

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

**SAPANCA GÖLÜ HAVZASINDA AĞIR METALLERİN
BİRİKİM ETKİSİ VE KÜTLE DENGİ MODELİ**

**DOKTORA TEZİ
Hülya DEMİREL**

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Asude ATEŞ

Şubat 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAPANCA GÖLÜ HAVZASINDA AĞIR METALLERİN
BİRİKİM ETKİSİ VE KÜTLE DENGİ MODELİ**

DOKTORA TEZİ

Hülya DEMİREL

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 10/02/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Üye

Üye

Üye

Üye

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.

Hülya DEMİREL

10.02.2021

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, her konuda yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Asude ATEŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda bilgilerini benimle paylaşan Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR, Doç. Dr. Şenay Çetin DOĞRUPARMAK, Dr. Öğr. Üyesi Rabia KÖKLÜ ve Doç. Dr. Hüseyin ALTUNDAĞ'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarında desteğini esirgemeyen birlikte emek harcadığımız Çevre Yük. Müh. Nihan ÇALIŞKAN'a teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan TÜBİTAK ÇAYDAG (Proje No: 115Y357) ve Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2015-50-02-016) teşekkür ederim.

Hayatımın her evresinde olduğu gibi doktora çalışmam boyunca da bana her türlü desteklerini, hoşgörülerini ve sonsuz sevgilerini veren aileme teşekkür ederim. Bana her konuda destek olan ve çalışmalarım sırasında her türlü özveriye ve yardımı gösteren sevgili eşim Sedat DEMİREL'e ve biricik oğlum Demir Kaan'a teşekkür ederim. Doktora tezim, akademik hayatta ilerlememi her zaman destekleyen ve arkamda duran annem Safiye SEMERCİOĞLU'na atfedilmiştir.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xx
 BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
 BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÖZETİ.....	7
 BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Çalışma Bölgesinin Tanımı.....	14
3.1.1. Bölgenin meteorolojik durumu	15
3.1.2. Sapanca gölünü besleyen dereler	16
3.1.3. Sapanca gölünün kirlenmesine etki eden unsurlar	17
3.1.3.1. Kanalizasyon sistemi	17
3.1.3.2. Endüstriyel kuruluşlar.....	17
3.1.3.3. Karayolları ve demiryolları.....	19
3.1.3.4. Tarımsal faaliyetler	19
3.2. Numune Alma İstasyonları ve Numune Alma	20
3.3. Numunelerin Kalite Parametrelerinin Ölçülmesi	24

3.4. Analizlerde Kullanılan Kimyasallar	26
3.5. Analizlerde Kullanılan Metotlar.....	28
3.5.1. Su numuneleri için kullanılan metot	28
3.5.2. Hava numuneleri için kullanılan metot	28
3.5.3. Toprak numuneleri için kullanılan metot.....	28
3.5.4. Sediment numuneleri için kullanılan metot	29
3.6. İstatistiksel Analiz	30

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	31
4.1. Su Ortamında Ağır Metal Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi...	31
4.1.1. Göl suyunda ağır metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesi	31
4.1.1.1. Fiziko-kimyasal parametrelerin incelenmesi.....	31
4.1.1.2. Ağır metallerin incelenmesi.....	42
4.1.1.3. Göl suyunda fiziko-kimyasal parametreler ile ağır metallerin korelasyon analizi.....	57
4.1.2. Derelerde ağır metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesi	60
4.1.2.1. Fiziko-kimyasal parametrelerin incelenmesi.....	60
4.1.2.2. Ağır metallerin incelenmesi.....	70
4.1.2.3. Derelerde fiziko-kimyasal parametreler ile ağır metallerin korelasyon analizi.....	85
4.1.3. Yeraltı suyunda ağır metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesi	87
4.1.3.1. Fiziko-kimyasal parametrelerin incelenmesi.....	87
4.1.3.2. Ağır metallerin incelenmesi.....	95
4.1.3.3. Yeraltı suyunda fiziko-kimyasal parametreler ile ağır metallerinin korelasyon analizi.....	108
4.1.4. Su ortamlarında ağır metal kirliliğinin kirlilik indeksleri ile değerlendirilmesi	110
4.1.4.1. Ağır metallerin kontaminasyon dereceleri.....	110

4.1.4.2. Ağır metal kirlilik indeksi.....	114
4.1.4.3. Ağır metallerin potansiyel ekolojik riskleri.....	116
4.2. Sediment Ortamında Ağır Metal Konsantrasyonlarının	
Değerlendirilmesi	120
4.2.1. Fiziko-kimyasal parametrelerin incelenmesi	121
4.2.2. Ağır metallerin incelenmesi	129
4.2.2.1. Ölçüm istasyonlarına göre ağır metal	
konsantrasyonlarının incelenmesi.....	142
4.2.2.2. Sedimentte fiziko-kimyasal parametreler ile ağır	
metallerin korelasyon analizi.....	144
4.2.3. Sediment ortamında ağır metal kirliliğinin kirlilik indeksleri	
ile değerlendirilmesi	147
4.2.3.1. Ağır metallerin kontaminasyon faktörleri	147
4.2.3.2. Ağır metallerin zenginleştirme faktörleri	149
4.2.3.3. Ağır metallerin potansiyel ekolojik riskleri.....	151
4.3. Hava Ortamında Ağır Metal Konsantrasyonlarının	
Değerlendirilmesi	154
4.3.1. Fiziko-kimyasal parametrelerin incelenmesi	154
4.3.2. Ağır metallerin incelenmesi	162
4.3.2.1. Ölçüm istasyonlara göre ağır metal	
konsantrasyonlarının incelenmesi.....	177
4.3.2.2. Havada fiziko-kimyasal parametreler ile ağır	
metallerin korelasyon analizi.....	180
4.3.2.3. Toplam çökelme akıplarının hesaplanması	182
4.3.3. Hava ortamında ağır metal kirliliğinin kirlilik indeksleri ile	
değerlendirilmesi	187
4.3.3.1. Ağır metallerin zenginleştirme faktörleri	187
4.3.3.2. Ağır metallerin potansiyel ekolojik riskleri.....	189
4.4. Toprak Ortamında Ağır Metal Konsantrasyonlarının	
Değerlendirilmesi	192
4.4.1. Fiziko-kimyasal parametrelerin incelenmesi	192
4.4.2. Ağır metallerin incelenmesi	201

4.4.2.1. Ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonlarının incelenmesi.....	213
4.4.2.2. Toprakta fiziko-kimyasal parametreler ile ağır metallerin korelasyon analizi.....	215
4.4.3. Toprak ortamında ağır metal kirliliğinin kirlilik indeksleri ile değerlendirilmesi	218
4.4.3.1. Ağır metallerin kontaminasyon faktörleri	218
4.4.3.2. Ağır metallerin zenginleştirme faktörleri	220
4.4.3.3. Ağır metallerin potansiyel ekolojik riskleri.....	222
4.5. Ağır Metaller İçin Kütle Denge Modelinin Kurulması	224
 BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	235
 KAYNAKÇA.....	
EKLER.....	240
ÖZGEÇMİŞ	261
	262

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AKM	: Askıda katı madde
cm	: Santimetre
C _d	: Kontaminasyon (kirlilik) derecesi
ÇO	: Çözünmüş oksijen
DSİ	: Devlet Su İşleri
EF	: Zenginleştirme faktörü
HEI	: Ağır metal değerlendirme indeksi
HPI	: Ağır metal kirlilik indeksi
ICP-OES	: İndüktif eşleşmiş plazma- optik emisyon spektrometresi
ICP-MS	: İndüktif eşleşmiş plazma- kütle spektrometresi
kg	: Kilogram
L	: Litre
MAC	: Maksimum kabul edilebilir konsantrasyon
maks.	: Maksimum
mg	: Miligram
min.	: Minimum
mV	: Milivolt
µg	: Mikrogram
µS	: Mikrosiemens
O.C	: Organik karbon
O.M	: Organik madde
ORP	: Oksidasyon-redüksiyon potansiyeli
ort.	: Ortalama
PERI	: Potansiyel ekolojik risk indeksi
pH	: Hidronyum iyonunun aktivitesinin - logaritması
SAL	: Tuzluluk

SASKİ	: Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
SRM	: Standart referans madde
Std. sapma	: Standart sapma
T	: Sıcaklık
TDS	: Toplam katı madde
TOK	: Toplam organik karbon
TS	: Türk Standardı
°C	: Santigrat derece



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Sapanca gölünün coğrafi konumu (Kaçmaz, 2010).	14
Şekil 3.2. Sapanca bölgesinde numune alma dönemlerine ait rüzgar gülü.....	16
Şekil 3.3. Sapanca Gölü Kanalizasyon sistemini gösteren harita (Çakır, 2008).	17
Şekil 3.4. Sapanca Gölü Havzası Sanayi Tesisleri (TUBİTAK, 2010).	18
Şekil 3.5. SASKİ Sapanca Gölü numune alma istasyonları (SASKİ).	22
Şekil 3.6. Gölde su ve sediment, derinden su numunesi alma ekipmanları	22
Şekil 3.7. Toprakta numune alma ekipmanı.....	22
Şekil 3.8. Havadan numune alma ekipmanı (atmosferik bulk birikim örnekleyicisi)	23
Şekil 3.9. Numune alma istasyonları.....	23
Şekil 3.10. Numunelerin kurutulması	25
Şekil 3.11. Numunelerin öğütülmesi ve elenmesi.....	25
Şekil 3.12. Numunelerin kalite parametrelerinin ölçülmesi.....	26
Şekil 3.13. Organik madde tayini.....	26
Şekil 3.14. Numunelerin mikrodalga cihazında çözünürleştirilmesi	30
Şekil 3.15. Çözündürülme işlemi sonrası numunelerin süzülmesi	30
Şekil 4.1. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına göre TOK değerleri	32
Şekil 4.2. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına göre sıcaklık değerleri	33
Şekil 4.3. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına göre ÇO değerleri	33
Şekil 4.4. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına TDS değerleri	34
Şekil 4.5. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk değerleri.....	35
Şekil 4.6. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına iletkenlik değerleri.....	35
Şekil 4.7. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına göre pH değerleri.....	36
Şekil 4.8. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına göre ORP değerleri.....	37
Şekil 4.9. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına AKM değerleri	38
Şekil 4.10. Göl suyunda belirlenen Al konsantrasyonu	42

Şekil 4.11. Göl suyunda belirlenen As konsantrasyonu.....	44
Şekil 4.12. Göl suyunda belirlenen Ba konsantrasyonu.....	45
Şekil 4.13. Göl suyunda belirlenen Cd konsantrasyonu	46
Şekil 4.14. Göl suyunda belirlenen Co konsantrasyonu	47
Şekil 4.15. Göl suyunda belirlenen Cr konsantrasyonu	49
Şekil 4.16. Göl suyunda belirlenen Cu konsantrasyonu	50
Şekil 4.17. Göl suyunda belirlenen Fe konsantrasyonu	51
Şekil 4.18. Göl suyunda belirlenen Ni konsantrasyonu	52
Şekil 4.19. Göl suyunda belirlenen Pb konsantrasyonu	53
Şekil 4.20. Göl suyunda belirlenen Zn konsantrasyonu.....	54
Şekil 4.21. Gölde ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonları (Al, Fe için mg/L, µg/L).....	57
Şekil 4.22. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre debi değerleri	61
Şekil 4.23. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre TOK değerleri	61
Şekil 4.24. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre sıcaklık değerleri.....	62
Şekil 4.25. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre ÇO değerleri.....	62
Şekil 4.26. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre TDS değerleri.....	63
Şekil 4.27. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk değerleri	64
Şekil 4.28. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre iletkenlik değerleri	64
Şekil 4.29. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre pH değerleri	65
Şekil 4.30. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre ORP değerleri	65
Şekil 4.31. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre AKM değerleri.....	66
Şekil 4.32. Derelerde belirlenen Al konsantrasyonu.....	70
Şekil 4.33. Derelerde belirlenen As konsantrasyonu	72
Şekil 4.34. Derelerde belirlenen Ba konsantrasyonu	73
Şekil 4.35. Derelerde belirlenen Cd konsantrasyonu	74
Şekil 4.36. Derelerde belirlenen Co konsantrasyonu	75
Şekil 4.37. Derelerde belirlenen Cr konsantrasyonu.....	77
Şekil 4.38. Derelerde belirlenen Cu konsantrasyonu	78
Şekil 4.39. Derelerde belirlenen Fe konsantrasyonu.....	79
Şekil 4.40. Derelerde belirlenen Ni konsantrasyonu.....	80
Şekil 4.41. Derelerde belirlenen Pb konsantrasyonu	81

Şekil 4.42. Derelerde belirlenen Zn konsantrasyonu	82
Şekil 4.43. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonları (Al, Fe için mg/L, µg/L).....	85
Şekil 4.44. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre sıcaklık değerleri	87
Şekil 4.45. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre ÇO değerleri	88
Şekil 4.46. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre TDS değerleri	89
Şekil 4.47. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk değerleri	89
Şekil 4.48. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre iletkenlik değerleri	90
Şekil 4.49. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre pH değerleri.....	91
Şekil 4.50. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre ORP değerleri.....	91
Şekil 4.51. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre AKM değerleri	92
Şekil 4.52. Yeraltı suyunda belirlenen Al konsantrasyonu	96
Şekil 4.53. Yeraltı suyunda belirlenen As konsantrasyonu.....	97
Şekil 4.54. Yeraltı suyunda belirlenen Ba konsantrasyonu.....	98
Şekil 4.55. Yeraltı suyunda belirlenen Cd konsantrasyonu	99
Şekil 4.56. Yeraltı suyunda belirlenen Co konsantrasyonu	100
Şekil 4.57. Yeraltı suyunda belirlenen Cr konsantrasyonu	101
Şekil 4.58. Yeraltı suyunda belirlenen Cu konsantrasyonu	102
Şekil 4.59. Yeraltı suyunda belirlenen Fe konsantrasyonu	103
Şekil 4.60. Yeraltı suyunda belirlenen Ni konsantrasyonu	104
Şekil 4.61. Yeraltı suyunda belirlenen Pb konsantrasyonu.....	105
Şekil 4.62. Yeraltı suyunda belirlenen Zn konsantrasyonu.....	106
Şekil 4.63. Yeraltı sularında ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonları (Al, Fe için mg/L, µg/L).	108
Şekil 4.64. Sapanca gölünde ağır metallere ait kontaminasyon faktörleri.....	112
Şekil 4.65. Derelerde ağır metallere ait kontaminasyon faktörleri	113
Şekil 4.66. Yeraltı sularında ağır metallere ait kontaminasyon faktörleri	114
Şekil 4.67. Sapanca gölüne ait ölçüm istasyonlarına göre HPI değerleri	115
Şekil 4.68. Derelere ait ölçüm istasyonlarına göre HPI değerleri.....	116
Şekil 4.69. Yeraltı sularına ait ölçüm istasyonlarına göre HPI değerleri.....	116
Şekil 4.70. Sapanca gölünde ağır metallerin ekolojik risk değerleri.....	118
Şekil 4.71. Derelerde ağır metallerin ekolojik risk değerleri	119

Şekil 4.72. Yeraltı sularında ağır metallerin ekolojik risk değerleri	120
Şekil 4.73. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre iletkenlik değerleri	121
Şekil 4.74. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre ORP değerleri	122
Şekil 4.75. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre pH değerleri	123
Şekil 4.76. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk değerleri	123
Şekil 4.77. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre % organik madde muhtevası	124
Şekil 4.78. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre % organik karbon muhtevası	125
Şekil 4.79. Sapanca gölü sediment yapısı	125
Şekil 4.80. Sedimentte belirlenen Al konsantrasyonu	130
Şekil 4.81. Sedimentte belirlenen As konsantrasyonu	131
Şekil 4.82. Sedimentte belirlenen Ba konsantrasyonu	132
Şekil 4.83. Sedimentte belirlenen Cd konsantrasyonu	134
Şekil 4.84. Sedimentte belirlenen Co konsantrasyonu	135
Şekil 4.85. Sedimentte belirlenen Cr konsantrasyonu	136
Şekil 4.86. Sedimentte belirlenen Cu konsantrasyonu	137
Şekil 4.87. Sedimentte belirlenen Fe konsantrasyonu	138
Şekil 4.88. Sedimentte belirlenen Ni konsantrasyonu	139
Şekil 4.89. Sedimentte belirlenen Pb konsantrasyonu	140
Şekil 4.90. Sedimentte belirlenen Zn konsantrasyonu	141
Şekil 4.91. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonları (Al, Fe için mg/kg, µg/kg)	144
Şekil 4.92. Ağır metallere ait kontaminasyon faktörleri	149
Şekil 4.93. Ağır metallere ait zenginleştirme faktörleri	151
Şekil 4.94. Ağır metallerin ekolojik risk değerleri	154
Şekil 4.95. Havada ölçüm istasyonlarına göre numune hacimleri	155
Şekil 4.96. Havada ölçüm istasyonlarına göre TOK değerleri	156
Şekil 4.97. Havada ölçüm istasyonlarına göre iletkenlik değerleri	156
Şekil 4.98. Havada ölçüm istasyonlarına göre TDS değerleri	157
Şekil 4.99. Havada ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk değerleri	157
Şekil 4.100. Havada ölçüm istasyonlarına göre pH değerleri	158

Şekil 4.101. Havada ölçüm istasyonlarına göre ORP değerleri	159
Şekil 4.102. Havada belirlenen Al konsantrasyonu	162
Şekil 4.103. Havada belirlenen As konsantrasyonu	163
Şekil 4.104. Havada belirlenen Ba konsantrasyonu	165
Şekil 4.105. Havada belirlenen Cd konsantrasyonu	166
Şekil 4.106. Havada belirlenen Co konsantrasyonu	168
Şekil 4.107. Havada belirlenen Cr konsantrasyonu	169
Şekil 4.108. Havada belirlenen Cu konsantrasyonu	170
Şekil 4.109. Havada belirlenen Fe konsantrasyonu	172
Şekil 4.110. Havada belirlenen Ni konsantrasyonu	173
Şekil 4.111. Havada belirlenen Pb konsantrasyonu	175
Şekil 4.112. Havada belirlenen Zn konsantrasyonu	176
Şekil 4.113. Havada ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonları (Al ve Fe için mg/L, µg/L).	178
Şekil 4.114. İstasyonlara göre çökeltme akıları ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{gün}$)	186
Şekil 4.115. Ağır metallere ait zenginleştirme faktörleri	189
Şekil 4.116. Ağır metallerin ekolojik risk değerleri	192
Şekil 4.117. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre iletkenlik değerleri	193
Şekil 4.118. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre ORP değerleri	194
Şekil 4.119. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre pH değerleri	194
Şekil 4.120. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk değerleri	195
Şekil 4.121. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre % organik madde muhtevası	196
Şekil 4.122. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre % organik karbon muhtevası	196
Şekil 4.123. Sapanca gölü havzası toprak yapısı	197
Şekil 4.124. Toprakta belirlenen Al konsantrasyonu	201
Şekil 4.125. Toprakta belirlenen As konsantrasyonu	202
Şekil 4.126. Toprakta belirlenen Ba konsantrasyonu	204
Şekil 4.127. Toprakta belirlenen Cd konsantrasyonu	205
Şekil 4.128. Toprakta belirlenen Co konsantrasyonu	206
Şekil 4.129. Toprakta belirlenen Cr konsantrasyonu	207
Şekil 4.130. Toprakta belirlenen Cu konsantrasyonu	208
Şekil 4.131. Toprakta belirlenen Fe konsantrasyonu	209

Şekil 4.132. Toprakta belirlenen Ni konsantrasyonu	210
Şekil 4.133. Toprakta belirlenen Pb konsantrasyonu	211
Şekil 4.134. Toprakta belirlenen Zn konsantrasyonu	212
Şekil 4.135. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonları (Al, Fe için mg/kg, µg/kg).	215
Şekil 4.136. Ağır metallere ait kontaminasyon faktörleri	220
Şekil 4.137. Ağır metallere ait zenginleştirme faktörleri	222
Şekil 4.138. Ağır metallerin ekolojik risk değerleri	224
Şekil 4.139. Kütle denge modeli	225
Şekil 4.140. Sapanca Gölü kot – alan – hacim grafiği (DSİ, 1984).	227

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Sapanca bölgesinde aylık toplam yağış miktarları	15
Tablo 3.2. Sapanca bölgesinde aylık ortalama sıcaklık	15
Tablo 3.3. Numune alma istasyonlarının koordinatları.....	24
Tablo 3.4. Validasyon test sonuçları	27
Tablo 4.1. Göl suyunda kalite parametrelerinin ölçüm istasyonları bazında mevsimsel değişimi	39
Tablo 4.2. Göl suyunda kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi	41
Tablo 4.3. Göl suyunda Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).	43
Tablo 4.4. Göl suyunda As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).....	44
Tablo 4.5. Göl suyunda Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).....	45
Tablo 4.6. Göl suyunda Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).	46
Tablo 4.7. Göl suyunda Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).	48
Tablo 4.8. Göl suyunda Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).	49
Tablo 4.9. Göl suyunda Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).	50
Tablo 4.10. Göl suyunda Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L). ..	51
Tablo 4.11. Göl suyunda Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L). ...	52
Tablo 4.12. Göl suyunda Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L). ...	54
Tablo 4.13. Göl suyunda Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L)....	55
Tablo 4.14. Göl suyunda kirleticiler arasındaki Pearson korelasyonu.....	59
Tablo 4.15. Derelerde kalite parametrelerinin ölçüm istasyonları bazında mevsimsel değişimi	68
Tablo 4.16. Derelerde kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi	70
Tablo 4.17. Derelerde Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).	71
Tablo 4.18. Derelerde As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).	72
Tablo 4.19. Derelerde Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).	73
Tablo 4.20. Derelerde Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).	74

Tablo 4.21. Derelerde Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	76
Tablo 4.22. Derelerde Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	77
Tablo 4.23. Derelerde Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	78
Tablo 4.24. Derelerde Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).	79
Tablo 4.25. Derelerde Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	80
Tablo 4.26. Derelerde Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	82
Tablo 4.27. Derelerde Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	83
Tablo 4.28. Derelerde kirleticiler arasındaki Pearson korelasyonu	86
Tablo 4.29. Yeraltı suyunda kalite parametrelerinin ölçüm istasyonları bazında mevsimsel değişimi	93
Tablo 4.30. Yeraltı suyunda kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi.....	95
Tablo 4.31. Yeraltı suyunda Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).....	96
Tablo 4.32. Yeraltı suyunda As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	97
Tablo 4.33. Yeraltı suyunda Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	98
Tablo 4.34. Yeraltı suyunda Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	99
Tablo 4.35. Yeraltı suyunda Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	100
Tablo 4.36. Yeraltı suyunda Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	101
Tablo 4.37. Yeraltı suyunda Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	102
Tablo 4.38. Yeraltı suyunda Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).....	103
Tablo 4.39. Yeraltı suyunda Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	104
Tablo 4.40. Yeraltı suyunda Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	105

Tablo 4.41. Yeraltı suyunda Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	106
Tablo 4.42. Yeraltı suyunda kirleticiler arasındaki Pearson korelasyonu.....	109
Tablo 4.43. Göle ait istasyonlara göre kontaminasyon faktörleri	111
Tablo 4.44. Derelere ait istasyonlara göre kontaminasyon faktörleri	112
Tablo 4.45. Yeraltı sularına ait istasyonlara göre kontaminasyon faktörleri	113
Tablo 4.46. Ekolojik risk sınıflandırması.....	117
Tablo 4.47. Göle ait istasyonlara göre ağır metallerin ekolojik riskleri.....	118
Tablo 4.48. Derelere ait istasyonlara göre ağır metallerin ekolojik riskleri.....	119
Tablo 4.49. Yeraltı sularına ait istasyonlara göre ağır metallerin ekolojik riskleri.....	119
Tablo 4.50. Sedimentte kalite parametrelerinin ölçüm istasyonları bazında mevsimsel değişimi	127
Tablo 4.51. Sedimentte kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi	129
Tablo 4.52. Sedimentte Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/kg).	130
Tablo 4.53. Sedimentte As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).	132
Tablo 4.54. Sedimentte Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).	133
Tablo 4.55. Sedimentte Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).	134
Tablo 4.56. Sedimentte Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).	135
Tablo 4.57. Sedimentte Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).	136
Tablo 4.58. Sedimentte Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).	137
Tablo 4.59. Sedimentte Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/kg).	138
Tablo 4.60. Sedimentte Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).	139

Tablo 4.61. Sedimentte Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).....	140
Tablo 4.62. Sedimentte Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).....	141
Tablo 4.63. Sedimentte kirleticiler arasındaki Pearson korelasyonu	146
Tablo 4.64. İstasyonlara göre kontaminasyon faktörleri.....	148
Tablo 4.65. İstasyonlara göre zenginleştirme faktörleri.....	151
Tablo 4.66. Ekolojik risk sınıflandırması.....	152
Tablo 4.67. İstasyonlara göre ağır metallerin ekolojik riskleri	153
Tablo 4.68. Havada kalite parametrelerinin ölçüm istasyonları bazında mevsimsel değişimi	160
Tablo 4.69. Havada kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi	161
Tablo 4.70. Havada Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).	163
Tablo 4.71. Havada As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).....	164
Tablo 4.72. Havada Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).....	166
Tablo 4.73. Havada Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).....	167
Tablo 4.74. Havada Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).....	168
Tablo 4.75. Havada Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	170
Tablo 4.76. Havada Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).....	171
Tablo 4.77. Havada Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).	172
Tablo 4.78. Havada Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	174
Tablo 4.79. Havada Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).	175
Tablo 4.80. Havada Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).....	177
Tablo 4.81. Havada kirleticiler arasındaki Pearson korelasyonu.....	181
Tablo 4.82. Ağır metallerin mevsimsel toplam çökeltme akıları ($\mu\text{g/m}^2\cdot\text{gün}$).	183
Tablo 4.83. İstasyonlara göre mevsimsel toplam çökeltme akıları ($\mu\text{g/m}^2\cdot\text{gün}$)....	184
Tablo 4.84. İstasyonlara göre zenginleştirme faktörleri.....	188
Tablo 4.85. Ekolojik risk sınıflandırması.....	190
Tablo 4.86. İstasyonlara göre ağır metallerin ekolojik riskleri	190
Tablo 4.87. Toprakta kalite parametrelerinin ölçüm istasyonları bazında mevsimsel değişimi	199
Tablo 4.88. Toprakta kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi.....	200

Tablo 4.89. Toprakta Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/kg).....	202
Tablo 4.90. Toprakta As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).	203
Tablo 4.91. Toprakta Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).	204
Tablo 4.92. Toprakta Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).....	205
Tablo 4.93. Toprakta Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).....	206
Tablo 4.94. Toprakta Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).	207
Tablo 4.95. Toprakta Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).....	208
Tablo 4.96. Toprakta Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/kg).....	209
Tablo 4.97. Toprakta Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).	211
Tablo 4.98. Toprakta Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).	212
Tablo 4.99. Toprakta Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).....	213
Tablo 4.100. Toprakta kirleticiler arasındaki Pearson korelasyonu.....	217
Tablo 4.101. İstasyonlara göre kontaminasyon faktörleri.....	219
Tablo 4.102. İstasyonlara göre zenginleştirme faktörleri.....	221
Tablo 4.103. Ekolojik risk sınıflandırması.....	223
Tablo 4.104. İstasyonlara göre ağır metallerin ekolojik riskleri	223
Tablo 4.105. Sonbahar 15 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri	232
Tablo 4.106. Kış 16 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri.....	232
Tablo 4.107. İlkbahar 16 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri	232
Tablo 4.108. Yaz 16 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri	233
Tablo 4.109. Sonbahar 16 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri	233
Tablo 4.110. Kış 17 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri.....	233
Tablo 4.111. İlkbahar 17 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri	234

ÖZET

Anahtar kelimeler: Sapanca Gölü, ağır metaller, ağır metal kütle denge modeli, ekolojik risk değerlendirme modelleri, su, sediment, hava, toprak.

Sakarya ili ve çevresi için en önemli tatlı su kaynağı olan Sapanca gölü bölgenin büyük ölçüde insani tüketim amaçlı kullanım suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Sapanca gölü bulunduğu konum itibarıyla D-100 ve E-80 TEM otoyolu başta olmak üzere birçok kirletici kaynağa maruz kalmaktadır.

Bu çalışmada, Sapanca gölünde Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn ağır metalleri için kirlilik değerlendirmesi yapmak amacıyla kütle denge modeli oluşturulması ve ağır metallerin ekolojik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışma kapsamında, Sapanca gölü havzasından 2015-2017 yılları arasında mevsimsel değişimler göz önünde tutularak göl suyu, göl sedimenti, gölü besleyen derelerden su, yeraltı suyu, havza toprağı ve atmosferik birikim örnekleri alınmış ve ağır metal konsantrasyonları ICP-MS ve ICP-OES kullanılarak tespit edilmiştir. Aynı zamanda alıcı ortamlarda ağır metallerin mobilitesini ve birikimini etkileyen fiziko-kimyasal parametreler (organik madde, pH, ORP, iletkenlik, ÇO vb.) alınan numunelerle eş zamanlı ölçülmüş ve model oluşturulurken bu parametreler ağır metaller üzerine etkisi dikkate alınmıştır.

Sapanca gölü ve havzasından alınan alıcı ortam numunelerinde Al ve Fe diğer ağır metallere göre oldukça yüksek konsantrasyonda tespit edilmiş ve bunun havzanın yapısından kaynaklandığı belirlenmiştir. Ekolojik risk değerlendirme modellerine göre; su ortamlarında ekolojik risk bulunmamakla birlikte toprak ve sedimentte ağır metal kontaminasyonu gözlemlenmiş ve antropojenik (trafik ve endüstri) kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Havada özellikle As ve Zn kontaminasyonu antropojenik kaynaklı bulunmuş ve atmosferik birikimde ekolojik risk gözlemlenmiştir.

Bu bilgiler ışığında mevsimsel ağır metal kütle denge modeli oluşturulmuş ve kirletici girdileri dikkate alınarak Sapanca Gölüne bilinmeyen kaynaklardan ağır metal kirletici girişi olduğu belirlenmiştir. Bilinmeyen kirletici kaynakların alınan toprak, sediment ve yeraltı suyu örneklerinde tespit edilen ağır metal birikimiyle ilgili olduğu kanısına varılmıştır.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HEAVY METALS AND EMISSIONS ON THE LAKE SAPANCA USING AIR AND WATER QUALITY MODELS

SUMMARY

Keywords: Sapanca Lake, heavy metals, heavy metal mass balance model, ecological risk assessment models, water, sediment, air, soil.

Sapanca Lake, which is the most important fresh water resource for the province of Sakarya and its surroundings, mostly meets water intended for human consumption in region. Due to its location, Sapanca Lake is exposed to many pollutant sources, especially the D-100 and E-80 TEM highway.

In this study, a mass balance model and ecological risk assessment was done in order to evaluate the pollution of Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb and Zn heavy metals in Sapanca Lake. Within the scope of the study, samples of lake water, lake sediment, water from the streams feeding the lake, groundwater, basin soil and atmospheric accumulation were taken from the Sapanca lake basin between 2015-2017, considering the seasonal changes and the heavy metal concentrations were determined using ICP-MS and ICP-OES. At the same time, physico-chemical parameters (organic matter, pH, ORP, conductivity, DO etc.) affecting the mobility and accumulation of heavy metals in receiving environments were measured simultaneously with the samples taken and the effects of these parameters on heavy metals were taken into account as setting the model.

In the receiving environment samples taken from Sapanca lake and basin, Al and Fe were detected in higher concentrations compared to other heavy metals and it was determined that this was due to the structure of the basin. According to ecological risk assessment models; although there is no ecological risk in aquatic environments, heavy metal contamination has been observed in soil and sediment and has been found to be anthropogenic (traffic and industry) origin. Especially, As and Zn contamination in the air has been found to be anthropogenic and ecological risk has been observed in atmospheric accumulation.

In the light of this information, a seasonal heavy metal mass balance model was created and it was determined that there was heavy metal contaminant input from unknown sources to Sapanca Lake, considering the pollutant inputs. It was concluded that the unknown pollutant sources were related to the accumulation of heavy metals detected in soil, sediment and groundwater samples.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde, doğal kaynakların aşırı ve kontrolsüzce bir şekilde kullanılması sonucunda doğal kaynaklar zarar görmekte ve tükenme tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Yaşam kalitesinin yükselmesiyle artan kaynak tüketimi, atık üretimini hızlandırmakta ve hava, su, toprak alıcı ortamlarının doğal yapısını ve alıcı ortamlarda canlı yaşamını olumsuz yönde etkilemektedir (Vitousek ve ark., 1997).

Alıcı ortamları etkileyen kirletici maddelerin doğrudan veya dolaylı olarak doğaya bırakılması ekolojik dengenin hızla bozulmasına neden olmaktadır. Kirletici maddelerin sucul ortamlara taşınımı su kalitesinin bozulmasına ve özellikle insani tüketim amaçlı kullanılan su kaynaklarının kullanımında sınırlamalara yol açmaktadır. Bu yüzden içilebilir temiz sulara sahip göller ve akarsular azalmaya başlamış; sucul ortamlarda birçoğu kirletici girişi nedeniyle tahribatlar görünmeye başlanmıştır (Kazancı ve ark., 2003).

Göller ve akarsular, insanlara içme suyu temininde her zaman önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle göller, yüzeysel sular arasında kirlenme açısından en hassas su kaynaklarını oluşturmaktadır (Pejman ve ark., 2009). Su kaynaklarının kalitesi insan, hayvan ve bitki sağlığı için çok önemlidir. Dünyada su ve su kaynaklarının giderek artan stratejik değeri yüzeysel su kaynaklarını daha da önemli hale getirmektedir. Göle giren suların özellikle antropojenik etkilerle kirlenmiş olması, gölde su kalitesinin giderek bozulmasına neden olmaktadır. Özellikle göle giren kirleticiler örneğin ağır metaller ve pestisitler gibi çevre koşullarına dayanıklı, daima biyolojik sistemlere yönelik etkiye sahip, konservatif (bozulmayan) tipte ise, bu kirleticiler gölde birikerek artan konsantrasyonlar meydana getirmektedir (Bartolomeo ve ark., 2004).

Kirleticiler göle dereler, kanalizasyon sistemi, atıksu arıtma tesisi deşarjı, endüstriyel kuruluşların atıksu deşarjı ve atmosferik birikim ile taşınmaktadır (Uzunoğlu, 1999). Ağır metal içerikli atıklardan oluşan kirleticilerin çok çeşitli kaynaklardan ortaya çıkabilmeleri, yaygın kirlenme nedeni oluşturmaları ve kolaylıkla besin zincirine girerek canlılarda artan yoğunluklarda birikebilmeleri nedeniyle diğer kimyasal kirleticiler arasında kirletici özelliklerine göre ilk sırada yer almaktadır. Bu nedenle, ağır metallerin su kaynaklarının azalması ve endüstrileşmenin hızlı bir şekilde artması nedeniyle çevre açısından kontrol altına alınması gerekmektedir (Sungur, 2013).

Ağır metaller, sucul ortamdaki inorganik kirlenmelere yol açmakla beraber, farklı taşınım yollarıyla sucul ekosistemlerde canlı metabolizmalarını tehdit etmektedir (Kiracı, 2014). Ağır metaller, çoğunlukla bulundukları ortamda biyolojik parçalanmaya maruz kalmadıklarından kolayca birikebilmekte ve kompleks yapılar oluşturarak toksik etkilerini de arttırabilmektedirler (Karaçağıl, 2013). Sucul ortamlarda ağır metallerin ana kaynakları, trafik, endüstri, ısınma ve tarımsal faaliyetler gibi antropojenik kaynakların yanı sıra doğal olarak minerallerin jeolojik erozyonu ve toprak sızmasıdır (Kabata-Pendias ve Pendias, 1992; Nehme ve ark., 2014). Sucul ekosistemlerdeki ağır metal kirliliği yüzeysel akışa geçen tarımsal sulama suları, kanalizasyon suları ve endüstriyel suların etkisiyle artmaktadır.

Ağır metaller toksik elementler (Cd, Co, Cr, Ni ve Zn vb.) ve metaloidler (As ve Se vb.) olarak sınıflandırılmaktadır. Toksisite, dayanıklılık ve düşük konsantrasyonlarda bile uzun süre maruz kalmalarda canlı organizmalar üzerinde biyo-birikim yeteneklerine sahip oldukları için çok tehlikelidirler (Pekey ve ark., 2004; Krishna ve ark., 2009). Ağır metaller canlı organizmalarda artan konsantrasyonlar şeklinde birikim özelliği gösterir ve ekosistem üzerinde büyük etkiye sahiptirler. Ağır metaller suda uzun bir süre çözünür formda bulunmazlar bunun yerine kolloidal halde veya organik ve mineral yapılara bağlanmış halde bulunurlar (Ebrahimpour ve Mushritah, 2008).

Bakır (Cu), kobalt (Co) ve çinko (Zn) gibi bazı ağır metaller, normal vücut büyümesi ve organizmalar için hayati rol oynarken, arsenik (As), baryum (Ba), kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu) ve kurşun (Pb) gibi diğer metallerin yüksek konsantrasyonlarının varlığı insan yaşamı ve sucul ekosistem için son derece toksik özelliğe sahiptir (Ouyang ve ark., 2002). Örneğin, normal vücut fonksiyonları için insan vücudunda belirli miktarda Cr alımı gereklidir ancak yüksek konsantrasyonları karaciğer ve böbrek problemlerine ve insanda genotoksik kanserojene neden olabilmektedir (Loubieres ve ark., 1999; Strachan, 2000). Diğer ağır metallerin insan sağlığı üzerine etkilerini ortaya koymak için yapılan araştırmalarda alzheimer, doğumsal anomaliler, böbrek hasarı, kronik zehirlenme, kanser, beyin hasarı, kronik hastalıklara neden olduğu bulunmuştur (Çağlaırnak ve Hepçimen, 2010).

Ağır metallerin çevre havası, toprak, yüzeysel sular, sediment gibi çoklu alıcı ortamlar arasında taşınimleri ve biyodönüşümleri doğrudan tehlikeli etkilerini ve insan sağlığı ile ekosistem dengesine yönelik potansiyel risklerini ortaya koymaktadır (Li ve ark., 2013). Hava, su ve toprakta doğal koşullarda ekolojik bir denge bulunmaktadır. Bu denge sonucu canlılar gelişim süreçlerini bir aksaklık göstermeden bu ortamda yürütmektedirler. Herhangi birinde görülen kirlilik, diğerlerini de etkiler ve doğal dengenin tamamen bozulmasına sebep olur. Hava ve suda kirlilik olması toprakta da kirliliğin oluşmasına sebep olur. Kirliticiler ortamın doğal özelliklerini, canlılar ile çevre arasındaki tabii dengesini bozmakta ve ekosistemlerde ortaya çıkan bu denge bozukluğu sistem içindeki başta insan olmak üzere tüm canlı organizmaları etkilemektedir (Pendias, 1984). Bu nedenle yapılan birçok çalışma su, toprak ve sediment gibi alıcı ortam analizini kapsamaktadır (Karatepe, 2006).

Genel olarak ekosistem içerisinde ağır metal kirlenmelerine en çok maruz kalan alıcı ortam topraktır. Toprakta ağır metal birikimi, canlı yaşamını tehdit etmekle beraber tarım ürünlerinin kalitesini ve ürün verimini azaltmakta, toprak kalitesini bozmakta ve toprağın fizikokimyasal özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Ateş ve ark., 2020). ORP, pH, iletkenlik, toprak yapısı, organik madde gibi toprağın fizikokimyasal özelliklerine bağlı olarak, ağır metaller topraktan su ekosistemine

taşınabilmekte ve içme suyu kaynaklarında kirliliğe neden olmaktadır (Zong ve ark., 2016; Zhang ve ark., 2018).

Sucul ekosistemlerde ise ağır metallerin en önemli birikim yeri sedimentlerdir ve ağır metal kirliliğinin izlenmesinde hassas indikatörlerdir (Bai ve ark., 2011; Suresh ve ark., 2012; Sungur, 2013). Dayanıklılık gösteren tüm inorganik ve organik kirleticiler sedimentte birikmekte ve uzun yıllarda oluşan birikim sonucunda sucul organizmalar ve insan sağlığı üzerinde toksik etkiye neden olmaktadır. Ağır metaller, suyun kimyasal özellikleri ve sediment karakteristiklerine göre sedimentte su ortamına tekrar geçebildiği gibi, topraktaki ağır metaller yağışlarla beraber yeraltı suyuna ve yüzey akışı veya toprak kayması sonucu su ortamına geçebilmektedir (Karakaş, 2003; Liu ve ark., 2018).

Atmosferik birikim ağır metallerin su ekosistemine taşınmasında rol oynayan geçiş mekanizmalarından biri olup sudaki canlı yaşamı ve su kalitesi açısından risk teşkil etmektedir. Yüzeysel su kaynağına atmosferik birikimle geçen kirleticiler suda bulunan kolloidal tanelerin yüzeyine tutunur veya çözünür halde bulunmaktadır (Nguyen ve ark., 2005; Zidane ve ark., 2017). Sucul canlılar, bu kirleticileri temas yoluyla veya oral yolla vücutlarına almaktadırlar. Özellikle toksik etkiye sahip ağır metaller, sucul canlıların bünyesinde birikmekte ve besin zinciri yoluyla artan konsantrasyonlarda insanlara kadar geçebilmektedir (Akal, 2009). Havadan toprak yüzeyine çöken ağır metaller fiziko-kimyasal şartlara bağlı olarak yüzey akışa geçen yağış suları veya sulama suları vasıtasıyla yer altı ve yüzeysel sulara karışmakta ve su kalitesinde önemli sorunlar oluşturmaktadır. Yüzeysel su kaynaklarında özellikle içme suyu temini amacıyla kullanılan sularda yapılan su kalitesi yönetimi çalışmalarında atmosferik birikim dahil olmak üzere çoklu alıcı ortamlar incelenmelidir.

Su kalitesi yönetimi, suyun miktar, kalite (fiziksel, kimyasal veya biyolojik özellikleri) ve ekolojik açıdan korunmasını ve suyun faydalı kullanım imkanlarının gelişmesini sağlamaktadır (Kınacı, 2017). Bu nedenle Marmara bölgesi için büyük bir öneme sahip olan Sapanca gölü gibi tatlı su kaynaklarında, su havzasındaki su

kaynaklarının ve canlı hayatının korunması, su kirlenmesini önleme ve iyileştirme çalışmaları için yüzeysel su kaynağına etki edecek tüm alıcı ortamlar (hava, su, toprak) incelenmeli ve sürdürülebilir havza yönetimi için çoklu alıcı ortamlarda kirlilik tespitleri ve çevresel durum değerlendirmesi yapılmalıdır.

Son zamanlarda, su kalitesinin korunması amacıyla yapılan çalışmalarda sediment, biota, toprak ve hava kirliliğinin belirlenmesi, bunların ekolojik ve biyolojik etkilerinin değerlendirilmesi oldukça önem taşımaya başlamıştır (Chapman, 1996; Chapman ve Wang, 2001; Nyugen ve ark., 2005). Ekolojik etkilerin belirlenmesi ve değerlendirilmesinde kalite / kirlilik indeksleri ve ekolojik risk göstergeleri kullanılmaktadır (Arıman, 2009; Zhao ve ark., 2015; Chaturvedi et al. 2018, Tokatlı, 2019). Fiziko-kimyasalar parametreler kullanılarak yapılan kirlilik indeksleri ve ekolojik risk göstergelerine ait değerlendirmeler neticesinde alıcı ortamlarda oluşan kirliliğin kaynakları tahmin edilebilmekte ve kirleticinin oluşturduğu kontaminasyon hakkında bilgi sahibi olunmaktadır (Kürker, 2016; Tunca, 2016; Özşeker, 2019). Bu sayede incelenen alıcı ortamlarda antropojenik kaynaklı kirlenme olup olmadığı tespit edilebilmektedir.

Su kalitesi yönetimiyle ilgili çalışmaların temelinde su kalitesi modelleri bulunmaktadır. En temel su kalitesi modeli kütle denge modelidir ve kütle denge modelleri kirleticilerin su ortamına giriş ve çıkış yollarını ve kirleticilerin ortamda birikimini analiz etmektedir (Peng ve ark., 2017). Diğer bir deyişle, kütle denge modelleri, farklı taşınım yolları ile su ortamına giren kirletici yükleri değerlendirmek amacıyla su, sediment, toprak, su ve hava ortamları arasında taşınım gösteren bir kirleticinin kütlesinin durumunu değerlendirmektedir. (Schnoor ve ark., 1987). Kütle denge modeli oluşturulurken alıcı ortamlara ait kirlilik konsantrasyonları tespit edilmekte ve kirleticilerin çevresel risk oluşturacak değerlerde olup olmadığı belirlenmektedir. Sonuç olarak kütle denge modeli kirletici maddelerle ilgili alınması gereken iyileştirme çalışmaları için bir yol haritası sunmaktadır.

Çalışmanın amacı; Sapanca gölü için mevsimsel olarak ağır metal kütle denge modelleri oluşturularak göle kirletici girişlerini tespit etmek ve kirletici kaynaklarıyla ilgili çözüm önerileri sunmaktır. Bu bağlamda hedeflenenler şu şekildedir;

- Sapanca göl suyu ve sedimenti ile havzada yer alan derelerde, havza toprağında, yeraltı suyunda ve hava ortamında Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn ağır metallerinin konsantrasyonlarını tespit etmek.
- Alıcı ortamlarda Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn mevsimsel değişimleri gözlemlemek ve bu kirliliklere neden olan kirletici kaynakları tespit etmek.
- Alıcı ortamlarda ağır metal konsantrasyonları ile fiziko-kimyasal parametreler arasında bir korelasyon olup olmadığını tespit etmek.
- Alıcı ortamlarda ağır metallerin ekolojik risk seviyelerini ve alıcı ortamların kontaminasyon derecelerini belirlemektir.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Su kaynaklarının korunması ve su kaynaklarına kirletici girişlerini net bir şekilde ortaya koyup önlemler alınması amacıyla su kaynaklarının incelenmesinin yanı sıra havzalarda toprak ve hava kalitesinin bilinmesi gerekmektedir. Su kaynaklarında yapılan pek çok ağır metal çalışması bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla;

Şişman (1999) Sapanca Tem otoyolu civarındaki topraklarda Pb, Cu, Zn, Ni, Cr, Cd miktarlarını incelemiş ve ölçüm sonuçlarında göre Pb ve Cu sınır değerlerin üzerinde, Zn, Ni ve Cr sınır değerleri altında bulunmuştur. Motorlu araçların toprağa bıraktığı ağır metal kirliliği yağışlarla Sapanca gölüne geçip su kalitesini etkilemekte olduğunu ortaya koymuştur.

Yalçın ve Sevinç (2001) Sapanca Gölü'ndeki ağır metal kirliliği ile ilgili, göl havzasındaki yollardan geçen araçların egzoz gazlarının, yağ ve diğer atıkların yağmur suyu ile birlikte göle ulaşmasının, evsel atık, tarımsal ilaç, kimyasal atık ve bölgedeki büyük sanayi tesislerinden salınan kimyasalların hava yoluyla göle karışarak kirlilik riski oluşturduğunu göstermiştir. Araştırmacıların önceki çalışmalarla yapılan karşılaştırmalarına göre kurşun konsantrasyonlarında önemli bir artış olduğunu rapor etmişlerdir.

Duman (2005) Sapanca ve Abant gölleri su, sediment ve bazı sucul makrofitlerde ağır metal akümülyasyonunun mevsimsel değişimini incelemiştir. Sapanca Gölü su ve sedimentinde ağır metal kirliliğinin trafik, fosseptik atık, tarımsal gübre ve zirai ilaçlar, Abant Gölü su ve sedimentinde ise trafik ve fosseptik atık kaynaklı olduğunu belirlemiştir.

Duman ve arkadaşları (2007) Sapanca Gölü'nde genel olarak, yüzey tortusundaki ağır metal yoğunlaşmasını $Ni > Cr > Pb > Cd$ şeklinde saptamıştır. Ağır metallerin mevsimsel en yüksek değerlerini; yazın Cr ve Ni, sonbaharda ise Cd şeklinde gözlemlemişlerdir. Pb açısından mevsimsel farklılık bulamamışlardır.

Alpat (2009) Sapanca gölünde Hg, Pb, Ni, Cd ve Cr konsantrasyonlarının su, toprak, sediment, balık ve su kuşları üzerindeki etkisini araştırmıştır. Nisan 2008-Şubat 2009 tarihleri arasında sularda görülen ağır metal ortalama miktarları $Ni > Cr > Pb > Hg > Cd$ şeklinde saptamıştır. Toprak örneklerinde en yüksek Ni ve Cr konsantrasyonunun kış dönemine ait olduğunu belirlemiştir. Arman ve arkadaşları (2009) ise Sapanca gölündeki kirlenmenin sürekli arttığını ifade etmiştir.

Macit (2010) ise gölde bakteriyolojik kirlilik seviyesi sınır değerlerinin üzerinde olduğunu belirlemiş, Cd gibi bazı parametrelerde standartların üzerinde değerlerle karşılaştığını bildirmiştir.

Karaçoban (2017) su ve sediment örneklerinin ağır metal analizlerinde genel olarak, göl suyundaki ağır metal konsantrasyonları $Fe > Mn > Zn > Cu > Ni > Cr > Pb > Cd$ şeklinde tespit etmiştir. Sapanca Gölü'nde ağır metal konsantrasyonlarının TS 266 içme suyu standardına göre kabul edilebilir düzeyde olduğunu belirtmiştir.

Farklı göl ve havzalarında yapılan ağır metal kirlilik çalışmaları ise aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Uzunoğlu (1999), Gediz nehri ve özellikle deşarj noktalarından belirlenen 9 farklı istasyondan alınan sediment ve su örneklerinde Co, Cd, Mn, Zn, Cu, Fe, Pb, Ni, Cr gibi eser elementler ICP-AES'de analiz edilmiştir.

Dökmeci (2005) Gala gölü havzasından aldığı toprak numunelerinde (özellikle gölü besleyen kaynakların kenarından alınan numunelerde) Cr, Co ve Ni ve Gala gölüyle gölü besleyen kaynaklardan alınan su ve sediment numunelerinin çoğunda ise Cd, Pb, Mn, Cu ve Co konsantrasyonunun yüksek olduğunu belirlemiştir.

Kır ve arkadaşları (2007) Kovada gölü'nün su ve sedimentindeki bazı ağır metallerin mevsimsel değişimini incelemiş ve suda en fazla bulunan metalin Fe olduğu tespit etmiştir. Suda tespit edilen metallerin yaz ve ilkbahar aylarında arttığını saptamıştır. Sedimentte en fazla biriken metal Al'dur. Metal birikiminin yaz aylarında en yüksek düzeye ulaştığı belirlenmiştir.

Dostbil (2010) Mogan gölünde sediment analizlerinin sonuçları Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nin Toprak Kirlilik Parametreleri Sınır Değerlerine göre değerlendirildiğinde bakır (Cu), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), çinko (Zn) bu sınır değerlerin altında olduğunu ve ağır metal düzeylerini oransal olarak $Al > Fe > Zn > Ni > Cu > Pb > As > Cd > Hg$ şeklinde saptamıştır. Sudaki ağır metal düzeylerini ise oransal olarak $Pb > Al > Fe > As > Ni > Hg > Cu \geq Zn > Cd$ olarak saptamıştır.

Başaran (2011) Seyfe Gölü'nde göl suyu ve sedimentte mikrodalgada çözündürme yöntemiyle ağır metal (Cd, Pb, Cr, Co, Ni, Zn, Cu, As) miktarlarını tespit etmiştir. Mevsimsel dönemlere göre sediment örneklerinde yapılan analiz sonuçlarına göre yaz döneminde $Zn > Pb > As > Cr > Ni > Cu > Co > Cd$; kış döneminde ise $Zn > Pb > As > Cr > Ni > Cu > Cd > Co$ sıralamaları şeklinde metal konsantrasyonlarının değişimini hesaplamıştır. Özellikle As yıllık ortalama değerleri yönetmelik sınır değerlerinin oldukça üstünde kaldığını dolayısıyla, göl tabanında ciddi bir As birikimi olduğunu ifade etmiştir.

Kırmızıgül (2013) Gökçekaya Baraj Gölünde mevsimsel periyotlarda sedimentte ağır metal (Cd, Pb, Cr, Co, Ni, Zn, Cu, Fe, As) belirlemiş, mevcut miktarların kirlilik seviyelerini tespit etmiştir. Göl sedimentinde ortalama yıllık derişimlere göre ağır metal içerikleri $Fe > Zn > Cr > Ni > Cu > Pb > Co > As > Cd$ şeklinde değişim göstermiştir.

Kıracı (2014) Aydın ilinin Söke ilçesinde bulunan Azap Gölünün sediment örnekleri mikrodalga yöntemiyle çözündürme ile ağır metal analizi gerçekleştirmiştir. Su ve sediment örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarına göre; Fe, B ve Al diğer ağır metallere göre daha yüksek konsantrasyonlarda olduğunu tespit etmiştir.

Su kaynağında etkili bir kirletici değerlendirmesi yapılabilmesi adına incelenen ağır metallerin atmosferik birikimi ve toprakta ağır metal birikimi ile ilgili çalışmalar ise şu şekildedir:

Özcan ve arkadaşları (2003) İstanbul E-5 karayolunun cadde tozlarında ağır metal kirliliğini değerlendirmişlerdir. Tuna ve Yağmur (2004) Muğla-Marmaris karayolu kenarındaki topraklar ile doğal kıvılcım ve zeytin ağaçlarının trafik kaynaklı kirletici elementlerden etkilenip etkilenmediklerini belirlemiştir. Yoğun araç trafiğine sahip olan Muğla-Marmaris karayolu çevresinde Pb, Cd, Fe ve Zn kirliliğinin bulunduğunu göstermiştir.

Edirnelioğlu (2007) Orta Batı Anadolu geçiş bölgesindeki ana yolların kenarındaki ormanlarda, trafik kaynaklı ağır metal kirliliğini belirlemiştir. Toprakta bulunan Fe^{+2} , Zn^{+2} ve Ni^{+2} değerleri ile trafik yoğunluğu arasında istatistiksel bakımdan pozitif yönde anlamlı bir ilişki olduğu ancak Cd^{+2} ve Pb^{+2} miktarları bakımından anlamlı bir ilişki olmadığını tespit etmiştir.

Onat ve arkadaşları (2010) İstanbul'da D-100 otoyolu kenarında toz örneklerinde suda çözünen ve çözünemeyen As, Cd, Cr, Cu, Ni, Mn ve Pb metallerinin konsantrasyonlarını ölçmüş ve ağır metal konsantrasyonlarının trafik yoğunluğuyla ilişkili olduğunu belirlemiştir.

Bilge ve Çimrin (2013) Viranşehir-Kızıltepe karayolu güzergâhındaki topraklarda trafik kaynaklı ağır metal kirliliğinin boyutlarını belirlemiş, topraktaki ağır metal miktarının kara yolundan olan mesafe ile değişimini ortaya koymuştur. Ayrıca, miktar bakımından topraklarda ağır metaller şu sırayı; $Ni > Cr > Cu > Pb > Cd$ izlemiştir.

Wong ve arkadaşları (2003) Pearl nehir deltasında Cr, Cu, Pb ve Zn ağır metallerinin atmosferik birikimini incelemişlerdir. Analitik sonuçlara göre atmosferik birikimin en fazla Zn'ye ait olduğunu bulmuşlardır.

Morselli vd. (2003) İtalya’da ağır metallerin ıslak ve kuru atmosferik birikimlerini incelemişlerdir. Her iki birikimde Cd, Cu, Zn’nin Cr, Ni ve Pb’ye göre daha çok çözündüğünü bulmuşlardır.

Karaca (2005) Temmuz 2002- Temmuz 2003 tarihleri arasında, Büyükçekmece bölgesinde atmosferik aerosollerdeki metal konsantrasyonları incelemiş ve Al, Fe, Ca, Zn, Mg, Na, Cr, Cd, Ni ve Pb tayinlerini yapmıştır. Bölgede, Cr ve Ni için endüstrileşmiş bölge değerlerine yakın değerler gözlenirken, diğer konsantrasyonların kent merkezlerinden etkilenen kırsal alan değerlerine yakın olduğu belirlenmiştir. Tüm yıl boyunca, Cr, Pb, Ni, Zn, Cd metallerinin ağırlıklı olarak trafik, çimento fabrikası, yerel ve bölgesel sanayi benzeri kaynaklardan; ilkbahar ve yaz mevsimlerinde ise, Al, Fe ve Na elementlerinin doğal kaynaklardan zenginleşerek bölgeye taşınmakta olduklarını saptamıştır.

Nyugen vd. (2005) Balaton gölünde su yüzeyinde, atmosferik birikimde (yağmur ve kar örneklerinde) ve sedimentte ağır metal araştırmışlardır. Atmosferik birikimde ağır metalleri miktar olarak sırasıyla Zn, Ni, Cu, Pb, Cd, Co olarak bulmuşlardır.

Gunawardena ve arkadaşları (2013) ağır metallerin atmosferik birikimlerini (kuru ve ıslak) etkileyen yağış faktörlerini ve trafik özelliklerini incelemişlerdir. Pb, Cd, Ni, Cu metallerinin trafik sıklığı ile Zn ise trafik hacmi ile bağlantılı olduğunu belirlemişlerdir. Aynı zamanda Zn’nin diğer ağır metallere göre en yüksek atmosferik birikime sahip olduğunu bulmuşlardır. TOK, pH ve EC parametreleri incelenmiş, organik karbon ile ağır metal arasında güçlü bir bağlantı olduğunu yeniden ortaya koymuşlardır.

Kara ve Türkmen (2014) Giresun’da bir yıl boyunca toplanan yağmur suyu örneklerinde ortalama ağır metal konsantrasyonlarını (ppm) Cr:0,0220, Mn:0,4149, Fe:2,3793, Co:0,0074, Ni:0,0177, Cu:0,0502, Zn:0,7131, As:0,0094, Cd:0,0046, Pb:0,0361 şeklinde tespit etmişlerdir.

Taşdemir ve arkadaşları (2017) Kahramanmaraş şehir merkezinde, bölgenin hava kirliliği düzeyini temsil edecek kuru çökeltme örnekleri toplamış ve pH, iletkenlik, TKM, AKM ve ağır metal analizleri yapmışlardır. İz elementlerin ortalama konsantrasyonlarını Ca 22616,6> Fe 6669,98> Al 1264,74> Pb 133,58> Zn 84,22> Ni 39,22> Cr 22,66> Mn 21,68 µg/L olarak tespit etmişlerdir.

Bu çalışmanın temel amacı Sapanca gölünde ağır metal kütle denge modeli kurulması ve gölü etkileyen kirletici yüklerin belirlenmesidir. Su kaynaklarında ayrı ayrı alıcı ortamların ele alınmasıyla (su, sediment ve toprak) yapılmış ağır metal çalışmaları bulunmaktadır. Ancak su kaynaklarını etkileyen atmosferik birikimle ilgili literatürde çok az çalışma bulunmaktadır. Özellikle havza çalışmalarında eş zamanlı farklı alıcı ortamlardan (atmosferik birikim dahil) numune alınarak yapılan ağır metal kirlilik çalışmasına rastlanmamıştır. Kütle denge modeli kurulmasında kirletici girdileri önem arz etmekte ve bu kapsamda yapılan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Ağır metal kütle denge modeliyle ilgili bugüne kadar yapılan çalışmalar şunlardır:

Dolon ve Bierman (1982) Huran Gölünde 1976-1978 yılları arasında su kolonunda ve sedimentte askıda katıları ve ağır metallerin konsantrasyonunu tanımlamak için dinamik kütle denge modeli geliştirmişlerdir. Cu, Cd, Pb ve Zn metallerinin kütle dengesine göre bu metallerin sedimentasyonla tabana çöktüğü ve Cu hariç diğer metallerin sedimentten tekrar suya geçiş mekanizması gösterdiği varsayımında bulunmuşlardır.

Salomao ve arkadaşları (2001) Brezilya'da bir nehir yatağında askıda katı maddelerin ve buna bağlı ağır metalin kütle transferini hesaplamıştır. En yüksek metal girişinin yüzeysel akış ve sedimentten suya geçiş ile olduğunu belirlemişlerdir.

Rozan ve Benoit (2001) New Haven limanında ağır metal kütle dengesini araştırmış, liman için kirletici kaynakların atmosferik birikim, nehirler, arıtılmış kanalizasyon çıkışı suyu, kanalizasyon taşkını ve endüstriyel deşarj olduğunu tespit etmişlerdir.

Göllerin atmosferik çökelen metaller için bir indikatör ve doğal kolektör olduğunu ifade etmişlerdir.

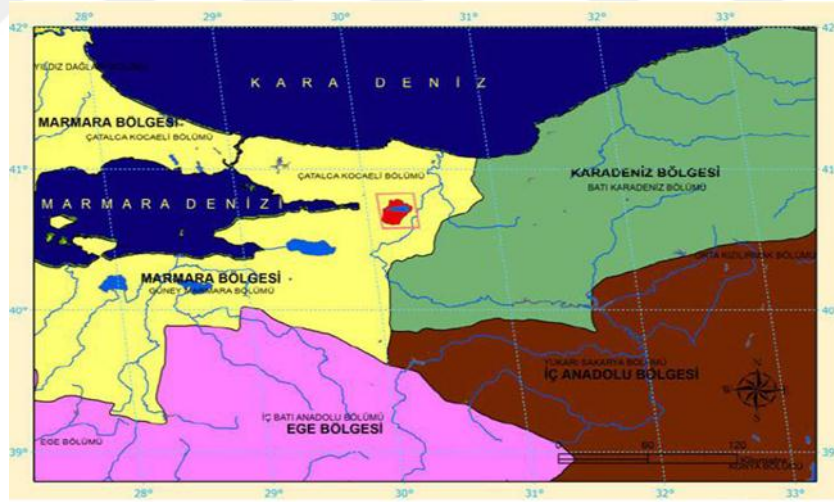
Diaza ve arkadaşları (2009) Büyük Tuz Gölünde Selenyum için kütle denge modeli geliştirmişlerdir. Yüzey akışı yoluyla göle giren toplam Se miktarı 1560 kg/yıl ve sedimentasyon ile buharlaşma yoluyla uzaklaşma akışının ise 2079 kg/yıl olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca göle bilinmeyen bir kirletici kaynaktan Se girişi olduğunu tespit etmişlerdir.

Peng ve arkadaşları (2017) Pekin’de toprakta Cd ve Zn birikiminin kütle denge temelli regresyon modellemişini geliştirmiştir. Regresyon modeli ile 1978-2078 arası topraklarda Cd ve Zn birikim eğilimini simule etmiştir. Cd ve Zn metallerinin nüfusun artmasıyla genellikle artış gösterdiğini ortaya koymuştur.

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Bölgesinin Tanımı

Sapanca Gölü Havzası, Marmara Bölgesi'nin doğusunda Çatalca-Kocaeli bölümü içerisinde yer almaktadır. Havza Sakarya ve Kocaeli illeri sınırları içerisinde yer almakla birlikte havzanın büyük bir çoğunluğu Sakarya ili sınırları içerisinde kalmaktadır (Kaçmaz, 2010). Deniz seviyesinden 30 m yükseklikte ve tektonik bir çukurda bulunan bir tatlı su kaynağı olup Marmara Bölgesi için en önemli tatlı su kaynaklarından biridir (SASKİ, 2003). Sapanca gölünün Türkiye coğrafyasındaki yeri Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Sapanca gölünün coğrafi konumu (Kaçmaz, 2010).

Sapanca Gölünün havza alanı 252 km²'dir. Bu alanın yaklaşık 46 km²'si göl, 150 km²'si orman, geriye kalan kısım ise tarımsal alan ve yerleşim alanıdır. Gölün uzunluğu 16 km, maksimum genişliği ise 6 km'dir.

Gölün ortalama derinliği 31-33 m olmakla beraber maksimum derinliği 61 m'dir (Çakır, 2008; Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017). Gölün deniz seviyesinden yüksekliği 30 m'dir. Gölün güney ve batı kesiminde genişliği değişen, çok geçirimli ve iyi akifer özellikte alüvyal çökeltiiler vardır. Gölün doğu kısmında sık sık bataklıklar görülür.

3.1.1. Bölgenin meteorolojik durumu

Sapanca Havzası, iklim açısından Doğu Marmara ve Batı Karadeniz bölgelerinin özelliklerini gösterir. Numune alma periyodunda aylık yağış miktarları ve ortalama sıcaklık Tablo 3.1. ve Tablo 3.2.'de verilmiştir ve yağış dağılımı homojendir. Gölün en az yağış aldığı dönem Haziran ve Temmuz aylarıdır. En soğuk ay Ocak ve en sıcak aylar ise Temmuz ile Ağustos'tur. Yıllık bağıl nem ortalaması %72,5 ve ortalama buharlaşma 625 mm'dir.

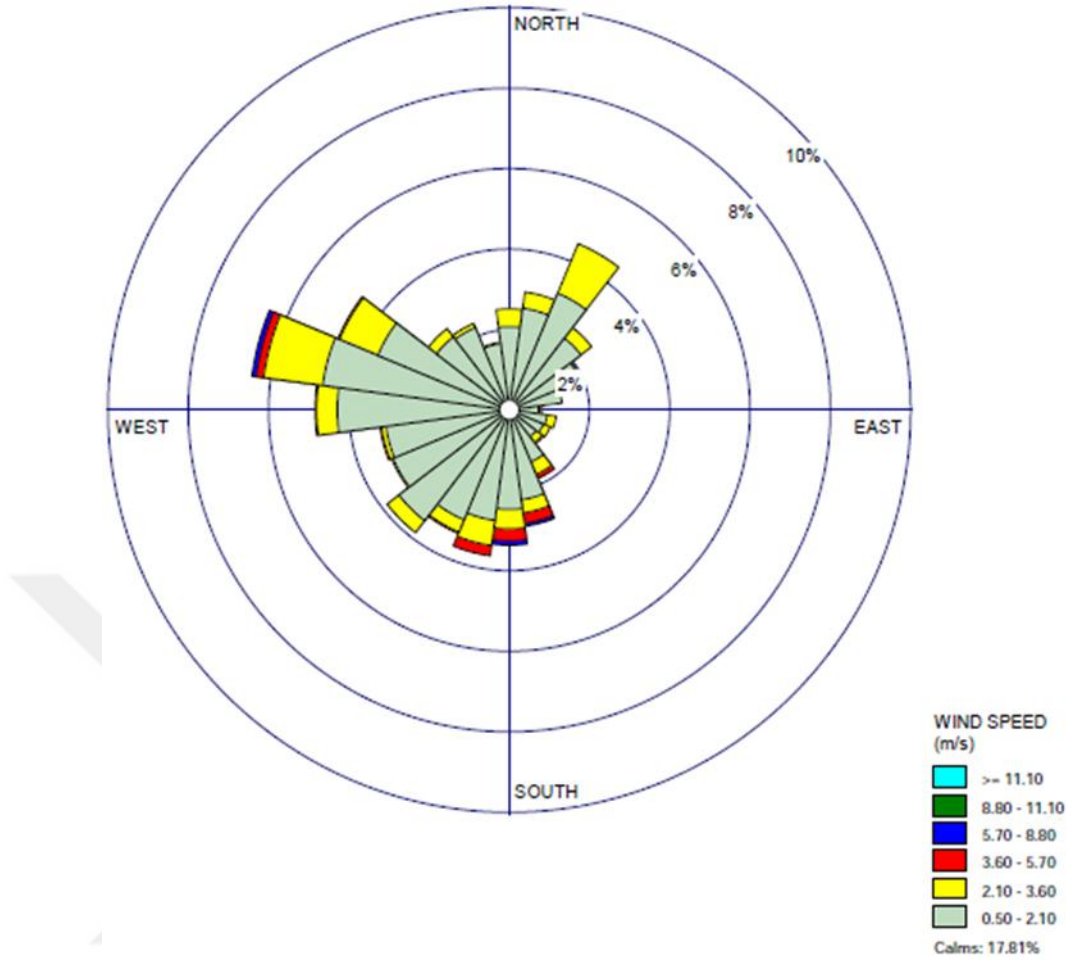
Tablo 3.1. Sapanca bölgesinde aylık toplam yağış miktarları

Yıl/ Ay	Aylık Toplam Yağış (mm)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	166,9	18,2	27,0
2016	144,5	81,8	108,1	66,2	84,7	28,10	26,40	94,2	61,8	56,8	78,8	178,4
2017	80,4	91,2	34,0	62,3	48,6	132,9	53,1					

Tablo 3.2. Sapanca bölgesinde aylık ortalama sıcaklık

Yıl/Ay	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,1	13,0	5,9
2016	5,6	10,7	10,9	15,0	17,5	23,3	24,7	25,6	20,4	15,1	10,5	3,4
2017	3,9	7,3	9,7	12,0	17,0	22,1	24,4					

Yaz aylarında egemen rüzgar yönü kuzey ve kuzeydoğudur. Kış aylarında ise güney ve kuzey-batıdan esen rüzgarlar etkindir. Sapanca Gölü havzasının doğu-batı doğrultusu açık olmasına karşılık, rüzgarlar bu yönden etkin olmadığından havzada hava kirliliği önem arz etmektedir (Özecik, 2006). Numune alma periyodu boyunca hakim rüzgar yönü ve şiddeti Şekil 3.2.'de verilmektedir. Ortalama rüzgar hızı 1,05 m/sn'dir.



Şekil 3.2. Sapanca bölgesinde numune alma dönemlerine ait rüzgar gülü

3.1.2. Sapanca gölünü besleyen dereler

Sapanca Gölünü besleyen irili ufaklı pek çok dere vardır. Bunlar; İstanbul, Kurtköy, Mahmudiye, Yanık, Keçi, Karaçay, Balıkthane, Çiftepınar, Kanlıtarla, Eşme, Kuru, Maden, Maşukiye, Sarp, Aşağıdereköy, Altıkuruş, Harmanlar, Aygır, Cehennem Dereleridir. Bunların bazıları kısa ve düşük akımlı olup, kurak mevsimde suları bulunmamaktadır. Göl, Çark deresi vasıtasıyla Sakarya Nehrine boşalmaktadır. Göl çıkış akımları, 1970 yılında işletmeye açılan Çark suyu kapaklı regülatörü ile düzenlenmiştir. Sapanca Gölünü besleyen en yüksek debili dereler güneyde İstanbul, Mahmudiye ve Kurtköy dereleri ile kuzeyde Maden deresidir (DSİ, 1983).

3.1.3. Sapanca gölünün kirlenmesine etki eden unsurlar

3.1.3.1. Kanalizasyon sistemi

Sapanca Gölünün kuzey kısmında bulunan, Sakarya sınırlarında olan, Aşağıdereköy, Yukarıdereköy ve Serdivan-Esentepe bölgesini içerisine alacak şekilde toplam uzunluğu 51 km (4355 m'lik kısım kolektör) şebeke ve kolektör hattı tamamlanmış durumdadır. Bu bölgede 4 adet terfi merkezi bulunmaktadır (Şekil 3.3.). Göl havzasındaki kuruluşlar deşarj ettikleri atıksular açısından incelendiğinde bir kısmı atıksularını arıtma tesisinde arıtıp kanalizasyona deşarj etmekte olup bir kısmı da evsel nitelikli atıksularını fosseptikte biriktirmekte ve belirli aralıklarla vidanjörle alınmaktadır. Yapılan araştırmada, bu bölgede yer alan endüstriyel kuruluşların atık sularını göle deşarj etmediği belirlenmiştir (Çakır, 2010).



Şekil 3.3. Sapanca Gölü Kanalizasyon sistemini gösteren harita (Çakır, 2008).

3.1.3.2. Endüstriyel kuruluşlar

Bölgede yer alan başlıca endüstriyel kuruluşlar metal, selüloz, gıda, kimya ve tekstil sektörlerindedir. Bu fabrikalarda oluşan endüstriyel ve evsel nitelikteki atıksular, arıtma tesislerinde arıtılmakta veya fosseptiklerde biriktirilerek vidanjörler vasıtasıyla atıksu arıtma tesisine iletilmektedir. Bununla birlikte, kısa ve orta mesafeli koruma bandı içerisinde bulunan sanayi tesislerinin, göl su kalitesi üzerinde belirgin etkilerinin oldukları tahmin edilmektedir (TUBİTAK, 2010). 2009 tarihi

itibarı ile mevcut durumda, Sapanca Gölü Havzası'nda 11 sanayi tesisi bulunmaktadır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Sapanca Gölü Havzası Sanayi Tesisleri (TUBİTAK, 2010).

Aralarında uluslararası ticaret hacmi olan firmaların da bulunduğu tesisler şöyledir:

- Çekok Sebze, Meyve Yıkama ve İşleme Tesisleri
- Mega Çelik Konstrüksiyon
- Kartepe Mandıra Süt Ürünleri İmalatı
- Serfloor Yapı Malzemeleri
- Çemsan Makine İmalat
- Tire Kutsan Selüloz, Kağıt, Karton ve Benzeri Sanayii
- Elimsan Metal ve Yedek Parça Sanayii
- Ondüline Selüloz, Kağıt, Karton ve Benzeri Sanayii
- ÇKLT Fabrikası Şeker Üretimi ve Benzerleri
- Federal Mogul Metal ve Yedek Parça Sanayii
- KRP Tekstil Konfeksiyon

3.1.3.3. Karayolları ve demiryolları

Sapanca Gölü havzası karayollarıyla (TEM, Trans-Avrupa Otoyolları E-80 ve D-100 İzmit- Adapazarı Karayolu) ve Asya ile Avrupa'yı birbirine bağlayan bir demiryolu ile çevrilidir (Duman ve ark., 2007). Sapanca Gölü kuzeyinde D-100 karayolu, güneyinde TEM E-80 Otoyolunun çok yakından geçmesi civardaki bitki örtüsünü olumsuz etkilemekte (egzoz gazları nedeni ile), bu durum uzun vadede gölün ekolojik dengesini olumsuz yönde etkilemektedir. Karayolu üzerinden lastik ve yağ kalıntılarının yağmur sularıyla özel açılmış kanallardan göle ulaşması yoluyla kirlenme meydana gelmektedir.

Motorlu araçların lastiklerinin yıpranması sonucu yola bulaşan kurşunlu bileşikler ve fren-balata sistemlerinin aşınması sonucu yola bulaşan ağır metaller, kanallar vasıtasıyla doğrudan göle ulaşmaktadır. TEM Anadolu otoyolunun atıksularının Sapanca Gölü boyunca 300 – 400 m. aralıklarla yapılan tahliye kanallarından kıyıya ulaştığı noktalarda gözle görülür kirlilikler mevcuttur. Aynı zamanda motorlu araçlardan atmosfere salınan emisyonların da su kalitesi üzerinde olumsuz etkileri vardır. Karayolları, trafik yoğunluğu, iklim ve yağış özellikleri, yol yüzey yapısı gibi etkenlere bağlı olarak özellikle ağır metal ve PAH türü kirleticilerin önemli oranda biriktiği alanlar olarak kabul edilmektedir (Barett ve ark., 1995; Terzakis ve ark., 2008). Bu kirleticilerin ana kaynakları, yağışlı ve kuru dönemlerde meydana gelen atmosferik birikimler, motorlu taşıtlar, yol bakım çalışmalarında kullanılan kimyasallardır (Barett ve ark., 1995).

3.1.3.4. Tarımsal faaliyetler

Toprağa ve tarlaya uygulanan ilaçların tümü uygulama alanlarında durmamakta, maddenin fiziko-kimyasal özelliklerine bağlı olarak rüzgar, yağmur gibi doğal etkenler ile başka yerlere sürüklenmekte ve çevre sorunları yaratmaktadır. Sapanca Gölü'nde de bu yolla kirlilik olma ihtimali oldukça yüksektir. Sapanca Gölü çevresinde tarımsal faaliyetlerin önceki yıllara göre oldukça azalmasına rağmen, göl

çevresinde zirai ilaçlama (pestisit kullanımı), doğru uygulanmadığında, göl sularının özelliğinin bozulmasına neden olmaktadır.

Bu bozulma zirai mücadele için yapılan ilaçlamalar sonucu havadaki zirai ilaç zerrecilerinin meteorolojik faktörlere bağlı olarak sulara taşınması şeklinde olacağı gibi bu zirai ilaçlar yağışlarla yeraltı sularına ve derelere sızması sonucunda göle karışması şeklinde de olabilmektedir (TUBİTAK, 2010). Kirlilik, kıyı şeridindeki karayollarından ve Sapanca Gölü çevresindeki yerleşim alanlarındaki atıksulardan kaynaklanmaktadır. Gölün içine doğrudan atık boşaltma olmasa da, endüstriyel, evsel ve tarımsal alanlardan gelen kimyasal kirleticiler, yüzey akışı ve yağış yoluyla göle girmekte ve ağır metallerin seviyesini artırmaktadır (Yalçın ve Sevinç, 2001).

Dünya çapında göllerdeki su kalitesinin bozulması, doğal ve antropojenik kaynaklı süreçlere, özellikle kentsel gelişim ve tarımsal faaliyetlere atfedilmektedir. Cd, Cr, Cu, Pb ve Zn gibi ağır metaller, çevresel kalıcılıkları, toksisitesi ve besin ağlarındaki biyolojik birikim özelliklerinden dolayı göl ekosistemlerinde en önemli kirleticilerdendir. Ağır metaller, endüstriyel atıklar, evsel atıklar, kentsel kanalizasyon ve tarımsal ve yağmur suyu akışı gibi çeşitli kaynaklardan göl ekosistemlerine karışabilmektedir (Wang ve arkadaşları, 2014).

3.2. Numune Alma İstasyonları ve Numune Alma

Numuneler 2015 Eylül ile 2017 Mayıs arasında mevsimsel değişiklikler dikkate alınarak göl (su ve sediment), hava ve toprak numuneleri üç ayda bir toplanmıştır. Göl havzasında derelerden alınan numuneler derelerde debi ve su kalitesi değişikliğinin fazla olmasından dolayı ayda bir alınmıştır. Yeraltı su numuneleri ise SASKİ (Sakarya Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi) tarafından işletilen ruhsatlı kuyulardan kontrol amaçlı altı ayda bir alınmıştır.

Numune alma istasyonların belirlenmesinde SASKİ'nin göl suyu ve göl sedimenti almak için kullandığı noktalardan alınmıştır. Numune alma istasyonlarının koordinatları (Tablo 3.3.) tespit edilip Şekil 3.5.'te yer alan haritaya işlenmiş ve

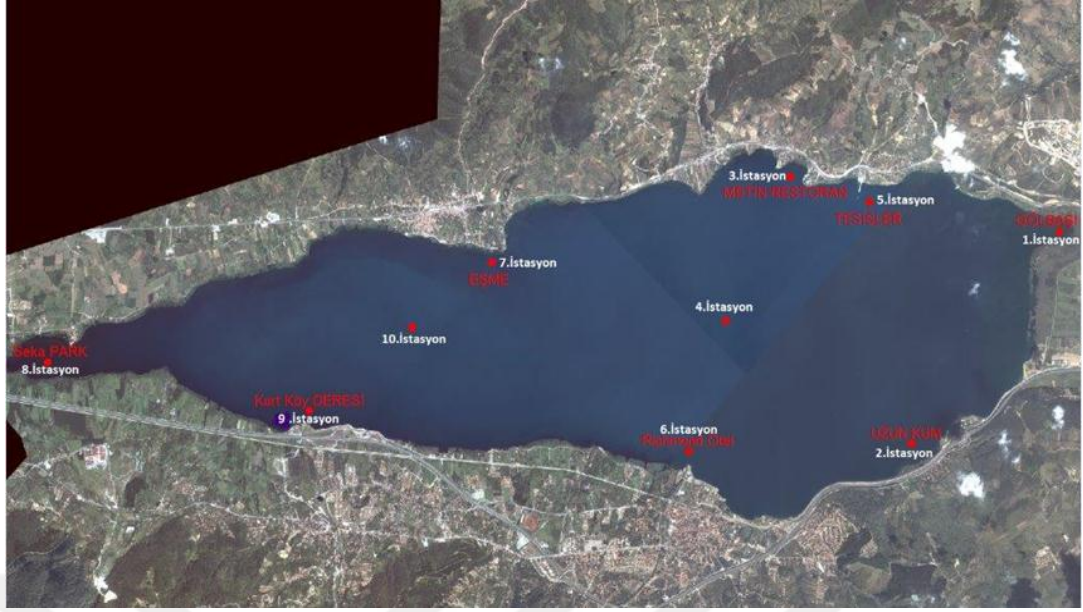
Tablo 3.3.'te koordinatları verilmiştir. Numune alma ekipmanları Şekil 3.6., Şekil 3.7. ve Şekil 3.8.'de sunulmuştur. Gölden alınan numuneler bu istasyonlardan alınmıştır. Tüm istasyonlar (toprak, hava, dere ve göl) göl çevresini temsil edecek şekilde belirlenmiş ve Şekil 3.9.'da verilmiştir.

Toprak, sediment ve hava numuneleri 10 farklı istasyondan, derelerden alınan numuneler ise göle birleşme noktalarına çok yakın istasyonlardan alınmaktadır. Göl de meydana gelen sıcaklık tabakalaşması göz önünde bulundurularak göl suyu her bir istasyonda yüzey, orta ve dip şeklinde üç farklı derinliklerden alınıp su kolonu şeklinde değerlendirilmiştir.

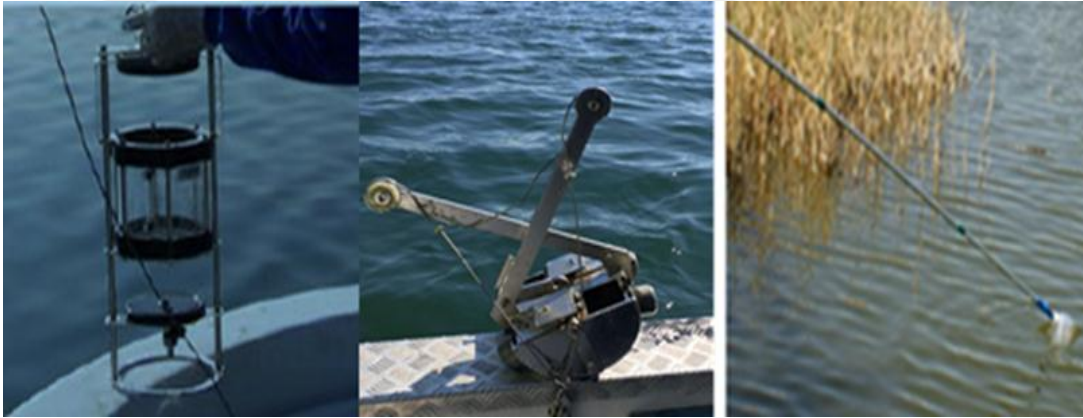
Sapanca gölü, gölü besleyen yan derelerden su numuneleri sırasıyla TS 6291 Ocak 1989 “Su Kalitesi-Numune Alma-Kısım 4: Göl ve Göletlerden Numune Alma Kuralları”, TS EN ISO 5667-6 Mart 2008 “Su Kalitesi- Numune Alma- Nehirlerden ve Akarsulardan Numune Alma Kılavuzu’na göre alınmıştır. Göl sedimentinden ise numuneler TS EN ISO 5667-12 Aralık 1995 “Su Kalitesi- Numune Alma- Dip Sedimentlerinden Numune Alma Kılavuzu’na göre alınmıştır. Kuyulardan alınan yeraltı suyu numuneleri TS ISO 5667-11 Ağustos 2015 “Su Kalitesi- Numune Alma- Yeraltı Sularından Numune Alma Kılavuzu’na göre alınmıştır.

Göl havzasındaki topraktan TS 9923 Mart 1992 “Toprak Kalitesi-Yüzey Toprakten Numune Alma, Numunelerin Taşınma ve Muhafaza Kurallarına göre numune alınmıştır. Seçilen noktalardan numune alınırken taş, çakıl, bitki örtüsü vs. temizlendikten sonra toprağın verimlilik durumuna göre, 0-20cm’lik toprak katını temsil eden her numune plastik poşetlere alınmıştır.

Hava numuneleri ise, Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN), 2009’da, örnekleme sistemlerine bağlı olarak örnekleme ekipmanları ve farklı örnekleme stratejileri için genel gereksinimleri belirten “Atmosferik birikimde nikel, kurşun, arsenik elementlerinin belirlenmesi için standart metot, EN 15841” metoduna göre atmosferik bulk birikim olarak toplanmıştır. Numune alma ekipmanları Şekil 3.8.’de verilmiştir.



Şekil 3.5. SASKİ Sapanca Gölü numune alma istasyonlar (SASKİ).



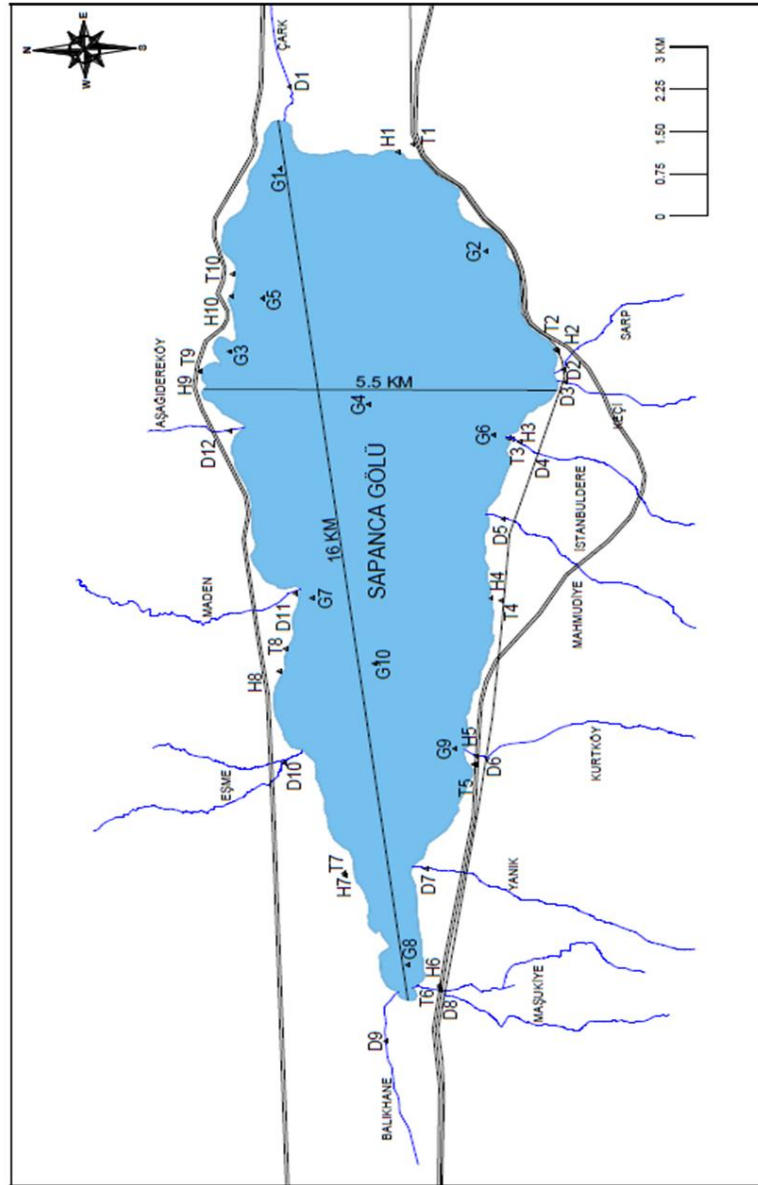
Şekil 3.6. Gölde su ve sediment, dereden su numunesi alma ekipmanları



Şekil 3.7. Topraktan numune alma ekipmanı



Şekil 3.8. Havadan numune alma ekipmanı (atmosferik bulk birikim örnekleyicisi).



Şekil 3.9. Numune alma istasyonları

Tablo 3.3. Numune alma istasyonlarının koordinatları

İstasyon Numarası	Hava/Toprak İstasyonu	Göl İstasyonu	Dereler	Dere İstasyonu
1	40.69305	40.73092	Sarp	40.69238
	30.28305	30.32155		30.27931
2	40.71473	40.70288	Keçi	40.69218
	30.32499	30.30415		30.27667
3	40.69977	40.73791	İstanbuldere	40.69845
	30.26485	30.28326		30.26418
4	40.70227	40.71903	Mahmudiye	40.70065
	30.23129	30.27211		30.24801
5	40.70227	40.73336	Kurtköy	40.70446
	30.23129	30.29439		30.19829
6	40.70227	40.70198	Yanık	40.71138
	30.23129	30.26565		30.17472
7	40.72226	40.72678	Maşukiye	40.70943
	30.17313	30.23153		30.14916
8	40.73127	40.71388	Balıkhane	40.71686
	30.23012	30.15457		30.13856
9	40.74196	40.70739	Eşme	40.73070
	30.27902	30.19988		30.19700
10	40.73751	40.71830	Maden	40.72913
	30.29485	30.21775		30.23255
			Aşağıdereköy	40.73925
				30.26633
			Çark	40.72953
				30.33875

3.3. Numunelerin Kalite Parametrelerinin Ölçülmesi

Su numunelerinde sıcaklık, pH, iletkenlik (C), çözünmüş oksijen (ÇO), oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP), tuzluluk (SAL), toplam çözünmüş katı (TDS) portatif çoklu ölçüm cihazı ile (YSI Professional Plus Multiparametre) arazide ölçülmüştür. Her ölçüm öncesi standart solüsyonlarla cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Toplam organik karbon (TOK) ölçümü için TOK (TOC-TN) cihazında gerçekleştirilmiştir. Askıda katı madde (AKM) tayini ise Standart Metot 2540D'ye göre yapılmıştır (APHA, 1998). Derelerden su numunesi alınırken eş zamanlı olarak cüce muline ile derelerde debi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Hava numunelerinde pH, iletkenlik (C), oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP), tuzluluk (SAL), toplam çözünmüş katı

(TDS) parametreleri portatif çoklu ölçüm cihazı (YSI Professional Plus Multiparametre) ile arazide ölçülmüştür.

Sediment ve toprak numuneleri alındıktan sonra laboratuvarında 105°C’de etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurutulduktan sonra 200-mesh (2 mm) çaplı elekten geçirilerek öğütülmüştür. Sonrasında katı numuneler hava geçirmez PE torbalara aktarılıp ağır metal analizi için çözündürülene kadar muhafaza edilmiştir. Sediment ve toprak numunelerinde kurutma ve elemeden sonra pH, ORP, iletkenlik, tuzluluk, organik madde tayini yapılmıştır. Toprak ve sediment numunelerinden 20’şer gram alınarak 50 ml’lik beher içine koyulup üzerine 1:2,5 oranında saf su ilave edilmiş, iyice çalkalandıktan sonra 10 dakika beklenip beher tekrar çalkalanır, sonrasında pH ve ORP ölçümü yapılmıştır (Dökmeci, 2005). Şekil 3.10. ve 3.11.’de numunelerin kurutulması ve elenmesi gösterilmektedir. Şekil 3.12.’de portatif çoklu ölçüm cihazı ile kalite parametrelerinin ölçümünün görseli bulunmaktadır.



Şekil 3.10. Numunelerin kurutulması



Şekil 3.11. Numunelerin öğütülmesi ve elenmesi

Yakma işlemine başlamadan önce krezeler sabit tartıma gelmesi için önce 2 saat, daha sonra 1 saat 440 °C’de bekletilmiştir. Kurutulmuş ve elenmiş sediment ve toprak örneklerinden 5 gram tartılarak, porselen kroze de 440 C’de 4 saat yakılmıştır (Şekil 3.13.). Kayıp miktar, toplam organik madde miktarı olarak değerlendirilmiştir (BSI, 1990). Organik karbon tayini stokiyometrik oranla hesaplanmıştır. Standart bir toprakta organik madde miktarının yaklaşık %50 – 60’ı organik karbondur (Duman, 2005).



Şekil 3.12. Numunelerin kalite parametrelerinin ölçülmesi



Şekil 3.13. Organik madde tayini

3.4. Analizlerde Kullanılan Kimyasallar

Numunelerin analize hazırlanmasının tüm aşamalarında Merck tarafından üretilmiş analitik saflıkta asitler ve kimyasallar kullanılmış olup kullanılan tüm asitler

suprapur kalitededir. Çözeltilerin hazırlaması için destile deiyonize su (Milli-Q Millipore 18,2 MΩ-cm direnci) kullanılmıştır. Tüm plastik ve cam malzemeler bir gece %10 v/v HNO₃ çözeltisi içinde bekletilip daha sonra destile deiyonize su ile yıkanmıştır. Bulk birikim örnekleyicisi ekipmanları laboratuvarında her numune alma periyodundan önce tekrardan nitrik asit, su ve deterjanla yıkanmıştır. Çözündürme işlemlerinde kullanılan metotların güvenilirliğini kontrol etmek amacıyla kullanılan standart referans maddeler şunlardır:

Toprak numuneleri için GBW07424 (GSS-10) (CRM Soil from the Overburden Region), sediment numuneleri için NCS DC73312 Stream Sediment ile su ve hava (bulk birikim) numuneleri için ERM-CA 011-B Hard Drinking Water- Metals.

Ayrıca ağır metal ölçümlerinin güvenilirliğini kontrol etmek amacıyla ICP-MS ve ICP-OES cihazlarında ICP multi-element standart solüsyonu (ağır metal standartları) kullanılmıştır. Yapılan çözündürme işlemlerinin güvenilirlik testi (validasyon) sonuçları % geri kazanım değerleri şeklinde Tablo 3.4.'te verilmektedir. Tablo 3.4.'te görülebileceği gibi deneysel verilerden elde edilen değerlerle standart referans madde değerleri iyi bir uyum içindedir. Bu sonuçlar önerilen mikrodalga ile çözündürme metodunun gerçek numunelerde ağır metal analizi için önerilen yöntemin geçerliliğini göstermektedir.

Tablo 3.4. Validasyon test sonuçları

Elementler	% Geri Kazanım		
	Toprak	Sediment	Su/ hava
As	90,1	96,8	84
Ba	92,1	95,6	84
Cd	95,2	97,7	98,7
Co	92,2	95,3	101
Cr	95,6	97,4	113,6
Cu	97,3	120,5	100,3
Ni	94,6	98,3	75,1
Pb	97,8	104	115,4
Zn	95,3	98,8	89,8

3.5. Analizlerde Kullanılan Metotlar

3.5.1. Su numuneleri için kullanılan metot

Su numuneleri Standart Metot 3030E'ye göre analize hazırlanmıştır. Su numuneleri 0,45µm'lik filtre kağıtları yardımıyla süzülür. Süzülen numunelerin pH'ı HNO₃ ile 2'ye getirilmiştir. Bu şekilde metallerin doğrudan tayini yapılabilmektedir. Su numunelerinin analizleri tamamlandıktan sonra saklama kaplarına alınan numuneler ICP-MS ile okuma işlemine kadar 4°C'de buzdolabında bekletilmiştir (APHA, 1998). Analiz öncesi ICP-MS cihazında standart referans maddeyle kalite kontroller yapılmıştır.

3.5.2. Hava numuneleri için kullanılan metot

Hava numuneleri atmosferik bulk birikim şeklinde toplandığından sıvı formdadır bu nedenle seçilen metot su numunelerine uygulanan metottur. Numuneler Standart Metot 3030E'ye göre analize hazırlanmıştır. Numuneler 0,45µm'lik filtre kağıtları yardımıyla süzülür. Süzülen numunelerin pH değeri HNO₃ ile 2'ye getirilmiştir. Su numunelerinin analizleri tamamlanmış olup ve saklama kaplarına alınan numuneler ICP-MS ile okuma işlemine kadar 4°C'de buzdolabında bekletilmiştir (APHA, 1998). Analiz öncesi ICP-MS cihazında standart referans maddeyle kalite kontroller yapılmıştır.

3.5.3. Toprak numuneleri için kullanılan metot

Çalışmada ağır metallerde toplam çözünmüş tür için çözündürme yapılmıştır. Toplam çözünmüş tür için EPA Metot 3052'ye göre (mikrodalga yöntemiyle) numuneler analize hazırlanmıştır. Çözündürme işlemi için Milestone Ethos D marka mikrodalga kapalı sistem (maksimum basınç 1450 psi, maksimum sıcaklık 300°C) kullanılmıştır. Kurutulmuş ve elenmiş numunelerde analize göre uygun miktarda tartılmıştır. EPA Metot 3052'ye göre mikrodalga cihazında toprakta çözündürme işlemi uygulamak için aşağıdaki işlemler takip edilmiştir.

1. 0,5 g kurutulmuş numune tartılır ve teflon yakma kabına konur.
2. Numuneye 8 ml HNO_3 ve 2 ml H_2O_2 içeren asit karışımı eklenir.
3. Teflon kaplar kapatılarak mikrodalga cihaz içerisine yerleştirilir.
4. Yerleştirme sırasında kaplar dengeli şekilde rotora yerleştirilir.
5. 180 ± 5 °C sıcaklıkta 20 dk. çözündürme işlemi yapılır.
6. Çözündürme işleminden sonra soğuyan numuneler mavi bantlı süzgeç kağıdıyla süzdürülüp, süzüntü 25 mL'lik cam balon jojede saf suyla tamamlanır.

3.5.4. Sediment numuneleri için kullanılan metot

Toplam çözünmüş tür için toprak numunelerinde kullanılan EPA Metot 3052'ye göre (mikrodalga yöntemiyle) numuneler analize hazırlanmıştır. Çözündürme işlemi için Milestone Ethos D marka mikrodalga kapalı sistem (maksimum basınç 1450 psi, maksimum sıcaklık 300°C) kullanılmıştır. Katı numunelerin çözündürülmesinde kullanılan mikrodalga metoduna ait görseller Şekil 3.14. ve 3.15.'te verilmiştir. EPA Metot 3052'ye göre mikrodalga cihazında sedimentte çözündürme işlemi uygulamak için aşağıdaki işlemler takip edilmiştir.

1. 1 g kurutulmuş numune tartılır ve teflon yakma kabına konur.
2. Numuneye 6 ml HNO_3 ve 2 ml H_2O_2 içeren asit karışımı eklenir.
3. Teflon kaplar kapatılarak mikrodalga cihaz içerisine yerleştirilir.
4. Yerleştirme sırasında kaplar dengeli şekilde rotora yerleştirilir.
5. 180 ± 5 °C sıcaklıkta 20 dk. çözündürme işlemi yapılır.
6. Çözündürme işleminden sonra soğuyan numuneler mavi bantlı süzgeç kağıdıyla süzdürülüp, süzüntü 25 mL'lik cam balon jojede saf suyla tamamlanır.



Şekil 3.14. Numunelerin mikrodalga cihazında çözünürleştirilmesi



Şekil 3.15. Çözündürülme işlemi sonrası numunelerin süzülmesi

3.6. İstatistiksel Analiz

Su, sediment, toprak ve hava örneklerindeki ağır metal konsantrasyonları 3 tekrarlı ölçüm sonuçlarının ortalaması şeklinde verilmiştir. İstatistiksel analizlerde SPSS 17.0 paket programı kullanılmıştır. $p \leq 0,05$ değeri anlamlı olarak değerlendirilmiştir. Su, sediment, toprak ve hava ortamlarında bulunan ağır metal konsantrasyonları ile bu alıcı ortalamalara ait kalite parametreleri arasındaki ilişki Pearson korelasyonu kullanılarak değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Su Ortamında Ağır Metal Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

Sapanca Gölü havzasında ağır metal kirliliğini değerlendirmek amacıyla 2015-2017 yılları arasında göl suyundan, gölü besleyen derelerden ve yeraltı sularından örnekler alınmıştır. Sapanca Gölü çevresinde bulunan TEM E-80 otoyolu, D-100 karayolu ve demiryolu, endüstriyel kuruluşlar, ısınma ve bölgenin doğal yapısı gibi faktörlere bağlı olarak incelenen ağır metal konsantrasyonları değişim göstermektedir. Alınan örneklerde ağır metal konsantrasyonlarının minimum, maksimum, aritmetik ortalama, medyan ve standart sapma gibi istatistiksel özellikleri belirlenmiş ve ağır metal kirliliği değerlendirilmiştir.

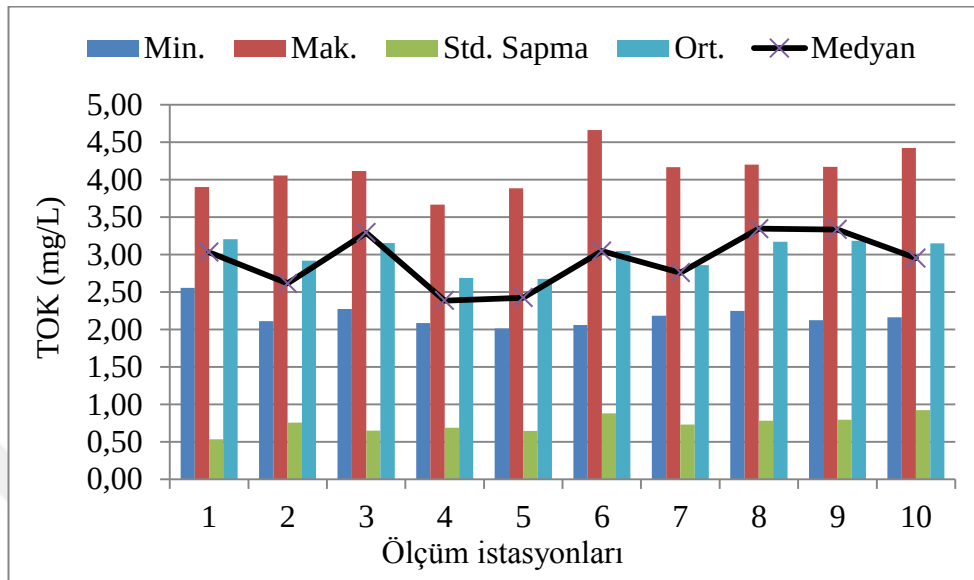
4.1.1. Göl suyunda ağır metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesi

4.1.1.1. Fiziko-kimyasal parametrelerin incelenmesi

İçme suyunda fiziko-kimyasal parametreler önemlidir ve yüksek veya düşük konsantrasyonları doğrudan veya dolaylı olarak insan sağlığını etkilemektedir (kaynak). Toplam organik karbon (TOK), sıcaklık, çözünmüş oksijen (ÇO), iletkenlik, toplam çözünmüş katı (TDS), tuzluluk (SAL), pH, askıda katı madde (AKM) ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) parametreleri incelenmiştir.

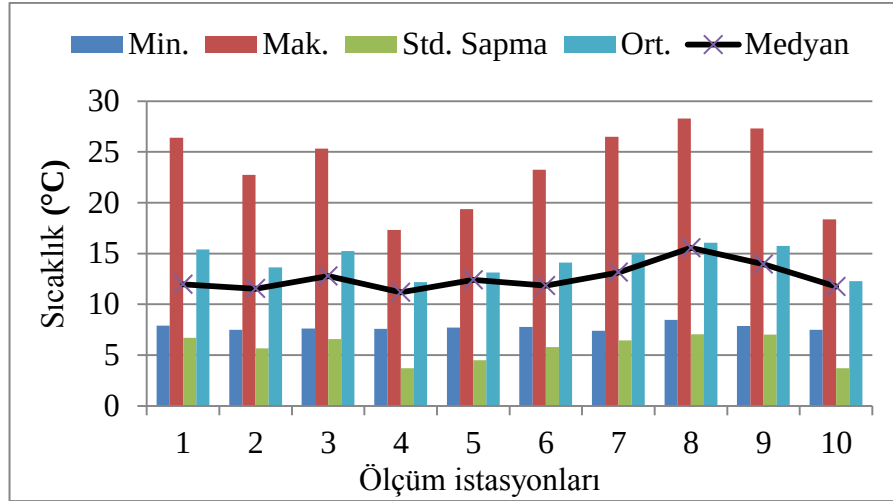
Toplam organik karbonun istasyon bazında değişimi Şekil 4.1.'de verilmektedir. Ağır metallerin su ortamındaki davranışını tahmin etmek için sudaki organik madde miktarının bilinmesi gerekmektedir (Reuter ve Perdue, 1977). TOK değerleri incelendiğinde, minimum değer 5. istasyonda 2,01 mg/L bahar döneminde ve maksimum değer 6.istasyonda 4,66 mg/L kış döneminde belirlenmiştir. Her bir

ölçüm istasyonuna ait ortalama TOK konsantrasyonları ise 2,68 mg/L ile 3,20 mg/L arasında değişmektedir.

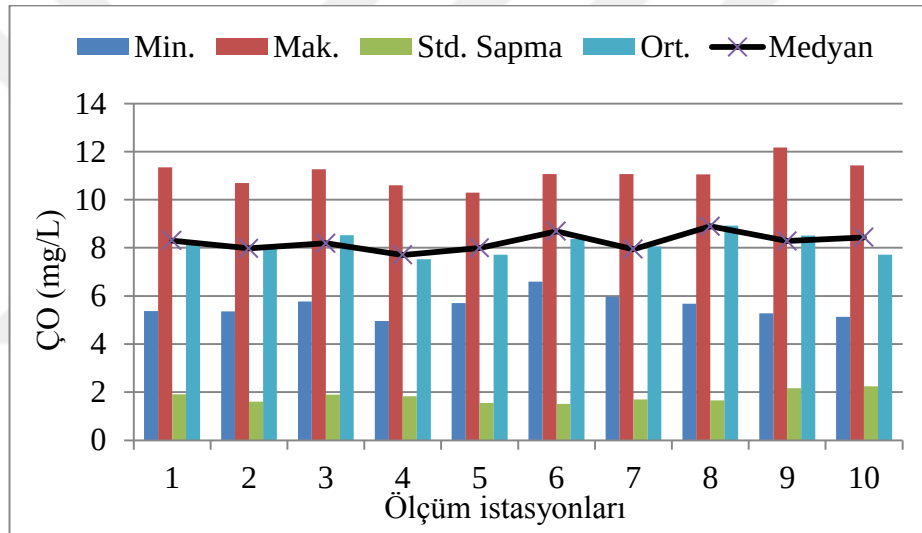


Şekil 4.1. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına göre TOK değerleri

Yüzeysel suların su kalitesinin değerlendirilmesinde sıcaklık ve çözünmüş oksijen önemli bir fiziksel parametrelerdir. Suyun sıcaklığı su ortamında gerçekleşen birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik prosesi etkilemektedir (Zeybek, 2006). Suyun sıcaklığı arttıkça su ortamında gerçekleşen kimyasal reaksiyonların oranı da artış göstermektedir (Chapman, 1996). Gölden alınan su örneklerinde ölçüm istasyonlarına göre sıcaklık ve çözünmüş oksijen değişimi Şekil 4.2. ve 4.3.'te verilmiştir. Su sıcaklığı minimum 2 ve 10. istasyonda kış döneminde 7,5°C ve maksimum 8. istasyonda yaz döneminde 28,3°C şeklinde izlenmiştir. Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama su sıcaklığı ise 12,17°C ile 16,07°C arasında değişmektedir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun doğal ya da antropojenik nedenlerle azaldığı koşullarda, sediment-su ara yüzünde anaerobik koşullar meydana gelebilmektedir (Chapman ve Kimstach, 1996; Zeybek, 2006). Çözünmüş oksijen konsantrasyonu minimum 4. istasyonda bahar döneminde 4,95 mg/L ve maksimum kış döneminde 12,17 mg/L şeklinde ölçülmüştür. İstasyon bazında değişim incelendiğinde, ÇO konsantrasyonları 7,52 mg/L ile 8,93 mg/L arasında değişim göstermektedir.

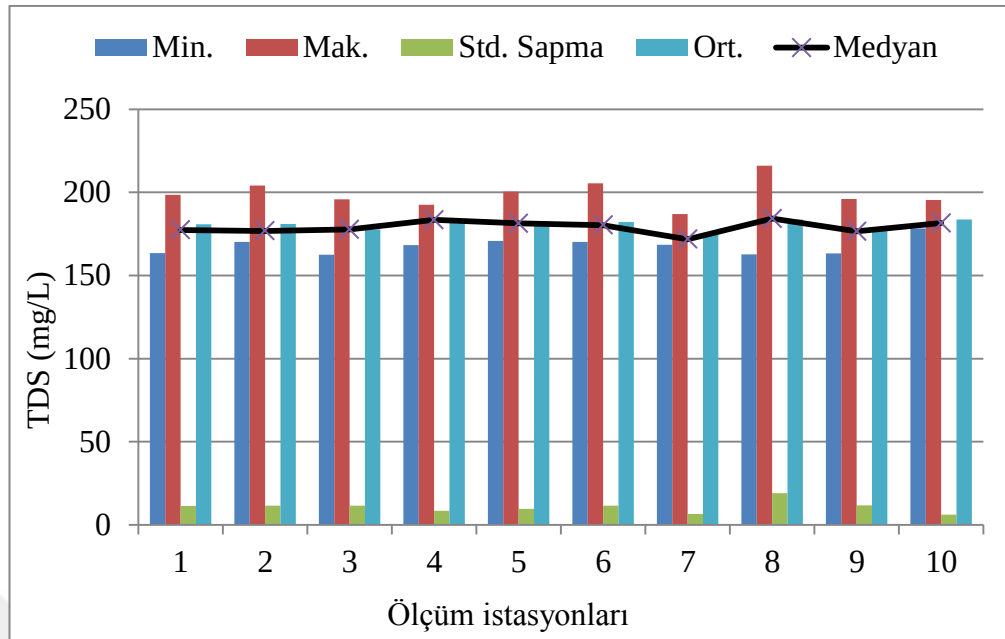


Şekil 4.2. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına göre sıcaklık değerleri



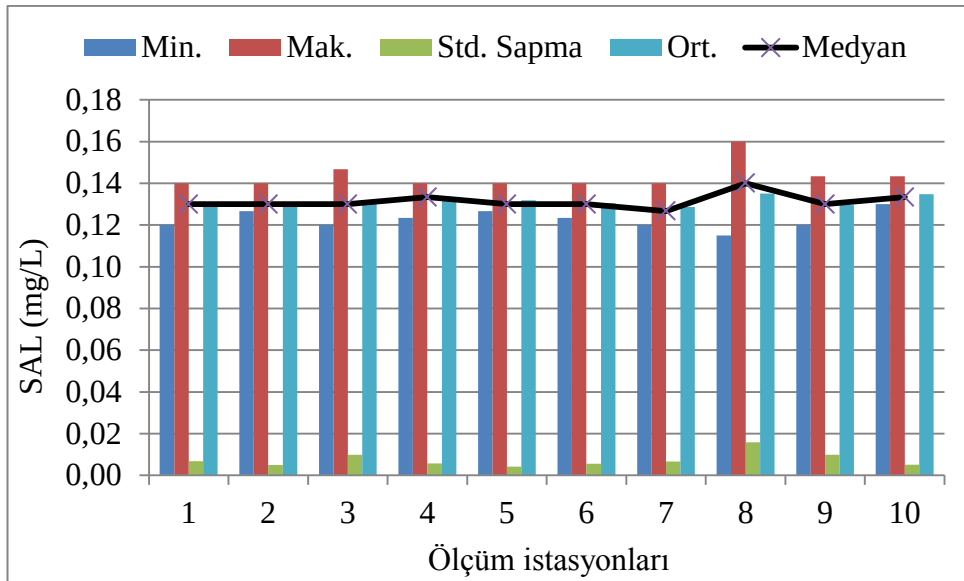
Şekil 4.3. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına göre ÇO değerleri

Suların mineral ve iyon zenginliğini gösteren toplam çözünmüş maddeler organik veya inorganik kaynaklı olmaktadır. Yüzeysel sularda toplam çözünmüş madde inorganik tuzlardan kaynaklanmaktadır. TDS konsantrasyonu mevsimlerden, jeolojik yapıdan ve atık girişinden etkilenmektedir (Çakırsoy Şen, 2007; Dede, 2009). Gölde alınan su örneklerinde ölçüm istasyonlarına göre toplam çözünmüş madde değişimi Şekil 4.4.'te verilmiştir. TDS konsantrasyonu minimum 3. istasyonda sonbahar döneminde 162,5 mg/L ve maksimum 8. istasyonda kış döneminde 216,13 mg/L şeklinde izlenmiştir. Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama TDS konsantrasyonları ise 175,46 mg/L ile 183,63 mg/L arasında değişmektedir.



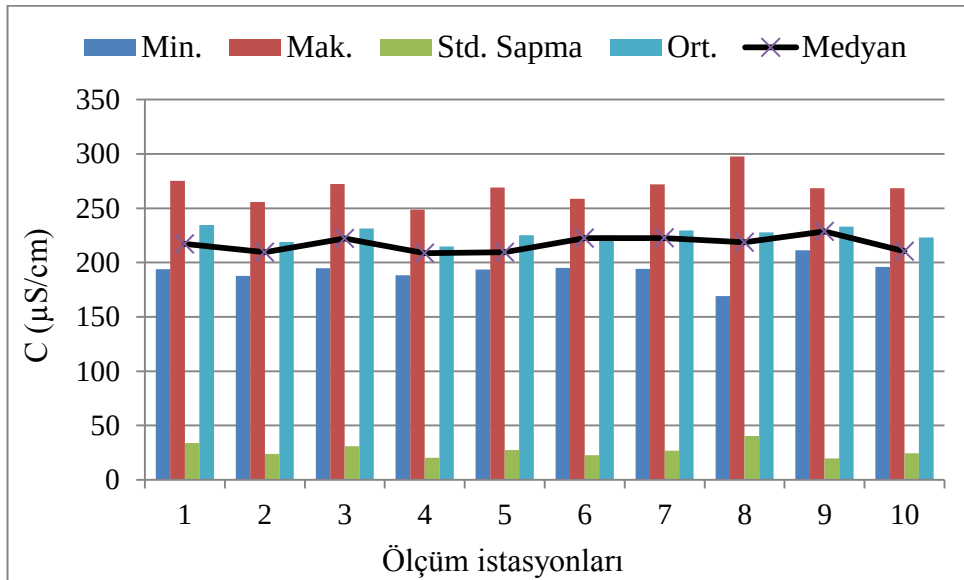
Şekil 4.4. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına TDS değerleri

Suyun tuzluluğu arttıkça elektriksel iletkenliği artmaktadır. Sulardaki tuzluluk sucul ortamdaki kayaç yapısı ve yağış, buharlaşma gibi meteorolojik faktörlerden etkilenmektedir (Atay ve Pulatsü, 2000; Alparslan, 2013). Su ortamında tuzluluk konsantrasyonları, toplam çözünmüş katı madde ve major iyonların konsantrasyonlarıyla ilgilidir (Chapman, 1996). Suyun pH'ı ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli azaldıkça, tuzluluğu da arttıkça sedimentten su kolonuna geçen metal miktarı artmaktadır (Karakaş, 2003; Dökmeci, 2005). Gölde alınan su örneklerinde ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk konsantrasyonları Şekil 4.5.'te verilmiştir. Tuzluluk konsantrasyonu minimum 2, 5 ve 10. istasyonlar hariç diğer istasyonlarda 0,12 mg/L ve maksimum 8. istasyonda kış döneminde 0,16 mg/L şeklinde izlenmiştir. Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama tuzluluk konsantrasyonları ise 0,13 mg/L ile 0,14 mg/L arasında değişmektedir.



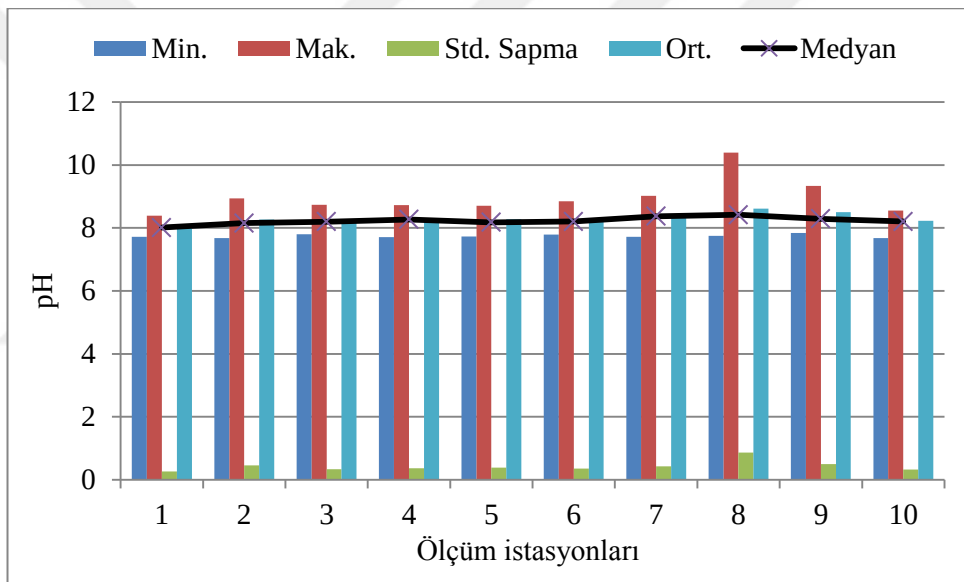
Şekil 4.5. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk değerleri

İletkenlik değerleri incelendiğinde, minimum iletkenlik 169,25 $\mu\text{S/cm}$ olup 8. istasyonda bahar döneminde, maksimum iletkenlik 297,5 $\mu\text{S/cm}$ olup 8. istasyonda kış döneminde belirlenmiştir. Şekil 4.6.'da görüldüğü üzere, her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama iletkenlik değerleri ise 214,77 $\mu\text{S/cm}$ ile 234,59 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmektedir.



Şekil 4.6. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına iletkenlik değerleri

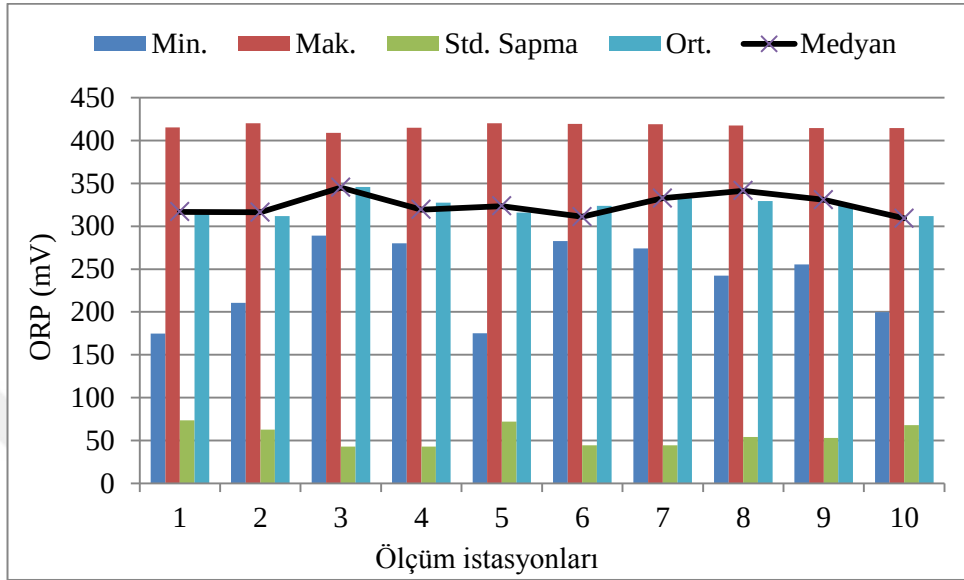
pH, sudaki biyolojik ve kimyasal reaksiyonları etkileyen önemli parametrelerdendir (Atay ve Pulatsü, 2000). pH, su ortamında metal iyonlarının hareketliliğini ve metallerin su ortamında sedimente geçişini ve minerallerin oluşumunu kontrol etmektedir (Dede, 2009). Bununla birlikte, su kaynağının pH'ı metallerin sucul çevredeki varlığını ve toksisitesini etkilemektedir (Çakırsoy Şen, 2007). Su ortamının pH'ı endüstriyel kirleticiler ve asit formundaki atmosferik çökelmelerle değişebilmektedir (Zeybek, 2006). Şekil 4.7.'de istasyon bazında su örneklerinde pH değişimi verilmektedir. pH minimum sonbahar döneminde 7,68 2 ve 10. istasyonlarda ve maksimum kış döneminde 10,39 8.istasyonda gözlemlenmiştir. pH değerleri istasyon bazında ortalama 8,04 ile 8,62 arasında değişim göstermektedir.



Şekil 4.7. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına göre pH değerleri

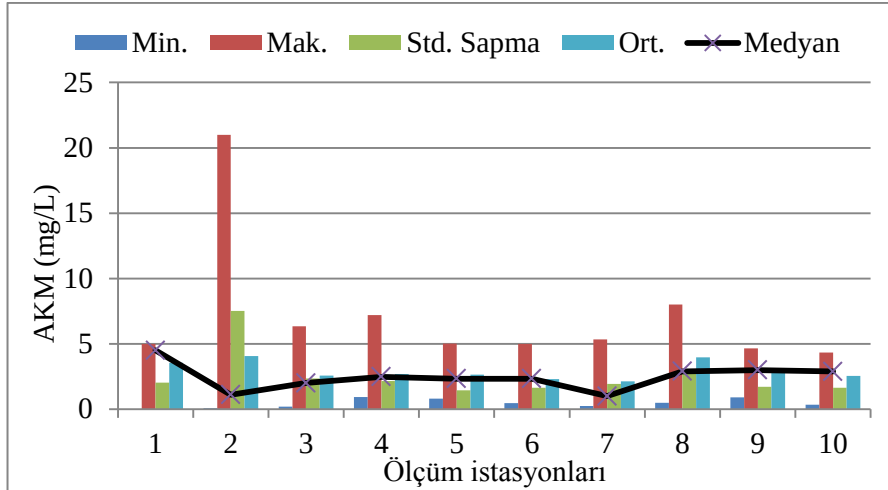
Oksidasyon-redüksiyon potansiyeli doğal sulardaki metal ve iyonların oksidasyon durumunu karakterize etmektedir. pH, redoks potansiyeli veya organik madde varlığı gibi çevresel koşullar, ağır metallerin sediment yapısından su kolonuna salınmasına neden olabilmektedir (Förstner, 1985). Bu nedenle, sucul ortamlarda ağır metallerin mobilitesini (hareketliliğini) kontrol eden en önemli parametreler pH ve redoks potansiyelidir (Vesper, 2019). Bu parametrenin ölçüm istasyonlarına göre değişimi Şekil 4.8.'de verilmektedir.

ORP minimum bahar döneminde 174,60 mV 1. istasyonda ve maksimum kış döneminde 420,13 mV 5 istasyonda gözlemlenmiştir. İstasyon bazında ORP değerleri ortalama 311,95 mV ile 345,77 mV arasında değişim göstermektedir.



Şekil 4.8. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına göre ORP değerleri

Askıda katı maddenin türü ve konsantrasyonu, suyun bulanıklığını ve berraklığını etkileyen bir parametredir. Askıda katı maddeler silt, kil, organik ve inorganik maddeler ve çözünür organik bileşiklerden oluşmaktadır (Chapman, 1996). Sucul ortamlarda ağır metallerin belirli bir kısmı askıda katı maddelere tutunmuş halde bulunmaktadır. AKM konsantrasyonlarının istasyon bazında değişimi Şekil 4.9.'da verilmektedir. Gölde AKM değerleri oldukça düşük seviyelerdedir. Maksimum AKM konsantrasyonu sonbahar döneminde 2. istasyonda 21 mg/L şeklinde gözlemlenmiştir. AKM değerleri istasyon bazında ortalama 2,13 mg/L ile 4,07 mg/L arasında değişim göstermektedir.



Şekil 4.9. Göl suyunda ölçüm istasyonlarına AKM değerleri

Kalite parametrelerinin istasyon bazında mevsimsel değişimi Tablo 4.1.'de verilmektedir. En önemli parametrelerin başında gelen pH, TOK (toplam organik karbon) ve ORP (redoks potansiyeli) istasyon bazında minimum ve maksimum değerler şu şekilde belirlenmiştir:

1. istasyonda TOK Kış 2017'de 2,56 mg/L ve Sonbahar 2015'te 3,90 mg/L; pH Sonbahar 2016'da 7,72 ve İlkbahar 2016'da 8,39; ORP İlkbahar 2017'de 174,6 mV ve Kış 2017'de 415,25 mV'tur.

2. istasyonda TOK İlkbahar 2017'de 2,11 mg/L ve Kış 2016'da 4,05 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,68 ve Yaz 2016'da 8,94; ORP İlkbahar 2017'de 278,7 mV ve Kış 2017'de 420,07 mV'tur.

3. istasyonda TOK Kış 2017'de 2,27 mg/L ve Kış 2016'da 4,11 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,8 ve Yaz 2016'da 8,74; ORP Sonbahar 2015'te 289,13 mV ve Kış 2017'de 409,03 mV'tur.

4. istasyonda TOK Yaz 2016 ve İlkbahar 2017'de 2,09 mg/L ve Sonbahar 2016'da 3,66; pH Sonbahar 2015'te 7,71 ve Kış 2017'de 8,73; ORP Sonbahar 2015'te 299,27 mV ve Kış 2017'de 414,83 mV'tur.

5.istasyonda TOK İlkbahar 2017'de 2,01 mg/L ve Sonbahar 2016'da 3,89 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,73 ve İlkbahar 2016'da 8,71; ORP Sonbahar 2016'da 174,97 mV ve Kış 2017'de 420,13 mV'tur.

6. istasyonda TOK İlkbahar 2017'de 2,06 mg/L ve Kış 2016'da 4,64 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,79 ve Yaz 2016'da 8,85; ORP Sonbahar 2015'te 282,5 mV ve Kış 2017'de 419,4 mV'tur.

7. istasyonda TOK İlkbahar 2017'de 2,19 mg/L ve Kış 2017'de 4,17 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,72 ve Kış 2017'de 9,03; ORP Yaz 2016'da 274,27 mV ve Kış 2017'de 418,93 mV'tur.

8. istasyonda TOK Kış 2017'de 2,25 mg/L ve Kış 2016'da 4,20 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,76 ve Kış 2017'de 10,39; ORP Sonbahar 2016'da 242,35 mV ve Kış 2017'de 417,45 mV'tur.

9. istasyonda TOK Kış 2017'de 2,12 mg/L ve Kış 2016'da 4,17 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,84 ve Kış 2017'de 9,34; ORP Sonbahar 2016'da 255,33 mV ve Kış 2017'de 414,7 mV'tur.

10. istasyonda TOK Kış 2017'de 2,16 mg/L ve Kış 2016'da 4,42 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,68 ve Kış 2017'de 8,55; ORP Sonbahar 2016'da 199,87 mV ve Kış 2017'de 414,63 mV'tur.

Tablo 4.1. Göl suyunda kalite parametrelerinin ölçüm istasyonları bazında mevsimsel değişimi

Ölçüm İstasyonları	Mevsimler	TOK	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	C (µS/cm)	TDS (mg/L)	SAL (mg/L)	pH	ORP (mV)	AKM (mg/L)
1	SB 15	3,90	16,20	7,20	209,50	163,49	0,12	7,78	316,90	5,00
	K 16	3,03	11,80	8,81	193,95	177,13	0,13	7,86	297,20	4,50
	İB 16	2,74	11,95	9,41	217,05	186,88	0,14	8,39	341,05	4,60
	Y 16	3,73	26,40	7,11	275,35	173,88	0,13	8,22	316,90	0,00
	SB 16	3,62	22,40	5,38	260,95	177,45	0,13	7,72	354,70	5,00
	K 17	2,56	7,90	11,35	272,50	198,58	0,13	8,30	415,25	4,50
	İB 17	2,85	11,10	8,30	212,80	188,50	0,14	8,01	174,60	1,30

Tablo 4.1. (Devamı)

2	SB 15	2,61	14,67	7,50	209,47	170,30	0,13	7,68	302,97	21,00
	K 16	4,05	9,77	7,77	187,77	176,80	0,13	8,15	327,13	2,67
	İB 16	2,60	11,53	8,22	203,70	175,72	0,13	8,49	327,87	2,33
	Y 16	3,19	22,73	8,94	255,73	174,63	0,13	8,94	316,27	0,07
	SB 16	3,73	19,67	5,36	244,03	177,67	0,13	7,86	210,63	0,73
	K 17	2,15	7,50	10,70	224,20	204,22	0,13	8,68	420,07	1,11
	İB 17	2,11	9,67	7,98	208,17	188,28	0,14	8,10	278,70	0,55
3	SB 15	3,69	16,93	10,10	211,37	162,50	0,12	7,80	289,13	5,00
	K 16	4,11	9,97	8,05	194,70	177,67	0,13	8,16	392,37	2,00
	İB 16	2,58	11,77	9,41	206,33	178,97	0,13	8,65	345,27	3,07
	Y 16	3,29	25,33	6,86	269,87	174,20	0,13	8,74	314,67	0,20
	SB 16	3,36	22,30	5,77	243,53	166,83	0,12	8,00	350,37	0,42
	K 17	2,27	7,60	11,27	272,33	195,87	0,15	8,27	409,03	6,33
	İB 17	2,76	12,77	8,19	222,13	188,50	0,14	8,20	319,53	1,00
4	SB 15	2,39	12,70	7,33	208,50	177,88	0,13	7,71	299,27	3,00
	K 16	3,62	10,20	7,70	188,40	168,35	0,12	8,12	342,50	1,33
	İB 16	2,74	11,17	8,47	208,30	183,52	0,13	8,61	315,37	0,93
	Y 16	2,09	17,33	5,81	248,60	190,67	0,14	8,50	319,43	7,20
	SB 16	3,66	16,87	4,95	235,80	182,00	0,13	7,99	280,20	2,80
	K 17	2,24	7,57	10,60	209,33	192,62	0,13	8,73	414,83	1,11
	İB 17	2,09	9,37	7,79	204,47	189,37	0,14	8,27	321,73	2,49
5	SB 15	2,42	14,60	5,70	209,43	170,73	0,13	7,73	323,53	5,03
	K 16	2,41	9,80	8,13	193,50	177,23	0,13	8,05	335,10	2,33
	İB 16	2,68	12,40	8,61	209,10	177,67	0,13	8,71	319,77	2,33
	Y 16	3,14	19,37	7,13	246,93	181,35	0,13	8,65	313,73	3,00
	SB 16	3,89	18,33	6,17	242,23	181,35	0,13	7,99	174,97	0,80
	K 17	2,17	7,70	10,30	269,00	200,42	0,13	8,64	420,13	1,28
	İB 17	2,01	9,77	8,00	206,13	188,72	0,14	8,18	324,73	3,80
6	SB 15	3,05	14,77	6,60	209,87	170,30	0,13	7,79	282,70	2,33
	K 16	4,66	9,80	7,86	195,13	180,72	0,13	8,12	317,83	5,00
	İB 16	2,64	11,83	8,69	208,83	180,27	0,13	8,63	326,10	3,73
	Y 16	3,37	23,23	8,81	258,73	173,97	0,12	8,85	311,03	0,47
	SB 16	3,36	20,63	6,79	248,53	176,58	0,13	8,15	306,10	0,73
	K 17	2,19	7,77	11,07	222,37	205,50	0,13	8,31	419,40	2,44
	İB 17	2,06	10,70	8,73	230,07	187,42	0,14	8,21	302,90	1,42
7	SB 15	2,85	15,00	5,97	213,00	171,38	0,13	7,72	312,87	1,00
	K 16	4,17	9,97	7,94	194,23	177,85	0,13	8,22	312,77	5,33
	İB 16	2,76	13,13	9,21	215,20	180,70	0,13	8,73	332,77	3,47
	Y 16	2,24	26,50	7,95	255,67	170,95	0,12	8,66	274,27	0,60
	SB 16	3,47	20,23	6,54	235,07	168,57	0,12	8,27	336,30	0,25
	K 17	2,33	7,40	11,07	272,00	171,82	0,13	9,03	418,93	3,45
	İB 17	2,19	13,10	7,78	222,60	186,98	0,14	8,37	342,37	0,84
8	SB 15	3,90	16,25	8,85	217,95	169,98	0,13	7,76	311,05	2,00
	K 16	4,20	9,80	8,60	201,05	184,28	0,14	8,19	341,55	8,00
	İB 16	2,55	15,55	9,71	249,25	197,28	0,15	8,67	351,65	2,40
	Y 16	3,35	28,30	9,73	218,55	162,83	0,12	8,83	296,60	2,90
	SB 16	3,58	22,00	5,68	241,00	166,08	0,12	8,07	242,35	0,50
	K 17	2,25	8,45	11,05	297,50	216,13	0,16	10,39	417,45	7,84
	İB 17	2,36	12,15	8,90	169,25	188,83	0,14	8,42	345,05	4,13

Tablo 4.1. (Devamı)

9	SB 15	3,95	16,67	7,40	211,27	163,37	0,12	7,84	300,07	3,00
	K 16	4,17	9,87	8,28	228,63	176,58	0,13	8,24	330,77	4,67
	İB 16	2,63	13,93	10,05	219,90	181,08	0,13	8,88	342,67	4,00
	Y 16	3,33	27,30	7,65	240,33	170,73	0,12	8,68	275,50	1,07
	SB 16	3,65	22,60	5,28	246,13	167,70	0,12	8,29	255,33	0,92
	K 17	2,12	7,87	12,17	268,33	196,08	0,14	9,34	414,70	4,56
	İB 17	2,42	11,93	8,72	218,10	189,06	0,14	8,23	346,53	1,11
	SB 15	3,04	12,90	5,13	210,37	178,32	0,13	7,68	299,43	4,33
10	K 16	4,42	9,70	6,51	196,10	181,35	0,13	8,01	309,23	4,33
	İB 16	2,81	11,73	8,60	210,27	181,67	0,13	8,51	339,33	1,33
	Y 16	2,95	18,37	8,62	239,67	178,32	0,13	8,53	267,37	1,07
	SB 16	4,40	15,57	5,24	227,10	181,57	0,13	8,08	199,87	0,33
	K 17	2,16	7,50	11,43	268,33	195,43	0,14	8,55	414,63	3,55
	İB 17	2,25	10,17	8,43	208,77	188,72	0,14	8,21	353,80	2,89

Tablo 4.2.'de su örneklerinde kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi verilmiştir. TOK konsantrasyonu en yüksek Kış 2016'da 3,88 mg/L ve ÇO konsantrasyonu en yüksek Kış 2017'de 11,10 mg/L olarak tespit edilmiştir. TDS konsantrasyonu en yüksek Kış 2017'de 197,67 mg/L, pH en yüksek Yaz 2016'da 8,66 ve ORP en yüksek Kış 2017'de 416,44 mV değerinde gözlemlenmiştir.

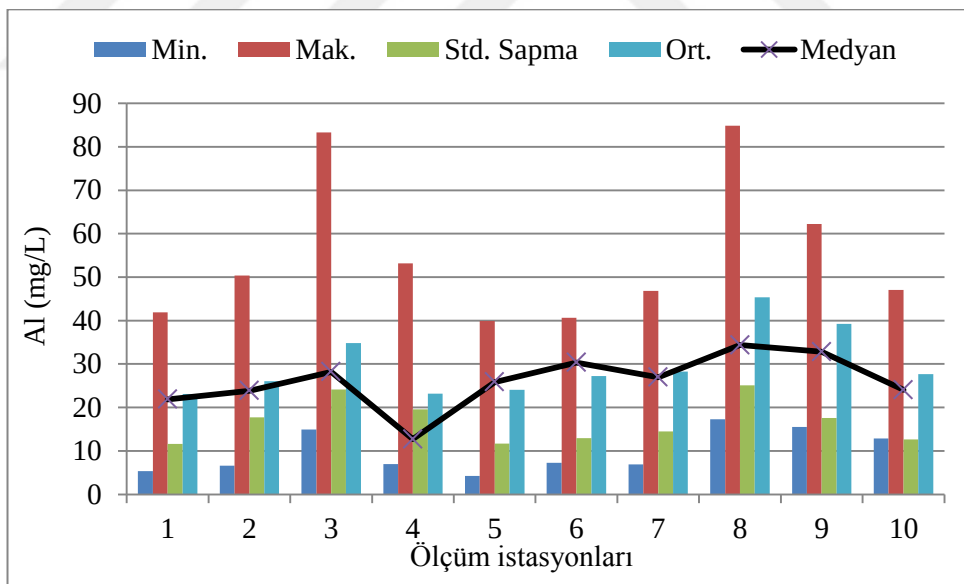
Tablo 4.2. Göl suyunda kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi

Mevsimler	TOK	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	C (µS/cm)	TDS (mg/L)	SAL (ppt)	pH	ORP (mV)	AKM (mg/L)
SB 15	3,18	15,07	7,18	211,07	169,82	0,13	7,75	303,79	5,17
K 16	3,88	10,07	7,97	197,35	177,80	0,13	8,11	330,65	4,02
İB 16	2,67	12,50	9,04	214,79	182,37	0,13	8,63	334,18	2,82
Y 16	3,07	23,49	7,86	250,94	175,15	0,13	8,66	300,58	1,66
SB 16	3,67	20,06	5,72	242,44	174,58	0,13	8,04	271,08	1,25
K 17	2,25	7,73	11,10	257,59	197,67	0,14	8,82	416,44	3,62
İB 17	2,31	11,07	8,28	210,25	188,44	0,14	8,22	311,00	1,95

Ağır metaller su kaynaklarına atmosferik birikim, toprak ve kayaların ayrışması, tarımsal faaliyetler, yerleşim alanları ve endüstriyel faaliyetler gibi doğal veya antropojenik kaynaklardan geçmektedir (Varol ve ark., 2012). Ağır metal girişinin olmadığı veya çok az kirletici kaynağa maruz kalan su kaynaklarında ağır metal konsantrasyonları düşük seviyelerdedir (Varol, 2013). Ağır metal, kirliliğe neden olan kaynakların belirlenmesi için alıcı ortamdaki kirleticilerin konsantrasyonlarının tespit edilmesi ve kirlilik değerlendirmesi yapılması gerekmektedir.

4.1.1.2. Ağır metallerin incelenmesi

İstasyonlarda belirlenen alüminyum konsantrasyonları Şekil 4.10.'da verilmiştir. Şekil 4.10.'da görüldüğü gibi en yüksek Al kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 84,84 mg/L konsantrasyonla 8.istasyon ve 62,27 mg/L konsantrasyonla 9. İstasyonudur. Al yerkabuğundan kaynaklanan ve su ortamında özellikle suyun kaynağı ve su ortamının yapısını gösteren bir metaldir (Şahinci, 1991; Güner, 2016) Al kaynağı jeolojik yapı ve fosil yakıt tüketimidir. Ölçüm istasyonlarında ortalama Al konsantrasyonları 23,12 mg/L ile 45,34 mg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 1. ve 8. istasyonlarında gözlemlenmiştir. Sapanca gölünde ortalama Al konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerlerin üzerindedir. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre Al açısından su kalitesi orta durumdadır. Alınan sediment ve toprak örneklerinde de Al konsantrasyonları diğer metallere göre yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Al metalinin Sapanca havzasının jeolojik yapısından kaynaklı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.10. Göl suyunda belirlenen Al konsantrasyonu

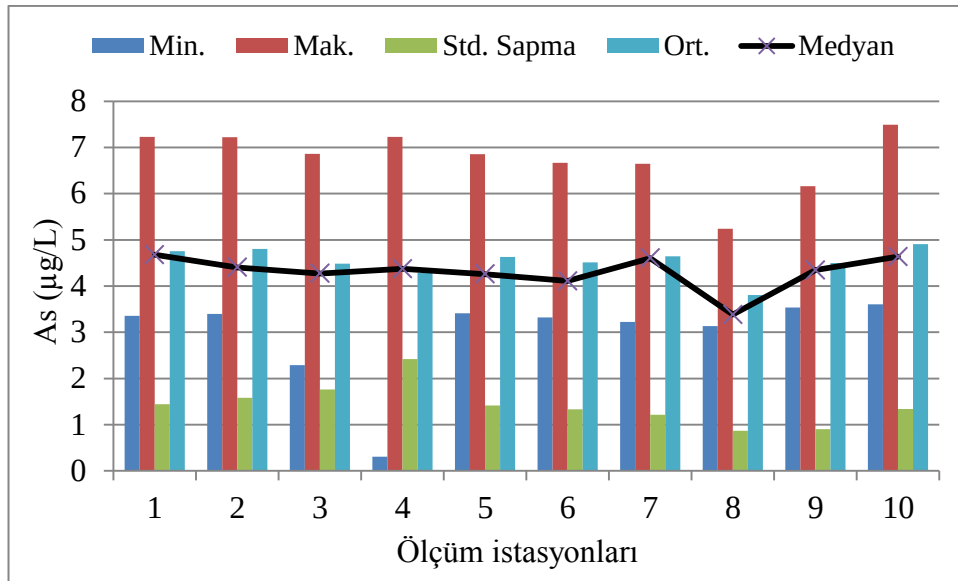
Tablo 4.3.'te ölçüm süresi içerisinde Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi verilmiştir. Sapanca gölünde Al diğer metallere göre oldukça yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Al konsantrasyonunun özellikle 2016 kış döneminde yükseldiği tespit edilmiş ve ısınma amaçlı fosil yakıt tüketiminin artması

ve yağışlı dönemde topraktan sızmalar neticesinde Al konsantrasyonunda artış gözlemlenmiştir.

Tablo 4.3. Göl suyunda Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	5,33	46,51	48,33	48,77	13,99	40,68	46,80	53,18	61,45	47,03	41,21
K 16	41,93	50,36	83,32	53,21	39,88	39,94	43,46	70,98	62,27	39,91	52,53
İB 16	21,85	33,05	28,22	12,71	24,52	35,95	33,86	31,67	43,94	24,04	28,98
Y 16	29,55	10,69	16,75	6,96	29,23	7,27	14,63	17,31	29,89	32,65	19,49
SB 16	18,06	6,58	14,89	12,19	4,23	15,52	6,88	84,84	28,72	12,84	20,47
K 17	28,43	23,84	21,41	20,53	30,71	21,07	25,39	34,35	15,48	16,92	23,81
İB 17	16,73	11,58	30,82	7,63	25,84	30,33	26,95	25,06	32,82	20,15	22,79
Min	5,33	6,58	14,89	6,96	4,23	7,27	6,88	17,31	15,48	12,84	
Mak	41,93	50,36	83,32	53,21	39,88	40,68	46,80	84,84	62,27	47,03	
Std. Sap	11,60	17,74	24,15	19,57	11,69	12,92	14,49	25,11	17,56	12,61	
Ort.	23,13	26,09	34,82	23,14	24,06	27,25	28,28	45,34	39,23	27,65	
Med.	21,85	23,84	28,22	12,71	25,84	30,33	26,95	34,35	32,82	24,04	

İstasyonlarda belirlenen arsenik konsantrasyonları Şekil 4.11.'de verilmiştir. Şekil 4.11.'de görüldüğü gibi en yüksek As kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 7,49 µg/L konsantrasyonla 10. ve 7,33 µg/L konsantrasyonla 1. istasyonlardır. As kirliliği tarımsal faaliyetlerden (pestisit ve gübre kullanımı), trafiğe bağlı yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır (Özkan ve Büyükkışık, 2012; Güner, 2016). Ölçüm istasyonlarında ortalama As konsantrasyonları 3,81 µg/L ile 4,91 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 8. ve 10. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Sapanca gölünde ortalama As konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altında ve yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır. Tablo 4.4.'te ölçüm süresi içerisinde As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, kış dönemlerinde özellikle 2016 kış döneminde yükseldiği tespit edilmiştir. Kışın yağışların artmasıyla toprakta yüzey akışına geçen yağmur suları As konsantrasyonunu etkilemektedir (Li ve ark., 2010; Wang ve ark., 2018).



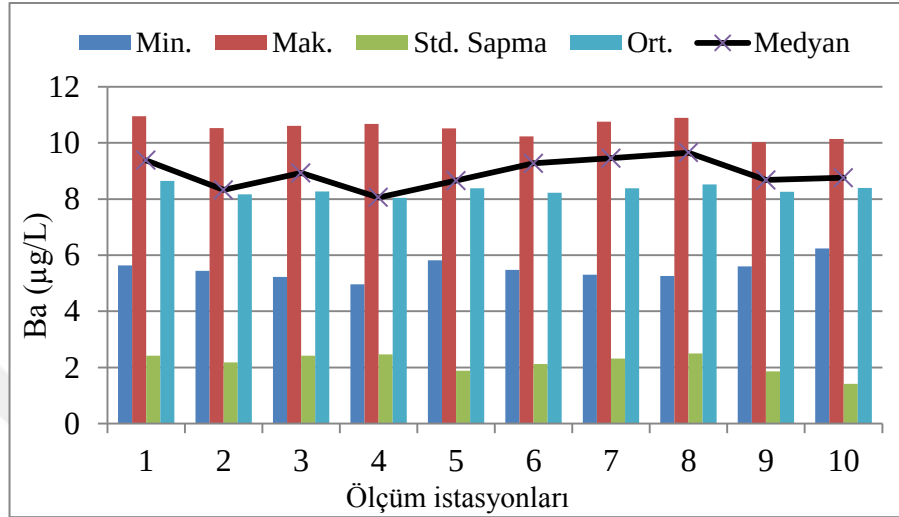
Şekil 4.11. Göl suyunda belirlenen As konsantrasyonu

Tablo 4.4. Göl suyunda As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 16	7,23	7,22	6,86	7,23	6,85	6,67	6,64	5,24	6,16	7,49	6,76
İB 16	5,13	5,19	5,16	5,22	4,95	4,62	4,67	3,55	4,54	4,72	4,77
Y 16	4,22	3,61	3,39	3,48	3,41	3,59	3,62	3,21	3,53	3,60	3,57
SB 16	3,44	3,44	3,32	3,52	3,43	3,32	3,23	3,14	4,15	4,55	3,55
K 17	5,17	5,94	5,89	5,94	5,59	5,42	5,19	3,22	4,61	4,78	5,17
İB 17	3,36	3,39	2,29	0,31	3,57	3,44	4,54	4,49	4,01	4,30	3,37
Min	3,36	3,39	2,29	0,31	3,41	3,32	3,23	3,14	3,53	3,60	
Mak	7,23	7,22	6,86	7,23	6,85	6,67	6,64	5,24	6,16	7,49	
Std. Sap	1,44	1,58	1,76	2,42	1,42	1,33	1,21	0,87	0,90	1,34	
Ort.	4,76	4,80	4,48	4,28	4,63	4,51	4,65	3,81	4,50	4,91	
Med.	4,68	4,40	4,27	4,37	4,26	4,11	4,60	3,38	4,35	4,64	

Şekil 4.12.'de istasyon bazında Ba konsantrasyonunun değişimi verilmiştir. En yüksek Ba kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 10,95 µg/L konsantrasyonla 1. ve 10,89 µg/L konsantrasyonla 8. istasyonlardır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Ba konsantrasyonları 8,04 µg/L ile 8,64 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 4. ve 1. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Ba kirliliğinin trafikten kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Sapanca gölünde ortalama Ba konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altında ve yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır. Tablo 4.5.'te Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, kış dönemlerinde özellikle 2016 kış döneminde yükselme gözlemlenmiştir. Ba elementinin yol tozları, araçların fren

sistemleri ve lastiklerin aşınmasından kaynaklandığı bilinmektedir (Gietl ve ark., 2010). Kış dönemindeki artışın nedeni yağışların artması nedeniyle karayollarından yüzey akışına geçen yağmur sularının göle karışmasıyla Ba konsantrasyonunun etkilendiği kanısına varılmıştır.



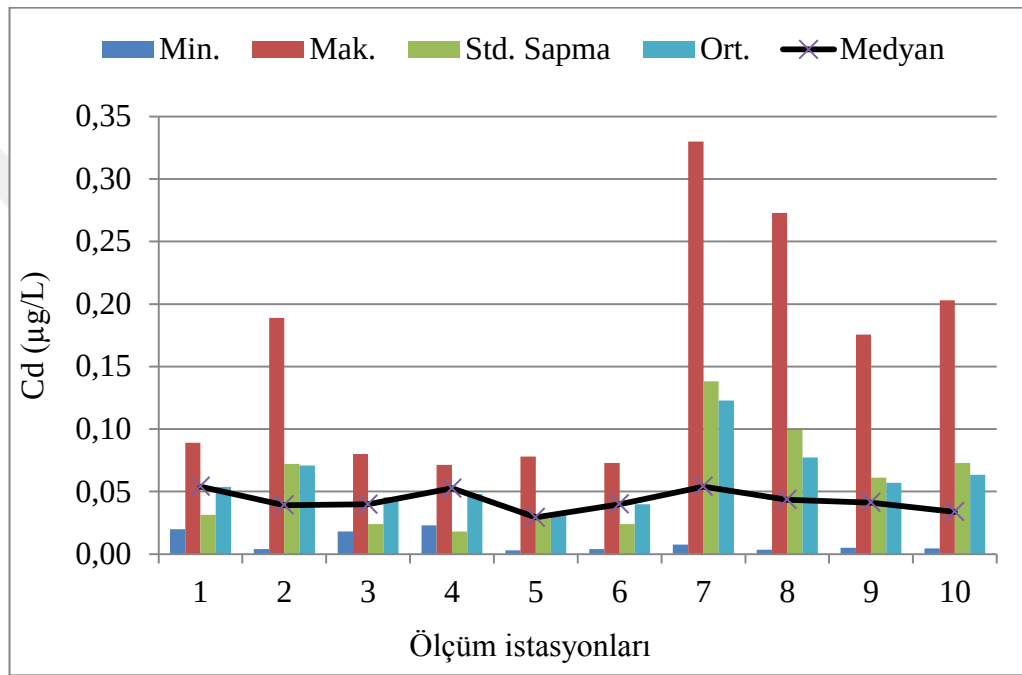
Şekil 4.12. Göl suyunda belirlenen Ba konsantrasyonu

Tablo 4.5. Göl suyunda Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	-	6,43	-	-	7,83	-	-	-	9,95	-	8,07
K 16	10,95	10,52	10,49	10,67	10,52	10,23	10,76	10,89	10,03	10,13	10,52
İB 16	9,83	9,90	9,58	9,62	9,39	9,10	9,39	9,30	8,68	9,09	9,39
Y 16	5,70	5,44	5,23	6,13	6,15	5,56	5,59	5,45	5,60	6,24	5,71
SB 16	5,64	6,09	5,43	6,48	5,82	5,47	5,31	5,26	5,80	7,27	5,86
K 17	10,83	10,45	10,61	10,37	10,30	9,54	9,71	10,23	8,24	8,42	9,87
İB 17	8,92	8,32	8,28	4,96	8,65	9,44	9,51	10,01	9,49	9,20	8,68
Min	5,64	5,44	5,23	4,96	5,82	5,47	5,31	5,26	5,60	6,24	
Mak	10,95	10,52	10,61	10,67	10,52	10,23	10,76	10,89	10,03	10,13	
Std. Sap	2,42	2,18	2,43	2,47	1,88	2,13	2,32	2,51	1,86	1,42	
Ort.	8,64	8,16	8,27	8,04	8,38	8,22	8,38	8,52	8,25	8,39	
Med.	9,37	8,32	8,93	8,05	8,65	9,27	9,45	9,65	8,68	8,75	

İstasyonlarda belirlenen kadmiyum konsantrasyonları Şekil 4.13.'te verilmiştir. Şekil 4.13.'te görüldüğü gibi en yüksek Cd kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 0,33 µg/L 7. ve 0,27 µg/L konsantrasyonla 8. istasyonlardır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Cd konsantrasyonları 0,03 µg/L ile 0,12 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 5 ve 7. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Cd kirliliği trafikten, tarımsal alanlardan gelen sulama sularından ve metal endüstrisinden kaynaklanmaktadır

(Kayhan, 2006; Özkan ve Büyükişık, 2012). Sapanca gölünde ortalama Cd konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi 7.istasyonda III. sınıf ve diğer istasyonlarda ise I. sınıf (çok iyi/iyi) durumdadır. Tablo 4.6.'da görüldüğü üzere Cd konsantrasyonunun mevsimsel değişimi incelendiğinde, sonbahar 2016 ve özellikle 2016 kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Bu durum yağışlı dönemlerde yağmur suları ve atmosferik birikim ile daha fazla ulaşmasından kaynaklanmaktadır.

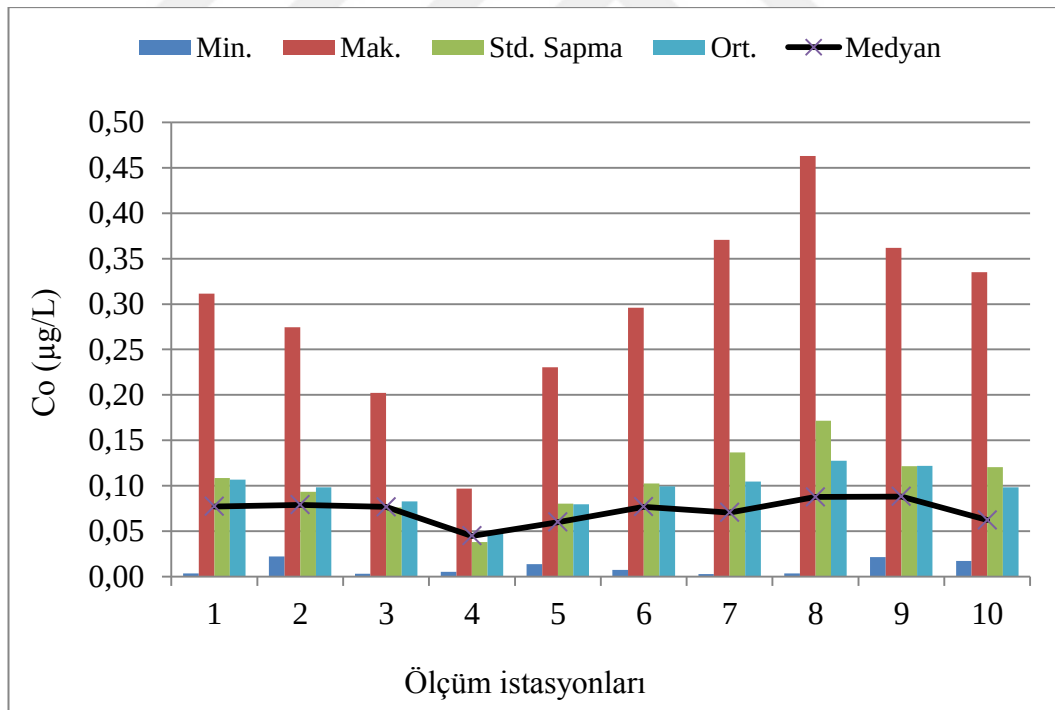


Şekil 4.13.Göl suyunda belirlenen Cd konsantrasyonu

Tablo 4.6. Göl suyunda Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama
SB 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 16	0,09	0,19	0,02	0,05	0,01	0,05	0,33	0,27	0,18	0,02	0,12
İB 16	0,08	0,13	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,06	0,08	0,08
Y 16	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03
SB 16	0,03	0,03	0,07	0,02	0,03	0,03	0,26	0,05	0,05	0,20	0,08
K 17	0,02	0,00	0,03	0,06	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
İB 17	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05
Min	0,02	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	
Mak	0,09	0,19	0,08	0,07	0,08	0,07	0,33	0,27	0,18	0,20	
Std. Sap	0,03	0,07	0,02	0,02	0,03	0,02	0,14	0,10	0,06	0,07	
Ortalama	0,05	0,07	0,05	0,05	0,03	0,04	0,12	0,08	0,06	0,06	
Medyan	0,05	0,04	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	

İstasyonlarda belirlenen kobalt konsantrasyonları Şekil 4.14.'te verilmiştir. Şekil 4.14.'te görüldüğü gibi en yüksek Co kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 0,46 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 8. ve 0,37 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 7. istasyonlardır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Co konsantrasyonları 0,05 $\mu\text{g/L}$ ile 0,13 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 4 ve 8. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Co kirliliği, toprak yapısı ve fosil yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır (Iqbal ve ark., 2013). TS-266 içme suyu standardında Co metali için bir sınır değeri bulunmamaktadır. Ancak, yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre Co açısından su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır. Tablo 4.7.'de Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi verilmiştir. Özellikle kış dönemlerinde ve 2017 bahar döneminde yükseldiği tespit edilmiştir. Kışın artış göstermesi ısınma amaçlı fosil yakıt tüketimine bağlı olurken, bahar dönemindeki artış tarımsal faaliyetlerde yüzey akışa geçen sulama sularının direk göle ulaşması veya topraktan sızıntı şeklinde göle karışması olarak düşünülmektedir.

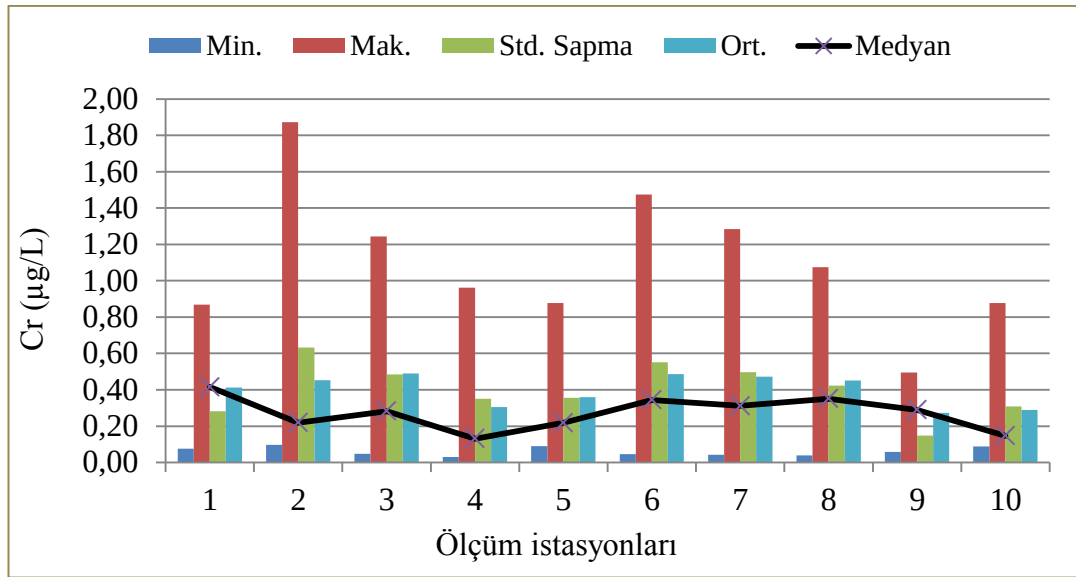


Şekil 4.14. Göl suyunda belirlenen Co konsantrasyonu

Tablo 4.7. Göl suyunda Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort
SB 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K 16	0,12	0,10	0,11	0,09	0,07	0,08	0,08	0,11	0,10	0,09	0,10
İB 16	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,07	0,06	0,07	0,07	0,04	0,06
Y 16	0,06	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,004	0,11	0,02	0,03
SB 16	0,00	0,02	0,003	0,01	0,01	0,01	0,003	0,004	0,02	0,02	0,01
K 17	0,10	0,11	0,12	0,10	0,10	0,10	0,11	0,12	0,08	0,08	0,10
İB 17	0,31	0,27	0,20	0,04	0,23	0,30	0,37	0,46	0,36	0,34	0,29
Min	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	
Mak	0,31	0,27	0,20	0,10	0,23	0,30	0,37	0,46	0,36	0,34	
Std. Sap	0,11	0,09	0,08	0,04	0,08	0,10	0,14	0,17	0,12	0,12	
Ort.	0,11	0,10	0,08	0,05	0,08	0,10	0,10	0,13	0,12	0,10	
Med.	0,08	0,08	0,08	0,04	0,06	0,08	0,07	0,09	0,09	0,06	

İstasyonlarda belirlenen krom konsantrasyonları Şekil 4.15.'te verilmiştir. Şekil 4.15.'te görüldüğü gibi en yüksek Cr kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 1,87 µg/L konsantrasyonla 2 ve 1,48 µg/L konsantrasyonla 6. istasyonlardır. Cr kirliliği fosil yakıt tüketiminden, metal endüstrisinden ve toprak yapısından kaynaklanmaktadır (Şener, 2010). Ölçüm istasyonlarında ortalama Cr konsantrasyonları 0,27 µg/L ile 0,49 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 9. ve 6. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Sapanca gölünde ortalama Cr konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin çok altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır. Tablo 4.8.'de Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde kış dönemlerinde ve 2017 bahar döneminde yükselme gözlenmiştir. Bölgede bulunan metal işleme tesislerinden rüzgar ve yağışlarla göle ulaşması artışın nedeni olarak kabul edilmiştir.



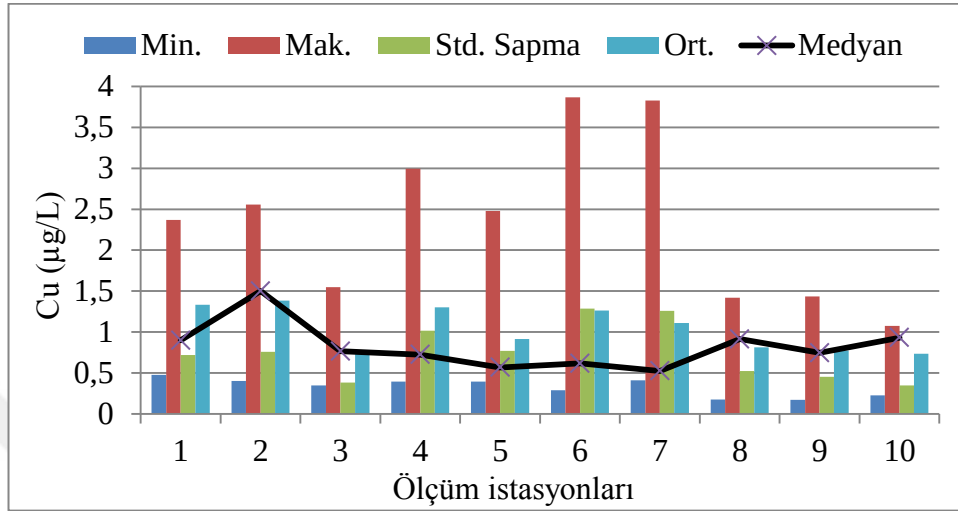
Şekil 4.15. Göl suyunda belirlenen Cr konsantrasyonu

Tablo 4.8. Göl suyunda Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	-	0,18	1,24	0,63	0,87	-	-	-	-	-	0,73
K 16	0,17	0,22	0,42	0,11	0,09	0,63	0,83	1,07	0,26	0,18	0,40
İB 16	0,08	0,28	0,27	0,12	0,22	0,08	0,18	0,24	0,18	0,09	0,17
Y 16	0,40	0,10	0,07	0,03	0,11	0,05	0,05	0,04	0,50	0,09	0,14
SB 16	0,53	0,15	0,05	0,13	0,10	0,09	0,04	0,06	0,06	0,12	0,13
K 17	0,87	1,87	1,10	0,96	0,88	1,48	1,28	0,83	0,33	0,88	1,05
İB 17	0,43	0,37	0,28	0,16	0,26	0,60	0,45	0,46	0,32	0,38	0,37
Min	0,08	0,10	0,05	0,03	0,09	0,05	0,04	0,04	0,06	0,09	
Mak	0,87	1,87	1,24	0,96	0,88	1,48	1,28	1,07	0,50	0,88	
Std. Sap	0,28	0,63	0,48	0,35	0,36	0,55	0,50	0,42	0,15	0,31	
Ort.	0,41	0,45	0,49	0,31	0,36	0,49	0,47	0,45	0,27	0,29	
Med.	0,42	0,22	0,28	0,13	0,22	0,34	0,31	0,35	0,29	0,15	

İstasyonlarda belirlenen bakır konsantrasyonları Şekil 4.16.'da verilmiştir. Şekil 4.16.'da görüldüğü gibi en yüksek Cu kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 3,87 µg/L konsantrasyonla 6. ve 3,83 µg/L konsantrasyonla 7. istasyonlardır. Cu kirliliği endüstriden, tarımsal faaliyetlerden ve toprak ayrışmasından kaynaklanmaktadır (Shrestha ve Kazama, 2007; Palma ve ark., 2014). Ölçüm istasyonlarında ortalama Cu konsantrasyonları 0,13 µg/L ile 1,38 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 10. ve 2. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Sapanca gölünde ortalama Cu konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır. Tablo 4.9.'da Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde kış dönemlerinde yükselme gözlenmiş ve yağışlı dönemlerde göl suyuna topraktan ağır

metal geçişinin artması ve havzada yer alan endüstriyel kuruluşların atmosfere saldıgı Cu emisyonunun yağışlarla göle daha yüksek miktarlarda ulaştığı kanısına varılmıştır.



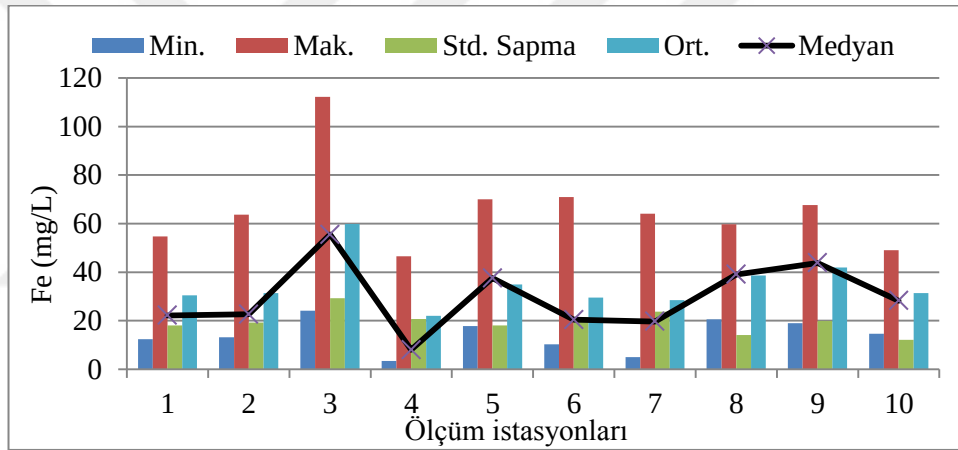
Şekil 4.16. Göl suyunda belirlenen Cu konsantrasyonu

Tablo 4.9. Göl suyunda Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	2,37	1,72	0,84	0,72	0,72	0,57	0,55	0,51	0,51	0,56	0,91
K 16	1,99	1,91	0,76	1,74	1,38	3,87	3,83	1,42	1,43	1,01	1,93
İB 16	0,90	0,84	0,80	0,39	0,39	0,47	0,52	0,18	0,17	0,23	0,49
Y 16	0,86	0,75	0,35	0,42	0,57	0,62	0,41	0,18	0,37	0,35	0,49
SB 16	0,48	1,50	0,62	3,00	0,44	1,00	0,49	1,28	1,14	0,99	1,09
K 17	1,84	2,56	1,55	2,17	2,48	2,04	1,51	0,91	0,74	1,08	1,69
İB 17	0,89	0,40	0,51	0,66	0,41	0,29	0,47	1,22	1,04	0,93	0,68
Min	0,48	0,40	0,35	0,39	0,39	0,29	0,41	0,18	0,17	0,23	
Mak	2,37	2,56	1,55	3,00	2,48	3,87	3,83	1,42	1,43	1,08	
Std. Sap	0,72	0,76	0,38	1,01	0,77	1,29	1,26	0,52	0,45	0,35	
Ort.	1,33	1,38	0,77	1,30	0,91	1,26	1,11	0,81	0,77	0,73	
Med.	0,90	1,50	0,76	0,72	0,57	0,62	0,52	0,91	0,74	0,93	

İstasyonlarda belirlenen demir konsantrasyonları Şekil 4.17.'de verilmiştir. Şekil 4.17.'de görüldüğü gibi en yüksek Fe kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 112,22 mg/L konsantrasyonla 3. ve 70,90 mg/L konsantrasyonla 6. istasyonlardır. Fe toprak yapısında yüksek konsantrasyonlarda bulunan jeojenik bir metaldir (Dökmeci, 2005; İqbal ve ark., 2013). Fe toprak yapısına bağlı olarak su kaynaklarında diğer metallere göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunabilmektedir (Sreenivasulu ve ark., 2018). Sapanca gölünde ortalama Fe konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına

göre izin verilen sınır değerin üzerindedir. Alınan sediment ve toprak örneklerinde de Fe konsantrasyonları diğer metallere göre yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre Fe açısından 3, 8 ve 9. istasyonlarda su kalitesi orta, diğer istasyonlarda ise çok iyi/iyi durumdadır. Fe elementinin yüksek konsantrasyon olması Sapanca havzasının jeolojik (toprak) yapısından kaynaklanmaktadır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Fe konsantrasyonları 22,02 mg/L ile 59,92 mg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 4. ve 3. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Tablo 4.10.'da Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde kış dönemlerinde yükselme gözlenmiş ve bunun nedeni yağışlı dönemde topraktan sızmalar neticesinde göl suyunda Fe konsantrasyonunda meydana gelen artıştır.

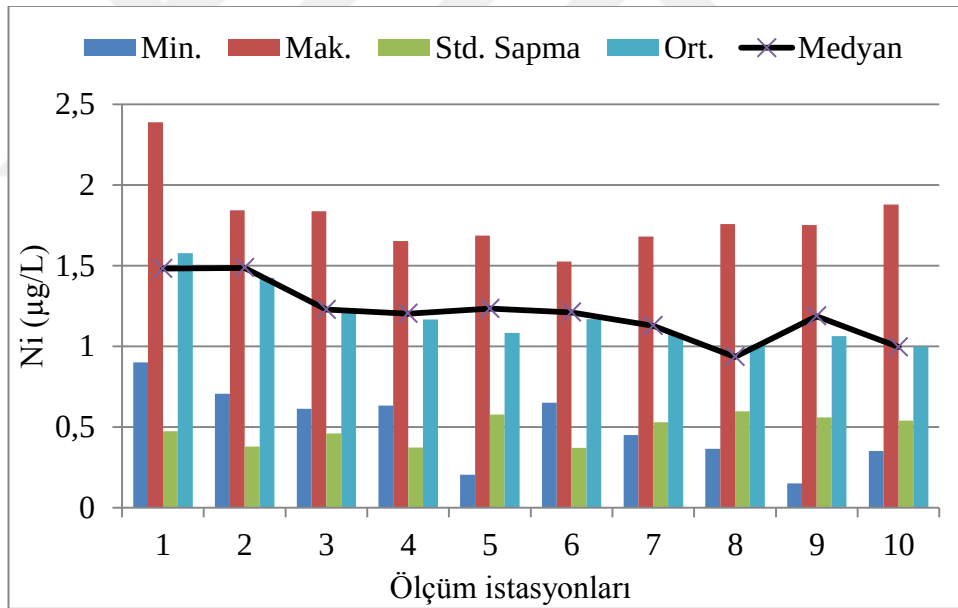


Şekil 4.17. Göl suyunda belirlenen Fe konsantrasyonu

Tablo 4.10. Göl suyunda Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	22,18	14,12	39,05	41,28	37,57	20,42	11,98	44,30	43,85	49,07	32,38
K 16	54,68	51,13	112,22	46,60	38,21	46,28	64,11	39,10	62,29	43,86	55,85
İB 16	13,61	22,62	24,19	8,04	18,24	18,94	19,68	47,00	52,16	21,81	24,63
Y 16	43,27	13,19	80,18	5,16	39,42	10,33	15,70	20,56	67,65	35,51	33,10
SB 16	17,65	32,49	55,47	3,38	23,85	24,52	5,06	20,95	19,76	14,64	21,78
K 17	49,37	63,66	43,70	44,27	70,00	70,90	60,14	59,79	19,00	28,29	50,91
İB 17	12,38	22,67	64,66	5,41	17,79	15,74	22,47	38,97	29,14	26,94	25,62
Min	12,38	13,19	24,19	3,38	17,79	10,33	5,06	20,56	19,00	14,64	
Mak	54,68	63,66	112,22	46,60	70,00	70,90	64,11	59,79	67,65	49,07	
Std. Sap	18,04	19,21	29,34	20,71	18,09	21,49	23,70	14,08	19,86	12,16	
Ort.	30,45	31,41	59,92	22,02	35,01	29,59	28,45	38,67	41,98	31,45	
Med.	22,18	22,67	55,47	8,04	37,57	20,42	19,68	39,10	43,85	28,29	

İstasyonlarda belirlenen nikel konsantrasyonları Şekil 4.18.'de verilmiştir. Şekil 4.18.'de görüldüğü gibi en yüksek Ni kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 2,39 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 1. ve 1,88 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 10. istasyonlardır. Ni, toprak ve kaya ayrışması ile sediment yapısına geçebilmektedir. Ni kirliliği, toprak ve kayalık ayrışması, metal endüstrisi ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Özkan ve Büyükkışık, 2012; Varol, 2013). Ölçüm istasyonlarında ortalama Ni konsantrasyonları 1 $\mu\text{g/L}$ ile 1,58 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 10. ve 1. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Sapanca gölünde ortalama Ni konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır. Tablo 4.11.'de Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde kış dönemlerinde özellikle 2016 kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Kış döneminde yağışların etkisiyle toprak ayrışmasının artması göle Ni kirletici girişinde artışa neden olmuştur.



Şekil 4.18. Göl suyunda belirlenen Ni konsantrasyonu

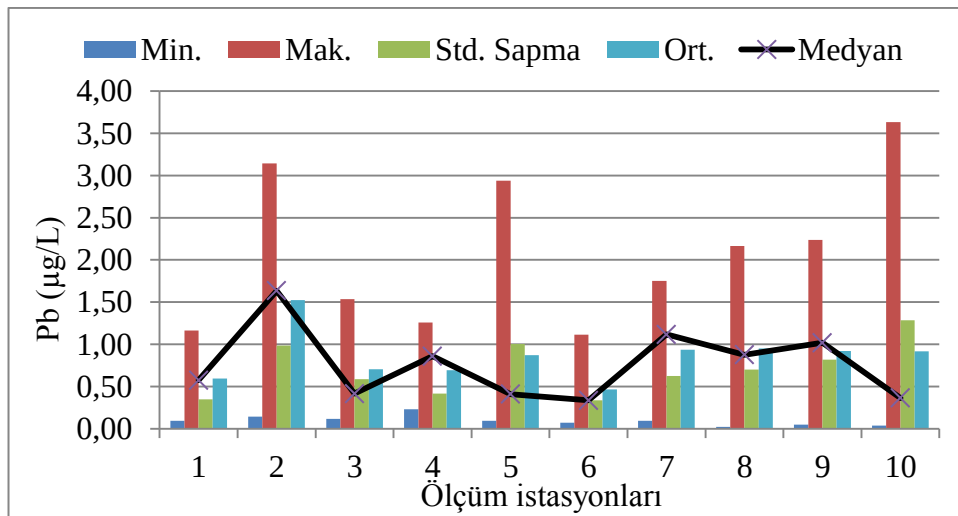
Tablo 4.11. Göl suyunda Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	1,48	1,25	1,46	1,39	1,59	1,44	1,68	1,75	1,19	1,31	1,45
K 16	2,39	1,73	1,84	1,65	1,55	1,53	1,54	1,76	1,75	1,88	1,76
İB 16	1,48	1,63	1,23	1,20	1,23	1,18	1,13	0,94	0,97	1,00	1,20
Y 16	1,42	0,71	0,61	0,76	0,69	0,65	0,66	0,52	1,41	0,67	0,81
SB 16	0,90	1,33	0,74	0,63	0,62	0,68	0,53	0,46	0,53	0,49	0,69
K 17	1,39	1,49	1,00	1,06	0,20	1,21	0,45	0,37	0,15	0,35	0,77

Tablo 4.11. (Devamı)

İB 17	1,98	1,84	1,65	1,46	1,69	1,51	1,57	1,27	1,44	1,29	1,57
Min	0,90	0,71	0,61	0,63	0,20	0,65	0,45	0,37	0,15	0,35	
Mak	2,39	1,84	1,84	1,65	1,69	1,53	1,68	1,76	1,75	1,88	
Std. Sap	0,47	0,38	0,46	0,37	0,58	0,37	0,53	0,60	0,56	0,54	
Ort.	1,58	1,42	1,22	1,17	1,08	1,17	1,08	1,01	1,06	1,00	
Med.	1,48	1,49	1,23	1,20	1,23	1,21	1,13	0,94	1,19	1,00	

İstasyonlarda belirlenen kurşun konsantrasyonları Şekil 4.19.'da verilmiştir. Şekil 4.19.'da görüldüğü gibi en yüksek Pb kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 3,63 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 10. ve 3,14 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 2. istasyonlardır. Pb kirliliği, trafikten kaynaklı yakıt tüketiminden, maden-metal endüstrisinden, akü ve pillerden kaynaklanmaktadır (Şener, 2010; Kurtoglu, 2006; Kamau ve ark., 2014). Ölçüm istasyonlarında ortalama Pb konsantrasyonları 0,47 $\mu\text{g/L}$ ile 1,53 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 6. ve 2. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Sapanca gölünde ortalama Pb konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır. Tablo 4.12.'de Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2016 sonbahar ve 2017 kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Pb kirliliği özellikle trafik kaynaklı fosil yakıt tüketiminden ileri gelmekle birlikte ısınma amaçlı kullanılan yakıtların içerisinde Pb bulunmaktadır. Pb konsantrasyonunun kışın artma nedenleri ısınma amaçlı yakıt tüketiminin artması ve karayollarında yüzey akışa geçen yağmur sularının göle ulaşmasıdır.



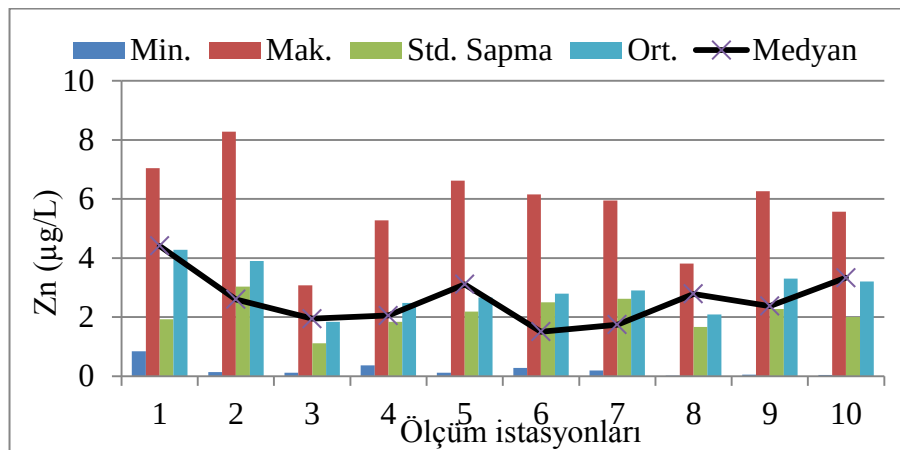
Şekil 4.19. Göl suyunda belirlenen Pb konsantrasyonu

Tablo 4.12. Göl suyunda Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	0,41	3,14	1,02	0,86	0,85	0,07	0,66	0,68	1,46	0,70	0,99
K 16	0,57	1,63	0,32	0,88	0,41	0,57	1,54	0,88	2,24	0,36	0,94
İB 16	0,89	1,90	1,35	1,04	1,28	1,11	1,12	1,32	1,02	1,38	1,24
Y 16	0,45	0,14	0,12	0,36	0,12	0,28	0,26	0,02	0,05	0,05	0,18
SB 16	0,09	1,35	1,53	0,23	0,41	0,34	1,75	1,22	1,31	3,63	1,19
K 17	1,16	1,93	0,41	1,26	2,94	0,57	1,12	2,16	0,14	0,26	1,20
İB 17	0,58	0,57	0,18	0,23	0,09	0,32	0,09	0,40	0,23	0,04	0,27
Min	0,09	0,14	0,12	0,23	0,09	0,07	0,09	0,02	0,05	0,04	
Mak	1,16	3,14	1,53	1,26	2,94	1,11	1,75	2,16	2,24	3,63	
Std. Sap	0,35	0,98	0,59	0,42	1,00	0,33	0,62	0,70	0,82	1,29	
Ort.	0,60	1,53	0,70	0,69	0,87	0,47	0,93	0,95	0,92	0,92	
Med.	0,57	1,63	0,41	0,86	0,41	0,34	1,12	0,88	1,02	0,36	

İstasyonlarda belirlenen çinko konsantrasyonları Şekil 4.20.'de verilmiştir. Şekil 4.20.'de görüldüğü gibi en yüksek Zn kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 8,28 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 2. ve 7,05 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 1. istasyonlardır. Zn kirliliği, tarımsal alanlardan ve trafikten kaynaklanmaktadır. Taşıtların galvanizli parçalarından, motor yağları ve fren balata sisteminden kaynaklanmaktadır (Shajib ve ark., 2019).

Ölçüm istasyonlarında ortalama Zn konsantrasyonları 1,84 $\mu\text{g/L}$ ile 4,28 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 3 ve 1. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Sapanca gölünde ortalama Zn konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin çok altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır.



Şekil 4.20. Göl suyunda belirlenen Zn konsantrasyonu

Tablo 4.13.'te Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde kış dönemlerinde özellikle 2017 kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Yağışlı dönemde karayollarında yüzey akışa geçen yağmur sularıyla fren-balata sistemlerinden, motor yağlarından kaynaklanan Zn kirliliğinin göle daha fazla miktarda ulaşmasıdır.

Çalışma kapsamında incelenen tüm ağır metaller kış aylarında en yüksek konsantrasyonlara ulaşmaktadır. Bunun nedeni özellikle kış aylarında yağış miktarının artması ve göle kirletici kaynaklardan ağır metal geçişinin fazlalaşmasıdır. Odokuma ve Ijeomah (2003), tarafından yapılan çalışmada mevsimsel olarak incelenen ağır metal konsantrasyonları en yüksek değerlere kış döneminde ulaşmaktadır. Çin'de Taihu gölünde yapılan çalışmada Pb, Cu, Cr, Cd ağır metallerinin mevsimsel incelenmiş ve sudaki metal konsantrasyonları kış döneminde diğer dönemlere göre yüksek miktarlarda bulunmuştur (Rajeshkumar ve ark., 2018). Nijerya'da bir gölde yapılan çalışmada ise Fe, Ni ve Cd metallerinin mevsimsel değişimi incelenmiş ve bu metallerin kış döneminde yüksek konsantrasyonlara ulaştığı tespit edilmiştir. (Utete ve Fregene, 2020). Melen havzasında yapılan çalışmada As, Mn, Zn, V, Cu ve Ba metallerine ait mevsimsel değişim incelendiğinde en yüksek konsantrasyonlar kış ve sonbahar dönemlerinde tespit edilmiştir (Çelebi ve ark., 2015).

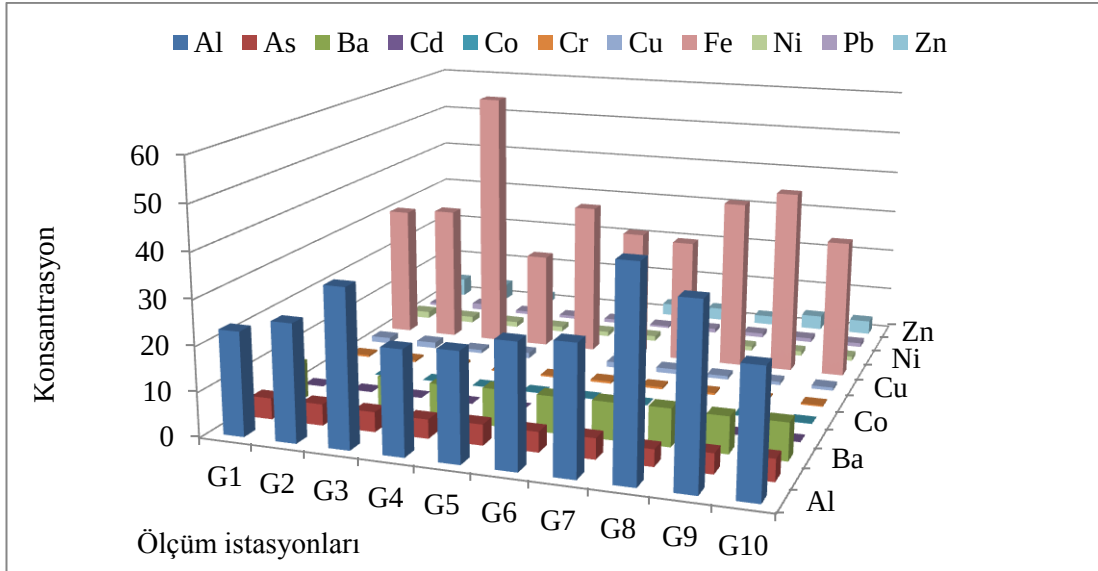
Tablo 4.13. Göl suyunda Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	3,32	2,06	1,11	2,06	1,15	0,42	5,95	0,13	2,27	2,08	2,06
K 16	4,90	1,63	2,52	4,17	3,29	3,85	5,77	3,16	2,31	4,67	3,63
İB 16	4,41	6,05	1,09	0,66	3,11	1,51	1,75	2,79	2,37	1,75	2,55
Y 16	3,93	0,14	0,12	0,36	0,12	0,28	0,26	0,02	0,05	0,05	0,53
SB 16	5,49	6,54	1,95	3,31	0,89	5,93	0,19	0,96	3,63	3,34	3,22
K 17	7,05	8,28	3,02	1,53	6,62	6,15	1,21	3,75	6,25	4,97	4,88
İB 17	0,84	2,60	3,08	5,28	3,44	1,46	5,19	3,81	6,27	5,57	3,75
Min	0,84	0,14	0,12	0,36	0,12	0,28	0,19	0,02	0,05	0,05	
Mak	7,05	8,28	3,08	5,28	6,62	6,15	5,95	3,81	6,27	5,57	
Std. Sap	1,93	3,03	1,12	1,84	2,19	2,51	2,62	1,67	2,28	2,01	
Ort.	4,28	3,90	1,84	2,48	2,66	2,80	2,90	2,09	3,31	3,20	
Med.	4,41	2,60	1,95	2,06	3,11	1,51	1,75	2,79	2,37	3,34	

4.1.1.2.1. Ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonlarının incelenmesi

Ölçüm istasyonlarına göre mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları Şekil 4.21.'de verilmiştir.

- Alüminyum kirliliği en yüksek 8. istasyonda 45,33 mg/L ve 9. istasyonda 39,22 mg/L;
- Arsenik kirliliği en yüksek 10. İstasyonda 4,91 µg/L ve 8. istasyonda 4,80 µg/L;
- Baryum kirliliği en yüksek 1. istasyonda 8,64 µg/L ve 8. istasyonda 8,52 µg/L;
- Kadmiyum kirliliği en yüksek 7. istasyonda 0,12 µg/L ve 8. istasyonda 0,08 µg/L;
- Kobalt kirliliği en yüksek 8. istasyonda 0,13 µg/L ve 9. istasyonda 0,12 µg/L;
- Krom kirliliği en yüksek 3. ve 6. istasyonlarında 0,49 µg/L ve 2. istasyonda 0,45 µg/L;
- Bakır kirliliği en yüksek 2. istasyonda 1,38 µg/L ve 1. istasyonda 1,33 µg/L;
- Demir kirliliği en yüksek 3. istasyonda 59,92 mg/L ve 1. istasyonda 41,97 mg/L;
- Nikel kirliliği en yüksek 1. istasyonda 1,58 µg/L ve 2. istasyonda 1,42 µg/L;
- Kurşun kirliliği en yüksek 2. istasyonda 1,53 µg/L ve 8. istasyonda 0,95 µg/L;
- Çinko kirliliği en yüksek 1. istasyonda 4,28 µg/L ve 2. istasyonda 3,90 µg/L olarak bulunmuştur.



Şekil 4.21. Gölde ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonları (Al, Fe için mg/L, μ g/L).

Ağır metallerin konsantrasyonları incelendiğinde, Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn metallerinin yüksek konsantrasyonlarda tespit edildiği istasyonlar çoğunlukla 1, 2 ve 8.istasyonlardır (G1, G2 ve G8). İstasyonların Sapanca gölündeki konumları Materyal-metot bölümünde Şekil 4.21.'de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere göldeki 1 ve 2. istasyon gölün TEM E-80, demiryolu ve yan yollara yakın bir bölgesinde bulunduğu ağır metal konsantrasyonları yüksek miktarlarda tespit edilmiştir. Özellikle 2.istasyon karayoluna oldukça yakın konumdadır. 1.istasyondan alınan su örneğinin taban sedimenti kumul yapıda olduğundan ve sıg, kaba bünyeli (kumul) yapıdaki sedimentten pH'a bağlı olarak suya ağır metal geçişi gerçekleşebildiğinden ağır metal konsantrasyonunun daha yüksek olduğu kanısına varılmıştır (Dökmeci, 2005). 8. İstasyon gölün batı ucunda ve göl derinliğinin en az olduğu mevkidedir. Gölün KB ve GB bölgesinde endüstriyel kuruluşlar bulunmakta ve kirleticilerin özellikle atmosferik birikimle gölün batı ucuna taşındığı kanısına varılmaktadır.

4.1.1.3. Göl suyunda fiziko-kimyasal parametreler ile ağır metallerin korelasyon analizi

Kirleticiler arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla Pearson korelasyon matrisi yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.14.'de verilmiştir. Sapanca gölünden alınan su

örneklerinde TOK ile ağır metaller arasında anlamlı bir korelasyon bulunmamaktadır. DO ile ORP ve TDS ile tuzluluk arasında anlamlı bir korelasyon bulunmaktadır. pH ile ORP arasında pozitif bir korelasyon bulunmasının yanı sıra pH ile Cu ve pH ile Pb arasında da kuvvetli bir korelasyon belirlenmiştir. Al ile As (0,584) ve Al ile Fe (0,658) arasında anlamlı bir korelasyon belirlenmiştir. Ba ve Cd metallerini herhangi bir metalle arasında anlamlılık tespit edilmemiştir. Co ile Ni (0,543) ve Cr ile Cu, Ni, Pb arasında anlamlılık seviyesi yüksek korelasyonlar bulunmaktadır. Cu ile Pb (0,998) arasındaki anlamlılık tespit edilen diğer korelasyonlara göre oldukça yüksektir.



Tablo 4.14. Göl suyunda kirleticiler arasındaki Pearson korelasyonu

	TOK	T	ÇO	C	TDS	SAL	pH	ORP	AKM	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
TOK	1																			
T	,344**	1																		
ÇO	-,478**	-,503**	1																	
C	-,164	,323**	,176	1																
TDS	-,550**	-,605**	,536**	,247*	1															
SAL	-,478**	-,520**	,358**	,152	,774**	1														
pH	-,369**	-,067	,588**	,467**	,458**	,321**	1													
ORP	-,432**	-,508**	,669**	,200	,503**	,302*	,436**	1												
AKM	-,046	-,250*	,113	-,123	,063	,216	-,068	,174	1											
Al	,369**	-,101	,213	-,171	-,155	-,164	,043	,172	,221	1										
As	,268*	-,433**	,341**	-,275*	,105	-,095	,039	,301*	,197	,584**	1									
Ba	,029	,106	-,074	,086	-,002	-,028	,082	-,025	,009	,041	-,070	1								
Cd	,440**	-,094	-,181	-,362**	-,227	-,085	-,196	-,189	,186	,237	,230	-,057	1							
Co	-,379**	-,425**	,260*	-,324*	,385**	,493**	-,060	,117	,058	-,173	,076	-,091	-,061	1						
Cr	-,137	-,022	-,162	-,121	-,114	-,042	-,259*	-,052	,060	,044	-,350**	-,016	-,063	,317*	1					
Cu	,066	,037	-,199	-,237*	-,389**	-,217	-,512**	-,148	,373**	,130	-,459**	-,038	-,093	-,118	,614**	1				
Fe	,197	-,216	,305*	,056	,234	,087	,223	,359**	,024	,658**	,506**	,020	,096	,072	-,187	-,281*	1			
Ni	,150	,041	-,068	-,078	-,194	-,177	-,147	-,017	,089	-,132	-,435**	-,062	-,095	,543**	,525**	,140	-,126	1		
Pb	,083	,047	-,202	-,232	-,398**	-,219	-,508**	-,153	,350**	,141	-,470**	-,041	-,006	-,142	,616**	,998**	-,274*	,141	1	
Zn	,161	,045	,021	-,057	-,169	-,046	-,189	-,049	-,039	,205	,046	-,020	-,102	,027	,003	,315**	,016	-,017	,343**	1

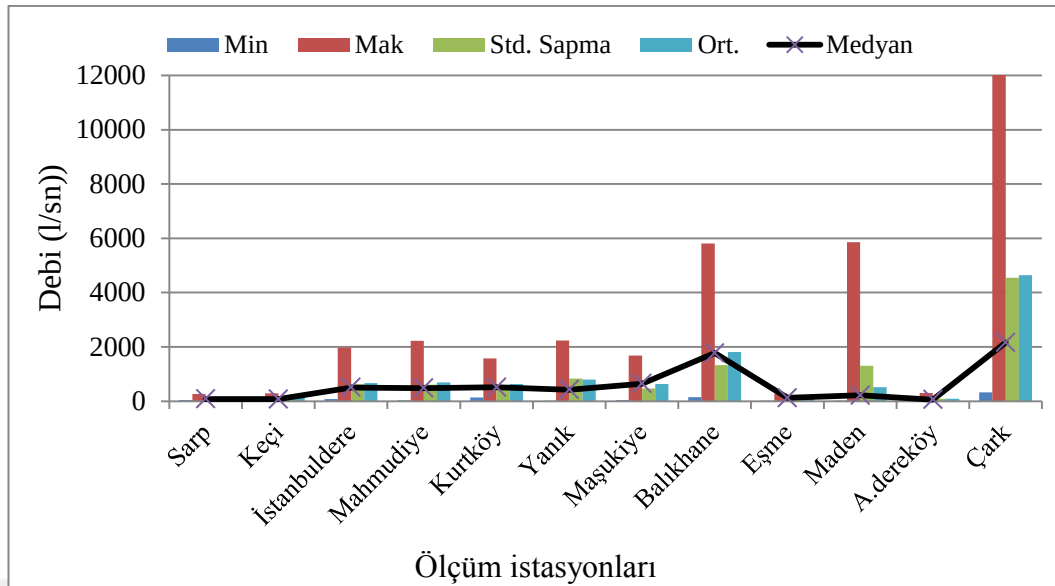
4.1.2. Derelerde ağır metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesi

4.1.2.1. Fiziko-kimyasal parametrelerin incelenmesi

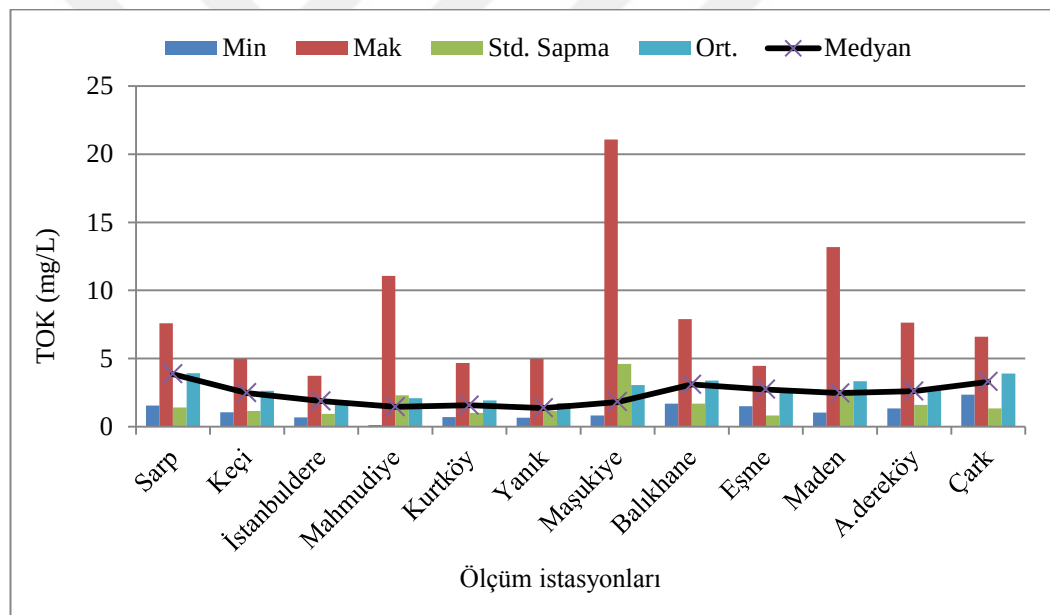
Sapanca gölünü besleyen dereler ve Çark deresinden 2015-2017 yılları arasında aylık olarak su örnekleri alınmıştır. Derelerde kalite parametrelerinin durgun sulara göre daha fazla değişkenlik göstermesi nedeniyle dere örnekleri aylık alınmıştır. Debi (Q), toplam organik karbon (TOK), sıcaklık, çözünmüş oksijen (ÇO), iletkenlik (C), toplam çözünmüş katı (TDS), tuzluluk (SAL), pH, askıda katı madde (AKM) ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) parametreleri incelenmiştir.

Su örnekleri alınan derelerin debi değerleri Şekil 4.22.'de verilmektedir. Ölçüm istasyonlarının debileri incelendiğinde, minimum değer Keçi deresinde 11,5 l/sn yaz dönemi Ağustos ayında ve maksimum değer Çark deresinde 12000 L/sn 2016 kış dönemi Ocak ayında belirlenmiştir. Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama debi değerleri ise 89,93 l/sn ile 4644,82 l/sn arasında değişmektedir.

Toplam organik karbonun istasyon bazında değişimi Şekil 4.23.'de verilmektedir. TOK değerleri incelendiğinde, minimum değer Mahmudiye deresinde 0,12 mg/L 2016 sonbahar dönemi Eylül ayında ve maksimum değer Maşukiye deresinde 21,08 mg/L 2016 sonbahar dönemi Eylül ayında belirlenmiştir. Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama TOK konsantrasyonları ise 1,75 mg/L ile 3,93 mg/L arasında değişmektedir.



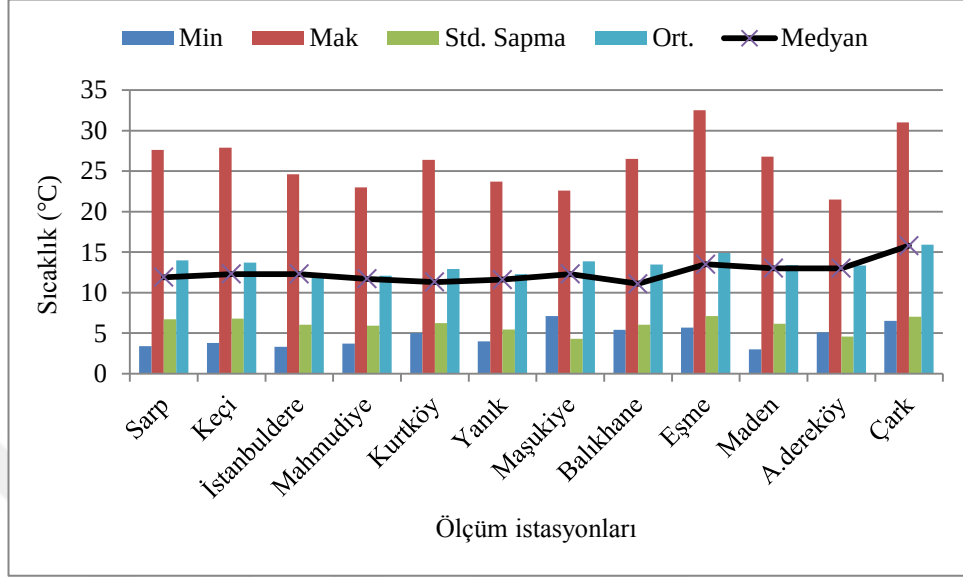
Şekil 4.22. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre debi değerleri



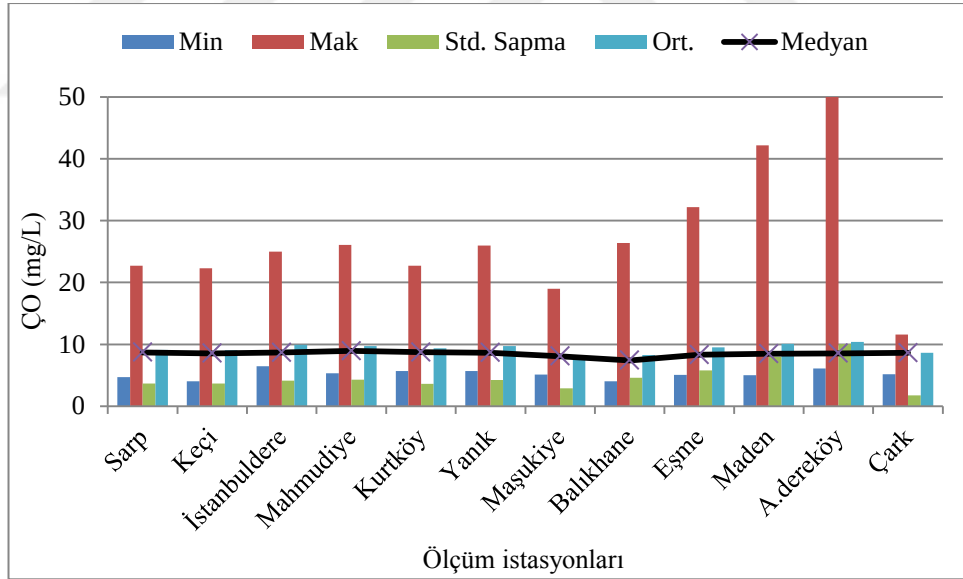
Şekil 4.23. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre TOK değerleri

Derelerden alınan su örneklerinde ölçüm istasyonlarına göre sıcaklık ve çözünmüş oksijen değişimi Şekil 4.24. ve 4.25.'te verilmiştir. Su sıcaklığı minimum Maden deresinde 2017 kış dönemi Şubat ayında 3 °C ve maksimum Eşme deresinde yaz dönemi Temmuz ayında 32,5 °C şeklinde izlenmiştir. Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama su sıcaklığı ise 12,11 °C ile 15,92 °C arasında değişmektedir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu minimum Balıkhane deresinde yaz dönemi Ağustos ayında 4 mg/L ve maksimum kış dönemi Aralık ayında 51,50 mg/L şeklinde ölçülmüştür.

İstasyon bazında değişim incelendiğinde, ÇO konsantrasyonları 8,27 mg/L ile 10,39 mg/L arasında değişim göstermektedir.



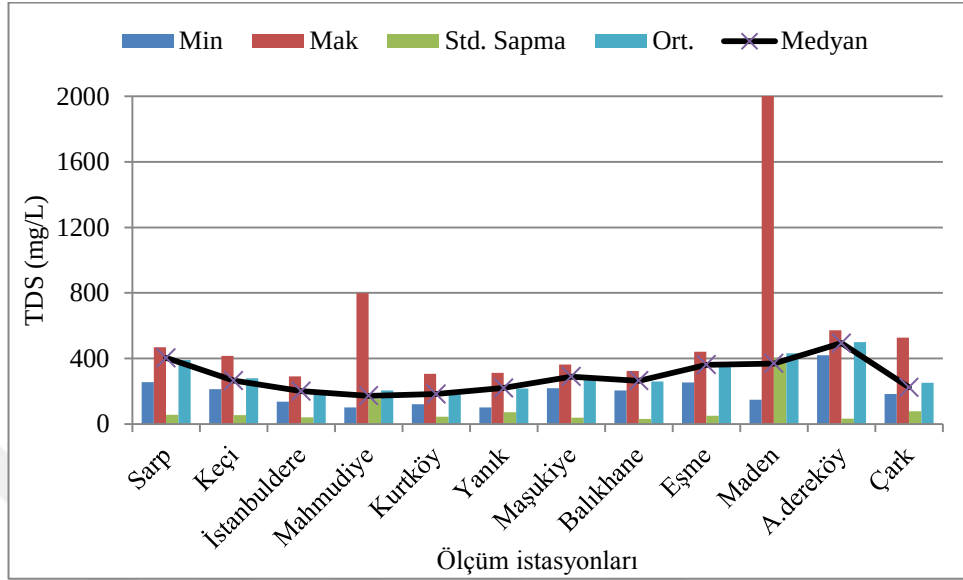
Şekil 4.24. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre sıcaklık değerleri



Şekil 4.25. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre ÇO değerleri

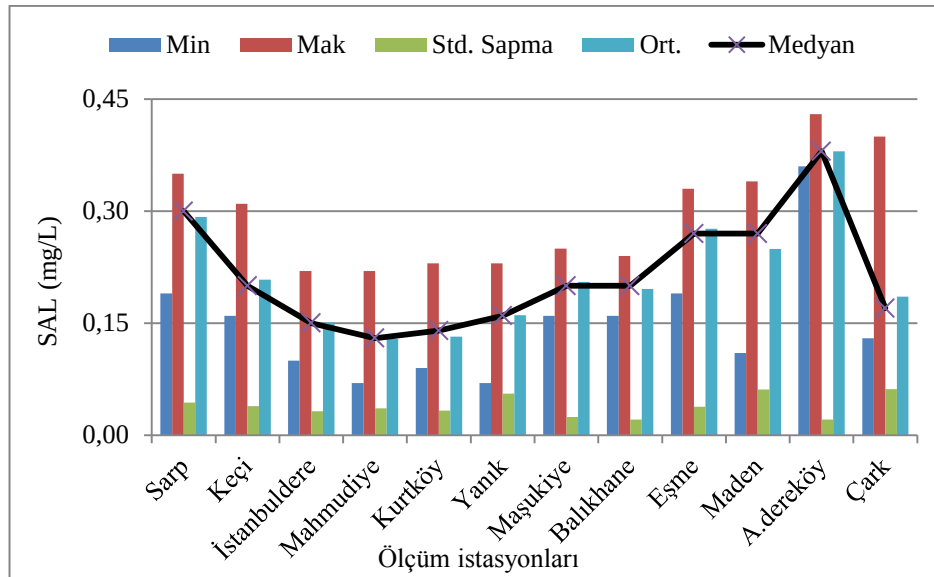
Derelerden alınan su örneklerinde ölçüm istasyonlarına göre toplam çözünmüş madde değişimi Şekil 4.26.'da verilmiştir. TDS konsantrasyonu minimum Yanık deresinde 2017 ilkbahar dönemi Nisan ayında 101,4 mg/L ve maksimum Maden deresinde yaz dönemi Haziran ayı 2056,40 mg/L şeklinde izlenmiştir. Her bir ölçüm

istasyonuna ait ortalama TDS konsantrasyonu ise 178,75 mg/L ile 499,29 mg/L arasında değişmektedir.



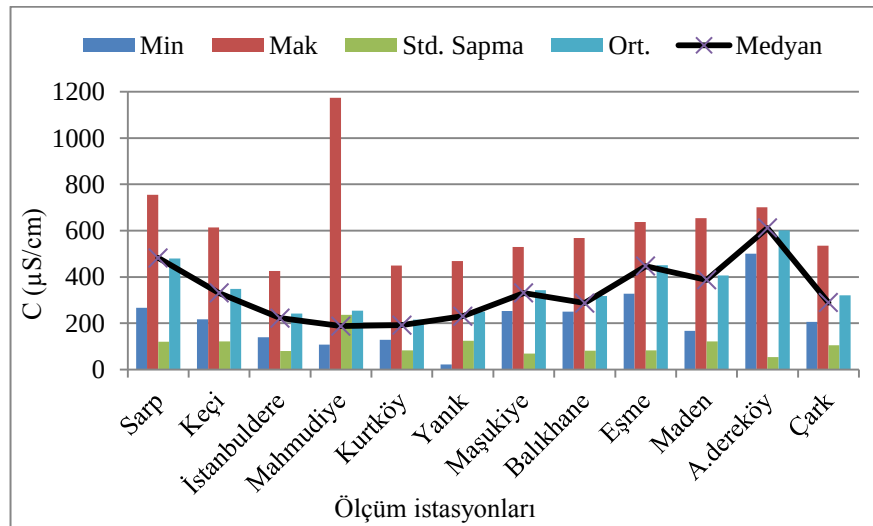
Şekil 4.26. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre TDS değerleri

Derelerden alınan su örneklerinde ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk konsantrasyonları Şekil 4.27.'de verilmiştir. Tuzluluk konsantrasyonu minimum Yanık deresinde 2017 ilkbahar dönemi Nisan ayında 0,07 mg/L ve maksimum Aşağıdereköy deresinde 2016 ilkbahar dönemi Mart ayında 0,43 mg/L şeklinde izlenmiştir. Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama su sıcaklığı ise 0,13 mg/L ile 0,38 mg/L arasında değişmektedir. Derelerin tuzluluk değerleri gölden alınan su örneklerindeki tuzluluk değerlerinden daha yüksektir, bunun nedeni derelerin bulunduğu yerlerde tarımsal faaliyetlerin (gübre ve pestisit kullanımının) olmasıdır (Yurtseven ve Öztürk, 2001).



Şekil 4.27. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk değerleri

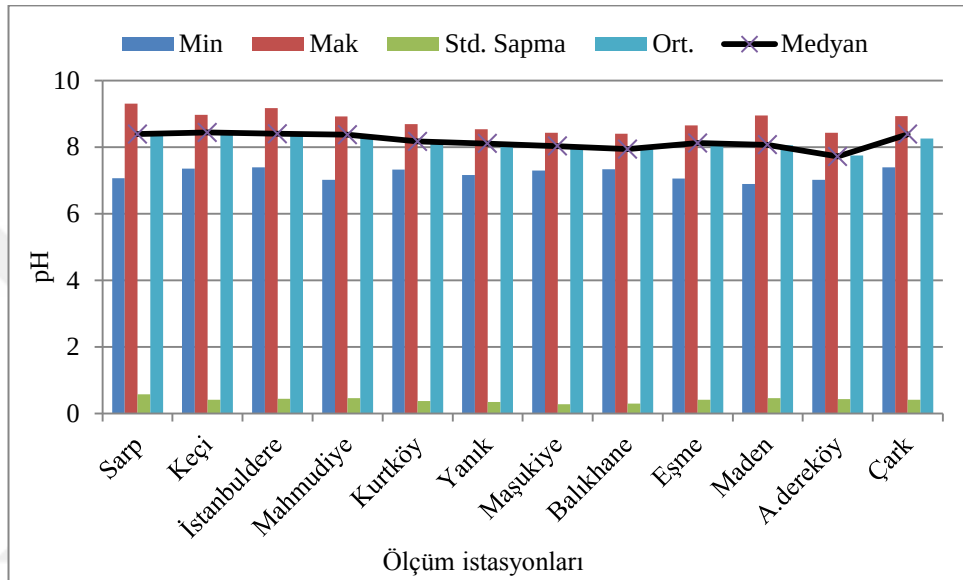
İletkenlik değerleri incelendiğinde, minimum iletkenlik 22,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olup Yanık deresinde 2016 sonbahar dönemi Kasım ayında, maksimum iletkenlik 51,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olup Aşağıdereköy deresinde 2016 kış dönemi Aralık ayında belirlenmiştir. Şekil 4.28.'de görüldüğü üzere, her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama iletkenlik konsantrasyonları ise 215,03 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 600,63 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir.



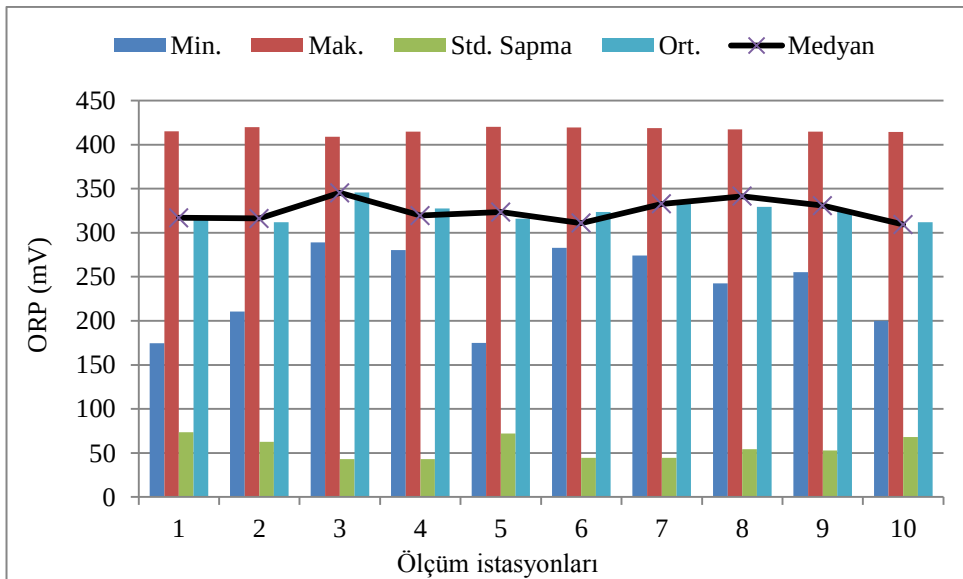
Şekil 4.28. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre iletkenlik değerleri

Şekil 4.29.'da istasyon bazında derelerde alınan su örneklerinde pH değişimi verilmektedir. pH minimum Maden deresinde 2016 sonbahar dönemi Kasım ayında 6,89 ve maksimum Sarp deresinde yaz dönemi Temmuz ayında 9,31 şeklinde

gözlemlenmiştir. pH değerleri istasyon bazında ortalama 7,75 ile 8,43 arasında değişim göstermektedir. Ölçüm istasyonlarına göre ORP konsantrasyonlarının değişimi Şekil 4.30.'da verilmektedir. ORP minimum Aşağıdereköy deresinde 2017 ilkbahar dönemi Mart ayında 124,10 mV ve maksimum Sarp deresinde 2016 kış dönemi Ocak ayında 413,60 mV olarak gözlemlenmiştir. ORP değerleri istasyon bazında ortalama 307,32 mV ile 332,84 mV arasında değişim göstermektedir.

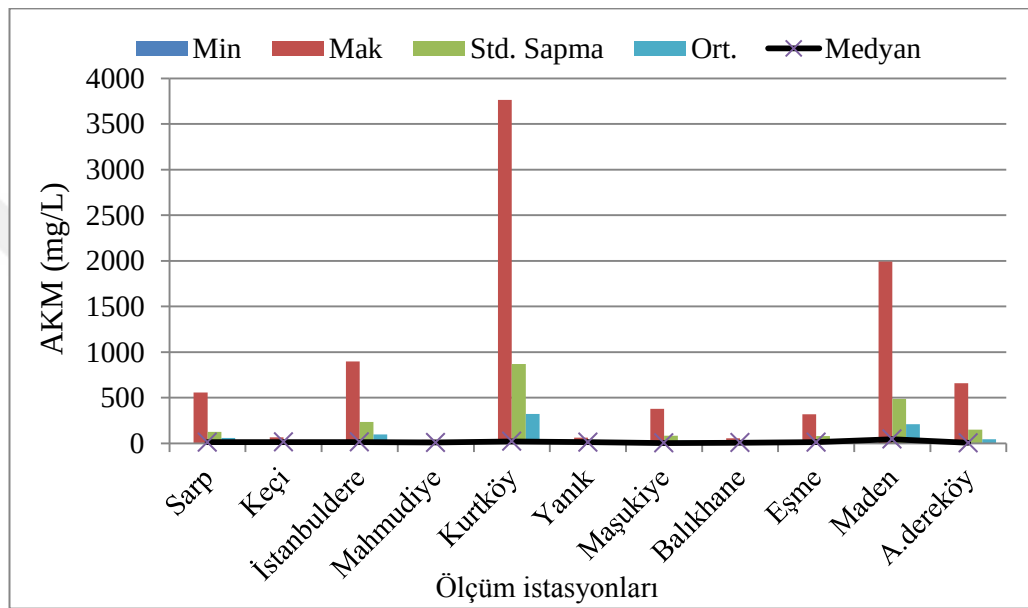


Şekil 4.29. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre pH değerleri



Şekil 4.30. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre ORP değerleri

AKM konsantrasyonlarının istasyon bazında değişimi Şekil 4.31.'de verilmektedir. Derelerde askıda katı madde değerleri çok fazla değişiklik göstermesi bazı dönemlerde yağışların etkisiyle derelere toprak karışmasındadır. Maksimum AKM konsantrasyonu Kurtköy deresinde 2016 sonbahar dönemi Eylül ayında 3764 mg/L olarak tespit edilmiştir. AKM değerleri istasyon bazında ortalama 6,64 mg/L ile 323,49 mg/L arasında değişim göstermektedir.



Şekil 4.31. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre AKM değerleri

Kalite parametrelerinin istasyon bazında mevsimsel değişimi Tablo 4.15.'te verilmektedir. En önemli parametrelerin başında gelen pH, TOK (toplam organik karbon) ve ORP (redoks potansiyeli) istasyon bazında minimum ve maksimum değerler şu şekilde belirlenmiştir:

Aşağıdereköy deresinde TOK İlkbahar 2017'de 1,41 mg/L ve Sonbahar 2016'da 4,48 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,32 ve İlkbahar 2016'da 8,19; ORP İlkbahar 2017'de 242,20 mV ve Sonbahar 2016'da 339,6 mV'tur.

Maden deresinde TOK İlkbahar 2017'de 1,75 mg/L ve Sonbahar 2016'da 5,76 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 6,89 ve Yaz 2016'da 8,44; ORP İlkbahar 2017'de 245,83 mV ve Kış 2016'da 343,60 mV'tur.

Sarp deresinde TOK Sonbahar 2015'te 1,56 mg/L ve Yaz 2016'da 5,92 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,07 ve Yaz 2016'da 8,93; ORP İlkbahar 2017'de 261,4 mV ve Sonbahar 2016'da 351,73 mV'tur.

Keçi deresinde TOK İlkbahar 2017'de 1,67 mg/L ve Kış 2016'da 3,75; pH Sonbahar 2015'te 7,73 ve İlkbahar 2016'da 8,77; ORP İlkbahar 2017'de 240,83 mV ve Sonbahar 2016'da 344,5 mV'tur.

İstanbuldere'de TOK İlkbahar 2017'de 0,79 mg/L ve Sonbahar 2016'da 3,04 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,74 ve İlkbahar 2016'da 8,97; ORP İlkbahar 2017'de 252,03 mV ve Sonbahar 2016'da 349,43 mV'tur.

Mahmudiye deresinde TOK Kış 2017'de 1,21 mg/L ve Sonbahar 2016'da 4,56 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,02 ve Yaz 2016'da 8,51; ORP İlkbahar 2017'de 255,10 mV ve İlkbahar 2016'da 338,23 mV'tur.

Kurtköy deresinde TOK Kış 2017'de 1,06 mg/L ve Sonbahar 2016'da 2,82 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,75 ve İlkbahar 2016'da 8,60; ORP İlkbahar 2017'de 249,73 mV ve İlkbahar 2016'da 340,13 mV'tur.

Yanık deresinde TOK Kış 2017'de 0,95 mg/L ve Sonbahar 2016'da 2,80 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,16 ve İlkbahar 2016'da 8,45; ORP İlkbahar 2017'de 245,73 mV ve Kış 2017'de 341,07 mV'tur.

Maşukiye deresinde TOK Kış 2017'de 1,18 mg/L ve Sonbahar 2016'da 8,78 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,30 ve İlkbahar 2016'da 8,30; ORP İlkbahar 2017'de 261,93 mV ve Yaz 2016'da 339,5 mV'tur.

Balıkhane deresinde TOK İlkbahar 2017'de 1,86 mg/L ve Sonbahar 2016'da 4,50 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,48 ve İlkbahar 2016'da 8,22; ORP İlkbahar 2017'de 266,97 mV ve Kış 2016'da 346,93 mV'tur.

Eşme deresinde TOK Kış 2016'da 1,85 mg/L ve Sonbahar 2015'te 3,64 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,06 ve İlkbahar 2016'da 8,50; ORP İlkbahar 2017'de 267,57 mV ve Yaz 2016'da 341,83 mV'tur.

Çark deresinde TOK İlkbahar 2017'de 2,51 mg/L ve Yaz 2016'da 6,04 mg/L; pH Sonbahar 2015'te 7,39 ve Yaz 2016'da 8,58; ORP İlkbahar 2017'de 264,80 mV ve Kış 2016'da 372,20 mV'tur.

Tablo 4.15. Derelerde kalite parametrelerinin ölçüm istasyonları bazında mevsimsel değişimi

Ölç. İst.	Mevsimler	Debi	TOK	T (°C)	ÇO (mg/L)	C (µS/cm)	TDS (mg/L)	SAL (ppt)	pH	ORP (mV)	AKM (mg/L)
A.dereköy	SB 15	15,20	3,91	14,10	8,80	618,00	419,09	0,38	7,32	319,60	10,00
	K 16	110,97	3,83	10,73	22,87	549,00	491,83	0,37	8,08	302,30	224,40
	İB 16	161,27	2,53	14,07	9,15	615,67	509,17	0,38	8,19	316,90	32,40
	Y 16	35,07	2,85	19,83	6,88	675,67	485,33	0,36	7,91	331,30	4,78
	SB 16	16,80	4,48	14,93	7,92	614,33	496,17	0,37	7,49	339,60	3,67
	K 17	152,27	1,76	7,10	8,47	543,00	537,33	0,41	7,62	307,50	8,17
	İB 17	88,13	1,41	13,27	7,56	600,33	502,67	0,38	7,33	242,20	7,84
Maden	SB 15	20,00	2,93	13,00	9,20	286,40	221,06	0,18	6,89	314,60	195,00
	K 16	2159,10	3,61	9,47	20,84	394,87	365,29	0,27	8,13	343,60	65,87
	İB 16	377,60	2,28	15,33	8,69	475,80	381,33	0,28	8,32	340,27	24,53
	Y 16	50,17	4,50	22,10	6,10	493,47	926,00	0,23	8,44	331,77	3423,78
	SB 16	105,70	5,76	15,10	8,16	414,43	322,18	0,24	7,97	340,23	79,50
	K 17	261,47	2,31	5,03	10,24	375,97	393,67	0,29	8,10	329,70	39,50
	İB 17	283,83	1,75	13,47	6,89	325,10	272,58	0,20	7,78	245,83	699,28
Sarp	SB 15	71,40	1,56	11,30	8,80	341,80	278,54	0,20	7,07	297,80	116,00
	K 16	141,07	4,00	8,63	13,68	372,97	351,20	0,26	8,19	336,23	211,67
	İB 16	110,83	3,58	15,30	9,17	484,50	383,07	0,29	9,03	336,97	48,80
	Y 16	61,67	5,92	23,73	6,66	665,33	442,00	0,33	8,93	338,00	8,22
	SB 16	79,77	4,02	16,30	8,39	471,83	370,50	0,28	8,18	351,73	34,40
	K 17	105,80	3,40	6,03	10,00	398,03	405,17	0,30	8,25	344,77	27,50
	İB 17	90,23	3,47	14,90	6,79	534,57	429,87	0,32	8,44	261,40	5,15
Keçi	SB 15	40,30	2,23	10,20	11,10	285,20	213,05	0,19	7,73	298,70	33,00
	K 16	196,33	3,75	8,60	13,89	255,37	242,02	0,18	8,24	335,30	42,67
	İB 16	159,47	2,04	13,63	8,86	328,57	270,40	0,20	8,77	336,50	22,53
	Y 16	36,37	3,48	24,23	5,73	508,93	331,50	0,24	8,55	328,33	13,18
	SB 16	38,01	3,17	16,87	8,17	448,30	339,95	0,25	8,14	344,43	18,07
	K 17	217,40	1,85	6,10	9,53	254,37	258,05	0,19	8,30	335,73	21,33
	İB 17	97,47	1,67	14,00	7,39	317,10	259,20	0,19	8,52	240,83	6,67
İstanbuldere	SB 15	104,00	1,24	8,30	13,80	211,30	198,42	0,15	7,74	307,90	32,00
	K 16	954,63	1,42	7,43	15,66	185,23	180,92	0,13	8,21	329,93	61,00
	İB 16	557,30	2,15	12,60	9,83	232,67	194,25	0,14	8,97	336,43	497,00
	Y 16	200,50	2,86	20,57	7,49	330,53	232,92	0,17	8,70	323,10	5,11
	SB 16	190,30	3,04	16,53	7,99	333,90	262,38	0,20	8,19	349,43	4,40
	K 17	1044,77	1,37	5,40	9,62	198,37	203,67	0,15	8,28	325,47	21,00
	İB 17	1231,83	0,79	11,73	7,67	184,17	158,82	0,12	8,42	252,03	12,47
Mahmudiye	SB 15	250,68	1,26	9,10	10,40	180,50	146,05	0,12	7,02	318,30	4,00
	K 16	1136,07	1,32	7,47	16,14	153,40	149,72	0,11	8,17	330,17	9,67
	İB 16	615,80	1,91	12,83	9,85	182,67	153,18	0,11	8,81	338,23	9,07
	Y 16	201,57	2,63	20,77	6,87	604,90	416,87	0,16	8,51	328,57	18,34
	SB 16	228,47	4,56	15,60	7,73	276,00	218,62	0,16	8,34	336,00	15,93
	K 17	685,40	1,21	5,40	9,61	174,73	180,48	0,13	8,25	335,97	7,50
	İB 17	1426,80	1,24	11,57	7,98	155,10	132,38	0,09	8,34	255,10	6,93

Tablo 4.15. (Devamı)

Kurtköy	SB 15	309,72	1,87	9,70	10,00	191,80	154,71	0,13	7,75	325,20	41,00
	K 16	487,00	2,36	7,67	14,78	161,70	156,64	0,12	8,04	331,70	181,47
	İB 16	898,13	1,50	13,10	9,85	202,57	168,57	0,12	8,60	340,13	53,33
	Y 16	320,27	2,41	22,23	6,44	298,63	203,45	0,15	8,44	330,00	27,40
	SB 16	293,99	2,82	16,20	8,39	312,47	238,98	0,18	7,95	338,30	1257,00
	K 17	781,20	1,06	6,63	8,94	171,57	185,25	0,14	8,13	328,07	14,67
	İB 17	1088,80	1,43	12,87	7,37	150,97	127,60	0,09	8,06	249,73	501,23
Yanık	SB 15	57,30	2,30	9,40	9,80	22,50	199,75	0,15	7,16	327,90	12,00
	K 16	1116,33	2,36	8,53	16,21	210,27	195,43	0,14	8,06	330,50	74,80
	İB 16	1384,50	1,31	13,00	9,69	253,33	210,17	0,15	8,45	307,60	13,87
	Y 16	39,33	1,62	20,43	6,72	406,07	287,95	0,21	8,16	338,77	14,14
	SB 16	164,90	2,80	15,13	8,36	351,43	278,42	0,21	7,98	340,47	3,37
	K 17	609,43	0,95	6,00	9,22	218,47	222,30	0,16	8,10	341,07	26,83
	İB 17	1720,03	1,25	11,53	8,08	132,67	115,27	0,09	8,04	245,73	33,62
Maşukiye	SB 15	41,80	1,89	12,30	8,70	318,00	249,80	0,20	7,30	320,80	13,00
	K 16	795,43	2,88	10,93	12,03	317,20	281,67	0,21	8,16	304,33	3,93
	İB 16	1080,37	1,61	14,17	9,30	338,77	278,42	0,21	8,30	331,77	10,13
	Y 16	282,15	2,56	19,57	6,53	402,13	290,98	0,21	8,18	339,50	3,63
	SB 16	278,70	8,78	16,47	6,79	388,80	297,48	0,20	7,95	339,27	149,47
	K 17	776,98	1,18	9,10	7,58	329,07	307,02	0,23	7,88	338,60	6,00
	İB 17	767,37	1,58	13,40	7,38	284,53	236,98	0,18	7,86	261,93	7,42
Balıkhane	SB 15	824,05	4,17	10,70	7,90	265,00	204,32	0,18	7,48	320,70	5,00
	K 16	3212,83	4,22	8,77	14,85	267,60	258,27	0,19	7,98	346,93	13,13
	İB 16	2632,77	3,03	14,20	8,14	299,23	244,18	0,18	8,22	334,27	32,22
	Y 16	517,50	4,08	22,80	5,54	443,23	287,08	0,21	8,07	340,37	27,82
	SB 16	811,77	4,50	15,63	6,86	366,87	284,70	0,21	7,78	323,03	3,07
	K 17	2097,93	2,41	6,40	7,77	277,27	279,93	0,21	7,88	339,77	5,17
	İB 17	1898,00	1,86	14,07	6,58	268,80	220,77	0,17	7,89	266,97	11,62
Eşme	SB 15	19,30	3,64	12,30	8,30	486,70	409,88	0,31	7,06	322,70	1,00
	K 16	135,93	1,85	9,57	17,18	400,33	365,22	0,28	8,16	290,17	163,67
	İB 16	174,37	2,37	15,07	8,31	406,17	325,65	0,24	8,50	315,50	60,13
	Y 16	72,43	3,23	24,93	6,84	533,77	373,10	0,28	8,24	341,83	36,24
	SB 16	29,70	2,81	17,57	7,28	533,00	407,33	0,31	7,84	327,60	16,10
	K 17	195,61	2,16	6,40	10,59	392,60	393,87	0,29	8,04	327,23	7,67
	İB 17	146,97	2,77	16,63	7,24	427,33	328,87	0,25	8,14	267,57	10,42
Çark	SB 15	8560,00	3,12	15,90	8,80	225,70	214,60	0,13	7,39	293,60	1,00
	K 16	11201,60	3,07	9,35	9,02	210,30	195,00	0,14	8,23	372,20	6,40
	İB 16	7362,57	3,76	15,67	9,37	303,77	230,32	0,17	8,54	337,80	2,53
	Y 16	625,10	6,04	26,93	8,04	431,10	270,83	0,20	8,58	351,03	11,40
	SB 16	1422,07	4,97	18,40	7,74	366,30	270,18	0,20	7,97	354,97	6,33
	K 17	3480,17	3,34	7,23	8,64	322,50	317,42	0,24	8,18	342,43	5,17
	İB 17	2472,40	2,51	15,73	9,16	282,90	222,73	0,16	8,33	264,80	9,78

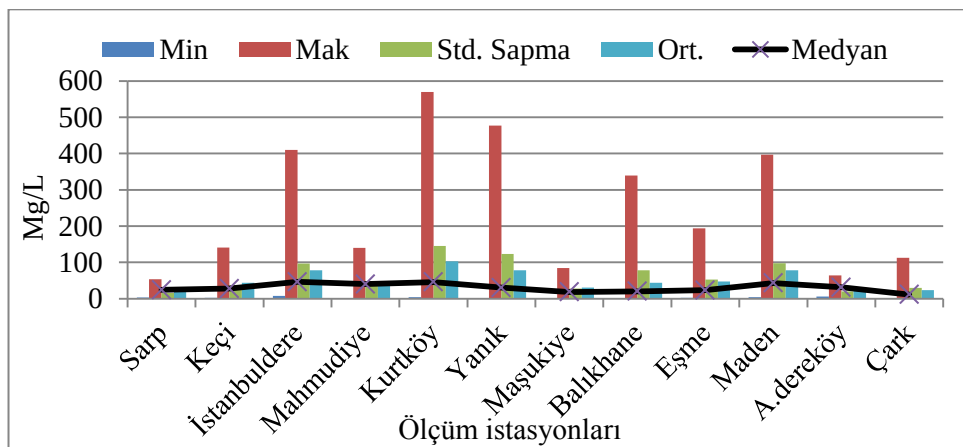
Tablo 4.16.'da derelerden alınan su örneklerinde kalite parametrelerinin ortalama mevsimsel değişimi verilmiştir. TOK konsantrasyonu en yüksek Sonbahar 2016'da 4,31 mg/L ve en düşük İlkbahar 2017'de 1,81 mg/L olarak tespit edilmiştir. Debi değerleri en yüksek Kış 2016'da 1803,94 l/sn ve en düşük Yaz 2016'da 203,51 l/sn; pH en düşük Sonbahar 2015'te 7,33 ve ORP konsantrasyonu en düşük İlkbahar 2017'de 254,51 mV şeklinde ölçülmüştür. TDS konsantrasyonu en yüksek Yaz 2016'da 379 mg/L, C konsantrasyonu en yüksek Yaz 2016'da 482,81 μ S/cm değerlerindedir. AKM konsantrasyonları ise en yüksek Yaz 2016'da 199,5 mg/L ve en düşük 38,58 mg/L değerinde gözlemlenmiştir.

Tablo 4.16. Derelerde kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi

	Debi	TOK	T (°C)	ÇO (mg/L)	C (µS/cm)	TDS (mg/L)	SAL (ppt)	pH	ORP (mV)	AKM (mg/L)
SB 15	859,48	2,51	11,36	9,63	286,08	242,44	0,19	7,33	313,98	38,58
K 16	1803,94	2,89	8,93	15,60	289,85	269,43	0,20	8,14	329,45	88,22
İB 16	1292,91	2,34	14,08	9,18	343,64	279,06	0,21	8,56	331,03	67,21
Y 16	203,51	3,52	22,34	6,65	482,81	379,00	0,23	8,39	335,21	299,50
SB 16	305,01	4,31	16,23	7,81	406,47	315,58	0,23	7,98	340,42	132,61
K 17	867,37	1,92	6,40	9,18	304,66	307,01	0,23	8,09	333,03	15,88
İB 17	942,66	1,81	13,60	7,51	305,30	250,64	0,19	8,10	254,51	109,37

4.1.2.2. Ağır metallerin incelenmesi

İstasyonlarda belirlenen alüminyum konsantrasyonları Şekil 4.32.'de verilmiştir. Şekil 4.32.'de görüldüğü gibi en yüksek Al kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 569,50 mg/L konsantrasyonla Kurtköy ve 477 mg/L konsantrasyonla Yanık deresidir. Al kirliliği Sapanca gölü havzasının jeolojik yapısından kaynaklanmaktadır (Salomons ve Forstner, 1984; Atgın ve ark., 2000). Ölçüm istasyonlarında ortalama Al konsantrasyonları 23,25 mg/L ile 102,72 mg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla Çark ve Kurtköy derelerinde gözlemlenmiştir. Sapanca gölü havzasında bulunan derelerin ortalama Al konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin üzerindedir. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre Al açısından su kalitesi orta durumdadır. Alınan toprak örneklerinde de Al konsantrasyonları diğer metallerle göre yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni Al metalinin Sapanca havzasının jeolojik yapısından kaynaklanmasıdır.



Şekil 4.32. Derelerde belirlenen Al konsantrasyonu

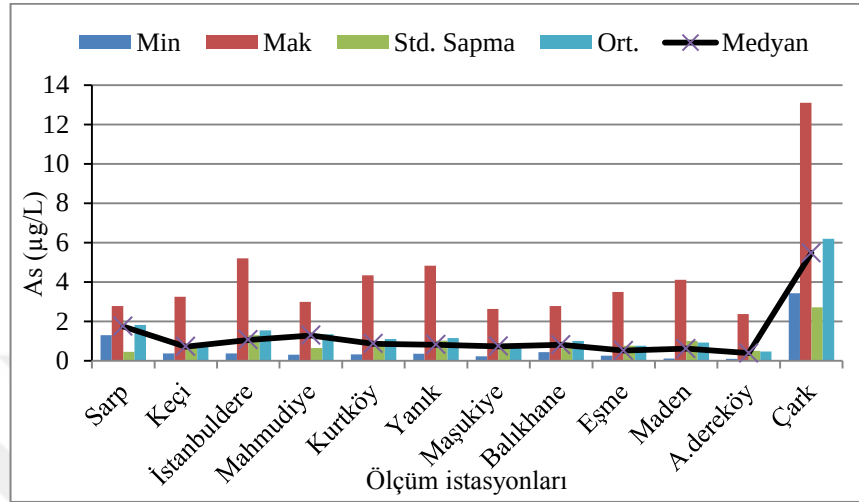
Tablo 4.17.'de ölçüm süresi içerisinde Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi verilmiştir. Sapanca havzasında yer alan derelerin Al konsantrasyonu diğer metallere göre yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Al konsantrasyonunun kış dönemlerinde özellikle 2016 kış döneminde yükseldiği tespit edilmiştir. Al konsantrasyonunun kış dönemlerinde özellikle 2016 kış döneminde yükseldiği tespit edilmiştir. Isınma amaçlı fosil yakıt tüketiminin artması ve yağışlı dönemde topraktan sızmalar neticesinde Al konsantrasyonunda artış gözlemlenmiştir.

Tablo 4.17. Derelerde Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).

	SB 15	K 16	İB 16	Y 16	SB 16	K 17	İB 17	Min	Mak	Std. Sap	Ort.	Med.
Sarp	48,87	21,39	12,29	24,66	21,73	22,29	33,94	12,29	48,87	11,74	26,45	22,29
Keçi	74,95	84,34	22,95	18,10	51,25	54,87	22,93	18,10	84,34	26,61	47,06	51,25
İstanbuldere	86,60	253,36	48,00	32,25	26,16	61,04	45,21	26,16	253,36	79,44	78,94	48,00
Mahmudiye	139,83	104,79	24,09	49,40	15,35	38,80	20,18	15,35	139,83	47,78	56,06	38,80
Kurtköy	212,73	334,04	53,38	62,76	38,36	41,58	49,55	38,36	334,04	115,17	113,20	53,38
Yanık	44,39	221,17	42,68	9,98	14,21	145,99	46,89	9,98	221,17	78,64	75,04	44,39
Maşukiye	18,46	58,89	14,42	8,33	68,93	19,37	17,32	8,33	68,93	24,04	29,39	18,46
Balıkhane	12,33	184,33	14,89	5,29	15,90	36,32	18,58	5,29	184,33	63,87	41,09	15,90
Eşme	62,44	112,72	41,76	14,33	48,52	30,18	31,05	14,33	112,72	32,07	48,71	41,76
Maden	12,56	158,31	51,32	77,10	44,01	114,60	44,93	12,56	158,31	49,61	71,83	51,32
A.dereköy	31,66	47,98	34,65	15,15	17,56	43,07	31,36	15,15	47,98	12,09	31,63	31,66
Çark	8,42	46,97	10,83	22,22	32,78	20,15	11,51	8,42	46,97	13,92	21,84	20,15
Ort.	62,77	135,69	30,94	28,30	32,90	52,36	31,12					

İstasyonlarda belirlenen arsenik konsantrasyonları Şekil 4.33.'te verilmiştir. Şekil 4.33.'te görüldüğü gibi en yüksek As kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 13,09 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla Çark ve 5,19 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla İstanbul deresidir. As kirliliği tarımsal faaliyetlerden ve fosil yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır (Liu ve ark., 2003). Ölçüm istasyonlarında ortalama As konsantrasyonları 0,47 $\mu\text{g/L}$ ile 6,18 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla Aşağıdereköy ve Çark derelerinde gözlemlenmiştir. Sapanca gölünde ortalama As konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır Sapanca gölü havzasında bulunan derelerin en yüksek kirlilik konsantrasyonu 2016 ilkbahar döneminde Mayıs ayında Çark deresinde 13,09 $\mu\text{g/L}$ olup içme suyu standardına göre sınır değerinin üzerindedir. Tablo 4.18.'de istasyon bazında alınan örneklerin ortalama mevsimsel As değerleri verilmektedir. Tablo 4.18.'de ölçüm süresi içerisinde As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelenmiş, 2016 kış döneminde yükseldiği

tespit edilmiştir. Kış dönemindeki artışın nedeni yağışların artması nedeniyle karayollarında fosil yakıt tüketimi kaynaklı As metalinin yüzey akışına geçen yağmur sularının derelere ulaşmasıdır.



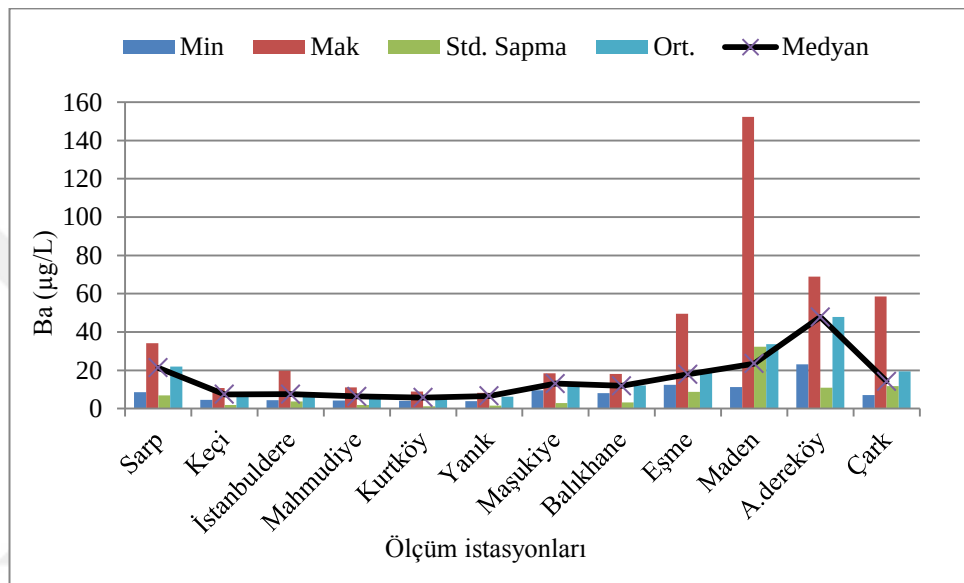
Şekil 4.33. Derelerde belirlenen As konsantrasyonu

Tablo 4.18. Derelerde As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	SB 15	K 16	İB 16	Y 16	SB 16	K 17	İB 17	Min	Mak	Std. Sap	Ort.	Med.
Sarp	-	1,54	1,36	2,51	1,82	1,75	1,91	1,36	2,51	0,39	1,82	1,79
Keçi	-	1,52	0,50	1,03	0,91	0,59	0,60	0,50	1,52	0,38	0,86	0,75
İstanbuldere	-	3,62	1,29	1,47	1,58	0,74	0,56	0,56	3,62	1,09	1,54	1,38
Mahmudiye	-	2,03	1,06	1,51	1,79	1,11	0,57	0,57	2,03	0,53	1,34	1,31
Kurtköy	-	1,21	0,68	1,08	2,21	0,80	0,59	0,59	2,21	0,59	1,09	0,94
Yanık	-	2,74	1,05	0,74	0,83	0,90	0,64	0,64	2,74	0,79	1,15	0,86
Maşukiye	-	1,40	0,85	0,94	1,06	0,51	0,39	0,39	1,40	0,37	0,86	0,90
Balıkhane	-	0,77	1,24	1,64	1,10	0,60	0,70	0,60	1,64	0,40	1,01	0,93
Eşme	-	1,51	0,66	0,59	1,06	0,37	0,38	0,37	1,51	0,44	0,76	0,62
Maden	-	1,64	0,34	1,65	0,79	0,58	0,50	0,34	1,65	0,58	0,92	0,69
A.dereköy	-	1,06	0,40	0,35	0,42	0,37	0,24	0,24	1,06	0,29	0,47	0,39
Çark	-	6,46	6,83	8,64	5,39	5,68	4,10	4,10	8,64	1,53	6,18	6,07
Ort.	-	2,12	1,36	1,84	1,58	1,17	0,93					

Şekil 4.34.'te istasyon bazında Ba konsantrasyonunun değişimi verilmiştir. En yüksek Ba kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 152,40 µg/L konsantrasyonla Maden ve 68,96 µg/L konsantrasyonla Aşağıdereköy dereleridir. Ölçüm istasyonlarında ortalama Ba konsantrasyonları 6,24 µg/L ile 47,83 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla Yanık ve Aşağıdereköy derelerinde gözlemlenmiştir. Ba kirliliğinin toprak yapısından ve trafikten (fosil yakıt tüketimi ve fren-balata sistemlerinden) kaynaklanmaktadır (Salomons ve Forstner, 1984; Atgın ve ark.,

2000; Tobiszewski ve ark., 2010). Sapanca gölü havzasında bulunan derelerin ortalama Ba konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerin altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır. Tablo 4.19.'da Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, kış dönemlerinde yükselme gözlenmiştir. Kışın artış göstermesi trafik kaynaklı Ba kirliliğinin yağmur sularıyla derelere ulaşmasıdır.



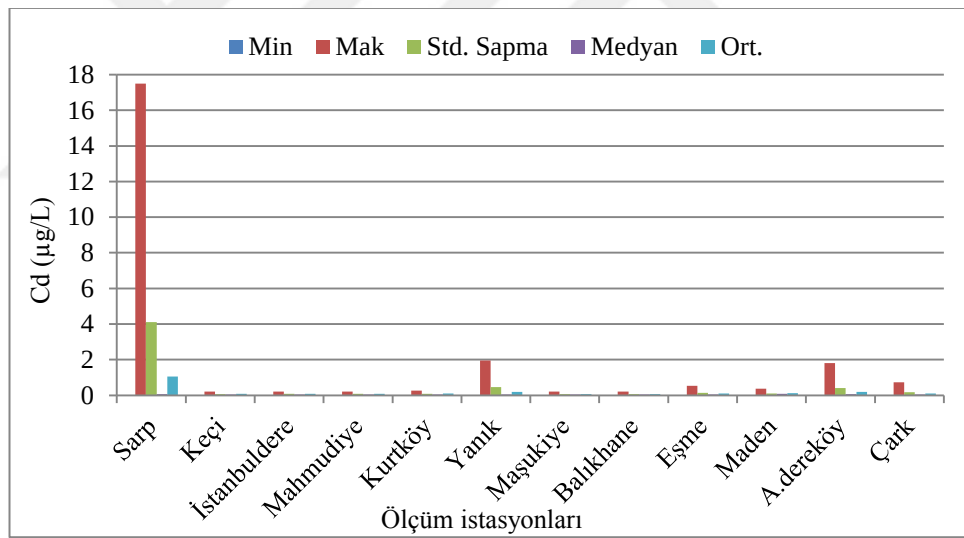
Şekil 4.34. Derelerde belirlenen Ba konsantrasyonu

Tablo 4.19. Derelerde Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	SB 15	K 16	İB 16	Y 16	SB 16	K 17	İB 17	Min	Mak	Std. Sap	Ort.	Med.
Sarp	-	21,09	22,23	24,08	14,60	27,80	21,89	14,60	27,80	4,33	21,95	22,06
Keçi	-	6,46	6,65	8,44	7,91	8,28	6,13	6,13	8,44	1,01	7,31	7,28
İstanbuldere	12,05	8,55	7,64	7,49	8,47	10,65	5,86	5,86	12,05	2,07	8,67	8,47
Mahmudiye	7,41	5,74	6,15	7,08	7,40	6,48	6,17	5,74	7,41	0,67	6,63	6,48
Kurtköy	-	6,74	5,10	5,76	6,22	5,90	6,05	5,10	6,74	0,54	5,96	5,97
Yanık	-	6,39	6,04	7,25	6,75	6,13	4,87	4,87	7,25	0,81	6,24	6,26
Maşukiye	-	16,09	13,98	12,29	14,29	14,12	11,46	11,46	16,09	1,63	13,71	14,05
Balıkhane	-	12,63	13,68	13,88	10,81	12,06	8,91	8,91	13,88	1,88	12,00	12,35
Eşme	16,14	19,46	32,58	15,99	14,83	16,17	20,97	14,83	32,58	6,19	19,45	16,17
Maden	66,07	29,55	14,77	29,01	30,81	27,34	59,82	14,77	66,07	18,75	36,77	29,55
A.dereköy	23,18	57,82	52,54	46,85	44,94	50,30	42,73	23,18	57,82	11,05	45,48	46,85
Çark	11,37	11,89	16,57	24,33	23,87	29,47	12,79	11,37	29,47	7,24	18,61	16,57
Ort.	22,70	16,87	16,49	16,87	15,91	17,89	17,30					

İstasyonlarda belirlenen kadmiyum konsantrasyonları Şekil 4.35.'te verilmiştir. Şekil 4.35.'te görüldüğü gibi en yüksek Cd kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 17,50 µg/L Sarp ve 1,96 µg/L konsantrasyonla Yanık dereleridir. Ölçüm istasyonlarında

ortalama Cd konsantrasyonları 0,073 µg/L ile 1,062 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla Balıkhane ve Sarp istasyonlarda gözlemlenmiştir. En yüksek kirlilik konsantrasyonu 2016 kış döneminde Aralık ayında Sarp deresinde 17,50 µg/L olup içme suyu standardına göre sınır değerin üzerindedir. Cd kirliliği trafikten, tarımsal (pestisit kullanımı) ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Şişman, 1999; Singh ve ark., 2004; Zhou ve ark., 2007). Sapanca gölü havzasında bulunan derelerin ortalama Cd konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerin altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre Cd açısından su kalitesi incelendiğinde; Keçi, İstanbuldere, Maşukiye, Balıkhane I.sınıf, Mahmudiye II.sınıf, Aşağıdereköy ve Yanık IV.sınıf, Sarp V. sınıf ve diğer istasyonlar III. sınıf kalitesinde olduğu tespit edilmiştir. Tablo 4.20.'de görüldüğü üzere Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, 2016 kış döneminde yükselme gözlenmiştir.



Şekil 4.35. Derelerde belirlenen Cd konsantrasyonu

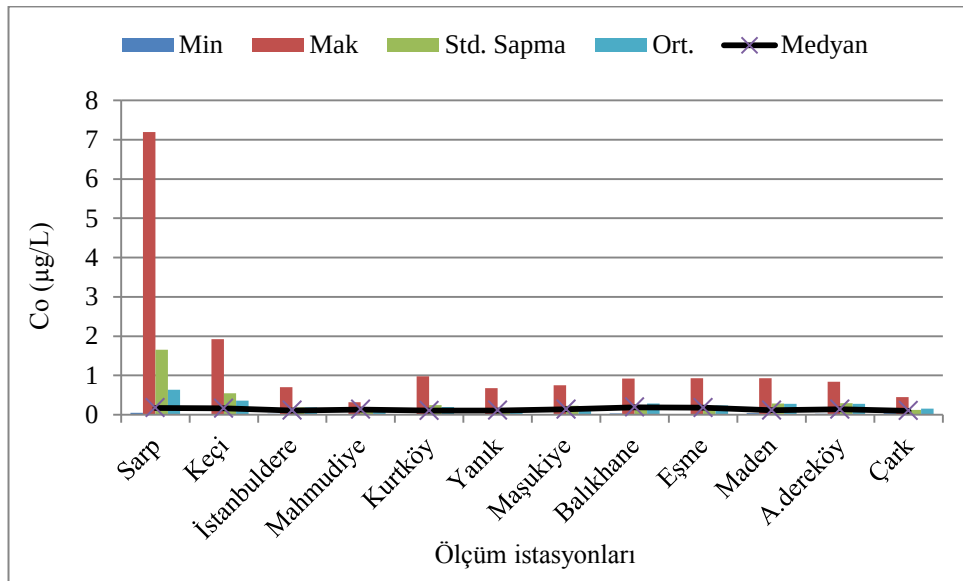
Tablo 4.20. Derelerde Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	SB 15	K 16	İB 16	Y 16	SB 16	K 17	İB 17	Min	Mak	Std. Sap	Ort.	Med.
Sarp	-	5,91	0,17	0,06	0,11	0,03	0,09	0,03	5,91	2,38	1,06	0,10
Keçi	-	0,09	0,19	0,07	0,05	0,01	0,06	0,01	0,19	0,06	0,08	0,06
İstanbuldere	-	0,09	0,21	0,07	0,05	0,01	0,04	0,01	0,21	0,07	0,08	0,06
Mahmudiye	-	0,10	0,20	0,10	0,02	0,01	0,08	0,01	0,20	0,07	0,08	0,09
Kurtköy	-	0,19	0,19	0,06	0,06	0,01	0,04	0,01	0,19	0,08	0,09	0,06
Yanık	-	0,81	0,15	0,07	0,03	0,01	0,08	0,01	0,81	0,31	0,19	0,08
Maşukiye	-	0,07	0,18	0,05	0,02	0,02	0,06	0,02	0,18	0,06	0,07	0,05
Balıkhane	-	0,10	0,18	0,06	0,04	0,01	0,05	0,01	0,18	0,06	0,07	0,05

Tablo 4.20. (Devamı)

Eşme	-	0,11	0,18	0,07	0,20	0,01	0,04	0,01	0,20	0,08	0,10	0,09
Maden	-	0,10	0,19	0,07	0,12	0,03	0,16	0,03	0,19	0,06	0,11	0,11
A.dereköy	-	0,64	0,19	0,07	0,22	0,01	0,04	0,01	0,64	0,23	0,20	0,13
Çark	-	0,13	0,18	0,04	0,26	0,01	0,03	0,01	0,26	0,10	0,11	0,08
Ort.	-	0,70	0,18	0,07	0,10	0,01	0,06					

İstasyonlarda belirlenen Co konsantrasyonları Şekil 4.36.'da verilmiştir. Şekil 4.36.'da görüldüğü gibi en yüksek Co kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 7,19 µg/L konsantrasyonla Sarp ve 1,92 µg/L konsantrasyonla Keçi dereleridir. Ölçüm istasyonlarında ortalama Co konsantrasyonları 0,15 µg/L ile 0,63 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla Mahmudiye ve Sarp derelerinde gözlemlenmiştir. Co kirliliği, toprak yapısı ve fosil yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır (Şişman, 1999; Song ve ark., 2011). TS-266 içme suyu standardında Co metali için bir sınır değeri bulunmamaktadır. Ancak, yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır. Tablo 4.21.'de Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi verilmiştir. Özellikle 2016 kış döneminde ve 2017 ilkbahar döneminde yükseldiği tespit edilmiştir. Kışın artış göstermesi ısınma amaçlı fosil yakıt tüketimine bağlı olarak, ilkbahar artışı numune alınan dönemin yağışlı döneme rastlaması sonucu topraktan suya metal geçişinin olduğu belirlenmiştir.

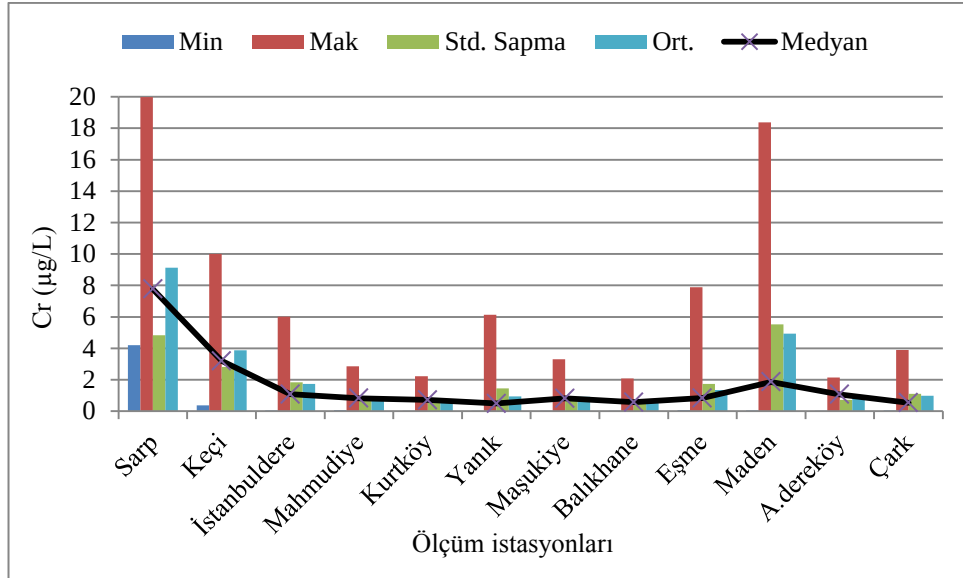


Şekil 4.36. Derelerde belirlenen Co konsantrasyonu

Tablo 4.21. Derelerde Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	SB 15	K 16	İB 16	Y 16	SB 16	K 17	İB 17	Min	Mak	Std. Sap	Ort.	Med.
Sarp	-	2,52	0,09	0,13	0,17	0,32	0,58	0,09	2,52	0,94	0,63	0,24
Keçi	-	0,74	0,04	0,13	0,14	0,67	0,45	0,04	0,74	0,30	0,36	0,30
İstanbuldere	-	0,37	0,08	0,04	0,11	0,26	0,30	0,04	0,37	0,13	0,19	0,18
Mahmudiye	-	0,20	0,08	0,09	0,14	0,16	0,25	0,08	0,25	0,07	0,15	0,15
Kurtköy	-	0,38	0,07	0,04	0,13	0,13	0,43	0,04	0,43	0,17	0,20	0,13
Yanık	-	0,32	0,07	0,05	0,07	0,23	0,27	0,05	0,32	0,12	0,17	0,15
Maşukiye	-	0,37	0,05	0,04	0,13	0,17	0,55	0,04	0,55	0,20	0,22	0,15
Balıkhane	-	0,58	0,08	0,12	0,11	0,26	0,55	0,08	0,58	0,23	0,28	0,19
Eşme	-	0,47	0,05	0,06	0,24	0,19	0,42	0,05	0,47	0,18	0,24	0,22
Maden	-	0,22	0,07	0,22	0,13	0,25	0,79	0,07	0,79	0,26	0,28	0,22
A.dereköy	-	0,54	0,06	0,06	0,10	0,21	0,71	0,06	0,71	0,28	0,28	0,16
Çark	-	0,13	0,11	0,07	0,08	0,22	0,33	0,07	0,33	0,10	0,16	0,12
Ort.	-	0,57	0,07	0,09	0,13	0,25	0,47					

İstasyonlarda belirlenen krom konsantrasyonları Şekil 4.37.'de verilmiştir. Şekil 4.37.'de görüldüğü gibi en yüksek Cr kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 19,98 µg/L konsantrasyonla Sarp ve 18,37 µg/L konsantrasyonla Maden dereleridir. Cr kirliliği çoğunlukla, fosil yakıt tüketiminden ve metal endüstrisinden kaynaklanmaktadır (Zhou ve ark., 2007; Huang ve ark., 2010). Ölçüm istasyonlarında ortalama Cr konsantrasyonları 0,67 µg/L ile 9,12 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla Balıkhane ve Sarp derelerinde gözlemlenmiştir. Sapanca gölü havzasında bulunan derelerin ortalama Cr konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır. Tablo 4.22.'de Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde kış dönemlerinde yükselme gözlemlenmiştir. Bölgede bulunan metal işleme tesislerinden rüzgar ve yağışlarla derelere ulaşması artışın nedenidir.



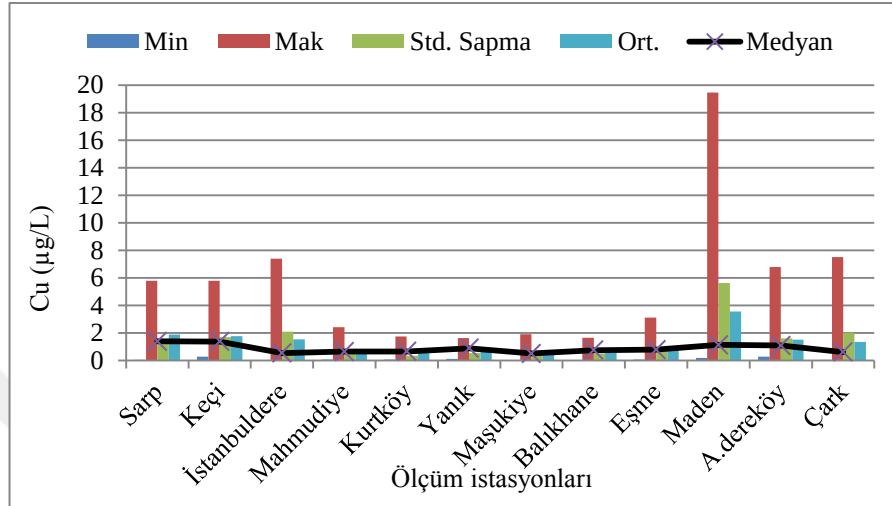
Şekil 4.37. Derelerde belirlenen Cr konsantrasyonu

Tablo 4.22. Derelerde Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	SB 15	K 16	İB 16	Y 16	SB 16	K 17	İB 17	Min	Mak	Std. Sap	Ort.	Med.
Sarp	TE	5,16	6,65	12,26	6,65	11,01	13,01	5,16	13,01	3,36	9,12	8,83
Keçi	TE	7,30	2,17	2,30	2,47	5,67	3,38	2,17	7,30	2,12	3,88	2,92
İstanbuldere	5,245	3,92	1,43	0,57	0,80	1,55	1,03	0,57	5,25	1,79	2,08	1,43
Mahmudiye	0,81	0,88	0,60	0,28	1,43	1,52	1,06	0,28	1,52	0,44	0,94	0,88
Kurtköy	1,1	1,12	0,09	0,75	0,33	0,88	1,06	0,09	1,12	0,41	0,76	0,88
Yanık	TE	1,29	0,34	0,29	0,39	2,81	0,51	0,29	2,81	0,99	0,94	0,45
Maşukiye	TE	1,15	0,59	0,24	0,89	1,03	1,63	0,24	1,63	0,48	0,92	0,96
Balıkhane	TE	1,24	0,18	0,16	0,73	0,86	0,86	0,16	1,24	0,43	0,67	0,79
Eşme	1,9	1,74	2,72	0,24	1,16	1,23	0,82	0,24	2,72	0,81	1,40	1,23
Maden	TE	4,03	0,27	6,33	6,41	5,97	6,65	0,27	6,65	2,48	4,94	6,15
A.dereköy	1,4	1,37	0,45	0,20	1,26	1,57	1,19	0,20	1,57	0,52	1,06	1,26
Çark	TE	1,50	0,26	0,20	0,79	1,65	1,54	0,20	1,65	0,66	0,99	1,15
Ort.	2,09	2,56	1,31	1,99	1,94	2,98	2,73					

İstasyonlarda belirlenen bakır konsantrasyonları Şekil 4.38.'de verilmiştir. Şekil 4.38.'de görüldüğü gibi en yüksek Cu kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 19,47 µg/L konsantrasyonla Maden ve 5,78 µg/L konsantrasyonla Sarp dereleridir. Cu kirliliğinin trafikten, endüstriden, tarımsal faaliyetlerden ve toprak ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Cu konsantrasyonları 0,61 µg/L ile 3,56 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla Maşukiye ve Maden derelerinde gözlemlenmiştir. Sapanca gölü havzasında bulunan derelerin ortalama Cu konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır.

Tablo 4.23.'te Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2015 sonbahar döneminde yükselme gözlenmiştir. 2015 sonbahar döneminde bölgeye düşen yağmur miktarının epey fazla olması tarımsal faaliyetler, toprak ayrışması ve karayolundan yüzey akışıyla derelere Cu kirlilik girişini artırmıştır.



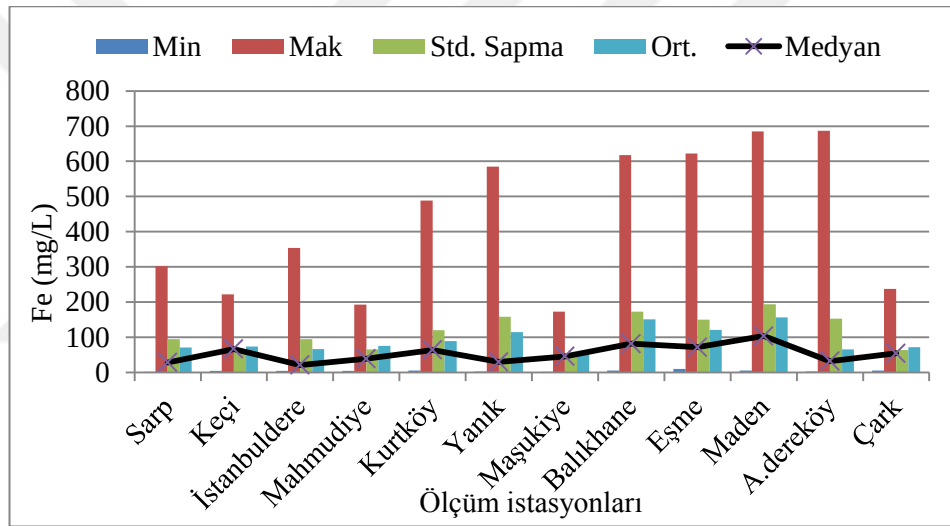
Şekil 4.38. Derelerde belirlenen Cu konsantrasyonu

Tablo 4.23. Derelerde Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	SB 15	K 16	İB 16	Y 16	SB 16	K 17	İB 17	Min	Mak	Std. Sap	Ort.	Med.
Sarp	5,78	1,94	0,50	2,79	1,84	1,80	1,19	0,50	5,78	1,70	2,26	1,84
Keçi	5,80	2,47	0,41	1,80	1,08	2,40	1,04	0,41	5,80	1,78	2,14	1,80
İstanbuldere	7,39	2,02	0,37	0,41	1,70	2,33	0,50	0,37	7,39	2,47	2,10	1,70
Mahmudiye	64,08	1,35	0,36	0,79	1,51	0,67	0,30	0,30	64,08	23,91	9,87	0,79
Kurtköy	0,57	1,13	0,77	0,77	0,65	0,43	0,38	0,38	1,13	0,25	0,67	0,65
Yanık	1,56	1,37	0,73	0,33	0,98	0,87	0,26	0,26	1,56	0,49	0,87	0,87
Maşukiye	0,57	0,70	0,38	0,30	1,44	0,59	0,28	0,28	1,44	0,40	0,61	0,57
Balıkhane	1,62	1,41	0,36	0,54	0,69	0,80	0,68	0,36	1,62	0,47	0,87	0,69
Eşme	1,58	1,61	0,40	0,69	1,44	1,51	0,39	0,39	1,61	0,57	1,09	1,44
Maden	17,40	7,32	0,39	1,33	2,53	1,53	3,63	0,39	17,40	5,97	4,87	2,53
A.dereköy	6,80	2,76	0,90	0,77	0,83	0,99	1,13	0,77	6,80	2,22	2,02	0,99
Çark	5,55	1,32	0,53	2,73	0,70	1,29	0,17	0,17	5,55	1,87	1,76	1,29
Ort.	9,89	2,12	0,51	1,10	1,28	1,27	0,83					

İstasyonlarda belirlenen demir konsantrasyonları Şekil 4.39.'da verilmiştir. Şekil 4.39.'da görüldüğü gibi en yüksek Fe kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 687,03 mg/L konsantrasyonla Aşağıdereköy ve 685 mg/L konsantrasyonla Maden dereleridir. Fe toprak yapısından kaynaklanan bir metal olup, havzada yer alan derelerde de Fe konsantrasyonları yüksektir. Sapanca gölü havzasında bulunan derelerin ortalama

Fe konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerin üzerindedir. Alınan toprak örneklerinde de Fe konsantrasyonları diğer metallerle göre yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre Fe açısından su kalitesi orta durumdadır. Bu durum Fe elementinin Sapanca havzasının jeolojik yapısından kaynaklanmaktadır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Fe konsantrasyonları 53,95 mg/L ile 156,17 mg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla Maşukiye ve Maden derelerinde gözlemlenmiştir. Tablo 4.24.'te Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde kış dönemlerinde özellikle 2016 kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Yağışlı dönemde topraktan sızmalar neticesinde Fe konsantrasyonunda artış olmuştur.

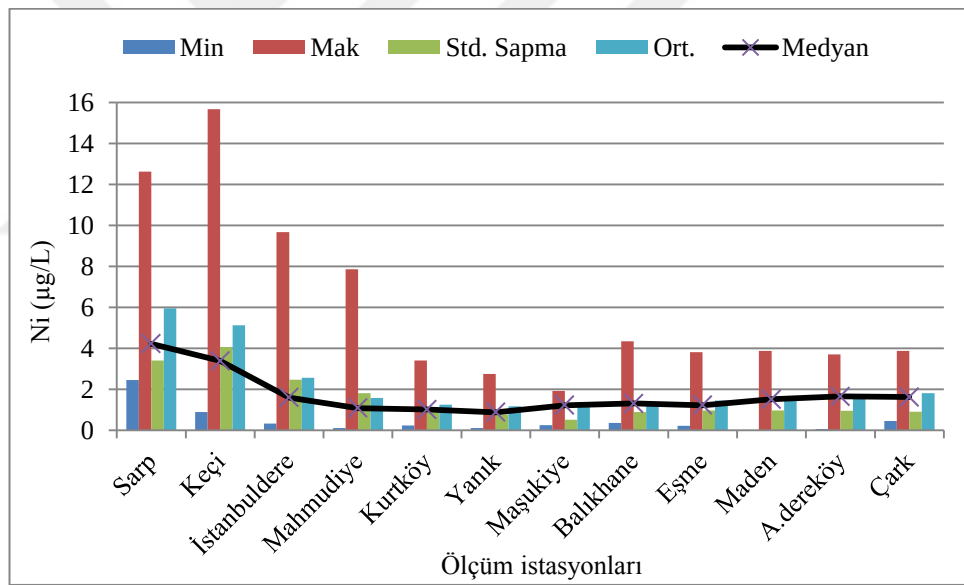


Şekil 4.39. Derelerde belirlenen Fe konsantrasyonu

Tablo 4.24. Derelerde Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).

	SB 15	K 16	İB 16	Y 16	SB 16	K 17	İB 17	Min	Mak	Std. Sap	Ort.	Med.
Sarp	79,31	102,18	12,36	58,92	41,96	126,83	80,82	12,36	126,83	38,03	71,77	79,31
Keçi	0,11	171,55	32,34	60,47	57,74	76,37	30,00	0,11	171,55	54,71	61,23	57,74
İstanbuldere	11,11	242,56	16,14	16,96	55,41	65,44	18,55	11,11	242,56	82,92	60,88	18,55
Mahmudiye	38,47	168,63	40,67	19,02	82,46	100,26	52,02	19,02	168,63	50,92	71,65	52,02
Kurtköy	305,39	198,54	36,93	32,98	60,38	76,19	55,33	32,98	305,39	103,18	109,39	60,38
Yanık	34,54	334,42	55,72	6,33	30,59	222,30	61,67	6,33	334,42	123,10	106,51	55,72
Maşukiye	17,48	122,72	31,28	29,95	53,05	70,04	28,82	17,48	122,72	36,42	50,48	31,28
Balıkhane	248,92	497,47	37,09	40,62	58,35	118,04	121,21	37,09	497,47	165,70	160,24	118,04
Eşme	231,41	192,60	55,64	40,51	265,54	65,23	69,06	40,51	265,54	94,88	131,43	69,06
Maden	18,90	222,27	82,65	43,01	268,85	252,63	113,42	18,90	268,85	103,32	143,10	113,42
A.dereköy	5,31	15,26	57,62	10,73	37,15	28,83	262,08	5,31	262,08	91,06	59,57	28,83
Çark	143,68	67,06	39,56	61,87	86,40	103,37	47,67	39,56	143,68	36,06	78,52	67,06
Ort.	94,55	194,60	41,50	35,11	91,49	108,79	78,39					

İstasyonlarda belirlenen nikel konsantrasyonları Şekil 4.40.'ta verilmiştir. Şekil 4.40.'ta görüldüğü gibi en yüksek Ni kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 15,67 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla Keçi ve 12,631 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla Sarp dereleridir. Ni kirliliği, tarımsal faaliyetler, fosil yakıt tüketimi ve trafikten (fren-balata) kaynaklanmaktadır (Tobiszewski ve ark., 2010; Su ve ark., 2011). Ölçüm istasyonlarında ortalama Ni konsantrasyonları 1,14 $\mu\text{g/L}$ ile 5,95 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla Maşukiye ve Sarp derelerinde gözlemlenmiştir. Sapanca gölü havzasında bulunan derelerin ortalama Ni konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır. Tablo 4.25.'te Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2016 yaz, 2017 ilkbahar ve özellikle 2015 sonbahar döneminde yükselme gözlenmiştir.



Şekil 4.40. Derelerde belirlenen Ni konsantrasyonu

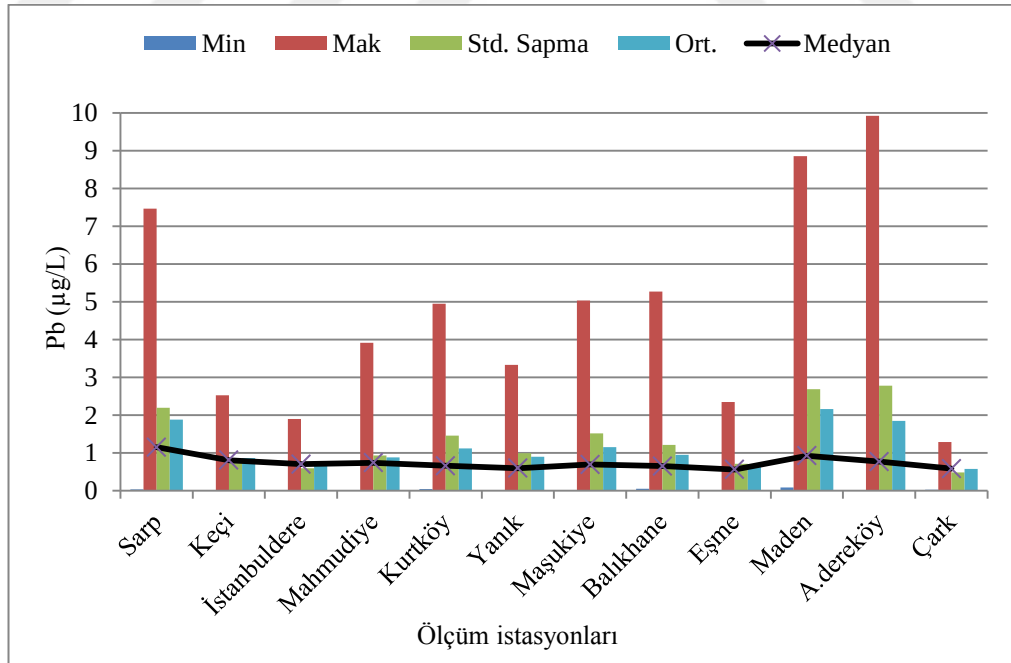
Tablo 4.25. Derelerde Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).

	SB 15	K 16	İB 16	Y 16	SB 16	K 17	İB 17	Min	Mak	Std. Sap	Ort.	Med.
Sarp	12,63	4,28	3,56	6,89	3,23	5,04	10,49	3,23	12,63	3,65	6,59	5,04
Keçi	13,71	8,12	2,68	3,95	2,21	4,31	6,59	2,21	13,71	4,01	5,94	4,31
İstanbuldere	7,01	5,78	0,51	1,13	1,21	1,88	3,38	0,51	7,01	2,52	2,99	1,88
Mahmudiye	0,65	3,48	0,47	0,77	2,03	1,73	1,24	0,47	3,48	1,05	1,48	1,24
Kurtköy	1,94	1,45	0,31	0,67	0,86	1,73	2,28	0,31	2,28	0,73	1,32	1,45
Yanık	1,37	1,25	0,68	0,75	0,76	1,44	2,10	0,68	2,10	0,51	1,19	1,25
Maşukiye	1,31	1,41	0,69	1,06	1,11	0,89	1,61	0,69	1,61	0,31	1,15	1,11
Balıkhane	1,57	2,66	0,98	1,31	0,77	0,76	1,38	0,76	2,66	0,66	1,35	1,31

Tablo 4.25. (Devamı)

Eşme	1,58	3,30	1,25	1,10	1,19	0,43	1,38	0,43	3,30	0,89	1,46	1,25
Maden	1,51	2,84	1,21	2,05	0,84	0,47	1,37	0,47	2,84	0,79	1,47	1,37
A.dereköy	2,15	2,89	1,45	1,76	1,10	0,25	1,76	0,25	2,89	0,83	1,62	1,76
Çark	1,23	2,28	1,34	1,84	1,24	1,93	2,45	1,23	2,45	0,50	1,76	1,84
Ort.	3,89	3,31	1,26	1,94	1,38	1,74	3,00					

İstasyonlarda belirlenen kurşun konsantrasyonları Şekil 4.41.'de verilmiştir. Şekil 4.41.'de görüldüğü gibi en yüksek Pb kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 9,92 µg/L konsantrasyonla Aşağıdereköy ve 8,56 µg/L konsantrasyonla Maden dereleridir. Pb kirliliği çoğunlukla trafikten kaynaklı yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Pb konsantrasyonları 0,58 µg/L ile 2,16 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla Çark ve Maden derelerinde gözlemlenmiştir. Sapanca gölü havzasında bulunan derelerin ortalama Pb konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır. Tablo 4.26.'da Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde sonbahar dönemlerinde yükselme gözlenmiştir.

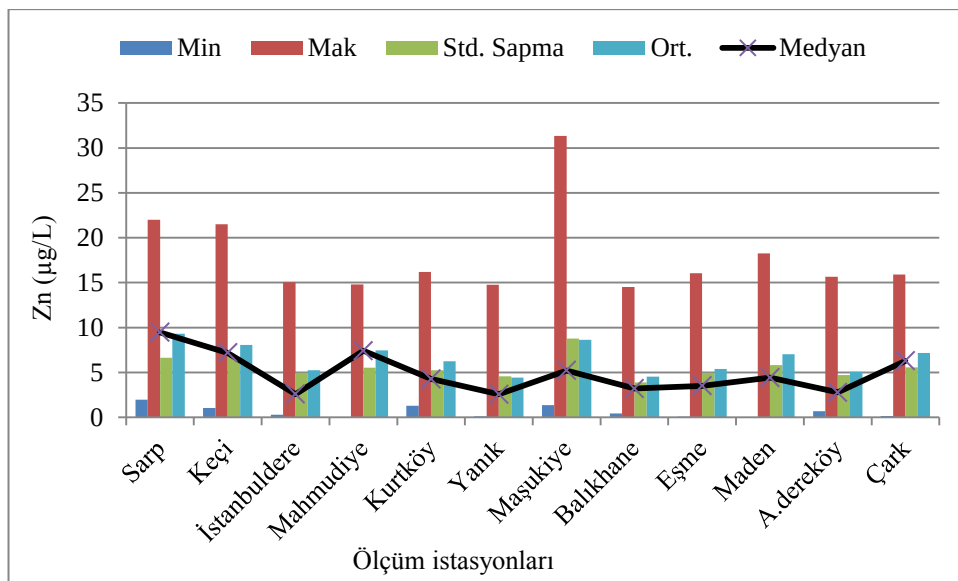


Şekil 4.41. Derelerde belirlenen Pb konsantrasyonu

Tablo 4.26. Derelerde Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).

	SB 15	K 16	İB 16	Y 16	SB 16	K 17	İB 17	Min	Mak	Std. Sap	Ort.	Med.
Sarp	7,46	2,82	1,14	1,03	0,94	1,17	2,34	0,94	7,46	2,34	2,41	1,17
Keçi	0,76	1,27	1,20	0,50	1,02	0,57	0,67	0,50	1,27	0,31	0,86	0,76
İstanbuldere	0,87	0,65	1,14	0,74	0,64	0,35	0,59	0,35	1,14	0,24	0,71	0,65
Mahmudiye	0,74	1,33	1,05	0,52	1,44	0,37	0,61	0,37	1,44	0,41	0,87	0,74
Kurtköy	0,76	1,06	1,09	0,75	1,76	0,36	1,80	0,36	1,80	0,53	1,08	1,06
Yanık	0,66	1,40	0,91	0,55	1,22	0,28	1,08	0,28	1,40	0,40	0,87	0,91
Maşukiye	0,69	1,86	1,05	0,39	1,89	0,13	1,75	0,13	1,89	0,74	1,11	1,05
Balıkhane	0,80	1,55	1,07	0,28	1,94	0,42	0,49	0,28	1,94	0,62	0,94	0,80
Eşme	0,82	1,74	1,05	0,17	0,69	0,31	0,24	0,17	1,74	0,56	0,72	0,69
Maden	8,86	1,82	1,06	0,64	2,51	1,97	2,71	0,64	8,86	2,77	2,79	1,97
A.dereköy	8,37	1,63	1,09	0,28	4,34	0,32	1,25	0,28	8,37	2,94	2,47	1,25
Çark	0,73	0,87	1,11	0,29	0,45	0,22	0,48	0,22	1,11	0,32	0,59	0,48
Ort.	2,63	1,50	1,08	0,51	1,57	0,54	1,17					

İstasyonlarda belirlenen çinko konsantrasyonları Şekil 4.42.'de verilmiştir. Şekil 4.42.'de görüldüğü gibi en yüksek Zn kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 31,33 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla Maşukiye ve 22 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla Sarp dereleridir. Zn kirliliği, tarımsal alanlardan ve trafikten kaynaklanmaktadır (Zarazua ve ark., 2006). Ölçüm istasyonlarında ortalama Zn konsantrasyonları 4,42 $\mu\text{g/L}$ ile 9,29 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla Yanık ve Sarp derelerinde gözlemlenmiştir. Sapanca gölü havzasında bulunan derelerin ortalama Zn konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre su kalitesi çok iyi/iyi durumdadır.



Şekil 4.42. Derelerde belirlenen Zn konsantrasyonu

Tablo 4.27.'de Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2016 ilkbahar döneminde yükselme gözlenmiştir. Çalışma kapsamında Sapanca gölü havzasında bulunan derelerde incelenen ağır metaller 2016 ilkbahar döneminde en yüksek konsantrasyonlara ulaşmaktadır. Ni kirliliği tarımsal faaliyetlerin ilkbahar döneminde artış göstermesine bağlı olarak diğer mevsimlere göre daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir.

Tablo 4.27. Derelerde Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	SB 15	K 16	İB 16	Y 16	SB 16	K 17	İB 17	Min	Mak	Std. Sap	Ort.	Med.
Sarp	10,90	7,43	10,76	9,38	8,51	15,59	3,56	3,56	15,59	3,68	9,45	9,38
Keçi	8,37	10,94	14,36	5,76	7,91	7,40	1,95	1,95	14,36	3,90	8,10	7,91
İstanbuldere	6,91	2,72	12,97	4,13	4,11	5,17	1,84	1,84	12,97	3,71	5,41	4,13
Mahmudiye	14,47	8,88	11,25	4,89	9,33	7,59	0,54	0,54	14,47	4,48	8,13	8,88
Kurtköy	13,32	7,22	13,45	5,14	2,69	3,22	3,37	2,69	13,45	4,67	6,92	5,14
Yanık	-	2,14	12,04	3,33	3,63	2,79	2,60	2,14	12,04	3,77	4,42	3,06
Maşukiye	22,27	7,55	7,69	3,90	14,43	11,31	2,37	2,37	22,27	6,82	9,93	7,69
Balıkthane	3,78	3,48	10,91	3,63	2,40	4,60	2,42	2,40	10,91	2,95	4,46	3,63
Eşme	7,62	6,30	11,54	1,01	6,40	3,00	3,32	1,01	11,54	3,50	5,60	6,30
Maden	16,54	4,55	12,54	3,16	7,34	3,98	7,39	3,16	16,54	4,93	7,93	7,34
A.dereköy	12,90	2,24	11,85	3,96	4,82	2,04	2,80	2,04	12,90	4,61	5,80	3,96
Çark	13,95	7,42	9,91	6,60	7,40	7,11	2,42	2,42	13,95	3,50	7,83	7,40
Ort.	11,91	5,91	11,61	4,57	6,58	6,15	2,88					

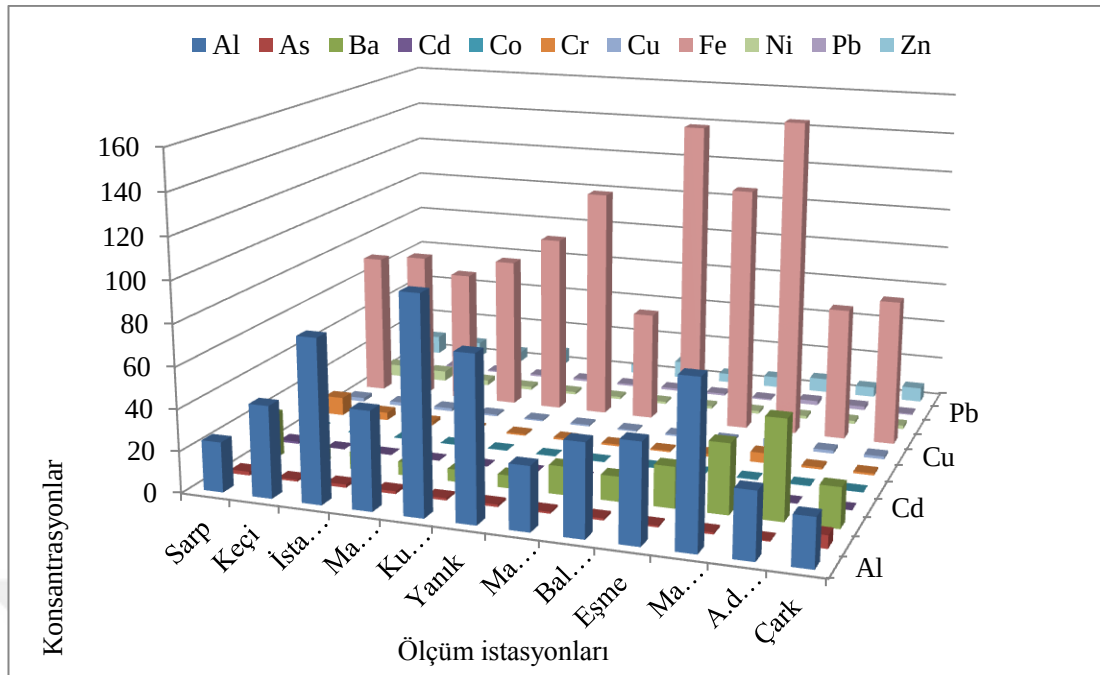
4.1.2.2.1. Ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonlarının incelenmesi

Ölçüm istasyonlarına göre mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları Şekil 4.43.'te verilmiştir.

- Alüminyum kirliliği en yüksek Kurtköy deresinde 102,72 mg/L ve Yanık deresinde 78,13 mg/L;
- Arsenik kirliliği en yüksek Çark deresinde 6,18 µg/L ve Sarp deresinde 1,82 µg/L;
- Baryum kirliliği en yüksek Aşağıdereköy deresinde 47,83 µg/L ve Maden deresinde 33,68 µg/L;
- Kadmium kirliliği en yüksek Sarp deresinde 1,06 µg/L ve Aşağıdereköy deresinde 0,20 µg/L;

- Kobalt kirliliği en yüksek Sarp deresinde 0,63 $\mu\text{g/L}$ ve Keçi deresinde 0,36 $\mu\text{g/L}$;
- Krom kirliliği en yüksek Sarp deresinde 9,12 $\mu\text{g/L}$ ve Maden deresinde 4,94 $\mu\text{g/L}$;
- Bakır kirliliği en yüksek Maden deresinde 3,56 $\mu\text{g/L}$ ve Sarp deresinde 1,89 $\mu\text{g/L}$;
- Demir kirliliği en yüksek Maden deresinde 156,17 mg/L ve Eşme deresinde 120,90 mg/L ;
- Nikel kirliliği en yüksek Sarp deresinde 5,95 $\mu\text{g/L}$ ve Keçi deresinde 5,12 $\mu\text{g/L}$;
- Kurşun kirliliği en yüksek Maden deresinde 2,16 $\mu\text{g/L}$ ve Sarp deresinde 1,88 $\mu\text{g/L}$;
- Çinko kirliliği en yüksek Sarp deresinde 9,29 $\mu\text{g/L}$ ve Maşukiye deresinde 8,63 $\mu\text{g/L}$ olarak bulunmuştur.

Ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonları incelendiği en yüksek konsantrasyonları çoğunlukla Sarp deresinde gözlemlenmiştir. Sarp deresinin konumu itibariyle çok yakınından demiryolu ve karayolu geçmektedir. Bu derede ağır metal kirliliğinin oluşum nedeni esas olarak trafik kaynaklı kirletici girişinin olmasıdır. Kirletici girişi atmosferik birikim şeklinde veya topraktan yüzey akışına geçen yağmur suları etkisiyle olmaktadır.



Şekil 4.43. Derelerde ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonları (Al, Fe için mg/L, μ g/L).

4.1.2.3. Derelerde fiziko-kimyasal parametreler ile ağır metallerin korelasyon analizi

Kirleticiler arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla Pearson korelasyon matrisi yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.28.'de verilmiştir. Sapanca göl havzasında derelerden alınan su örneklerinde TOK ile As, Ba ve TOK ile sıcaklık ve iletkenlik arasında ($p < 0,01$) anlamlı bir korelasyon bulunmaktadır. DO ile pH (0,588) ve sıcaklık ile iletkenlik (0,592) arasında anlamlı bir korelasyon bulunmaktadır. İletkenlik ile As ve Ba arasında ($p < 0,05$) pozitif bir korelasyon belirlenmiştir. Ba ve Fe metallerinin tuzluluk ve TDS ile aralarında pozitif korelasyonlar tespit edilmiştir. Ağır metaller arasındaki korelasyon incelendiğinde, Al ile Fe (0,605); As ile Ba (0,547); Ba ile Fe (0,716); Cd ile Co (0,908); Cd- Pb (0,618); Co ile Cr (0,608) arasında anlamlı bir korelasyon bulunmaktadır. Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn metalleri arasında ($p < 0,05$) pozitif anlamlı korelasyonlar tespit edilmiştir.

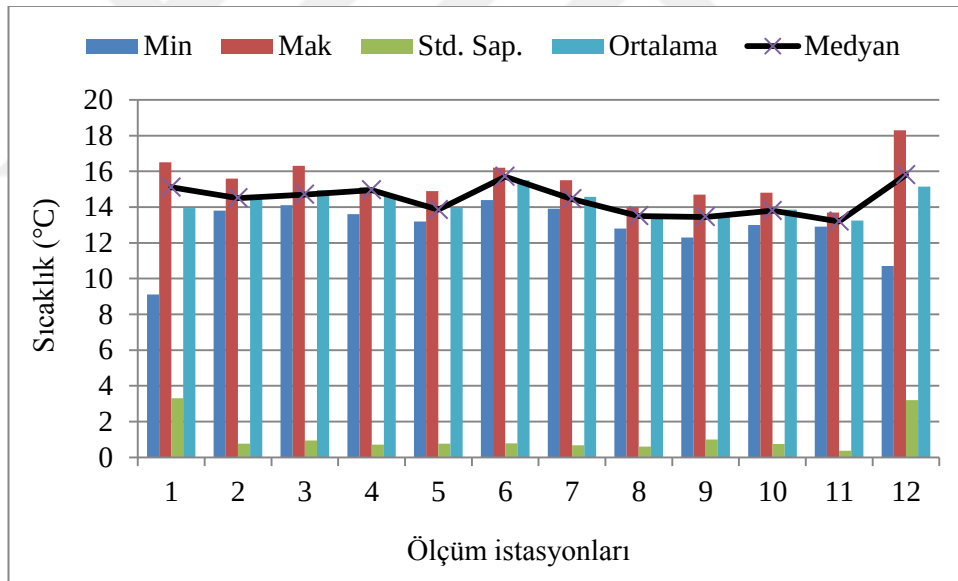
Tablo 4.28. Derelerde kirleticiler arasındaki Pearson korelasyonu

	TOK	T	ÇO	C	TDS	SAL	pH	ORP	AKM	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
TOK	1																			
T	,754**	1																		
ÇO	-,309	-,132	1																	
C	,812**	,592**	-,292	1																
TDS	,475*	,061	-,299	,827**	1															
SAL	,451	,013	-,282	,810**	,991**	1														
pH	,100	,237	,588*	,047	-,191	-,149	1													
ORP	,306	-,010	-,055	,110	,092	,122	,129	1												
AKM	,348	,436	-,440	,398	,175	,167	-,092	-,379	1											
Al	,220	-,140	-,006	,048	,117	,118	,099	,145	,153	1										
As	,488*	,401	,023	,642**	,502*	,488*	,197	,387	,010	-,029	1									
Ba	,565*	,113	-,295	,855**	,984**	,983**	-,133	,172	,179	,184	,547*	1								
Cd	-,054	,063	-,117	,043	-,009	-,006	-,017	,123	-,171	-,028	,112	-,129	1							
Co	-,209	-,311	-,091	,105	,404	,399	-,184	-,587*	,134	-,195	,105	-,070	,908**	1						
Cr	-,237	-,199	,006	-,100	,174	,080	-,583*	-,266	-,314	-,167	,069	,056	,416	,608**	1					
Cu	-,081	,052	,006	-,165	-,077	-,186	-,492*	-,180	-,274	-,175	,214	-,125	,199	,225	,869**	1				
Fe	,282	-,234	-,155	,422	,672**	,680**	,000	,370	-,162	,605**	,334	,716**	-,118	-,140	,002	-,158	1			
Ni	-,314	,029	,078	-,126	-,019	-,115	-,419	-,506*	-,056	-,294	,052	-,123	,169	,412	,857**	,813**	-,257	1		
Pb	-,118	,001	,005	-,213	-,111	-,213	-,532*	-,192	-,295	-,098	-,068	-,160	,618**	,320	,876**	,977**	-,160	,811**	1	
Zn	-,141	-,001	,022	-,224	-,120	-,225	-,527*	-,210	-,276	-,164	-,011	-,166	,204	-,091	,867**	,990**	-,195	,825**	,986**	1

4.1.3. Yeraltı suyunda ağır metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesi

4.1.3.1. Fiziko-kimyasal parametrelerin incelenmesi

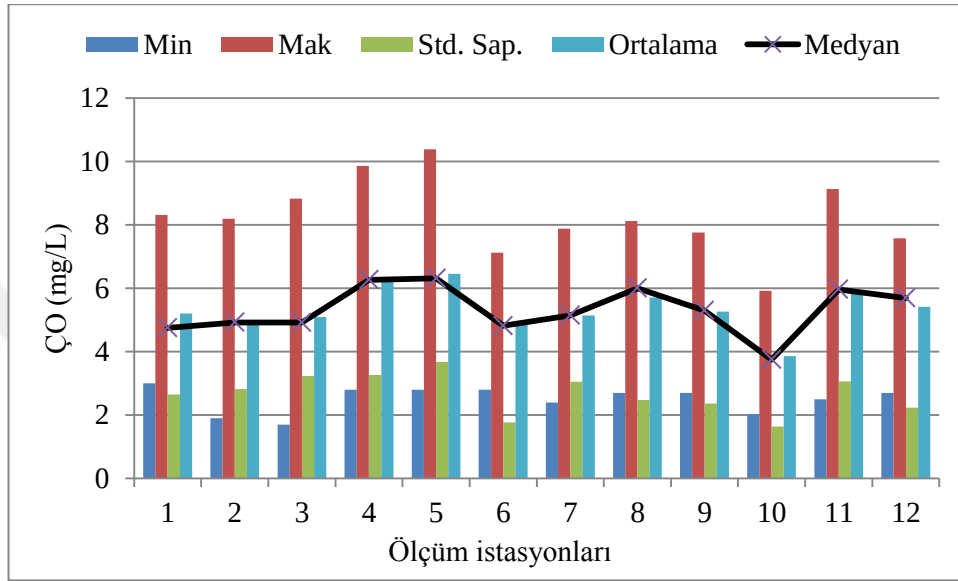
Sapanca gölünün beslenme kaynaklarından biri yeraltı sularıdır. Yeraltı suyunun kalitesi suyun toprak katmanlarından geçerken doğal filtrasyona tabi olması sayesinde genellikle yüksektir (Doğanlar, 2006). Yeraltı suyu, toprak yapısı, sıcaklık ve pH gibi fiziko-kimyasal parametrelerin etkisiyle suyun alt tabakalara transferi sırasında topraktaki minerallerin çözünmesiyle zenginleşmektedir. Bu nedenle, yeraltı suyunda ağır metal konsantrasyonları belirlenirken, sıcaklık, çözünmüş oksijen (ÇO), iletkenlik (C), toplam çözünmüş katı (TDS), tuzluluk (SAL), pH, askıda katı madde (AKM) ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) parametreleri incelenmiştir.



Şekil 4.44. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre sıcaklık değerleri

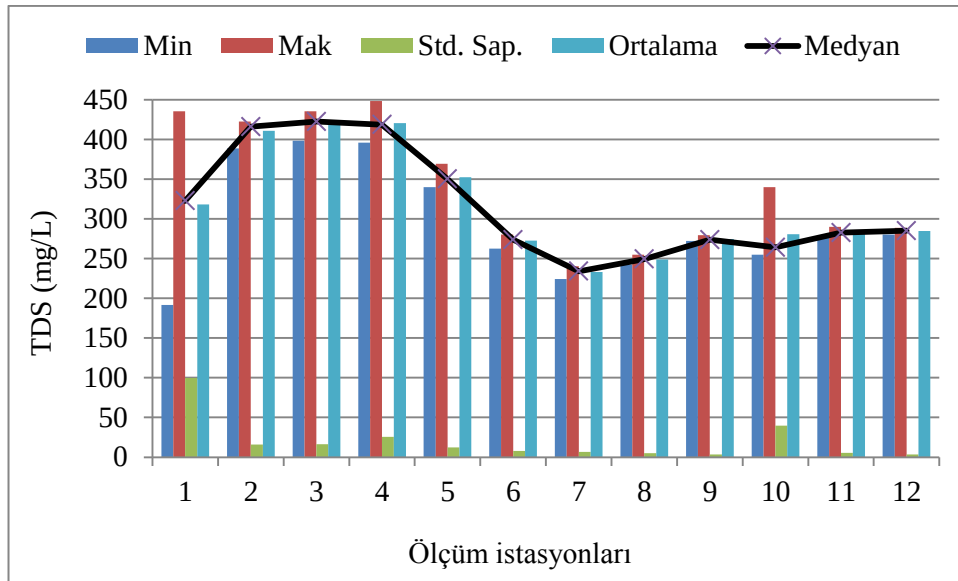
Havzada yer alan kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinde ölçüm istasyonlarına göre sıcaklık ve çözünmüş oksijen değişimi Şekil 4.44. ve Şekil 4.45.'te verilmiştir. Su sıcaklığı minimum 1. istasyonda sonbahar döneminde 9,10 °C ve maksimum 12. istasyonda yaz döneminde 18,30 °C şeklinde izlenmiştir.

Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama su sıcaklığı ise 13,25 °C ile 15,50 °C arasında değişmektedir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu minimum 3. istasyonda sonbahar döneminde 1,70 mg/L ve maksimum yaz döneminde 10,39 mg/L şeklinde ölçülmüştür. İstasyon bazında değişim incelendiğinde, ÇO konsantrasyonları 4,89 mg/L ile 6,46 mg/L arasında değişim göstermektedir.



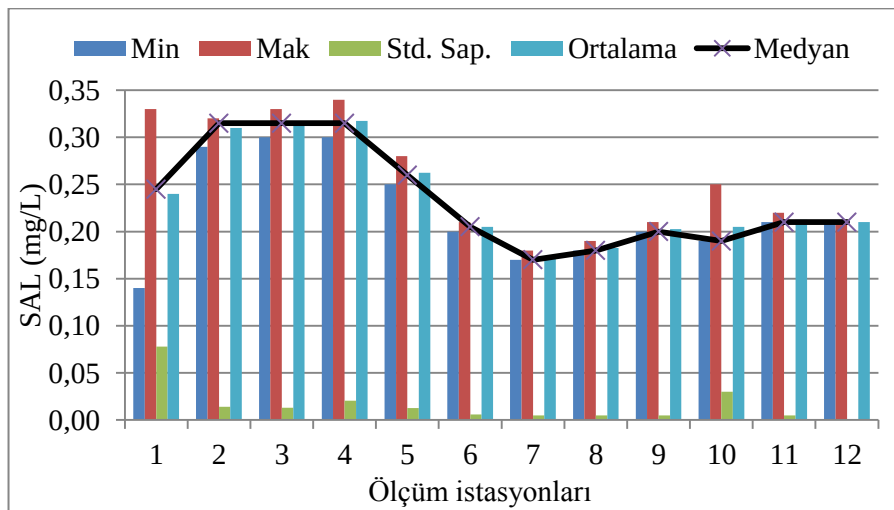
Şekil 4.45. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre ÇO değerleri

Havzada yer alan kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinde ölçüm istasyonlarına göre toplam çözünmüş madde değişimi Şekil 4.46.'da verilmiştir. TDS yeraltı su kaynaklarında sülfat mineralizasyonundan kaynaklanmaktadır. (Muhammad ve ark., 2010). Aynı zamanda toprakta bulunan iyonların suda çözülmesine göre farklı noktalardaki kuyulardan alınan yeraltı su örneklerinde TDS konsantrasyonları değişiklik göstermektedir (Chabukdhara ve ark., 2017). Yeraltı su kaynaklarının bulunduğu bölgelerde ana kayaç yapısının özelliği, yeraltı sularında çözünmüş katı madde miktarının artmasında etkili rol oynamaktadır (Selvakumar ve ark., 2017). TDS konsantrasyonu minimum 1. istasyonda sonbahar döneminde 191,75 mg/L ve maksimum 4. istasyonda yaz döneminde 448,50 mg/L şeklinde izlenmiştir. Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama TDS konsantrasyonu ise 233,19 mg/L ile 420,39 mg/L arasında değişmektedir.



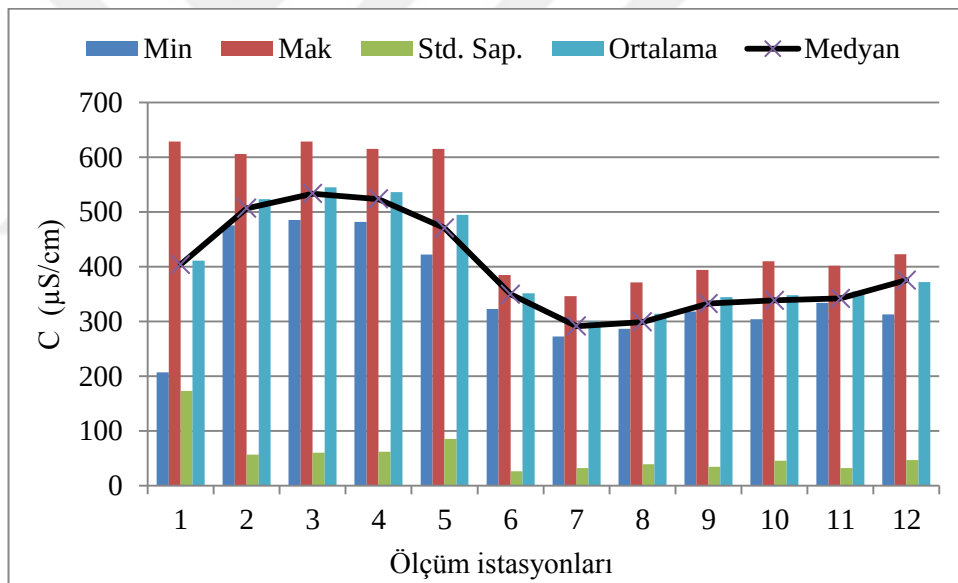
Şekil 4.46. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre TDS değerleri

Havzada yer alan kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinde ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk konsantrasyonları Şekil 4.47.'de verilmiştir. Tuzluluk konsantrasyonu minimum 1. istasyonda sonbahar döneminde 0,14 mg/L ve maksimum 4. istasyonda yaz döneminde 0,34 mg/L şeklinde izlenmiştir. Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama tuzluluk konsantrasyonları ise 0,17 mg/L ile 0,32 mg/L arasında değişmektedir. Yeraltı su örneklerinde tuzluluk değerleri yüzeysel su örneklerine göre daha yüksek seviyelerde tespit edilmiştir. Bu durum toprak yapısından ve tarımsal alanlarda kullanılan kimyasal gübrelerden kaynaklanmaktadır (Chabukdhara ve ark., 2017).



Şekil 4.47. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk değerleri

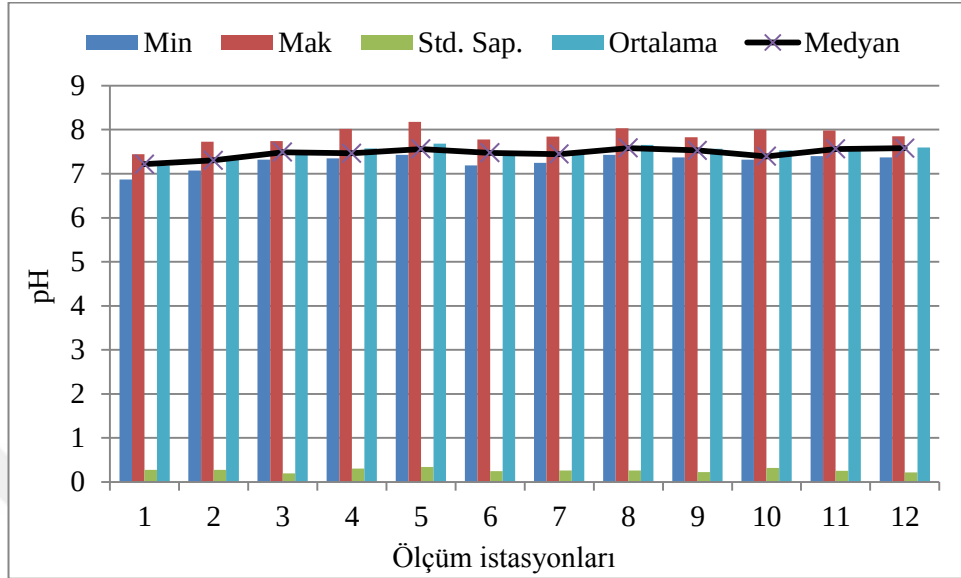
Yeraltı sularında iletkenlik ve toplam çözünmüş madde parametreleri suyun tuzluluk seviyesini ve sulama amaçlı kullanımını etkilemektedir (Rezaei ve ark., 2019). İletkenlik değerleri incelendiğinde, minimum iletkenlik 206,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olup 1. istasyonda sonbahar döneminde, maksimum iletkenlik 629 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olup 1 ve 3. istasyonlarda ilkbahar döneminde belirlenmiştir. İletkenlik değerleri yeraltı sularında Pb ve Zn sülfidlerinin mineralizasyonu nedeniyle yüzeysel sulardan daha yüksek konsantrasyonlarda bulunmaktadır (Muhammad, 2010). Yeraltı su örneklerinin alındığı kuyuların bulunduğu bölgelerde tarımsal faaliyetlerde azotlu gübre kullanılması su örneklerinin fiziko-kimyasal parametrelerinde değişikliklere neden olmaktadır (Çelebi ve ark., 2015; Chabukdhara ve ark., 2017). Şekil 4.48.'de görüldüğü üzere, her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama iletkenlik değerleri ise 300,19 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile 420,39 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir.



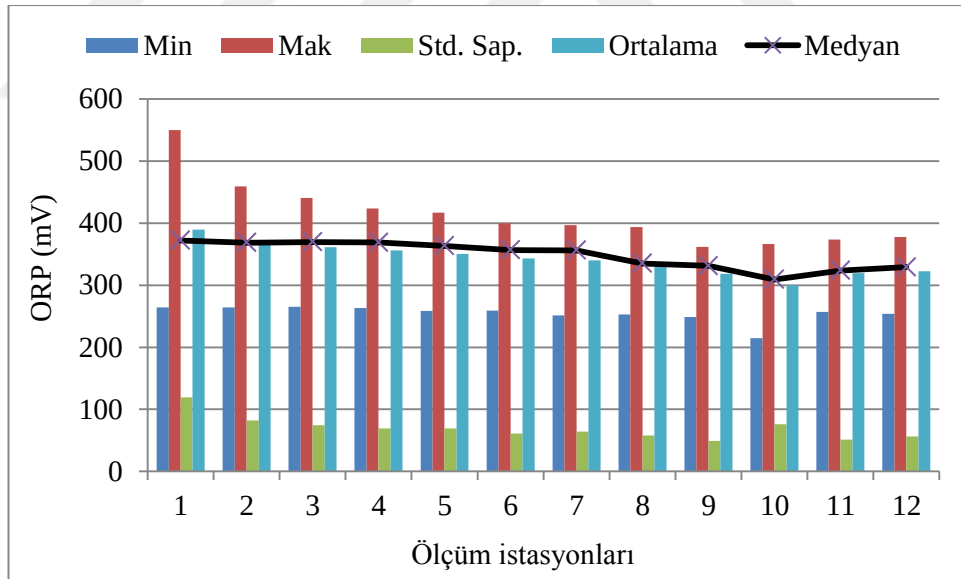
Şekil 4.48. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre iletkenlik değerleri

pH, sucul sistemlerde metallerin çözünmesinde etkili olan önemli bir parametredir. Şekil 4.49.'da istasyon bazında yeraltı su örneklerinde pH değişimi verilmektedir. pH minimum sonbahar döneminde 6,87 1. istasyonda ve maksimum yaz döneminde 8,18 5. istasyonda gözlemlenmiştir. pH değerleri istasyon bazında ortalama 7,19 ile 7,68 arasında değişim göstermektedir. Oksidasyon-redüksiyon potansiyelinin ölçüm istasyonlarına göre değişimi Şekil 4.50.'de verilmektedir. ORP minimum yaz döneminde 214,70 mV 10. istasyonda ve maksimum sonbahar döneminde 550 mV 1.

istasyonda gözlemlenmiştir. ORP değerleri istasyon bazında ortalama 299,90 mV ile 365,28 mV arasında değişim göstermektedir.



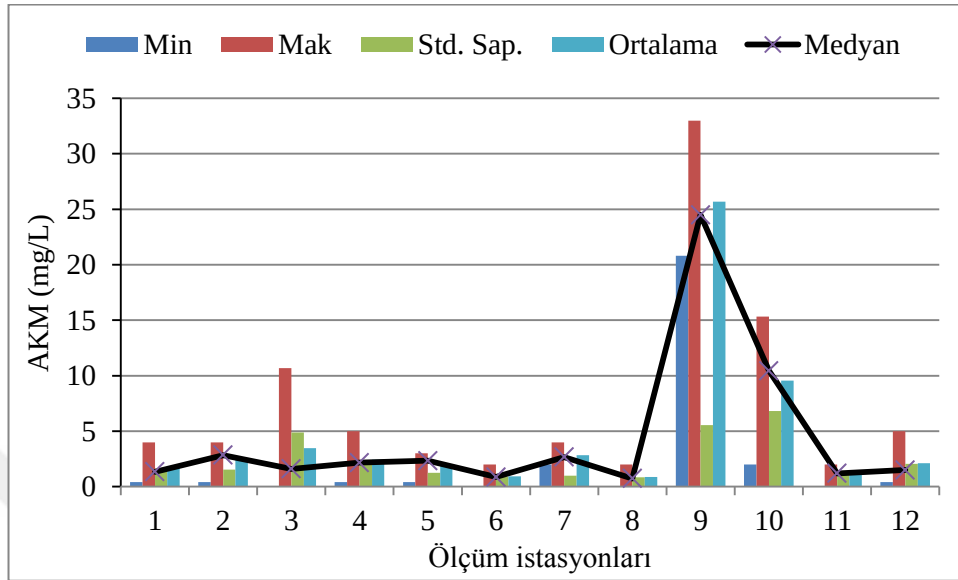
Şekil 4.49. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre pH değerleri



Şekil 4.50. Yeraltı suyunda ölçüm istasyonlarına göre ORP değerleri

AKM konsantrasyonlarının istasyon bazında değişimi Şekil 4.51.'de verilmektedir. Yeraltı suyu örneklerinde de gölde olduğu gibi AKM konsantrasyonları genellikle düşük seviyelerde gözlemlenmiştir. Maksimum AKM konsantrasyonu sonbahar

döneminde 1.istasyonda 33 mg/L şeklinde gözlemlenmiştir. AKM değerleri istasyon bazında ortalama 0,87 mg/L ile 25,70 mg/L arasında değişim göstermektedir.



Şekil 4.51. Yeraltı suyu ölçüm istasyonlarına göre AKM değerleri

Kalite parametrelerinin istasyon bazında mevsimsel değişimi Tablo 4.29.'da verilmektedir. pH ve ORP (redoks potansiyeli) istasyon bazında minimum ve maksimum değerler şu şekilde belirlenmiştir:

1. istasyonda pH Sonbahar 2016'da 6,87 ve İlkbahar 2017'de 7,44; ORP İlkbahar 2017'de 264,3 mV ve Sonbahar 2015'te 550 mV'tur.
2. istasyonda pH sonbahar 2016'da 7,07 mg/L ve Yaz 2016'da 7,73; ORP İlkbahar 2017'de 264,2 mV ve Sonbahar 2015'te 459,5 mV'tur.
3. istasyonda pH Sonbahar 2015'te 7,32 ve Yaz 2016'da 7,74; ORP İlkbahar 2017'de 265,4 mV ve Sonbahar 2015'te 440,8 mV'tur.
4. istasyonda pH Sonbahar 2016'da 7,35 ve Yaz 2016'da 8,02; ORP İlkbahar 2017'de 263,2 mV ve Sonbahar 2015'te 423,5 mV'tur.

5.istasyonda pH Sonbahar 2015'te 7,43 ve Yaz 2016'da 8,18; ORP İlkbahar 2017'de 258,7 mV ve Sonbahar 2015'te 417 mV'tur.

6. istasyonda pH İlkbahar 2017'de 7,19 ve Yaz 2016'da 7,78; ORP İlkbahar 2017'de 258,9 mV ve Sonbahar 2015'te 400,1 mV'tur.

7. istasyonda pH İlkbahar 2017'de 7,25 ve Yaz 2016'da 7,84; ORP İlkbahar 2017'de 251,4 mV ve Sonbahar 2015'te 397 mV'tur.

8. istasyonda pH Sonbahar 2015'te 7,43 ve Yaz 2016'da 8,03; ORP İlkbahar 2017'de 253,1 mV ve Sonbahar 2015'te 393,9 mV'tur.

9. istasyonda pH Sonbahar 2015'te 7,37 ve Yaz 2016'da 7,83; ORP İlkbahar 2017'de 249 mV ve Sonbahar 2015'te 362 mV'tur.

10. istasyonda pH Sonbahar 2015'te 7,32 ve Yaz 2016'da 8; ORP Yaz 2016'da 214,7 mV ve Sonbahar 2015'te 366,5 mV'tur.

11. istasyonda pH Sonbahar 2015'te 7,45 ve Yaz 2016'da 7,98; ORP İlkbahar 2017'de 257 mV ve Sonbahar 2015'te 373,65 mV'tur.

12. istasyonda pH Sonbahar 2015'te 7,37 ve Yaz 2016'da 7,85; ORP İlkbahar 2017'de 253,7 mV ve Sonbahar 2015'te 378 mV'tur.

Tablo 4.29. Yeraltı suyunda kalite parametrelerinin ölçüm istasyonları bazında mevsimsel değişimi

Ölç. İst.	Mevsimler	Sıcaklık (C ⁰)	ÇO (mg/L)	C (µS/cm)	TDS (mg/L)	SAL (ppt)	pH	ORP (mV)	AKM (mg/L)
1	SB 15	9,1	3	206,6	191,75	0,14	7,04	550	2
	Yaz 16	15,4	8,32	416,8	330,2	0,25	7,39	354,1	0,67
	SB 16	14,8	6,5	390,8	315,25	0,24	6,87	390,1	4
	İB 17	16,5	3	629	435,5	0,33	7,44	264,3	0,4
2	SB 15	13,8	1,9	506	422,5	0,32	7,27	459,5	4
	Yaz 16	14,7	8,19	507	409,5	0,31	7,73	344,8	2,67
	SB 16	14,3	6,35	475,7	388,7	0,29	7,07	392,6	3
	İB 17	15,6	3,5	606	422,5	0,32	7,34	264,2	0,4

Tablo 4.29. (Devamı)

3	SB 15	14,1	1,7	485,4	398,45	0,3	7,32	440,8	2
	Yaz 16	14,8	8,83	533	429	0,32	7,74	347,1	10,67
	SB 16	14,6	6,64	534	435,5	0,33	7,38	392,3	0
	İB 17	16,3	3,2	629	416	0,31	7,6	265,4	1,2
4	SB 15	13,6	4,4	482,1	401,7	0,3	7,47	423,5	3
	Yaz 16	15,1	9,86	555	448,5	0,34	8,02	346,9	1,33
	SB 16	14,9	8,13	492,1	395,85	0,3	7,35	390,8	5
	İB 17	15	2,8	615	435,5	0,33	7,46	263,2	0,4
5	SB 15	13,2	3,9	615,5	349,05	0,26	7,43	417	3
	Yaz 16	14,2	10,39	453,1	369,55	0,28	8,18	338,3	1,67
	SB 16	13,5	8,73	422	351	0,26	7,58	388,5	3
	İB 17	14,9	2,8	488	339,95	0,25	7,54	258,7	0,4
6	SB 15	14,4	4,7	322,8	262,6	0,2	7,42	400,1	2
	Yaz 16	15,8	4,94	354,5	280,2	0,21	7,78	342,7	1,33
	SB 16	16,2	7,12	344,4	269,75	0,2	7,53	370,7	0
	İB 17	15,6	2,8	385	277,55	0,21	7,19	258,9	0,4
7	SB 15	13,9	2,4	272,3	224,25	0,17	7,36	397	4
	Yaz 16	15,5	7,88	293,65	234	0,17	7,84	338,2	3,33
	SB 16	14,3	7,69	288,8	234	0,17	7,53	374,1	2
	İB 17	14,6	2,6	346	240,5	0,18	7,25	251,4	2
8	SB 15	12,8	4,7	286,2	242,45	0,18	7,43	393,9	2
	Yaz 16	14	8,12	301,6	249,6	0,18	8,03	340,6	0,66
	SB 16	13,1	7,31	296,2	248,95	0,18	7,56	329,6	0
	İB 17	13,9	2,7	371	254,8	0,19	7,61	253,1	0,8
9	SB 15	12,3	3,9	318	274,3	0,2	7,37	362	27
	Yaz 16	14,7	7,76	339,6	279,5	0,21	7,83	320,6	22
	SB 16	13,2	6,7	325,3	273	0,2	7,68	341,6	33
	İB 17	13,7	2,7	394	272,35	0,2	7,38	249	20,8
10	SB 15	13	4,2	303,7	265,1	0,19	7,32	366,5	2
	Yaz 16	13,9	2,03	410	339,95	0,25	8	214,7	15,33
	SB 16	14,8	5,92	327,7	263,25	0,19	7,43	361,3	15,3
	İB 17	13,7	3,3	349	254,8	0,19	7,36	257,1	5,6
11	SB 15	13	4,2	333,9	281,45	0,21	7,4	373,6	2
	Yaz 16	13,4	9,13	348,7	290,1	0,22	7,98	301,9	2
	SB 16	12,9	7,73	334,8	283,75	0,21	7,61	345,6	0
	İB 17	13,7	2,5	402	277,55	0,21	7,51	257	0,4
12	SB 15	10,7	4,5	313	280,15	0,21	7,37	378	2
	Yaz 16	18,3	7,58	388,1	288,6	0,21	7,85	300,5	1
	SB 16	16,1	6,88	362,4	284,05	0,21	7,47	357,7	5
	İB 17	15,5	2,7	423	286	0,21	7,69	253,7	0,4

Tablo 4.30.'da yeraltı su örneklerinde kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi verilmiştir. İletkenlik en yüksek İlkbahar 2017'de 469,75 mV ve tuzluluk Yaz 2016'da 0,25 mg/L olarak tespit edilmiştir. TDS konsantrasyonu en yüksek Yaz 2016'da 329,06 mg/L, pH en yüksek Yaz 2016'da 7,86 ve ORP en yüksek Sonbahar

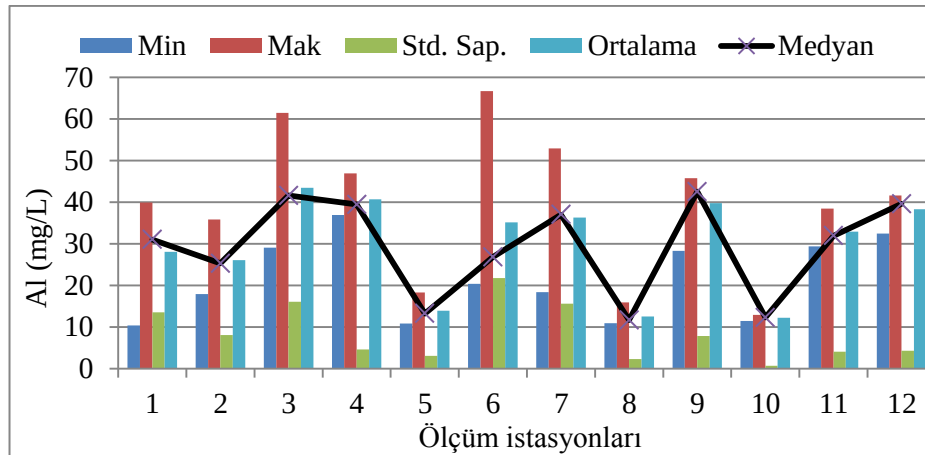
2015'te 413,49 mV değerinde gözlemlenmiştir. AKM konsantrasyonu en yüksek Sonbahar 2016'da 5,86 mg/L değerindedir.

Tablo 4.30. Yeraltı suyunda kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi

	SICAKLIK (C ⁰)	ÇO (mg/L)	C (μS/cm)	TDS (mg/L)	SAL (ppt)	pH	ORP (mV)	AKM (mg/L)
SB 15	12,83	3,63	370,46	299,48	0,22	7,35	413,49	4,58
Yaz 16	14,98	7,75	408,42	329,06	0,25	7,86	324,20	5,22
SB 16	14,39	7,14	382,85	311,92	0,23	7,42	369,58	5,86
İB 16	14,92	2,88	469,75	326,08	0,24	7,45	258,00	2,77

4.1.3.2. Ağır metallerin incelenmesi

İstasyonlarda belirlenen alüminyum konsantrasyonları Şekil 4.52.'de verilmiştir. Şekil 4.52.'de görüldüğü gibi en yüksek Al kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 66,72 mg/L konsantrasyonla 6.istasyon ve 61,50 mg/L konsantrasyonla 3. istasyondur. Al kirliliği kaynağı jeolojik yapı ve fosil yakıt tüketimidir. Ölçüm istasyonlarında ortalama Al konsantrasyonları 12,26 mg/L ile 43,45 mg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 10. ve 3. istasyonlarında gözlemlenmiştir. Havzada yer alan kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinde ortalama Al konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin üzerindedir. Yerüstü su kalitesi yönetmeliğine göre Al açısından su kalitesi orta durumdadır. Havzadan alınan toprak örneklerinde de Al konsantrasyonları diğer metallere göre yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni Al metalinin Sapanca havzasının jeolojik yapısından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.52. Yeraltı suyunda belirlenen Al konsantrasyonu

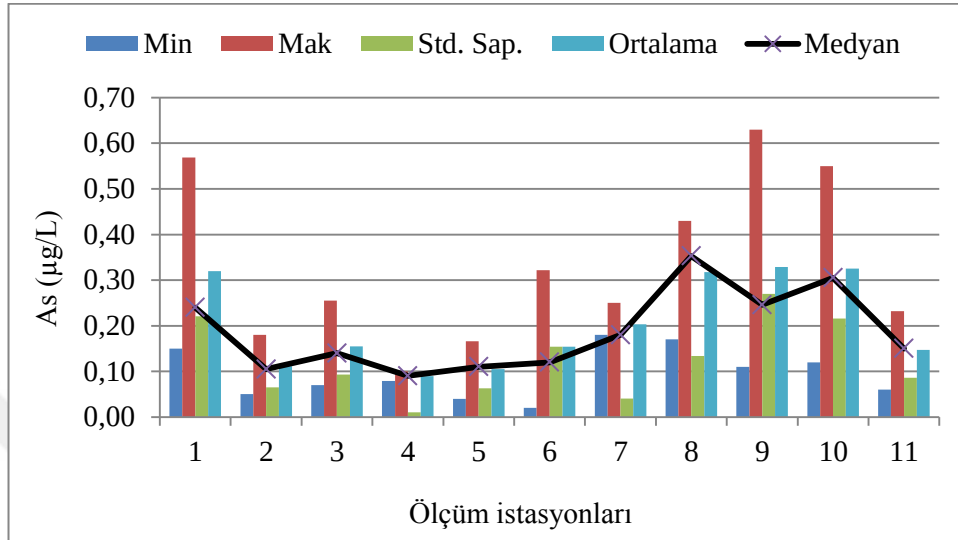
Tablo 4.31.'de ölçüm süresi içerisinde Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi verilmiştir. Sapanca gölünde Al diğer metallerle göre yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Al konsantrasyonunun özellikle 2016 yaz döneminde yükseldiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.31. Yeraltı suyunda Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
SB 15	39,92	35,90	30,73	41,64	10,90	32,83	45,27	11,15	28,31	12,95	30,28	41,67	30,13
Yaz 16	10,44	29,37	61,50	46,92	13,18	66,72	18,39	10,96	43,57	11,50	38,45	37,59	32,38
SB 16	37,59	17,92	52,48	37,26	13,41	20,85	52,93	12,28	45,78	12,90	33,67	41,67	31,56
İB 16	24,48	21,27	29,12	36,97	18,32	20,39	28,81	15,98	41,52	11,72	29,42	32,52	25,88
Min	10,44	17,92	29,12	36,97	10,90	20,39	18,39	10,96	28,31	11,50	29,42	32,52	
Mak	39,92	35,90	61,50	46,92	18,32	66,72	52,93	15,98	45,78	12,95	38,45	41,67	
Std. Sap	13,60	8,10	16,07	4,67	3,12	21,79	15,64	2,33	7,85	0,76	4,10	4,34	
Ort.	28,11	26,11	43,46	40,70	13,95	35,20	36,35	12,59	39,79	12,27	32,95	38,36	
Med.	31,04	25,32	41,61	39,45	13,30	26,84	37,04	11,72	42,55	12,31	31,98	39,63	

İstasyonlarda belirlenen As konsantrasyonları Şekil 4.53.'te verilmiştir. Şekil 4.53.'te görüldüğü gibi en yüksek As kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 0,63 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 9. ve 0,57 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 1. istasyonlardır. As kirliliği trafikten, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Yeraltı sularında As kirliliğinin esas kaynağı jeolojik yapı yani toprak yapısıdır (Çelebi ve ark., 2015; Kumar ve ark., 2019). Ölçüm istasyonlarında ortalama As konsantrasyonları 0,09 $\mu\text{g/L}$ ile 0,37 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 4. ve 9. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Havzada yer alan kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinde ortalama As konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır

değerin altındadır. Tablo 4.32.'de ölçüm süresi içerisinde As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, 2017 ilkbahar döneminde yükseldiği tespit edilmiştir.



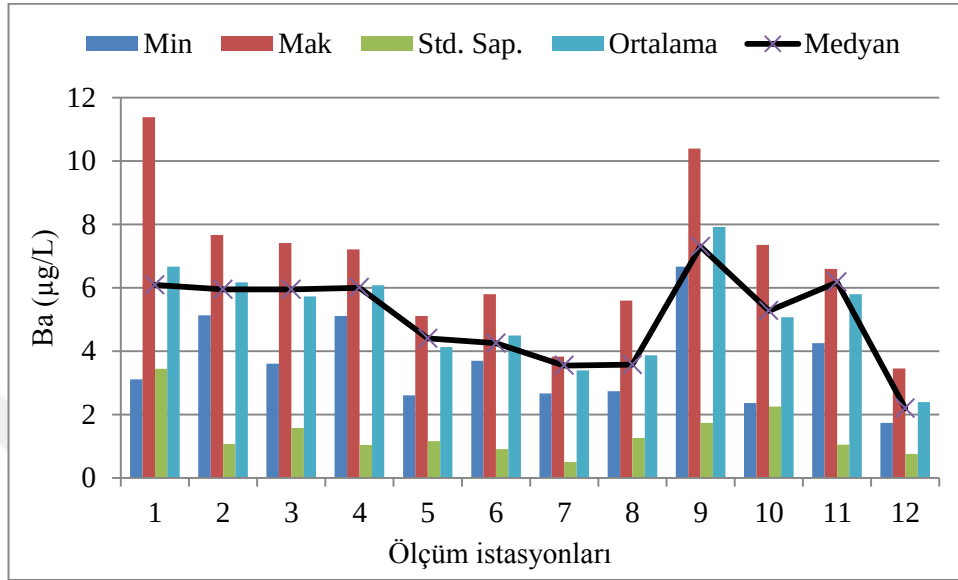
Şekil 4.53. Yeraltı suyunda belirlenen As konsantrasyonu

Tablo 4.32. Yeraltı suyunda As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
SB 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yaz 16	0,15	0,18	0,14	0,10	0,11	0,12	0,18	0,43	0,63	0,55	0,15	0,16	0,24
SB 16	0,24	0,05	0,07	0,09	0,04	0,02	0,18	0,17	0,25	0,12	0,06	0,02	0,11
İB 16	0,57	0,11	0,26	0,08	0,17	0,32	0,25	0,35	0,25	0,31	0,23	0,31	0,27
Min	0,15	0,05	0,07	0,08	0,04	0,02	0,18	0,17	0,25	0,12	0,06	0,02	
Mak	0,57	0,18	0,26	0,10	0,17	0,32	0,25	0,43	0,63	0,55	0,23	0,31	
Std. Sap	0,22	0,07	0,09	0,01	0,06	0,15	0,04	0,13	0,22	0,22	0,09	0,15	
Ort.	0,32	0,11	0,16	0,09	0,11	0,15	0,20	0,32	0,37	0,33	0,15	0,16	
Med.	0,24	0,11	0,14	0,09	0,11	0,12	0,18	0,35	0,25	0,31	0,15	0,16	

Şekil 4.54.'te istasyon bazında Ba konsantrasyonunun değişimi verilmiştir. En yüksek Ba kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 11,39 µg/L konsantrasyonla 1. ve 10,40 µg/L konsantrasyonla 9. istasyonlardır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Ba konsantrasyonları 2,40 µg/L ile 7,92 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 12. ve 9. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Ba doğada asidik ve magmatik kayaç yapısında bulunup temel kaynağı petrol türevleridir (Yetiş Demir, 2013). Bu nedenle Ba kirliliği trafikten ve toprak yapısından kaynaklanmaktadır. Havzada yer alan kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinde ortalama Ba konsantrasyonu TS-266

içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Tablo 4.33.'te Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, 2017 ilkbahar döneminde yükselme gözlenmiştir.



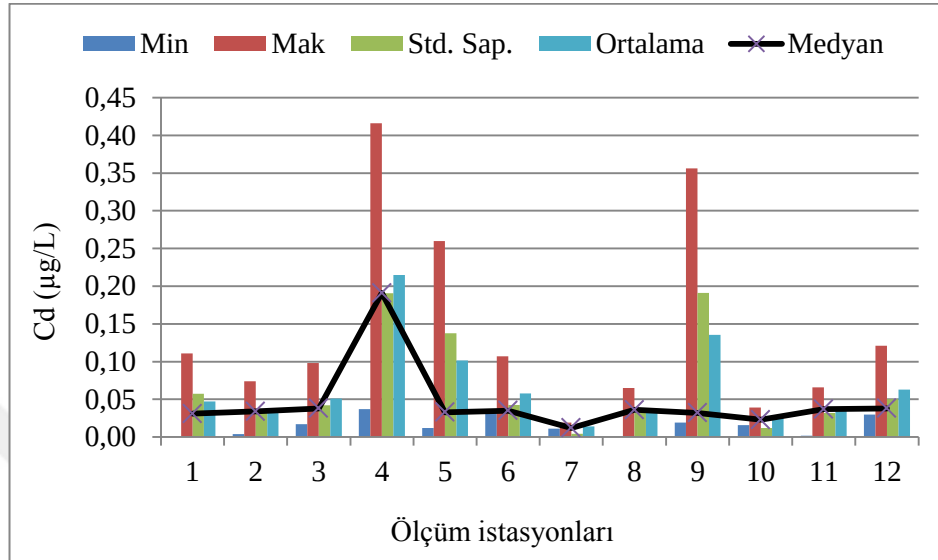
Şekil 4.54. Yeraltı suyunda belirlenen Ba konsantrasyonu

Tablo 4.33. Yeraltı suyunda Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
SB 15	3,11	5,13	3,61	5,11	2,61	3,70	2,67	5,6	6,67	2,37	4,25	1,99	3,90
Yaz 16	6,22	6,104	6,10	7,21	4,97	4,41	3,82	3,13	6,73	4,13	6,13	1,73	5,06
SB 16	5,96	5,796	5,80	5,29	3,83	4,09	3,61	2,73	10,4	6,42	6,6	3,45	5,33
İB 16	11,4	7,67	7,42	6,71	5,11	5,79	3,48	4,01	7,87	7,35	6,21	2,4	6,29
Min	3,11	5,13	3,61	5,11	2,61	3,70	2,67	2,74	6,67	2,37	4,25	1,74	
Mak	11,4	7,67	7,42	7,21	5,11	5,80	3,83	5,60	10,40	7,36	6,60	3,45	
Std. Sap	3,45	1,08	1,58	1,04	1,17	0,91	0,51	1,27	1,74	2,25	1,05	0,76	
Ort.	6,67	6,18	5,73	6,08	4,13	4,50	3,40	3,87	7,92	5,07	5,80	2,40	
Med.	6,09	5,95	5,95	6,01	4,40	4,25	3,55	3,57	7,30	5,28	6,18	2,20	

İstasyonlarda belirlenen kadmiyum konsantrasyonları Şekil 4.55.'te verilmiştir. Şekil 4.55.'te görüldüğü gibi en yüksek Cd kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 0,42 µg/L 4. ve 0,36 µg/L konsantrasyonla 9. istasyonlardır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Cd konsantrasyonları 0,01 µg/L ile 0,14 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 7 ve 9. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Cd kirliliği antropojenik faaliyetlerden yani trafik, tarımsal faaliyet ve endüstriden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte yeraltı sularında Cd metalinin varlığı toprak yapısının özelliğinden de kaynaklanmaktadır (Simeonov ve ark., 2003). Havzada yer alan kuyulardan alınan

yeraltı suyu örneklerinde ortalama Cd konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerin altındadır. Tablo 4.34.'te görüldüğü üzere Cd konsantrasyonu mevsimsel değişimi incelendiğinde, 2016 yaz döneminde yükselme gözlenmiştir.



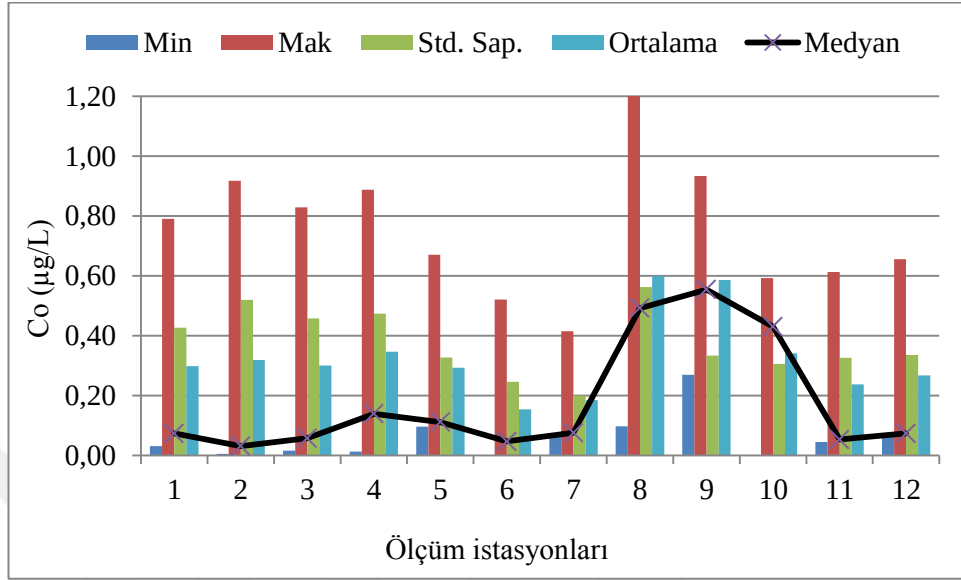
Şekil 4.55. Yeraltı suyu belirlenen Cd konsantrasyonu

Tablo 4.34. Yeraltı suyu Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
SB 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yaz 16	0,11	0,07	0,09	0,41	0,26	0,10	0,01	0	0,35	0,03	0,06	0,12	0,14
SB 16	0,03	0,004	0,017	0,19	0,01	0,03	0,01	0,06	0,01	0,01	0,002	0,03	0,04
İB 16	0	0,034	0,04	0,03	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Min	0,00	0,001	0,02	0,04	0,01	0,03	0,01	0,00	0,02	0,02	0,001	0,03	
Mak	0,11	0,07	0,10	0,42	0,26	0,11	0,02	0,07	0,36	0,04	0,07	0,12	
Std. Sap	0,06	0,04	0,04	0,19	0,14	0,04	0,00	0,03	0,19	0,01	0,03	0,05	
Ort.	0,05	0,04	0,05	0,21	0,10	0,06	0,01	0,03	0,14	0,03	0,04	0,06	
Med.	0,03	0,03	0,04	0,19	0,03	0,04	0,01	0,04	0,03	0,02	0,04	0,04	

İstasyonlarda belirlenen kobalt konsantrasyonları Şekil 4.56.'da verilmiştir. Şekil 4.56.'da görüldüğü gibi en yüksek Co kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 1,21 µg/L konsantrasyonla 8. ve 0,93 µg/L konsantrasyonla 9. istasyonlardır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Co konsantrasyonları 0,19 µg/L ile 0,60 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 7 ve 8. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Co kirliliği, toprak yapısı ve fosil yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır (Muhammad ve ark., 2011). TS-266 içme suyu standardında Co metali için bir sınır değeri

bulunmamaktadır. Tablo 4.35.'te Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi verilmiş ve özellikle 2017 ilkbahar döneminde yükseldiği tespit edilmiştir.



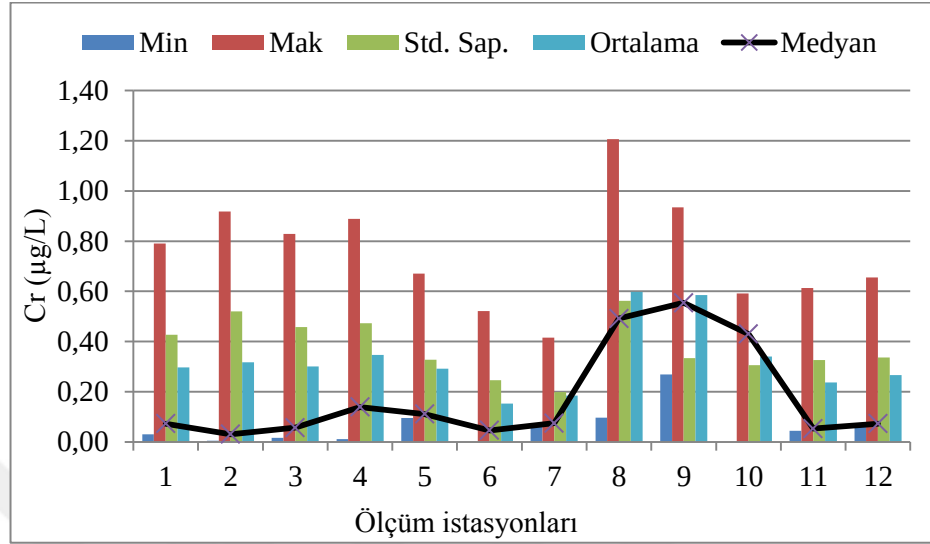
Şekil 4.56. Yeraltı suyunda belirlenen Co konsantrasyonu

Tablo 4.35. Yeraltı suyunda Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
SB 15	-	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-
Yaz 16	0,07	0,03	0,06	0,14	0,11	0,00	0,08	1,21	0,55	0,43	0,04	0,07	0,23
SB 16	0,03	0,01	0,02	0,01	0,10	0,04	0,07	0,10	0,27	0,00	0,05	0,07	0,06
İB 16	0,79	0,92	0,83	0,89	0,67	0,52	0,42	0,49	0,93	0,59	0,61	0,66	0,69
Min	0,03	0,01	0,02	0,01	0,10	0,00	0,07	0,10	0,27	0,00	0,04	0,07	
Mak	0,79	0,92	0,83	0,89	0,67	0,52	0,42	1,21	0,93	0,59	0,61	0,66	
Std. Sap	0,43	0,52	0,46	0,47	0,33	0,25	0,20	0,56	0,33	0,31	0,33	0,34	
Ort.	0,30	0,32	0,30	0,35	0,29	0,15	0,19	0,60	0,59	0,34	0,24	0,27	
Med.	0,07	0,03	0,06	0,14	0,11	0,05	0,08	0,49	0,55	0,43	0,05	0,07	

İstasyonlarda belirlenen krom konsantrasyonları Şekil 4.57.'de verilmiştir. Şekil 4.57.'de görüldüğü üzere en yüksek Cr kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 3,71 µg/L konsantrasyonla 5 ve 1,21 µg/L konsantrasyonla 8. istasyonlardır. Cr kirliliği fosil yakıt tüketimi ve toprak yapısından kaynaklanmaktadır (Muhammad ve ark., 2011; Chabukdhara ve ark., 2017). Ölçüm istasyonlarında ortalama Cr konsantrasyonları 0,19 µg/L ile 1,15 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 6. 7. ve 5. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Havzada yer alan kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinde ortalama Cr konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin

verilen sınır değerin altındadır. Tablo 4.36.'da Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2017 ilkbahar döneminde yükselme gözlenmiştir.



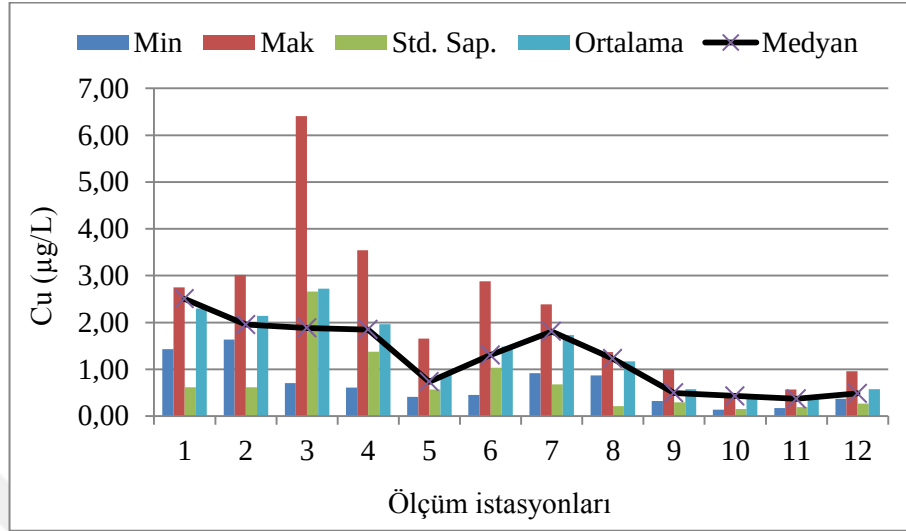
Şekil 4.57. Yeraltı suyunda belirlenen Cr konsantrasyonu

Tablo 4.36. Yeraltı suyunda Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
SB 15	-	-	-	-	3,71	-	-	-	-	-	-	-	-
Yaz 16	0,07	0,03	0,06	0,14	0,11	0,00	0,08	1,21	0,55	0,43	0,04	0,07	0,23
SB 16	0,03	0,01	0,02	0,01	0,10	0,04	0,07	0,10	0,27	0,00	0,05	0,07	0,06
İB 16	0,79	0,92	0,83	0,89	0,67	0,52	0,42	0,49	0,93	0,59	0,61	0,66	0,69
Min	0,03	0,01	0,02	0,01	0,10	0,00	0,07	0,10	0,27	0,00	0,04	0,07	
Mak	0,79	0,92	0,83	0,89	3,71	0,52	0,42	1,21	0,93	0,59	0,61	0,66	
Std. Sap	0,43	0,52	0,46	0,47	1,73	0,29	0,20	0,56	0,33	0,31	0,33	0,34	
Ort.	0,30	0,32	0,30	0,35	1,15	0,19	0,19	0,60	0,59	0,34	0,24	0,27	
Med.	0,07	0,03	0,06	0,14	0,39	0,04	0,08	0,49	0,55	0,43	0,05	0,07	

İstasyonlarda belirlenen bakır konsantrasyonları Şekil 4.58.'de verilmiştir. Şekil 4.58.'de görüldüğü üzere en yüksek Cu kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 6,41 µg/L konsantrasyonla 3. ve 3,54 µg/L konsantrasyonla 4. istasyonlardır. Cu kirliliği endüstriden, tarımsal faaliyetlerden ve toprak ayrışmasından kaynaklanmaktadır (Shrestha ve Kazama, 2007; Oyeku, ve Eludoyin, 2010; Özer, 2014). Ölçüm istasyonlarında ortalama Cu konsantrasyonları 0,37 µg/L ile 2,72 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 10, 11 ve 3. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Havzada yer alan kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinde ortalama Cu konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerin

altındadır. Tablo 4.37.'de Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2016 yaz döneminde yükselme gözlenmiştir.



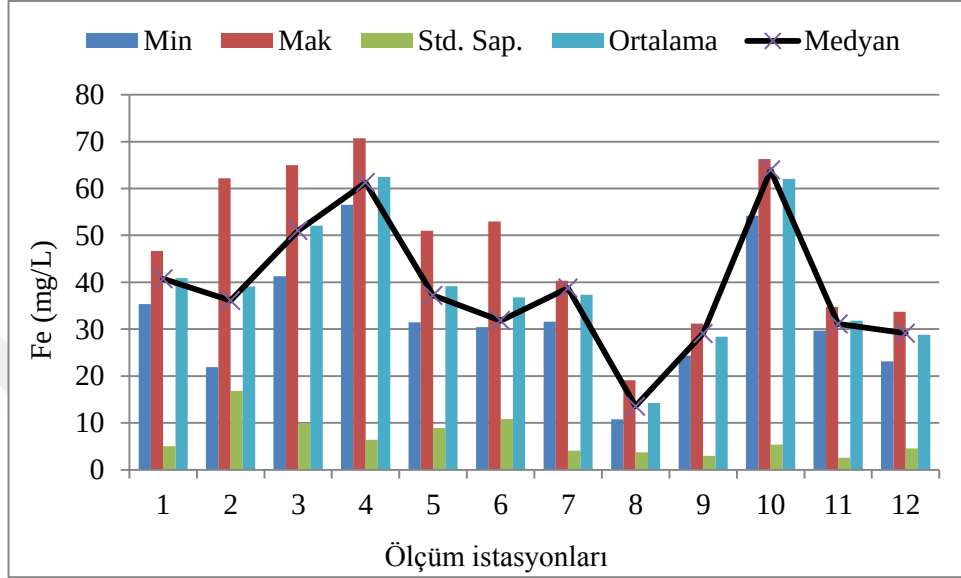
Şekil 4.58. Yeraltı suyunda belirlenen Cu konsantrasyonu

Tablo 4.37. Yeraltı suyunda Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
SB 15	2,75	3,01	2,91	3,54	0,41	1,56	2,38	1,36	0,43	0,44	0,485	0,513	1,65
Yaz 16	2,71	2,11	6,41	2,66	0,96	2,88	1,43	1,24	1	0,47	0,17	0,37	1,87
SB 16	2,3	1,8	0,85	1,04	0,51	0,45	0,92	1,21	0,55	0,14	0,25	0,96	0,92
İB 16	1,42	1,63	0,70	0,60	1,65	1,05	2,18	0,86	0,32	0,42	0,56	0,45	0,99
Min	1,43	1,63	0,71	0,61	0,41	0,45	0,92	0,87	0,32	0,14	0,17	0,37	
Mak	2,75	3,02	6,41	3,54	1,65	2,88	2,39	1,37	1,00	0,47	0,57	0,96	
Std. Sap	0,61	0,62	2,66	1,37	0,57	1,03	0,68	0,21	0,30	0,15	0,19	0,26	
Ort.	2,30	2,14	2,72	1,96	0,88	1,49	1,73	1,17	0,58	0,37	0,37	0,57	
Med.	2,51	1,96	1,88	1,85	0,74	1,31	1,81	1,23	0,49	0,43	0,37	0,48	

İstasyonlarda belirlenen demir konsantrasyonları Şekil 4.59.'da verilmiştir. Şekil 4.59.'da görüldüğü gibi en yüksek Fe kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 70,75 mg/L konsantrasyonla 4. ve 65 mg/L konsantrasyonla 3. istasyonlardır. Havzada yer alan kuyulardan alınan yeraltı suyu örneklerinde ortalama Fe konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin üzerindedir. Alınan toprak örneklerinde de Fe konsantrasyonları diğer metallerle göre yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Fe konsantrasyonunun yüksek olması Fe elementinin havzanın jeolojik yapısından ve tarımsal faaliyetlerden (Fe içerikli gübre ve pestisit kullanımı) kaynaklanmaktadır (Özer, 2014; Longe ve Balogun, 2010; Oyeku ve Eludoyin,

2010). Ölçüm istasyonlarında ortalama Fe konsantrasyonları 14,23 mg/L ile 62,44 mg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 8. ve 4. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Tablo 4.38.'te Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, 2016 yaz döneminde yükselme gözlenmiştir.



Şekil 4.59. Yeraltı suyunda belirlenen Fe konsantrasyonu

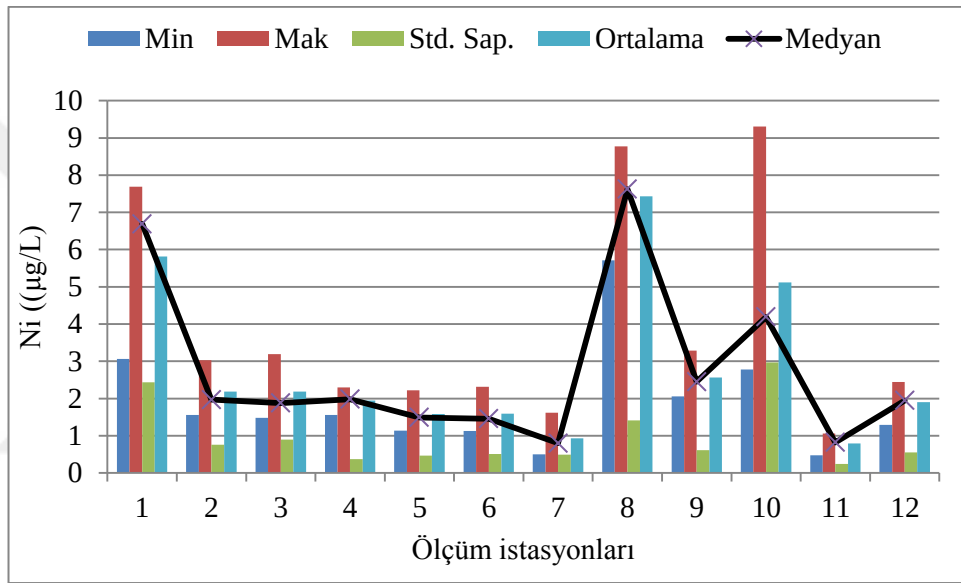
Tablo 4.38. Yeraltı suyunda Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).

	SB 15	Yaz 16	SB 16	İB 16	Min	Mak	Std. Sap	Ort.	Med.
1	46,66	35,32	42,99	38,45	35,32	46,66	4,99	40,86	40,72
2	36,20	62,22	35,99	21,92	21,92	62,22	16,81	39,08	36,10
3	48,80	65,00	53,22	41,32	41,32	65,00	9,91	52,09	51,01
4	58,47	70,75	64,06	56,50	56,50	70,75	6,40	62,44	61,26
5	33,20	51,00	31,42	41,13	31,42	51,00	8,93	39,19	37,17
6	32,44	30,44	53,00	31,20	30,44	53,00	10,85	36,77	31,82
7	31,60	40,33	40,21	37,26	31,60	40,33	4,09	37,35	38,74
8	10,76	15,04	12,07	19,08	10,76	19,08	3,69	14,24	13,56
9	29,98	28,10	24,35	31,17	24,35	31,17	2,98	28,40	29,04
10	63,54	64,31	66,26	54,23	54,23	66,26	5,36	62,09	63,93
11	TE	34,70	29,68	31,10	29,68	34,70	2,59	31,83	31,10
12	30,91	33,72	27,34	23,14	23,14	33,72	4,58	28,78	29,12
Ort.	38,41	44,24	40,05	35,54					

İstasyonlarda belirlenen nikel konsantrasyonları Şekil 4.60.'ta verilmiştir. Şekil 4.60.'ta görüldüğü gibi en yüksek Ni kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 9,30 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 10. ve 8,77 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 8. istasyonlardır. Ni kirliliği, toprak ve kayaç ayrışması, metal endüstrisi ve tarımsal faaliyetlerden

kaynaklanmaktadır (Chabukdhara ve ark., 2017; Kumar ve ark., 2019). Ölçüm istasyonlarında ortalama Ni konsantrasyonları 0,79 $\mu\text{g/L}$ ile 7,43 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 11. ve 8. istasyonlarda gözlemlenmiştir.

Sapanca gölünde ortalama Ni konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Tablo 4.39.'da Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, 2016 yaz ve 2017 ilkbahar dönemlerinde yükselme gözlenmiştir.



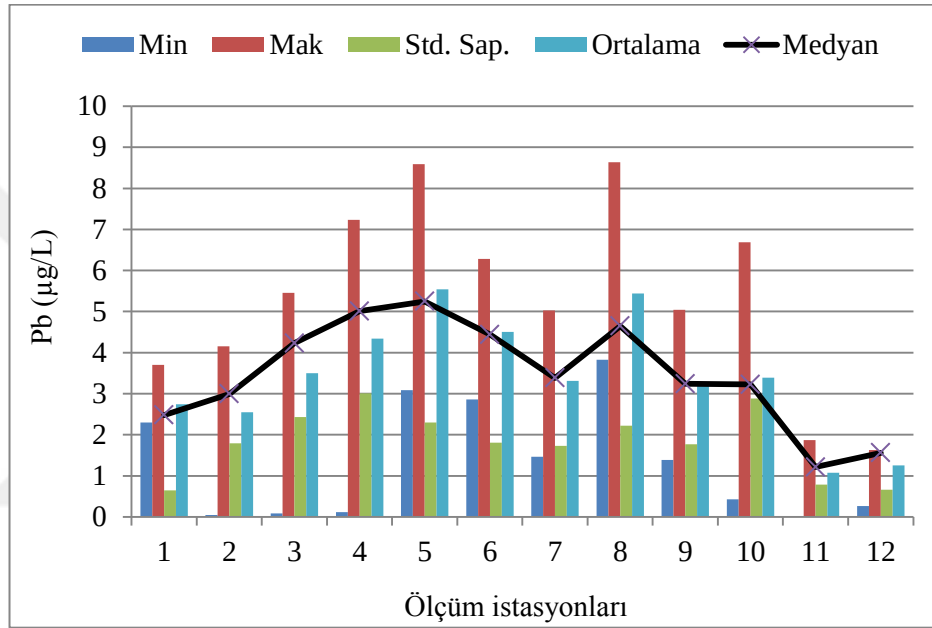
Şekil 4.60. Yeraltı suyunda belirlenen Ni konsantrasyonu

Tablo 4.39. Yeraltı suyunda Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
SB 15	-	-	-	-	1,38	1,49	1,62	5,71	2,06	3,25	0,47	2,44	2,30
Yaz 16	7,69	1,97	3,19	2,30	2,22	1,42	0,50	8,77	2,84	2,78	0,84	1,59	3,01
SB 16	3,06	3,03	1,88	1,98	1,60	1,13	0,94	6,87	3,29	5,13	0,80	1,29	2,58
İB 16	6,69	1,56	1,48	1,56	1,14	2,32	0,66	8,38	2,06	9,30	1,06	2,30	3,21
Min	3,06	1,56	1,48	1,56	1,14	1,13	0,50	5,71	2,06	2,78	0,47	1,29	
Mak	7,69	3,03	3,19	2,30	2,22	2,32	1,62	8,77	3,29	9,30	1,06	2,44	
Std. Sap	2,44	0,76	0,89	0,37	0,46	0,51	0,49	1,41	0,61	2,97	0,24	0,55	
Ort.	5,81	2,19	2,18	1,95	1,59	1,59	0,93	7,43	2,56	5,12	0,79	1,91	
Med.	6,69	1,97	1,88	1,98	1,49	1,46	0,80	7,62	2,45	4,19	0,82	1,95	

İstasyonlarda belirlenen kurşun konsantrasyonları Şekil 4.61.'de verilmiştir. Şekil 4.61.'de görüldüğü gibi en yüksek Pb kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 8,64 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 8. ve 8,59 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla 5. istasyonlardır. Pb kirliliği, yakıt

tüketiminden ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Oyeku ve Eludoyin, 2010; Çelebi ve ark., 2015; Kumar ve ark., 2019). Ölçüm istasyonlarında ortalama Pb konsantrasyonları 1,08 µg/L ile 5,54 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 11. ve 5. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Sapanca gölünde ortalama Pb konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Tablo 4.40.'ta Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, 2016 yaz döneminde yükselme gözlenmiştir.



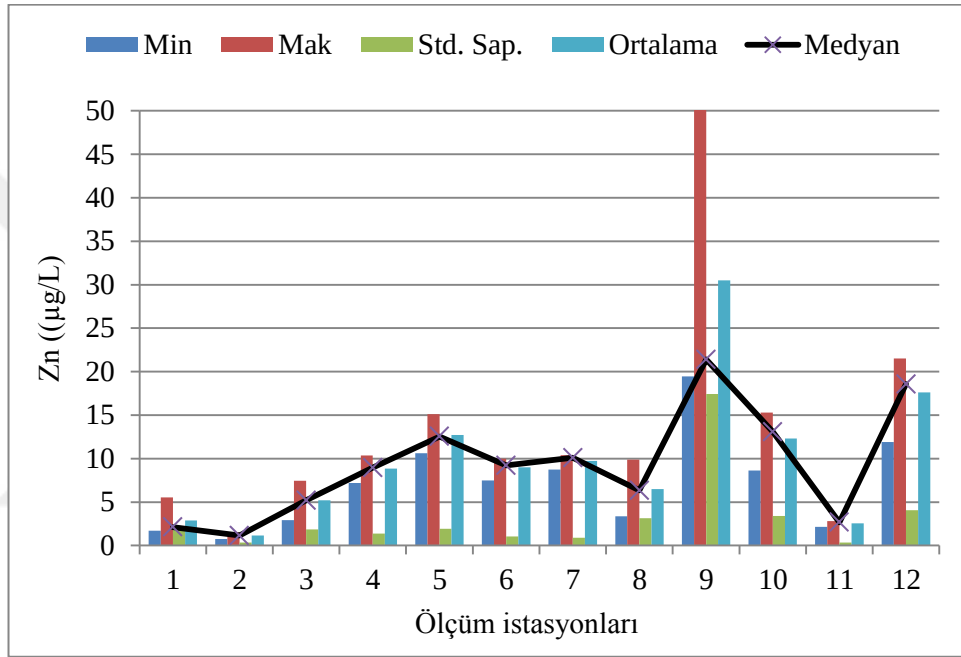
Şekil 4.61. Yeraltı suyunda belirlenen Pb konsantrasyonu

Tablo 4.40. Yeraltı suyunda Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
SB 15	3,70	4,16	3,48	4,78	4,82	5,83	4,53	5,22	5,04	4,84	1,40	1,63	4,12
Yaz 16	2,57	3,45	5,46	7,23	8,59	6,29	1,47	3,82	4,41	1,61	1,03	1,61	3,96
SB 16	2,40	2,54	4,98	5,24	5,67	2,86	5,03	8,64	1,39	6,69	1,87	1,51	4,07
İB 16	2,30	0,05	0,08	0,12	3,09	3,05	2,24	4,07	2,08	0,43	0,02	0,27	1,48
Min	2,30	0,05	0,08	0,12	3,09	2,86	1,47	3,82	1,39	0,43	0,02	0,27	
Mak	3,70	4,16	5,46	7,23	8,59	6,29	5,03	8,64	5,04	6,69	1,87	1,63	
Std. Sap	0,65	1,79	2,43	3,01	2,30	1,81	1,73	2,22	1,77	2,88	0,79	0,66	
Ort.	2,74	2,55	3,50	4,34	5,54	4,51	3,32	5,44	3,23	3,39	1,08	1,25	
Med.	2,48	3,00	4,23	5,01	5,25	4,44	3,38	4,65	3,24	3,22	1,21	1,56	

İstasyonlarda belirlenen çinko konsantrasyonları Şekil 4.62.'de verilmiştir. Şekil 4.62.'de görüldüğü gibi en yüksek Zn kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 50,60 µg/L konsantrasyonla 9. ve 21,51 µg/L konsantrasyonla 12. istasyonlardır. Zn kirliliği,

tarımsal alanlardan (kimyasal gübre ve pestisit) ve trafikten kaynaklanmaktadır (Longe ve Balogun, 2010; Ravindra ve Mor, 2019). Ölçüm istasyonlarında ortalama Zn konsantrasyonları 1,14 $\mu\text{g/L}$ ile 30,49 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 2 ve 9. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Sapanca gölünde ortalama Zn konsantrasyonu TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerinin altındadır. Tablo 4.41.'de Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2016 sonbahar döneminde yükselme gözlenmiştir.



Şekil 4.62. Yeraltı suyunda belirlenen Zn konsantrasyonu

Tablo 4.41. Yeraltı suyunda Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).

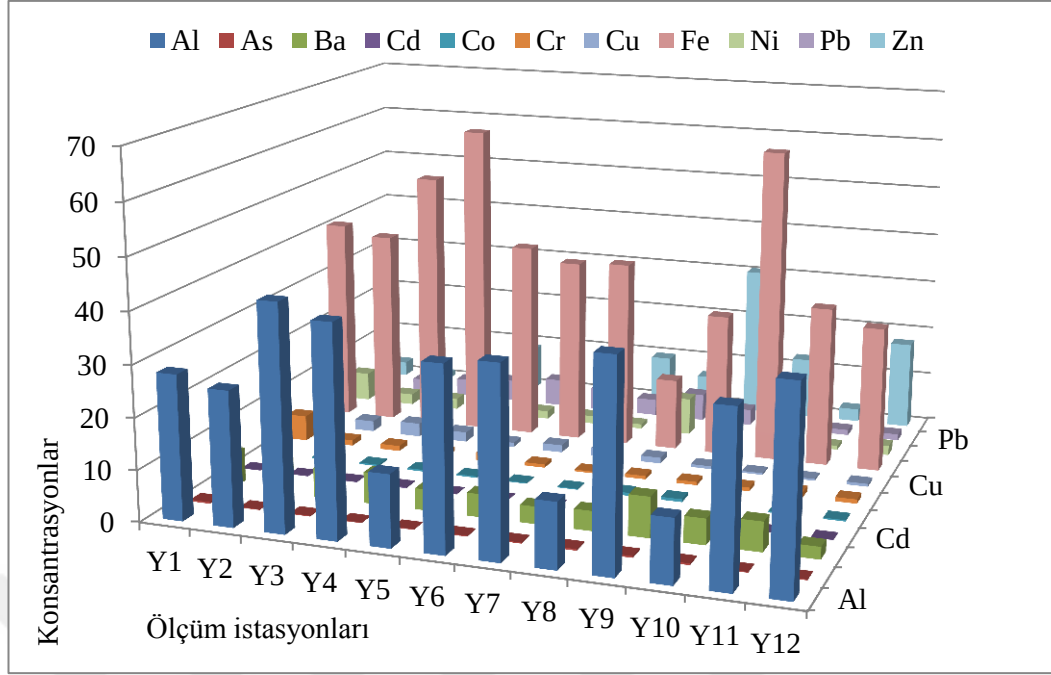
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ort.
SB 15	1,71	0,74	5,44	8,32	13,30	9,17	-	3,36	-	-	-	21,51	7,94
Yaz 16	1,88	1,01	2,94	7,20	15,10	9,99	10,40	8,40	21,40	8,62	2,17	18,10	8,93
SB 16	2,38	1,53	7,45	9,60	11,80	7,51	10,10	9,90	50,60	15,30	2,67	11,90	11,73
İB 16	5,53	1,28	4,97	10,37	10,63	9,27	8,73	4,29	19,46	13,08	2,81	19,03	9,12
Min	1,71	0,74	2,94	7,20	10,63	7,51	8,73	3,36	19,46	8,62	2,17	11,90	
Mak	5,53	1,53	7,45	10,37	15,10	9,99	10,40	9,90	50,60	15,30	2,81	21,51	
Std. Sap	1,79	0,34	1,85	1,40	1,93	1,05	0,89	3,16	17,45	3,40	0,34	4,09	
Ort.	2,87	1,14	5,20	8,87	12,71	8,99	9,74	6,49	30,49	12,33	2,55	17,64	
Med.	2,13	1,15	5,21	8,96	12,55	9,22	10,10	6,35	21,40	13,08	2,67	18,57	

4.1.3.2.1. Ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonlarının incelenmesi

Ölçüm istasyonlarına göre ortalama ağır metal konsantrasyonları Şekil 4.63.'te verilmiştir.

- Alüminyum kirliliği en yüksek 3. istasyonda 43,45 mg/L ve 4. istasyonda 40,69 mg/L;
- Arsenik kirliliği en yüksek 9. ve 10. istasyonda 0,33 µg/L ve 1. ve 8. istasyonda 0,32 µg/L;
- Baryum kirliliği en yüksek 9. istasyonda 7,92 µg/L ve 1. istasyonda 6,67 µg/L;
- Kadmiyum kirliliği en yüksek 4. istasyonda 0,21 µg/L ve 9. istasyonda 0,14 µg/L;
- Kobalt kirliliği en yüksek 8. istasyonda 0,60 µg/L ve 9. istasyonda 0,59 µg/L;
- Krom kirliliği en yüksek 1. istasyonda 5,12 µg/L ve 5. istasyonda 1,53 µg/L;
- Bakır kirliliği en yüksek 3. istasyonda 2,72 µg/L ve 1. istasyonda 2,30 µg/L;
- Demir kirliliği en yüksek 4. istasyonda 62,44 mg/L ve 10. istasyonda 62,08 mg/L;
- Nikel kirliliği en yüksek 8. istasyonda 7,43 µg/L ve 1. istasyonda 5,81 µg/L;
- Kurşun kirliliği en yüksek 5. İstasyonda 5,54 µg/L ve 8. istasyonda 5,44 µg/L;
- Çinko kirliliği en yüksek 9. istasyonda 30,49 µg/L ve 12. istasyonda 17,64 µg/L olarak bulunmuştur.

Topraklarda fazla miktarda biriken ağır metaller, sıg, kaba bünyeli (kumlu) ve organik madde içeriği düşük topraklarda pH'a bağılı olarak topraktan yıkanıp yeraltı sularına karışabilmektedir (Dökmeci, 2005). Dolayısıyla Al ve Fe bölgenin toprak yapısından kaynaklı olarak kuyu sularından alınan örneklerde de diğır metallere oranla yüksek seviyelerde çıkmıştır.



Şekil 4.63. Yeraltı sularında ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonları (Al, Fe için mg/L, $\mu\text{g/L}$).

4.1.3.3. Yeraltı suyunda fiziko-kimyasal parametreler ile ağır metallerinin korelasyon analizi

Kirleticiler arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla Pearson korelasyon matrisi yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.42.'de verilmiştir. Sapanca havzasında bulunan kuyulardan alınan yeraltı su örneklerinde tespit edilen anlamlı korelasyon ($p < 0,01$) seviyeleri şu şekildedir; Sıcaklık ile iletkenlik (0,432) ve sıcaklık ile ORP (-0,459). ÇO ile iletkenlik (0,486) ve ÇO ile Cd (0,528). İletkenlik ile TDS (0,922), iletkenlik ile tuzluluk (0,920), iletkenlik ile Ba (0,406) ve iletkenlik ile Cr (0,458). TDS ile tuzluluk arasında kuvvetli anlamlı bir korelasyon bulunmaktadır. Ayrıca TDS ile Ba ve Fe arasında anlamlı korelasyonlar belirlenmiştir. pH'ın sadece ağır metallerden Cd (0,509) ile arasında korelasyon bulunmaktadır. ORP ile As (-0,657), ORP ile Co (-0,706) ve ORP ile Pb (0,442). AKM ile Ba (0,400) ve AKM ile Zn (0,530). Al ile Cu (0,386) ve Al ile Ni (-0,462). As ile Co (0,645) ve As ile Ni (0,448). Ba ile Cr (0,483) ve Co ile Pb (-0,462). Cd, Fe ve Zn metallerinin herhangi bir metalle arasında anlamlılık tespit edilmemiştir.

Tablo 4.42. Yeraltı suyunda kirleticiler arasındaki Pearson korelasyonu

	T	ÇO	C	TDS	SAL	pH	ORP	AKM	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
T	1																		
ÇO	,165	1																	
C	,432**	-,086	1																
TDS	,335*	,082	,922**	1															
SAL	,333*	,079	,920**	,998**	1														
pH	,248	,486**	,034	,066	,053	1													
ORP	-,459**	,189	-,215	-,026	-,023	-,346*	1												
AKM	-,182	,004	-,196	-,147	-,161	,081	-,063	1											
Al	,050	,103	,028	,130	,141	,021	,198	,162	1										
As	,320*	-,068	,075	-,036	-,037	,328*	-,657**	,164	-,149	1									
Ba	,168	,026	,406**	,405**	,412**	-,013	-,306*	,400**	,091	,294*	1								
Cd	,268	,528**	,179	,259	,269	,509**	-,111	,102	,212	,246	,161	1							
Co	,253	-,341*	,290*	,087	,083	,158	-,706**	,027	-,196	,645**	,351*	-,011	1						
Cr	,298*	-,044	,458**	,312*	,316*	-,103	-,202	-,127	-,172	,355*	,483**	-,050	,250	1					
Cu	,035	,058	,202	,334*	,341*	-,105	,343*	-,119	,386**	-,140	,012	,132	-,221	-,057	1				
Fe	,134	,149	,337*	,448**	,441**	,063	,081	,022	,123	-,044	,127	,273	-,185	-,051	,262	1			
Ni	,031	,093	-,114	-,156	-,159	,083	-,281	,040	-,462**	,448**	,198	,025	,310*	,299*	-,089	-,148	1		
Pb	-,158	,380**	-,125	,017	,013	,155	,442**	,020	,017	-,227	-,208	,349*	-,462**	-,138	,280	,183	,114	1	
Zn	,048	,126	-,117	-,171	-,182	,268	-,182	,530**	,150	,170	,146	,157	,160	-,014	-,313*	-,093	,061	-,066	1

4.1.4. Su ortamlarında ağır metal kirliliğinin kirlilik indeksleri ile değerlendirilmesi

Su kaynaklarını nehirler, göller, buzullar, yağmur suyu, yer altı suyu oluşturmaktadır. Su, içme suyu ihtiyacını karşılama dışında tarımsal ve endüstriyel faaliyetler için önemli rol oynamaktadır. Nüfus artışı, şehirleşme ve endüstrileşme sonucunda yüzeysel ve yeraltı sularının miktarı ve kalitesi olumsuz yönde etkilemektedir. Herhangi bir havzanın veya belirli bir kaynağın su kalitesi, fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler kullanılarak değerlendirilebilmektedir. Bu parametrelerin değerleri, belirlenen sınırların üzerinde olması durumunda insan sağlığına zararlıdır. Bu nedenle, su kaynaklarının insani amaçlı su tüketimine uygunluğu, suyun kalitesini belirlemenin en etkili metotları su kalitesi kirlilik indisleridir (water quality indexes). Özellikle, ağır metal kirliliği indeksi (HPI), ağır metal değerlendirme endeksi (HEI) ve kontaminasyon (kirlilik) derecesi (C_d) kullanılarak su kaynaklarında ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesine büyük önem verilmektedir (Rajkumar et al., 2015; Chaturvedi et al. 2018; Rezaei, 2019).

4.1.4.1. Ağır metallerin kontaminasyon dereceleri

Bu indekste, su kalitesi, her bir ağır metala ait kirlilik faktörlerinin hesaplanması ile değerlendirilmektedir. Kontaminasyon derecesi her su örneği için ilgili standartta yer alan maksimum kabul edilebilir konsantrasyonu (MAC) aşan parametrelerin kirlenme faktörlerinin toplamı olarak hesaplanmaktadır (İqbal ve ark., 2013). Bu sayede, su kaynağında zararlı etkisi olan birçok kalite parametresi değerlendirilmektedir (Edet ve Offiong, 2002; Bodrud-Doza ve ark., 2016). Kontaminasyon derecesi Denklem 4.1 ile hesaplanmaktadır.

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_{fi} \quad (4.1)$$

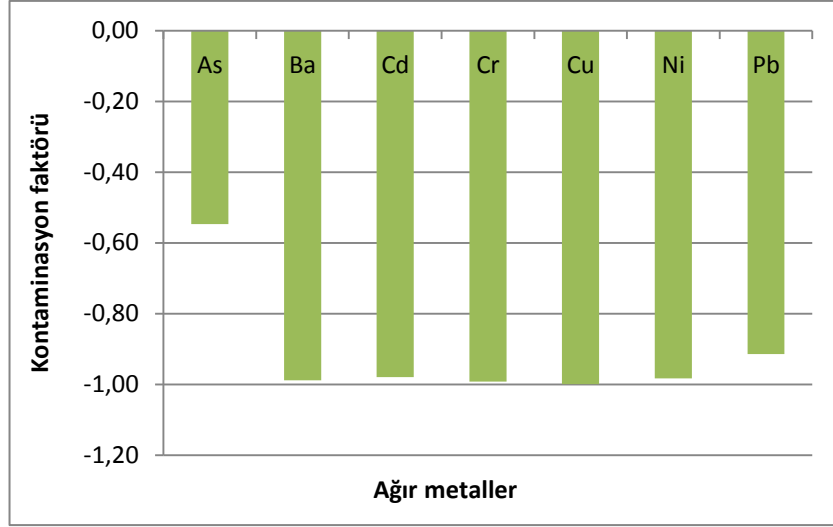
$$C_{fi} = \frac{C_{Ai}}{C_{Ni}} - 1 \quad (4.2)$$

Denklem 4.2’de C_{fi} ; incelenen maddenin kirlilik faktörünü, C_{Ai} ; incelenen maddenin konsantrasyonunu ve C_{Ni} ise incelenen maddenin maksimum kabul edilebilir konsantrasyonunu ifade etmektedir. Kontaminasyon derecesi, $C_d < 1$ ise düşük kontaminasyon; $1 \leq C_d < 3$ ise orta derece kontaminasyon ve $3 \leq C_d$ ise yüksek kontaminasyon şeklinde yorumlanmaktadır. C_{Ni} değeri WHO 2017 yılı verilerinden alınmıştır.

Göl, derelerden alınan yüzeysel su örnekleri ile ve kuyulardan alınan yeraltı su örneklerinin kontaminasyon faktörleri Tablo 4.43., Tablo 4.44., Tablo 4.45. ve Şekil 4.64, Şekil 4.65. ve Şekil 4.66.’da verilmiştir. Yüzeysel ve yeraltı sularının ağır metal kontaminasyonu incelenen tüm metaller için kontaminasyon derecesi düşük seviyelerde tespit edilmiştir. Tablo 4.43., 4.44. ve 4.45.’te görüldüğü gibi kontaminasyon faktörleri negatif değerlerde olup 1’den düşük değerlerdedir.

Tablo 4.43. Göle ait istasyonlara göre kontaminasyon faktörleri

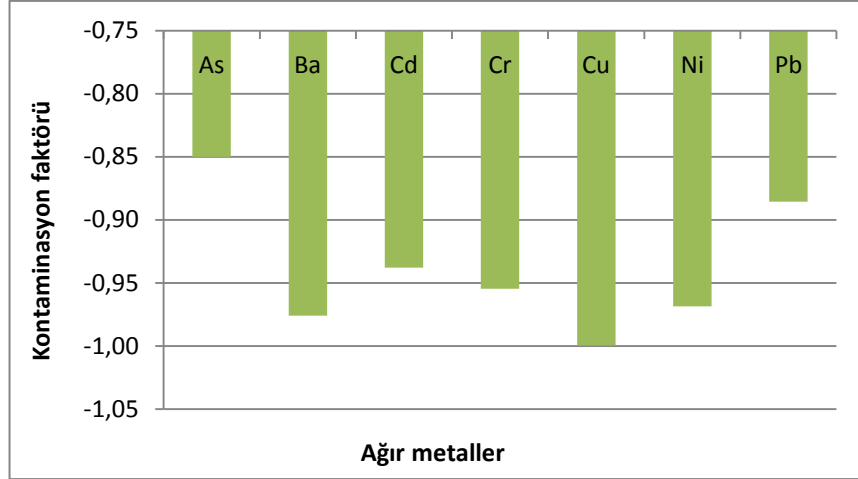
Ölçüm istasyonları	C_f						C_d	
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	
1	-0,52	-0,99	-0,98	-0,99	-1,00	-0,98	-0,94	-6,40
2	-0,52	-0,99	-0,98	-0,99	-1,00	-0,98	-0,85	-6,30
3	-0,55	-0,99	-0,98	-0,99	-1,00	-0,98	-0,93	-6,43
4	-0,57	-0,99	-0,98	-0,99	-1,00	-0,98	-0,93	-6,45
5	-0,54	-0,99	-0,99	-0,99	-1,00	-0,98	-0,91	-6,40
6	-0,55	-0,99	-0,99	-0,99	-1,00	-0,98	-0,95	-6,45
7	-0,54	-0,99	-0,96	-0,99	-1,00	-0,98	-0,91	-6,36
8	-0,62	-0,99	-0,97	-0,99	-1,00	-0,99	-0,90	-6,46
9	-0,55	-0,99	-0,98	-0,99	-1,00	-0,98	-0,91	-6,41
10	-0,51	-0,99	-0,98	-0,99	-1,00	-0,99	-0,91	-6,36
Min.	-0,62	-0,99	-0,99	-0,99	-1,00	-0,99	-0,95	-6,46
Mak.	-0,51	-0,99	-0,96	-0,99	-1,00	-0,98	-0,85	-6,30
Ort.	-0,55	-0,99	-0,98	-0,99	-1,00	-0,98	-0,91	-6,40
STD	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05
Medyan	-0,54	-0,99	-0,98	-0,99	-1,00	-0,98	-0,91	-6,40



Şekil 4.64. Sapanca gölünde ağır metallerin kontaminasyon faktörleri

Tablo 4.44. Derelere ait istasyonlara göre kontaminasyon faktörleri

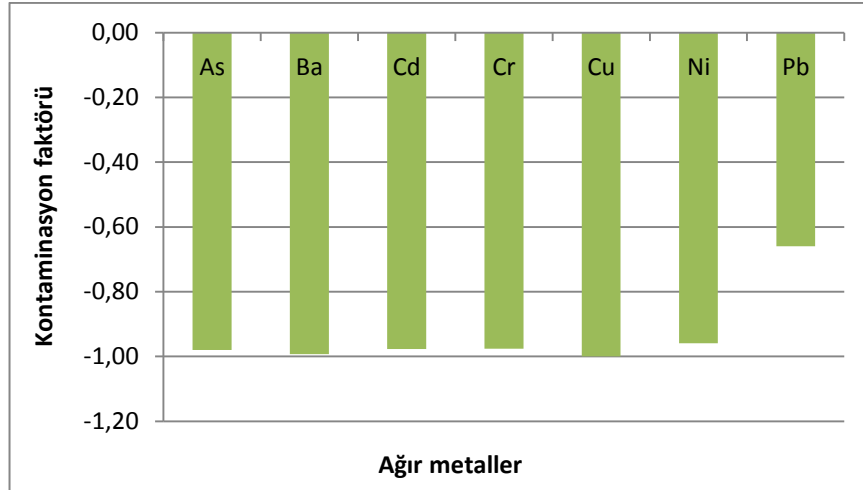
Ölçüm istasyonları	C _f						C _d	
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	
Sarp	-0,82	-0,97	-0,65	-0,82	-1,00	-0,91	-0,81	-5,98
Keçi	-0,91	-0,99	-0,97	-0,92	-1,00	-0,93	-0,91	-6,64
İstanbuldere	-0,85	-0,99	-0,97	-0,97	-1,00	-0,96	-0,93	-6,67
Mahmudiye	-0,87	-0,99	-0,97	-0,98	-1,00	-0,98	-0,91	-6,70
Kurtköy	-0,89	-0,99	-0,97	-0,99	-1,00	-0,98	-0,89	-6,71
Yanık	-0,89	-0,99	-0,94	-0,98	-1,00	-0,98	-0,91	-6,69
Maşukiye	-0,91	-0,98	-0,98	-0,98	-1,00	-0,98	-0,88	-6,72
Balıkthane	-0,90	-0,98	-0,98	-0,99	-1,00	-0,98	-0,90	-6,73
Eşme	-0,92	-0,97	-0,97	-0,97	-1,00	-0,98	-0,93	-6,74
Maden	-0,91	-0,95	-0,96	-0,90	-1,00	-0,98	-0,78	-6,49
A.dereköy	-0,95	-0,93	-0,93	-0,98	-1,00	-0,98	-0,82	-6,59
Çark	-0,38	-0,97	-0,96	-0,98	-1,00	-0,97	-0,94	-6,21
Min.	-0,95	-0,99	-0,98	-0,99	-1,00	-0,98	-0,94	-6,74
Mak.	-0,38	-0,93	-0,65	-0,82	-1,00	-0,91	-0,78	-5,98
Ort.	-0,85	-0,98	-0,94	-0,95	-1,00	-0,97	-0,89	-6,57
STD	0,15	0,02	0,09	0,05	0,00	0,02	0,05	0,24
Medyan	-0,89	-0,98	-0,97	-0,98	-1,00	-0,98	-0,91	-6,68



Şekil 4.65. Derelerde ağır metallere ait kontaminasyon faktörleri

Tablo 4.45. Yeraltı sularına ait istasyonlara göre kontaminasyon faktörleri

Ölçüm istasyonları	C _f						C _d	
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	
Y1	-0,97	-0,99	-0,98	-0,90	-1,00	-0,92	-0,73	-6,48
Y2	-0,99	-0,99	-0,99	-0,98	-1,00	-0,97	-0,75	-6,66
Y3	-0,98	-0,99	-0,98	-0,98	-1,00	-0,97	-0,65	-6,56
Y4	-0,99	-0,99	-0,93	-0,98	-1,00	-0,97	-0,57	-6,43
Y5	-0,99	-0,99	-0,97	-0,97	-1,00	-0,98	-0,45	-6,34
Y6	-0,98	-0,99	-0,98	-0,99	-1,00	-0,98	-0,55	-6,47
Y7	-0,98	-1,00	-1,00	-0,99	-1,00	-0,99	-0,67	-6,62
Y8	-0,97	-0,99	-0,99	-0,99	-1,00	-0,89	-0,46	-6,29
Y9	-0,97	-0,99	-0,95	-0,99	-1,00	-0,96	-0,68	-6,54
Y10	-0,97	-0,99	-0,99	-0,98	-1,00	-0,93	-0,66	-6,52
Y11	-0,99	-0,99	-0,99	-0,98	-1,00	-0,99	-0,89	-6,83
Y12	-0,98	-1,00	-0,98	-0,98	-1,00	-0,97	-0,87	-6,79
Min.	-0,99	-1,00	-1,00	-0,99	-1,00	-0,99	-0,89	-6,83
Mak.	-0,97	-0,99	-0,93	-0,90	-1,00	-0,89	-0,45	-6,29
Ort.	-0,98	-0,99	-0,98	-0,98	-1,00	-0,96	-0,66	-6,54
Std. Sapma	0,01	0,00	0,02	0,03	0,00	0,03	0,14	0,16
Medyan	-0,98	-0,99	-0,98	-0,98	-1,00	-0,97	-0,66	-6,53



Şekil 4.66. Yeraltı sularında ağır metallerle ait kontaminasyon faktörleri

4.1.4.2. Ağır metal kirlilik indeksi

HPI, çözünmüş farklı ağır metallerin bileşik etkisini yansıtan bir miktar olarak tanımlanır ve ağır metal konsantrasyonuna göre suyun toplam kalitesini temsil eder (Edet ve Offiong, 2002; Sirajudeen et al., 2014; Ojekunle ve ark., 2016). HPI, seçilen her bir parametre için bir derecelendirme veya ağırlık (W_i) belirleyerek, ağır metal konsantrasyonunun toplam su kalitesi üzerindeki bileşkesinin değerlendirilmesi temelinde geliştirilmiş kirlilik indeksidir. Derecelendirme, tek bir parametrenin göreceli önemini yansıtan ve 0 ile 1 arasındaki bir değerdir ve her parametre için önerilen standarda (S_i) ters orantılı olarak tanımlanabilir. HPI, ağırlıklı aritmetik kalite ortalama yöntemine dayanmakta ve Denklem 4.3 ve 4.4 ile hesaplanmaktadır.

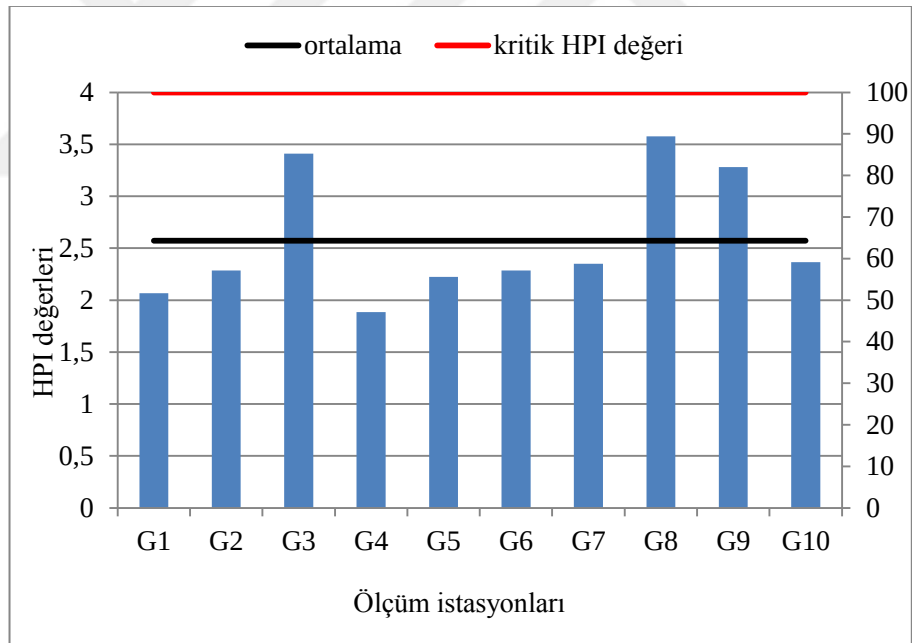
$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (4.3)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{|M_i - I_i|}{S_i - I_i} \times 100 \quad (4.4)$$

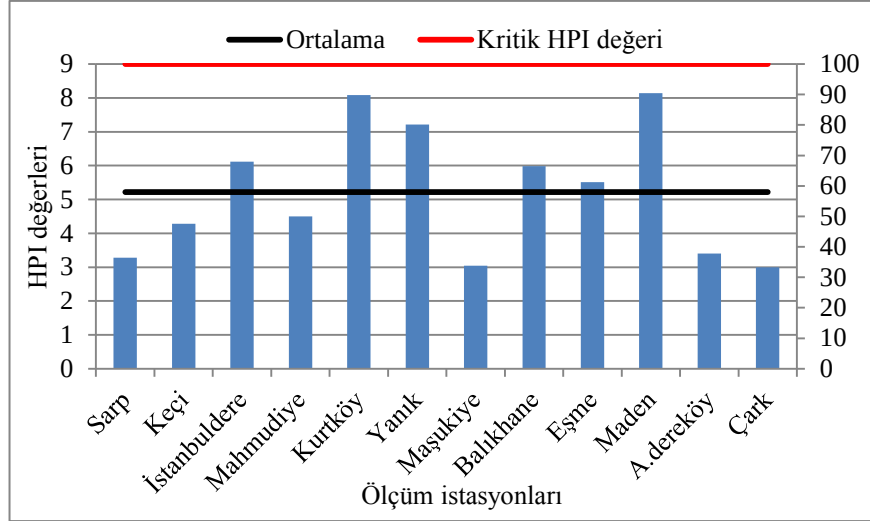
Denklem W_i ; her bir parametre için birim ağırlığı, S_i içme suyu için izin verilen maksimum konsantrasyonu ve Q_i her bir parametre için alt-indeksi ifade etmektedir. Denklem M_i ; ağır metale ait ölçülen konsantrasyonu, I_i ; maksimum istenen değeri

ifade etmektedir. Bu değerlerin birimi $\mu\text{g/L}$ şeklindedir. Si ve Li WHO içme suyu standardı 2017 yılı verilerinden alınmıştır.

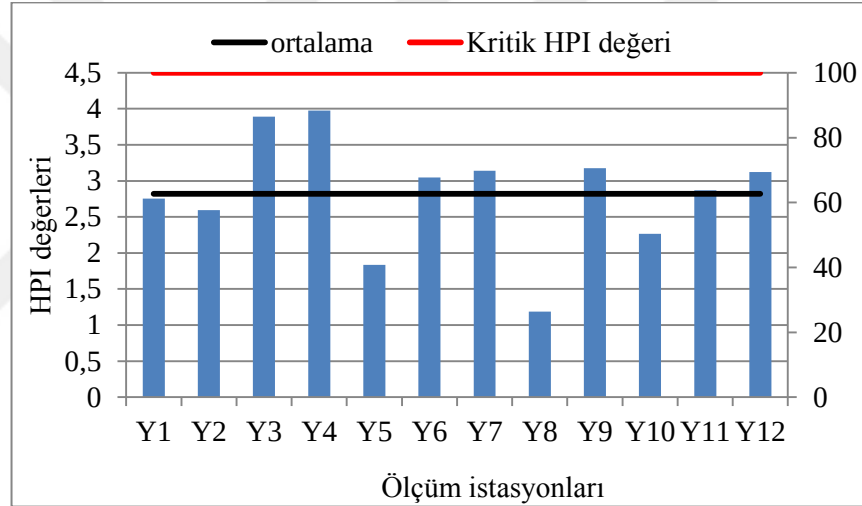
Ağır metal kirlilik indeksinde kritik değer 100 olup, hesaplanan indeks değeri bu değer altındaysa incelenen su kaynağının içme suyu kullanımı açısından güvenli olduğu kabul edilmektedir (Mohan ve ark., 1996; Tiwari ve ark., 2016; Kumar ve ark., 2019). Göl, dereler ve kuyulardan alınan su örneklerine ait ağır metal kirlilik indeks değerleri Şekil 4.67., Şekil 4.68. ve Şekil 4.69.'da verilmektedir. Alınan tüm su örneklerinde HPI değerleri kritik değerin çok altındadır. Gölde ortalama HPI değeri 2,57, derelerde ortalama HPI değeri 5,21 ve yeraltı sularında ortalama HPI değeri 2,82 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, ağır metal kirlilik indeksine göre, Sapanca havzasında yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarında ağır metal kirliliği açısından bir kirlenme olmadığı kanısına varılmaktadır.



Şekil 4.67. Sapanca gölüne ait ölçüm istasyonlarına göre HPI değerleri



Şekil 4.68. Derelere ait ölçüm istasyonlarına göre HPI değerleri



Şekil 4.69. Yeraltı sularına ait ölçüm istasyonlarına göre HPI değerleri

4.1.4.3. Ağır metallerin potansiyel ekolojik riskleri

Ağır metal kirleticilerinin özelliklerini ve çevresel davranışlarını değerlendirmek için Hakanson (1980) tarafından geliştirilmiş bir ekolojik risk değerlendirme yöntemidir. Bu yöntemle ağır metallerin ağır metal toksikolojisine bağlı olarak potansiyel çevresel etkileri değerlendirilmektedir (Nazeer ve ark., 2014; Ojekunle ve ark., 2016). Yöntem her bir ağır metal için tek bir kirlilik katsayısı, ağır metaller için toksik-response (ekolojik risk) faktörüne bağlı kapsamlı bir kirlilik ölçüsü içermektedir (Donk ve ark., 2007; Jiao ve ark., 2012). Potansiyel ekolojik risk indeksi Denklem 4.5, Denklem 4.6 ve Denklem 4.7 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$C_f^i = \frac{C_i}{C_n^i} \quad (4.5)$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i \quad (4.6)$$

$$RI = \sum E_r^i \quad (4.7)$$

Denklem 4.5'te C_i (mg/kg) ve C_n^i (mg/kg) her bir ağır metale ait ölçülen konsantrasyonu ve referans konsantrasyonu, E_r^i ; toksik- response faktörü yani her bir ağır metale ait ekolojik riski, RI; çoklu ağır metallerin toplam ekolojik riski ifade etmektedir. Background (arkaplan) değerleri ölçüm istasyonlarından alınan su örneklerine ait en eski SASKİ verilerinden alınmıştır. T_r^i her bir ağır metal için toksisite seviyesini ve ekolojik duyarlılığını ifade etmektedir. Tablo 4.46.'da ağır metalleri potansiyel ekolojik risk sınıflandırması ve yorumu verilmiştir.

Tablo 4.46. Ekolojik risk sınıflandırması

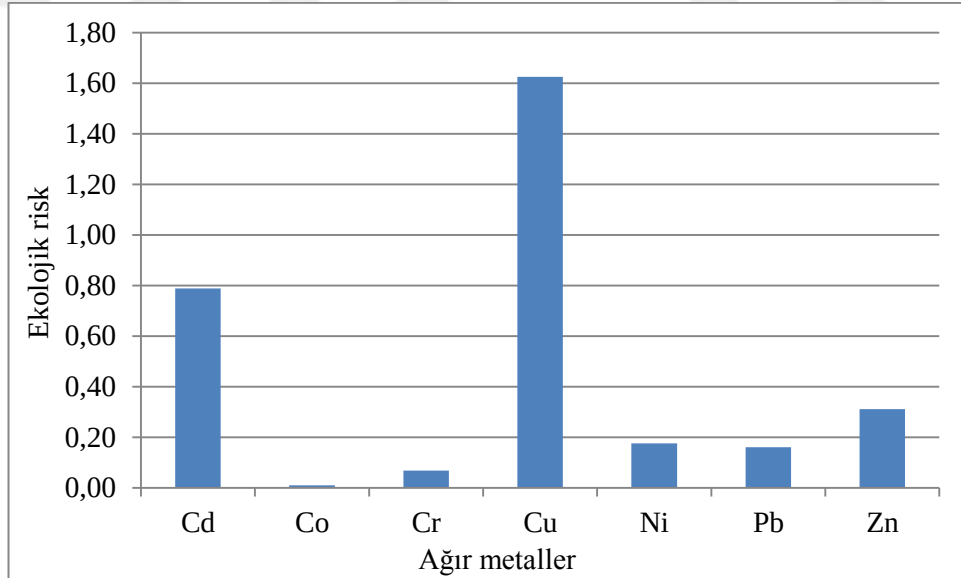
E_r^i	RI	Ekolojik risk kategorisi
<40	<150	Düşük
40-80	150-300	Orta
80-160	300-600	Önemli
160-320	600-1200	Güçlü
≥ 320	≥ 1200	Çok güçlü

Göl, dereler ve kuyulardan alınan su örneklerine ait ağır metal potansiyel ekolojik risk değerleri Tablo 4.47., Tablo 4.48. ve Tablo 4.49. ile ağır metallerin ekolojik risk değerleri Şekil 4.70., Şekil 4.71. ve Şekil 4.72.'de verilmektedir. İncelenen su örneklerinde ekolojik riskin ve çoklu toplam ekolojik riskin düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Sapanca gölünde RI değeri en yüksek 2.istasyonda 4,07; gölü besleyen derelerde RI en yüksek Sarp deresinde 20,47 ve yeraltı suyunda 4.istasyonda (kuyuda) 8,03 şeklinde hesaplanmıştır. İncelenen tüm su kaynaklarında metaller arasında ekolojik riski en yüksek olan ağır metal Cu olmasına rağmen risk değeri çok düşük seviyelerdedir. Ölçüm istasyonlarının hepsinde ağır metaller düşük ekolojik riske sahiptir. Sonuç olarak, potansiyel ekolojik risk değerlendirmesine

göre, Sapanca havzasında yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarında ağır metal kirliliği açısından herhangi bir ekolojik risk bulunmamaktadır.

Tablo 4.47. Göle ait istasyonlara göre ağır metallerin ekolojik riskleri

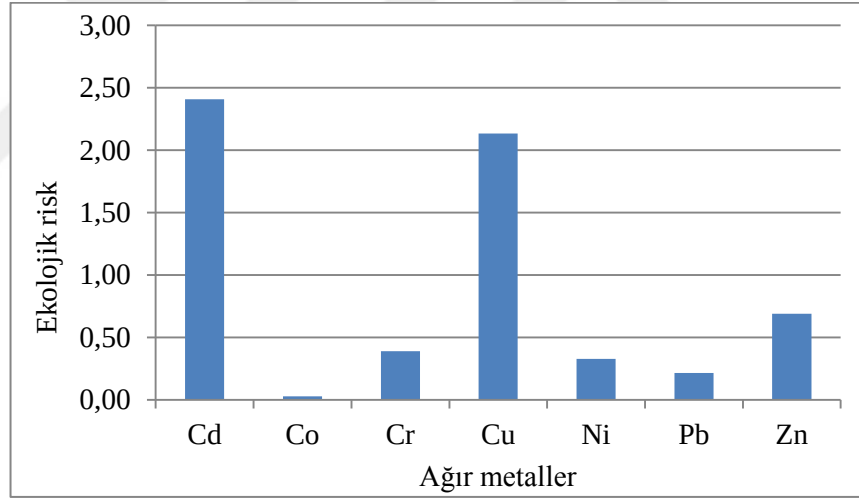
	E _r							RI
	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
G1	0,69	0,01	0,07	2,08	0,23	0,11	0,45	3,65
G2	0,91	0,01	0,08	2,16	0,21	0,28	0,41	4,07
G3	0,59	0,01	0,08	1,21	0,18	0,13	0,19	2,40
G4	0,62	0,00	0,05	2,03	0,17	0,13	0,26	3,27
G5	0,42	0,01	0,06	1,43	0,16	0,16	0,28	2,52
G6	0,51	0,01	0,08	1,98	0,17	0,09	0,29	3,14
G7	1,58	0,01	0,08	1,74	0,16	0,17	0,31	4,05
G8	1,00	0,01	0,08	1,27	0,15	0,18	0,22	2,90
G9	0,74	0,01	0,05	1,21	0,16	0,17	0,35	2,68
G10	0,82	0,01	0,05	1,15	0,15	0,17	0,34	2,68
Min.	0,42	0,00	0,05	1,15	0,15	0,09	0,19	2,40
Mak.	1,58	0,01	0,08	2,16	0,23	0,28	0,45	4,07
Ort.	0,79	0,01	0,07	1,62	0,18	0,16	0,31	3,14
Std. Sapma	0,33	0,002	0,015	0,41	0,03	0,05	0,08	0,61
Medyan	0,71	0,01	0,07	1,58	0,17	0,17	0,30	3,02



Şekil 4.70. Sapanca gölünde ağır metallerin ekolojik risk değerleri

Tablo 4.48. Derelere ait istasyonlara göre ağır metallerin ekolojik riskleri

	E _r							RI
	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
Sarp	13,67	0,06	1,56	2,96	0,89	0,35	0,98	20,47
Keçi	0,99	0,04	0,66	2,75	0,76	0,16	0,85	6,22
İstanbuldere	1,00	0,02	0,30	2,42	0,38	0,13	0,55	4,80
Mahmudiye	1,08	0,02	0,16	1,28	0,23	0,16	0,79	3,72
Kurtköy	1,20	0,02	0,12	1,07	0,19	0,21	0,66	3,46
Yanık	2,48	0,02	0,16	1,25	0,18	0,17	0,47	4,71
Maşukiye	0,86	0,02	0,16	0,96	0,17	0,22	0,91	3,29
Balıkthane	0,94	0,03	0,11	1,24	0,20	0,18	0,48	3,17
Eşme	1,32	0,02	0,23	1,62	0,22	0,13	0,57	4,11
Maden	1,43	0,03	0,85	5,56	0,22	0,40	0,74	9,22
A.dereköy	2,51	0,03	0,18	2,38	0,23	0,34	0,53	6,20
Çark	1,40	0,02	0,17	2,12	0,27	0,11	0,76	4,84
Min.	0,86	0,02	0,11	0,96	0,17	0,11	0,47	3,17
Mak.	13,67	0,06	1,56	5,56	0,89	0,40	0,98	20,47
Ort.	2,41	0,03	0,39	2,13	0,33	0,21	0,69	6,18
Std. Sapma	3,59	0,01	0,44	1,28	0,24	0,10	0,17	4,81
Medyan	1,26	0,02	0,17	1,87	0,23	0,17	0,70	4,76



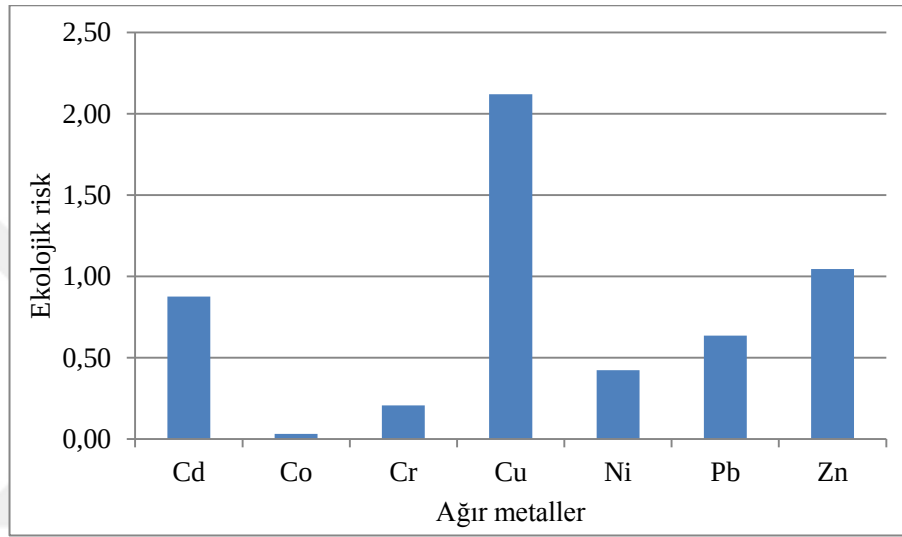
Şekil 4.71. Derelerde ağır metallerin ekolojik risk değerleri

Tablo 4.49. Yeraltı sularına ait istasyonlara göre ağır metallerin ekolojik riskleri

	E _r							RI
	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
Y1	0,61	0,03	0,88	3,59	0,87	0,51	0,30	6,79
Y2	0,48	0,03	0,19	3,34	0,33	0,48	0,12	4,97
Y3	0,66	0,03	0,18	4,25	0,33	0,65	0,55	6,65
Y4	2,76	0,03	0,13	3,07	0,29	0,81	0,93	8,03
Y5	1,31	0,03	0,26	1,38	0,24	1,03	1,34	5,59
Y6	0,75	0,02	0,11	2,32	0,24	0,84	0,95	5,22
Y7	0,18	0,02	0,06	2,70	0,14	0,62	1,03	4,75
Y8	0,43	0,06	0,12	1,83	1,11	1,01	0,68	5,25

Tablo 4.49. (Devamı)

Y9	1,75	0,06	0,11	0,90	0,38	0,60	3,21	7,02
Y10	0,33	0,03	0,13	0,58	0,76	0,63	1,30	3,77
Y11	0,45	0,02	0,17	0,58	0,12	0,20	0,27	1,81
Y12	0,81	0,03	0,15	0,90	0,28	0,23	1,86	4,26
Min.	0,18	0,02	0,06	0,58	0,12	0,20	0,12	1,81
Mak.	2,76	0,06	0,88	4,25	1,11	1,03	3,21	8,03
Ort.	0,88	0,03	0,21	2,12	0,42	0,64	1,05	5,34
Std. Sapma	0,74	0,01	0,22	1,27	0,31	0,26	0,85	1,67
Medyan	0,63	0,03	0,14	2,08	0,31	0,63	0,94	5,23



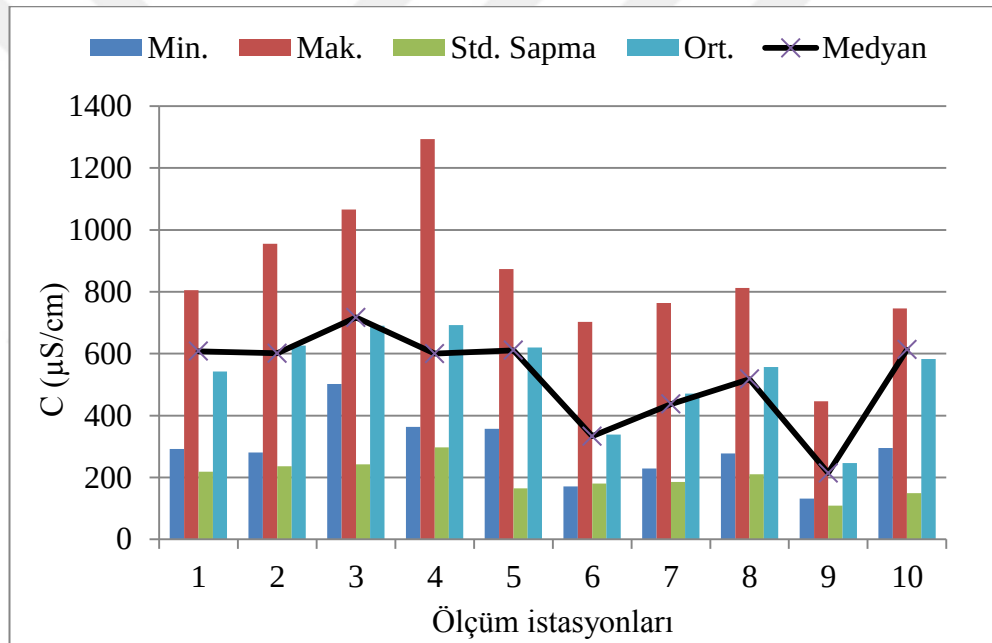
Şekil 4.72. Yeraltı sularında ağır metallerin ekolojik risk değerleri

4.2. Sediment Ortamında Ağır Metal Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

Sapanca Gölü çevresinde bulunan TEM E-80 otoyolu, D-100 karayolu ve demiryolu, endüstriyel kuruluşlar, ısınma ve bölgenin doğal yapısı gibi faktörlere bağlı olarak incelenen ağır metal konsantrasyonları değişim göstermektedir. Bu çalışmada 2015-2017 yılları arasında belirlenen Sapanca gölü sedimentinde ağır metal konsantrasyonlarının minimum, maksimum, aritmetik ortalama, medyan ve standart sapma gibi istatistiksel özellikleri belirlenmiş ve ağır metal kirliliği değerlendirilmiştir.

4.2.1. Fiziko-kimyasal parametrelerin incelenmesi

Sediment örneklerinin ağır metal konsantrasyonları değerlendirilirken alınan örneklerin fiziko-kimyasal parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Sediment yapısı, pH ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli alıcı ortamda ağır metal konsantrasyonunu etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. 7 mevsim toplanan sediment örneklerine ait istasyon bazında iletkenlik (C), pH, tuzluluk, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP), organik madde ve organik karbon muhtevası ve sediment yapısı incelenmiştir. Şekil 4.73.'te ölçüm istasyonlarına göre sediment örneklerinin istasyonlara göre iletkenlik değerleri verilmiştir.

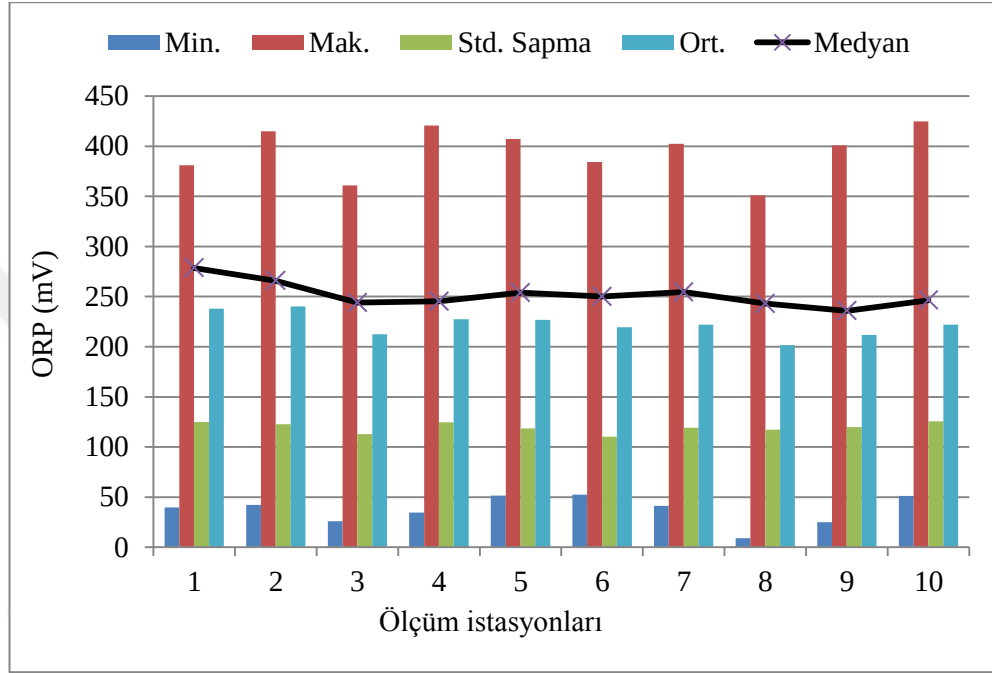


Şekil 4.73. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre iletkenlik değerleri

İletkenlik değerleri incelendiğinde, minimum iletkenlik 131,7 $\mu\text{S/cm}$ olup 9. istasyonda bahar döneminde, maksimum iletkenlik 1294 $\mu\text{S/cm}$ olup 4 istasyonunda bahar döneminde saptanmıştır. Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama iletkenlik konsantrasyonları ise 246,37 $\mu\text{S/cm}$ ile 692,36 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmektedir.

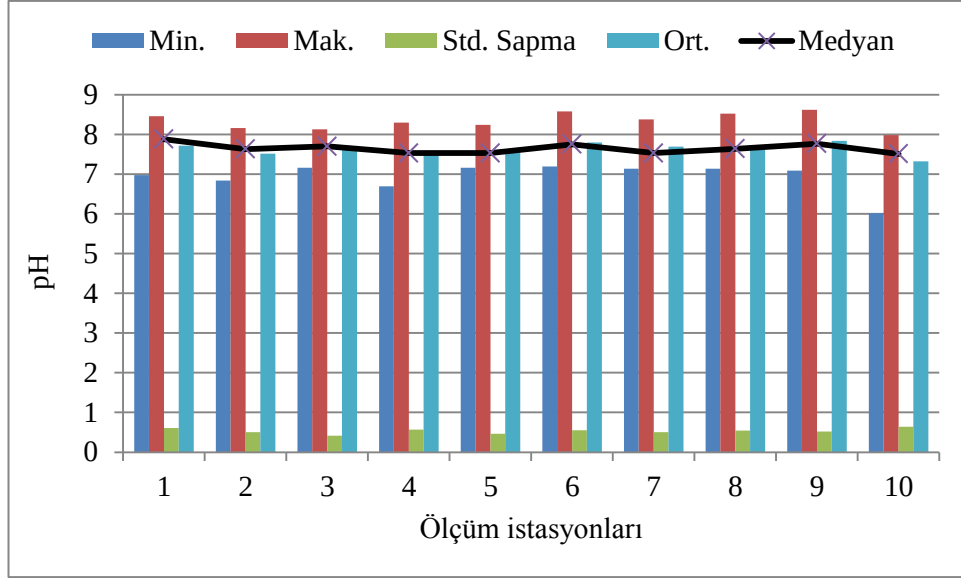
Sedimentte redoks potansiyeli (oksidasyon ve redüksiyon potansiyeli) ağır metallerin hareketliliği (mobilitesi) için önemli faktörlerden biridir. Bu parametrelerin ölçüm istasyonlarına göre değişimi Şekil 4.74.'de verilmektedir. ORP minimum kış

döneminde 9,1 mV 8. istasyonda ve maksimum kış döneminde 424,8 mV 6. istasyonda gözlemlenmiştir. ORP değerleri istasyon bazında ortalama 201,63 mV ile 240,19 mV arasında değişim göstermektedir. ORP değeri yükseldikçe, organik madde veya sülfür ile bağlanmış ağır metaller ve sedimentteki ağır metaller suya geçebilmektedir (Ateş ve Demirel, 2019).

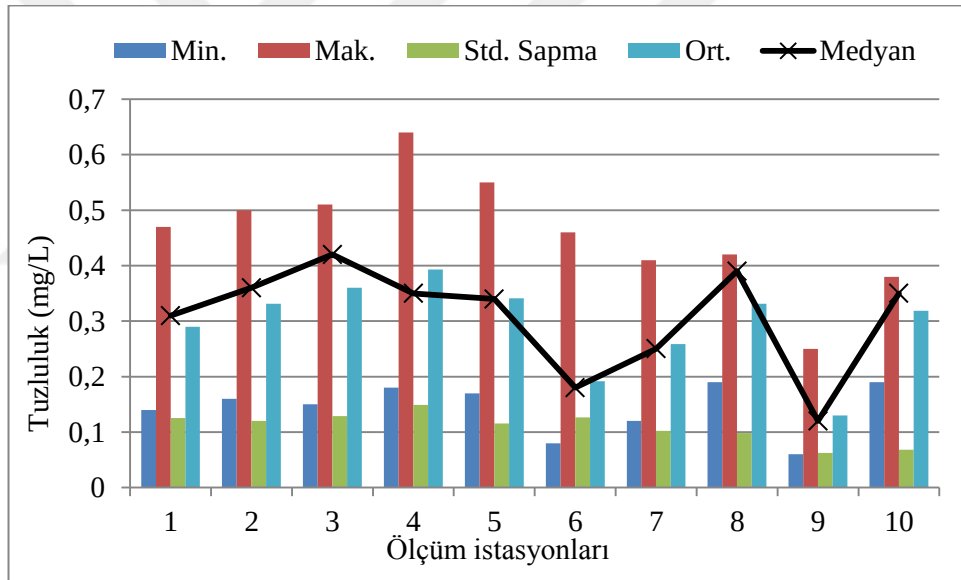


Şekil 4.74. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre ORP değerleri

Şekil 4.75.'te istasyon bazında sediment örneklerinde pH değişimi verilmektedir. pH, sedimentte ağır metal mobilitesinin kontrolü açısından en önemli parametredir. Sedimentte pH değeri düşerse, metallerin biyo-yararlanımı ve adsorpsiyon yeteneği azalır. Bununla birlikte ağır metallerin hareketliliği artış göstermektedir (Peng ve ark., 2009). pH minimum kış döneminde 6,02 10. istasyonda ve maksimum kış döneminde 8,62 9. istasyonda gözlemlenmiştir. pH değerleri istasyon bazında ortalama 7,32 ile 7,8 arasında değişim göstermektedir.



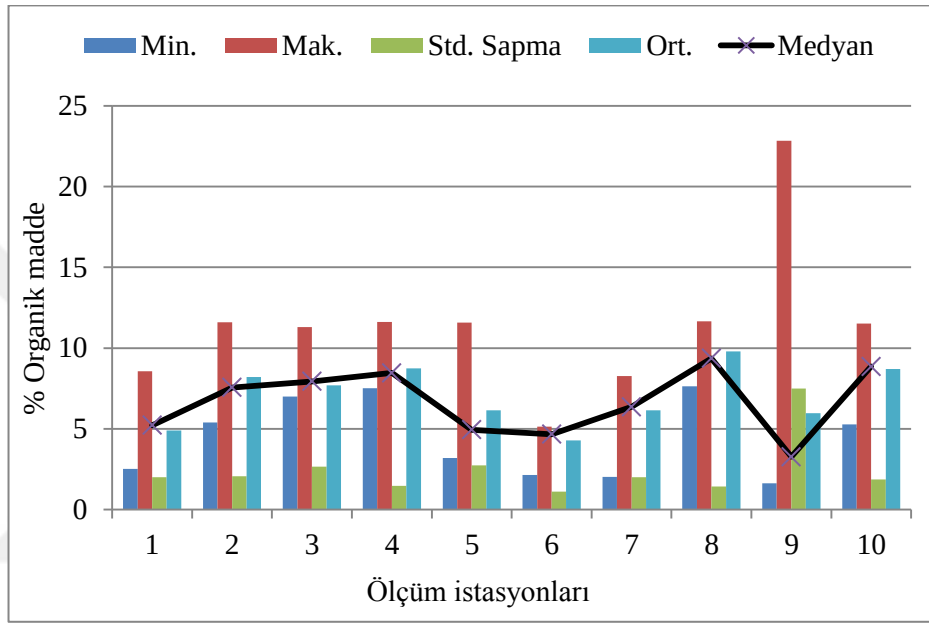
Şekil 4.75. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre pH değerleri



Şekil 4.76. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk değerleri

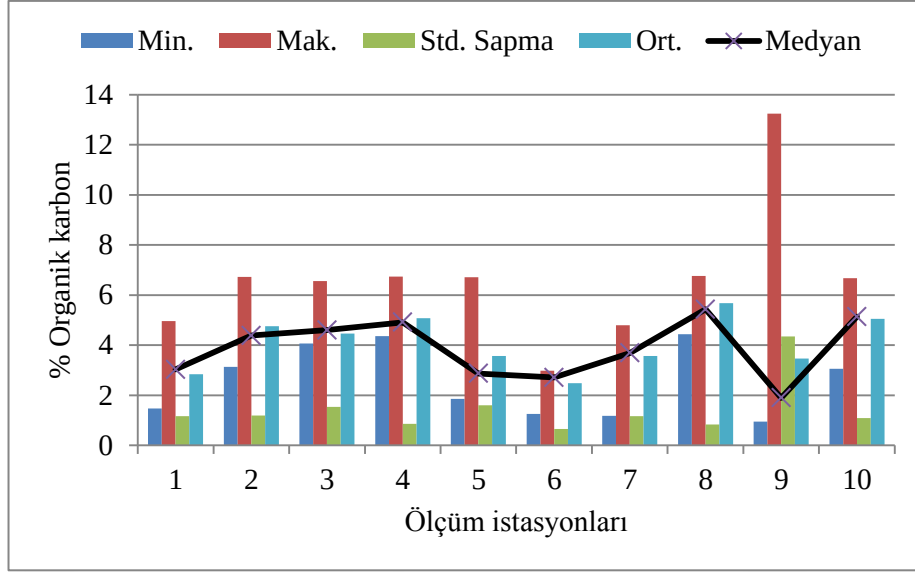
İstasyonlara göre sediment örneklerindeki tuzluluk değerleri Şekil 4.76.'da verilmektedir. Minimum tuzluluk oranı 0,06 mg/L olup 9. istasyonda sonbahar döneminde, maksimum oran ise 4. istasyonda bahar döneminde 0,64 mg/L olarak tespit edilmiştir. Tuzluluk değerleri 0,13 mg/L ile 0,39 mg/L aralığında değişim göstermektedir. Tuzluluk değerinin yüksek olmasının ana nedeni, bazı bölgelerde peyzaj ve meyve yetiştiriciliği için kullanılan gübrelerin yağışlarla göle ulaşmasıdır.

Sedimentteki organik bileşikler, ağır metallerin transformasyonunda anahtar rol oynamaktadır. Ağır metaller çoğunlukla sedimentte organik maddeye bağlanmış şekilde bulunmaktadır. Şekil 4.77. ve 4.78.'de gölden alınan sediment örneklerinde organik madde ve organik karbon muhtevası istasyon bazında verilmektedir. Şekil 4.77.'den de görüleceği üzere organik madde muhtevasının oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir.



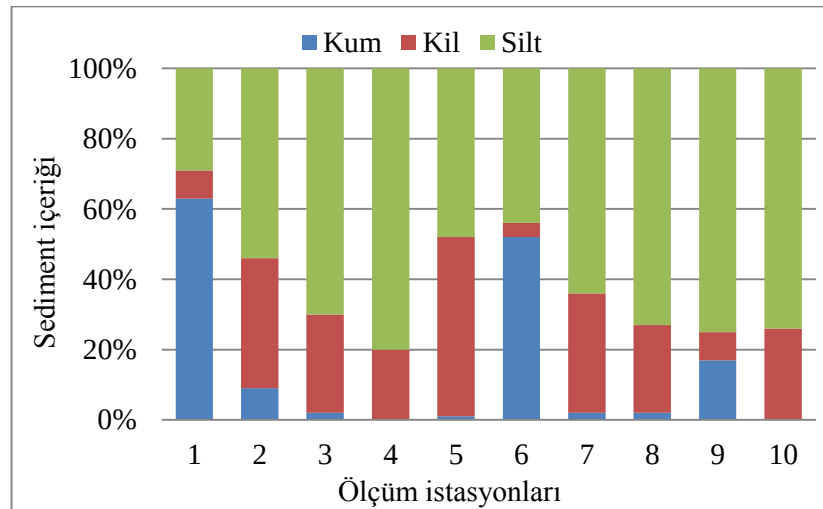
Şekil 4.77. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre % organik madde muhtevası

Sediment örneklerinde organik madde muhtevası minimum kış döneminde 9. istasyonda %1,64 ve maksimum kış döneminde 9. istasyonda %22,84 olarak bulunmuştur. Sediment örneklerinde organik madde muhtevası %4,28 ile %8,75 arasında değişim göstermektedir. Organik karbon muhtevası ise Şekil 4.78.'de görüldüğü üzere %2,48 ile %5,68 arasında değişmekte olup, minimum ve maksimum değerler kış döneminde 9. istasyonda sırasıyla %0,95 ve %13,25 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.78. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre % organik karbon muhtevası

Delta ve su kaynaklarında biriken sedimentler genellikle ince tanelidir (Kamarudin ve ark., 2009). Büyük erozyonlar sonucu küçük havzalarda oluşan sedimentler genellikle daha fazla miktarda kil ve silt içerir (Benhaddya ve ark., 2013). Sapanca gölü sedimentinin yapısal içeriği Şekil 4.79.'da verilmektedir. Sapanca Gölü sedimenti çoğunlukla siltten oluşmakta olup, max. silt içeriği 4. istasyonda %80 ve 9. istasyonda %75 oranındadır. Kumul sediment ise %63 kum içeriğiyle 1 ve %52 kum içeriğiyle 6. istasyonlardır. Kil oranı yüksek istasyon 5. istasyon olup, kil içeriği %51 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.79. Sapanca gölü sediment yapısı

Kalite parametrelerinin istasyon bazında mevsimsel değişimi Tablo 4.50.'de verilmektedir. En önemli parametrelerin başında gelen pH, ORP (redoks potansiyeli) ve organik madde muhtevasının istasyon bazında minimum ve maksimum değerler şu şekilde belirlenmiştir:

1. istasyonda organik madde Kış 2017'de %2,53 ve Sonbahar 2016'da %8,16; pH Sonbahar 2016'da 6,98 ve Sonbahar 2015'te 8,46; ORP Sonbahar 2016'da 91,20 mV ve Kış 2017'de 381,10 mV'tur.

2. istasyonda organik madde Kış 2016'da %5,39 ve İlkbahar 2017'de %11,61; pH Kış 2017'de 6,84 ve Kış 2016'da 8,16; ORP Kış 2016'da 42,30 mV ve Kış 2017'de 414,80 mV'tur.

3. istasyonda organik madde İlkbahar 2017'de %2,75 ve Yaz 2016'da %11,31; pH Sonbahar 2016 ve Kış 2017'de 7,16, Sonbahar 2015'te 8,13; ORP Kış 2016'da 25,90 mV, Kış 2017'de 360,9 mV'tur.

4. istasyonda organik madde Kış 2016'da %7,51 ve İlkbahar 2017'de %11,63; pH Kış 2017'de 6,69 ve Kış 2016'da 8,30; ORP Kış 2016'da 34,60 mV ve Kış 2017'de 420,50 mV'tur.

5.istasyonda organik madde Sonbahar 2015'te %3,20 ve İlkbahar 2017'de %11,57; pH Sonbahar 2016'da 7,16 ve Kış 2016 8,24; ORP Kış 2016'da 51,40 mV ve Kış 2017'de 407,3 mV'tur.

6. istasyonda organik madde Kış 2016'da %2,16 ve Bahar 2017'de %5,14; pH Sonbahar 2016'da 7,14 ve Sonbahar 2015'te 5,14; ORP Kış 2016'da 52,50 mV ve Kış 2017'de 384,10 mV'tur.

7. istasyonda organik madde Kış 2017'de %2,03 ve Sonbahar 2016'da %8,27 mg/L; pH Sonbahar 2016'da 7,14 ve Sonbahar 2015'te 8,38; ORP Kış 2016'da 41,40 mV ve Kış 2017'de 402,50 mV'tur.

8. istasyonda organik madde Sonbahar 2015'te %7,64 ve Sonbahar 2015'te %22,84; pH Sonbahar 2016'da 7,14 ve Sonbahar 2015'te 8,37; ORP Kış 2016'da 9,10 mV ve Kış 2017'de 351 mV'tur.

9. istasyonda organik madde Kış 2016'da %1,64 ve Sonbahar 2015'te %22,84; pH Kış 2017'de 7,09 ve Kış 2016'da 8,62; ORP Kış 2016'da 25,16 mV ve Kış 2017'de 400,7 mV'tur.

10. istasyonda organik madde Sonbahar 2015'te %5,27 ve İlkbahar 2017'de %11,52; pH Kış 2017'de 6,02 ve Sonbahar 2015'te 7,98; ORP Kış 2016'da 51,20 mV ve Kış 2017'de 424,8 mV'tur.

Tablo 4.50. Sedimentte kalite parametrelerinin ölçüm istasyonları bazında mevsimsel değişimi

Ölçüm İstasyonları	Mevsimler	C (µS/cm)	SAL (mg/L)	pH	ORP (mV)	% OM	% OC
1	SB 15	608	0,36	8,46	91,20	3,27	1,89
	K 16	805	0,47	8,41	39,60	3,70	2,14
	İB 16	667	0,31	7,88	288,20	5,22	3,03
	Y 16	291,6	0,14	7,95	262,70	5,46	3,17
	SB 16	758	0,39	6,98	324,90	8,57	4,97
	K 17	340,5	0,19	7,15	381,10	2,53	1,47
	İB 17	323,5	0,17	7,22	278,60	5,56	3,23
2	SB 15	601	0,36	7,95	121,50	5,39	3,13
	K 16	571	0,33	8,16	42,30	7,28	4,22
	İB 16	804	0,37	7,86	279,50	8,03	4,66
	Y 16	401,1	0,19	7,63	251,10	10,23	5,93
	SB 16	955	0,5	7,07	306,20	7,56	4,39
	K 17	281	0,16	6,84	414,80	7,39	4,29
	İB 17	773	0,41	7,13	265,90	11,61	6,73
3	SB 15	717	0,42	8,13	96,80	7,01	4,07
	K 16	726	0,42	8,08	25,90	7,14	4,14
	İB 16	1066	0,51	7,84	244,00	8,04	4,66
	Y 16	502	0,15	7,70	251,30	11,31	6,56
	SB 16	886	0,46	7,16	267,60	9,66	5,60
	K 17	608	0,32	7,16	360,90	7,94	4,60
	İB 17	330,2	0,24	7,33	240,30	2,75	1,60
4	SB 15	792	0,5	8,05	107,40	8,51	4,94
	K 16	523	0,3	8,30	34,60	7,51	4,36
	İB 16	1294	0,64	7,59	245,30	9,73	5,64
	Y 16	363	0,18	7,53	262,00	8,47	4,91
	SB 16	591,5	0,44	7,01	280,30	7,64	4,43
	K 17	600	0,34	6,69	420,50	7,81	4,53
	İB 17	683	0,35	7,20	242,65	11,63	6,74

Tablo 4.50. (Devamı)

5	SB 15	873	0,55	8,13	98,10	3,20	1,86
	K 16	500	0,29	8,24	51,40	6,45	3,74
	İB 16	611	0,3	7,91	253,90	4,51	2,61
	Y 16	357,6	0,17	7,53	257,60	4,95	2,87
	SB 16	743	0,39	7,16	279,70	7,40	4,29
	K 17	604	0,35	7,16	407,30	4,95	2,87
	İB 17	648	0,34	7,29	238,80	11,57	6,71
6	SB 15	333	0,2	8,38	103,80	3,34	1,94
	K 16	179,3	0,1	8,58	52,50	2,16	1,25
	İB 16	368	0,18	8,00	251,20	5,04	2,92
	Y 16	170,5	0,08	7,75	250,10	5,11	2,97
	SB 16	355,5	0,18	7,44	271,00	4,53	2,63
	K 17	259	0,14	7,23	384,10	4,67	2,71
	İB 17	703	0,46	7,19	223,20	5,14	2,98
7	SB 15	492	0,31	8,38	101,30	6,04	3,50
	K 16	437	0,25	8,31	41,40	6,36	3,69
	İB 16	656	0,34	7,84	254,50	7,57	4,39
	Y 16	330,5	0,16	7,53	255,30	6,96	4,03
	SB 16	764	0,41	7,14	280,10	8,27	4,79
	K 17	388,9	0,22	7,20	402,50	2,03	1,18
	İB 17	229,1	0,12	7,44	218,00	5,80	3,36
8	SB 15	277	0,41	8,37	79,10	7,64	4,43
	K 16	518	0,3	8,52	9,10	8,90	5,16
	İB 16	793	0,4	7,67	243,00	11,06	6,41
	Y 16	446,4	0,21	7,64	249,70	10,82	6,28
	SB 16	812	0,42	7,14	265,10	11,66	6,77
	K 17	685	0,39	7,16	351,00	9,09	5,27
	İB 17	364,8	0,19	7,47	214,40	9,36	5,43
9	SB 15	446	0,25	8,32	103,90	22,84	13,25
	K 16	160,1	0,09	8,62	25,10	1,64	0,95
	İB 16	289,5	0,14	7,96	235,90	3,28	1,90
	Y 16	182,5	0,09	7,77	244,90	4,52	2,62
	SB 16	300,7	0,16	7,41	260,10	2,18	1,27
	K 17	214,1	0,12	7,09	400,70	3,20	1,85
	İB 17	131,7	0,06	7,70	212,50	4,20	2,44
10	SB 15	553	0,31	7,98	79,10	5,27	3,06
	K 16	654	0,38	7,67	51,20	8,86	5,14
	İB 16	746	0,37	7,67	246,30	9,03	5,24
	Y 16	295,5	0,19	7,51	257,10	9,66	5,60
	SB 16	700	0,36	7,07	269,20	8,09	4,69
	K 17	613	0,35	6,02	424,80	8,58	4,98
	İB 17	517	0,27	7,35	226,60	11,52	6,68

Tablo 4.51.'de sediment örneklerinde kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi verilmiştir. İletkenlik değeri en yüksek İlkbahar 2016'da 729,45 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve tuzluluk değeri en yüksek Sonbahar 2016'da 0,37 mg/L olarak tespit edilmiştir. pH en düşük

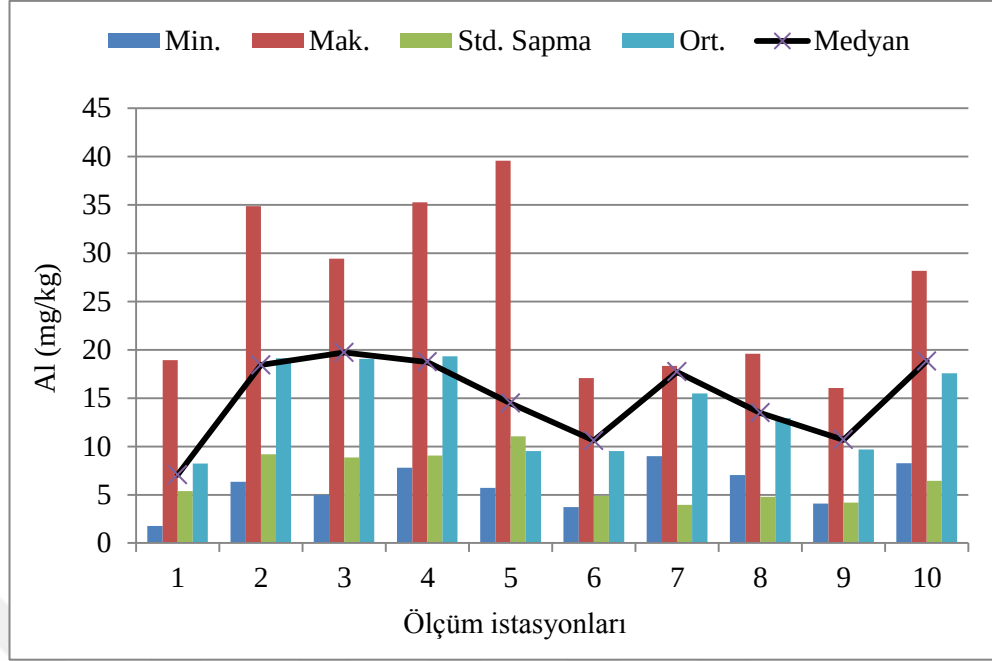
Kış 2017’de 6,97 ve ORP değeri en düşük Kış 2016’da 37,31 mV değerinde gözlemlenmiştir.

Tablo 4.51. Sedimentte kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi

	C (μ S/cm)	SAL (mg/L)	pH	ORP (mV)	% OM	% OC
SB 15	569,20	0,36	8,22	98,22	7,25	4,21
K 16	507,34	0,29	8,29	37,31	6,00	3,48
İB 16	729,45	0,36	7,82	254,18	7,15	4,15
Y 16	334,07	0,16	7,65	254,18	7,75	4,49
SB 16	686,57	0,37	7,16	280,42	7,56	4,38
K 17	459,35	0,26	6,97	394,77	5,82	3,37
İB 17	470,33	0,26	7,33	236,10	7,91	4,59

4.2.2. Ağır metallerin incelenmesi

İstasyonlarda belirlenen alüminyum konsantrasyonları Şekil 4.80.’de verilmiştir. Şekil 4.80.’de görüldüğü gibi en yüksek Al kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 39,57 mg/kg konsantrasyonla 5 ve 35,28 mg/kg konsantrasyonla 4. istasyonlardır. Al jeolojik yapıda yüksek oranda bulunan bir metaldir. Al metalinin kaynakları doğal kaya ayrışması ve fosil yakıt tüketimidir (Hansen, 2012). 5. istasyon gölün kuzey bölgesinde yer almakta olup D-100 karayoluna yakın konumdadır. Bu nedenle 5. istasyonda Al birikiminin yüksek çıkması sediment yapısından ve fosil yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Al konsantrasyonları 82,31 mg/kg ile 19,34 mg/kg arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 1 ve 4. istasyonlarında gözlemlenmiştir.

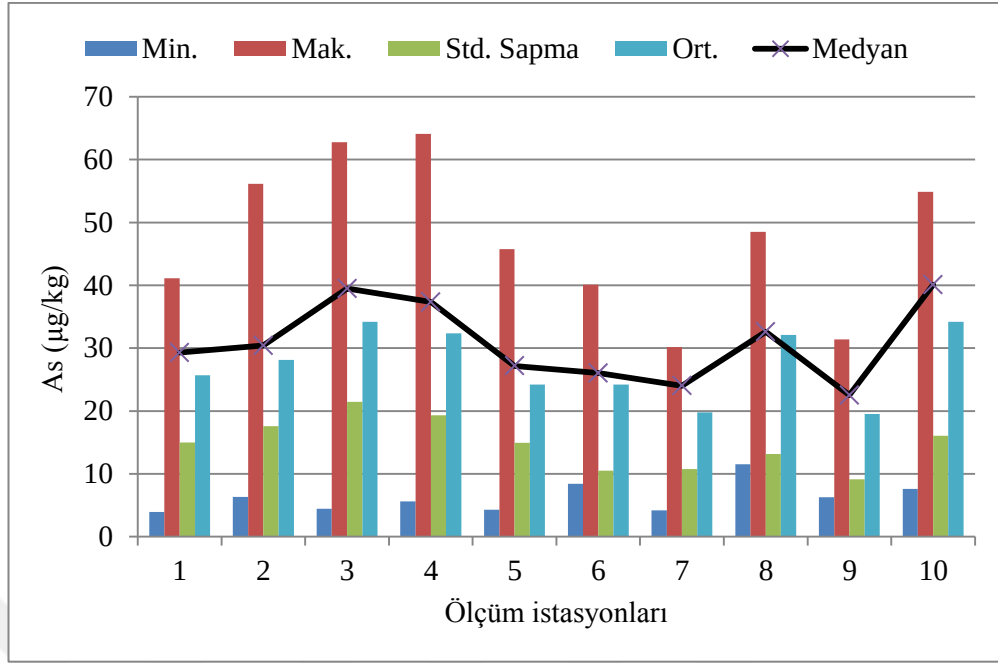


Şekil 4.80. Sedimentte belirlenen Al konsantrasyonu

Tablo 4.52.'de ölçüm süresi içerisinde Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi verilmiştir. Sapanca gölünde Al diğer metallerle göre yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Al konsantrasyonunun özellikle 2017 bahar döneminde yükseldiği tespit edilmiştir.

Tablo 4.52. Sedimentte Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/kg).

Al	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	5,67	11,12	11,71	10,25	9,88	5,30	9,01	7,77	4,80	8,26	8,38
K 16	1,78	6,35	4,97	7,81	5,71	3,74	10,48	7,03	4,08	13,11	6,51
İB 16	7,06	17,60	16,03	18,42	12,75	11,92	17,78	19,59	10,70	21,19	15,30
Y 16	5,48	23,23	27,96	21,23	14,47	12,78	18,33	13,49	16,04	19,27	17,23
SB 16	18,92	22,39	23,64	18,74	21,33	5,25	17,13	13,48	9,04	18,83	16,87
K 17	9,93	18,43	19,72	23,66	16,05	17,08	17,90	11,04	10,91	14,07	15,88
İB 17	8,77	34,87	29,43	35,28	39,57	10,61	17,71	18,24	12,37	28,18	23,51
Min	1,78	6,35	4,97	7,81	5,71	3,74	9,01	7,03	4,08	8,26	
Mak	18,92	34,87	29,43	35,28	39,57	17,08	18,33	19,59	16,04	28,18	
Std. Sap	5,39	9,18	8,85	9,07	11,04	4,90	3,96	4,80	4,20	6,44	
Ort.	8,23	19,14	19,07	19,34	17,11	9,52	15,48	12,95	9,71	17,56	
Med.	7,06	18,43	19,72	18,74	14,47	10,61	17,71	13,48	10,70	18,83	



Şekil 4.81. Sedimentte belirlenen As konsantrasyonu

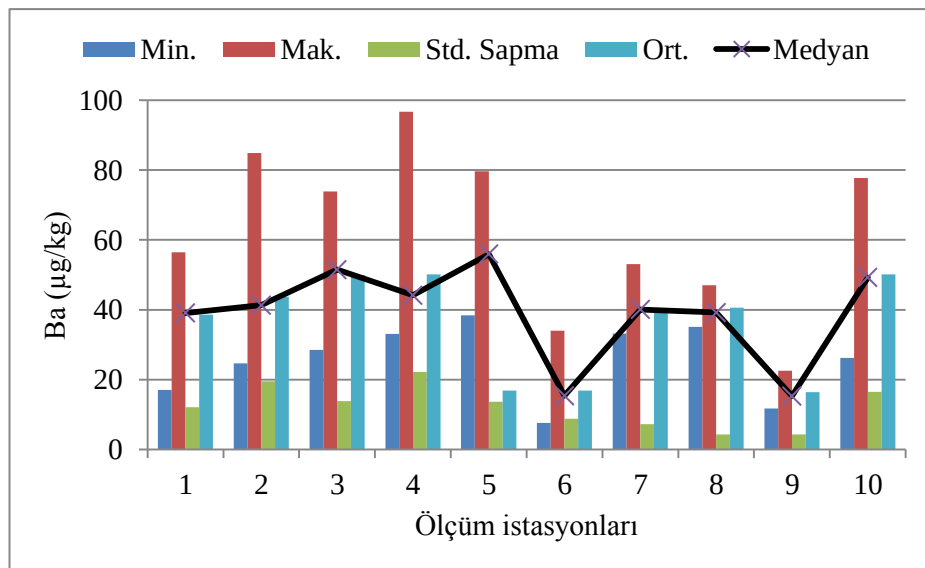
İstasyonlarda belirlenen arsenik konsantrasyonları Şekil 4.81.'de verilmiştir. Şekil 4.81.'de görüldüğü gibi en yüksek As kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 64,06 µg/kg konsantrasyonla 4 ve 62,79 µg/kg konsantrasyonla 3. istasyonlardır. 4. istasyonu ise gölün orta kısmında yer almakta ve diğer sediment örneklerine göre silt ve organik madde muhtevası yüksek olan bir istasyondur. As sedimentte organik maddeye bağlı bulunan antropojenik kaynaklı kirleticidir (Dou ve ark., 2013). Bu nedenle 4. istasyon gölde ağır metal birikiminin görüldüğü istasyondur. 3. istasyonda ise As kirliliğinin trafik kaynaklı fosil yakıt tüketimine bağlı olduğu belirlenmiştir. Ölçüm istasyonlarında ortalama As konsantrasyonları 19,51 µg/kg ile 34,21 µg/kg arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 4 ve 3. istasyonlarda gözlemlenmiştir.

Tablo 4.53.'te ölçüm süresi içerisinde As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, özellikle 2017 bahar döneminde yükseldiği tespit edilmiştir. Yağış verilerine bakıldığında, 2017 bahar döneminde aylık yağış ortalamaları diğer ölçüm dönemlerine göre artış göstermiştir. Bulk atmosferik birikim örneklerinin As konsantrasyonları incelendiğinde 2017 bahar döneminde yükselme görülmektedir.

Tablo 4.53. Sedimentte As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	6,63	6,31	4,44	11,46	6,08	16,86	4,19	11,51	8,26	7,63	8,34
K 16	3,94	6,31	4,44	11,46	6,08	16,86	4,19	11,51	8,26	7,63	8,07
İB 16	29,30	26,25	43,40	37,80	25,85	28,57	24,94	31,88	22,98	34,70	30,57
Y 16	41,13	36,17	39,40	38,20	29,78	40,09	30,16	45,26	31,41	43,40	37,50
SB 16	40,74	35,41	44,45	32,07	34,58	18,14	27,62	32,60	22,51	40,10	32,82
K 17	26,53	30,41	39,48	37,33	27,19	31,32	22,68	35,68	19,68	40,46	31,07
İB 17	31,54	56,13	62,79	64,06	45,74	26,03	24,02	48,50	25,42	54,89	43,91
Min	3,94	6,31	4,44	11,46	6,08	16,86	4,19	11,51	8,26	7,63	
Mak	41,13	56,13	62,79	64,06	45,74	40,09	30,16	48,50	31,41	54,89	
Std. Sap	15,00	17,62	21,73	18,08	14,53	8,76	10,87	14,69	8,66	18,18	
Ort.	25,69	28,14	34,06	33,20	25,04	25,41	19,68	30,99	19,79	32,69	
Med.	29,30	30,41	39,48	37,33	27,19	26,03	24,02	32,60	22,51	40,10	

Şekil 4.82.'de istasyon bazında Ba konsantrasyonunun değişimi verilmiştir. En yüksek Ba kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 96,68 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla 4 ve 84,93 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla 2. istasyonlardır. S2 istasyonu gölün güney bölgesinde yer alan gölün E-80 otoyoluna ve yan yollara yakın bir bölgesinde yer almaktadır. Ba konsantrasyonunun yüksek olduğu istasyonlar göz önüne alındığında, Ba kirliliği trafikten kaynaklanmaktadır (Zhong ve ark., 2012). Ölçüm istasyonlarında ortalama Ba konsantrasyonları 16,42 $\mu\text{g/kg}$ ile 50,14 $\mu\text{g/kg}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 9 ve 10. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Tablo 4.54.'te Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, özellikle 2017 bahar döneminde yükselme gözlenmiştir.

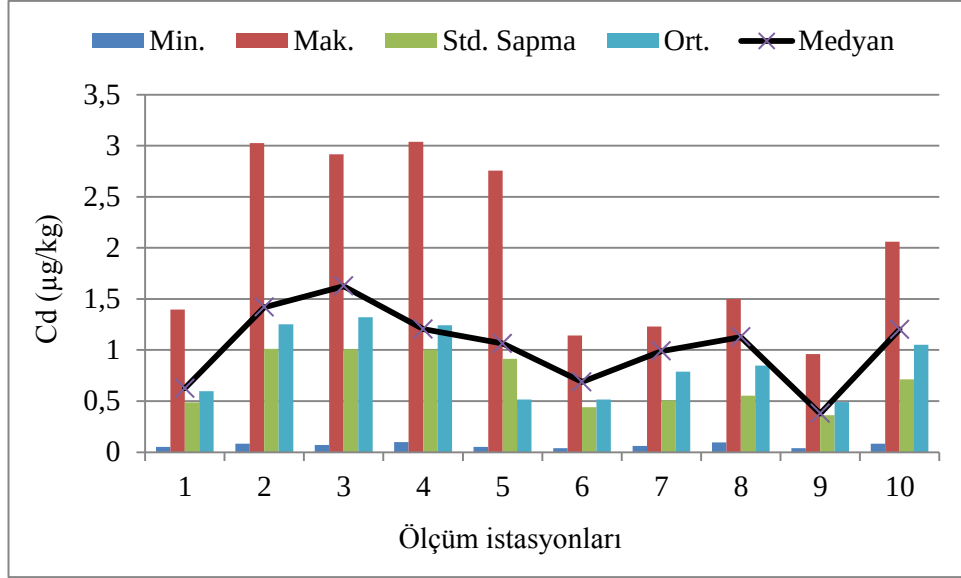


Şekil 4.82. Sedimentte belirlenen Ba konsantrasyonu

Tablo 4.54. Sedimentte Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	35,01	38,19	43,84	44,15	43,26	15,38	33,15	44,17	16,37	26,20	33,97
K 16	17,03	24,64	28,52	33,13	38,37	7,61	41,90	39,22	12,42	62,48	30,53
İB 16	34,17	30,54	44,08	48,16	59,59	14,58	33,62	38,05	14,77	49,23	36,68
Y 16	43,78	41,33	51,49	39,27	55,92	19,06	44,78	43,44	21,89	42,94	40,39
SB 16	56,44	41,31	51,73	33,13	53,71	8,70	34,43	35,11	11,70	40,45	36,67
K 17	44,87	45,26	55,94	56,27	64,39	34,04	40,08	37,48	15,30	51,99	44,56
İB 17	39,08	84,93	73,89	96,68	79,67	18,42	53,12	46,98	22,51	77,73	59,30
Min	17,03	24,64	28,52	33,13	38,37	7,61	33,15	35,11	11,70	26,20	
Mak	56,44	84,93	73,89	96,68	79,67	34,04	53,12	46,98	22,51	77,73	
Std. Sap	12,13	19,49	13,82	22,14	13,66	8,77	7,27	4,28	4,27	16,52	
Ort.	38,63	43,74	49,93	50,11	56,42	16,83	40,15	40,64	16,42	50,14	
Med.	39,08	41,31	51,49	44,15	55,92	15,38	40,08	39,22	15,30	49,23	

İstasyonlarda belirlenen kadmiyum konsantrasyonları Şekil 4.83.'te verilmiştir. Şekil 4.83.'te görüldüğü gibi en yüksek Cd kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 3,04 µg/kg konsantrasyonla 4 ve 3,03 µg/kg konsantrasyonla 2 istasyonlardır. 4. istasyon ise gölün orta kısmında yer alan ve diğer sediment örneklerine göre silt ve organik madde muhtevası yüksek olan bir istasyondur. Cd, su kütlesinde meydana gelen tabakalaşma ile ilişkilidir (Hakima ve ark., 2017). 4. sediment örneğinde Cd kirliliğinin yüksek olmasının nedeni Cd metalinin sediment yapısına bağlanmasıdır. Cd kirliliği, endüstri, yerleşim alanı ve trafikten kaynaklanmaktadır. Özellikle, kömür tüketimi ve metal işleme endüstrisi en önemli kaynaklarıdır (Nehme ve ark., 2014; Li ve ark., 2017). Ölçüm istasyonlarında ortalama Cd konsantrasyonları 0,49 µg/kg ile 1,32 µg/kg arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 9 ve 3. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Tablo 4.55.'te görüldüğü üzere Cd konsantrasyonu mevsimsel değişimi incelenmek istendiğinde, özellikle 2017 yılı bahar döneminde yükselme gözlemlenmiştir.

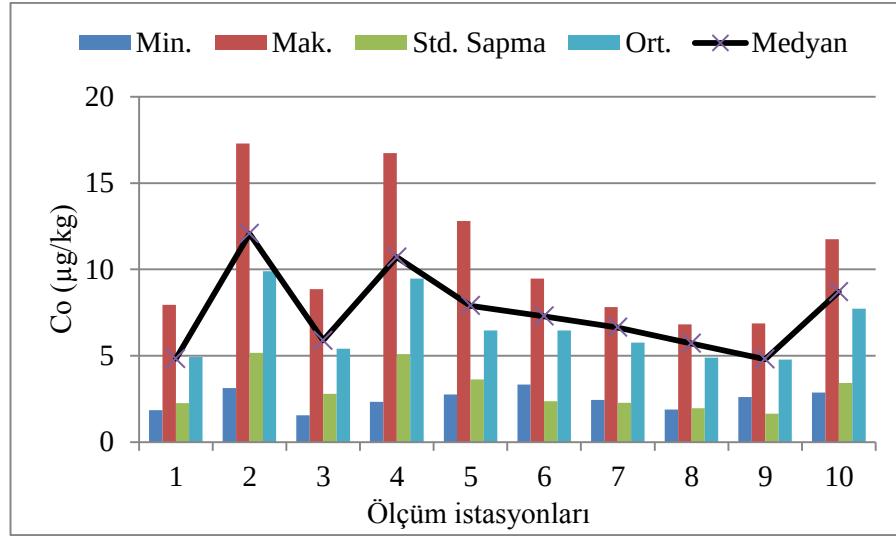


Şekil 4.83. Sedimentte belirlenen Cd konsantrasyonu

Tablo 4.55. Sedimentte Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama
SB 15	0,05	0,09	0,09	0,13	0,13	0,12	0,06	0,10	0,10	0,08	0,10
K 16	0,09	0,08	0,07	0,10	0,05	0,06	0,08	0,09	0,04	0,12	0,08
İB 16	0,31	1,02	1,12	1,10	0,69	0,69	0,84	1,14	0,38	1,17	0,84
Y 16	0,62	1,54	1,80	1,40	1,06	0,69	1,16	1,13	0,85	1,35	1,16
SB 16	1,40	1,42	1,64	1,20	1,29	0,04	0,99	0,79	0,37	1,20	1,03
K 17	0,86	1,58	1,63	1,72	1,29	1,14	1,23	1,19	0,73	1,37	1,27
İB 17	0,86	3,03	2,92	3,04	2,76	0,86	1,17	1,50	0,96	2,06	1,92
Min	0,05	0,08	0,07	0,10	0,05	0,04	0,06	0,09	0,04	0,08	
Mak	1,40	3,03	2,92	3,04	2,76	1,14	1,23	1,50	0,96	2,06	
Std. Sap	0,49	1,01	1,01	1,00	0,91	0,44	0,51	0,55	0,36	0,71	
Ortalama	0,60	1,25	1,32	1,24	1,04	0,52	0,79	0,85	0,49	1,05	
Medyan	0,62	1,42	1,63	1,20	1,06	0,69	0,99	1,13	0,38	1,20	

İstasyonlarda belirlenen kobalt konsantrasyonları Şekil 4.84.'te verilmiştir. Şekil 4.84.'te görüldüğü gibi en yüksek Co kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 17,29 µg/kg konsantrasyonla 2 ve 16,74 µg/kg konsantrasyonla 4. istasyonlardır. Co, doğal toprak ayrışması ve fosil yakıt tüketimi kaynaklıdır. Sedimentte Co kirliliği toprak yapısından ve trafikten kaynaklanmaktadır (Hoff ve ark., 1996; Huang ve ark., 2014). Ölçüm istasyonlarında ortalama Co konsantrasyonları 4,78 µg/kg ile 9,90 µg/kg arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 9 ve 2. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Tablo 4.56.'da Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi verilmiş ve özellikle 2017 bahar döneminde yükseldiği tespit edilmiştir.

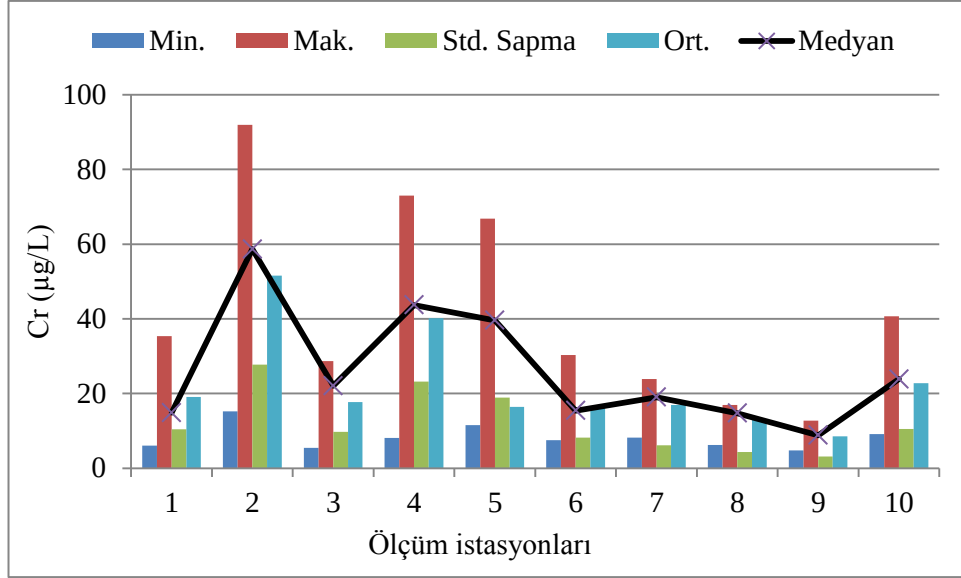


Şekil 4.84. Sedimentte belirlenen Co konsantrasyonu

Tablo 4.56. Sedimentte Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort
SB 15	2,53	3,28	2,12	3,29	2,75	5,12	2,74	2,31	2,96	3,15	3,03
K 16	1,86	3,14	1,56	2,33	3,24	3,33	2,44	1,89	2,61	2,88	2,53
İB 16	5,33	9,05	4,95	9,72	7,80	7,32	5,82	6,31	4,53	8,02	6,88
Y 16	4,60	12,17	8,86	10,86	7,90	9,46	7,83	6,82	6,75	10,28	8,55
SB 16	7,95	12,07	5,89	10,71	9,44	3,94	6,64	5,71	4,81	9,34	7,65
K 17	4,83	12,33	6,21	12,60	10,01	8,80	7,39	5,76	4,96	8,71	8,16
İB 17	7,36	17,29	8,31	16,74	12,81	7,29	7,55	5,41	6,87	11,74	10,14
Min	1,86	3,14	1,56	2,33	2,75	3,33	2,44	1,89	2,61	2,88	
Mak	7,95	17,29	8,86	16,74	12,81	9,46	7,83	6,82	6,87	11,74	
Std. Sap	2,25	5,17	2,80	5,09	3,63	2,37	2,28	1,96	1,65	3,43	
Ort.	4,92	9,90	5,41	9,46	7,71	6,47	5,77	4,89	4,78	7,73	
Med.	4,83	12,07	5,89	10,71	7,90	7,29	6,64	5,71	4,81	8,71	

İstasyonlarda belirlenen krom konsantrasyonları Şekil 4.85.'te verilmiştir. Şekil 4.85.'te görüldüğü gibi en yüksek Cr kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 91,96 µg/kg konsantrasyonla 2 ve 72,99 µg/kg konsantrasyonla 4. istasyonlardır. Su ve sediment ortamında ağır metaller doğal ve antropojenik kaynaklı kirliliğe neden olmaktadır. Cr, endüstri ve yerleşim alanlarından kaynaklanabilmektedir. Ancak, esas olarak, Cr doğal toprak kayması ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Li ve ark., 2013; Li ve ark., 2017). Ölçüm istasyonlarında ortalama Cr konsantrasyonları 8,54 µg/kg ile 51,56 µg/kg arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 9 ve 2. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Tablo 4.57.'de Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, 2017 bahar döneminde yükselme gözlemlenmiştir.

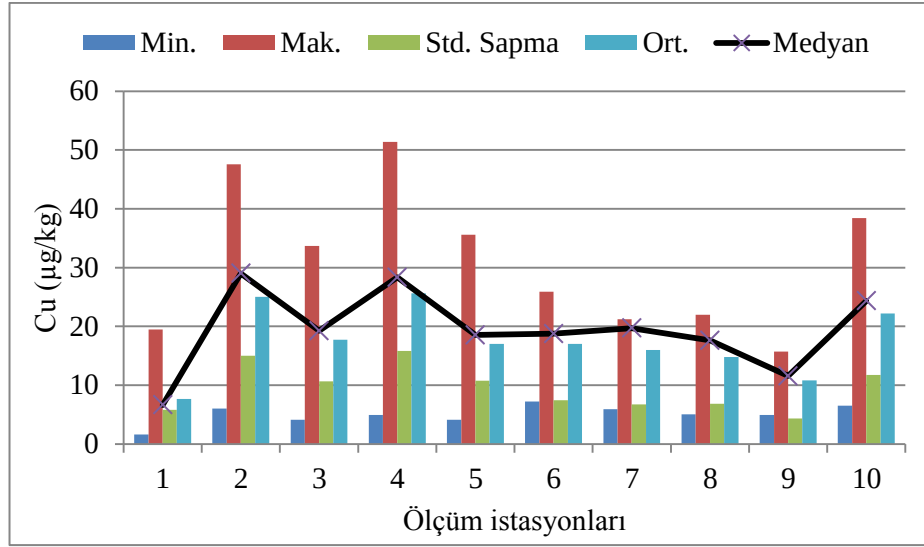


Şekil 4.85. Sedimentte belirlenen Cr konsantrasyonu

Tablo 4.57. Sedimentte Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	10,30	18,12	7,71	13,84	13,22	7,50	8,20	7,56	4,80	9,10	10,03
K 16	6,05	15,24	5,42	8,12	11,55	8,76	8,90	6,23	4,83	11,25	8,64
İB 16	14,77	45,24	9,97	35,19	28,72	20,12	16,49	16,22	7,68	23,87	21,83
Y 16	14,87	61,51	28,63	43,68	39,59	15,42	21,38	16,91	12,71	24,06	27,88
SB 16	35,37	58,67	22,07	50,21	39,96	11,20	20,59	14,04	8,91	23,56	28,46
K 17	25,09	70,21	22,32	57,26	39,62	30,27	23,85	14,72	8,81	26,69	31,89
İB 17	27,34	91,96	27,67	72,99	66,86	21,74	19,01	15,82	12,07	40,66	39,61
Min	6,05	15,24	5,42	8,12	11,55	7,50	8,20	6,23	4,80	9,10	
Mak	35,37	91,96	28,63	72,99	66,86	30,27	23,85	16,91	12,71	40,66	
Std. Sap	10,43	27,71	9,74	23,19	18,89	8,17	6,14	4,34	3,12	10,48	
Ort.	19,11	51,56	17,69	40,19	34,22	16,43	16,92	13,07	8,54	22,74	
Med.	14,87	58,67	22,07	43,68	39,59	15,42	19,01	14,72	8,81	23,87	

İstasyonlarda belirlenen bakır konsantrasyonları Şekil 4.86.'da verilmiştir. Şekil 4.86.'da görüldüğü gibi en yüksek Cu kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 51,39 µg/kg konsantrasyonla 4 ve 47,58 µg/kg konsantrasyonla 2. istasyonlardır. Yaşam için temel elementlerden biri olan Cu, endüstriden, kanalizasyondan, tarımsal faaliyetlerden ve toprak ayrışmasından kaynaklanmaktadır (Dou ve ark., 2013; Li ve ark., 2013; Li ve ark.,2017). Ölçüm istasyonlarında ortalama Cu konsantrasyonları 7,69 µg/kg ile 25,61 µg/kg arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla S1 ve S4 istasyonlarında gözlemlenmiştir. Tablo 4.58.'de Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, 2017 ilkbahar döneminde yükselme gözlemlenmiştir.



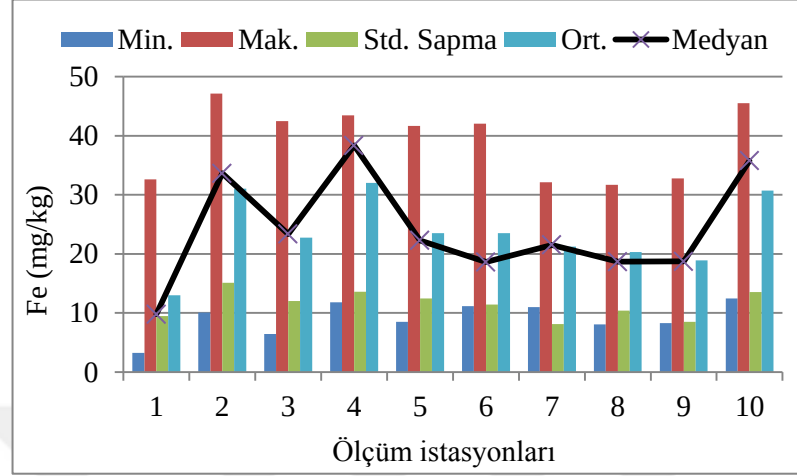
Şekil 4.86. Sedimentte belirlenen Cu konsantrasyonu

Tablo 4.58. Sedimentte Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	3,00	6,05	4,13	6,83	5,61	9,87	6,64	5,06	5,30	6,54	5,90
K 16	1,60	6,06	4,33	4,94	4,12	7,21	5,94	5,31	4,93	6,59	5,10
İB 16	6,65	22,00	17,75	26,90	13,68	18,76	17,59	18,71	10,64	24,32	17,70
Y 16	8,12	31,88	24,99	28,34	18,53	25,13	20,63	22,00	15,65	29,17	22,44
SB 16	19,49	32,43	20,00	28,80	22,94	11,86	21,22	17,62	11,77	26,03	21,22
K 17	6,45	29,02	19,24	32,06	18,73	25,92	20,31	15,47	11,57	24,31	20,31
İB 17	8,50	47,58	33,68	51,39	35,59	20,47	19,71	19,37	15,71	38,43	29,04
Min	1,60	6,05	4,13	4,94	4,12	7,21	5,94	5,06	4,93	6,54	
Mak	19,49	32,43	24,99	32,06	22,94	25,92	21,22	22,00	15,65	29,17	
Std. Sap	5,80	15,03	10,64	15,84	10,74	7,46	6,74	6,85	4,36	11,72	
Ort.	7,69	25,01	17,73	25,61	17,03	17,03	16,01	14,79	10,79	22,20	
Med.	6,65	29,02	19,24	28,34	18,53	18,76	19,71	17,62	11,57	24,32	

İstasyonlarda belirlenen demir konsantrasyonları Şekil 4.87.'de verilmiştir. Şekil 4.87.'de görüldüğü gibi en yüksek Fe kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 47,44 mg/kg konsantrasyonla 2 ve 45,5 mg/L konsantrasyonla 10. istasyonlardır. Fe jeojenik (toprak kökenli) kaynaklı metal olmakla birlikte trafik kaynaklı emisyonlardan da kaynaklanmaktadır (Weerasundara ve ark., 2017). 2 ve 5. istasyonlar karayollarına yakın konumda olup sediment yapıları ince tanelidir. İnce taneli sediment yapısında metaller sedimente bağlanmaktadır (Dou ve ark., 2013). Ölçüm istasyonlarında ortalama Fe konsantrasyonları 13,03 mg/kg ile 32,02 mg/kg arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 1 ve 4. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Tablo 4.59.'da Fe

konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, 2017 ilkbahar döneminde yükselme gözlenmiştir.



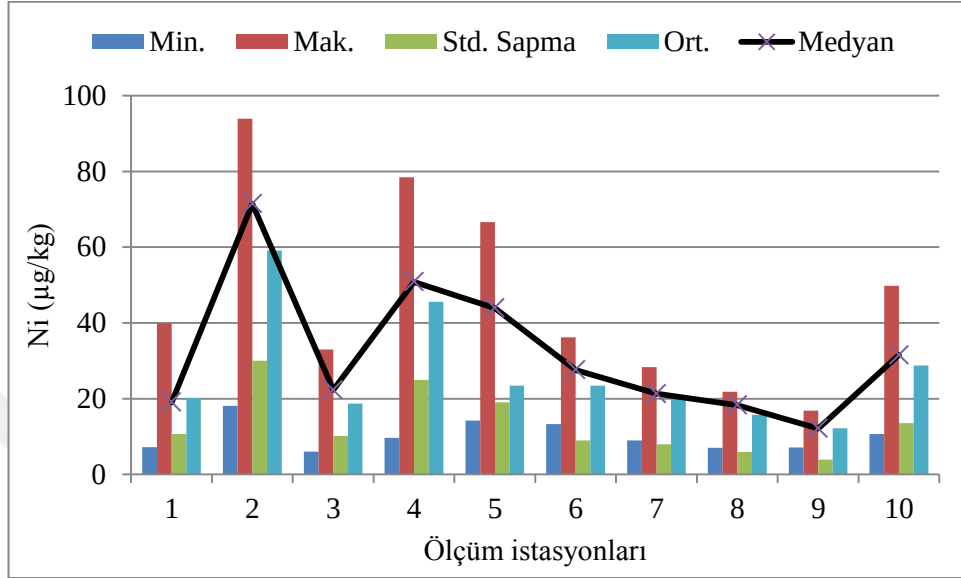
Şekil 4.87. Sedimentte belirlenen Fe konsantrasyonu

Tablo 4.59. Sedimentte Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/kg).

Fe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	7,43	13,22	11,98	13,83	11,94	14,25	11,75	8,05	8,86	12,45	11,38
K 16	3,28	10,08	6,47	11,79	8,49	11,19	11,02	9,42	8,29	16,75	9,68
İB 16	15,77	33,64	23,38	40,72	22,27	32,15	25,44	31,41	21,90	35,77	28,25
Y 16	9,47	45,96	42,49	43,11	24,56	42,06	32,12	29,29	32,80	45,50	34,74
SB 16	32,65	47,14	31,23	38,36	38,71	16,05	28,81	31,68	23,30	44,54	33,25
K 17	9,81	26,18	18,23	32,91	20,88	30,35	21,53	13,62	18,74	21,71	21,40
İB 17	12,80	41,07	25,72	43,46	41,68	18,63	17,90	18,67	18,33	38,23	27,65
Min	3,28	10,08	6,47	11,79	8,49	11,19	11,02	8,05	8,29	12,45	
Mak	32,65	47,14	42,49	43,46	41,68	42,06	32,12	31,68	32,80	45,50	
Std. Sap	9,50	15,11	12,06	13,61	12,44	11,42	8,16	10,40	8,52	13,55	
Ort.	13,03	31,04	22,79	32,03	24,07	23,53	21,22	20,31	18,89	30,71	
Med.	9,81	33,64	23,38	38,36	22,27	18,63	21,53	18,67	18,74	35,77	

İstasyonlarda belirlenen nikel konsantrasyonları Şekil 4.88.'de verilmiştir. Şekil 4.88.'de görüldüğü gibi en yüksek Ni kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 93,95 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla 2 ve 74,48 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla 4. istasyonlardır. Ni, toprak ve kaya ayrışması ile sediment yapısına geçebilmektedir. Ayrıca endüstri, yerleşim alanı ve galvanizleme tesislerinden kaynaklanmaktadır (Huang ve ark., 2014; Li ve ark., 2017). 2 ve 4. istasyonların konumları dikkate alındığında yerleşim alanı ve toprak yapısından kaynaklandığı belirlenmiştir. Ölçüm istasyonlarında ortalama Ni konsantrasyonları 12,17 $\mu\text{g/kg}$ ile 59,13 $\mu\text{g/kg}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 9 ve 2. istasyonlarda gözlemlenmiştir.

Tablo 4.60.'da Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, 2017 bahar döneminde yükselme gözlenmiştir. Bulk atmosferik birikim örneklerinde de Ni konsantrasyonunun artışı 2017 bahar döneminde olmuştur.



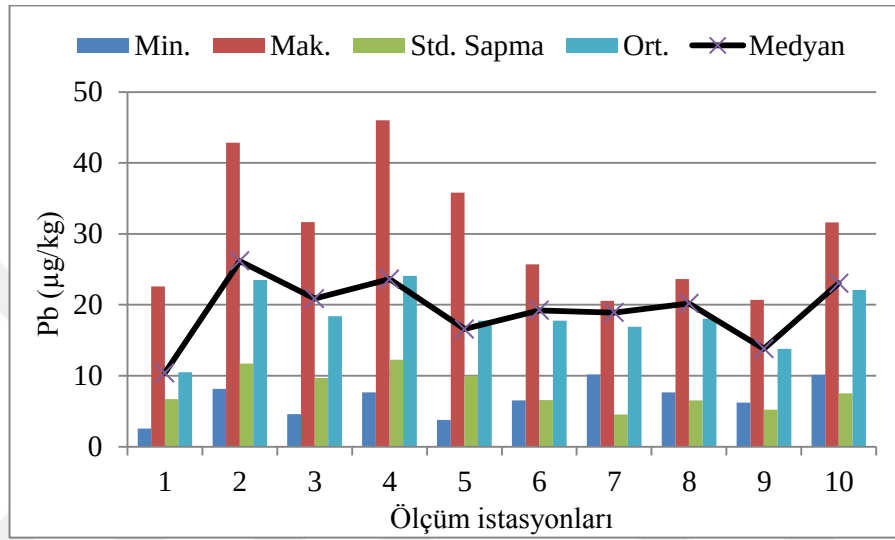
Şekil 4.88. Sedimentte belirlenen Ni konsantrasyonu

Tablo 4.60. Sedimentte Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	11,05	18,61	7,59	15,13	14,24	14,21	9,66	7,33	7,30	10,64	11,58
K 16	7,22	18,09	6,01	9,65	14,88	13,29	8,99	7,06	7,10	12,07	10,44
İB 16	19,05	57,46	12,45	46,58	38,28	29,11	20,63	18,68	12,08	31,50	28,58
Y 16	18,46	72,15	32,97	50,84	43,92	27,60	26,83	21,83	16,80	33,06	34,45
SB 16	39,92	71,44	23,08	54,83	49,01	15,60	25,85	18,29	13,54	30,92	34,25
K 17	19,30	82,21	22,31	63,26	48,55	36,17	28,33	18,02	12,13	33,52	36,38
İB 17	25,77	93,95	26,41	78,48	66,61	28,15	21,30	18,98	16,25	49,82	42,57
Min	7,22	18,09	6,01	9,65	14,24	13,29	8,99	7,06	7,10	10,64	
Mak	39,92	93,95	32,97	78,48	66,61	36,17	28,33	21,83	16,80	49,82	
Std. Sap	10,62	29,98	10,16	24,92	19,03	8,97	7,96	5,97	3,86	13,56	
Ort.	20,11	59,13	18,69	45,54	39,36	23,45	20,23	15,74	12,17	28,79	
Med.	19,05	71,44	22,31	50,84	43,92	27,60	21,30	18,29	12,13	31,50	

İstasyonlarda belirlenen kurşun konsantrasyonları Şekil 4.89.'da verilmiştir. Şekil 4.89.'da görüldüğü gibi en yüksek Pb kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 46,02 µg/kg konsantrasyonla 4 ve 42,87 µg/kg konsantrasyonla 2 istasyonlardır. Pb oluşumu çoğunlukla antropojenik faaliyetlere bağlı yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır (Huang ve ark., 2014). 2. istasyonda Pb kirliliği trafikten kaynaklı yakıt tüketimine bağlıdır. 4. istasyonun sediment yapısı ince taneli yapıya sahip olduğundan Pb

birikimi gözlenmiştir. Pb ile ince taneli sediment yapısı arasında bir bağ olduğu yapılan araştırmalarda da belirtilmiştir (Abraham ve Parker, 2008; Dou ve ark., 2013). Ölçüm istasyonlarında ortalama Pb konsantrasyonları 10,50 $\mu\text{g/kg}$ ile 24,08 $\mu\text{g/kg}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 1 ve 4. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Tablo 4.61.'de Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2017 bahar döneminde yükselme gözlenmiştir.



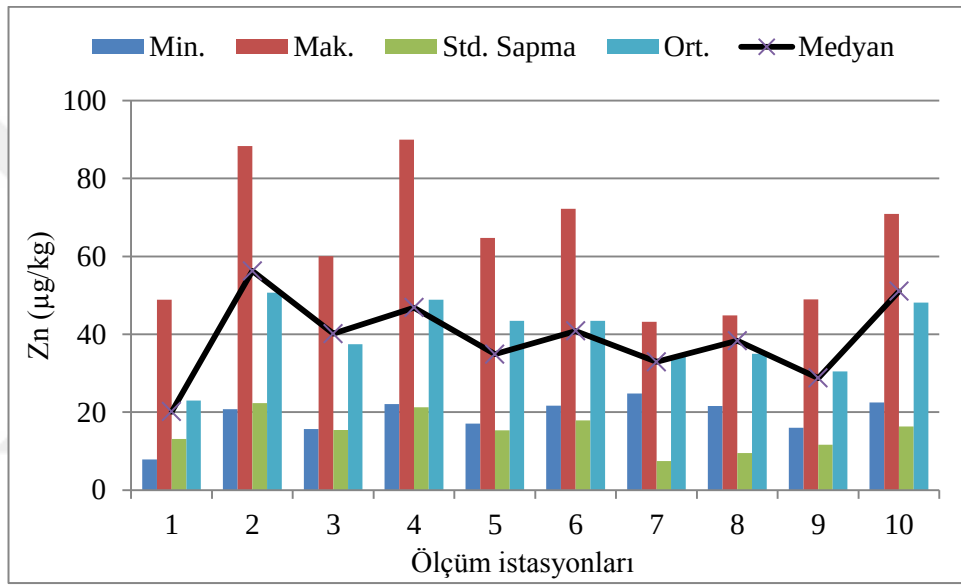
Şekil 4.89. Sedimentte belirlenen Pb konsantrasyonu

Tablo 4.61. Sedimentte Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	3,15	10,36	7,59	12,95	11,33	12,97	10,43	9,92	8,14	10,13	9,70
K 16	2,56	8,16	4,59	7,66	3,78	6,53	10,17	7,66	6,21	14,33	7,17
İB 16	10,18	21,94	16,25	23,61	13,00	19,23	18,91	23,16	15,14	22,56	18,40
Y 16	13,41	28,18	25,56	26,91	19,11	23,93	20,55	23,64	20,71	28,28	23,03
SB 16	22,58	26,65	22,30	23,01	21,26	16,03	19,92	19,60	13,81	24,68	20,98
K 17	10,41	26,17	20,87	28,40	16,59	25,70	19,64	20,20	13,75	23,04	20,48
İB 17	11,20	42,87	31,68	46,02	35,82	19,92	18,66	22,12	18,78	31,62	27,87
Min	2,56	8,16	4,59	7,66	3,78	6,53	10,17	7,66	6,21	10,13	
Mak	22,58	42,87	31,68	46,02	35,82	25,70	20,55	23,64	20,71	31,62	
Std. Sap	6,73	11,72	9,67	12,27	10,00	6,58	4,55	6,52	5,23	7,53	
Ort.	10,50	23,48	18,41	24,08	17,27	17,76	16,90	18,04	13,79	22,09	
Med.	10,41	26,17	20,87	23,61	16,59	19,23	18,91	20,20	13,81	23,04	

İstasyonlarda belirlenen çinko konsantrasyonları Şekil 4.90.'da verilmiştir. Şekil 4.90.'da görüldüğü gibi en yüksek Zn kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 89,93 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla 4 ve 88,34 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla 2. istasyonlardır. Zn, Cu gibi

metaller tüm su ve sediment ortamlarında sucül yaşam için temel mikronutrienttir (Huang ve ark., 2013). Zn kirliliği metal endüstrisi ve yerleşim alanlarından kaynaklanmaktadır (Nemati ve ark., 2011; Li ve ark., 2017). Ayrıca ince taneli sediment yapısı ile Zn birikimi arasında bağ bulunmaktadır (Abraham ve Parker, 2008; Dou ve ark., 2013). Ölçüm istasyonlarında ortalama Zn konsantrasyonları 22,94 $\mu\text{g/kg}$ ile 50,68 $\mu\text{g/kg}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla 1 ve 2. istasyonlarda gözlemlenmiştir. Tablo 4.62.'de Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2017 ilkbahar döneminde yükselme gözlenmiştir.



Şekil 4.90. Sedimentte belirlenen Zn konsantrasyonu

Tablo 4.62. Sedimentte Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ort.
SB 15	14,12	29,92	25,32	33,00	32,02	30,86	24,74	21,98	17,59	22,44	25,20
K 16	7,89	20,76	15,68	22,05	17,02	21,69	25,97	21,61	15,97	33,75	20,24
İB 16	20,10	42,24	27,31	45,73	25,26	72,18	32,91	44,85	27,95	44,25	38,28
Y 16	18,99	60,41	49,35	48,99	36,19	55,15	40,94	42,98	48,91	60,06	46,20
SB 16	48,85	56,87	44,07	46,85	46,10	29,12	43,22	39,63	37,67	54,63	44,70
K 17	22,12	56,25	40,15	55,78	34,86	54,40	40,52	35,66	28,74	51,01	41,95
İB 17	28,51	88,34	60,07	89,93	64,70	40,84	32,15	38,32	36,10	70,89	54,99
Min	7,89	20,76	15,68	22,05	17,02	21,69	24,74	21,61	15,97	22,44	
Mak	48,85	88,34	60,07	89,93	64,70	72,18	43,22	44,85	48,91	70,89	
Std. Sap	13,11	22,29	15,43	21,29	15,36	17,92	7,41	9,51	11,61	16,29	
Ort.	22,94	50,68	37,42	48,90	36,59	43,46	34,35	35,00	30,42	48,15	
Med.	20,10	56,25	40,15	46,85	34,86	40,84	32,91	38,32	28,74	51,01	

Ağır metallerin mevsimsel değişimleri incelendiğinde, tüm ağır metal konsantrasyonlarının 2017 ilkbahar döneminde en yüksek seviyeye ulaştığı görülmüştür. Sapanca bölgesine ait yağış verilerine bakıldığında, 2017 bahar döneminde aylık yağış ortalamaları diğer ölçüm dönemlerine göre artış göstermiştir. Ölçümler bu dönem sonrasına denk geldiğinden yağışlara bağlı olarak göl sedimentinde ağır metal birikimi yükselmiştir. Bununla birlikte, Sapanca gölünde meydana gelen ilkbahar karışımı (sirkülasyon) nedeniyle suda bulunan ağır metallerin ortamın fiziko-kimyasal durumuna bağlı olarak sediment yapıya geçişi gerçekleşmiştir. Genel olarak, sedimentte ağır metal artışının nedeni bahar yağmurlarının yağmaya başlamasıyla bölgeden gelen kirleticilerin göle ulaşmasıdır. Sedimentte ağır metallerin mevsimsel değişiminin incelendiği farklı çalışmalarda da özellikle ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde yağışlı dönemlerin olması sedimentte ağır metal konsantrasyonunun artırdığı belirlenmiştir. Kovada gölünde yapılan çalışmada Cd, Cr, Ni ve Pb konsantrasyonu ilkbahar döneminde yüksek seviyede tespit edilmiştir (Sancer ve Tekin Özan, 2016). Irak'ta yapılan bir çalışmada ise ağır metal konsantrasyonları sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde artış göstermiştir (Al-Saadi ve ark., 2002). Gana'da Taho nehrinde sedimentte ağır metal konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelenmiş ve As, Cr, Cu, Hg, Pb ve Zn metallerinin yağışlı dönemlerde yüksek konsantrasyonlara ulaştığı tespit edilmiştir (Nyantakyi ve ark., 2019). Bangladeş'te muson yağmurları öncesi ve sonrası ağır metallerin sedimentte birikimi değerlendirilmiş ve yağmur sonrası ağır metal konsantrasyonlarının artış gösterdiği belirtilmiştir (Bhuyan ve Bakar, 2017).

4.2.2.1. Ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonlarının incelenmesi

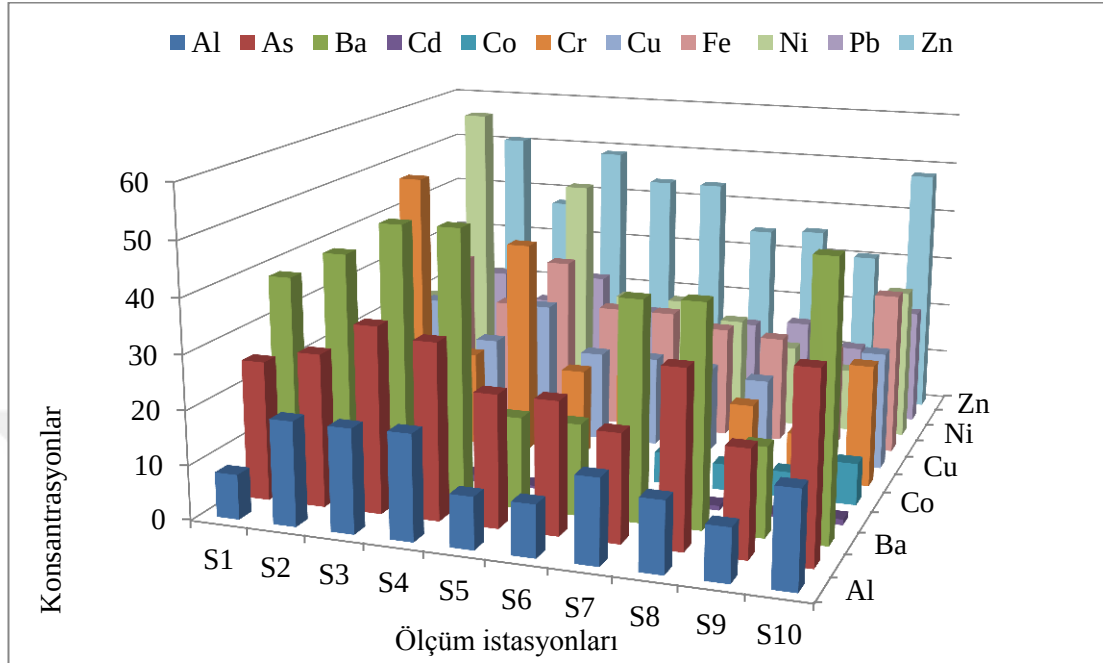
Ölçüm istasyonlarına göre mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları Şekil 4.91.'de verilmiştir.

- Alüminyum kirliliği en yüksek 4. istasyonda 19,34 mg/kg ve 2. istasyonda 19,14 mg/kg;
- Arsenik kirliliği en yüksek 3 ve 10 istasyonlarda 34,21 µg/kg ve S4 istasyonunda 32,37 µg/kg;

- Baryum kirliliği en yüksek 10. istasyonda 50,14 $\mu\text{g/kg}$ ve 4. istasyonda 50,11 $\mu\text{g/kg}$;
- Kadmiyum kirliliği en yüksek 3. istasyonda 1,32 $\mu\text{g/kg}$ ve 2. istasyonda 1,25 $\mu\text{g/kg}$;
- Kobalt kirliliği en yüksek 2. istasyonda 9,90 $\mu\text{g/kg}$ ve 4 istasyonda 9,46 $\mu\text{g/kg}$;
- Krom kirliliği en yüksek 2. istasyonda 51,56 $\mu\text{g/kg}$ ve 4. istasyonda 40,19 $\mu\text{g/kg}$;
- Bakır kirliliği en yüksek 4. istasyonda 25,61 $\mu\text{g/kg}$ ve 2. istasyonda 25,01 $\mu\text{g/kg}$;
- Demir kirliliği en yüksek 4. istasyonda 32,03 mg/kg ve 2. istasyonda 31,04 mg/L ;
- Nikel kirliliği en yüksek 2. istasyonda 59,13 $\mu\text{g/kg}$ ve 4. istasyonda 45,14 $\mu\text{g/kg}$;
- Kurşun kirliliği en yüksek 4. istasyonda 24,08 $\mu\text{g/kg}$ ve 2. istasyonda 23,48 $\mu\text{g/kg}$;
- Çinko kirliliği en yüksek 2. istasyonda 50,68 $\mu\text{g/kg}$ ve 4. istasyonda 48,90 $\mu\text{g/kg}$ olarak bulunmuştur.

Ağır metallerin konsantrasyonları incelendiğinde, Al, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn metalleri 4 ve 2. istasyonlarda diğer istasyonlara göre yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. İstasyonların Sapanca gölündeki konumları Materyal-metot bölümünde Şekil 3.9.'da verilmiştir. 2. istasyon gölün E-80 otoyolu, demiryolu ve yan yollara yakın bir bölgesinde bulunmaktadır. 4. istasyon ise gölün orta kısmında yer almaktadır. Bu istasyonlardan alınan sediment örneklerinin yapısı incelendiğinde 4. sediment örneği %80 siltten, 2. sediment örneği ise %54 siltten oluşmaktadır. 4. sediment örneğinde kum tespit edilmemiş olup, 2. sediment örneğinde %37 kil ve geri kalanı kumdan oluşmaktadır. Sediment yapısının ince tanelerden oluşması ve organik madde içeriğinin yüksek olması ağır metal birikimini artırmaktadır (Çevik ve ark., 2009). 2 ve 4. sediment örnekleri incelendiğinde diğer sediment örneklerine göre daha yüksek organik madde ihtiva etmekte olup çok ince taneli yapıya sahiptirler. Bu nedenle iki istasyonda ağır metal birikiminin yüksek

olmasının 4. istasyon için sediment yapısından kaynaklandığı ve 2. istasyon için hem sediment yapısından hem de karayolundan kaynaklandığı ortaya konmuştur.



Şekil 4.91. Sedimentte ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonları (Al, Fe için mg/kg, $\mu\text{g/kg}$).

4.2.2.2. Sedimentte fiziko-kimyasal parametreler ile ağır metallerin korelasyon analizi

Kirleticiler arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla Pearson korelasyon matrisi yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.63.'te verilmiştir. Sediment örneklerinde iletkenlik ile tuzluluk arasında kuvvetli anlamlılık bulunmaktadır. pH ve ORP arasında kuvvetli negatif bir korelasyon bulunmaktadır. pH ile ağır metaller (Al, As, Cd, Co, Cu, Pb ve Zn) arasında 0,05 seviyesinden daha yüksek negatif ilişki belirlenmiştir. ORP ile As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn arasında 0,05 seviyesinden daha yüksek anlamlılık seviyesinde bir korelasyon bulunmaktadır. Al ile ağır metaller (Fe hariç) arasında anlamlı bir ilişki belirlenmiştir. As ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde, As- Cd (0,893), As- Cu (0,850), As-Pb (0,875) seviyelerinde anlamlılık bulunmuştur. Ba ile Cd (0,729) ve Pb ile Zn (0,943) arasında güçlü anlamlılık bulunmuştur. Cd metali ile Co, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn metalleri arasında anlamlılık seviyesi yüksek korelasyonlar tespit edilmiştir. Aralarında anlamlı ilişkiler

bulunan ağır metallerin aynı kirletici kaynaktan geldiği düşünülmektedir. Fe ile diğer metaller arasında anlamlı bir ilişki tespit edilemediğinden Fe elementinin farklı kirletici kaynaklarından geldiği kabul edilmektedir.



Tablo 4.63. Sedimentte kirleticiler arasındaki Pearson korelasyonu

	C	SAL	pH	ORP	%OM	%OC	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
C	1																
SAL	,933**	1															
pH	-,137	-,076	1														
ORP	-,008	-,122	-,852**	1													
%OM	,362**	,297*	-,156	,014	1												
%OC	,362**	,296*	-,156	,014	1,000**	1											
Al	,231	,124	-,582**	,483**	,395**	,395**	1										
As	,103	-,032	-,666**	,643**	,323**	,323**	,788**	1									
Ba	,323**	,293*	-,425**	,263*	,363**	,363**	,753**	,608**	1								
Cd	,130	,027	-,681**	,607**	,329**	,329**	,931**	,893**	,729**	1							
Co	,095	-,013	-,669**	,640**	,291*	,291*	,834**	,784**	,577**	,865**	1						
Cr	,199	,130	-,576**	,505**	,292*	,292*	,781**	,610**	,636**	,786**	,910**	1					
Cu	,141	,040	-,657**	,580**	,355**	,355**	,900**	,850**	,603**	,917**	,950**	,832**	1				
Fe	,154	,076	-,152	,179	,171	,171	,327**	,270*	,170	,249*	,290*	,200	,326**	1			
Ni	,195	,110	-,576**	,532**	,286*	,286*	,757**	,615**	,574**	,758**	,933**	,986**	,850**	,234	1		
Pb	,115	,013	-,665**	,591**	,379**	,379**	,913**	,875**	,615**	,920**	,912**	,788**	,973**	,306*	,795**	1	
Zn	,089	,008	-,606**	,516**	,325**	,324**	,849**	,783**	,542**	,834**	,882**	,764**	,930**	,286*	,781**	,943**	1

4.2.3. Sediment ortamında ağır metal kirliliğinin kirlilik indeksleri ile değerlendirilmesi

4.2.3.1. Ağır metallerin kontaminasyon faktörleri

Ağır metallerin çevresel etkisi ve kirlilik seviyesi, kontaminasyon faktörü, zenginleştirme faktörü ve potansiyel ekolojik risk indeksi gibi çeşitli kirlilik indeksleri kullanılarak belirlenebilmektedir (Salomons ve Förstner, 1984; Dickinson ve ark., 1996). Sediment veya topraklar üzerindeki antropojenik etkilerin tahmini için, kirlilik indeksleri kullanılarak background seviyeleri dikkate alınarak ağır metal kirlilik seviyesi Denklem 4.8 ve Denklem 4.9 ile hesaplanmaktadır. Göl havzasında toksik bir maddenin kirlenmesini tanımlamak için bir kirlenme faktörü (C_f^i) kullanılır.

$$C_f^i = \frac{C_{0-1}^i}{C_n^i} \quad (4.8)$$

Denklem 4.8'de C_{0-1}^i ; en az 5 örnekleme alanından alınan i maddesinin ortalama değeri ve C_n^i ; incelenecek madde için referans değeri olarak ifade edilmektedir. Kontaminasyon şu şekilde yorumlanmaktadır: Kontaminasyon faktörü değeri $C_f^i < 1$ ise düşük kontaminasyon faktörü; $1 \leq C_f^i < 3$ ise orta derece kontaminasyon faktörü; $3 \leq C_f^i < 6$ ise önemli kontaminasyon faktörü ve $C_f^i \geq 6$ ise çok yüksek kontaminasyon faktörü

Kontaminasyon derecesi (C_d), havzanın tüm kirlilik faktörlerinin toplamı olarak tanımlanır. C_d , Hakanson'a göre sekiz kirletici türü için C_f toplamı olarak tanımlanır. C_d , bir örnekleme sahasındaki genel kontaminasyon derecesinin bir ölçüsüdür (Hakanson, 1980).

$$C_d = \sum_{i=1}^7 C_f^i = \sum_{i=1}^7 \frac{C_{0-1}^i}{C_n^i} \quad (4.9)$$

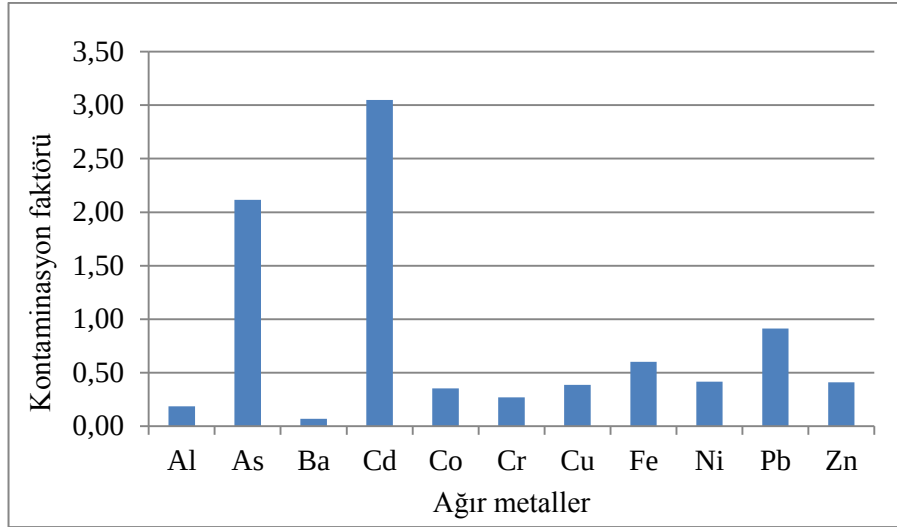
Kontaminasyon derecesi $C_d < 7$ ise düşük kontaminasyon derecesi; $7 < C_d < 14$ ise orta derecede kontaminasyon; $14 < C_d < 28$ ise önemli derecede kontaminasyon ve $C_d < 28$ ise çok yüksek derecede kontaminasyon şeklinde yorumlanmaktadır.

Kontaminasyon faktörleri Tablo 4.64. ve Şekil 4.92.'de verilmiştir. Sediment kontaminasyonu Al, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn metalleri için düşük seviyede ve As ile Cd için önemli seviyede tespit edilmiştir. Fe 10. istasyonda ve Pb 2, 4, 10. istasyonlarda orta derece kontaminasyon seviyesinde bulunmuştur.

İstasyon bazında incelendiğinde tüm metaller için 1, 6 ve 9. istasyonlarda düşük kontaminasyon ve diğer istasyonlarda orta kontaminasyon seviyelerinde bulunmuştur.

Tablo 4.64. İstasyonlara göre kontaminasyon faktörleri

Ölçüm istasyonları	C_f										C_d	
	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	
1	0,10	1,98	0,07	2,00	0,26	0,21	0,17	0,28	0,30	0,52	0,24	6,12
2	0,24	2,17	0,08	4,17	0,52	0,57	0,56	0,66	0,87	1,17	0,53	11,54
3	0,24	2,63	0,09	4,41	0,28	0,20	0,39	0,48	0,27	0,92	0,39	10,31
4	0,24	2,49	0,09	4,14	0,50	0,45	0,57	0,68	0,67	1,20	0,51	11,54
5	0,21	1,91	0,10	3,46	0,41	0,38	0,38	0,51	0,58	0,86	0,39	9,18
6	0,12	1,86	0,03	1,72	0,34	0,18	0,38	0,50	0,34	0,89	0,46	6,82
7	0,19	1,52	0,07	2,63	0,30	0,19	0,36	0,45	0,30	0,84	0,36	7,22
8	0,16	2,47	0,07	2,82	0,26	0,15	0,33	0,43	0,23	0,90	0,37	8,19
9	0,12	1,50	0,03	1,63	0,25	0,09	0,24	0,40	0,18	0,69	0,32	5,46
10	0,22	2,63	0,09	3,50	0,41	0,25	0,49	1,63	0,42	1,10	0,51	11,25
Min.	0,10	1,50	0,03	1,63	0,25	0,09	0,17	0,28	0,18	0,52	0,24	5,46
Mak.	0,24	2,63	0,10	4,41	0,52	0,57	0,57	1,63	0,87	1,20	0,53	11,54
Ort.	0,19	2,12	0,07	3,05	0,35	0,27	0,39	0,60	0,42	0,91	0,41	8,76
STD	0,05	0,43	0,02	1,04	0,10	0,15	0,13	0,38	0,22	0,21	0,09	2,32
Medyan	0,20	2,07	0,07	3,14	0,32	0,20	0,38	0,49	0,32	0,90	0,39	8,69



Şekil 4.92. Ağır metallere ait kontaminasyon faktörleri

4.2.3.2. Ağır metallerin zenginleştirme faktörleri

Zenginleştirme faktörü (EF), sediment kalitesini değerlendirmek ve farklı sediment ortamlardaki kirlenmeleri karşılaştırmak için kullanılan yaygın bir yöntemdir (Benhaddya ve ark., 2013; Pakzad ve ark., 2016). Metallere ait zenginleştirme faktörü Denklem 4.10'da verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$EF = \frac{\left(\frac{M_{\text{örnek}}}{N_{\text{örnek}}}\right)}{\left(\frac{M_{\text{referans}}}{N_{\text{referans}}}\right)} \quad (4.10)$$

Denklem 4.10'da verilen EF; zenginleştirme faktörü, $M_{\text{örnek}}$; Her bir ağır metale ait ölçülen konsantrasyonu, $N_{\text{örnek}}$; Referans alınan elementin ölçülen konsantrasyonu, M_{referans} ; Her bir ağır metale ait background konsantrasyonu, N_{referans} ; Referans alınan elementin background konsantrasyonu olarak ifade edilmektedir.

Zenginleştirme faktörü hesaplanırken incelenecek ağır metal için Fe, Al, Li, Sc ve TOC gibi referans elementler kullanılarak normalizasyon yapılmaktadır. Normalizasyonda kullanılacak element Pearson korelasyonu ile belirlenmektedir. Bu çalışmada Pearson korelasyon analizine göre, Al elementi referans elementi olarak seçilmiş ve hesaplamalarda kullanılmıştır (Hou ve ark., 2005; Akal, 2009; Mijić ve ark., 2010). EF hesaplamaları için her bir ağır metala ait referans değerleri, Turekian

ile Wedepohl ve Hakanson tarafından yapılan çalışmalarda bulunmuştur. Ağır metallerin EF değeri, bu metalin toprağın doğal yapısından veya antropojenik faaliyetlerden kaynaklandığını belirtmek için kullanılmaktadır. Sediment örneklerine ait zenginleştirme faktörleri Tablo 4.65. ve Şekil 4.93.'de verilmiştir.

Zenginleşme faktörü değerlerinin $EF < 0,5$ olduğu durumda ağır metalin yer kabuğu kaynaklı, zenginleşme faktörü değerlerinin 0,5 ile 1,5 arasında olduğu durumda yer kabuğu veya doğal kaynaklı ve zenginleşme faktörünün $EF > 1,5$ olduğu durumda ise yer kabuğunda veya doğal kaynaklı olmadığı, antropojenik kaynaklı olduğu bilinmektedir.

Tablo 4.63.'te ölçüm istasyonlarına göre ağır metallere ait zenginleştirme faktörleri verilmiştir. Elde edilen zenginleştirme faktörü sonuçlarına göre, Ba ve Cr dışında tüm ağır metallerin antropojenik kaynaklı olduğu belirlenmiştir.

As, Cd, Cu, Pb ve Zn tüm istasyonlarda, Co 3. istasyon hariç, Cr 3, 7, 8 ve 9. istasyonlar hariç ve Ni 3, 8 ve 9. istasyonlar hariç tüm istasyonlarda antropojenik kaynaklı olduğu tespit edilmiştir.

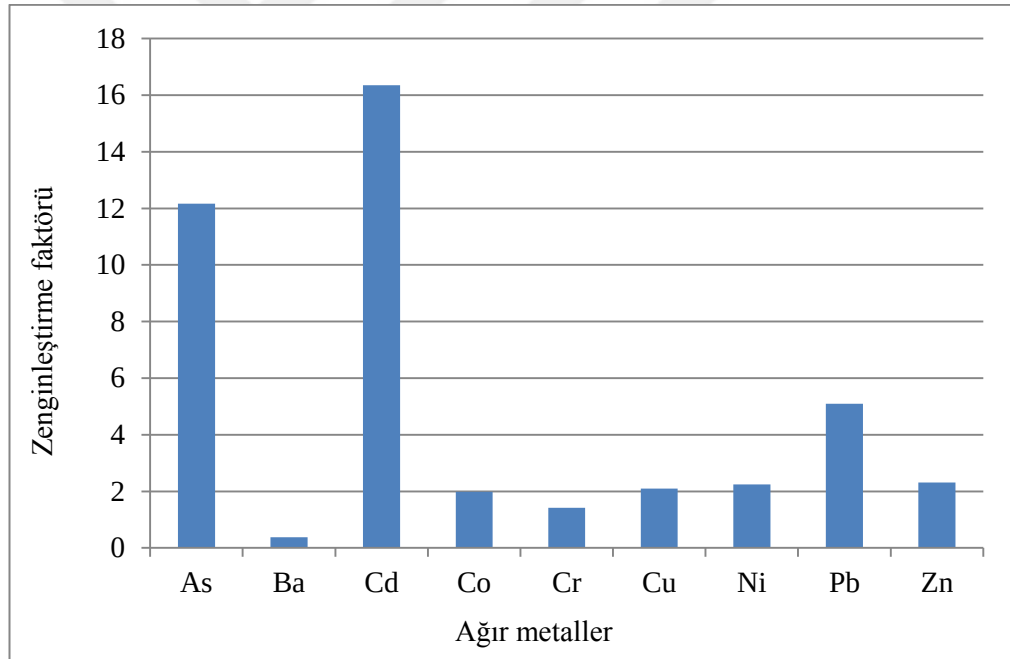
Şekil 4.93.'te görüldüğü üzere Ba elementine ait zenginleştirme faktörleri 0,5 değerinin altında olduğundan, bu elementin yer kabuğu kaynaklı olduğu kanısına varılmıştır.

As ve Cd metallerine ait zenginleştirme faktörleri 1,5 değerinin çok üzerinde bulunmuştur. Zenginleştirme faktörleri As için ortalama 12,84 ve Cd için ortalama 16,18 şeklindedir.

Co, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn metalleri için zenginleştirme faktörleri sırasıyla 2,08, 1,40, 2,24, 2,26, 5,44 ve 2,51 olarak hesaplanmıştır. Ağır metallere göre zenginleştirme faktörleri $Cd > As > Pb > Zn > Ni > Cu > Co > Cr > Ba$ şeklinde sıralanmaktadır.

Tablo 4.65. İstasyonlara göre zenginleştirme faktörleri

Ölçüm istasyonları	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
1	19,21	0,65	19,40	2,52	2,06	1,66	2,87	5,10	2,35
2	9,05	0,32	17,43	2,18	2,39	2,32	3,63	4,91	2,23
3	11,04	0,36	18,50	1,19	0,82	1,65	1,15	3,86	1,65
4	10,30	0,36	17,12	2,06	1,85	2,35	2,77	4,98	2,13
5	15,64	0,24	14,46	2,86	1,53	3,18	2,90	7,46	3,84
6	15,64	0,24	14,46	2,86	1,53	3,18	2,90	7,46	3,84
7	7,85	0,36	13,60	1,57	0,97	1,84	1,54	4,37	1,87
8	15,27	0,43	17,45	1,59	0,90	2,03	1,43	5,57	2,28
9	12,37	0,23	13,47	2,08	0,78	1,98	1,48	5,68	2,64
10	11,99	0,39	15,96	1,85	1,15	2,25	1,93	5,03	2,31
Min	7,85	0,23	13,47	1,19	0,78	1,65	1,15	3,86	1,65
Mak	19,21	0,65	19,40	2,86	2,39	3,18	3,63	7,46	3,84
Ort	12,84	0,36	16,18	2,08	1,40	2,24	2,26	5,44	2,51
Std. Sap.	3,53	0,12	2,10	0,55	0,57	0,55	0,85	1,19	0,75
Medyan	12,18	0,36	16,54	2,07	1,34	2,14	2,35	5,07	2,29



Şekil 4.93. Ağır metallerle ilgili zenginleştirme faktörleri

4.2.3.3. Ağır metallerin potansiyel ekolojik riskleri

Bu yöntem, ağır metallerin toprak veya sedimentteki potansiyel riskini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Hakanson, 1980; Zhang ve ark., 2018). PERI, toprak veya sediment ağır metal içeriği toksisitesini, kirlenici türünü ve ağır metal kirliliğinin toksisite seviyesini değerlendirmek için tasarlanmıştır. PERI, farklı toprak

veya sediment ortamlarda kullanılmakta ve çevresel risk değerlendirmesi için yaygın olarak tercih edilmektedir (Gao ve ark., 2013; Ogunkunle ve Fatoba, 2013; Pobi ve ark., 2019). Potansiyel ekolojik risk indeksi Denklem 4.11, Denklem 4.12 ve Denklem 4.13 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$C_f^i = \frac{C_i}{C_n^i} \quad (4.11)$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i \quad (4.12)$$

$$RI = \sum E_r^i \quad (4.13)$$

Denklem 4.11’de C_i (mg/kg) ve C_n^i (mg/kg) her bir ağır metale ait ölçülen konsantrasyonu ve referans konsantrasyonu, E_r^i ; toksik- response faktörü yani her bir ağır metale ait ekolojik riski, RI; çoklu ağır metallerin toplam ekolojik riski ifade etmektedir (4.12). Background değerleri Turekian ve Wedepohl (1961) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır (Turekian ve Wedepohl, 1961; Guo ve ark., 2010). T_r^i , her bir ağır metal için toksisite seviyesini ve ekolojik duyarlılığını ifade etmektedir (Guo ve ark., 2010). Tablo 4.66.’da ağır metalleri potansiyel ekolojik risk sınıflandırması ve yorumu verilmiştir.

Tablo 4.66. Ekolojik risk sınıflandırması

E_r^i	RI	Ekolojik risk kategorisi
<40	<150	Düşük
40-80	150-300	Orta
80-160	300-600	Önemli
160-320	600-1200	Güçlü
≥ 320	≥ 1200	Çok güçlü

Tablo 4.67. İstasyonlara göre ağır metallerin ekolojik riskleri

	E _r								RI
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
1	128,44	59,87	0,52	0,42	0,85	1,48	2,62	0,24	194,45
2	140,73	125,14	1,04	1,15	2,78	4,35	5,87	0,53	281,58
3	171,06	132,26	0,57	0,39	1,97	1,37	4,60	0,39	312,62
4	161,83	124,15	1,00	0,89	2,85	3,35	6,02	0,51	300,60
5	123,95	103,79	0,81	0,76	1,89	2,89	4,32	0,39	238,80
6	121,02	51,63	0,68	0,37	1,89	1,72	4,44	0,46	182,21
7	98,79	78,96	0,61	0,38	1,78	1,49	4,22	0,36	186,58
8	160,61	84,73	0,51	0,29	1,64	1,16	4,51	0,37	253,82
9	97,56	49,02	0,50	0,19	1,20	0,90	3,45	0,32	153,14
10	171,06	105,10	0,81	0,51	2,47	2,12	5,52	0,51	288,09
Min	97,56	49,02	0,50	0,19	0,85	0,90	2,62	0,24	153,14
Mak	171,06	132,26	1,04	1,15	2,85	4,35	6,02	0,53	312,62
Ort	137,50	91,46	0,71	0,53	1,93	2,08	4,56	0,41	239,19
Std. Sap.	27,93	31,25	0,20	0,30	0,64	1,11	1,05	0,09	56,75
Medyan	134,58	94,26	0,64	0,41	1,89	1,61	4,48	0,39	246,31

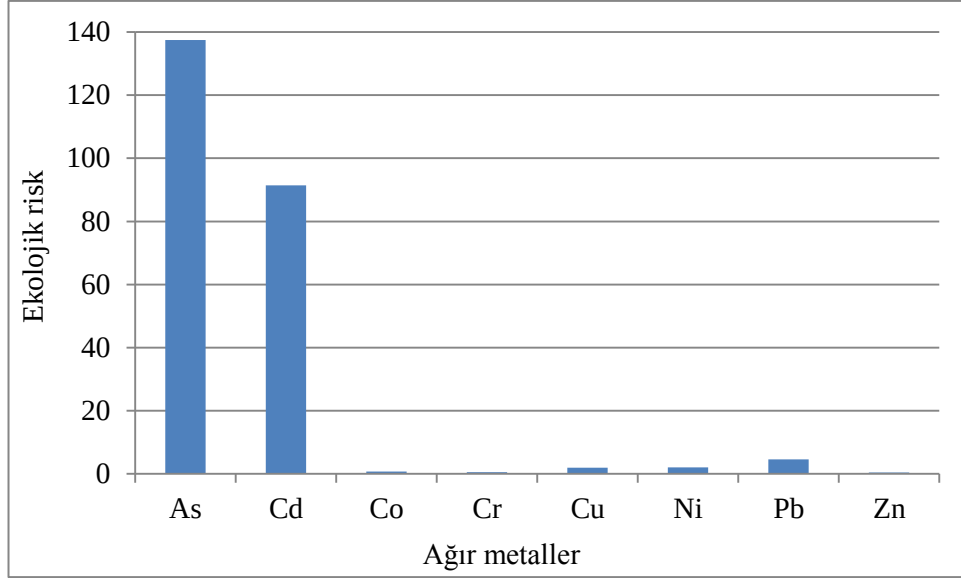
Tablo 4.67.'de ölçüm istasyonlarına göre ağır metallerin potansiyel ekolojik risk değerleri ve Şekil 4.94.'te ise ağır metallerin ekolojik risk değerleri verilmiştir. Tablo 4.67. ve Şekil 4.94. incelendiğinde;

- As ve Cd metalleri hariç diğer metaller tüm istasyonlarda düşük ekolojik riske sahiptir. As için ekolojik risk değeri 137,5 ve Cd için ekolojik risk değeri 91,46 olarak hesaplanmıştır.

İstasyon bazında incelendiğinde,

- As 3, 4 ve 10. istasyonlarda güçlü, diğer istasyonlarda önemli ekolojik riske sahiptir.
- Cd 1, 6, 7 ve 9. istasyonlarda orta ve diğer istasyonlarda önemli ekolojik riske sahiptir.

Toplam ekolojik risk incelendiğinde ağır metaller 3. istasyonda önemli, diğer istasyonlarda orta ekolojik riske sahiptir.



Şekil 4.94. Ağır metallerin ekolojik risk değerleri

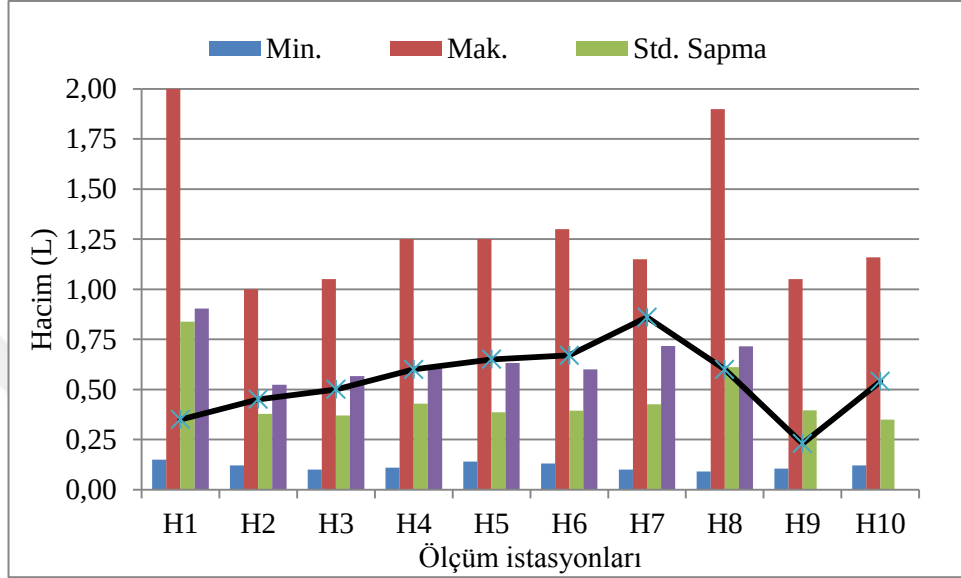
4.3. Hava Ortamında Ağır Metal Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

Sapanca Gölü çevresinde bulunan E-80 otoyolu, D-100 karayolu ve demiryolu, endüstriyel kuruluşlar, ısınma ve bölgenin doğal yapısı gibi faktörlere bağlı olarak incelenen ağır metal konsantrasyonları değişim göstermektedir. Bu çalışmada 2015-2017 yılları arasında belirlenen ağır metal konsantrasyonlarının minimum, maksimum, aritmetik ortalama, medyan ve standart sapma gibi istatistiksel özellikleri belirlenmiş ve ağır metal kirliliği değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler yapılırken araştırma alanındaki araç sayıları, yerleşim yerleri ve mevcut endüstriler göz önünde bulundurulmuştur.

4.3.1. Fiziko-kimyasal parametrelerin incelenmesi

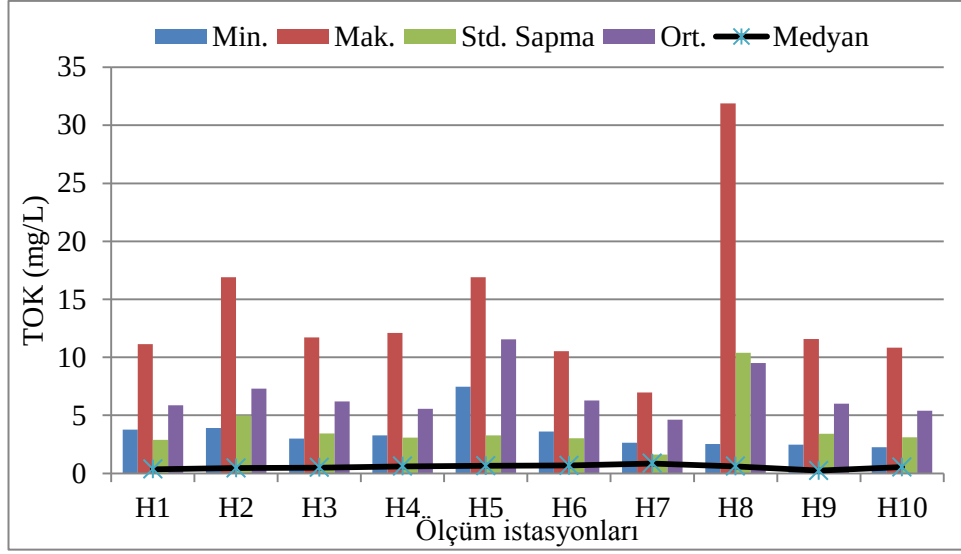
Hava örneklerinin ağır metal konsantrasyonları değerlendirilirken meteorolojik şartlar ve alınan örneklerin fiziko-kimyasal parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Önceki bölümlerde belirtildiği üzere özellikle pH, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli ve iletkenlik alıcı ortamlarda ağır metal konsantrasyonunun etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. Mevsimsel toplanan bulk atmosferik birikim örneklerine ait istasyon bazında hacim, TOK, SPC, C, TDS, pH, tuzluluk ve ORP değerleri incelendiğinde; Şekil 4.95.'de mevsimlere göre alınan bulk atmosferik birikim

örneklerinin istasyonlara göre hacimsel konsantrasyonu bulunmaktadır. Örnekler 15-20 günlük periyotlar halinde toplandığından her bölgeye düşen yağış miktarı ve bölgenin nem oranı farklılık göstermektedir. Bu nedenle istasyon bazında örnek hacimleri değişiklik göstermektedir.



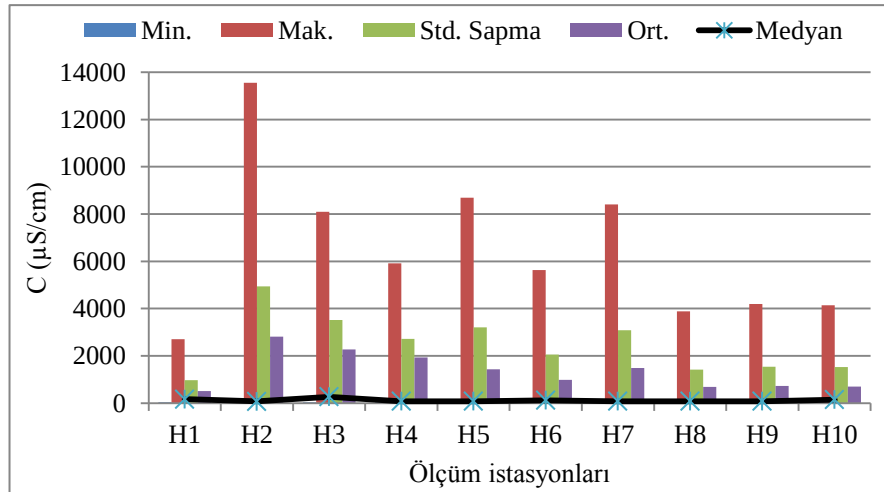
Şekil 4.95. Havada ölçüm istasyonlarına göre numune hacimleri

Ağır metallerin doğal ortamlarda dağılımları organik maddelerden etkilenmektedir (Guo and Santschi, 2007). Dolayısıyla organik maddeler, atmosferik ortamda ağır metallerin dağılımını ve ekoloji üzerindeki riskini de etkileyebilmektedir (Huang et. al. 2014). Şekil 4.96.'da TOK değerleri incelendiğinde, minimum TOK 2,49 mg/L olup H9. İstasyonda yaz döneminde, maksimum TOK 31,88 mg/L olup H8.istasyonda bahar döneminde saptanmıştır. Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama TOK konsantrasyonları ise 4,64 mg/L ile 11,56 mg/L arasında değişmekte ve bu değerler Huang et. al. 2014 tarafından yapılan çalışmayla benzerlik göstermektedir.



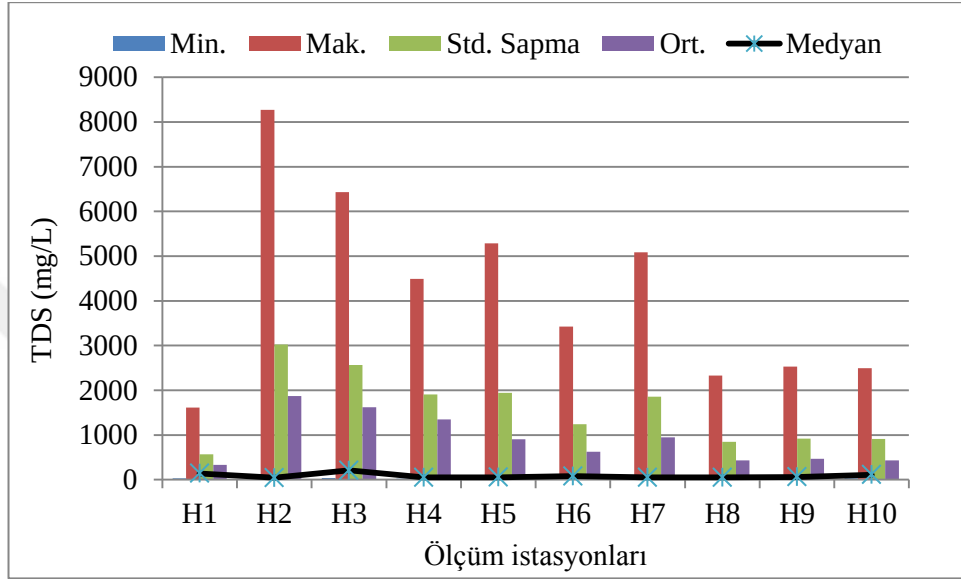
Şekil 4.96. Havada ölçüm istasyonlarına göre TOK değerleri

Bulk atmosferik birikim örneklerinin iletkenlik değerleri Şekil 4.97.'de verilmektedir. Şekil 4.97.'de iletkenlik değerlerine göre minimum C 26,90 $\mu\text{S/cm}$ olup, H8 istasyonda yaz döneminde, maksimum C 13560 $\mu\text{S/cm}$ olup H2 istasyonda bahar döneminde saptanmıştır. Bahar döneminde iletkenlik değerinin bu kadar yüksek olması örnek hacminin az miktarda olması ve Şekil 4.98.'den de anlaşılacağı üzere toplam çözünmüş katı madde konsantrasyonunun fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

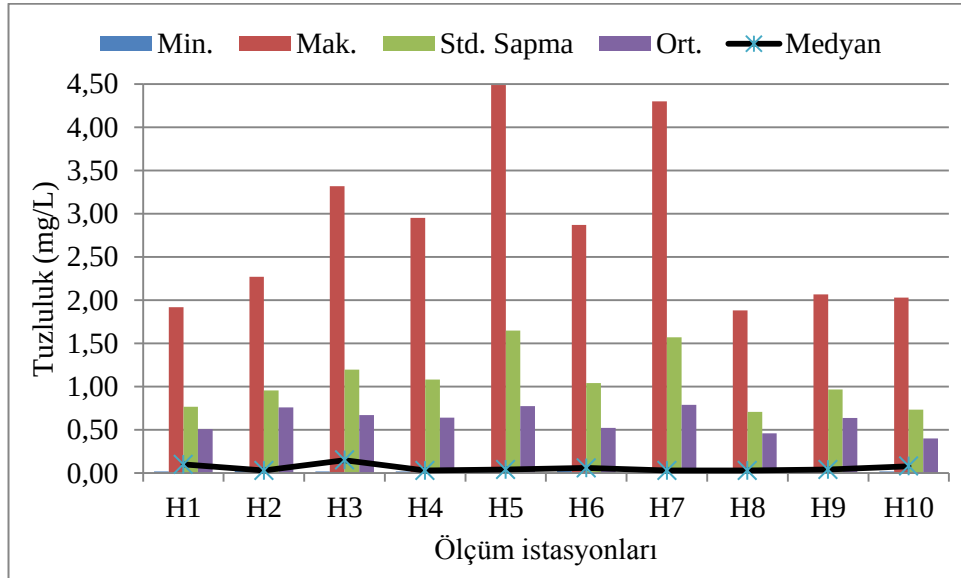


Şekil 4.97. Havada ölçüm istasyonlarına göre iletkenlik değerleri

Toplam çözünmüş katı madde (TDS) değerleri Şekil 4.98.'de verilmektedir. Minimum TDS 22,75 mg/L olup H8. istasyonda bahar döneminde, maksimum TDS 8268 mg/L olup H2.istasyonda yaz döneminde saptanmıştır. Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama TDS değerleri ise 329,13 mg/L ile 1870,64 mg/L arasında değişmektedir.

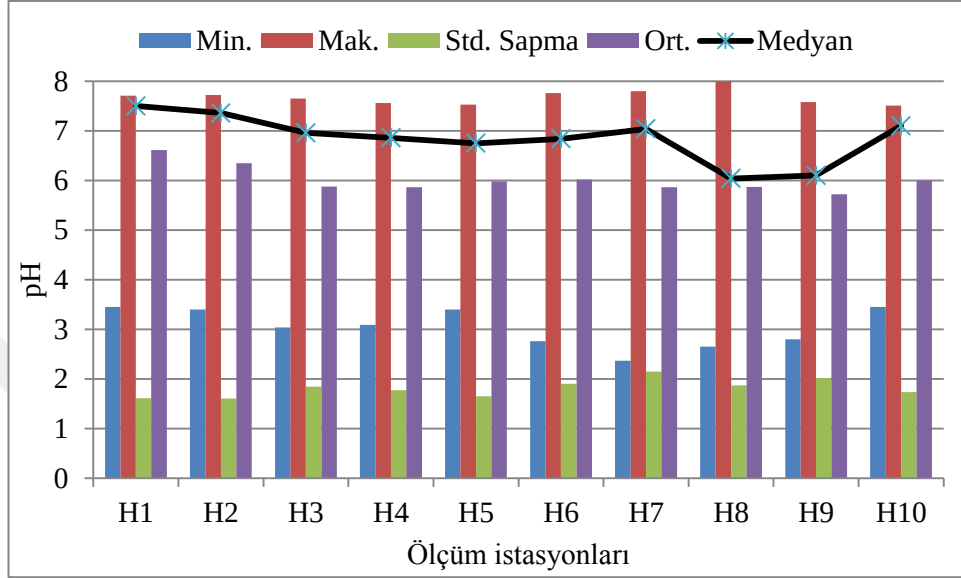


Şekil 4.98. Havada ölçüm istasyonlarına göre TDS değerleri



Şekil 4.99. Havada ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk değerleri

Bulk atmosferik birikim örneklerinde tuzluluk değerleri Şekil 4.99.'da verilmektedir. Minimum tuzluluk değeri 0,02 mg/L olup H1, H4, H5, H7, H8, H9 ve H10. istasyonlarda ilkbahar ve sonbahar aylarında tespit edilmiştir. Maksimum değeri ise H5.istasyonda yaz döneminde 4,49 mg/L olarak belirlenmiştir.

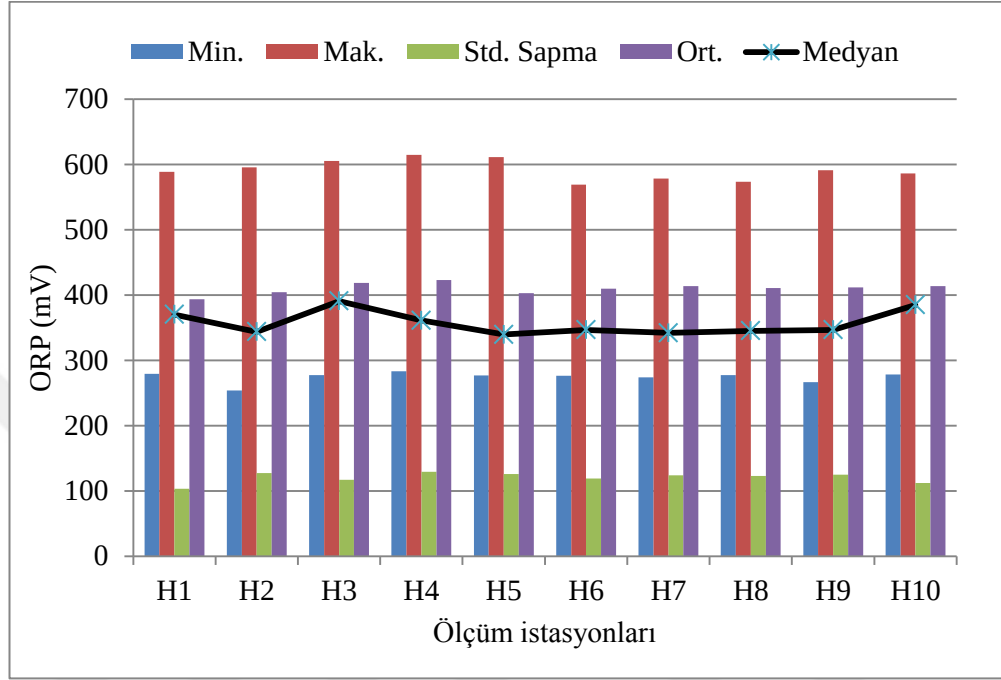


Şekil 4.100. Havada ölçüm istasyonlarına göre pH değerleri

Yağmur suyu pH'ı, bölgenin hava kalitesine göre asidik veya bazik özellik kazanmaktadır. Normal yağışların pH'ı, atmosferdeki CO₂'den oluşan H₂CO₃'ün yağış sularında çözünmesinden dolayı 5,6 civarındadır. Bölgede antropojenik kaynaklı hava kirliliği yüksek seviyelerde ise yağmur suyunun pH'ı bu değerin altına düşmektedir (Bayraktar, 2002). Kar sularında ise HNO₃ pH üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Kar tarafından tutulan HNO₃ asit, karla tutulan sülfat ve nitrat parçacıklarından daha etkilidir. Bu nedenle, kentsel alanlarda kar sularının pH değerleri 6.8-9.9 değerleri arasında tespit edilirken, kırsal bölgelerde ise 3.6-5.6 arasında gözlemlenmektedir (Viklander, 1999). Kar ve yağmur sularının asiditesi ile hava kirliliği seviyesi arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Bu çalışmada pH değerleri istasyon bazında 5,86 ile 6,61 arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.100.). Çalışma yapılan bölge kırsal bir bölgeyi kapsamakta olup kış dönemlerinde özellikle H7. istasyonda minimum pH değeri 2,37 şeklinde tespit edilmiştir. Maksimum pH değeri

8 olup, bahar döneminde H8.istasyonda görülmüştür. Ölçüm istasyonları Şekil 3.9.'da da görüldüğü üzere geniş bir alana yerleştirildiğinden meteorolojik durumun etkisi nedeniyle parametre değerleri arasında farklılıklar görülmektedir.



Şekil 4.101. Havada ölçüm istasyonlarına göre ORP değerleri

pH ve ORP ağır metallerin mobilitesini etkileyen ve birbirleriyle güçlü ilişkisi olan önemli kalite parametreleridir. Aynı zamanda, ORP ağır metallerin alıcı ortama geçişini kontrol eden en önemli parametrelerden biridir. Bu parametrenin ölçüm istasyonlarına göre değişimi Şekil 4.101.'de verilmektedir. ORP minimum 253,70 mV H2.istasyonda ve maksimum 614,8 mV H4.istasyonda gözlemlenmiştir. ORP değerleri istasyon bazında ortalama 393,77 mV ile 423,20 mV arasında değişim göstermektedir. Kalite parametrelerinin istasyon bazında mevsimsel değişimi Tablo 4.68.'de verilmektedir. Toplam organik karbon konsantrasyonlarının minimum değerleri çoğunlukla Kış 2016'da, maksimum değerleri ise İlkbahar 2017'de ve minimum pH değerleri Kış 2016'da, maksimum değerleri ise İlkbahar 2016'da gözlemlenmiştir. ORP değerlerinin minimum ve maksimum değerleri sırasıyla İlkbahar 2017 ve Kış 2017'de görülmüştür.

Tablo 4.68. Havada kalite parametrelerinin ölçüm istasyonları bazında mevsimsel değişimi

Ölç. İst.	Mevsimler	Hacim (L)	TOK (mg/L)	SPC (µS/cm)	C (µS/cm)	TDS (mg/L)	SAL (ppt)	pH	ORP (mV)
1	SB 15	0,35	4,14	46	37,9	29,9	0,02	5,34	370,3
	K 16	2	3,77	283,5	228,7	183,95	0,14	7,25	435,4
	İB 16	1,5	5,974	103,9	105,9	67,6	0,05	7,71	312,2
	Y 16	0,15	3,849	2482	2699	1612	1,27	7,5	426,7
	SB 16	0,26	11,13	112	100	72,8	0,05	7,53	343,6
	K 17	0,22	8,5	306,04	253,49	199,875	1,917	3,45	588,9
	İB 17	1,85	3,791	211,9	168	137,8	0,1	7,51	279,3
2	SB 15	0,25	4,161	68,2	57,1	44,2	0,03	5,8	334
	K 16	1	4,05	3163	2628	2067	1,67	3,4	476,1
	İB 16	0,7	5,174	66,5	69,2	43,55	0,03	7,72	305,4
	Y 16	0,12	16,91	12731	13560	8268	2,27	7,48	523
	SB 16	0,45	5,475	62,8	56	40,95	0,03	7,43	343,8
	K 17	0,15	11,4	3988	3287	2595	1,25	5,25	595,6
	İB 17	0,99	3,906	55,3	38,7	35,75	0,03	7,36	253,7
3	SB 15	0,5	3,805	870	714	559	0,43	5,01	390,8
	K 16	0,9	3,51	320,1	266	208	0,15	3,04	435,4
	İB 16	0,85	5,041	68,2	72,3	44,2	0,03	7,1	335,9
	Y 16	0,1	11,71	6194	6616	4030	3,32	7,65	539,1
	SB 16	0,38	6,22	55	49	35,75	0,02	7,39	347,4
	K 17	0,19	10,2	9856	8098	6428	0,715	3,98	605,6
	İB 17	1,05	2,988	52,8	39,1	34,45	0,02	6,96	277,5
4	SB 15	0,6	3,288	53,2	43,9	34,45	0,02	5,22	361,1
	K 16	1,25	3,598	1825	1665	1228,5	0,98	3,09	508,2
	İB 16	0,7	4,962	76,5	80,1	50,01	0,03	7,56	309,1
	Y 16	0,11	5,479	5527	5909	3575	2,95	6,9	540,8
	SB 16	0,33	6,131	55,3	49,3	35,75	0,02	7,41	345,1
	K 17	0,2	12,1	6886	5722	4491	0,47	3,99	614,8
	İB 17	1,05	3,379	40,3	29,2	26	0,02	6,86	283,3
5	SB 15	0,875	12,34	66	54,8	42,9	0,03	5,96	316,2
	K 16	1,25	9,516	663	543	429	0,32	3,4	435,4
	İB 16	0,575	13,32	79,6	80,5	52	0,04	7,53	314,4
	Y 16	0,14	12,92	8130	8690	5284	4,49	6,82	527,7
	SB 16	0,65	8,459	46,4	41,5	29,9	0,02	7,4	339,5
	K 17	0,19	16,9	714,9	594,29	464,1	0,489	3,98	611,3
	İB 17	0,74	7,482	70,6	54,3	45,5	0,03	6,75	277,1
6	SB 15	0,45	3,731	77,3	64,3	50,05	0,04	5,9	331,6
	K 16	1,3	3,61	732	611	474,5	0,36	2,76	506,2
	İB 16	0,67	6,757	119,3	121,5	78	0,06	7,46	314,2
	Y 16	0,13	10,54	5180	5630	3425	2,87	7,76	524,1
	SB 16	0,7	4,264	87,3	77,7	56,55	0,04	7,3	346,8
	K 17	0,2	10,4	365,87	305,1	236,73	0,23	4,1	569,1
	İB 17	0,75	4,759	107,2	81,7	69,55	0,05	6,84	276,5

Tablo 4.68. (Devamı)

7	SB 15	0,86	3,579	47	39,2	30,55	0,02	5,72	332,7
	K 16	1,06	2,651	1358	1128	884	0,68	2,37	506
	İB 16	1,08	5,15	76,1	79,7	49,4	0,03	7,24	320,1
	Y 16	0,1	6,975	7819	8413	5083	4,3	7,8	541,3
	SB 16	0,5	4,867	56,2	50	36,4	0,03	7,45	341,9
	K 17	0,27	6,18	818,9	670,4	514,15	0,434	3,41	578,7
	İB 17	1,15	3,06	36,9	28,3	24,05	0,02	7,04	274
8	SB 15	0,84	3,82	38,5	31,8	25,35	0,02	5,64	336,9
	K 16	1,9	2,524	675	561	442	0,33	2,65	506,4
	İB 16	0,6	6,391	77,1	79,7	50,05	0,03	8	300,6
	Y 16	0,09	3,565	3602	3878	2327	1,88	6,04	534,8
	SB 16	0,3	6,072	67,7	60,2	44,2	0,03	7,41	345,1
	K 17	0,3	12,4	169,22	140,29	108,03	0,919	4,33	573,7
	İB 17	0,98	31,88	35	26,9	22,75	0,02	7,02	277,3
9	SB 15	0,74	4,289	54,6	45	35,75	0,02	5,45	346,8
	K 16	0,92	2,795	693,6	410,8	323,4	0,24	2,8	498,3
	İB 16	0,23	4,663	76,4	77,2	49,4	0,03	7,58	306,3
	Y 16	0,105	2,485	3959	4194	2528,5	2,03	6,1	527,3
	SB 16	0,2	6,943	90,6	80,9	59,15	0,04	7,39	346,7
	K 17	0,21	9,28	327,98	273,35	213,98	2,067	3,22	591,5
	İB 17	1,05	11,58	58,6	44,7	37,7	0,03	7,51	266,7
10	SB 15	0,67	3,726	119,5	97,6	78	0,06	4,83	384,9
	K 16	1,16	2,251	170,1	144,4	112,45	0,08	3,45	439
	İB 16	0,54	5,961	84,1	86,7	54,6	0,04	7,51	325
	Y 16	0,12	2,371	3884	4139	2495	2,03	7,1	532,5
	SB 16	0,5	4,833	221,7	197,6	143,65	0,1	7,39	351,2
	K 17	0,27	7,75	182,19	159,71	125,06	0,47	4,31	586,3
	İB 17	0,85	10,84	52,2	39,9	33,8	0,02	7,39	278,5

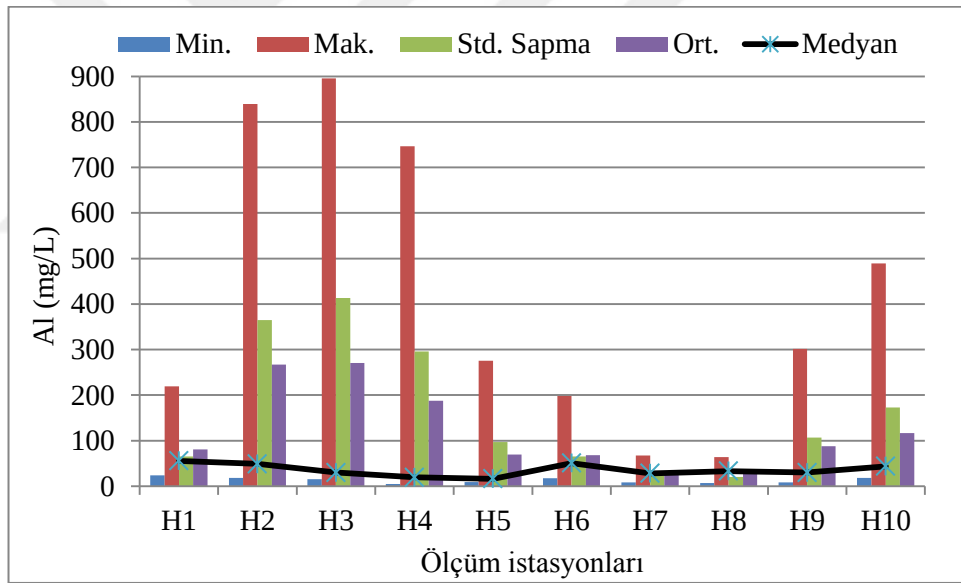
Tablo 4.69.'da bulk atmosferik birikim örneklerinde kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi verilmiştir. Bulk birikim örneği hacimsel olarak en fazla Yaz 2016'da toplanmıştır. TOK konsantrasyonu en yüksek Kış 2017'de, tuzluluk en yüksek Yaz 2016'da, pH en düşük Kış 2016'da ve ORP ise en düşük İlkbahar 2017'de gözlemlenmiştir.

Tablo 4.69. Havada kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi

	Hacim (L)	TOK (mg/L)	SPC (µS/cm)	C (µS/cm)	TDS (mg/L)	SAL (ppt)	pH	ORP (mV)
SB 15	0,61	4,68	144,03	118,56	93,01	0,06	5,48	350,53
K 16	1,27	3,82	988,33	818,59	635,28	0,49	3,42	474,64
İB 16	0,74	6,33	82,77	85,28	53,881	0,03	7,54	314,32
Y 16	0,11	7,68	5950,8	6372,8	3862,75	2,74	7,11	521,73
SB 16	0,42	6,43	85,5	76,22	55,51	0,03	7,41	345,11
K 17	0,22	10,51	2361,51	1950,36	1537,59	0,89	4,002	591,55
İB 17	1,04	8,36	72,08	55,08	46,735	0,03	7,12	274,39

4.3.2. Ağır metallerin incelenmesi

İstasyonlarda belirlenen alüminyum konsantrasyonları Şekil 4.102.'de verilmiştir. Şekil 4.102.'de görüldüğü gibi en yüksek Al kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 895,20 mg/L konsantrasyonla H3 ve 838,90 mg/L konsantrasyonla H2 istasyonlarıdır. Al ve Fe litofilik (yerkabuğu kökenli) elementlerdir (Alagha ve ark., 2008). H2 ve H3 istasyonlarının bulunduğu toprak yapısı çoğunlukla çakıl ve kum yapısıdır (Şekil 4.123.). Ayrıca H2 ve H3 istasyonu TEM E-80 karayoluna çok yakın bir konumda bulunduğundan Al kirliliği trafik kaynaklı emisyonlara bağlıdır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Al konsantrasyonları 29,185 mg/L ile 270,64 mg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla H3 ve H7 istasyonlarında gözlemlenmiştir.



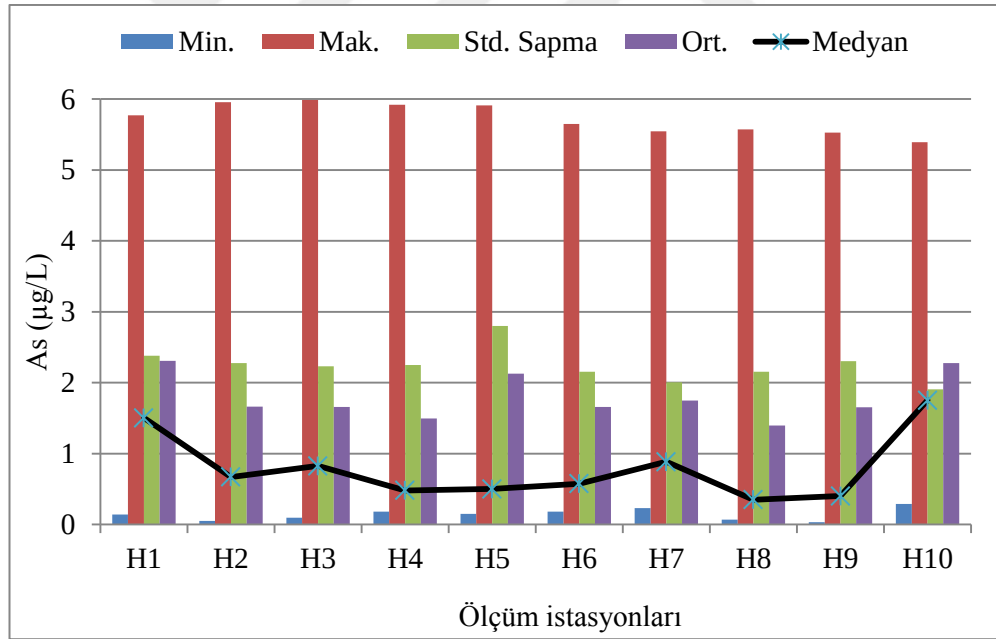
Şekil 4.102. Havada belirlenen Al konsantrasyonu

Tablo 4.70.'den ölçüm süresi içerisinde Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, özellikle yaz ve kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Al, yerkabuğunda yüksek miktarda bulunan yapısal yani jeojenik bir metaldir (Ziyath ve ark., 2016). Bununla birlikte, trafik kaynaklı emisyonlar sınıfına girmektedir. Bu aylardaki yükselişe yaz döneminde Sapanca gölü etrafından geçen E-80, D-100 karayollarında ve yan yollarda trafik hacminin artması ve kış döneminde ise yağışın olmadığı ancak rüzgarlı günlerde toprağın veya yol tozlarının havalanması neden

olmaktadır. Pekin’de yapılan bir çalışmada bulk birikim örneklerinin toprak ve yol tozlarından daha fazla ağır metal içerdiği görülmüştür. Aynı zamanda rüzgarın etkisiyle hareket halindeki taşıtlar vasıtasıyla yol yüzeyinden farklı yüzeylere taşındığı bilinmektedir (Sabin ve ark., 2006; Li ve ark., 2014; Guo ve ark., 2017).

Tablo 4.70. Havada Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).

Al	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Ort.
SB 15	79,68	164,89	19,04	10,99	9,03	197,80	9,51	41,14	139,44	43,78	79,68
K 16	50,04	28,85	15,33	19,41	16,23	17,25	10,29	7,82	8,34	19,45	50,04
İB 16	44,11	48,88	61,82	57,39	44,65	58,66	28,09	32,95	30,04	49,74	44,11
Y 16	219,00	749,40	854,10	459,20	275,30	50,73	28,99	34,69	301,50	172,20	219,00
SB 16	55,71	18,33	19,02	5,02	15,90	24,44	8,56	7,00	21,39	18,36	55,71
K 17	91,80	838,90	895,20	746,50	109,10	106,60	67,33	64,05	104,70	489,00	91,80
İB 17	23,55	20,51	29,99	15,26	16,34	20,13	51,52	20,48	10,36	22,30	23,55
Min	23,55	18,33	15,33	5,02	9,03	17,25	8,56	7,00	8,34	18,36	
Mak	219,00	838,90	895,20	746,50	275,30	197,80	67,33	64,05	301,50	489,00	
Std. Sap	65,09	364,48	413,08	295,98	97,24	65,18	22,82	20,11	106,99	172,98	
Ort.	80,56	267,11	270,64	187,68	69,51	67,94	29,19	29,73	87,97	116,40	
Med.	55,71	48,88	29,99	19,41	16,34	50,73	28,09	32,95	30,04	43,78	



Şekil 4.103. Havada belirlenen As konsantrasyonu

İstasyonlarda belirlenen As konsantrasyonları Şekil 4.103.’te verilmiştir. Şekil 4.103.’te görüldüğü gibi en yüksek As kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 5,99 µg/L konsantrasyonla H3 ve 5,91 µg/L konsantrasyonla H5 istasyonlarıdır. H3 istasyonunda E-80 karayoluna çok yakın bir konumda bulunduğundan As kirliliği

trafikten ve otomobil koltuk fabrikası emisyonlarından kaynaklanmaktadır. H5 istasyonunda ise As kirliliği trafik kaynaklı emisyonlara bağlıdır. Ölçüm istasyonlarında ortalama As konsantrasyonları 1,40 µg/L ile 2,27 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla H8 ve H10 istasyonlarında gözlemlenmiştir.

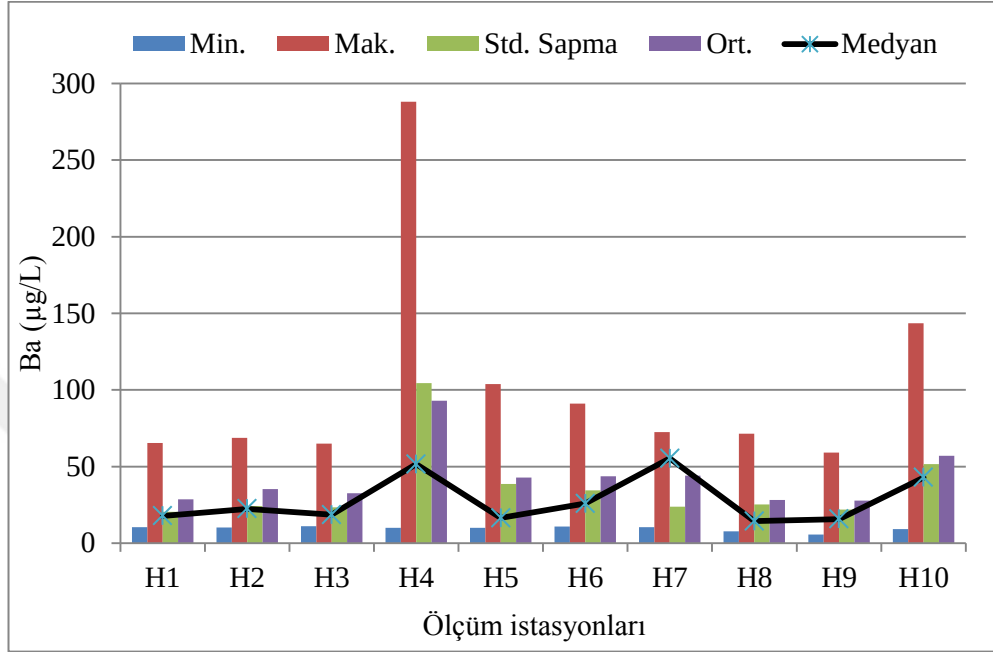
Tablo 4.71.'de ölçüm süresi içerisinde As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, özellikle 2017 yılı kış ve ilkbahar döneminde yükselme gözlenmiştir. Pekin'de yapılan çalışmada As konsantrasyonu en yüksek kış döneminde tespit edilmiş ve yüksek oranda yakıt tüketimine bağlı olduğu belirtilmiştir (Okuda ve ark., 2008; Gao ve ark., 2014; Guo ve ark., 2017). As, antropojenik faaliyetler çoğunlukla kömür kullanımı ve tarımsal uygulamalardan kaynaklanmaktadır. Bu aylardaki yükselmenin nedeni örneklem periyodu sürecinin yağışlı geçmesidir. Washington'da yapılan bir çalışmanın sonucunda ıslak birikim dönemlerinde As konsantrasyonu 0,20 µg/L – 1,3 µg/L arasında olduğu ve kuru dönemlere göre daha yüksek konsantrasyonlarda olduğu belirtilmiştir (Melaku ve ark., 2008).

Tablo 4.71. Havada As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Ort.
SB 15	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE
K 16	2,45	0,84	1,10	0,76	0,83	0,67	0,74	0,48	0,61	1,01	0,95
İB 16	0,56	0,05	0,10	0,18	0,17	0,33	0,23	0,16	0,10	1,07	0,29
Y 16	0,14	0,50	0,55	0,20	0,15	0,48	1,03	0,07	0,03	0,29	0,34
SB 16	0,41	0,17	0,22	0,20	0,17	0,18	0,55	0,22	0,19	2,43	0,47
K 17	4,52	2,45	1,99	1,71	5,53	2,64	2,40	1,88	3,46	3,45	3,00
İB 17	5,77	5,96	5,99	5,92	5,91	5,65	5,55	5,57	5,53	5,39	5,72
Min	0,14	0,05	0,10	0,18	0,15	0,18	0,23	0,07	0,03	0,29	
Mak	5,77	5,96	5,99	5,92	5,91	5,65	5,55	5,57	5,53	5,39	
Std. Sap	2,38	2,28	2,23	2,25	2,80	2,15	2,01	2,15	2,30	1,90	
Ort.	2,31	1,66	1,66	1,50	2,13	1,66	1,75	1,40	1,65	2,27	
Med.	1,50	0,67	0,83	0,48	0,50	0,58	0,89	0,35	0,40	1,75	

Şekil 4.104.'te istasyon bazında Ba konsantrasyonunun değişimi verilmiştir. En yüksek Ba kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 288,11 µg/L konsantrasyonla H4 ve 143,60 µg/L konsantrasyonla H10 istasyonlarıdır. H4 istasyonunun bulunduğu bölgede metal otomobil parçaları üreten bir fabrika bulunmakta olup, kirliliğin bu fabrika emisyonlarına bağlı olduğu kanısına varılmaktadır. H0 istasyonu ise D-100 karayoluna oldukça yakın bir konumda yer aldığından, Ba kirliliğinin trafik

kaynaklıdır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Ba konsantrasyonları 27,87 $\mu\text{g/L}$ ile 92,97 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla H9 ve H4 istasyonlarında gözlemlenmiştir.



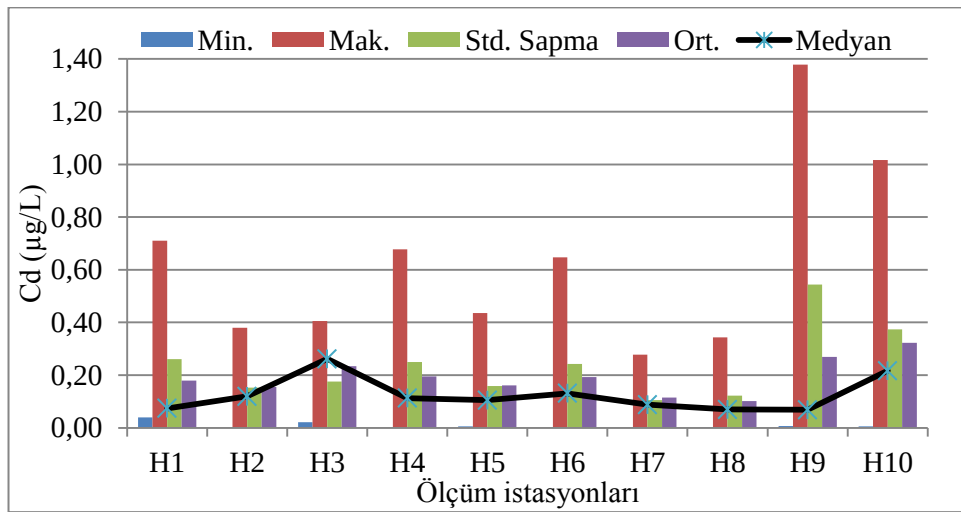
Şekil 4.104. Havada belirlenen Ba konsantrasyonu

Tablo 4.72.'de Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, özellikle sonbahar ve kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Ba, otomotiv endüstrisinde kauçuk üretiminde, madeni yağ katkı maddeleri ve yakıt sentezinde yardımcı madde olarak kullanılması dahil olmak üzere birçok uygulamaya sahiptir. İtalya'da yapılan bir çalışmada Ba elementinin benzin, kurşunsuz benzin ve mazot örneklerinde tespit edildiği bildirilmiştir (Monaci ve Bargagli, 1997). Dizel ve kurşunsuz benzinle çalışan araç emisyonlarının temel bileşimi hakkındaki verilerde bu bilgileri doğrulamaktadır (Hee, 1994; Lowenthal ve ark., 1994). İngiltere'de yapılan farklı bir çalışmada da Ba ile trafik hacmi arasında güçlü bir korelasyon olduğu ve yol tozları, araçların fren sistemleri ve lastiklerin aşınmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Gietl ve ark., 2010; Lawrence ve ark., 2013).

Tablo 4.72. Havada Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Ort.
SB 15	65,39	68,75	63,09	288,11	103,77	91,14	72,42	71,45	44,05	55,64	92,38
K 16	34,33	51,03	65,02	188,74	58,24	56,58	59,05	54,87	48,51	42,92	65,93
İB 16	17,64	15,15	13,97	38,57	16,53	19,87	16,62	10,18	15,72	17,95	18,22
Y 16	10,66	22,43	18,60	51,55	12,46	25,85	55,32	7,72	5,73	143,60	35,39
SB 16	17,88	18,10	17,31	21,54	15,90	13,92	33,65	14,35	12,68	18,20	18,35
K 17	44,61	60,84	39,13	52,32	83,37	87,18	61,20	30,27	59,08	112,00	63,00
İB 17	10,47	10,33	11,03	9,96	10,12	10,88	10,54	9,49	9,29	9,22	10,13
Min	10,47	10,33	11,03	9,96	10,12	10,88	10,54	7,72	5,73	9,22	
Mak	65,39	68,75	65,02	288,11	103,77	91,14	72,42	71,45	59,08	143,60	
Std. Sap	20,53	24,18	23,33	104,54	38,74	34,54	23,93	25,40	21,89	51,70	
Ort.	28,71	35,23	32,59	92,97	42,91	43,63	44,11	28,33	27,87	57,07	
Med.	17,88	22,43	18,60	51,55	16,53	25,85	55,32	14,35	15,72	42,92	

İstasyonlarda belirlenen kadmiyum konsantrasyonları Şekil 4.105.'te verilmiştir. Şekil 4.105.'te görüldüğü gibi en yüksek Cd kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 1,38 µg/L konsantrasyonla H9 ve 1,02 µg/L konsantrasyonla H10 istasyonlarıdır. H9 ve H10 istasyonları yerleşim alanında D-100 karayolu üzerinde göle yakın konumlandırılmış ölçüm istasyonlarıdır. Cd kirliliğinin kaynağı, benzer çalışmalarda da görüldüğü üzere ısınma amaçlı kömür kullanımı, trafik yoğunluğu ile ilgilidir. (Sharma ve ark., 2008; Zheng ve ark., 2015). Bununla birlikte, Cd emisyonu taşıt lastiklerinin aşınması ve dizel yakıt tüketimiyle atmosfere salınmaktadır (Lagerweff ve Speeth, 1970). Ölçüm istasyonlarında ortalama Cd konsantrasyonları 0,10 µg/L ile 0,32 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla H8 ve H10 istasyonlarında gözlemlenmiştir.



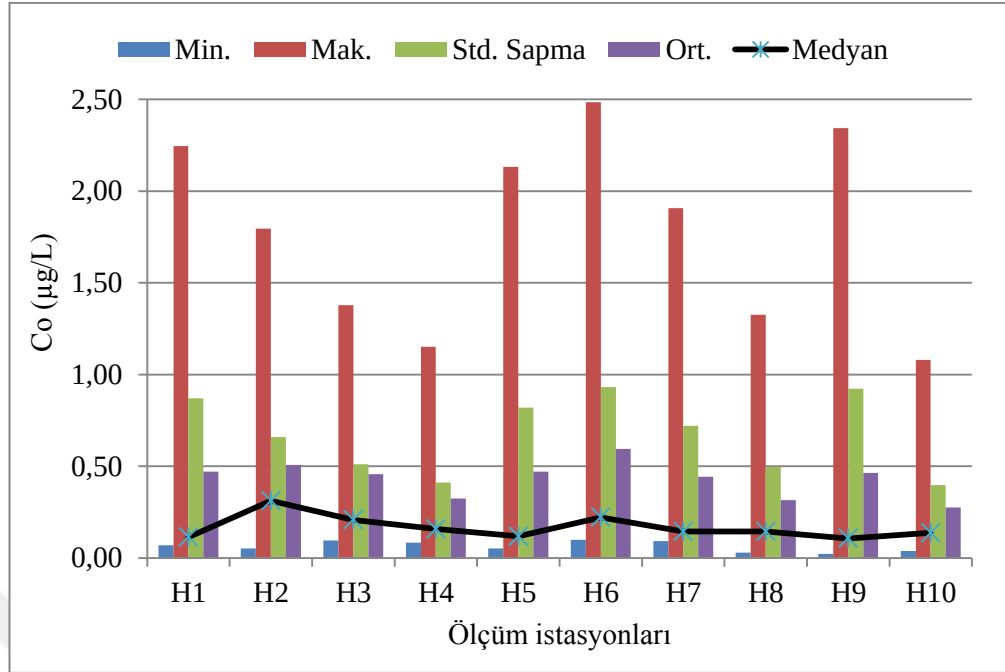
Şekil 4.105. Havada belirlenen Cd konsantrasyonu

Tablo 4.73.'te görüldüğü üzere Cd konsantrasyonu mevsimsel değişimi incelendiğinde, özellikle 2017 yılı kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Cd, fosil yakıt (kömür) tüketiminden kaynaklanmaktadır (Chen ve ark., 2019). Kışın yükselmesinin nedeni Sapanca gölü etrafındaki yerleşim alanlarında ısınma amaçlı fosil yakıt özellikle bölgede yoğun olarak kömür tüketiminin artmasıdır.

Tablo 4.73. Havada Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Ortalama
SB 15	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE
K 16	0,08	0,29	0,40	0,22	0,14	0,18	0,11	0,08	0,07	0,34	0,19
İB 16	0,12	0,15	0,41	0,17	0,25	0,24	0,20	0,04	0,07	0,40	0,20
Y 16	0,04	0,02	0,02	0,06	0,06	0,00	0,07	0,08	0,07	0,08	0,05
SB 16	0,07	0,09	0,05	0,04	0,07	0,08	0,04	0,06	0,02	0,09	0,06
K 17	0,71	0,38	0,36	0,68	0,44	0,65	0,28	0,34	1,38	1,02	0,62
İB 17	0,06	0,00	0,17	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03
Min	0,04	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	
Mak	0,71	0,38	0,41	0,68	0,44	0,65	0,28	0,34	1,38	1,02	
Std. Sap	0,26	0,15	0,18	0,25	0,16	0,24	0,10	0,12	0,54	0,37	
Ortalama	0,18	0,15	0,23	0,19	0,16	0,19	0,11	0,10	0,27	0,32	
Medyan	0,07	0,12	0,26	0,11	0,11	0,13	0,09	0,07	0,07	0,22	

İstasyonlarda belirlenen kobalt konsantrasyonları Şekil 4.106.'da verilmiştir. Şekil 4.106.'da görüldüğü gibi en yüksek Co kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 2,49 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla H6 ve 2,34 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla H9 istasyonlarıdır. H6 istasyonu civarında demir-çelik döküm tesisi ve çatı kaplama-yalıtım malzemesi tesisi bulunmaktadır. H9 istasyonu ise D-100 karayoluna çok yakın bir konumda olduğundan Co kirliliği trafik kaynaklı emisyonlara bağlıdır (Zheng ve ark., 2015). Ölçüm istasyonlarında ortalama Co konsantrasyonları 0,28 $\mu\text{g/L}$ ile 0,59 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla H10 ve H6 istasyonlarında gözlemlenmiştir.



Şekil 4.106. Havada belirlenen Co konsantrasyonu

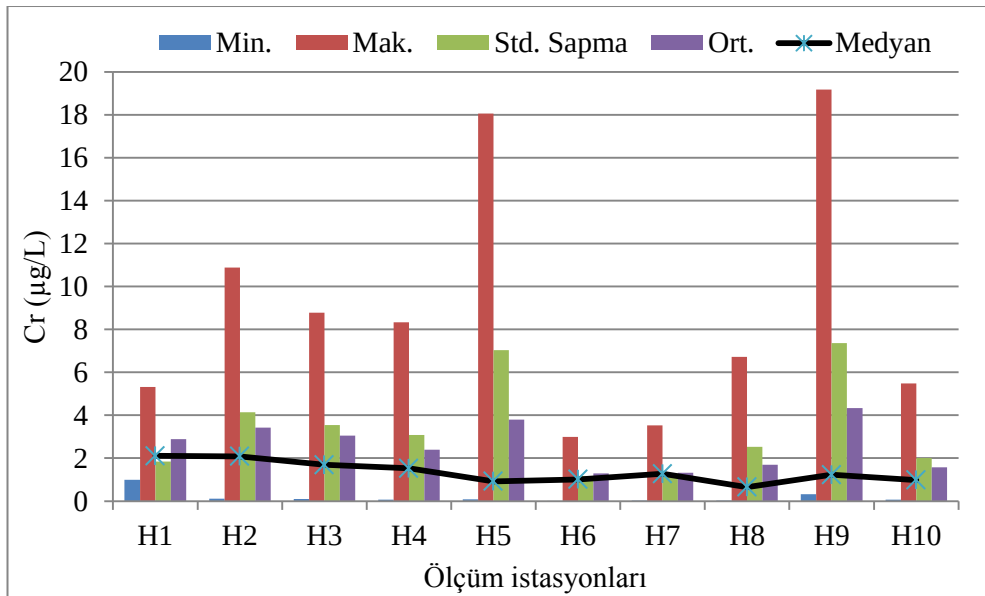
Tablo 4.74.'te Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi verilmiştir. Özellikle 2017 yılı kış ve ilkbahar döneminde yükselme gözlenmiştir. Özellikle 2017 yılı kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Co, yer kabuğu kaynaklı metal olup, aynı zamanda kömür tüketimi ve yağ yakımından kaynaklanmaktadır (Zheng ve ark., 201; Guo ve ark., 2017). Kışın yükselmesinin nedeni Sapanca gölü etrafındaki yerleşim alanlarında ısınma amaçlı fosil yakıt tüketiminin artmasıdır.

Tablo 4.74. Havada Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Ort
SB 15	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE
K 16	0,19	0,48	0,27	0,28	0,33	0,27	0,26	0,17	0,17	0,18	0,26
İB 16	0,10	0,05	0,10	0,11	0,07	0,17	0,09	0,14	0,04	0,15	0,10
Y 16	0,07	0,49	0,74	0,18	0,05	0,40	0,15	0,03	0,02	0,04	0,22
SB 16	0,13	0,14	0,15	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	0,12	0,12	0,14
K 17	2,25	1,80	1,38	1,15	2,13	2,49	1,91	1,33	2,34	1,08	1,78
İB 17	0,10	0,09	0,12	0,08	0,09	0,10	0,11	0,08	0,09	0,08	0,09
Min	0,07	0,05	0,10	0,08	0,05	0,10	0,09	0,03	0,02	0,04	
Mak	2,25	1,80	1,38	1,15	2,13	2,49	1,91	1,33	2,34	1,08	
Std. Sap	0,87	0,66	0,51	0,41	0,82	0,93	0,72	0,50	0,92	0,40	
Ort.	0,47	0,51	0,46	0,32	0,47	0,59	0,44	0,32	0,46	0,28	
Med.	0,11	0,31	0,21	0,16	0,12	0,22	0,14	0,14	0,11	0,14	

İstasyonlarda belirlenen krom konsantrasyonları Şekil 4.107.'de verilmiştir. Şekil 4.107.'de görüldüğü gibi en yüksek Cr kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar H9, 19,18 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla H9 ve 18,07 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla H5 istasyonlarıdır. Cr, Co gibi crustal metal olup, geogenik tozlardan kaynaklanmaktadır (Hoff ve ark., 1996; Guo ve ark., 2017). Ayrıca trafik kaynaklı emisyonlarda Cr kirliliğine neden olmaktadır. (Melaku ve ark., 2008) Cr kirliliğinin yüksek olduğu istasyonlardan H9, D-100 karayoluna çok yakın bir konumda bulunmaktadır. H5 istasyonu ise demir-çelik döküm tesisinin bulunduğu bölgededir. Cr metal endüstrisi faaliyetlerinden de kaynaklanan emisyonlara bağlıdır (Loska ve ark., 1997). Ölçüm istasyonlarında ortalama Cr konsantrasyonları 1,29 $\mu\text{g/L}$ ile 4,34 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla H6 ve H9 istasyonlarında gözlemlenmiştir.

Tablo 4.75.'te Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde yaz ve kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Çin'de yapılan çalışmalarda benzer şekilde Cr konsantrasyonunun yaz döneminde yükseldiği ifade edilmiştir (Wong ve ark., 2003). Numune alma periyotlarında mevsimsel yağış geçişlerinin olduğu döneme denk gelmesi Cr elementinin çökmesini etkilediği belirtilmiştir (Wong ve ark., 2003; Feng ve ark., 2019).

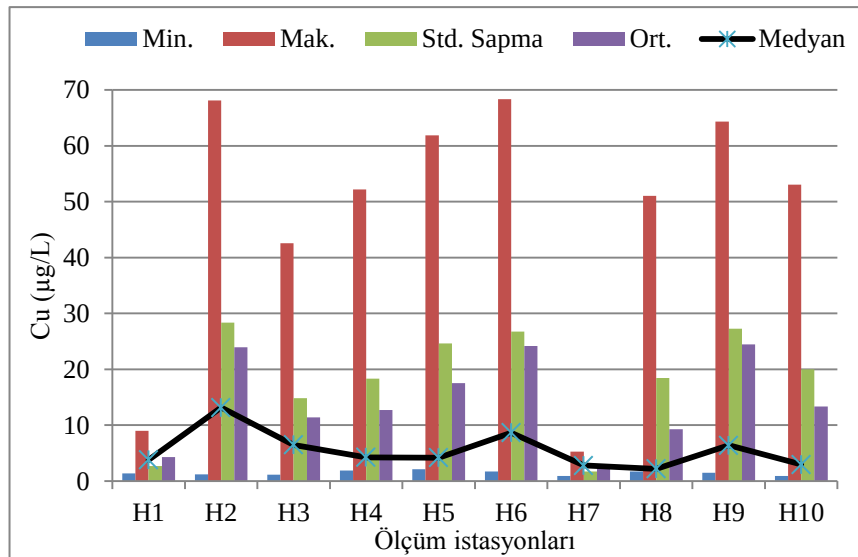


Şekil 4.107. Havada belirlenen Cr konsantrasyonu

Tablo 4.75. Havada Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Ort.
SB 15	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE
K 16	2,32	2,97	2,45	2,79	2,24	2,40	1,67	1,80	3,48	1,55	2,37
İB 16	1,89	0,11	0,21	0,16	0,65	0,29	0,14	0,71	0,57	0,36	0,51
Y 16	5,08	5,22	5,89	1,63	1,19	2,99	1,13	0,59	1,48	0,48	2,57
SB 16	1,73	0,19	0,09	0,07	0,08	0,01	0,03	0,03	0,32	0,07	0,26
K 17	5,31	10,89	8,78	8,33	18,07	1,12	3,53	6,72	19,18	5,48	8,74
İB 17	0,99	1,20	0,93	1,43	0,53	0,91	1,41	0,31	0,98	1,48	1,02
Min	0,99	0,11	0,09	0,07	0,08	0,01	0,03	0,03	0,32	0,07	
Mak	5,31	10,89	8,78	8,33	18,07	2,99	3,53	6,72	19,18	5,48	
Std. Sap	1,84	4,14	3,54	3,08	7,03	1,18	1,27	2,54	7,36	2,01	
Ort.	2,89	3,43	3,06	2,40	3,79	1,29	1,32	1,69	4,34	1,57	
Med.	2,11	2,08	1,69	1,53	0,92	1,01	1,27	0,65	1,23	0,98	

İstasyonlarda belirlenen bakır konsantrasyonları Şekil 4.108.'de verilmiştir. Şekil 4.108.'de görüldüğü gibi en yüksek Cu kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 68,32 µg/L konsantrasyonla H6 ve 68,10 µg/L konsantrasyonla H2 istasyonlarıdır. H6 istasyonu demir-çelik döküm tesisinin bulunduğu bölgede yer almaktadır. H2 istasyonu ise E-80 karayoluna ve demir yoluna yakındır. Trafik yükünün fazla olduğu bölgelerde bulk atmosferik birikim örneklerinde Cu konsantrasyonunun yüksek olduğu farklı çalışmalarda da görülmüştür (Sharma ve ark., 2008; Gunawardena ve ark., 2013; Weerasundara ve ark., 2017). Ölçüm istasyonlarında ortalama Cu konsantrasyonları 2,99 µg/L ile 24,46 µg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla H7 ve H9 istasyonlarında gözlemlenmiştir.



Şekil 4.108. Havada belirlenen Cu konsantrasyonu

Tablo 4.76.'da Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde sonbahar ve kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Kış döneminde Cu konsantrasyonunun yükselmesinin neden kışın yerleşim alanlarında ısınma ve yanma prosesinin artış göstermesidir. Genellikle Cu konsantrasyonları yağışsız dönemlerde daha yüksek olmaktadır, 2015 sonbahar döneminde yüksek olmasının nedeni örnekleme periyodunun yağışsız zamana denk gelmesidir (Nguyen ve ark., 2005).

Tablo 4.76. Havada Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

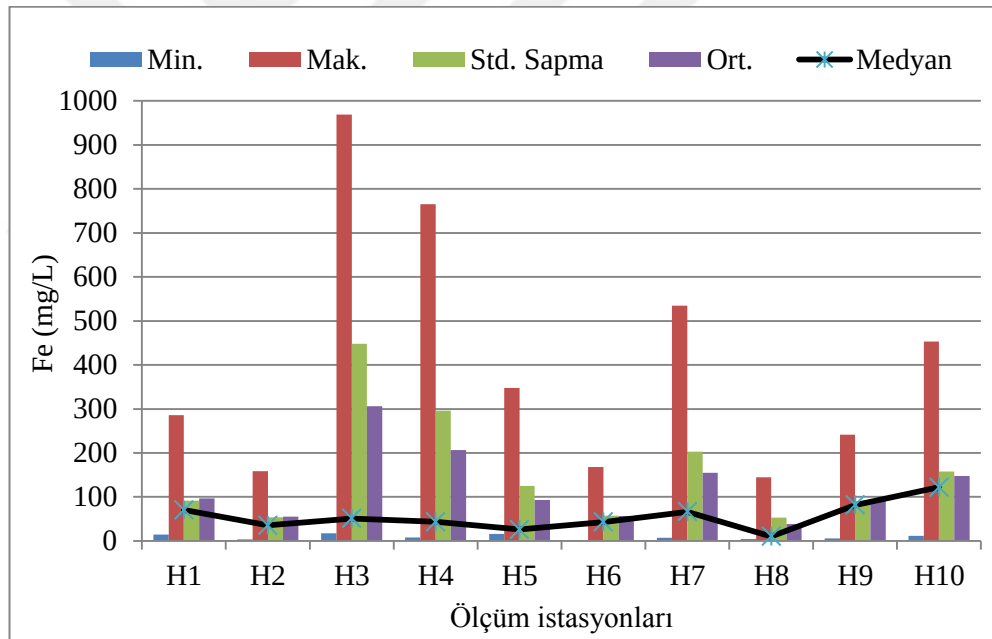
	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Ort.
SB 15	2,79	60,57	42,54	52,18	61,87	68,32	5,27	51,05	57,88	57,88	46,03
K 16	3,78	13,14	6,47	4,75	6,68	8,66	2,12	3,34	6,39	6,39	6,17
İB 16	2,26	3,79	1,85	4,20	2,13	6,54	2,79	2,06	3,25	3,25	3,21
Y 16	6,73	18,50	10,70	4,23	4,19	24,70	3,56	2,17	5,00	5,00	8,48
SB 16	4,11	2,47	1,29	1,86	2,14	1,70	1,33	1,89	64,30	64,30	14,54
K 17	8,97	68,10	15,89	18,70	43,36	54,43	4,95	2,51	32,90	32,90	28,27
İB 17	1,35	1,17	1,11	2,98	2,43	4,87	0,89	1,68	1,49	1,49	1,95
Min	1,35	1,17	1,11	1,86	2,13	1,70	0,89	1,68	1,49	1,49	
Mak	8,97	68,10	42,54	52,18	61,87	68,32	5,27	51,05	64,30	64,30	
Std. Sap	2,68	28,35	14,80	18,32	24,60	26,75	1,70	18,44	27,26	27,26	
Ort.	4,28	23,96	11,41	12,70	17,54	24,17	2,99	9,24	24,46	24,46	
Med.	3,78	13,14	6,47	4,23	4,19	8,66	2,79	2,17	6,39	6,39	

İstasyonlarda belirlenen demir konsantrasyonları Şekil 4.109.'da verilmiştir. Şekil 4.109.'da görüldüğü gibi en yüksek Fe kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 968,90 mg/L konsantrasyonla H3 ve 765,60 mg/L konsantrasyonla H4 istasyonlarıdır. Fe jeojenik kaynaklı bir element olmakla birlikte fosil yakıt tüketiminden de kaynaklanmaktadır (Weerasundara ve ark., 2017; Lopez-Garcia ve ark., 2020; Yang ve ark., 2020). Aynı zamanda trafik kaynaklı yakıt tüketiminden, taşıtların fren balata sistemlerinden ve ağır ticari dizel taşıtlardan da atmosfere salınmaktadır (Ramadan ve ark., 2000; Mijić ve ark., 2010).

Havza yapısı itibarıyla bölgede yer kabuğu kaynaklı yüksek miktarda Fe elementi bulunmaktadır. Dolayısıyla bulk birikim örneklerinde Fe konsantrasyonunun yüksek çıkması rüzgarın etkisiyle toprak tozların havalanmasına da bağlıdır (Lopez-Garcia ve ark., 2020). H3 ve H4 istasyonları civarında tekstil fabrikası, otomobil parçası üreten fabrika ve otomobil koltuk fabrikası bulunmaktadır. H3 ve H4 istasyonlarında Fe konsantrasyonunun yüksek olması endüstriyel kuruluşların fosil yakıt

tüketiminden, doğal toprak yapısından ve E-80 karayolundan kaynaklanmaktadır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Fe konsantrasyonları 38,26 mg/L ile 305,94 mg/L arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla H8 ve H3 istasyonlarında gözlemlenmiştir.

Tablo 4.77.'de Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde yaz ve kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Kış döneminde konsantrasyon artışının nedeni ısınma amaçlı fosil yakıt tüketiminin (kömür) artması ve yaz döneminde ise örnekleme periyodunda trafik yoğunluğunun yüksek olması kabul edilmektedir (Ito, 2015; Matsui ve ark., 2018; Yang ve ark., 2020). Hava kirliliğinin yoğun olduğu Doğu Çin'de yapılan bir çalışmada bahar dönemlerine göre kış döneminde Fe konsantrasyonu çok daha yüksek seviyelerde tespit edilmiştir (Song ve ark., 2014).



Şekil 4.109. Havada belirlenen Fe konsantrasyonu

Tablo 4.77. Havada Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/L).

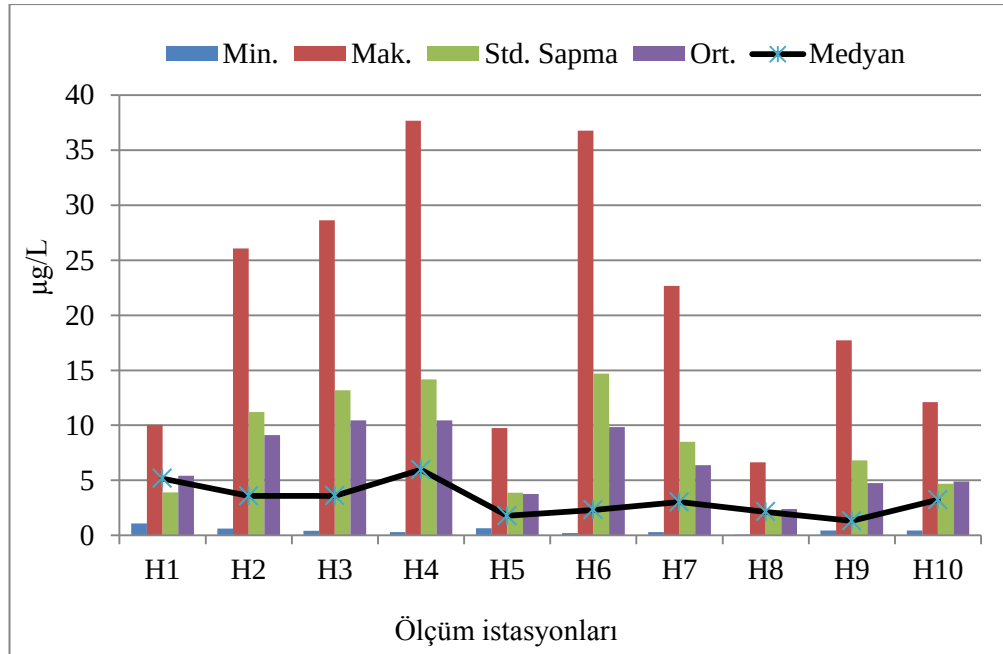
	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Ort.
SB 15	93,86	29,37	105,58	104,65	15,92	37,46	66,17	4,66	158,87	122,01	73,86
K 16	70,38	35,28	17,23	23,87	25,17	2,17	8,62	7,77	10,19	11,36	21,20
İB 16	39,89	19,00	28,87	28,85	25,09	43,01	7,25	10,15	5,88	242,40	45,04
Y 16	286,20	95,79	952,70	474,00	347,60	89,54	325,50	145,00	241,70	143,80	310,18
SB 16	14,45	3,80	17,22	7,81	25,89	2,26	7,12	4,24	7,65	11,59	10,20
K 17	127,80	158,70	968,90	765,60	175,20	168,10	534,80	73,04	132,70	453,50	355,83

Tablo 4.77. (Devamı)

İB 17	46,68	46,46	51,15	43,54	38,13	52,41	134,60	22,99	81,63	50,97	56,86
Min	14,45	3,80	17,22	7,81	15,92	2,17	7,12	4,24	5,88	11,36	
Mak	286,20	158,70	968,90	765,60	347,60	168,10	534,80	145,00	241,70	453,50	
Std. Sap	91,35	53,93	448,40	295,94	125,33	57,74	202,79	52,98	91,16	157,92	
Ort.	97,04	55,49	305,95	206,90	93,29	56,42	154,86	38,26	91,23	147,95	
Med.	70,38	35,28	51,15	43,54	25,89	43,01	66,17	10,15	81,63	122,01	

İstasyonlarda belirlenen nikel konsantrasyonları Şekil 4.110.'da verilmiştir. Ni trafik kaynaklı yakıt tüketimi, kömür tüketimi sonucu atmosfere salınmaktadır (Cong ve ark., 2010; Luo ve ark., 2018; Zang ve ark., 2020). Şekil 4.110.'da görüldüğü üzere en yüksek Ni kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 37,66 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla H4 ve 36,77 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla H6 istasyonlarıdır.

H6 istasyonu demir-çelik döküm tesisinin bulunduğu bölgede yer almaktadır. H4 istasyonu ise tekstil fabrikasına, otomobil parçaları üreten tesise, E-80 karayoluna ve demir yoluna yakındır. Bu istasyonlarda Ni konsantrasyonlarının yüksek çıkmasının nedeni nikelin bu kirletici kaynaklardan atmosfere salınmasıdır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Ni konsantrasyonları 2,38 $\mu\text{g/L}$ ile 10,46 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla H8 ve H4 istasyonlarında gözlemlenmiştir.



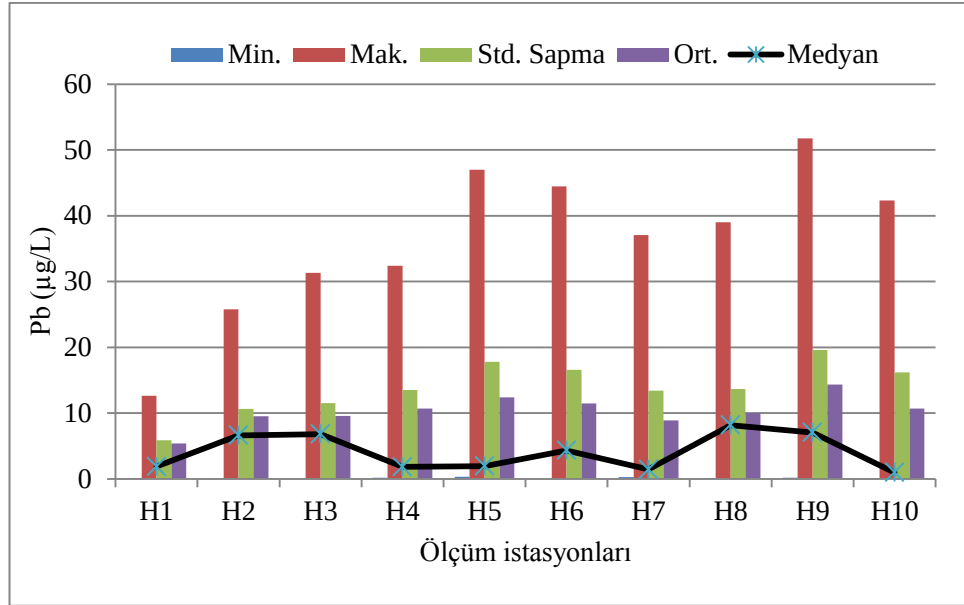
Şekil 4.110. Havada belirlenen Ni konsantrasyonu

Tablo 4.78.'de Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde yaz ve kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Yaz ve kış döneminde örnekleme periyodu süresince diğer dönemlere göre trafik yoğunluğunun yüksek olmasından ve Ni kirliliğinin taşıtların metal parçalarından ve bölgede yaz döneminde artan tarımsal faaliyetlerden (gübreleme, sulama) kaynaklanmaktadır (Ramadan ve ark., 2000; Kara ve ark., 2014; Feng ve ark., 2019).

Tablo 4.78. Havada Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/L}$).

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Ort.
SB 15	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE	TE
K 16	7,40	6,32	28,63	10,37	2,27	3,13	2,27	1,81	1,86	2,35	6,64
İB 16	2,94	0,73	2,25	1,55	1,28	1,50	3,78	2,57	0,69	4,11	2,14
Y 16	9,14	20,10	26,00	11,20	7,58	17,20	8,53	6,64	7,00	12,10	12,55
SB 16	1,93	0,61	0,41	0,29	0,65	0,22	0,80	0,74	0,75	0,44	0,68
K 17	10,03	26,06	4,94	37,66	9,75	36,77	22,66	2,47	17,72	9,15	17,72
İB 17	1,09	0,85	0,51	1,56	1,12	0,24	0,31	0,06	0,43	1,31	0,75
Min	0,61	0,41	0,29	0,29	0,22	0,22	0,74	0,69	0,44	0,44	
Mak	10,03	26,06	28,63	37,66	9,75	36,77	22,66	6,64	17,72	12,10	
Std. Sap	3,90	11,19	13,19	14,16	3,89	14,69	8,50	2,31	6,82	4,69	
Ort.	5,42	9,11	10,46	10,44	3,77	9,84	6,39	2,38	4,74	4,91	
Med.	5,17	3,59	3,59	5,97	1,78	2,31	3,02	2,14	1,31	3,23	

İstasyonlarda belirlenen kurşun konsantrasyonları Şekil 4.111.'de verilmiştir. Şekil 4.111.'de görüldüğü gibi en yüksek Pb kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 51,78 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla H9 ve 46,98 $\mu\text{g/L}$ konsantrasyonla H5 istasyonlarıdır. H5 istasyonu demir-çelik döküm tesisinin bulunduğu bölge civarındadır. H9 istasyonu ise D-100 karayoluna çok yakın bir konumdadır. Pb metali, motorlu taşıtlarda benzin tüketiminden, ısınma amaçlı kömür tüketiminden ve metal işleme faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır (Duan ve Tan, 2013; Csavina ve ark., 2014; Zhou ve ark., 2019). Trafik yükünün fazla olduğu bölgelerde bulk atmosferik birikim örneklerinde Pb konsantrasyonunun yüksek olduğu ve bir diğer trafik kaynaklı Cu elementi ile Pb arasında pozitif bir ilişki olduğu Wang (2016) ve Luo (2018) yaptıkları çalışmalarda da gözlemlenmiştir (Wang ve ark., 2016; Luo ve ark., 2018). Ölçüm istasyonlarında ortalama Pb konsantrasyonları 5,38 $\mu\text{g/L}$ ile 14,3 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla H1 ve H9 istasyonlarında gözlemlenmiştir.



Şekil 4.111. Havada belirlenen Pb konsantrasyonu

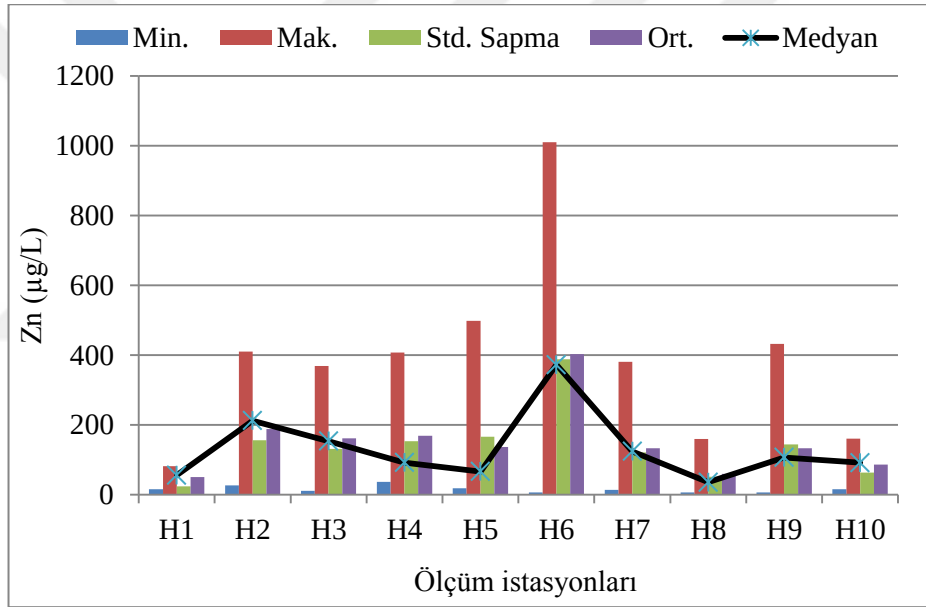
Tablo 4.79.'da Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde sonbahar ve kış döneminde yükselme gözlenmiştir. Pekin'de yapılan bir çalışmada Pb konsantrasyonu fosil yakıt tüketiminin (kömür) artması nedeniyle sonbahar ve kış döneminde diğer dönemlere göre daha yüksek seviyelerde tespit edilmiştir (Guo ve ark., 2017).

Tablo 4.79. Havada Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Ort.
SB 15	12,22	25,79	31,33	32,40	46,98	44,48	37,05	38,99	51,78	42,33	36,33
K 16	9,79	11,88	10,59	12,74	9,43	8,91	9,32	12,56	9,55	7,53	10,23
İB 16	0,45	0,27	0,21	0,17	0,52	0,04	0,60	0,59	0,61	0,46	0,39
Y 16	1,87	6,61	6,80	1,81	1,68	4,31	1,42	0,88	0,87	0,97	2,72
SB 16	0,14	0,09	0,03	0,57	0,33	0,14	0,29	0,10	7,04	0,09	0,88
K 17	12,64	21,46	17,26	26,06	25,82	22,14	13,09	8,71	30,26	22,79	20,02
İB 17	0,54	0,43	0,75	1,07	1,95	0,20	0,45	8,16	0,17	0,59	1,43
Min	0,14	0,09	0,03	0,17	0,33	0,04	0,29	0,10	0,17	0,09	
Mak	12,64	25,79	31,33	32,40	46,98	44,48	37,05	38,99	51,78	42,33	
Std. Sap	5,86	10,63	11,53	13,52	17,77	16,57	13,42	13,67	19,59	16,18	
Ort.	5,38	9,50	9,57	10,69	12,39	11,46	8,89	10,00	14,33	10,68	
Med.	1,87	6,61	6,80	1,81	1,95	4,31	1,42	8,16	7,04	0,97	

İstasyonlarda belirlenen çinko konsantrasyonları Şekil 4.112.'de verilmiştir. Şekil 4.112.'de görüldüğü gibi en yüksek Zn kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 1010 µg/L konsantrasyonla H6 ve 432,40 µg/L konsantrasyonla H9 istasyonlarıdır. H6

istasyonu demir-çelik döküm tesisi ve çatı kaplama malzemesi üreten tesisin bulunduğu bölgede konumlandırılmıştır. H9 istasyonu ise D-100 karayoluna çok yakın bir konumdadır. Atmosferik birikimde en önemli Zn kaynağı taşıt emisyonlarıdır (Duan ve Tan, 2013). Bu emisyonlar egzoz, madeni yağ tüketimi, tekerlek ve fren aşınmalarından kaynaklanmaktadır (7). Bununla birlikte birçok çalışmada endüstriyel tesislerin bulunduğu ve trafiğin yoğun olduğu bölgelerde atmosferik Zn birikimi tespit edilmiştir (Sharma ve ark., 2008; Davis ve Birch, 2011; Gunawardena ve ark., 2013). Ölçüm istasyonlarında ortalama Zn konsantrasyonları 50,34 $\mu\text{g/L}$ ile 402,82 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla H1 ve H6 istasyonlarında gözlemlenmiştir.



Şekil 4.112. Havada belirlenen Zn konsantrasyonu

Tablo 4.80.'de Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde sonbahar ve kış döneminde yükselme gözlemlenmiştir. Bu sonuca benzer olarak, Pekin'de yapılan bir çalışmada havaların ısınmasıyla Zn konsantrasyonunda düşüş tespit edilmiş ve bu nedeninin ısınma amaçlı kömür tüketiminde azalma olduğu bildirilmiştir (Guo ve ark., 2017). Bununla birlikte, Zn içeren çatı kaplama malzemelerinin ve galvanizli yapı bileşenlerinin geniş kullanımı, atmosferik birikimdeki Zn konsantrasyonunu etkilemektedir (Duan ve Tan, 2013).

Tablo 4.80. Havada Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/L).

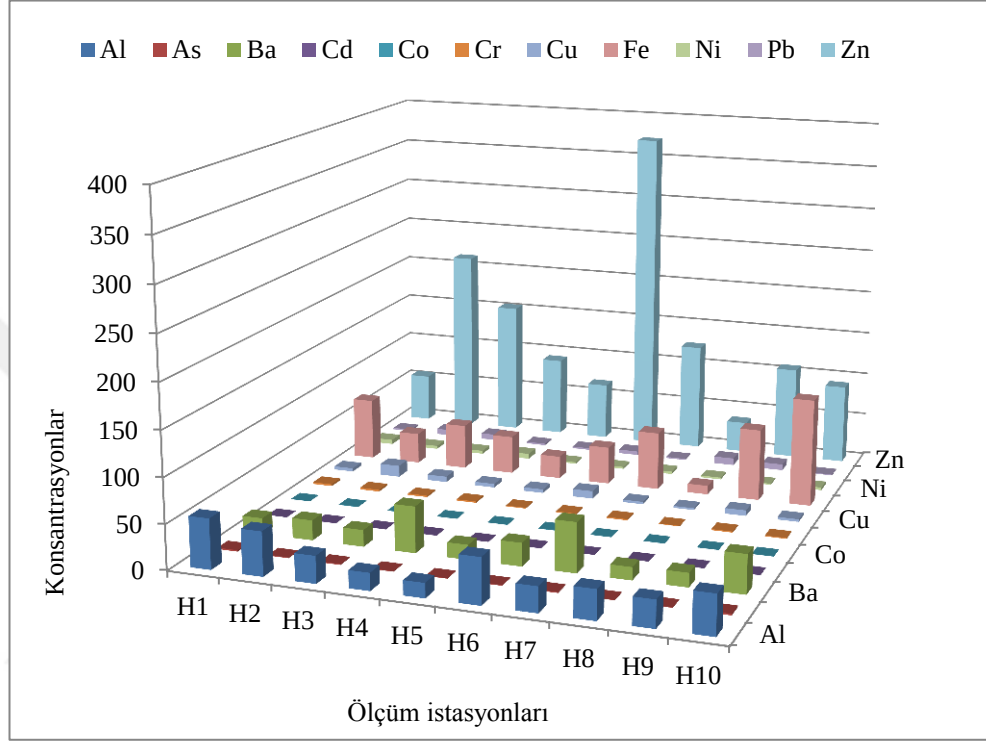
	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	Ort.
SB 15	58,97	212,28	368,89	407,45	148,12	372,18	132,33	89,30	162,62	123,98	207,61
K 16	55,50	335,72	153,35	208,19	127,15	450,60	87,15	31,19	70,95	155,37	167,52
İB 16	15,22	33,54	55,31	41,55	57,37	145,10	33,13	33,21	18,22	91,28	52,39
Y 16	73,80	253,30	214,10	91,78	65,99	809,40	161,20	64,69	106,70	39,37	188,03
SB 16	35,77	47,18	57,42	55,51	40,29	26,04	123,90	35,53	135,70	17,91	57,53
K 17	81,50	410,30	271,70	343,40	498,50	1010,00	380,40	159,10	432,40	160,59	374,79
İB 17	31,64	26,81	11,30	36,34	18,28	6,40	13,83	6,64	6,21	15,58	17,30
Min	15,22	26,81	11,30	36,34	18,28	6,40	13,83	6,64	6,21	15,58	
Mak	81,50	410,30	368,89	407,45	498,50	1010,00	380,40	159,10	432,40	160,59	
Std. Sap	23,87	155,86	130,80	153,57	166,20	387,89	121,36	51,15	143,94	62,74	
Ort.	50,34	188,45	161,72	169,17	136,53	402,82	133,13	59,95	133,26	86,30	
Med.	55,50	212,28	153,35	91,78	65,99	372,18	123,90	35,53	106,70	91,28	

4.3.2.1. Ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonlarının incelenmesi

Ölçüm istasyonlarındaki, mevsimsel ortalamalara göre en yüksek ağır metal konsantrasyonları Şekil 4.113.'de verilmiştir.

- Alüminyum kirliliği en yüksek H1 istasyonunda 55,71 mg/L ve H6 istasyonunda 50,73 mg/L;
- Arsenik kirliliği en yüksek H10 istasyonunda 1,75 µg/L ve H1 istasyonunda 1,5 µg/L;
- Baryum kirliliği en yüksek H4 istasyonunda 51,55 µg/L ve H10 istasyonunda 42,92 µg/L;
- Kadmiyum kirliliği en yüksek H3 istasyonunda 0,26 µg/L ve H10 istasyonunda 0,22 µg/L;
- Kobalt kirliliği en yüksek H2 istasyonunda 0,31 µg/L ve H6 istasyonunda 0,22 µg/L;
- Krom kirliliği en yüksek H1 istasyonunda 2,11 µg/L ve H2 istasyonunda 2,08 µg/L;
- Bakır kirliliği en yüksek H2 istasyonunda 13,14 µg/L ve H6 istasyonunda 8,66 µg/L;
- Demir kirliliği en yüksek H10 istasyonunda 122,008 mg/L ve H1 istasyonunda 70,38 mg/L;
- Nikel kirliliği en yüksek H4 istasyonunda 5,96 µg/L ve H1 istasyonunda 5,17 µg/L;

- Kurşun kirliliği en yüksek H8 istasyonunda 8,164 $\mu\text{g/L}$ ve H9 istasyonunda 7,04 $\mu\text{g/L}$;
- Çinko kirliliği en yüksek H6 istasyonunda 372,178 $\mu\text{g/L}$ ve H2 istasyonunda 212,278 $\mu\text{g/L}$ olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.113. Havada ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonları (Al ve Fe için mg/L, $\mu\text{g/L}$).

Pb, As, Cd ve Ni metalleri için sınır değerler Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde verilmiştir. Bu değerler sırasıyla 0,5 $\mu\text{g/m}^3$, 6 ng/m³, 5 $\mu\text{g/m}^3$ ve 20 ng/m³'tür. Çalışmada bulunan en yüksek Pb, As, Cd ve Ni konsantrasyonları yönetmelik değerleriyle karşılaştırıldığında yüksek seviyelerde bulunmaktadır.

Sapanca gölünde yapılan çalışmada ağır metal konsantrasyonlarının ölçüm istasyonlarına göre dağılımı incelendiğinde; çoğunlukla ağır metal kirliliğinin yüksek olduğu istasyonlar H1, H2, H6 ve H10 istasyonlarıdır. Bölgede hakim rüzgar yönü KB'dır. Bunu KD ve GB izlemektedir (Şekil 3.2.). İstasyonların bulunduğu mevkilere bakıldığında, H1 (Sapanca- İzmit yolu) karayoluna çok yakın bir konumda

ve etrafında peyzaj alanları bulunmakta; H2 demiryoluna ve Sapanca evsel atıksu ön arıtma tesisine çok yakın bir konumdadır. H6 istasyonunun bulunduğu konumun yakınından TEM E-80 otoyolu ve demiryolu geçmektedir. Bölge mevkinde çatı kaplama malzemesi, su yalıtım malzemesi ve kiremit üreten bir endüstriyel kuruluş bulunmaktadır. H10 istasyonu ise D-100 karayoluna çok yakın bir konumdadır. Kirletici kaynaklar ve meteorolojik şartlar (özellikle rüzgar yönü) dikkate alındığında ağır metal kirliliğinin trafik kaynaklı (fosil yakıt tüketimi, tekerleklerin, fren-balata sistemlerinin aşınması) olduğu kanısına varılmaktadır. Ağır metallerin atmosferik birikimi üzerine yapılan diğer çalışmalarda da ağır metal kirliliğinin çoğunlukla trafik yüküne bağlı olduğu belirtilmiştir (Melaku ve ark., 2008; Zheng ve ark., 2015; Weerasundara ve ark., 2017).

Al ve Fe konsantrasyonlarının yüksek olduğu istasyonlar karayoluna yakın noktalarda bulunmaktadır. Ayrıca diğer ağır metal konsantrasyonlarıyla karşılaştırıldığında bu iki metale ait değerler yüksektir. Bunun nedeni Al ve Fe metallerinin jeojenik (yer kabuğu) elementler olması ve havza toprağında yüksek oranda bulunmasına bağlıdır. Bu iki metal için kirletici kaynakların rüzgarın etkisiyle toprak tozlarının havalandırılması ve trafik kaynaklı emisyonlardır (Ramadan ve ark., 2000; Garcia-Lopez 2020).

Ba konsantrasyonunun yüksek olduğu istasyonlar incelendiğinde bölgede metal içerikli otomobil parçaları üreten endüstriyel kuruluş bulunmakta ve D-100 karayoluna çok yakın konumdadır. Bu bilgiler ışığında Ba için kirletici kaynakların bu endüstriyel kuruluşa ait yakıt tüketimi ve trafik olduğu kanısına varılmaktadır. Cd, Co, Cu, Ni ve Zn konsantrasyonlarının yüksek olduğu istasyonlar karayoluna yakın konumda olup, istasyonların bulunduğu bölgede demir-çelik döküm tesisi yer almaktadır. Bu ağır metaller için kirletici kaynaklar endüstriyel kuruluş kaynaklı emisyonlar ve trafiktir. Pb konsantrasyonunun yüksek olduğu her iki istasyon konum olarak D-100 karayoluna çok yakın olup, Pb metali motorlu taşıtların benzin tüketimine bağlı olarak atmosfere salınmaktadır.

4.3.2.2. Havada fiziko-kimyasal parametreler ile ağır metallerin korelasyon analizi

Tablo 4.81.'de verilen veri seti içerisindeki tüm elementler için Pearson korelasyon değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler -1 ve + 1 değer aralığında çiftler arasındaki ilgileşimin kuvvetini ifade edecek şekilde sıralanmıştır. Atmosferik birikim örneklerinde toplam organik karbon değerleri ile ağır metaller arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Aralarında %95 güven aralığında (p değeri $<0,05$) ilgileşim olan çiftler şu şekilde sıralanabilir:

İletkenlik ile aralarında güçlü anlamlılık bulunan parametreler toplam çözünmüş katı (1), tuzluluk (0,998), Al (0,738), Co (0,731) ve Fe (0,761) olarak belirlenmiştir. Al ve Fe ile tuzluluk arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. pH ile ORP arasında anlamlılık seviyesi 0,591 şeklindedir. Al ve Cd metallerinin diğer metaller ile arasındaki ilişki incelendiğinde Al – Co (0,881) ve Al – Fe (0,960); Cd – Co (0,740) ve Cd – Pb (0,732) olarak bulunmuştur.

Ba ile diğer metaller arasında anlamlı bir ilişki bulunmazken, Ba metalinin Co ve Fe metalleri ile arasında güçlü anlamlılık bulunmuştur. Bu kuvvetli anlamlılıklar bu metallerin ortak kirletici kaynaklardan zenginleşmek suretiyle yağışlar veya belirli meteorolojik şartlar altında benzer yayılım özellikleri gösterdiklerini göstermektedir (Alagha). Bulk atmosferik birikimle ilgili yapılan bir çalışmada Cu, Pb ve Zn metallerinin trafik ile güçlü bir korelasyon olduğu bulunmuştur (Davis, 2011). Bu bilgi ışığında alınan hava numunelerinde Pb ve Zn metalleriyle arasında anlamlı ilişki bulunan metallerin (As, Cd, Co, Ni, Al, Ba, Fe) aynı kirletici kaynaktan geldiği görülmektedir.

Tablo 4.81. Havada kirleticiler arasındaki Pearson korelasyonu

	TOK	SPC	C	TDS	SAL	pH	ORP	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
TOK	1																	
SPC	,361**	1																
C	,370**	,999**	1															
TDS	,361**	1,000**	,999**	1														
SAL	,348**	,998**	,996**	,998**	1													
pH	,110	-,353**	-,344**	-,353**	-,342**	1												
ORP	,152	,624**	,640**	,624**	,593**	-,591**	1											
Al	,407**	,783**	,796**	,782**	,750**	-,284*	,768**	1										
As	,254	,461**	,461**	,460**	,450**	-,226	,281*	,462**	1									
Ba	,073	,276*	,283*	,278*	,261*	-,114	,341**	,318**	,293*	1								
Cd	,113	,535**	,531**	,537**	,510**	-,522**	,512**	,593**	,429**	,328*	1							
Co	,312*	,731**	,729**	,730**	,698**	-,518**	,668**	,881**	,497**	,317*	,740**	1						
Cr	,150	,410**	,410**	,409**	,393**	-,195	,264*	,391**	-,031	,288*	,338**	,421**	1					
Cu	,138	,180	,178	,179	,153	-,218	,263*	,362**	,402**	-,041	,532**	,417**	-,033	1				
Fe	,426**	,761**	,772**	,760**	,727**	-,267*	,701**	,960**	,509**	,329**	,562**	,884**	,400**	,317**	1			
Ni	,172	,370**	,382**	,374**	,339**	-,323*	,588**	,560**	,055	,530**	,620**	,524**	,370**	,158	,496**	1		
Pb	,245*	,564**	,566**	,567**	,549**	-,297*	,416**	,515**	,709**	,372**	,732**	,530**	,263*	,438**	,476**	,525**	1	
Zn	,223	,346**	,353**	,347**	,322**	-,162	,377**	,526**	,386**	,547**	,481**	,541**	,491**	,184	,592**	,541**	,446**	1

4.3.2.3. Toplam çökelme akılarının hesaplanması

Hava kirliliği atmosferde bulunan toz, duman ve gaz gibi maddelerin canlı yaşamına ve ekolojik dengeye zarar verecek miktar, süre ve yoğunlukta bulunmasıdır (TUBİTAK, 2010) Kirliliğe neden olan bu maddeler yağışlarla atmosferden yeryüzüne çökerek birikmektedir. Bu nedenle, atmosferik birikim toksik maddelerin atmosferden yeryüzeyine geçişinde ana unsur olmakla birlikte toksik maddelerin önemli kaynağıdır (Mijić ve ark., 2010). Atmosferik birikim ıslak ve kuru olmak üzere iki formda gerçekleşmektedir. Islak ve kuru birikimin birlikte gerçekleştiği durumlara ise bulk birikim (toplam çökelme) adı verilmektedir (Akkoyunlu ve Tayanç, 2003).

Ağır metallerin toplam çökelme akıları $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ olacak şekilde Denklem 4.14'e göre hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında hesaplanan toplam çökelme (bulk birikim) akıları partikül ve çözünmüş faz değerlerinin tamamını içermektedir.

$$F = (C \times V) \times A^{-1} \times t^{-1} \quad (4.14)$$

Denklem 4.14'te verilen F; her bir ağır metal için akı değerini ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$), C; her bir ağır metal için konsantrasyonunu ($\mu\text{g}/\text{L}$), V; örnekleme hacmini (L), A; bulk birikim örnekleycisinin yüzey alanını (m^2) ve t; örnekleme periyodunu (gün) ifade etmektedir (Morselli ve ark., 2003).

Ağır metallerin mevsimsel toplam çökelme akıları Tablo 4.82.'de verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere düşük çökelme akısına sahip ağır metal Cd ($0,07 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$) iken en yüksek çökelme akısına sahip ağır metal Fe ($31528 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$)'dur. Al ve Fe elementleri crustal yani yer yüzeyinde yüksek oranda bulunan metallerdir. Hem doğal hem de antropojenik kaynaklı metaller olduğundan antropojenik kaynaklı olan metallere (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn) göre akı değerleri yüksek miktarlardadır. Metallerin (Al ve Fe elementleri hariç) toplam çökelme akıları genellikle kış döneminde daha yüksektir, bunun nedeni ise bu dönemde kirlenici konsantrasyonlarının yükselmesidir.

Tablo 4.82. Ağır metallerin mevsimsel toplam çökelme akıları ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$).

	Al	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
SB 15	27871	44,33	-	-	-	-	34835	-	18,58	92,95
K 16	20722	64,08	0,17	0,25	2,50	5,13	23560	6,01	10,26	154,94
İB 16	26667	10,62	0,12	0,06	0,41	1,77	23963	1,38	0,22	28,21
Y 16	28245	3,20	0,002	0,02	0,27	0,75	27324	1,13	0,25	17,57
SB 16	6153	6,19	0,02	0,05	1,06	0,59	3522	0,20	0,17	17,45
K 17	54502	10,79	0,11	0,30	1,65	4,04	60256	2,87	3,31	60,91
İB 17	19319	8,29	0,002	0,08	0,88	1,53	47232	0,63	1,10	15,25
Min	6153	3	0,002	0,02	0,88	1	3522	0,20	0,22	15
Mak	54502	64,08	0,17	0,30	2,5	5,13	60256	6,01	18,58	154,94
Std. Sap	14648	23,49	0,07	0,12	0,83	1,85	18283	2,15	7,05	52,55
Ort.	26211	21,07	0,07	0,13	1,13	2,30	31528	2,04	4,84	55,33
Med.	26667	10,62	0,07	0,07	0,97	1,65	27324	1,26	1,10	28,21

Tablo 4.83.'te ölçüm istasyonlarına göre mevsimsel toplam çökelme akıları verilmiştir.

- Alüminyum için en yüksek H3 istasyonunda kış döneminde $132643 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ ve H4 istasyonunda kış döneminde $116432 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$;
- Arsenik için en yüksek H1 istasyonunda ilkbahar döneminde $8,33 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ ve H7 istasyonunda ilkbahar döneminde $4,97 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$;
- Baryum için en yüksek H4 istasyonunda kış döneminde $183,99 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ ve sonbahar döneminde $134,81 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$;
- Kadminyum için en yüksek H10 istasyonunda kış döneminde $0,31 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ ve H3 istasyonunda kış döneminde $0,28 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$;
- Kobalt için en yüksek H7 istasyonunda kış döneminde $0,40 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ ve H6 istasyonunda kış döneminde $0,39 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$;
- Krom için en yüksek H9 istasyonunda sonbahar dönemlerinde $33,40 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ ve $10,03 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$;
- Bakır için en yüksek H5 istasyonunda sonbahar döneminde $42,22 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ ve H8 istasyonunda sonbahar döneminde $33,44 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$;
- Demir için en yüksek H3 istasyonunda kış döneminde $143563 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ ve H7 istasyonunda ilkbahar döneminde $120713 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$;
- Nikel için en yüksek H3 istasyonunda kış döneminde $20,06 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ ve H1 istasyonunda kış döneminde $11,54 \mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$;

- Kurşun için en yüksek H5 istasyonunda sonbahar döneminde 32,06 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ ve H9 istasyonunda sonbahar döneminde 29,88 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$;
- Zn için en yüksek H6 istasyonunda kış döneminde 456,82 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ ve H2 istasyonunda kış döneminde 261,81 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$ olarak tespit edilmiştir.

Al, Cd, Co, Ni ve Zn metallerine ait akılar istasyon bazında mevsimsel olarak incelendiğinde kış döneminde en yüksek akı değerlerine sahiptir. As için ilkbahar döneminde Cr, Cu ve Pb kış döneminde en yüksek akı değerlerine sahiptir.

Belgrat'ta yapılan benzer bir çalışmada Al, Fe, Ni ve V metallerinin bulk birikimi ve çökeltme akıları belirlenmiş, Fe bahar döneminde ve Ni kış döneminde yüksek çökeltme akılarına sahiptir (Ye ve ark., 2018). Hindistan'da yapılan bir çalışmada ise Cd, Cu, Pb ve Zn metallerinin bulk birikimi incelenmiştir. Çalışma sonucunda Cd, Cu ve Zn için çökeltme akıları en yüksek yaz döneminde, Pb için yağışlı dönemde (bahar dönemlerinde) görülmüştür (Sharma ve ark., 2008). Benzer şekilde bu çalışmada da Cd ve Zn metallerinin akı değerleri en yüksek kış dönemlerinde, Pb ve Cu metallerinin akı değerleri en yüksek bahar dönemlerinde görülmüştür. Çin'de yapılan bir çalışmada ise Cu, Cr, Zn ve Pb metallerine akı değerleri yaz döneminde daha yüksek olduğu ve bu durumun subtropikal bölgelerde yaz döneminde yağış geçişlerinden kaynaklandığı belirtmişlerdir (Wong ve ark., 2003).

Tablo 4.83. İstasyonlara göre mevsimsel toplam çökeltme akıları ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{gün}$).

Ölç.	F (µg/m ² . gün)											
İst.		Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
1	SB 15	21748	TE	17,85	TE	TE	TE	0,76	25619	TE	3,33	16,10
	K 16	78047	3,82	53,54	0,12	0,30	3,62	5,90	109772	11,54	15,27	86,56
	İB 16	51599	0,65	20,63	0,14	0,11	2,21	2,65	46662	3,44	0,52	17,80
	Y 16	25618	0,02	1,25	0,00	0,01	0,59	0,79	33479	1,07	0,22	8,63
	SB 16	11296	0,08	3,63	0,01	0,03	0,35	0,83	2930	0,39	0,03	7,25
	K 17	15750	0,78	7,65	0,12	0,39	0,91	1,54	21926	1,72	2,17	13,98
	İB 17	33976	8,33	15,11	0,09	0,14	1,43	1,94	67346	1,57	0,78	45,65
2	SB 15	32147	TE	13,40	TE	TE	TE	11,81	5726	TE	5,03	41,39
	K 16	22499	0,66	39,80	0,23	0,37	2,32	10,25	27516	4,93	9,26	261,81
	İB 16	26683	0,03	8,27	0,08	0,03	0,06	2,07	10372	0,40	0,15	18,31
	Y 16	70130	0,05	2,10	0,00	0,05	0,49	1,73	8964	1,88	0,62	23,70
	SB 16	6433	0,06	6,35	0,03	0,05	0,07	0,87	1334	0,21	0,03	16,56
	K 17	98132	0,29	7,12	0,04	0,21	1,27	7,97	18564	3,05	2,51	48,00
	İB 17	15835	4,60	7,98	0,00	0,07	0,92	0,90	35870	0,66	0,34	20,70

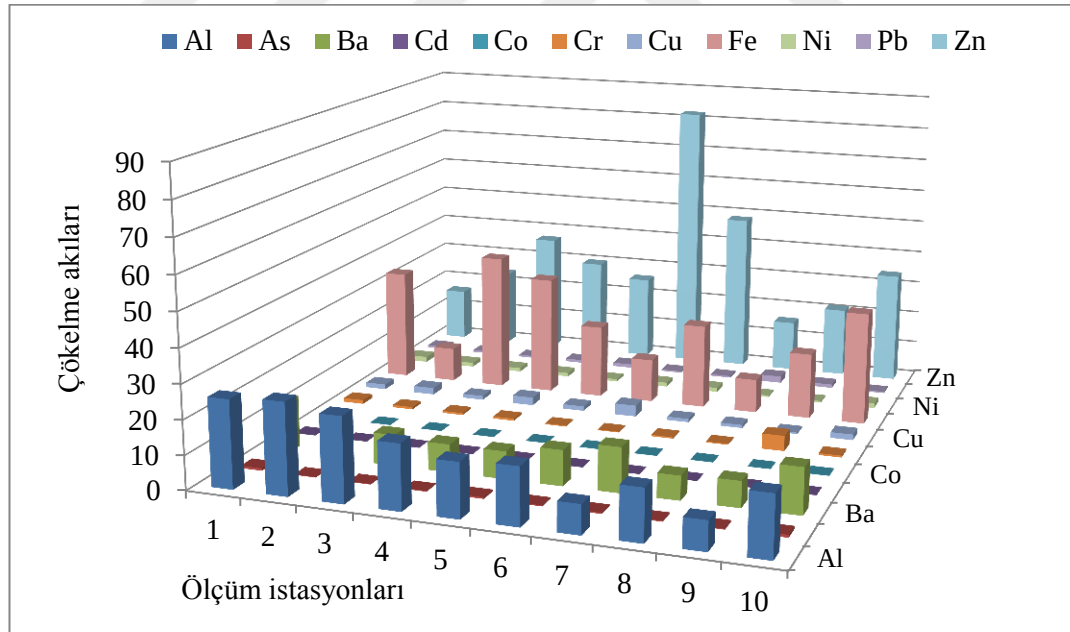
Tablo 4.83. (Devamı)

3	SB 15	7425	TE	24,60	TE	TE	TE	16,59	41167	TE	12,21	143,84
	K 16	10760	0,77	45,64	0,28	0,19	1,72	4,54	12092	20,09	7,43	107,63
	İB 16	40979	0,06	9,26	0,27	0,06	0,14	1,23	19137	1,49	0,14	36,66
	Y 16	66607	0,04	1,45	0,00	0,06	0,46	0,83	74296	2,03	0,53	16,70
	SB 16	5635	0,07	5,13	0,02	0,04	0,03	0,38	5102	0,12	0,01	17,02
	K 17	132643	0,30	5,80	0,05	0,20	1,30	2,35	143563	0,73	2,56	40,26
	İB 17	24557	4,90	9,03	0,14	0,09	0,76	0,91	41884	0,42	0,61	9,25
4	SB 15	5140	TE	134,81	TE	TE	TE	24,42	48967	TE	15,16	190,65
	K 16	18919	0,74	183,99	0,21	0,27	2,72	4,63	23270	10,11	12,42	202,95
	İB 16	31329	0,10	21,06	0,09	0,06	0,09	2,29	15749	0,85	0,09	22,68
	Y 16	39392	0,02	4,42	0,00	0,02	0,14	0,36	40661	0,96	0,16	7,87
	SB 16	1292	0,05	5,54	0,01	0,03	0,02	0,48	2011	0,07	0,15	14,29
	K 17	116432	0,27	8,16	0,11	0,18	1,30	2,92	119411	5,87	4,06	53,56
	İB 17	12496	4,85	8,16	0,00	0,07	1,17	2,44	35652	1,28	0,88	29,76
5	K 16	15823	0,81	56,77	0,14	0,32	2,18	6,51	24531	2,21	9,19	123,95
	İB 16	20022	0,07	7,41	0,11	0,03	0,29	0,95	11251	0,57	0,23	25,73
	Y 16	30057	0,02	1,36	0,01	0,01	0,13	0,46	37951	0,83	0,18	7,20
	SB 16	8060	0,09	8,06	0,04	0,07	0,04	1,08	13124	0,33	0,17	20,42
	K 17	16166	0,82	12,35	0,06	0,32	2,68	6,42	25960	1,44	3,83	73,86
	İB 17	9430	3,41	5,84	0,00	0,05	0,30	1,40	22004	0,65	1,12	10,55
6	SB 15	69415	TE	31,98	TE	TE	TE	23,98	13147	TE	15,61	130,61
	K 16	17490	0,68	57,36	0,18	0,27	2,43	8,78	2197	3,17	9,03	456,82
	İB 16	30650	0,17	10,38	0,13	0,09	0,15	3,42	22473	0,78	0,02	75,81
	Y 16	5143	0,05	2,62	0,00	0,04	0,30	2,50	9078	1,74	0,44	82,06
	SB 16	13342	0,10	7,60	0,04	0,08	0,01	0,93	1236	0,12	0,08	14,22
	K 17	16626	0,41	13,60	0,10	0,39	0,17	8,49	26219	5,74	3,45	157,53
	İB 17	11774	3,30	6,36	0,00	0,06	0,53	2,85	30654	0,14	0,12	3,74
7	SB 15	6381	TE	48,57	TE	TE	TE	3,53	44375	TE	24,85	88,75
	K 16	8506	0,61	48,81	0,09	0,21	1,38	1,75	7126	1,88	7,70	72,04
	İB 16	23658	0,19	14,00	0,17	0,08	0,12	2,35	6105	3,18	0,50	27,90
	Y 16	2261	0,08	4,31	0,01	0,01	0,09	0,28	25384	0,67	0,11	12,57
	SB 16	3339	0,21	13,12	0,01	0,06	0,01	0,52	2775	0,31	0,11	48,31
	K 17	14177	0,51	12,89	0,06	0,40	0,74	1,04	112607	4,77	2,76	80,10
	İB 17	46205	4,97	9,45	0,00	0,10	1,27	0,79	120713	0,28	0,41	12,40
8	SB 15	26952	TE	46,80	TE	TE	TE	33,44	3053	TE	25,54	58,50
	K 16	11591	0,71	81,30	0,12	0,25	2,67	4,95	11508	2,68	18,61	46,21
	İB 16	15418	0,08	4,76	0,02	0,07	0,33	0,97	4749	1,20	0,28	15,54
	Y 16	2435	0,00	0,54	0,01	0,00	0,04	0,15	10177	0,47	0,06	4,54
	SB 16	1637	0,05	3,36	0,01	0,03	0,01	0,44	992	0,17	0,02	8,31
	K 17	14985	0,44	7,08	0,08	0,31	1,57	0,59	17088	0,58	2,04	37,22
	İB 17	15652	4,26	7,25	0,00	0,06	0,24	1,28	17570	0,05	6,24	5,08
9	SB 15	80467	TE	25,42	TE	TE	33,40	TE	91683	TE	29,88	93,85
	K 16	5984	0,44	34,80	0,05	0,12	4,58	2,50	7310	1,33	6,85	50,90
	İB 16	5388	0,02	2,82	0,01	0,01	0,58	0,10	1055	0,12	0,11	3,27
	Y 16	24688	0,00	0,47	0,01	0,00	0,41	0,12	19791	0,57	0,07	8,74
	SB 16	3336	0,03	1,98	0,00	0,02	10,03	0,05	1193	0,12	1,10	21,17
	K 17	17147	0,57	9,68	0,23	0,38	5,39	3,14	21732	2,90	4,96	70,81
	İB 17	8483	4,53	7,61	0,01	0,07	1,22	0,80	66842	0,35	0,14	5,09

Tablo 4.83. (Devamı)

	SB 15	22876	TE	29,07	TE	TE	TE	27,72	63749	TE	22,12	64,78
	K 16	17598	0,91	38,83	0,31	0,16	1,40	1,45	10280	2,13	6,81	140,55
	İB 16	20946	0,45	7,56	0,17	0,06	0,15	1,72	102079	1,73	0,19	38,44
10	Y 16	16115	0,03	13,44	0,01	0,00	0,04	0,25	13457	1,13	0,09	3,68
	SB 16	7159	0,95	7,10	0,04	0,05	0,03	0,35	4521	0,17	0,04	6,98
	K 17	102964	0,73	23,58	0,21	0,23	1,15	5,93	95489	1,93	4,80	33,81
	İB 17	14782	3,58	6,11	0,00	0,05	0,98	1,95	33787	0,87	0,39	10,33

Toplam çökeltme akılarının istasyon bazında değerlendirilmesi Şekil 4.114.'te görüldüğü gibidir. As, Ba, Cd, Co ve Ni ait yüksek çökeltme akıları H1 istasyonunda, Cu ve Zn ait yüksek çökeltme akıları H6 istasyonunda, Pb ait yüksek çökeltme akısı H8 istasyonunda, Cr ait yüksek çökeltme akısı H9 istasyonunda görülmüştür. Al ve Fe için yüksek çökeltme akıları sırasıyla H2 ve H3 istasyonlarında tespit edilmiştir. Ağır metal konsantrasyonlarının istasyon bazında değişiklik göstermesi nedeniyle, çökeltme akılarında da farklı örnekleme istasyonları arasında geniş bir çeşitlilik görülmektedir.



4.3.3. Hava ortamında ağır metal kirliliğinin kirlilik indeksleri ile değerlendirilmesi

4.3.3.1. Ağır metallerin zenginleştirme faktörleri

Zenginleştirme faktörü (EF), metallerin doğal veya antropojenik kaynaklı olup olmadığını belirlemek ve kirletici kaynağını sınıflandırmak için kullanılan temel bir istatistiksel metottur (Loska ve ark., 1997; Hou ve ark., 2005; Mijić ve ark., 2010). Metallere ait zenginleştirme faktörü Denklem 4.15'te verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$EF = \frac{\left(\frac{M_{\text{örnek}}}{N_{\text{örnek}}}\right)}{\left(\frac{M_{\text{referans}}}{N_{\text{referans}}}\right)} \quad (4.15)$$

Denklem 4.15.'te verilen EF; zenginleştirme faktörü, $M_{\text{örnek}}$; Her bir ağır metale ait ölçülen konsantrasyonu, $N_{\text{örnek}}$; Referans alınan elementin ölçülen konsantrasyonu, M_{referans} ; Her bir ağır metale ait background konsantrasyonu, N_{referans} ; Referans alınan elementin background konsantrasyonu olarak ifade edilmektedir.

Zenginleştirme faktörü hesaplamalarında Al, Fe ve Ti gibi elementler referans element olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Al elementi referans elementi olarak seçilmiş ve hesaplamalarda kullanılmıştır (Hou ve ark., 2005; Akal, 2009; Mijić ve ark., 2010). Bulk atmosferik birikim örneklerine ait zenginleştirme faktörleri Tablo 4.84. ve Şekil 4.115.'de verilmiştir.

Zenginleşme faktörü değerlerinin $EF < 0,5$ olduğu durumda ağır metalin yerkabuğu kaynaklı, zenginleşme faktörü değerlerinin 0,5 ile 1,5 arasında olduğu durumda yerkabuğu veya doğal kaynaklı ve zenginleşme faktörünün $EF > 1,5$ olduğu durumda ise yerkabuğunda veya doğal kaynaklı olmadığı, antropojenik kaynaklı olduğu bilinmektedir.

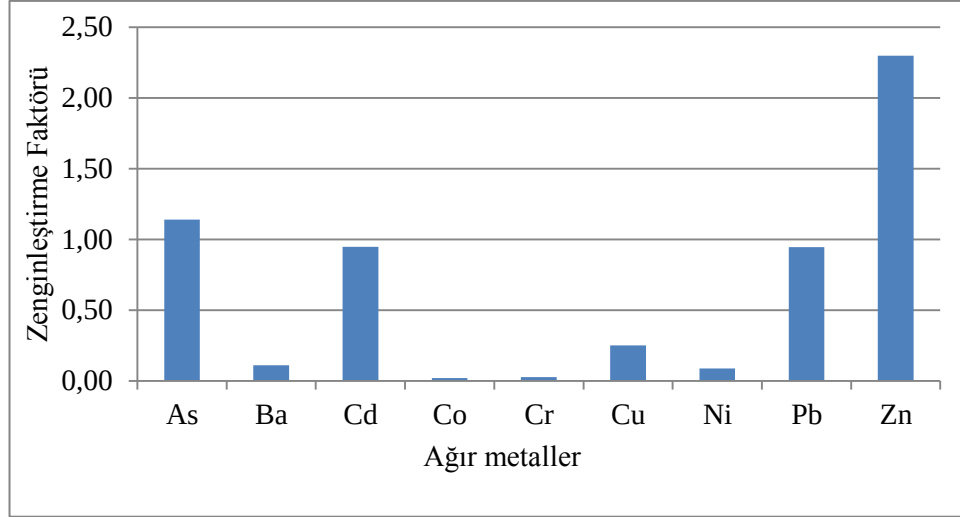
Tablo 4.84.'te ölçüm istasyonlarına göre ağır metallere ait zenginleştirme faktörleri verilmiştir. Elde edilen zenginleştirme faktörü sonuçlarına göre,

As; H7 ve H8 istasyonunda, Cd; H6 ve H7 istasyonunda, Pb; H7 ve H8 istasyonunda ve Zn ise H5, H6, H7, H8 ve H9 istasyonlarında antropojenik kökenli kirleticilerdir.

Tablo 4.84. İstasyonlara göre zenginleştirme faktörleri

	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
H1	1,31	0,07	0,92	0,02	0,03	0,08	0,07	0,44	0,73
H2	0,28	0,03	0,24	0,01	0,01	0,13	0,04	0,23	0,83
H3	0,28	0,02	0,36	0,01	0,01	0,06	0,04	0,23	0,70
H4	0,36	0,10	0,43	0,01	0,01	0,10	0,06	0,37	1,06
H5	1,40	0,12	0,96	0,02	0,04	0,38	0,06	1,17	2,31
H6	1,12	0,12	1,17	0,03	0,02	0,53	0,16	1,11	6,97
H7	2,74	0,29	1,61	0,05	0,04	0,15	0,24	2,01	5,36
H8	2,15	0,18	1,40	0,03	0,05	0,47	0,09	2,21	2,37
H9	0,86	0,06	1,26	0,02	0,04	0,42	0,06	1,07	1,78
H10	0,89	0,09	1,14	0,01	0,01	0,17	0,05	0,60	0,87
Min	0,28	0,02	0,24	0,01	0,01	0,06	0,04	0,23	0,70
Mak	2,74	0,29	1,61	0,05	0,05	0,53	0,24	2,21	6,97
Ort	1,14	0,11	0,95	0,02	0,03	0,25	0,09	0,95	2,30
Std. Sap.	0,81	0,08	0,47	0,01	0,02	0,18	0,06	0,71	2,17
Medyan	1,00	0,10	1,05	0,02	0,02	0,16	0,06	0,84	1,42

Şekil 4.115.'te görüldüğü üzere Ba, Co, Cr, Cu, Ni metallerine ait zenginleştirme faktörleri 0,5 değerinin altında olduğundan, bu metallerin yer kabuğu kaynaklı ve Cd ile Pb metallerine ait zenginleştirme faktörleri ise 0,5 ile 1,5 arasında olduğundan doğal kaynaklıdır. As ve Zn metallerine ait zenginleştirme faktörleri 1,5 değerinin üzerinde olduğundan antropojenik kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Ağır metallere göre zenginleştirme faktörleri $Zn > As > Cd > Pb > Cu > Ba > Ni > Co > Cr$ şeklinde sıralanmaktadır.



Şekil 4.115. Ağır metallere ait zenginleştirme faktörleri

4.3.3.2. Ağır metallerin potansiyel ekolojik riskleri

Ağır metallerin ekolojik risklerini belirlemek amacıyla Hakanson (1980) tarafından oluşturulmuş potansiyel ekolojik risk indeksi kullanılmaktadır. Günümüzde, PERI toprak ve sedimentte ağır metallerin ekolojik risklerinin belirlenmesinin dışında atmosferik kirlilik araştırmalarında da yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Wong ve ark., 2003, Hu ve ark., 2011, Yao ve ark., 2013). Potansiyel ekolojik risk indeksi Denklem 4.16, Denklem 4.17 ve Denklem 4.18 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$C_f^i = \frac{C_i}{C_n^i} \quad (4.16)$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i \quad (4.17)$$

$$RI = \sum E_r^i \quad (4.18)$$

Denklem 4.16’da C_i (mg/kg) ve C_n^i (mg/kg) her bir ağır metale ait topraktaki konsantrasyonu ve referans konsantrasyonu, E_r^i ; toksik- response faktörü yani her bir ağır metale ait ekolojik riski, RI; çoklu ağır metallerin toplam ekolojik riski ifade etmektedir (2). C_i Denklem 4.19 ile hesaplanmaktadır.

$$C_i = C_s - C_n^i \quad (4.19)$$

C_s ; topraktaki toplam ağır metal konsantrasyonudur ve ağır metale ait yıllık çökeltme akı değeri baz alınarak hesaplanır.

$$C_s = \frac{D_{toplam} \times [1 - \exp(-k_s \times t)]}{z \times k_s \times BD} \quad (4.20)$$

$$C_i = C_s - C_n^i \quad (4.21)$$

C_n^i ; her bir ağır metal için topraktaki konsantrasyon (Cd: 0,034 mg/kg; Cr: 43,25 mg/kg; Cu: 14,38 mg/kg; Pb: 34,38 mg/kg; Zn:48,75 mg/kg) (Zhang ve ark., 2012). D_{toplam} ; toplam çökeltme akısı mg/(m².yıl), BD; toprak bulk yoğunluğu (g/cm³), k_s ; toprak sabiti, t; yarılanma ömrü (yıl) ve z; toprak karışım derinliği (cm) olarak ifade edilmektedir. T_r^i , BD, k_s , t ve z sabitleri literatür araştırmalarından elde edilmiştir (Lonati ve Zonani, 2012; Ye ve ark., 2018). Tablo 4.85.'te ağır metalleri potansiyel ekolojik risk sınıflandırması ve yorumu verilmiştir.

Tablo 4.85. Ekolojik risk sınıflandırması

E_r^i	RI	Ekolojik risk kategorisi
<40	<150	Düşük
40-80	150-300	Orta
80-160	300-600	Önemli
160-320	600-1200	Güçlü
≥320	≥1200	Çok güçlü

Tablo 4.86. İstasyonlara göre ağır metallerin ekolojik riskleri

	E_r							IR
	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
H1	796,26	2581,44	16,54	153,07	50,36	269,03	119,85	3986,55
H2	336,36	2032,49	10,18	370,88	30,58	217,08	262,05	3259,62
H3	363,09	3945,00	9,04	280,85	62,21	282,85	226,20	5169,23
H4	356,20	2251,77	10,66	390,88	49,02	394,22	317,41	3770,16
H5	309,99	1891,90	10,98	612,04	18,87	558,22	221,01	3623,00
H6	281,08	2399,80	7,74	528,67	31,89	344,96	559,40	4153,55
H7	388,26	1761,24	7,76	110,52	30,49	435,96	208,45	2942,67
H8	328,42	1279,82	9,75	434,90	16,84	629,29	107,37	2806,40
H9	330,81	1595,85	78,03	85,52	17,43	514,80	154,93	2777,36
H10	391,78	3835,17	8,00	409,60	23,29	412,25	182,07	5262,15

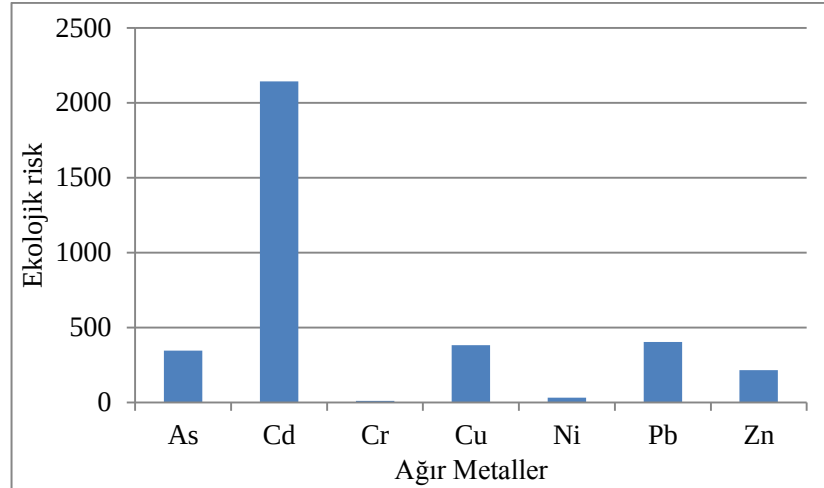
Tablo 4.86. (Devamı)

Min	281,08	1279,82	7,74	85,52	16,84	217,08	107,37	2777,36
Mak	796,26	3945,00	78,03	612,04	62,21	629,29	559,40	5262,15
Ort	388,22	2357,45	16,87	337,69	33,10	405,87	235,87	3775,07
Std. Sap.	147,32	893,57	21,64	177,26	15,71	133,04	130,17	898,06
Medyan	346,28	2142,13	9,96	380,88	30,54	403,23	214,73	3696,58

Tablo 4.86.'da ölçüm istasyonlarına göre ağır metallerin potansiyel ekolojik risk değerleri ve Şekil 4.116.'da ise ağır metallerin ekolojik risk değerleri verilmiştir. Tablo 4.86. incelendiğinde;

- As H6 istasyonu hariç diğer istasyonlarda çok güçlü, Cd tüm istasyonlarda çok güçlü,
- Cr H9 istasyonu hariç diğer istasyonlarda düşük, Ni tüm istasyonlarda düşük ve orta,
- Cu H2, H4, H5,H6,H8 ve H10 istasyonlarında çok güçlü,
- Pb H1, H2 ve H3 istasyonları hariç diğer istasyonlarda çok güçlü,
- Zn H6 istasyonunda çok güçlü potansiyel ekolojik riske sahip oldukları görülmektedir.

Şekil 4.116.'da görüldüğü üzere Cr, Ni düşük ekolojik riske, As, Cd, Cu ve Pb çok güçlü ekolojik riske ve Zn güçlü ekolojik riske sahiptir. Tablo 4.86. ve Şekil 4.116.'dan anlaşılabacağı üzere Cd metalinin potansiyel ekolojik risk değeri diğer metallere göre oldukça yüksektir. Ye ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmada da Cd metali, aşırı yüksek potansiyel ekolojik riske sahip bir metaldir. Cd, bitkiler tarafından topraktan kolay alınması ve alıcı ortamda uzun süreli dayanıklılığı sonucunda ekolojik açıdan zararlı bir elementtir.



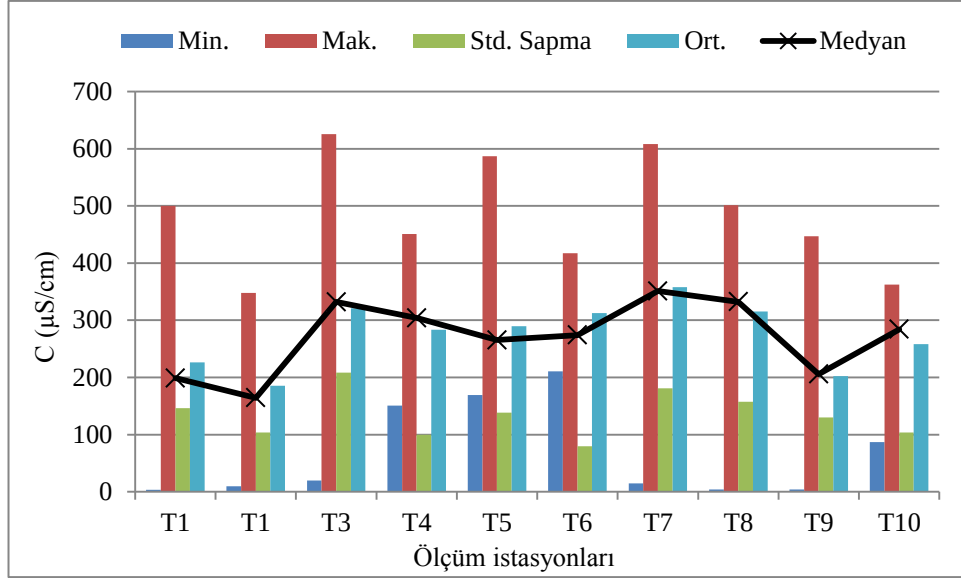
Şekil 4.116. Ağır metallerin ekolojik risk değerleri

4.4. Toprak Ortamında Ağır Metal Konsantrasyonlarının Değerlendirilmesi

Sapanca Gölü çevresinde bulunan TEM E-80 otoyolu, D-100 karayolu ve demiryolu, endüstriyel kuruluşlar, ısınma ve bölgenin doğal yapısı gibi faktörlere bağlı olarak incelenen ağır metal konsantrasyonları değişim göstermektedir. Bu çalışmada 2015-2017 yılları arasında belirlenen Sapanca gölü havza toprağının ağır metal konsantrasyonlarının minimum, maksimum, aritmetik ortalama, medyan ve standart sapma gibi istatistiksel özellikleri belirlenmiş ve ağır metal kirliliği değerlendirilmiştir.

4.4.1. Fiziko-kimyasal parametrelerin incelenmesi

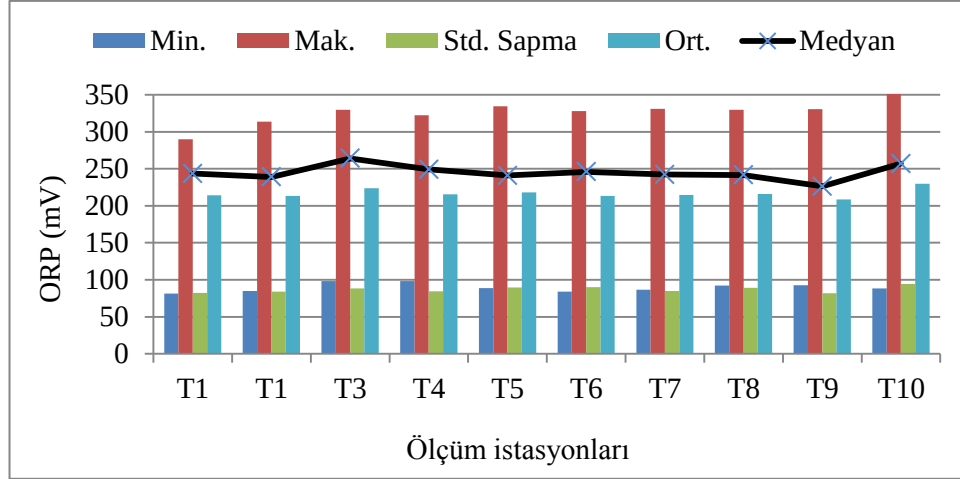
Ağır metal konsantrasyonları pH, nem, organik madde, kil, silt ve kum gibi toprak kimyasına bağlı olarak değişim göstermektedir (Kabata-Pendias ve Pendias, 1992). Bu nedenle, toprak örneklerinin ağır metal konsantrasyonları değerlendirilirken alınan örneklerin fiziko-kimyasal parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. 7 mevsim toplanan toprak örneklerine ait istasyon bazında iletkenlik (C), pH, tuzluluk, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP), organik madde ve organik karbon muhtevası ve toprak yapısı incelenmiştir. Şekil 4.117.'de mevsimlere göre alınan toprak örneklerinin istasyonlara göre iletkenlik değerleri verilmiştir.



Şekil 4.117. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre iletkenlik değerleri

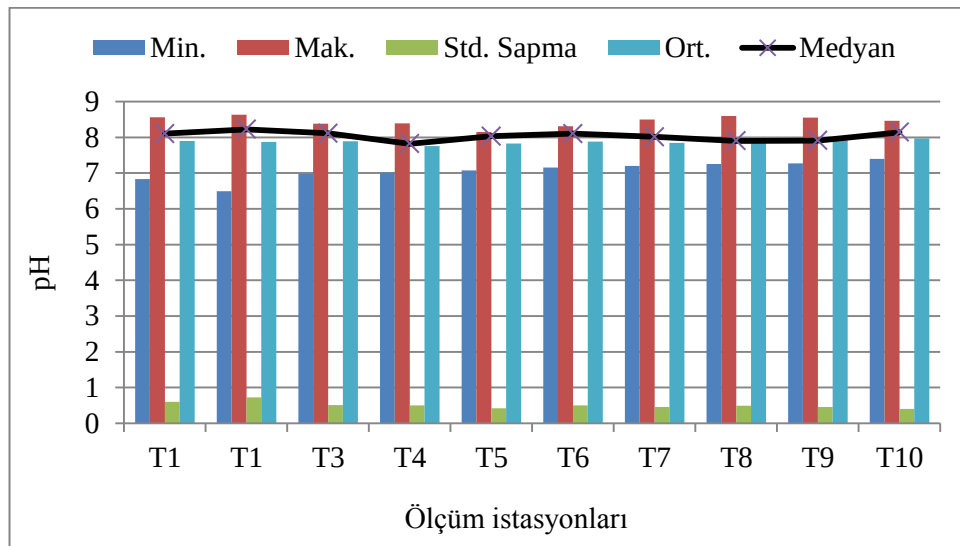
İletkenlik değerleri incelendiğinde, minimum iletkenlik $3,2 \mu\text{S/cm}$ olup T1 istasyonunda yaz döneminde, maksimum iletkenlik $625,4 \mu\text{S/cm}$ olup T3 istasyonunda sonbahar döneminde saptanmıştır. Her bir ölçüm istasyonuna ait ortalama iletkenlik konsantrasyonları ise $185,46 \mu\text{S/cm}$ ile $358,01 \mu\text{S/cm}$ arasında değişmektedir.

pH ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli topraktaki ağır metal tutulumunu büyük ölçüde etkileyen parametrelerdir (Popenda, 2014). Chuan ve arkadaşları (1996) tarafından yapılan çalışmalarda da toprakta ağır metal konsantrasyonları ile pH ve ORP arasındaki ilişki belirlenmiştir. Oksidasyon-redüksiyon potansiyelinin ölçüm istasyonlarına göre değişimi Şekil 4.118.'de verilmektedir. ORP değeri minimum sonbahar döneminde $81,3 \text{ mV}$ T1 istasyonunda ve maksimum yaz döneminde $352,5 \text{ mV}$ T10 istasyonda gözlemlenmiştir. ORP değerleri istasyon bazında ortalama $208,6 \text{ mV}$ ile $229,81 \text{ mV}$ arasında değişim göstermektedir.

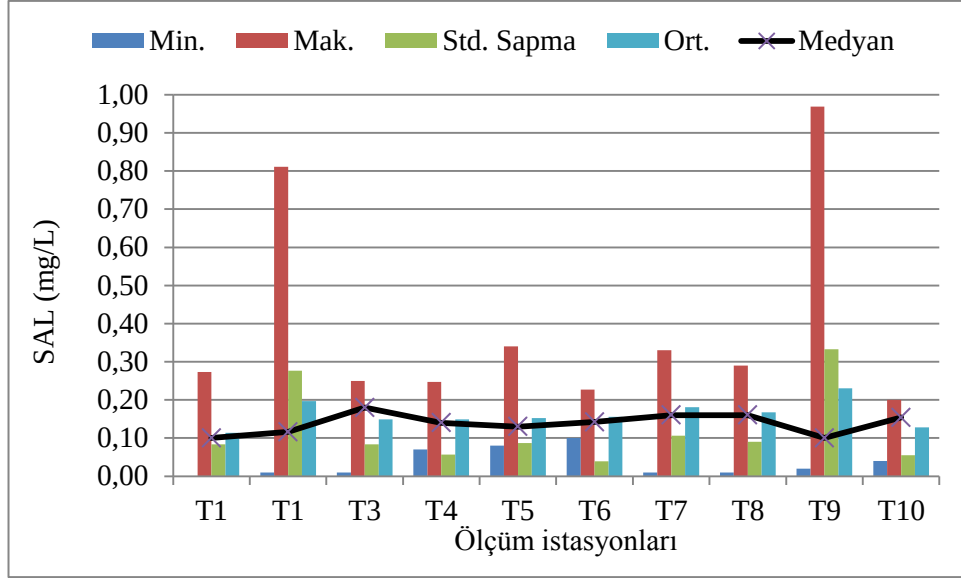


Şekil 4.118. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre ORP değerleri

Toprak içindeki ağır metal çözünürlüğü toprak pH'ı tarafından kontrol edilmektedir. Ağır metaller toprakta genellikle düşük pH'larda daha fazla çözünmektedir (Ağca, 1998) Toprakta bulunan ağır metaller toprağın pH değeri 7'den az olduğu durumda pH değerinin 7'den fazla olduğu duruma göre daha hareketli haldedirler (Rehman ve ark., 2018). Şekil 4.119.'da istasyon bazında toprak örneklerinde pH değişimi verilmektedir. pH değeri minimum ilkbahar döneminde 6,49 T2 istasyonunda ve maksimum sonbahar döneminde 8,63 T2 istasyonunda gözlemlenmiştir. pH değerleri istasyon bazında ortalama 7,75 ile 7,97 arasında değişim göstermektedir. İstasyon bazında ortalama pH değerlerine bakıldığında pH 7 civarında olup ağır metal hareketliliğini etkileyen bir durum bulunmadığı kanısına varılmaktadır.



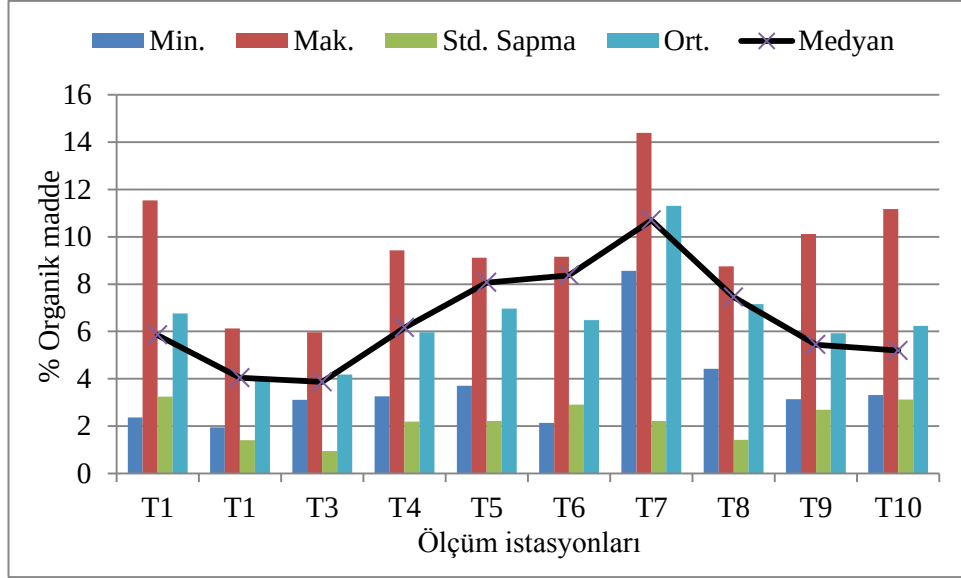
Şekil 4.119. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre pH değerleri



Şekil 4.120. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre tuzluluk değerleri

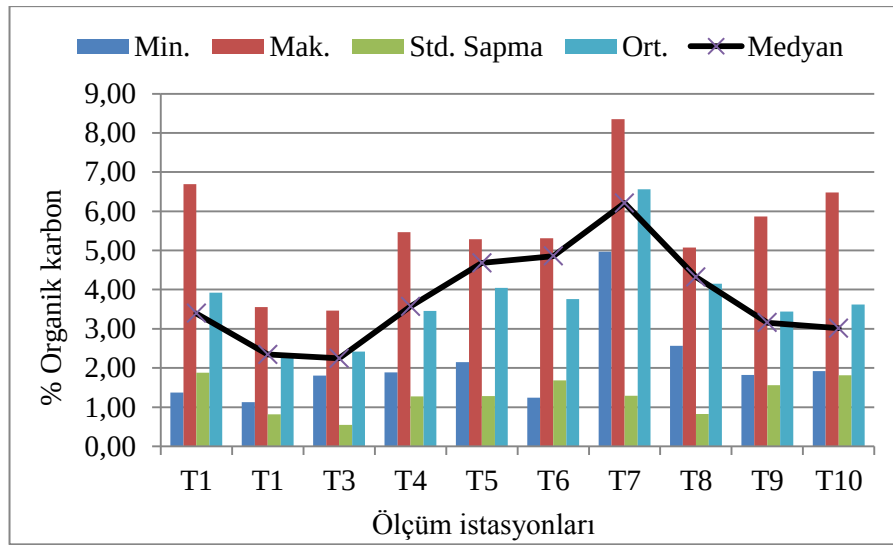
İstasyonlara göre toprak örneklerindeki tuzluluk değerleri Şekil 4.120.'de verilmektedir. Minimum tuzluluk değeri 0 mg/L olup T1 istasyonunda yaz döneminde, maksimum değer ise T9 istasyonunda sonbahar döneminde 0,97 mg/L olarak tespit edilmiştir. Tuzluluk değerleri 0,11 mg/L ile 0,23 mg/L aralığında değişim göstermektedir. Tuzluluk değerinin yüksek olmasının ana nedeni, bazı bölgelerde peyzaj ve meyve yetiştiriciliği için gübre tüketimidir (Yurtseven ve Öztürk, 2001).

Kil ve organik madde bakımından zengin topraklar ağır metalleri tutarak zor çözünebilir bileşikler oluştururlar (Bakış ve Bilgin, 1998). Ağır metallerin toprakta tutulması, toprağın organik madde miktarına ve kil minerallerinin tipine göre değişmektedir (Çepel, 1997). Ağır metallerin hareketli hale geçmesi hem bitki hem de yeraltı suları için büyük önem taşımaktadır. Topraktaki organik bileşikler, ağır metallerin hareketliliğini etkileyen parametrelerdendir. Şekil 4.121. ve 4.122.'de göl havzasından alınan toprak örneklerinde organik madde ve organik karbon muhtevası istasyon bazında verilmektedir. Şekil 4.121.'den de görüleceği üzere organik madde muhtevasının oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir.



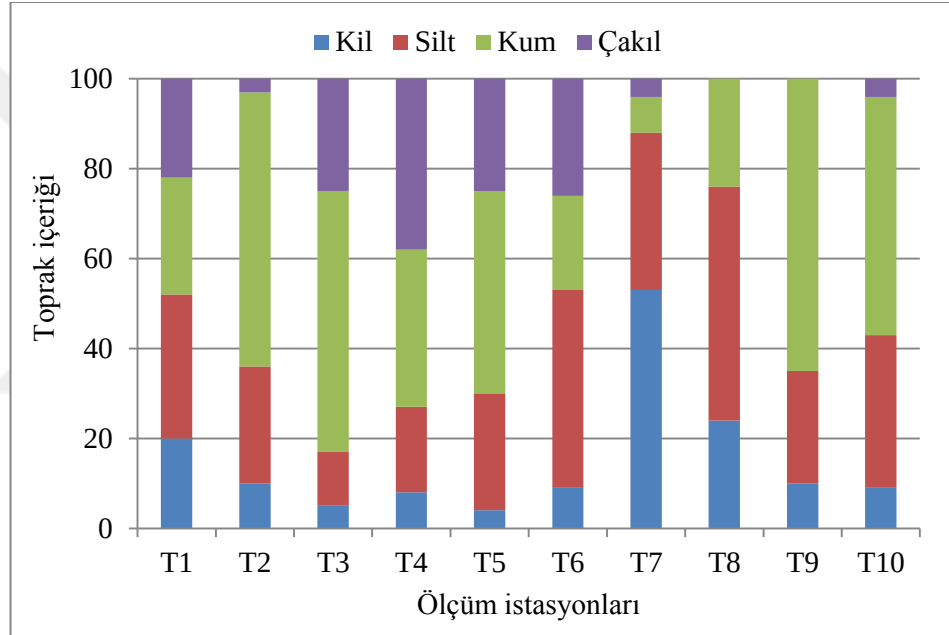
Şekil 4.121. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre % organik madde muhtevası

Toprak örneklerinde organik madde muhtevası minimum sonbahar döneminde T2 istasyonunda %1,94 ve maksimum yaz döneminde T7 istasyonunda %14,40 olarak bulunmuştur. Toprak örneklerinde organik madde muhtevası %4,08 ile %11,31 arasında değişim göstermektedir. Organik karbon muhtevası ise Şekil 4.122.'de görüldüğü üzere %2,37 ile %6,56 arasında değişmekte olup, minimum ve maksimum değerler sonbahar döneminde T2 istasyonunda %1,13 ve yaz döneminde T7 istasyonunda %8,35 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.122. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre % organik karbon muhtevası

Sapanca gölü havza toprağının yapısal içeriği Şekil 4.123.'te verilmekte olup çoğunlukla kum ve siltten oluşmaktadır. Silt içeriği en yüksek T8 istasyonunda %52 ve T6 istasyonunda %44 oranındadır. Kumul toprak ise %65 kum içeriğiyle T9 ve %61 kum içeriğiyle T2 istasyonlarıdır. Kil oranı yüksek istasyon T7 istasyonu olup, kil içeriği %53 olarak tespit edilmiştir. Çakıl içeren istasyonlar incelendiğinde en yüksek çakıl oranları T4 istasyonunda %38 ve T6 istasyonunda %26 oranında bulunmuştur. Kil ince parçacıklı yapıda olduğundan kum ve çakıla göre daha büyük yüzey alanına sahiptir. Bu nedenle, kil içeriği yüksek toprakların ağır metal tutma kabiliyeti daha yüksektir (Rehman ve ark., 2018).



Şekil 4.123. Sapanca gölü havzası toprak yapısı

Kalite parametrelerinin istasyon bazında mevsimsel değişimi Tablo 4.87.'de verilmektedir. En önemli parametrelerin başında gelen pH, ORP (redoks potansiyeli) ve organik madde muhtevasının istasyon bazında minimum ve maksimum değerler şu şekilde belirlenmiştir:

T1. istasyonda organik madde Kış 2017'de %2,37 ve Yaz 2016'da %11,54; pH İlkbahar 2017'de 6,83 ve Kış 2016'da 8,56; ORP Sonbahar 2015'te 81,30 mV ve Yaz 2016'da 289,7 mV'tur.

T2. istasyonda organik madde Sonbahar 2015'te %1,94 ve Yaz 2016'da %6,12; pH İlkbahar 2017'de 6,49 ve Sonbahar 2015'te 8,63; ORP Sonbahar 2015'te 85,1 mV ve Yaz 2016'da 313,5 mV'tur.

T3. istasyonda organik madde Sonbahar 2015'te %3,12 ve İlkbahar 2016'da %5,97; pH İlkbahar 2017'de 6,98 ve Kış 2016'da 8,38; ORP Sonbahar 2015'te 98,5 mV ve Yaz 2016'da 329,6 mV'tur.

T4. istasyonda organik madde Sonbahar 2015'te %3,26 ve Kış 2016'da %9,43; pH İlkbahar 2017'de 7,01 ve Sonbahar 2015'te 8,39; ORP Sonbahar 2015'te 98,2 mV ve Yaz 2016'da 322,50 mV'tur.

T5. istasyonda organik madde İlkbahar 2016'da %3,70 ve Yaz 2016'da %9,11; pH İlkbahar 2017'de 7,07 ve Sonbahar 2016'da 8,15; ORP Kış 2016'da 89 mV ve Yaz 2016'da 334,4 mV'tur.

T6. istasyonda organik madde Kış 2017'de %2,14 ve Bahar 2017'de %9,16; pH İlkbahar 2017'de 7,15 ve Kış 2016'da 8,31; ORP Kış 2016'da 84,2 mV ve Yaz 2016'da 328,10 mV'tur.

T7. istasyonda organik madde Kış 2017'de %8,57 ve Yaz 2016'da %14,40 mg/L; pH İlkbahar 2017'de 7,2 ve Sonbahar 2015'te 8,5; ORP Kış 2016'da 86,8 mV ve Yaz 2016'da 331 mV'tur.

T8. istasyonda organik madde Sonbahar 2015'te %4,42 ve Kış 2017'de %8,75; pH İlkbahar 2017'de 7,25 ve Sonbahar 2015'te 8,6; ORP Kış 2016'da 92,6 mV ve Yaz 2016'da 329,7 mV'tur.

T9. istasyonda organik madde Kış 2017'de %3,14 ve İlkbahar 2017'de %10,11; pH İlkbahar 2017'de 7,27 ve Kış 2016'da 8,55; ORP Kış 2016'da 92,6 mV ve Yaz 2016'da 330,4 mV'tur.

T10. istasyonda organik madde Sonbahar 2016'da %3,32 ve İlkbahar 2016'de %11,17; pH Kış 2017'de 7,4 ve Kış 2016'da 8,46; ORP Kış 2016'da 88,4 mV ve Yaz 2016'da 352,5 mV'tur.

Tablo 4.87. Toprakta kalite parametrelerinin ölçüm istasyonları bazında mevsimsel değişimi

Ölçüm İstasyonları	Mevsimler	C (µS/cm)	SAL (mg/L)	pH	ORP (mV)	% OM	% OC
1	SB 15	3,20	0,00	6,83	81,30	2,37	1,37
	K 16	500,00	0,27	8,56	289,70	11,54	6,69
	İB 16	146,36	0,08	0,60	82,37	3,24	1,88
	Y 16	198,80	0,10	8,10	243,40	5,85	3,39
	SB 16	226,26	0,11	7,90	214,03	6,76	3,92
	K 17	9,90	0,01	6,49	85,10	1,94	1,13
	İB 17	348,10	0,81	8,63	313,50	6,12	3,55
2	SB 15	103,47	0,28	0,72	84,07	1,41	0,82
	K 16	164,20	0,12	8,22	238,90	4,04	2,34
	İB 16	185,46	0,20	7,87	213,31	4,08	2,37
	Y 16	19,90	0,01	6,98	98,50	3,12	1,81
	SB 16	625,40	0,25	8,38	329,60	5,97	3,46
	K 17	208,35	0,08	0,51	88,57	0,95	0,55
	İB 17	332,00	0,18	8,11	264,10	3,87	2,24
3	SB 15	321,10	0,15	7,89	223,61	4,17	2,42
	K 16	151,00	0,07	7,01	98,20	3,26	1,89
	İB 16	451,00	0,25	8,39	322,50	9,43	5,47
	Y 16	99,69	0,06	0,50	84,44	2,19	1,27
	SB 16	303,90	0,14	7,82	249,17	6,16	3,57
	K 17	283,60	0,15	7,75	215,30	5,96	3,46
	İB 17	169,20	0,08	7,07	89,00	3,70	2,15
4	SB 15	587,00	0,34	8,15	334,40	9,11	5,28
	K 16	138,31	0,09	0,42	89,79	2,22	1,29
	İB 16	265,32	0,13	8,03	240,80	8,07	4,68
	Y 16	289,35	0,15	7,82	218,15	6,97	4,04
	SB 16	210,50	0,10	7,15	84,20	2,14	1,24
	K 17	417,00	0,23	8,31	328,10	9,16	5,31
	İB 17	79,49	0,04	0,50	90,08	2,91	1,69
5	SB 15	274,00	0,14	8,10	245,80	8,37	4,86
	K 16	312,70	0,16	7,88	213,20	6,48	3,76
	İB 16	14,90	0,01	7,20	86,80	8,57	4,97
	Y 16	608,00	0,33	8,50	331,00	14,40	8,35
	SB 16	180,84	0,11	0,46	84,73	2,23	1,29
	K 17	351,09	0,16	8,01	242,10	10,70	6,21
	İB 17	358,01	0,18	7,84	214,69	11,31	6,56
6	SB 15	4,20	0,01	7,25	92,20	4,42	2,56
	K 16	501,00	0,29	8,60	329,70	8,75	5,07
	İB 16	157,29	0,09	0,49	89,06	1,42	0,82
	Y 16	332,30	0,16	7,90	241,50	7,45	4,32
	SB 16	315,13	0,17	7,94	215,97	7,16	4,15
	K 17	4,20	0,02	7,27	92,60	3,14	1,82
	İB 17	447,00	0,97	8,55	330,40	10,11	5,86

Tablo 4.87. (Devamı)

7	SB 15	129,80	0,33	0,45	82,05	2,69	1,56
	K 16	205,80	0,10	7,91	226,30	5,44	3,16
	İB 16	202,41	0,23	7,93	208,60	5,93	3,44
	Y 16	87,00	0,04	7,40	88,40	3,32	1,92
	SB 16	362,20	0,20	8,46	352,50	11,17	6,48
	K 17	103,67	0,05	0,40	94,23	3,12	1,81
	İB 17	284,00	0,15	8,14	257,00	5,19	3,01
8	SB 15	258,33	0,13	7,97	229,81	6,23	3,62
	K 16	518	0,3	8,52	9,10	8,90	5,16
	İB 16	793	0,4	7,67	243,00	11,06	6,41
	Y 16	446,4	0,21	7,64	249,70	10,82	6,28
	SB 16	812	0,42	7,14	265,10	11,66	6,77
	K 17	685	0,39	7,16	351,00	9,09	5,27
	İB 17	364,8	0,19	7,47	214,40	9,36	5,43
9	SB 15	446	0,25	8,32	103,90	22,84	13,25
	K 16	160,1	0,09	8,62	25,10	1,64	0,95
	İB 16	289,5	0,14	7,96	235,90	3,28	1,90
	Y 16	182,5	0,09	7,77	244,90	4,52	2,62
	SB 16	300,7	0,16	7,41	260,10	2,18	1,27
	K 17	214,1	0,12	7,09	400,70	3,20	1,85
	İB 17	131,7	0,06	7,70	212,50	4,20	2,44
10	SB 15	553	0,31	7,98	79,10	5,27	3,06
	K 16	654	0,38	7,67	51,20	8,86	5,14
	İB 16	746	0,37	7,67	246,30	9,03	5,24
	Y 16	295,5	0,19	7,51	257,10	9,66	5,60
	SB 16	700	0,36	7,07	269,20	8,09	4,69
	K 17	613	0,35	6,02	424,80	8,58	4,98
	İB 17	517	0,27	7,35	226,60	11,52	6,68

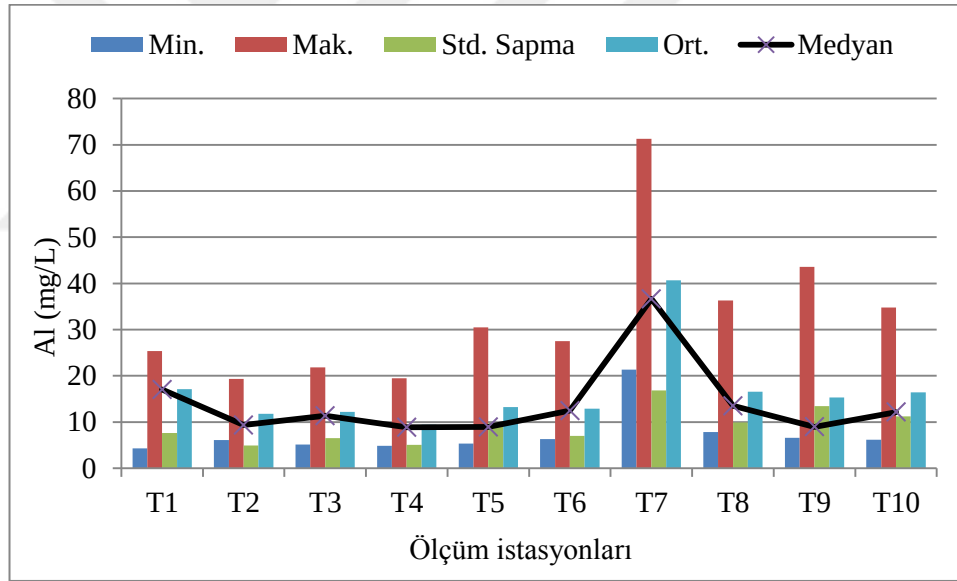
Tablo 4.88.'de toprak örneklerinde kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi verilmiştir. İletkenlik değeri en yüksek Kış 2017'de 399,37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve tuzluluk en yüksek Yaz 2016'da 0,04 mg/L olarak tespit edilmiştir. pH en düşük İlkbahar 2017'de 7,08 ve ORP en düşük Kış 2016'da 95,89 mV değerinde gözlemlenmiştir.

Tablo 4.88. Toprakta kalite parametrelerinin mevsimsel değişimi

	C ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	SAL (mg/L)	pH	ORP (mV)	% OM	% OC
SB 15	277,03	0,32	8,38	100,35	4,93	2,86
K 16	323,26	0,18	8,30	95,89	7,21	4,18
İB 16	306,59	0,14	8,10	246,70	6,22	3,61
Y 16	67,40	0,04	7,74	326,14	7,91	4,59
SB 16	316,97	0,13	8,12	247,60	6,20	3,59
K 17	399,37	0,22	7,45	255,02	5,14	2,98
İB 17	236,02	0,12	7,08	244,97	7,93	4,60

4.4.2. Ağır metallerin incelenmesi

İstasyonlarda belirlenen alüminyum konsantrasyonları Şekil 4.124.'te verilmiştir. Şekil 4.124.'te görüldüğü gibi en yüksek Al kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar T7 ve T9 istasyonlarıdır. Al toprak yapısında büyük oranda bulunabilen jeojenik bir metal olup fosil yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır. T7 ve T9 istasyonları gölün kuzey bölgesinde yer almakta ve D-100 karayoluna yakındır. Bu istasyonlarda Al konsantrasyonunun yüksek çıkması havza yapısından ve fosil yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Al konsantrasyonları 9,44 mg/kg ile 40,68 mg/kg arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla T4 ve T7 istasyonlarında gözlemlenmiştir.

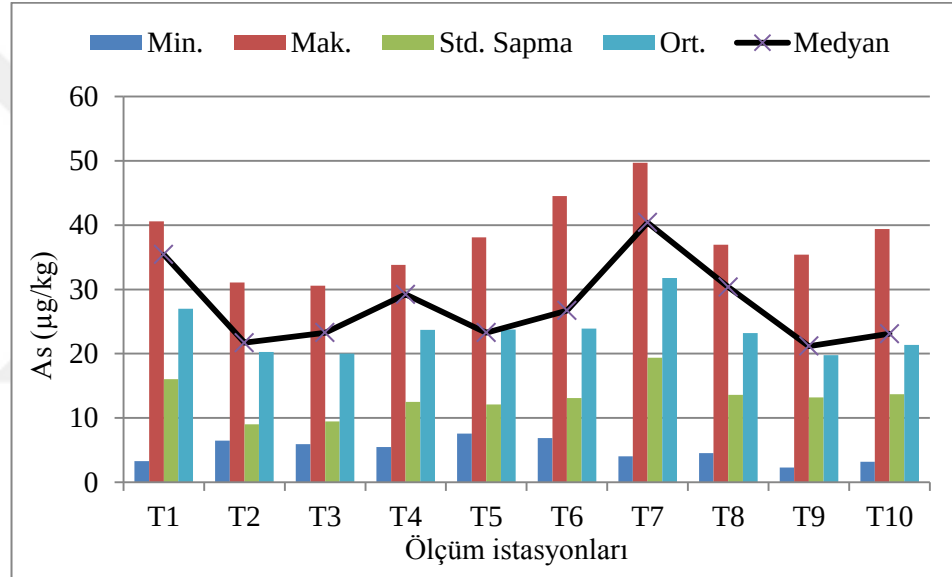


Şekil 4.124. Toprakta belirlenen Al konsantrasyonu

Tablo 4.89.'da ölçüm süresi içerisinde Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi verilmiştir. Sapanca gölünde Al metali diğer metallere göre yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Al konsantrasyonunun özellikle 2017 bahar döneminde yükseldiği tespit edilmiştir. Yağış verilerine bakıldığında, 2017 bahar döneminde aylık yağış ortalamaları diğer ölçüm dönemlerine göre artış göstermiştir. Bahar dönemindeki yüksek konsantrasyonun atmosferik birikime bağlı olduğu görülmüştür.

Tablo 4.89. Toprakta Al konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/kg).

Al	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Ort.
SB 15	4,30	9,31	5,66	4,87	6,23	8,11	21,35	7,84	7,96	6,17	8,18
K 16	14,07	6,11	5,11	4,92	5,30	6,31	25,93	8,61	6,56	12,13	9,50
İB 16	22,75	9,34	11,35	11,33	7,40	13,84	42,58	12,48	8,54	34,78	17,44
Y 16	24,09	17,49	9,96	9,61	11,26	12,43	35,41	15,06	8,94	9,34	15,36
SB 16	25,32	8,78	11,53	7,06	8,89	9,53	36,61	13,47	10,29	8,76	14,02
K 17	12,28	12,13	19,90	8,85	30,49	12,65	51,62	21,99	21,40	13,86	20,52
İB 17	17,03	19,34	21,83	19,44	22,99	27,47	71,28	36,30	43,59	29,76	30,90
Min	4,30	6,11	5,11	4,87	5,30	6,31	21,35	7,84	6,56	6,17	
Mak	25,32	19,34	21,83	19,44	30,49	27,47	71,28	36,30	43,59	34,78	
Std. Sap	7,58	4,89	6,47	5,02	9,67	6,97	16,81	9,89	13,41	11,21	
Ort.	17,12	11,79	12,19	9,44	13,22	12,91	40,69	16,54	15,32	16,40	
Med.	17,03	9,34	11,35	8,85	8,89	12,43	36,61	13,47	8,94	12,13	



Şekil 4.125. Toprakta belirlenen As konsantrasyonu

İstasyonlarda belirlenen arsenik konsantrasyonları Şekil 4.125.'te verilmiştir. Şekil 4.125.'te görüldüğü gibi en yüksek As kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 49,71 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla T7 ve 44,53 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla T6 istasyonlarıdır. T7 ve T6 istasyonları karayollarına yakın konumda olup özellikle T6 istasyonu tarımsal faaliyetlerin olduğu bir bölgede yer almaktadır. Aynı zamanda T6 istasyonunun bulunduğu bölgede demir-çelik döküm tesisi, çatı kaplama ve yalıtım malzemesi üreten tesis bulunmaktadır. As elementi tuğla atıklarından, arsenikli gübrelerden, pestisitlerden ve trafikten kaynaklanmaktadır (İslam ve ark., 2017, Martin ve ark., 2017). Ölçüm istasyonlarında ortalama As konsantrasyonları 19,75 $\mu\text{g/kg}$ ile 31,76

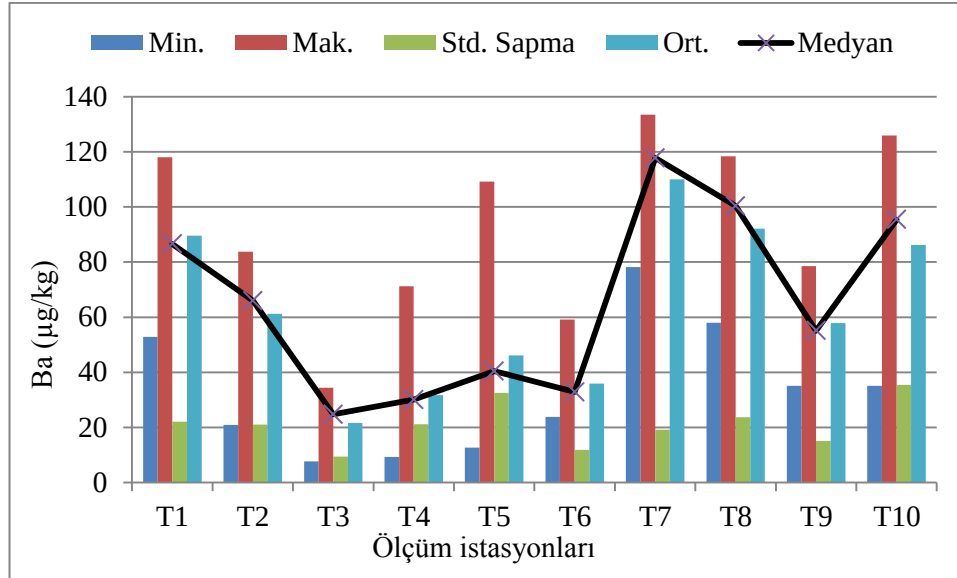
$\mu\text{g/kg}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla T9 ve T7 istasyonlarında gözlemlenmiştir.

Tablo 4.90.'da ölçüm süresi içerisinde As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, özellikle 2017 bahar döneminde yükseldiği tespit edilmiştir. Yağış verilerine bakıldığında, 2017 bahar döneminde aylık yağış ortalamaları diğer ölçüm dönemlerine göre artış göstermiştir. Bulk atmosferik birikim örneklerinin As konsantrasyonları incelendiğinde 2017 bahar döneminde yükselme görülmektedir.

Tablo 4.90. Toprakta As konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Ort.
SB 15	3,27	6,47	7,71	5,96	9,53	8,12	4,75	4,53	2,26	3,81	5,64
K 16	6,40	10,21	5,93	5,48	7,59	6,85	4,02	5,38	2,69	3,19	5,77
İB 16	35,41	21,20	27,01	28,27	26,89	30,58	43,40	19,36	20,49	33,46	28,61
Y 16	38,51	31,09	22,21	29,62	22,96	26,70	33,42	34,12	21,17	23,79	28,36
SB 16	39,95	21,70	23,26	33,61	23,26	27,07	40,39	30,36	22,83	23,08	28,55
K 17	24,94	22,49	23,58	33,80	37,86	23,59	46,63	31,57	33,39	22,90	30,07
İB 17	40,56	28,80	30,58	29,23	38,09	44,53	49,71	36,96	35,43	39,39	37,33
Min	3,27	6,47	5,93	5,48	7,59	6,85	4,02	4,53	2,26	3,19	
Mak	40,56	31,09	30,58	33,80	38,09	44,53	49,71	36,96	35,43	39,39	
Std. Sap	16,06	9,03	9,47	12,47	12,10	13,09	19,39	13,61	13,17	13,67	
Ort.	27,01	20,28	20,04	23,71	23,74	23,92	31,76	23,18	19,75	21,37	
Med.	35,41	21,70	23,26	29,23	23,26	26,70	40,39	30,36	21,17	23,08	

Şekil 4.126.'da istasyon bazında Ba konsantrasyonunun değişimi verilmiştir. En yüksek Ba kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 133,5 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla T7 ve 125,97 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla T10 istasyonlarıdır. T7 ve T10 ölçüm istasyonları D-100 karayoluna yakın olup özellikle T10 istasyonu karayoluna çok yakın konumdadır. Ba kirliliği esas olarak trafikten kaynaklanmaktadır. Ancak, toprağın doğal yapısında da ağır metaller bulunabilmektedir (He ve ark., 2005). Bu nedenle, T10 istasyonunda trafik kaynaklı, T7 istasyonunda ise trafik ve doğal kaynaklı olduğu kanısına varılmaktadır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Ba konsantrasyonları 21,64 $\mu\text{g/kg}$ ile 110,06 $\mu\text{g/kg}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla T9 ve T7 istasyonlarında gözlemlenmiştir. Tablo 4.91.'de Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, özellikle 2017 bahar döneminde yükselme gözlemlenmiştir.



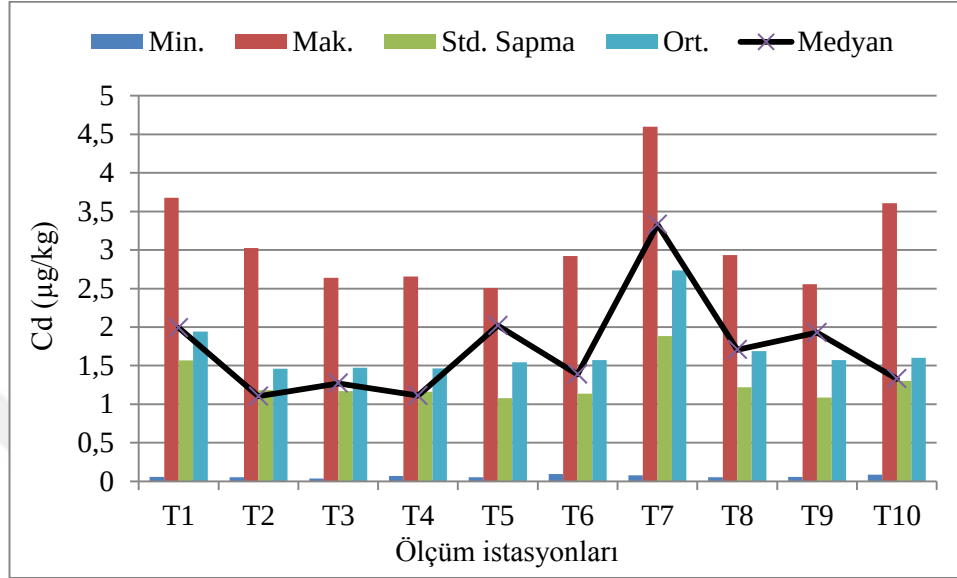
Şekil 4.126. Toprakta belirlenen Ba konsantrasyonu

Tablo 4.91. Toprakta Ba konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Ort.
SB 15	52,86	65,99	13,60	18,08	36,47	25,81	78,24	74,89	45,93	60,86	47,27
K 16	79,69	20,85	7,68	30,05	12,63	31,42	101,98	71,22	35,12	35,07	42,57
İB 16	104,68	68,72	34,40	32,08	17,23	59,15	118,51	57,99	64,01	124,90	68,17
Y 16	106,87	79,71	16,32	45,15	40,38	36,71	95,30	109,61	53,37	95,43	67,89
SB 16	118,10	53,00	27,88	15,82	43,48	23,81	125,04	112,34	72,68	103,20	69,53
K 17	86,62	56,83	26,91	9,29	109,25	32,83	133,50	100,38	55,08	57,94	66,86
İB 17	78,23	83,80	24,72	71,25	63,11	41,30	117,82	118,45	78,50	125,97	80,32
Min	52,86	20,85	7,68	9,29	12,63	23,81	78,24	57,99	35,12	35,07	
Mak	118,10	83,80	34,40	71,25	109,25	59,15	133,50	118,45	78,50	125,97	
Std. Sap	22,08	21,01	9,37	21,17	32,57	11,89	19,15	23,72	15,11	35,38	
Ort.	89,58	61,27	21,64	31,67	46,08	35,86	110,06	92,13	57,81	86,20	
Med.	86,62	65,99	24,72	30,05	40,38	32,83	117,82	100,38	55,08	95,43	

İstasyonlarda belirlenen kadmiyum konsantrasyonları Şekil 4.127.'de verilmiştir. Şekil 4.127.'de görüldüğü gibi en yüksek Cd kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 4,60 µg/kg konsantrasyonla T7 ve 125,97 µg/kg konsantrasyonla T10 istasyonlarıdır. Cd kirliliği, endüstri, yerleşim alanı, tarımsal faaliyet ve trafikten kaynaklanmaktadır (Roberts ve ark., 1994; Ganugapenta ve ark., 2018). Cd metali için kömür tüketimi ve metal işleme endüstrisi en önemli kirlenici kaynaklardır (Nehme ve ark., 2014; Li ve ark., 2017). T7 istasyonunun bulunduğu bölgede metal içerikli üretim yapan bir tesis ve tarımsal faaliyetlerin olduğu alanlar bulunmaktadır. Ayrıca her iki istasyon da trafikten etkilenmektedir. Ölçüm istasyonlarında ortalama Cd konsantrasyonları 1,47 µg/kg ile 2,73 µg/kg arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla T3 ve T7

istasyonlarında gözlemlenmiştir. Tablo 4.92.'de görüldüğü üzere Cd konsantrasyonu mevsimsel değişimi incelendiğinde, 2016 yılı ilkbahar, yaz ve sonbahar dönemlerinde yükselme gözlenmiştir.



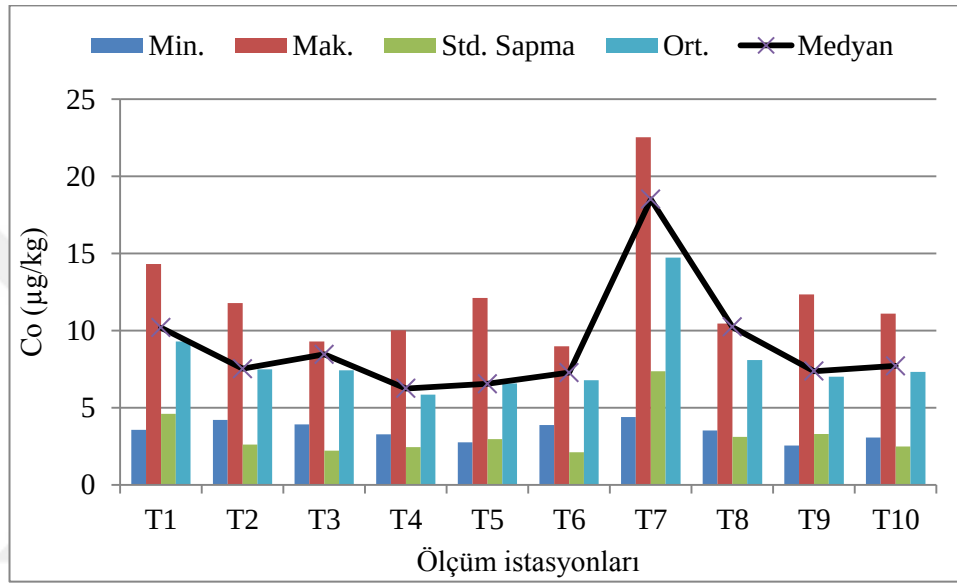
Şekil 4.127. Toprakta belirlenen Cd konsantrasyonu

Tablo 4.92. Toprakta Cd konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Ortalama
SB 15	0,06	0,09	0,07	0,11	0,10	0,39	0,09	0,06	0,09	0,09	0,11
K 16	0,06	0,05	0,04	0,07	0,05	0,10	0,08	0,07	0,06	0,12	0,07
İB 16	3,10	2,39	2,64	2,61	2,36	2,92	4,60	2,57	2,38	3,61	2,92
Y 16	3,57	3,03	2,60	2,62	2,51	2,68	3,76	2,93	2,49	2,49	2,87
SB 16	3,68	2,45	2,62	2,66	2,44	2,49	4,25	2,83	2,56	2,41	2,84
K 17	1,12	1,10	1,27	1,07	2,02	1,05	3,05	1,71	1,51	1,17	1,51
İB 17	1,99	1,10	1,06	1,11	1,32	1,39	3,33	1,66	1,93	1,33	1,62
Min	0,06	0,05	0,04	0,07	0,05	0,10	0,08	0,06	0,06	0,09	
Mak	3,68	3,03	2,64	2,66	2,51	2,92	4,60	2,93	2,56	3,61	
Std. Sap	1,57	1,18	1,17	1,16	1,08	1,14	1,88	1,22	1,09	1,30	
Ortalama	1,94	1,46	1,47	1,46	1,54	1,57	2,73	1,69	1,57	1,60	
Medyan	1,99	1,10	1,27	1,11	2,02	1,39	3,33	1,71	1,93	1,33	

İstasyonlarda belirlenen kobalt konsantrasyonları Şekil 4.128.'de verilmiştir. Şekil 4.128.'de görüldüğü gibi en yüksek Co kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 22,54 µg/kg konsantrasyonla T7 ve 14,31 µg/kg konsantrasyonla T1 istasyonlarıdır. Co, doğal toprak ayrışmasından ve fosil yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır. Co kirliliği toprak yapısı ve trafik kaynaklıdır (Hoff ve ark., 1996; Gu ve ark., 2012). Ölçüm istasyonlarında ortalama Co konsantrasyonları 5,84 µg/kg ile 14,74 µg/kg

arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla T4 ve T7 istasyonlarında gözlemlenmiştir. Tablo 4.93.'te Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi verilmiştir. Özellikle 2017 bahar döneminde yükseldiği tespit edilmiştir. Yağış verilerine bakıldığında, 2017 bahar döneminde aylık yağış ortalamaları diğer ölçüm dönemlerine göre artış göstermiştir. Bu nedenle Co konsantrasyonunu atmosferik birikimin etkilediği görülmektedir.



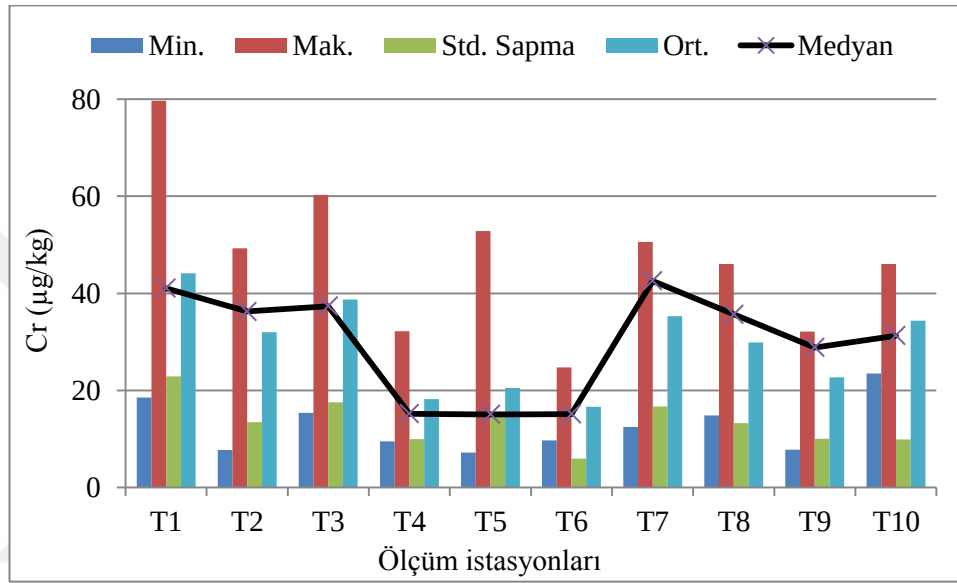
Şekil 4.128. Toprakta belirlenen Co konsantrasyonu

Tablo 4.93. Toprakta Co konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Ort
SB 15	3,57	4,21	4,51	3,47	4,18	3,88	4,85	3,52	3,38	3,07	3,86
K 16	3,72	4,45	3,93	3,28	2,77	4,20	4,40	4,07	2,56	6,64	4,00
İB 16	10,19	7,53	8,87	10,02	5,84	8,97	18,51	7,57	7,36	11,11	9,60
Y 16	13,08	11,79	9,30	6,54	7,47	8,64	13,95	10,30	6,90	7,71	9,57
SB 16	13,39	8,32	8,46	6,25	7,16	7,27	19,11	10,46	7,79	7,81	9,60
K 17	6,74	7,43	8,13	3,98	12,11	6,04	22,54	10,23	8,67	6,10	9,20
İB 17	14,31	8,74	8,76	7,34	6,55	8,46	19,81	10,45	12,35	8,80	10,56
Min	3,57	4,21	3,93	3,28	2,77	3,88	4,40	3,52	2,56	3,07	
Mak	14,31	11,79	9,30	10,02	12,11	8,97	22,54	10,46	12,35	11,11	
Std. Sap	4,61	2,61	2,22	2,45	2,96	2,12	7,36	3,11	3,29	2,48	
Ort.	9,29	7,50	7,42	5,84	6,58	6,78	14,74	8,08	7,00	7,32	
Med.	10,19	7,53	8,46	6,25	6,55	7,27	18,51	10,23	7,36	7,71	

İstasyonlarda belirlenen krom konsantrasyonları Şekil 4.129.'da verilmiştir. Şekil 4.129.'da görüldüğü gibi en yüksek Cr kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 79,70 µg/kg konsantrasyonla T1 ve 60,27 µg/kg konsantrasyonla T3 istasyonlarıdır. Cr, endüstri

ve yerleşim alanlarından kaynaklanabildiği gibi esasen doğal toprak kayması ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Gray ve ark., 1999; Li ve Ji, 2017). Ölçüm istasyonlarında ortalama Cr konsantrasyonları 16,64 $\mu\text{g/kg}$ ile 44,12 $\mu\text{g/kg}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla T6 ve T1 istasyonlarında gözlemlenmiştir. Tablo 4.94.'te Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2017 bahar döneminde yükselme gözlenmiştir.



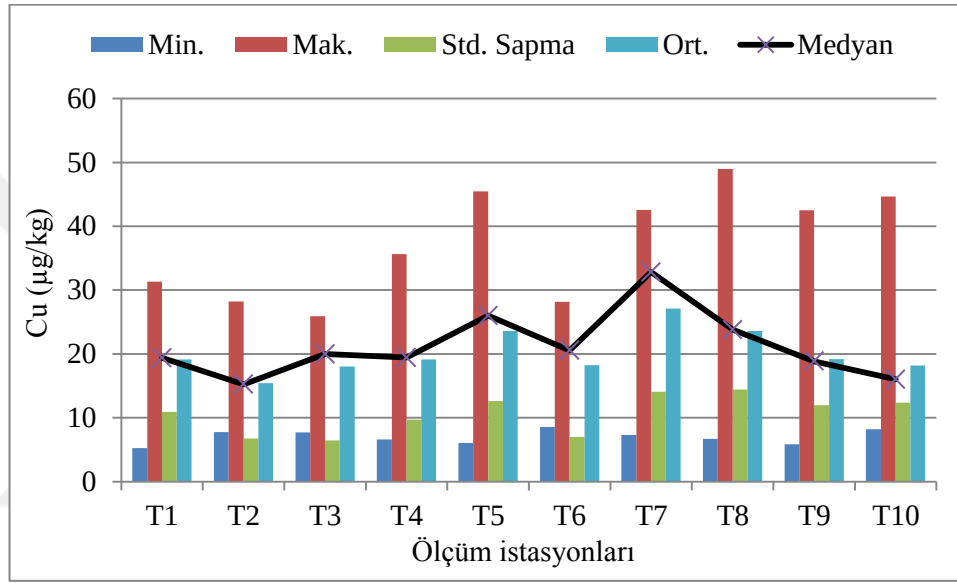
Şekil 4.129. Toprakta belirlenen Cr konsantrasyonu

Tablo 4.94. Toprakta Cr konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Ort.
SB 15	20,62	22,13	17,90	9,86	11,06	9,95	12,51	14,87	7,80	28,86	15,56
K 16	18,52	7,73	15,40	9,48	7,23	9,69	12,60	15,02	10,12	46,06	15,19
İB 16	41,06	31,40	60,27	32,19	13,35	21,48	50,30	18,90	30,31	45,70	34,50
Y 16	61,93	49,28	37,14	18,91	16,31	21,41	32,20	36,87	20,70	31,29	32,60
SB 16	56,50	39,00	37,35	15,20	15,06	15,14	42,55	35,68	28,87	23,76	30,91
K 17	30,52	38,17	45,67	10,23	52,82	14,07	46,30	42,03	28,87	23,51	33,22
İB 17	79,70	36,28	57,48	31,80	28,01	24,78	50,59	46,06	32,12	41,50	42,83
Min	18,52	7,73	15,40	9,48	7,23	9,69	12,51	14,87	7,80	23,51	
Mak	79,70	49,28	60,27	32,19	52,82	24,78	50,59	46,06	32,12	46,06	
Std. Sap	22,87	13,48	17,54	9,99	15,62	5,98	16,72	13,28	10,06	9,88	
Ort.	44,12	32,00	38,74	18,24	20,55	16,64	35,29	29,92	22,68	34,38	
Med.	41,06	36,28	37,35	15,20	15,06	15,14	42,55	35,68	28,87	31,29	

İstasyonlarda belirlenen bakır konsantrasyonları Şekil 4.130.'da verilmiştir. Şekil 4.130.'da görüldüğü gibi en yüksek Cu kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 48,98 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla T8 ve 45,45 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla T5 istasyonlarıdır. Cu

kirliliği, esas olarak antropojenik kaynaklı olup fosil yakıtların tüketimi ve trafikten oluşmaktadır (Li ve Ji, 2017, Ganugapenta ve ark., 2018). Aynı zamanda, Cu metali toprağı oluşturan kayaçların mineralojik bileşiminden de kaynaklanmaktadır (Motuzova ve ark., 2014). Ölçüm istasyonlarında ortalama Cu konsantrasyonları 15,41 $\mu\text{g/kg}$ ile 27,12 $\mu\text{g/kg}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla T2 ve T7 istasyonlarında gözlemlenmiştir. Tablo 4.95.'te Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2016 ve 2017 ilkbahar döneminde yükselme gözlenmiştir.



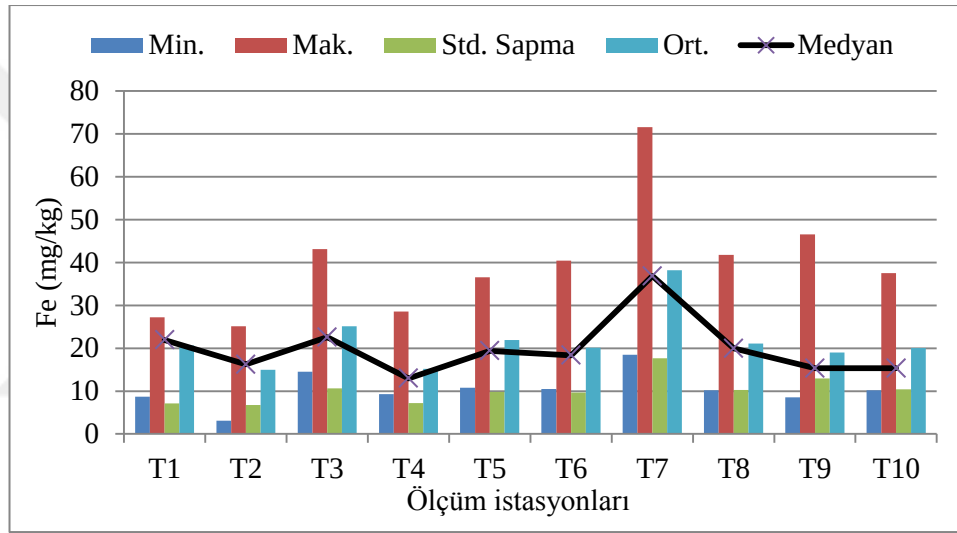
Şekil 4.130. Toprakta belirlenen Cu konsantrasyonu

Tablo 4.95. Toprakta Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi ($\mu\text{g/kg}$).

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Ort.
SB 15	5,25	7,73	10,80	6,62	15,43	8,56	7,88	6,72	8,47	8,88	8,63
K 16	6,61	9,36	7,69	8,40	6,06	9,42	7,28	7,45	5,84	8,20	7,63
İB 16	19,37	12,92	25,88	35,63	16,23	21,61	37,48	48,98	15,93	44,66	27,87
Y 16	28,10	28,19	21,82	19,29	26,00	20,86	27,93	31,27	18,85	13,45	23,58
SB 16	29,40	16,13	18,83	23,37	27,79	18,61	33,92	22,36	20,67	16,01	22,71
K 17	13,92	15,22	19,99	19,43	28,37	20,56	32,81	24,54	22,09	18,38	21,53
İB 17	31,33	18,27	21,14	21,05	45,45	28,14	42,56	23,79	42,50	17,62	29,19
Min	5,25	7,73	7,69	6,62	6,06	8,56	7,28	6,72	5,84	8,20	
Mak	31,33	28,19	25,88	35,63	45,45	28,14	42,56	48,98	42,50	44,66	
Std. Sap	10,89	6,76	6,45	9,71	12,60	6,99	14,08	14,44	11,96	12,35	
Ort.	19,14	15,41	18,02	19,11	23,62	18,25	27,12	23,59	19,19	18,17	
Med.	19,37	15,22	19,99	19,43	26,00	20,56	32,81	23,79	18,85	16,01	

İstasyonlarda belirlenen demir konsantrasyonları Şekil 4.131.'de verilmiştir. Şekil 4.131.'de görüldüğü gibi en yüksek Fe kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 71,57

mg/kg konsantrasyonla T7 ve 46,57 mg/kg konsantrasyonla T9 istasyonlarıdır. Fe jeojenik (toprak kökenli) kaynaklı metal olmakla birlikte trafik kaynaklı emisyonlardan da kaynaklanmaktadır. T7 ve T9 istasyonları karayollarına yakın konumda olup toprak yapıları ince tanelidir. İnce taneli toprak yapısında metallerin toprağa bağlanması söz konusudur (Rehman ve ark., 2018). Ölçüm istasyonlarında ortalama Fe konsantrasyonları 14,94 mg/kg ile 38,21 mg/kg arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla T2 ve T7 istasyonlarında gözlemlenmiştir. Tablo 4.96.'da Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2017 ilkbahar döneminde yükselme tespit edilmiştir.

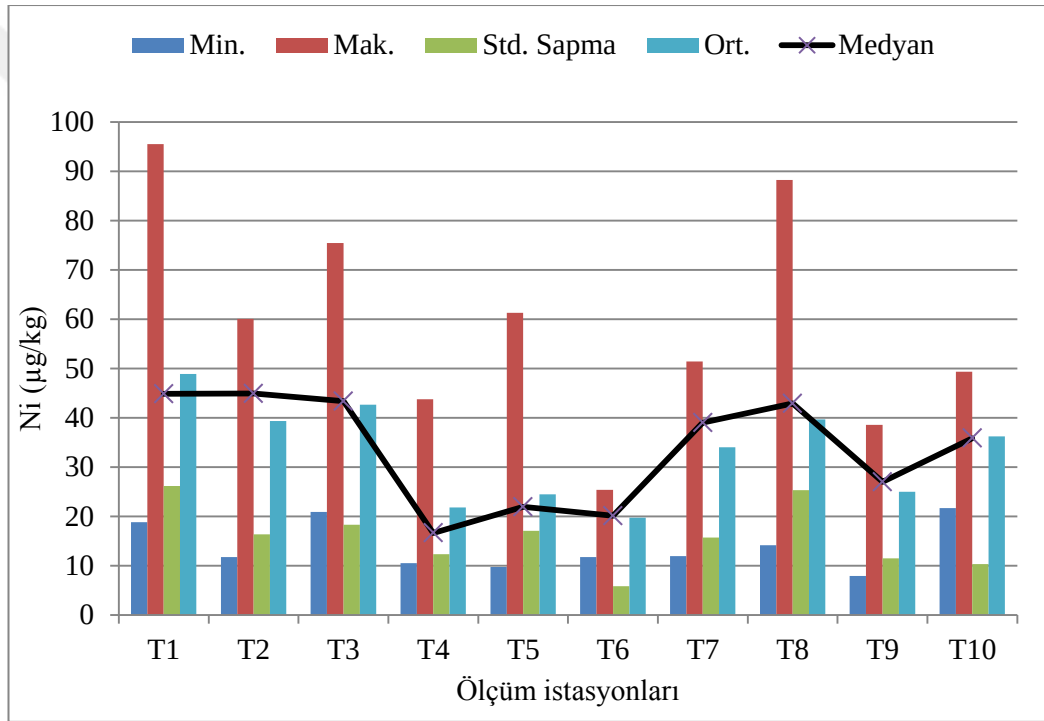


Şekil 4.131. Toprakta belirlenen Fe konsantrasyonu

Tablo 4.96. Toprakta Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (mg/kg).

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Ort.
SB 15	8,70	13,23	14,54	9,61	12,67	13,50	18,51	10,21	11,35	10,16	12,25
K 16	15,53	11,68	14,84	9,26	10,78	10,51	21,28	13,25	8,57	14,34	13,00
İB 16	27,04	16,22	22,14	21,07	18,04	16,79	39,39	17,52	15,84	32,36	22,64
Y 16	26,92	25,11	22,57	14,46	22,27	20,38	33,67	20,16	12,44	15,31	21,33
SB 16	27,22	16,47	22,64	10,20	19,39	18,35	36,83	19,96	15,34	15,96	20,24
K 17	17,14	18,78	36,05	12,98	33,62	20,80	46,24	24,54	22,77	14,92	24,78
İB 17	21,92	3,07	14,54	43,13	28,59	36,54	40,46	71,58	41,75	46,57	37,49
Min	8,70	3,07	14,54	9,26	10,78	10,51	18,51	10,21	8,57	10,16	
Mak	27,22	25,11	36,05	43,13	33,62	36,54	46,24	71,58	41,75	46,57	
Std. Sap	7,15	6,79	7,68	12,13	8,20	8,35	10,25	20,94	11,27	13,16	
Ort.	20,64	14,94	21,05	17,24	20,77	19,55	33,77	25,32	18,29	21,38	
Med.	21,92	16,22	22,14	12,98	19,39	18,35	36,83	19,96	15,34	15,31	

İstasyonlarda belirlenen nikel konsantrasyonları Şekil 4.132.'de verilmiştir. Şekil 4.132.'de görüldüğü gibi en yüksek Ni kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 95,51 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla T1 ve 88,26 $\mu\text{g/kg}$ konsantrasyonla T8 istasyonlarıdır. Ni, hem antropojenik kaynaklı hem de jeojenik bir elementtir (İslam ve ark., 2017). Toprağı oluşturan kayaçların mineralojik bileşiminden kaynaklanmaktadır (Motuzova ve ark., 2014). T1 ve T8 istasyonları karayoluna yakın ve tarımsal faaliyetlerin (gübreleme, pestisit) olduğu bölgelerde yer almaktadır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Ni konsantrasyonları 19,70 $\mu\text{g/kg}$ ile 48,89 $\mu\text{g/kg}$ arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla T6 ve T1 istasyonlarında gözlemlenmiştir.



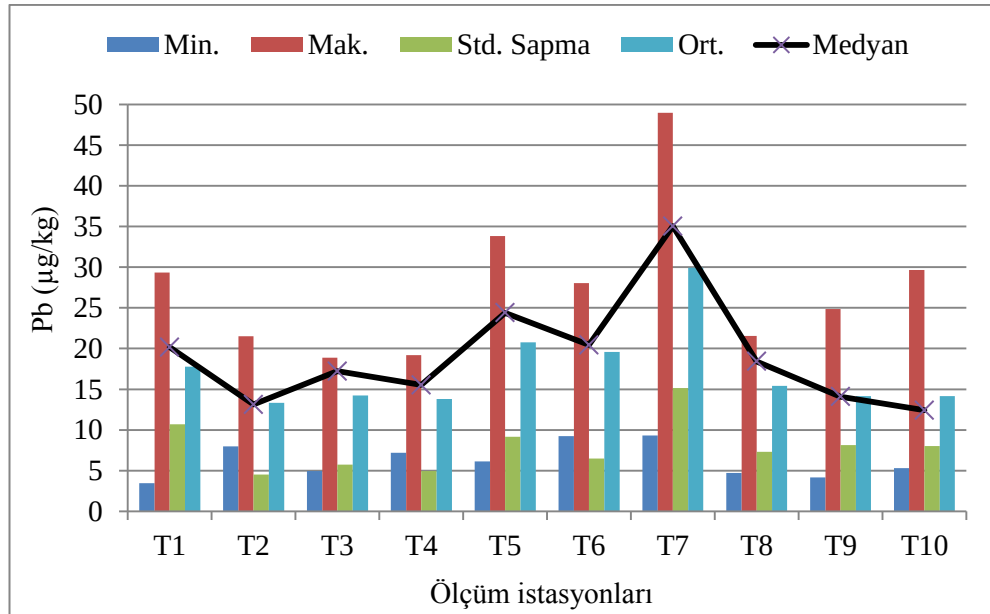
Şekil 4.132. Toprakta belirlenen Ni konsantrasyonu

Tablo 4.97.'de Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2016 yaz ve 2017 ilkbahar döneminde yükselme gözlenmiştir. Bulk atmosferik birikim örneklerinde de Ni konsantrasyonunun artışı bu dönemlerde olmuştur. Konsantrasyondaki bu yükseliş atmosferik birikimine bağlıdır.

Tablo 4.97. Toprakta Ni konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Ort.
SB 15	25,56	23,82	23,22	10,51	13,16	11,73	11,95	14,11	7,89	21,70	16,36
K 16	18,84	11,72	20,87	12,59	9,72	12,12	12,82	17,83	10,93	47,65	17,51
İB 16	44,85	39,96	75,45	43,77	18,51	23,77	45,71	23,32	38,55	49,36	40,32
Y 16	63,55	60,07	43,33	22,84	21,92	25,36	33,98	88,26	25,38	33,53	41,82
SB 16	58,15	46,50	39,37	16,63	22,57	19,41	43,14	42,90	32,30	35,84	35,68
K 17	35,75	48,42	45,54	13,64	61,26	20,10	38,99	46,07	26,99	25,81	36,26
İB 17	95,51	44,90	50,66	32,73	24,29	25,40	51,41	45,17	32,69	39,64	44,24
Min	18,84	11,72	20,87	10,51	9,72	11,73	11,95	14,11	7,89	21,70	
Mak	95,51	60,07	75,45	43,77	61,26	25,40	51,41	88,26	38,55	49,36	
Std. Sap	26,17	16,32	18,31	12,31	17,05	5,81	15,73	25,30	11,48	10,34	
Ort.	48,89	39,34	42,64	21,82	24,49	19,70	34,00	39,67	24,96	36,22	
Med.	44,85	44,90	43,33	16,63	21,92	20,10	38,99	42,90	26,99	35,84	

İstasyonlarda belirlenen kurşun konsantrasyonları Şekil 4.133.'te verilmiştir. Şekil 4.133.'te görüldüğü gibi en yüksek Pb kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 48,99 µg/kg konsantrasyonla T7 ve 33,82 µg/kg konsantrasyonla T5 istasyonlarıdır. Pb kirliliği, yakıt tüketiminden, kurşunlu boyalardan ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanmaktadır (Martin ve ark., 2017). Ayrıca, Pb jeojenik elementlerden biridir (İslam ve ark., 2017). Ölçüm istasyonlarında ortalama Pb konsantrasyonları 13,35 µg/kg ile 29,95 µg/kg arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla T2 ve T9 istasyonlarında gözlemlenmiştir. Tablo 4.98.'de Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2017 bahar döneminde yükselme gözlemlenmiştir.

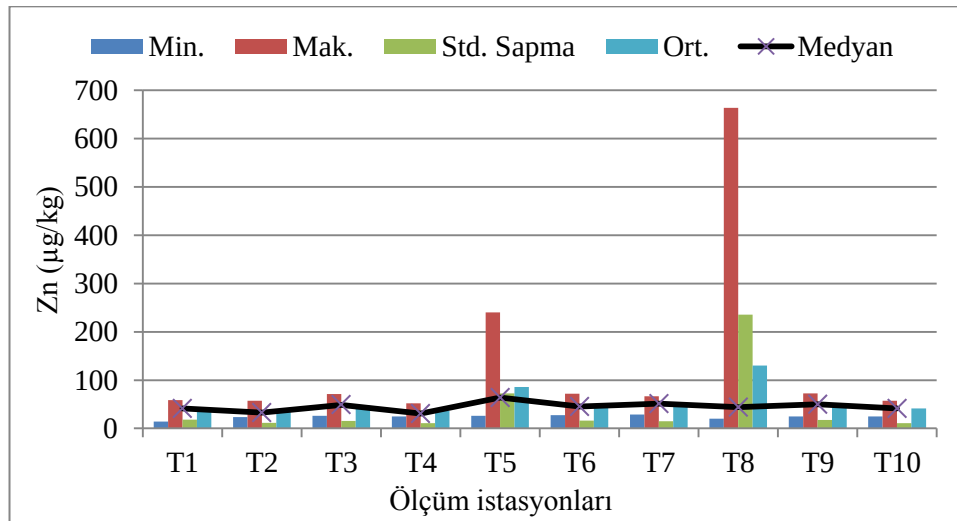


Şekil 4.133. Toprakta belirlenen Pb konsantrasyonu

Tablo 4.98. Toprakta Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Ort.
SB 15	3,45	7,98	6,89	7,18	15,49	9,24	10,50	4,69	5,64	7,41	7,85
K 16	5,27	9,36	4,95	7,50	6,13	13,90	9,31	5,16	4,15	5,28	7,10
İB 16	20,16	11,36	18,86	19,17	14,83	28,07	38,92	19,80	11,84	29,65	21,27
Y 16	25,55	21,50	17,21	15,57	25,08	21,64	27,15	18,41	14,12	12,40	19,86
SB 16	27,85	13,12	16,62	15,53	25,59	18,33	35,04	17,41	14,08	12,06	19,56
K 17	12,83	14,33	17,56	12,64	24,41	20,44	39,75	20,83	24,37	14,68	20,18
İB 17	29,36	15,78	17,40	19,01	33,82	25,38	48,99	21,54	24,88	17,57	25,37
Min	3,45	7,98	4,95	7,18	6,13	9,24	9,31	4,69	4,15	5,28	
Mak	29,36	21,50	18,86	19,17	33,82	28,07	48,99	21,54	24,88	29,65	
Std. Sap	10,71	4,51	5,73	4,95	9,16	6,47	15,15	7,29	8,14	8,00	
Ort.	17,78	13,35	14,21	13,80	20,76	19,57	29,95	15,41	14,16	14,15	
Med.	20,16	13,12	17,21	15,53	24,41	20,44	35,04	18,41	14,08	12,40	

İstasyonlarda belirlenen çinko konsantrasyonları Şekil 4.134.'te verilmiştir. Şekil 4.134.'te görüldüğü gibi en yüksek Zn kirliliğinin gözlemlendiği istasyonlar 664,17 µg/kg konsantrasyonla T8 ve 240,30 µg/kg konsantrasyonla T5 istasyonlarıdır. Zn kirliliği, taşıt emisyonlarından yani trafikten, tarımsal faaliyetlerde fosforlu gübre kullanımından ve doğal yapıdan kaynaklanmaktadır (Li ve Ji, 2017, Martin ve ark., 2017; Wang ve ark., 2018). T8 ve T5 istasyonları karayollarına yakın olup tarımsal faaliyetlerin olduğu bölgelerde yer almaktadır. Ölçüm istasyonlarında ortalama Zn konsantrasyonları 34,17 µg/kg ile 130,36 µg/kg arasında değişmekte olup, bu değerler sırasıyla T2 ve T8 istasyonlarında gözlemlenmiştir. Tablo 4.99.'da Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi incelendiğinde 2016 yaz ve ilkbahar döneminde yükselme gözlenmiştir.



Şekil 4.134. Toprakta belirlenen Zn konsantrasyonu

Tablo 4.99. Toprakta Zn konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi (µg/kg).

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Ort.
SB 15	14,31	27,04	29,61	26,88	50,25	27,70	28,60	20,30	29,76	39,34	29,38
K 16	21,92	23,22	26,22	28,73	26,05	31,24	36,02	25,03	24,64	41,22	28,43
İB 16	41,20	25,71	71,27	47,78	38,12	50,54	57,46	64,17	31,53	50,80	47,86
Y 16	58,46	57,39	56,74	39,53	87,57	45,23	38,86	58,23	49,81	24,57	51,64
SB 16	56,55	32,52	44,47	30,59	96,79	39,22	51,16	43,20	57,97	30,50	48,30
K 17	34,48	38,34	55,35	24,74	63,67	62,58	65,14	57,61	52,46	57,05	51,14
İB 17	58,64	34,98	48,97	52,18	240,30	71,96	66,31	44,00	72,51	44,56	73,44
Min	14,31	23,22	26,22	24,74	26,05	27,70	28,60	20,30	24,64	24,57	
Mak	58,64	57,39	71,27	52,18	240,30	71,96	66,31	64,17	72,51	57,05	
Std. Sap	18,15	11,56	15,79	10,84	72,56	16,14	14,85	16,90	17,46	11,17	
Ort.	40,79	34,17	47,52	35,78	86,11	46,92	49,08	44,65	45,53	41,15	
Med.	41,20	32,52	48,97	30,59	63,67	45,23	51,16	44,00	49,81	41,22	

Ağır metallerin mevsimsel değişimleri incelendiğinde, tüm ağır metal konsantrasyonlarının 2017 ilkbahar döneminde en yüksek seviyeye ulaştığı görülmüştür. Sapanca bölgesine ait yağış verilerine bakıldığında, 2017 bahar döneminde aylık yağış ortalamaları diğer ölçüm dönemlerine göre artış göstermiştir. Bu dönemde bulk atmosferik birikim örneklerinde de ağır metal konsantrasyonları yükselmiştir. Bahar döneminde artan tarımsal faaliyetler (zirai gübreleme ve pestisit kullanımı) ve yağışların etkisiyle ile yüzey akışına geçen sulama suları ile toprakta ağır metal birikimi artmıştır. Van gölü çevresinden alınan toprak örneklerinde Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn ağır metallerinin mevsimsel değişimi incelenmiş ve yağışlı dönemlerde ağır metal konsantrasyonlarının toprakta maksimum seviyeye ulaştığı ifade edilmiştir (Kaptanoğlu ve Bakır, 2017). Çin’de yapılan bir çalışmada Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn metallerinin mevsimsel değişimi incelendiğinde, toprak yapısına bağlı olarak en yüksek konsantrasyonların ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde olduğu tespit edilmiştir (Xue-Feng ve ark., 2013). Kore’de topraktan alınan örneklerde Cu, Pb ve Zn metallerinin konsantrasyonları ölçülmüş ve en yüksek değerlere yağmur sonrası alınan numunelerde rastlandığı ifade edilmiştir (Chon ve ark., 1998).

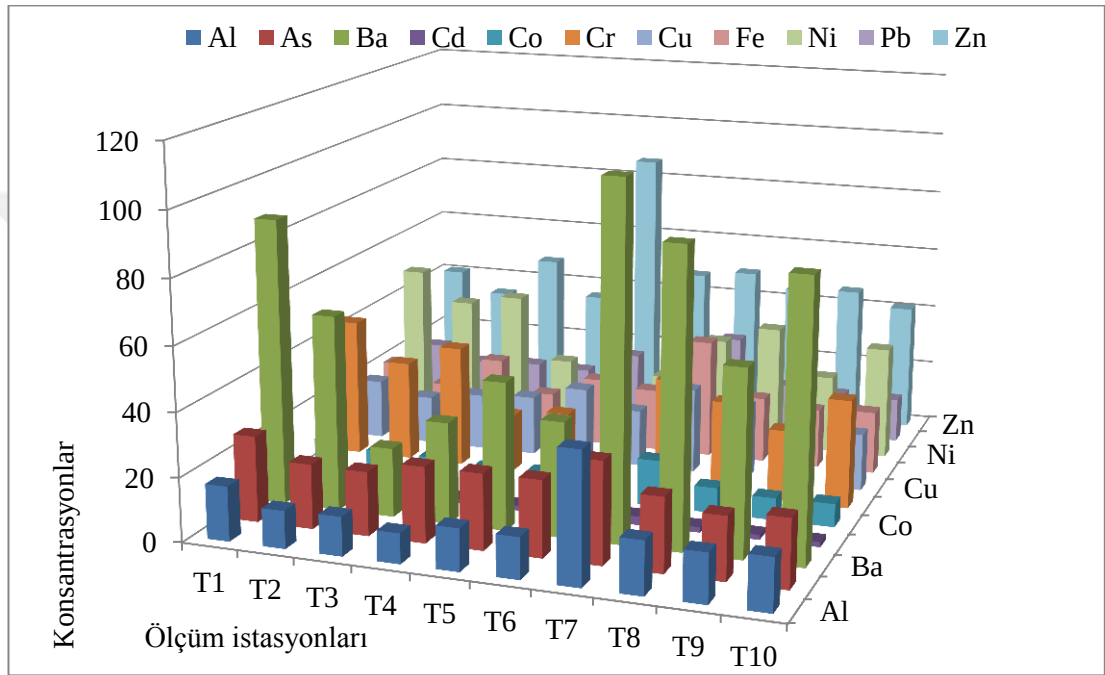
4.4.2.1. Ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonlarının incelenmesi

Ölçüm istasyonlarına göre mevsimsel ortalama ağır metal konsantrasyonları Şekil 4.135.’te verilmiştir.

- Alüminyum kirliliği en yüksek T7 istasyonunda 40,68 mg/kg ve T1 istasyonunda 17,11 mg/kg;
- Arsenik kirliliği en yüksek T7 istasyonunda 31,76 µg/kg ve T1 istasyonunda 27,01 µg/kg;
- Baryum kirliliği en yüksek T7 istasyonunda 110,06 µg/kg ve T8 istasyonunda 92,13 µg/kg;
- Kadmiyum kirliliği en yüksek T7 istasyonunda 2,73 µg/kg ve T1 istasyonunda 1,94 µg/kg;
- Kobalt kirliliği en yüksek T7 istasyonunda 14,74 µg/kg ve T1 istasyonunda 9,29 µg/kg;
- Krom kirliliği en yüksek T1 istasyonunda 44,12 µg/kg ve T3 istasyonunda 38,74 µg/kg;
- Bakır kirliliği en yüksek T7 istasyonunda 27,12 µg/kg ve T5 istasyonunda 23,62 µg/kg;
- Demir kirliliği en yüksek T7 istasyonunda 38,21 mg/kg ve T3 istasyonunda 25,13 mg/kg;
- Nikel kirliliği en yüksek T1 istasyonunda 48,89 µg/kg ve T3 istasyonunda 42,64 µg/kg;
- Kurşun kirliliği en yüksek T7 istasyonunda 29,95 µg/kg ve T5 istasyonunda 20,76 µg/kg;
- Çinko kirliliği en yüksek T8 istasyonunda 130,36 µg/kg ve T5 istasyonunda 86,11 µg/kg olarak bulunmuştur.

Ağır metallerin konsantrasyonları incelendiğinde, Al, As, Ba, Cd, Co, Cu, Fe ve Pb metalleri T7 ve T1 istasyonlarında diğer istasyonlara göre yüksek konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Cr, Ni ve Zn metal konsantrasyonları ise T1 ve T3 istasyonlarında yüksek olduğu belirlenmiştir. İstasyonların Sapanca gölündeki konumları Materyal-metot bölümünde Şekil 3.9.'da verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere T7 istasyonu gölün karayoluna yakın ve metal içerikli üretim yapan bir tesis bulunmaktadır. T1 istasyonu ise E-80 karayoluna çok yakın bir konumdadır. Bu istasyonlardan alınan toprak örneklerinin yapısı incelendiğinde, özellikle T7 örneği %53 oranında kilden oluşmaktadır. Toprak örneklerinin organik madde muhtevaları

göz ününde bulundurulduğunda, her iki istasyondan alınan örneklerin organik madde muhtevaları diğer istasyonlara göre daha yüksektir. Toprak yapısının ince tanelerden oluşması ve organik madde içeriğinin yüksek olması ağır metal birikimini artırmaktadır (Mico ve ark., 2006; Rehman ve ark., 2018). Bu nedenle iki istasyonda ağır metal birikiminin yüksek olması toprak yapısından, trafik kaynaklı yakıt tüketiminden ve fren-balata sisteminin aşınmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.135. Toprakta ölçüm istasyonlarına göre ağır metal konsantrasyonları (Al, Fe için mg/kg, $\mu\text{g/kg}$).

4.4.2.2. Toprakta fiziko-kimyasal parametreler ile ağır metallerin korelasyon analizi

Kirleticiler arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla Pearson korelasyon matrisi yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.100.'de verilmiştir. Toprak örneklerinde iletkenlik ile diğer kalite parametreleri ve ağır metaller arasında anlamlılık seviyesinde bir korelasyon bulunmamaktadır. Tuzluluk ile pH arasında pozitif ve tuzluluk ile ORP arasında negatif bir korelasyon bulunmaktadır. pH ve ORP parametreleri incelendiğinde; pH- As, pH-Cd arasında pozitif ve ORP-As ve ORP-Cd arasında negatif bir anlamlılık belirlenmiştir. Sapanca gölü havzasından alınan toprak örneklerinde organik madde ile ağır metaller arasında anlamlı bir korelasyon

bulunmamaktadır. Bu durum toprakta bulunan ağır metallerin organik maddeye bağlı formda olmadığını göstermektedir. Al ile Fe arasındaki korelasyon 0,996 seviyesinde bulunmaktadır. As ile diğer metaller arasındaki korelasyonlar incelendiğinde, As - Cd (0,925), As – Co (0,566), As - Cr (0,533), As – Ni (0,533), As – Pb (0,522) seviyelerinde anlamlılıklar bulunmaktadır. Ba ve Fe elementleri incelendiğinde, diğer ağır metallerle aralarında anlamlı korelasyonlar bulunmamaktadır. Cd ile Co ve Pb; Co ile Pb ve Ni; Cr ile Ni ve Cu ile Pb ve Zn arasında kuvvetli pozitif anlamlılıklar bulunmaktadır. Al, Ba ve Fe elementlerinin diğer metallerden farklı kaynaktan geldiği ve yapılan incelemeler sonucu bu kaynağın toprak yapısı olduğu belirlenmiştir.



Tablo 4.100. Toprakta kirleticiler arasındaki Pearson korelasyonu

	C	SAL	pH	ORP	%OM	%OC	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
C	1																
SAL	,265*	1															
pH	,095	,537**	1														
ORP	-,251*	-,848**	-,560**	1													
%OM	,076	,036	-,166	,128	1												
%OC	,076	,036	-,165	,127	1,000**	1											
Al	,010	-,058	-,090	,026	-,150	-,150	1										
As	,210	,617**	,554**	-,704**	-,074	-,074	-,088	1									
Ba	-,092	,001	,017	,093	,319**	,319**	,192	,127	1								
Cd	,181	,641**	,660**	-,697**	,006	,007	-,097	,925**	,106	1							
Co	,150	,355**	,308**	-,339**	,362**	,363**	-,043	,566**	,353**	,652**	1						
Cr	,131	,495**	,363**	-,506**	,127	,127	-,062	,533**	,132	,533**	,468**	1					
Cu	,107	,099	,119	-,183	,285*	,285*	-,131	,432**	,061	,524**	,437**	,227	1				
Fe	-,007	-,044	-,060	,009	-,177	-,177	,996**	-,059	,172	-,068	-,050	-,043	-,117	1			
Ni	,062	,388**	,294*	-,398**	,087	,087	-,014	,533**	,249*	,503**	,587**	,903**	,219	,005	1		
Pb	,235*	,287*	,208	-,350**	,424**	,424**	-,132	,522**	,013	,655**	,687**	,347**	,636**	-,129	,296*	1	
Zn	-,007	-,021	-,078	-,056	,183	,182	-,082	,116	-,043	,161	,002	,050	,704**	-,066	-,017	,415**	1

4.4.3. Toprak ortamında ağır metal kirliliğinin kirlilik indeksleri ile değerlendirilmesi

4.4.3.1. Ağır metallerin kontaminasyon faktörleri

Ağır metallerin çevresel etkisi ve kirlilik seviyesi, kontaminasyon faktörü, zenginleştirme faktörü ve potansiyel ekolojik risk indeksi gibi çeşitli kirlilik indeksleri kullanılarak belirlenebilmektedir. Sediment veya topraklar üzerindeki antropojenik etkilerin tahmini için, background (arka plan) seviyeleri dikkate alınarak ağır metal kirlilik seviyesi Denklem 4.22 ile hesaplanmaktadır. Göl havzasında toksik bir maddenin kirlenmesini tanımlamak için bir kirlenme faktörü (C_f^i) kullanılır.

$$C_f^i = \frac{C_{0-1}^i}{C_n^i} \quad (4.22)$$

Denklem 4.22’de C_{0-1}^i ; en az 5 örnekleme alanından alınan i maddesinin ortalama değeri ve C_n^i ; incelenecek madde için referans değeri olarak ifade edilmektedir. Kontaminasyon şu şekilde yorumlanmaktadır: Kontaminasyon faktörü değeri $C_f^i < 1$ ise düşük kontaminasyon faktörü; $1 \leq C_f^i < 3$ ise orta derece kontaminasyon faktörü; $3 \leq C_f^i < 6$ ise önemli kontaminasyon faktörü ve $C_f^i \geq 6$ ise çok yüksek kontaminasyon faktörü.

Kontaminasyon derecesi (C_d), havzanın tüm kirlilik faktörlerinin toplamı olarak tanımlanır (Denklem 4.23). C_d , Hakanson'a göre sekiz kirletici türü için C_f toplamı olarak tanımlanır. C_d , bir örnekleme sahasındaki genel kontaminasyon derecesinin bir ölçüsüdür (Hakanson, 1980).

$$C_d = \sum_{i=1}^7 C_f^i = \sum_{i=1}^7 \frac{C_{0-1}^{-i}}{C_n^i} \quad (4.23)$$

Kontaminasyon derecesi $C_d < 7$ ise düşük kontaminasyon derecesi; $7 < C_d < 14$ ise orta derecede kontaminasyon; $14 < C_d < 28$ ise önemli derecede kontaminasyon ve $C_d < 28$ ise çok yüksek derecede kontaminasyon şeklinde yorumlanmaktadır.

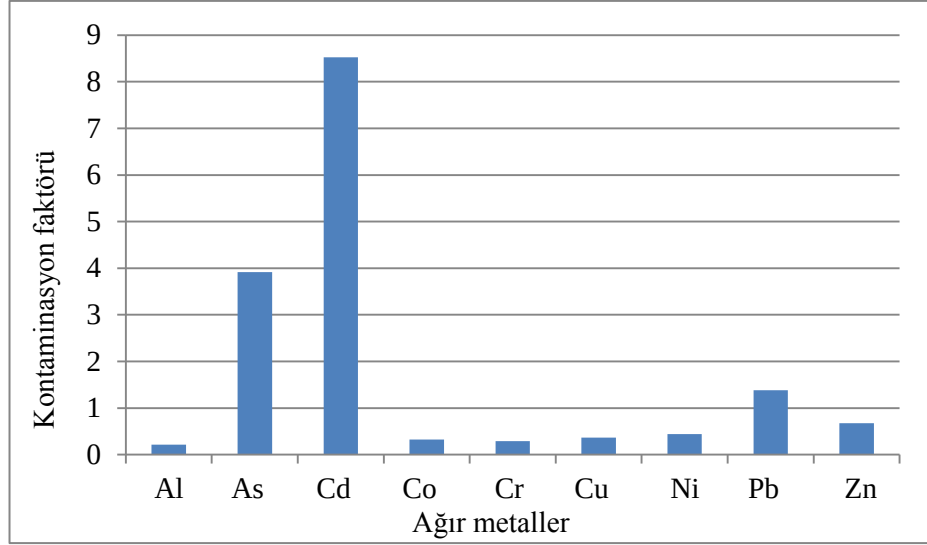
Kontaminasyon faktörleri Tablo 4.101. ve Şekil 4.136.'da verilmiştir. Toprak kontaminasyonu;

- Al, Co, Cr, Cu, Ni ve Zn metalleri için düşük ve Pb metali için orta derece,
- As elementi için önemli ve Cd metali için ise çok yüksek seviyede tespit edilmiştir.

İstasyon bazında incelendiğinde tüm metaller için tüm istasyonlarda (T2 istasyonu hariç) önemli derecede kontaminasyon bulunmaktadır.

Tablo 4.101. İstasyonlara göre kontaminasyon faktörleri

Ölçüm istasyonları	C_f								C_d	
	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
T1	0,22	4,50	9,70	0,37	0,44	0,35	0,65	1,42	0,58	18,24
T2	0,15	3,38	7,29	0,30	0,32	0,28	0,52	1,07	0,49	13,80
T3	0,16	3,34	7,36	0,30	0,39	0,33	0,57	1,14	0,68	14,25
T4	0,12	3,95	7,32	0,23	0,18	0,35	0,29	1,10	0,51	14,06
T5	0,17	3,96	7,72	0,26	0,21	0,43	0,33	1,66	1,23	15,96
T6	0,17	3,99	7,86	0,27	0,17	0,33	0,26	1,57	0,67	15,28
T7	0,52	5,29	13,67	0,59	0,35	0,49	0,45	2,40	0,70	24,48
T8	0,21	3,86	8,45	0,32	0,30	0,43	0,53	1,23	0,64	15,97
T9	0,20	3,29	7,87	0,28	0,23	0,35	0,33	1,13	0,65	14,33
T10	0,21	3,56	8,00	0,29	0,34	0,33	0,48	1,13	0,59	14,94
Min.	0,12	3,29	7,29	0,23	0,17	0,28	0,26	1,07	0,49	13,20
Mak.	0,52	5,29	13,67	0,59	0,44	0,49	0,65	2,40	1,23	25,29
Ort.	0,21	3,91	8,52	0,32	0,29	0,37	0,44	1,39	0,67	16,13
Std. Sapma	0,11	0,61	1,94	0,10	0,09	0,06	0,13	0,41	0,21	3,68
Medyan	0,18	3,91	7,87	0,29	0,31	0,35	0,47	1,18	0,64	15,20



Şekil 4.136. Ağır metallere ait kontaminasyon faktörleri

4.4.3.2. Ağır metallerin zenginleştirme faktörleri

Zenginleştirme faktörü (EF), toprak kalitesini değerlendirmek ve toprakta ağır metal kirliliğinin kaynağını belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Metallere ait zenginleştirme faktörü Denklem 4.24'te verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$EF = \frac{\left(\frac{M_{\text{örnek}}}{N_{\text{örnek}}}\right)}{\left(\frac{M_{\text{referans}}}{N_{\text{referans}}}\right)} \quad (4.24)$$

Denklem 4.24'te verilen EF; zenginleştirme faktörü, $M_{\text{örnek}}$; Her bir ağır metale ait ölçülen konsantrasyonu, $N_{\text{örnek}}$; Referans alınan elementin ölçülen konsantrasyonu, M_{referans} ; Her bir ağır metale ait background konsantrasyonu, N_{referans} ; Referans alınan elementin background konsantrasyonu olarak ifade edilmektedir.

Zenginleştirme faktörü hesaplanırken incelenecek ağır metal için Fe, Al, Li, Sc ve TOC gibi referans elementler kullanılarak normalizasyon yapılmaktadır. Normalizasyonda kullanılacak element Pearson korelasyon analiziyle belirlenmektedir. Bu çalışmada Al elementi referans elementi olarak seçilmiş ve hesaplamalarda kullanılmıştır (Hou ve ark., 2005; Akal, 2009; Mijić ve ark., 2010). EF hesaplamaları için her bir ağır metala ait referans değerleri, Turekian ile

Wedepohl (1961) ve Hakanson (1980) tarafından yapılan çalışmalardan bulunmuştur. Ağır metallerin EF değeri, bu metalin toprağın doğal yapısından veya antropojenik faaliyetlerden kaynaklandığını belirtmek için kullanılmaktadır. Toprak örneklerine ait zenginleştirme faktörleri Tablo 4.102. ve Şekil 4.137.'de verilmiştir.

Zenginleşme faktörü değerlerinin $EF < 0,5$ olduğu durumda ağır metalin yer kabuğu kaynaklı, zenginleşme faktörü değerlerinin 0,5 ile 1,5 arasında olduğu durumda yer kabuğu veya doğal kaynaklı ve zenginleşme faktörünün $EF > 1,5$ olduğu durumda ise yer kabuğunda veya doğal kaynaklı olmadığı, antropojenik kaynaklı olduğu bilinmektedir.

Tablo 4.102. ve Şekil 4.137.'de ağır metallerle ait zenginleştirme faktörleri verilmiştir. Elde edilen zenginleştirme faktörü sonuçlarına göre, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn metallerinin antropojenik kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Özellikle As ve Cd metallerinin ortalama zenginleştirme faktörleri 20,64 ve 43,72 şeklinde bulunmuştur. Ağır metallerle göre zenginleştirme faktörleri $Cd > As > Pb > Zn > Ni > Cu > Co > Cr$ şeklinde sıralanmaktadır. İstasyon bazında incelendiğinde,

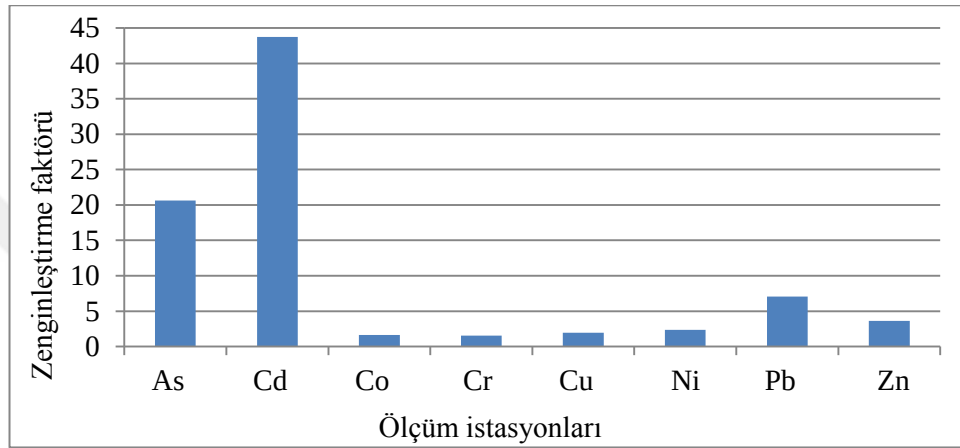
- Cd metaline ait zenginleştirme faktörü T2, T3, T4 ve T7 istasyonlarında,
- Co metaline ait zenginleştirme faktörü T7, T9 ve T10 istasyonlarında,
- Cr metaline ait zenginleştirme faktörü T5, T6, T7, T8 ve T9 istasyonlarında,
- Cu, Ni ve Zn metallerine ait zenginleştirme faktörü ise T7 istasyonlarında 1,5 değerinin altında olup, bu metallerin zenginleştirme faktörü hesaplamasına göre esas olarak doğal kaynaklı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.102. İstasyonlara göre zenginleştirme faktörleri

Ölçüm istasyonları	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
T1	20,51	44,20	1,69	2,01	1,59	2,97	6,48	2,66
T2	22,37	48,27	1,98	2,12	1,85	3,47	7,07	3,23
T3	21,37	47,10	1,90	2,48	2,10	3,64	7,28	4,34
T4	32,65	60,46	1,93	1,51	2,87	2,40	9,12	4,22
T5	23,34	45,54	1,55	1,21	2,53	1,93	9,80	7,26
T6	24,09	47,51	1,64	1,01	2,01	1,59	9,46	4,05

Tablo 4.102. (Devamı)

T7	10,15	26,22	1,13	0,68	0,95	0,87	4,59	1,34
T8	18,22	39,85	1,53	1,41	2,02	2,49	5,81	3,01
T9	16,75	40,05	1,43	1,15	1,78	1,69	5,76	3,31
T10	16,94	38,05	1,39	1,64	1,57	2,30	5,38	2,80
Min	10,15	26,22	1,13	0,68	0,95	0,87	4,59	1,34
Mak	32,65	60,46	1,98	2,48	2,87	3,64	9,80	7,26
Ort	20,64	43,72	1,62	1,52	1,93	2,34	7,08	3,62
Std. Sap.	5,89	8,80	0,27	0,55	0,53	0,86	1,83	1,55
Medyan	20,94	44,87	1,60	1,46	1,93	2,35	6,77	3,27



Şekil 4.137. Ağır metallere ait zenginleştirme faktörleri

4.4.3.3. Ağır metallerin potansiyel ekolojik riskleri

Bu yöntem, ağır metallerin toprak veya sedimentteki potansiyel riskini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır (Hakanson, 1980; Zhang ve ark., 2018). PERI, farklı toprak veya sediment ortamlarda kullanılabilmekte ve çevresel risk değerlendirmesi için yaygın olarak tercih edilmektedir (Gao ve ark., 2013; Ogunkunle ve Fatoba, 2013). Potansiyel ekolojik risk indeksi Denklem 4.25, Denklem 4.26 ve Denklem 4.27 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$C_f^i = \frac{C_i}{C_n^i} \quad (4.25)$$

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i \quad (4.26)$$

$$RI = \sum E_r^i \quad (4.27)$$

Denklem 4.25'te C_i (mg/kg) ve C_n^i (mg/kg) her bir ağır metale ait ölçülen konsantrasyonu ve referans konsantrasyonu, E_r^i ; toksik- response faktörü yani her bir ağır metale ait ekolojik riski, RI; çoklu ağır metallerin toplam ekolojik riski ifade etmektedir. Background değerleri Turekian ve Wedepohl (1961) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır. T_r^i , her bir ağır metal için toksisite seviyesini ve ekolojik duyarlılığını ifade etmektedir (Guo ve ark., 2010). Tablo 4.103.'te ağır metalleri potansiyel ekolojik risk sınıflandırması ve yorumu verilmiştir.

Tablo 4.103. Ekolojik risk sınıflandırması

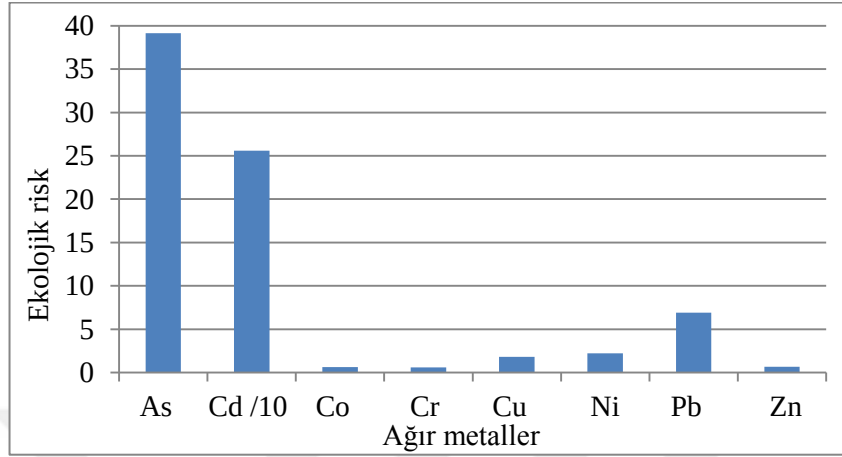
E_r^i	RI	Ekolojik risk kategorisi
<40	<150	Düşük
40-80	150-300	Orta
80-160	300-600	Önemli
160-320	600-1200	Güçlü
≥ 320	≥ 1200	Çok güçlü

Tablo 4.104. İstasyonlara göre ağır metallerin ekolojik riskleri

	E_r								RI
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
T1	45,01	291,00	0,74	0,88	1,74	3,26	7,11	0,58	350,33
T2	33,80	218,79	0,60	0,64	1,40	2,62	5,34	0,49	263,68
T3	33,40	220,81	0,59	0,77	1,64	2,84	5,69	0,68	266,42
T4	39,51	219,52	0,47	0,36	1,74	1,45	5,52	0,51	269,09
T5	39,57	231,56	0,53	0,41	2,15	1,63	8,31	1,23	285,38
T6	39,87	235,84	0,54	0,33	1,66	1,31	7,83	0,67	288,06
T7	52,93	410,23	1,18	0,71	2,47	2,27	11,98	0,70	482,46
T8	38,64	253,44	0,65	0,60	2,14	2,64	6,16	0,64	304,91
T9	32,92	236,07	0,56	0,45	1,74	1,66	5,66	0,65	279,72
T10	35,62	240,06	0,59	0,69	1,65	2,41	5,66	0,59	287,27
Min	32,92	218,79	0,47	0,33	1,40	1,31	5,34	0,49	263,68
Mak	52,93	410,23	1,18	0,88	2,47	3,26	11,98	1,23	482,46
Ort	39,13	255,73	0,64	0,59	1,83	2,21	6,93	0,67	307,73
Std. Sap.	6,13	58,34	0,20	0,19	0,32	0,66	2,06	0,21	66,32
Medyan	39,08	235,96	0,59	0,62	1,74	2,34	5,92	0,64	286,32

Tablo 4.104.'te ölçüm istasyonlarına göre ağır metallerin potansiyel ekolojik risk değerleri ve Şekil 4.138.'de ise ağır metallerin ekolojik risk değerleri verilmiştir. Tablo 4.104. ve Şekil 4.138.'de incelendiğinde; Cd metalleri hariç diğer metaller tüm istasyonlarda düşük ekolojik riske sahiptir. As elementinin ise T1 ve T7 istasyonlarında orta ekolojik riske sahip olduğu tespit edilmiştir. Cd metali ise T7 istasyonunda çok güçlü ekolojik riske sahip iken, diğer istasyonlarda güçlü ekolojik

riske sahip olduğu belirlenmiştir. Toplam ekolojik risk incelendiğinde T1 ve özellikle T7 istasyonları önemli, diğer istasyonlar ise orta ekolojik riske sahiptir.



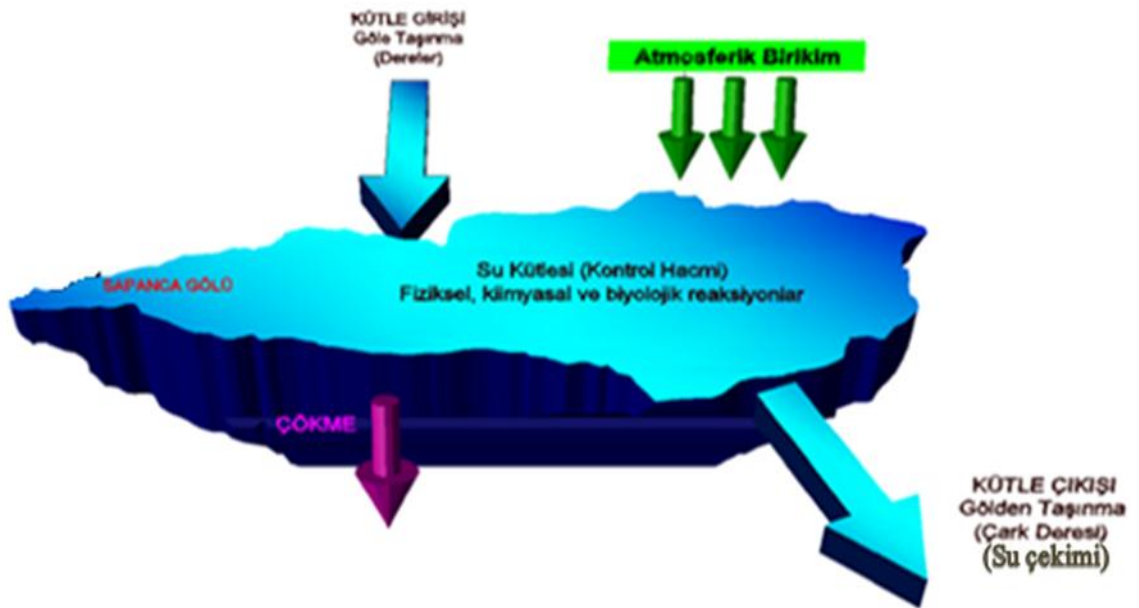
Şekil 4.138. Ağır metallerin ekolojik risk değerleri

4.5. Ağır Metaller İçin Kütle Denge Modelinin Kurulması

Su kalitesi yönetimi, genellikle kirletici yüklerin su ortamı üzerindeki etkisini analiz etmek ve analiz sonuçlarını belirli bir su kalitesi standartları ile karşılaştırmak için kullanılmaktadır. Su kalitesi modellerinin temelini kütle denge modeli oluşturmaktadır (Loucks ve Beek, 2005). Kütle denge modelleri kirleticilerin su ortamına giriş ve çıkış yollarını ve kirleticilerin ortamda birikimini analiz etmektedir. Diğer bir deyişle, kütle dengesi modelleri, farklı taşınım yolları ile su ortamına giren kirletici yükleri değerlendirmek amacıyla su, sediment, toprak, su ve hava ortamları arasında taşınım gösteren bir kirleticinin kütlesinin (ağırlığının) durumunu değerlendirmektedir (Schnoor ve ark., 1987). Kütle denge modeli sayesinde incelenen su ortamında belirli kirleticilerin birikimi veya azalması hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlamaktadır (Paces, 1994; Melegy ve Salman, 2009; Shi ve ark., 2019). Ayrıca alıcı ortamlarda kirleticilerin birikiminin yanı sıra bu ortamlarda yarattığı çevresel riskler de değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada oluşturulan kütle dengesi, çevresel kalite izlemesi ve değerlendirmesine yardımcı olabilecek kararlı bir matematiksel modeldir (Melegy, 2003).

Kütle dengesi oluşturulurken alıcı ortama kirletici girdi ve çıktılarına ait tüm taşınım yollarının belirlenmesi gerekmektedir. Girdi ve çıktılarından bilinmeyen kaynak olarak kabul edilenler kütle dengesinde ihmal edildiğinde, ihmal edilen belirsizliğin anlamlılığını belirlemek önem arz etmektedir (Benoit ve Hemond, 1987). Modeldeki kirleticilerin bilinen tüm giriş ve çıkış akılarının (g ha⁻¹ yıl⁻¹) ölçülmesi, tüm sistem kalitesi hakkında iyi bir gösterge vermektedir (Rozan ve Benoit, 2001). Kütle dengesi oluşturulurken doğal ve antropojenik kirlilik düzeyleri belirlenmekte ve su kalitesi üzerine etkisi ortaya konmaktadır (Laybauer ve Bidone, 1998). Bu sayede, kirletici konsantrasyonlarının ekolojik risk oluşturmaması için gereken standart değerleri aşmamasını sağlamak amacıyla kirletici yükleri kontrol edilmektedir.

Kütle dengesi Denklem 4.28 ve Şekil 4.139.'da görsel olarak ifade edilmektedir. Kütle dengesine etki eden faktörler ve model bileşenleri aşağıda açıklanmaktadır (Schnoor ve ark., 1987; Chapra, 1997).



Şekil 4.139. Kütle denge modeli

$$\text{Birikim} = \text{Atmosferik birikim} + \text{Gölü besleyen dereler} - \text{Çıkış} - \text{Su çekimleri} - \text{Reaksiyon} - \text{Çökme} \pm \Delta E \quad (4.28)$$

t: zaman (yıl)	C: konsantrasyon mg/L	ρ : Sediment yoğunluğu g/m ³
V: hacim m ³	C _{in} : Giriş konsantrasyon mg/L	F: Akı $\mu\text{g}/\text{m}^3$
A _s : Sediment yüzey alanı m ²	C _{cıkış} : Çıkış konsantrasyon mg/L	v: Çökme hızı m/sn
A: Göl yüzey alanı m ²	Q: Debi m ³ /sn	M: Birikim
A _{bulk} : Bulk örnekleyicinin yüzey alanı m ²	k: I. Dereceden ayrışma sabiti	

$$\text{Birikim} = \frac{\Delta M}{\Delta t} \quad C = \frac{M}{V} \rightarrow M = C \times V \quad (4.29)$$

Göl hacmi sabit kabul edildiğinde;

$$\text{Birikim} = V \left(\frac{dC}{dt} \right) \text{ olarak ifade edilir.} \quad (4.30)$$

Birikim göl suyundaki ağır metal konsantrasyonunu ifade etmektedir.

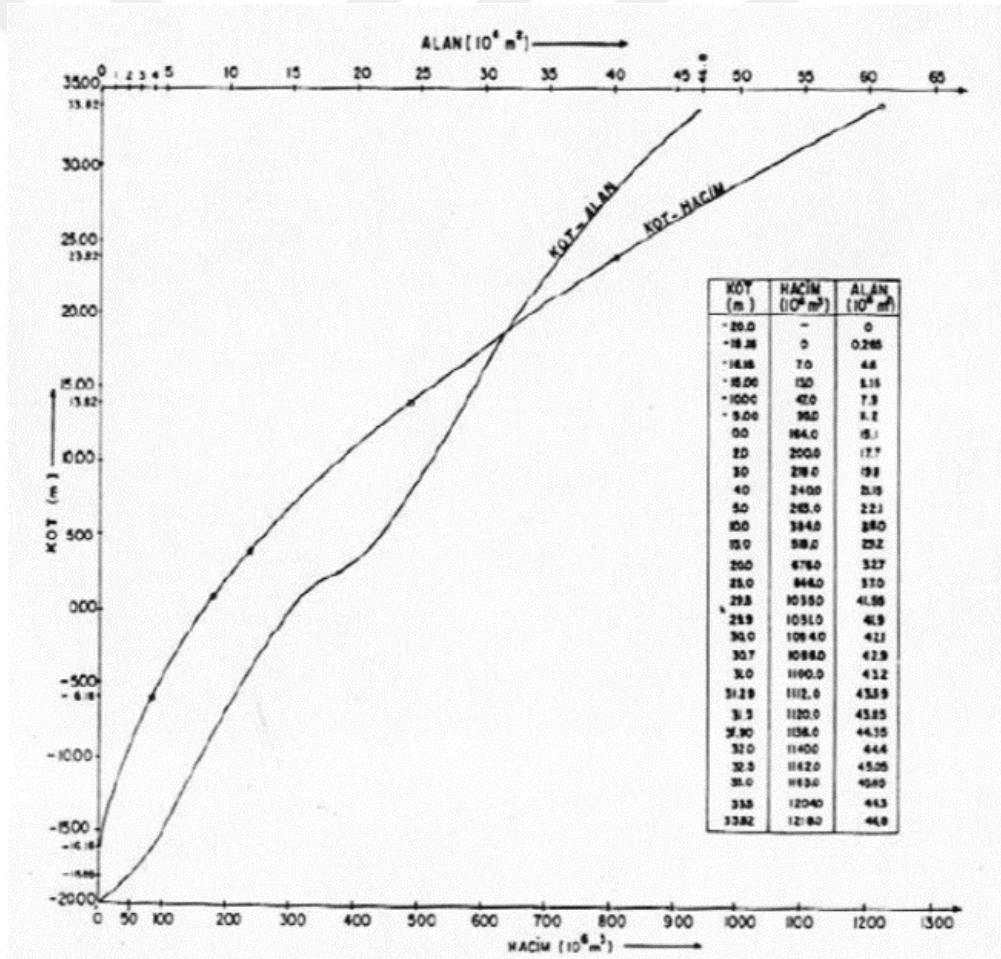
Denklem 4.28’de açıklanan modelde kullanılacak göl hacmi ve göl yüzey alanı Sapanca gölüne ait su kotlarına göre hesaplanmalıdır. Bu nedenle, gölden numune alınan dönemlere ait su kotları SASKİ’den temin edilmiş olup, Şekil 4.140.’ta verilen Sapanca Gölü’ne ait kot – alan – hacim verileri grafiği kullanılarak numune alma dönemleri için göl hacmi ve yüzey alanı verileri elde edilmiştir.

Sapanca gölünde birikimi etkileyen bileşenler şunlardır;

Girdiler; Kirleticiler göle dereler, yeraltı suları, kanalizasyon sistemi, atıksu arıtma tesisi deşarjı ve atmosferik birikim ile gelmektedir. Gölü besleyen 10 dere bulunmakta ve kirleticilerin büyük bir kısmı göle bu yolla gelmektedir.

Yapılan incelemelerde Sapanca havzasında bulunan kanalizasyon sistemi ile toplanan atık sular göle direkt olarak deşarj edilmemektedir. Bu atık sular Sapanca

atık su arıtma tesisine gelmekte, burada ön arıtmadan (fiziksel arıtma) geçirildikten sonra Karaman atık su arıtma tesisine arıtmak üzere aktarılmaktadır. Karaman atık su arıtma tesisinde arıtılan atık sular ise Çark deresine deşarj edilmektedir. Sapanca gölü havzasında faaliyetini sürdüren yaklaşık 11 tane endüstriyel kuruluş bulunmakla birlikte bu kuruluşlar atıksularını göle deşarj etmemektedir (Çakır, 2010, TUBİTAK, 2010). Bu nedenle modelde endüstriyel atıksu, atıksu arıtma tesisi ve kanalizasyon sistemi girdisine modelde yer verilmemiştir. Sapanca gölü için önemli kirleticiler girdileri dereler ve atmosferik birikimdir. Kütle denge modeli için atmosferik birikimin akı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Atmosferik birikim akı değerleri Şekil 4.114. ve Tablo 4.83.'te verilmiştir.



Şekil 4.140. Sapanca Gölü kot – alan – hacim grafiği (DSİ, 1984).

Atmosferik girdi Denklem 4.31 ve Denklem 4.32 ile ifade edilmektedir.

$$F = (C \times V)/A_{\text{bulk}} \quad (4.31)$$

$$W = F \times A \quad (4.32)$$

Derelerden gelen kirlilik yükü Denklem 4.33 ve Denklem 4.34 ile formülize edilmektedir. Her bir derenin kirletici konsantrasyonu ve debisi kullanılarak derelerden gelen toplam kirlilik belirlenmiştir.

$$W_{\text{dereler}} = \Sigma Q \times C_{\text{giriş}} \quad (4.33)$$

Girdi;

$$W_t = \Sigma(F \times A) + W_{\text{dereler}} \quad (4.34)$$

olarak ifade edilir.

Çıkış; Sapanca gölünün çıkış kaynağı Çark deresidir. Bu nedenle Çark deresi ile boşaltılan miktar çıkış kaynağı olarak kabul edilmiş ve modelde hesaplama katılmıştır. Bununla birlikte Sapanca gölü içme suyu kaynaklarından biri olduğundan Sakarya ve İzmit şehirleri için içme suyu temininde önemli rol oynamaktadır. Su temini amacıyla gölden çekilen su miktarları SASKİ ile yapılan görüşmeler neticesinde elde edilmiştir. Denklem 4.35 ve Denklem 4.36 ile formülize edilmektedir.

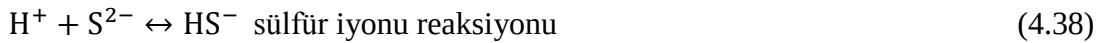
$$C_{\text{çıkış}} = \text{mg/L tam karışım} \text{lı göllerde } C_{\text{out}} = C \text{ kabul edilir.} \quad (4.35)$$

$$W_{\text{çıkış}} = \Sigma Q \times C \quad (4.36)$$

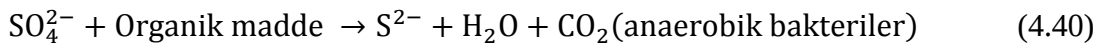
Reaksiyon; Zamanla göl içerisinde bulunan kirleticiler fiziksel, kimyasal ve biyolojik reaksiyona uğramaktadır. Bu reaksiyonlar Denklem 4.37'de görüldüğü üzere 1.dereceden reaksiyon olarak kabul edilmektedir. Su ortamında ağır metallerin mobilitesini (hareketliliğini) etkileyen en önemli parametreler pH ve redoks

potansiyeli (ORP)'dir. Alınan su örneklerine ait pH ve ORP değerleri Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.'de verilmektedir. Ağır metaller pH ve ORP etkisiyle suda bulunan sülfür iyonu ile tepkimeye girerek H₂S ile birlikte çökelmektedir. Bu reaksiyonlar Denklem 4.37, 4.38 ve 4.39 ile ifade edilmektedir. M²⁺ çözülmüş metali ve k reaksiyon hız sabitini ifade etmektedir (Chapra, 1997).

$$\text{Reaksiyon} = k \times M \quad M = V \times C \quad \rightarrow \quad \text{Reaksiyon} = k \times V \times C \quad (4.37)$$



Gölde meydana gelen metal çökme reaksiyonunun belirlenmesi için gölde sülfür iyonu konsantrasyonunun belirlenmesi gerekir. Kükürt bazı organik maddelerin yapısına da girebilen, bunun dışında doğal madde döngüsünde çoğunlukla inorganik halde bulunan bir elementtir. Kükürt, sularda az miktarda sülfür (S²⁻) ve esas olarak sülfat (SO₄²⁻) halinde bulunabilmektedir. Özellikle anaerobik ayrışma sonucunda indirgenen kükürt, ikinci aşamada kötü kokulu ve zehirli bir gaz olan H₂S'e dönüşmektedir. Suda çözülmüş halde bulunan S²⁻, Denklem 4.40 ve 4.41 uyarınca suyun pH'ına göre H₂S gazı çıkışının artmasına neden olmaktadır.



Bu nedenle suda Standart Metot 4500- SO₄²⁻, C'ye göre gravimetrik metot yardımıyla sülfat ve Standart Metot 4500- S F'ye göre sülfür tayini yapılmıştır (APHA, 1998). Mevsimsel olarak gölde ortalama sülfür konsantrasyonları 0,04 mg/ l ile 0,11 mg/L arasında değişim göstermektedir. Sülfat konsantrasyonu ise 30 mg/L 'nin altındadır. Alınan su örneklerinde sülfür ve sülfat konsantrasyonu, pH değeri ve ÇO seviyesine göre reaksiyona modelde yer verilmemektedir.

Çökme; Zamanla suda çözünmeyen, çökebilir kirleticiler sudan sedimente geçmeye başlar. Çökme kayıpları sediment-su ara yüzeyinden sediment yüzey alanına geçişi olarak ifade edilmektedir. Sedimentin çökme hızı 1 m/gün olarak kabul edilmiştir. (Schoonor, 1987; Chapra, 1997; Rozan ve Benoit, 2001; Loucks ve Beek, 2005). Çökme hızı Denklem 4.42 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Çökme} = v \times A_s \times C \quad (4.42)$$

Bilinmeyen kaynak (ΔE); Bilinmeyen kaynaklar gölü besleyen yeraltı suları, toprak yapısında bulunan ağır metallerin topraktan suya geçişi ve sedimente çöken ağır metallerin suya tekrar geçişi olarak kabul edilmektedir.

Göl havzasındaki toprak yapısı göl suyunun yapısını etkilemektedir. Toprakta bulunan ağır metaller toprağın pH değerine göre ($pH \leq 5$) yağmur sularının etkisi ile sızmalar sonucu yeraltı suyuna geçebilmektedir (Rehman ve ark., 2018). Sapanca gölü yeraltı suyundan da beslenmektedir. Yeraltı suyu beslenimi doğrudan veya dereler vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Sapanca gölünün yeraltı suyu ile beslenme miktarı ise tam olarak bilinmemektedir (Çakır, 2008; TUBİTAK, 2010). Yağmurun etkisiyle topraktan yüzey akışına ne oranda ağır metal geçişi olduğu hesaplanamadığından ve literatürde doğrudan model hesaplamalarında kullanılmak üzere herhangi bir katsayı bulunamadığından topraktan suya ağır metal geçişine modelde yer verilememiştir.

Kütle dengesinde ortaya çıkan bilinmeyen kaynaklarla ilgili yorumlama yapabilmek amacıyla çalışma kapsamında alınan toprak numunelerinde pH ölçümü ve ağır metal tayini yapılmış toprak yapısı incelenmiştir. Elde edilen veriler model geliştirilirken göz önünde tutulmuştur.

Yukarıda bahsedildiği üzere yeraltı suyu ile beslenme miktarı bilinmemekte ve yeraltı suyu beslenimi ile ilgili literatürde herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Numune alma sürecinde Sapanca havzasında bulunan ve SASKİ Genel Müdürlüğü'ne ait kuyulardan yeraltı suyu numuneleri alınmış ve kuyu sularında ağır

metal tayini yapılmıştır. Alınan yer altı suyu örneklerinde tespit edilen ağır metal konsantrasyonları ve pH değerleri göle yeraltı suyundan metal girişi olup olmadığı hakkında bilgi vermektedir.

Kütle dengesi; Sonuç olarak her bir ağır metal için kütle denge modeli Denklem 4.43 ve Şekil 4.139. ile ifade edilmektedir.

$$V \left(\frac{\Delta C}{\Delta t} \right) = W_t - Q_{\text{çıkış}} - k \times V \times C - v \times A_s \times C \pm \Delta E \quad (4.43)$$

Her bir ağır metal için kütle denge modeli 4.43 ile ifade edilen denklem kullanılarak geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında dere numuneleri hariç tüm numuneler mevsimsel olarak alındığı için kütle denge modelleri mevsimsel olarak belirlenmiştir. Tüm metaller için 7 farklı mevsimsel model geliştirilmiştir.

Aylık alınan dere numuneleri ise mevsimlere denk gelecek şekilde ortalamaları alınmış ve hesaplama dahil edilmiştir.

7 farklı mevsim için (Sonbahar 15, Kış 16, İlkbahar 16, Yaz 16, Sonbahar 16, Kış 17 ve İlkbahar 17) kütle dengesi hesaplanırken çalışma süresince farklı istasyonlardan alınan su, toprak, hava, sediment numuneleri her mevsim için istasyonların ortalamaları alınarak tek bir istasyona indirgenmiştir. Kütle dengesinde kullanılan ağır metal konsantrasyonları aylık yük (kg/ay) olarak hesaplanmıştır.

Kütle dengesi belirlenirken Denklem 4.38 ile Denklem 4.41 arasında ifade edilen reaksiyonların gerçekleşip gerçekleşmediği gölden alınan su numunelerinde yapılan sülfat ve sülfür tayini sonuçlarına göre değerlendirmesi yapılmıştır. Özellikle anaerobik ayrışma sonucunda indirgenen kükürt, ikinci aşamada kötü kokulu ve zehirli bir gaz olan H_2S 'e dönüşür. Bu nedenle metallerin reaksiyonları incelenirken gölden alınan su numunelerinde DO değerleri dikkate alınmıştır (Şekil 4.3). Numune alındığı süre boyunca numune alma istasyonlarında anaerobik koşullara rastlanmamıştır.

Kütle denge modelleri Tablo 4.105., Tablo 4.106., Tablo 4.107., Tablo 4.108., Tablo 4.109., Tablo 4.110. ve Tablo 4.111.'de verilmiştir. Tablolarda birikim (göl suyunda ağır metal yükü), girdiler (atmosferik birikim, gölü besleyen dereler), çıkış (Çark deresi), çökme (sudan sedimente geçiş), bilinmeyen kaynak yer almaktadır. Bilinmeyen kaynakları açıklayabilmek amacıyla toprak, sediment ve yeraltı (kuyu) sularında ağır metal konsantrasyonları da tablolarda verilmiş ve alınan bu numuneler sayesinde bilinmeyen kaynaklarla ilgili bilgi sahibi olunmuştur.

Tablo 4.105. Sonbahar 15 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri

	Birikim (kg/ay)	Girdiler (kg/ay)	Çökme (kg/ay)	Çark (kg/ay)	Su çekimi (kg/ay)	ΔE (kg/ay)	Toprak (kg/ay)	Sediment (kg/ay)	Kuyu (kg/ay)
Al	32905901,81	37426,54	1281598,28	1867,68	180405,16	34332346,40	20564,68	24882,83	394,54
As	-	-	-	-	-	-	97,76	120,01	-
Ba	-	-	-	252,16	-	-	81,04	69,49	7,51
Cd	-	-	-	-	-	-	5,15	5,81	-
Co	-	-	-	-	-	-	14,95	18,51	1,57
Cr	-	-	-	-	-	-	51,09	53,41	2,42
Cu	68943,61	1324,08	1342,59	1867,68	377,98	71207,78	39,23	77,41	39,23
Fe	11561053,01	54684,47	450272,59	3187,95	63382,97	12023212,04	50749,59	65820,40	473,31
Ni	1242690,65	106,30	48399,53	273,28	6813,00	1298070,16	55,85	83,30	5,39
Pb	83835,85	378,34	3265,19	1636,60	459,63	88818,92	46,44	57,50	49,96
Zn	15423554,10	86379,23	600706,84	878514,85	84558,96	16900955,52	88,99	99,77	34,48

Tablo 4.106. Kış 16 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri

	Birikim (kg/ay)	Girdiler (kg/ay)	Çökme (kg/ay)	Çark (kg/ay)	Su çekimi (kg/ay)	ΔE (kg/ay)	Toprak (kg/ay)	Sediment (kg/ay)	Kuyu (kg/ay)
Al	59879450,00	5761102,93	2332147,00	1363859,14	328286,46	58142639,67	15415,89	10814,31	394,54
As	7706,15	62,41	300,13	187,47	42,25	8173,59	105,54	124,41	-
Ba	11991,17	488,58	467,02	345,22	65,74	12380,57	80,11	70,20	7,51
Cd	122,07	198,17	5,38	24,70	0,76	47,02	5,50	5,79	-
Co	109,46	99,41	4,26	22,86	0,60	37,77	17,23	16,19	1,57
Cr	453,30	126,82	17,65	43,65	2,49	390,27	110,46	57,03	2,42
Cu	2205,22	178,28	85,89	38,45	12,09	2163,37	40,93	58,00	39,23
Fe	78297480,00	10315639,01	3049480,80	1946950,28	429262,50	73407534,56	45440,68	38056,29	473,31
Ni	2006,59	104,63	78,15	66,20	11,00	2057,31	92,44	74,11	5,39
Pb	2242,55	263,20	87,34	76,79	12,29	2155,77	48,58	51,48	49,96
Zn	4589,43	354,37	178,75	215,54	25,16	4654,51	86,12	83,10	34,48

Tablo 4.107. İlkbahar 16 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri

	Birikim (kg/ay)	Girdiler (kg/ay)	Çökme (kg/ay)	Çark (kg/ay)	Su çekimi (kg/ay)	ΔE (kg/ay)	Toprak (kg/ay)	Sediment (kg/ay)	Kuyu (kg/ay)
Al	32470069,00	649220,90	1264623,74	206600,92	178015,73	33470088,49	14411,32	11407,95	47987,17
As	5442,47	21,42	211,97	130,35	29,84	5793,21	102,68	67,85	0,24
Ba	10700,76	261,30	416,77	316,22	58,67	11231,12	95,16	59,71	7631,85
Cd	91,54	3,99	3,57	3,52	0,50	95,14	5,69	0,84	0,14
Co	63,21	1,59	2,46	2,12	0,35	66,55	17,92	10,64	0,23
Cr	196,95	12,35	7,67	5,02	1,08	198,38	57,43	27,27	0,68
Cu	557,65	12,66	21,72	10,06	3,06	579,83	53,79	31,06	8,49

Tablo 4.107. (Devamı)

Fe	26785478,00	873907,73	1043223,88	754922,25	146850,21	27856566,60	46907,50	22253,51	118312,50
Ni	1365,82	19,55	53,19	25,58	7,49	1432,52	67,50	46,87	3,01
Pb	1413,87	22,43	55,07	21,20	7,75	1475,46	56,18	34,43	291,67
Zn	7104,42	276,27	276,70	189,14	38,95	7332,94	114,17	68,62	21,56

Tablo 4.108. Yaz 16 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri

	Birikim (kg/ay)	Girdiler (kg/ay)	Çökme (kg/ay)	Çark (kg/ay)	Su çekimi (kg/ay)	ΔE (kg/ay)	Toprak (kg/ay)	Sediment (kg/ay)	Kuyu (kg/ay)
Al	30107932,00	194514,92	1172624,72	36004,86	165065,42	31287112,07	12618,67	14562,16	47987,17
As	4066,19	6,31	158,37	14,00	22,29	4254,54	57,65	74,20	0,24
Ba	244416,00	1849,73	9519,36	39,43	1340,00	253465,06	91,48	62,06	7631,85
Cd	32,24	0,31	1,26	0,07	0,18	33,43	0,84	1,02	0,14
Co	34,45	0,40	1,34	0,11	0,19	35,69	0,84	12,86	0,14
Cr	162,87	135,53	6,34	0,33	0,89	34,90	31,72	31,28	0,68
Cu	555,94	4,23	21,65	4,42	3,05	580,83	31,29	34,72	8,49
Fe	42678142,00	146865,57	1662201,32	66506,57	233981,04	44493965,37	20256,00	27561,51	118312,50
Ni	923,59	7,78	35,97	2,97	5,06	959,82	48,26	50,55	3,01
Pb	606,77	2,68	23,63	0,48	3,33	631,52	32,38	38,76	291,67
Zn	606,77	42,21	23,63	10,70	3,33	602,21	75,43	69,20	21,56

Tablo 4.109. Sonbahar 16 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri

	Birikim (kg/ay)	Girdiler (kg/ay)	Çökme (kg/ay)	Çark (kg/ay)	Su çekimi (kg/ay)	ΔE (kg/ay)	Toprak (kg/ay)	Sediment (kg/ay)	Kuyu (kg/ay)
Al	6763555,42	161561,98	264805,27	120818,37	37743,05	7025360,14	13545,84	15467,98	19488,87
As	3979,73	7,96	155,81	19,87	22,21	4169,67	59,99	70,80	0,10
Ba	6559,28	72,47	256,81	87,98	36,60	6868,20	88,74	66,14	6,42
Cd	85,01	0,32	0,01	0,95	0,47	86,12	0,90	1,02	0,04
Co	11,13	0,76	0,44	0,29	0,06	11,16	11,38	13,78	0,06
Cr	147,50	8,75	5,78	2,90	0,82	148,25	30,23	36,05	1,08
Cu	1224,16	9,70	47,93	2,56	6,83	1271,78	30,62	40,70	0,92
Fe	10995488,00	410150,52	430492,99	318482,41	61358,75	11395671,63	22684,92	28258,90	41904,08
Ni	773,92	6,73	30,30	4,56	4,32	806,37	43,96	58,14	2,00
Pb	1552,34	10,21	60,78	14,91	8,66	1626,48	32,10	40,34	4,57
Zn	6166,74	53,51	241,44	59,22	34,41	6448,31	72,39	73,15	21,12

Tablo 4.110. Kış 17 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri

	Birikim (kg/ay)	Girdiler (kg/ay)	Çökme (kg/ay)	Çark (kg/ay)	Su çekimi (kg/ay)	ΔE (kg/ay)	Toprak (kg/ay)	Sediment (kg/ay)	Kuyu (kg/ay)
Al	26600838,04	1261180,45	34616994335,56	181770,94	146351,44	34642662 115,53	94376,61	22023,07	19488,87
As	5878,31	197,64	229,49	51,27	32,34	5993,77	66,53	69,67	0,10
Ba	11211,26	6814,37	437,69	265,87	61,68	5162,13	75,63	82,64	6,42
Cd	15,85	0,32	0,62	0,12	0,09	16,35	0,80	0,95	0,04
Co	114,05	4,56	4,45	1,95	0,63	116,53	10,97	12,22	0,06
Cr	1189,13	33,19	46,42	14,91	6,54	1223,82	31,13	34,70	1,08
Cu	1917,42	26,05	74,86	11,61	10,55	1988,38	31,10	31,41	0,92
Fe	57834706,67	3313680,46	2257895,46	932428,53	318192,71	58029542, 90	284435,00	37632,50	41904,08
Ni	871,63	31,13	34,03	17,38	4,80	896,71	47,23	48,96	2,00
Pb	1525,55	12,06	59,56	1,98	8,39	1583,42	33,63	35,22	4,57
Zn	366907,17	57329,92	14324,24	64,17	2018,64	325984,30	67,16	69,38	21,12

Tablo 4.111. İlkbahar 17 kütle dengesi ve bilinmeyen kaynak tahminleri

	Birikim (kg/ay)	Girdiler (kg/ay)	Çökme (kg/ay)	Çark (kg/ay)	Su çekimi (kg/ay)	ΔE (kg/ay)	Toprak (kg/ay)	Sediment (kg/ay)	Kuyu (kg/ay)
Al	411687,21	26358,95	16034,13	84,40	2257,06	403703,86	14064,14	233706,76	14,02
As	3726,87	19,99	145,15	26,29	20,43	3898,75	69,72	90,06	0,27
Ba	8725,62	226,40	339,84	81,96	47,84	8968,86	91,03	67,21	8,25
Cd	53,88	1,10	2,10	0,19	0,30	55,37	0,99	1,30	0,03
Co	329,21	9,36	12,82	2,13	1,80	336,62	12,21	13,37	0,69
Cr	472,91	30,50	18,42	9,89	2,59	473,32	34,33	32,21	1,69
Cu	775,79	12,40	30,21	1,11	4,25	798,97	38,32	40,55	1,33
Fe	19886756,98	940631,20	774536,85	693,80	109028,27	19830384,71	21961,53	791471,51	118961,46
Ni	5913,39	129,86	230,31	33,86	32,42	6080,12	50,60	55,01	11,58
Pb	310,33	35,60	12,09	3,08	1,70	291,60	41,97	46,63	0,15
Zn	13509,57	114,68	526,16	15,48	74,07	14010,61	110,40	71,11	10,17

Mevsimsel olarak kurulan kütle denge modeline ait tablolar incelendiğinde bilinmeyen kaynak olarak nitelendirilen ΔE değerleri hesaplamalar sonucunda pozitif değerler olarak bulunmuştur. Gölde tespit edilen ağır metal konsantrasyon değerleri ve buna bağlı olarak hesaplanan ağır metal birikimine göre; ΔE değerlerinin pozitif çıkması göle kirletici girdilerinin çıkış girdilerinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Yukarıda bahsedildiği üzere ΔE kaynakları toprakta bulunan ağır metallerin yağmur sularının yüzey akışına geçmesiyle beraber göl suyuna karışması, gölü besleyen yeraltı su kaynaklarından göle ağır metal girdisi ve sediment yapıda bulunan ağır metallerin re-suspansiyon olarak tekrar suya geçişinin gerçekleşmesi olarak tahmin edilmektedir. Bu kirletici girdileriyle ilgili daha doğru yorum yapabilmek adına alınan kuyu suyu numuneleri, sediment numuneleri ve toprak numunelerinde tespit edilen ağır metal konsantrasyonları belirli fiziko-kimyasal şartlar altında bu kaynaklardan ağır metal geçişinin olabileceğini göstermektedir. Özellikle sedimentler, kirleticileri saklayan en önemli kaynaklar oldukları gibi kirleticilerin muhtemel kaynakları ve taşıyıcıları olarak da önemli rol oynamaktadır (Arıman, 2009). Mevsimsel modeller incelendiğinde özellikle sediment ve toprakta aylık ağır metal birikimi oldukça yüksektir. Bunun dışında havzada bulunan endüstriyel kuruluşlarda oluşan atıksular bünyelerinde bulunan atıksu arıtma tesislerinde arıtılmakta ve arıtıldıktan sonra kanalizasyon sistemine bağlanmaktadır. Kanalizasyon sistemine bağlanamayan atıksular ise fosseptik ve vidanjör taşımali sistemi ile havza dışında bulunan atıksu arıtma tesislerine iletilmektedir (Çakır, 2010; TUBİTAK, 2010). Dolayısıyla endüstriyel kuruluşlardan direkt olarak göle ağır metal girişi olmamaktadır.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sapanca havzasında çoklu alıcı ortam incelemesi neticesinde;

1. Göl suyunda istasyon bazında yapılan değerlendirmelere göre, ağır metal konsantrasyonunun yüksek olduğu istasyonlar karayollarına yakın konumlarda bulunmaktadır. Bununla birlikte ağır metal kirliliğinin en önemli kaynakları trafik, tarımsal faaliyetler, ısınma ve jeolojik yapıdır. Mevsimsel değişim incelemelerinde en yüksek ağır metal konsantrasyonlarının kış döneminde olduğu tespit edilmiş ve özellikle kış aylarında yağış miktarının artmasıyla göle kirletici kaynaklardan ağır metal geçişinin fazlaştığı belirlenmiştir.
2. Gölü besleyen derelerde istasyon bazında yapılan değerlendirmelere göre, en yüksek ağır metal konsantrasyonları genel olarak Sarp deresinde gözlemlenmiştir. Sarp deresinin konumu itibariyle çok yakınından demiryolu ve karayolu geçmektedir. Bu derede ağır metal kirliliğinin oluşum nedeni esas olarak trafik kaynaklı kirletici girişinin olmasıdır. Kirletici girişi atmosferik birikim şeklinde veya topraktan yüzey akışına geçen yağmur suları etkisiyle olmaktadır. Mevsimsel değişim incelemelerinde ağır metal konsantrasyonlarının kış ve ilkbahar dönemlerinde yükseldiği tespit edilmiş ve bu dönemlerde yöreye düşen yağış miktarına bakıldığında, bu yükselişin yağışlara bağlı olarak ağır metal kirliliğinin yüzey akışıyla veya topraktan sızmalarla dereye ulaştığı belirlenmiştir.
3. Havzadan alınan yeraltı ve yerüstü su örneklerinde yapılan ekolojik risk değerlendirmelerinde öncelikle su ortamlarında kontaminasyon derecelerine bakılmış ve yeraltı ve yerüstü su kaynaklarında kontaminasyon derecesi düşük seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Ağır metal kirlilik indeksine

göre, tüm su örneklerinde HPI değerleri kritik değerlerin çok altında bulunmuş olup, havzada yer alan su kaynaklarında ağır metal kirliliği açısından herhangi bir sorun teşkil edecek risk bulunmadığı saptanmıştır. Ayrıca, potansiyel ekolojik risk indeksi hesaplamalarında tüm örnekleme istasyonlarından alınan sularda düşük ekolojik risk hesaplanmış ve su ortamlarında herhangi bir risk olmadığı belirlenmiştir.

4. Sapanca gölü ve havzada yer alan derelerde tespit edilen ağır metal konsantrasyon değerleri TS-266 içme suyu standardına göre izin verilen sınır değerlerin altındadır. Sapanca gölünün su kalitesi değerlendirildiğinde, göl suyu ağır metal kirliliği açısından Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre çok iyi/ iyi durumdadır. Gölü besleyen derelerin su kalitesi ise Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre genel itibariyle çok iyi/ iyi durumdadır.
5. Sediment alınan istasyonlar göl suyu alınan istasyonlarla aynıdır. İstasyon bazında yapılan değerlendirmelere göre, ağır metal konsantrasyonunun yüksek olduğu istasyonlardan biri E-80, demiryolu ve yan yollara yakın bir bölgesinde bulunmaktadır. Diğeri ise gölün orta kısmında yer almaktadır. İki istasyonun özelliklerine bakıldığında, göl ortasında bulunan istasyon için sediment yapı kaynaklı, diğer istasyon içinse hem sediment yapı kaynaklı hem de trafik kaynaklı ağır metal birikimi olduğu belirlenmiştir.
6. Sediment örneklerinde kontaminasyon Al, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb ve Zn metalleri için düşük ve As ile Cd için önemli seviyede tespit edilmiştir. İstasyon bazında kontaminasyon incelendiğinde tüm ağır metaller için 1, 6 ve 9. istasyonlarda düşük seviye kontaminasyon ve diğer istasyonlarda orta seviye kontaminasyon olduğu belirlenmiştir. Ağır metallerin zenginleşme faktörleri hesaplandığında, özellikle As ve Cd metalleri çok yüksek seviyelerde tespit edilmiş ve bu metaller başta olmak üzere analizi yapılan tüm metallerin (Ba ve Cr hariç) antropojenik kaynaklı olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, potansiyel ekolojik risk indeksi hesaplamalarında As ve Cd metalleri hariç diğer ağır metaller tüm sediment istasyonlarında düşük ekolojik riske sahiptir. Toplam ekolojik riske bakıldığında, genel olarak göl sedimenti ağır metal kirliliği açısından orta seviyede ekolojik risk teşkil etmektedir.

7. Atmosferik birikim örneklerinde ağır metal konsantrasyonları incelendiğinde; ağır metal konsantrasyonunun yüksek olduğu istasyonlar karayolu, demiryolu ve peyzaj alanlarına yakın konumdadır. Ayrıca ağır metal konsantrasyonlarının yüksek olduğu istasyonların bulunduğu bölgelerde endüstriyel kuruluşlar bulunmaktadır. Al ve Fe karayoluna yakın istasyonlarda yüksek olmakla birlikte jeojenik elementler olduklarından havza toprağında da yüksek miktarlarda tespit edilmiştir. Genel olarak, ağır metal konsantrasyonlarının yüksek olduğu istasyonların bulunduğu bölgelerde metal içerikli üretim yapan endüstriyel kuruluşlar faaliyet göstermektedir. Ağır metallerin çökeltme akılarının mevsimsel değişimi incelendiğinde, kış döneminde en yüksek akı değerleri tespit edilmiştir. Kış döneminde hem ağır metal konsantrasyonlarının hem de çökeltme akılarının artma nedeni ısınma amaçlı fosil yakıt tüketiminin artması ve yağışlı dönemlerde atmosferik ağır metal kirliliğini yağmurlarla taşınmasıdır.
8. Atmosferik birikim örneklerinde ağır metal zenginleşme faktörleri hesaplandığında; havada As ve Zn metallerinin antropojenik kaynaklı, Ba, Co, Cr, Cu ve Ni metallerinin yer kabuğu kaynaklı ve Cd ile Pb metallerinin ise doğal kaynaklı olduğu bulunmuştur. Potansiyel ekolojik risk değerlendirmesinde As, Cd, Cu ve Pb çok güçlü ekolojik riske ve Zn güçlü ekolojik riske sahiptir. Cr ve Ni metalleri ise düşük ekolojik riske sahiptir.
9. Toprak örneklerinde istasyon bazında yapılan değerlendirmelere göre ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarda tespit edildiği istasyonlar karayoluna yakın konumdadır. Aynı zamanda toprak yapısı incelendiğinde toprağın ince taneli ve organik madde içeriğinin yüksek olması nedeniyle ağır metal birikiminin diğer istasyonlara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Toprak ağır metal kontaminasyonu Al, Co, Cr, Cu, Ni ve Zn metalleri için düşük, As için önemli, Pb için orta seviye, Cd için çok yüksek seviyede bulunmuştur. Ağır metallerin zenginleşme faktörleri hesaplandığında, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn metallerinin antropojenik kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, potansiyel ekolojik risk indeksi hesaplamalarında genel olarak Cd metali hariç diğer metaller tüm istasyonlarda düşük ekolojik riske sahiptir.

10. Oluşturulan mevsimsel kütle denge modelinde gölde tespit edilen ağır metal konsantrasyon değerleri ve buna bağlı olarak hesaplanan ağır metal birikimine göre; ΔE değerlerinin pozitif çıkması göle kirletici girdilerinin çıkış girdilerinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bilinmeyen kaynaklar toprakta bulunan ağır metallerin yağmur sularının yüzey akışına geçmesiyle beraber göl suyuna karışması, gölü besleyen yeraltı su kaynaklarından göle ağır metal girdisi ve sediment yapıda bulunan ağır metallerin resuspanse olarak tekrar suya geçiş olarak tanımlanmıştır.

Sapanca gölü ve havzası için öneriler;

- Sapanca gölüne kirletici girişini net bir şekilde ortaya koyabilmek için bölgenin yeraltı suyu haritası çıkarılmalıdır. Yeraltı su bütçesi belirlenmeli (göle yeraltı suyu giriş ve çıkış akıları matematiksel olarak ifade edilmeli), ağır metal ve toksik etkiye sahip parametrelerin düzenli numuneler alarak kirlilik değerlendirmesi yapılmalıdır.
- Oluşturulan mevsimsel kütle denge modellerinde bilinmeyen kaynakların ağır metallerin sedimentten suya geçiş ve topraktan yüzey akışıyla suya geçiş olduğu belirlenmiştir. Sapanca gölü için tam ve etkili bir kütle denge modeli oluşturulabilmesinde sedimentten suya geçen ve topraktan sızan ağır metal konsantrasyonunun tespit edilebilmesi için adsorpsiyon ve desorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmeli ve geçiş katsayıları hesaplanmalıdır. Bu konuda literatürde boşluk bulunmaktadır.
- Gölü besleyen en önemli kaynaklar yeraltı suyu beslenimi ve derelerdir. Ekolojik dengenin sürdürülebilir korunmasını sağlamak amacıyla derelerin etrafında bulunan kirletici kaynaklarla ilgili gerekli tedbirler alınmalı ve dere yataklarına kirletici girişi mümkünse tamamen ortadan kaldırılmalıdır. Dere yataklarının etrafına koruma bantları yapılarak kirletici girişi önlenmelidir.
- Sediment yapı su ortamında bulunan kirleticileri etkilemekte ve bu kirleticilerin doğal rezervuarını oluşturmaktadır. Havzada yer alan gölü

besleyen derelerde su kalitesi çalışmaları yapılırken eş zamanlı dere sedimentinden örnekler alınarak ağır metal içeriği tespit edilmelidir.

- Uzun yıllar boyunca devam ettirilecek havza izleme çalışmaları su kalitesi modelleme çalışmaları yapılmasına olanak sağlayacaktır. Bununla birlikte, etkili su kalitesi modelleme çalışmaları için havzayı etkileyen tüm alıcı ortamlar düzenli periyotlarda incelenmeli ve kirlilik değerlendirmesi yapılmalıdır.
- Etkili havza koruma çalışması yapılabilmesi amacıyla alıcı ortamlara ait kirletici sınır değerlerinde iyileştirme çalışmaları yapılmalı ve standartlar geliştirilmelidir.
- D-100 ve TEM E-80 otoyollarından yüzey akışına geçen yağmur sularının göle girişini engellemek ve toprak kalitesini olumsuz yönde etkilenmesini en aza indirmek amacıyla yol kenarına yağmur suyu toplama kanalları havzaya özgü bir şekilde inşa edilmelidir.
- Havzada tarımsal faaliyet yapılan arazilerde kullanılan kimyasal gübreleme ve zirai ilaç uygulamaları sonucu toprağa karışan ağır metaller yağışlarla ve topraktan sızıntı yoluyla göle karışmaktadır. Bununla birlikte, bu kimyasalların kullanımıyla ilgili yasal bir sınırlandırma bulunmadığından kirlenmeyi önlemek amacıyla yerel yönetimler tarafından gerekli denetleme ve kontrol çalışmaları yapılmalıdır. Bölge halkı organik tarıma özendirilmeli ve bilinçlendirme çalışmaları yapılmalıdır.
- Havzada bulunan endüstriyel kuruluşlar göl havzası dışına taşınması gündeme alınmalıdır. Endüstriyel kuruluşlarda kullanılan yakıt kalitesine özen gösterilmelidir.
- Göle etkileyen kirletici kaynaklardan biri ısınma amaçlı kullanılan fosil yakıt tüketimidir. Bölge halkını kullandıkları yakıt tipi, kalitesi ve verimli yakma konularında bilgilendirme ve özendirme çalışmaları yerel yönetimler veya gönüllü kuruluşlar tarafından desteklenmeli ve hayata geçirilmelidir.
- En doğal insan hakkı olan temiz su hakkının gelecek nesillere doğru şekilde ulaşabilmesi için Sapanca gölünün kalite standardının korunması ve içme suyu kaynağı olarak sürdürülebilirliği sağlanmalıdır.

KAYNAKÇA

- Abraham, G.M.S., and Parker, R.J. 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environmental monitoring and assessment, 136(1-3), 227-238.
- Ağca, N. 1998. Atık Suların Toprak Ekosistemine Etkileri, Kayseri 1. Atıksu Sempozyumu Bildiri Kitabı, sf.5-8, Kayseri.
- Akal, A., 2009. Kar yüzeyli örnekleyici kullanılarak atmosferik iz elementlerin kuru çökeltme miktarının tespiti. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Akkoyunlu, B.O. and Tayanç, M. 2003. Analyses of wet and bulk deposition in four different regions of Istanbul, Turkey. Atmospheric Environment, 37(25), 3571-3579.
- Alagha, O., Karaca, F. Ve Uygur, N. 2008. Büyükçekmece bölgesinde toplanan yağmur numunelerinin ağır metal muhtevası ve kirlenici kaynaklarının belirlenmesi, Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu- 2008, 22- 25 Ekim 2008, Hatay.
- Al-Saadi, H.A., Al-Lami, A.A., Hassan F.A. and Al-Dulymi, A.A. 2002. Heavy metals in water, suspended particles, sediments and aquatic plants of Habbaniya Lake, Iraq, International Journal of Environmental Studies,59(5): 589-598.
- Alparslan, E., 2013. Güllük lagünü'nün su kalitesi yönünden incelenmesi, muğla sıtkı koçman üniversitesi, fen bilimleri enstitüsü, su ürünleri mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Alpat, P. 2009. "Sapanca Gölü'nde Bulunan Biyoindikatör Su Kuşlarında Ağır Metal Analizleri", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- American Public Health Association (APHA), 1998. "Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater", 20th Edition.
- Arıman, S., 2009. Kirlenmiş sediman tabakasının çevresel kirliliğinin izlenme, remediasyon ve arıtım yöntemlerinin araştırılması. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.

- Atay, D. ve Pulatsü, S., 2000. Su Kirlenmesi ve Kontrolü, Ankara Üniversitesi, Basımevi, Ankara, 307s.
- Ateş, A. ve Demirel, H. 2019. Investigation of heavy metal accumulation in Sapanca Lake sediment by using pollution indices. *Desalination and water treatment*, 328-337.
- Ates, A., Demirel, H. ve Mergul, N. 2020. Risk assessment and chemical fractionation of heavy metals by BCR sequential extraction in soil of the Sapanca Lake Basin, Turkey. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(2).
- Atgün, R.S., El-Agha, O., Zararsız, A., Kocatas, A., Parlak, H. ve Tuncel, G., 2000. Investigation of the sediment pollution in İzmir Bay: trace elements. *Spectrochimica Acta Part B* 55, 1151–1164.
- Avrupa Standart Komitesi, 2009. EN 15841: Atmosferik birikimde nikel, kurşun, arsenik elementlerinin belirlenmesi için standart metod.
- Bai, J.H., Cui, B.S., Chen, B., Zhang, K.J., Deng, W., Gao, H.F. and Xiao, R., 2011. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China. *Ecological Modelling* 222, 301–306.
- Bakış, R. ve Bilgin, M. 1998. Çöp Sızıntı Sularından Dolayı Topraklarda Meydana Gelen Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Kayseri 1. Atıksu Sempozyumu Bildiri Kitabı, sf. 167-170, Kayseri.
- Barett, M.E., Collins E.R., Maline J.F. ve ark., 1995. A review and evaluation of literature pertaining to the quantity and control of pollution from highway runoff and construction, CRWR Online Report 95-5.
- Bartolomeo, A., Poletti, L., Sancini, G., Sebastiani, B. and Morozzi, G., 2004. Relationship among parameters of lake polluted sediments evaluated by multivariate statistical analysis. *Chemosphere*, 55, 1323-1329.
- Başaran, V. 2011. “Seyfe Gölü Su Kalitesi ve Dip Çamuru Ağır Metal Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri, Ankara.
- Bayraktar, H. 2002. Erzurum Atmosferinde Çökeltme Tayini. Y. Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Benoit, G. and Hemond, H.F. 1987. A biogeochemical mass balance of ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb in an oligotrophic lake with seasonally anoxic hypolimnion. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51(6), 1445-1456.
- Bhuyan, M.S. and Bakar, M.A. 2017. Seasonal variation of heavy metals in water and sediments in the Halda River, Chittagong, Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(35), 27587-27600.

- Bilge, U. ve Çimrin, M.K., 2013. “Viranşehir-Kızıltepe Karayolu Kenarındaki Topraklarda Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Ağır Metal Kirliliği”, Tarım Bilimleri Dergisi- Journal Of Agricultural Sciences, 19, 323-329.
- Bodrud-Doza, M., Islam, A.T., Ahmed, F., Das, S., Saha, N. and Rahman, M.S. 2016. Characterization of groundwater quality using water evaluation indices, multivariate statistics and geostatistics in central Bangladesh. *Water Science*, 30(1), 19-40.
- BSI (British Standards Institution) 1990. British Standard Methods Of Test For Soils For Civil Engineering Purposes, Part 3, Chemical and electro-chemical tests, BS1377: Part3.
- Cevik, F., Göksu, M.Z., Derici, O.B. ve Findik, O. 2009. An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses, *Environ. Monit. Assess.*, 152, 309–317.
- Chabukdhara, M., Gupta, S.K., Kotecha, Y. and Nema, A.K. 2017. Groundwater quality in Ghaziabad district, Uttar Pradesh, India: Multivariate and health risk assessment. *Chemosphere*, 179, 167-178.
- Chapman, D., 1996. *Water Quality Assessments- A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring- Second Edition*.
- Chapman, D. and Kimstach, V. 1996. Chapter 3. Selection of Water Quality Variables. *Water Quality and Assesments-A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Enviromental Monitoring*, Chapman (Doctoral dissertation, D.(ed)).
- Chapman, P.M. and Wang, F. 2001. Assessing sediment contamination in estuaries. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 20(1), 3-22.
- Chapra, S.C. 1997. “Surface Water Qualtiy Modelling”, McGraw Hill, ISBN: 0-07-011-364-5.
- Chaturvedi, A., Bhattacharjee, S., Singh, A.K., and Kumar, V. 2018. A new approach for indexing groundwater heavy metal pollution. *Ecological Indicators*, 87, 323-331.
- Chen, L., Zhou, S., Wu, S., Wang, C. and He, D. 2019. Concentration, fluxes, risks, and sources of heavy metals in atmospheric deposition in the Lihe River watershed, Taihu region, eastern China. *Environmental Pollution*, 255, 113301.
- Chon, H.T., Ahn, J.S. and Jung, M.C. 1998. Seasonal variations and chemical forms of heavy metals in soils and dusts from the satellite cities of Seoul, Korea. *Environmental Geochemistry and Health*, 20(2), 77-86.

- Chuan, M.C., Shu, G.Y. and Liu, J.C. 1996. Solubility of heavy metals in a contaminated soil: effects of redox potential and pH. *Water, Air, and Soil Pollution*, 90(3-4), 543-556.
- Cong, Z., Kang, S., Zhang, Y. and Li, X. 2010. Atmospheric wet deposition of trace elements to central Tibetan Plateau. *Applied Geochemistry*, 25(9), 1415-1421.
- Csavina, J., Taylor, M.P., Félix, O., Rine, K.P., Sáez, A.E. and Betterton, E.A. 2014. Size-resolved dust and aerosol contaminants associated with copper and lead smelting emissions: implications for emission management and human health. *Science of the total environment*, 493, 750-756.
- Çağlarırnak, N. ve Hepçimen, A.Z., 2010. The Impact of Heavy Metal Soil Pollution on Food Chain and Human Health. *Academic Food*, 8-2, 31-35.
- Çakır, H. 2008. "Sapanca Gölünün Su Bütçesinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Çakır, M. 2010. "Sapanca Gölünde Yoğun Yapılaşmadan Kaynaklanan Evsel Atıksu, Sanayi Atıksu ve Yüzeysel Akış Sularına İlişkin Kontrol Teknolojilerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Çakırsoy Şen, S., 2007. Büyük melen havzası'nın su kalitesinin belirlenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Çelebi, A., Şengörür, B. ve Klöve, B. 2015. Seasonal and spatial variations of metals in Melen Watershed Groundwater, Turkey. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 43(5), 739-745.
- Çepel, N. 1997. Toprak kirliliği, erozyon ve çevreye verdiği zararlar. Türkiye Erozyonla Mücadele, Ağaçlandırma ve Doğal Varlıkları Koruma Vakfı (TEMA) yayınları No.14.
- Davis, B.S. and Birch, G.F. 2011. Spatial distribution of bulk atmospheric deposition of heavy metals in metropolitan Sydney, Australia. *Water, Air, & Soil Pollution*, 214(1-4), 147-162.
- Dede, A. 2009. İznik göl suyu kalite parametrelerinin yapay sinir ağlarıyla değerlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Diaza, X, Johnsona, W.P. and Naftza D.P. 2009. "Selenium Mass Balance In The Great Salt Lake, Utah", *Science of Total Environmental*, 407, 2333-2341.
- Dickinson, W.W., Dunbar, G.B. and McLeod, H. 1996. Heavy metal history from cores in Wellington Harbour, New Zealand. *Environmental Geology*, 27, 59–69.

- Doğanlar, D.E. 2006. Effects of wastewater irrigation on groundwater quality, dokuz Eylül university, graduate school of natural and applied sciences, Environmental Engineering, Master Degree.
- Dolan, David M. and Victor J. Bierman Jr. 1982. "Mass balance modeling of heavy metals in Saginaw Bay, Lake Huron." *Journal of Great Lakes Research* 8.4: 676-694.
- Dong, J., Bian, Z. and Wang, H. 2007. Comparison of heavy metal contents between different reclaimed soils and the control soil. *J China Univ Min Technol* 36(4):531-536.
- Dostbil, M. 2010. "Mogan Gölünde Su ve Sedimentte Ağır Metal Düzeylerinin Tespiti; Sazan (*Cyprinus Carpio*) ve Kadife (*Tinca tinca*) Balık Dokuları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dou, Y., Li, J., Zhao, J., Hu, B. and Yang, S. 2013. Distribution, enrichment and source of heavy metals in surface sediments of the eastern Beibu Bay, South China Sea. *Marine pollution bulletin*, 67(1-2), 137-145.
- Dökmeci, A.H. 2005. "Gala Gölü ve Gölü Besleyen Su Kaynaklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- DSİ, 1983. "Sapanca Gölü Hidroloji Raporu", Devlet Su İşleri Planlama-Proje Amirliği, Eskişehir.
- DSİ, 1984. "Sapanca Gölü Kirlilik Araştırması", "DSİ 14. Bölge Müdürlüğü, İstanbul.
- Duan, J. and Tan, J. 2013. Atmospheric heavy metals and arsenic in China: situation, sources and control policies. *Atmospheric Environment*, 74, 93-101.
- Duman, F. 2005. "Sapanca ve Abant Gölü Su, Sediment ve Sucul Bitki Örneklerinde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi", Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara.
- Duman, F., Sezen, G. ve Gül Nilhan, T. 2007. "Seasonal Changes Of Some Heavy Metal Concentrations İn Sapanca Lake Water, Turkey", *International journal of natural and engineering sciences*, 1(3), 25-28.
- Ebrahimpour, M. and Mushrifah, I. 2008. Heavy metal concentrations in water and sediments in Tasik Chini, a freshwater lake, Malaysia. *Environ. Monit. Assess.*, 141: 297-307.

- Edet, A.E., and Offiong, O.E. 2002. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. A study case from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria). *GeoJournal*, 57(4), 295-304.
- Edimelioğlu, E. 2007. “Orta-Batı Anadolu Geçiş Bölgesindeki Ormanlarda Trafik Kaynaklı Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Feng, W., Guo, Z., Peng, C., Xiao, X., Shi, L., Zeng, P., ... and Xue, Q. 2019. Atmospheric bulk deposition of heavy metal (loid) s in central south China: fluxes, influencing factors and implication for paddy soils. *Journal of hazardous materials*, 371, 634-642.
- Förstner, U. 1985. Chemical forms and reactivities of metals in sediments. In *Chemical methods for assessing bio-available metals in sludges and soils. Seminar* (pp. 1-31).
- Ganugapenta, S., Nadimikeri, J., Chinnapolla, S.R.R.B., Ballari, L., Madiga, R., Nirmala, K. and Tella, L.P. 2018. Assessment of heavy metal pollution from the sediment of Tupilipalem Coast, southeast coast of India. *International Journal of Sediment Research*, 33(3), 294-302.
- Gao, H., Bai, J., Xiao, R., Liu, P., Jiang, W. and Wang, J. 2013. Levels, sources and risk assessment of trace elements in wetland soils of a typical shallow freshwater lake, China. *Stoch Environ Res Risk Assess*, 27, 275–284.
- Gao, J., Tian, H., Cheng, K., Lu, L., Wang, Y., Wu, Y., ... and Chen, J. 2014. Seasonal and spatial variation of trace elements in multi-size airborne particulate matters of Beijing, China: Mass concentration, enrichment characteristics, source apportionment, chemical speciation and bioavailability. *Atmospheric Environment*, 99, 257-265.
- Gietl, J.K., Lawrence, R., Thorpe, A.J. and Harrison, R.M., 2010. Identification of brakewear particles and derivation of a quantitative tracer for brake dust at a majorroad. *Atmospheric Environment* 44, 141e146.
- Gray, C.W., McLaren, R.G., Roberts, A.H.C. and Condron, L.M., 1999. The effect of long-term phosphatic fertiliser applications on the amounts and forms of cadmium in soils under pasture in New Zealand. *Nutr. Cycl. Agroecosyst*. 54 (3), 267–277.
- Gu, Y.G., Wang, Z.H., Lu, S.H., Jiang, S.J., Mu, D.H. and Shu, Y.H. 2012. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify source of anthropogenic impacts on metallic elements in sediments from the mid Guangdong coasts, China. *Environmental Pollution*, 163, 248-255.

- Gunawardena, J., Egodawatta, P., Ayoko, A.G. and Goonetilleke, A. 2013. "Atmospheric Deposition as a Source Of Heavy Metals in Urban Stormwater", *Atmospheric Environment* 68, 235-242.
- Guo, L. and Santschi, P.H. 2007. Ultrafiltration and its applications to sampling and characterisation of aquatic colloids. *IUPAC Series on Analytical and Physical Chemistry of Environmental Systems*, 10, 159.
- Guo, W, Liu, X, Liu, Z. and Li, G. 2010. Pollution and potential ecological risk evaluation of heavy metals in the sediments around Dongjiang Harbor, Tianjin. *Int Soc Environ Inf Sci* 2, 729–736.
- Guo, L., Lyu, Y. and Yang, Y. 2017. Concentrations and chemical forms of heavy metals in the bulk atmospheric deposition of Beijing, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(35), 27356-27365.
- Güner, E.D. 2016. GÖKSU deltasındaki yeraltı su kalitesi düzeylerinin saptanması ve dağılımlarının belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach, *Water Res.*, 14, 975–1001.
- Hakima, Z., Mohamed, M., Aziza, M., Mehdi, M., Bendahhou, Z. and Jean-Francois, B. 2017. Environmental and ecological risk of heavy metals in the marine sediment from Dakhla Bay, Morocco. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(9), 7970-7981.
- Hansen, A.M. 2012. Lake sediment cores as indicators of historical metal (loid) accumulation a case study in Mexico. *Appl. Geochem.* 27, 1745–1752.
- He, Z., Shentu, J., Yang, X., Baligar, V.C., Zhang, T. and Stoffella, P.J. 2015. Heavy metal contamination of soils: sources, indicators and assessment.
- Hee, S.Q. 1994. Availability of elements in leaded/unleaded automobile exhausts, a leaded paint, a soil, and some mixtures. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 27(2), 145-153.
- Hou, H., Takamatsu, T., Koshikawa, M.K. and Hosomi, M. 2005. Trace metals in bulk precipitation and throughfall in a suburban area of Japan. *Atmospheric Environment*, 39(20), 3583-3595.
- Hu, G.R., Qi, H.L., Yu, R.L. and Liu, H.T. 2011. Speciation analysis of heavy metal in atmospheric dust and ecological risk assessment. *Nonferrous Metals*, 63(2), 286-291.
- Huang, F., Wang, X., Lou, L., Zhou, Z. and Wu, J. 2010 Spatial variation and source apportionment of water pollution in Qiantang River (China) using statistical techniques. *Water Res* 44:1562–1572.

- Huang, P., Li, T.G., Li, A.C., Yu, X.K. and Hu, N.J. 2014. Distribution, enrichment and sources of heavy metals in surface sediments of the North Yellow Sea. *Continental shelf research*, 73, 1-13.
- Hoff, R.M., Strachan, W.M.J., Sweet, C.W., Chan, C.H., Shackleton, M., Bidleman, T. F., ... and Harlin, K. 1996. Atmospheric deposition of toxic chemicals to the Great Lakes: a review of data through 1994. *Atmospheric Environment*, 30(20), 3505-3527.
- Islam, M.S., Ahmad, M.K., Mamun, H.M. and Islam, S.M.A. 2017. Sources and ecological risk of heavy metals in soils of different land uses in Bangladesh. *Pedosphere*.
- Iqbal, J., Shah, M.H., Akhter., 2013. Characterization, source apportionment and health risk assessment of trace metals in freshwater Rawal Lake, Pakistan. *Journal of Geochemical Exploration*, 125, 94–101.
- Ito, A., 2015. Atmospheric processing of combustion aerosols as a source of bioavailable iron. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 2, 70–75.
- Jiao, B., Xu, G., Li, D., Luo, J. and Yang, K. 2012. Hazards of heavy metals in coal. *Disaster Adv* 5(4):1812–1818.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 1992. Trace elements in soils and plants. 2nd ed. Florida CRC Press, Boca Raton.
- Kaçmaz, M. 2010. “Sapanca Gölü Havzası’nda Arazi Kullanımı ve Mekânsal Değişim”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kamarudin, M.K.A., Toriman, M.E., Mastura, S., Idris, M.H., Jamil, N.R. and Gasim, M.B. 2009. Temporal variability on lowland river sediment properties and yield. *American J. Env. Sci.* 5, 657 – 663.
- Kamau, J.N., Gachanja, A., Ngila, C., Kazungu, J. M. and Zhai, M. 2014. The seasonal influence on the spatial distribution of dissolved selected metals in Lake Naivasha, Kenya. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 67, 111-116.
- Kaptanoğlu, S. ve Bakır, A. 2017. Van Gölü’ne Dökülen Engil Çayı’nın Mansabındaki Su ve Toprak Örneklerinde, Ağır Metal Miktarlarının Mevsimsel Değişimlerinin İncelenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 102-109.
- Kara, M., Dumanoglu, Y., Altiok, H., Elbir, T., Odabasi, M. ve Bayram, A. 2014. Seasonal and spatial variations of atmospheric trace elemental deposition in the Aliaga industrial region, Turkey. *Atmospheric research*, 149, 204-216.

- Kara, A. ve Türkmen, A. 2014. Giresun sahil yolundan alınan yağmur suyu örneklerindeki ağır metal kirliliği. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi /The Black Sea Journal of Sciences 5(12):9-27, 2015ISSN: 1309-4726.
- Karaca, F. 2005. Büyükçekmece bölgesine taşınan aerosollerdeki metal konsatrasyonlarının incelenmesi ve modellenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Karaçağıl, D. 2013. İstanbul'da belirlenmiş sahil şeritlerinde toprak kalitesi ve ağır metal kirliliği. Bahçeşehir Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Karaçoban, Z. 2017. Çeşitli ardışık ekstraksiyon yöntemleri ile sapanca gölü sediment örneklerinde bazı ağır metallerin fraksiyonlarının incelenmesi, Doktora Tezi.
- Karakaş, D. 2003. Ağır Metallerin Toksik Etkileri. Tubitak - Marmara Araştırma Merkezi.
- Karatepe, Y. 2006. Kuşburnu (*Rosa canina L.*)'nun Eğirdir Gölü Havzası'ndaki Doğal Yayılım Alanlarına Ait Bazı Ekolojik Özellikler, I. Uluslararası Odundışı Orman Ürünleri Sempozyumu (1-4).
- Kayhan, F.E. 2006. Su Ürünlerinde Kadmiyumun Biyobirikimi ve Toksisitesi. Su Ürünleri Dergisi, 23(1), 215-220.
- Kazancı, N., Oguzkurt, D., Girgin, S. ve Dugel, M. (2003). Distribution of benthic macroinvertebrates in relation to physico-chemical properties in the Köyceğiz-Dalyan estuarine channel system (Mediterranean Sea, Turkey).
- Kınacı, C. 2017. Su yönetiminde temel kavramlar ve bileşenler; Türkiye'de su yönetimi. http://cdn.istanbul.edu.tr/statics/subilimleri.istanbul.edu.tr/wp-content/uploads/2017/09/su_bilimleri_fak_acilis_dersi_22.09.2017.pdf Erişim Tarihi: 25.12.2020.
- Kır, İ., Özcan, S. ve Tuncay, Y. 2007. "Kovada Gölü'nün Su ve Sedimentindeki Bazı Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi", E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, Cilt/Volume 24, Sayı/Issue (1-2): 155-158.
- Kırmızıgül, O. 2013. "Gökçekaya Baraj Gölü Dip Sedimentinin Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kiracı, A. 2014. Azap Gölü'nün sedimentlerindeki ve sularındaki ağır metal miktarlarının belirlenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Krishna, A.K., Satyanarayanan, M. ve Govil, P.K., 2009. Assessment of heavy metal pollution in water using multivariate statistical techniques in an industrial area: a case study from Patancheru, Medak District, Andhra Pradesh India. Journal of Hazardous Material, 167, 366-373.

- Kumar, M., Nagdev, R., Tripathi, R., Singh, V.B., Ranjan, P., Soheb, M. and Ramanathan, A. L. 2019. Geospatial and multivariate analysis of trace metals in tubewell water using for drinking purpose in the upper Gangetic basin, India: heavy metal pollution index. *Groundwater for Sustainable Development*, 8, 122-133.
- Kurtoğlu, S. 2006. Uluabat göl sedimentinde bazı kimyasal parametrelerin Belirlenerek mevsimsel değişimlerinin incelenmesi, Uludağ üniversitesi Fen bilimleri enstitüsü, çevre mühendisliği bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kükrer, S. 2016. Tortum Gölü yüzey sedimentlerindeki metal birikiminin ekolojik indeksler yolu ile kapsamlı risk değerlendirmesi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji dergisi*, 4(12), 1185-1191.
- Lagerwer, J.V. and Specth, A.W. 1970. Contamination of roadside soil and vegetation with Cd, Ni, Pb and Zn", *Env. Sci. Tech.* 4, 583.
- Lawrence, S., Sokhi, R., Ravindra, K., Mao, H., Prain, H.D. and Bull, I.D. 2013. Source apportionment of traffic emissions of particulate matter using tunnel measurements. *Atmospheric environment*, 77, 548-557.
- Laybauer, L. and Bidone, E.D. 1998. Mass balance estimation of natural and anthropogenic heavy metal fluxes in streams near the Camaquã copper mines, Rio Grande do Sul, Brazil. In *Environmental geochemistry in the tropics* (pp. 127-137). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Li, H., and Ji, H. 2017. Chemical speciation, vertical profile and human health risk assessment of heavy metals in soils from coal-mine brownfield, Beijing, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 183, 22-32.
- Li, F., Huang, J., Zeng, G., Yuan, X., Li, X., Liang, J., ... and Bai, B. 2013. Spatial risk assessment and sources identification of heavy metals in surface sediments from the Dongting Lake, Middle China. *Journal of Geochemical Exploration*, 132, 75-83.
- Li, R., Cai, G., Wang, J., Ouyang, W., Cheng, H., and Lin, C. 2014. Contents and chemical forms of heavy metals in school and roadside topsoils and road-surface dust of Beijing. *Journal of soils and sediments*, 14(11), 1806-1817.
- Li, S. and Zhang, Q.F. 2010. Risk assessment and seasonal variations of dissolved trace elements and heavy metals in the Upper Han River, China, *Journal of Hazardous Material* 181, pp. 1051–1058.
- Li, Y., Arocena, J.M., Zhang, Q., Thring, R.W. and Li, J. 2017. Heavy metals and nutrients (carbon, nitrogen, and phosphorus) in sediments: relationships to land uses, environmental risks, and management. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(8), 7403-7412.

- Liu, C.W., Lin, K.H. and Kuo, Y.M. 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 313(1-3), 77-89.
- Liu, J.-J., Ni, Z.-X., Diao, Z.-H., Hu, Y.-X. and Xu, X.-R 2018. Contamination level, chemical fraction and ecological risk of heavy metals in sediments from Daya Bay, South China Sea, *Mar. Pollut. Bull.*, 128, 132–139.
- Lonati, G. and Zanoni, F. 2012. Probabilistic health risk assessment of carcinogenic emissions from a MSW gasification plant. *Environment international*, 44, 80-91.
- Longe, E.O. and Balogun, M.R. 2010. Groundwater quality assessment near a municipal landfill, Lagos, Nigeria. *Research journal of applied sciences, engineering and technology*, 2(1), 39-44.
- López-García, P., Gelado-Caballero, M.D., Patey, M. D. and Hernández-Brito, J.J. 2020. Atmospheric fluxes of soluble nutrients and Fe: More than three years of wet and dry deposition measurements at Gran Canaria (Canary Islands). *Atmospheric Environment*, 118090.
- Loska, K., Cebula, J., Pelczar, J., Wiechula, D. and Kwapulinski, K. 1997. Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu and Ni in the Bybnik water reservoir in Poland, *Water Air Soil Pollut.*, 93, 347–365.
- Loubieres, Y., Lassence, A.D., Bernier, M., Baron, A.V., Schmitt, J.M., Page, B. and Jardin, F. 1999. Acute, fatal, oral chromic acid poisoning, *Journal Toxicology Clinical Toxicology*. 37, 333–336.
- Lowenthal, D.H., Zielinska, B., Chow, J.C., Watson, J.G., Gautam, M., Ferguson, D. H., ... and Stevens, K.D. 1994. Characterization of heavy-duty diesel vehicle emissions. *Atmospheric Environment*, 28(4), 731-743.
- Luo, Y., Zhou, X., Zhang, J., Xiao, Y., Wang, Z., Zhou, Y. and Wang, W. 2018. PM_{2.5} pollution in a petrochemical industry city of northern China: Seasonal variation and source apportionment. *Atmospheric research*, 212, 285-295.
- Macit, A.K. 2010. “Sapanca Gölü’nün (Adapazarı) Mikrobiyolojik ve Kimyasal Kirlilik Düzeylerinin Saptanması”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Martin, A.P., Turnbull, R.E., Rissmann, C.W. and Rieger, P. 2017. Heavy metal and metalloid concentrations in soils under pasture of southern New Zealand. *Geoderma regional*, 11, 18-27.
- Matsui, H., Mahowald, N.M., Moteki, N., Hamilton, D.S., Ohata, S., Yoshida, A., Koike, M., Scanza, R.A. and Flanner, M.G. 2018. Anthropogenic combustion iron as a complex climate forcer. *Nat. Commun.* 9, 1593.

- Melaku, S., Morris, V., Raghavan, D. and Hosten, C. 2008. Seasonal variation of heavy metals in ambient air and precipitation at a single site in Washington, DC. *Environmental Pollution*, 155(1), 88-98.
- Melegy, A.A. 2003. Geochemical mass balance of some toxic heavy metals in small ecosystem, Egypt. *Sedimentol Egypt* 11:185–193.
- Melegy, A.A. and Salman. S.A. 2009 Petrological and environmental geochemical studies on the abandoned Maghara coal mine. *Geolines* 22:44–51.
- Micó, C., Recatalá, L., Peris, M. and Sánchez, J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere* 65, 863–872.
- Mijić, Z., Stojić, A., Perišić, M., Rajšić, S., Tasić, M., Radenković, M. and Joksić, J. 2010. Seasonal variability and source apportionment of metals in the atmospheric deposition in Belgrade. *Atmospheric Environment*, 44(30), 3630-3637.
- Mohan, S.V., Nithila, P. and Reddy, S.J. 1996. Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution index. *Journal of Environmental Science & Health Part A*, 31(2), 283-289.
- Monaci, F. and Bargagli, R. 1997. Barium and other trace metals as indicators of vehicle emissions. *Water, Air, and Soil Pollution*, 100(1-2), 89-98.
- Morselli, L., Olivieri, P., Brusori, B. and Passarini, F. 2003. “Soluble and Insoluble Fractions of Heavy Metals in Wet and Dry Atmospheric Depositions in Bologna, Italy”, *Environmental Pollution*, 124, 3, 457-469.
- Motuzova, G.V., Minkina, T.M., Karpova, E.A., Barsova, N.U. and Mandzhieva, S. S. 2014. Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 241-246.
- Muhammad, S., Shah, M.T. and Khan, S. 2010. Arsenic health risk assessment in drinking water and source apportionment using multivariate statistical techniques in Kohistan region, northern Pakistan. *Food and Chemical Toxicology*, 48(10), 2855-2864.
- Muhammad, S., Shah, M.T. and Khan, S. 2011. Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan. *Microchemical journal*, 98(2), 334-343.
- Nazeer, S., Hashmi, M.Z. and Malik, R.N. 2014. Heavy metals distribution, risk assessment and water quality characterization by water quality index of the River Soan, Pakistan. *Ecological indicators*, 43, 262-270.
- Nehme, N., Haydar, C., Koubaissy, B., Fakih, M., Awad, S., Toufaily, J., Villieras, F. and Hamieh, F. 2014. The Distribution of Heavy Metals in the Lower River Basin, Lebanon. *Physical Procedia*, 55, pp. 456-463.

- Nemati, K., Bakar, N.K.A., Abas, M.R. and Sobhanzadeh, E. 2011. Speciation of heavy metals by modified BCR sequential extraction procedure in different depths of sediments from Sungai Buloh, Selangor, Malaysia. *Journal of hazardous materials*, 192(1), 402-410.
- Nguyen, H.L., Leermakers, M., Osan, J., Török, S. and Baeyens W., 2005. "Heavy Metals in Lake Balaton: Water Column, Suspended Matter, Sediment and Biota", *Science of The Total Environment*, 340, 213– 230.
- Nyantakyi, A. J., Akoto, O. and Fei-Baffoe, B. 2019. Seasonal variations in heavy metals in water and sediment samples from River Tano in the Bono, Bono East, and Ahafo Regions, Ghana. *Environmental monitoring and assessment*, 191(9), 570.
- Onat, B., Alver Şahin, Ü., Erol, A., Bacacı, M. ve Şahin, V., 2010. "İstanbul'da Otoyol Kenarında PM10, PM2.5 ve PM1'in Toplam ve Suda Çözünen Metal İçeriklerinin Belirlenmesi", IV. Ulusal Hava Kirliliği ve Kontrolü Sempozyumu, 25-27 Ekim, 456-466.
- Odokuma, L.O. and Ijeomah, S.O. 2003. Seasonal changes in the heavy metal resistant bacterial population of the New Calabar River, Nigeria. *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, 9(4), 425-434.
- Ogunkunle, C.O. and Fatoba, P.O., Pollution loads and the ecological risk assessment of soil heavy metals around a mega cement factory in southwest Nigeria. *Pol. J. Environ. Stud.* 22 (2), 487–493, 2013.
- Ojekunle, O.Z., Ojekunle, O.V., Adeyemi, A.A., Taiwo, A.G., Sangowusi, O.R., Taiwo, A.M., and Adekitan, A.A. 2016. Evaluation of surface water quality indices and ecological risk assessment for heavy metals in scrap yard neighbourhood. *SpringerPlus*, 5(1), 560.
- Okuda, T., Katsuno, M., Naoi, D., Nakao, S., Tanaka, S., He, K., ... and Jia, Y. 2008. Trends in hazardous trace metal concentrations in aerosols collected in Beijing, China from 2001 to 2006. *Chemosphere*, 72(6), 917-924.
- Ouyang, Y., Higman, J., Thompson, J., Toole, O.T. and Campbell, D. 2002. Characterization and spatial distribution of heavy metals in sediment from Cedar and Ortega Rivers sub-basin. *Journal of Contamination Hydrology*. 54, 19–35.
- Oyeku, O.T. and Eludoyin, A.O. 2010. Heavy metal contamination of groundwater resources in a Nigerian urban settlement. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(4).
- Özcan, H., Sezgin, N., Demir, G., Nemlioğlu, S. ve Bayat, C. 2003. "İstanbul E-5 Karayolunun Cadde Tozlarında Ağır Metal Kirliliğinin Değerlendirilmesi", *Yıldız Teknik Üniversitesi*, 3, 97-105.

- Özecik, D.F. 2006. Sapanca Gölünde Ötrofikasyonun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Özer, O. 2014. Göksu deltası yeraltı suyu kirliliğinin belirlenmesi, modellenmesi ve kirleticili kaynakların izotop yöntemleri ile araştırılması, coğrafi bilgi sistemi oluşturulması. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Özkan, E.Y. ve Buyukisik, B. 2012. Geochemical and statistical approach for assessing heavy metal accumulation in the southern Black Sea sediments. *Ekoloji*, 21(83), 11-24.
- Özşeker, K. Artvin ili tatlı su ekosistem sedimentlerin’de ağır metallerin çevresel ekolojik risk etkilerinin alansal ve zamansal değerlendirilmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(3), 551-559.
- Paces, T. 1994. Modeling the hydrologic and biogeochemical response of a catchment area to anthropogenic inputs In: Bidoglio G, Stumm W (eds) *Chemistry of aquatic systems: local and global perspectives*, vol 5. Springer, Netherlands, pp 465–495.
- Pakzad, H.Z., Pasandi, M., Yeganeh, A. and Lahijani, H.A.K. 2016. Assessment of heavy metal enrichment in the offshore fine-grained sediments of the Caspian Sea, *Environmental Monitoring and Assessment* 188 5 333.
- Palma, P., Ledo, L., Soares, S., Barbosa, I., and Alvarenga, P., 2014. Spatial and temporal variability of the water and sediments quality in the Alqueva reservoir (Guadiana Basin; southern Portugal). *Science of the Total Environment*, 470, 780-790.
- Pekey, H., Karakas, D. ve Bakoglu, M. 2004. Source apportionment of heavy metals in surface waters of a polluted stream using multivariate statistical analyses. *Marine Pollution Bulletin* 49, 809–818.
- Pendias, A.H. 1984. “Trace Elements In Soils And Plants, 2nd Edition”, CRC Press Inc, Florida, 365.
- Peng, C., Wang, M., Chen, W., Chang, A.C. and Crittenden, J.C. 2017. Mass balance-based regression modeling of Cd and Zn accumulation in urban soils of Beijing. *Journal of Environmental Sciences*, 53, 99-106.
- Peng, F., Song, Y., Yuan, P., Cui, X. and Qiu, G. 2009. The remediation of heavy metals contaminated sediment. *J. Hazard. Mat.* 161, 633–640.
- Pejman, A.H., Bidhendi, G.N., Karbassi, A.R., Mehrdadi, N. and Bidhendi, M.E. 2009. Evaluation of spatial and seasonal variations in surface water quality using multivariate statistical techniques, *International Journal of Environment Science and Technology*, 6:(3), pp. 467-476.

- Pobi, K.K., Satpati, S., Dutta, S., Nayek, S., Saha, R.N. and Gupta, S. 2019. Sources evaluation and ecological risk assessment of heavy metals accumulated within a natural stream of Durgapur industrial zone, India, by using multivariate analysis and pollution indices. *Applied Water Science*, 9(3), 58.
- Popenda, A. 2014. Effect of redox potential on heavy metals and As behavior in dredged sediments. *Desalination and water treatment*, 52(19-21), 3918-3927.
- Rajkumar, H., Madhuri, S. and Naval, K. 2015. Integrated approach of heavy metal pollution indices and complexity quantification using chemometric models in the Sirsa Basin, Nalagarh valley, Himachal Pradesh, India *Chin. J. Geochem.* 34(4):620–633.
- Rajeshkumar, S., Liu, Y., Zhang, X., Ravikumar, B., Bai, G. and Li, X. 2018. Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Taihu Lake in China. *Chemosphere*, 191, 626-638.
- Ramadan, Z., Song, X.H. and Hopke, P.K. 2000. Identification of sources of Phoenix aerosol by positive matrix factorization. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 50(8), 1308-1320.
- Ravindra, K. ve Mor, S. 2019. Distribution and health risk assessment of arsenic and selected heavy metals in Groundwater of Chandigarh, India. *Environmental Pollution*, 250, 820-830.
- Reuter, J.H. and Perdue, E.M., 1977. Importance of heavy metal-organic matter interactions in natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 41(2), 325-334.
- Rehman, I., Ishaq, M., Ali, L., Khan, S., Ahmad, I., Din, I.U. and Ullah, H. 2018. Enrichment, spatial distribution of potential ecological and human health risk assessment via toxic metals in soil and surface water ingestion in the vicinity of Sewakht mines, district Chitral, Northern Pakistan. *Ecotoxicology and environmental safety*, 154, 127-136.
- Rezaei, A., Hassani, H., Hassani, S., Jabbari, N., Mousavi, S.B.F. and Rezaei, S. 2019. Evaluation of groundwater quality and heavy metal pollution indices in Bazman basin, southeastern Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100245.
- Roberts, A.H.C., Longhurst, R.D. and Brown, M.W. 1994. Cadmium status of soils, plants, and grazing animals in New Zealand. *New Zeal. J. Agr. Res.* 37 (1), 119–129.
- Rozan, T.F. and Benoit, G. 2001. Mass balance of heavy metals in New Haven Harbor, Connecticut: Predominance of nonpoint sources. *Limnology and oceanography*, 46(8), 2032-2049.

- Sabin, L.D., Lim, J.H., Venezia, M.T., Winer, A.M., Schiff, K.C. and Stolzenbach, K.D. 2006. Dry deposition and resuspension of particle-associated metals near a freeway in Los Angeles. *Atmospheric Environment*, 40(39), 7528-7538.
- Sancer, O. ve Tekin-Özan, S. 2016. Seasonal Changes of Metal Accumulation in Water, Sediment and *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel Growing in Lake Kovada (Isparta, Türkiye). *Suleyman Demirel University Journal of Science*, 11(2).
- SASKİ, 2003. “Sapanca Gölü Çevre Koruma Projesine Esas Bilgiler”, Adapazarı.
- Salomao, M.S.M.B., Molisani, M.M., Ovalle, A.R.C., Rezende, C.E., Lacerda, L.D. and Carvalho, C.E.V. 2001. “Particulate heavy metal transport in the lower Paraíba do Sul River basin, southeastern, Brazil”, *Hydrological Processes*, 15, 587–593.
- Salomons, W. and Forstner, U. 1984. *Metals in the hydrocycle*. springer- verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 349.
- Schnoor, J.L., Sato, C., Mckechnie, D. and Sahoo, D. 1987. “Processes, Coefficients, and Models for Simulating Toxic Organics and Heavy Metals in Surface Waters”, EPA, 600/3-87/015.
- Selvakumar, S., Chandrasekar, N. ve Kumar, G. 2017. Hydrogeochemical characteristics and groundwater contamination in the rapid urban development areas of Coimbatore, India. *Water Resources and Industry*, 17: 26–33.
- Shajib, M.T.I., Hansen, H.C.B., Liang, T. and Holm, P.E. 2019. Metals in surface specific urban runoff in Beijing. *Environmental Pollution*, 248, 584-598.
- Sharma, R.K., Agrawal, M. and Marshall, F.M. 2008. Atmospheric deposition of heavy metals (Cu, Zn, Cd and Pb) in Varanasi city, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 142(1-3), 269-278.
- Shi, T., Ma, J., Wu, F., Ju, T., Gong, Y., Zhang, Y., ... and Shi, H. 2019. Mass balance-based inventory of heavy metals inputs to and outputs from agricultural soils in Zhejiang Province, China. *Science of the Total Environment*, 649, 1269-1280.
- Shrestha, S. and Kazama, F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*, 22(4), 464-475.
- Simeonov, V., Stratis, J.A., Samara, C., Zachariadis, G., Voutsas, D., Anthemidis, A., Sofongoub M. and Kouğmtzis, T.H., 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Research*, 37, 4119–4124.
- Singh, K.P, Malik, A., Mohan, D. and Sinha, S. 2004. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. *Water Res* 38:(18)3980-3992.

- Sirajudeen, J. and Vahith, A.R. 2014. Applications of water quality index for groundwater quality assessment on Tamil Nadu and Pondicherry, India. *Journal of Environmental Research and Development*, 8(3), 443.
- Song, M.W., Huang, P., Li, F., Zhang, H., Xie, K.Z., Wang, X.H. and He, G.X. 2011. Water quality of a tributary of the Pearl River, the Beijiang, Southern China: implications from multivariate statistical analyses. *Environ Mon and Assess* 172:(1-4) 589-603.
- Song, L.C., Rong, G., Ying, L.I. and Guo-Fu, W. 2014. Analysis of China's haze days in the winter half-year and the climatic background during 1961–2012. *Advances in Climate Change Research*, 5(1), 1-6.
- Sreenivasulu, G., Jayaraju, N., Reddy, B.S.R., Lakshmanna, B. and Prasad, T.L. 2018. Influence of coastal morphology on the distribution of heavy metals in the coastal waters of Tupilipalem coast, Southeast coast of India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10, 190-197.
- Strachan, S., 2010. Heavy metal, Current anaesthesia and critical care. 21, 44–48.
- Su, S.L., Li, D., Zhang, Q., Xiao, R., Huang, F. and Wu, J.P. 2011. Temporal trend and source apportionment of water pollution in different functional zones of Qiantang River, China. *Water Res* 45:1781-1795.
- Sungur, A. 2013. Ardışık ekstraksiyon yöntemiyle ergene havzasından alınan toprak örneklerinde metal analizi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Suresh, G., Sutharsan, P., Ramasamy, V. and Venkatachalapathy, R. 2012. Assessment of spatial distribution and potential ecological risk of the heavy metals in relation to granulometric contents of Veeranam lake sediments, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 84, 117–124.
- Sahinci, A., 1991. Geochemistry of natural waters. Reform printing office, Izmir, 548.
- Şener, Ş. 2010. Çevre için jeoloji; ağır metallerin çevresel etkileri. *SDUGEO*, 1(3), 33-35.
- Şişman, İ. 1999. “Sapanca Bölgesinde Tem Otoyolundan Kaynaklanan Ağır Metal Kirliliği”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Taşdemir, S. ve Yakup, C.U.C.İ. 2017. Kahramanmaraş'ın Kuru Çökme Durumunun İncelenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3), 56-67.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Göller ve Sulak Alanlar Eylem Planı 2017-2023. 2017. 1-194, Ankara.

- Terzakı, S., Fountoulakis, M.S., Georgaki, I., Albantakis, D., Sabathianakis, I., Karathanasis, A.D., Kalogerakis, N. ve Manios, T. 2008. Constructed wetlands treating highway runoff in the central Mediterranean region, *Chemosphere*, 72, 141–149.
- Tiwari, A.K., Singh, P.K., Singh, A.K. and De Maio, M. 2016. Estimation of heavy metal contamination in groundwater and development of a heavy metal pollution index by using GIS technique. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 96(4), 508-515.
- Tobiszewski, M., Tsakovski, S., Simeonov, V. and Namiesnik, J. 2010. Surface water quality assessment by the use of combination of multivariate statistical classification and expert information. *Chemos* 80:740-746.
- Tokatlı, C. 2019. Sediment quality of Ergene River Basin: bio–ecological risk assessment of toxic metals. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(11), 706.
- TS 6291, 1989 “Su Kalitesi-Numune Alma-Kısım 4: Göl ve Göletlerden Numune Alma Kuralları”.
- TS EN ISO 5667-12, 1995 “Su Kalitesi- Numune Alma- Dip Sedimentlerinden Numune Alma Kılavuzu”.
- TS EN ISO 5667-6, 2008 “Su Kalitesi- Numune Alma- Nehirlerden ve Akarsulardan Numune Alma Kılavuzu”.
- TS ISO 5667-11, 2015 “Su Kalitesi- Numune Alma- Yeraltı Sularından Numune Alma Kılavuzu”.
- TS 9923, 1992 “Toprak Kalitesi-Yüzey Topraktan Numune Alma, Numunelerin Taşınma ve Muhafaza Kuralları”.
- TUBİTAK, 2010. Sapanca Gölü’nün öncelikli kirlilik kaynaklarına özgü kontrol teknolojilerinin araştırılıp geliştirilerek göl havzası için uyarlanması. 107g013.
- Tuna, A.L. ve Yağmur, B. 2004. “Muğla Marmaris Otoyolu Kenarlarında Trafik Kaynaklı Kirlenmenin Araştırılması”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8-1, 114-120.
- Tunca, E.Ü. 2016. Beyşehir Gölü'nde su ve sedimentte ağır metal birikimi ve sedimentte antropojenik kontaminasyon değerlendirmesi. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 205-219.
- Turekian, K.K. and Wedepohl, K.H. 1961. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *The geological society of America*, pp. 175-191, 1961.

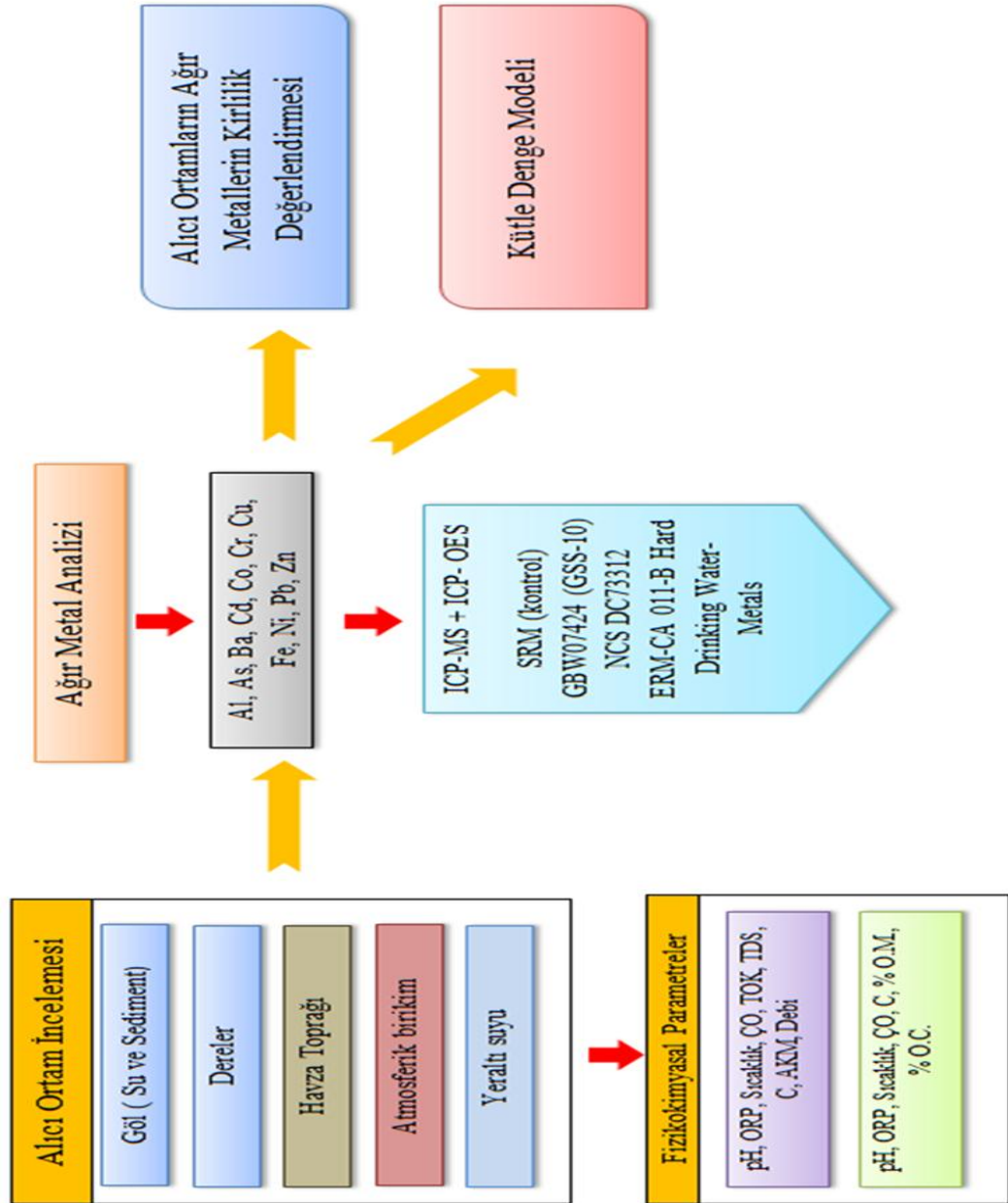
- US EPA, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, Method 3052, 1996, Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and organically based matrices,
<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>, Erişim Tarihi: 15.03.2015.
- Loucks, D.P. and Beek, E.V. 2005. Water resources systems planning and management, Chapter: 12. Water Quality Modelling and Prediction. UNESCO. ISBN 92-3-103998-9.
- Uzunoglu, O. 1999. "Gediz Nehrinden Alınan Su ve Sediment Örneklerinde Bazı Ağır Metal Konsantrasyonlarının Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Manisa.
- Utete, B. and Fregene, B.T. 2020. Assessing the spatial and temporal variability and related environmental risks of toxic metals in Lake Asejire, south-western Nigeria. *Scientific African*, 7, e00259.
- Varol, M., Gökot, B., Bekleyen, A. ve Şen, B. 2012. Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey. *Catena*, 92, 11-21.
- Varol, M. 2013. Dissolved heavy metal concentrations of the Kralkızı, Dicle and Batman dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey. *Chemosphere*, 93(6), 954-962.
- Vesper, D.J. 2019. Contamination of cave waters by heavy metals. In *Encyclopedia of caves* (pp. 320-325). Academic Press.
- Viklander, M., 1999. Substances In Urban Snow: A Comparison Of The Contamination Of Snow In Different Parts Of The City Of Lulea, Sweden. *Water, Air And Soil Pollution* 114, 377-394.
- Vitousek, P.M., Mooney, H.A., Lubchenco, J. and Melillo, J.M. 1997. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499.
- Wang, Z., Yao, L., Liu, G. and Liu, W. 2014. Heavy metals in water, sediments and submerged macrophytes in ponds around the Dianchi Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 107, 200-206.
- Wang, Y., Jia, C., Tao, J., Zhang, L., Liang, X., Ma, J., Gao, H., Huang, T. and Zhang, K. 2016. Chemical characterization and source apportionment of PM_{2.5} in a semi-arid and petrochemical-industrialized city, Northwest China. *Sci. Total Environ.* 573, 1031-1040.
- Wang, M., Liu, R., Chen, W., Peng, C. and Markert, B. 2018. Effects of urbanization on heavy metal accumulation in surface soils, Beijing. *Journal of Environmental Sciences*, 64, 328-334.

- Wang, X., Zhang, L., Zhao, Z. and Cai, Y. 2018. Heavy metal pollution in reservoirs in the hilly area of southern China: Distribution, source apportionment and health risk assessment. *Science of the Total Environment*, 634, pp. 158–169.
- Weerasundara, L., Amarasekara, R.W.K., Magana-Arachchi, D.N., Ziyath, A.M., Karunaratne, D.G.G.P., Goonetilleke, A. and Vithanage, M. 2017. Microorganisms and heavy metals associated with atmospheric deposition in a congested urban environment of a developing country: Sri Lanka. *Science of the Total Environment*, 584, 803-812.
- Wong, C.S.C., Lia, X.D., Zhang, G., Qib, S.H. and Peng, X.Z. 2003. “Atmospheric Deposition of Heavy Metals in The Pearl River Delta, China”, *Atmospheric Environment* 37, 767–776.
- Xue-Feng, H.U., Yan, D.U., Jian-Wei, F.E.N.G., Sheng-Qiong, F.A.N.G., Xiao-Jiang, G.A.O. and Shi-Yuan, X.U. 2013. Spatial and seasonal variations of heavy metals in wetland soils of the tidal flats in the Yangtze Estuary, China: Environmental implications. *Pedosphere*, 23(4), 511-522.
- Yalçın, N. ve Sevinç, V. 2001. “Heavy Metal Contents Of Lake Sapanca, Turkish Journal of Chemistry”. 25, 521–525.
- Yang, T., Chen, Y., Zhou, S., Li, H., Wang, F. and Zhu, Y. 2020. Solubilities and deposition fluxes of atmospheric Fe and Cu over the Northwest Pacific and its marginal seas. *Atmospheric Environment*, 239, 117763.
- Yao, Q., Han, S. and Cai, Z.Y. 2013. The pollution characteristics and potential ecological risk of heavy metals in PM_{2.5} during heating season in Tianjin. China. *Environ. Sci.* 33,1596-1600.
- Ye, L., Huang, M., Zhong, B., Wang, X., Tu, Q., Sun, H., ... and Chang, M. 2018. Wet and dry deposition fluxes of heavy metals in Pearl River Delta Region (China): Characteristics, ecological risk assessment, and source apportionment. *Journal of Environmental Sciences*, 70, 106-123.
- Yetiş Demir, A. 2013. Ceylanpınar ovası yeraltı suyu kalitesinin ve kirlenme potansiyelinin belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Yurtseven, E. ve Öztürk, H.S. 2001. Sulama suyu tuzluluğunun tınlı toprakta profil tuzluluğuna etkisi. *A.Ü. Ziraat Fak. Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(3):1-8, 2001.
- Zang, F., Wang, H., Zhao, C., Nan, Z., Wang, S., Yang, J. and Li, N. Atmospheric wet deposition of trace elements to forest ecosystem of the Qilian Mountains, northwest China. *Catena*, 197, 104966. doi: 10.1016/j.catena.2020.104966.
- Zarazua, G, Ávila-Pérez, P., Tejeda, S., Barcelo-Quintal, I. and Martínez, T. 2006. Analysis of total and dissolved heavy metals in surface water of a Mexican polluted river by Total Reflection X-ray Fluorescence Spectrometry. *Spectrochim. Acta Part B: Atomic Spectroscopy* 61:1180-1184.

- Zeybek, Z. 2006. Akgöl'deki (Karaman-Konya) bazı su kalitesi parametrelerinin araştırılması, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Zhang, S.L., Yang, G.Y., Luo, W. and Guo, S.H. 2012. Changes of background values of inorganic elements in soils of Guangdong Province. *Soils*, 44(6), 1009-1014.
- Zhang, P., Qin C., Hong, X., Kang, G., Qin, M., Yang, D., Pang, B., Li, Y., He, J. and Dick, R.P. Risk assessment and source analysis of soil heavy metal pollution from lower reaches of Yellow River irrigation In China, *Science of the Total Environment* 633, 1136–1147, 2018.
- Zhao, L., Mi, D., Chen, Y., Wang, L. and Sun, Y. 2015. Ecological risk assessment and sources of heavy metals in sediment from Daling River basin. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(8), 5975-5984.
- Zheng, X., Zhao, W., Yan, X., Shu, T., Xiong, Q. and Chen, F. 2015. Pollution characteristics and health risk assessment of airborne heavy metals collected from Beijing bus stations. *International journal of environmental research and public health*, 12(8), 9658-9671.
- Zhong, L., Li, J., Yan, W., Tu, X., Huang, W. and Zhang, X. (2012). Platinum-group and other traffic-related heavy metal contamination in road sediment, Guangzhou, China. *Journal of Soils and Sediments*, 12(6), 942-951.
- Zhou, F., Huang, G.H., Guo, H., Zhang, W. and Hao, Z. (2007) Spatio-emporal patterns and source apportionment of coastal water pollution in eastern Hong Kong. *Water Res* 41:3429- 3439.
- Zhou, J., Du, B., Wang, Z., Zhang, W., Xu, L., Fan, X., ... and Zhou, J. (2019). Distributions and pools of lead (Pb) in a terrestrial forest ecosystem with highly elevated atmospheric Pb deposition and ecological risks to insects. *Science of The Total Environment*, 647, 932-941.
- Zidane, H., Maanan, M., Mouradi, A., Maanan, M., El Barjy, M., Zourarah, B. and Blais J.-F., Environmental and ecological risk of heavy metals in the marine sediment from Dakhla Bay, Morocco, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 24 (2017) 7970–7981.
- Ziyath, A.M., Egodawatta, P. and Goonetilleke, A. (2016). Build-up of toxic metals on the impervious surfaces of a commercial seaport. *Ecotoxicology and environmental safety*, 127, 193-198.
- Zong, Y.T., Xiao, Q. and Lu, S.G. Chemical fraction, leachability, and bioaccessibility of heavy metals in contaminated soils, northeast china. *Environmental Science and Pollution Research*. 23 (23), 24107, 2016.

EKLER

EK-1: Çalışmada izlenen yol



ÖZGEÇMİŞ

Hülya Demirel, ilk, orta ve lise eğitimini Sakarya’da tamamladı. 2004 yılında Ali Dilmen Süper Lisesi’nden mezun oldu. Aynı yıl başladığı Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünü 2009 yılında bitirdi. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimini bitirdi. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi’nde Çevre Mühendisliği Bölümü’nde doktora eğitimine başladı. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Sakarya Meslek Yüksekokulu Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü’nde öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2018 yılından beri Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Sakarya Meslek Yüksekokulu Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü’nde öğretim görevlisi olarak çalışmakta olup, evli ve iki çocuk annesidir.