak karışımının hazırlanması; ağırlıkça % 50 grafit, % 35 epoksi reçinesi (Ultrapur SU 2227) ve % 15 Sertleştirici (Desmadur RFE) içeren karışım THF çözücüsü içerisinde 4-5 dakika karıştırıldı ve uygun viskozite sağlandığında bir bakır tel (yaklaşık 0,4-0,5 mm çap ve 5-10 cm uzunlukta) bu karışıma 5-6 kez daldırılarak üzeri kaplandı ve 25-30 °C'de bir gece kurumaya bırakıldı. Şekil 3.1'de sensörlerin hazırlanış safhalarındaki görüntüleri verilmiştir. Şekilde (a): Uç kısmı kaplanmaya hazırlanmış bakır kablo, (b): Bakır yüzeyin tamamen grafit-epoksi kokteyliyle kaplandığı katı-kontak, (c): Katı kontak yüzeyinin PVC-membran kokteyli ile kaplandığı sensörün son hali görülmektedir.

PVC membran kokteyllerinin hazırlanması; Ağırlıkça % 4 aktif madde (iyonofor), % 69 plastikleştirici (NPOE veya DOS), % 27 PVC içeren karışımın THF çözücüsünde çözülmesiyle membran kokteyli hazırlandı.



Şekil 3.1. Geliştirilen sensörlerin hazırlanış safhalarındaki görüntüleri (Yolcu, 2008)

3.2.3. Çalışma Yöntemi

Hazırlanan tamamıyla katı-hal kontakt elektrot membranların farklı kompozisyonları, duyarlılık ve seçicilik özellikleri dikkate alınarak hem durgun hem de hareketli ortamlarda test edildi. Bütün elektrotlar, kullanılmadan önce ana iyon çözeltilerinde 3-24 saat şartlandırıldı (doyuruldu). Elektrotlar kullanıldıkları süre içerisinde kuru olarak veya deiyonize su içinde saklandı. Tekrar kullanıldıklarında, kullanmadan önce, yukarıdaki şartlandırma işlemi aynen tekrarlandı. Durgun ortamlarda alınan ölçümlerde elektrotlardaki potansiyel değişimleri, indikatör ve referans elektrotların bir hücrede, sabit bir hızda karıştırılan 14 mL'lik çözeltiliye aynı derinlikte daldırılmasıyla yapıldı. Her ölçümden önce sensörler ve referans elektrot deiyonize su ile yıkandı. Ölçümler çoğunlukla anyon ve katyonların 10^{-1} - 10^{-7} M çözeltileri kullanılarak yapıldı. Çalışmada kullanılan potansiyometri ölçüm hücresinin şeması aşağıdaki gibidir.

İletken tel | Katı-kontak | iyon-seçici membran | Test çözeltisi || Dış referans elektrot

Gerçek numune analizleri için Ordu Turnasuyu Çayı üzerinde belirlenen 10 istasyondan (Şekil 3.2 ve Tablo 3.1) 1 yıl boyunca (Mart 2019-Şubat 2020) aylık periyotlarla su numuneleri toplanmıştır. 0,45 mikronluk filtrelerden süzme işlemi yapıldıktan sonra potansiyometrik ve iyon kromatografik analizler gerçekleştirilmiştir. Potansiyometrik analizler için standart ekleme metodu uygulanmıştır.



Şekil 3.2. Turnasuyu Çayı su numunelerinin toplandığı istasyonlar (1: Turnasuyu-deniz birleşim, 2: Karapınar OSB, 3: Kayabaşı, 4: Eyüplü, 5: Eyüplü, 6: Sağırılı, 7: Kovancı, 8: Kuyulu, 9: Gümüşköy, 10: Akgüney)

Tablo 3.1. Turnasuyu Çayı'nda belirlenen istasyonların enlem ve boylamları

İstasyon	Enlem	Boylam
1	40°58.751'N	037°59.902'E
2	40°58.121'N	037°59.852'E
3	40°57.208'N	038°00.113'E
4	40°56.950'N	038°00.109'E
5	40°56.676'N	037°59.596'E
6	40°56.521'N	037°59.116'E
7	40°56.156'N	037°58.716'E
8	40°54.603'N	037°59.049'E
9	40°54.480'N	037°59.088'E
10	40°54.404'N	037°59.601'E

İyon kromatografik analizler için optimum çalışma şartları Tablo 3.2.'de özetlenmiştir.

Tablo 3.2. İyon kromatografik analizler için uygulanan parametreler

Tür	Analitik koruyucu kolonlar	Dedektör	Baskılayıcı kolon, akım (mA)	Hareketli Faz	Akış Hızı (mL/dak)	Enjeksiyon hacmi (µL)	Sıcaklık (°C)
Kasyon	Dionex IonPac CS 12 A (3x150 mm)	Thermo (P/N 061830 Model)	Dionex CERS 500 (2 mm), 30 mA	20 mM metan sülfonik asit	0,5	20	30
Anyon	Dionex IonPac AS 9 HC (4x250 mm)	Thermo (P/N 061830 Model)	Dionex AERS 500 (4 mm), 65 mA	10 mM sodyum karbonat	1	20	30

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Sensörlerin Davranışları

Bölüm 3.2.2.'de anlatılan yöntemle tümüyle katı-hal PVC membran katyon (K^+ , Na^+) ve anyon (Cl^- , NO_3^-) duyarlı mikro sensörler hazırlandı. Hazırlanan sensörler için membran bileşimleri Tablo 4.1.'de görülmektedir.

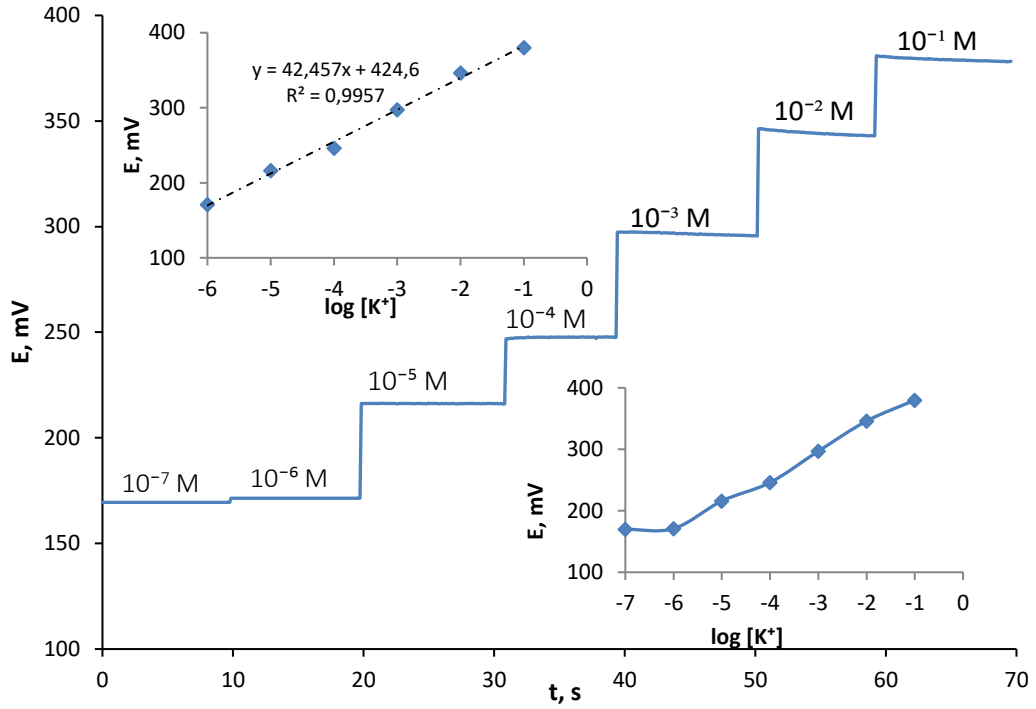
Tablo 4.1. İyon duyarlı sensörler için membran bileşimleri

Sensör	Membran Bileşimi (ağırlıkça %)				
	PVC	o-NPOE	DOS	DB18C6	TDABr
Katyon-Duyarlı (K^+ ve Na^+)	27	69	-	4	-
Anyon-Duyarlı (Cl^- ve NO_3^-)	27	-	69	-	4

DB18C6 ve TDABr iyonoforları ile hazırlanan iyon-duyarlı sensörlerin kullanılmasıyla elde edilen potansiyometrik veriler aşağıda sırasıyla özetlenmiştir. 1×10^{-7} - 1×10^{-1} M derişim aralığındaki standart K^+ , Na^+ , Cl^- ve NO_3^- (KCl, NaCl, KNO_3 ve $NaNO_3$) çözeltilerine daldırılan iyon-duyarlı sensörlerin potansiyometrik davranışları ve bu davranışlara ait kalibrasyon ve doğrusal davranış grafikleri sırasıyla Şekil 4.1.-4.8. ve Tablo 4.2.-4.9.'da verilmiştir.

4.1.1. Katyon-Duyarlı Sensör

Şekil 4.1.'de 1×10^{-7} - 1×10^{-1} M derişim aralığındaki standart KCl çözeltisine daldırılan katyon-duyarlı sensörün K^+ iyonuna karşı potansiyometrik davranışı ve bu davranışa ait kalibrasyon ve doğrusal davranış grafikleri (doğru denklemi ile birlikte) görülmektedir.



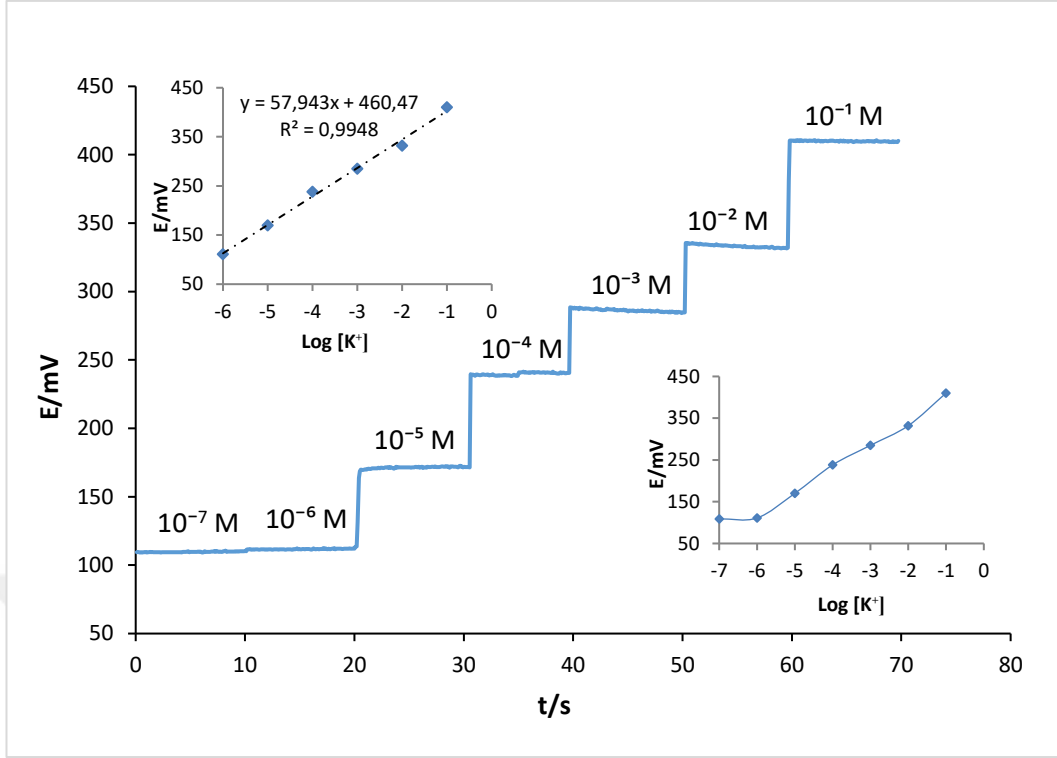
Şekil 4.1. Katyon-duyarlı sensörün standart KCl çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri

Şekil 4.1. incelendiğinde katyon-duyarlı sensörün yaklaşık 1×10^{-6} - 1×10^{-1} M derişim aralığında doğrusal davrandığı ($R^2=0,9957$) ve bu aralık için eğim değerinin 42,4 mV olduğu görülmektedir. Sensörün tayin limiti $1,01 \times 10^{-6}$ M, cevap zamanı 5-9 s ve kullanım ömrü 8-10 hafta olarak belirlenmiştir (Tablo 4.2.)

Tablo 4.2. Katyon-duyarlı sensörün KCl çözeltileri için potansiyometrik performans karakteristikleri

Çözelti	Doğrusal aralık (mol/L)	Eğim (mV)	Cevap zamanı (s)	Tayin limiti (mol/L)	Kullanım ömrü (hafta)
KCl	10^{-1} - 10^{-6}	42,4	5-9	$1,01 \times 10^{-6}$	8-10

Şekil 4.2.'de 1×10^{-7} - 1×10^{-1} M derişim aralığındaki standart KNO_3 çözeltisine daldırılan katyon-duyarlı sensörün potansiyometrik davranışı ve bu davranışa ait kalibrasyon ve doğrusal davranış grafikleri (doğru denklemi ile birlikte) görülmektedir.



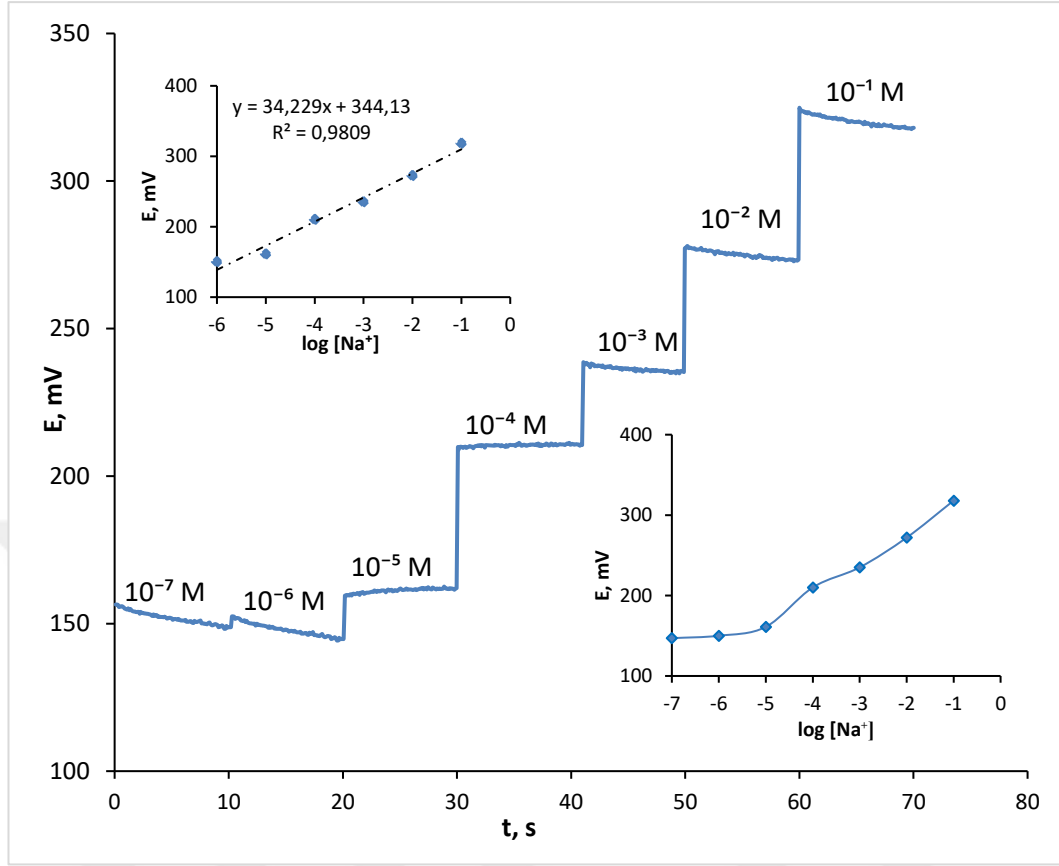
Şekil 4.2. Katyon-duyarlı sensörün standart KNO_3 çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri

Şekil 4.2. İncelendiğinde katyon-duyarlı sensörün yaklaşık 1×10^{-6} - 1×10^{-1} M derişim aralığında doğrusal davrandığı ($R^2=0,9948$) ve bu aralık için eğim değerinin 57,9 mV olduğu görülmektedir. Sensörün tayin limiti $8,59 \times 10^{-7}$ M, cevap zamanı 5-9 s ve kullanım ömrü 8-10 hafta olarak belirlenmiştir (Tablo 4.3.)

Tablo 4.3. Katyon-duyarlı sensörün KNO_3 çözeltileri için potansiyometrik performans karakteristikleri

Çözelti	Doğrusal aralık (mol/L)	Eğim (mV)	Cevap zamanı (s)	Tayin Limiti (mol/L)	Kullanım ömrü (hafta)
KNO_3	10^{-1} - 10^{-6}	57,9	5-9	$8,59 \times 10^{-7}$	8-10

Şekil 4.3.'de 1×10^{-7} - 1×10^{-1} M derişim aralığındaki standart NaCl çözeltisine daldırılan katyon-duyarlı sensörün potansiyometrik davranışı ve bu davranışa ait kalibrasyon ve doğrusal davranış grafikleri (doğru denklemi ile birlikte) görülmektedir.



Şekil 4.3. Katyon-duyarlı sensörün standart NaCl çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri

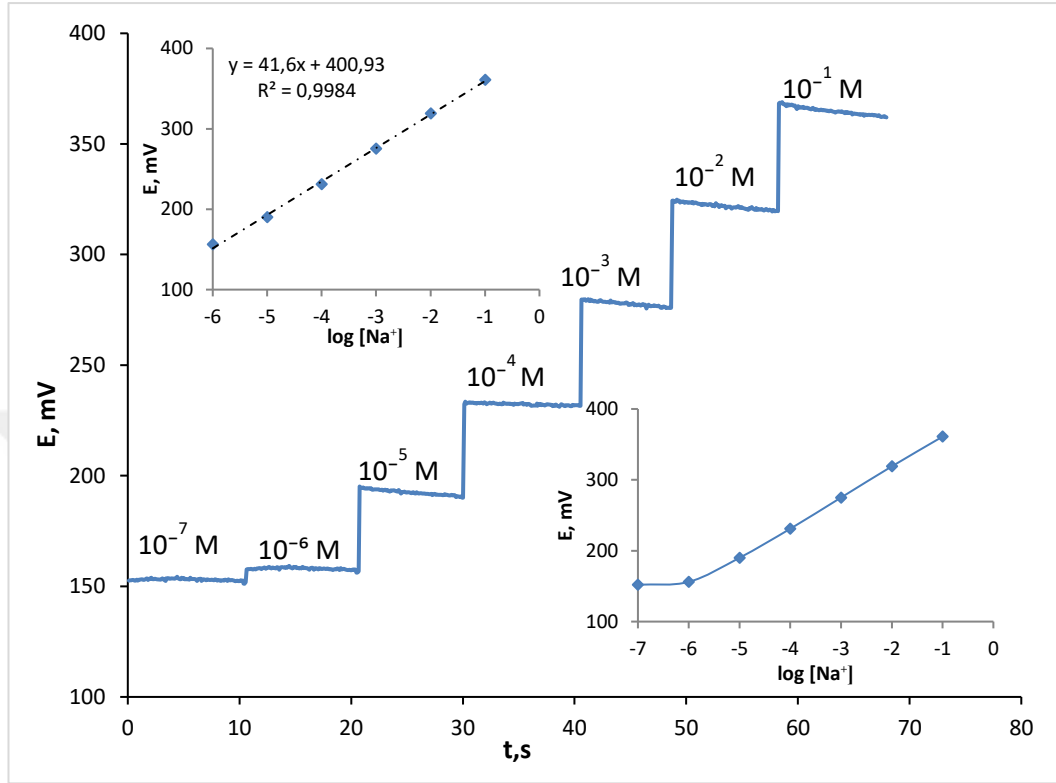
Şekil 4.3. incelendiğinde katyon-duyarlı sensörün yaklaşık 1×10^{-6} - 1×10^{-1} M derişim aralığında doğrusal davrandığı ($R^2=0,9809$) ve bu aralık için eğim değerinin 34,2 mV olduğu görülmektedir. Sensörün tayin limiti $1,74 \times 10^{-6}$ M, cevap zamanı 5-9 s ve kullanım ömrü 8-10 hafta olarak belirlenmiştir (Tablo 4.4.)

Tablo 4.4. Katyon-duyarlı sensörün NaCl çözeltileri için potansiyometrik performans karakteristikleri

Çözelti	Doğrusal aralık (mol/L)	Eğim (mV)	Cevap zamanı (s)	Tayin Limiti (mol/L)	Kullanım ömrü (hafta)
NaCl	10^{-1} - 10^{-6}	34,2	5-9	$1,74 \times 10^{-6}$	8-10

Şekil 4.4.'de 1×10^{-7} - 1×10^{-1} M derişim aralığındaki standart NaNO_3 çözeltisine daldırılan **katyon-duyarlı** sensörün potansiyometrik davranışı ve bu davranışa ait

kalibrasyon ve doğrusal davranış grafikleri (doğru denklemi ile birlikte) görülmektedir.



Şekil 4.4. Katyon-duyarlı sensörün standart NaNO_3 çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri

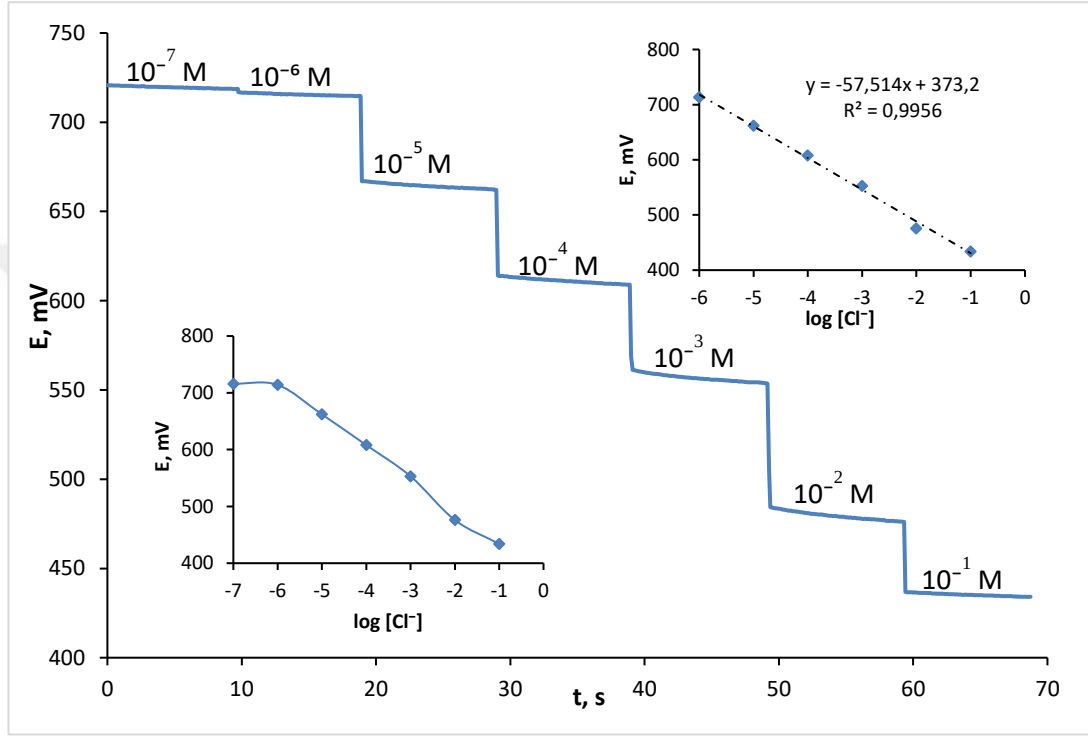
Şekil 4.4. incelendiğinde katyon duyarlı sensörün yaklaşık 1×10^{-6} - 1×10^{-1} M derişim aralığında doğrusal davrandığı ($R^2=0,9984$) ve bu aralık için eğim değerinin 41,6 mV olduğu görülmektedir. Sensörün tayin limiti $1,03 \times 10^{-6}$ M, cevap zamanı 5-9 s ve kullanım ömrü 8-10 hafta olarak belirlenmiştir (Tablo 4.5.)

Tablo 4.5. Katyon-duyarlı sensörün NaNO_3 için bazı potansiyometrik performans karakteristikleri

Çözelti	Doğrusal aralık (mol/L)	Eğim (mV)	Cevap zamanı (s)	Tayin Limiti (mol/L)	Kullanım ömrü (hafta)
NaNO_3	10^{-1} - 10^{-6}	41,6	5-9	$1,03 \times 10^{-6}$	8-10

4.1.2. Anyon-Duyarlı Sensör

Şekil 4.5.'de 1×10^{-7} - 1×10^{-1} M derişim aralığındaki standart KCl çözeltilisine daldırılan **anyon-duyarlı** sensörün potansiyometrik davranışı ve bu davranışa ait kalibrasyon ve doğrusal davranış grafikleri (doğru denklemi ile birlikte) görölmektedir.



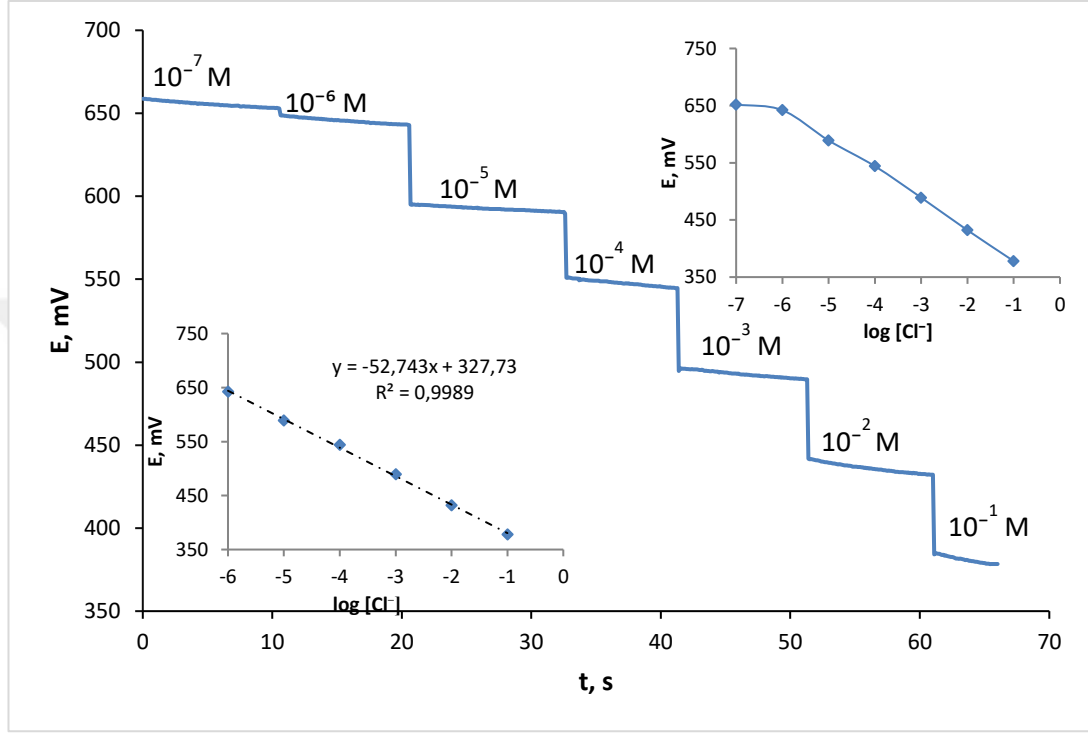
Şekil 4.5. Anyon-duyarlı sensörün standart KCl çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri

Şekil 4.5. incelendiğinde anyon-duyarlı sensörün yaklaşık 1×10^{-6} - 1×10^{-1} M derişim aralığında doğrusal davrandığı ($R^2=0,9956$) ve bu aralık için eğim değerinin 57,5 mV olduğu görölmektedir. Sensörün tayin limiti $1,09 \times 10^{-6}$ M, cevap zamanı 5-9 s ve kullanım ömrü 8-10 hafta olarak belirlenmiştir (Tablo 4.6.)

Tablo 4.6. Anyon-duyarlı sensörün KCl çözeltileri için potansiyometrik performans karakteristikleri

Çözelti	Doğrusal aralık (mol/L)	Eğim (mV)	Cevap zamanı (s)	Tayin Limiti (mol/L)	Kullanım ömrü (hafta)
KCl	10^{-1} - 10^{-6}	57,5	5-9	$1,09 \times 10^{-6}$	8-10

Şekil 4.6.'da 1×10^{-7} - 1×10^{-1} M derişim aralığındaki standart NaCl çözeltilisine daldırılan **anyon-duyarlı** sensörün potansiyometrik davranışı ve bu davranışa ait kalibrasyon ve doğrusal davranış grafikleri (doğru denklemi ile birlikte) görölmektedir.



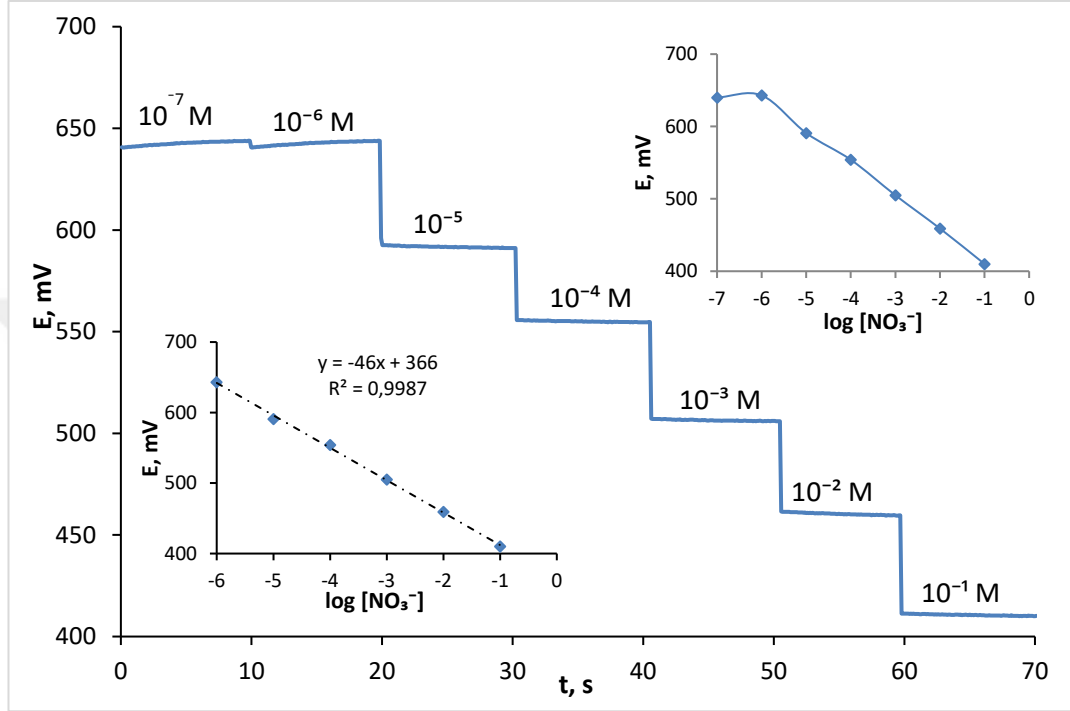
Şekil 4.6. Anyon-duyarlı sensörün standart NaCl çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri

Şekil 4.6. İncelendiğinde anyon-duyarlı sensörün yaklaşık 1×10^{-6} - 1×10^{-1} M derişim aralığında doğrusal davrandığı ($R^2=0,9989$) ve bu aralık için eğim değerinin 52,7 mV olduğu görölmektedir. Sensörün tayin limiti $7,11 \times 10^{-7}$ M, cevap zamanı 5-9 s ve kullanım ömrü 8-10 hafta olarak belirlenmiştir (Tablo 4.7.)

Tablo 4.7. Anyon-duyarlı sensörün NaCl çözeltileri için potansiyometrik performans karakteristikleri

Çözelti	Doğrusal aralık (mol/L)	Eğim(mV)	Cevap zamanı (s)	Tayin Limiti (mol/L)	Kullanım ömrü (hafta)
NaCl	10^{-1} - 10^{-6}	52,7	5-9	$7,11 \times 10^{-7}$	8-10

Şekil 4.7.'de 1×10^{-7} - 1×10^{-1} M derişim aralığındaki standart KNO_3 çözeltilisine daldırılan anyon-duyarlı sensörün potansiyometrik davranışı ve bu davranışa ait kalibrasyon ve doğrusal davranış grafikleri (doğru denklemi ile birlikte) görölmektedir.



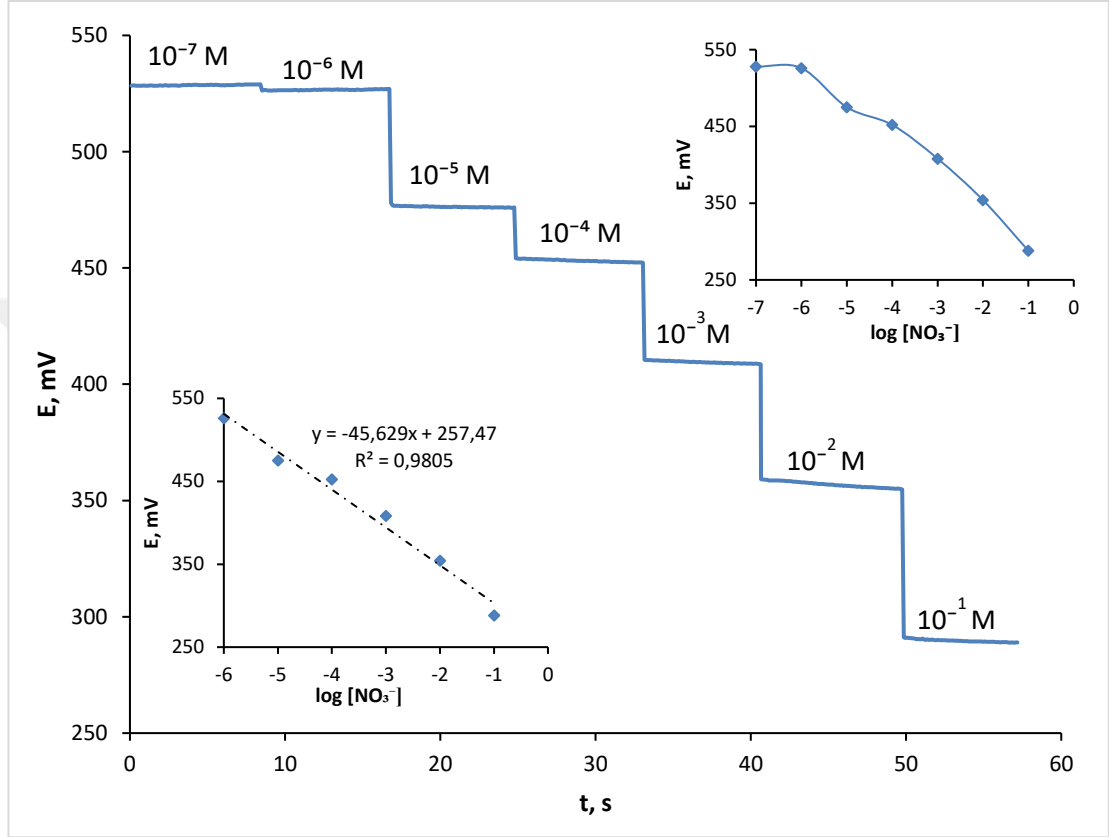
Şekil 4.7. Anyon-duyarlı sensörün standart KNO_3 çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri

Şekil 4.7. incelendiğinde anyon-duyarlı sensörün yaklaşık 1×10^{-6} - 1×10^{-1} M derişim aralığında doğrusal davrandığı ($R^2=0,9987$) ve bu aralık için eğim değerin -46 mV olduğu görölmektedir. Sensörün tayin limiti $1,10 \times 10^{-6}$ M, cevap zamanı 5-9 s ve kullanım ömrü 8-10 hafta olarak belirlenmiştir (Tablo 4.8.)

Tablo 4.8. Anyon-duyarlı sensörün KNO_3 çözeltileri için potansiyometrik performans karakteristikleri

Çözelti	Doğrusal aralık (mol/L)	Eğim(mV)	Cevap zamanı (s)	Tayin Limiti (mol/L)	Kullanım ömrü (hafta)
KNO_3	10^{-1} - 10^{-6}	46,0	5-9	$1,10 \times 10^{-6}$	8-10

Şekil 4.8.'de 1×10^{-7} - 1×10^{-1} M derişim aralığındaki standart NaNO_3 çözeltisine daldırılan anyon-duyarlı sensörün potansiyometrik davranışı ve bu davranışa ait kalibrasyon ve doğrusal davranış grafikleri (doğru denklemi ile birlikte) görülmektedir.



Şekil 4.8. Anyon-duyarlı sensörün standart NaNO_3 çözeltileri için potansiyometrik davranış grafikleri

Şekil 4.8. İncelendiğinde anyon-duyarlı sensörün yaklaşık 1×10^{-6} - 1×10^{-1} M derişim aralığında doğrusal davrandığı ($R^2=0,9805$) ve bu aralık için eğim değerinin -45,6 mV olduğu görülmektedir. Sensörün tayin limiti $1,2 \times 10^{-6}$ M, cevap zamanı 5-9 s ve kullanım ömrü 8-10 hafta olarak belirlenmiştir (Tablo 4.5.)

Tablo 4.9. Anyon-duyarlı sensörün NaNO_3 çözeltisi için potansiyometrik performans karakteristikleri

Çözelti	Doğrusal aralık (mol/L)	Eğim(mV)	Cevap zamanı (s)	Tayin Limiti (mol/L)	Kullanım ömrü (hafta)
NaNO_3	10^{-1} - 10^{-6}	45,6	5-9	$1,2 \times 10^{-6}$	8-10

4.2. Gerçek Numune Analizi

Ordu İli Turnasuyu Çayı su numunelerinin analizleri Bölüm 3.2.3.'de anlatılan yöntemlerle gerçekleştirilmiş ve Ordu Turnasuyu Çayı su numunelerinin K^+ , Na^+ , Cl^- ve NO_3^- içerikleri tayin edilmiştir. Elde edilen potansiyometrik sonuçlar Tablo 4.10-4.33'te ve iyon kromatografik sonuçlar ise Şekil 4.9-4.36. ve Tablo 4.34-4.35.'te verilmiştir.

4.2.1. Potansiyometrik Analiz Sonuçları

Tablo 4.10. Turnasuyu Çayı Mart ayı su numuneleri için Dibenzo18crown6 (DB18C6) kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	MART ayı Potansiyometrik Metot			
		DB18C6			
		Na^+		K^+	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	$3,87 \times 10^{-4}$	$8,89 \pm 2,50$	$1,16 \times 10^{-4}$	$4,53 \pm 0,95$
2	Turnasuyu	$1,70 \times 10^{-3}$	$38,98 \pm 8,74$	$2,90 \times 10^{-5}$	$1,13 \pm 0,53$
3	Turnasuyu	$6,96 \times 10^{-4}$	$15,99 \pm 1,36$	$2,25 \times 10^{-5}$	$0,88 \pm 0,20$
4	Turnasuyu	$6,12 \times 10^{-4}$	$14,07 \pm 4,93$	$1,88 \times 10^{-5}$	$0,73 \pm 0,14$
5	Turnasuyu	$7,01 \times 10^{-4}$	$16,11 \pm 2,50$	$1,65 \times 10^{-5}$	$0,65 \pm 0,09$
6	Turnasuyu	$1,12 \times 10^{-3}$	$25,81 \pm 3,37$	$8,57 \times 10^{-6}$	$0,34 \pm 0,03$
7	Turnasuyu	$4,55 \times 10^{-4}$	$10,47 \pm 2,20$	$1,47 \times 10^{-5}$	$0,58 \pm 0,16$
8	Turnasuyu	$8,99 \times 10^{-4}$	$20,68 \pm 3,00$	$1,04 \times 10^{-5}$	$0,41 \pm 0,03$
9	Turnasuyu	$8,93 \times 10^{-4}$	$20,54 \pm 1,63$	$1,21 \times 10^{-5}$	$0,47 \pm 0,04$
10	Turnasuyu	$1,22 \times 10^{-4}$	$2,80 \pm 0,42$	$2,43 \times 10^{-5}$	$0,95 \pm 0,12$

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama $\pm$ standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.11. Turnasuyu Çayı Mart ayı su numuneleri için Tetradodesil amonyum bromür (TDABr) iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	MART ayı Potansiyometrik Metot			
		TDABr			
		Cl ⁻		NO ₃ ⁻	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	5,54x10 ⁻³	196,74±28,21	7,06x10 ⁻⁵	4,38±0,20
2	Turnasuyu	3,19x10 ⁻³	113,07±13,89	5,29x10 ⁻⁵	3,28±0,23
3	Turnasuyu	2,53x10 ⁻³	89,97±5,83	5,36x10 ⁻⁵	3,33±0,15
4	Turnasuyu	2,75x10 ⁻³	97,50±13,73	6,74x10 ⁻⁵	4,18±0,19
5	Turnasuyu	2,68x10 ⁻³	94,97±3,00	6,19x10 ⁻⁵	3,84±0,53
6	Turnasuyu	2,99x10 ⁻³	106,23±3,43	4,93x10 ⁻⁵	3,06±0,50
7	Turnasuyu	6,16x10 ⁻³	218,51±16,72	6,47x10 ⁻⁵	4,01±0,47
8	Turnasuyu	1,73x10 ⁻²	615,51±37,94	4,75x10 ⁻⁵	2,94±0,15
9	Turnasuyu	6,44x10 ⁻³	228,66±15,88	5,66x10 ⁻⁵	3,51±0,58
10	Turnasuyu	2,88x10 ⁻³	102,39±5,76	4,59x10 ⁻⁵	2,85±0,56

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.12. Turnasuyu Çayı Nisan ayı su numuneleri için Dibenzo18crown6 (DB18C6) kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	NİSAN ayı Potansiyometrik Metot			
		DB18C6			
			Na ⁺		K ⁺
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	9,94x10 ⁻⁴	22,85±1,12	4,9x10 ⁻⁵	1,91±0,26
2	Turnasuyu	4,84x10 ⁻⁴	11,13±2,22	4,7x10 ⁻⁵	1,84±0,13
3	Turnasuyu	3,32x10 ⁻⁴	7,64±0,44	2,02x10 ⁻⁵	0,79±0,04
4	Turnasuyu	9,94x10 ⁻⁴	22,85±1,12	1,85x10 ⁻⁵	0,72±0,17
5	Turnasuyu	1,17x10 ⁻⁴	2,69±0,54	1,97x10 ⁻⁵	0,77±0,05
6	Turnasuyu	4,94x10 ⁻⁴	11,35±4,77	6,08x10 ⁻⁶	0,24±0,10
7	Turnasuyu	8,78x10 ⁻⁴	20,18±5,28	4,12x10 ⁻⁶	0,16±0,04
8	Turnasuyu	9,22x10 ⁻⁴	21,19±2,67	1,34x10 ⁻⁵	0,52±0,04
9	Turnasuyu	1,49x10 ⁻³	34,27±4,28	6,65x10 ⁻⁵	2,59±0,86
10	Turnasuyu	5,98x10 ⁻⁴	13,74±2,38	9,72x10 ⁻⁵	3,79±0,54

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.13. Turnasuyu Çayı Nisan ayı su numuneleri için Tetradodesil amonyum bromür (TDABr) iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	NİSAN ayı Potansiyometrik Metot TDABr			
		Cl ⁻		NO ₃ ⁻	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	5,58x10 ⁻⁵	1,98±0,32	5,6x10 ⁻⁵	3,46±0,55
2	Turnasuyu	5,16x10 ⁻⁵	1,83±0,11	5,2x10 ⁻⁵	3,20±0,19
3	Turnasuyu	3,92x10 ⁻⁵	1,39±0,07	3,9x10 ⁻⁵	2,43±0,12
4	Turnasuyu	4,65x10 ⁻⁵	1,65±0,10	4,7x10 ⁻⁵	2,88±0,17
5	Turnasuyu	4,66x10 ⁻⁵	1,65±0,40	4,7x10 ⁻⁵	2,89±0,71
6	Turnasuyu	3,25x10 ⁻⁵	1,15±0,09	3,3x10 ⁻⁵	2,02±0,16
7	Turnasuyu	4,14x10 ⁻⁵	1,47±0,15	4,1x10 ⁻⁵	2,56±0,26
8	Turnasuyu	5,36x10 ⁻⁵	1,90±0,45	5,4x10 ⁻⁵	3,32±0,78
9	Turnasuyu	3,99x10 ⁻⁵	1,42±0,08	4,0x10 ⁻⁵	2,47±0,14
10	Turnasuyu	4,51x10 ⁻⁵	1,60±0,18	4,0x10 ⁻⁵	2,46±0,73

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.14. Turnasuyu Çayı Mayıs ayı su numuneleri için Dibenzo18crown6 (DB18C6) kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	MAYIS ayı Potansiyometrik Metot			
		DB18C6			
			Na ⁺		K ⁺
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	9,22x10 ⁻⁴	21,19±2,67	7,70x10 ⁻⁴	30,04±4,07
2	Turnasuyu	4,20x10 ⁻⁴	9,66±0,59	2,56x10 ⁻⁴	9,99±0,61
3	Turnasuyu	1,10x10 ⁻³	25,40±5,54	3,20x10 ⁻⁴	12,47±0,80
4	Turnasuyu	3,90x10 ⁻³	89,74±9,66	6,33x10 ⁻⁴	24,69±1,91
5	Turnasuyu	1,18x10 ⁻⁴	2,71±0,40	1,21x10 ⁻⁴	4,73±0,35
6	Turnasuyu	1,34x10 ⁻³	30,82±1,68	5,71x10 ⁻⁴	22,27±3,64
7	Turnasuyu	1,93x10 ⁻³	44,37±5,34	3,58x10 ⁻⁴	13,96±3,06
8	Turnasuyu	9,69x10 ⁻⁴	22,27±1,83	4,30x10 ⁻⁴	16,77±1,59
9	Turnasuyu	6,47x10 ⁻⁴	14,86±0,59	6,81x10 ⁻⁴	26,55±2,94
10	Turnasuyu	1,09x10 ⁻³	24,97±2,40	7,48x10 ⁻⁴	29,17±2,56

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.15. Turnasuyu Çayı Mayıs ayı su numuneleri için Tetradodesil amonyum bromür (TDABr) iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	MAYIS ayı Potansiyometrik Metot TDABr			
		Cl ⁻		NO ₃ ⁻	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	7,00x10 ⁻⁴	24,84±4,09	5,19x10 ⁻⁴	32,19±0,94
2	Turnasuyu	5,32x10 ⁻⁴	18,90±1,30	3,56x10 ⁻⁴	22,05±1,64
3	Turnasuyu	5,57x10 ⁻⁴	19,76±0,78	3,28x10 ⁻⁴	20,34±2,00
4	Turnasuyu	8,85x10 ⁻⁴	31,32±9,12	3,10x10 ⁻⁴	19,24±3,57
5	Turnasuyu	2,35x10 ⁻⁴	8,33±0,70	1,94x10 ⁻⁴	12,05±0,67
6	Turnasuyu	4,38x10 ⁻⁴	15,55±3,86	3,34x10 ⁻⁴	20,72±2,59
7	Turnasuyu	6,79x10 ⁻⁴	24,09±2,82	2,79x10 ⁻⁴	17,28±1,80
8	Turnasuyu	6,30x10 ⁻⁴	22,37±2,54	3,29x10 ⁻⁴	20,40±2,73
9	Turnasuyu	6,59x10 ⁻⁴	23,41±1,73	3,58x10 ⁻⁴	22,21±5,81
10	Turnasuyu	6,79x10 ⁻⁴	24,09±2,82	3,49x10 ⁻⁴	21,62±4,33

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.16. Turnasuyu Çayı Haziran ayı su numuneleri için Dibenzo18crown6 (DB18C6) kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	HAZİRAN ayı Potansiyometrik Metot			
		DB18C6			
		Na ⁺		K ⁺	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	7,84x10 ⁻⁴	18,02±0,79	1,85x10 ⁻³	71,96±4,71
2	Turnasuyu	5,10x10 ⁻⁴	11,71±1,50	5,78x10 ⁻⁴	22,53±1,51
3	Turnasuyu	3,14x10 ⁻⁴	7,21±0,41	4,40x10 ⁻⁴	17,17±2,27
4	Turnasuyu	8,94x10 ⁻⁵	2,06±0,20	5,80x10 ⁻⁴	22,63±2,74
5	Turnasuyu	1,11x10 ⁻³	25,62±1,27	4,05x10 ⁻⁴	15,87±1,47
6	Turnasuyu	3,65x10 ⁻⁴	8,40±0,28	5,21x10 ⁻⁴	20,31±2,62
7	Turnasuyu	2,08x10 ⁻³	47,92±3,38	3,84x10 ⁻⁴	14,98±2,39
8	Turnasuyu	9,69x10 ⁻⁴	22,27±1,83	4,01x10 ⁻⁴	15,62±2,80
9	Turnasuyu	8,98x10 ⁻⁴	20,66±2,68	4,30x10 ⁻⁴	16,77±1,59
10	Turnasuyu	1,48x10 ⁻³	34,07±1,96	2,11x10 ⁻⁴	8,21±0,25

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.17. Turnasuyu ayı Haziran ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	HAZİRAN ayı Potansiyometrik Metot			
		TDABr			
		Cl ⁻		NO ₃ ⁻	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	9,54x10 ⁻⁴	33,88±1,69	5,29x10 ⁻⁶	0,33±0,02
2	Turnasuyu	1,26x10 ⁻⁴	4,47±1,12	2,44x10 ⁻⁶	0,15±0,02
3	Turnasuyu	1,32x10 ⁻⁴	4,67±0,98	2,32x10 ⁻⁶	0,14±0,01
4	Turnasuyu	1,72x10 ⁻⁴	6,10±0,88	2,40x10 ⁻⁶	0,15±0,04
5	Turnasuyu	2,43x10 ⁻⁴	8,63±1,61	2,36x10 ⁻⁶	0,15±0,01
6	Turnasuyu	1,49x10 ⁻⁴	5,28±0,31	2,66x10 ⁻⁶	0,17±0,01
7	Turnasuyu	1,80x10 ⁻⁴	6,39±0,34	2,76x10 ⁻⁶	0,17±0,02
8	Turnasuyu	1,20x10 ⁻⁴	4,24±0,43	2,49x10 ⁻⁶	0,15±0,02
9	Turnasuyu	2,08x10 ⁻⁴	7,40±0,85	2,53x10 ⁻⁶	0,16±0,03
10	Turnasuyu	2,27x10 ⁻⁴	8,07±0,50	2,48x10 ⁻⁶	0,15±0,02

*: mg/L değerleri N=3 lüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.18. Turnasuyu Çayı Temmuz ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	TEMMUZ ayı Potansiyometrik Metot DB18C6			
		Na ⁺		K ⁺	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	1,43x10 ⁻³	32,93±1,96	6,59x10 ⁻⁴	25,72±1,91
2	Turnasuyu	1,65x10 ⁻³	37,88±2,32	2,25x10 ⁻⁵	0,88±0,04
3	Turnasuyu	7,50x10 ⁻⁴	17,24±1,89	1,95x10 ⁻⁵	0,76±0,04
4	Turnasuyu	2,08x10 ⁻³	47,92±3,38	3,72x10 ⁻⁵	1,45±0,25
5	Turnasuyu	6,63x10 ⁻⁴	15,24±1,07	2,14x10 ⁻⁵	0,83±0,16
6	Turnasuyu	1,12x10 ⁻³	25,81±3,37	5,72x10 ⁻⁵	2,23±0,26
7	Turnasuyu	7,35x10 ⁻⁴	16,90±2,45	1,86x10 ⁻⁵	0,72±0,14
8	Turnasuyu	1,19x10 ⁻³	27,43±3,94	7,44x10 ⁻⁵	2,90±0,33
9	Turnasuyu	1,22x10 ⁻³	28,04±1,46	3,20x10 ⁻⁵	1,25±0,09
10	Turnasuyu	8,26x10 ⁻⁴	18,99±1,46	6,41x10 ⁻⁵	2,50±0,26

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.19. Turnasuyu ayı Temmuz ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı
Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	TEMMUZ ayı Potansiyometrik Metot			
		TDABr			
		Cl ⁻		NO ₃ ⁻	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	8,68x10 ⁻³	308,31±39,16	9,73x10 ⁻⁵	6,03±0,28
2	Turnasuyu	1,97x10 ⁻³	69,78±13,76	5,30x10 ⁻⁵	3,29±0,37
3	Turnasuyu	2,01x10 ⁻³	71,22±4,27	2,84x10 ⁻⁵	1,76±0,21
4	Turnasuyu	3,30x10 ⁻³	117,18±10,51	7,62x10 ⁻⁵	4,72±0,25
5	Turnasuyu	2,20x10 ⁻³	78,07±8,37	3,99x10 ⁻⁵	2,47±0,41
6	Turnasuyu	1,80x10 ⁻³	64,04±1,95	4,02x10 ⁻⁵	2,49±0,17
7	Turnasuyu	1,91x10 ⁻³	67,63±5,51	5,33x10 ⁻⁵	3,31±0,60
8	Turnasuyu	2,11x10 ⁻³	75,03±2,34	4,90x10 ⁻⁵	3,04±0,14
9	Turnasuyu	3,17x10 ⁻³	112,46±3,68	6,24x10 ⁻⁵	3,87±0,10
10	Turnasuyu	1,93x10 ⁻³	68,68±2,07	4,49x10 ⁻⁵	2,79±0,38

*: mg/L değerleri N=3 lüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.20. Turnasuyu Çayı Ağustos ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	AĞUSTOS ayı Potansiyometrik Metot DB18C6			
		Na ⁺		K ⁺	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	7,41x10 ⁻⁴	17,04±1,54	1,52x10 ⁻⁴	5,93±0,70
2	Turnasuyu	1,55x10 ⁻³	35,56±4,14	3,90x10 ⁻⁵	1,52±0,17
3	Turnasuyu	5,49x10 ⁻⁴	12,61±1,82	2,90x10 ⁻⁵	1,13±0,20
4	Turnasuyu	5,89x10 ⁻⁴	13,54±3,79	5,10x10 ⁻⁵	1,99±0,20
5	Turnasuyu	3,00x10 ⁻³	68,95±6,80	2,87x10 ⁻⁵	1,12±0,03
6	Turnasuyu	6,86x10 ⁻⁴	15,77±1,95	2,25x10 ⁻⁵	0,88±0,11
7	Turnasuyu	7,05x10 ⁻⁴	16,20±1,54	1,26x10 ⁻⁵	0,49±0,07
8	Turnasuyu	1,99x10 ⁻³	45,80±6,23	2,61x10 ⁻⁵	1,02±0,11
9	Turnasuyu	4,62x10 ⁻⁴	10,61±0,73	2,32x10 ⁻⁵	0,90±0,09
10	Turnasuyu	2,56x10 ⁻⁴	5,88±0,87	3,14x10 ⁻⁶	1,57±0,12

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.21. Turnasuyu Çayı Ağustos ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	AĞUSTOS ayı Potansiyometrik Metot			
		TDABr			
		Cl ⁻		NO ₃ ⁻	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	2,32x10 ⁻³	82,47±4,58	1,04x10 ⁻⁵	6,45±0,61
2	Turnasuyu	2,65x10 ⁻³	93,95±3,12	4,00x10 ⁻⁵	2,48±0,14
3	Turnasuyu	1,65x10 ⁻³	58,52±3,65	3,77x10 ⁻⁵	2,34±0,28
4	Turnasuyu	1,97x10 ⁻³	70,10±6,37	3,26x10 ⁻⁵	2,02±0,15
5	Turnasuyu	2,36x10 ⁻³	83,95±2,73	3,27x10 ⁻⁵	2,03±0,19
6	Turnasuyu	2,16x10 ⁻³	76,55±2,40	3,20x10 ⁻⁵	1,98±0,37
7	Turnasuyu	2,08x10 ⁻³	73,86±4,04	4,02x10 ⁻⁵	2,49±0,36
8	Turnasuyu	1,46x10 ⁻³	51,70±1,58	1,09x10 ⁻⁴	6,76±0,56
9	Turnasuyu	4,93x10 ⁻⁴	17,50±1,58	1,12x10 ⁻⁴	6,97±0,50
10	Turnasuyu	1,39x10 ⁻³	49,18±3,96	1,69x10 ⁻⁴	10,48±0,56

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.22. Turnasuyu Çayı Eylül ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	EYLÜL ayı Potansiyometrik Metot DB18C6			
		Na ⁺		K ⁺	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	1,03x10 ⁻³	23,67±2,20	1,67x10 ⁻⁴	6,50±0,64
2	Turnasuyu	3,30x10 ⁻⁴	7,60±0,71	4,12x10 ⁻⁵	1,61±0,33
3	Turnasuyu	2,80x10 ⁻⁴	6,43±0,39	3,39x10 ⁻⁵	1,31±0,13
4	Turnasuyu	2,63x10 ⁻⁴	6,06±0,36	2,87x10 ⁻⁵	1,12±0,11
5	Turnasuyu	2,58x10 ⁻⁴	5,93±0,20	2,64x10 ⁻⁵	1,03±0,06
6	Turnasuyu	4,58x10 ⁻⁴	10,52±0,85	3,21x10 ⁻⁵	1,25±0,04
7	Turnasuyu	1,90x10 ⁻⁴	4,36±0,28	1,93x10 ⁻⁵	0,75±0,04
8	Turnasuyu	2,59x10 ⁻⁴	5,95±0,53	2,00x10 ⁻⁵	0,78±0,08
9	Turnasuyu	4,28x10 ⁻⁴	9,85±0,99	3,94x10 ⁻⁵	1,54±0,20
10	Turnasuyu	3,91x10 ⁻⁴	9,00±0,66	4,65x10 ⁻⁵	1,81±0,14

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.23. Turnasuyu ayı Eylöl ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik
Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	EYLÖL ayı Potansiyometrik Metot			
		TDABr			
		Cl ⁻		NO ₃ ⁻	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	9,98x10 ⁻⁴	35,44±1,47	3,23x10 ⁻⁴	20,04±1,34
2	Turnasuyu	1,12x10 ⁻³	39,65±2,51	2,95x10 ⁻⁴	18,29±1,52
3	Turnasuyu	7,42x10 ⁻⁴	26,33±3,20	2,27x10 ⁻⁴	14,06±0,55
4	Turnasuyu	1,79x10 ⁻³	63,49±1,60	2,30x10 ⁻⁴	14,25±0,86
5	Turnasuyu	1,16x10 ⁻³	41,35±2,63	2,30x10 ⁻⁴	14,28±1,42
6	Turnasuyu	9,44x10 ⁻⁴	33,52±0,80	2,76x10 ⁻⁴	17,10±0,67
7	Turnasuyu	1,52x10 ⁻³	54,13±2,34	3,78x10 ⁻⁴	23,45±0,93
8	Turnasuyu	1,00x10 ⁻³	35,51±2,95	2,40x10 ⁻⁴	14,85±1,48
9	Turnasuyu	2,31x10 ⁻³	81,86±2,18	2,49x10 ⁻⁴	15,43±1,24
10	Turnasuyu	2,45x10 ⁻³	87,03±2,30	3,49x10 ⁻⁴	21,66±0,86

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.24. Turnasuyu Çayı Ekim ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	EKİM ayı Potansiyometrik Metot DB18C6			
		Na ⁺		K ⁺	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	4,91x10 ⁻⁴	11,28±1,13	3,95x10 ⁻⁵	1,54±0,21
2	Turnasuyu	4,68x10 ⁻⁴	10,76±0,71	1,83x10 ⁻⁵	0,71±0,14
3	Turnasuyu	6,99x10 ⁻⁴	16,08±1,81	2,06x10 ⁻⁵	0,80±0,02
4	Turnasuyu	7,36x10 ⁻⁴	16,93±2,04	2,17x10 ⁻⁵	0,84±0,06
5	Turnasuyu	8,88x10 ⁻⁴	20,41±2,52	2,17x10 ⁻⁵	0,85±0,08
6	Turnasuyu	5,36x10 ⁻⁴	12,31±0,84	3,12x10 ⁻⁵	1,22±0,13
7	Turnasuyu	7,73x10 ⁻⁴	17,76±1,39	1,84x10 ⁻⁵	0,72±0,10
8	Turnasuyu	5,95x10 ⁻⁴	13,68±2,50	2,87x10 ⁻⁵	1,12±0,11
9	Turnasuyu	7,55x10 ⁻⁴	17,37±2,01	1,67x10 ⁻⁵	0,65±0,09
10	Turnasuyu	6,53x10 ⁻⁴	15,01±2,39	1,78x10 ⁻⁵	0,69±0,02

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.25. Turnasuyu Çayı Ekim ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	EKİM ayı Potansiyometrik Metot			
		TDABr			
		Cl ⁻		NO ₃ ⁻	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	2,83x10 ⁻³	100,30±7,15	5,21x10 ⁻⁴	32,31±2,59
2	Turnasuyu	3,06x10 ⁻³	108,80±10,59	4,62x10 ⁻⁴	28,64±1,94
3	Turnasuyu	6,51x10 ⁻³	231,13±20,39	4,75x10 ⁻⁴	29,46±2,93
4	Turnasuyu	3,72x10 ⁻³	132,04±7,48	7,11x10 ⁻⁴	44,08±4,46
5	Turnasuyu	4,99x10 ⁻³	177,27±9,60	7,12x10 ⁻⁴	44,16±5,59
6	Turnasuyu	4,12x10 ⁻³	146,33±11,66	19,90x10 ⁻⁴	123,33±11,01
7	Turnasuyu	5,18x10 ⁻³	183,91±11,89	6,11x10 ⁻⁴	37,88±1,53
8	Turnasuyu	4,50x10 ⁻³	159,69±14,04	10,60x10 ⁻⁴	65,45±3,11
9	Turnasuyu	4,49x10 ⁻³	159,33±8,37	8,94x10 ⁻⁴	55,40±1,33
10	Turnasuyu	3,54x10 ⁻³	125,49±3,63	1,21x10 ⁻³	75,24±1,82

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.26. Turnasuyu Çayı Kasım ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	KASIM ayı Potansiyometrik Metot DB18C6			
		Na ⁺		K ⁺	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	1,19x10 ⁻³	27,33±2,63	2,33x10 ⁻⁵	0,91±0,07
2	Turnasuyu	6,07x10 ⁻⁴	13,95±2,16	1,28x10 ⁻⁵	0,50±0,10
3	Turnasuyu	4,04x10 ⁻⁴	9,28±0,88	1,27x10 ⁻⁵	0,49±0,06
4	Turnasuyu	1,05x10 ⁻³	24,11±1,23	1,32x10 ⁻⁵	0,52±0,04
5	Turnasuyu	7,73x10 ⁻⁴	17,76±1,39	1,41x10 ⁻⁵	0,55±0,01
6	Turnasuyu	5,74x10 ⁻⁴	13,20±0,93	1,52x10 ⁻⁵	0,59±0,02
7	Turnasuyu	5,36x10 ⁻⁴	12,31±0,84	1,13x10 ⁻⁵	0,44±0,04
8	Turnasuyu	9,09x10 ⁻⁴	20,90±1,76	1,31x10 ⁻⁵	0,51±0,06
9	Turnasuyu	8,37x10 ⁻⁴	19,24±1,56	1,12x10 ⁻⁵	0,43±0,04
10	Turnasuyu	1,19x10 ⁻³	27,38±2,63	1,22x10 ⁻⁵	0,48±0,01

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.27. Turnasuyu Çayı Kasım ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik
Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	KASIM ayı Potansiyometrik Metot			
		TDABr			
		Cl ⁻		NO ₃ ⁻	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	7,05x10 ⁻⁴	25,01±1,28	7,54x10 ⁻⁵	4,67±0,20
2	Turnasuyu	5,72x10 ⁻⁴	20,31±1,37	9,49x10 ⁻⁵	5,89±0,51
3	Turnasuyu	3,49x10 ⁻³	123,73±3,95	8,10x10 ⁻⁵	5,02±0,33
4	Turnasuyu	1,13x10 ⁻⁴	3,99±0,20	9,48x10 ⁻⁵	5,88±0,39
5	Turnasuyu	9,08x10 ⁻⁵	3,22±0,16	8,24x10 ⁻⁵	5,11±0,59
6	Turnasuyu	9,01x10 ⁻⁵	3,20±0,51	8,61x10 ⁻⁵	5,34±0,69
7	Turnasuyu	1,07x10 ⁻⁴	3,81±0,67	9,66x10 ⁻⁵	5,99±0,79
8	Turnasuyu	8,21x10 ⁻⁵	2,92±0,12	1,00x10 ⁻⁵	6,22±0,40
9	Turnasuyu	8,96x10 ⁻⁵	3,18±0,27	9,25x10 ⁻⁵	5,73±0,73
10	Turnasuyu	8,58x10 ⁻⁵	3,05±0,22	9,21x10 ⁻⁵	5,71±0,37

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.28. Turnasuyu Çayı Aralık ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	ARALIK ayı Potansiyometrik Metot DB18C6			
		Na ⁺		K ⁺	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	8,67x10 ⁻⁵	1,99±0,14	1,38x10 ⁻⁴	5,37±0,16
2	Turnasuyu	7,42x10 ⁻⁵	1,70±0,08	3,35x10 ⁻⁵	1,31±0,11
3	Turnasuyu	5,03x10 ⁻⁵	1,16±0,03	4,46x10 ⁻⁵	1,74±0,08
4	Turnasuyu	3,79x10 ⁻⁴	8,71±0,49	5,36x10 ⁻⁵	2,09±0,32
5	Turnasuyu	5,45x10 ⁻⁵	1,25±0,12	2,68x10 ⁻⁵	1,04±0,03
6	Turnasuyu	7,31x10 ⁻⁵	1,68±0,12	4,46x10 ⁻⁵	1,74±0,08
7	Turnasuyu	5,44x10 ⁻⁵	1,25±0,09	6,27x10 ⁻⁵	2,45±0,20
8	Turnasuyu	7,42x10 ⁻⁵	1,70±0,08	3,87x10 ⁻⁵	1,51±0,14
9	Turnasuyu	4,73x10 ⁻⁵	1,09±0,08	1,19x10 ⁻⁵	0,47±0,08
10	Turnasuyu	1,29x10 ⁻⁵	0,30±0,02	1,30x10 ⁻⁵	0,51±0,02

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.29. Turnasuyu Çayı Aralık ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	ARALIK ayı Potansiyometrik Metot			
		TDABr			
			Cl ⁻		NO ₃ ⁻
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	6,24x10 ⁻⁵	2,21±0,21	1,07x10 ⁻⁴	6,61±0,72
2	Turnasuyu	6,35x10 ⁻⁵	2,25±0,28	1,22x10 ⁻⁴	7,58±0,54
3	Turnasuyu	8,08x10 ⁻⁵	2,87±0,29	1,10x10 ⁻⁴	6,80±0,31
4	Turnasuyu	7,37x10 ⁻⁵	2,62±0,43	9,87x10 ⁻⁵	6,12±0,60
5	Turnasuyu	5,58x10 ⁻⁵	1,98±0,20	7,36x10 ⁻⁵	4,56±0,24
6	Turnasuyu	6,75x10 ⁻⁵	2,40±0,18	1,11x10 ⁻⁴	6,90±0,19
7	Turnasuyu	6,89x10 ⁻⁵	2,45±0,32	1,17x10 ⁻⁴	7,24±0,68
8	Turnasuyu	5,05x10 ⁻⁵	1,79±0,05	7,14x10 ⁻⁵	4,43±0,31
9	Turnasuyu	6,08x10 ⁻⁵	2,16±0,37	8,84x10 ⁻⁵	5,48±0,15
10	Turnasuyu	6,22x10 ⁻⁵	2,21±0,11	6,42x10 ⁻⁵	3,98±0,28

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.30. Turnasuyu ayı Ocak ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	OCAK ayı Potansiyometrik Metot			
		DB18C6			
			Na ⁺		K ⁺
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	6,25x10 ⁻⁵	1,44±0,08	5,97x10 ⁻⁵	2,33±0,20
2	Turnasuyu	6,77x10 ⁻⁵	1,56±0,35	1,90x10 ⁻⁵	0,74±0,06
3	Turnasuyu	7,54x10 ⁻⁵	1,73±0,12	2,02x10 ⁻⁵	0,79±0,08
4	Turnasuyu	6,37x10 ⁻⁵	1,47±0,17	2,36x10 ⁻⁵	0,92±0,07
5	Turnasuyu	8,28x10 ⁻⁵	1,90±0,14	2,51x10 ⁻⁵	0,98±0,05
6	Turnasuyu	5,90x10 ⁻⁵	1,36±0,17	2,61x10 ⁻⁵	1,02±0,15
7	Turnasuyu	7,23x10 ⁻⁵	1,66±0,23	3,74x10 ⁻⁵	1,46±0,11
8	Turnasuyu	5,63x10 ⁻⁵	1,29±0,16	2,29x10 ⁻⁵	0,89±0,04
9	Turnasuyu	6,26x10 ⁻⁵	1,44±0,10	2,54x10 ⁻⁵	0,99±0,17
10	Turnasuyu	9,36x10 ⁻⁵	2,15±0,10	5,78x10 ⁻⁵	2,25±0,89

*: mg/L değerleri N=3 lm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.31. Turnasuyu ayı Ocak ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik
Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	OCAK ayı Potansiyometrik Metot			
		TDABr			
		Cl ⁻		NO ₃ ⁻	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	4,79x10 ⁻⁵	1,70±0,08	9,91x10 ⁻⁵	6,14±0,87
2	Turnasuyu	4,47x10 ⁻⁵	1,59±0,22	1,47x10 ⁻⁴	9,13±0,86
3	Turnasuyu	5,18x10 ⁻⁵	1,84±0,13	1,24x10 ⁻⁴	7,70±0,75
4	Turnasuyu	5,43x10 ⁻⁵	1,93±0,19	8,22x10 ⁻⁵	5,10±0,58
5	Turnasuyu	2,23x10 ⁻⁵	7,91±0,42	8,85x10 ⁻⁵	5,49±0,39
6	Turnasuyu	5,68x10 ⁻⁵	2,02±0,20	1,64x10 ⁻⁴	10,15±0,71
7	Turnasuyu	5,02x10 ⁻⁵	1,78±0,08	9,12x10 ⁻⁵	5,65±0,26
8	Turnasuyu	5,03x10 ⁻⁵	1,79±0,16	7,37x10 ⁻⁵	4,57±0,43
9	Turnasuyu	6,03x10 ⁻⁵	2,14±0,10	8,85x10 ⁻⁵	5,49±0,39
10	Turnasuyu	6,42x10 ⁻⁵	2,28±0,21	9,16x10 ⁻⁵	5,68±0,71

*: mg/L değerleri N=3 lm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.32. Turnasuyu Çayı Şubat ayı su numuneleri için DB18C6 kaplı iyon duyarlı sensör ile Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	ŞUBAT ayı Potansiyometrik Metot DB18C6			
		Na ⁺		K ⁺	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	4,25x10 ⁻³	97,80±25,39	4,91x10 ⁻⁵	1,93±0,09
2	Turnasuyu	5,87x10 ⁻³	13,49±9,25	7,28x10 ⁻⁵	2,84±0,28
3	Turnasuyu	4,63x10 ⁻³	106,45±13,61	1,05x10 ⁻⁴	4,08±0,12
4	Turnasuyu	5,26x10 ⁻³	120,88±12,47	3,93x10 ⁻⁴	1,53±0,04
5	Turnasuyu	3,84x10 ⁻³	88,25±10,78	3,98x10 ⁻⁵	1,55±0,04
6	Turnasuyu	7,10x10 ⁻³	163,12±14,23	1,12x10 ⁻⁴	4,37±0,13
7	Turnasuyu	5,25x10 ⁻³	120,63±8,95	6,70x10 ⁻⁵	2,61±0,26
8	Turnasuyu	4,60x10 ⁻³	105,74±3,94	1,03x10 ⁻⁵	0,40±0,02
9	Turnasuyu	2,45x10 ⁻³	56,25±1,79	1,50x10 ⁻⁴	5,86±0,35
10	Turnasuyu	2,74x10 ⁻³	62,93±2,04	2,81x10 ⁻⁵	1,10±0,08

*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

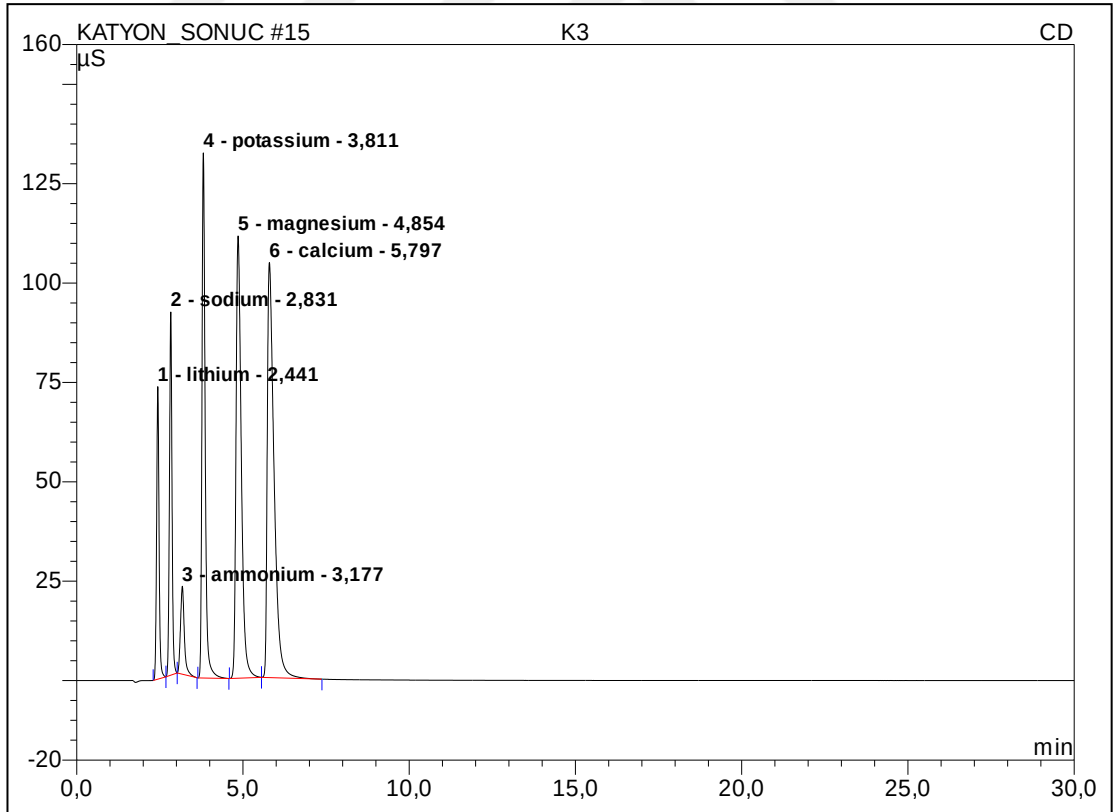
Tablo 4.33. Turnasuyu Çayı Şubat ayı su numuneleri için TDABr iyonofor ile kaplı Potansiyometrik Tayin Sonuçları

Numune No	İçerik	ŞUBAT ayı Potansiyometrik Metot			
		TDABr			
		Cl ⁻		NO ₃ ⁻	
		(mol/L)	(mg/L)*	(mol/L)	(mg/L)*
1	Turnasuyu	6,70x10 ⁻³	238,02±9,56	1,20x10 ⁻⁴	7,47±0,69
2	Turnasuyu	5,46x10 ⁻³	193,90±7,29	1,18x10 ⁻⁴	7,35±0,51
3	Turnasuyu	1,99x10 ⁻³	70,72±5,82	1,06x10 ⁻⁴	6,59±0,18
4	Turnasuyu	2,16x10 ⁻³	76,56±21,70	1,03x10 ⁻⁴	6,40±0,44
5	Turnasuyu	1,25x10 ⁻³	44,35±1,30	1,17x10 ⁻⁴	7,22±0,19
6	Turnasuyu	1,85x10 ⁻³	65,81±3,46	1,30x10 ⁻⁴	8,06±0,56
7	Turnasuyu	3,99x10 ⁻³	141,61±10,15	1,28x10 ⁻⁴	7,53±0,57
8	Turnasuyu	2,25x10 ⁻³	79,97±2,47	6,41x10 ⁻⁵	3,97±0,11
9	Turnasuyu	3,83x10 ⁻³	135,95±8,15	8,33x10 ⁻⁵	5,16±0,42
10	Turnasuyu	4,85x10 ⁻⁵	1,72±0,32	7,47x10 ⁻⁵	4,63±0,12

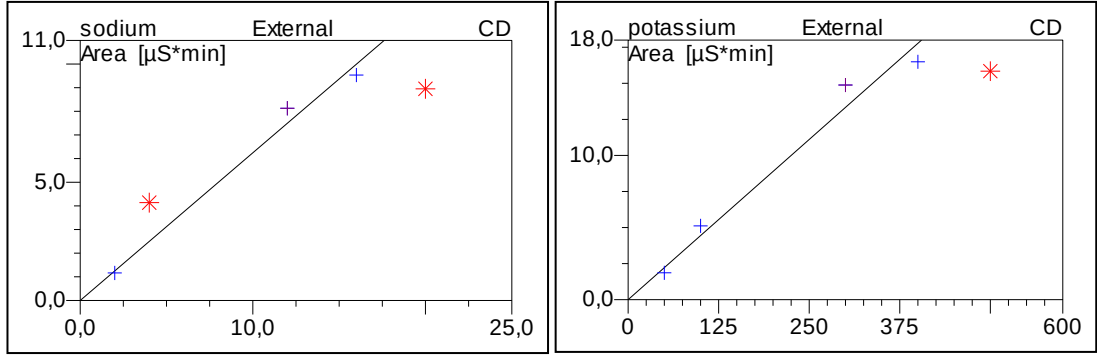
*: mg/L değerleri N=3 ölçüm için ortalama ± standart sapması ile birlikte verilmiştir.

4.2.2. İyon Kromatografik Analiz Sonuçları

İyon kromatografik analizler Bölüm 3.2.3.'de verilen optimum şartlarda (Tablo 3.2.) gerçekleştirilmiştir. Numuneler tek enjeksiyonla IC sistemine verilmiş, katyon ve anyonların eş zamanlı dedeksiyonu başarıyla gerçekleştirilmiştir. Her enjeksiyon için 30 dak.'lık periyotlar uygulanmıştır. Şekil 4.9.'da standart katyon karışım çözeltisine ait (Na^+ : 12 ppm, K^+ : 300 ppm) örnek kromatogram görülmektedir. Alıkonma zamanları Na^+ ve K^+ iyonları için sırasıyla 2,83 ve 3,81 dak olarak elde edilmiştir. Na^+ ve K^+ iyonları için oluşturulan kalibrasyon grafikleri Şekil 4.10.'da görülmektedir.

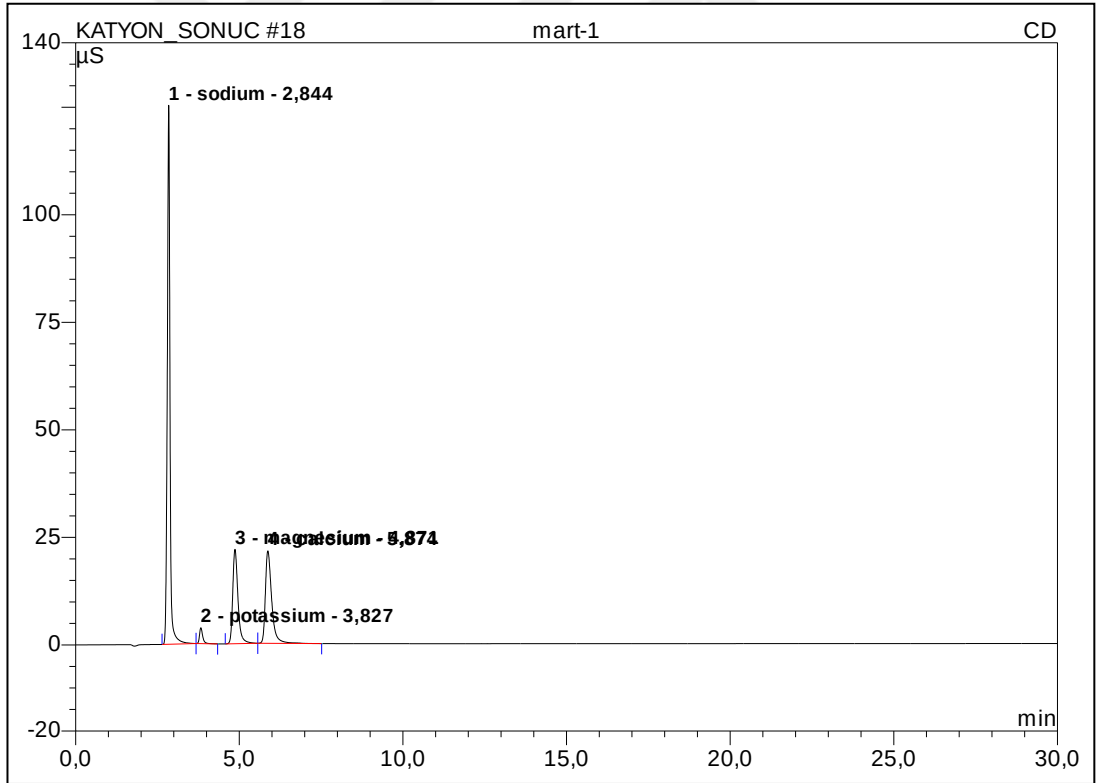


Şekil 4.9. Standart katyon karışımı için elde edilen kromatogram

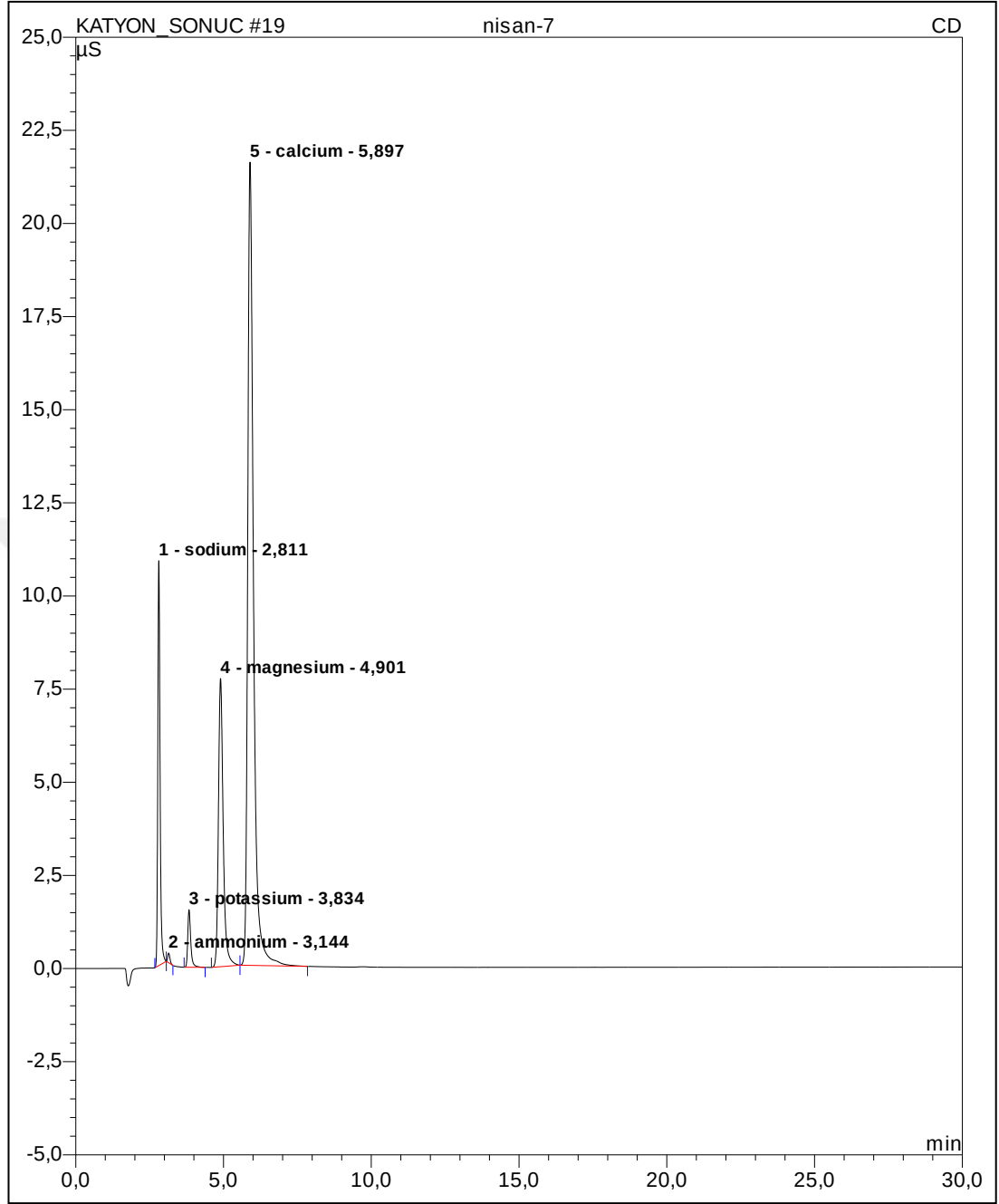


Şekil 4.10. Na⁺ ve K⁺ için iyon kromatografik kalibrasyon grafikleri

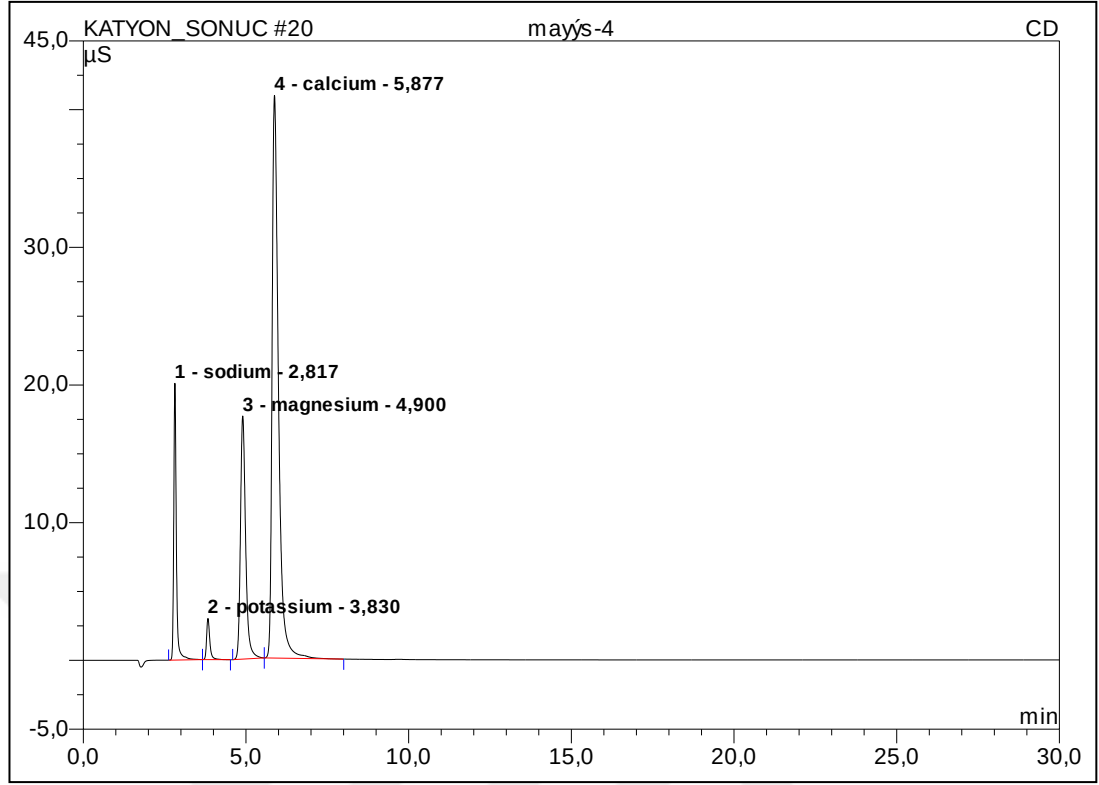
Turnasuyu Çayı istasyonlarına ait aylık gruplardan seçilen numuneler IC sisteminde analiz edilmiştir. Seçilen numunelerin katyon içerikleri için elde edilen kromatogramlar ve hesaplanan iyon miktarları sırasıyla Şekil 4.11-4.22. ve Tablo 4.34.'de verilmiştir.



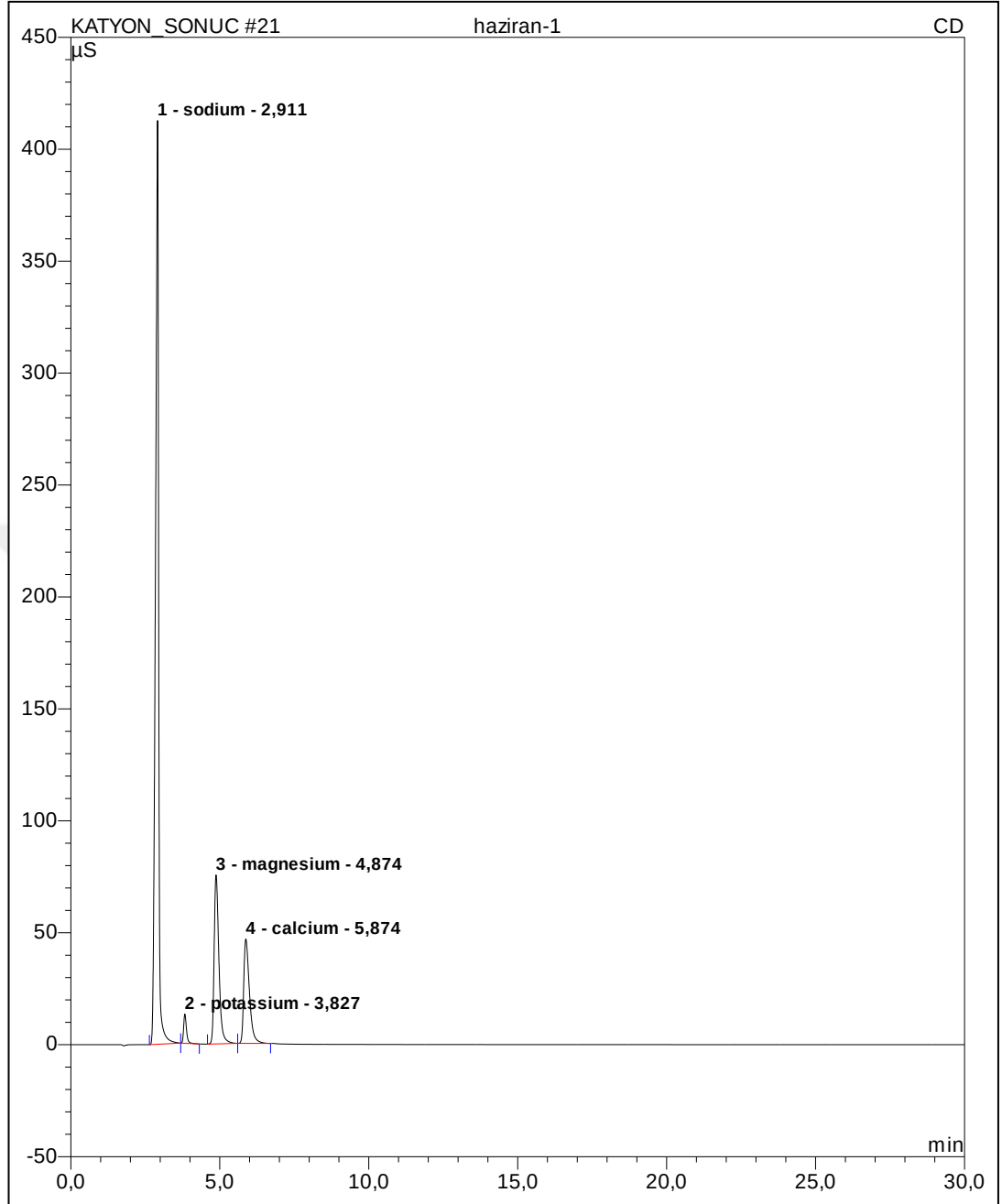
Şekil 4.11. Mart-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram



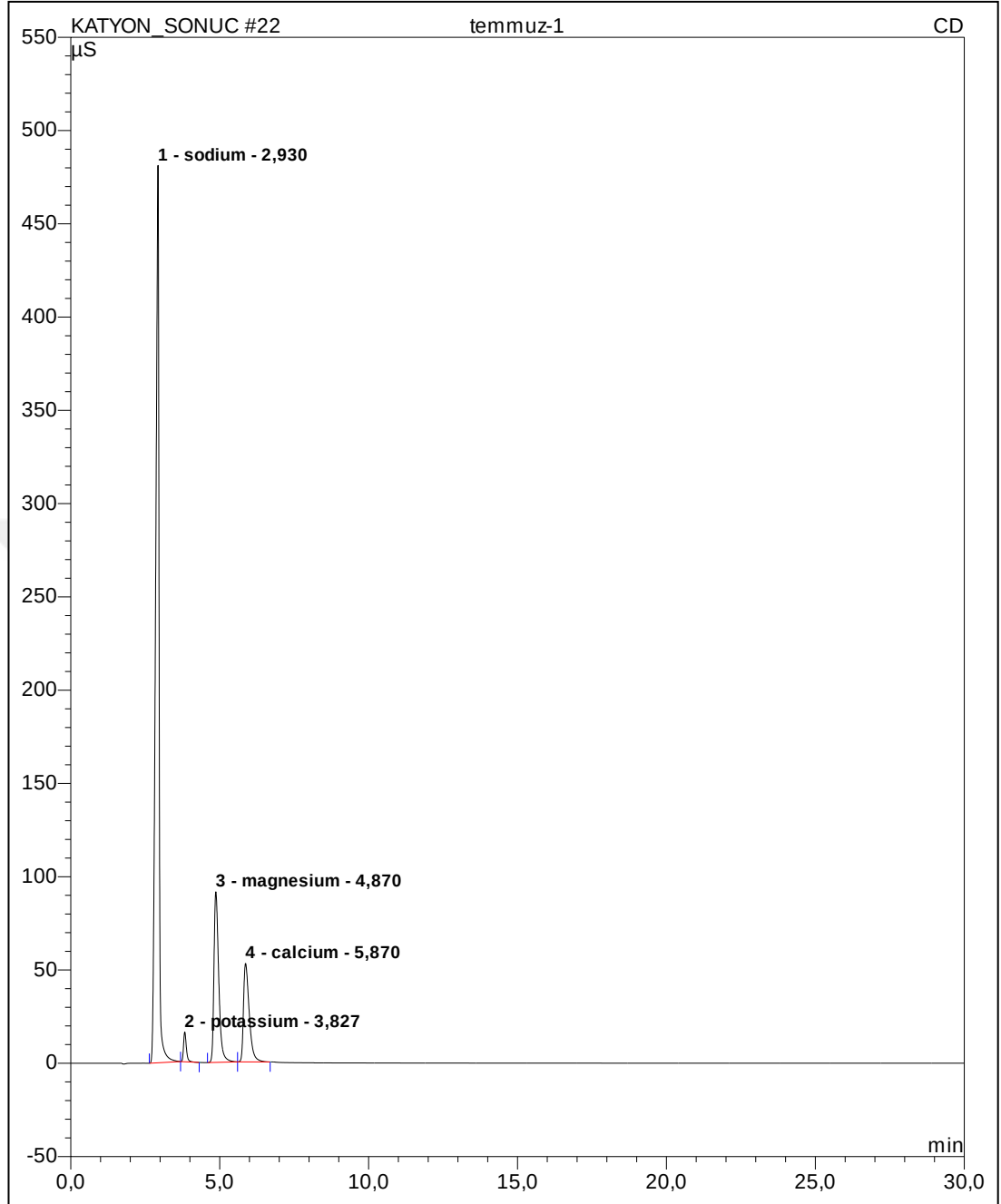
Şekil 4.12. Nisan-7 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram



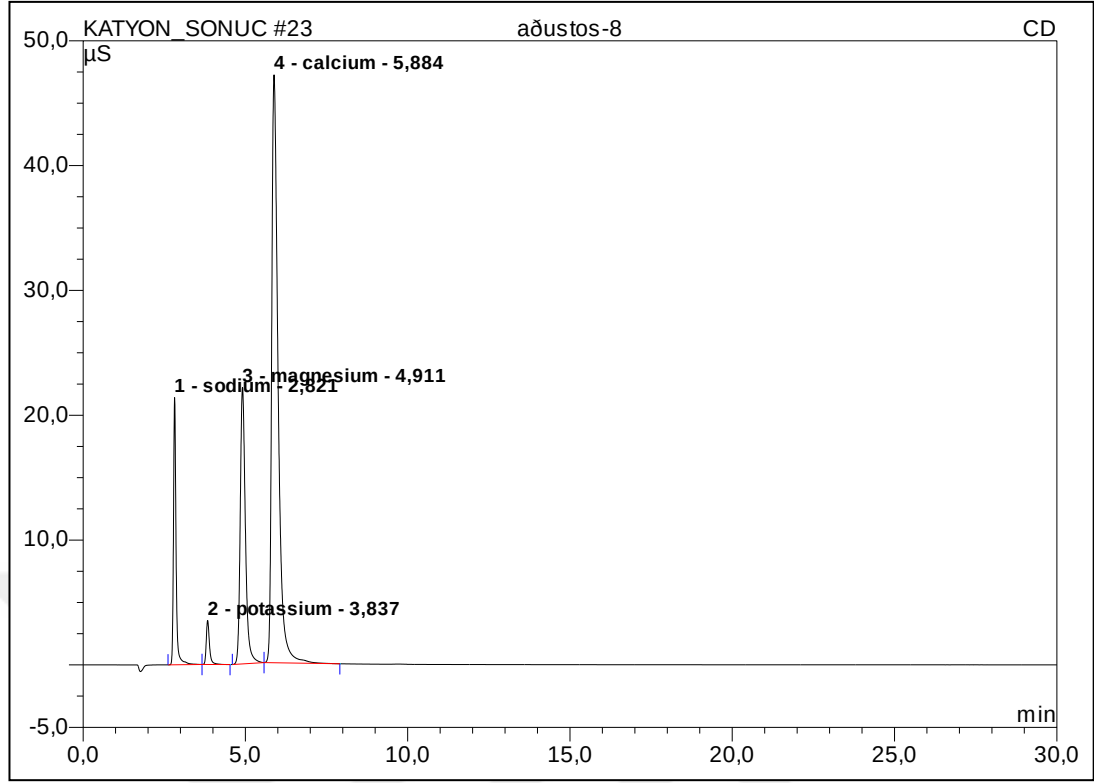
Şekil 4.13. Mayıs-4 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram



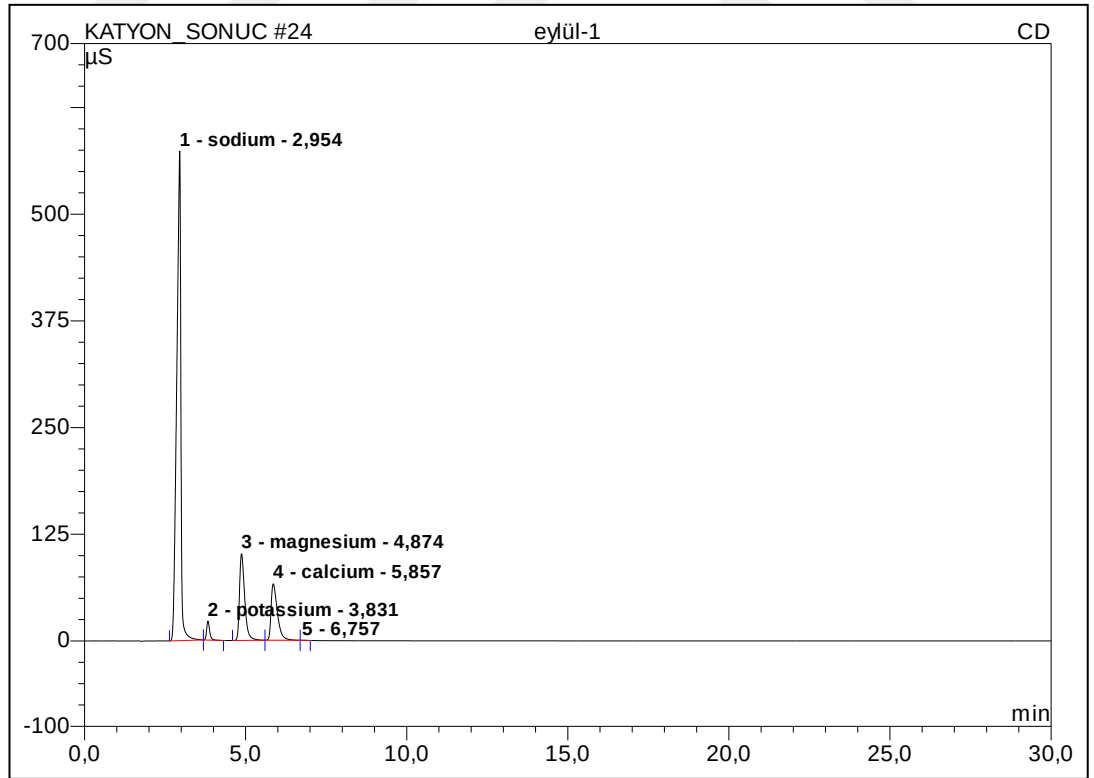
Şekil 4.14. Haziran-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram



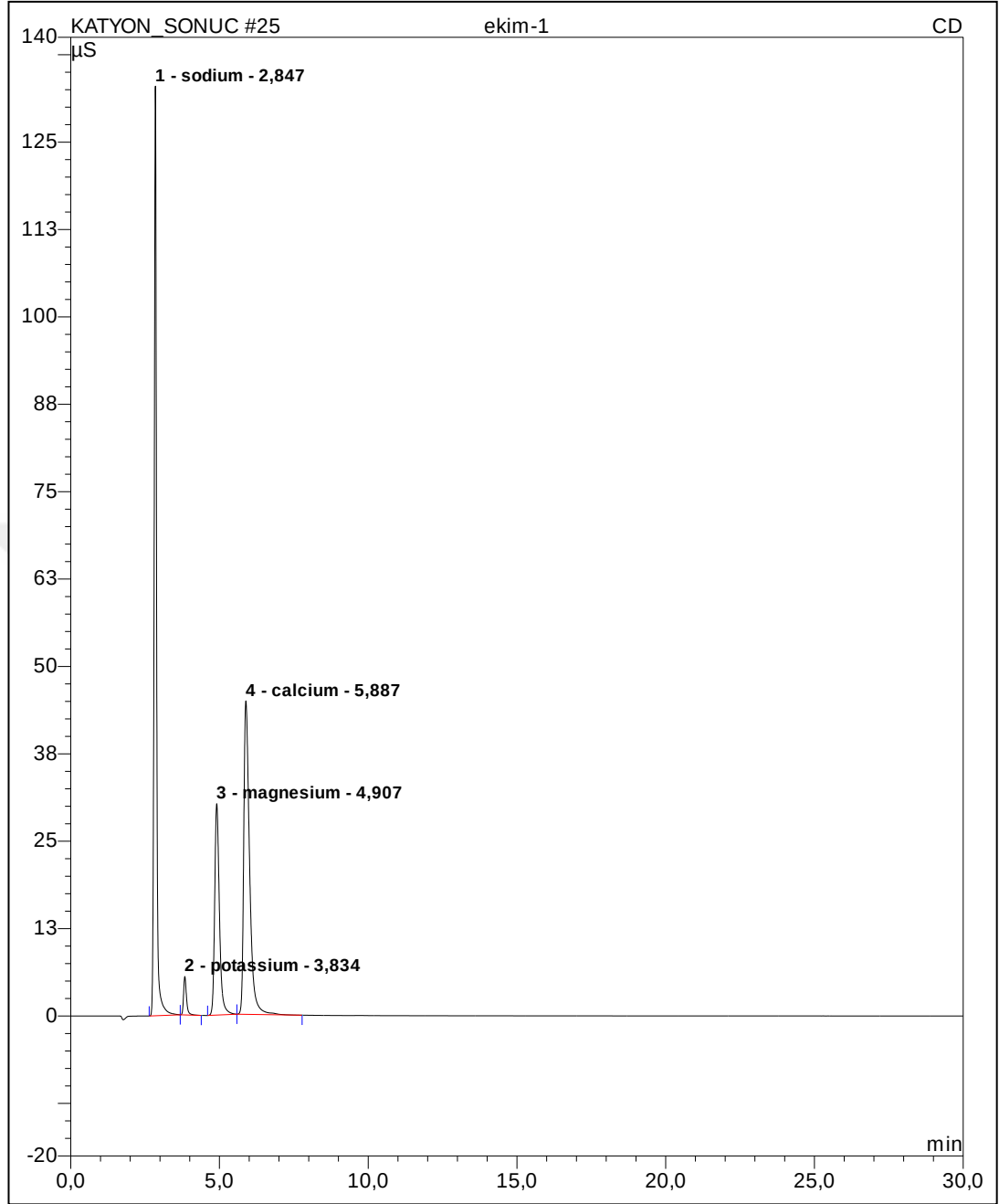
Şekil 4.15. Temmuz-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram



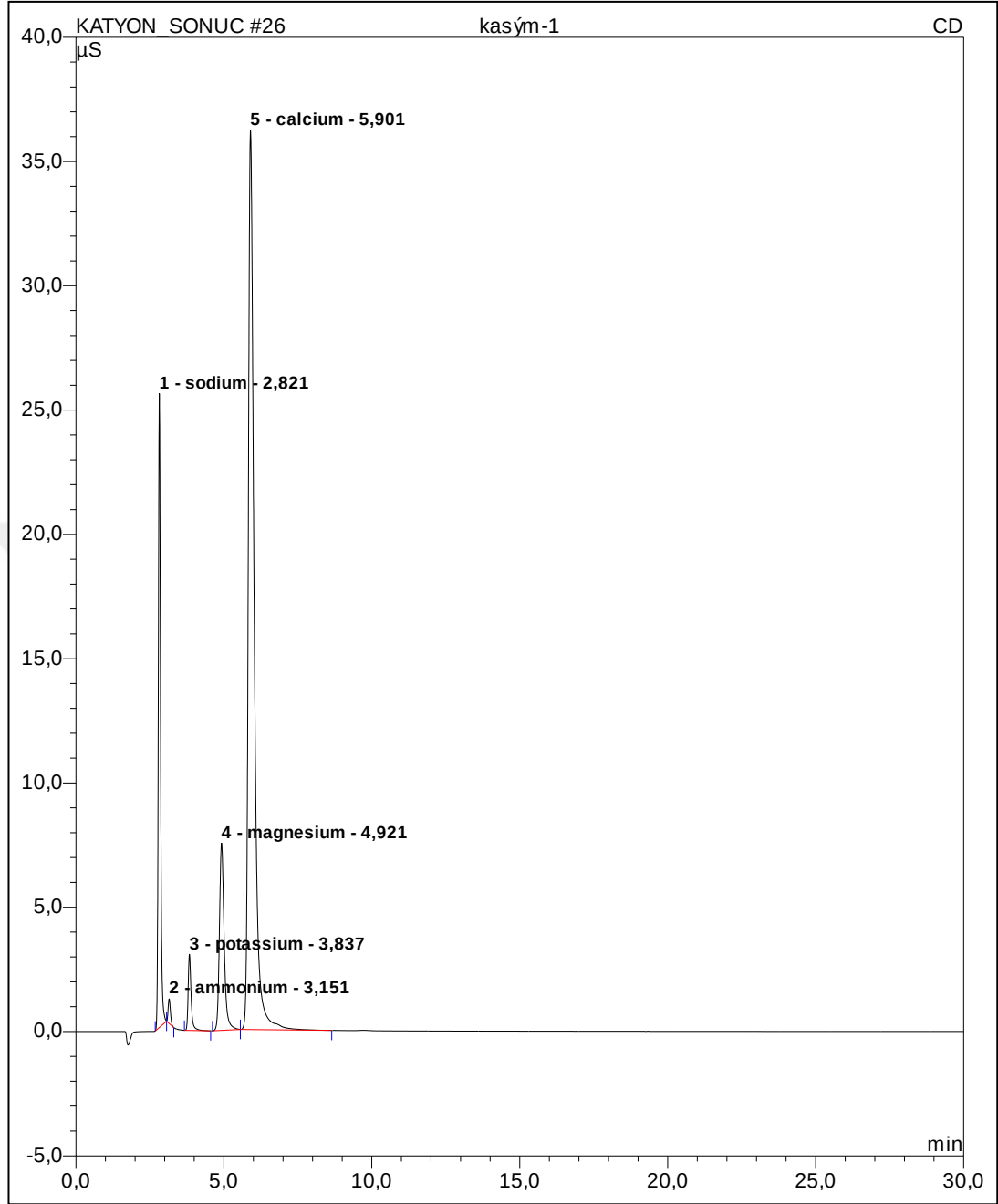
Şekil 4.16. Ağustos-8 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram



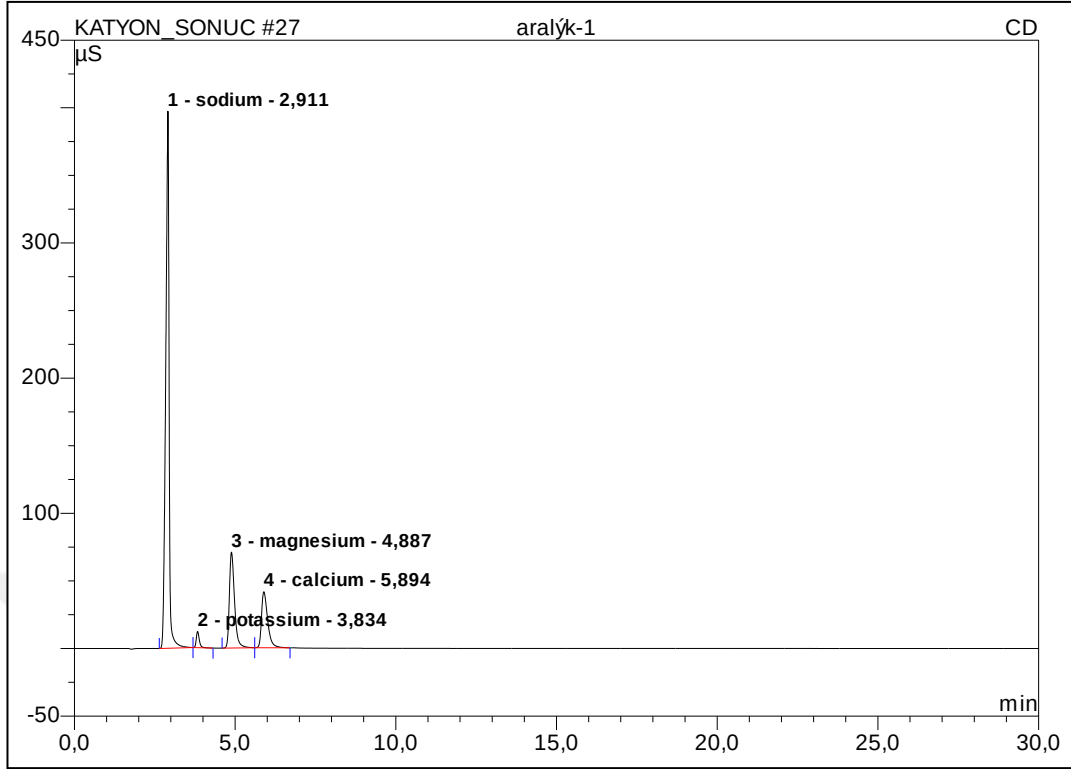
Şekil 4.17. Eylül-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram



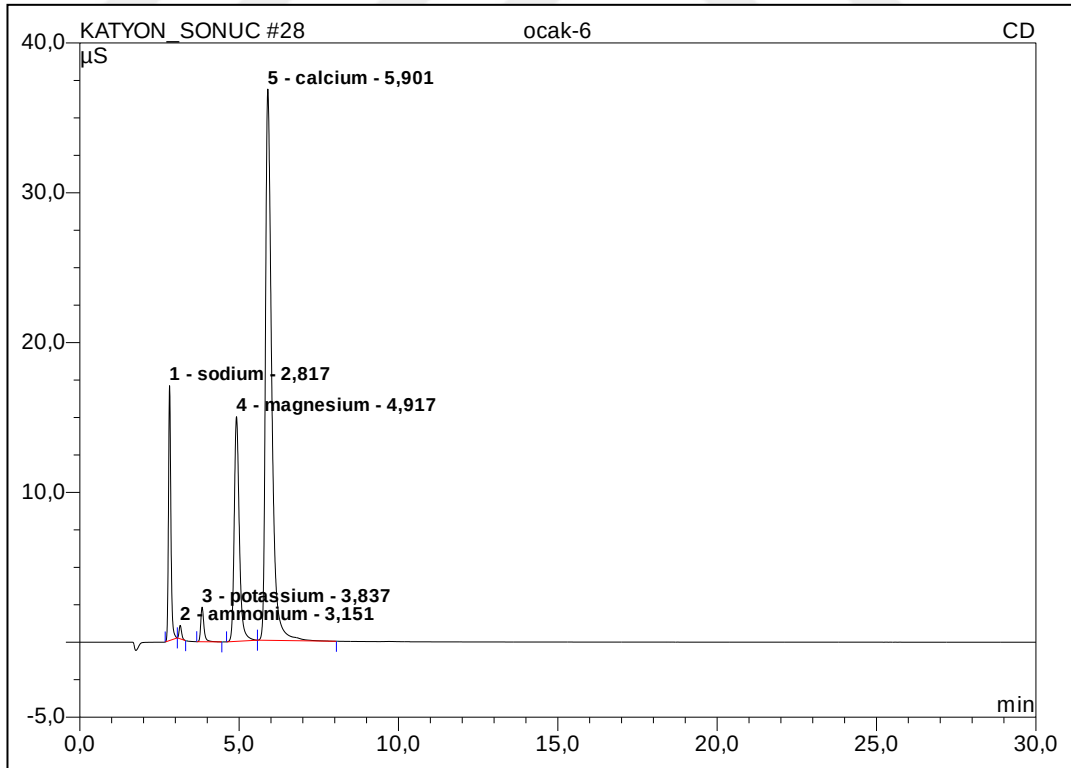
Şekil 4.18. Ekim-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram



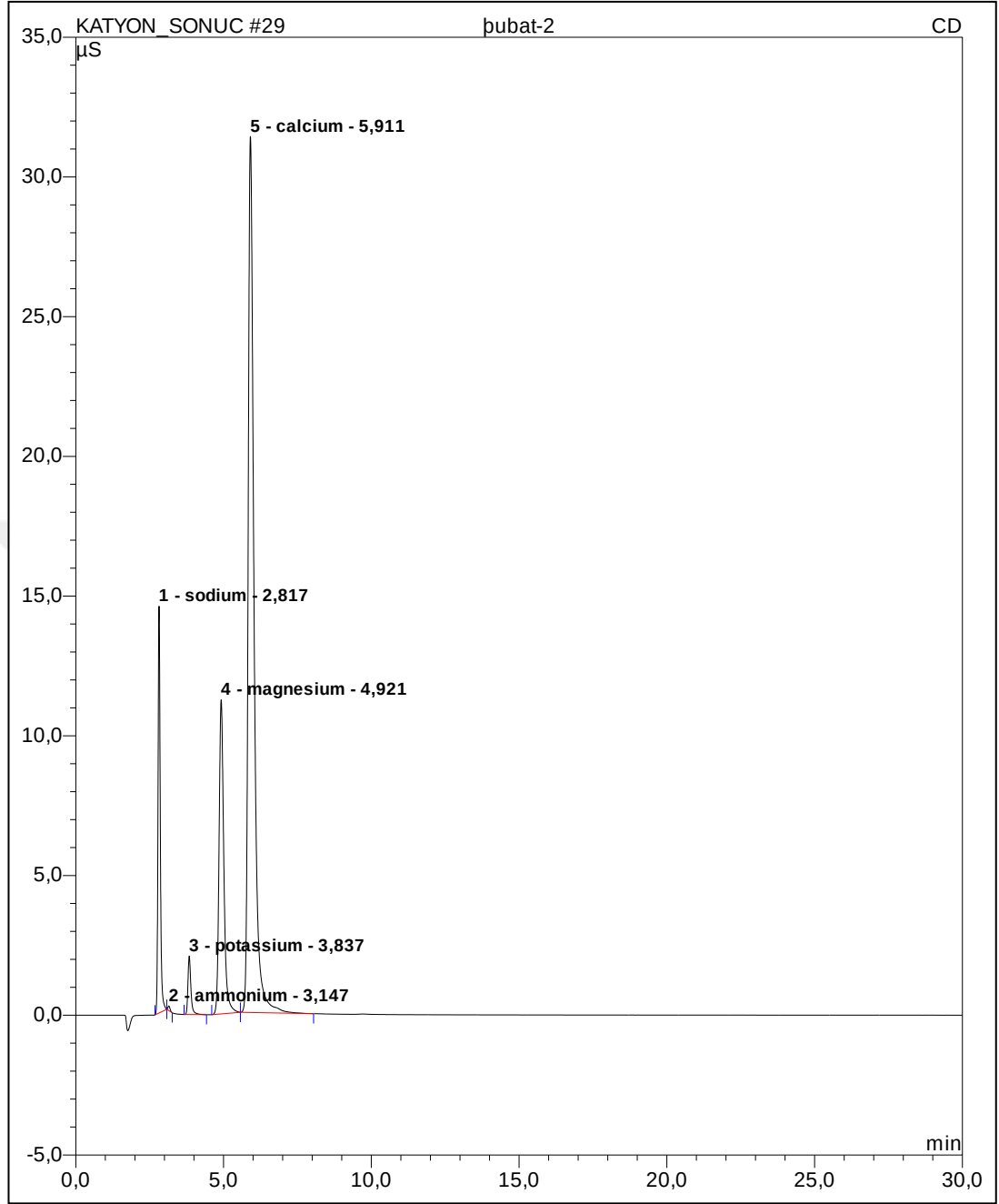
Şekil 4.19. Kasým-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram



Şekil 4.20. Aralık-1 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram



Şekil 4.21. Ocak-6 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram

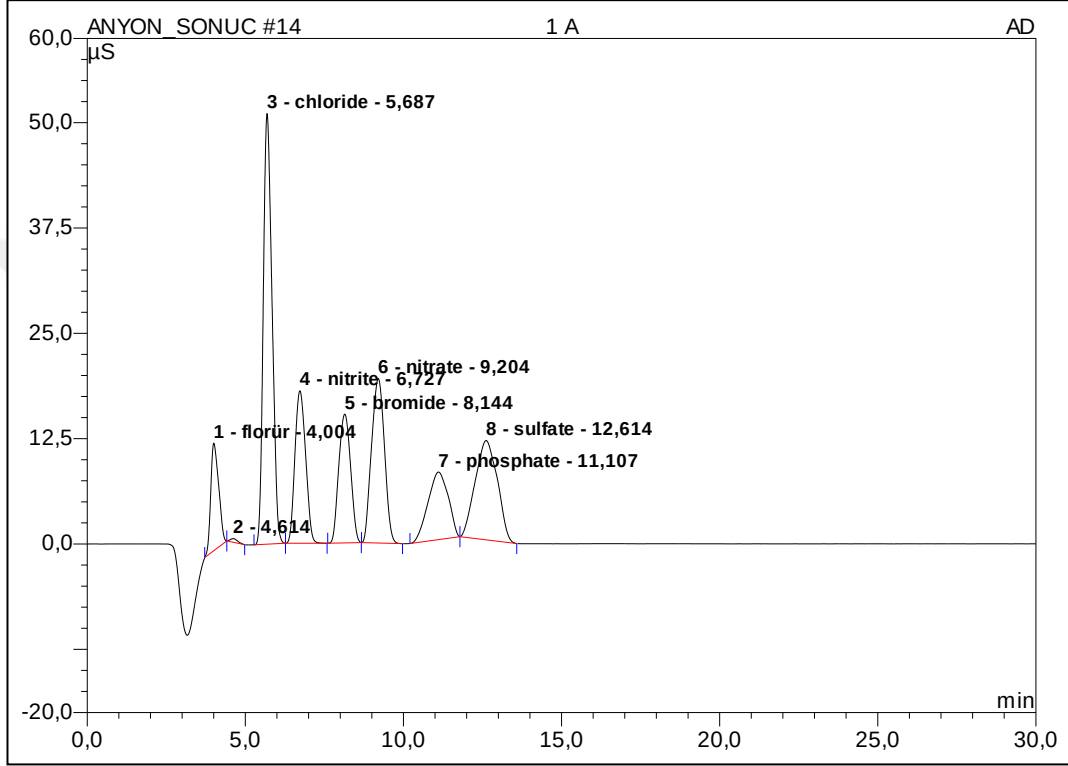


Şekil 4.22. Şubat-2 numunesinin katyon içeriğine ait kromatogram

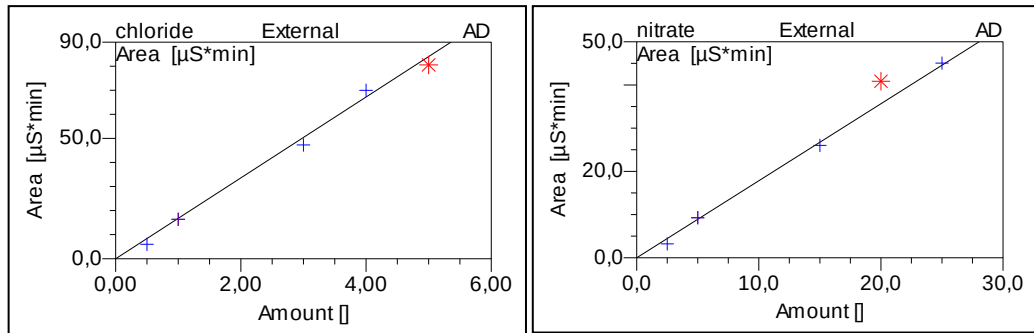
Tablo 4.34. Turnasuyu Çayı su numunelerinin **katyon** içerikleri için iyon kromatografik sonuçlar

Numune No	İçerik	İyon Kromatografik Sonuçlar			
		Na ⁺ (mol/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mol/L)	K ⁺ (mg/L)
1	Mart-1	8,30x10 ⁻⁴	19,09±0,95	2,39x10 ⁻⁴	9,35±0,47
2	Nisan-7	6,69x10 ⁻⁵	1,54±0,07	1,04x10 ⁻⁴	4,06±0,20
3	Mayıs-4	1,30x10 ⁻⁴	2,98±0,15	1,99x10 ⁻⁴	7,77±0,40
4	Haziran-1	3,55x10 ⁻³	81,67±4,10	8,27x10 ⁻⁴	32,35±1,60
5	Temmuz-1	4,46x10 ⁻³	102,63±5,13	1,01x10 ⁻³	39,51±1,98
6	Ağustos-8	1,37x10 ⁻⁴	3,16±0,16	2,34x10 ⁻⁴	9,14±0,45
7	Eylül-1	5,90x10 ⁻³	135,72±6,77	1,40x10 ⁻³	54,80±2,73
8	Ekim-1	8,71x10 ⁻⁴	20,03±1,01	3,56x10 ⁻⁴	13,94±0,71
9	Kasım-1	1,55x10 ⁻⁴	3,56±0,18	2,04x10 ⁻⁴	7,96±0,42
10	Aralık-1	3,34x10 ⁻³	76,88±3,85	7,60x10 ⁻⁴	29,73±1,39
11	Ocak-6	1,04x10 ⁻⁴	2,39±0,11	1,54x10 ⁻⁴	6,02±0,31
12	Şubat-2	8,93x10 ⁻⁵	2,05±0,10	1,40x10 ⁻⁴	5,46±0,26

Şekil 4.23.'de standart anyon karışımı çözeltisine ait (Cl^- : 1,5 ppm, NO_3^- : 5 ppm) örnek kromatogram görülmektedir. Alıkonma zamanları Cl^- ve NO_3^- iyonları için sırasıyla 5,68 ve 9,20 dak. olarak elde edilmiştir. Cl^- ve NO_3^- iyonları için oluşturulan kalibrasyon grafikleri Şekil 4.24.'de görülmektedir.

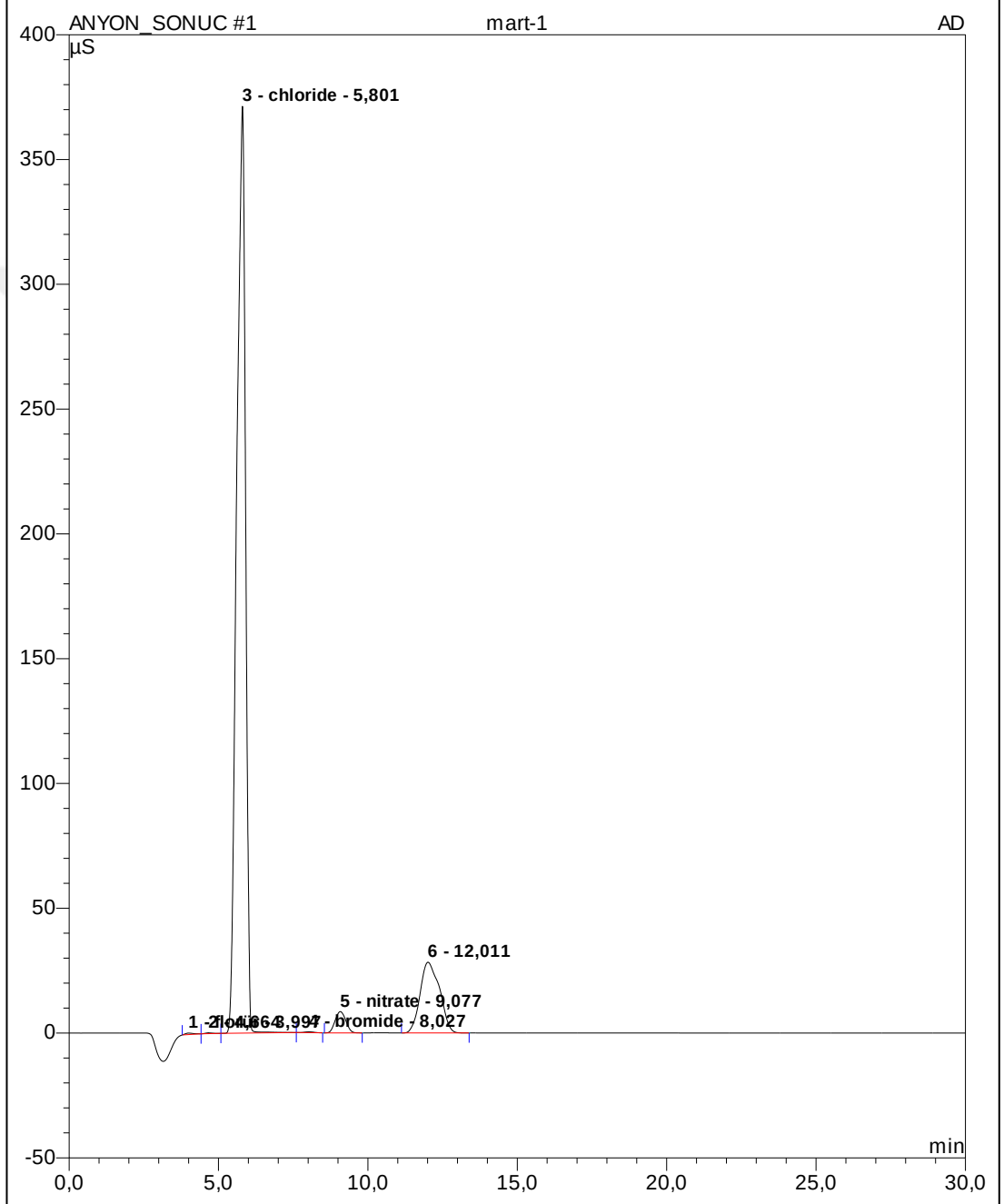


Şekil 4.23. Standart anyon karışımı için elde edilen kromatogram

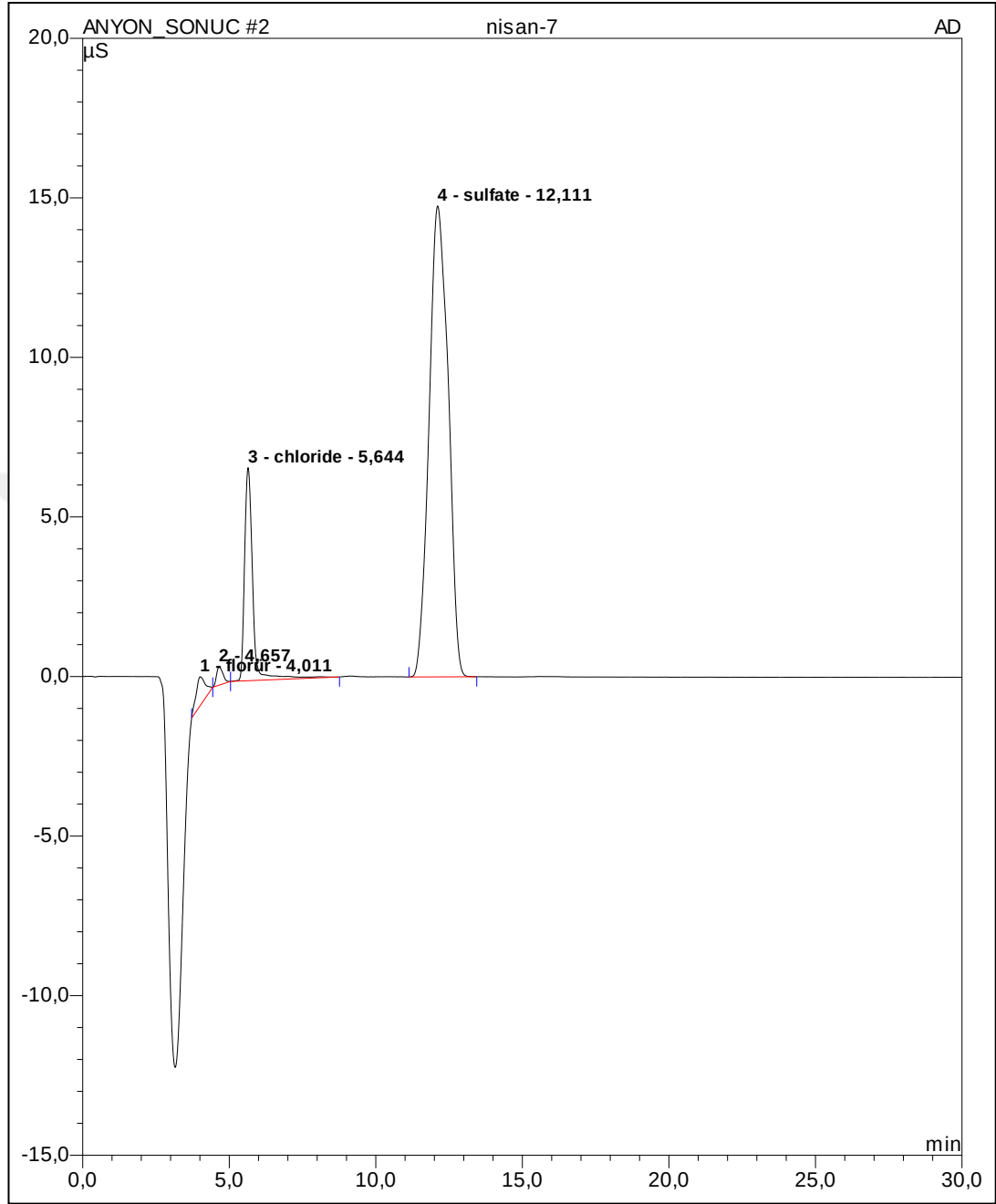


Şekil 4.24. Cl^- ve NO_3^- için iyon kromatografik kalibrasyon grafikleri

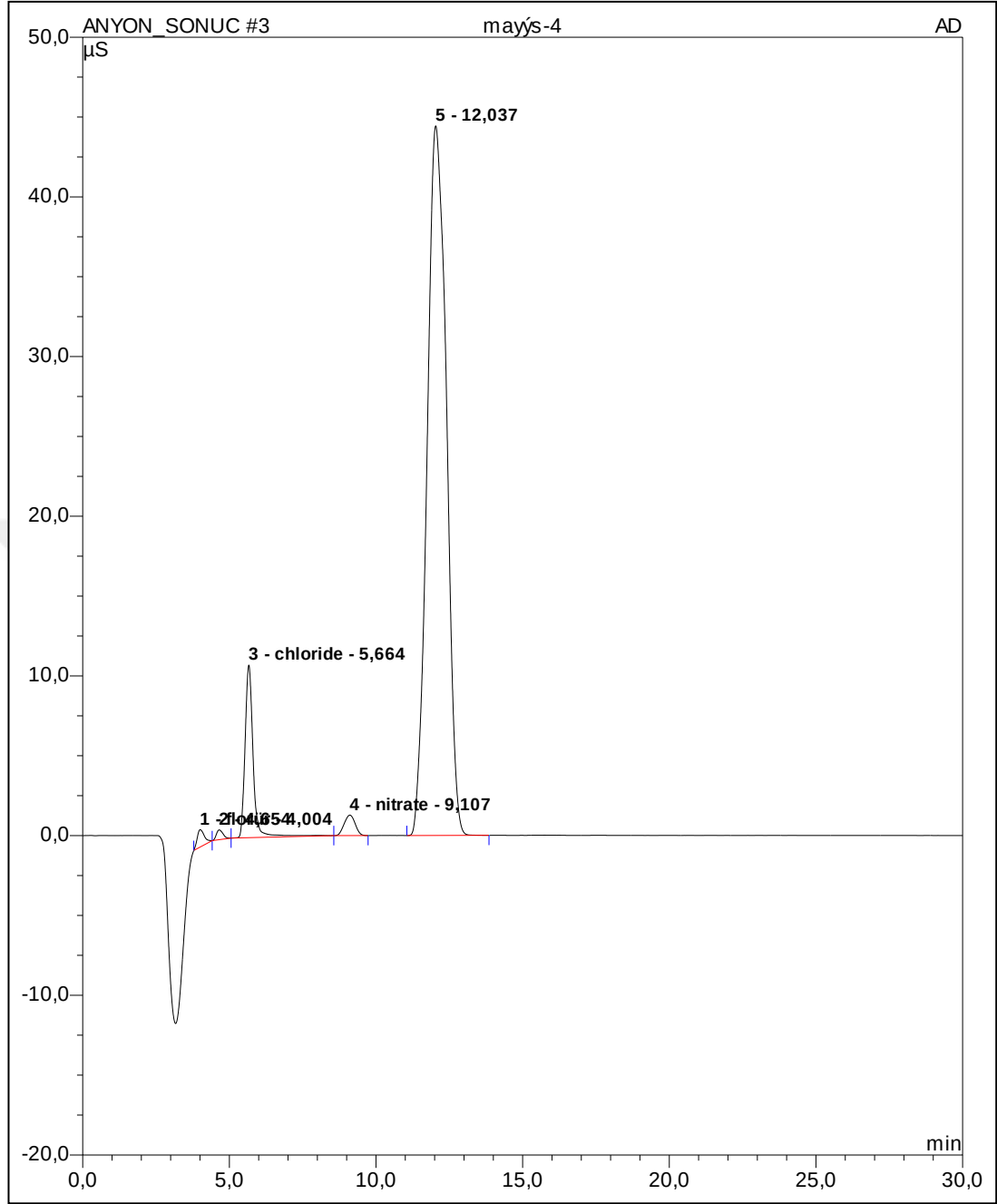
Turnasuyu ayı istasyonlarına ait aylık gruplardan seçilen numuneler IC sisteminde analiz edilmiştir. Seçilen numunelerin anyon içerikleri için elde edilen kromatogramlar ve hesaplanan iyon miktarları sırasıyla şekil 4.25-4.36. ve Tablo 4.35.'de verilmiştir.



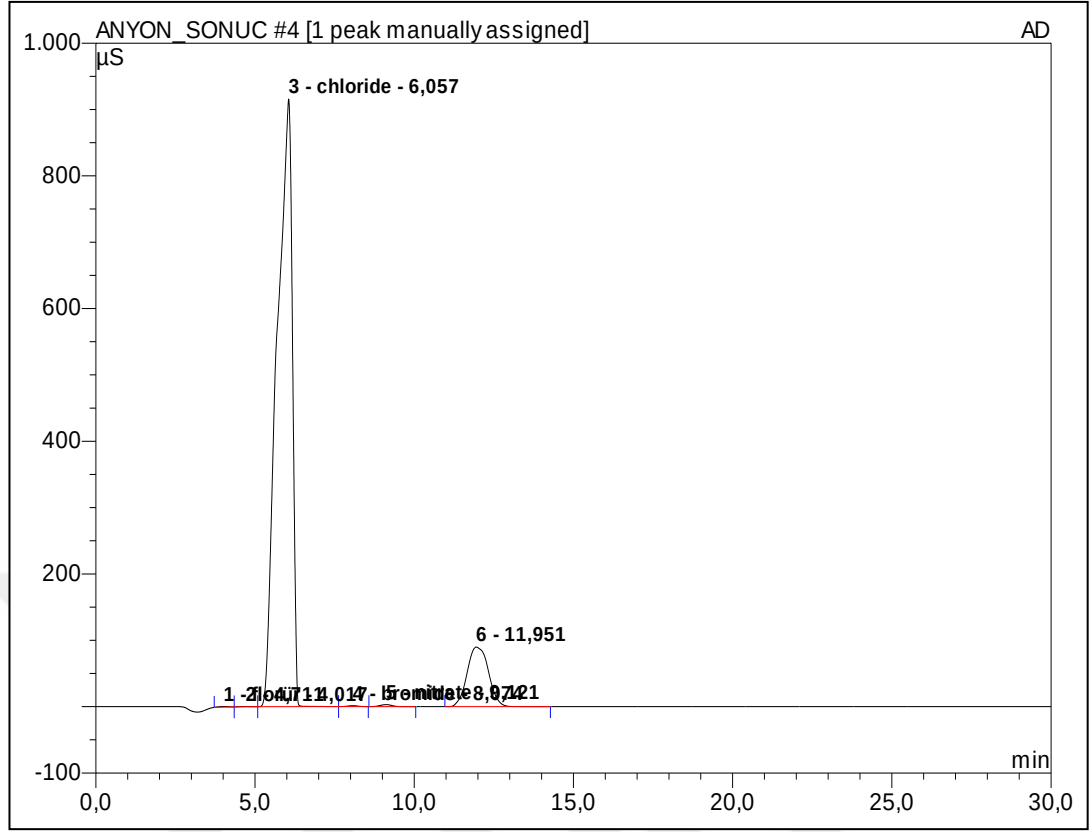
şekil 4.25. Mart-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram



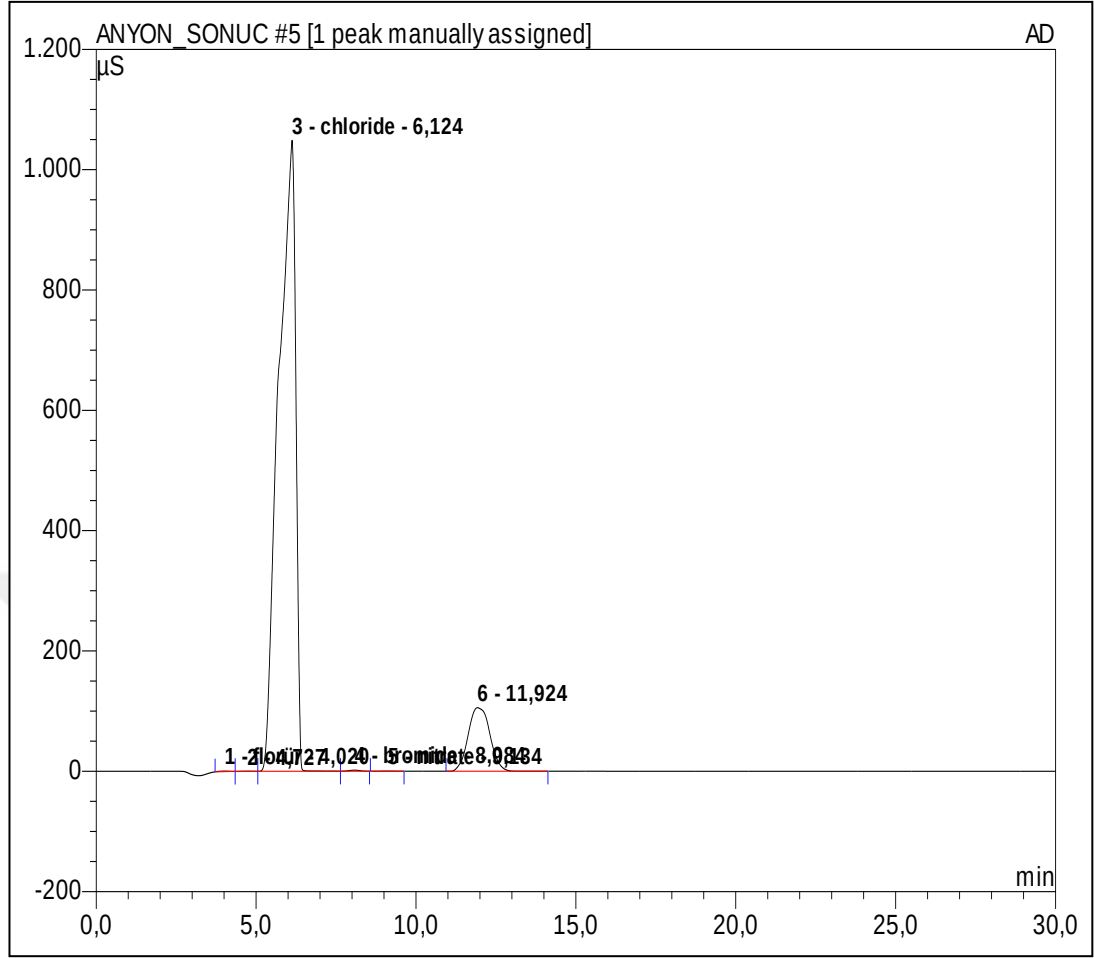
Şekil 4.26. Nisan-7 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram



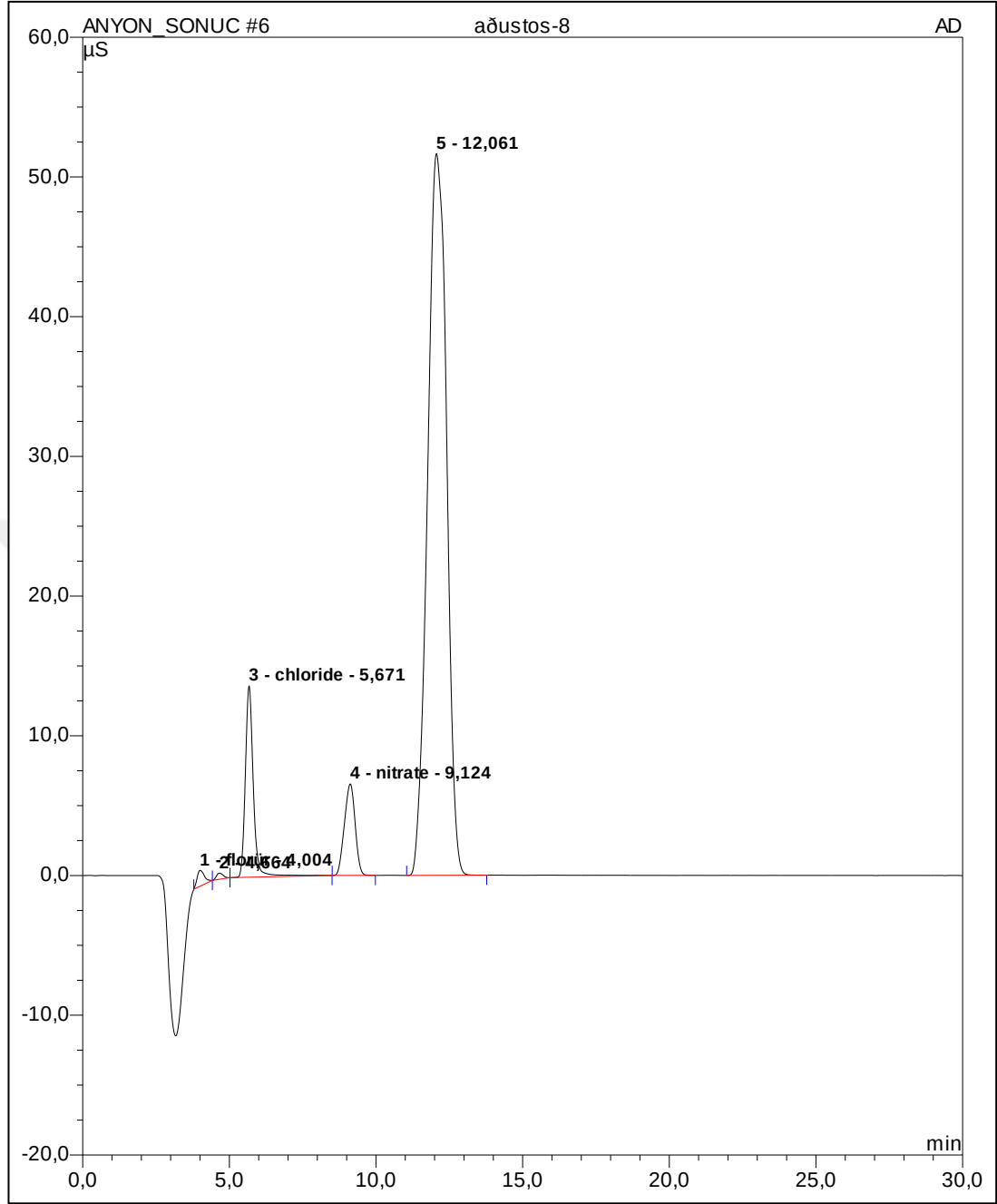
Şekil 4.27. Mayıs-4 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram



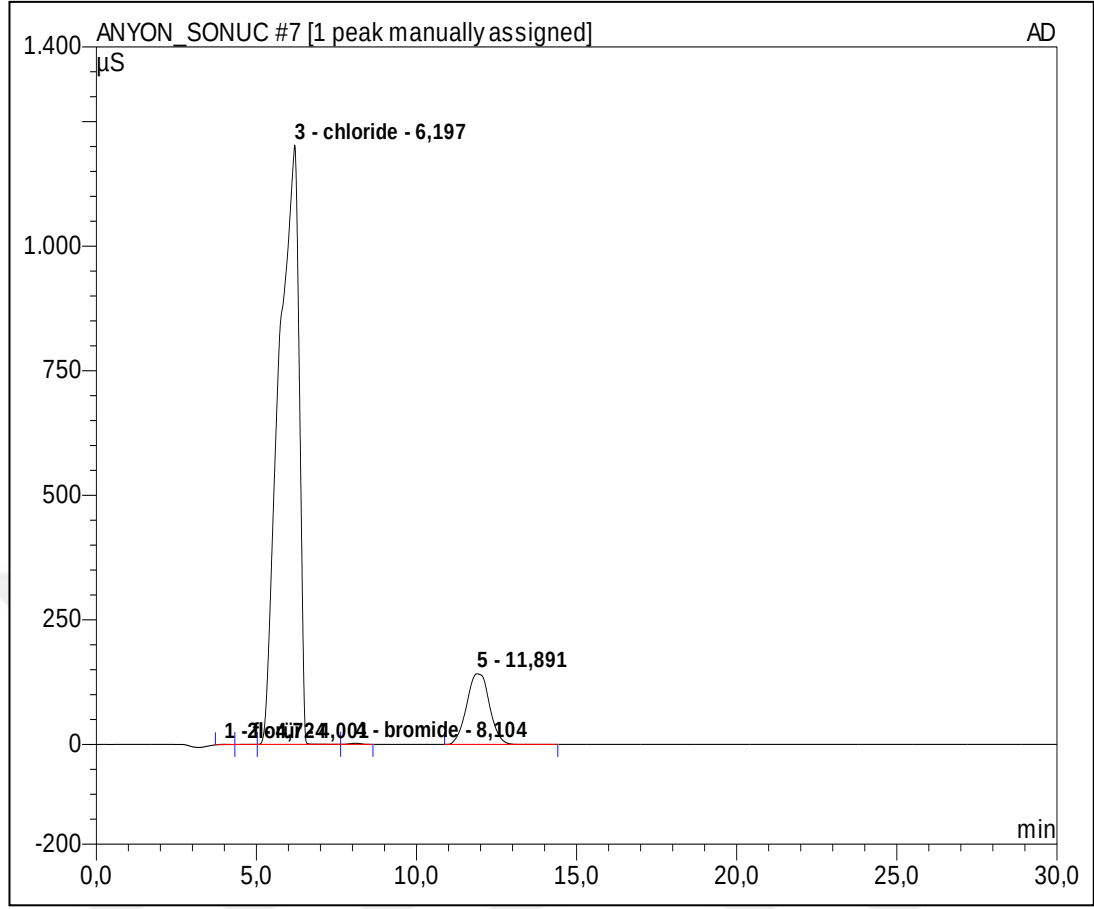
Şekil 4.28. Haziran-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram



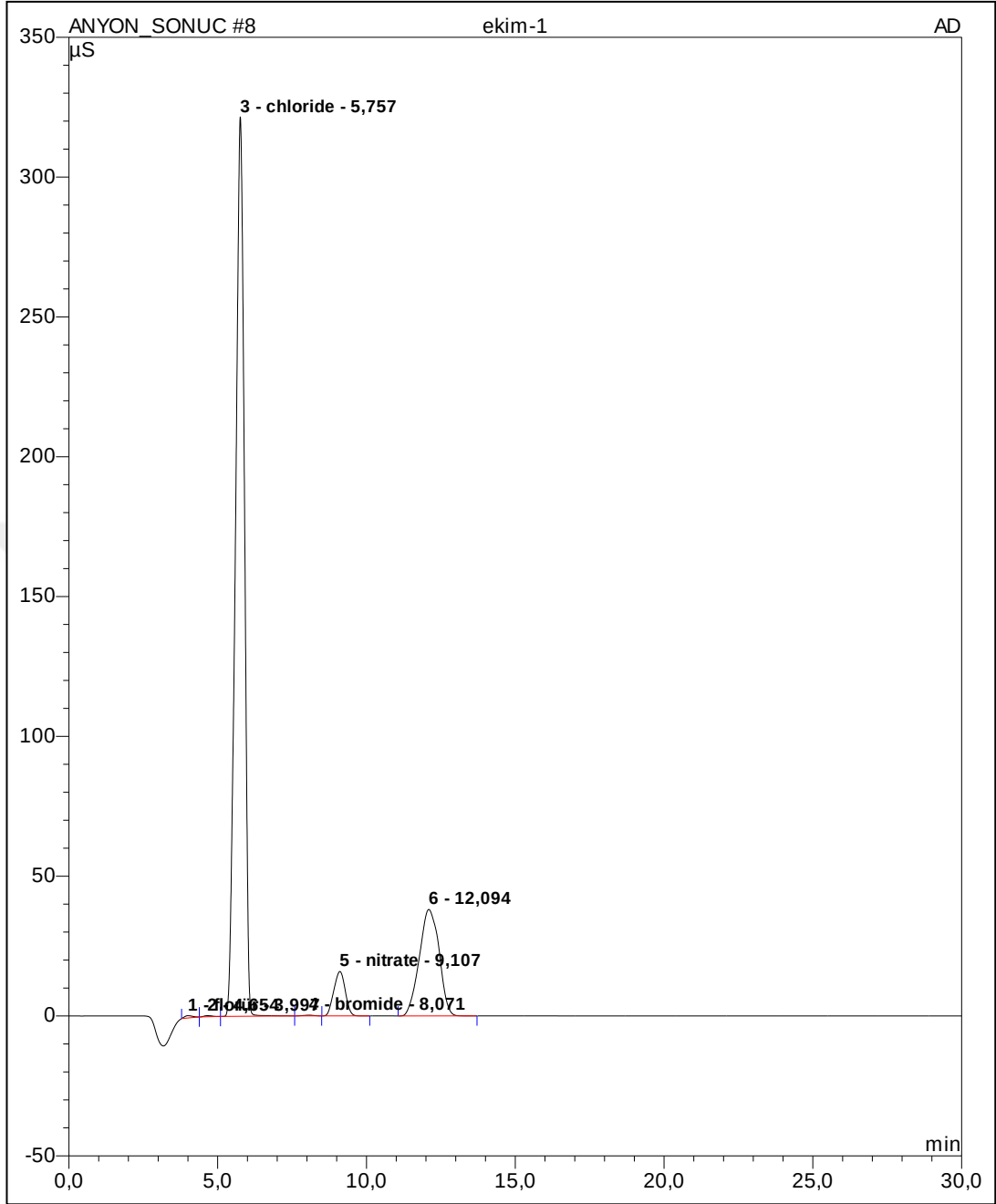
Şekil 4.29. Temmuz-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram



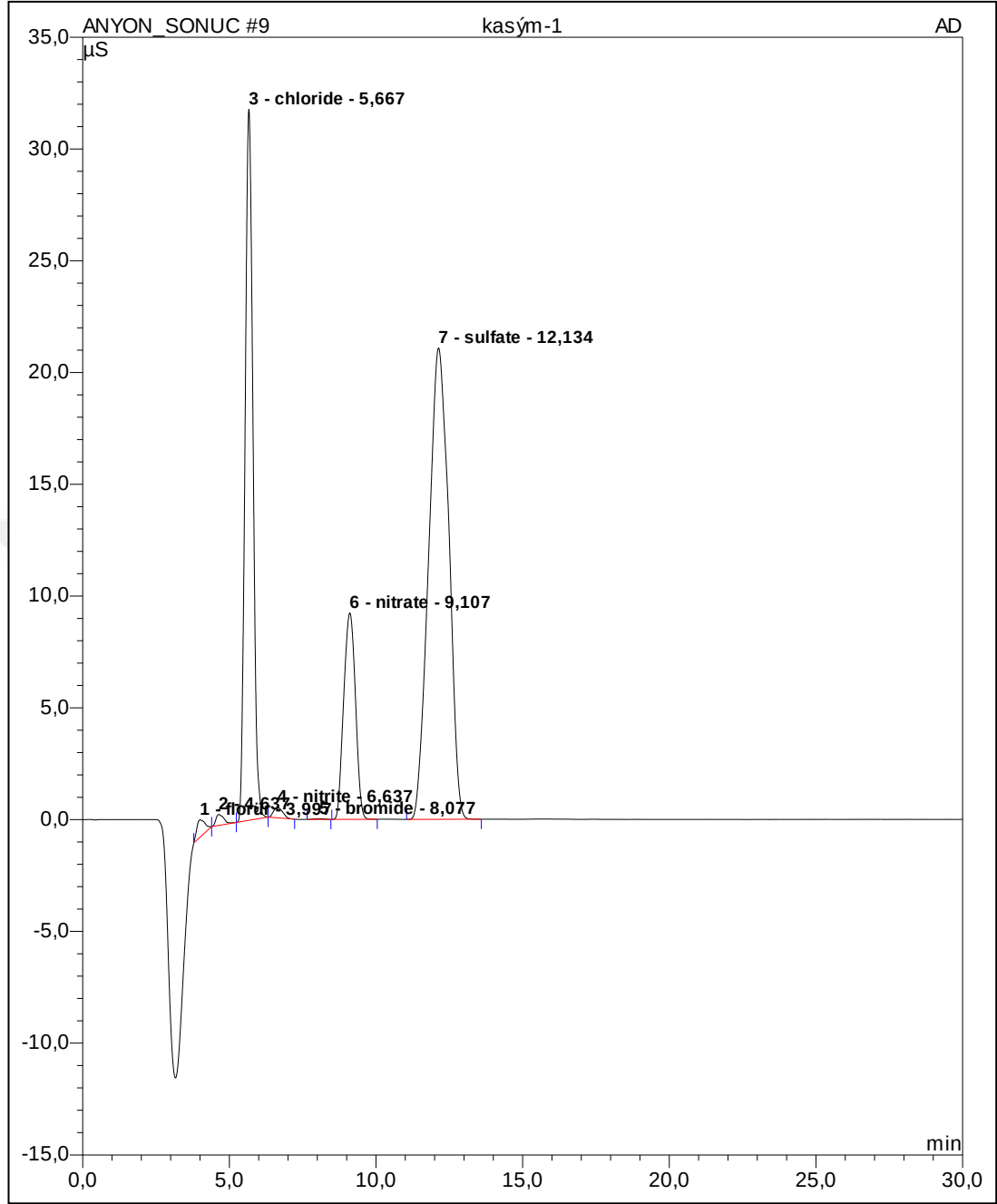
Şekil 4.30. Ağustos-8 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram



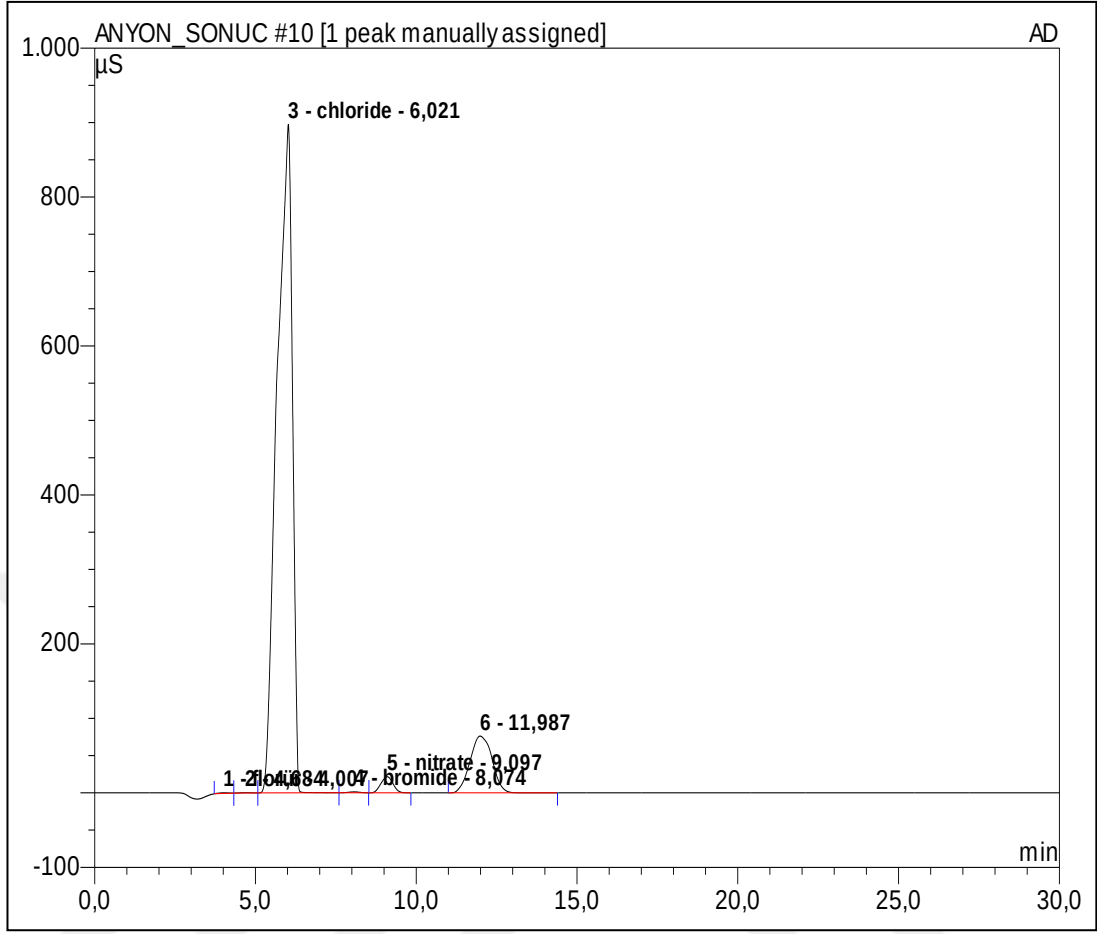
Şekil 4.31. Eylül-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram



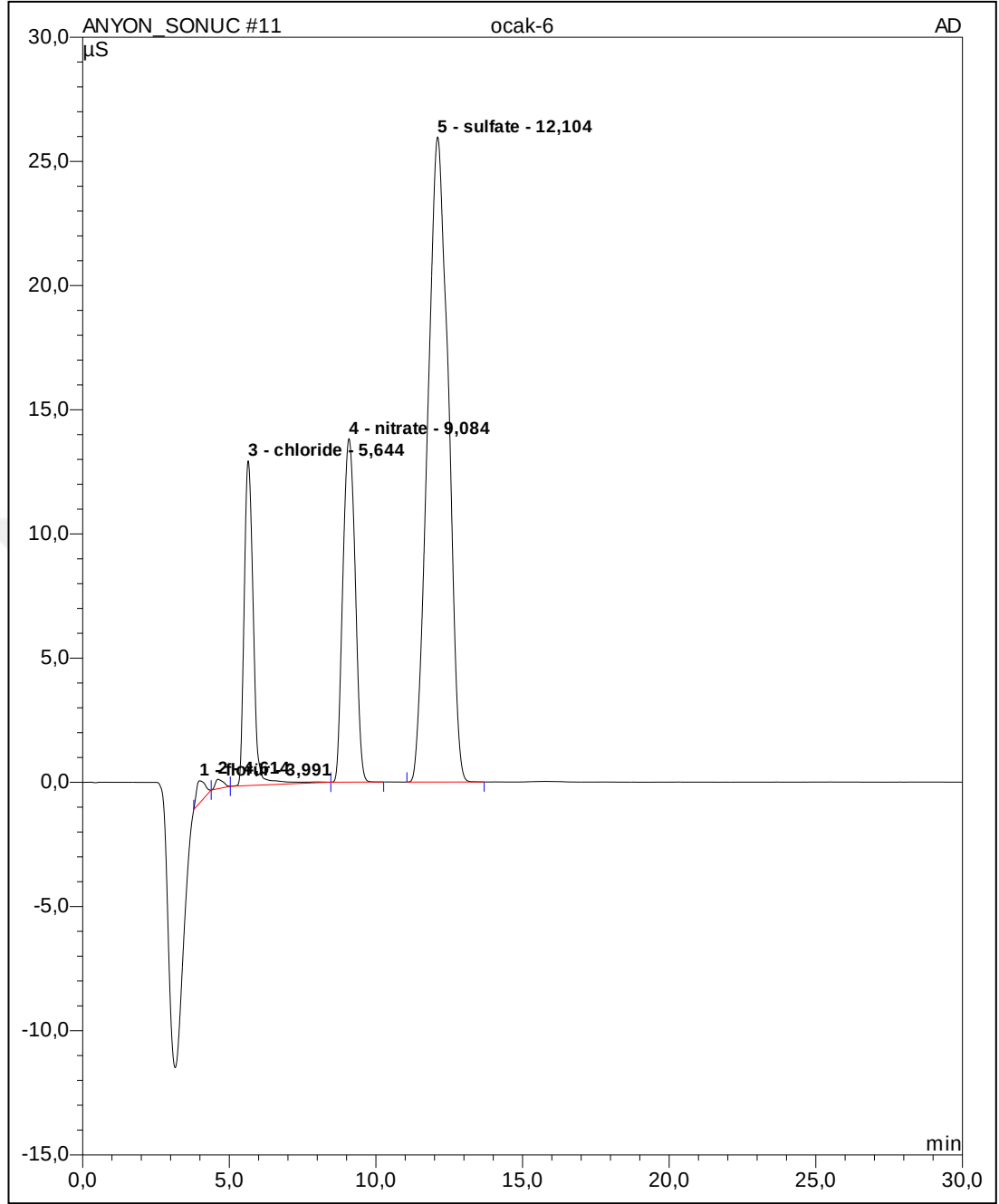
Şekil 4.32. Ekim-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram



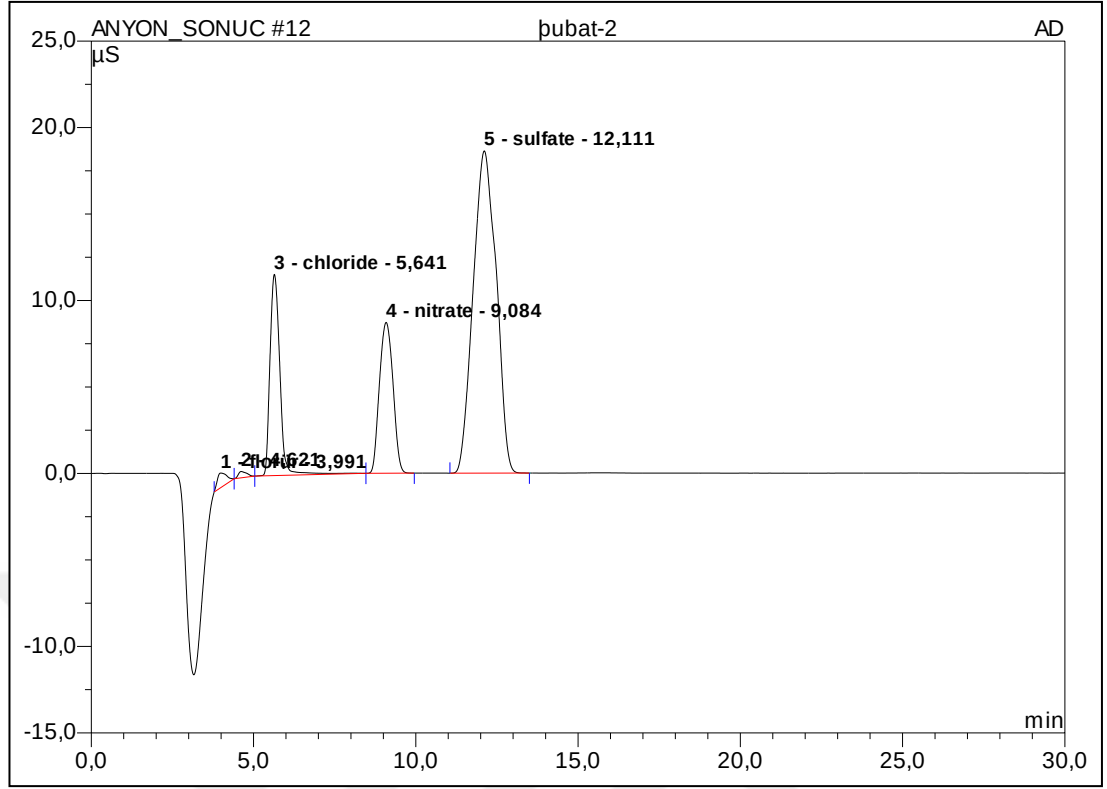
Şekil 4.33. Kasım-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram



Şekil 4.34. Aralık-1 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram



Şekil 4.35. Ocak-6 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram



Şekil 4.36. Şubat-2 numunesinin anyon içeriğine ait kromatogram

Tablo 4.35. Turnasuyu Çayı su numunelerinin **anyon** içerikleri için iyon kromatografik sonuçlar

Numune No	İçerik	İyon Kromatografik Sonuçlar			
		Cl ⁻		NO ₃ ⁻	
		(mol/L)	(mg/L)	(mol/L)	(mg/L)
1	Mart-1	2,14x10 ⁻⁴	7,59±0,37	3,19x10 ⁻⁵	1,98±0,09
2	Nisan-7	3,58x10 ⁻⁶	0,13±0,01	<LOD	<LOD
3	Mayıs-4	5,78x10 ⁻⁶	0,21±0,01	5,02x10 ⁻⁶	0,31±0,01
4	Haziran-1	8,51x10 ⁻⁴	30,22±1,65	1,13x10 ⁻⁵	0,70±0,03
5	Temmuz-1	1,08x10 ⁻³	383,42±16,21	8,71x10 ⁻⁶	0,05±0,01
6	Ağustos-8	7,25x10 ⁻⁶	0,26±0,01	2,51x10 ⁻⁵	1,56±0,06
7	Eylül-1	1,46x10 ⁻³	518,31,42±20,23	<LOD	<LOD
8	Ekim-1	1,87x10 ⁻⁴	6,64±0,33	6,40x10 ⁻⁵	3,97±0,20
9	Kasım-1	1,65x10 ⁻⁵	0,58±0,02	3,89x10 ⁻⁵	2,41±0,12
10	Aralık-1	8,17x10 ⁻⁴	29,03±1,45	8,50x10 ⁻⁵	5,27±0,27
11	Ocak-6	7,95x10 ⁻⁶	0,28±0,01	6,13 x10 ⁻⁵	3,80±0,18
12	Şubat-2	6,91x10 ⁻⁶	0,25±0,01	3,82x10 ⁻⁵	2,37±0,11

4.3. İstatistiksel Analiz

Potansiyometri ve iyon kromatografi yöntemleri ile elde edilen sonuçlar için istatistiksel çift taraflı t-testi uygulanmıştır. Na⁺, K⁺, Cl⁻ ve NO₃⁻ iyonları için ayrı ayrı yapılan test sonuçları sırasıyla Tablo 4.36.-4.39.'da verilmiştir.

Tablo 4.36. Su numunelerinin katyon duyarlı Na⁺ içeriğinin potansiyometri ve iyon kromatografi metotları ile elde edilen karşılaştırmalı analiz sonuçları (% 95 güven seviyesinde N = 3 için)

Numune	Na ⁺ miktarı (ppm)*		t-test**
	Potansiyometri	İyon Kromatografi	
Mart-1	8,89±2,50	19,09±0,95	0,442
Nisan-7	20,18±5,28	1,54±0,07	
Mayıs-4	89,74±9,66	2,98±0,15	
Haziran-1	18,02±0,79	81,67±4,10	
Temmuz-1	32,93±1,96	102,63±5,13	
Ağustos-8	45,80±6,23	3,16±0,16	
Eylül-1	23,67±2,20	135,72±6,77	
Ekim-1	11,28±1,13	20,03±1,01	
Kasım-1	27,33±2,63	3,56±0,18	
Aralık-1	1,99±0,14	76,88±3,85	
Ocak-6	1,36±0,17	2,39±0,11	
Şubat-2	13,49±9,25	2,05±0,10	

* Sonuçlar 3 ölçüm için ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir.

** DeneySEL t-test değeridir. t-kritik değeri=0,703

Tablo 4.37. Su numunelerinin katyon duyarlı K⁺ içeriğinin potansiyometri ve iyon kromatografi metotları ile elde edilen karşılaştırmalı analiz sonuçları (% 95 güven seviyesinde N = 3 için)

Numune	K ⁺ miktarı (ppm)*		t-test**
	Potansiyometri	İyon Kromatografi	
Mart-1	4,53±0,95	9,35±0,47	0,332
Nisan-7	0,16±0,04	4,06±0,20	
Mayıs-4	24,69±1,91	7,77±0,40	
Haziran-1	71,96±4,71	32,35±1,60	
Temmuz-1	25,72±1,91	39,51±1,98	
Ağustos-8	1,02±0,11	9,14±0,45	
Eylül-1	6,50±0,64	54,80±2,73	
Ekim-1	1,54±0,21	13,94±0,71	
Kasım-1	0,91±0,07	7,96±0,42	
Aralık-1	5,37±0,16	29,73±1,39	
Ocak-6	1,02±0,15	6,02±0,31	
Şubat-2	2,84±0,28	5,46±0,26	

* Sonuçlar 3 ölçüm için ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir.

** DeneySEL t-test değeridir. t-kritik değeri=0,703

Tablo 4.38. Su numunelerinin anyon duyarlı Cl⁻ içeriğinin potansiyometri ve iyon kromatografi metotları ile elde edilen karşılaştırmalı analiz sonuçları (% 95 güven seviyesinde N = 3 için)

Numune	Cl ⁻ miktarı (ppm)*		t-test**
	Potansiyometri	İyon Kromatografi	
Mart-1	196,74±28,21	7,59±0,37	0,034
Nisan-7	1,47±0,15	0,13±0,01	
Mayıs-4	31,32±9,12	0,21±0,01	
Haziran-1	33,88±1,69	30,18±1,50	
Temmuz-1	308,31±39,16	38,44±1,93	
Ağustos-8	51,70±1,58	0,26±0,01	
Eylül-1	35,44±1,47	51,79±2,59	
Ekim-1	100,30±7,15	6,64±0,33	
Kasım-1	25,01±1,28	0,58±0,02	
Aralık-1	2,21±0,21	29,48±1,46	
Ocak-6	2,02±0,20	0,28±0,01	
Şubat-2	193,90±7,29	0,25±0,01	

* Sonuçlar 3 ölçüm için ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir.

** DeneySEL t-test değeridir. t-kritik değeri=0,703

Tablo 4.39. Su numunelerinin anyon duyarlı NO₃⁻ içeriğinin potansiyometri ve iyon kromatografi metotları ile elde edilen karşılaştırmalı analiz sonuçları (% 95 güven seviyesinde N = 3 için)

Numune	NO ₃ ⁻ miktarı (ppm)*		t-test**
	Potansiyometri	İyon Kromatografi	
Mart-1	4,38±0,20	1,98±0,09	0,027
Nisan-7	2,56±0,26	<LOD	
Mayıs-4	19,24±3,57	0,31±0,01	
Haziran-1	0,33±0,02	0,70±0,03	
Temmuz-1	6,03±0,28	0,05±0,01	
Ağustos-8	6,76±0,56	1,56±0,06	
Eylül-1	20,04±1,34	<LOD	
Ekim-1	32,31±2,59	3,97±0,20	
Kasım-1	4,67±0,20	2,41±0,12	
Aralık-1	6,61±0,72	5,27±0,27	
Ocak-6	10,15±0,71	3,80±0,18	
Şubat-2	7,35±0,51	2,37±0,11	

* Sonuçlar 3 ölçüm için ortalama ± standart sapma şeklinde verilmiştir.

** Deneyisel t-test değeridir. t-kritik değeri=0,703

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler genel olarak değerlendirildiğinde laboratuvarımızda hazırladığımız tümüyle katı hal PVC membran katyon ve anyon duyarlı mikrosensörlerin doğru, kesin, hızlı, tekrarlanabilir ve istatistiki olarak kabul edilebilir davranışlar sergilediği belirlenmiştir.

Ordu İli Turnasuyu Çayından toplanan çevre suyu numuneleri için yapılan potansiyometrik ve iyon kromatografik analizler sonucunda Çay boyunca mevsimsel değişimlere bağlı olarak iyon konsantrasyonlarının değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 4.37-4.46).

Potansiyometrik veriler değerlendirildiğinde;

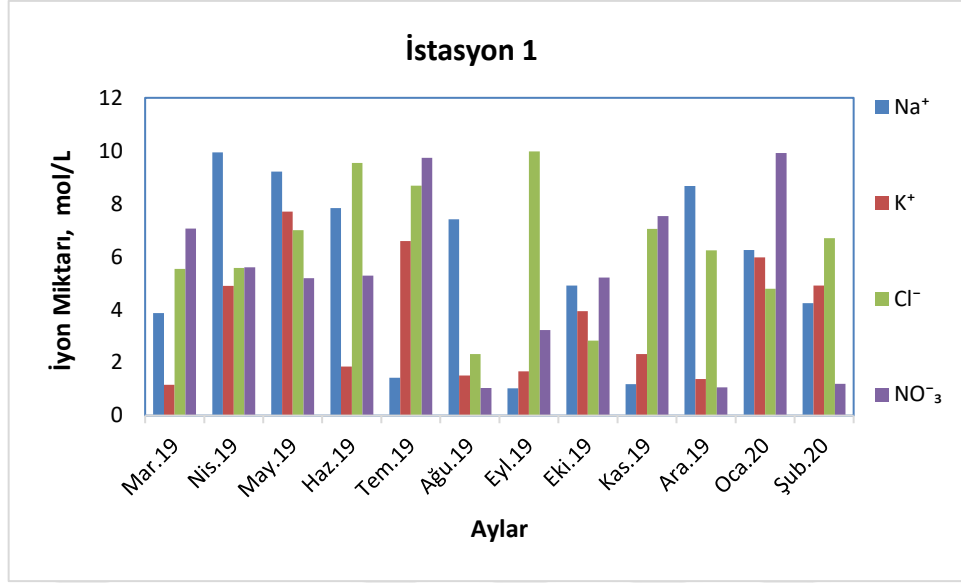
Na^+ iyonu için en yüksek ve en düşük konsantrasyon değerleri 120,88 mg/L ve 0,30 mg/L olarak sırasıyla Şubat ayı 4 nolu ve Aralık ayı 10 nolu istasyonlara ait numuneler için belirlenmiştir.

K^+ iyonu için en yüksek ve en düşük konsantrasyon değerleri 71,96 mg/L ve 0,16 mg/L olarak sırasıyla Haziran ayı 1 nolu ve Nisan ayı 7 nolu istasyonlara ait numuneler için belirlenmiştir.

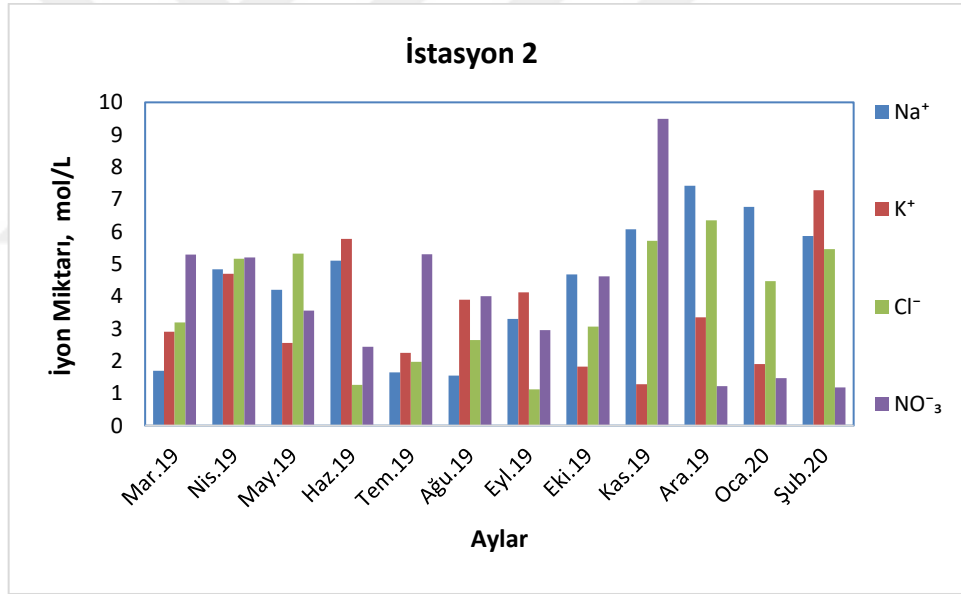
Cl^- iyonu için en yüksek ve en düşük konsantrasyon değerleri 615,51 mg/L ve 1,15 mg/L olarak sırasıyla Mart ayı 8 nolu ve Nisan ayı 6 nolu istasyonlara ait numuneler için belirlenmiştir.

NO_3^- iyonu için en yüksek ve en düşük konsantrasyon değerleri 123,33 mg/L ve 0,14 mg/L sırasıyla Ekim ayı 6 nolu ve Haziran ayı 3 nolu istasyonlara ait numuneler için belirlenmiştir.

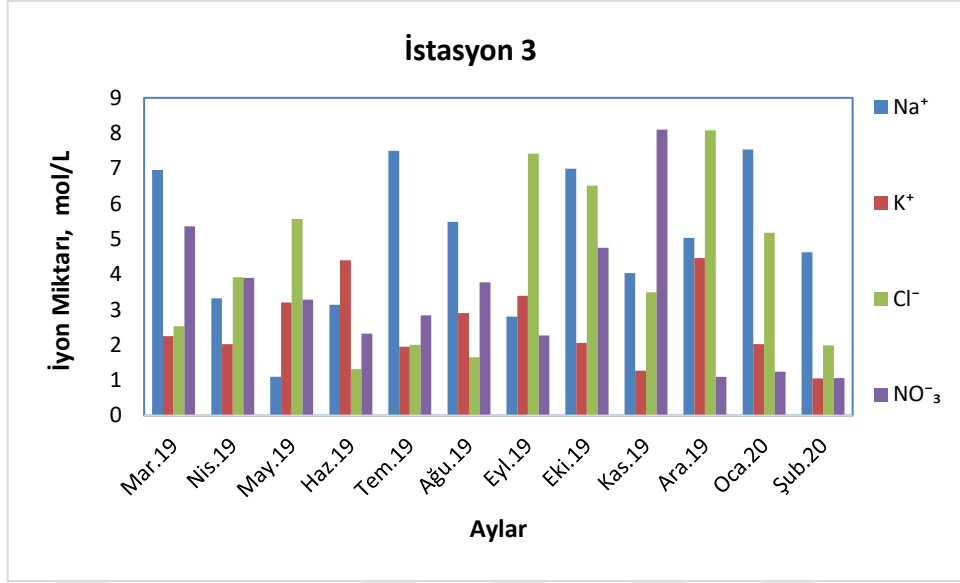
Elde edilen potansiyometrik ve iyon kromatografik veriler istatistiki (çift taraflı t-testi) olarak karşılaştırıldığında; Na^+ , K^+ , Cl^- ve NO_3^- iyonları için hesaplanan deneysel t değerleri sırasıyla 0,442, 0,332, 0,034 ve 0,027 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen deneysel t değerleri kritik t değeri olan 0,703 değerinden küçük olduğundan ***“Potansiyometri ve İyon Kromatografi metotları ile elde edilen sonuçların birbirleri ile uyum içerisinde olduğu”*** sonucuna varılmıştır.



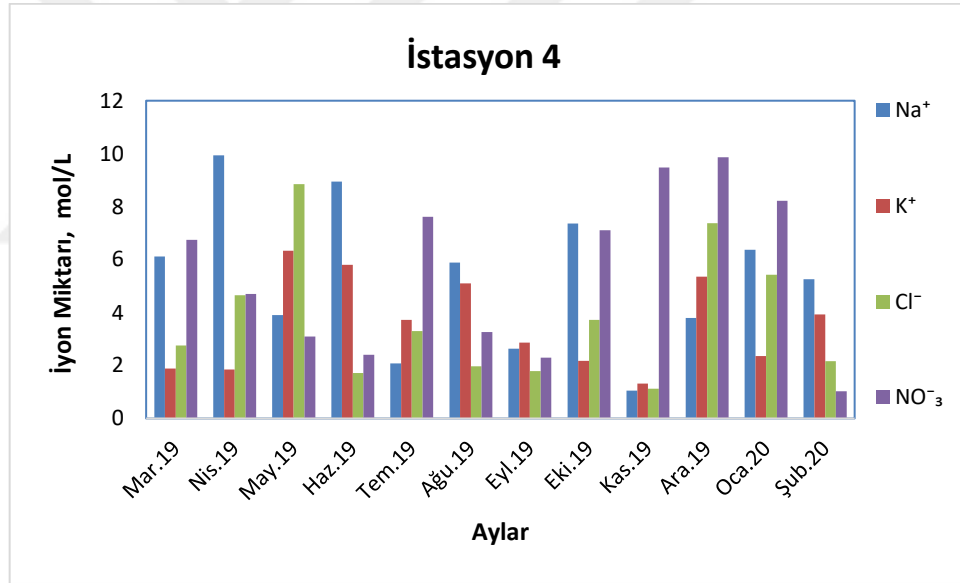
Şekil 4.37. 1 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü



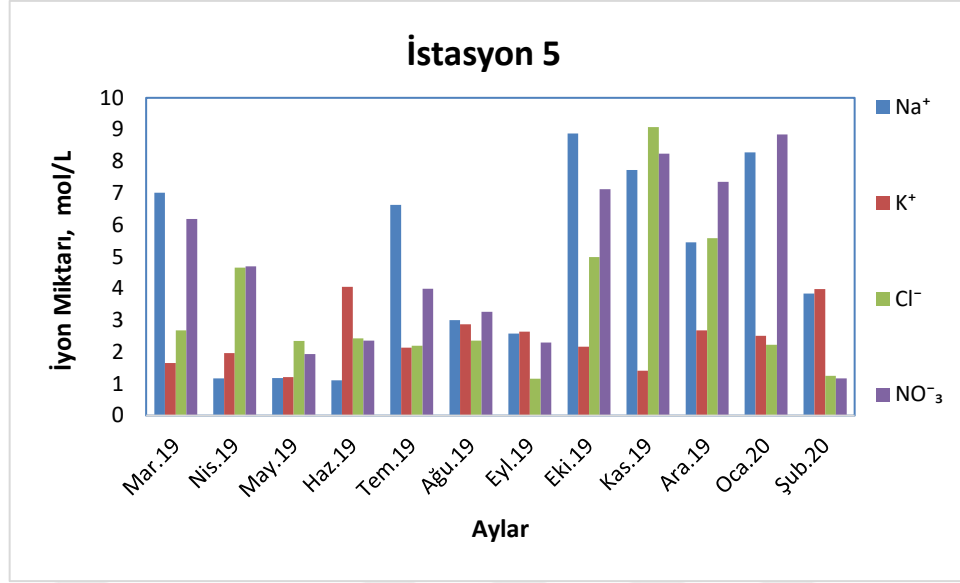
Şekil 4.38. 2 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü



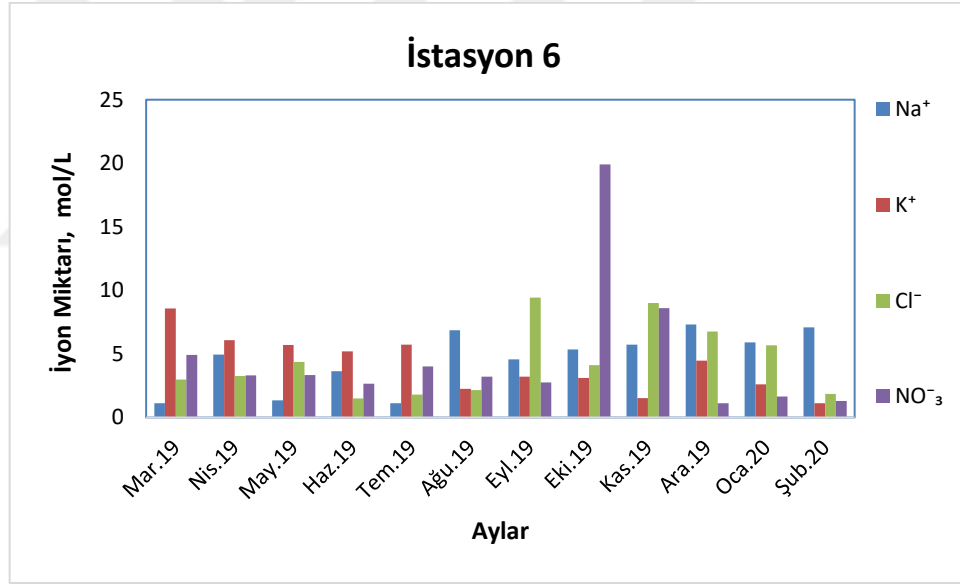
Şekil 4.39. 3 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü



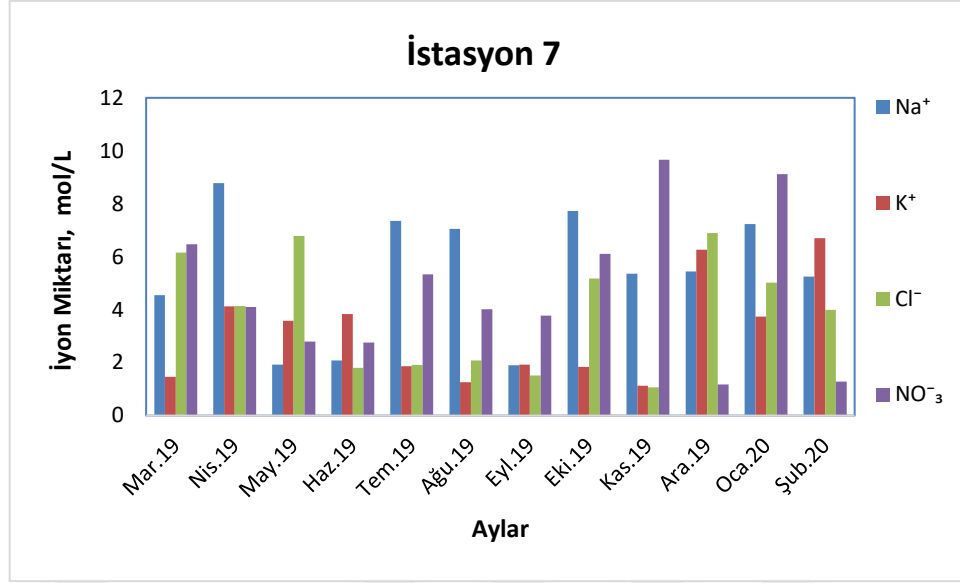
Şekil 4.40. 4 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü



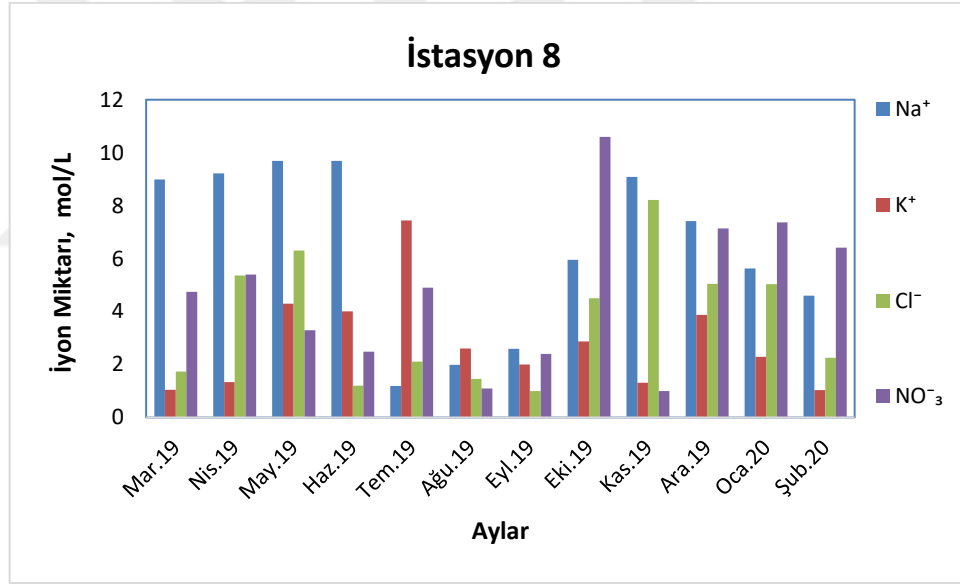
Şekil 4.41. 5 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü



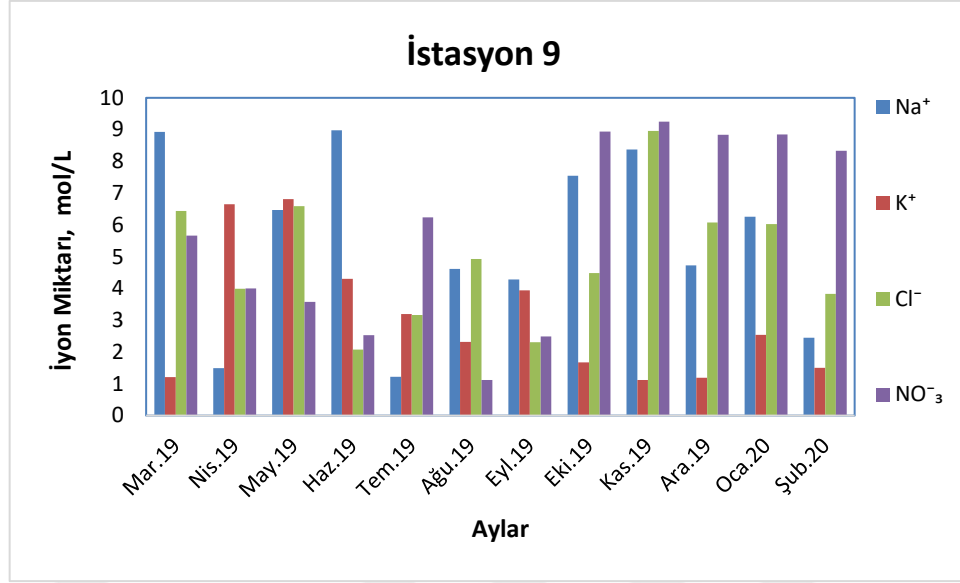
Şekil 4.42. 6 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü



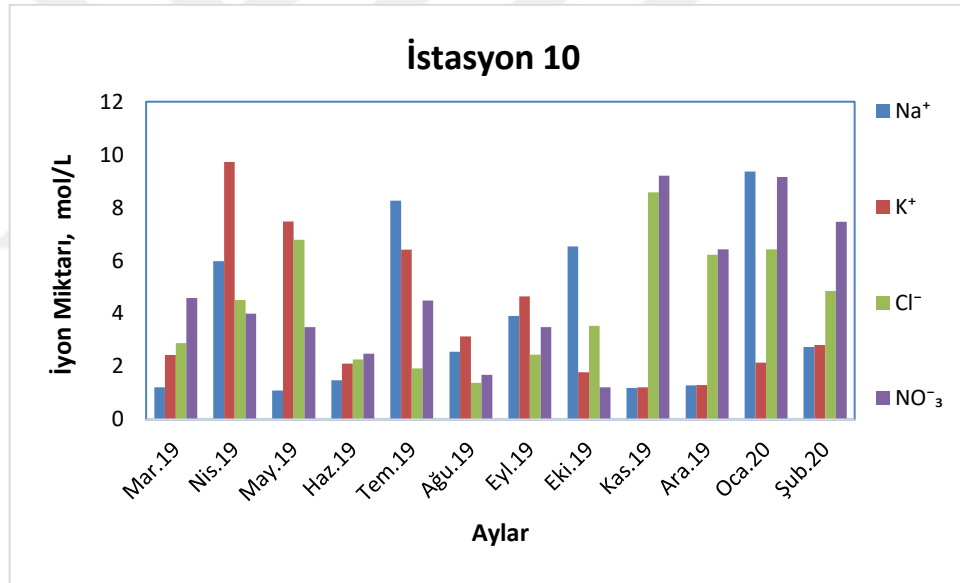
Şekil 4.43. 7 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü



Şekil 4.44. 8 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü



Şekil 4.45. 9 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü



Şekil 4.46. 10 nolu istasyona ait iyon içeriklerinin 12 aylık grafiksel görünümü

KAYNAKLAR

- A Dubbe M. Wake, Y. Sadaoka, 1997, Yttria/carbonate composite solid electrolytes for potentiometric CO₂ sensors, Solid State Ionics, Volume 96, Issues 3–4, Pages 201-208
- Alpaut O., 1978. Elektrokimya, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, s. 256
- Alegret S., Alanso J., Batroli J., Martinez-Fabregas E., 1989. Chloride Determination in Serum by a Flow-Injection Analysis Precipitation Pseudotitration Technique using a Flow-Through all Solid-State Silver Electrode, Analyst, Volume 114, Pages 1443-1447.
- Akkurt, F., Alıcılar, A., Şendil, O., 2002. Sulara Bulunan Nitratın Adsorbsiyon Yoluyla Uzaklaştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17. Cilt, 4. Sayı, s. 83-91
- Aydınöz, M., 2005. Afyonkarahisar Bölgesinde Bulunan Kaplıca Sularının Mevsimsel Analizi, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Altundağ H., Dündar M. Ş., Yüceel Ç., Albayrak S., 2011, Sakarya İli İçme Sularında Flor Düzeylerinin İyon Seçici Elektrot Ve İyon Kromatografisi İle Tayini, SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, 15. Cilt, 2. Sayı, s. 129-138
- Ana Luiza G. Mendes, Mariele S. Nascimento, Rochele S.Picoloto, Erico M.M.Flores, Paola A.Mello, 2020, A sample preparation method for fluoride detection by potentiometry with ion-selective electrode in medicinal plants, Journal of Fluorine Chemistry, Volume 231
- Asan A., 2019. Çevre Numunelerindeki Magnezyumun Akış Enjeksiyon Analiz Yöntemi ile İyon Seçici Elektrot Kullanarak Potansiyometrik Tayini, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2. Cilt, 1. Sayı, s. 30-40.
- Ataş H., 2015, Çoklu İyon-Seçici Elektrot Sistemleri Kullanılarak Farklı Su Numunelerindeki Bazı İyonların Eş Zamanlı Tayini, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi
- Aydın A., İçtiğimiz sudaki diğer büyük sorun: Mineral eksikliği, Beslenme Bülteni, 2013.
- Buck R. P., Lindner E., 1994, Recommendations For Nomenclature of Ion-Selective Electrodes, International Union of Pure And Applied Chemistry, Pure and Applied chem., Volume 66, Issues 12, Pages 2527-2538

- Covington A.K., 1974. Ion-Selective Electrodes, Analytical Chemistry, CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry, Pages 355-406.
- Çoldur F., Boz H., Önder A., 2016, Bütünüyle Katı Hal PVC Membran İzoniazid-Seçici Potansiyometrik Sensör, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9. Cilt, 1. Sayı, s. 29-39
- Deelder R.S., Linnsen H.A., Koen J.G., Beeren A.B., 1981. A Potentiometric Membrane Cell as Detector in Liquid Chromatography, Volume 203, Pages 153-163
- Demir K., 2019. Ordu İli İçme Sularında Florür Seviyesinin Araştırılması, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Dişli, M., Akkurt, F., Alıcılar, A., 2004, Şanlıurfa Balıklıgöl suyunun bazı kimyasal parametrelerinin mevsimlere göre değişiminin değerlendirilmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19. Cilt, 3. Sayı, s. 287-294,
- Dirk de Beer, Andrew Bissett, Rutger de Wit, Henk Jonkers, Stefanie Köhler-Rink, Hakyun Nam, Byeong Hyo Kim, Gabriele Eickert, and Mor Grinstain, 2008, A microsensor for carbonate ions suitable for microprofiling in freshwater and saline environments, Limnology and Oceanography: Methods 6, Pages 532–541
- Duygu Uner Bahar, Cihan Topcu, Didem Ozcimen, Ibrahim Isildak, 2020, A Novel Borate Ion Selective Electrode Based On Carbon Nanotube-Silver Borate, International Journal of Electrochemical Science, Volume 15, Pages 899 – 914
- Eren H., Andaç M., 2010. NO₂-Seçici Potansiyometrik Sensör ve Uygulamaları, 24. Ulusal Kimya Kongresi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
- Erulaş F. A., 2010, Biyolojik Sivilarda İyon Kromatografisi İle Anyon Tayini, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi
- Eylem C. C., 2016, Bazı Numunelerde Bakır Ve Çinko'nun Eş Zamanlı Olarak İyon Seçici Elektrot İle Tayini, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Fogg, A. G., Pathan, A. S., D. Thorburn Burns, 1974, A Liquid State Tetrafluoroborate Ion-Selective Electrode Based on Brilliant Green Tetrafluoroborate. Analytical Letters, Volume 7, Issue 8-9, Pages 545-551
- G.D.A Laboratuvar Hizmetleri [www.google.com](http://www.gda.com.tr/Sayfalar/su-analizleri), <http://www.gda.com.tr/Sayfalar/su-analizleri>, Erişim Tarihi 13.04.2018
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., 1994, Su Kirliliği, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi no:12 1.Baskı. Sağlık Bakanlığı Yayınları, s. 16-17
- Haddad P.R., Jackson P.E., 1990. Ion chromatography: Principles and Applications, Elsevier Science Publishers B.V., 775.
- <http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/18.html>, Erişim Tarihi 04.03.2020
- <http://ders.im/dokuman/sularda-fiziksel-kontroller>, Erişim Tarihi 04.03.2020
- https://en.wikipedia.org/wiki/Mikhail_Tsvet, Erişim Tarihi 03.03.2020

<http://grumlab.giresun.edu.tr/tr/page/lc-ms-gc-ms-laboratuvari/4284>., Erişim Tarihi 24.06.2020

<https://tr.pinterest.com/pin/95208979606458953/>., Erişim Tarihi 24.06.2020

<https://tr.wikipedia.org/wiki/Kromatografi>., Erişim Tarihi 03.03.2020

<https://www.epfl.ch/labs/lis/page-13130-en-html/page-87745-en-html/>., Erişim Tarihi 30.06.2020

<https://www.fendelisi.com/2019/03/3-madde-donguleri-ve-cevre-sorunlar.html>., Erişim Tarihi 02.03.2020

<http://www.kimyaders.com/eterlerin-siniflandirilmesi-adlandirilmesi.html>., Erişim Tarihi 24.06.2020

<http://www.olaganustukanitlar.com/iki-yanici-gazdan-hidrojen-ve-oksijen-olusmus-olmasina-ragmen-su-neden-yanmaz/>., Erişim Tarihi 03.03.2020

<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/365254?lang=en®ion=TR>., Erişim Tarihi 30.06.2020)

<https://www.slideserve.com/brody/evresel-al-malarda-aletli-analiz-ev-328>., Erişim Tarihi 24.06.2020

<https://www.slideshare.net/pavanichowdarychowda/potentiometry-88102261>., Erişim Tarihi 24.06.2020

<https://www.su.gen.tr/suyun-molekul-yapisi.html>., Erişim Tarihi 02.03.2020

Isildak I., Covington A. K., 1990. Ion-selective electrode potentiometric detection in ion chromatography, *Electroanalysis*, Volume 5, Issues 9-10, Pages 815-824.

Isildak I. and Covington A.K., 1993. Ion-Selective Electrode Potentiometric Detection in Ion-Chromatography, *Electroanalysis*, Volume 5, Issues 9-10, Pages 815-824

Isildak I., Asan A., 1999. Simultaneous Detection of Monovalent Anions and Cations using all Solid-State Contact PVC Membrane Anion and Cation Selective Electrodes as Detectors in Single Column Ion Chromatography, *Talanta*, Volume 48, Issue 4, Pages 967-978

Isildak Ö., Özbek O., Application of Potentiometric Sensors in Real Samples, *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, ISSN: 1040-8347 (Print) 1547-6510 (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/batc20>

Isildak Ö., Özbek O., 2020, Application of Potentiometric Sensors in Real Samples, *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, DOI: 10.1080/10408347.2019.1711013

IUPAC Analytical Chemistry Division, Commission on Electroanalytical Chemistry, 1994. Recommendations for nomenclature of Ion-selective Electrodes, *Pure Appl. Chem.*, Volume 66, Issue 12, Pages 2527-2536.

- Kemer B., 2010, Yeni Tip Magnetit Temelli Katı-Hal Kompozit pH Sensör ve Uygulamaları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi
- Koch W.F., 1988. Ion Chromatography from Anions to Metals, Research of the National Bureau of Standards, Volume 93, Issue 3, Pages 411.
- Kolycheva N. and Muller H., 1991. Flow-Through Calcium-Selective Electrode Application in Flow-Injection Analysis and Ion Chromatography, *Analytica Chimica Acta*, Volume 242, Pages 65-72
- Lindner E., Horvath M., Toth K., Pungor E., Bitter I., v.d., 1992. Zinc Selective Ionophores for Potentiometric and Optical Sensors, *Analytical Letters*, Volume 25, Issue 3, Pages 453-470.
- Magdalena Maj-Żurawska, Dorota Ziemianek, Agnieszka Mikołajczuk, Józef Mieczkowski, Andrzej Lewenstam, Adam Hulanicki & Tomasz Sokalski, 2003, Improved selectivity and detection limit of the carbonate-selective electrode, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, Volume 376, Pages 524–526
- Marta Jarczewska, Ewa Kierzkowska, Robert Ziółkowski, Łukasz Górski, Elżbieta Malinowska, 2015, Electrochemical oligonucleotide-based biosensor for the determination of lead ion, *Bioelectrochemistry*, Volume 101, Pages 35-41
- Moody G.J. and Thomas J.D.R., 1988. Characterization of Polyvinyl-Chloride Barium Ion-Selective Electrodes without an Internal Reference Solution, *Analyst*, Volume 113, Issue 7, Pages 1023-1027.
- Mozhgan Parsaei, Zahra Asadi, Saeid Khodadoust, 2015, A sensitive electrochemical sensor for rapid and selective determination of nitrite ion in water samples using modified carbon paste electrode with a newly synthesized cobalt(II)-Schiff base complex and magnetite nanospheres, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Volume 220, Pages 1131-1138
- Natalia Abramova, Sergey Levichev, Andrey Bratov, 2010, The influence of CO₂ on ISFETs with polymer membranes and characterization of a carbonate ion sensor, *Talanta*, Volume 81, Issues 4–5, Pages 1750-1754
- Nomura T., Masui K. and Nakagawa G., 1990. Anion-Selective Properties of Alkali Metal-Free Lead Phosphate Glasses Containing Silver Chloride and Their Application in an Ion-Selective Electrode, *Analytica Chimica Acta*, Volume 237, Pages 135-140.
- Nomura T., Hikichi Y., Nakagawa G., 1988. Determination of Iodide-Ion using Alkali-Free Lead Phosphate-Glasses as Potentiometric Detector Sensors in Non Suppressed Ion Chromatography, *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, Volume 61, Issue 8, Pages 2993-2995.
- Özöğüt, D., Kromatografi ile Ayırma Yöntemleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü Organik Kimya Laboratuvar Notları., <https://www.ogu.edu.tr/images/birimduyuru/20091223153619.doc.>, Erişim Tarihi 14.04.2018

- Pandey S.D. and Tripathi, 1982. Investigation of Some New Solid CationExchange Membrane Electrodes for Activity Determination of Monovalent Cations, *Electrochimica Acta*, Volume 27, Issue 12, Pages 1715-1721.
- Skoog D.A., West D.M. and Holler F.J., 1990. *Fundamentals of Analytical Chemistry*, Saunders College Publishing, Rinehart and Winston Inc., Pages 496
- Smith R.M. and Beck S., 1984. High-Performance Liquid Chromatographic Analysis of Eugenol in Pimento using Ultraviolet and Electrochemical Detection, Smith R.M. and Beck S., 1984. High-Performance Liquid Chromatographic Analysis of Eugenol in Pimento using Ultraviolet and Electrochemical Detection, *Journal of Chromatography A*, Volume 291, Pages 424-427,
- Takeuchi T., Isogimi K., Kojima T., Miwa S. T., 1999. Simultaneous separation of both anions and cations in ion chromatography, *Chromatography*, Volume 20, Pages 118.
- Tofan S., 2008, Konya Bölgesindeki İçme Sularında Metal Tayini, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Tomasz Sokalski, Dariusz Paradowski, Joanna Ostaszewska, Magdalena Maj-Zurawska, Józef Mieczkowski, Andrzej Lewenstam and Adam Hulanicki, 1996, Observations on the behaviour of some trifluoroacetophenone derivatives as neutral carriers for carbonate ion-selective electrodes, Volume 121, Pages 133-138
- Topcu C., 2016, Nikel-Sakkarin Temelli PVC-Membran Karbonat (CO₃²⁻) Seçici Elektrot ve Potansiyometrik Uygulamaları, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6. Cilt, 2.Sayı, s. 283-292.
- World Health Organization “Guidelines for Drinking-water Quality, 2011, Pages 323.
- World Health Organization Guidelines for Drinking-Water Quality, 2011, (Malta),Google Scholar
- Yılmaz N.S., 2013, Aydın ve Çevresindeki Jeotermal Sulardaki Bazı Elementlerin ve İyonların ICP-OES ve IC ile Analizi, Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Yolcu M., 2008, Seçici Kondüktometrik ve Potansiyometrik Mikrosensörlerin ve Hareketli Ölçüm Sistemlerinin Çevre Örneklerine Uygulanması, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Johan Bobacka, Magdalena Maj-Zurawska, Andrzej Lewenstam, 2003, Carbonate ion-selective electrode with reduced interference from salicylate, *Biosensors and Bioelectronics*, Volume 18, Issues 2–3, Pages 245-253
- Junjie Shen, Simona Gagliardi, Martin R.S.MCoustra, Valeria Arrighi, 2016, Effect of humic substances aggregation on the determination of fluoride in water using an ion selective electrode, *Chemosphere*, Volume 159, Pages 66-71
- Xiaojiang Xie, Eric Bakker, 2013, Non-Severinghaus Potentiometric Dissolved CO₂ Sensor with Improved Characteristics, *Analytical Chemistry*, Volume 85, Pages 1332-1336

Xiong Y., Huang Y., Ye Z., Chen Chen., Zhang Z., Selective Determination of Metformin in Urine Sample based on Molecularly Imprinted Polymer-Chemiluminescence Sensor, *Advanced Materials Research*, Volume 550-553, Pages 798-891, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.550-553.798,



ÖZGEÇMİŞ

Meral GÜNAY 1993 yılında Ordu ilinde doğdu. İlkokulu Çanakkale’de, orta ve lise eğitimini Ordu’da tamamladı. 2011 yılında Atatürk Sağlık Meslek Lisesi’nden Hemşire olarak mezun oldu. 2011 yılında başladığı Cumhuriyet Üniversitesi Tıbbi Laboratuvar Teknikerliği Bölümü’nü 2013 yılında bitirdi ve 2015 yılında başladığı Giresun Üniversitesi Kimya Bölümü’nü 2017 yılında bitirdi. 2017 yılında Giresun Üniversitesi Kimya Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2013 yılında Gebze Kadın Kapalı M Tipi Cezaevinde Hemşire olarak çalışmaya başladı oradan 2015 yılında Ordu Üniversitesi’nde çalışmaya başladı ve halen görev yapmaktadır.