

**SEYDİSUYU HAVZASI YERALTI
SU KALİTESİNİN VE KİRLİLİK
DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ**

Alper UĞURLUOĞLU
Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Ağustos-2013

**Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri
(Proje No: 1101F011) tarafından desteklenmiştir.**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Alper Uğurluoğlu'nun “Seydisuyu Havzası Yeraltı Su Kalitesinin ve Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi” başlıklı Çevre Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 06.08.2013 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Prof. Dr. ARZU ÇİÇEK	
Üye	: Yard. Doç. Dr. SEMRA MALKOÇ	
Üye	: Yard. Doç. Dr. ESENGÜL KÖSE	

**Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.**

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SEYDİSUYU HAVZASI YERALTI SU KALİTESİNİN VE KİRLİLİK DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ

Alper UĞURLUOĞLU

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Arzu ÇİÇEK
2013, 160 sayfa**

Yeraltı suları, son yıllarda azalan temiz su kaynaklarına alternatif ve küresel ısınmanın da önemli sonuçlarından olan kuraklığın baş gösterdiği bölgelerde kullanımı artan, yüzey sularına oranla daha temiz kalabilen sulardır. Tatlı su kaynakları arasında buzul ve kar sularından sonraki en büyük hacimli kaynaklar yeraltı sularıdır. Bu kaynakların kalitesi içme suyu, kullanma suyu ve sulama suyu gibi farklı alanlarda kullanımlardan dolayı önem taşımaktadır. Ülkemizin önemli akarsu havzalarından Sakarya Havzası'nın alt havzalarından biri olan Seydisuyu Havzası, gerek doğal jeolojik yapısından dolayı gerekse beşeri faaliyetler ile kirlenmekte ve yeraltı suları kalitesi değişmektedir. Bu yüksek lisans tezi kapsamında, Seydisuyu havzası içerisinde yer alan 20 farklı sulama ve içme suyu kullanımlı kuyudan 2012 – 2013 tarihlerinde mevsimsel numuneler alınmıştır. Alınan yeraltı suyu örneklerinde arsenik ve bor başta olmak üzere elementel parametreler ve bazı fizikokimyasal parametreler incelenmiş, istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve CBS araçları kullanılarak havza yeraltı suyu kirlilik haritaları ile düzeyleri gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı Suyu, CBS, Sakarya Havzası, Seydisuyu, Türkiye

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DETERMINATION OF QUALITY AND POLLUTION LEVELS ON GROUNDWATER IN SEYDİSUYU BASIN

Alper UĞURLUOĞLU

**Anadolu University
Graduate School of Science
Environmental Engineering Program**

**Supervisor: Prof. Dr. Arzu ÇİÇEK
2013, 160 pages**

Groundwater is alternative sources of clean water declining in recent years and the consequences of global warming which is important in increasing the use of surface waters in the regions of drought than the head waters remain clean. Among sources of fresh water ice and snow waters of the next largest volume of sources are groundwaters. The quality of drinking water sources such as potable water and irrigation water is important due to the usages in different areas. Our country's the major river basin is Sakarya Basin's sub-basins Seydisuyu Basin have polluted due to both the geological structure and human activities and it has varied groundwater's quality. Within the scope of master's thesis, Seydisuyu Basin is located within the well to use 20 different irrigation and drinking water samples were taken seasonally between 2012-2013 years. Groundwater samples are taken from elemental arsenic and boron and some physico-chemical parameters were examined in particular, they were statistically evaluated and basin is shown with maps of groundwater pollution levels by using GIS tools.

Key Words: Groundwater, GIS, Sakarya Basin, Seydisuyu, Turkey

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve her zaman yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Arzu ÇİÇEK'e teşekkür ederim.

Bu tezin oluşmasında ve gelişmesinde yardımlarını esirgemeyen, arazi çalışmaları ve istatistiksel değerlendirmeler sırasında yardımları ve manevi destekleri için kadim dostlarım Çevre Mühendisi Mesut ÇİFTÇİ ve Biyolog Sercan SEZEN başta olmak üzere Yard. Doç. Dr. Esengül KÖSE, Dr. Cem TOKATLI, Özlem AŞAMAN, Ahmet ŞAHİN ve Çevre Yüksek Mühendisi Merve UYLAŞ'a teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi, çalışmamın başından sonuna kadar maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sabır ve anlayışlarından dolayı sonsuz minnetlerimi sunarım.

Alper UĞURLUOĞLU

Ağustos 2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1.GİRİŞ	1
2.YERALTI SUYU KALİTESİ	6
2.1. Yeraltı Suyu Kirlilik Parametreleri	7
2.1.1. Arsenik	8
2.1.2. Bor	9
2.1.3. Kadmiyum	10
2.1.4. Krom	11
2.1.5. Bakır	11
2.1.6. Demir	12
2.1.7. Manganez	12
2.1.8. Nikel	13
2.1.9. Kurşun	13
2.1.10. Çinko	14
2.1.11. Potasyum	14
2.1.12. Kalsiyum	15
2.1.13. Magnezyum	15
2.1.14. Alüminyum	15
2.1.15. Sodyum	16
2.1.16. Silisyum	17
2.1.17. Sıcaklık	17

2.1.18. İletkenlik	18
2.1.19. Nitrit	18
2.1.20. Nitrat	19
2.1.21. Sülfat	19
2.1.22. Fosfat.....	19
2.1.23. Çözünmüş oksijen.....	20
2.1.24. Yükseltgenme-indirgenme potansiyeli	20
2.1.25. Hidrojen potansiyeli.....	21
2.1.26. Çözünmüş toplam katı	21
2.1.27. Amonyum	21
2.1.28. Tuzluluk	22
2.1.29. Sodyum absorpsiyon oranı ve yüzde sodyum.....	22
 3. MATERYAL VE METOD	 23
3.1. Çalışma Alanının Tanıtımı	23
3.2. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları	34
 4. BULGULAR VE TARTIŞMA	 37
4.1. Element ve Fizikokimyasal Analiz Sonuçları	37
4.2. Faktör Analizi.....	128
4.3. Korelasyon Analizi.....	130
 5. SONUÇ	 133
 KAYNAKLAR	 139

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Yeraltı suyu kirliliği kaynakları	6
3.1. Seydisuyu Havzası	23
3.2. Seydisuyu Havzası topoğrafya haritası kuzeyden bakış	24
3.3. Seydisuyu Havzası jeoloji haritası	26
3.4. Seydisuyu Havzası mevsimsel yağış miktarları dağılım haritaları	28
3.5. Seydisuyu Havzası buharlaşma miktarları dağılım haritaları	30
3.6. Seydisuyu Havzası alt havzaları.....	32
3.7. Kuyu (örnek) noktaları.....	33
4.1. Arsenik Seviyeleri ilkbahar mevsimi	38
4.2. Arsenik seviyeleri yaz mevsimi	38
4.3. Arsenik seviyeleri sonbahar mevsimi	39
4.4. Arsenik seviyeleri kış mevsimi	39
4.5. Bor seviyeleri ilkbahar mevsimi	42
4.6. Bor seviyeleri yaz mevsimi	42
4.7. Bor seviyeleri sonbahar mevsimi	43
4.8. Bor seviyeleri kış mevsimi.....	43
4.9. Gümüş seviyeleri ilkbahar mevsimi	46
4.10. Gümüş seviyeleri yaz mevsimi	46
4.11. Gümüş seviyeleri kış mevsimi	47
4.12. Alüminyum seviyeleri ilkbahar mevsimi	48
4.13. Alüminyum seviyeleri yaz mevsimi	48
4.14. Alüminyum seviyeleri sonbahar mevsimi.....	49
4.15. Alüminyum seviyeleri kış mevsimi	49
4.16. Kalsiyum seviyeleri ilkbahar mevsimi.....	52
4.17. Kalsiyum seviyeleri yaz mevsimi	52
4.18. Kalsiyum seviyeleri sonbahar mevsimi	53
4.19. Kalsiyum seviyeleri kış mevsimi	53
4.20. Kadmiyum seviyeleri ilkbahar mevsimi	55
4.21. Kadmiyum seviyeleri sonbahar mevsimi	55
4.22. Kadmiyum seviyeleri kış mevsimi.....	56

4.23. Krom seviyeleri ilkbahar mevsimi	57
4.24. Krom seviyeleri yaz mevsimi.....	57
4.25. Krom seviyeleri sonbahar mevsimi.....	58
4.26. Krom seviyeleri kış mevsimi	58
4.27. Bakır seviyeleri ilkbahar mevsimi	60
4.28. Bakır seviyeleri yaz mevsimi	60
4.29. Bakır seviyeleri sonbahar mevsimi	61
4.30. Bakır seviyeleri kış mevsimi.....	61
4.31. Demir seviyeleri ilkbahar mevsimi	63
4.32. Demir seviyeleri yaz mevsimi.....	63
4.33. Demir seviyeleri sonbahar mevsimi.....	64
4.34. Demir seviyeleri kış mevsimi.....	64
4.35. Potasyum seviyeleri ilkbahar mevsimi.....	66
4.36. Potasyum seviyeleri yaz mevsimi	66
4.37. Potasyum seviyeleri sonbahar mevsimi	67
4.38. Potasyum seviyeleri kış mevsimi	67
4.39. Magnezyum seviyeleri ilkbahar mevsimi	69
4.40. Magnezyum seviyeleri yaz mevsimi	69
4.41. Magnezyum seviyeleri sonbahar mevsimi	70
4.42. Magnezyum seviyeleri kış mevsimi.....	70
4.43. Mangan seviyeleri ilkbahar mevsimi	72
4.44. Mangan seviyeleri yaz mevsimi.....	72
4.45. Mangan seviyeleri sonbahar mevsimi.....	73
4.46. Mangan seviyeleri kış mevsimi.....	73
4.47. Sodyum seviyeleri ilkbahar mevsimi	76
4.48. Sodyum seviyeleri yaz mevsimi.....	76
4.49. Sodyum seviyeleri sonbahar mevsimi.....	77
4.50. Sodyum seviyeleri kış mevsimi	77
4.51. Nikel seviyeleri ilkbahar mevsimi	79
4.52. Nikel seviyeleri yaz mevsimi	79
4.53. Nikel seviyeleri kış mevsimi	80
4.54. Kurşun seviyeleri ilkbahar mevsimi	82

4.55. Kurşun seviyeleri yaz mevsimi	82
4.56. Kurşun seviyeleri kış mevsimi	83
4.57. Silisyum seviyeleri ilkbahar mevsimi	84
4.58. Silisyum seviyeleri yaz mevsimi.....	84
4.59. Silisyum seviyeleri sonbahar mevsimi.....	85
4.60. Silisyum seviyeleri kış mevsimi.....	85
4.61. Çinko seviyeleri ilkbahar mevsimi	87
4.62. Çinko seviyeleri yaz mevsimi	87
4.63. Çinko seviyeleri sonbahar mevsimi	88
4.64. Çinko seviyeleri kış mevsimi	88
4.65. Sıcaklık seviyeleri ilkbahar mevsimi	90
4.66. Sıcaklık seviyeleri yaz mevsimi.....	90
4.67. Sıcaklık seviyeleri sonbahar mevsimi	91
4.68. Sıcaklık seviyeleri kış mevsimi.....	91
4.69. pH seviyeleri ilkbahar mevsimi	93
4.70. pH seviyeleri yaz mevsimi	93
4.71. pH seviyeleri sonbahar mevsimi	94
4.72. pH seviyeleri kış mevsimi.....	94
4.73. ORP seviyeleri ilkbahar mevsimi	96
4.74. ORP seviyeleri yaz mevsimi	96
4.75. ORP seviyeleri sonbahar mevsimi	97
4.76. ORP seviyeleri kış mevsimi	97
4.77. İletkenlik seviyeleri ilkbahar mevsimi	99
4.78. İletkenlik seviyeleri yaz mevsimi.....	99
4.79. İletkenlik seviyeleri sonbahar mevsimi.....	100
4.80. İletkenlik seviyeleri kış mevsimi	100
4.81. Tuzluluk seviyeleri ilkbahar mevsimi	102
4.82. Tuzluluk seviyeleri yaz mevsimi	102
4.83. Tuzluluk seviyeleri sonbahar mevsimi.....	103
4.84. Tuzluluk seviyeleri kış mevsimi	103
4.85. TDS seviyeleri ilkbahar mevsimi.....	105
4.86. TDS seviyeleri yaz mevsimi	105

4.87. TDS seviyeleri sonbahar mevsimi	106
4.88. TDS seviyeleri kış mevsimi	106
4.89. Çözünmüş oksijen seviyeleri ilkbahar mevsimi.....	107
4.90. Çözünmüş oksijen seviyeleri yaz mevsimi	107
4.91. Çözünmüş oksijen seviyeleri sonbahar mevsimi	108
4.92. Çözünmüş oksijen seviyeleri kış mevsimi	108
4.93. Fosfat seviyeleri ilkbahar mevsimi	110
4.94. Fosfat seviyeleri yaz mevsimi.....	110
4.95. Fosfat seviyeleri sonbahar mevsimi	111
4.96. Fosfat seviyeleri kış mevsimi.....	111
4.97. Sülfat seviyeleri ilkbahar mevsimi.....	113
4.98. Sülfat seviyeleri yaz mevsimi	113
4.99. Sülfat seviyeleri sonbahar mevsimi	114
4.100. Sülfat seviyeleri kış mevsimi	114
4.101. Amonyum seviyeleri ilkbahar mevsimi	116
4.102. Amonyum seviyeleri yaz mevsimi.....	116
4.103. Amonyum seviyeleri sonbahar mevsimi.....	117
4.104. Amonyum seviyeleri kış mevsimi.....	117
4.105. Nitrit seviyeleri ilkbahar mevsimi.....	119
4.106. Nitrit seviyeleri yaz mevsimi	119
4.107. Nitrit seviyeleri sonbahar mevsimi	120
4.108. Nitrit seviyeleri kış mevsimi	120
4.109. Nitrat seviyeleri ilkbahar mevsimi	123
4.110. Nitrat seviyeleri yaz mevsimi.....	123
4.111. Nitrat seviyeleri sonbahar mevsimi.....	124
4.112. Nitrat seviyeleri kış mevsimi	124
4.113. Yıllık ortalama SAR seviyeleri	127
4.114. Yıllık ortalama %Na seviyeleri.....	127
4.115. Çizgi Eğim Grafiği.....	129

ÇİZELGELER DİZİNİ

2.1. Yeraltı suyunda bulunan kimyasal elementler.....	8
3.1. Kuyulara ait bilgiler.....	34
4.1. Varyans tablosu.....	129
4.2. Faktör analizi tablosu	130
4.3. Korelasyon analiz sonuçları	132

SİMGELER VE KISALTMALAR

L	: Litre
ug	: mikrogram
µg	: mikrogram
mg	: Miligram
µs	: Mikrosiemens
m	: Metre
mm	: Milimetre
mV	: Milivolt
N	: Kuzey
E	: Doğu
YAS	: Yeraltı Suyu
EPA	: Environmental Protection Agency
WHO	: World Health Organization
İTSHY	: İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik
SAR	: Sodyum Absorbsiyon Oranı
TİGEM	: Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü
TJK	: Türkiye Jokey Kulübü
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
ASTER	: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
IDW	: Inverse Distance Weighting
GPS	: Global Positioning System
ÇO	: Çözülmüş Oksijen

1. GİRİŞ

Tüm canlılar için yaşam kaynağı olan su, kaynakların gün geçtikçe kirletilmesiyle ciddi anlamda sorun haline gelmiştir. Artan nüfus da dikkate alındığında artan temiz su ihtiyacına karşılık azalan kirlenmemiş su kaynakları korunması gereken önemli bir konu olarak ön plana geçmiştir (Cheng ve Jia, 2010). İnsan hayatının suya olan bağımlılığının bir sonucu olarak ilk zamanlardan başlamak üzere yerleşim alanları hep su kenarlarında seçilmiştir. Bu yerler göl, akarsu veya en azından bir yeraltı suyu kaynağı yakınında bulunmaktadır. Bu su kaynakları arasında ayrıcalığı olan en önemli ve dünya çapında en zengin olanları yeraltı sularıdır. Her yerde gerekli derinliğe kuyular vasıtası ile inildiğinde bulunması, yüzeysel kirlenmelere karşı korumalı olması, sıcaklıklarının yaz ve kış aylarında fazla değişiklik göstermemesi yeraltı sularının avantajlı özelliklerindendir. Bir başka avantaj olarak da yeraltı suyunun değişik kayaçlardan geçerken erittikleri mineraller sayesinde içimlerinin doğal olarak çok uygun olması gösterilir. Ayrıca yeraltı suları buharlaşmadan korundukları için kayıpları azdır. Bu nedenle kurak bölgelerde yüzey biriktirme hazneleri yerine yüzey altı yani gömülü biriktirme haznelerinin kullanılması ile yeraltı suyu haznelerinin artırılması yoluna gidilir (Şen, 2003).

Yeraltı suyu, buzul ve kar kütlelerinden sonra dünyadaki en büyük hacimli tatlı su kaynağıdır. Dünyada tatlı su kaynaklarının ki bu tüm suların %3'üne denk gelmektedir; %31,4'ü yeraltı sularıdır (Yıldız ve ark, 2011).

Son 20 – 30 yılda, özellikle gelişen ülkelerde yeraltı suyunun geliştirilmesinde ve kullanımında yoğun bir artış olmuştur. Yeraltı suyunu çeşitli amaçlarda kullanırken onu kirleticilerden de uzak tutmak gerekir. Fakat gerçek tehlike aslında kirlilik değil, kirlilik sorununun göz ardı edilmesidir. Yeraltı suları yüzey sularına göre kirliliğe daha az maruz kalırken, yeraltı suları kirliliğinin etkisi yüzey suları kirliliğine göre daha uzun sürer. Yeraltı suyu kirliliği kolayca fark edilemez ve çoğu durumda kirleticilerin içme, kullanma sularında belirtilerinin fark edilmesi ile saptanır.

Yeraltı sularının değeri yalnızca yaygın olarak bulunması ve faydalanılması ile değil aynı zamanda kalitesinin iyi olması ile de ölçülür. Suların kalitesi ifadesi

içme, kullanm, sulama gibi farklı kullanım amaçları ile ilişkili olarak suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakteristiklerini belirtmektedir (Sargın ve Ünal, 2010).

Su kirliliği, su kalitesinin vasıtasıyla su ortamının doğal dengesinin bozulması olarak tanımlanabilir ve aynı zamanda suyun, normal durumundan ne kadar uzaklaştığını, halk sağlığına etkisini veya ekolojik etkilerini belirtir. Su kirleticileri bazı patojenik bakteri ve virüsler ile beraber fazla miktardaki metalleri, bazı radyoaktif izotopları, kolibasillerini, fosfor, azot, sodyum ve diğer yararlı hatta gerekli elementleri de içerir (Akman ve ark, 2000).

Aktif su kirleticileri olarak kabul edilen birçok madde farklı gruplarda toplanabilir. Bunların arasında en yaygın olanları patojenler (bakteri, virüs, protozoalar), inorganik kirleticiler (asitler, tuzlar ve toksik metaller), anyonlar ve katyonlar (nitrat, sülfat, fosfat, Ca^{+2} , Mg^{+2} , F^{-}) ve suda çözünebilir radyoaktif maddelerdir. Bu gruplara ek olarak yağ ve pestisit gibi organik bileşikler de su kalitesi üzerine potansiyel tehditleri olan maddeler olarak gruplanır. Bu maddeler belirli bir eşik değeri aştığında ekosistemdeki organizmalar ve insanlar üzerinde ciddi ve zararları büyük sağlık sorunlarına yol açarlar (Azizullah ve ark, 2010).

Türkiye, kişi başına düşen su miktarlarına bakıldığında su zengini bir ülke değildir. Hatta yapılan projeksiyonlar sonucunda 2030 yılı itibariyle su fakiri bir ülke konumuna gelebileceği öngörülmektedir. Ülkemizde 643 mm olan yıllık ortalama yağış yılda ortalama 501 milyar m^3 suya karşılık gelmektedir. Bu suyun 274 milyar m^3 'ü toprak, su yüzeyleri ve bitkilerden olan buharlaşmalar vasıtasıyla atmosfere geri dönmekte ve 158 milyar m^3 'lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular ile denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Ayrıca, komşu ülkelerden ülkemize yılda ortalama 7 milyar m^3 su akışı olmaktadır. Ancak, günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde çeşitli amaçlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli; yurt içindeki akarsulardan 95 milyar m^3 , komşu ülkelerden yurdumuza gelen akarsulardan 3 milyar m^3 olmak üzere yılda ortalama toplam 98 milyar m^3 'dür. 14 milyar m^3 olarak belirlenen yenilenebilir yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı suyu potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m^3 olmaktadır (Sargın ve Kaya, 2010). Bugünkü koşullarda 112 milyar m^3

tüketilebilir yerüstü ve yeraltı suyu potansiyeli potansiyelimizin ancak 39,3 milyar m³'ünden (%35) yararlanılabilmektedir. Bunun 29,3 milyar m³'ü (% 75) sulamada, 5,8 milyar m³'ü içme ve kullanmada (% 15) ve 4,2 milyar m³'ü (% 10) ise endüstride kullanılmaktadır (Sargın ve Kaya, 2010).

Yeraltı suları, mevcut durumlar ve kullanılabilirlikleri açısından önemli su kaynaklarının başında gelmektedirler. Bu konuyla ilgili yurtdışında ve ülkemizde birçok araştırmalar yapılmış, bu araştırmalar jeolojik, çevresel, istatistiksel bakış açılarıyla ele alınmıştır.

Kavaf (2007)'de yaptığı çalışmada Kütahya ovasının su kalitesi ve kirlilik durumunu ortaya koyarak olası kirletici unsurlar belirlemiştir. Çalışma alanındaki kaynak ve yeraltı sularının kalitesi ve kirlilik durumu ortaya konmuştur. Bu çalışmada elektriksel iletkenlik, Cl, sertlik ve SO₄ konsantrasyonlarından inceleme alanındaki dağılım haritaları hazırlanmış ve ayrıca elementel kirlilik parametrelerinden Al, As, B, Ba, Be, Br, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, S, Sb, Se, Tl ve Zn konsantrasyonlarının alansal dağılımları yapılmıştır. Bazı numunelerde As, bazılarında Pb ve U miktarlarının önerilen maksimum sınırları aştığı belirlenmiştir.

Rameeza ve ark. (2012) Hindistan'ın Visakhapatnam endüstri bölgesinde yeraltı sularında kaliteyi incelemeye yönelik çalışmalarında 10 adet kuyudan aldıkları numunelerde pH, sertlik, klorür, toplam katı (askıda, çözünmüş), nitrat, sülfat ve çözünmüş oksijen parametrelerinde analiz yapmışlardır. Nitrat değerleri 2.6 – 7.9 mg/l, sülfat değerleri ise 6 – 36 mg/l arasında bulunmuştur.

Erzurum ovası su kalitesi ve kirliliğin tespiti adlı çalışmada Kali (2008), çözünmüş oksijen, sıcaklık, pH, BOİ₅, TÇM, NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N, o-PO₄⁻³, SO₄⁻², Na⁺, Cl⁻ parametrelerine göre değerlendirmeler yapmış ve bunların kirleticiler ile ilişkisini ortaya koymaya çalışmıştır. Yapılan analizler sonucunda bazı numunelerde As, bazı numunelerde ise Pb, Fe, Mn ve NO₃ miktarlarının sınır değerleri aştığı gözlenmiştir. İnceleme alanındaki su kalitesinin olumsuz yönde etkilenmesinin nedeni olarak katı atık sahası, endüstriyel ve zirai faaliyetler ile litolojik özelliklerden kaynaklanan kirlilikler olarak belirlenmiştir.

Güllüoğlu (2006) yaptığı çalışmada modern tarımın uygulandığı Harran Ovası'nın, yeraltı sularından sağlanan sulamalar sonucu ne derece etkilendiğini

belirlemek amacıyla, 9 aylık bir periyotta ovanın genelini temsil edecek 24 ayrı numune kuyusu belirlenmiş ve bu kuyulardan her ay numune alınmış ve bu numunelerde laboratuvar ve arazide Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- , NO_3^- , toplam kation, toplam sertlik, kalsiyum karbonat sertliği, magnezyum karbonat sertliği, pH, EC, çözünmüş oksijen, sıcaklık, TDS, bulanıklık, SAR, RSC, % Na, toplam anyon ve toplam iyon parametrelerinin analizi yapılmış ve bu analizlerin sonucunda Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, TS 266, WHO (Dünya Sağlık Örgütü) ve EU (Avrupa Birliği) normlarına göre karşılaştırılmıştır. Ayrıca, Schoeller, Piper, Wilcox, ABD Tuzluluk ve Schoeller yarı logaritmik diyagramlarına göre suların hidrokimyasal fasiyes sınıflandırılması ve sulama suyu açısından sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir.

Z. Jamshidzadeh ve S.A. Mirbagheri (2010) tarafından yapılan çalışmada, İran'ın Kashan Havzası yeraltı suyu kalitesinin nicelik ve nitelik bakımından değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. 53 adet gözlem kuyusundan toplanan verilerle 1990-2006 yılları arasında ortalama su tablasının 7.93 metre olduğu bulunmuştur. Yeraltı suyu kalitesi çalışmalarında ise, 21 adet numune, pH, sertlik, Cl, EC ve TDS gibi fizikokimyasal parametreler incelenmiştir. Analiz sonuçları Dünya Sağlık Örgütü'nün içme suyu standartlarıyla karşılaştırılmış ve birçok örneğe göre suların içilemez olduğu saptanmıştır. Ayrıca, hidrokimyasal fasiyes sınıflandırılması açısından Piper diagramı kullanılmış ve havzanın büyük bölümünde tuzluluk tespit edilmiştir. Toplanan numunelerin yarısında Na% bakımında sulamanın olabileceği görülmüştür. Klor ve elektriksel iletkenlik parametreleri arasında logaritmik ilişki saptanmıştır.

Mevcut su miktarını ihtiyaçlar doğrultusunda optimum kullanarak su yetersizliği olması halinde ortaya çıkacak problemleri asgariye indirmek için yapılan ön çalışmalardan biri de yüzey ve yeraltı suyu akımlarının modellenmesidir. Hökelekli ve İçağa (2011), Akarçay Kuzey Alt Havzası'nda yaptıkları çalışmada yeraltı suyu kullanımındaki belirsizliklerin giderilmesi, havzadaki yeraltı suyunun kontrol ve takip edilmesi, gelecekteki olası değişimlerinin izlenmesi, rezervin optimum kullanılması açısından yeraltı suyu modelleme çalışmasının faydalı olacağı düşüncesiyle GMS (Groundwater Modelling System) programı yardımıyla havza akiferine ait model oluşturmayı

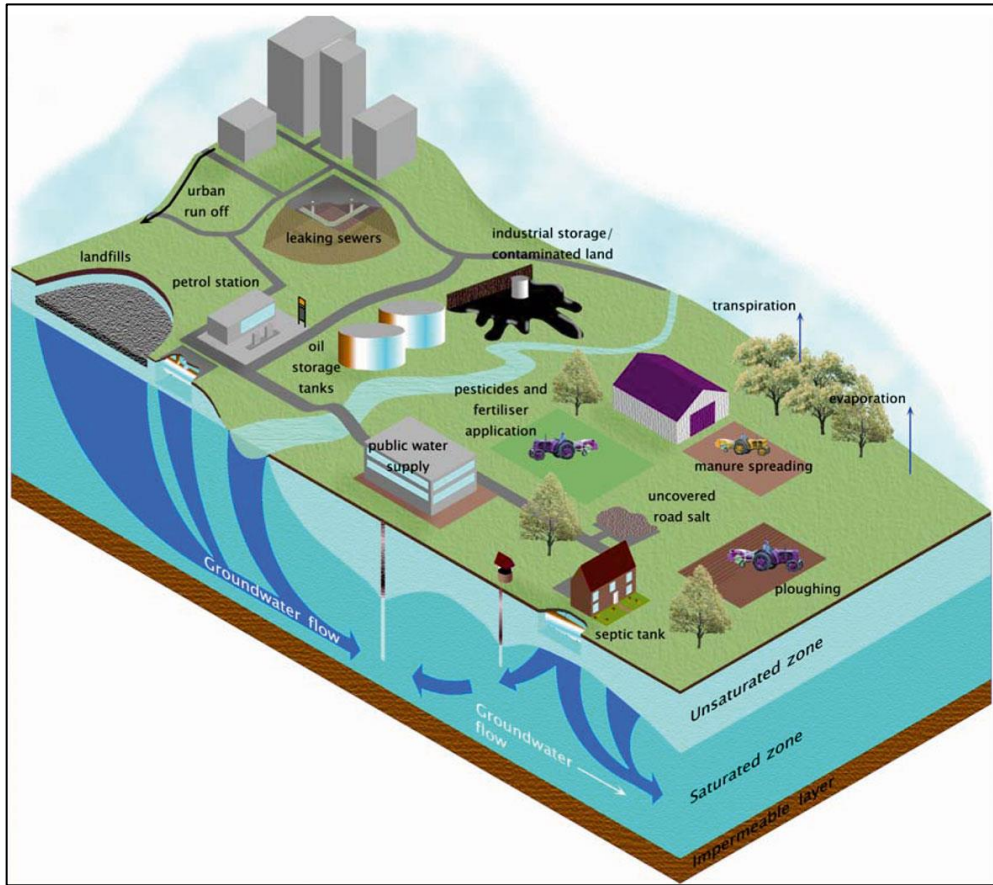
amaçlamıştır. Model çalışması sonlu farklar yöntemiyle ve kararlı akım varsayımı ile kuyu logları, kuyu koordinatı, akifer sınırı, topografik yükseklikler, akarsu yatağı, hidrolik parametre verileri derlenerek gerçekleştirilmiştir. Çalışma ile yeraltı su bütçesi hesaplanmıştır.

İleri ve ark. (2007)'nın yaptığı çalışma kapsamında İzmir iline içme ve kullanma suyu temin eden Tahtalı Barajı su toplama havzasındaki yeraltı suyu kalitesinin tespiti amacıyla 35 adet noktadan yeraltı suyu örneği alınarak temel fizikokimyasal parametreler ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ulusal ve uluslararası standartlar ile karşılaştırılarak havzanın yeraltı suyu kalitesi açısından mevcut durumun tespiti yapılmıştır. Elde edilen veri tabanının Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanarak haritalanması ve analizi yapılmıştır. Buna göre havzadaki yeraltı sularının yerel olarak farklı kirlenme mekanizmalarının etkisinde olduğu belirlenmiştir. Bazı bölgelerde tarımsal kaynaklı nitrat kirliliği, bazılarında ise doğal arsenik kirliliği ve havza genelinde yer yer evsel ve endüstriyel kaynaklı kirlenmenin söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Yüzeysel sular ile olan etkileşimi dikkate alındığında bir çözüm önerisi olarak, Tahtalı havzasında yeraltı suyu kalitesinin de İZSU tarafından rutin olarak izlenmesi ve geliştirilecek havza yönetim planlarına dahil edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bu tez kapsamında, bor maden yataklarının ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu Seydisuyu Havzası'nda (Eskişehir) bulunan 20 adet kuyudan 2012-2013 tarihlerinde mevsimsel olarak yeraltı suyu örnekleri alınmıştır. Alınan numunelerde arsenik ve bor başta olmak üzere elementel ve bazı fizikokimyasal parametreler incelenmiş, istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve kirlilik haritaları oluşturularak havzaya ait değerlendirilmelerde bulunulmuştur.

2. YERALTI SUYU KALİTESİ

Yeraltı suyu için yüzeyden daha aşağıda; su tablasının altındaki doygun zemin veya jeolojik formasyon içinde bulunan kuyuları, kaynakları ve akarsu, göl, deniz gibi kütleleri besleyen su olarak tanımlaması yapılabilir (Freeze ve Cherry, 1979). Doğal durumdaki yeraltı suları genellikle iyi kalitelidir. Bu kalite, doğal kaynaklar veya beşeri faaliyetler sonucunda çift yönlü olarak değişebilmektedir. Kentsel, ticari, endüstriyel ve zirai faaliyetler yeraltı su kalitesine etkisi olabilen beşeri faaliyetlerdir. Kirleticiler yeraltı suyuna; endüstriyel atık depolama gibi toprak yüzeyinde bulunan aktivitelerden, septik sistemler gibi kaynağı toprak yüzeyi altında fakat yeraltı su yüzeyinin üzerinde bulunan aktivitelerden veya derin su kuyularından ulaşabilir. Yeraltı suyu kirliliğine neden olabilen bazı potansiyel kaynaklar Şekil 2.1’de gösterilmiştir (Bayındır, 2006).



Şekil 2.1. Yeraltı suyu kirliliği kaynakları (Wang ve ark, 2013)

2.1. Yeraltı Suyu Kirlilik Parametreleri

Suya olan gereksinimin artmasıyla beraber su kaynaklarının kalitesinin izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Yeraltı sularının kalitesi (fiziksel, kimyasal, mikrobiyolojik özellikleri) suların içme, kullanma ve sulamaya uygunluğunun belirlenmesinde ve mevcut kalitesinin korunmasında en önemli kriterlerdir.

Yeraltında farklı derinliklerde bulunan sular değişik bileşimli kayaçlarla temas halindedir. Kayaçların çözünbilme derecelerine göre az ya da çok oranda çözünmüş madde yeraltı sularına karışır. Bunun miktarı, yeraltı suyunun kayaçlarla temas süresine, suyun hızına, sıcaklığına, kayacın cinsine ve ortamın basıncına bağlı olarak değişir (Varol ve ark., 2008). Suyun kalitesini, suda çözünmüş olan çözünenler ve gazlarla birlikte suyun içinde bulunan ve yüzen maddeler belirler (Demer,2008).

YAS kalitesinin ve kullanım alanlarının belirlenebilmesi için yapılan çalışmalar genel olarak iki aşamadan oluşur. Bunlar arazide yapılan in-situ analizleri ve laboratuvar çalışmalarıdır. In-situ ölçümleri suyun sıcaklığı (T), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), elektriksel iletkenliği (EC), toplam çözünmüş katı madde miktarı (TDS), su içinde çözünmüş oksijen miktarı (O_2), redoks potansiyeli (E_h), alkalinite – asiditesi, suyun sertliği, rengi, koku, tadı ve bulanıklığı gibi parametrelerdir. Laboratuvar çalışmalarında katyon ve anyon analizleri (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Si^{4+} , Li^+ , NH_4^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} vb.), izotop analizleri ve mikrobiyolojik (fekal ve toplam koliform) analizleri yapılır (Demer,2008).

Yeraltı sularında erimiş olarak bulunan ana elementlerin sayısı sınırlıdır ve bu elementlerin farklı doğal bileşikleri sanıldığı kadar fazla değildir. İçinden geçtikleri organik maddelerin, minerallerin ve aynı zamanda geçirdikleri kimyasal reaksiyonların karmaşıklığına rağmen, yeraltı suyunda sadece 6 adet element, kimyasal kompozisyonun çoğunluğunu meydana getirir. Bu elementlerden en yaygınları, yeraltı sularındaki mineral tuzların çoğunluğunu oluşturan sodyum, kalsiyum, magnezyum ve bunlarla kimyasal bileşik halinde bulunan klorür, bikarbonat ve sülfattır (Sargın ve Ünal, 2010).

Çizelge 2.1. Yeraltı suyunda bulunan kimyasal elementler

Ana Elementler	İz Elementler	Tali Elementler
Kalsiyum	Alüminyum	Demir
Magnezyum	Arsenik	Manganez
Sodyum	Kadmiyum	Stronsiyum
Potasyum	Krom	Florür
Bikarbonat	Kobalt	Nitrat
Karbonat	Bakır	
Klorür	Kurşun	
Sülfat	Cıva	
Silis	Nikel	
	Fosfat	
	Radyum	
	Selenyum	
	Gümüş	
	Uranyum	
	Çinko	

Yeraltı sularının kimyasal yapısının %95'ini meydana getiren altı ana iyonun yanı sıra Çizelge 2.1'de gösterilen ana elementler, tali elementler ve iz elementler bulunmaktadır. Çalışma kapsamında bu elementlerden başta arsenik (As) ve bor (B) olmak üzere gümüş (Ag), kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), manganez (Mn), sodyum (Na), nikel (Ni), kurşun (Pb), çinko (Zn), potasyum (K), magnezyum (Mg), alüminyum (Al), kalsiyum (Ca) ve silisyum (Si) analizi yapılmıştır.

Çalışmada incelenen fizikokimyasal parametreler; sıcaklık (°C), iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), tuzluluk (ppt), toplam çözünmüş katı (g/L), pH, ORP (mV), amonyum (mg/L-N), nitrat (mg/L-N), nitrit (mg/L-N), sülfat (mg/L), fosfat (mg/L), çözünmüş oksijen (mg/l)'dir. Bu parametrelere ek olarak YAS kalitesinde sulama için önemli olan parametrelerden SAR değerleri ve %Na belirli formüllerle analiz edilen parametreler kullanılarak hesaplanmıştır.

2.1.1. Arsenik

Arsenik, yer kabuğunun doğal oluşumuna katılan elementlerdendir. Bu nedenle tüm canlılarda ve ekosistemlerde iz halinde bulunurlar. Ancak

canlılardaki yoğunlukları; endüstriyel etkinliklere, canlının beslenme koşulları ve beslenme şekline göre değişir. Bu doğrultuda insan ve hayvanlara yansıyan arsenik yoğunlukları giderek artmaktadır (Baş ve Demet, 1992). Arsenik doğada genellikle madenler ile birlikte bulunurlar. Yeraltı sularında ise arsenik varlığı genelde sülfür minerallerinin bozulması ve jeotermal alanlardan kaynaklanır. Arsenikli suların düzenli ve uzun süreli kullanımında cilt hastalıkları özellikle de pigmentasyon değişiklikleri (melanosis) ve keratosis görülmektedir. Nadir de olsa cilt kanseri oluşumu bildirilmiştir. Yapılan araştırmalar, kansere kadar ulaşabilen solunum yolu, karaciğer ve idrar yollarına ilişkin sağlık sorunları ile şeker hastalığı, kalp-damar ve sinir sistemi hastalıklarına da yol açtığını göstermiştir. (Tchounwou ve ark., 2004)

Arseniğin kullanıldığı başlıca alanlar şunlardır.

- Pestisit, herbisit ve akarisit formülasyonlarında,
- Yağlı boya sanayinde,
- Seramikçilik ve ağaç koruyucu olarak,
- Sülfürik asit üretiminde,
- Kanatlı ve domuz yemlerinde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

2.1.2. Bor

Bor bileşikleri genellikle yüzeysel sularda endüstriyel kirleticisi veya tarımsal yüzey akışları ile yeraltı sularında ise doğal olarak bulunmaktadır. Borun sularda bulunması daha çok borik asit (H_3BO_3) şeklinde gerçekleşmektedir (Uygan ve Çetin, 2004). Tüm dünya göz önüne alındığında yeraltı sularının bor içeriği 0,3 mg/L ile 100 mg/L, tatlı sularda ise 0,01 mg/L ile 1,5 mg/L arasında değişim göstermektedir (Ünlü ve ark., 2011). Bor seviyelerinin toprakta, bitkide hatta insan vücudunda artmasında önemli rol oynayan etmenlerden biri sulama suyudur. Sulama suyu genellikle yeraltı veya yüzeysel sulardan sağlanmaktadır. Sulama sularındaki bor içeriği ise kayalarından ve havada bulunan bordan kaynaklanmaktadır. 1 mg/L'den fazla bor içeren sulama sularının sulamada kullanılması bitkilerde ve topraklarda sorunlara yol açmaktadır (Uygan ve Çetin, 2004).

Bor; cam, sabun, porselen, seramik, gübre, metalürji, otomotiv, uzay ve havacılık, iletişim, haberleşme, elektronik, bilgisayar, yalıtım, tekstil, dericilik sanayileri gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Borun insan vücuduna girmesi öncelikli olarak yiyecekler ve su ile gerçekleşmektedir. İkincil olarak ise bor madeninin çıkarıldığı veya işlendiği bölgelerde gaz veya toz halinde solunum veya temas yolu ile gerçekleşmektedir. Temas yoluyla borun insan vücuduna girmesinde bir diğer etmende kozmetik maddeler ve ilaçlarla mümkün olmaktadır (Doğan ve ark., 2005).

Borun, çok yüksek derişimlerde alınmasının karaciğer, böbrek ve merkezi sinir sisteminde anormalliklere, kusma, ishal ve baş dönmesi gibi belirtilere yol açmasının yanı sıra zehir etkisinin düşük olduğu yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır. Çocuklarda 15 – 30 g boraks veya 2 – 5 g borik asidin doğrudan alınması durumunda havale ve koma, yetişkinlerde ise baş ağrısı, ishal ve kusma gibi belirtiler ortaya çıktığı gözlenmiştir (Uylaş, 2013).

2.1.3. Kadmiyum

Kadmiyum 1817 yılında keşfedilmiş toksik bir metaldir. Endüstriyel kullanımı yaklaşık 70 yıl öncesine dayanır. Korozif olmama özelliği sebebi ile genellikle kaplama ve galvanizasyon ve uçak sanayinde sanayinde kullanılır. Ayrıca nükleer santrallerde nötron absorblayıcı olarak, insektisit formülasyonlarında, plastik yapımında stablizatör olarak kullanılmaktadır. Bunlardan başka boya ve nikel kadmiyumlu pil sanayinde de yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır. Kurşun üretiminde ise yan ürün olarak oluşur (Eduljee ve ark., 1985).

Endüstriyel atık ve artık maddeler yoluyla toprak ve suya geçen kadmiyum, su ve toprağı kirletir. Yeraltı sularında kadmiyumun artması, zirai mücadele ve çimento sanayinde kullanılan kadmiyumlu atık suların karışmasından kaynaklanabilir (Dopson, 1992). Toprak ve suda biriken kadmiyum, önce sudaki mikroorganizmalara, buradan da besinlerle hayvan ve insanlara yansımaktadır. 16 mg/l kadmiyum içeren suların içilmesi ile abdominal ağrı, kusma ve bulantı gibi belirtiler şekillenir (Baş ve Demet, 1992).

2.1.4. Krom

Krom doğada metalik halde bulunmaz. Magmatik kayalarda minör bileşen olarak, özellikle bazik ve ultra bazik kayalarda bulunur. Kayaların bozunması sırasında kil ve kumlarla birlikte taşınır. Suların içerdiği krom kayalardan ve çoğunlukla endüstriyel kullanımlardan ve tarımdan kaynaklanır. Krom tuzları metal temizleme ve kaplama, alüminyum metalurjisi, paslanmaz çelik, boya, patlayıcı, seramik, kâğıt, tekstil endüstrilerinde kullanılır. Krom bileşikleri ayrıca sondaj borularında ve soğutma kulelerinde korozyonu önlemede, sıcak su ile ısıtma sistemlerinde, yangın söndürme sistemlerinde, gübrelerde ve pestisitlerde kullanılır. Doğal sulardaki derişimi genellikle 0,01 mg/l'nin altındadır. Bununla birlikte bu değerin oldukça üzerinde krom içeren doğal yeraltı sularına da rastlanmaktadır (Kaçaroğlu, 1991).

Yeraltı sularında az miktarda bulunmasına rağmen, atık sulara bağlı olarak besin zinciri ile insan vücudunda yüksek miktarlarda bulunabilmektedir. Günlük krom ihtiyacı 50 – 200 mikrogram arasındadır. Yüksek dozlarda gastrointestinal sistemi hastalıkları ve kanserleri, kanama diatezi ve ciltte alerjik reaksiyonlara sebebiyet verebilir (Varol ve ark., 2008).

2.1.5. Bakır

Bakır yer kabuğundaki kayalarda doğal bakır ve bakır içeren sülfür halinde bulunur. Bununla birlikte bakır minerallerinin çözünürlükleri düşük olduğundan, sulardaki bakırın çok az kısmı doğal kökenlidir. Asidik maden işletmelerinin drenaj suları genellikle yüksek miktarlarda (birkaç yüz mg/l'ye kadar) bakır içerir. Bakır içeren organik ve inorganik bileşikler tarımda fungusit ve pestisit olarak geniş şekilde kullanılır. Doğal sularda bakır, genellikle eser miktarlarda (0,05 mg/l'ye kadar) bulunur. Yeraltı sularındaki bakır derişimi 12 mg/l'ye kadar ulaşabilir. (Kaçaroğlu, 1991)

Bakır insan metabolizmasında rol oynayan ana elementlerden biridir. Bunun dışında kemiklerin, sinir sisteminin ve bağ dokuların gelişiminde önemli role sahiptir. Bakır birçok besin maddesinde de bulunur. Aşırı dozda bakır alımı

böbrek, merkezi sinir sistemi ve sindirim sistemi rahatsızlıklarına yol açar. Ayrıca fazla miktarda bakır içme sularında kötü tat oluşturur. (Kaçaroğlu, 1991)

2.1.6. Demir

Magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalardaki birçok mineralde ve toprakta yaygın olarak bulunan bir elementtir. Yüzey ve yeraltı sularında bulunan demir, kayalardan, topraktan organik atıklardan, endüstriyel atıklardan, kömür küllerinden, kömür yataklarının drenaj sularından, asidik madenlerin drenaj sularından, madencilik endüstrisi atıklarından, çeşitli alanlarda kullanılan demir ve çelik malzemenin korozyonundan kaynaklanır. (Kaçaroğlu, 1991)

Demirin yeraltı suyunda bulunuş şekli esas olarak akiferin oksijen dengesine bağlıdır. Bu denge, akiferin jeolojik yapısı ve karakteristikleri, mevsimsel çevrim, toprak ve temel kayaç tipi, demir bakterilerinin cinsleri ve akiferdeki yeraltı suyu akımı gibi faktörlerle ilişkilidir. Yeraltı suyunun demir içeriğini etkileyen diğer önemli faktörler yükseltgenme-indirgenme koşulları ve pH'tır. Demir'in yeraltı sularındaki derişimi ise genellikle 0,5 mg/l'den yüksek olup, bazı termal kaynaklarda 10 – 100 mg/l arasında değişebilir. (Kaçaroğlu, 1991)

Demir'in vücuttaki yetersizliğinde anemi, halsizlik, yorgunluk, nefes darlığı, müzmin baş ağrıları, uyku düzensizlikleri, çabuk tırnak kırılmaları ve saç dökülmesine, demirin fazla alınmasında ise karaciğer yetersizliği, baş dönmesi ve mide ağrılarına sebep olabilir. (Varol ve ark., 2008)

2.1.7. Manganez

Mangan endüstride yaygın olarak kullanılan bir metaldir. Demir ve çelik işleyen fabrikalarda baca gazları ile bir miktar mangan atmosfere atılır. Endüstriyel atık sular ve asidik maden sularının drene edilmesi ile suni gübre kullanımından kaynaklı karışımlar yüzey ve yeraltı sularında mangan miktarının artmasına neden olur. (Kaçaroğlu, 1991)

Yeraltı sularında mangan derişimi bazı şartlarda 1 mg/l'yi aşar. Manganın akiferde bulunuşu oksijen dengesine bağlıdır. Bu dengede akiferin jeolojik yapısı

ve karakteristikleri, toprak yapısı, mangan bakterileri, yeraltı suyunun akım modeli, yükseltgenme- indirgenme koşulları ve pH gibi faktörlerle ilişkilidir. Bazı yeraltı suları 10 mg/l'ye kadar mangan içerebilir. Yüksek mangan içeren yeraltı sularının çoğu termal kaynaklıdır. Mangan yüksek konsantrasyonlarda Alzheimer hastalığına yol açabilmektedir. (Varol ve ark., 2008)

2.1.8. Nikel

Nikel magmatik kayalarda özellikle bazik ve ultra bazik kayalarda bulunan pek çok mineralin yapısında bulunur. Nikel, paslanmaz çelik ve diğer korozyona dayanıklı alaşımların üretiminde yaygın olarak kullanılır. Bunların yansıra, pil ve bazı mantar zehirlerinin üretiminde de kullanılmaktadır. Nikel tuzlarının sulu çözeltileri astım, burun ve gırtlak kanseri ile alerjik deri iltihaplanmalarına neden olmaktadır. (Kaçaroğlu, 1991)

2.1.9. Kurşun

Jeolojik unsurlardan K-feldispatlar ve magmatik kayalardan yeraltı sularına karışan kurşun, ayrıca endüstriyel atıklar vasıtasıyla da yeraltı sularına ulaşabilmektedir. Kandaki kurşun konsantrasyonun 0,2 ug/ml limitini aşması durumunda olumsuz sağlık etkileri gözlenmektedir.

Çocuklarda sinir sistemi üzerinde toksik etki ile serebral ödem, kafa içi basınç artması ve herniasyon yapabilir. Yetişkinlerde en erken bulgu hemoglobin sentezinin bozulmasıdır ve yine tipik olarak peripherel nöropati ile buna bağlı ellerde felç ve his bozuklukları görülmektedir.

Kronik kurşun zehirlenmelerde iştahsızlık, zayıflama, yorgunluk, başağrısı, anemi, ağızda madeni tat, kansızlık, mide şikayetleri gibi metabolik zehirlenme bulguları, dişetlerinde koyu mavimsi çizgiler ve daha ileri durumlarda sinirlilik, huzursuzluk ve hipertansiyon gözükabilmektedir. (Selinus ve ark., 2005)

2.1.10. Çinko

Çinko yer kabuğunda oldukça yaygın olarak bulunan bir elementtir. En yaygın çinko minerali sfalerittir (ZnS). Bu mineral çoğunlukla kurşun, bakır ve demir gibi elementleri sülfürleri ile birlikte bulunur. Çinko mineralleri sedimanter kayalar da ve toprakta özellikle orman topraklarındaki humus tabakasında oldukça yaygındır.

Çinko endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptir. Boya, lastik, tekstil, kimya, metalurji, gübre endüstrilerinde kullanılır. Fosil yakıtların yakılması ve kurşun-çinko cevherlerinin yüksek fırınlarda kavrulması ile bir miktar çinko atmosfere katılır. Yüzey ve yeraltı sularının iç erdiği çinko kayalar dan, topraktan, endüstriyel atıklardan, gübrelerden ve atmosferden kaynaklanır. Çinko oksit suda az çözünür. Doğal yüzey ve yeraltı sularındaki çinko miktarı genellikle düşük olup 0,05 mg/l den azdır.

Çinko insan için görel i olarak zehirli olmayan bir elementtir ve 25 mg/l'ye kadar yükselen derişimlerde birkaç olumsuz etkisi görölmüş tür. Yüksek derişimleri suya, süte benzer görünüş ve metalik veya buruk tat kazandırır (Kaçar oğlu, 1991).

2.1.11. Potasyum

Yeraltı sularındaki potasyum miktarı potasyumlu minerallerin (Potasyumlu feldispatlar gibi) bozunumuna, duyarlı potasyum minerallerinin oluşmasına (illit), iyon değışimine ve gözenek sularının yeraltı sularını beslemesine bağıdır. Potasyum iyonunun kandaki eksikliğinde vücutta yorgunluk, kaslarda kramplar, kabızlık, kalpte ritim bozuklukları görölmektedir. İçme suyundaki düşük ve yüksek konsantrasyonların insan sağığına doğrudan bir etkisi yoktur (Varol ve ark., 2008).

2.1.12. Kalsiyum

Yeraltı sularına kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, fluorit, plajiyoklas, piroksen, amfibol ve feldspat minerallerindeki kalsiyumun çözünmesi ile karışır. Kalsiyum, evriminin büyük bir kısmını yeraltı sularında geçirir; hareketli ve hafif tuzlu sularda genellikle bol miktarda bulunur. Atmosfer basıncının ve sıcaklığın artması, sudaki kalsiyum miktarını artırır (Bayındır, 2006). Genel olarak yeraltı sularında kalsiyum miktarı 10 – 100 mg/l arasında değişir. Bazen bu miktar 500 – 1000 mg/l'ye kadar çıkmaktadır. Karbonat kayaçlarının bulunduğu bir bölgedeki sularda kalsiyum derişimi 30 – 100 mg/l arasında değişir (McNeely ve ark., 1979).

Kalsiyum insan beslenmesinde önemli elementlerden biridir. İnsan vücudu, yaklaşık günde 1 g kalsiyuma gereksinim duyar. Kalsiyum, suda 1000 mg/l'yi aştığında, damar sertliği ve böbrek taşlarının oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Suyun sertliğine sebep olan iyonlardandır (Varol ve ark., 2008).

2.1.13. Magnezyum

Yeraltı sularına çoğunlukla magnezyumlu kalker, dolomit ve serpantizasyon sonucu açığa çıkan magnezyum karbonatın eritilmesiyle karışır. Magnezyumun kalbi koruyucu, ritim bozukluklarını önleyici bir etkisi vardır. Suyun sertliğine sebep olan iyonlardandır. Su sertliğinin az olduğu yerlerde kalp-damar hastalıklarının yaygınlığının arttığı tespit edilmiştir (Selinus ve ark., 2005). Buna karşın bazı çalışmalarda da su sertliğinin kardiyovasküler hastalıklar karşısında koruyucu olmadığı bulunmuştur. Sonuçta su sertliğinin sağlığa faydasıyla ilgili kılavuzlara girmiş bir öneri yoktur. Yüksek seviyelerde alınması bağırsak rahatsızlıklarına neden olmaktadır (Varol ve ark., 2008).

2.1.14. Alüminyum

Alüminyum, yeryuvarının dış kabuğunda en çok bulunan üçüncü element olmasına karşın doğal sularda çok az miktarda bulunur. Alüminyum, feldspat,

feldspatoid, mika ve amfibol gibi magmatik kayaç minerallerinde yüksek seviyelerde bulunurlar. Sedimanterlerde ise alüminyum açısından zengin olan mineraller killerdir (Demir, 2008).Alüminyum hemen hemen bütün gıdalarda ve içme sularında doğal olarak bulunmasına rağmen su, alüminyum en fazla taşıma potansiyeline sahip etkidir (Bakar ve Baba, 2009).

Günümüzde insan sağlığı ile ilişkisi gittikçe önem kazanan alüminyum genellikle zararsız bir bileşen olarak bilinmektedir; fakat yine de yüksek derişimlerine ya da düşük dozlarına uzun süreli maruz kalındığında sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bu yüzden vücuda fazla alüminyum alınması sakıncalıdır. Yaşamın her safhasında ve birçok alanda karşılaşılabileceğimiz alüminyumun insan vücuduna etkisi; gastrointestinal, hematolojik, iskelet sistemine ve sinir sistemine etkiler şeklinde sıralanabilir. Alüminyumun bugüne kadar saptanan en önemli etkisi sinir sistemi üzerinedir (Onur, 1997).

2.1.15. Sodyum

Sodyum, alkali metal grubu elementlerdendir. Magmatik kayaç yapısında sedimanter kayalardan daha fazla sodyum bulunmaktadır (Hem, 1992).

Doğal bileşiklerinden sodyum klorürün tabiattaki bolluğu ve suda çözünürlüğünün yüksek olması sularda bol miktarda sodyum bulunmasına neden olmaktadır. Sodyum deniz suyunda yüksek derişimlerde bulunur ve bu miktar 10000 mg/l'ye kadar çıkmaktadır. Yeraltı suyunda ise kayalarla temas süresi ve sıcaklığı sodyumun sudaki konsantrasyonunu artıran başlıca etkenlerdir. Yeraltı sularında sodyum içeriğı 6 – 150 mg/ arasında değişmektedir (Kaçaroglu, 1991).. Sodyumun tuz bileşigi halinde yarattığı tuzluluk nedeniyle de, sulama sularında yüksek seviyelerde olması istenmez (Garrels, 1967).

Sulardaki yüksek sodyum miktarı toprağın yüzeyinde sert bir kabuk oluşmasına neden olarak bitki köklerinin hava almasını engelleyerek ve bitkinin büyümesini yavaşlatıcı etki yapar. Tuz bileşigi halindeki sodyum tansiyonu yükselten bir element olduğu için yüksek tansiyon rahatsızlığı olanların az sodyumlu suları tüketmesi önerilmektedir (Akgiray, 2003).

2.1.16. Silisyum

Silisyum suda çok zor çözünmesine karşın yer kabuğunda bol bulunan bir elementtir. Yeryüzünde çok aktif olduğu için doğada serbest olarak bulunması mümkün değildir. Fakat bütün kayalarda, kum, kil ve topraklarda ya oksijenli bileşiği olan silis (SiO_2) halinde ya da oksijen ve alüminyum, magnezyum, kalsiyum, sodyum potasyum, demir gibi başka elementlerde oluşturduğu silikatlar halinde bulunur (Aksoy, 2006). Doğal sularda silika (SiO_2) genel olarak 1 – 30 mg/l arasında değişen konsantrasyonlarda bulunur. Ancak bazı sularda 100 mg/l'ye ulaşan konsantrasyonlar görülmüştür (Hem, 1992).

Silisyum, insan vücudunun normal gelişimi ve beslenmesi için gerekli olan 25 element arasında yer almaktadır (Sripanyakorn ve ark., 2005). İnsan vücudunda çok küçük miktarlarda ve deri, tendon, kemik episisi, aort duvarları, bağ dokusu gibi belirli organlarda bulunur. Silisyumun insandaki miktarı ve eksikliğinin sebep olduğu sorunlar yapılan araştırmalara rağmen net değildir. Eksikliğinin kalp hastalığı ve damar sertliği ile ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca fazla silisyum alınmasının kanserojen etki yaparak yemek borusu kanseri yaptığı öne sürülmektedir (Aksoy, 2006).

2.1.17. Sıcaklık

Yüzey sularının sıcaklığı, coğrafi konum, yükselti, mevsimi, günün farklı saatleri, akarsu debisi, derinlik ve kirletici kaynaklardan karışan atık özelliklerine bağlı olarak değişir. Yeraltı sularının sıcaklıkları genellikle yüzey sularına göre daha düşüktür ve daha homojen dağılım gösterirler.

Su ortamındaki fiziksel, biyolojik ve kimyasal süreçler sıcaklığın etkisi altındadır. Suların sıcaklığı kapsamı geniş olan bir parametredir ve standart sıcaklık önermek güçtür. İçme sularının kullanıcı üzerinde serinletici etkisi olması ve sıcaklığı 15°C altında olması istenir (Kaçaroğlu, 1991).

Su sıcaklığının yükselmesi oksijenin suda çözünürlüğünü azaltır, yüksek sıcaklık birçok kimyasal bileşiğin çözünürlüğünü artırarak kirleticilerin sudaki canlı yaşamı üzerindeki etkilerini artırır (Stevens ve ark, 1975).

2.1.18. İletkenlik

Elektriksel iletkenlik (kondüktivite) suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal olarak ifadesidir. Suların elektriksel iletkenliği, iyonların suda varlığına, toplam derişimine, hareketliliklerine, değerklerine, görelî değışimlerine ve sıcaklığa bağıdır. Sıcaklık artışı ile suların elektriksel iletkenlikleri de artar. Sulardaki iyonların varlığı arttıkça elektriksel iletkenlik de artar, dolayısıyla elektriksel iletkenlik seviyeleri sudaki toplam iyon konsantrasyonu hakkında iyi bir indikatördür. (Day ve Nightingale, 1984)

Yeraltı sularının elektriksel iletkenliği yüzey sularına oranla daha geniş aralıkta değışir. Yeraltı sularının içerdikleri iyonların toplam derişimi ve dolayısıyla elektriksel iletkenliği suların yeryüzüne çıkıncaya kadar izledikleri yola, kayaçların cinsine ve çözünürlüklerine, iklime, bölgedeki yağış koşullarına bağıdır. Yeraltı sularının iletkenliği bazı bölgelerde deniz suyunun yaklaşık iletkenliği olan 50000µS/cm'ye ulaşabilmektedir. İçme sularında iletkenlik seviyeleri genellikle 50 – 1500 µs/cm arasında değışmektedir. (Kaçaroğlu, 1991).

2.1.19. Nitrit

Nitrit sularda düşük miktarlarda bulunan bir azot bileşigidir. Oksijenin bulunduğu ortamda kararsız durumda olduğundan, amonyak ve nitrat arasında veya nitrat ve azot oksit arasında geçiş formu olarak bulunur. Suda nitritin bulunuşu organik kirlenme tarafından etkilenmiş aktif biyolojik süreçlerin varlığını gösterir. Nitrit, insan ve hayvanlar için nitrattan daha fazla zehirleyicidir.

Nitritin vücutta oluşumu iki nedenden dolayı önemlidir. Birinci neden, kandaki hemoglobini metahemoglobin haline dönüştürerek oksijen taşıyamaz hale getirmesi, ikinci neden, belli koşullar altında nitritin vücuttaki ikincil ve üçüncül amiler ve amidlerde reaksiyona girerek bazıları kanserojen olarak bilinen nitrosaminleri oluşturmasıdır. Bu süreç insan midesinin asidite değeri olan pH 1 – 5 aralığında meydana gelir. pH değeri 3,5 veya daha küçük olduğunda reaksiyon hızı artar (Kaçaroğlu, 1991).

2.1.20. Nitrat

Nitrat, yeraltı sularına doğal kökenli unsurlardan daha çok antropojenik olarak (suni gübreler ve katı atıklar) karışmaktadır. İçme sularında olması gereken maksimum nitrat sınırı 50 mg/l'dir. Daha önceden bu miktar üzerindeki nitrat su değerlerinin bebekler için zararlı olduğu ve mavi bebek hastalığına sebep olduğu kabul edilmekteydi. Fakat son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda içme suyundaki nitrat ile bebeklerde methemoglobinemi oluşması arasında doğrudan bir bağlantı kurulmasının yanlış olacağı, nitratın bu hastalık oluşmasında etkili olabilecek birçok faktörden biri olabileceği sonucuna varılmıştır. (Varol ve ark., 2008)

2.1.21. Sülfat

Yeraltı sularına jips, anhidrit, magmatik kayalar ve organik maddeler ile karışmaktadır. Bu doğal kaynaklar dışında deri, selüloz, tekstil, sülfürik asit, metalürji endüstrisi atık suları, asit yağmuru ve kükürt içeren maden sahalarının drenaj suları da yüzey ve yeraltı sularındaki SO_4^{2-} miktarını arttıran kaynaklardır (Demir, 2008)

Sülfür bileşikleri çeşitli reaksiyonlar sonunda oluşturdukları tat, koku, toksisite ve korozyon gibi problemleriyle önemli kirletici konumundadırlar. Sodyum sülfat ve magnezyum sülfat insanlarda müshil etkisi yaratacağından 250 mg/l üst sınırla sınırlandırılmışlardır (Atabey, 2005).

2.1.22. Fosfat

Fosfor, su ortamlarındaki çok yönlü ve karmaşık kimyasal ve biyokimyasal dengelerin anahtar elemanlarından biridir. Sularda fosfor çeşitli fosfat türleri şeklinde bulunur. Yeraltı sularında fosforun ana kimyasal bileşeni PO_4^{3-} iyonudur. Doğal su ortamlarında, su ve atık su arıtımında gerçekleşen pek çok reaksiyon girer. Canlı protoplazmanın kuru ağırlık olarak yaklaşık %2'sini fosfor oluşturur. Bu nedenle fosfor, özellikle fotosentezle üretim yapan ototrof canlıların

büyümelerini sınırlayıcı etkilere sahiptir. Fosfor bileşikleri (fosfatlar) insan, hayvanlar ve balıklar için genellikle zehirleyici değildir. Çok nadir olarak bulunan elementer fosfor, zehirleyici özelliğe sahiptir (Kaçaroğlu, 1991).

2.1.23. Çözünmüş oksijen

Oksijen suda orta derecede çözünebilen bir gazdır. Yeraltı suyundaki oksijen, suyun yüzeysel sularından beslenimi ve su tablasının üzerindeki doymamış bölgede havanın hareketi ile sağlanır. Bu akış yolu üzerindeki oksitlenebilen maddelerle (organik maddeler, pirit, siderit vb.) reaksiyona girer. Eğer akış yolu üzerinde çok az reaktif madde varsa çözünmüş oksijen içeren su uzun bir yol kat edebilir. Oksijeni kullanan reaksiyonların bulunmadığı sistemlerde yeraltı suları önemli miktarda çözünmüş oksijen içerebilir. Birçok nedenden dolayı, yeraltı sularındaki çözünmüş oksijenin ölçüsü standart bir uygulama haline gelmemiştir. Yeraltı suyundaki çözünmüş oksijen derişimi organik kirliliğin belirteci olarak kullanılmaz. Suyun herhangi bir kullanımı için önemli olmayabilir (Kaçaroğlu, 1991).

2.1.24. Yükseltgenme-indirgenme potansiyeli

Yükseltgenme-indirgenme potansiyeli (ORP) yeraltı suyu gibi sulu çözeltilerin yükseltgeme ve indirgeme durumlarını gösteren sayısal bir indekstir. Ayrıca redoks potansiyeli (Eh) olarak da bilinir. Yükseltgenme potansiyeli pozitif, indirgeme potansiyeli negatif olarak gösterilir. ORP ölçümleri genellikle milivolt cinsinden gösterilir. Doğal kirlenmemiş yeraltı sularında ORP +500'den -100 mV' a kadar değişim göstermektedir (Brownlow, 1979).

Organik bileşikler ile kontamine olmuş yeraltı suları genellikle negatif yönde -400 mV seviyesinde ORP değerleri sergiler (Wiedemeier ve ark., 1997).

ORP verileri özellikle pH verileri ile beraber kullanıldığında, çözünmüş metaller ve diğer kimyasal türlerin beklenen oksidasyon durumunu değerlendirmek için yararlıdır. Akiferler ve diğer doymuş bölgeler açık sistemler olduğundan farklı birçok değişken ile etkilenir ve bu nedenle ORP ve pH verileri

tam olarak bir gösterge sayılamayacağından yeraltı suları içindeki mevcut kimyasal türler mutlaka ölçülmelidir (Hem 1992, Rose and Long, 1988). Bununla beraber, ORP değerleri çözünmüş oksijen değerlerini elde etmek veya bunların yerine bir parametre olarak kullanılamaz (Red and Long, 1988).

2.1.25. Hidrojen potansiyeli

pH hidrojen iyonlarının konsantrasyon veya etkinliklerinin bir ölçüsüdür ve sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Suların pH'ı hidrojen iyonu üreten veya oluşturan birbirleri ile ilişkili kimyasal reaksiyonlar tarafından kontrol edilir. Kirlenmemiş yeraltı suları genellikle 5 – 9 arasında değişen bir pH değerine sahiptir. pH, yeraltı suyu kalitesi verilerinin yorumlanması için önemlidir (Puls and Barcelona, 1996).

pH ölçümleri, hidrojen üreten veya tüketen kimyasal reaksiyonların varlığını yansıttığından dolayı arka plandaki pH değişimleri yeraltı sularında kirlenmenin veya var olan bir kirliliğin yayıldığını gösterir (Hem, 1992).

2.1.26. Çözünmüş toplam katı

TDS, suyun içinde çözünmüş bulunan inorganik tuzlar (özellikle kalsiyum, magnezyum, potasyum, sodyum, bikarbonat, klor ve sülfatlar) ve az miktarda da organik maddelerden oluşmaktadır. Yeraltı sularında toplam çözünmüş madde miktarı kanalizasyon sularından, sanayi ve endüstriyel atık sulardan karışımla artabilir. Yolların buzlanmaması için kullanılan tuzlar da yeraltı sularında TDS miktarının artışında etkili olurlar. Farklı jeolojiye sahip bölgelerde TDS'nin değişen konsantrasyonları, minerallerin çözünürlükleri arasındaki fark nedeniyle olmaktadır (Demer, 2008).

2.1.27. Amonyum

Amonyum doğal sularda, amonyak (NH_3) bileşiğinin bulunan halidir. Yeraltı sularında amonyumun (NH_4^+) doğal kaynakları organik (metabolik prosesler)ve

inorganik (kayaç ayrışması, hidrotermal aktivite gibi), antropojenik kaynağı ise gübreler ve endüstriyel faaliyetlerdir. Amonyak, arıtılmış evsel atık suların yaygın bileşenlerinden birisidir. Sentetik gübreler amonyak ve amonyum tuzları içerirler. Nitrifikasyon sürecinde amonyum yeraltı sularında yükseltgenerek nitrata dönüşür (Kayabalı, 2003).

2.1.28. Tuzluluk

Tuzluluk; özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde yikanarak yeraltı suyuna karışan çözünebilir tuzların yüksek taban suyuyla birlikte kapillarite yoluyla toprak yüzeyine çıkması ve buharlaşma sonucu suyun uçmasıyla toprak yüzeyinde birikmesi olayıdır (Kwiatowsky, 1998). Yeraltı sularında tuzluluk sulama yapılan alanlarda önem taşımaktadır. Yüksek seviyelerde tuzluluğa maruz kalan tarım alanlarında bitki ve toprakta kuruma ve toksik etki görülmektedir. Tuzluluk doğal sulara 5 ppt, deltalarda 5-30 ppt ve denizlerde 30 ppt'den seviyelerinde bulunmaktadır. (Özkaldı ve ark, 2004)

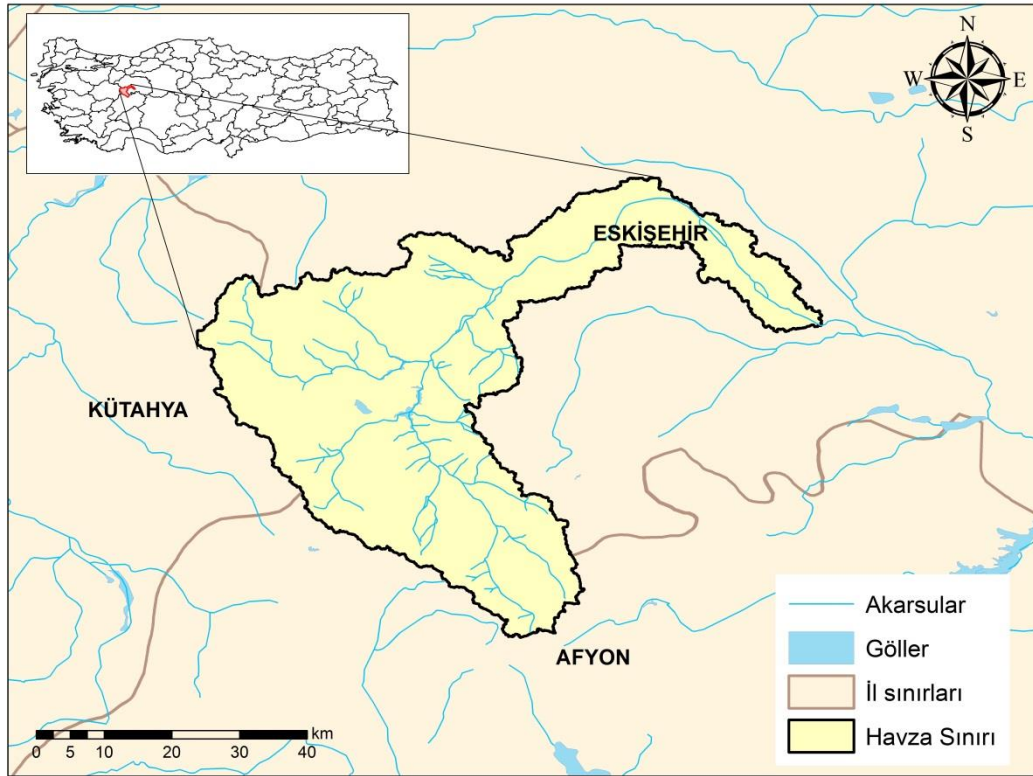
2.1.29. Sodyum absorpsiyon oranı ve yüzde sodyum

SAR sulama sularının tarım alanlarında kullanıma uygun olup olmadığını belirlemede kullanılan çok önemli bir parametredir, çünkü bu oran alkali ve sodyumun ürünlere zarar verebilecek boyutta olup olmadığını belirler. Yüzde sodyum oranı da SAR değerleri gibi yeraltı sularının tarımsal alanlarda sulama suyu olarak kullanıma uygun olup olmadığını gösteren önemli bir parametredir (Güllüoğlu, 2006).

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Çalışma Alanının Tanıtımı

Seydisuyu Havzası İç Anadolu Bölgesinde yer alan, sularını Seydisuyu tarafından Sakarya Nehrine boşaltan sahayı kapsamaktadır. Seydisuyu Havzası; Kuzeyde Sakarya - Sarısu, Porsuk - Sarısongur, Porsuk - Kalabak; güney batıda Büyük Menderes, Gediz, Porsuk - Sarısongur, güneydoğuda ise Sakarya - Bardakçı ve Akarçay Havzaları ile sınırlanır. Büyük bölümü Eskişehir, kısmen de Afyon ve Kütahya İlleri sınırları içerisinde yer alan havzada; Eskişehir iline bağlı Seyitgazi, Mahmudiye ilçeleri ile Kırka Bucağı ve 51 köy bulunmaktadır. Seydisuyu Havzası'nın alanı 180.571 hektar olup, Eskişehir yüzölçümünün yaklaşık % 13'ünü kaplar (Göktay, 1991).

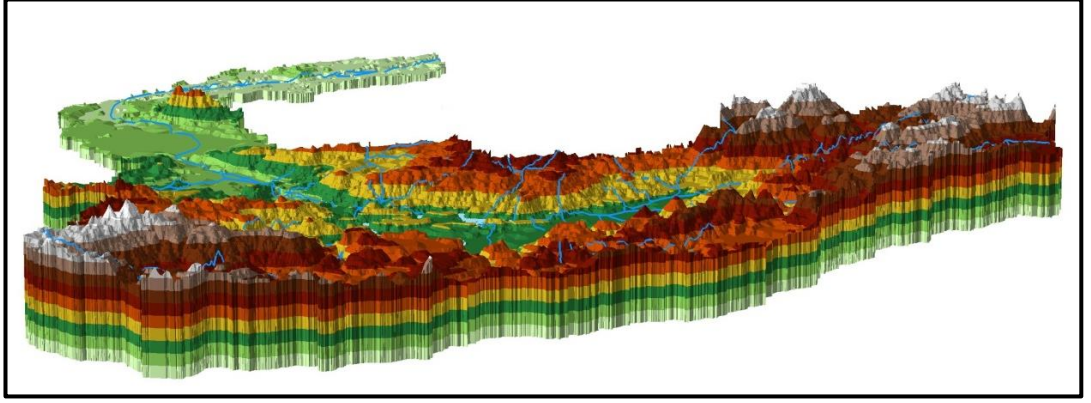


Şekil 3.1. Seydisuyu Havzası

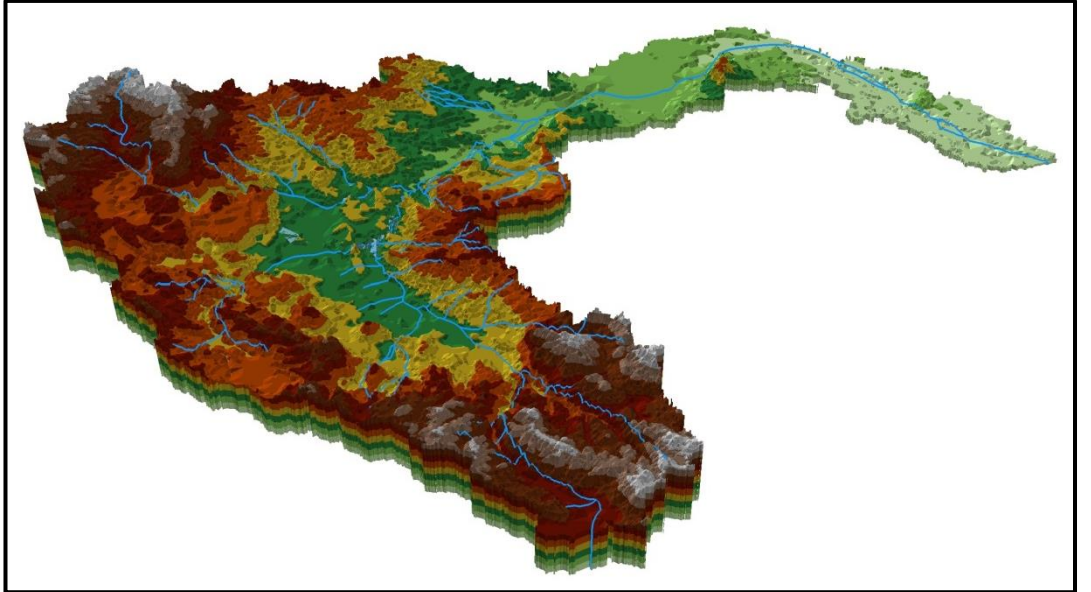
Çalışma alanı, coğrafi bilgi sistemleri araçlarından ArcGIS 10 yazılımı kullanılarak görselleştirilmiş ve CBS analiz teknikleri desteğiyle havzaya ait

özellikler incelenmiştir. Seydisuyu Havzası topoğrafya haritası için 30 m çözünürlüklü ASTER sayısal yükseklik haritası kullanılmıştır.

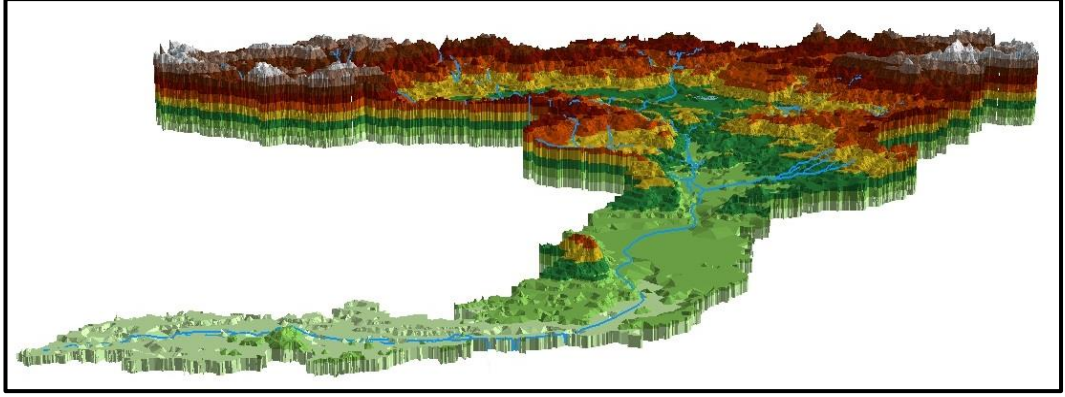
Havzada en çok rastlanan yüzey şekli, vadilerle yarılmış, yüksekliği çoğu yerde 900 – 1000 m.'yi bulan, üzerinde birçok tepe ve dağ kütlelerinin yer aldığı aralarına da ova çukurlarının girdiği yüksek düzlüklerdir. Havzanın güney batısı ve doğusu tepelik ve dağ kütleleri ile kaplıdır. Havzanın güney doğu kesiminde uzanan Şaphane Dağı'nın yüksekliği 1785 m.'ye kadar çıkar. Bu engebeli yapı çukurda kalan vadi düzlükleri ile birbirinden ayrılır (Şekil 3.2. a, b, c ve d.). Bunların en bilineni havzaya ismini veren Seydisuyu Vadisi'dir (Göktay, 1991).



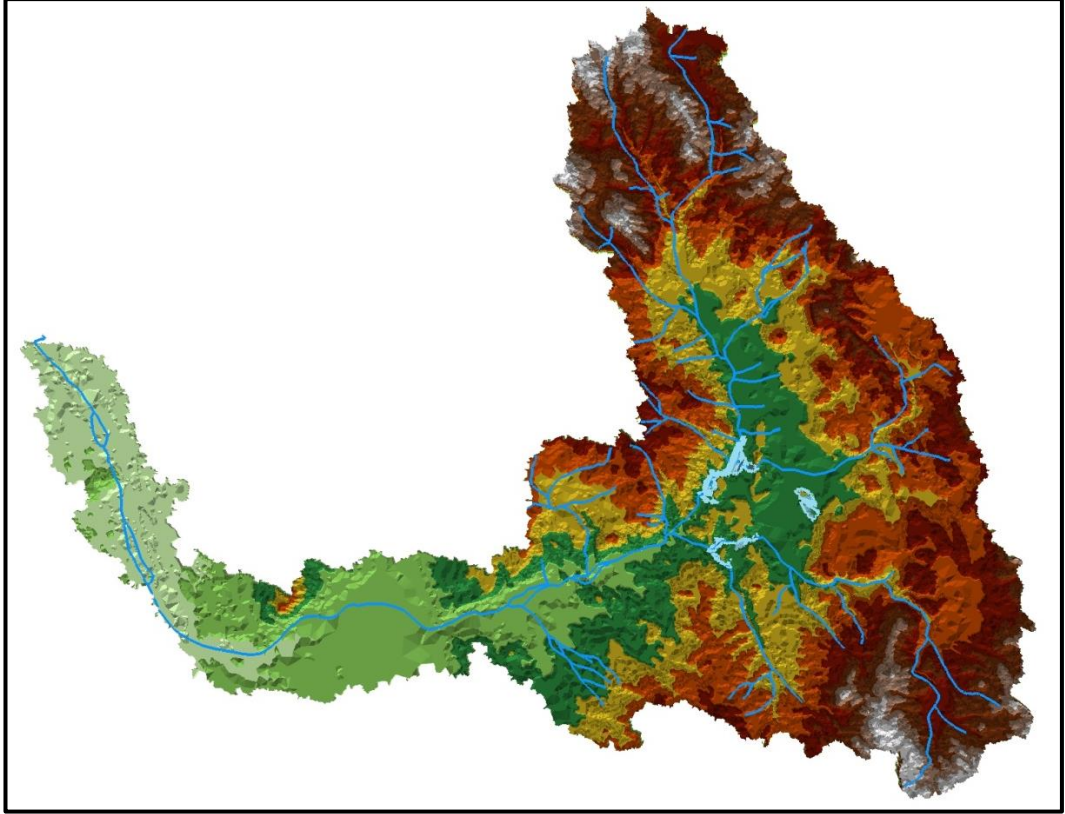
Şekil 3.2. (a) Seydisuyu Havzası topoğrafya haritası kuzeyden bakış



Şekil 3.2. (b) Seydisuyu Havzası topoğrafya haritası güneyden bakış

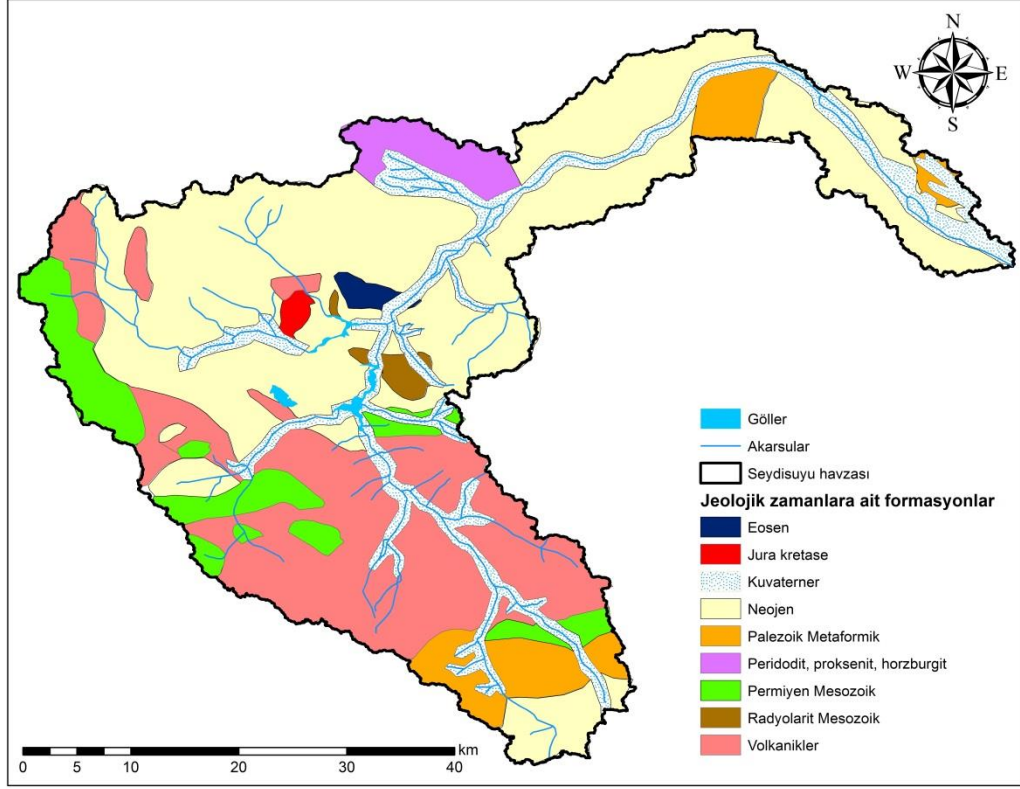


Şekil 3.2. (c) Seydisuyu Havzası topoğrafya haritası doğudan bakış



Şekil 3.2. (d) Seydisuyu Havzası topoğrafya haritası üstten bakış

Havzanın jeolojik yapısı Göktay (1991)'ın yapmış olduğu “Sakarya Seydisuyu Toplama Havzası “ adlı çalışmasından yararlanılarak CBS ortamına aktarılmıştır. Havza farklı jeolojik zamanlara ait formasyonlar ile gösterilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Seydisuyu Havzası jeoloji haritası

Paleozoik yaşı birimlerini havzanın farklı alanlarında sınırlı şekilde yüzeyde görmek mümkündür. Çoğunlukla metamorfik şist ve mermerler ile temsil edilmiştir. Havzanın temelini oluşturan bu paleozoik yaşı birimler daha genç birimler tarafından özellikle neojen yaşı sediman ve volkanitler ile örtülmüştür.

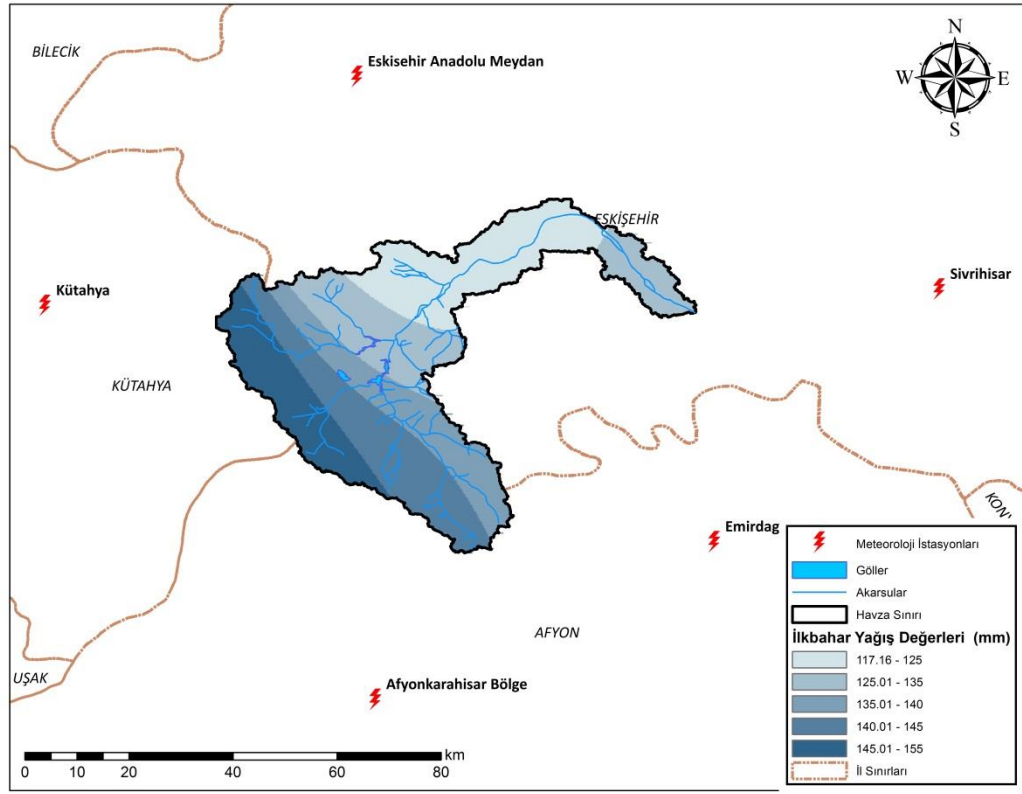
Havza içerisinde en az yayılım gösteren Litoloji birimleridir mesozoik yaşı formasyonlardır. Numanoluk, Çatören köyleri ile Gemiç Köyü kuzeyinde ofiyolitler (yeşil kayalar ve serpantin) yayılım gösterir. Gemiç Köyü ile Göknebi Köyü arasında Jura-Kreatase yaşı kireçtaşı, kumtaşı, radyolit ve kilitaşı ve marn tabakaları, neojen formasyonunun sedimentler ve volkanik fasiyesleri ile örtülü durumdadır. Havzanın kuzeyinde Ayvalı Köyü ile Taşlık Köyü civarında magmatik intrüzyonlar sonucu oluşan peridotit, proksenit ve hartzburgit litoloji birimler yer almıştır (Göktay, 1991)

Neojen yaşı çökeller ile volkanitler Şekil 3.3.'de görüldüğü üzere havzanın büyük bir bölümünü kaplamaktadır Göknebi Köyü yakınında Eosen yaşı kumtaşı, kaba kireçtaşı, marn ve kireçtaşı tabakaları yer almıştır. Bu tabakalar üzerinde

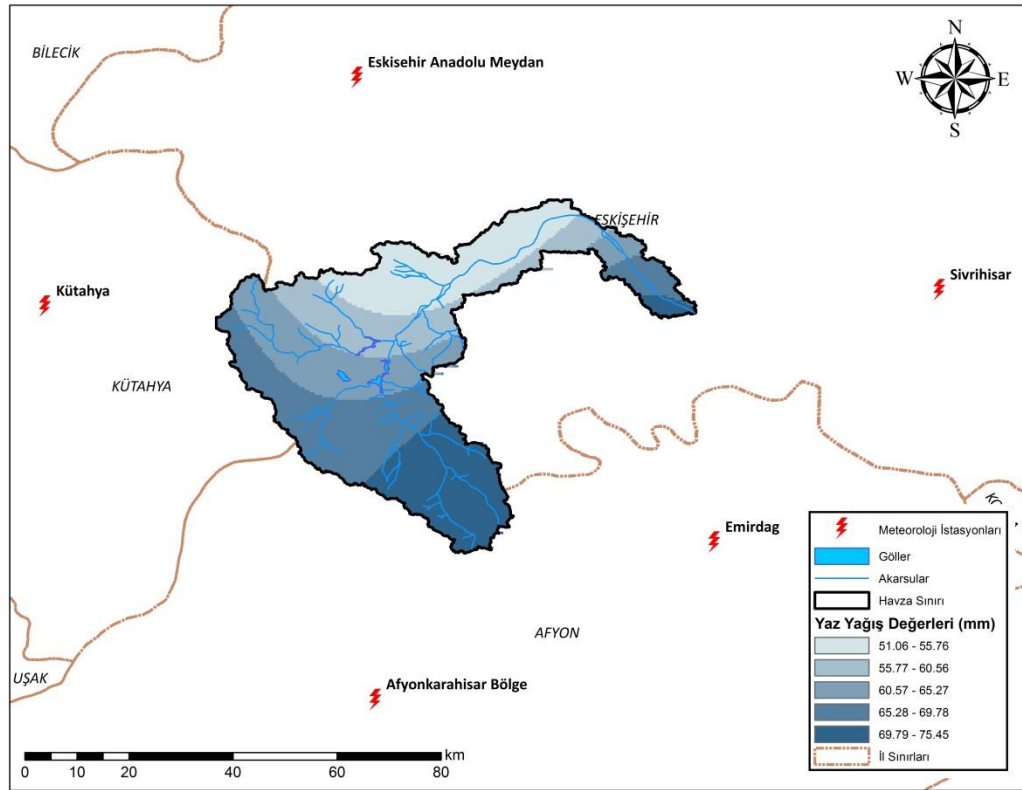
kordan olarak olifosen ve miyosen yaşı marn, kil, kireçtaşı kumtaşı, konglomera ve kum-çakıl tabakalarından oluşan ve göl tabakalanmasında çökelen sedimenter formasyon havzanın orta ve kuzeyinde çok geniş yayılım gösterir. Bu formasyon ile hem yanıl ve hem de düşey geçişler gösterebilen ve neojen volkanizması sonucu oluşan sedimentler tuf ve tüfler havzanın konularını aynen korumuşlar ve topoğrafyada geniş düzlüklerle temsil edilmiştir. Neojen tabakaları acı göl ortamında çökmesi sonucu özellikle Kırka yöresi civarında dünyaca ünlü boraks yatakları oluşmuştur (Göktay, 1991).

Seydisuyu Havzası, içinde bulunduğu İç Anadolu Bölgesin iklim koşullarını taşır. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Kirlilik parametrelerine nicelik yönünden etkisi olan meteorolojik veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir. Seydisuyu Havzası için havzaya en yakın meteoroloji istasyonlarından okunan yağış ve buharlaşma verileri CBS ortamına aktarılıp ters ağırlıklı mesafe yöntemi (IDW) kullanılarak havzaya ait yağış ve buharlaşma dağılım haritaları oluşturulmuştur.

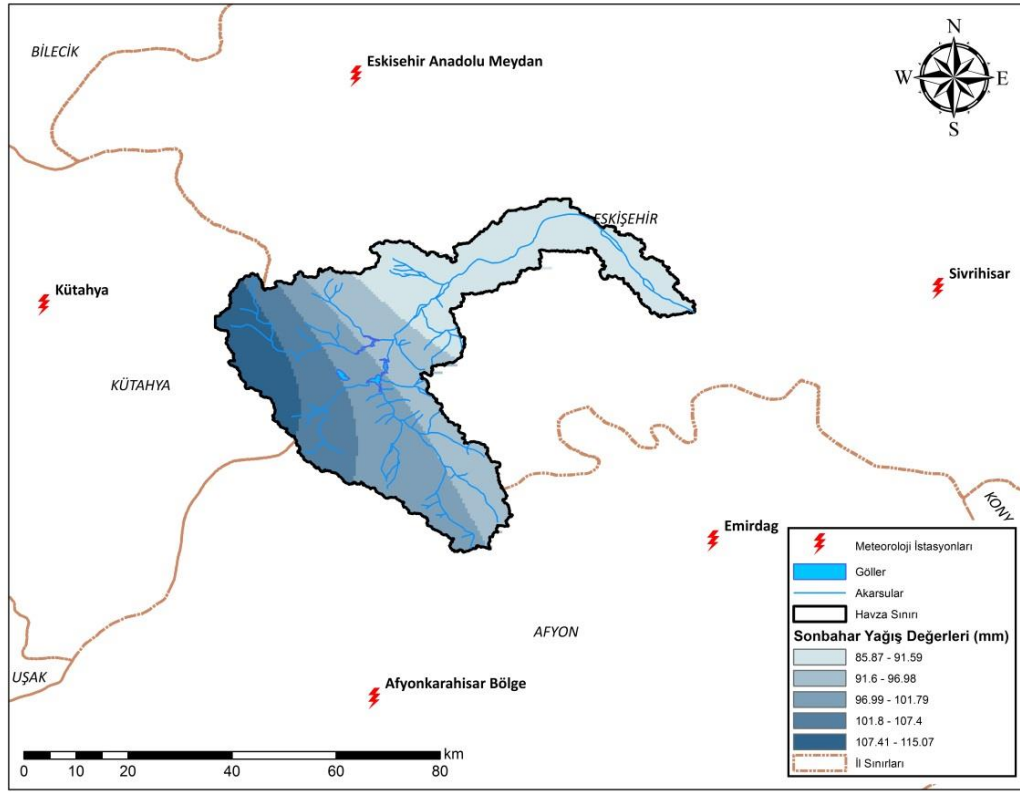
Yağış dağılım haritası için 5 meteoroloji istasyonundan 1991-2011 yılları arasındaki 20 yıl süreli aylık yağış verileri elde edilmiştir. Bu verilerin aritmetik ortalamaları alınarak elde edilen aylık değlerlerin mevsimsel toplamalarına ait yağış miktarları Şekil.3.4 a, b, c, d.'deki şekilde haritalandırılmıştır.



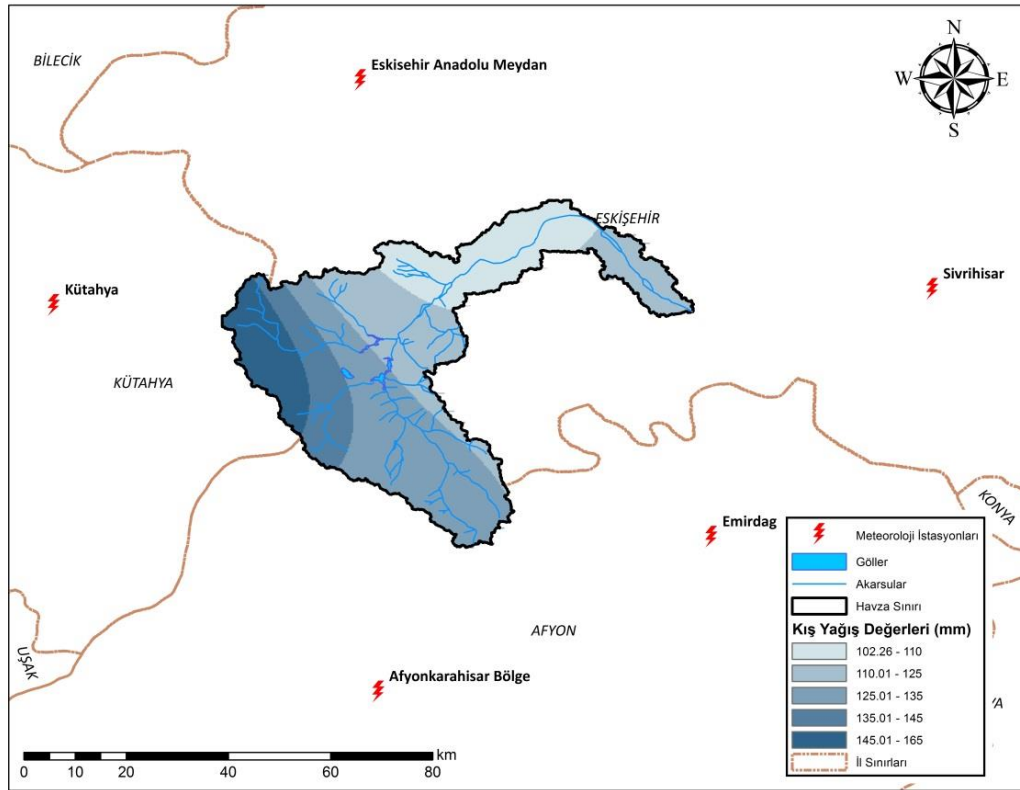
Şekil 3.4. (a) Seydisuyu Havzası mevsimsel yağış miktarları dağılım haritaları ilkbahar mevsimi



Şekil 3.4. (b) Seydisuyu Havzası mevsimsel yağış miktarları dağılım haritaları yaz mevsimi

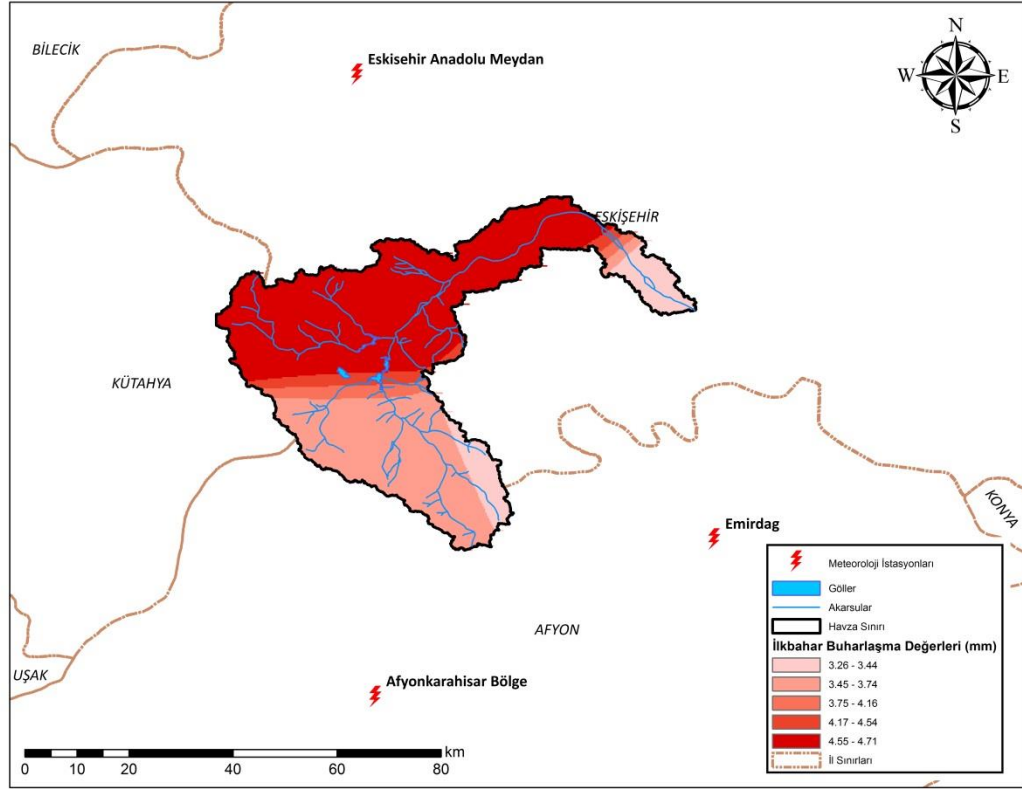


Şekil 3.4. (c) Seydisuyu Havzası mevsimsel yağış miktarları dağılım haritaları sonbahar mevsimi

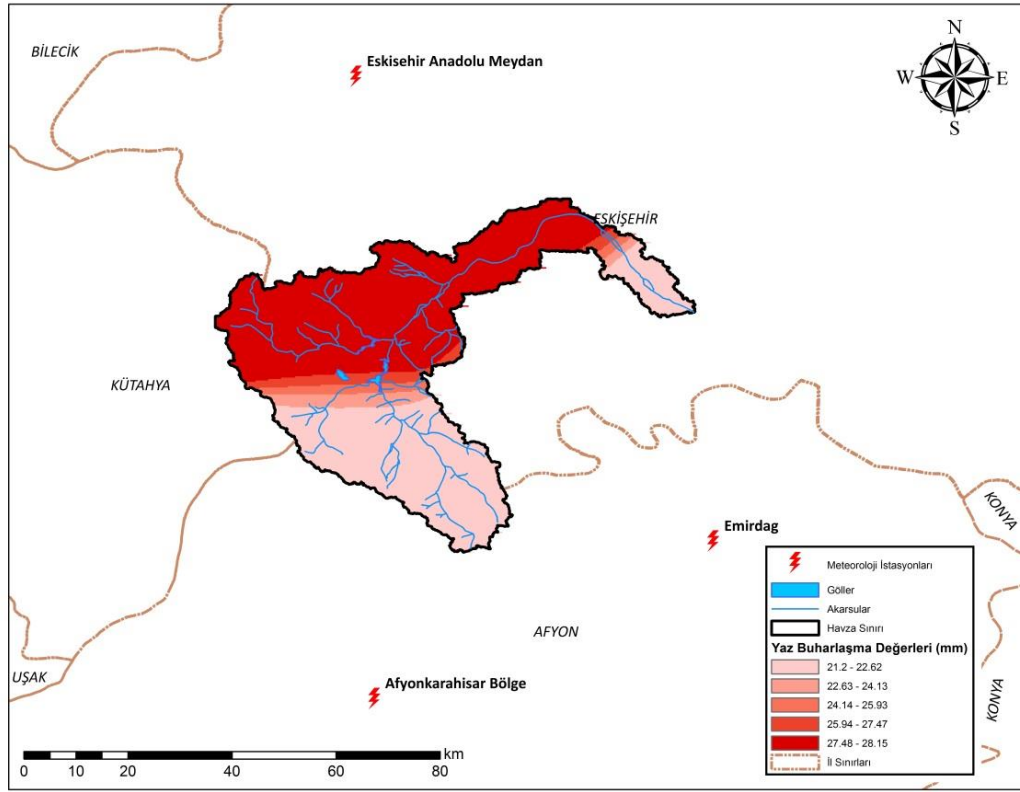


Şekil 3.4. (d) Seydisuyu Havzası mevsimsel yağış miktarları dağılım haritaları kış mevsimi

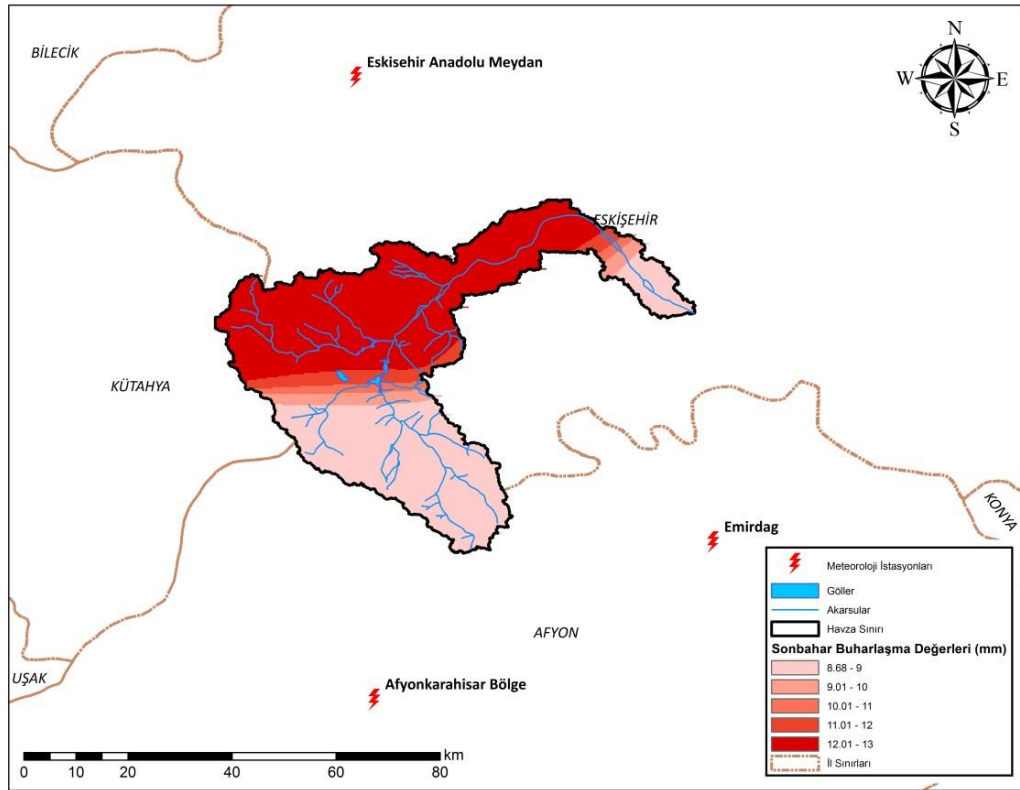
Havzaya ait buharlaşma dağılımı haritaları 1991-2011 yılları arası 20 yıllık verilere sahip 3 meteoroloji istasyonu kullanarak oluşturulmuştur (Şekil 3.5 a, b, c). Buharlaşmanın gerçekleşmediği kasım ayı sonbahar mevsimi ortalamalarına katılmamış, kış mevsimi ise haritalandırılmamıştır.



Şekil 3.5. (a) Seydisuyu Havzası buharlaşma miktarları dağılım haritaları ilkbahar mevsimi

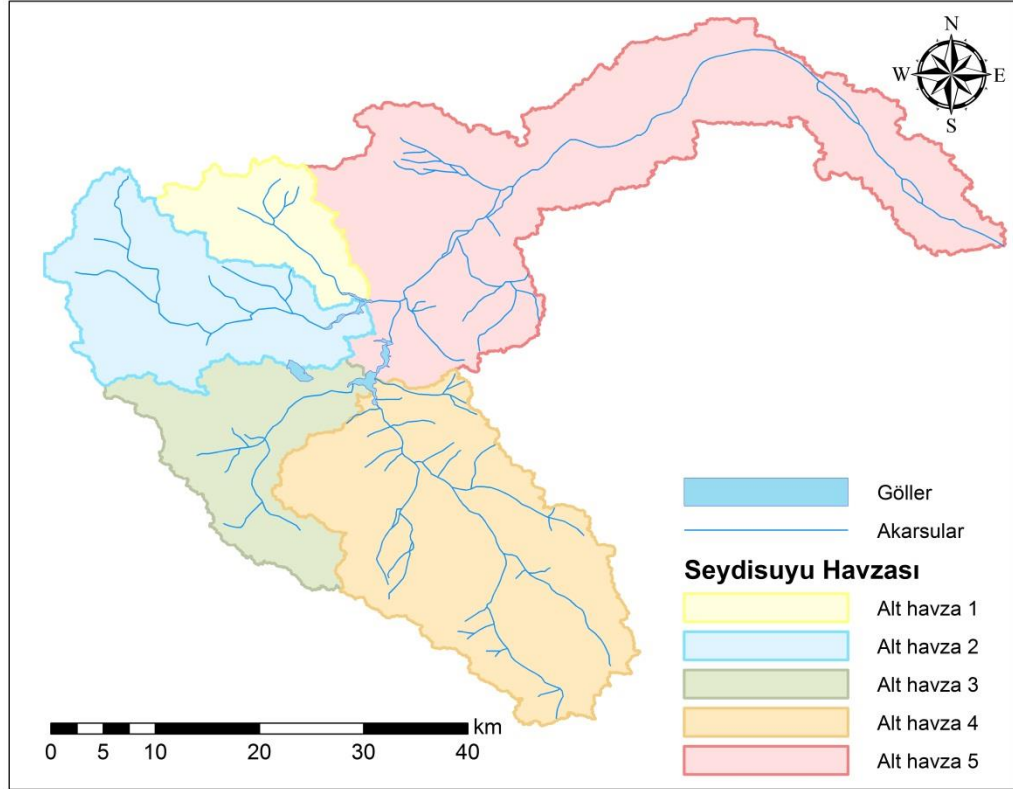


Şekil 3.5. (b) Seydisuyu Havzası buharlaşma miktarları dağılım haritaları yaz mevsimi

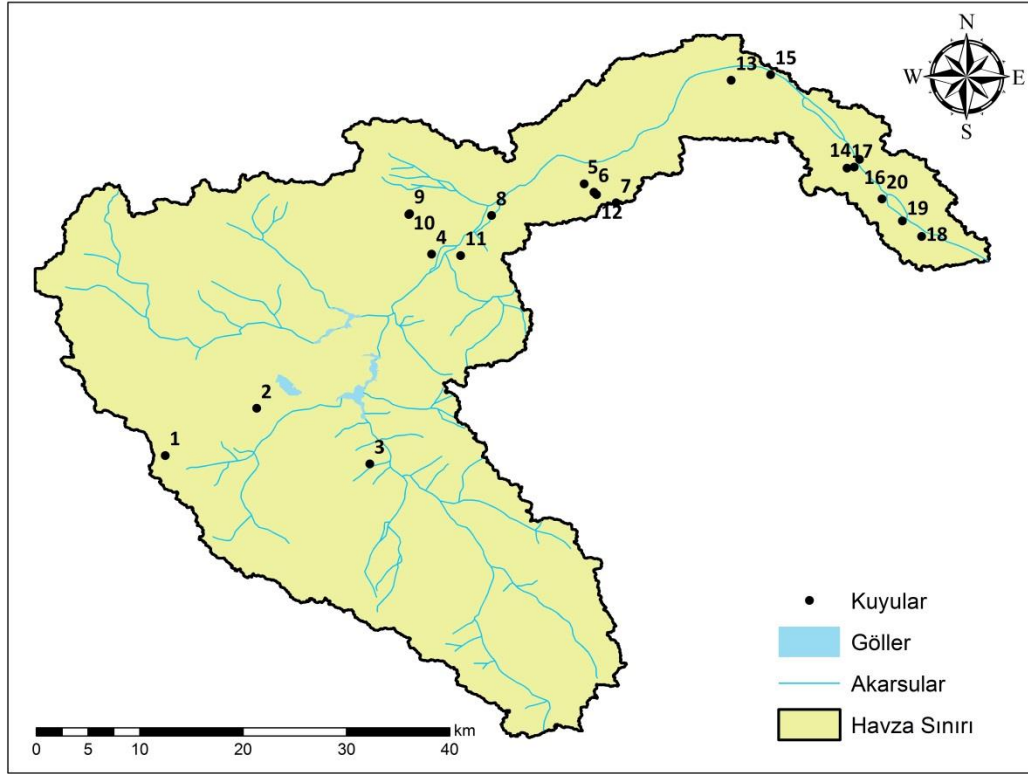


Şekil 3.5. (c) Seydisuyu Havzası buharlaşma miktarları dağılım haritaları sonbahar mevsimi

Bu çalışmada ArcGIS 10 yazılımının araçlarından olan ArcHYDRO aracı özellikleri kullanılarak, Seydisuyu Havzasının su akış yönleri ve drenaj ağı parçaları üzerinden sınırları belirlenen 5 alt havzası bulunmuştur (Şekil 3.6.). Bu havzalardan en geniş alana sahip olan ana alt havza (alt havza 5), Çatören ve Kunduzlar barajlarının mansabında kalmaktadır.



Şekil 3.6. Seydisuyu Havzası alt havzaları



Şekil 3.7. Kuyu (örnek) noktaları

Havzanın fiziki şartları, örnek alınabilecek noktaların dört mevsim ulaşılabilir olmaması ve mevcut açık kuyu bulunmaması gibi kısıtlayıcı nedenlerden dolayı numune alınan noktalar Şekil 3.7'deki görüldüğü üzere havzanın üst kısmında yoğunluk göstermektedir. Çalışma öncesinde yapılan arazi keşifleriyle 40'a yakın olarak belirlenen örnek noktaları, ulaşımı engelleyen olumsuz hava şartları, kuyularda yaşanan sorunlar nedeniyle dört mevsim boyunca sürekliliği sağlayacak veriler elde edilemediğinden dolayı 20 kuyu olarak sonuçlanmıştır.

DSİ'den alınan kuyu bilgileriyle çoğunluğu derin kuyu olmak üzere 10'u sulama amaçlı, 9'u içme amaçlı ve 1'i de artezyen olarak 20 kuyuya ait bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kuyulara ait bilgiler

İstasyonlar	Koordinatlar	Zemin Kotu (m)	Kuyu Derinliği (m)	Mevki	Kullanım amacı
Kuyu 1	N: 39.23589° E: 30.39845°	1246	25	Ovacık Köyü	İçme
Kuyu 2	N: 39.27687° E: 30.47783°	1079	186.9	Kırka Beldesi	Artezyen
Kuyu 3	N: 39.22866° E: 30.57604°	1058	170	Karaören Köyü	İçme
Kuyu 4	N: 39.41094° E: 30.62988°	974	50	Kesenler Köyü	İçme
Kuyu 5	N: 39.47202° E: 30.76241°	957	167	Yazıdere-Gümüşbel Yolu	Sulama
Kuyu 6	N: 39.46468° E: 30.77084°	955	202	Yazıdere-Gümüşbel Yolu	Sulama
Kuyu 7	N: 39.45549° E: 30.79006°	954	162	Yazıdere-Gümüşbel Yolu	Sulama
Kuyu 8	N: 39.44451° E: 30.68197°	956	120	Seyitgazi İlçesi	İçme
Kuyu 9	N: 39.44612° E: 30.6108°	1048	175	Arslanbeyli Köyü	Sulama
Kuyu 10	N: 39.44539° E: 30.610112°	1040	114	Arslanbeyli Köyü	Sulama
Kuyu 11	N: 39.40977° E: 30.65513°	993	176	Örencik Köyü	İçme
Kuyu 12	N: 39.46267° E: 30.77316°	955	198	Doğançayır Beldesi	İçme
Kuyu 13	N: 39.56195° E: 30.89019°	941	48	Yeşilyurt Köyü	İçme
Kuyu 14	N: 39.48658° E: 30.99699°	882	53	Mahmudiye İlçesi	İçme
Kuyu 15	N: 39.56689° E: 30.92443°	899	55	Hamidiye Köyü	İçme
Kuyu 16	N: 39.4933° E: 31.00157°	884	146	TJK	Sulama
Kuyu 17	N: 39.48563° E: 30.99065°	886	150	TİGEM	Sulama
Kuyu 18	N: 39.42622° E: 31.0555°	870	150	TİGEM	Sulama
Kuyu 19	N: 39.439783° E: 31.038833°	872	151	TİGEM	Sulama
Kuyu 20	N: 39.45891° E: 31.02101°	875	200	TİGEM	Sulama

3.2. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

Mart 2012 – Şubat 2013 tarihleri arasında mevsimlik olarak yapılan arazi çalışmalarında Seydisuyu Havzası'nda belirlenen 20 kuyudan yeraltı suyu örnekleri alınmıştır. Arazi çalışmaları süresince koordinatlar Garmin marka el tipi GPS cihazı ile belirlenmiştir.

Yeraltı suyu numunelerinde sıcaklık (°C), iletkenlik (µS/cm), tuzluluk (ppt), toplam çözünmüş katı (g/L), pH, ORP (mV), amonyum (mg/L-N), nitrat (mg/L-

N), çözünmüş oksijen (mg/l) seviyeleri numune alındığı anda Hydrolab DS55 cihazı ile yerinde, nitrat (mg/L), nitrit (mg/L) ve sülfat (mg/L) değerleri ise uygun koşullarda muhafaza edilerek laboratuvara getirilen örneklerde Hach Lange marka (DR 890) multi parametre ölçüm cihazı ile tespit edilmiştir (EN ISO 10304-1, EN ISO 10304-2, EN ISO 26777).

YAS kalitesinde değerlendirilecek parametrelere ek olarak SAR ve %Na sodyum değerleri (3.1) ve (3.2) kullanılarak elde edilmiştir. Formüllerde kullanılan parametreler mek/l cinsinden kullanılmıştır (Şahinci, 1991)

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2}+Mg^{+2}}{2}}} \quad (3.1)$$

$$\%Na = \frac{100 \times Na^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2}} \quad (3.2)$$

Arsenik, bor, gümüş, kadmiyum, bakır, demir, manganez, sodyum, nikel, kurşun, çinko, potasyum, magnezyum, alüminyum, kalsiyum ve silisyum seviyelerinin belirlenmesi için laboratuvara getirilen yeraltı suyu örneklerine pH<2 olacak şekilde (1+1) nitrik asit ilave edilmiş ve pH'ı ayarlanan örnekler 0,45 µm gözenek çaplı membran filtrelerden süzölmüştür. Su örneklerindeki element seviyeleri Analytic Jena ContrAA 700 marka atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile belirlenmiştir (EPA Method 7000b).

Krom değerlerinin belirlenmesi için iyi karışmış ve asitle korunmuş örnekten 100 ml ± 1 ml alınarak 250 ml'lik behere aktarılmış, ölçölmüş hacimde örnek içeren behere 2 ml (1+1) nitrik asit ve 1 ml (1+1) hidroklorik asit eklenmiştir. Çözeltinin buharlaşması için beher ısıtıcı, üzerine yerleştirilmiştir. Beherin ağzı saat camı ile kapatılıp 85°C'de yavaşça ısıtılarak (kaynatmadan) örnek hacminin yaklaşık 20 ml'ye inmesi sağlanmış sonrasında beherin soğuması için beklenmiştir. Örnek çözeltisi nicel olarak 50 ml balon jøjeye aktarılmış ve saf su ile 50 ml hacme tamamlanıp karıştırılmıştır. Bir gece bekletilerek çözünmemiş katıların çökmesi sağlanıp, hazırlanmış örneğin bir kısmı berrak olana kadar santrifüj edilmiş ve 0,45 µm gözenek çaplı membran filtreden (selöloz nitrat) süzölmüştür.

Kuyuların haritalandırılması için kullanılan yöntem ters uzaklık yöntemi (IDW)dir. Bu yöntem temelde Shepard's Yöntemi (3.3) olarak bilinen matematiksel fonksiyonu kullanmaktadır (Shepard 1968).

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i \quad (3.3)$$

$$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n h_j^{-p}} \quad (3.4)$$

Fonksiyon, tahminde kullanılan ağırlıklar mesafeye ters orantılı olarak mesafenin herhangi bir üssü şeklinde ifade edilir (3.4). Burada “p” değeri üssü göstermektedir. Ağırlıkları gösteren “w_i” değerlerinin toplamı ise 1 olmak zorundadır. Fonksiyon bilinmeyen noktanın değerini bilinen noktaların yakın olanlarına daha çok ağırlık verirken uzak olanlarına daha az ağırlık vererek bulur (Franke ve Nielson, 1980).

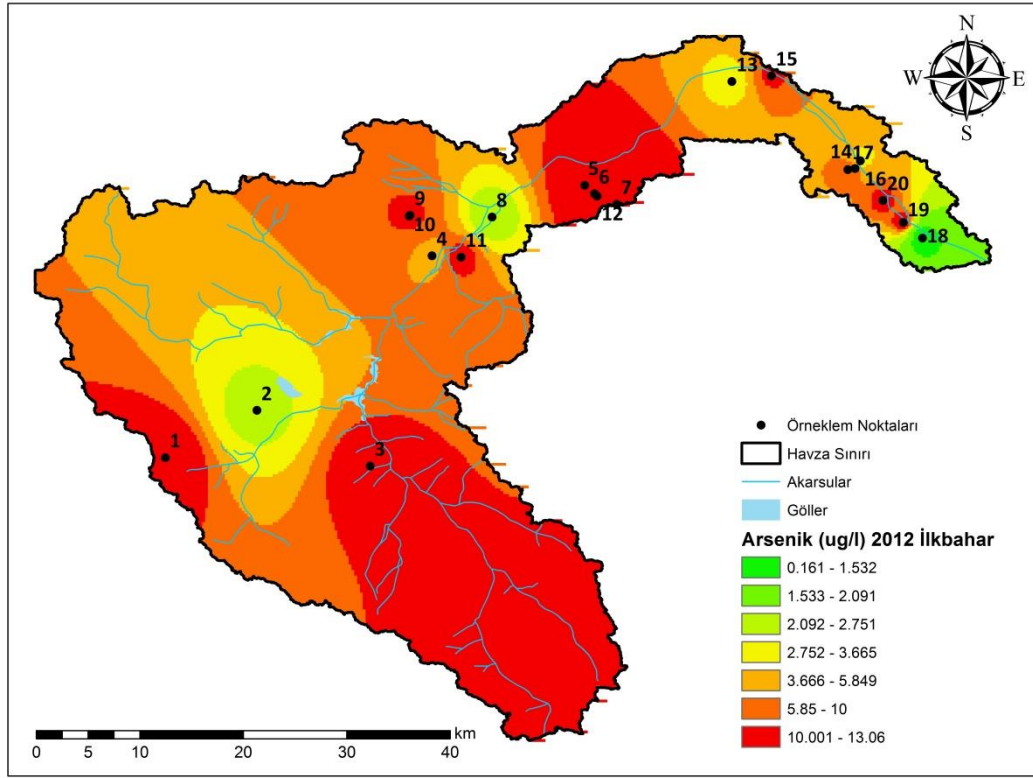
Çalışmada mesafenin etkisini daha etkin gösterebilmek adına p değeri 2 olarak alınmıştır. Elde edilen haritalar yeraltı suyunun bir bütün olarak kabul edilmesi ile kirlilik parametrelerinin alansal mesafeye bağlı yayılımı hakkında fikir vermektedir. Gerçek dünyada yeraltı geçirimli – geçirimsiz katmanların varlığı, yeraltı suyunun durumu gibi vb. faktörler dolayısıyla kirlitici parametrelerin havzadaki bulunuşları ve yayılımı daha farklı gerçekleşebilir ancak bu çalışmayla oluşturulan haritalar, noktasal örneklerin değerlendirilmesi ve havzaya ait yeraltı suyu kirlilik düzeyinin belirlenmesi hakkında bir yol gösterici olarak kullanılabilir. Özellikle havzanın daha az örnekleme noktası içeren alt kısmında oluşan dağılımların sadece gösterim açısından renklendirildiği göz önünde bulundurulmalı, bu bölgelerde yeraltı suyunun kirli veya temiz olduğu sonucuna peşin olarak varılmamalıdır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

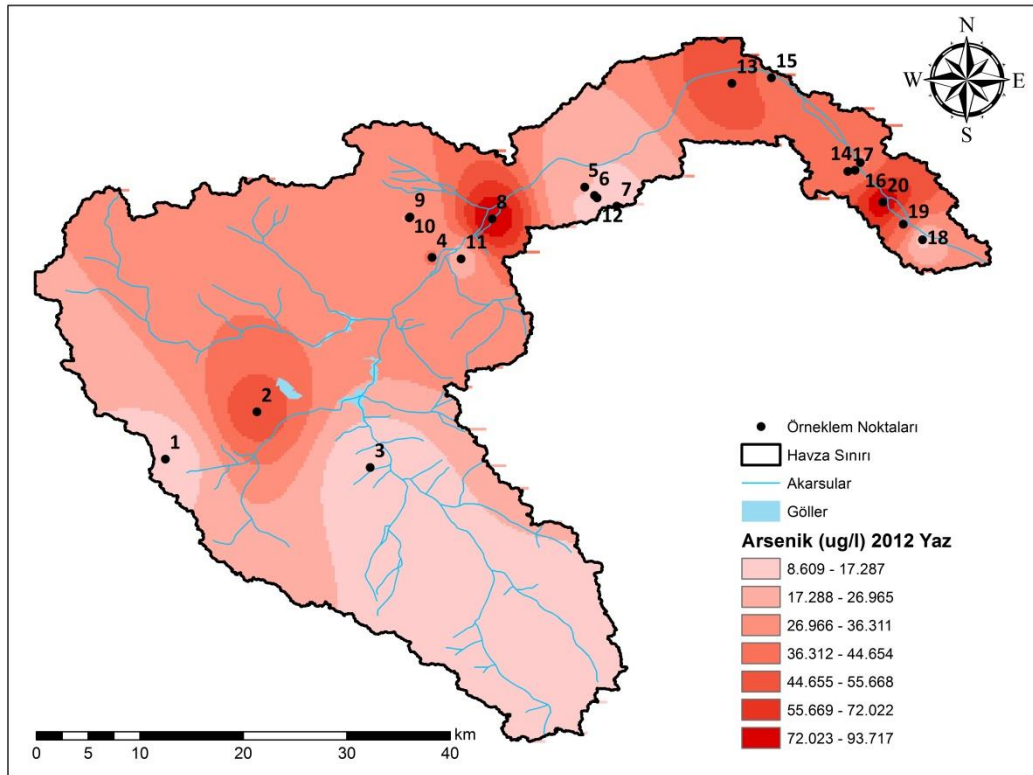
4.1. Element ve Fizikokimyasal Analiz Sonuçları

Çalışma alanı olan Seydisuyu Havzası'nda belirlenen 20 kuyudan alınan yeraltı suyu örneklerinde elementel parametreler olarak arsenik (As) ve bor (B) olmak üzere gümüş (Ag), kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), manganez (Mn), sodyum (Na), nikel (Ni), kurşun (Pb), çinko (Zn), potasyum (K), magnezyum (Mg), alüminyum (Al), kalsiyum (Ca) ve silisyum (Si) analizleri yapılmıştır. Bunun yanında fizikokimyasal parametrelerden sıcaklık (°C), iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), tuzluluk (ppt), toplam çözünmüş katı (g/L), pH, ORP (mV), amonyum (mg/L-N), nitrat (mg/L-N), nitrit (mg/L-N), sülfat (mg/L), fosfat (mg/L), çözünmüş oksijen seviyesi (mg/l) parametreleri incelenmiştir. Kış mevsiminde çalıştırılmadığından dolayı 5, 6, 7, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 19 ve 20 nolu kuyulardan numune alınamamıştır.

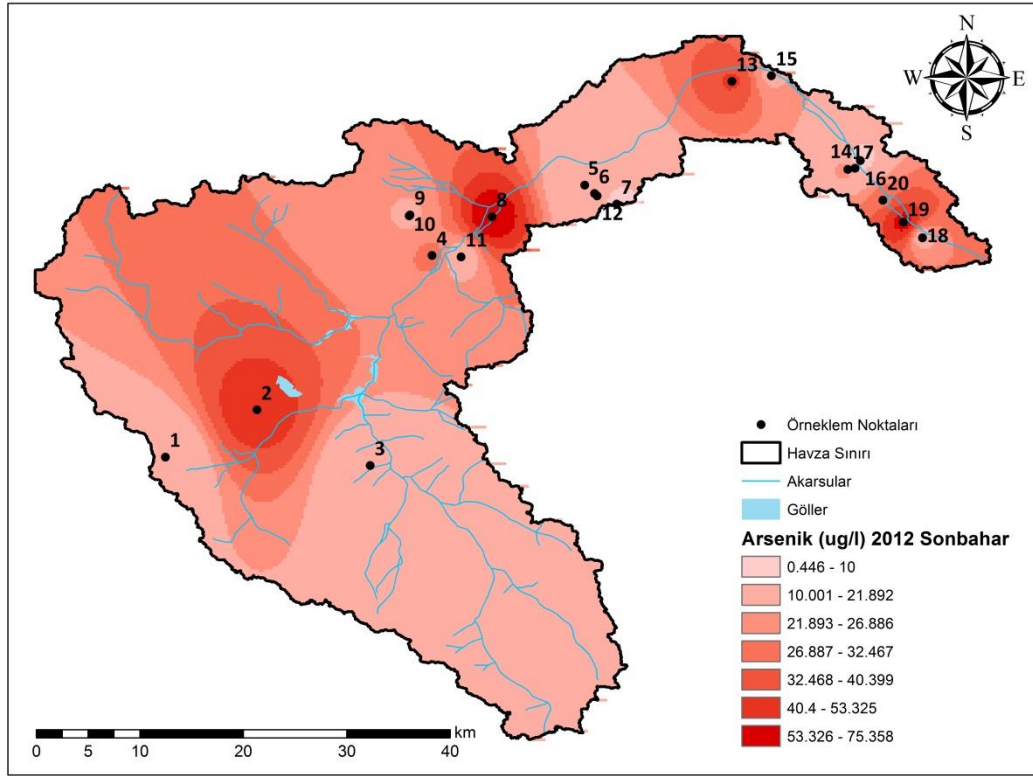
Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak kirlilik haritaları oluşturulmuş ve yasal mevzuatlarda ve standartlarda belirtilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır. Örnekleme kuyularının bazılarının içme amaçlı kullanımı olmalarından dolayı yasal mevzuatlar olarak Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (Anonim, 1998), Çevre Koruma Ajansı (EPA, 2012), Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2003) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (Anonim, 2005)'te verilen limit değerler dikkate alınmıştır.



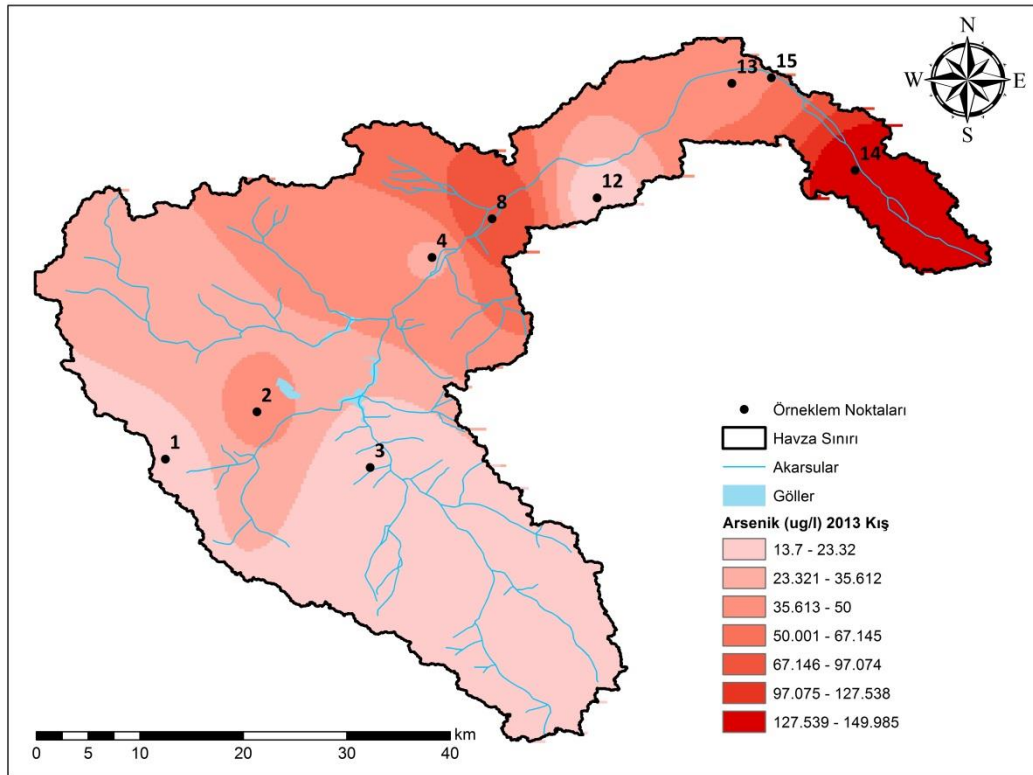
Şekil 4.1. Arsenik Seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.2. Arsenik seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.3. Arsenik seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.4. Arsenik seviyeleri kış mevsimi

İlkbahar mevsimi arsenik seviyeleri Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Kuyular arasında seviyeler 0 – 13 ug/l arasında değişmektedir. Mevsimdeki seviyeler EPA, WHO, Avrupa Birliği İçme Suyu Kriterleri ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik gibi ulusal ve uluslararası standartlar ve mevzuat değerlerinde belirtilen 10 ug/l sınır değerini az miktarda aşmıştır. 2, 8, 13 ve 17 nolu kuyular dışındaki diğer kuyular arsenik açısından sorunlu olarak görülmektedir.

Şekil 4.2.'de yaz mevsimi arsenik seviyelerinde ilkbahara göre gözle görülür ve insan sağlığını tehdit edecek şekilde artış görülmektedir. Seviyeler yaklaşık 10 ug/l ile 95 ug/l arasında değişmektedir. Özellikle, Seyitgazi içme suyu kuyusundan ve sulama amaçlı kullanılan kuyu 20'den alınan numunelerde yüksek arsenik seviyelerinin olduğu görülmektedir. 5, 6, 7 ve 12 nolu kuyular ile 1 ve 3 nolu kuyuların olduğu bölgelerde nispeten daha düşük seviyelerde arsenik içeriği görülmektedir.

Sonbahar mevsiminde arsenik seviyeleri az miktarlarda azalma göstererek genel olarak ilkbahar mevsimine paralel olarak eğilim göstermektedir. Bu mevsimde yapılan analizler sonucu örneklerde 0,5 – 75 ug/l arasında seviyelere rastlanmıştır (Şekil 4.3). Seyitgazi içme suyu kuyusu ve kuyu 19 mevsimin en yüksek arsenik değerlerine sahiptir.

Şekil 4.4'de görülen kış mevsimi arsenik seviyeleri yaz ve sonbahar mevsimlerinde gösterilen eğilimi devam ettirmiştir. Bu mevsimde ölçülen en yüksek arsenik değeri yaklaşık 150 ug/l olarak Mahmudiye içme suyu kuyusunda kaydedilmiştir. Bu seviye içme suları sınır değerini 15 katı kadar aşmaktadır. Seyitgazi içme suyu kuyusunda da yaklaşık 100 ug/l ölçülen arsenik değeri mevsimin yüksek değerlerindendir.

Mevsimler arası seviyelerin değişimi, yağışlardan kaynaklı süzülme ve çekilen suların kayaç minerallerinin arasına oksijen girmesine ve dolayısıyla yeraltı suyundaki karbondioksitin uzaklaşarak ortamın pH'nın artmasından kaynaklı arsenik bileşiğinin suda çözünürlüğünü artmasıyla açıklanabilir.

Sulardaki arsenik düzeylerinin çeşitliliği arazinin coğrafi yapısına, artezyen ve kuyu sularının derinliklerine ve kirletici kaynaklarının durumuna bağlıdır. Ortalama 100 – 300 m derinliğindeki artezyen sularındaki arsenik düzeyi 0,35 –

1,14 mg/l arasında iken, yüzeysel kuyu sularında 0,00 – 0,30 mg/l olarak bulunmuştur (Chen ve ark., 1988).

Şimşek (2005) Balçova jeotermal sahasındaki sularda, insan ve bitkiler için toksik etki gösteren bor (B) ve arsenik (As) yoğunluğu araştırması yapmıştır. Derinliği 60 m ve daha derin olan kuyulardan alınan örneklerde 10,9 mg/L B, 170,1 ug/L As elde edilmiştir.

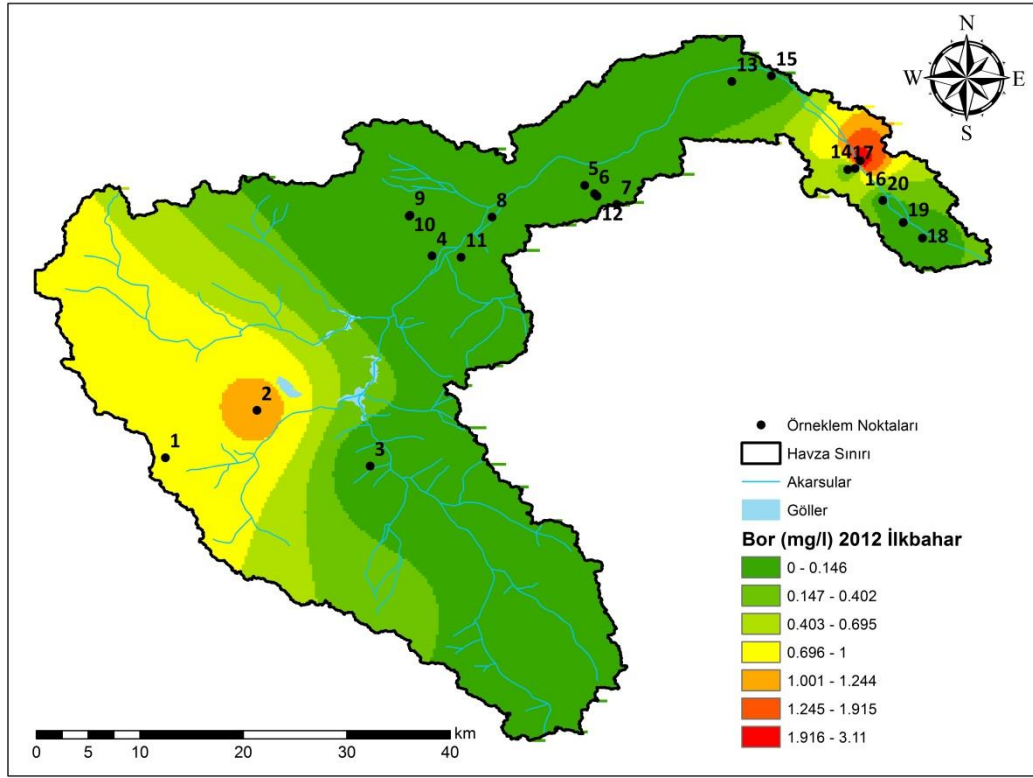
Bhattacharya ve ark. (2002), Bangladeş’de yaptıkları çalışmada Bengal delta akiferinde topladıkları numunelerde 2,5 – 846 ug/l arası arsenik seviyeleri tespit etmiştir.

Gündüz (2009) yaptığı çalışma ile Simav Ovası yeraltı sularından alınan 28 su örneğinin 22’sinde 10 ug/l olan sınır değerin üzerinde toplam arsenik seviyelerine rastlamıştır. Ölçülen en yüksek değerin 561 ug/l olduğu bu çalışmada gözlenen ortalama arsenik değeri ise 99 ug/l olmuştur. Benzer şekilde ovada yer alan 3 adet jeotermal sahadan çıkartılan sıcak sularda da ortalama 502 ug/l arsenik tespit edilmiştir.

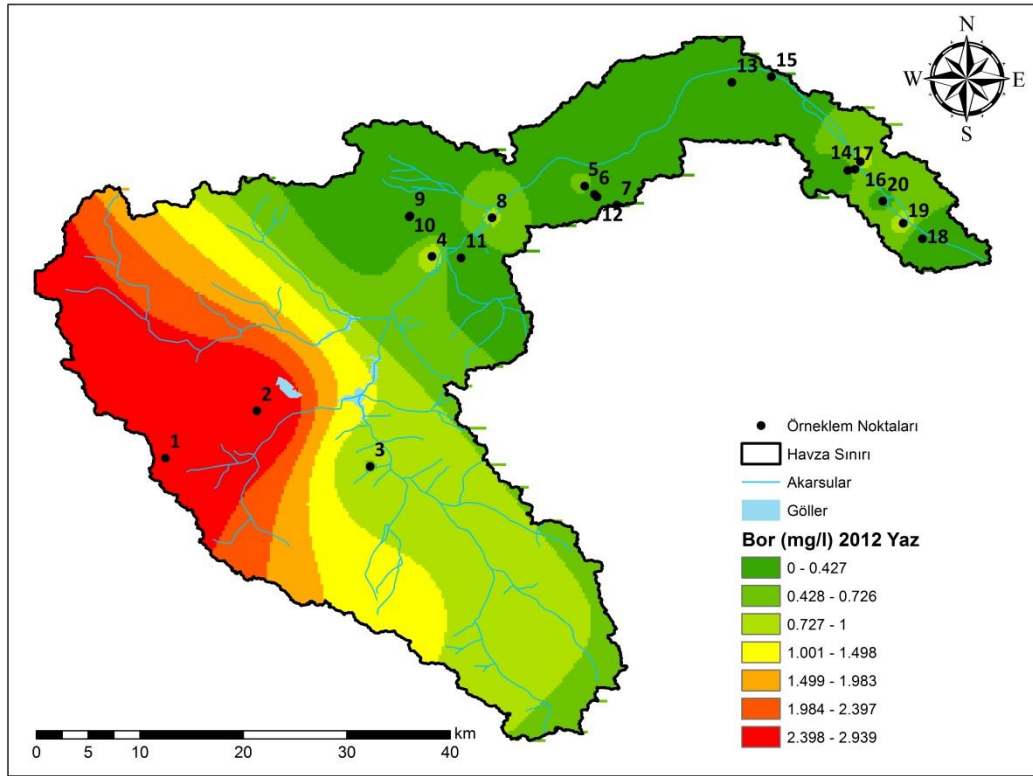
Acar ve ark. (2012) Emet ve Hisarcık Bölgesi yeraltı sularında yaptıkları incelemede 10 – 560 ug/l arasında değişen seviyelerde arsenik içeriği kaydetmişlerdir. Yüksek arsenik değerleri olan istasyonlarda bunun nedeni tarımsal faaliyetler çerçevesinde zirai mücadelede arsenik içeren pestisit ve herbisit kullanımının fazla olmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Stanic (2005) Hırvatistan’ın doğu bölgesinde yaptığı çalışmada yeraltı sularında arsenik varlığının jeolojik kayalardan kaynaklandığını öngörmektedir. Yaklaşık 200 bin kişiye içme suyu sağlayan bölgedeki yeraltı sularında 10 – 610 ug/l arasında değişen konsantrasyonlarda arsenik bulunmuştur. Hırvatistan mevzuatlarında belirtilen 10 ug/l arsenik sınır değerinin üzerinde kalan bu değerler bu bölgede arsenik sorunu olduğunu ortaya koymaktadır.

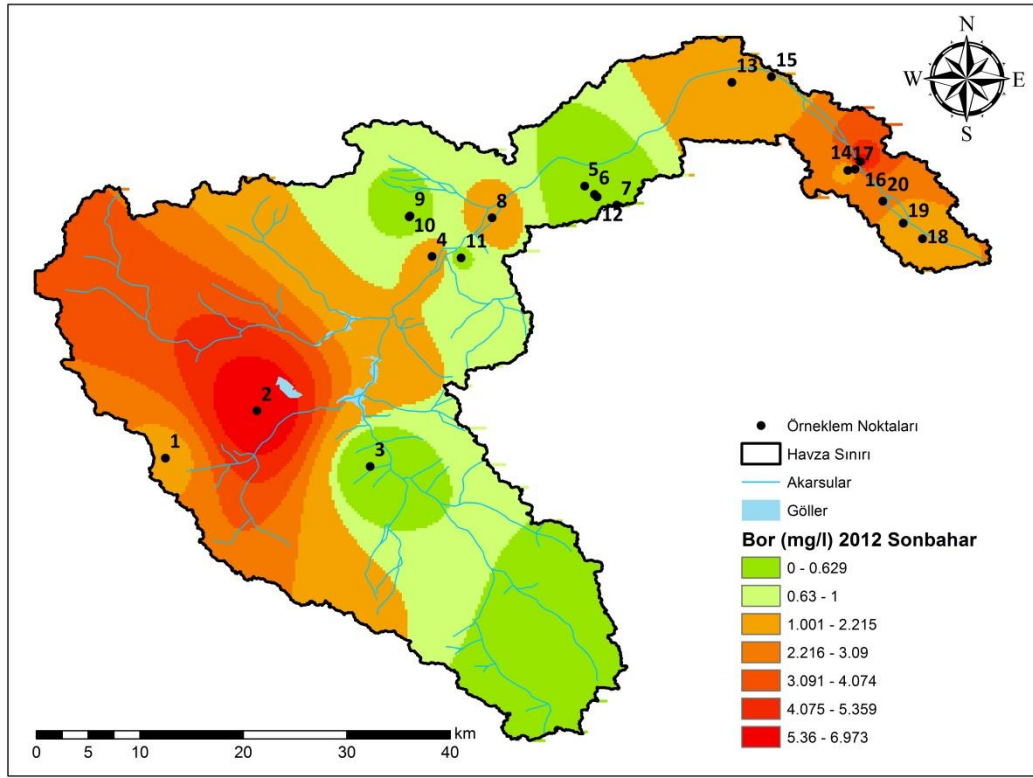
Önceki yapılan çalışmalarda da görüldüğü üzere değerleri geniş aralıkta değişen seviyelerde arsenik gözlemlenmektedir. Çalışmada 0 – 150 ug/l arasında değişen yıllık arsenik seviyeleri literatürde yapılan çalışmalarla uyum göstermektedir.



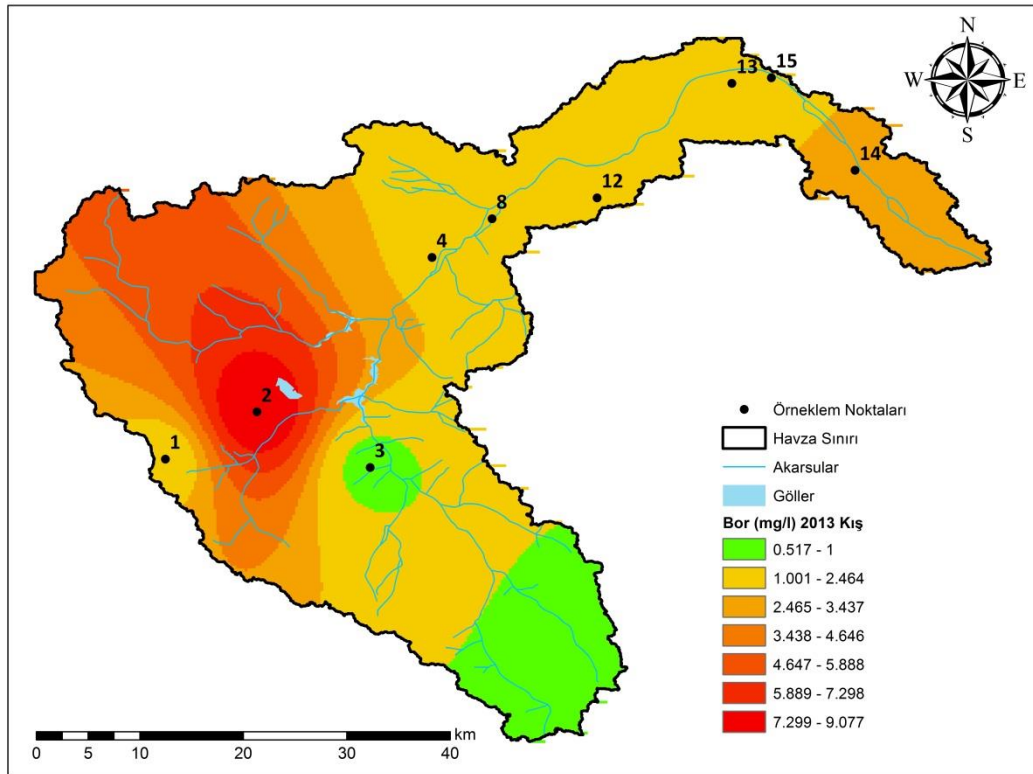
Şekil 4.5. Bor seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.6. Bor seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.7. Bor seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.8. Bor seviyeleri kış mevsimi

Seydisuyu Havzası bor seviyelerine ait mevsimsel dağılım haritaları Şekil.4.5 – 4.8’ de verilmiştir. İlkbahar mevsimi bor seviyeleri 0 – 3 mg/l arasında değişmektedir. EPA, WHO ve TS 266 içme suyu standartlarında 1 mg/l’den yukarı olması istenmeyen bor değerleri ilkbahar mevsiminde Kuyu 16’da 3 mg/l ve boraks yataklarına yakın Kuyu 2’de 1 mg/l olarak en yüksek değerleri almıştır. Diğer kuyu örneklerinin büyük bölümünde bor seviyeleri ölçüm limitlerinin altında kalmıştır.

Yaz mevsimi seviyelerinde sınır değer 1 mg/l’nin üzerinde olan örnek noktaları 1 ve 2 nolu bor madenleri yakınındaki kuyulardır. 8, 4, 16 ve 19 nolu kuyular 0,7 – 1 mg/l arasında değerlere sahiptir (Şekil 4.6).

Şekil 4.7.’de gösterilen sonbahar mevsimi bor seviyeleri artış göstererek havzanın büyük bölümünde 1 – 7 mg/l arasında şekillenmiştir. Mevsimin en yüksek değeri yaklaşık 7 mg/l ile kuyu 2 ve kuyu 16 olmuştur.

Kış mevsimi bor seviyeleri yıl içerisindeki en yüksek değerlere sahiptir. 3 nolu kuyu haricinde havza 1 – 9 mg/l arasındaki bor seviyelerini taşımaktadır. En yüksek bor seviyesi 2 nolu kuyuda yaklaşık 9 mg/l olarak elde edilmiştir. Bunun dışındaki örnekleme noktaları 1 – 3 mg/l arasında bor değerlerine sahiptir.

Mevsimsel değerlere bakıldığında nispeten daha düşükten yüksek seviyelere artan bor seviyeleri sırasıyla ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış ayları olarak tespit edilmiştir. Mevsimler arası değişimlerin bu yönde olmasında etkili faktör kış mevsiminde kar olarak düşen yağışların ilkbahar aylarında eriyip, ilkbahar yağmurları ile birlikte süzülen yağış sularının yeraltı suyuna geçmesi olarak gösterilebilir. Böylece, sonbahar ve kış mevsiminde yüksek olan bor seviyelerinin ilkbahar ve yaz aylarında seyrelmesi söz konusu olmaktadır. Uylaş (2013) Seyitgazi Ovasında yapmış olduğu çalışmada içme sularında bor seviyelerini incelemiştir. Seydisuyu havzasının bir bölümünü de içine alan örnekleme noktalarında mevsimsel olarak bor seviyelerinin artışı Uylaş (2013)’ın yaptığı çalışmayla örtüşmektedir.

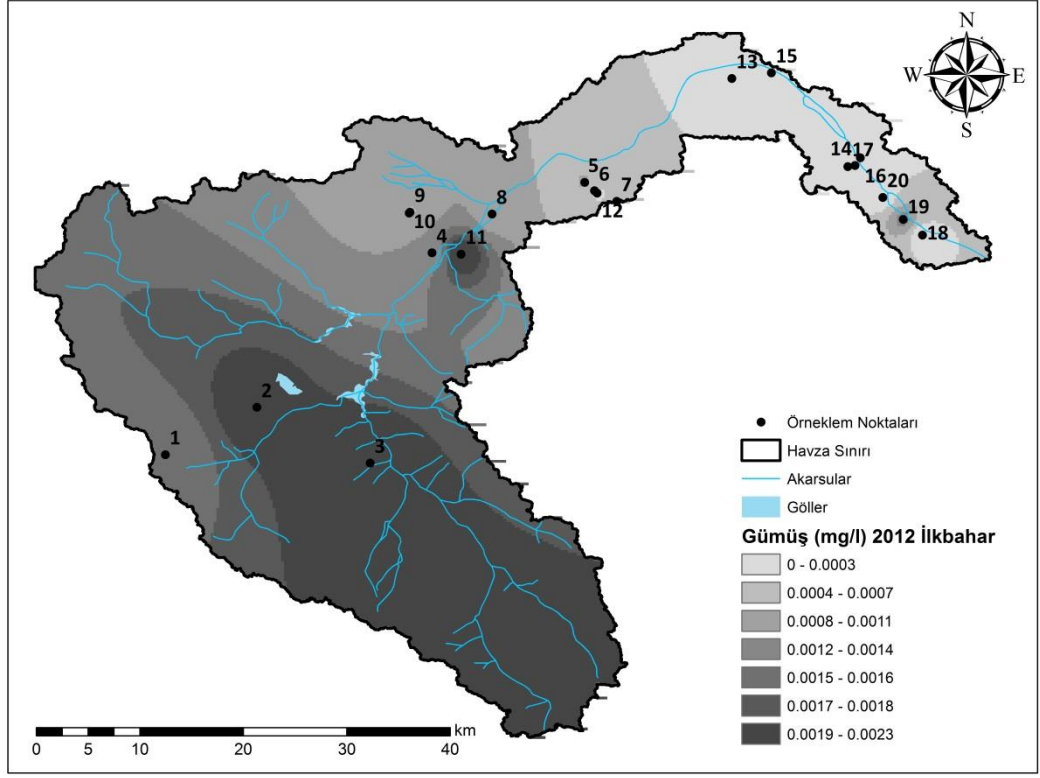
Queste ve ark. (2001), Almanya’nın Muenster bölgesinde 179 şahıs kuyusundan yaptıkları örneklemelemlerde içme suyu örneklerindeki bor derişimlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada 168 farklı içme suyu kullanım amaçlı kuyudan alınan örneklerin 121’inde de bor seviyelerinin sınır değer olan 1 mg/L’den

fazla olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda bölgede bulunan içme suyu kuyularındaki bor jeolojik işlemler sonucu oluştuğu ve bölgeye bir içme suyu sistemi kurulması gerektiği vurgulanmıştır.

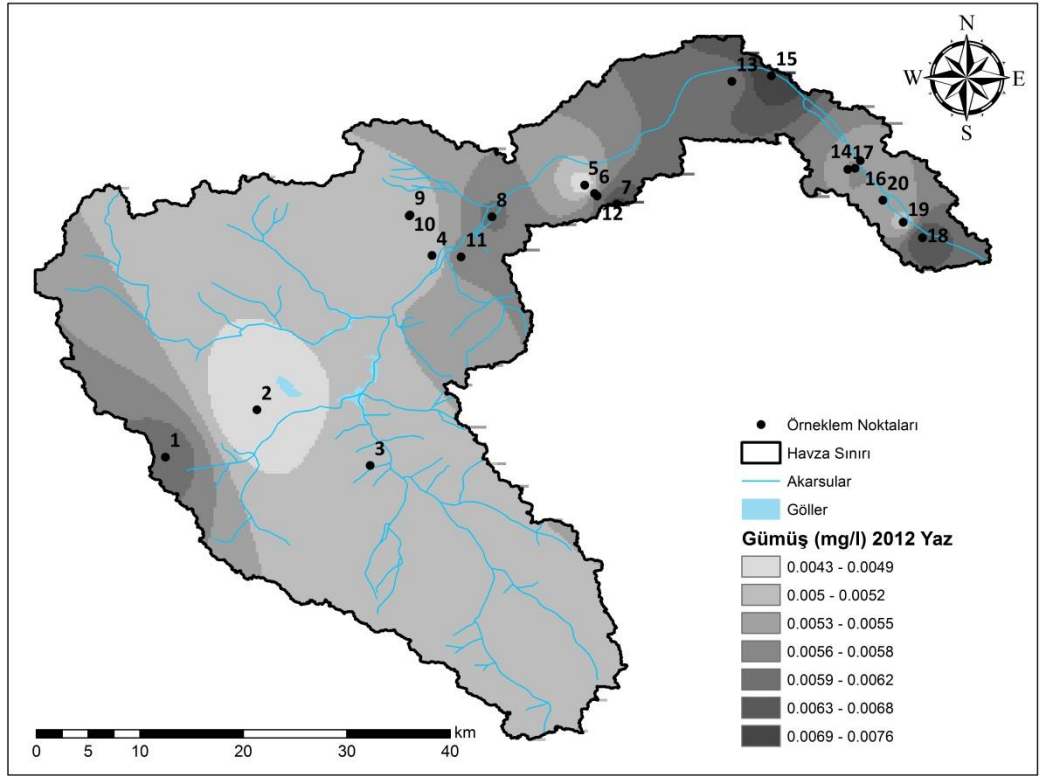
Seyitgazi Ovası'nda yapılan bir başka çalışmada Uygan ve etin (2009), 2002 ve 2004 yılları arasında 12 istasyondan toprak ve sulama suyu rneği olarak bu örneklerin bor içeriklerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada sulama sonrasında toprakta örneklerinde bor seviyelerinin arttığı gözlenmiştir. Sulama suyu örneklerinde de 2002 yılında 0,87 mg/L ile 3,38 mg/L, 2003 yılında 1,36 mg/L ile 3,98 mg/L ve 2004 yılında ise 1,16 mg/L ile 4,65 mg/L arasında değişen bor seviyeleri gözlenmiştir. Sulama suyundaki bor içeriği, sulama suyu için sınır değer kabul edilen 1 mg/L'nin üzerinde olduğu, tespit edilmiştir.

nl ve ark. (2011), Kütahya – Emet Bölgesinde içme ve kullanma amaçlı kullanılan 6 farklı noktadan 1 yıl süre ile aylık örneklemeler yaparak bor değerlerini incelemişlerdir. Elde edilen verilerde bor seviyeleri mevsimlere göre değişim göstermiş olup en yüksek bor derişimi 7,66 mg/L Emet şebeke suyunda çıkmıştır. Bu alışma ile aylara ve bölgeye göre tespit edilen bor değerleri için bazı bölgelerde tedbir alınması gerektiği vurgulanmıştır.

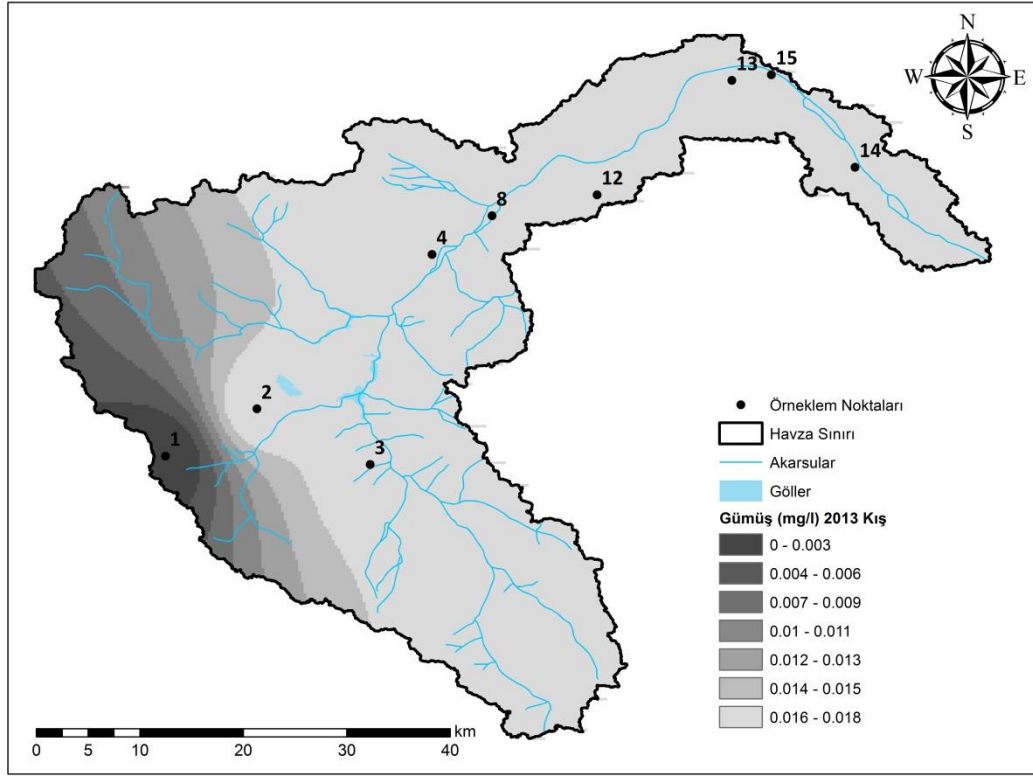
Seydisuyu havzasında yıl içerisinde 0 – 9 mg/l arasında değişen seviyelerde tespit edilen bor seviyeleri literatür çalışmalarında elde edilen değerlerin üzerinde bulunmuştur. Bu değerlerin Kırka'da bulunan bor yataklarından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.9. Gümüş seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.10. Gümüş seviyeleri yaz mevsimi



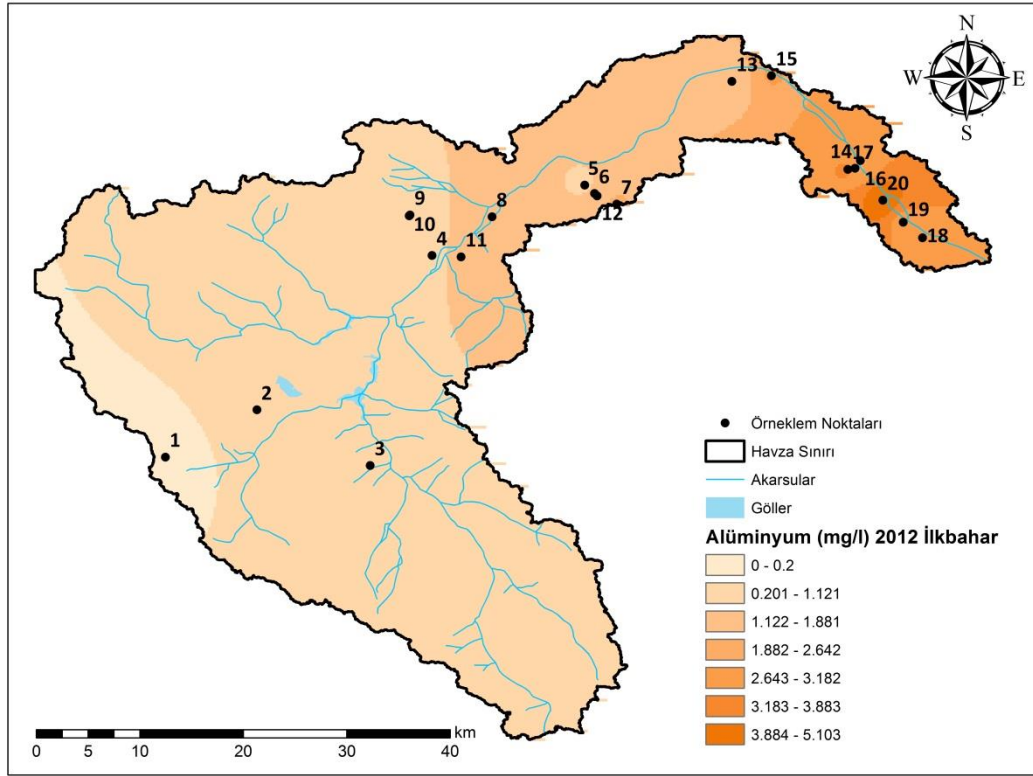
Şekil 4.11. Gümüş seviyeleri kış mevsimi

Gümüş ulusal ve uluslararası mevzuatlarda sınırlama konusunda değinilmeyen çalışma kapsamında incelenen iz element parametrelerden biridir ancak EPA tarafından 0,1 mg/l üzerinde bulunmasının içme sularında sıkıntı yaratacağı öngörülmüştür.

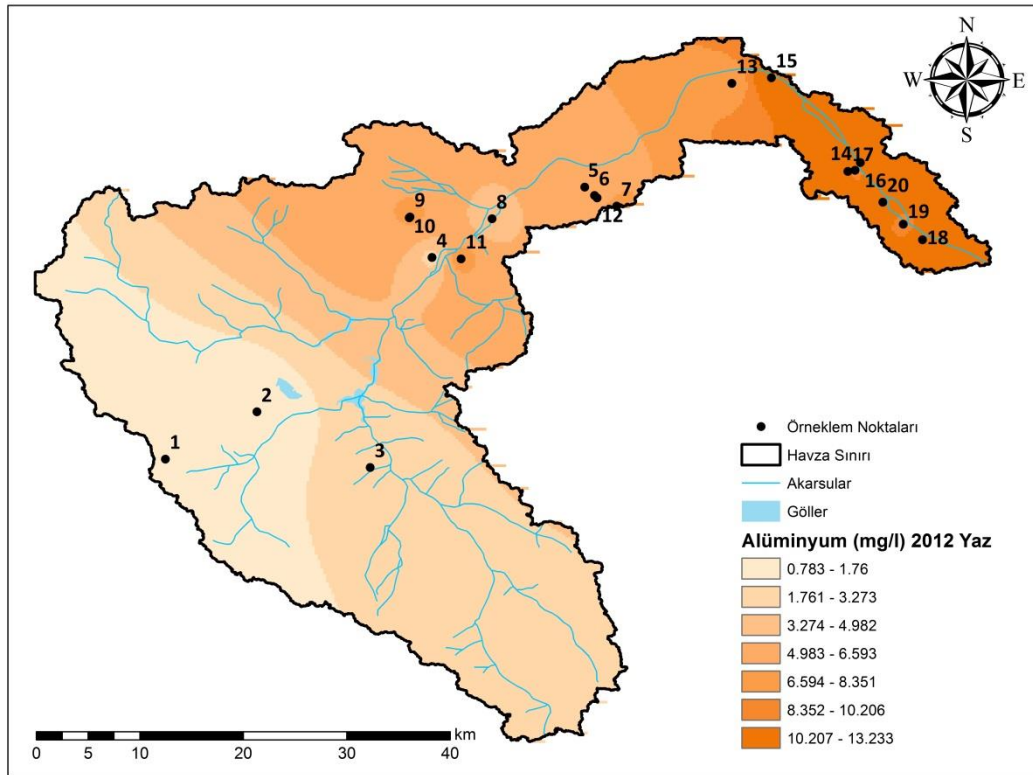
Yapılan çalışmada tüm mevsimlerde maksimum gümüş seviyesi 0,015 – 0,018 mg/l olarak ölçülmüştür. Bu değerler EPA’nın limit değerinin altındadır.

Şekil 4.9.’da ilkbahar mevsimine ait gümüş seviyeleri yer almaktadır. 0 – 0,0023 mg/l arasında değişen seviyelerde gümüş örnekleme kuyularında tespit edilmiştir. Yaz mevsiminde artış gösteren gümüş seviyeleri 0,0043 – 0,0076 mg/l arasında değişmektedir (Şekil 4.10.).Sonbahar mevsiminde tüm kuyularda gümüş elementine rastlanılmadığı için haritalandırılmamıştır. Kuyu 1’de kış mevsimi örneklemede gümüş tespit edilememiştir. Bunun dışındaki örnek noktalarında 0,016 – 0,018 mg/l arasında gümüş tespit edilmiştir.

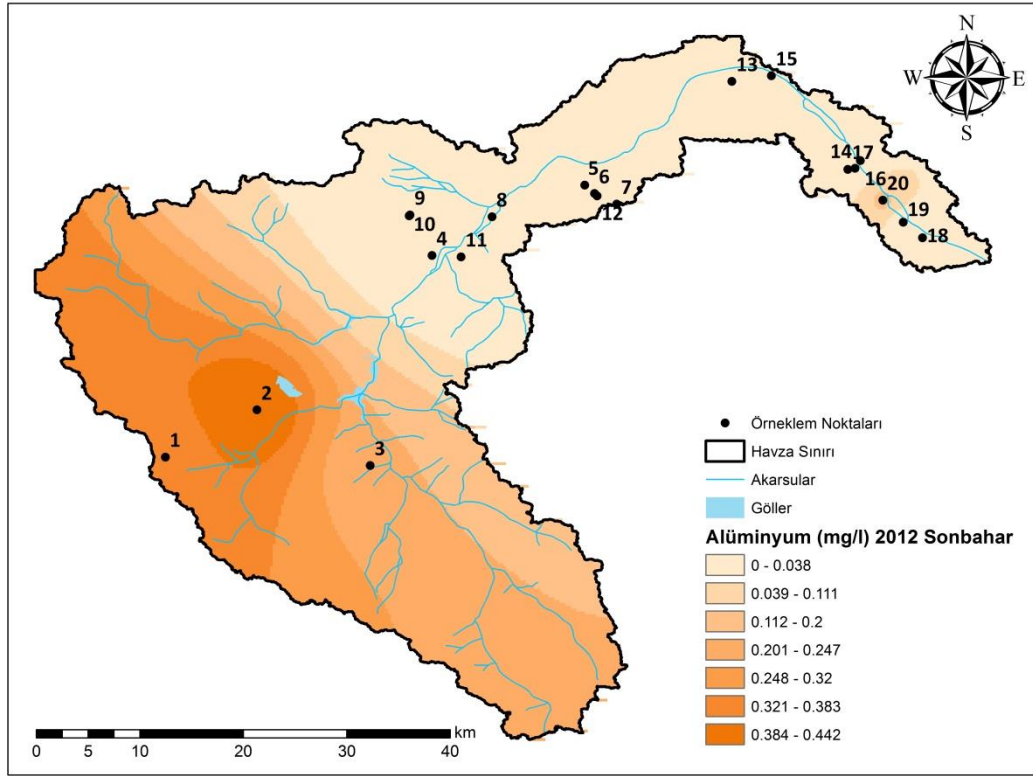
Gümüş elementinin doğada da eser miktarda bulunmasından dolayı literatür çalışmaları kısıtlıdır. Yeraltı sularındaki eser miktardaki varlığı beklenen bir durumdur.



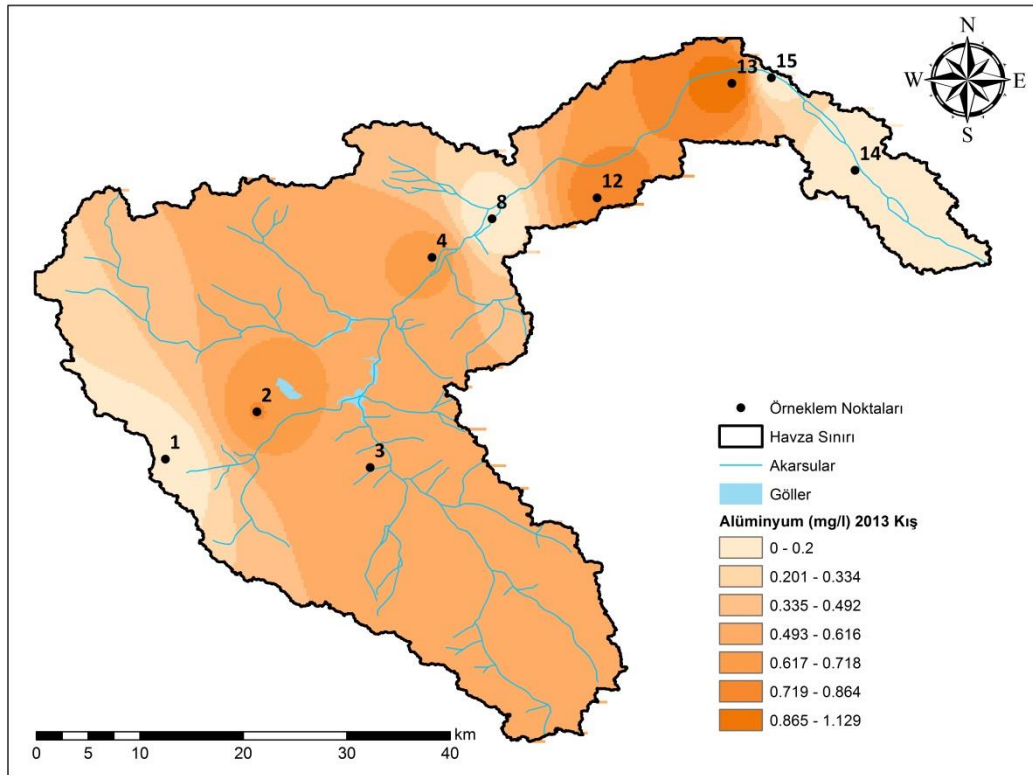
Şekil 4.12. Alüminyum seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.13. Alüminyum seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.14. Alüminyum seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.15. Alüminyum seviyeleri kış mevsimi

Şekil 4.12.'de verilen ilkbahar mevsimi alüminyum seviyeleri 0 – 5 mg/l arasında dağılım göstermektedir. Burada ulusal ve uluslararası içme sularına dair standartlar ve mevzuatlarda belirlenmiş olan sınır değeri olan 0,2 mg/l yüksek boyutlarda aşmaktadır. Sulama amaçlı kullanılan 20 nolu kuyuda mevsimin en yüksek değeri 5 mg/l tespit edilmiştir. Aynı hat üzerinde bulunan 17, 18 ve 19 nolu kuyularda da 2 – 3 mg/l arası alüminyum tespit edilmiştir. Havzanın yüksek kotlarına doğru gidildikçe alüminyum seviyeleri azalmaktadır. 1 nolu kuyuda alüminyuma rastlanılmamıştır.

Yaz mevsiminde artış gösteren alüminyum seviyeleri 15, 16, 17, 18 ve 20 nolu kuyularda 10 – 13 mg/l ye kadar çıkmıştır. Yaz mevsimi alüminyum analizleri dağılım olarak ilkbahar mevsimine paralel bir eğilim göstermiştir (Şekil 4.13.).

Sonbahar mevsimi alüminyum analizlerinde 1, 2, 3 ve 20 nolu kuyularda 0,14 – 0,44 mg/l arası alüminyum tespit edilmiştir. Diğer kuyularda alüminyuma rastlanılmamıştır (Şekil 4.14.)

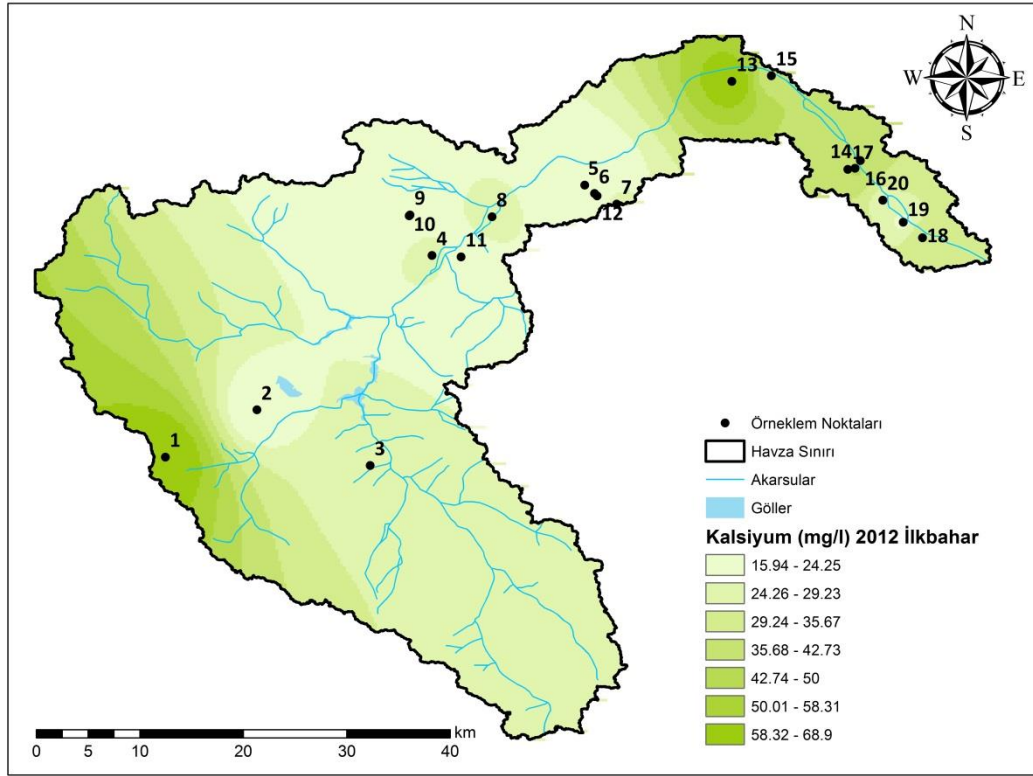
Alüminyum seviyeleri kış mevsiminde en yüksek değeri 13 nolu kuyuda yaklaşık 1 mg/l olmak üzere 0,5 – 0,8 mg/l değerleri arasında tespit edilmiştir. 1, 8, 14 ve 15 nolu kuyularda ise alüminyum bulunmamaktadır.

Mevsimsel olarak alüminyum seviyeleri incelendiğinde Arsenik ve bor elementlerinin aksine ilkbahar ve yaz mevsimine doğru yükselen değerlerle karşılaşmaktadır. Bu durum alüminyumun yeraltı suyundaki varlığının As ve B'dan farklı mekanizmalarla gerçekleştiğini düşündürmektedir. Yağışların artışı ve süzülen yağış sularıyla alüminyumun yeraltı sularına geçmesi durumu havzadaki jeoloji katmanlarında alüminyum varlığının göstergesi olabilir.

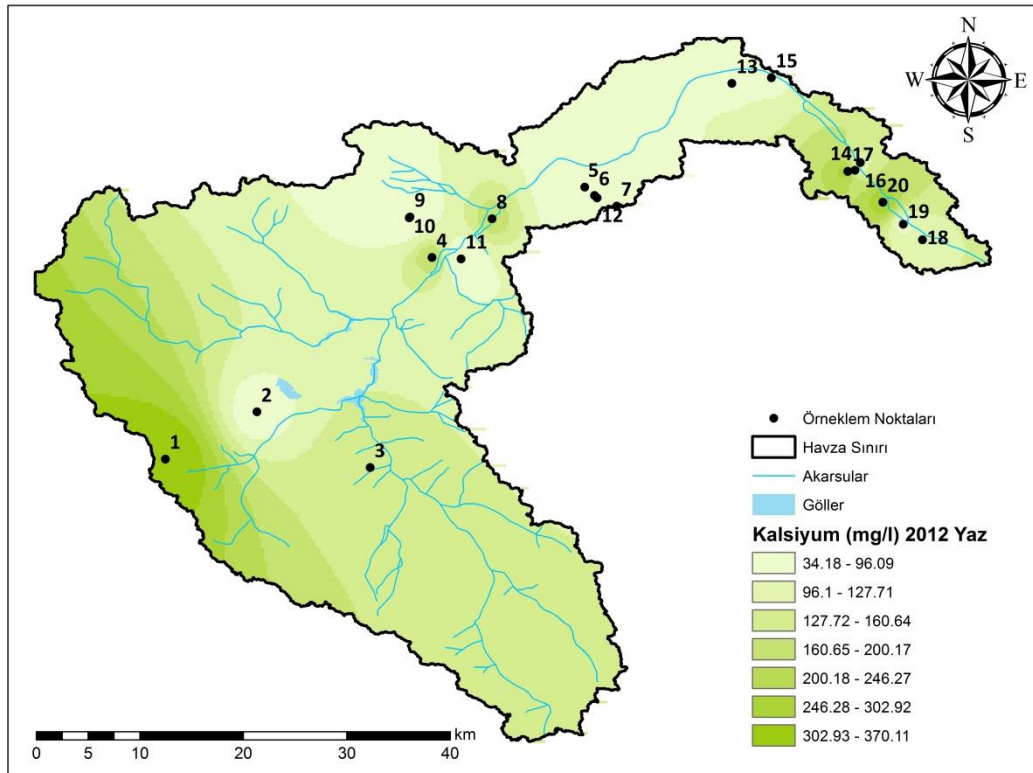
Demir (2008) çalışmasında belirttiği üzere alüminyum magmatik kayalar minerallerinde ve sedimanter formasyonlarda kil minerallerinde bulunmaktadır. Seydisuyu havzası jeoloji katmanlarında (Şekil 3.3) da neojen çökellerin sedimanları ve volkanitler önemli yer kaplamaktadır.

Marin (2010) yeraltı sularında alüminyum varlığı ve türevleri ile ilgili yaptığı çalışmada 15 adet yeraltı suyu örneğinde 0 – 0,165 mg/l arasında alüminyuma rastlamıştır. Ayrıca yeraltı sularında alüminyumun yüksek oranla hidroksit ve silisyumla birlikte bulunduğu saptanmıştır.

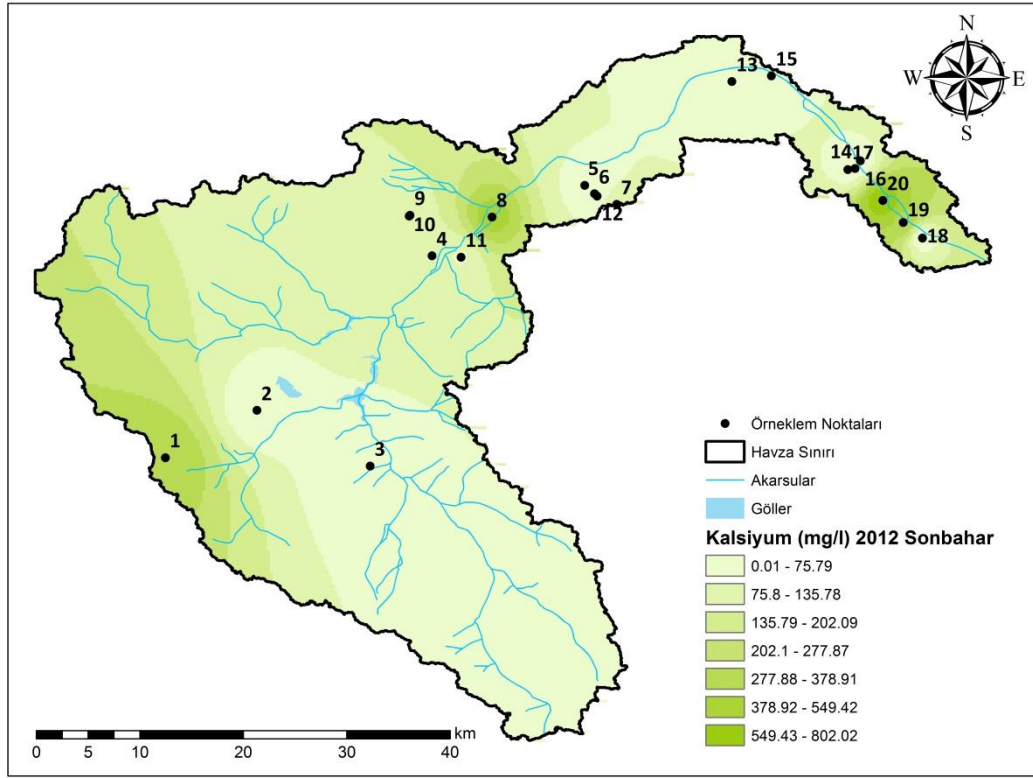
Nötral pH seviyelerinde yeraltı sularında alüminyum içeriği genellikle 0,1 mg/l'den düşüktür (Brusewitz, 1984). Miller ve ark. (1984) yeraltı suları örneklerinden elde ettikleri değerleri 0,014 – 0,29 mg/l aralığında bulmuştur. Örneklerin sadece 4%'ünde 0,05 mg/l'den düşük değerlere sahip alüminyum içeriği tespit edilmiştir. Çalışmada elde ettiğimiz 0 – 13 mg/l arasındaki değerler literatür çalışmalarında karşılaşılan seviyelerin çok üstünde bulunmuştur.



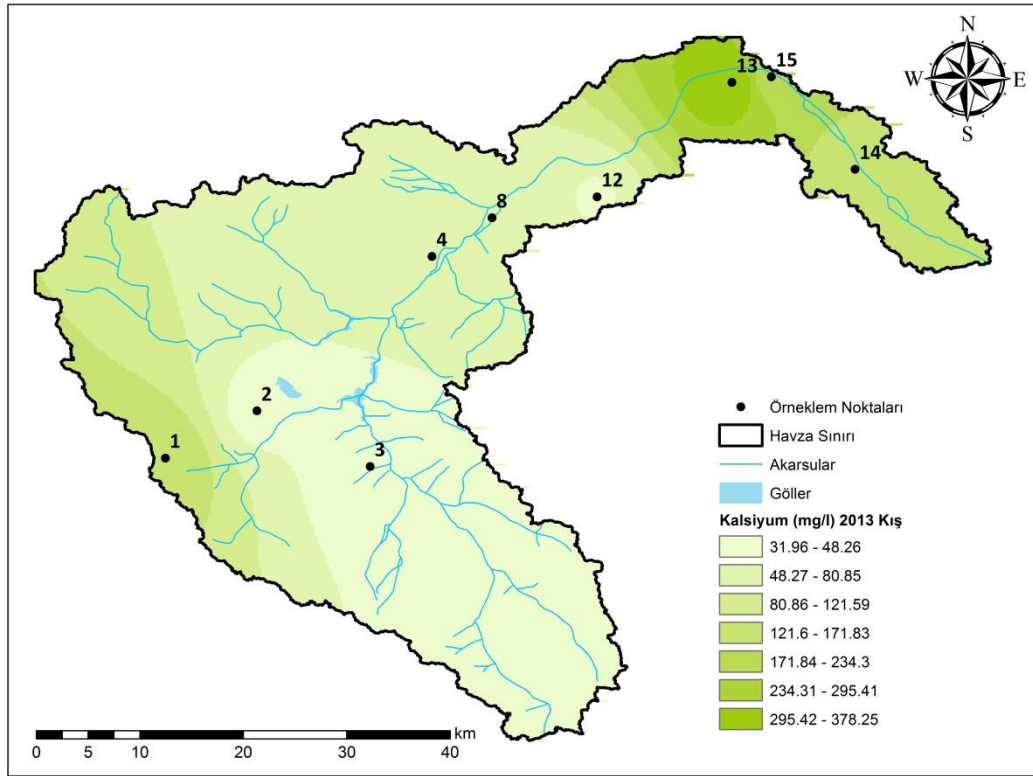
Şekil 4.16. Kalsiyum seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.17. Kalsiyum seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.18. Kalsiyum seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.19. Kalsiyum seviyeleri kış mevsimi

Kalsiyum mevzuatlarda limit değeri belirlenmemiş elementel parametrelerdendir. Sulama suların kalitesinde tuzluluk ve SAR değerlerini belirlemede kullanılmaktadır. Kalsiyumun sulama sularında bol bulunuşu sodyum yüzdesinin azalmasını sağlar ve böylece tuzluluğun vereceği zararları önlenmiş olur (Hounslow, 1995).

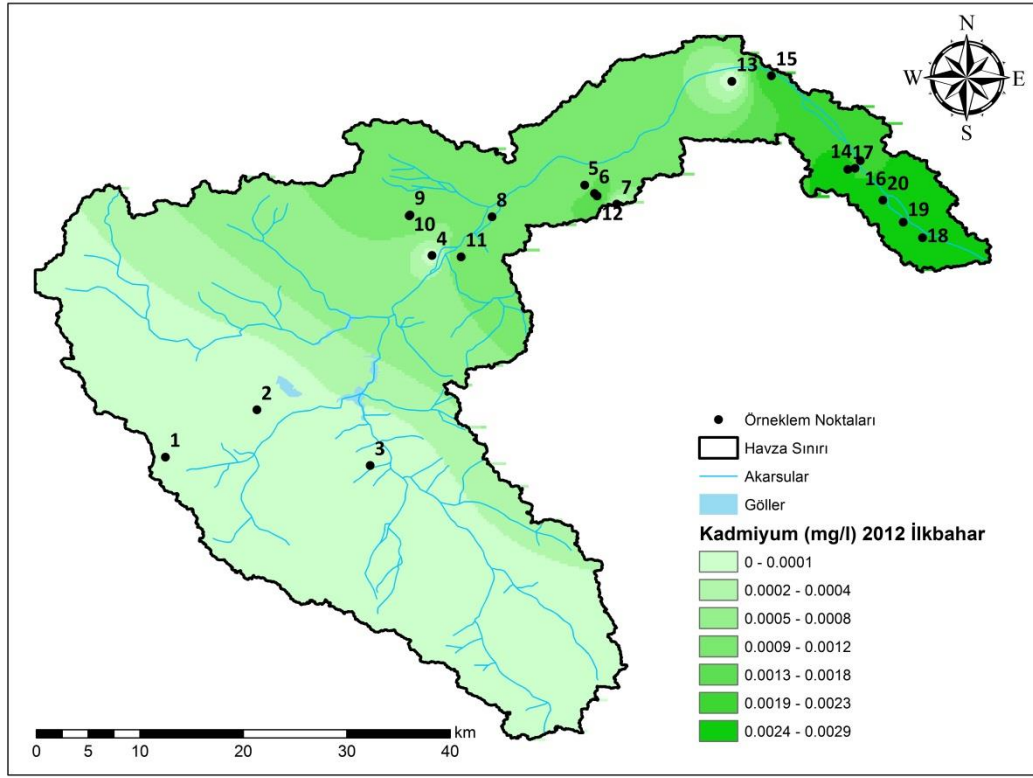
İlkbahar mevsimi kalsiyum seviyeleri Şekil 4.16'da gösterilmektedir. Mevsimin en yüksek değerlerine yaklaşık 67 mg/l ile kuyu 1 ve kuyu 13 sahiptir. Diğer kuyularda ortalama 25 – 50 mg/l arasında kalsiyum tespit edilmiştir.

Yaz mevsimi artış gösteren kalsiyum seviyeleri dağılımı 35 – 370 mg/l arasında değişmektedir. 1 nolu kuyuda mevsimin en yüksek değeri 370 mg/l olarak tespit edilmiştir. Bu değere takiben 17 nolu kuyuda 320 mg/l kalsiyum ölçülmüştür. Diğer kuyularda yapılan ölçümlerde ise ortalama 75 – 125 mg/l kalsiyum tespit edilmiştir (Şekil 4.17).

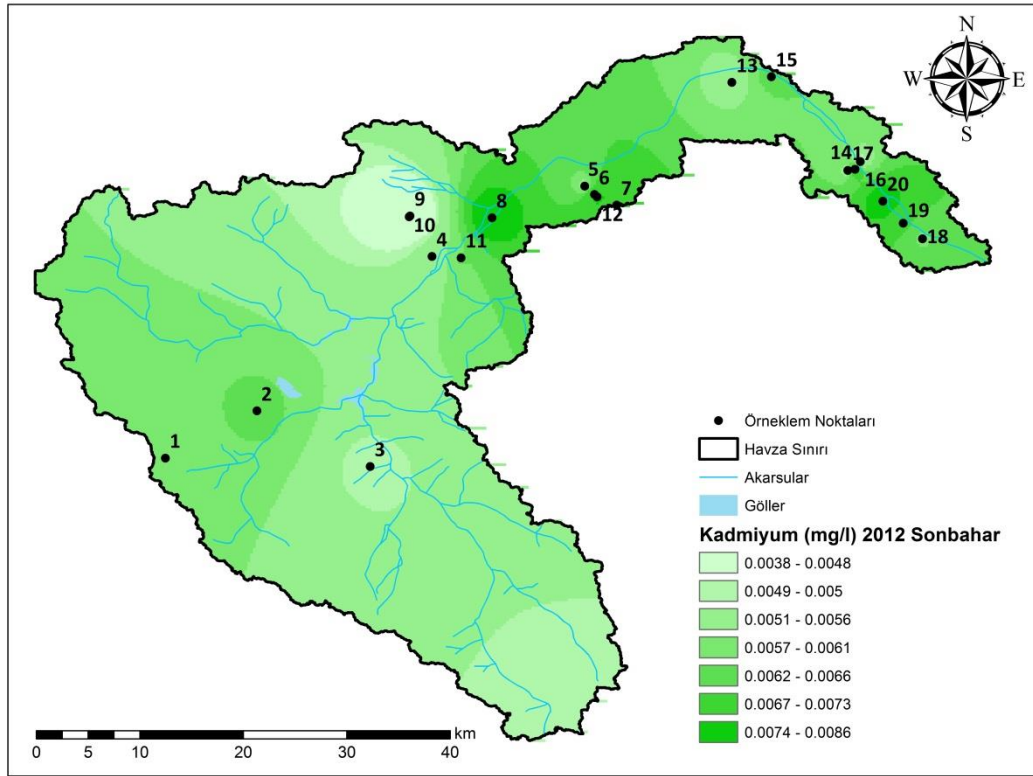
Şekil 4.18'de sonbahar mevsimine ait kalsiyum seviyeleri dağılım haritası verilmiştir. Kuyu 20, yaklaşık 800 mg/l kalsiyum değeri ile mevsimin en yüksek değerine sahiptir. Diğer yüksek değerler sırasıyla kuyu 8 ve kuyu 19 olarak tespit edilmiştir.

Kalsiyum seviyeleri, kış mevsiminde en yüksek değerini kuyu 13'de 370 mg/l ile almaktadır. Kuyu 1 diğer mevsimlerde olduğu gibi kış mevsiminde de yüksek kalsiyum değerine sahiptir. Diğer kuyularda görülen kalsiyum değerleri 30 – 70 mg/l arasında değişmektedir (Şekil 4.19).

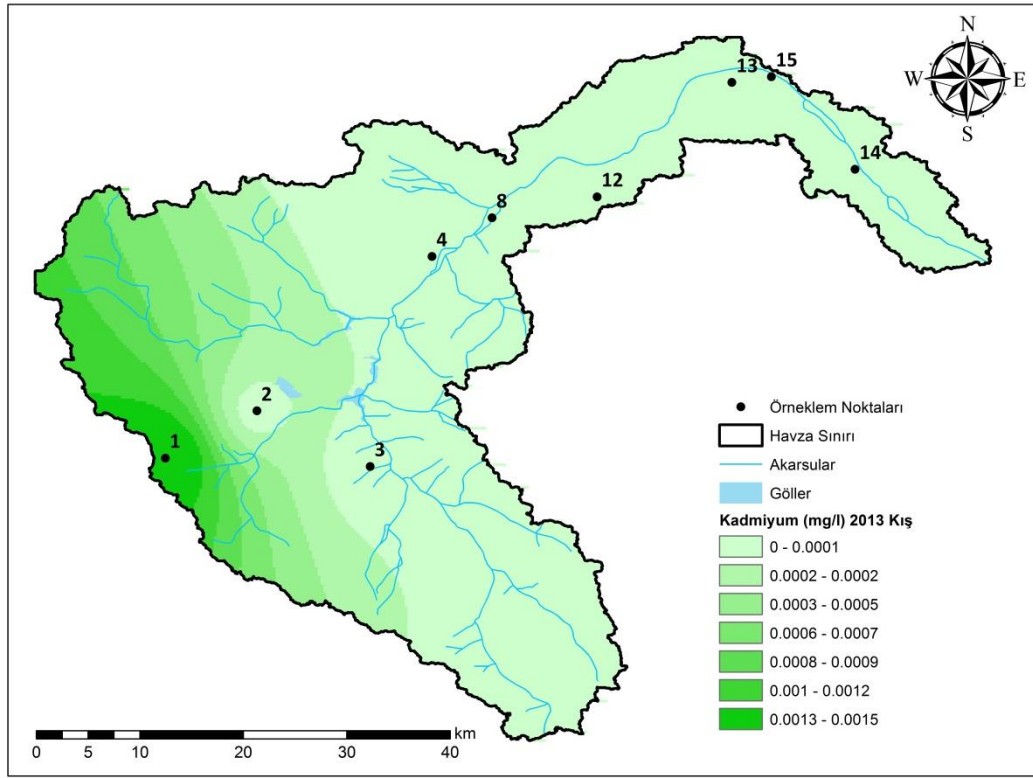
Şirin ve Demir (2007) içme ve kullanma sularındaki problemleri araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada içme sularında 75 – 200 mg/l aralığında kalsiyum bulunabileceğini ortaya koymuştur. Elde edilen kalsiyum değerleri literatürde bazı örneklerde çıkan yüksek değerler dışında belirtilen aralıklarda tespit edilmiştir. Mevsimsel değişimler genel olarak bakıldığında sonbahar mevsiminde en yüksek, ilkbaharda ise en düşük seviyeler gözlenmiştir. Bazı kuyularda kalsiyum seviyelerinin yaz mevsiminde en yüksek değerlerine ulaştığı da görülmektedir. Sonbahara doğru artan bu eğilimin nedeni, ilkbahar mevsiminde yeraltı sularının yağışlarla beslenerek seyrelmesi dolayısıyla bu suların doğal denge yapısının sonbahar mevsimindeki seviyelerde oluşu olarak düşünülmektedir.



Şekil 4.20. Kadmiyum seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.21. Kadmiyum seviyeleri sonbahar mevsimi

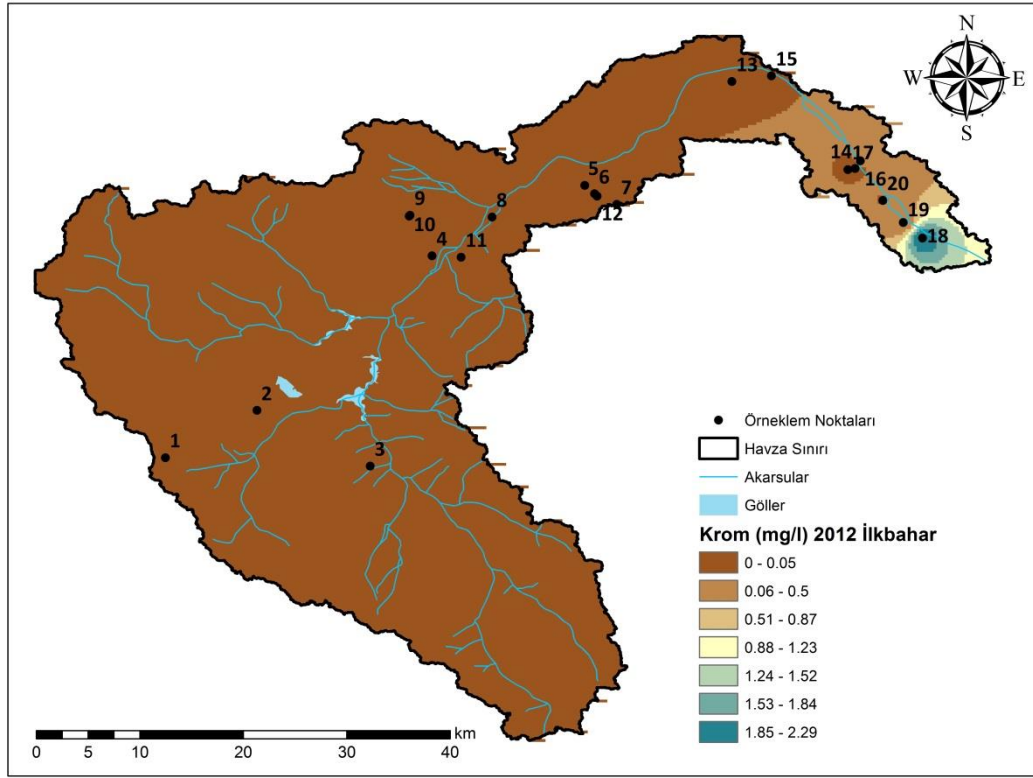


Şekil 4.22. Kadmiyum seviyeleri kış mevsimi

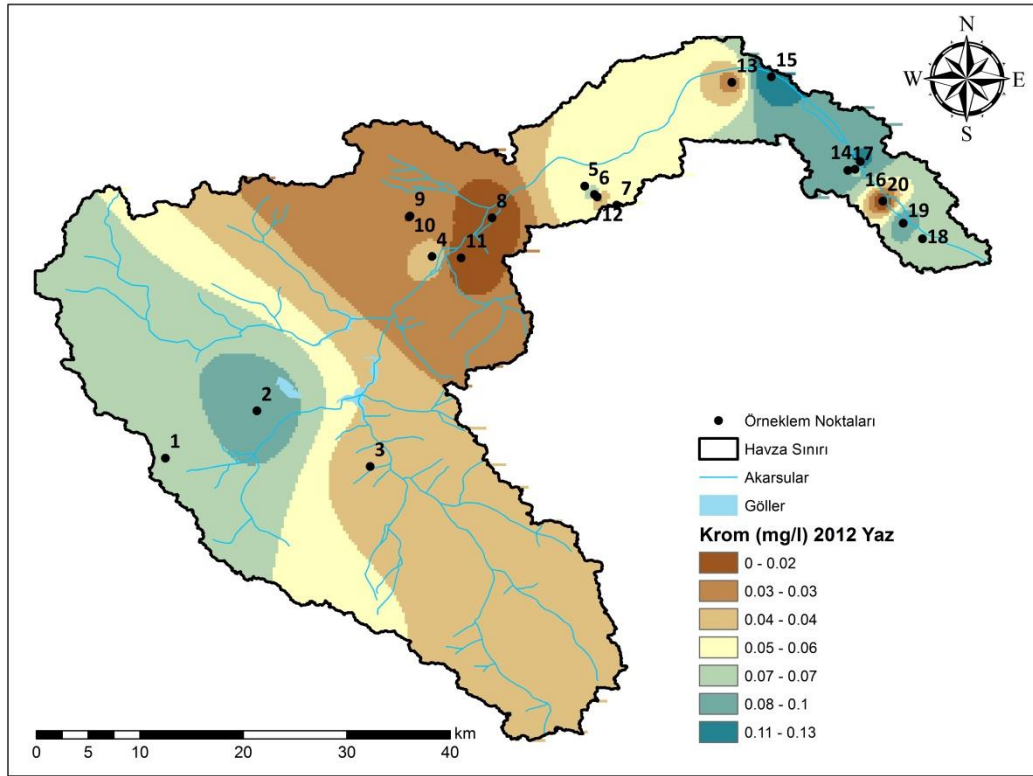
İçme sularında kadmiyum içeriği, TS 266 ve EPA tarafından 0,005 mg/l ile sınırlandırılmıştır. WHO ise 0,003 mg/l limit değerin üzerinde suların içilmesi uygun görmemiştir. SKKY, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerince 3 ug/l'ye kadar I. sınıf, 5 ug/l'ye kadar II. sınıf, 10 ug/l'ye kadar III. sınıf ve 10 ug/l üzeri kadmiyum içeren sular IV. sınıf olarak belirlenmiştir.

İlkbahar mevsimi kadmiyum seviyeleri 0 – 0,0029 mg/l arasında değişmektedir (Şekil 4.20).Yaz mevsiminde yapılan analizlerde kadmiyum değerleri dedeksiyon limitlerinin altında bulunduğundan haritalandırılmamıştır.

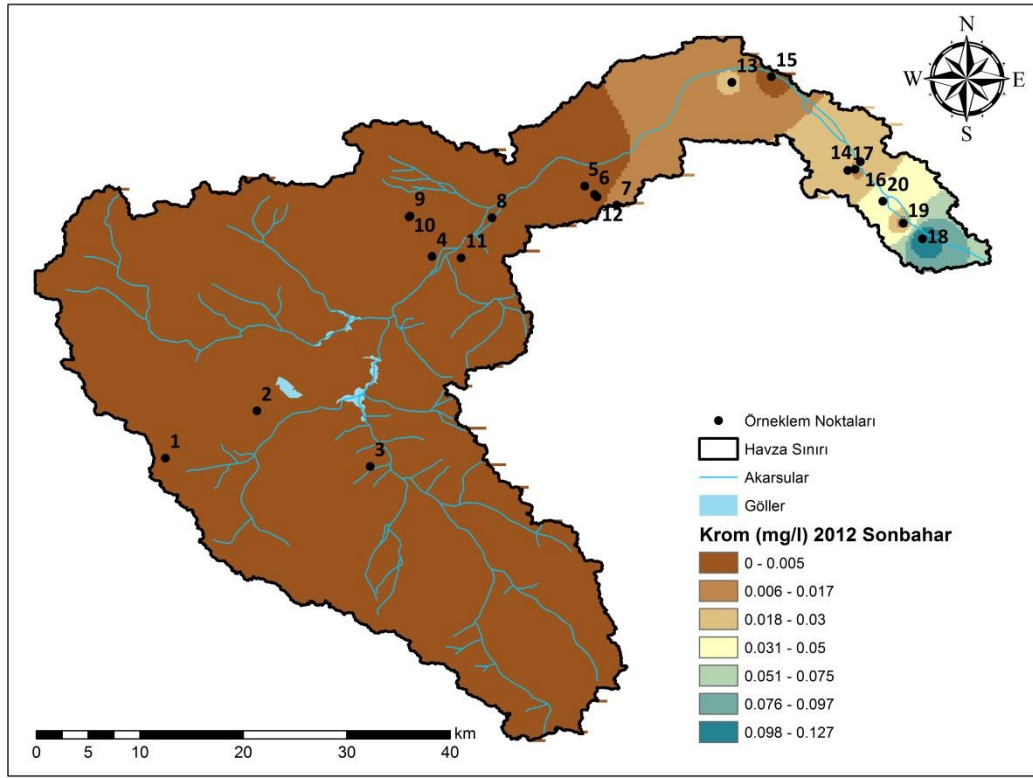
Sonbahar mevsimi kadmiyum seviyelerindeki artış yasal limitleri aşarak 0,0038 – 0,0086 mg/l arasında değerlere ulaşmıştır. 8, 20 ve 14 nolu kuyular 0,008 mg/l üzerinde en yüksek değerleri almışlardır (Şekil 4.21). Kış mevsimi örnekleri üzerinde yapılan analizlerde sadece 1 nolu kuyunun 0,0015 mg/l kadmiyum içerdiği, diğer örnek noktalarında kadmiyuma rastlanmadığı tespit edilmiştir (Şekil 4.22). Anonim (2009)'da yapılan çalışmada 12 adet yeraltı suyu örneklemede dedeksiyon limitlerinin üzerinde kadmiyuma rastlanılmamıştır. Kadmiyumun yeraltı sularında sorun teşkil etmediği söylenebilir.



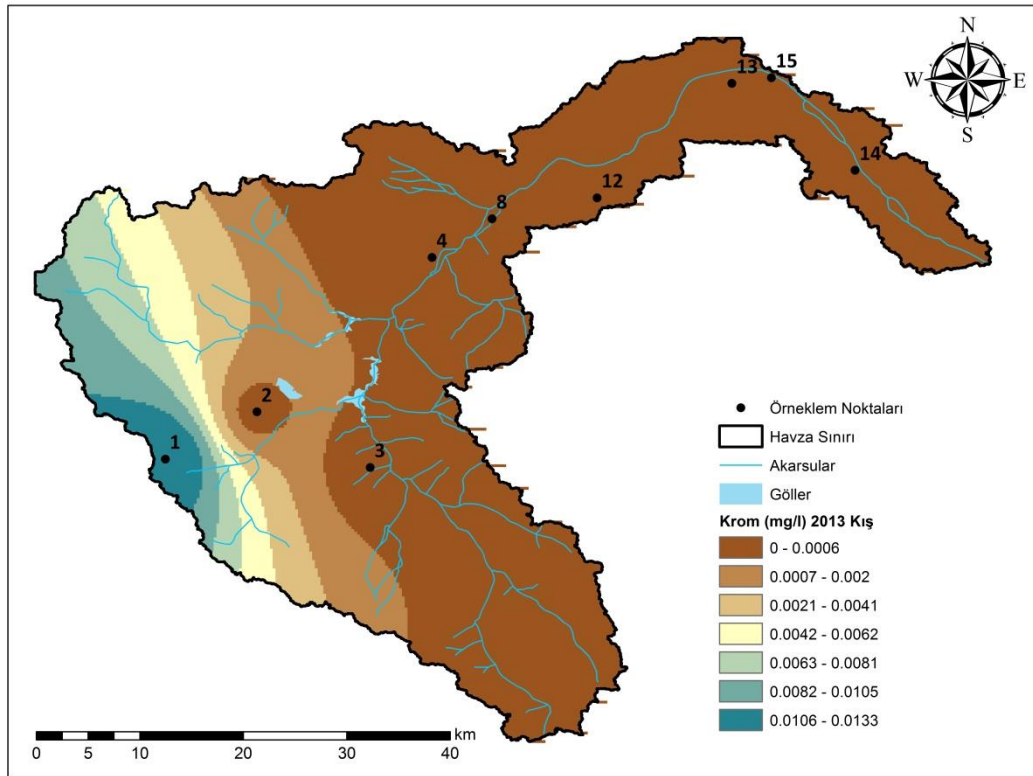
Şekil 4.23. Krom seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.24. Krom seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.25. Krom seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.26. Krom seviyeleri kış mevsimi

İçme sularında krom ihtivası WHO ve TS 266 tarafından 0,05 mg/l ile sınırlandırılmıştır. EPA ise 0,01 mg/l limit değerin üzerinde bakır içeren suların içilmesini sakıncalı bulmaktadır. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerince krom içeriğini 0,02 mg/l'ye kadar I. sınıf, 0,05 mg/l'ye kadar II. sınıf, 0,2 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 0,2 mg/l üzeri IV. sınıf olarak belirlemiştir.

Şekil 4.23'te verilen ilkbahar mevsimi krom seviyelerinde 0 – 2,3 arasında dağılım bulunmaktadır. Mevsimin en yüksek değeri limit değerlerin aşırı üstünde olan 18 nolu kuyuya ait 2,3 mg/l'dir. 0,017 mg/l'den başlayan kuyulardaki değerler 0,07 mg/l' ye kadar çıkmaktadır. En düşük kroma sahip örnek noktası ise 0,004 mg/l olarak belirlenen 8 nolu kuyudur.

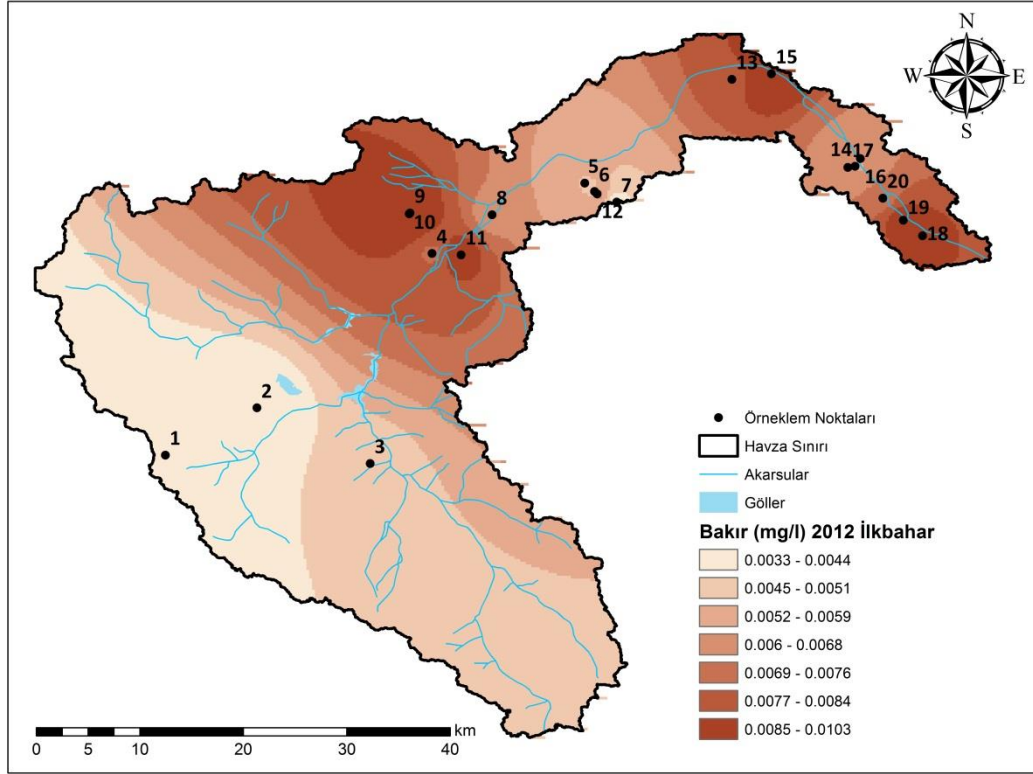
İlkbahar mevsimine göre artış gösteren yaz mevsimi krom seviyeleri 0 – 0,13 mg/l arasında değişmektedir. Mevsimin en yüksek değeri 15 ve 16 nolu kuyularda yaklaşık 0,13 mg/l olarak belirlenmiştir. Diğer örnek noktalarında 0,04 – 0,09 mg/l arasında krom değerleri tespit edilmiştir. 10 nolu kuyuda 0,006 mg/l civarında krom bulunmaktadır. 8, 11, 12 ve 20 nolu kuyularda ise krom değerlerine rastlanmamıştır (Şekil 4.24).

Sonbahar mevsimi krom seviyeleri 0 – 0,12 mg/l arasında değişmektedir. En yüksek değer 18 nolu kuyuda 0,12 olarak tespit edilmiştir ki bu sınırların üstündedir. 7, 13, 16, 17, 19 ve 20 nolu kuyularda 0,01 – 0,4 mg/l arasında değişen değerlerde krom tespit edilmiştir. Diğer kuyularda ise krom seviyeleri dedeksiyon limitleri altında kalmıştır (Şekil 4.25).

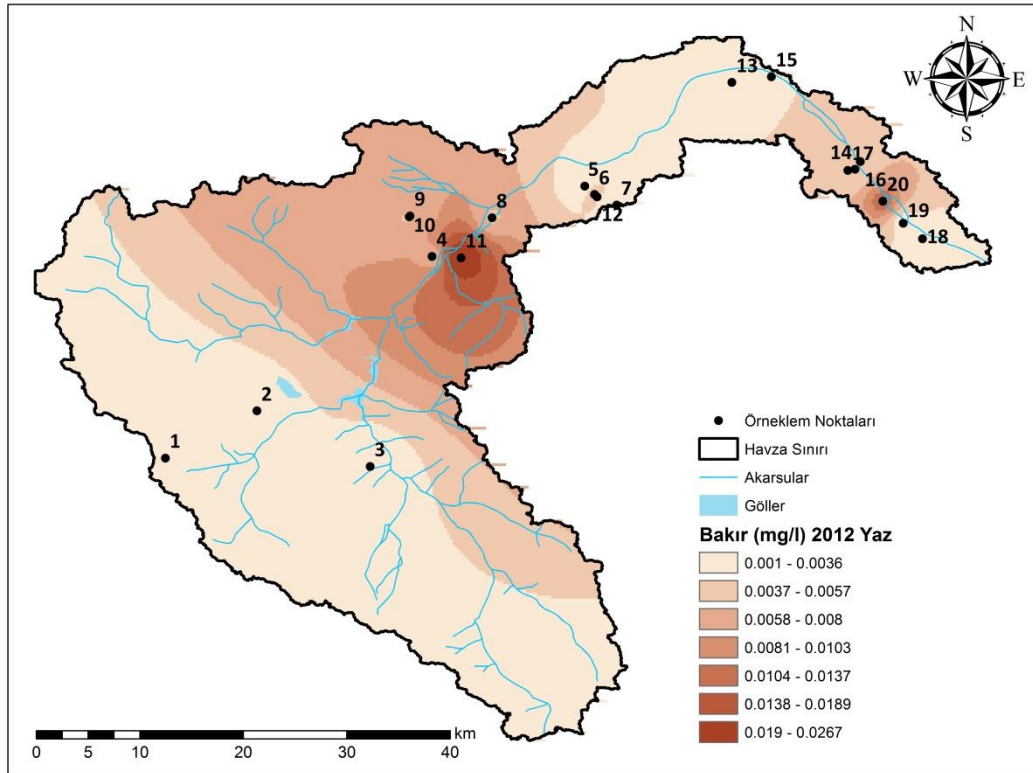
Kış mevsiminde yalnızca 1 nolu kuyuda yaklaşık 0,013 mg/l krom tespit edilmiştir. Diğer örnek noktalarında krom seviyeleri dedeksiyon limitlerinin altında kalmıştır (Şekil 4.26).

Mevsimsel olarak yılın genel bazda en yüksek krom seviyeleri yaz mevsiminde meydana gelmektedir. İlkbahar mevsimi nispeten daha düşük seviyelerde kroma rastlanılmıştır. Bu farklılığın nedeni yağışların kayalarındaki krom bileşiklerini yıkayarak yeraltı suyuna geçirmesidir denilebilir.

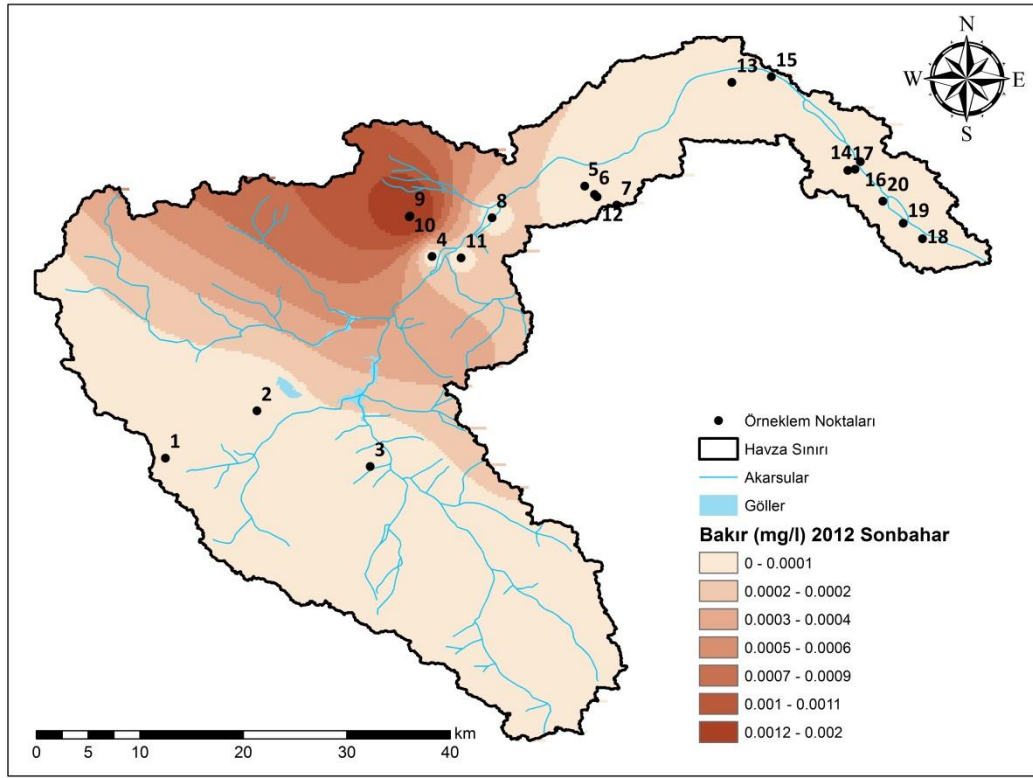
Fawell ve ark. (2004) yeraltı sularında genel olarak krom seviyelerinin 1 ug/l'den düşük olduğunu ortaya koymuştur. Havzada krom seviyeleri yüksek sayılabilecek seviyelerde tespit edilmiştir.



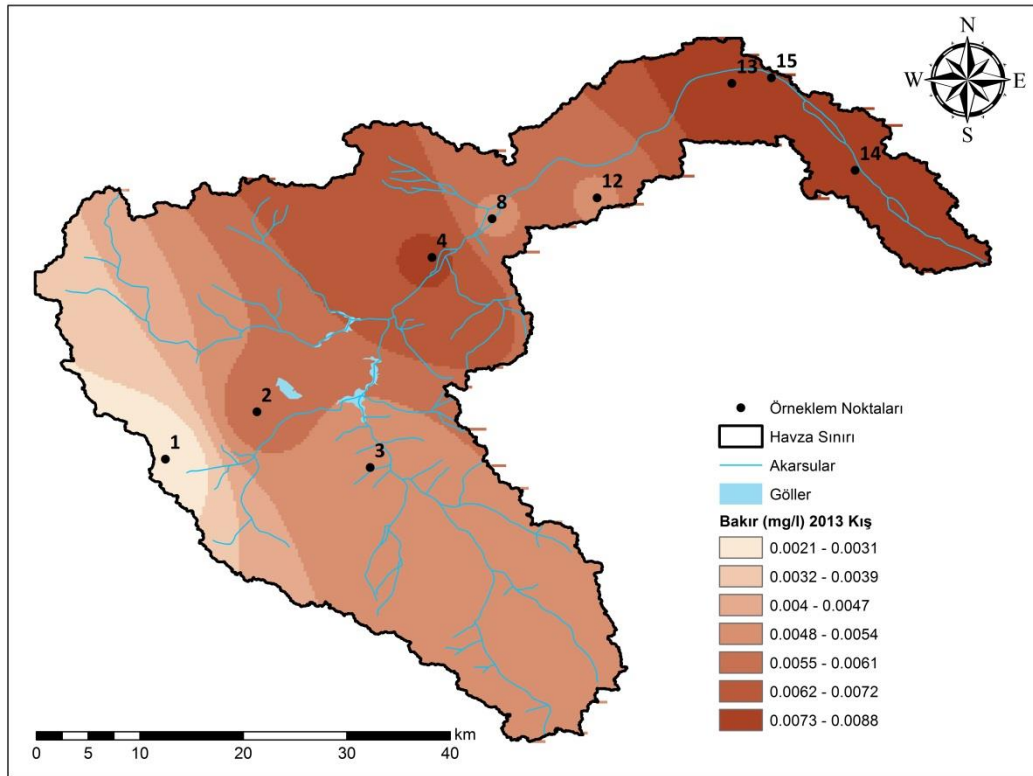
Şekil 4.27. Bakır seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.28. Bakır seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.29. Bakır seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.30. Bakır seviyeleri kış mevsimi

İçme sularında bulunabilecek maksimum bakır seviyesi WHO ve TS 266 tarafından 2 mg/l ile sınırlandırılmıştır. EPA ise 1 mg/l üzerinde bakır içeren suların içilmesini sakıncalı bulmaktadır. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri tablosunda suların içerdiği bakır seviyelerini 0,02 mg/l'ye kadar I. sınıf, 0,05 mg/l'ye kadar II. sınıf, 0,2 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 0,2 mg/l üzeri IV. sınıf olarak belirlemiştir.

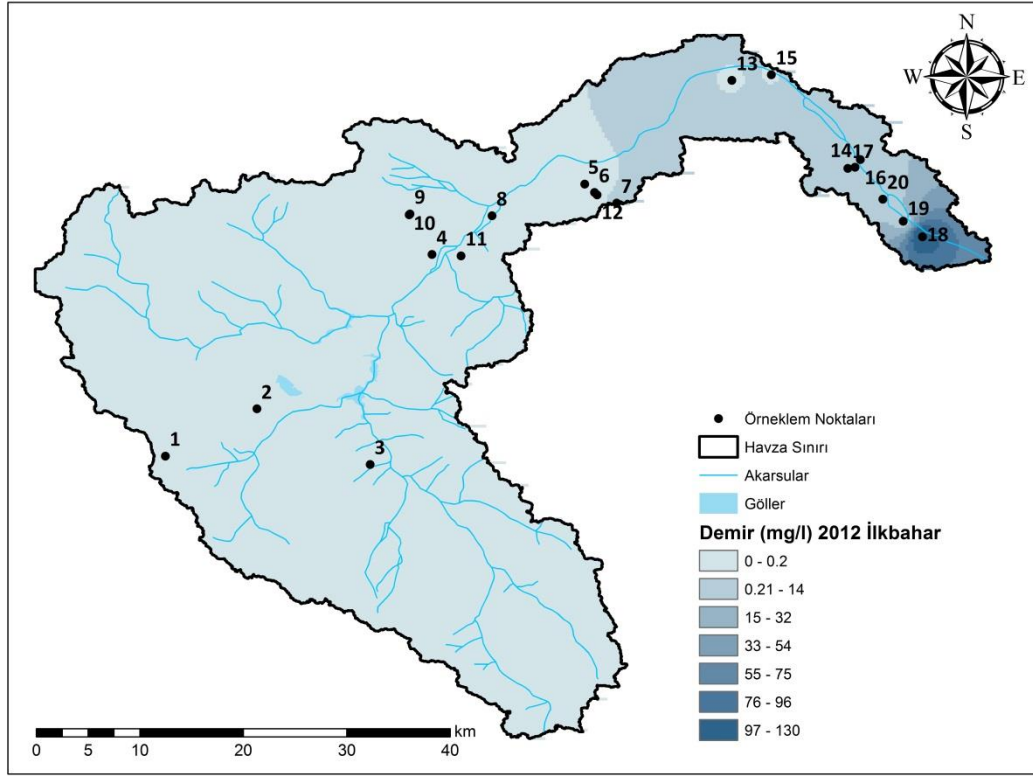
İlkbahar mevsimi bakır seviyeleri 0,0033 – 0,01 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Mevsimin en yüksek değeri 15 nolu kuyuya ait 0,01 mg/l'dir. Diğer kuyular ise 0,004 – 0,009 mg/l arasında bakır içermektedirler. En düşük bakır değeri ise yaklaşık 0,0035 mg/l olarak 1, 2 ve 7 nolu kuyularda tespit edilmiştir (Şekil 4.27).

Kuyu 11 dışında yaz mevsimi bakır seviyeleri genel anlamda ilkbahar mevsimi ile paralellik göstermektedir. Mevsimin en yüksek bakır değeri 11 nolu kuyuda yaklaşık 0,026 mg/l olarak belirlenmiştir. Diğer örnek noktalarında 0,002 – 0,01 mg/l arasında bakır değerleri tespit edilmiştir. Mevsimin en düşük bakır seviyesi 5 nolu kuyuda 0,0009 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.28).

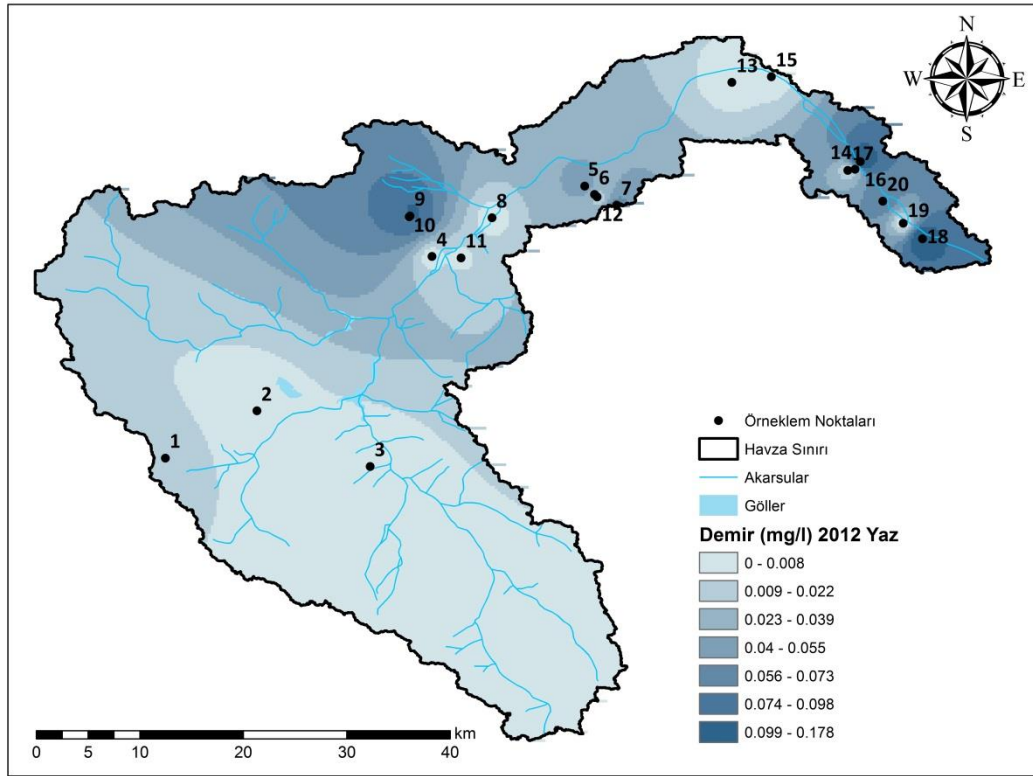
Sonbahar mevsimi bakır seviyeleri 0 – 0,003 mg/l arasında dağılım göstermektedir ancak 9 nolu kuyu haricindeki diğer örnek noktalarından yapılan analizlerde bakır seviyeleri dedeksiyon limitleri üstünde çıkmamıştır. Sadece kuyu 9, 0,003 mg/l bakır ihtiva etmektedir (Şekil 4.29).

Kış mevsiminde bakır seviyeleri 0,002 – 0,009 mg/l arasında tespit edilmiştir (Şekil 4.30). En yüksek değerler 14 ve 15 nolu kuyu örneklerinde yaklaşık 0,009 mg/l olarak analiz edilmiştir.

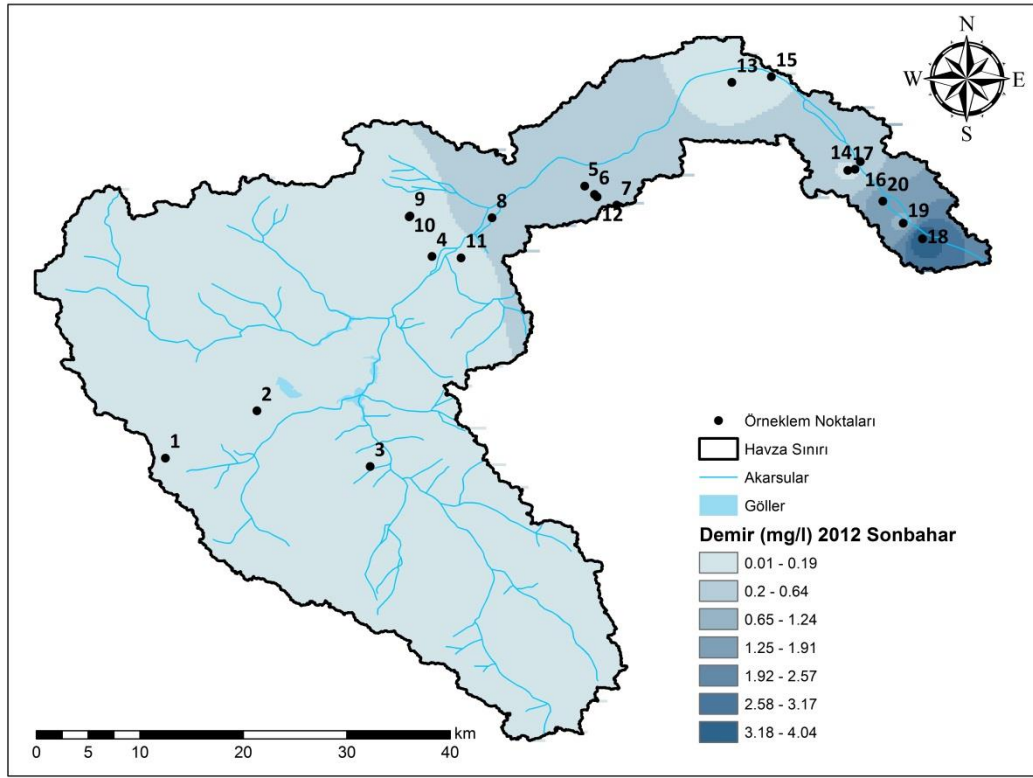
Mevsimsel olarak bakıldığında bakır seviyeleri sonbahar mevsiminde düşüş yaşamıştır. Bakır içeriğinin diğer parametrelerde olduğu gibi düzenli mevsimsel artış ve azalışlarda bulunmaması akla, Seydisuyu Havzası yeraltı sularında bakır içeriğinin yağışlardan ve kayaç yapısından bağımsız bir mekanizma ile bulunduğunu getirmektedir. Kaçaroğlu (1991) Eskişehir Ovası yeraltı sularında yaptığı çalışmada, bakır minerallerinin çözünürlükleri düşük olduğundan ve sulardaki bakırın çok az kısmının doğal kökenli olduğunu ortaya koymuştur. Bu yargıyla mevsimsel arası değişikliklerde anlamlı artış ve azalışların olmayışı açıklanmaktadır.



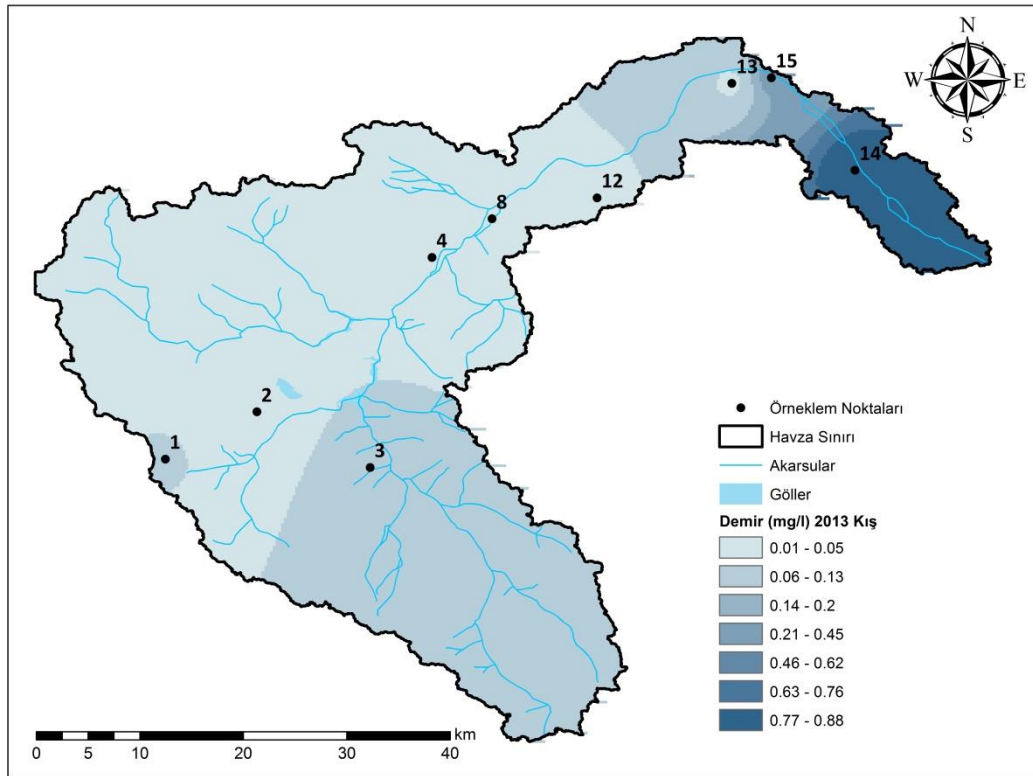
Şekil 4.31. Demir seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.32. Demir seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.33. Demir seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.34. Demir seviyeleri kış mevsimi

İçme sularında demir içeriği TS 266 tarafından 0,2 mg/l ile sınırlandırılmıştır. EPA'nın koyduğu regülasyonlara göre 0,3 mg/l limit değerin üzerinde demir içeren suların içilmemelidir. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerince krom içeriğini 0,2 mg/l'ye kadar I. sınıf, 1 mg/l'ye kadar II. sınıf, 5 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 5 mg/l üzeri IV. sınıf olarak belirlemiştir.

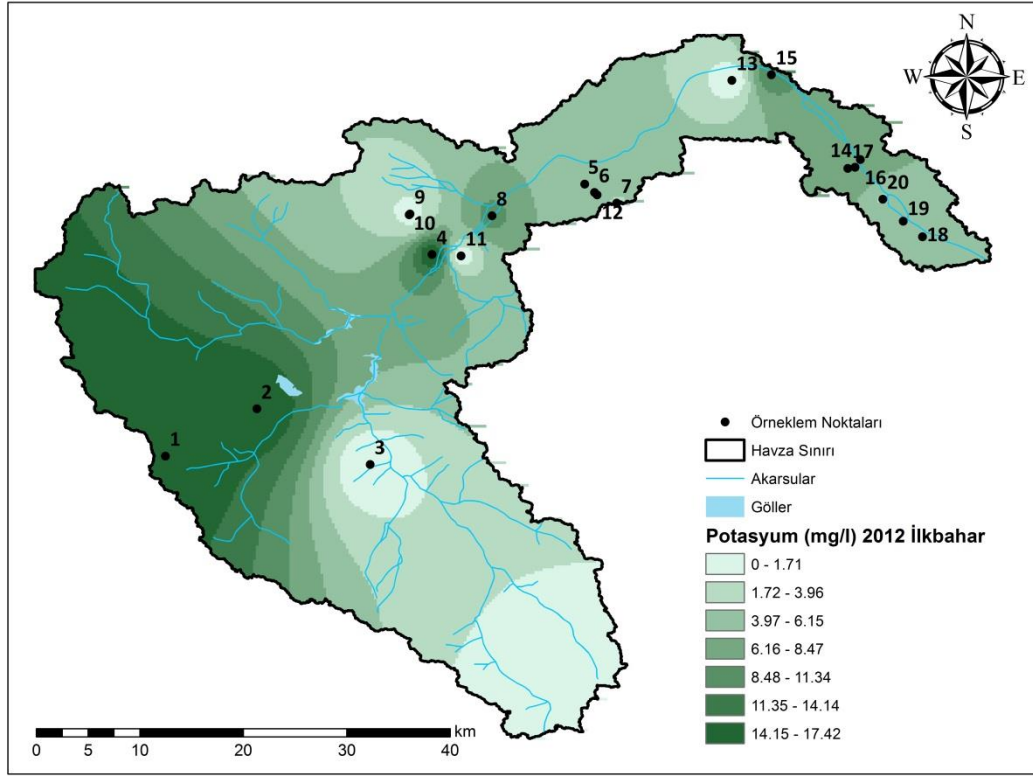
Şekil 4.31'de verilen ilkbahar mevsimine ait Seydisuyu Havzası demir seviyelerini dağılımı haritasında 18 nolu sulama amaçlı kuyudan alınan örnekte yapılan analiz sonucu mevsimin yaklaşık 127 mg/l olarak bulunmuştur. Bu değer limit değerlerin çok aşırı üstünde olmasından dolayı diğer mevsimlerin sonuçlarıyla karşılaştırılmış, böyle yüksek bir değerin çıkmasını numune alma sırasında kuyu ve teçhizatından kaynaklı olarak görmek gerektiği kanısına varılmıştır. Kuyu 16, yaklaşık 15 mg/l demir seviyesiyle mevsimin en yüksek değerini almıştır. Diğer örnek noktalarında elde edilen değerler 0,001 – 2,67 mg/l arasında değişmektedir. En düşük demir içeriğine sahip örnek noktası ise 0,0014 mg/l olarak belirlenen 9 nolu kuyudur.

Yaz mevsimi demir seviyeleri 0,0044 – 0,13 mg/l arasında değişmektedir. Mevsimin en yüksek değeri 18 nolu kuyu yaklaşık 0,13 mg/l olarak belirlenmiştir. 11 ve 17 nolu kuyularda 0,0045 mg/l civarında demir bulunmaktadır. 2, 3, 4, 8, 10, 12, 13, 14, 15 ve 19 nolu kuyularda ise demir değerlerine rastlanmamıştır (Şekil 4.32).

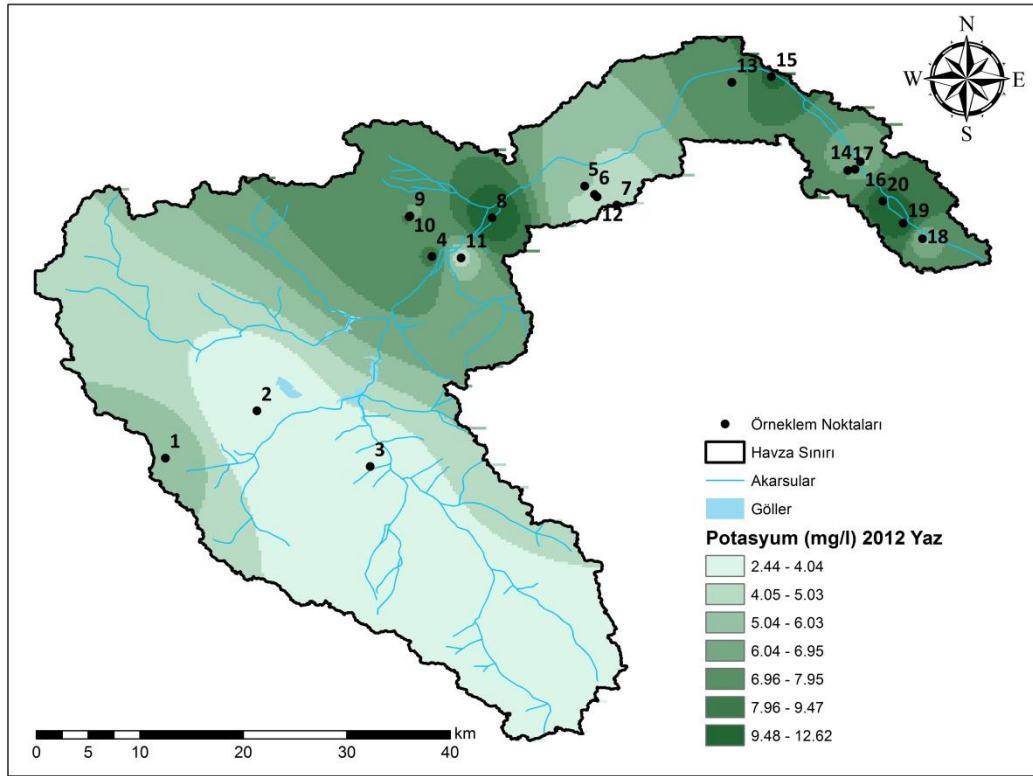
Sonbahar mevsiminde artan demir seviyeleri 0,02 – 4,05 mg/l arasında değişmektedir. En yüksek değer 18 nolu kuyuda 4,05 olarak tespit edilmiştir. Diğer kuyularda ise demir seviyeleri ortalama 0,04 mg/l civarında bulunmaktadır. (Şekil 4.33).

Kış mevsiminde 14 nolu kuyuda yaklaşık 0,86 mg/l, 15 nolu kuyuda ise 0,22 mg/l demir mevsimin yüksek değerleri olarak tespit edilmiştir. Diğer örnek noktalarında demir seviyeleri 0,02 – 0,06 mg/l arasında bulunmaktadır. (Şekil 4.34).

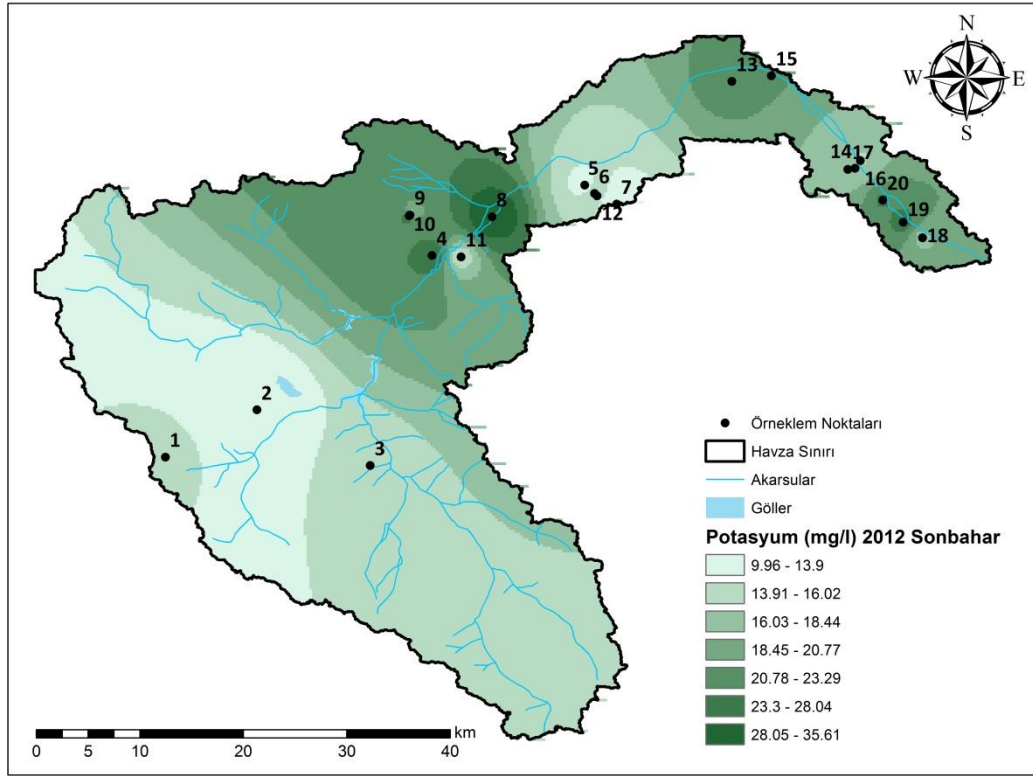
Birçok örnek noktasında mevsimler arası demir seviyeleri anlamlı değişiklikler göstermemektedir. Bu durum demirin yeraltı suyunun geniş bir kısmında çözülebilen durumda olmadığına işaret etmektedir.



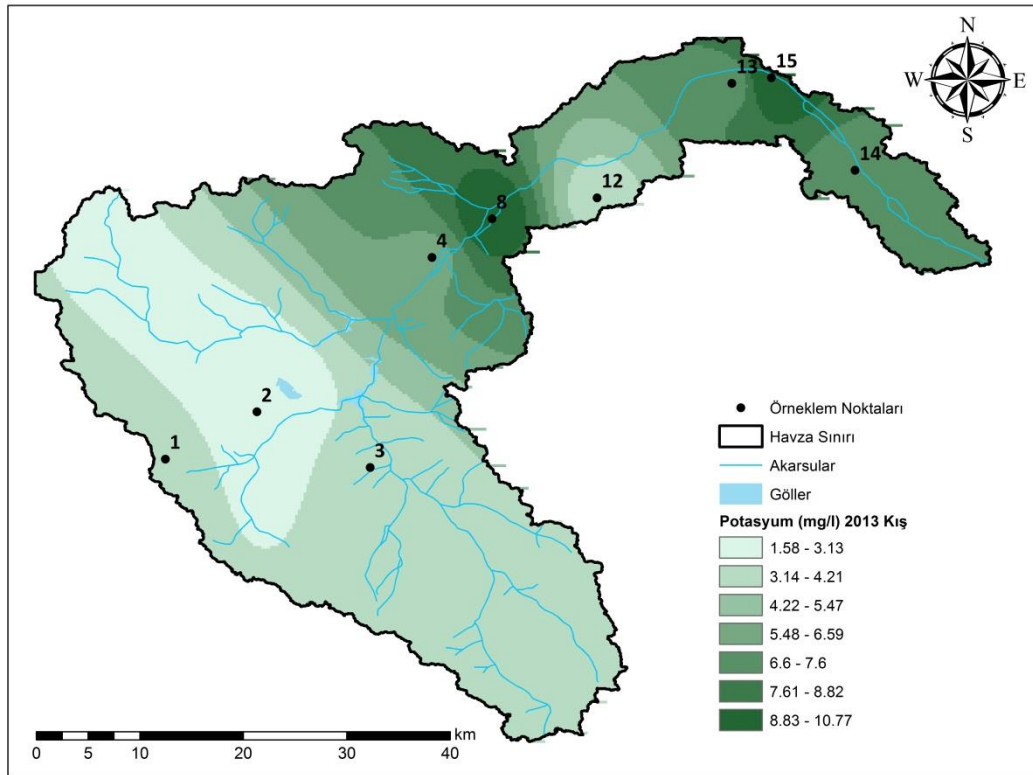
Şekil 4.35. Potasyum seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.36. Potasyum seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.37. Potasyum seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.38. Potasyum seviyeleri kış mevsimi

İçme sularında bulunabilecek maksimum potasyum seviyesine dair bir sınır değeri ulusal ve uluslararası mevzuatlarda belirtilmemiştir. Yeraltı sularının kimyasal içeriğini oluşturan ana elementlerden olan potasyumun varlığı doğada oldukça bulunmasına rağmen doğal sularda 10 mg/l altında bulunur fakat bazı sıcak su kaynaklarında 100 mg/l'ye kadar yükselmektedir. Eiswirth ve Hötzel (2006) güney Almanya'da yaptıkları çalışmada yeraltı sularında ortalama 8 mg/l potasyum tespit etmişlerdir. Çok yüksek seviyelerde potasyumun (> 2000 mg/l) sinir ve sindirim sistemi için zararlı olduğu söylenebilir (Kaçaroğlu, 1991).

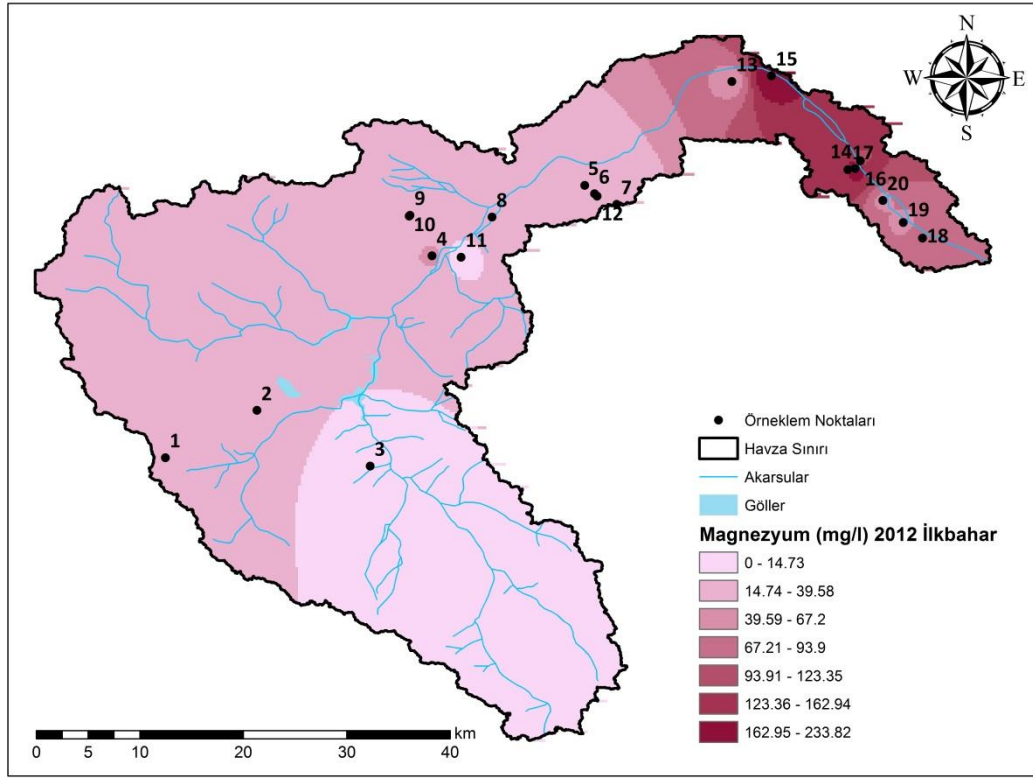
İlkbahar mevsimi potasyum seviyeleri 0 – 16 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Mevsimin en yüksek değeri 1, 2 ve 4 nolu kuyularda yaklaşık 16 mg/l olarak tespit edilmiştir. Diğer kuyular ise 2 – 10 mg/l arasında potasyum içermektedirler. En düşük potasyum seviyesi ise dedeksiyon limitlerinin altında kalan 3, 9, 11 ve 13 nolu kuyulardır (Şekil 4.35).

Yaz mevsimi potasyum seviyeleri ilkbahar mevsimi analizleri ile genel anlamda paralellik göstermektedir. Mevsimin en yüksek bakır değeri 10 nolu kuyuda yaklaşık 12 mg/l olarak belirlenmiştir. Diğer örnek noktalarında 2 – 10 mg/l arasında değişen potasyum değerleri kaydedilmiştir. Mevsimin en düşük potasyum seviyesi 2 ve 9 nolu kuyularda 2,5 mg/l olarak belirlenmiştir (Şekil 4.36).

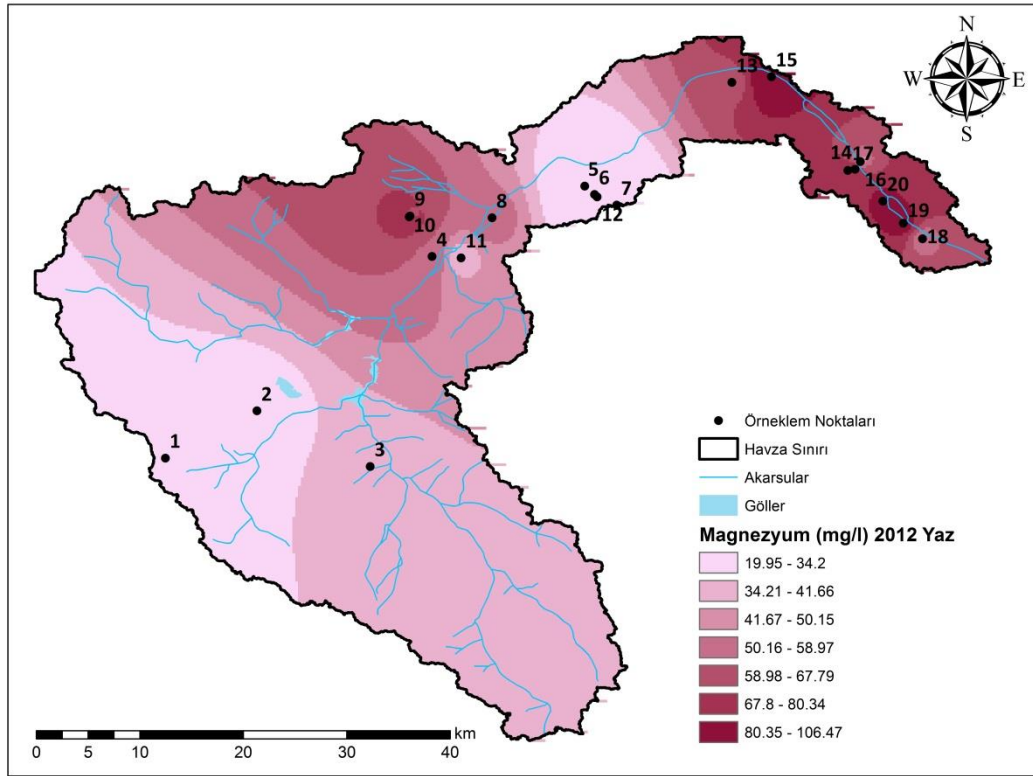
Sonbahar mevsiminde artış gösteren potasyum seviyeleri 10 – 35 mg/l arasında dağılım göstermektedir ancak 5 nolu kuyudan alınan örnekte yapılan analizde mevsimin en düşük potasyum seviyesi 5,4 mg/l olarak tespit edilmiştir. (Şekil 4.37).

Kış mevsiminde potasyum seviyeleri 1,5 – 11 mg/l arasında tespit edilmiştir (Şekil 4.38). En yüksek değerler 13 ve 15 nolu kuyu örneklerinde yaklaşık 10 mg/l olarak analiz edilmiştir.

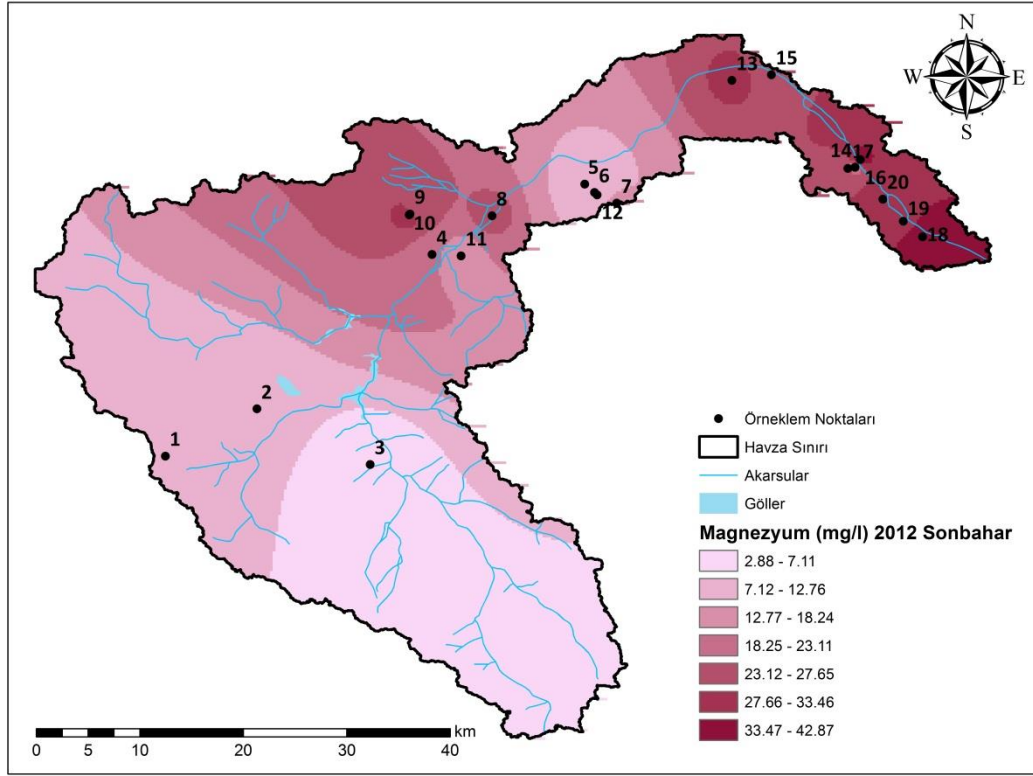
Mevsimsel olarak bakıldığında potasyum seviyelerinde sonbahar mevsimine doğru artış yaşanmıştır. Buna neden olarak kış ve ilkbahar mevsimlerinde oluşan yağışların yeraltı suyuna beslenerek seyrelim yaratması olarak gösterilebilir. Bu durum sonbahar mevsimindeki değerlerin daha yüksek kalarak mevsimsel arası değişikliklerde oluşan artışı açıklamaktadır.



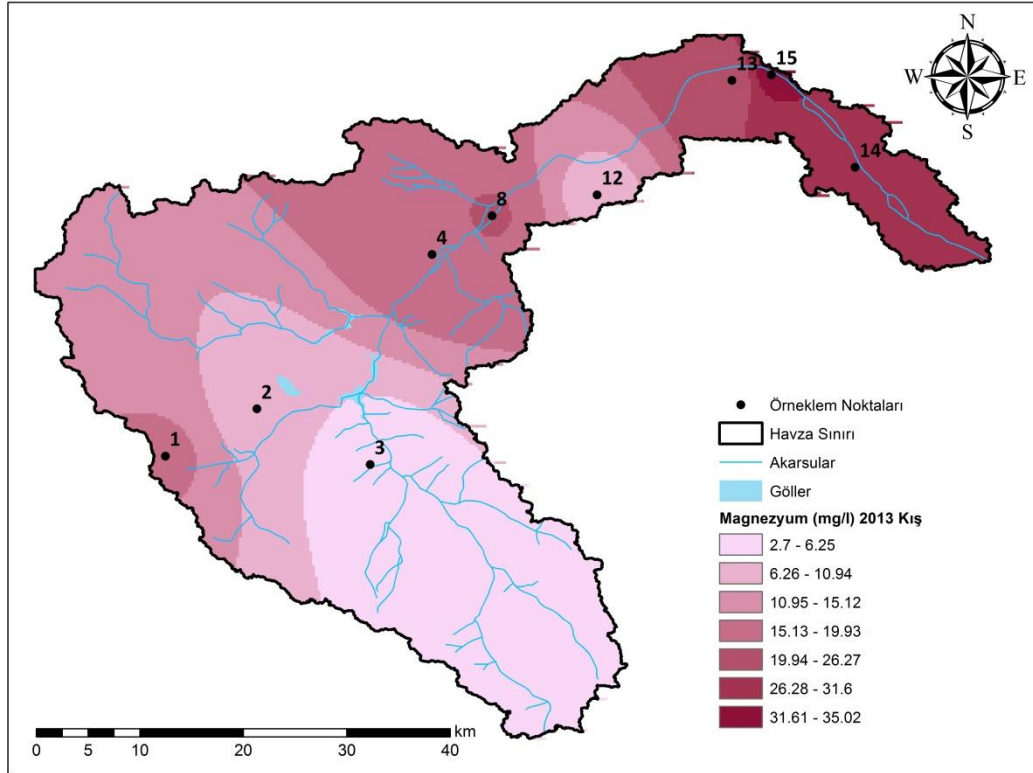
Şekil 4.39. Magnezyum seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.40. Magnezyum seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.41. Magnezyum seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.42. Magnezyum seviyeleri kış mevsimi

İçme sularında magnezyumun sınırlandırılmasına dair bir sınır değeri ulusal ve uluslararası standartlarda belirtilmemiştir. Kalsiyumdan sonra yeraltı sularının kimyasal içeriğini ve sertliğini oluşturan ana elementlerin başında gelir. Yeraltı sularında genellikle 10 – 100 mg/l arasında magnezyum bulunur. 125 mg/l’yi aşması durumunda sular acılaşmakta ve tat bakımından içilememektedir. Daha yüksek seviyelerdeki magnezyum varlığı ise bağırsak hastalıklarına sebep olmaktadır (Hem, 1992)

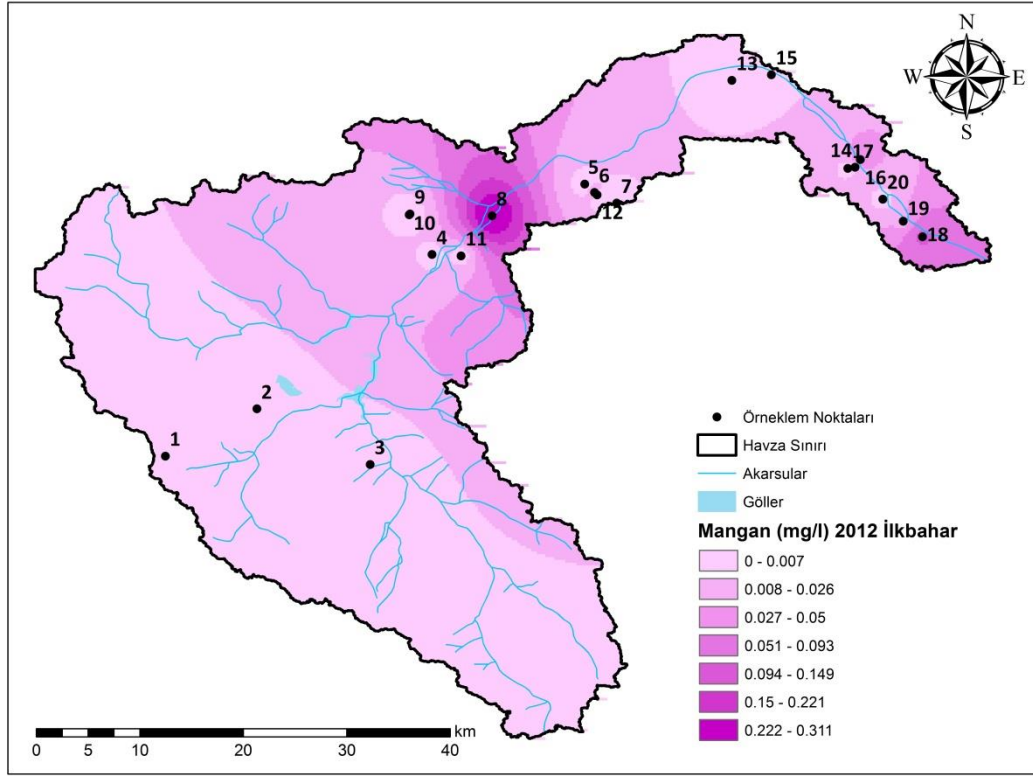
Şekil 4.39’da gösterilen ilkbahar mevsimi magnezyum seviyeleri 0 – 240 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Mevsimin en yüksek değeri 14 ve 15 nolu kuyularda 230 mg/l olarak tespit edilmiştir. Diğer kuyular ise 20 – 90 mg/l olarak değişen magnezyum seviyeleri içermektedir. En düşük magnezyum değerleri ise dedeksiyon limitlerinin altında kalan 3, 9 ve 11 nolu kuyulardır.

İlkbahar mevsimi seviyelerine göre artan yaz mevsimi magnezyum seviyeleri 20 – 106 mg/l arasında değişmektedir. Mevsimin en yüksek magnezyum değeri 10 ve 15 nolu kuyularda yaklaşık 105 mg/l olarak belirlenmiştir. Diğer örnek noktalarında 20 – 60 mg/l arasında değişen magnezyum değerleri kaydedilmiştir. Mevsimin en düşük potasyum seviyesi 5, 7 ve 12 nolu kuyularda yaklaşık 20 mg/l olarak belirlenmiştir (Şekil 4.40).

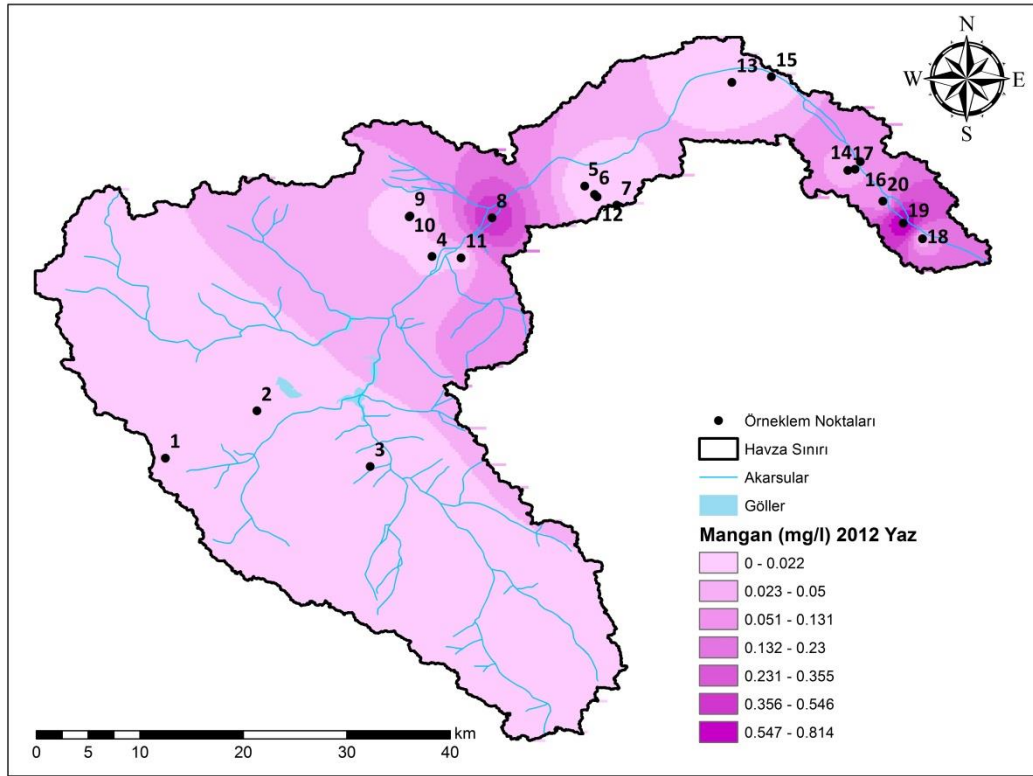
Sonbahar mevsiminde düşüş gösteren magnezyum seviyeleri 8– 42 mg/l arasında dağılım göstermektedir ancak 3 nolu kuyu analizinde mevsimin en düşük magnezyum seviyesi 2 mg/l olarak tespit edilmiştir. (Şekil 4.41).

Kış mevsiminde magnezyum seviyeleri 2 – 35 mg/l arasında değişik seviyelerde tespit edilmiştir (Şekil 4.38). En yüksek değerler 1 ve 15 nolu kuyu örneklerinde yaklaşık 35 mg/l olarak analiz edilmiştir. en düşük mevsim değeri ise 3 nolu kuyuda yaklaşık 3 mg/l olarak kaydedilmiştir.

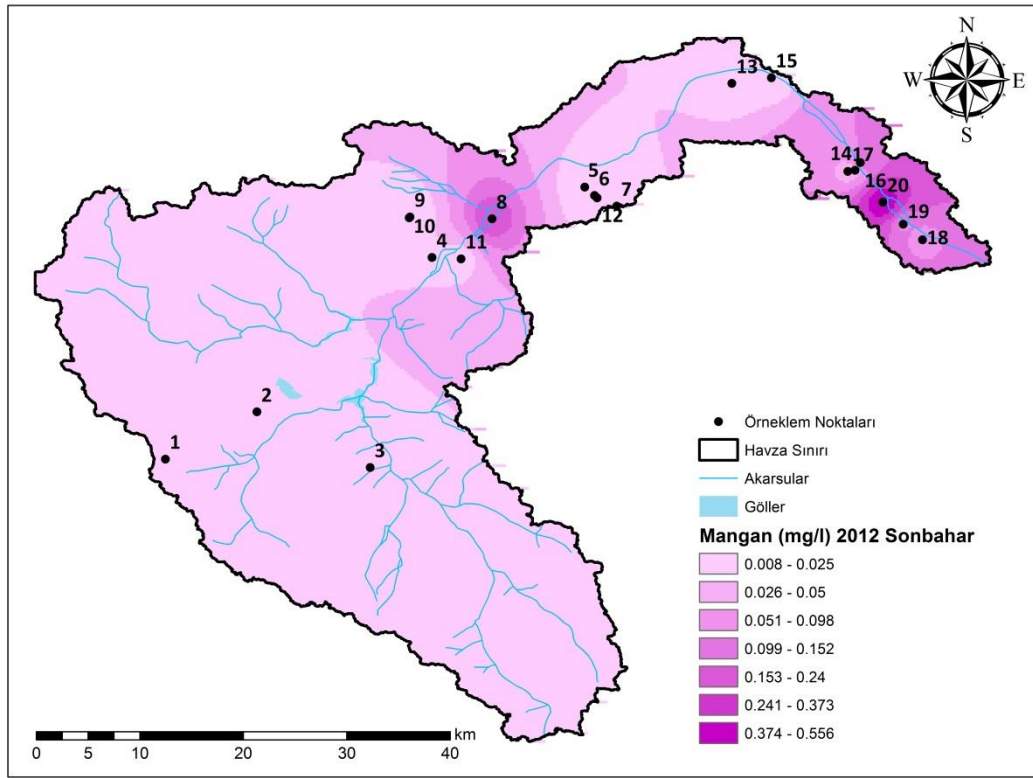
Mevsimsel olarak magnezyum seviyelerinde yaz mevsiminde artış yaşanmıştır. Bazı kuyularda ilkbaharda en yüksek magnezyum değerleri görülse de bu durum genel eğilimde yaz olarak belirlenmiştir. Burada dikkati çeken nokta magnezyum seviyeleri havzanın alçak kotlarına gidildikçe artmaktadır. Bu durum sedimanter kayalarda bol miktarda bulunan magnezyumun havzanın alçak kotlarına gidildikçe artan sedimanter kayaç yapısından yeraltı suyuna geçtiğini düşündürmektedir.



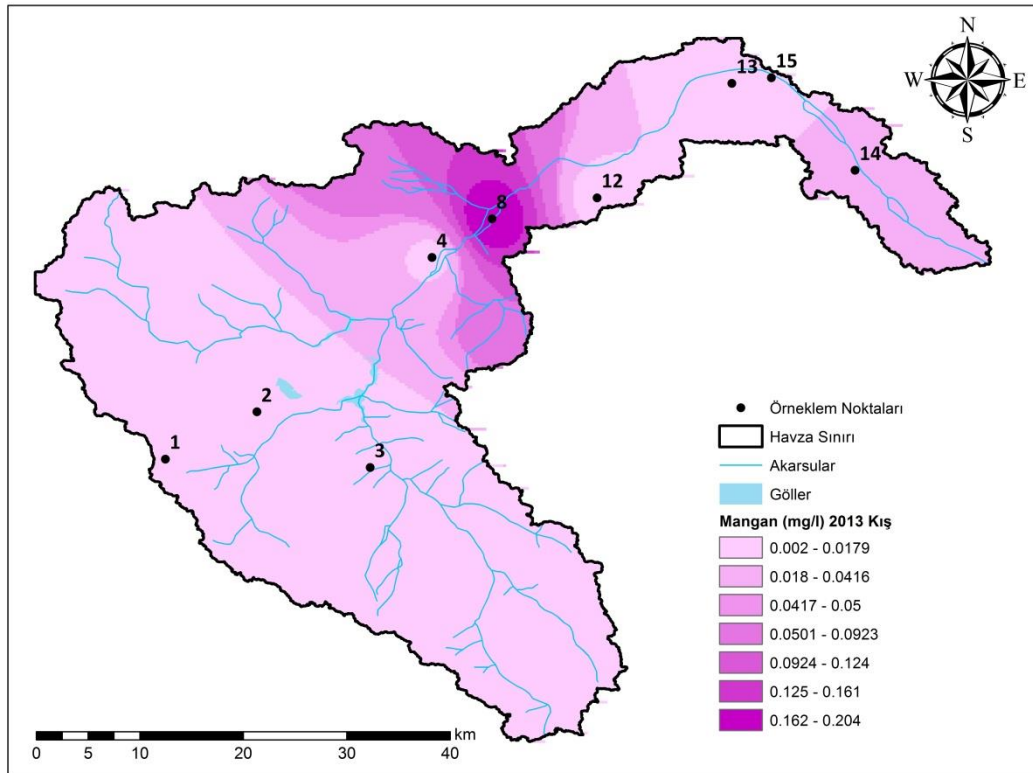
Şekil 4.43. Mangan seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.44. Mangan seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.45. Mangan seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.46. Mangan seviyeleri kış mevsimi

İçme sularında bulunabilecek mangan içeriği TS 266 ve EPA tarafından 0,05 mg/l ile sınırlandırılmıştır. WHO'nun standartlarında 0,04 mg/l limit değerin üzerinde mangan içeren suların içilmesi sakıncalı olarak görülmektedir. SKKY, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerince mangan içeriğini 0,1 mg/l'ye kadar I. sınıf, 0,5 mg/l'ye kadar II. sınıf, 3 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 3 mg/l üzeri IV. sınıf olarak belirlemiştir.

Şekil 4.43'de verilen ilkbahar mevsimine ait Seydisuyu Havzası mangan seviyelerini dağılımı haritasında mangan değerleri 0,002 – 0,3 mg/l arasında değişmektedir. 8 nolu Seyitgazi içme suyu kuyusu mevsimin en yüksek değeri 0,3 mg/l mangan içermektedir. Kuyu 18 yaklaşık 0,1 mg/l mangan seviyesiyle mevsimin diğer yüksek değerini almıştır. 7, 14, 16 ve 19 nolu kuyular elde edilen değerler 0,001 – 0,02 mg/l arasında değişmektedir. Bunun dışındaki kuyularda mangan dedeksiyon limitlerinin altında kalmıştır.

Yaz mevsimi mangan seviyeleri 0 – 0,82 mg/l arasında değişmektedir. Mevsimin en yüksek değeri 19 nolu kuyuda yaklaşık 0,8 mg/l olarak belirlenmiştir. 8 nolu kuyuda ise 0,5 mg/l civarında mangan bulunmaktadır. Diğer kuyularda ise 0,002 – 0,01 mg/l arasında değerler kaydedilmiştir. 5, 9, 13 ve 15 nolu kuyularda mangan seviyeleri dedeksiyon limitlerinin altındadır (Şekil 4.44).

Sonbahar mevsiminde mangan seviyeleri 0,008 – 0,55 mg/l arasında değişmektedir. En yüksek değer 20 nolu kuyuda 0,556 mg/l olarak tespit edilmiştir. 8 nolu kuyu 0,22 mg/l mangan içeriğiyle mevsim içerisindeki yüksek değerlerdendir (Şekil 4.45).

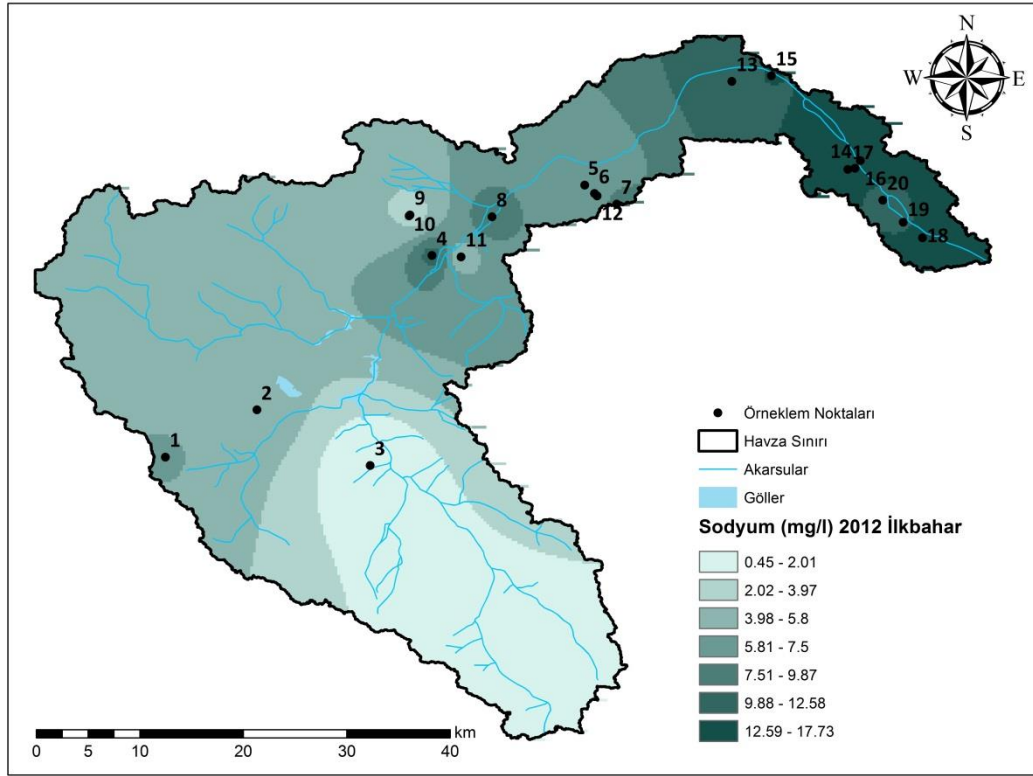
Kış mevsiminde 8 nolu kuyuda yaklaşık 0,2 mg/l, 1 nolu kuyuda ise 0,04 mg/l mangan mevsimin yüksek değerleri olarak tespit edilmiştir. Diğer örnek noktalarında ise 0,002 – 0,005 mg/l arasında bulunmaktadır. (Şekil 4.46).

İncelenen mangan seviyeleri genel olarak sınır değerlerinin altında kalmıştır ve mevsimsel değişim eğiliminde değildir. Tüm mevsimlerde 0,2 – 0,5 mg/l arasında değişen değerler ile ölçülen Kuyu 8 içme suyu standartlarında sınır değerlerin üzerindedir. Bu durum insan sağlığını etkileyecek boyutlarda sorun yaratmasa da suyun tadını kötü anlamda etkileyeceğinden sorun teşkil etmektedir (Kaçaroglu, 1991).

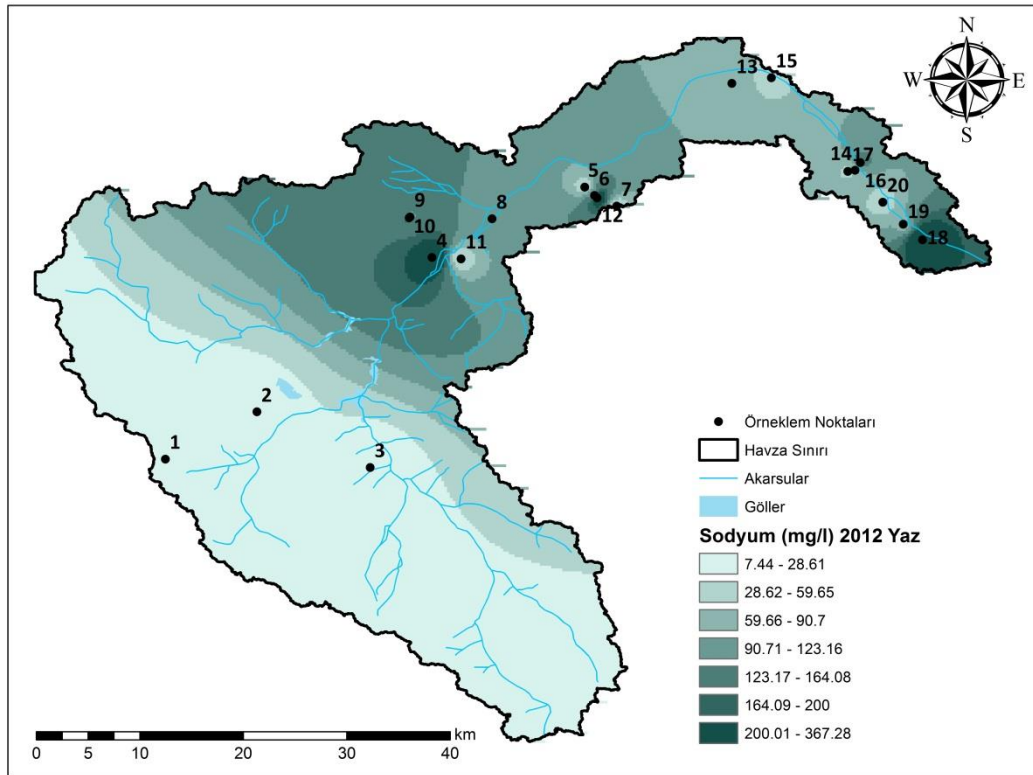
Homonick ve ark. (2010) İskoçya yeraltı sularında yaptıkları araştırma çerçevesinde 475 adet örnekte 1,9 mg/l kadar çıkan seviyelerde mangan tespit etmişlerdir. Ortalama değerin 0,013 mg/l olarak belirlendiği çalışmada örneklerin yaklaşık %30'u İskoçya içme suyu mevzuatı mangan sınır değeri 0,05 mg/l'nin üzerinde kalmaktadır.

Kentucky jeolojik araştırma çerçevesinde Fisher ve Davidson (2007) ortaya koydukları çalışmada yaklaşık 6000 kuyu ve 1500 kaynaktan alınan 20000 mangan analizi değerlendirmişlerdir. Yapılan analizlerin %50'sinin, 0,05 mg/l olan limit değeri aştığı tespit edilmiştir.

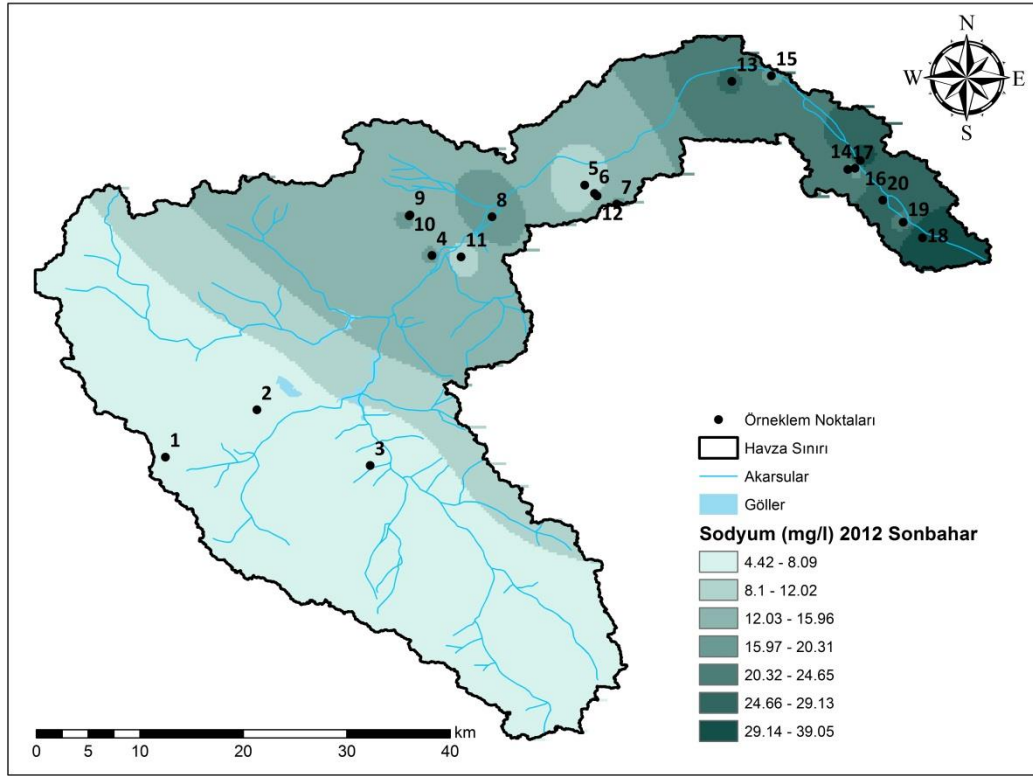
Çalışmada elde edilen değerler daha önce yapılan çalışmalarda tespit edilen değerlerle uyum göstermektedir.



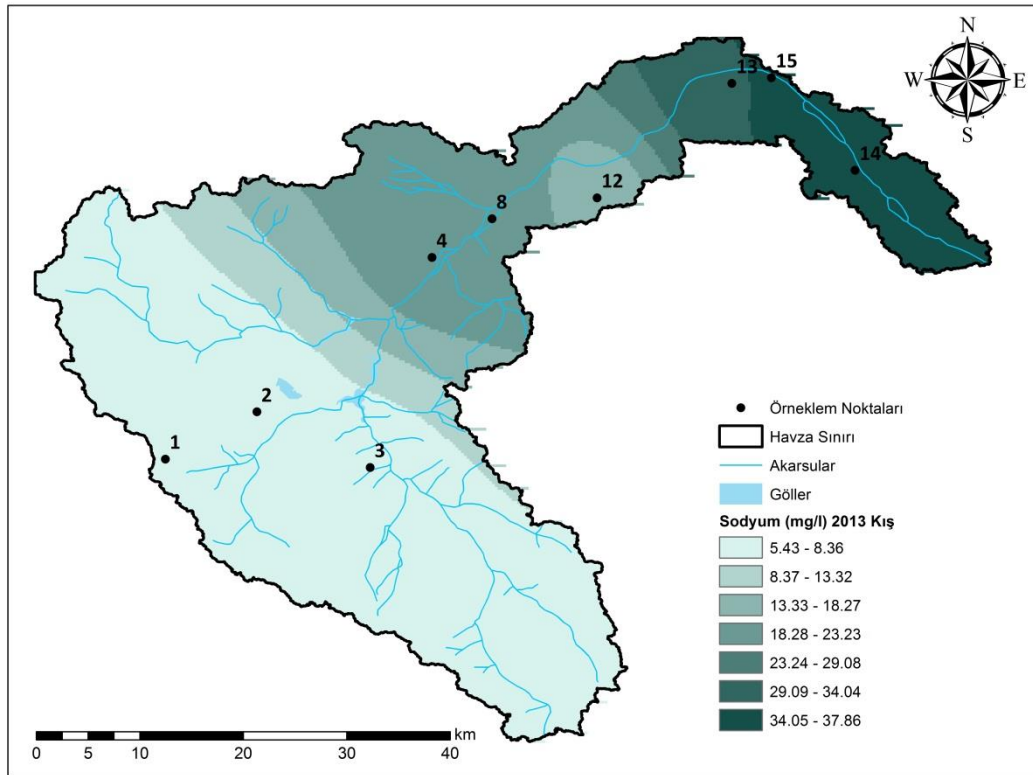
Şekil 4.47. Sodyum seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.48. Sodyum seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.49. Sodyum seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.50. Sodyum seviyeleri kış mevsimi

İçme sularında bulunabilecek maksimum sodyum seviyesi WHO ve TS 266 tarafından 200 mg/l ile sınırlandırılmıştır. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri tablosunda suların içerdiği sodyum seviyelerini 125 mg/l'ye kadar I. ve II. sınıf, 250 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 250 mg/l üzeri IV. sınıf olarak belirlemiştir.

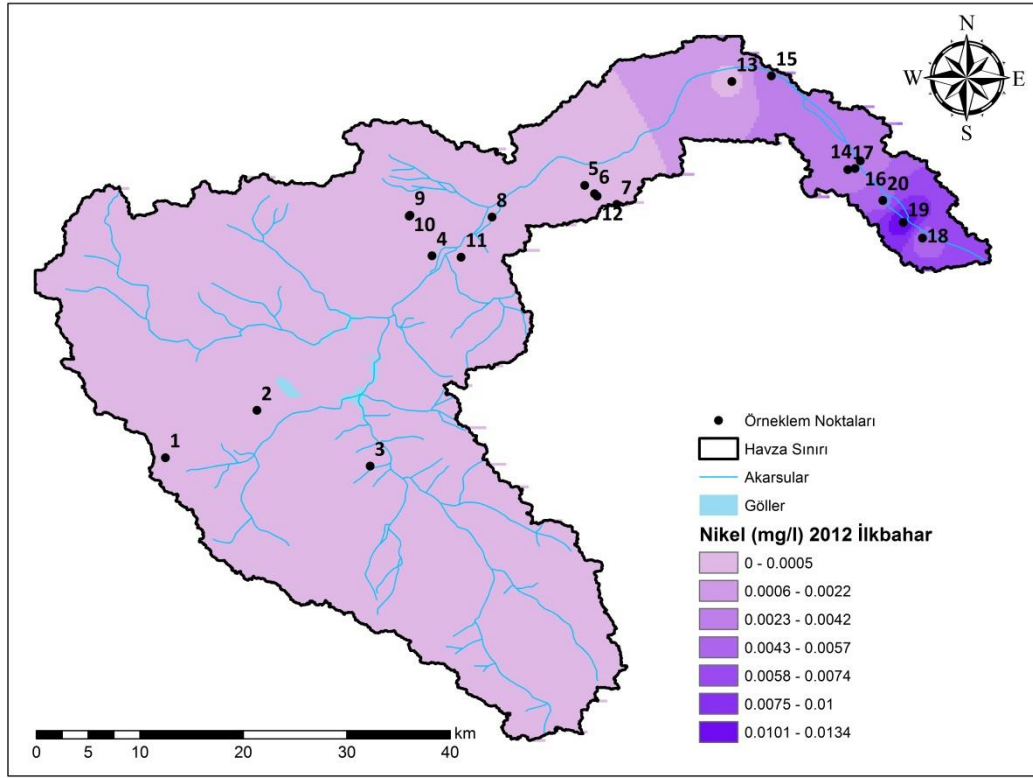
İlkbahar mevsimi sodyum seviyeleri 0,5 – 17 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Mevsimin en yüksek değeri 16 nolu kuyuya ait 17 mg/l'dir. Diğer kuyular ise 5 – 10 mg/l arasında sodyum içermektedirler. En düşük bakır değeri ise yaklaşık 0,5 mg/l olarak 3 nolu kuyuda tespit edilmiştir (Şekil 4.47).

Yaz mevsimi sodyum seviyeleri 7 – 385 mg/l arasında yüksek bir aralıkta değişim göstermektedir. Mevsimin en yüksek bakır değeri 12 nolu kuyu da 385 mg/l olarak tespit edilmiştir. 4, 10 ve 18 nolu kuyularda ise yaklaşık 250 – 320 mg/l arasında elde edilen değerler mevsimin yüksek sodyum değerleridir. Diğer örnek noktalarında 25 – 160 mg/l arasında değişen sodyum değerleri tespit edilmiştir. Mevsimin en düşük sodyum seviyesi 2 ve 3 nolu kuyularda yaklaşık 8 mg/l olarak belirlenmiştir (Şekil 4.48).

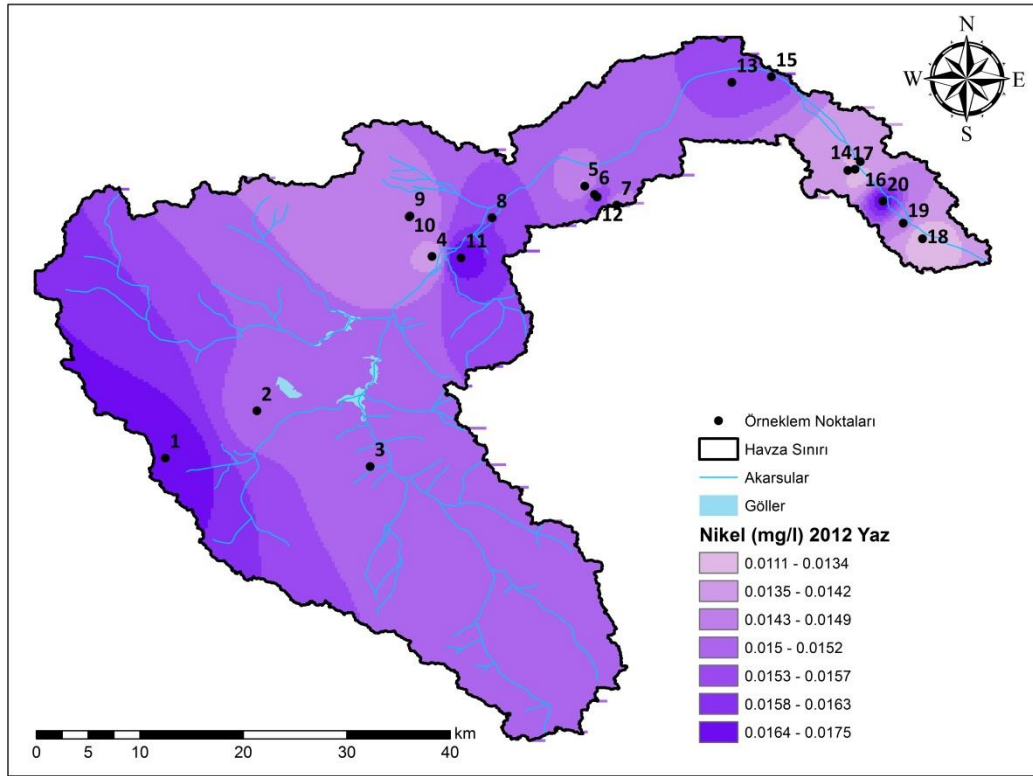
Sonbahar mevsimi sodyum seviyeleri 4 – 40 mg/l arasında dağılım göstermektedir. Mevsimdeki en yüksek sodyum seviyesi 16 nolu kuyuda yaklaşık 40 mg/l olarak tespit edilmiştir. 1, 2 ve 3 nolu kuyular da yaklaşık 7 mg/l sodyum içeriğiyle mevsimin en düşük değerlerini temsil etmektedir. (Şekil 4.49).

Kış mevsiminde sodyum seviyeleri sonbahar mevsimine paralel sonuçlar vererek, Seydisuyu Havzası'nda 5 – 38 mg/l arasında tespit edilmiştir (Şekil 4.50). En yüksek değerler 13, 14 ve 15 nolu kuyu örneklerinde yaklaşık 30 – 37 mg/l arası olarak analiz edilmiştir.

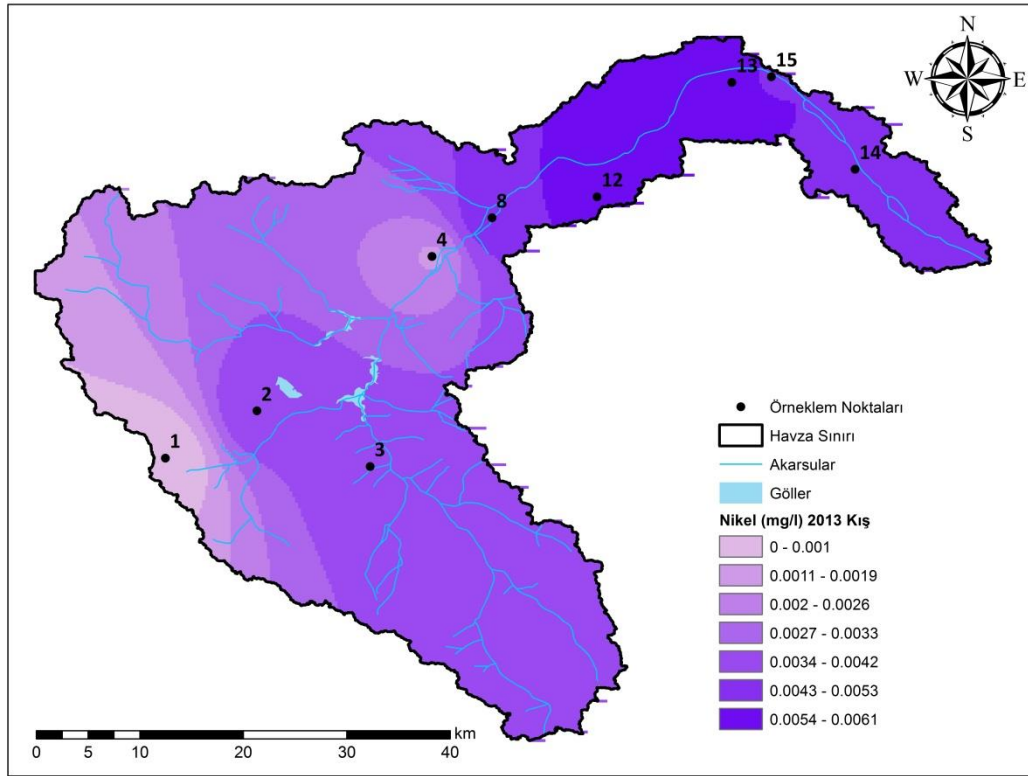
Mevsimsel olarak bakıldığında sodyum seviyeleri yaz mevsiminde farklı örnek noktalarında farklı seviyelerde artışlar yaşamıştır. Mevzuatta verilen sınır değerler yaz mevsiminde 4, 10, 12 ve 18 nolu kuyularda aşılmıştır. Diğer mevsimlerde birbirine yakın değerler ile sodyum seviyeleri ortalama 50 mg/l altında kalmıştır. Basavaraddi ve ark. (2012), yeraltı sularında sodyum toksistesini araştırdıkları çalışmalarında 11 adet yeraltı suyunda 140 – 190 mg/l arası sodyum içeriği saptamışlardır. Literatürde belirtildiği gibi yeraltı sularında sodyum içeriği yapılan analizlerle örtüşmektedir.



Şekil 4.51. Nikel seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.52. Nikel seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.53.Nikel seviyeleri kış mevsimi

İçme sularında nikel içeriği, TS 266 tarafından 0,02 mg/l ile sınırlandırılmıştır. WHO ise 0,07 mg/l limit değerini üzerinde suların içilmesini sakıncalı bulmaktadır. SKKY, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerince 0,02 mg/l'ye kadar I. sınıf, 0,05 mg/l'ye kadar II. sınıf 0,2 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 0,2 mg/l üzeri nikel içeren sular IV. sınıf olarak belirlenmiştir.

İlkbahar mevsimi nikel seviyeleri 0 – 0,013 mg/l arasında değişmektedir (Şekil 4.51). Mevsimin en yüksek değeri 0,013 mg/l olarak kuyu 19'da elde edilmiştir. Havzanın yüksek kotlu olan doğu yönündeki kuyularda yapılan analizlerde nikel değerleri dedeksiyon limitlerinin altında bulunmuştur.

Yaz mevsimi nikel seviyelerindeki artış yasal limitleri altında kalarak 0,011 – 0,018 mg/l arasında değerlere ulaşmıştır. 1, 11 ve 20 nolu kuyular 0,017 mg/l civarında tespit edilerek mevsimin en yüksek değerlerini almışlardır. Mevsimin en düşük değeri ise 14 nolu kuyuda 0,011 mg/l olarak belirlenmiştir (Şekil 4.52).

Sonbahar mevsiminde yapılan analizler sonucu nikel seviyeleri dedeksiyon limitlerinin altında kaldığından haritalandırılmamıştır.

Kış mevsimi örnekleri üzerinde yapılan analizlerde 1 nolu kuyuda nikel değeri dedeksiyon limitlerinin altında kalmıştır. Diğer kuyularda 0,001 – 0,006 mg/l arasında nikel içeriği tespit edilmiştir (Şekil 4.53)

Bütün mevsimlerde nikel değerleri yasal mevzuatlardaki sınır değerlerin altında kalmıştır. Mevsimsel olarak nikel seviyelerinde anlamlı bir artış gözükmemektedir. Havzanın yeraltı sularında doğal olarak 0,02 mg/l ye kadar nikel içeriği bulunabileceği öngörülmektedir.

Nkansah ve ark. (2010) Gana'nın batı bölgesinde yaptıkları yeraltı suyu kalitesi çalışmasında 30 adet örnekte 0,03 – 0,290 mg/l arasında 0,19 mg/l ortalama değerlerde nikel tespit etmiştir. Çalışmada elde edilen değerler literatür çalışmalarındaki değerlerle örtüşmektedir.

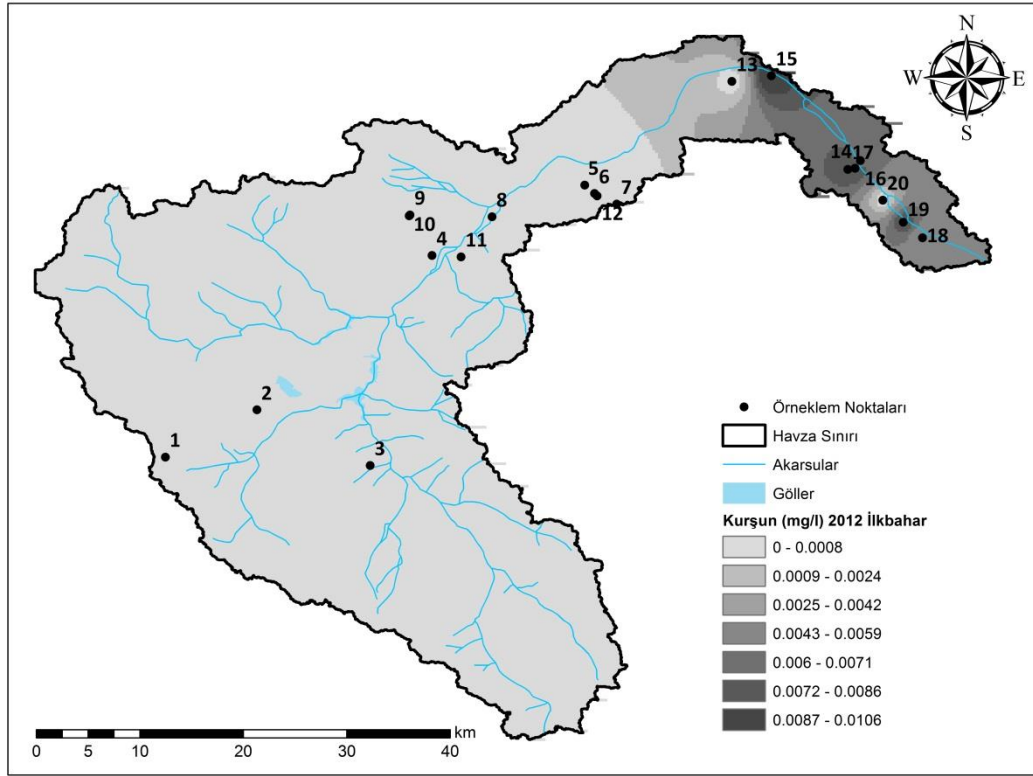
Kurşun elementinin içme sularındaki varlığı TS 266 ve WHO tarafından 0,01 mg/l ile sınırlandırılmıştır. EPA ise 0,015 mg/l üzerinde kurşunlu suların içilmemesini öngörmektedir. SKKY, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerince 0,01 mg/l'ye kadar I. sınıf, 0,02 mg/l'ye kadar II. sınıf 0,05 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 0,05 mg/l üzeri kurşun içeren sular IV. sınıf olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.54'te verilen ilkbahar mevsimi kurşun seviyeleri 0 – 0,010 mg/l arasında değişmektedir. Mevsimin en yüksek değeri 0,010 mg/l olarak kuyu 15'de tespit edilmiştir. Kurşun seviyeleri havzanın yüksek kotlu olan doğu yönündeki kuyularında dedeksiyon limitlerinin altında bulunmuştur.

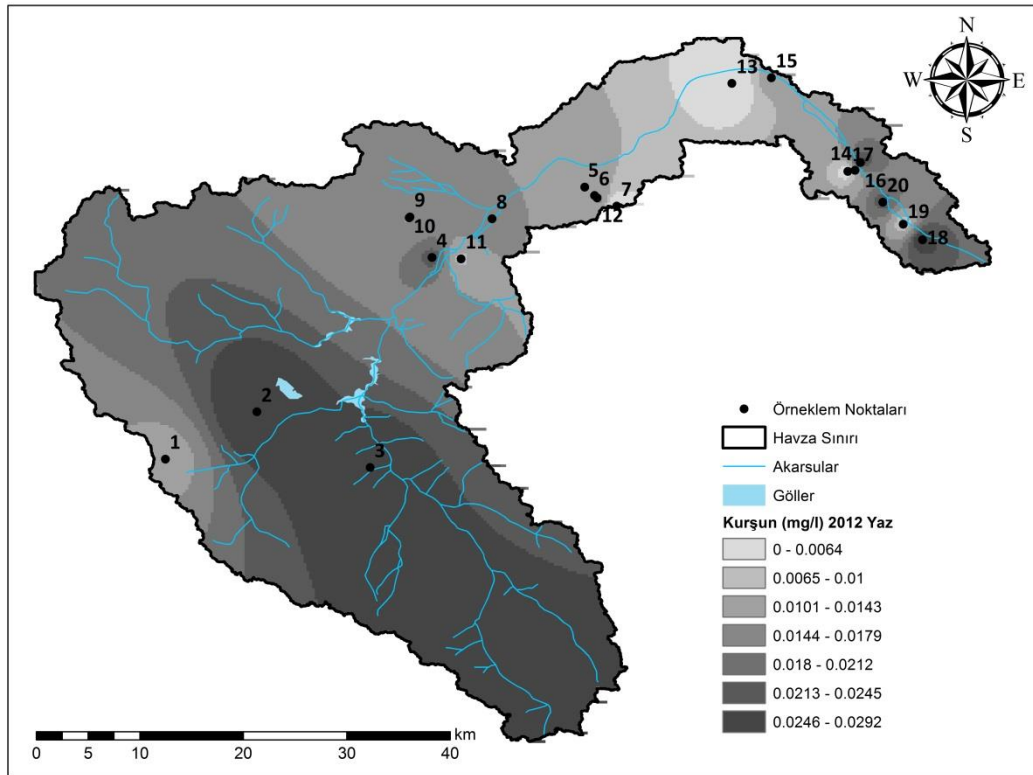
Yaz mevsimi kurşun seviyeleri artış göstererek 0 – 0,03 mg/l arasında değerlere ulaşmıştır. 2, 3, 16 ve 18 nolu kuyular yaklaşık 0,025 mg/l olarak tespit edilerek yaz mevsiminde havzanın en yüksek yeraltı suyu değerlerini temsil etmektedir. Mevsimin en düşük değeri ise 7, 13 ve 17 nolu kuyuda analizlerin dedeksiyon limitleri altında kalmasıyla 0 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.55).

Sonbahar mevsiminde yapılan analizler sonucu kurşun seviyeleri dedeksiyon limitlerinin altında kaldığından haritalandırılmamıştır.

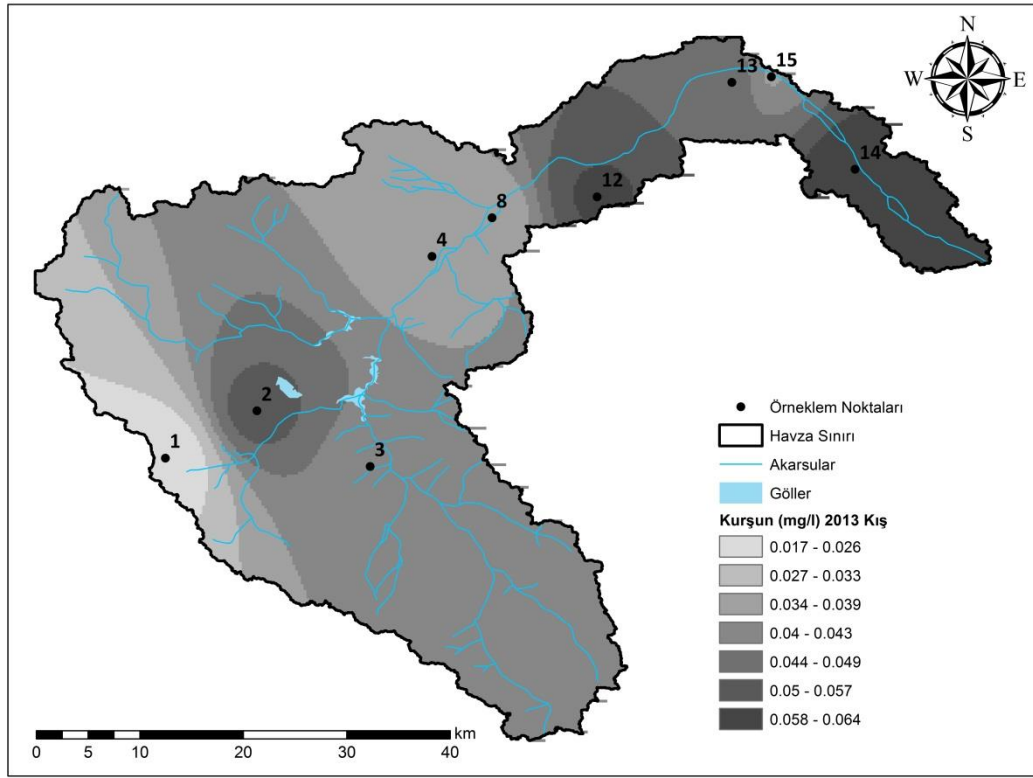
Yıllık kurşun seviyeleri arasında en yüksek değerler kış mevsiminde 0,017 - 0,064 mg/l arasında tespit edilmiştir. 12 ve 14 nolu kuyular kış mevsiminde yaklaşık 0,06 mg/l seviyelerinde en yüksek kurşun değerlerini temsil etmektedir (Şekil 4.53).



Şekil 4.54. Kurşun seviyeleri ilkbahar mevsimi



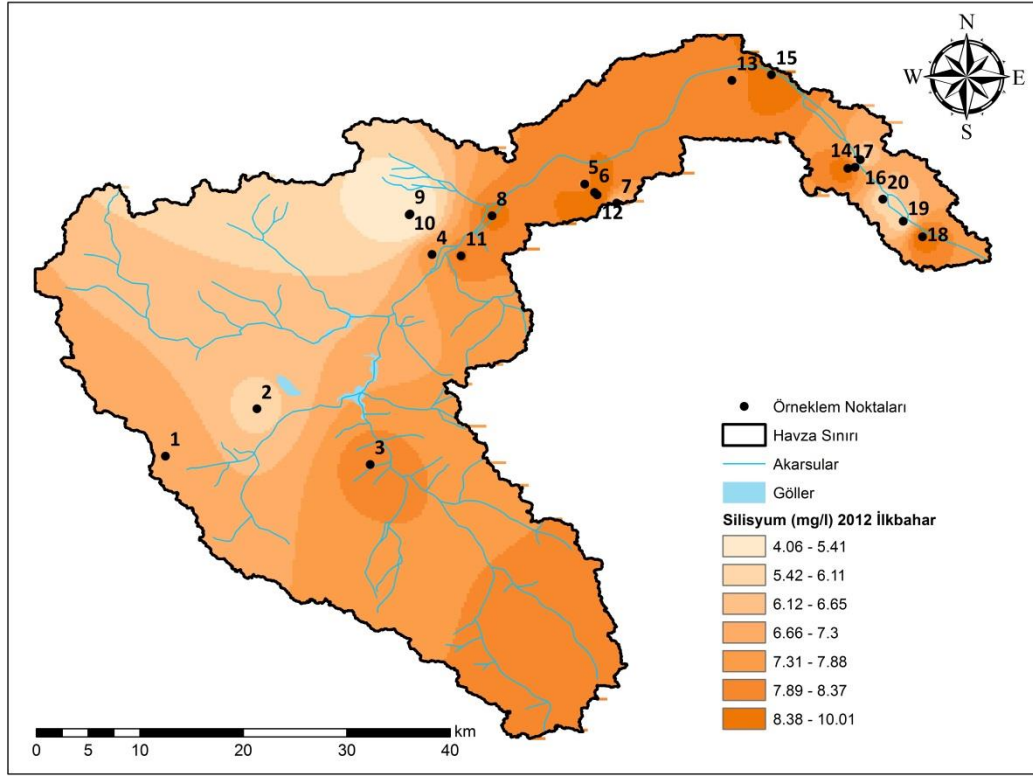
Şekil 4.55. Kurşun seviyeleri yaz mevsimi



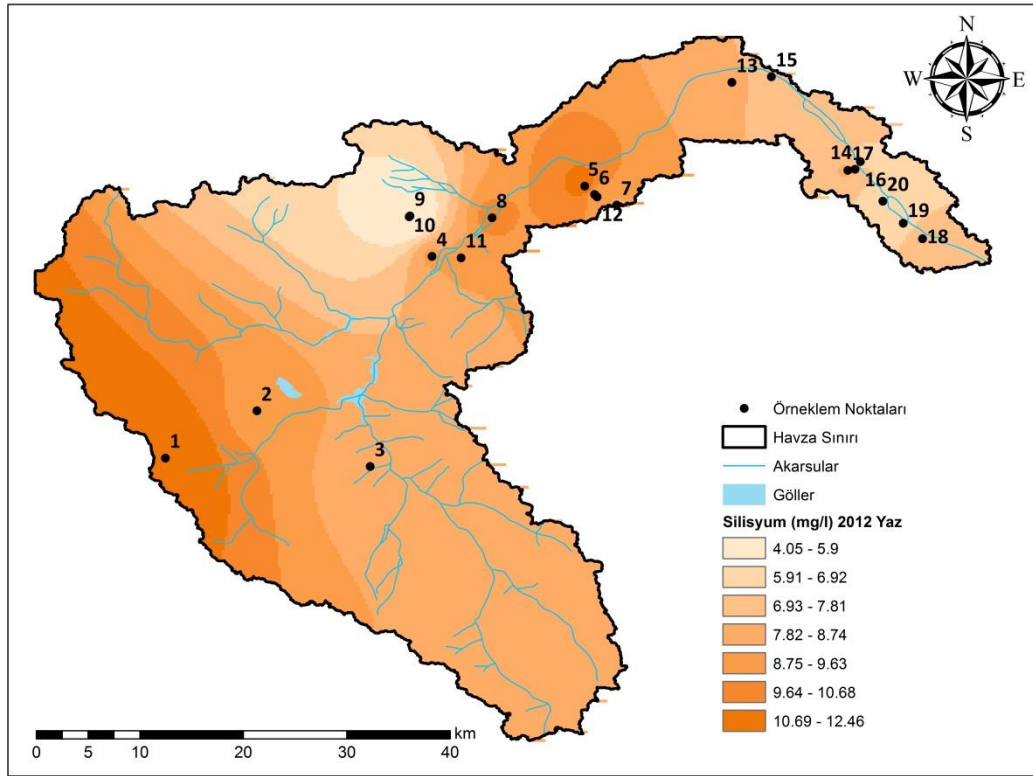
Şekil 4.56. Kurşun seviyeleri kış mevsimi

Ocheri ve Ogwuche (2012) Nijerya'nın kırsal bölgelerindeki yeraltı sularında yaptıkları çalışmada 26 adet noktadan yağışlı ve yağışsız mevsimler olmak üzere 2 kez numune almışlardır. 0 – 2,5 mg/l arasında değişen seviyelerde tespit edilen kurşun seviyeleri WHO içme suyu standartlarına göre değerlendirilmiş ve 0,10 mg/l olan sınır seviyenin üzerinde 25 nokta tespit edilmiştir. Ayrıca yağışlı mevsim numuneleri yağışsız mevsimden daha yüksek çıktığı görülmüştür.

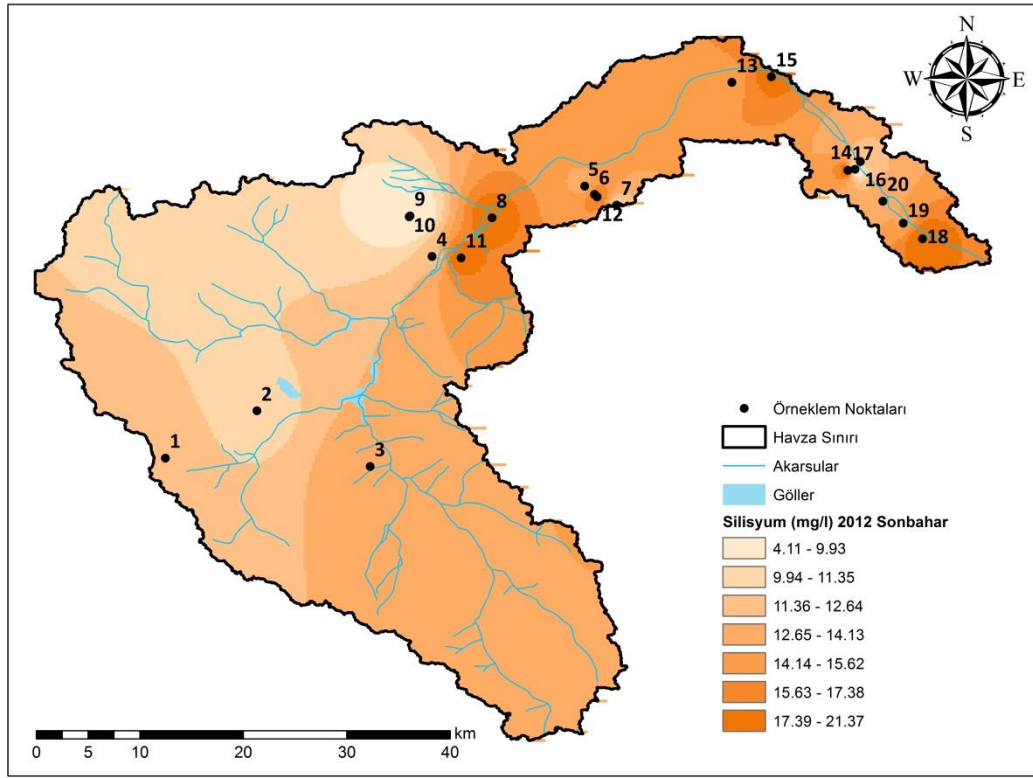
Seydisuyu Havzası'nda mevsimsel olarak kurşun seviyeleri incelendiğinde yaz mevsiminde havzanın büyük bölümünde, kış mevsiminde ise havzanın tamamında seviyelerin mevzuat sınır değerlerini aştığı görülmektedir. Mevsimler arası seviyelerinin artmasındaki nedenin doğal süreçler sonucunda gerçekleşen bir döngü olduğu tahmin edilmektedir. Yapılan literatür çalışmalarında görülen değerler ve mevsimsel değişimler çalışmada elde edilen değerlerle uyum sağlamaktadır.



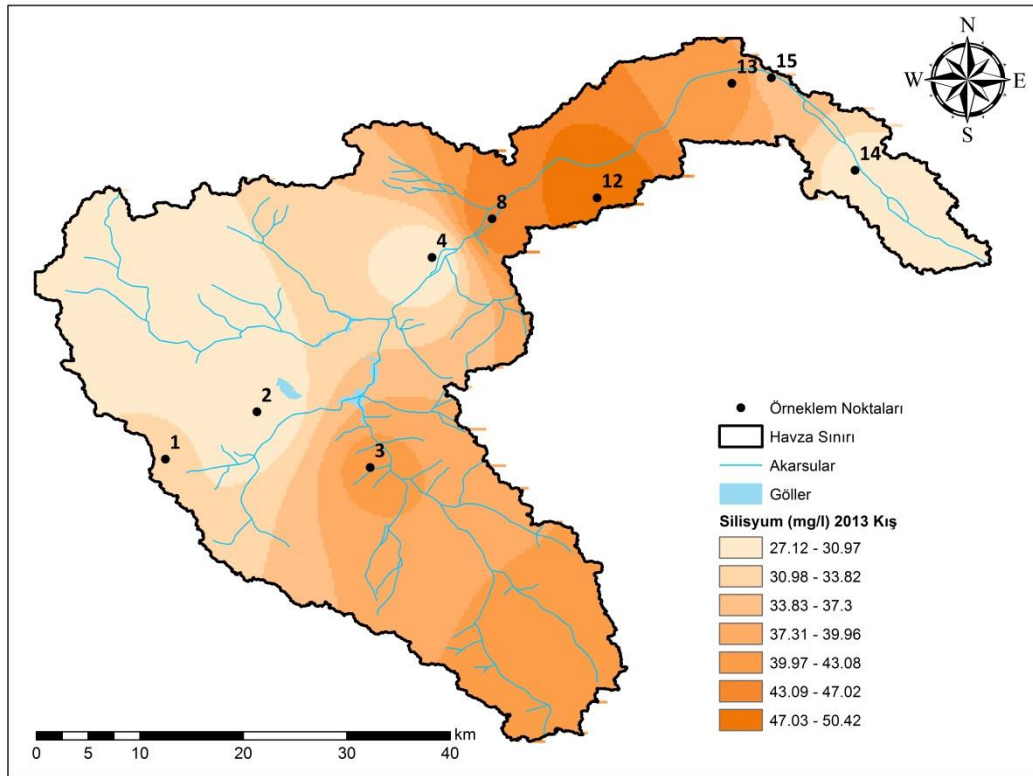
Şekil 4.57. Silisyum seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.58. Silisyum seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.59. Silisyum seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.60. Silisyum seviyeleri kış mevsimi

İçme sularında silisyum içeriği ait ulusal ve uluslararası mevzuatlarda sınır değeri belirlenmemiştir. Davis (1964), yeraltı sularında oksitlenmiş halde bulunan silisyum (SiO_2) değerlerini ortalama olarak 17 mg/l olarak belirtmiştir. Hem (1992) yaptığı çalışmasında ise doğal sularda silisyumun 1 – 30 mg/l olarak değişen seviyelerde bulunduğunu fakat bazı bölgelerde 100 mg/l'ye varan seviyelerde de ölçüldüğünü aktarmıştır.

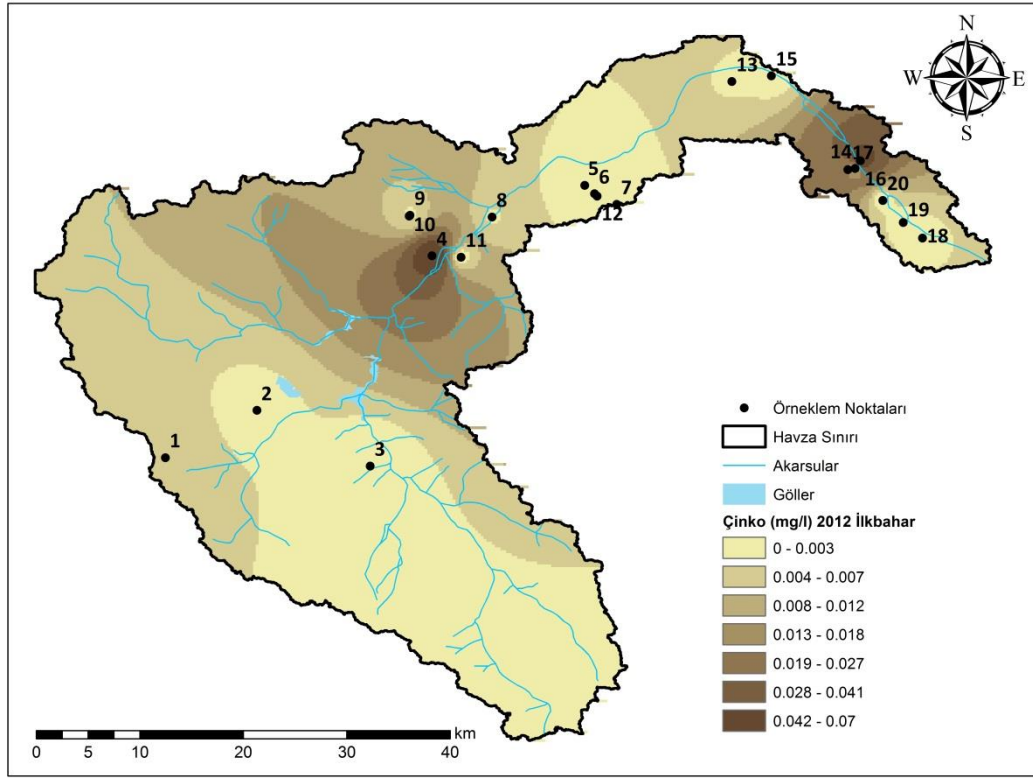
Şekil 4.57'de verilen ilkbahar mevsimine ait Seydisuyu Havzası silisyum seviyelerinin dağılımı haritasında değerlerin 4 – 10 mg/l arasında değiştiği görülmektedir 6, 12, 15, 17 ve 18 nolu kuyularda 9 – 10 mg/l arasında silisyum varlığı mevsimin en yüksek değerlerini göstermektedir. Kuyu 9 mevsimde en düşük silisyum içeriğini yaklaşık 4 mg/l olarak göstermektedir.

Yaz mevsimi silisyum seviyeleri de ilkbahara paralel olarak 4 – 12 mg/l arasında değişmektedir. Mevsimin en yüksek değerleri 1, 5 ve 8 nolu kuyularda yaklaşık 10 – 12 mg/l olarak belirlenmiştir. 9 ve 10 nolu kuyularda 4 mg/l civarında silisyum mevsimin en düşük değerleri olarak bulunmuştur. (Şekil 4.58).

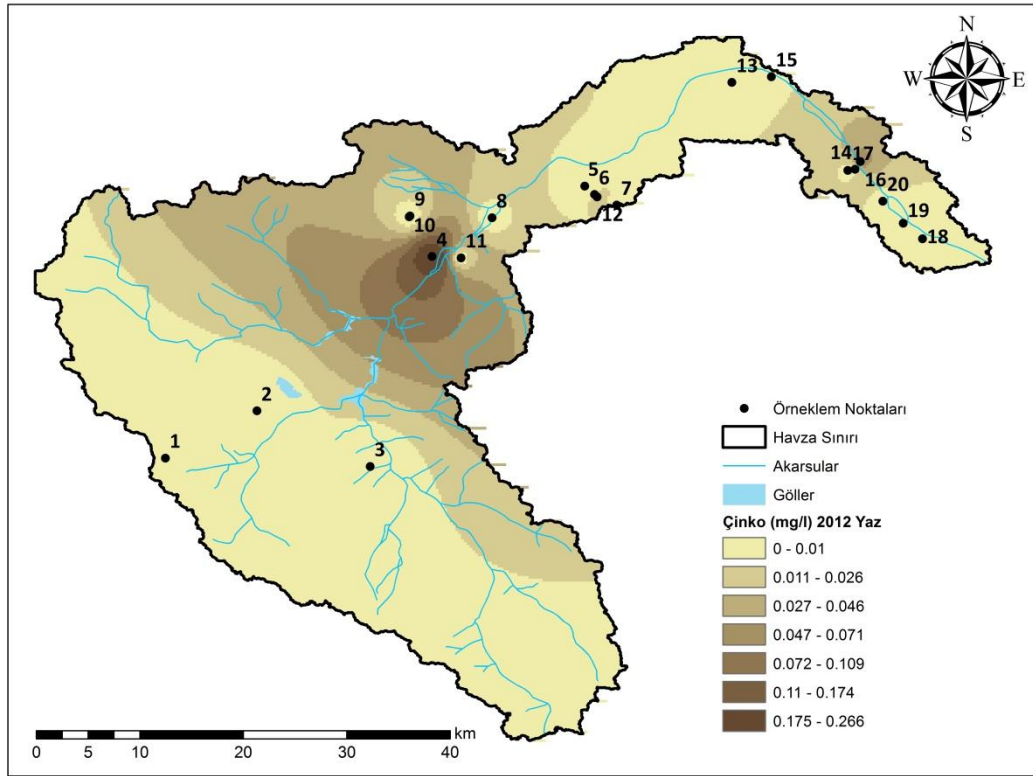
Sonbahar mevsiminde bir miktar artan silisyum seviyeleri 4 – 22 mg/l arasında değişmektedir. En yüksek değer 11, 17 ve 18 nolu kuyular da yaklaşık 20 mg/l olarak tespit edilmiştir. Kuyu 14'de mevsimin en düşük değeri olan 4 mg /l tespit edilmiştir (Şekil 4.59).

Kış mevsiminde artış gösteren silisyum değerleri 27 – 50 mg/l arasında değişmektedir. 12 nolu kuyuda yaklaşık 50 mg/l, 8 nolu kuyuda ise 46 mg/l silisyum, mevsimin yüksek değerleri olarak tespit edilmiştir. 2, 4 ve 14 nolu örnek noktalarında silisyum seviyeleri 27 – 29 mg/l arasında en düşük değerler olarak bulunmaktadır (Şekil 4.60).

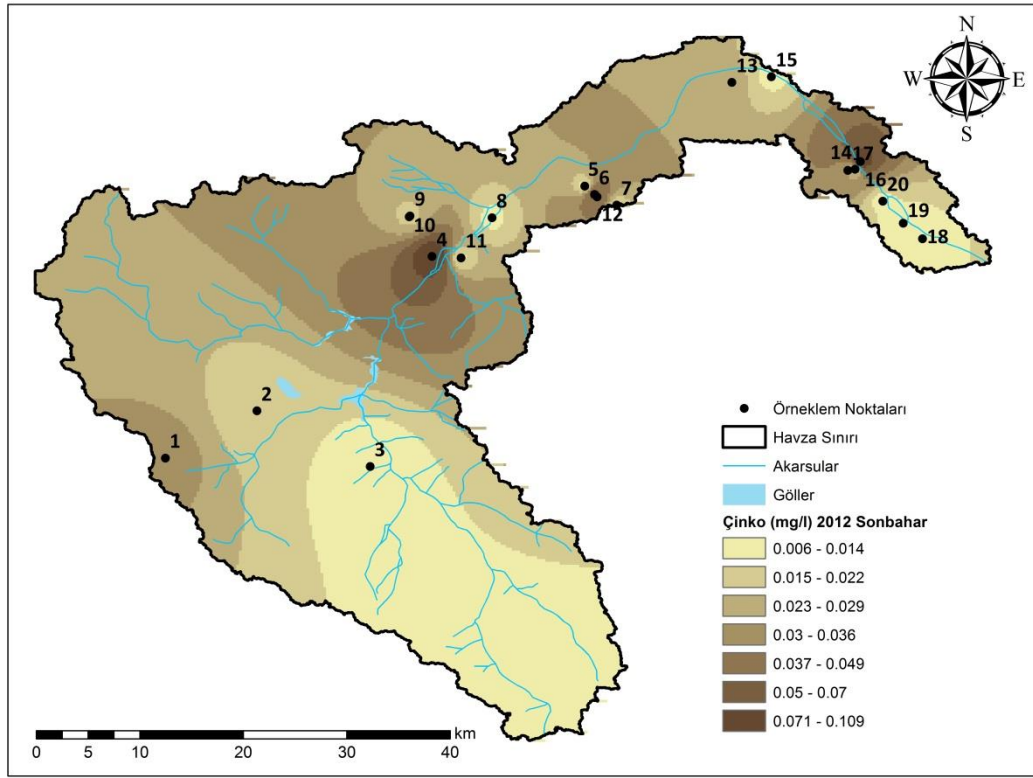
Silisyum suda çözünmesi çok zor olduğundan yeraltı sularına kayaçlardan geçmesi beklenemez. Bu durum dış etmenler düşünülmezsizin, silisyum seviyelerinin mevsimler arasında değişiklik olmadan tespit edilmesine neden olacaktır. Çalışma çerçevesinde de kış mevsimi hariç diğer mevsimlerde ortalama aynı seviyeler gözlenmiştir. Seydisuyu Havzası'nın kış mevsiminde yıl içerisindeki en yüksek miktartlı yağışları (Şekil 3.4) aldığı göz önüne alındığında, kış mevsimindeki silisyum seviyelerindeki artışın nedeni yağışların süzülerek yeraltı sularına silisyumu fiziksel olarak taşıması olarak görülmektedir.



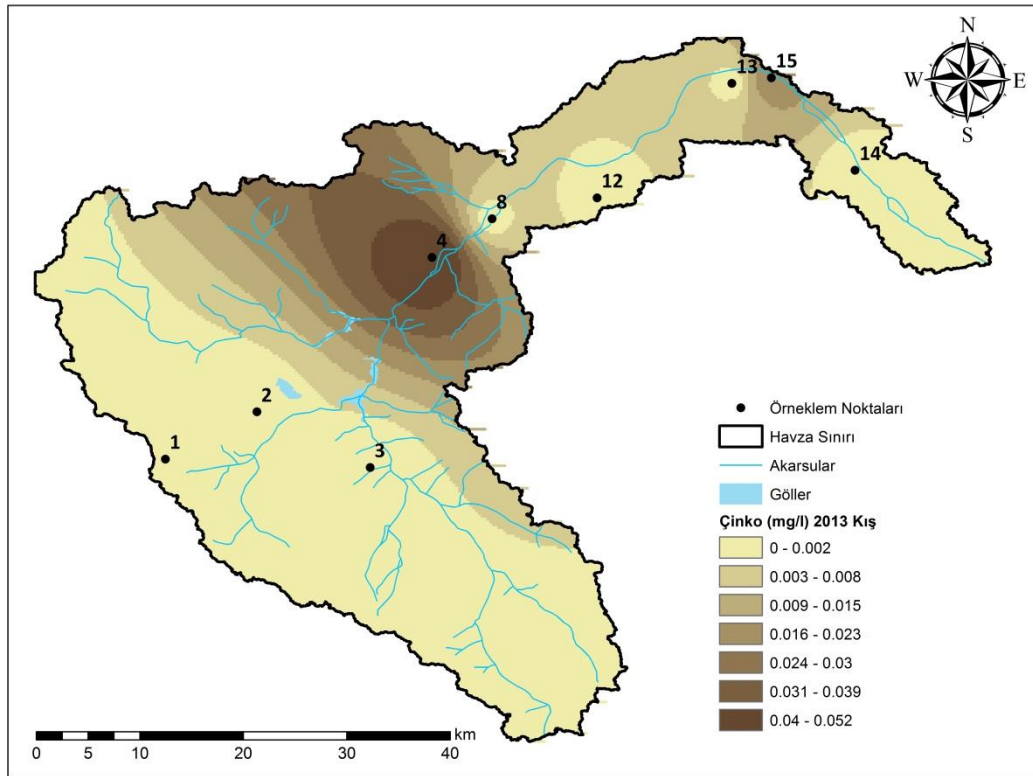
Şekil 4.61. Çinko seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.62. Çinko seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.63. Çinko seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.64. Çinko seviyeleri kış mevsimi

İçme sularında bulunabilecek maksimum çinko seviyesi EPA tarafından 5 mg/l ile sınırlandırılmıştır. TS 266 ve WHO gibi standartlarda çinko için bir sınır değeri belirtilmemiştir. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri tablosunda suların içerdiği çinko seviyelerini 0,2 mg/l'ye kadar I. sınıf, 0,5 mg/l'ye kadar II. sınıf, 2 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 2 mg/l üzeri IV. sınıf olarak belirlemiştir.

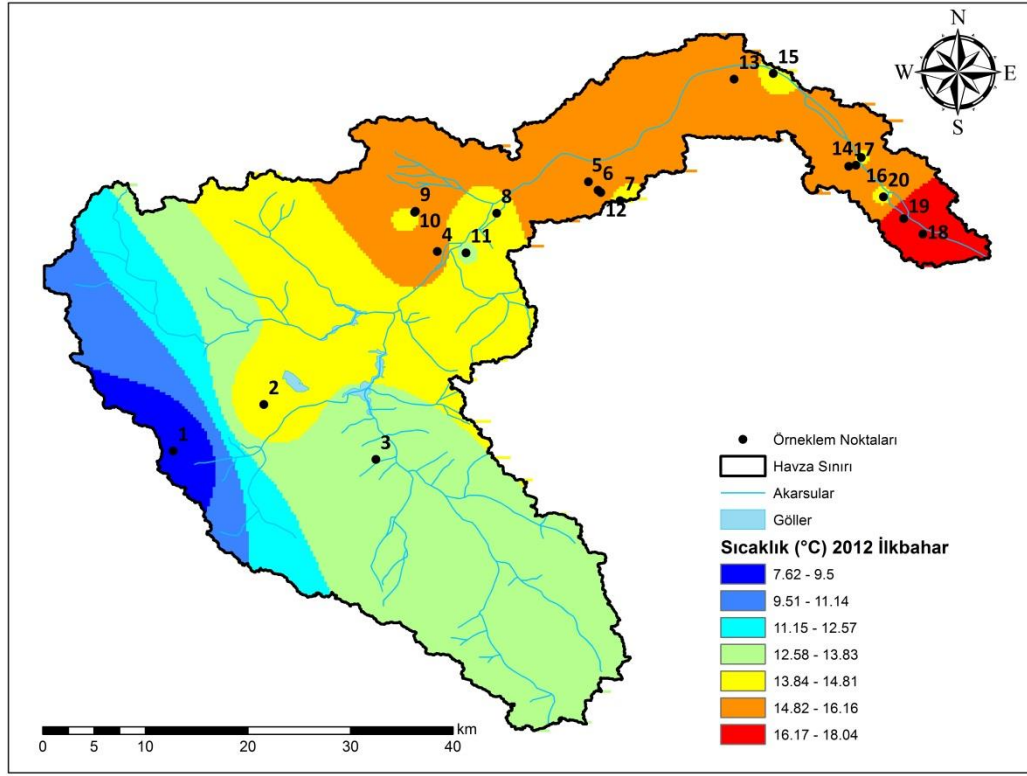
İlkbahar mevsimi çinko seviyeleri 0 – 0,05 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Mevsimin en yüksek seviyesi 4 ve 27 nolu kuyularda ölçülen 0,06 – 0,007 mg/l'dir. En düşük çinko değeri dedeksiyon limitlerinin altında kalan 3, 5, 7, 9, 11, 14, 15, 18, 19 ve 20 nolu kuyular olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.61).

Yaz mevsimi çinko seviyeleri genel anlamda ilkbahar mevsimi ile paralellik göstermektedir. Mevsimin en yüksek bakır değeri 4 nolu kuyuda yaklaşık 0,26 mg/l olarak belirlenmiştir. Diğer örnek noktalarında 0,001 – 0,07 mg/l arasında çinko değerleri tespit edilmiştir. Kuyu 3, 5, 6, 9, 11, 13, 18 ve 19' da çinko değeri dedeksiyon limitlerinin altında kalmıştır (Şekil 4.62).

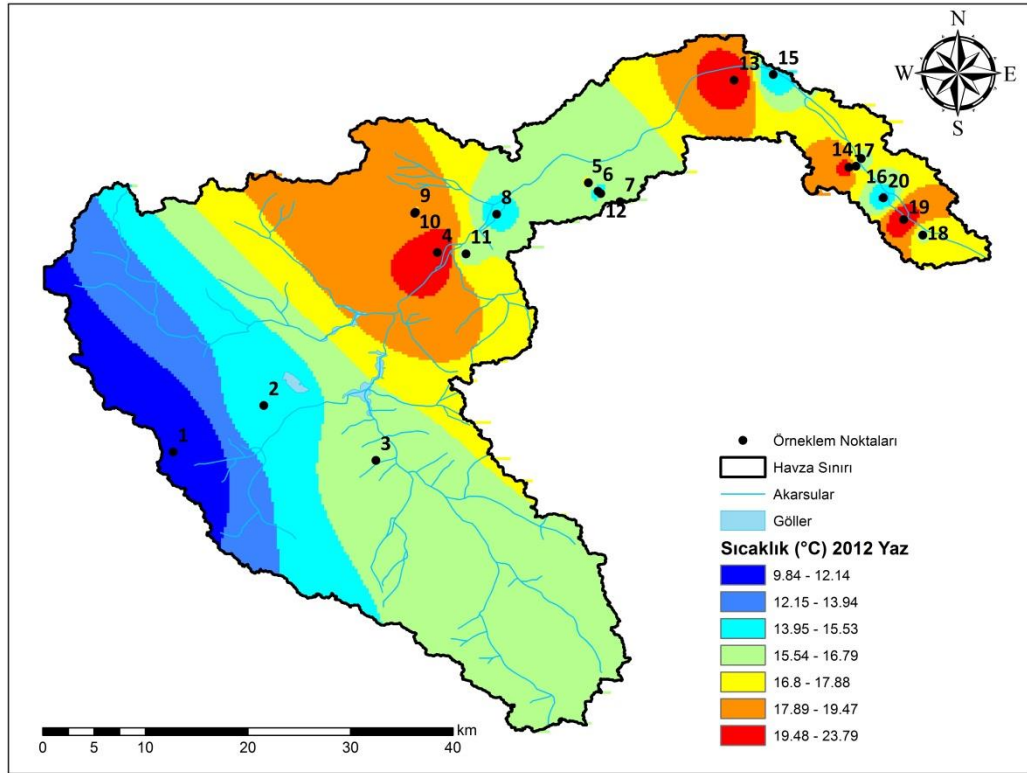
Sonbahar mevsimi krom seviyeleri 0,006 – 0,014 mg/l arasında dağılım göstermektedir. Örnek noktalarından yapılan analizlerde mevsimin en yüksek çinko seviyeleri 4 ve 16 nolu kuyularda 0,1 mg/l civarında tespit edilmiştir. (Şekil 4.63).

Kış mevsiminde çinko seviyeleri kuyu 4 ve 15 dışında dedeksiyon limitleri altında kalmıştır. Kuyu 4'de 0,05 mg/l ve 15 nolu kuyuda da 0,022 mg/l değerlerinde çinko tespit edilmiştir (Şekil 4.64).

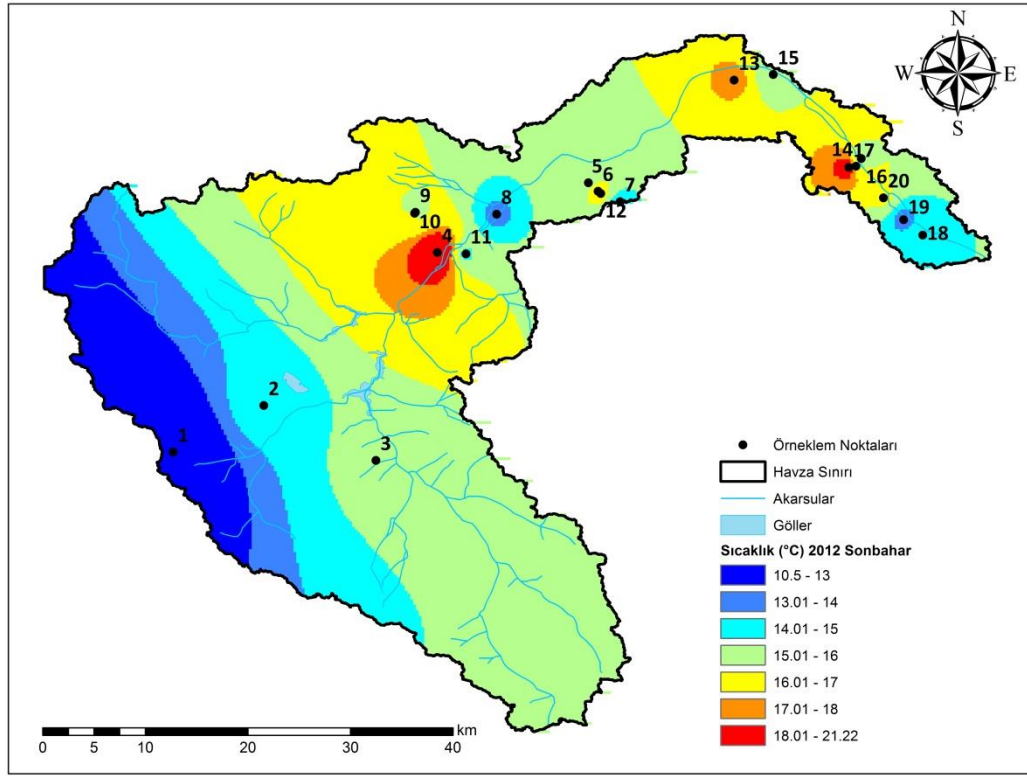
Mevsimsel olarak bakıldığında çinko seviyeleri sonbahara doğru olan artışta düzgün bir paralellik göstermektedir. Tüm mevsimlerde çinko değerleri EPA'nın belirttiği sınır değeri olan 5 mg/l'nin altında kalmıştır. Toksisite açısından metaller arasında etkisi en az olan çinko, yüksek seviyelerde suyun tadını bozduğundan istenmez (Akgiray, 2003).



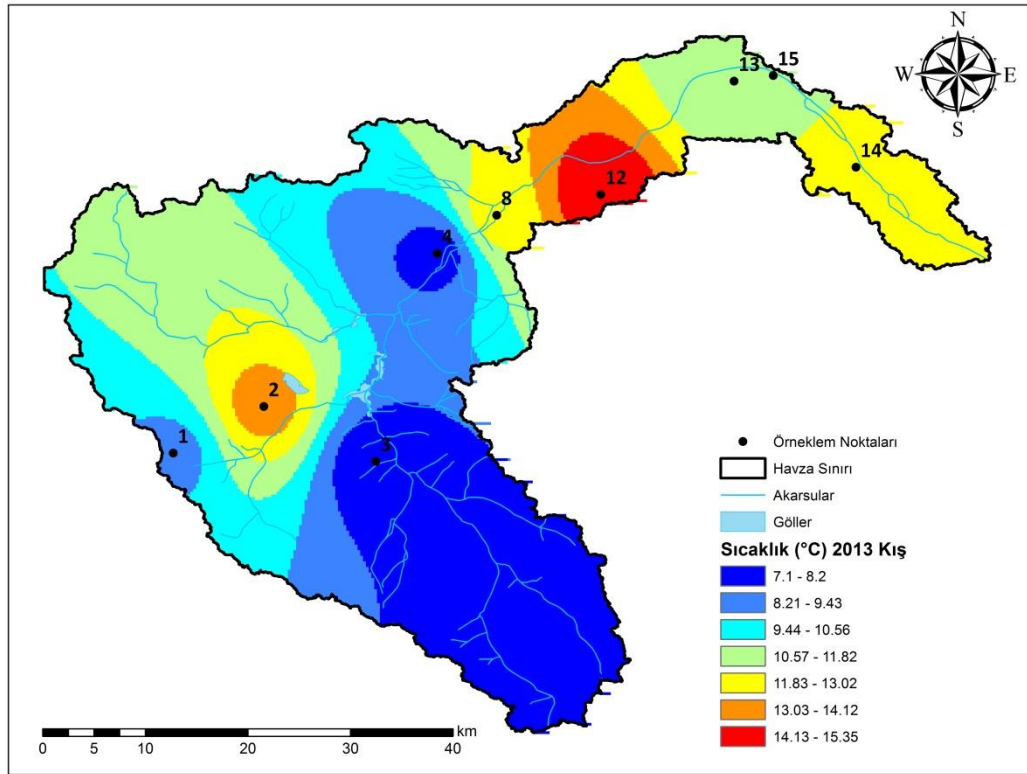
Şekil 4.65. Sıcaklık seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.66. Sıcaklık seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.67. Sıcaklık seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.68. Sıcaklık seviyeleri kış mevsimi

Yeraltı suları korumalı olmalarından dolayı, sıcaklık parametresi açısından yerüstü sularından daha az değişim gösterirler. İçme sularına ait mevzuatlarda sıcaklık için bahsedilmiş değerler bulunmamaktadır ancak literatürde suların sıcaklığının içim yönünden 15°C'den daha düşük olması istenir. Ayrıca SKKY, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerince 25°C'ye kadar I. ve II. sınıf, 30°C'ye kadar III. sınıf ve 30°C üzeri sular IV. sınıf olarak belirlenmiştir.

Sıcaklığın doğrudan olmasa da dolaylı yönden su kalitesine etkileri olmaktadır. Sulardaki çözülmüş oksijen içerikleri sıcaklıkla ters orantılıdır. Birçok kimyasal bileşiğin çözünürlüğü sıcaklık arttıkça artmaktadır.

Seydisuyu Havzası'nda yeraltı sularına ait sıcaklık verileri kullanılarak yapılan dağılım haritaları Şekil 4.65 – 4.68 arasında mevsimsel olarak gösterilmiştir.

Tahmin edilebileceği üzere yaz mevsimi yıl içerisindeki en yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Yaz mevsimi içerisinde 10 – 24°C arasında sıcaklık seviyeleri gözlemlenmektedir.

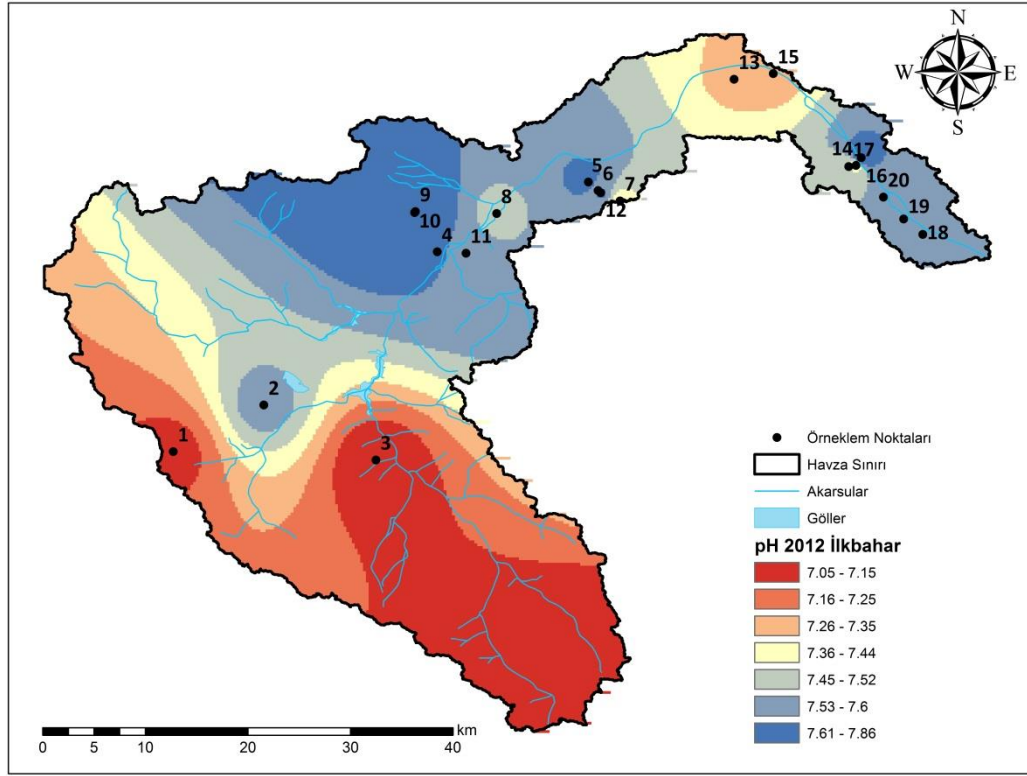
Yaz mevsimini takiben sonbahar mevsiminde 10,5 – 21,2°C arasında sıcaklık seviyeleri havzada dağılım göstermektedir.

İlkbahar mevsiminde 7,6 – 18°C sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. Kış mevsiminde ise yeraltı suyu sıcaklıkları 7 – 15°C arasında gözlemlenmiştir.

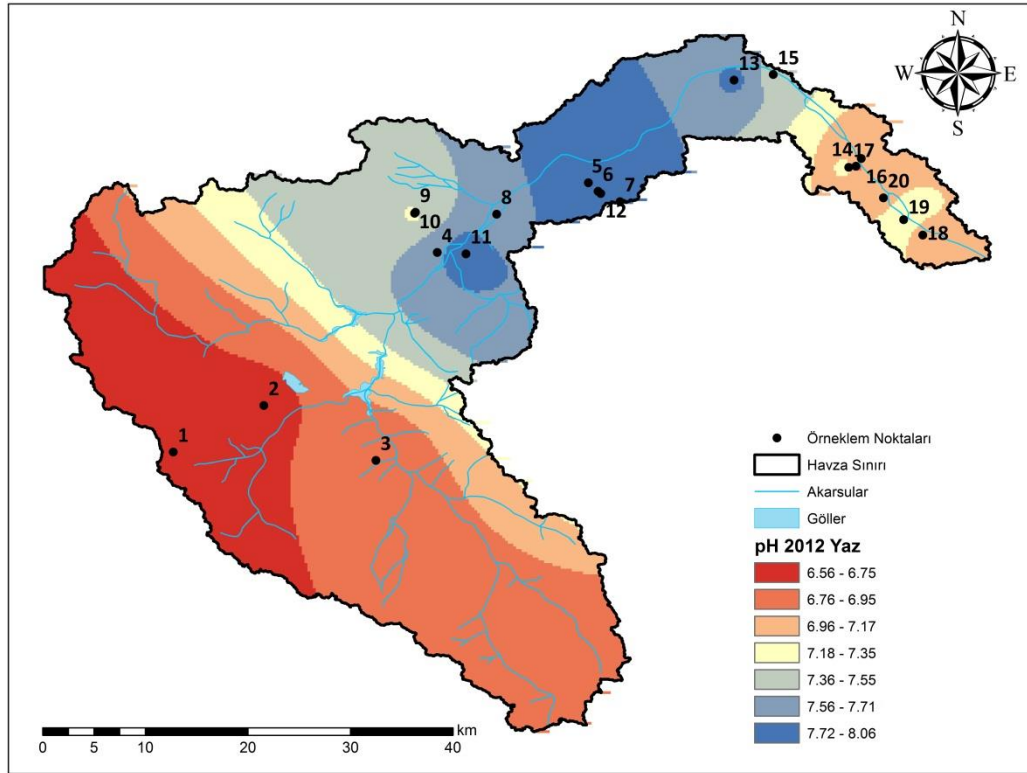
Elde edilen seviyeler sonucunda havzanın yüksek kota sahip dağlık alanlarında yeraltı suyu sıcaklık seviyeleri diğer alanlara göre nispeten daha serin sular içerdiği söylenebilir.

Swatland (2012), yaptığı çalışmada 2 yıl boyunca 10 bölgeden 70 numunede ortalama sıcaklığı 6,77°C olarak ölçmüştür. Bayındır (2006) Harran Ovası'nda yaptığı çalışmada 23 örnekleme noktasından aldığı yeraltı suyu örneklerinde sıcaklık seviyelerini 15-22°C arasında bulmuştur.

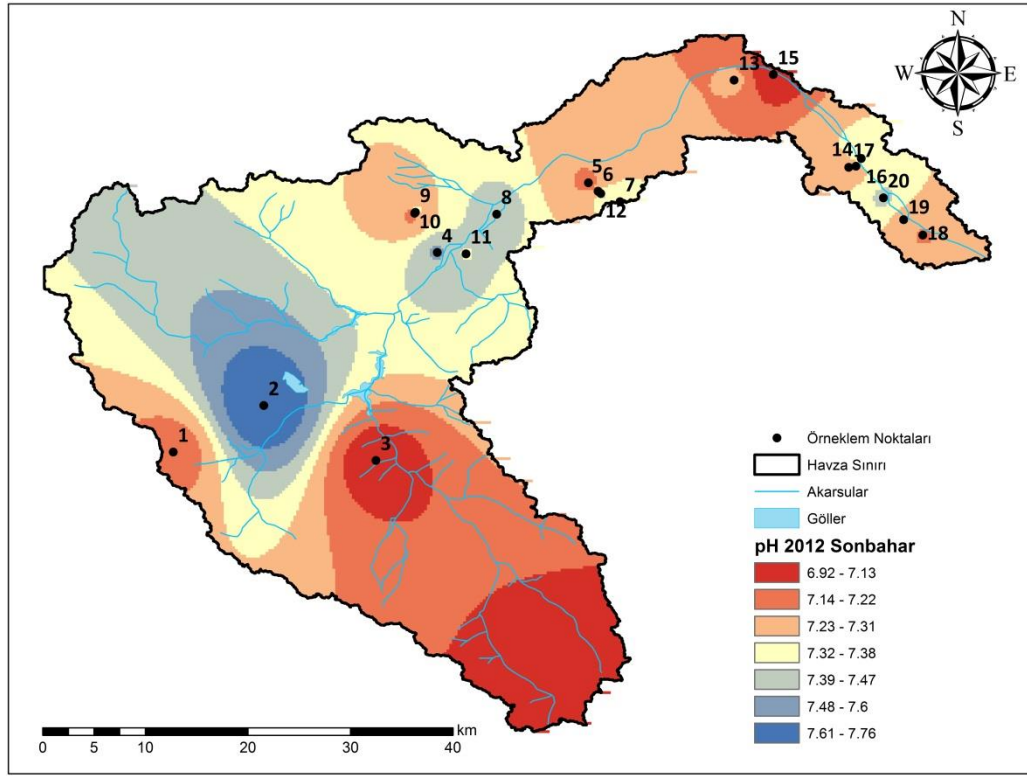
Porsuk Havzası yeraltı sularında yaptıkları çalışmada Bakış ve ark. (2011) 2005 – 2006 yılları yaz ve kış mevsimlerinde 20 noktadan aldıkları numunelerde 11 – 16°C arasında sıcaklık değerleri ölçmüşlerdir.



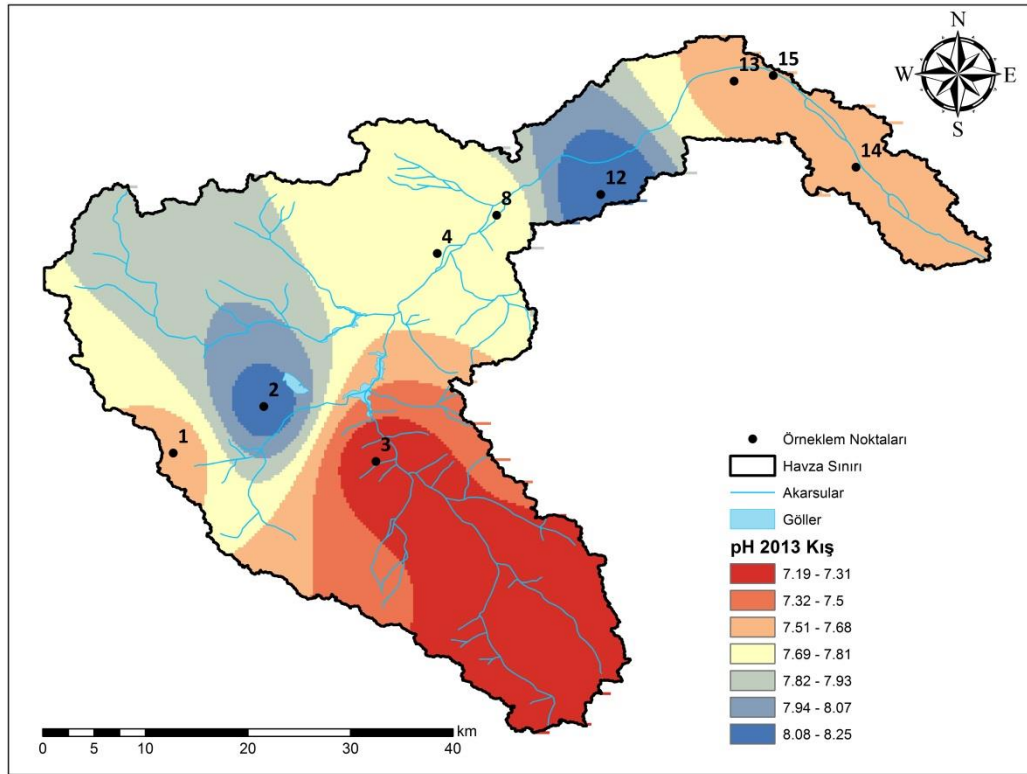
Şekil 4.69. pH seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.70. pH seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.71. pH seviyeleri sonbahar mevsimi



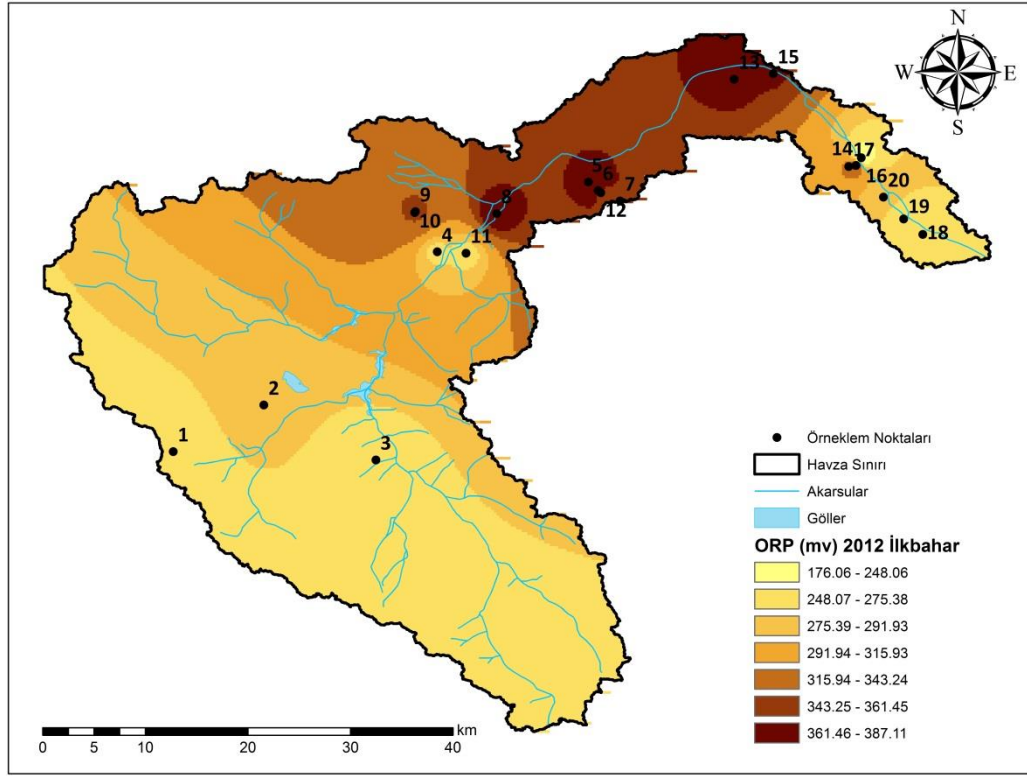
Şekil 4.72. pH seviyeleri kış mevsimi

pH parametresi, ülkemiz içme suyu standartlarını içeren TS 266 tarafından 6,5 – 9,5 değerleri arasında uygun olarak belirlenmiştir. WHO ve EPA tarafından ise 6,5 – 8,5 ile sınırlandırılmıştır. SKKY, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerince 6,5 – 8,5 değerleri arasında I. ve II. sınıf, 6,0 – 9,0 arasında III. sınıf ve 6,0 – 9,0 dışındaki pH'a sahip sular IV. sınıf olarak belirlenmiştir.

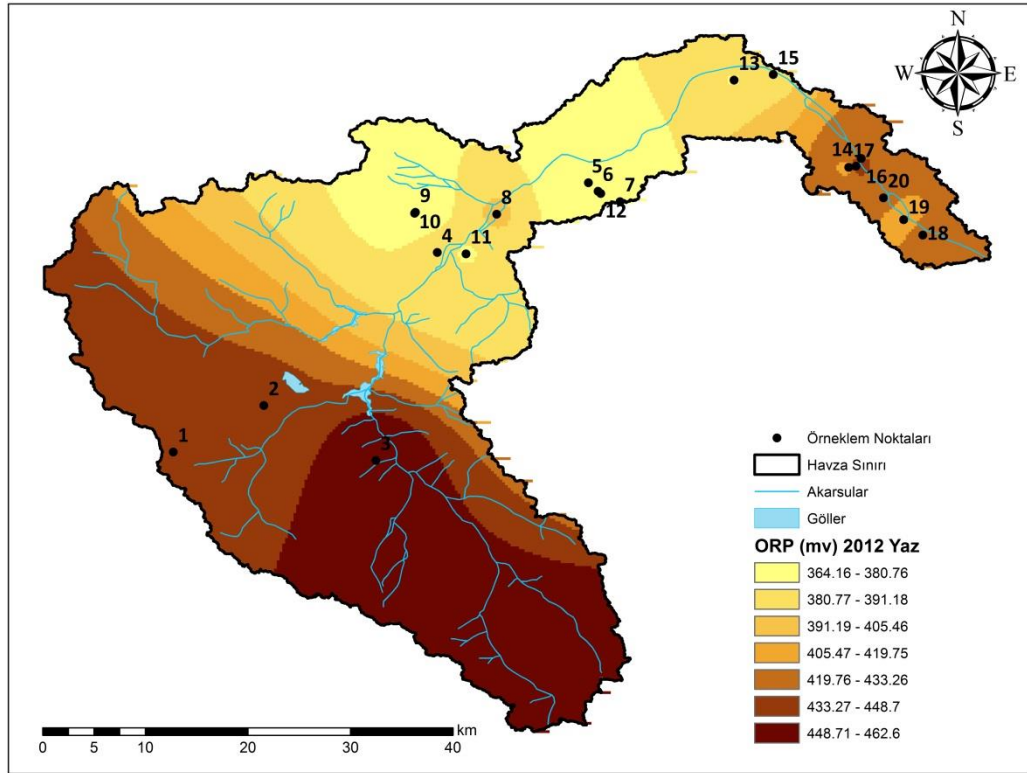
Bayındır (2006) Harran Ovası'nda yaptığı çalışmada 23 örnekleme noktasından aldığı yeraltı suyu örneklerinde pH seviyelerini 6,91 – 7,67 arasında değiştiğini ortaya koymuştur. Frengstad ve ark. (2001) Norveç yeraltı sularında 1604 örnekte pH seviyelerinin 8 – 8,2 arasında baskın olmak üzere 5,4 – 9,8 aralığında değiştiğini gözlemlemiştir.

Şekil 4.69'da verilen ilkbahar mevsimi pH seviyeleri 7,05 – 7,86 arasında değişmektedir. Yaz mevsimi pH seviyeleri ise 6,56 – 8,06 arasında gözlemlenmiştir (Şekil 4.70). Sonbahar pH seviyelerinin ise Şekil 4.71'de 6,92 – 7,76 arasında dağılım gösterdiği gözükmemektedir. Kış mevsiminde pH seviyeleri 7,19 – 8,25 arasında değişmektedir (Şekil 4.72).

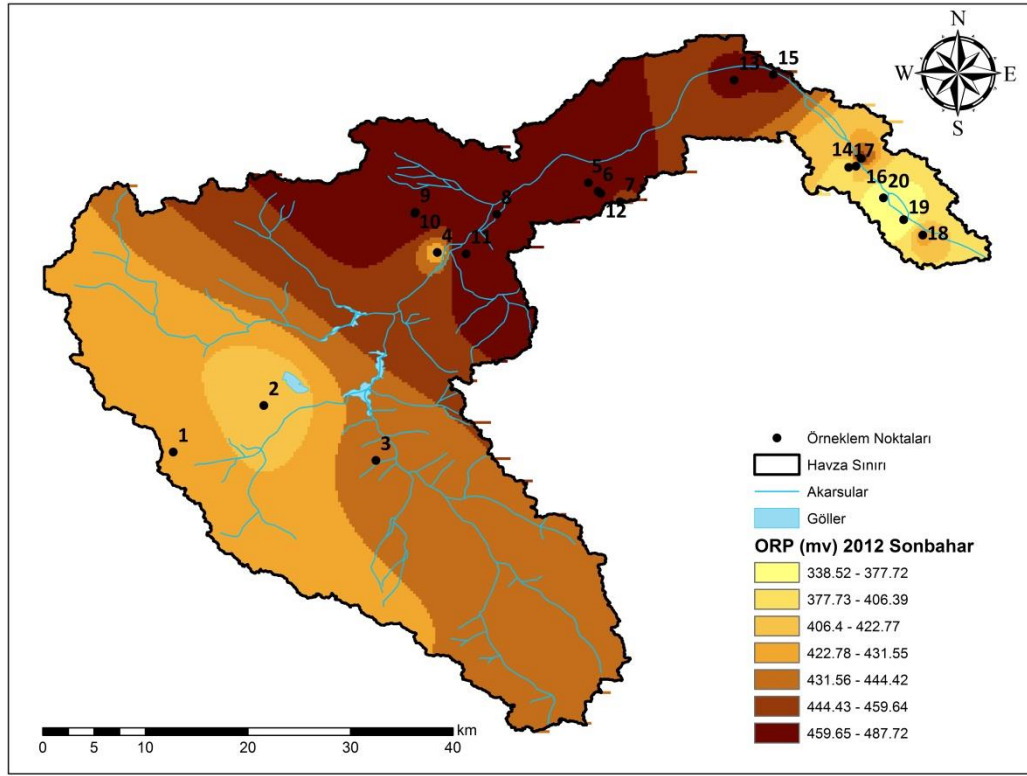
Tüm mevsimlerde elde edilen pH seviyeleri içme suyu standartlarını sağlayacak aralıklardadır. Mevsimsel olarak pH değişimleri kuyular arasında farklılık göstermektedir ancak kış mevsimi pH değerleri diğer mevsimlere göre tüm kuyularda en yüksek değerlerini almış ve suların düşük seviyelerle değişimi de olsa bazikleştiğini göstermektedir. Bu durumun, kış mevsiminde yağan yağışların yeraltına süzülürken süpürdüğü kimyasal bileşikler sonucu geliştiği söylenebilir.



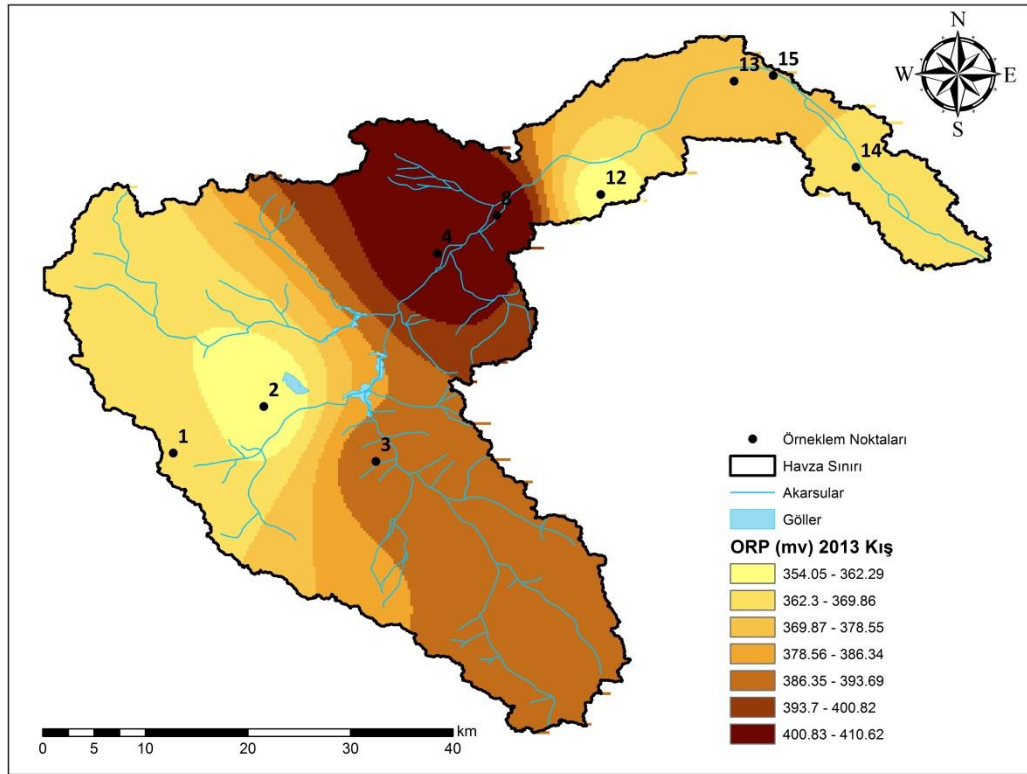
Şekil 4.73. ORP seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.74. ORP seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.75. ORP seviyeleri sonbahar mevsimi



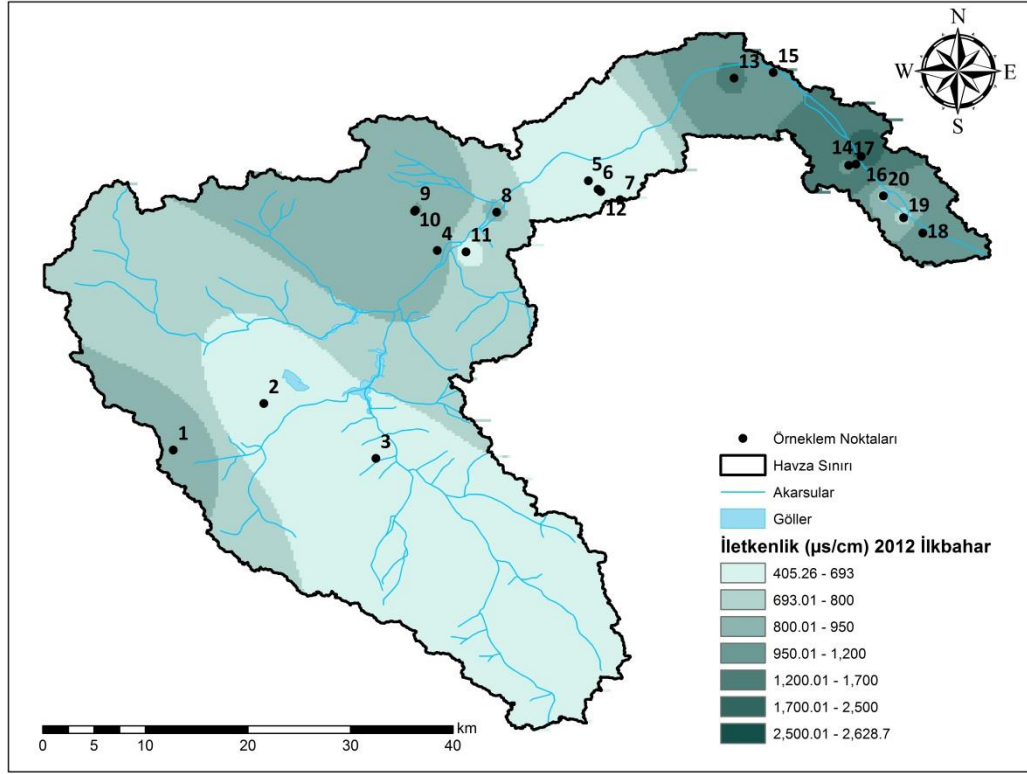
Şekil 4.76. ORP seviyeleri kış mevsimi

ORP yani redoks potansiyeli, ulusal ve uluslararası standartlarda sınır değeri belirtilmeyen parametrelerden biridir. Brownlow (1979), kirlenmemiş yeraltı sularında ORP değerlerinin +500'den -100 mV' a kadar değişim gösterdiğinden bahsetmektedir.

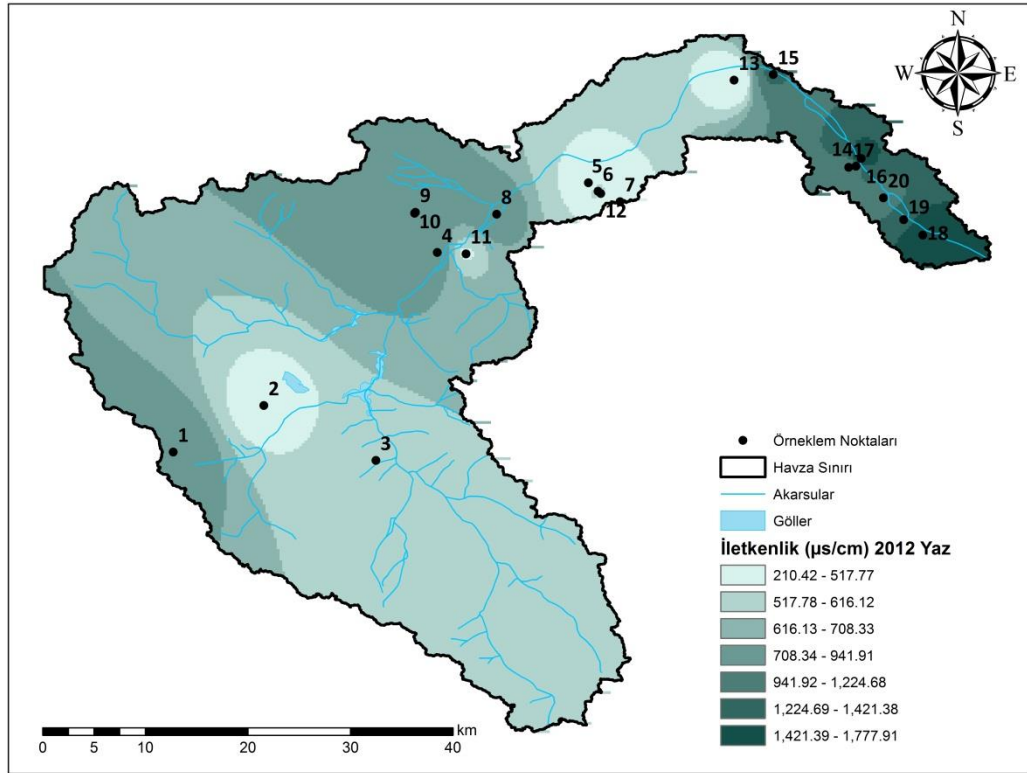
Kumar ve Riyazuddin (2012) Hindistan'da yaptıkları çalışmada 2004 – 2007 yılları arasında mayıs ve ocak aylarında 65 kuyudan yeraltı suyu örnekleri toplamışlardır. Bu örneklerde redoks potansiyeli değerlerinin 65 – 322 mV arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Şekil 4.73'te verilen ilkbahar mevsimi ORP seviyeleri 176 – 387 mV arasında değişmektedir. Yaz mevsiminde daha yüksek değerlerde ölçülen ORP değerleri 364 – 462 mV olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.74). Sonbahar mevsiminde ise 338 – 487 mV seviyelerinde redoks potansiyeli havzada dağılım göstermektedir (Şekil 4.75). Kış mevsimindeki analizlerde de 354 – 410 mV arasında değerler tespit edilmiştir.

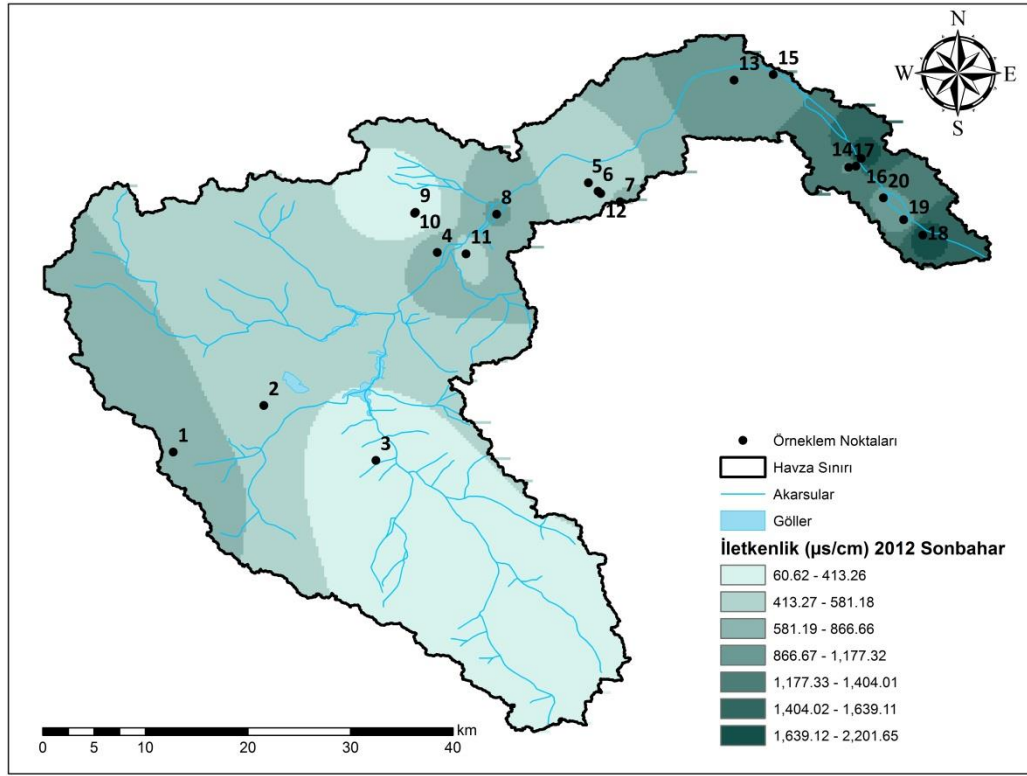
Mevsimsel olarak incelenen ORP değerlerinin genel olarak 176 – 487 mV arasında olduğundan oksitleyici (yükseltgen) karakterde olduğu söylenmektedir. Mevsimler arası değişen ORP değerleri havza genelinde en yüksek olarak sonbahar ve sırasıyla yaz, kış ve en düşük olarak da kış mevsiminde tespit edilmiştir. Kış mevsiminde düşen yağışların yeraltı suyuna geçmesi sonucu suların redoks potansiyelinde düşüş olduğu tahmin edilmektedir. Hem (1982) yağış sularının yeraltında derinlere inildikçe redoks potansiyeli azalttığına değinmiştir. Bu bilgiyle kış mevsimi seviyelerinin düşüklüğü açıklanabilmektedir.



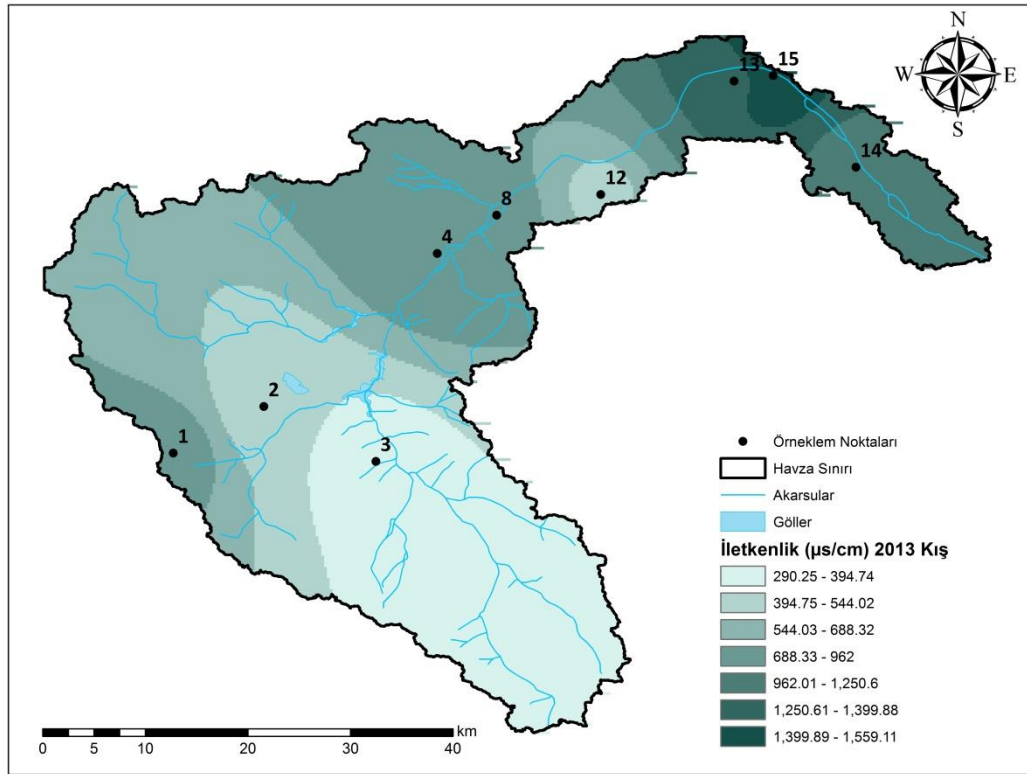
Şekil 4.77. İletkenlik seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.78. İletkenlik seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.79. İletkenlik seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.80. İletkenlik seviyeleri kış mevsimi

Elektriksel iletkenlik sudaki toplam iyonların varlığına dair fikir veren iyi bir indikatör parametredir. Ulusal ve uluslararası standartlarda bu parametre için bir sınır değeri belirtilmemiştir. Bakış ve ark. (2011) Porsuk Havzası yeraltı sularında yaptıkları çalışmada 2005 – 2006 yılları yaz ve kış mevsimlerinde 20 noktadan aldıkları numunelerde 150 – 1000 $\mu\text{s/cm}$ arasında değişen iletkenlik değerleri tespit etmişlerdir. Literatürde içilebilir sularda 50 – 1500 $\mu\text{s/cm}$ seviyelerinde iletkenlik görülebildiği Kaçaroğlu (1991) tarafından belirtilmiştir.

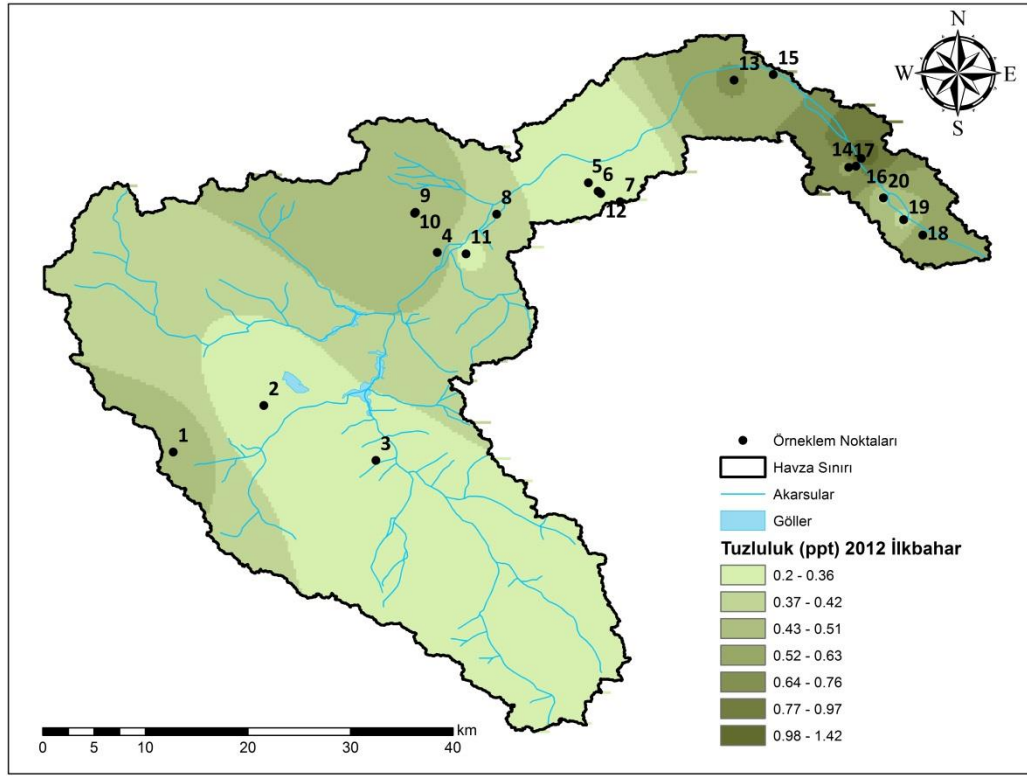
İlkbahar mevsimi iletkenlik seviyelerinin Şekil 4.77’de 405 – 2600 $\mu\text{s/cm}$ arasında kuyularda değiştiği gösterilmiştir. Mevsimin en yüksek değeri 2600 $\mu\text{s/cm}$ civarında 16 nolu kuyuda tespit edilmiştir. Diğer kuyularda 400 – 1200 $\mu\text{s/cm}$ seviyelerinde iletkenlik değerleri gözlemlenmiştir:

Yaz mevsiminde seviyeler ilkbahar mevsimine paralel yakın gözlemlenmiştir. 16 nolu kuyu 1700 $\mu\text{s/cm}$ değeriyle mevsimin en yüksek değerini almıştır. 15 ve 19 nolu kuyularda yaklaşık 1300 $\mu\text{s/cm}$ seviyesi tespit edilmiştir. Kuyu 13, 200 $\mu\text{s/cm}$ iletkenlik seviyesiyle mevsimin en düşük değeri kaydedilmiştir. (Şekil 4.78).

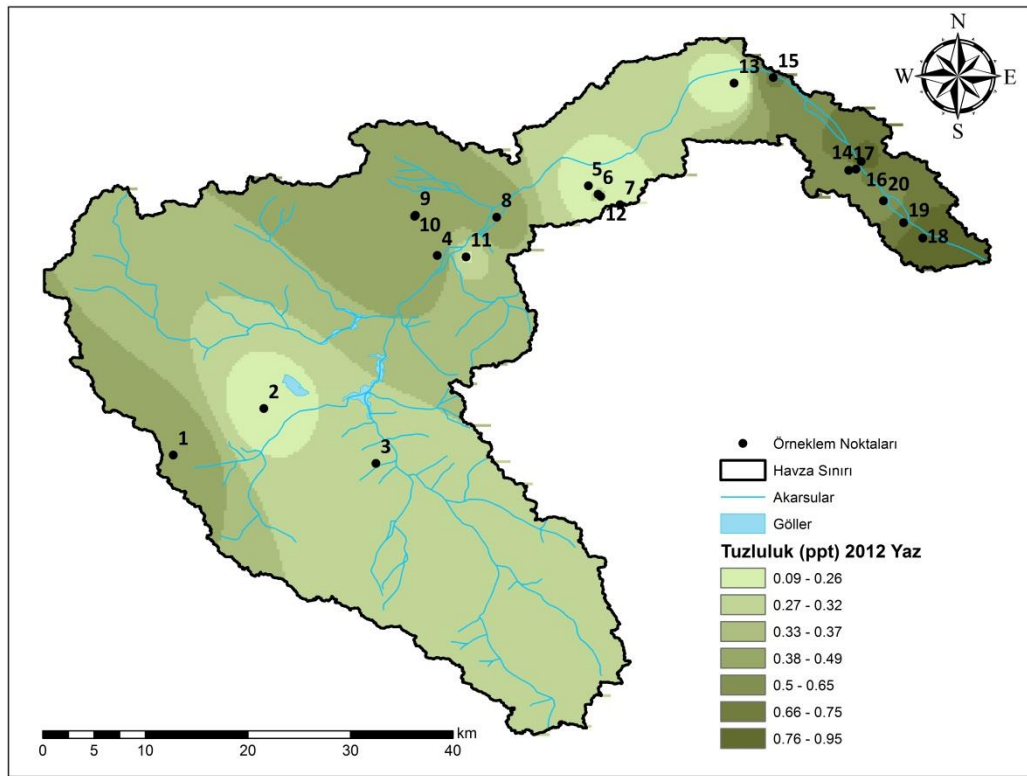
Sonbahar mevsimi de ilkbahar ve yaz gibi paralel değerlerle 400 – 2200 $\mu\text{s/cm}$ değerleri arasında değişmekte olan iletkenlik değerlerine sahiptir. 16 nolu kuyu yine mevsimin en yüksek değeri olan 2220 $\mu\text{s/cm}$ olarak ölçülmüştür. 18 nolu kuyu yaklaşık 2000 $\mu\text{s/cm}$ iletkenlik seviyesiyle yüksek değerlerdendir (Şekil 4.79).

Şekil 4.80’de verilen kış mevsimi iletkenlik seviyelerinde kuyularda 300 – 1600 $\mu\text{s/cm}$ arası değişik seviyeler kaydedilmiştir. Mevsimin en yüksek değeri 15 nolu kuyu yaklaşık 1600 $\mu\text{s/cm}$ olarak tespit edilmiştir. Mevsimin en düşük değeri 3 nolu kuyuda 300 $\mu\text{s/cm}$ değerinde ölçülmüştür.

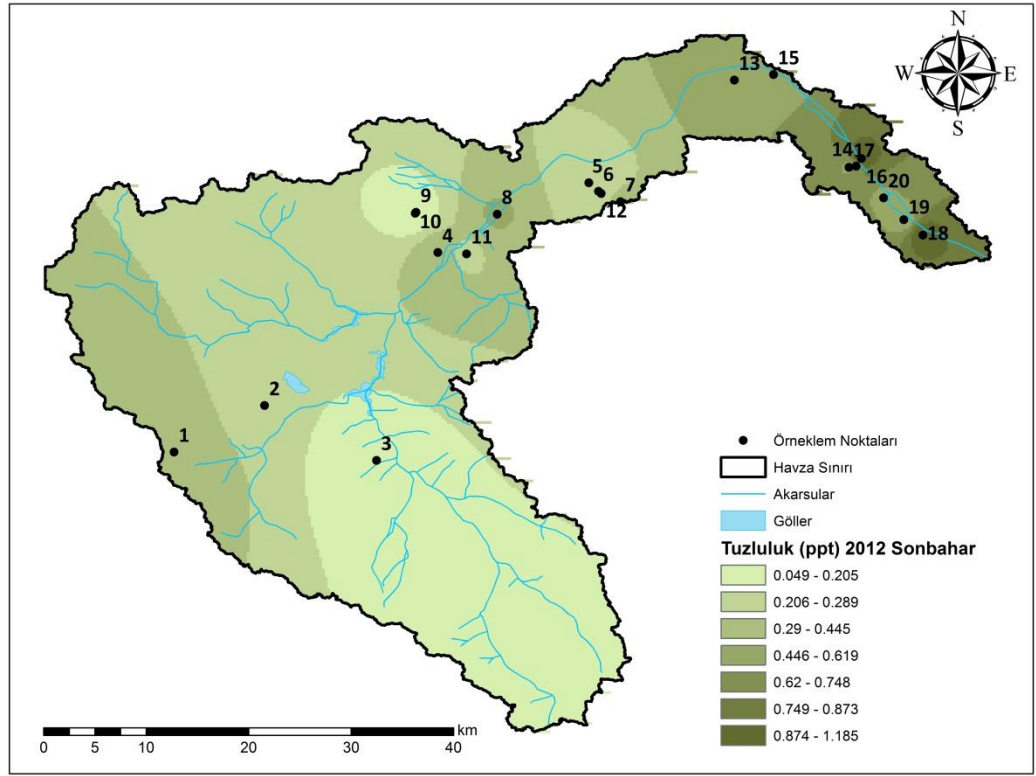
Elektriksel iletkenlik değerleri mevsimsel olarak büyük ölçüde paralellik göstermiştir. Havzanın düşük kotlarına doğru gidildikçe iletkenliğin arttığı görülmektedir. Bu bölgedeki sulama kuyularında 1000 $\mu\text{s/cm}$ üzeri değerlerle karşılaşmıştır. Buradan yola çıkarak sudaki iyonların yeraltı suyuna geçişinin bu bölgede daha yüksek olduğu söylenebilir.



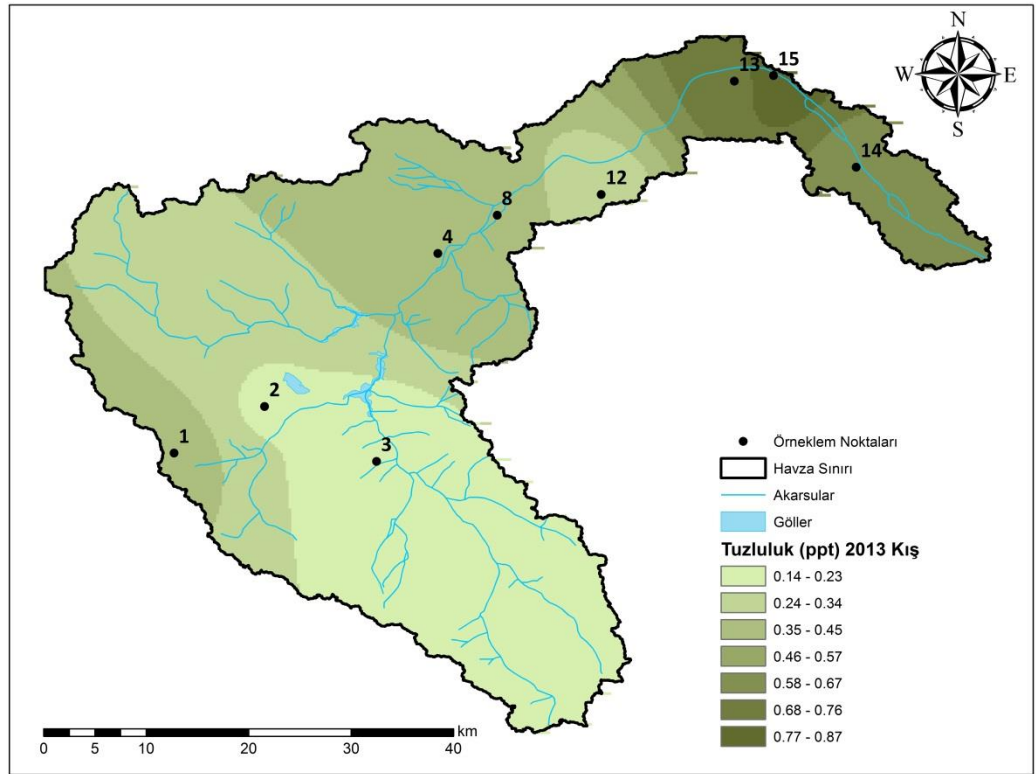
Şekil 4.81. Tuzluluk seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.82. Tuzluluk seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.83. Tuzluluk seviyeleri sonbahar mevsimi



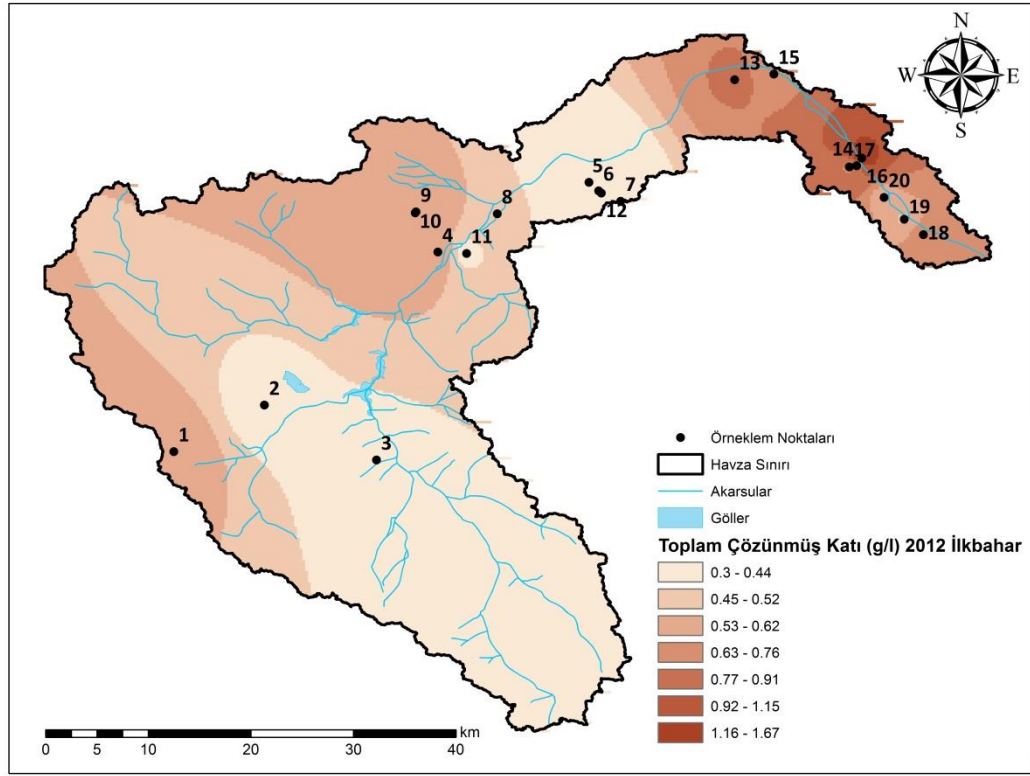
Şekil 4.84. Tuzluluk seviyeleri kış mevsimi

Çalışma içerisinde tuzluluk (ppt) seviyeleri Şekil 4.81 – 4.84’de gösterildiği üzere mevsimsel olarak haritalandırmıştır. Multi parametre ölçüm cihazı ile tespit edilen tuzluluk değerleri cihazın ölçüm özelliği dolayısıyla verileri elektriksel iletkenlik parametresini kullanarak türetmektedir. Bundan dolayı tuzluluk haritaları, Şekil 4.77 – 4.80 arasındaki iletkenlik dağılım haritalarıyla karşılaştırıldığında dağılımların hemen hemen birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

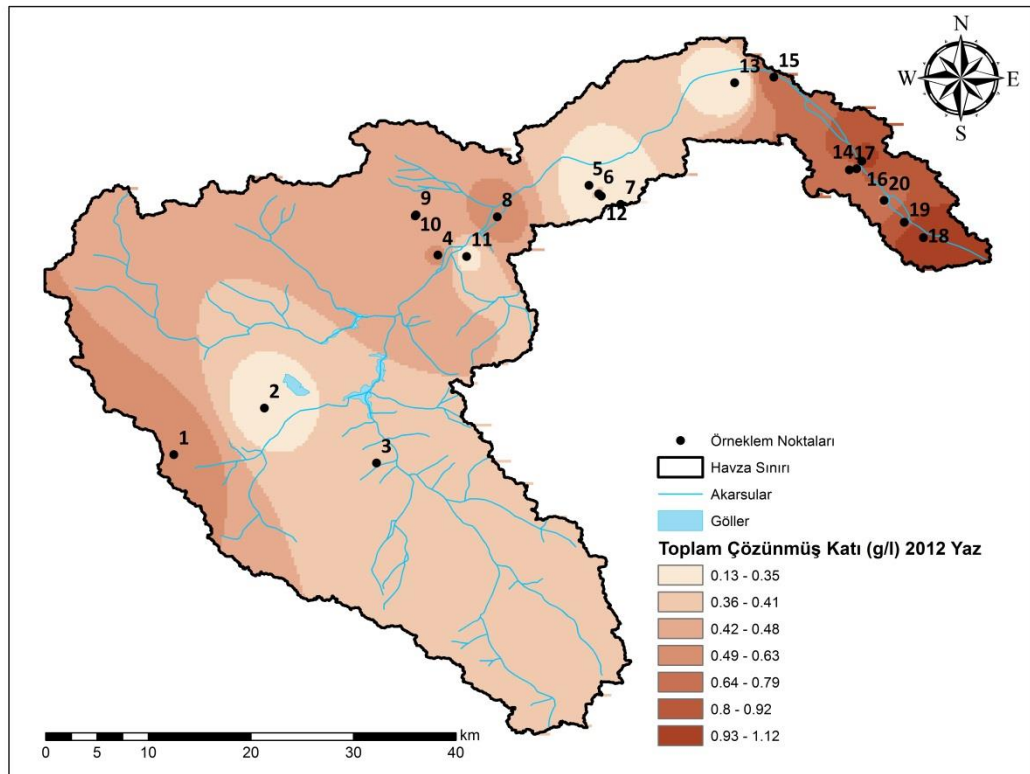
Tuzluluk, ulusal ve uluslararası standartlarda sınır değeri olmayan bir parametredir. Yüksek seviyelerde bulunması sulama suyu olarak kullanılması açısından sakınca yaratmaktadır. Tüm mevsimler göz önüne alındığında tuzluluk seviyeleri 0,05 – 1,42 ppt seviyeler arasında değişiklik göstermiştir.

Toplam çözünmüş katı (TDS) seviyeleri dağılım haritaları mevsimsel olarak Şekil 4.85 – 4.88’de verilmiştir. Haritalardaki dağılım incelendiğinde iletkenlik ve tuzluluk arasındaki ilişkinin bu parametre için de geçerli olduğu görülmektedir. Sularda çözünmüş katı parametresi inorganik tuzlardan özellikle de kalsiyum magnezyum, potasyum gibi maddelerin varlığından oluşur. Bu maddeler aynı zamanda sularda iletkenliği sağlayan iyonlar ve tuzluluk yaratan maddelerdir. Bu yüzden TDS, tuzluluk ve iletkenlik parametreleri için ortak değerlendirmelerde bulunabilir. Toplam çözünmüş katı için ülkemiz içme suyu standartlarını içeren TS 266 tarafından sınır değeri belirlenmemiştir. WHO tarafından ise 1 g/l ile sınırlandırılmıştır. EPA, içme sularının 0,5 g/l üzerinde çözünmüş katı içermesini uygun bulmamıştır. SKKY, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerince 0,5 g/l’ye kadar TDS içeren sular I. sınıf, 1,5 g/l’ye kadar II. sınıf, 5 g/l’ye kadar III. sınıf ve 5 g/l üzerinde çözünmüş katıya sahip sular IV. sınıf olarak belirlenmiştir. Kaykıoğlu ve Ekmekyapar (2005) yaptıkları çalışmada, Ergene Havzasında bulunan sanayi kuruluşlarına ait 51 adet sondaj kuyusundan numuneler almıştır. Analiz sonuçlarına göre, toplam çözünmüş katı değerleri 125 – 620 mg/l aralığında bulunmuştur.

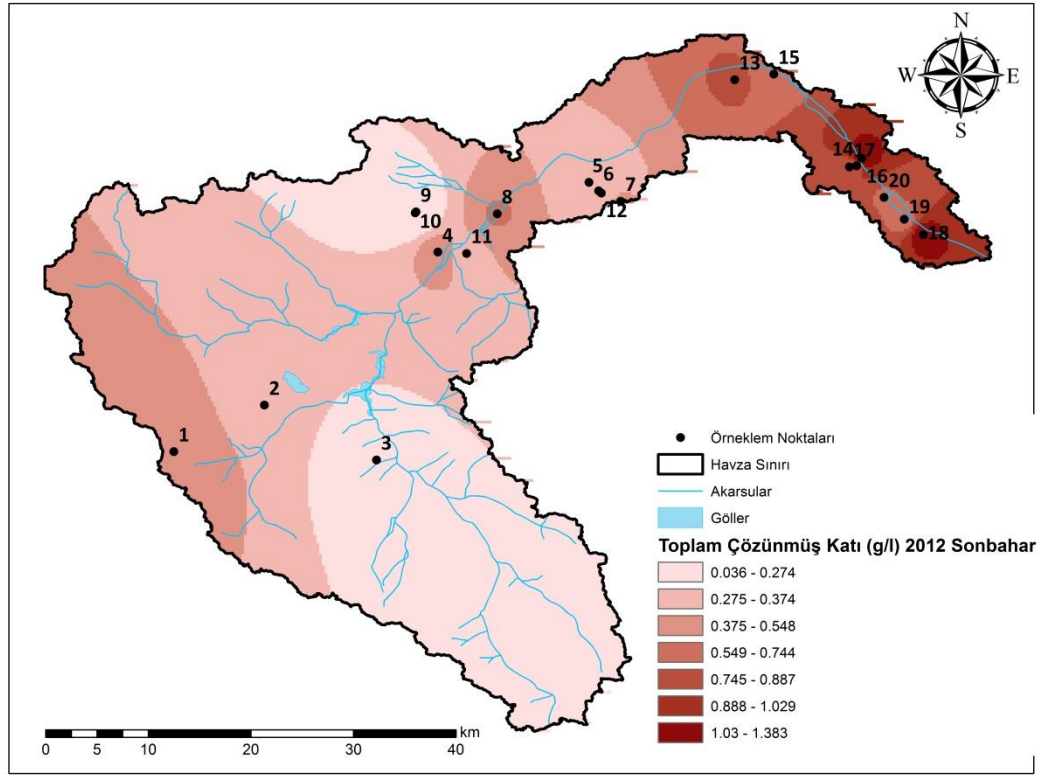
Çalışmada tüm mevsimler içerisinde elde edilen TDS değerleri 0,1 – 1,7 g/l arasında değişmektedir. 16 ve 18 nolu kuyular 1 g/l üzerinde TDS değerleri içermektedirler. Bu kuyular sulama amaçlı olduklarından bu değerlerin, suların kullanımlarında bir sakınca teşkil etmemektedir.



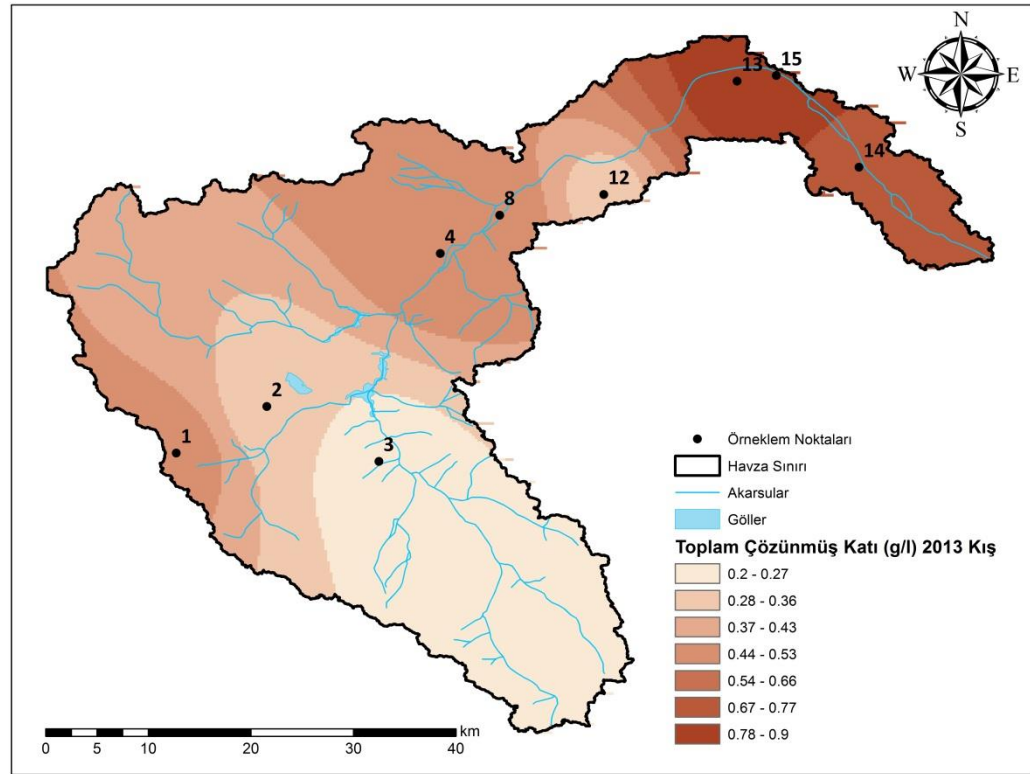
Şekil 4.85. TDS seviyeleri ilkbahar mevsimi



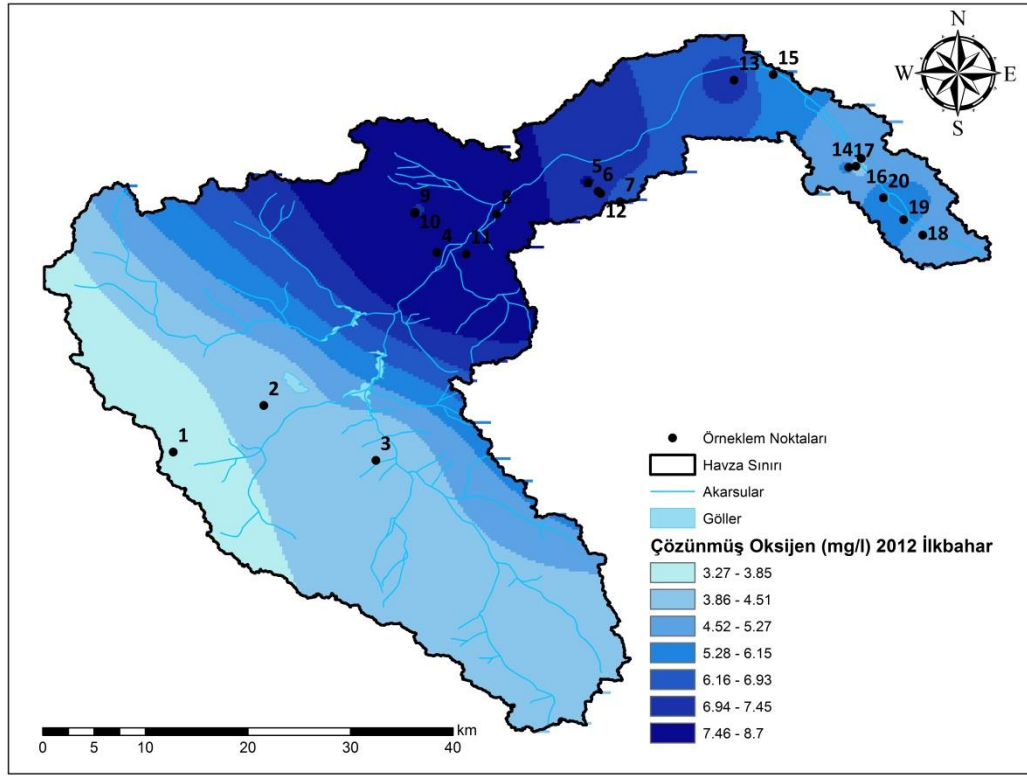
Şekil 4.86. TDS seviyeleri yaz mevsimi



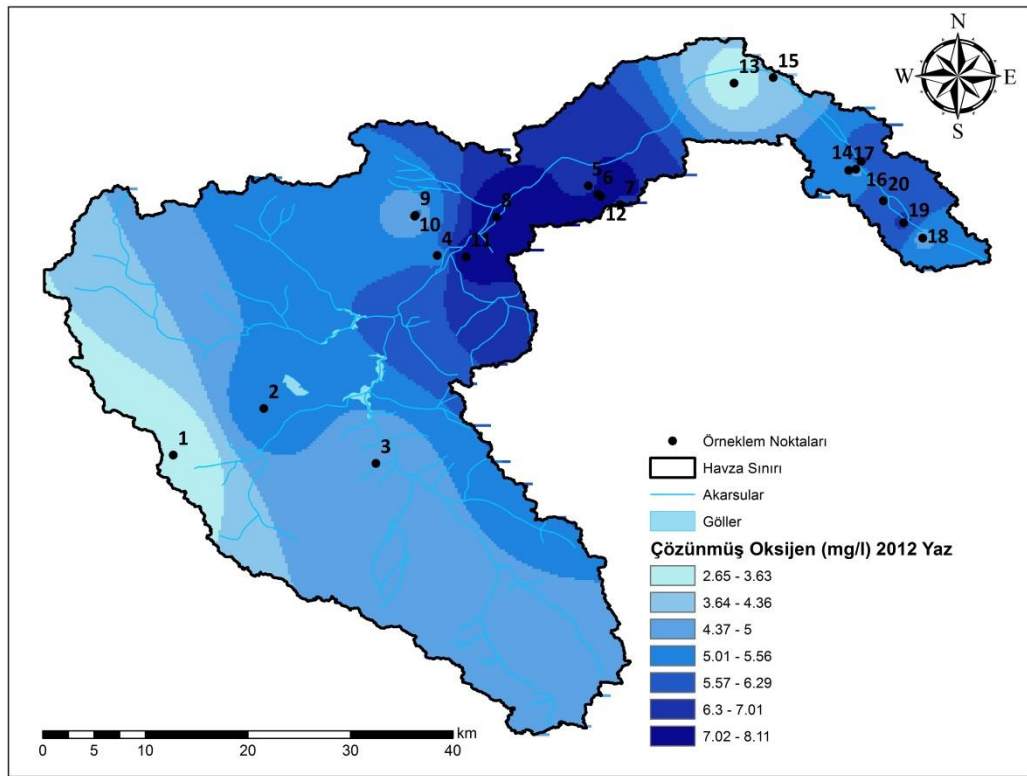
Şekil 4.87. TDS seviyeleri sonbahar mevsimi



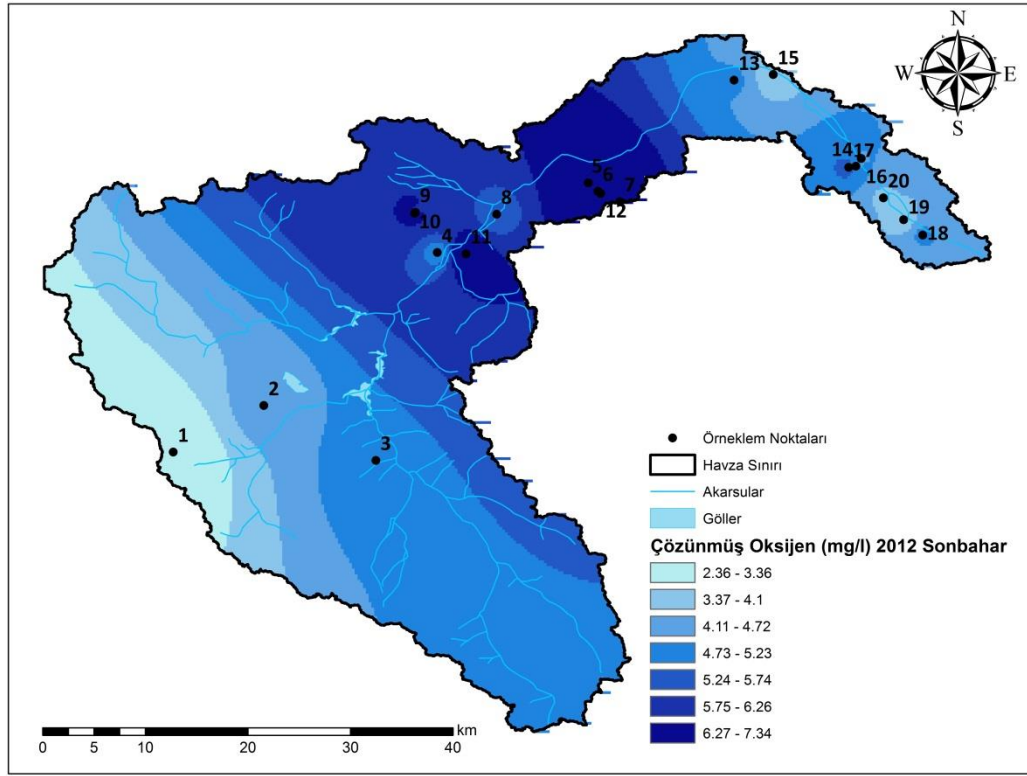
Şekil 4.88. TDS seviyeleri kış mevsimi



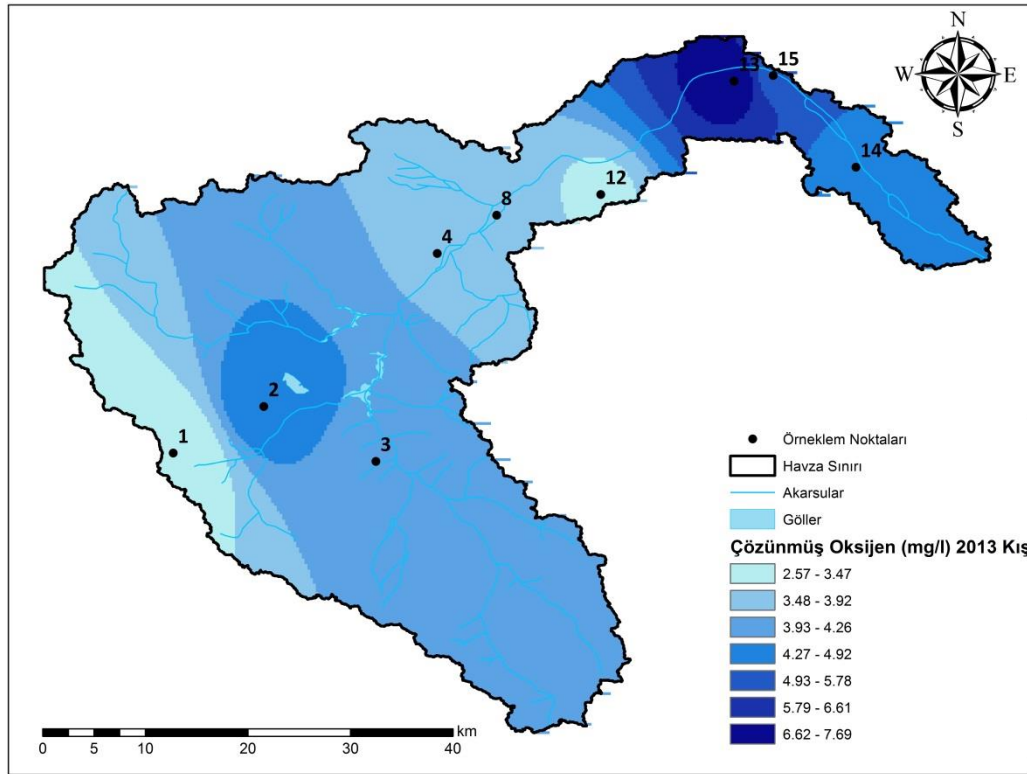
Şekil 4.89. Çözülmüş oksijen seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.90. Çözülmüş oksijen seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.91. Çözünmüş oksijen seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.92. Çözünmüş oksijen seviyeleri kış mevsimi

Çözünmüş oksijen parametresi için ulusal ve uluslararası standartlarda sınır değeri belirtilmemiştir. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerince ÇO içeriğini 8 mg/l'ye kadar I. sınıf, 6 mg/l'ye kadar II. sınıf, 3 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 3 mg/l altında IV. sınıf olarak belirlemiştir.

Acar ve ark. (2012) Emet ve Hisarcık Bölgesi yeraltı sularında yaptıkları çalışmada 10 istasyondan alınan örneklerde 1,36 – 5,8 mg/l arasında değişen seviyelerde çözünmüş oksijen tespit etmişlerdir.

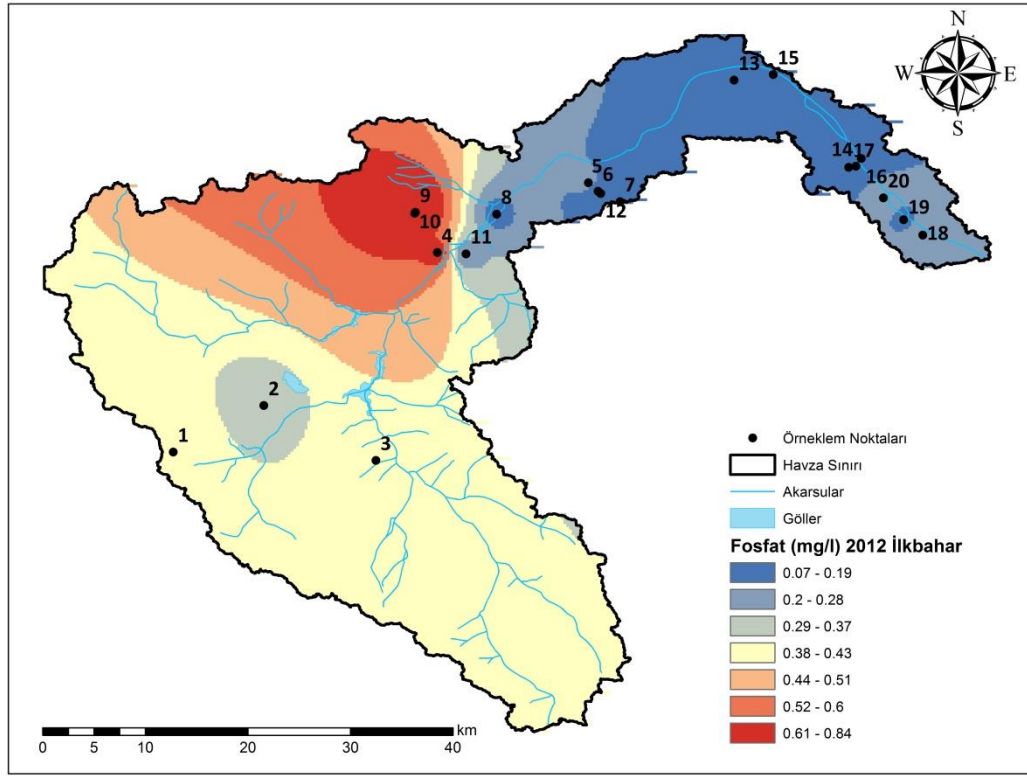
Şekil 4.89'de verilen ilkbahar mevsimi ÇO seviyelerinde 3,27 – 8,7 mg/l arasında dağılım bulunmaktadır. Mevsimin en yüksek değerleri 4, 8 ve 10 nolu kuyularda 8 mg/l' üzerinde çıkmıştır. En düşük çözünmüş oksijen içeriğine sahip örnek noktaları ise ortalama 3,5 mg/l içeren 1 ve 14 nolu kuyulardır.

Yaz mevsimi ÇO seviyeleri 2,65 – 8,11 mg/l arasında değişmektedir. Mevsimin en yüksek değeri 8 nolu kuyuda yaklaşık 8,1 mg/l olarak belirlenmiştir. 1, 10, 13 ve 15 nolu kuyular içerdikleri 2 – 3 mg/l arasındaki çözünmüş oksijen seviyeleriyle mevsimin en düşük değerlerini almıştır (Şekil 4.90).

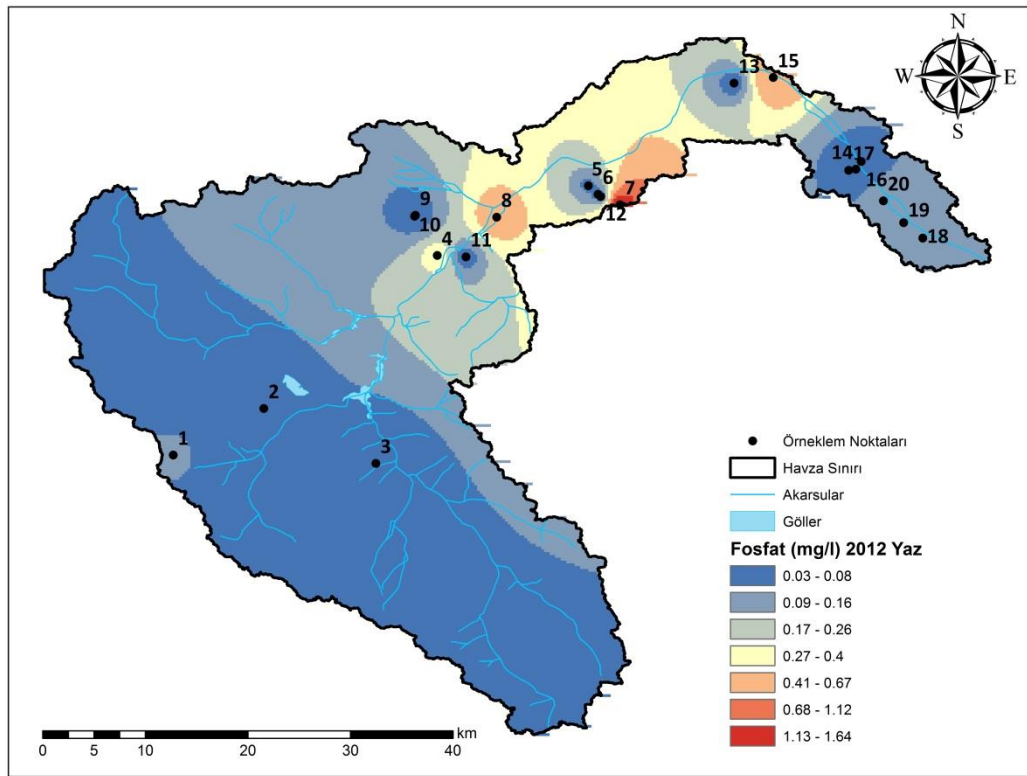
Sonbahar mevsimi ÇO seviyeleri 2,4 – 7,34 mg/l arasında değişmektedir. En yüksek değerler 6 ve 11 nolu kuyularda 7 – 7,5 mg/l olarak tespit edilmiştir. Mevsimin en düşük ÇO seviyesi 1 nolu kuyuda 2,4 mg/l olarak bulunmuştur. (Şekil 4.91).

Kış mevsiminde yalnızca 13 nolu kuyuda yaklaşık 8 mg/l ÇO mevsimin en yüksek değeri olarak tespit edilmiştir. Diğer örnek noktalarında ölçülen 2,8 – 5 mg/l arasında düşük çözünmüş oksijen değerleri mevsimin düşük değerleri olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.92).

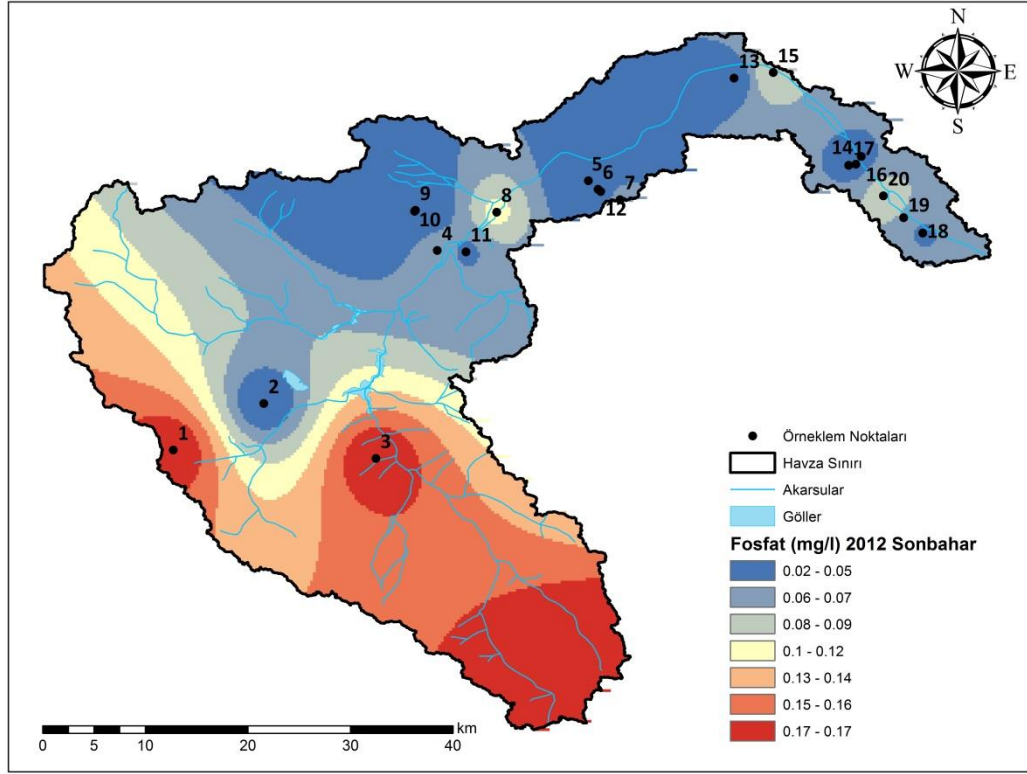
Yıl içerisinde havzanın bütünü dikkate alındığında mevsimsel olarak çözünmüş oksijen seviyeleri arasında önemli bir farklılık yoktur. Kuyu bazında bazı noktalarda mevsimler arasında değişiklikler gözükmektedir. Çözünmüş oksijen değerlerinin doğrudan içme ve kullanma sularında etkisi olmamaktadır.



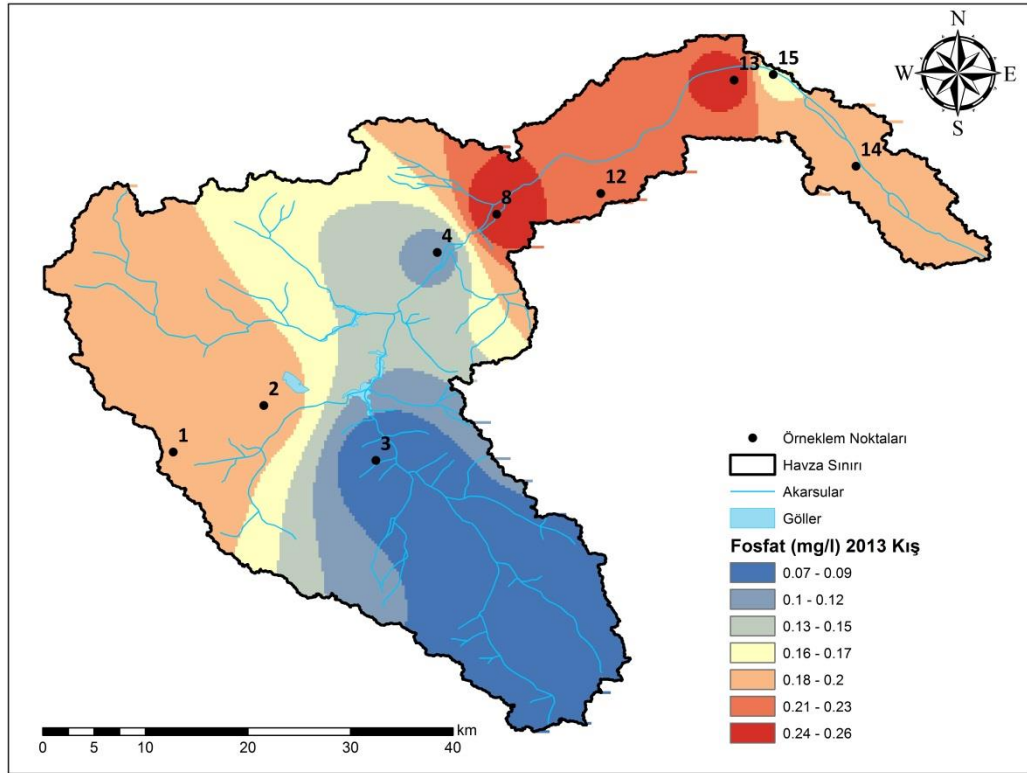
Şekil 4.93. Fosfat seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.94. Fosfat seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.95. Fosfat seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.96. Fosfat seviyeleri kış mevsimi

Fosfat içeriği, içme suları için ulusal ve uluslararası standartlarda sınırlandırılmamıştır. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri tablosunda suların içerdiği toplam fosfor seviyelerini 0,02 mg/l'ye kadar I. sınıf, 0,16 mg/l'ye kadar II. sınıf, 0,65 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 0,65 mg/l üzeri IV. sınıf olarak belirlemiştir.

Fadiran ve ark. (2007) Svaziland'da 15 kuyudan aldıkları numuneleri fosfat açısından incelemiştir. Yapılan analizlerde yeraltı sularında 0,10 – 0,49 mg/l arasında fosfat içeriği tespit edilmiştir. Bu değerlerin Svaziland içme suyu standartlarında belirtilen 1,0 mg/l fosfat sınırının altında kalmaktadır.

Hindistan'ın Vamsadhara nehri havzasında Rao ve Prasad (1997) 113 kuyuda yaptıkları yeraltı suyu çalışmasında jeolojik ve fosfatlı gübre kullanımından kaynaklı olabilecek 0,72 – 7,07 mg/l arasında fosfat tespit etmiştir.

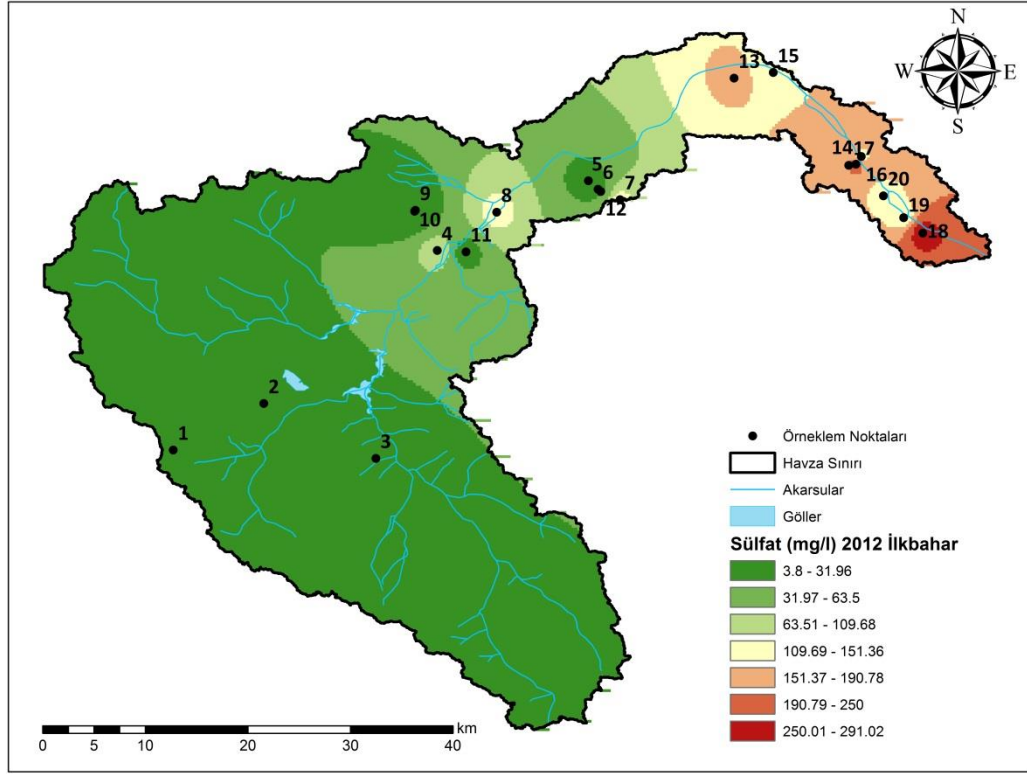
İlkbahar mevsimi fosfat seviyeleri 0,07 – 0,84 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Mevsimin en yüksek değeri 9 nolu kuyuya ait 1 mg/l'dir. Diğer kuyular ise 0,07 – 0,66 mg/l arasında fosfat içermektedirler. En düşük fosfat seviyesi ise yaklaşık 0,1 mg/l olarak 6 nolu kuyuda tespit edilmiştir (Şekil 4.93).

Yaz mevsiminde ölçülen fosfat seviyeleri 0,03 – 1,64 mg/l arasında dağılım göstermektedir. Mevsimin en yüksek bakır değeri 12 nolu kuyu da 1,65 mg/l olarak tespit edilmiştir. 8 ve 5 nolu kuyularda ise yaklaşık 0,6 – 0,7 mg/l arasında elde edilen değerler mevsimin yüksek fosfat değerleridir. Diğer kuyularda mevsimin düşük fosfat seviyelerini yaklaşık 0,03 – 0,08 mg/l arasında tespit edilmiştir (Şekil 4.94).

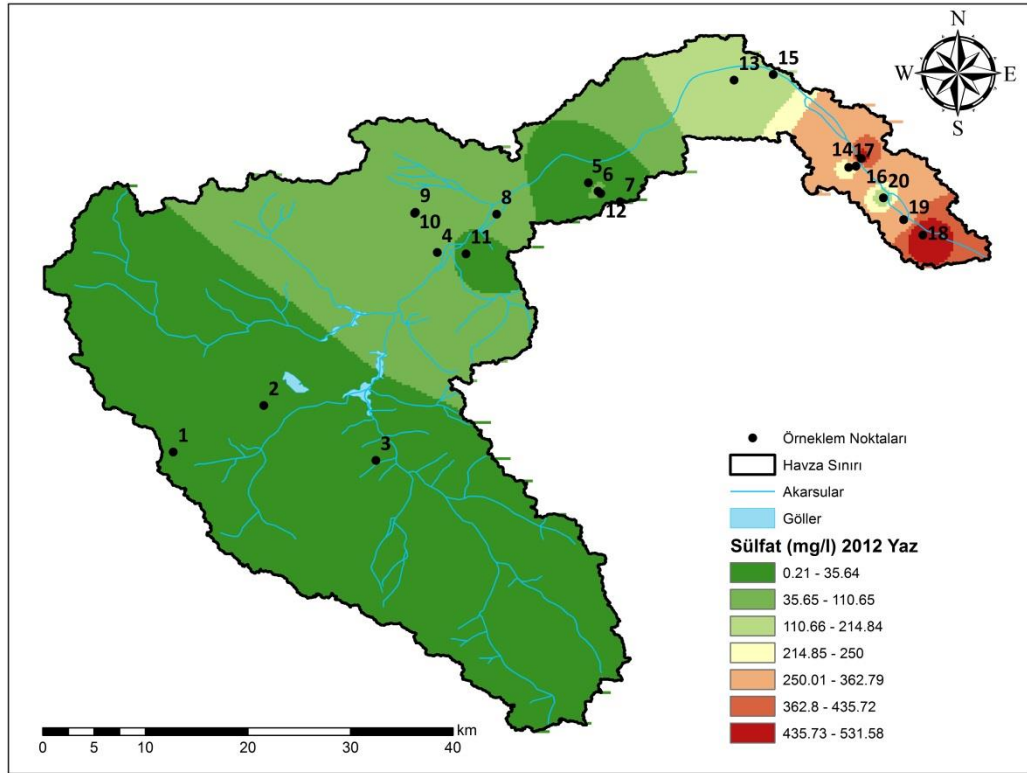
Sonbahar mevsimi fosfat seviyeleri 0,03 – 0,17 mg/l arasında düşük seviyelerde dağılım göstermektedir (Şekil 4.95).

Şekil 4.96'da verilen kış mevsimi fosfat seviyeleri Seydisuyu Havzası'nda 0,07 – 0,26 mg/l arasında tespit edilmiştir. 3 nolu kuyu dışında diğer kuyularda yaklaşık 0,15 – 0,26 mg/l arası olarak analiz edilmiştir. 3 nolu kuyuda mevsimin en düşük değeri 0,07 mg/l fosfat ölçülmüştür.

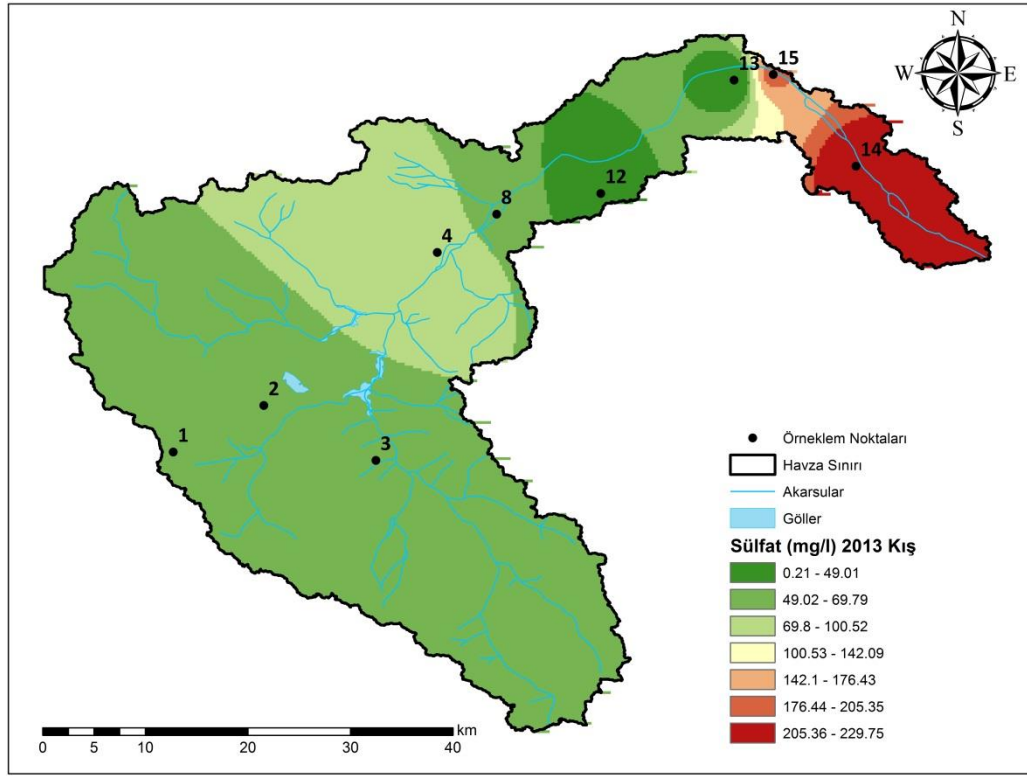
Tüm örnek noktaları göz önüne alındığında mevsimsel olarak fosfat seviyeleri birkaç örnek noktası dışında anlamlı değişiklikler göstermemektedir. Toksik etkisi bulunmayan fosfat yeraltı sularına kayaçlardan çözünerek katılmaktadır.



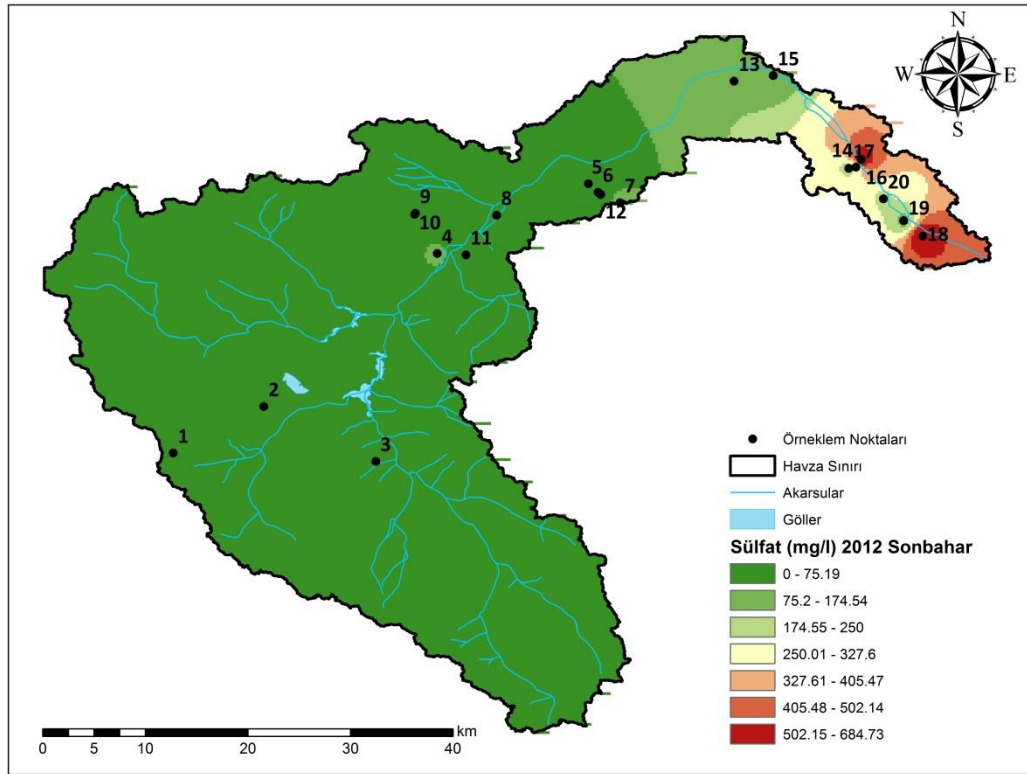
Şekil 4.97. Sülfat seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.98. Sülfat seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.99. Sülfat seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.100. Sülfat seviyeleri kış mevsimi

İçme sularında bulunabilecek maksimum sülfat içeriği EPA, WHO ve TS 266 gibi standartlarda 250 mg/l olarak belirtilmiştir. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri tablosunda suların içerdiği sülfat seviyelerini 200 mg/l'ye kadar I. ve II. sınıf, 400 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 400 mg/l üzeri IV. sınıf olarak belirlemiştir. Horst ve ark. (2011) Meksika'da yaptıkları çalışmada yeraltı suyu örneklerinde 20 – 1480 mg/l arasında değişen seviyelerde sülfat tespit etmiştir.

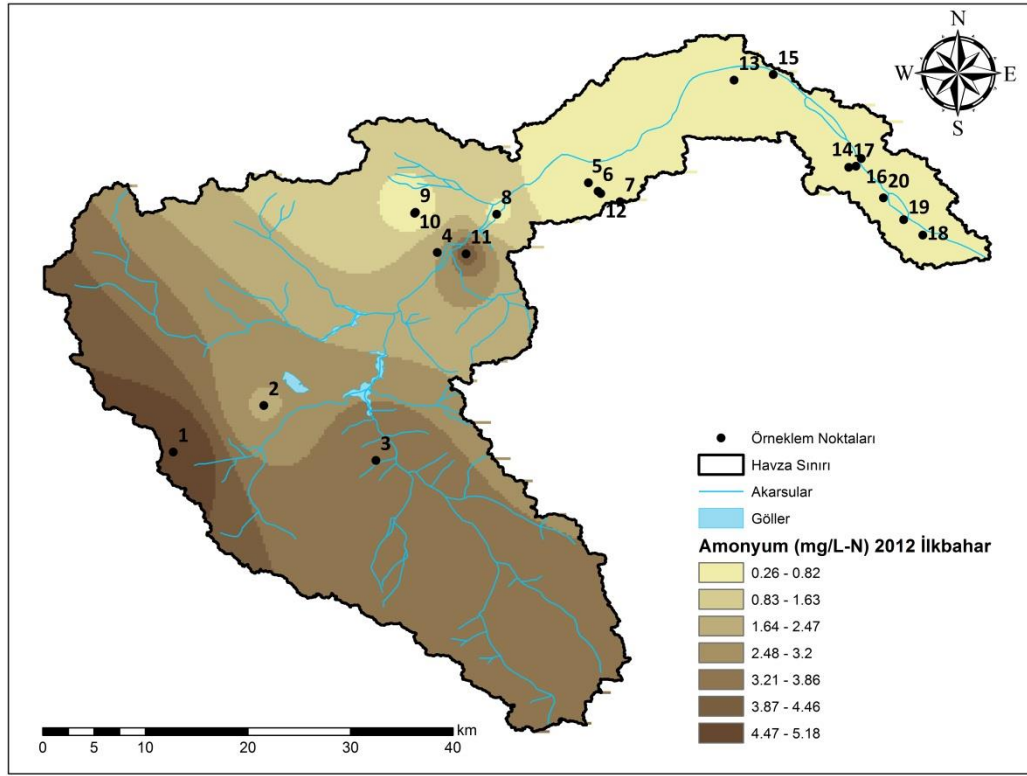
İlkbahar mevsiminde analiz edilen örneklerde sülfat seviyeleri 3,8 – 291 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Mevsimin en yüksek seviyesi 18 nolu kuyuda ölçülen 290 mg/l'dir. En düşük sülfat değeri 12 nolu kuyuda yaklaşık 3 mg/l olarak ölçülmüştür. Havzanın doğusunda kalan yüksek kotlu bölgelerde düşük sülfat seviyeleri gözlenmektedir. (Şekil 4.97).

Yaz mevsimi sülfat seviyeleri 0 – 530 mg/l değerleri arasındadır.. Mevsimin en yüksek sülfat değeri 16 ve 18 nolu kuyularda yaklaşık 530 mg/l olarak belirlenmiştir. 15, 16, 17, 19 ve 20 nolu kuyularda yaklaşık 200 – 250 mg/l arasında sülfat değerleri tespit edilmiştir. 5, 7, 11 ve 12 nolu kuyularda sülfat içeriğine rastlanmadığından mevsimin en düşük değerini temsil etmişlerdir. (Şekil 4.98).

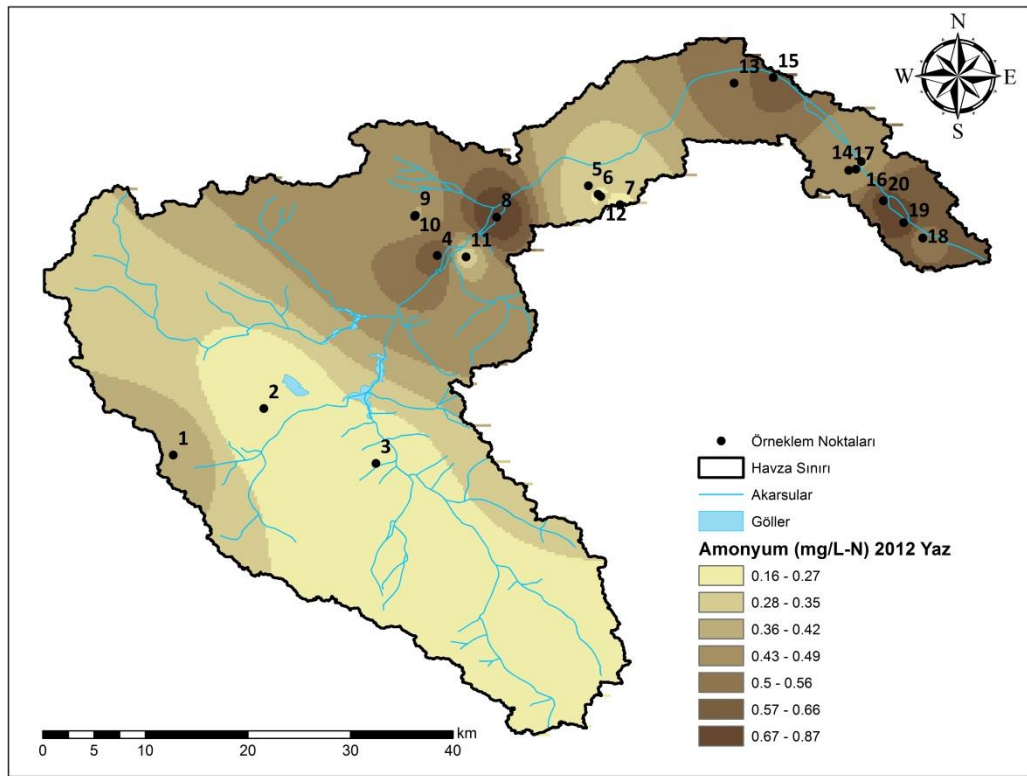
Sonbahar mevsiminde ise sülfat seviyeleri 0 – 700 mg/l arasında dağılım göstermektedir. Yapılan analizlerde mevsimin en yüksek sülfat seviyeleri 16 ve 18 nolu kuyularda 650 – 700 mg/l civarında tespit edilmiştir. Kuyu 2, 5, 6, 9 ve 11 sonbahar mevsimi örneklerinde sülfat içeriği bulunmamıştır. (Şekil 4.99).

Kış mevsiminde 13 nolu kuyu 0,2 mg/l sülfat ile en düşük seviyeyi görmüştür. 14 ve 15 nolu kuyularda ölçülen 200 – 250 mg/l arasındaki sülfat değerleri mevsimin yüksek değerleridir. (Şekil 4.100).

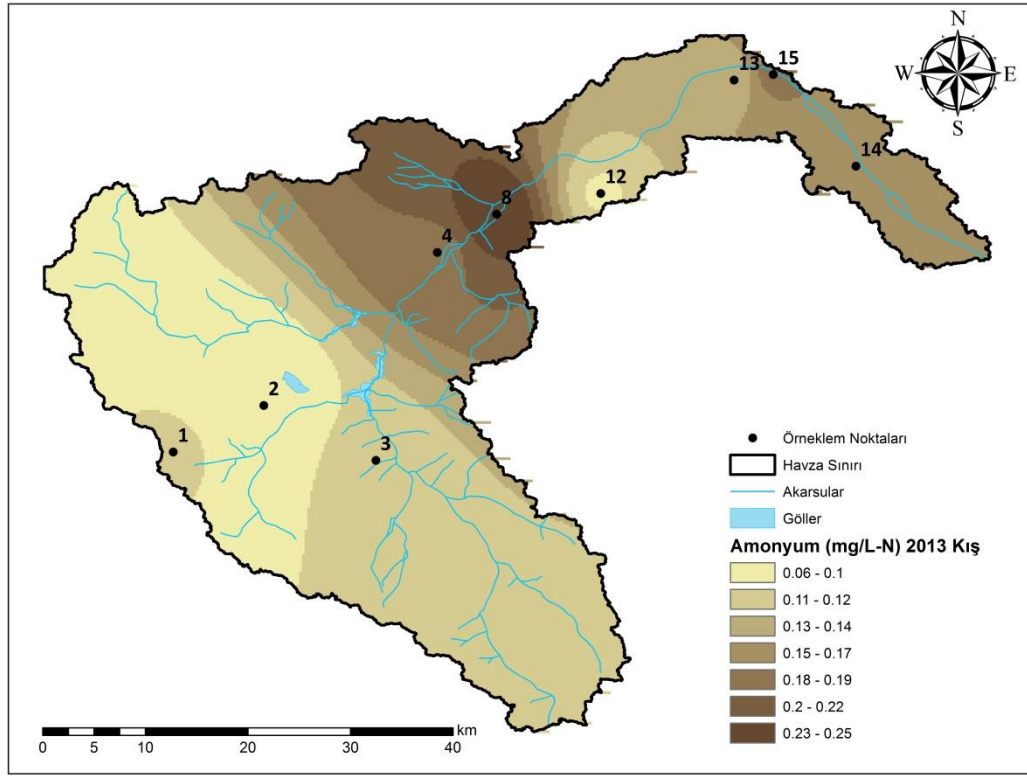
Sülfat seviyeleri mevsimler arasında büyük ölçüde paralellik göstermektedir. Havzada, Mahmudiye İlçesi sınırları içerisinde bulunan sulama amaçlı TİGEM kuyuları bölgesinde sülfat seviyelerinin standart değer olan 250 mg/l üzerine çıktığı tespit edilmiştir. Sulamada kullanılması nedeniyle sorun teşkil etmemektedir. Sülfatın bu alandaki varlığının nedeninin tarımda kullanılan gübrelerden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.



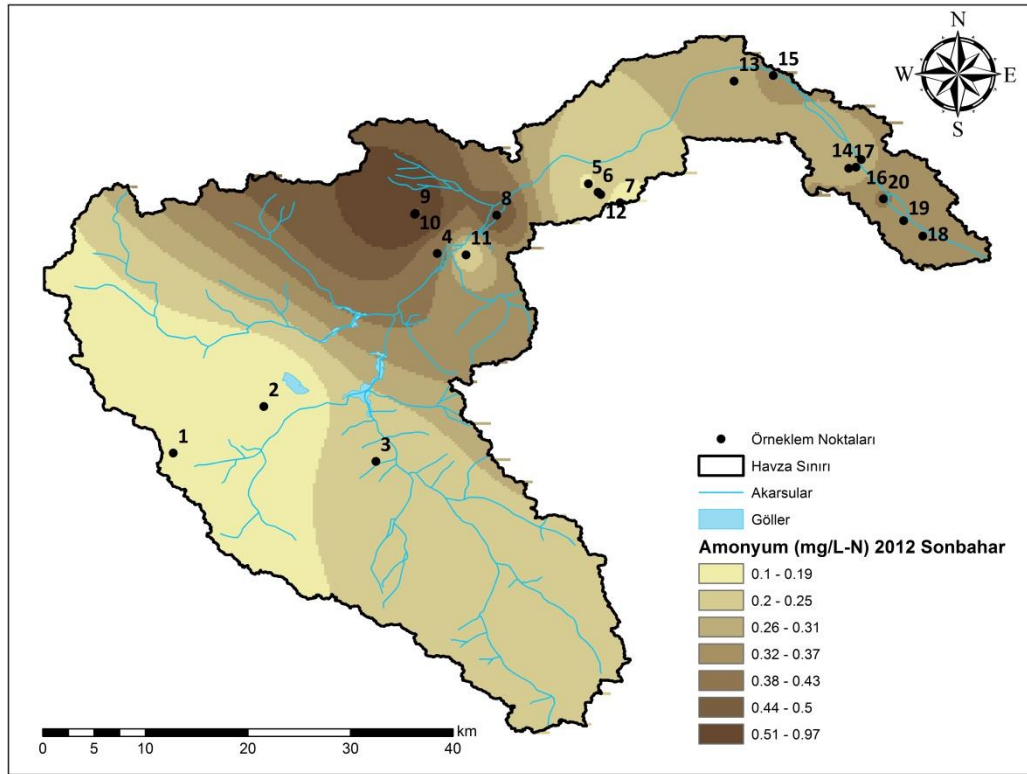
Şekil 4.101. Amonyum seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.102. Amonyum seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.103. Amonyum seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.104. Amonyum seviyeler kış mevsimi

Amonyum içeriği, içme sularında bulunma miktarları için TS 266 standartlarında 0,5 mg/l olarak, WHO tarafindansa 1,5 mg/l olarak sınırlandırılmıştır. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri tablosunda suların içerdiği amonyum azotu seviyelerini 0,2 mg/l'ye kadar I. sınıf, 1 mg/l'ye kadar II. sınıf, 2 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 2 mg/l üzeri IV. sınıf olarak belirlemiştir.

İlkbahar mevsimi amonyum seviyeleri 0,26 – 5,2 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Mevsimin en yüksek değeri 1 ve 11 nolu kuyularda 4,4 – 5,2 mg/l'dir. 2 ve 3 nolu kuyularda ise 2,4 – 3,8 mg/l arasında amonyum değerleri tespit edilmiştir. İlkbaharda en düşük amonyum seviyesi ise yaklaşık 0,2 mg/l olarak 10 nolu kuyuda tespit edilmiştir (Şekil 4.101).

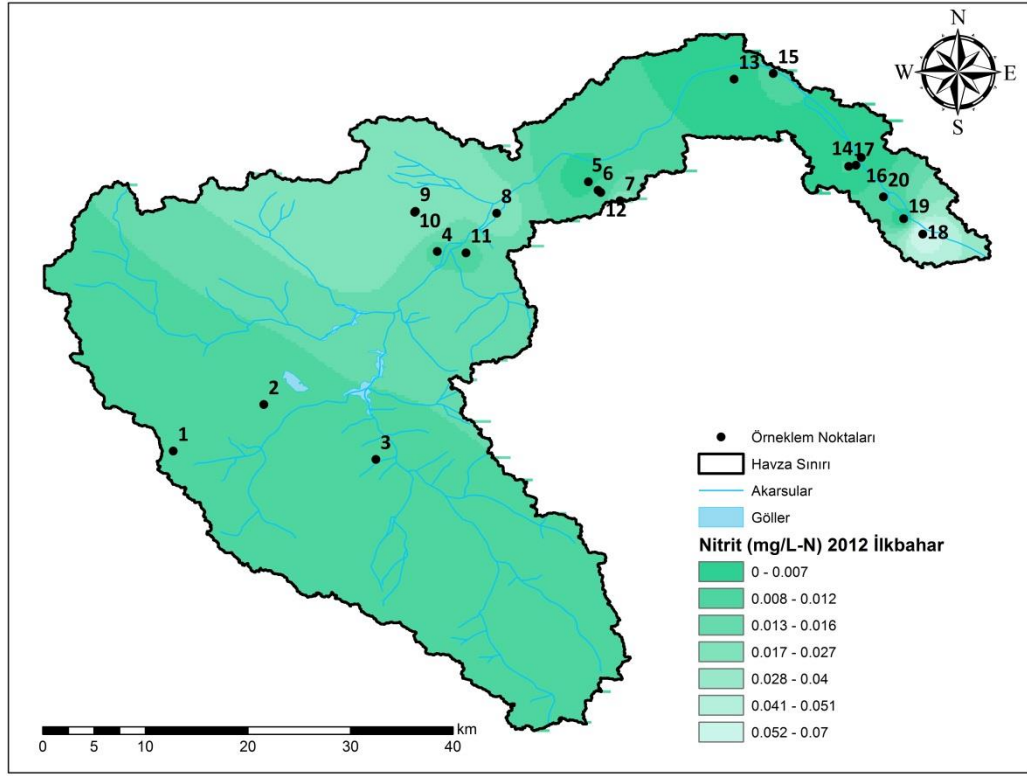
Yaz mevsiminde ölçülen amonyum seviyeleri 0,16 – 0,87 mg/l arasında dağılım göstermektedir. Mevsimin en yüksek değeri 8 nolu kuyu da 0,86 mg/l olarak tespit edilmiştir. 4, 10, 19 ve 20 nolu kuyularda ise yaklaşık 0,66 – 0,75 mg/l arasında değişen değerler yüksek amonyum değerlerindendir. (Şekil 4.102).

Sonbahar mevsimi amonyum seviyeleri 0,1 – 1 mg/l arasında dağılım göstermektedir. En yüksek değer 10 nolu kuyuda yaklaşık 1 mg/l olarak tespit edilmiştir. (Şekil 4.103).

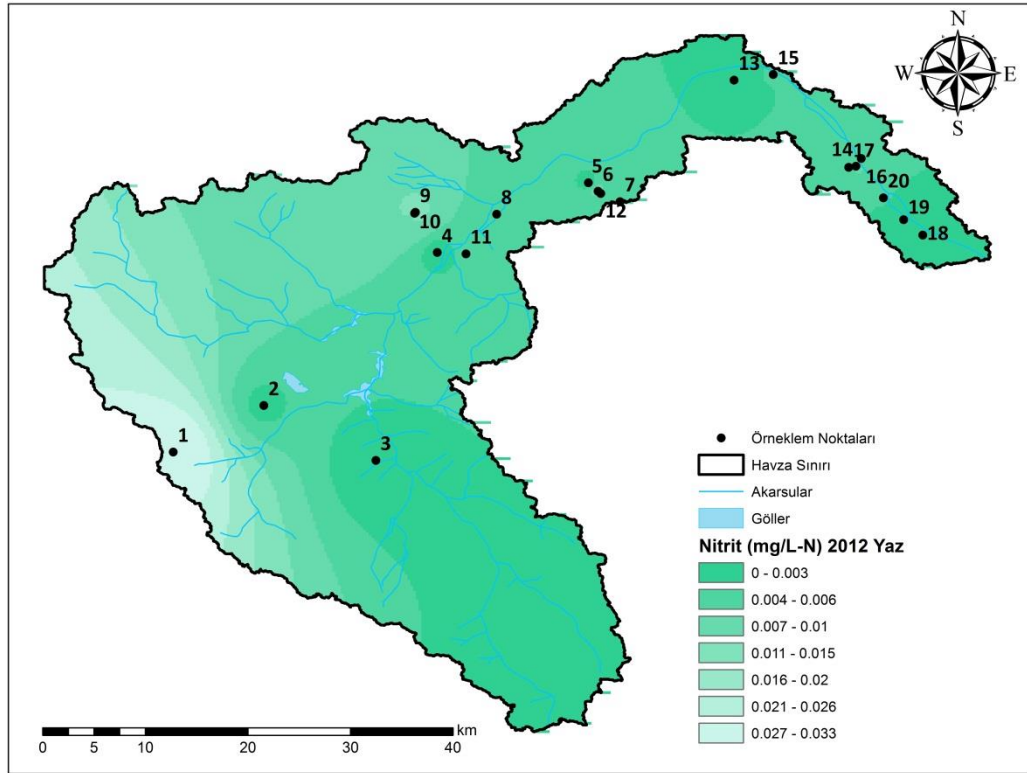
Şekil 4. 104'de verilen kış mevsimi amonyum seviyeleri havzada 0,06 – 0,25 mg/l arasında tespit edilmiştir. 8 nolu kuyuda mevsimin en yüksek değeri 0,25 mg/l kaydedilmiştir..2 nolu kuyuda mevsimin en düşük değeri 0,06 mg/l amonyum ölçülmüştür.

Lindenbaum (2012) Vietnam'da 20 kuyu üzerinde yaptığı tez çalışmasında analizler sonucunda 0,1 – 69,8 mg/l arasında değişen seviyelerde amonyum tespit etmiştir. Çalışmada gözlenen yüksek değerlerdeki amonyum değişimlerinin antropojenik kaynaklı olabileceği öngörülmüştür ancak diğer yandan örneklerle kontaminasyon veya ölçüm hatalarının da olası bir durum olduğu tahmin edilmektedir.

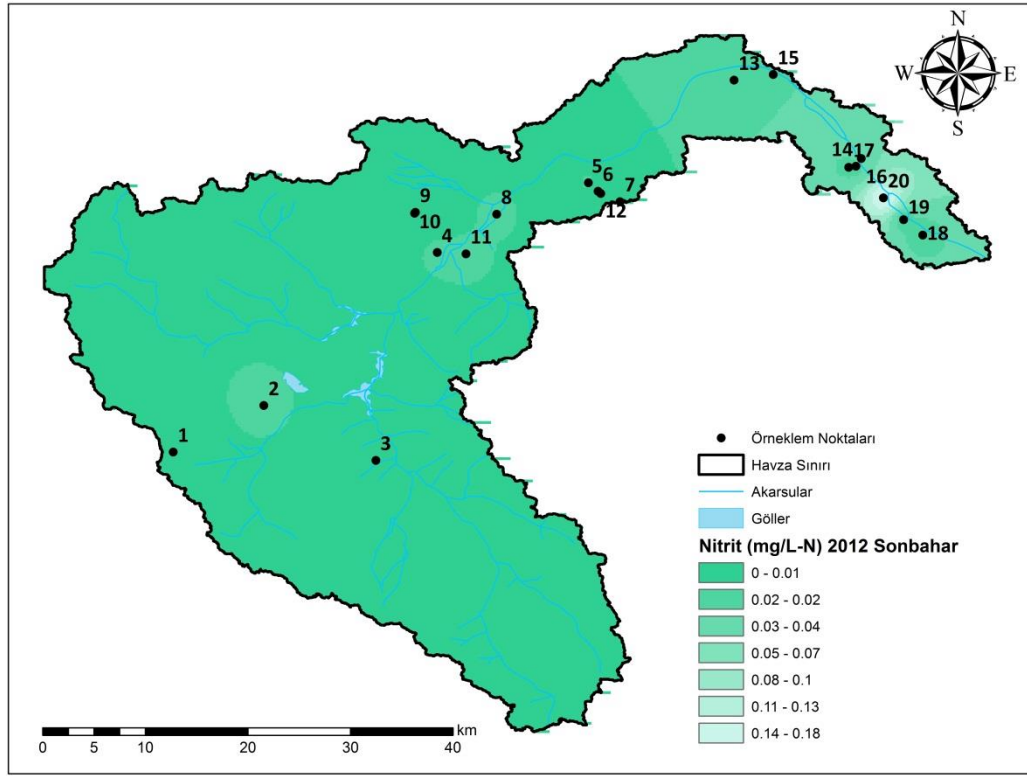
Tüm örnek noktaları göz önüne alındığında mevsimsel amonyum seviyeleri, ilkbahar mevsiminde 1, 2, 3, 4 ve 11 nolu kuyularda ölçülen 2,5 – 5 mg/l arasındaki değerler dışında anlamlı değişiklikler göstermemektedir. Yıllık ortalama amonyum seviyeleri ulusal ve uluslararası standartlara uymaktadır.



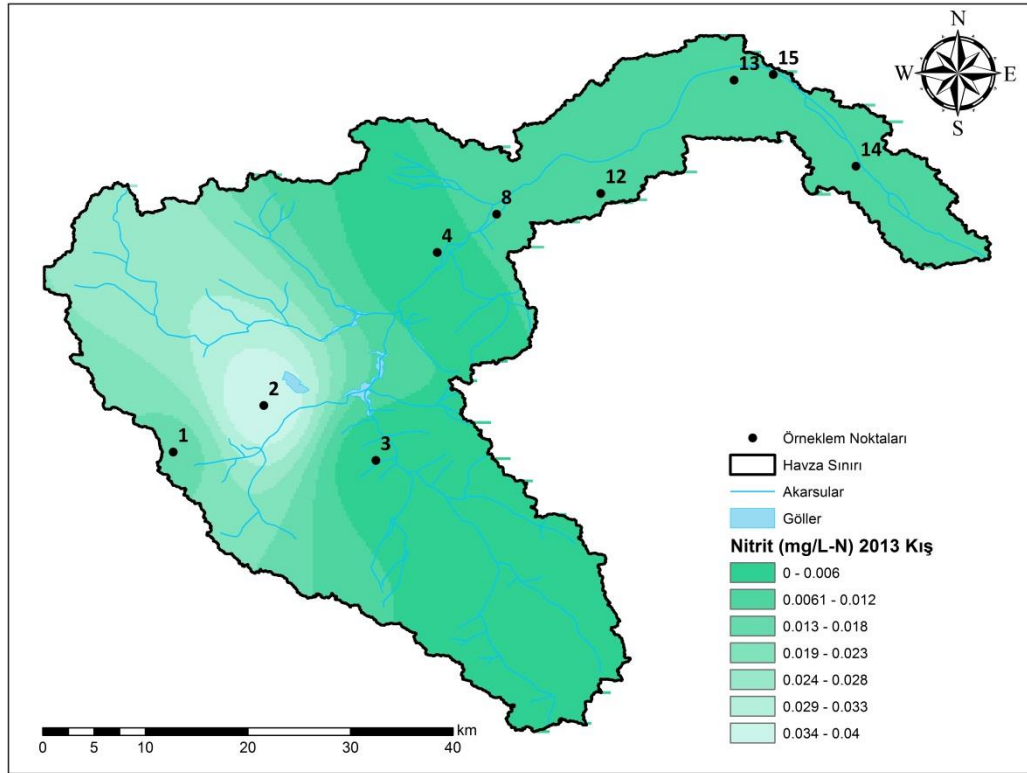
Şekil 4.105. Nitrit seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.106. Nitrit seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.107. Nitrit seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.108. Nitrit seviyeleri kış mevsimi

İçme sularında bulunmasına müsaade edilen nitrit içeriği TS 266 standartlarında 0,5 mg/l sınırlandırılmıştır. WHO'nun standartlarında 0,2 mg/l limit değerin üzerinde nitrit içeren suların içilmesi sakıncalı olarak görülmektedir. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerince nitrit içeriğini 0,002 mg/l'ye kadar I. sınıf, 0,01 mg/l'ye kadar II. sınıf, 0,05 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 0,05 mg/l üzeri IV. sınıf olarak belirlemiştir.

Şekil 4.105'de verilen ilkbahar mevsimine ait Seydisuyu Havzası nitrit seviyelerinin dağılımı haritasında nitrit değerleri 0 – 0,07 mg/l arasında değişmektedir. 18 nolu kuyu mevsimin en yüksek değeri 0,07 mg/l nitrit içermektedir. Diğer kuyularda elde edilen nitrit değerleri 0 – 0,02 mg/l arasında değişmektedir.

Yaz mevsimi nitrit seviyeleri 0 – 0,033 mg/l arasında değişmektedir. Mevsimin en yüksek değeri 1 nolu kuyuda yaklaşık 0,033 mg/l olarak tespit edilmiştir. Diğer kuyularda ise 0 – 0,014 mg/l arasında nitrit seviyeleri kaydedilmiştir. 18 ve 19 nolu kuyularda nitrit, dedeksiyon limitlerinin altında kalmıştır (Şekil 4.106)

Sonbahar mevsiminde nitrit seviyeleri 0 – 0,18 mg/l arasında değişmektedir. En yüksek değer 20 nolu kuyuda 0,18 mg/l olarak tespit edilmiştir. Diğer kuyularda nitrit seviyeleri 0 – 0,04 mg/l arasında değerler almaktadır (Şekil 4.107).

Kış mevsiminde 2 nolu kuyuda 0,04 mg/l nitrit içeriği mevsimin yüksek en yüksek değeri olarak tespit edilmiştir. Diğer örnek noktalarında nitrit seviyeleri 0 ve 0,01 mg/l değerlerini almaktadırlar (Şekil 4.108).

Amasya'da, Ersoy ve ark. (2007) tarafından yapılan yeraltı sularında kirliliğe dair çalışmada 0 – 0,007 mg/l arasında değişen seviyelerde nitrit tespit edilmiştir.

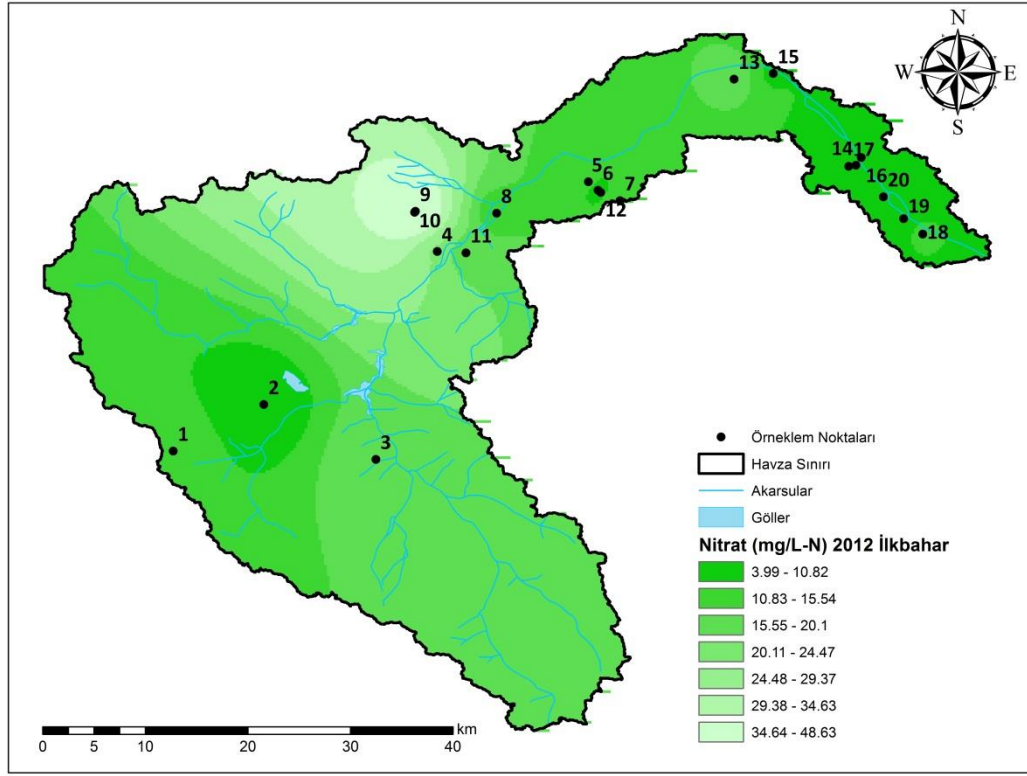
Korkut ve ark. (2008) çalışmada Tarsus Ovası yeraltı sularında gözlenen nitrat-nitrit kirliliği ve kirliliğin çeşitli fiziksel parametrelerle olan ilişkisi araştırılmıştır. Ağustos 2008'de, 193 kuyuda toplanan yeraltı suyu örneklerinde nitrit konsantrasyonları 0,00 – 2,42 mg/L aralığında değişmektedir. Yeraltı sularındaki nitrat ve nitrit konsantrasyonlarının pH 7 – 8 aralığında en yüksek değerleri aldığı tespit edilmiştir.

Afyon ve dokuz ilçesindeki yaptıkları çalışmada Özdemir ve ark. (2004), kuyu suyu örneklerinde ölçülen nitrit düzeylerinin ise 0 – 4,83 mg/l değerleri arasında değiştiğini, ortalama değerin de 0.63 mg/l olduğu belirlemiştir.

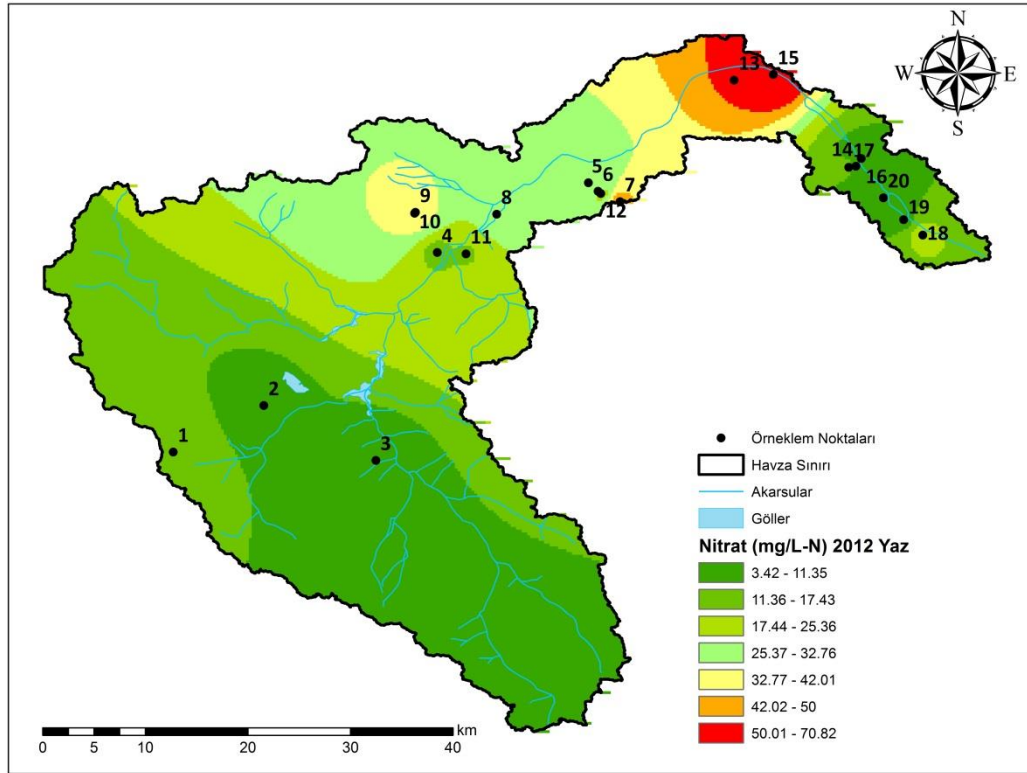
Durmaz ve ark. (2007) tarafından Şanlıurfa ve yöresindeki kuyu sularında nitrit düzeylerini belirlemek amacıyla yapılan araştırmada toplanan 83 su numunesinde nitrit seviyeleri 0 – 0,14 mg/L arasında ortalama 0,02 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Ertaş ve ark. (2013) Kayseri ve çevresi kullanma sularındaki nitrat ve nitrit düzeylerinin tespit edilmesi çalışmasında her biri farklı ilçelerde bulunan 9 farklı bölgeden toplam 98 kuyudan yeraltı suyu örnekleri alınmış ve numunelerinin yalnızca 2'sinde eseri düzeyde (0,0001 mg/l) nitrit belirlenmiştir

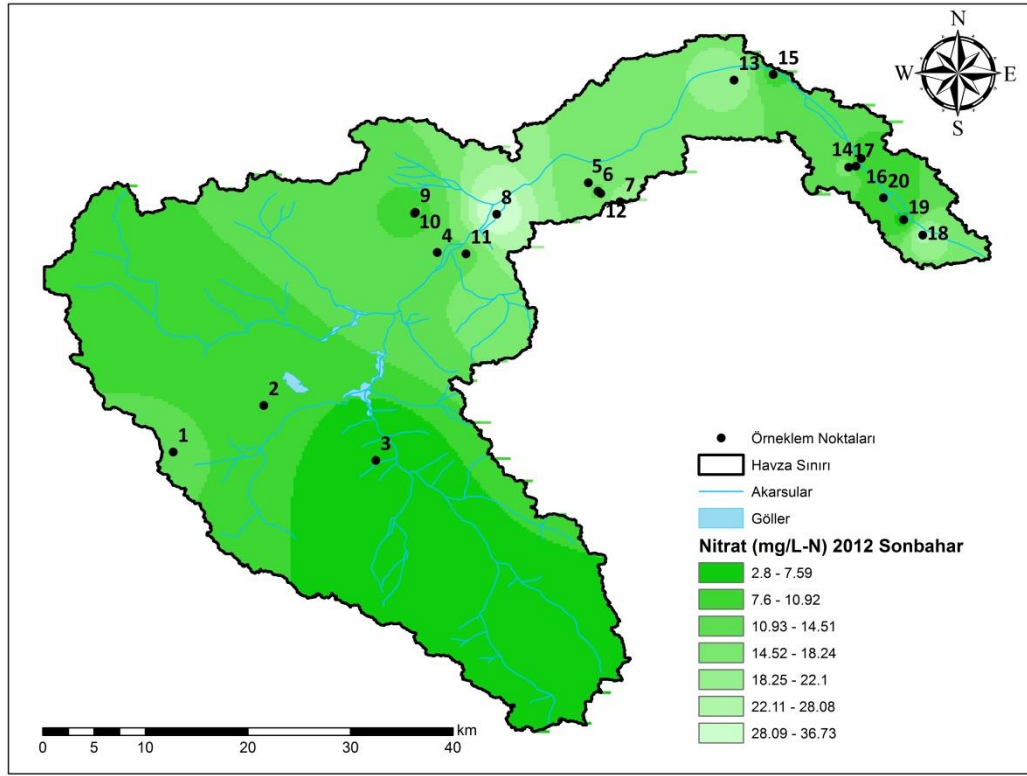
Çalışmada elde edilen değerlerin daha önce yapılan çalışmalarda tespit edilen değerler aralığında ve minimum seviyede olduğu söylenebilir. Bununla beraber mevsimsel olarak incelenen nitrit seviyeleri ulusal ve uluslararası standartların altında kalmıştır. Sularda nitrata geçiş formu olarak bulunan nitrit organik bir kirlenme indikatörüdür ve yüksek seviyelerinde oldukça toksiktir. Yapılan çalışma süresince yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler ışığında Seydisuyu Havzası yeraltı sularında nitrit sorununa rastlanmamıştır.



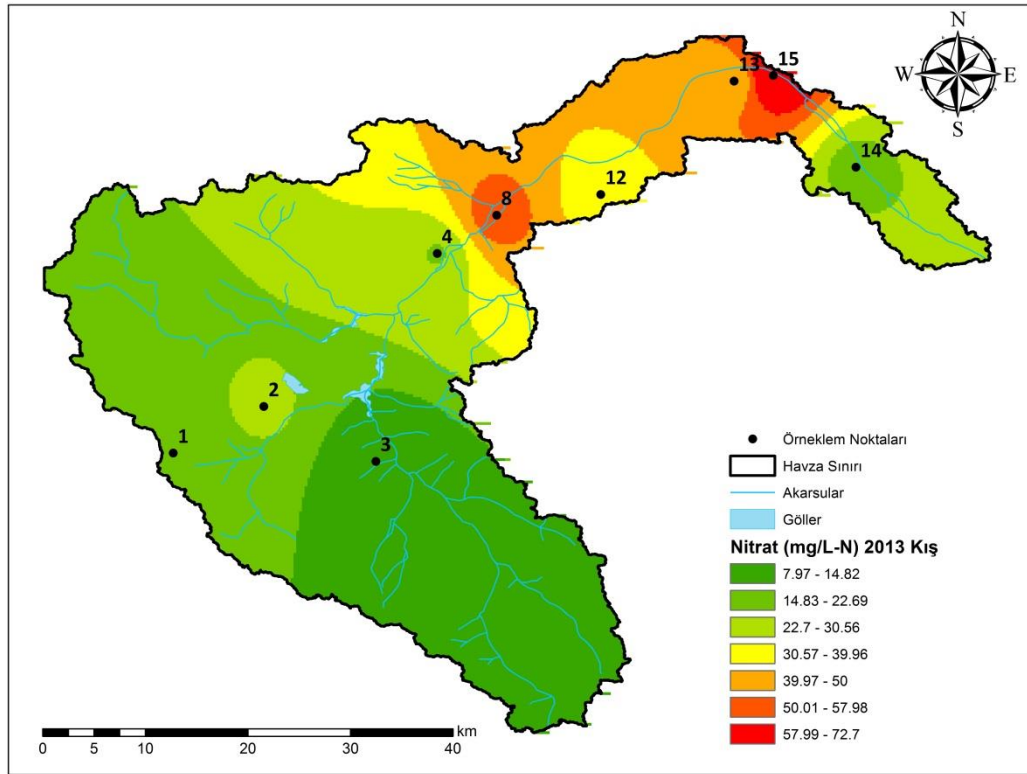
Şekil 4.109. Nitrat seviyeleri ilkbahar mevsimi



Şekil 4.110. Nitrat seviyeleri yaz mevsimi



Şekil 4.111. Nitrat seviyeleri sonbahar mevsimi



Şekil 4.112. Nitrat seviyeleri kış mevsimi

Nitrat içeriği içme suları için ulusal ve uluslararası standartlarda sınırlandırılan parametrelerdendir. TS 266 ve WHO tarafından 50 mg/l üzerindeki suların içilmesi sakıncalı olarak belirlenmiştir. EPA'nın standartlarında 0,45 mg/l limit değerin üzerinde nitrat içeren suların içilmesi uygun görülmemektedir. Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerince nitrat içeriğini 5 mg/l'ye kadar I. sınıf, 10 mg/l'ye kadar II. sınıf, 20 mg/l'ye kadar III. sınıf ve 20 mg/l üzeri IV. sınıf olarak belirlemiştir.

Şekil 4.109'da verilen ilkbahar mevsimine nitrat seviyelerinin dağılımı haritasında nitrat değerleri 4 – 50 mg/l arasındaki seviyelerde ölçülmüştür. 9 nolu kuyu mevsimin en yüksek değeri olan yaklaşık 50 mg/l nitrat içermektedir. Diğer kuyularda elde edilen nitrat değerleri 4 – 25 mg/l arasında değişmektedir. Mevsimin en düşük değeri 14 nolu kuyuda 3,7 mg/l olarak tespit edilmiştir.

Yaz mevsimi analizleri sonucunda nitrat seviyeleri 3 – 70 mg/l arasında değişmektedir. Mevsimin en yüksek değeri 15 nolu kuyuda yaklaşık 70 mg/l olarak tespit edilmiştir. 7, 10 ve 13 nolu kuyularda yaklaşık 50 mg/l nitrat mevsimin yüksek değerlerindendir. Diğer kuyularda ise 30 mg/l'ye kadar farklı seviyelerde nitrat değerleri kaydedilmiştir. 14 nolu kuyuda nitrat 3 mg/l olarak mevsimin en düşük değerini almıştır (Şekil 4.110).

Sonbahar mevsiminde nitrat seviyeleri 3 – 37 mg/l arasında değişmektedir. En yüksek değer 8 nolu kuyuda 37 mg/l olarak tespit edilmiştir. Diğer kuyularda nitrat seviyeleri 3 – 23 mg/l arasında değişen seviyelerde bulunmaktadır. (Şekil 4.111).

Kış mevsiminde 15 nolu kuyuda 72 mg/l nitrat içeriği mevsimin en yüksek değeri olarak tespit edilmiştir. 8 nolu kuyuda yaklaşık 56 mg/l nitrat içeriği kış mevsiminde yüksek değerlerdendir. Diğer örnek noktalarında nitrat seviyeleri 8 – 42 mg/l arasında değerler almaktadırlar (Şekil 4.112).

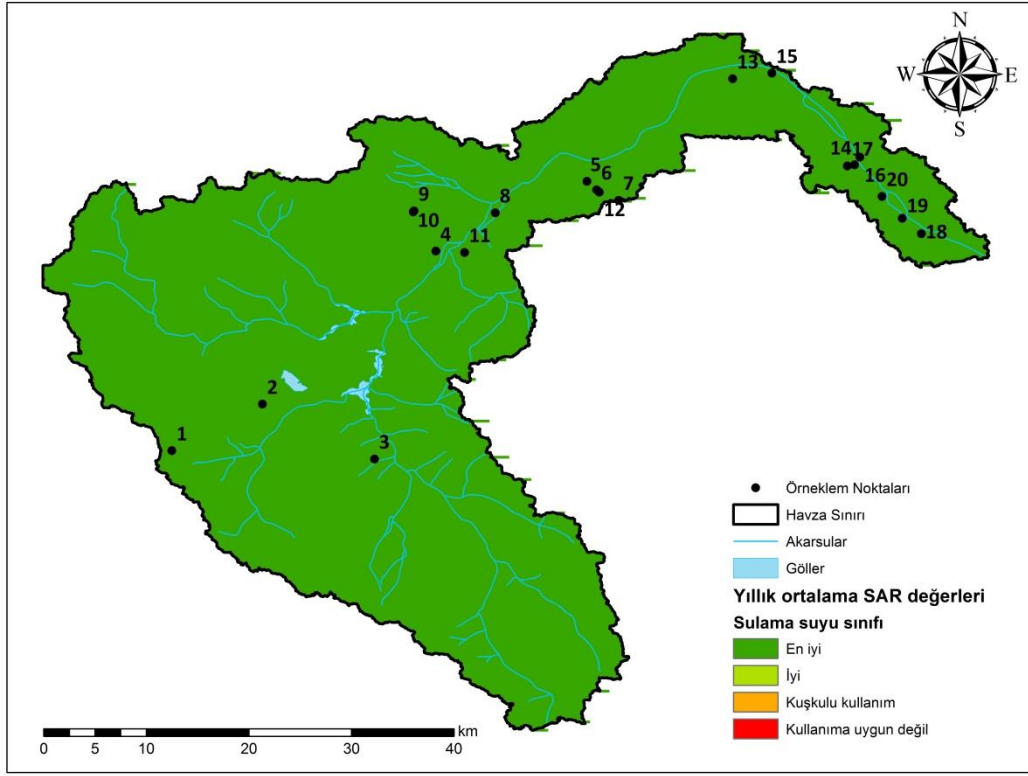
Ertaş ve ark. (2013) tarafından Kayseri ve çevresi yeraltı sularındaki nitrat ve nitrit düzeylerinin tespit edilmesi çalışmasında her biri farklı ilçelerde bulunan 9 farklı bölgeden toplam 98 kuyudan yeraltı suyu örnekleri alınmıştır. Analiz edilen numunelerin nitrat düzeyleri 2,08 – 12,52 mg/l aralığında belirlenmiştir.

Korkut ve ark. (2008) Tarsus Ovası yeraltı sularında gözlenen nitrat – nitrit kirliliği çalışmasında 193 kuyudan toplanan yeraltı suyu örneklerinde nitrat seviyeleri 0,44 – 73,48 mg/l aralığında tespit edilmiştir. Yeraltı sularındaki yüksek nitrat seviyelerinin evsel-endüstriyel atık deşarjı ve tarımsal faaliyetler sırasında yapılan aşırı gübrelemeden meydana gelmiş olabileceği öngörülmüştür.

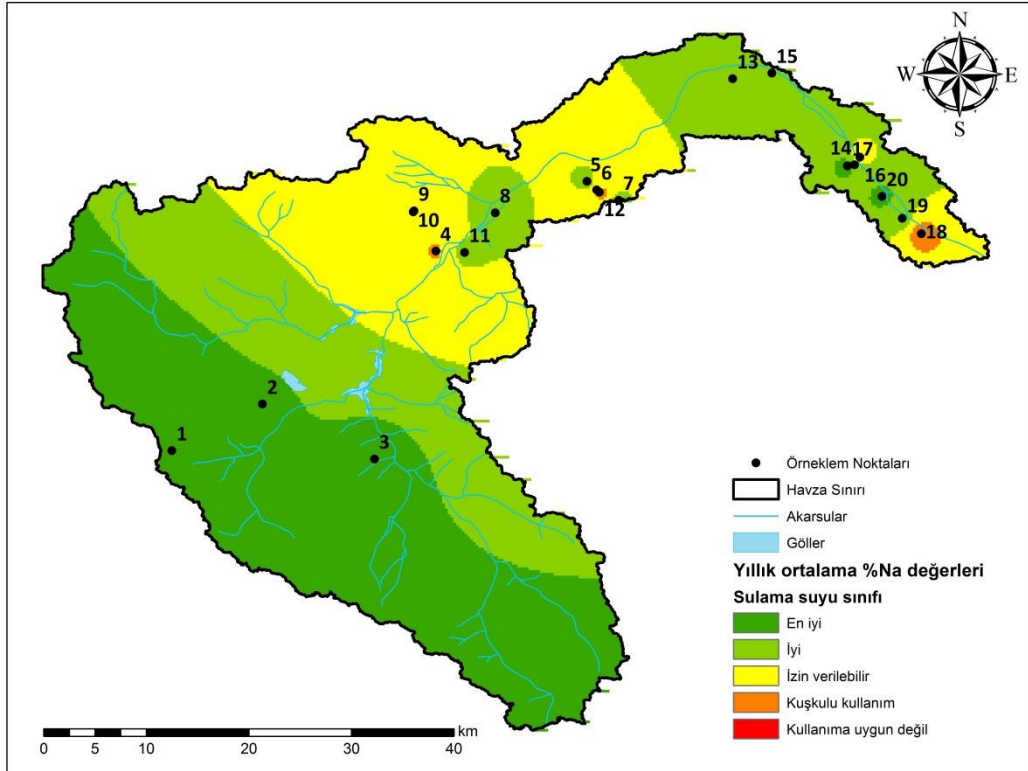
Çakmak (2007) tez çalışmasında Ekim 2005-Temmuz 2006 arasında Eskişehir ilinde seçilen 15 adet yeraltı suyu örnekleme noktasında nitrat analizlerinde bulunmuştur. Elde edilen değerlere bakıldığında nitrat seviyelerinin 13 – 360 mg/l arasında değiştiği görülmüştür. 6 adet yeraltı suyu örnekleme noktasında İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte verilen sınır değer olan 50 mg/l aşıldığı tespit edilmiştir.

Uylaş (2013) Seyitgazi’de içme sularında yaptığı çalışmada nitrat seviyelerinin 15,39 – 246,9 mg/l arasında değiştiği tespit edilmiştir. İlkbahar ve yaz mevsiminde Seyitgazi ilçesi genelinde nitrat seviyelerinde sınır değerlerin üzerine çıktığı gözlenmiştir. Buna neden olarak tarım ve hayvancılık faaliyetleri gösterilmiştir.

Mevsimsel olarak incelenen nitrat seviyeleri ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde ulusal ve uluslararası standartların altında kalmıştır. Yaz mevsiminde 13 ve 15 nolu kuyularda sınırları belirli miktarda aştığı gözlenmiştir. Kış mevsiminde ise 15 ve 8 nolu kuyularda nitrat seviyelerinin sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.113. Yıllık ortalama SAR seviyeleri



Şekil 4.114. Yıllık ortalama %Na seviyeleri

YAS kalitesinde sulama açısından önemli parametrelerden olan SAR ve %Na değerleri çalışma kapsamında formül (3.1) ve (3.2) kullanılarak hesaplanmış ve mevsimlerin yıllık ortalaması üzerinden Şekil 4.113 ve 4.114'te görülen sulama suyu sınıf haritaları oluşturulmuştur.

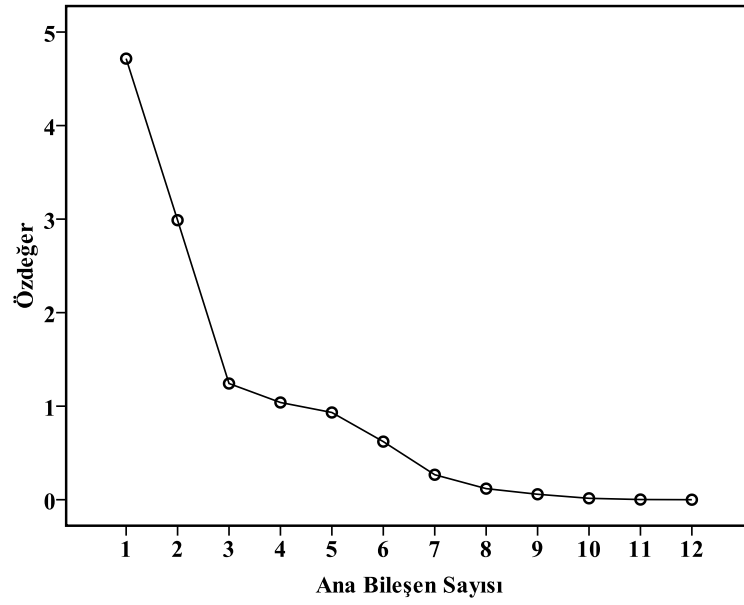
Bayındır (2006) Harran Ovası yeraltı suyu kalitesi çalışmasında 23 istasyonda incelediği SAR ve %Na parametrelerini sulama suları sınıflandırmasında kullanmıştır. 1 istasyon haricinde çok iyi özellikte kullanma suyu sınıfı tespit edilmiş, tek istasyonda da bu sınıf iyi özellikte olarak bulunmuştur. %Na açısından sonuçlar SAR değerlerine paralellik göstermiş ve çoğunluğu sulama suyu açısından çok iyi özellikte olmak üzere, iyi özellikte ve bir istasyonda da kullanılması şüpheli su sınıfında tespit edilmiştir.

SAR parametresi açısından havzanın tamamında yeraltı suları sulama suyu olarak kullanma sınıflarında en iyi olarak tespit edilmiştir. SAR değerleri 0,25 – 6,76 arasında havzanın içinde değişiklik göstermektedir. %Na parametresi açısından 4, 18 ve 12 nolu kuyuların olduğu bölgelerde yeraltı sularının kullanımı kuşku olarak belirlenmiştir. Havzanın orta bölümünde 16 nolu kuyunun olduğu bölgede izin verilebilir seviyede sulama yapılması öngörülmektedir. Bunun dışındaki bölgeler %Na açısından kuyulardan sulama yapmaya elverişli alanlardır.

4.2. Faktör Analizi

Seydisuyu Havzası sınırları içerisindeki kuyularda incelenen çözünmüş katı, tuzluluk, iletkenlik, SO_4^- , sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, amonyum (NH_4^+) SAR, Sodyum ve nitrat (NO_3) verileri kullanılarak faktör analizi uygulanmıştır. Veri setinin faktör analizi için uygunluğunu belirlemek amacıyla Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) testi yapılmıştır. Bu çalışma için KMO değeri 0,60 bulunmuştur.

Faktör analizi sonuçlarına göre ilk 4 özdeğer 1 den büyük bulunmuştur (Şekil 4.113). Bu nedenle çizgi eğim grafiğine göre ilk 4 faktörün seçilmesi uygun görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında toplam değişimin % 83,21'ini açıklayan üç potansiyel faktör belirlenmiştir (Çizelge 4.1).



Şekil 4.115.Çizgi Eğim Grafiği

Çizelge 4.1. Varyans tablosu

Bileşen	Başlangıç Özdeğerler			Döndürülmüş Kareli Yüklerin Toplamı		
	Toplam	Varyans %	Kümülatif %	Toplam	Varyans %	Kümülatif %
1	4,716	39,298	39,298	4,260	35,502	35,502
2	2,988	24,904	64,202	2,301	19,177	54,679
3	1,242	10,352	74,554	1,988	16,568	71,247
4	1,039	8,661	83,216	1,436	11,969	83,216

İlk Faktör (F1) toplam varyansın % 35,50'sini açıklamaktadır (Çizelge 4.1). Birinci faktörü çözünmüş katı, tuzluluk, iletkenlik ve sülfat oluşturmuştur. Liu ve ark. (2003), faktör yüklerini kuvvetli ($< 0,75$), ılımlı (orta) ($0,75-0,50$) ve zayıf ($0,50 - 0,30$) olarak sınıflandırmıştır. Buna göre birinci faktörü oluşturan tüm parametreler kuvvetli pozitif etkiye sahiptir.

İkinci faktör (F2)'de toplam varyansın %19.17'ünü açıklamaktadır (Çizelge 4.1). İkinci faktörü; sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve toplam NH_4 parametreleri oluşturmuştur (Çizelge 4.2). Bu faktörde toplam NH_4 negatif yüke sahiptir.

F3 faktörü (F3) toplam varyansın %16,56'sını açıklamaktadır. Üçüncü faktörü SAR ve Na parametreleri oluşturmuştur (Çizelge 4.2). İki parametre de bu faktörde kuvvetli yüke sahiptir.

Dördüncü faktör (F4) toplam varyansın %11,96'sını açıklamakta olup bu faktörü B ve NO₃ parametreleri oluşturmuştur (Çizelge 4.2). Bor bu faktörde kuvvetli pozitif etkiye sahip iken NO₃ negatif yüke sahiptir.

Çizelge 4.2. Faktör analizi tablosu

Parametreler	Faktör			
	1	2	3	4
Çözünmüş Katı	,965			
Tuzluluk (%)	,960			
İletkenlik	,960			
SO ₄	,932			
Sıcaklık		,794		
pH		,759		
Çözünmüş Oksijen		,724		
NH ₄		-,684		
SAR			,955	
Na			,917	
B				,826
NO ₃				-,719

4.3. Korelasyon Analizi

Kuyu sularında su kalite parametrelerinin yıllık ortalama değerlerine göre yapılan korelasyon analiz sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Seydisuyu'nda ölçülen fizikokimyasal parametreler ve elementler arasındaki ilişkilere bakıldığında sıcaklık ile çözünmüş katı, tuzluluk, iletkenlik, sülfat arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğu saptanmıştır (Çizelge 4.3). Ayrıca toplam çözünmüş katı, iletkenlik, tuzluluk parametreleri ile Al, Mg (p<0.05) ve Fe (p<0.01) arasında da pozitif yönde bir korelasyon vardır.

Nitrit parametresi ile Al ve Cd arasında pozitif yönde bir korelasyon tespit edilmiştir ($p<0,05$).

Cd ile Al ve Ni parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki vardır ($p<0,01$).

Pb ile çözünmüş oksijen arasında negatif bir ilişki ($p<0,05$) var iken Ag arasında pozitif bir korelasyonun olduğu tespit edilmiştir ($p <0,01$).

Çizelge 4.3. Korelasyon analiz sonuçları

n:80	Çözünmüş Katı	Tuzluluk	İletkenlik	pH	LDO	Sülfat	Nitrit	SAR	Na	Ag	Al	Mg	Cd	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb
Çözünmüş Katı	1	,997**	,998**			,926**					,602**	,638**			,460*			
Tuzluluk	,997**	1	1,000**			,923**					,599**	,641**			,465*			
İletkenlik	,998**	1,000**	1			,923**					,599**	,637**			,464*			
pH				1	,691**													
LDO				,691**	1													-,477*
Sülfat	,926**	,923**	,923**			1			,491*		,680**	,622**		,666**	,688**			
Nitrit							1				,515*		,560*					
SAR								1	,953**					,462*	,495*			
Na						,491*		,953**	1					,529*	,557*			
Ag										1	-,522*							,819**
Al	,602**	,599**	,599**			,680**	,515*			-,522*	1	,560*	,714**				,645**	
Mg	,638**	,641**	,637**			,622**					,560*	1						
Cd							,560*				,714**		1			,540*	,667**	
Cr						,666**		,462*	,529*					1	,996**			
Fe	,460*	,465*	,464*			,688**		,495*	,557*					,996**	1			
Ni											,645**		,667**			,659**	1	
Pb					-,477*					,819**								

*: korelasyon 0,05 seviyesinde önemli (p < 0,05); **: korelasyon 0,01 seviyesinde önemli (p < 0,01); -: istatistiki olarak anlamlı ilişki tespit edilemedi; n: örneklem sayısı

5. SONUÇ

Ülkemiz önemli su havzalarından Sakarya Havzası'nın önemli bir alt havzası olan Seydisuyu Havzası'nda 2012 Mart - 2013 Şubat ayları arasında mevsimsel olarak 20 kuyudan yeraltı su örnekleri alınmıştır. Bu örneklerde arsenik (As), bor (B), gümüş (Ag), kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), manganez (Mn), sodyum (Na), nikel (Ni), kurşun (Pb), çinko (Zn), potasyum (K), magnezyum (Mg), alüminyum (Al), kalsiyum (Ca) ve silisyum (Si) elementel parametrelerinin analizleri; sıcaklık (°C), iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), tuzluluk (ppt), toplam çözünmüş katı (g/l), pH, ORP (mV), amonyum (mg/l-N), nitrat (mg/l-N), nitrit (mg/l-N), sülfat (mg/l), fosfat (mg/l), çözünmüş oksijen seviyesi (mg/l) fizikokimyasal parametrelerinin ölçümleri yapılmıştır. Bu parametrelere ek olarak YAS kalitesinde sulama için önemli olan parametrelerden SAR değerleri ve %Na analiz edilen parametreler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu YAS kalitesi verileri, havza yeraltı suyu üzerinde dağılımları haritalandırılmış, seviyeleri incelenmiş, istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY), Çevre Koruma Ajansı (EPA), Dünya Sağlık Örgütü (WHO), TS 266'te belirtilen limit değerlere göre değerlendirilmiştir.

Genel olarak yıl içerisinde birçok örnekleme noktasında arsenik sınır değerlerin üzerinde bulunmuştur ve bu durum göstermektedir ki havzanın bütününde arsenik sorunu vardır. Yıl içerisinde 150 $\mu\text{g}/\text{l}$ 'ye varan seviyelerde arsenik tespit edilmiştir. Özellikle içme suyu kuyularında, bu problemin insan sağlığını tehdit eden boyutları düşünülerek çözümüne yönelik ayrıntılı çalışmalar yapılmalıdır.

Seydisuyu havzası barındırdığı dünyaca ünlü bor madenlerinin etkisini de Kırka bölgesinde daha yoğun olmak üzere yeraltı sularında yüksek bor seviyeleri ile yaşamaktadır. İnsanlar ve canlılar üzerinde arsenik kadar toksik etki yaratmasa da yıl içerisinde 9 mg/l'ye kadar çıkan bor içeriği sulamalarda toprağa ve bitkilere zarar vermesi muhtemeldir. Bor seviyesi yüksek çıkan TJK kuyusunda su çekilmesi bırakılmalı, bor açısından daha temiz alternatif kaynaklara yönelinmelidir.

Özellikle yaz mevsiminde 13 mg/l gibi çok yüksek seviyelere çıkan Alüminyum 0,2 mg/l sınır değerleri yıl içerisinde büyük ölçüde aşmaktadır. Bu durumda içme suyu standartları ve yasal sınır değerlerine göre havzada alüminyum sorunundan bahsetmek yanlış olmayacaktır.

Gümüş seviyeleri yıl içinde 0,02 mg/l'ye kadar yeraltı sularında varlığını göstermiştir. Bu değerler EPA'nın belirlediği sınır değerinin altında kalarak havza için bir sorun teşkil etmemektedir.

Kadmiyum tüm mevsim değerleri incelendiğinde 0 – 0,008 mg/l tespit edilmiştir. Bu seviyelerde kadmiyum parametresi genel olarak yasal sınır ve standart limitlerin altında kaldığı söylenebilir.

Mahmudiye çevresindeki kuyularda kış mevsimi hariç diğer mevsimlerde 0,05 mg/l olan sınır değerinin üzerinde çıkan krom değerleri tespit edilmiştir. Özellikle TİGEM'e ait sulama kuyusu olan 18 nolu kuyuda yüksek krom değerleri gözlenmiştir. Krom seviyeleri tüm mevsimler ve kuyularda 0 – 2,3 mg/l arasında değişiklik göstermektedir.

WHO ve TS 266 'da belirtilen içme sularında bulunabilecek bakır içeriği 1 mg/l, tüm havza ve mevsimlerde aşılmamıştır. Yaz mevsiminde yüksek olmakla beraber genel olarak 0 – 0,02 mg/l arasında değişen bakır seviyeleri tespit edilmiştir.

Demir seviyeleri de bakır parametresinde olduğu gibi Mahmudiye çevresi kuyularda havzanın en yüksek değerlerini almıştır. İlkbahar mevsiminde 18 nolu kuyuda çıkan yaklaşık 130 mg/l demir içeriği dışında genel olarak 0 – 15 mg/l arasında değişen seviyelerde demir tespit edilmiştir. İlkbaharda çıkan yüksek değerlerin numune alma sırasında kuyu teçhizatından kaynaklı bir kontaminasyon olabileceği öngörülmektedir.

Mangan parametresi analizlerinde 0 – 0,82 mg/l arasında değişen seviyelerde sonuçlar elde edilmiştir. TS 266 ve EPA standartlarının içme sularında 0,05 mg/l'den fazla olması istenmeyen mangan içeriği özellikle Kuyu 8'de 4 mevsim boyunca 0,2 – 0,5 mg/l arasında değişen değerler ile sınır değerinin üstünde çıkmıştır. Seyitgazi ilçesine içme amaçlı su sağlayan bu kuyuların, MTA kaynaklarında da belirtilen Seyitgazi mangan yataklarından bölge yeraltı sularına geçmesiyle etkilenmiş olabileceği öngörülmektedir. Mahmudiye çevresindeki

kuyuların birçoğunda da limit değerlerin üzerinde mangan içeriği tespit edilmiştir. İçme suyu standartlarını mangan açısından aşan içme suyu kuyularında özellik yüksek nüfusa sahip bir ilçeye hizmet veren Kuyu 8’de önlemler alması halk sağlığı açısından önem taşımaktadır.

Kalsiyum, potasyum, sodyum ve magnezyum değerleri içme sularında sınır değerleri belirlenmeyen, yeraltı sularında da ana elementlerden olduğundan literatür çalışmalarında elde edilen değerle karşılaştırılmıştır.

Kalsiyum değerleri sonbahar mevsiminde 20 nolu kuyuda çıkan 800 mg /l kalsiyum içeriği dışında tüm mevsimlerde 0 – 370 mg/l arasında değişiklik göstermiştir. Literatürde yapılan benzer çalışmalara karşılaştırıldığında bu değerlerin normal olduğu söylenebilir.

Potasyum seviyeleri 0 – 35 mg/l arasında değişen değerlerde tüm mevsimlerde gözlenmiştir. Genel olarak mevsimlerde en yüksek değerlerin 8, 13, 15, 19 ve 20 nolu kuyularda gözleendiği fakat daha önce yapılan çalışmalar göz önüne alındığında yeraltı sularında doğal olarak bulunması beklenen 10 mg/l potasyum içeriğine yakın olduğu tespit edilmiştir.

İlkbahar mevsiminde kuyu 14 ve 15’te tespit edilen yaklaşık 230 mg/l magnezyum değerleri dışında tüm mevsim ve kuyularda 0 – 100 mg/l arasında magnezyum içeriği gözlenmiştir. Literatürde, yeraltı sularında genellikle 10-100 mg/l arasında magnezyum bulunduğu ve magnezyumun 125 mg/l’yi aşması durumunda suların acılaşmakta ve tat bakımından içilmesinin zorlaştığı belirtilmiştir. Seydisuyu Havzası yeraltı sularında bu bakımdan genel olarak bir sorun bulunmadığı söylenebilir.

Sulama sularında önemli bir parametre olan sodyum yaz mevsiminde 4, 10, 12 ve 18 nolu kuyularda 200 – 386 mg/l arasında değişen seviyelerde tüm yılın en yüksek sodyum içerikleri tespit edilmiştir. Bunun dışındaki tüm kuyular ve tüm mevsimlerde yıl boyunca 4 – 40 mg/l arasında değerlerde sodyum içeriği gözlenmiştir. İçme suyu standart ve yasal sınır değerlerinde belirtilen 200 mg/l, yaz mevsiminde belirtilen kuyular hariç aşılmamıştır.

Nikel seviyeleri havzanın bütününde 0,02 mg/l olan TS 266 içme suyu standartları altında kalmıştır. Nikel açısından Seydisuyu Havzası yeraltı sularında kullanımı etkileyecek bir sorun olmadığı söylenebilir. İçme sularındaki varlığı TS

266 ve WHO tarafından 0,01 mg/l ile sınırlandırılan kurşun elementi 0 – 0,64 mg/l arasında değişen değerlerle havza yeraltı sularında tespit edilmiştir. Literatür çalışmalarında da değinildiği üzere yağışlı mevsimlerde artan kurşun seviyeleri Seydisuyu Havzası'nda da kış mevsiminde tüm kuyularda sınır değerleri aşmıştır.

Silisyum, ulusal ve uluslararası standartlar ve yasal mevzuatlarda sınır değeri olmayan bir parametre olarak analizler sonucunda yıl boyunca 4 – 50 mg/l arasında değişen seviyelerde ölçülmüştür. Çinko, TS 266 ve WHO tarafından sınırlandırılmamış, EPA tarafından 5 mg/l üzerinde bulunması istenmemiştir. 4 mevsim boyunca tüm kuyularda çinko değerleri 5 mg/l sınır değerini çok çok altında kalmıştır.

Kuyularda ölçülen su sıcaklıkları tüm mevsimlerde 7 – 24 °C arasında değişmektedir. Bu değerler SKKY'e göre 25 °C altında kaldığından I. Kalite sınıf sular arasına girmektedir. pH seviyeleri yıl içerisinde 6,56 – 8,25 arasında değişiklik göstermiştir. SKKY'e göre 6,5 – 8,5 olan I sınıf kaliteli sular arasına giren bu değerler genel olarak nötral olarak havzada dağılım göstermektedir.

Redoks potansiyeli açısından havzanın yeraltı sularının yükseltgen karakterde olduğu söylenebilir. İletkenlik seviyeleri incelendiğinde 60 – 2600 µs/cm arasında seviyelerde değişim gösterdiği görülmektedir. Literatürde belirtilen içilebilir sulardaki iletkenlik seviyesi 50 – 1500 µs/cm arasındadır. Çalışmada incelenen içme suyu kuyularında iletkenlik seviyeleri bu değerlerin arasında kalmıştır.

Çalışmada tüm mevsimler içerisinde elde edilen TDS değerleri 0,1 – 1,7 g/l arasında değişiklik göstermektedir. TS 266 tarafından bir limit değeri bulunmamaktadır. 16 ve 18 nolu kuyular WHO tarafından belirlenen içme sularının en fazla 1 g/l seviyesinde çözünmüş katı içerebileceği ibaresinin üzerinde değerler içermektedir. Bu kuyular sulama amaçlı olduklarından elde edilen değerlerin, suların kullanımlarında bir sakınca teşkil etmeyeceği söylenebilir.

Yüksek seviyelerde bulunması sulama suyu olarak kullanılması açısından sakınca yaratan tuzluluk, ulusal ve uluslararası standartlarda sınır değeri olmayan bir parametredir. Tüm mevsimler göz önüne alındığında tuzluluk seviyeleri 0,05 – 1,42 ppt seviyeler arasında değişiklik göstermiştir. Sulama sularında SAR ve %Na

değerleri tuzluluğu gösteren parametreler olduğundan ppt cinsinden ölçülen tuzluluk parametresinden daha yaygın kullanılmaktadırlar.

SAR ve %Na değerleri 4 mevsim değerleri kullanılarak yıllık ortalama olarak hesaplanmış ve sulama suyu sınıflandırması dâhilinde haritalandırılmıştır. Elde edilen SAR değerleri incelenen tüm kuyularda en iyi sulama sınıfı olarak tespit edilmiştir. %Na açısından 18 nolu TİGEM sulama kuyusunda kuşku kullanım tespit edilmiştir. Seyitgazi çevresindeki bazı kuyularda izin verilebilir ve geri kalan kuyularda da iyi ve en iyi sulama sınıfında %Na seviyeleri tespit edilmiştir.

Çözünmüş oksijen ölçümleri tüm yıl boyunca 2,36 – 8,7 mg/l arasında değişen seviyelerde kendini göstermiştir. SKKY'e göre havzadaki yeraltı suları yer yer IV. sınıf kaliteye düşen seviyelerde çözünmüş oksijen içermektedir.

Fosfat, ulusal ve uluslararası mevzuat ve standartlarda sınırlandırılmayan toksisitesi düşük su kalitesi parametrelerindendir. Yıl içerisinde 0,2 – 1,64 mg/l arasında değişen seviyelerde fosfat tespit edilmiştir.

TS 266, WHO ve EPA içme suyu standartlarında 250 mg/l'den fazla sülfat bulunması istenmemektedir. Yapılan analizlerde 0 – 685 mg/l arasında değişen sülfat değerleri tespit edilmiştir. 18 nolu kuyu genel olarak mevsimlerde en yüksek değere sahiptir ve sınır değeri aşmaktadır.

Amonyum içeriği, TS 266 içme suyu standartlarında 0,5 mg/l olarak, WHO tarafından 1,5 mg/l olarak sınırlandırılmıştır. Çalışmada 0,06 – 5,18 mg/l arasında değişen seviyelerde amonyum içeriği tespit edilmiştir. Yaklaşık 5 mg/l olarak ölçülen değerler ilkbahar mevsiminde 1 ve 11 nolu kuyularda kaydedilmiştir. Yaz mevsiminde 4, 8, 15, 19 ve 20 nolu kuyular 0,5 mg olan TS 266 standardını aşmıştır.

Nitrit parametresi TS 266 standartlarında 0,5 mg/l sınırlandırılmıştır. WHO'nun standartlarında 0,2 mg/l limit değerinin üzerinde nitrit içeren suların içilmesi sakıncalı olarak görülmektedir. 0 – 0,18 mg/l arasında tespit edilen nitrit seviyeleri sınır değerlerin altında kalmaktadır. Nitrit açısından Seydisuyu Havzası yeraltı sularında sorun olmadığı söylenebilir.

Nitrat, TS 266 ve WHO tarafından 50 mg/l üzerindeki suların içilmesi sakıncalı olarak belirlenmiştir. EPA'nın standartlarında 0,45 mg/l limit değerinin

üzerinde nitrat içeren suların içilmesi uygun görülmemektedir. Çalışmada yapılan analizler sonucunda yıl içerisinde 0 – 70 mg/l arasında nitrat içeriği gözlemlenmiştir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde sınır değerin üstünde örneklerle rastlanılmamıştır. Yaz mevsiminde 13 ve 15 nolu kuyularda 50 mg/l üzerinde tespit edilerek sınır değerleri aşmıştır.

Bu tez çalışması ile Seydisuyu Havzası yeraltı sularının kalitesi ve kirlilik düzeyi, analizi yapılan parametreler açısından belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen verilerde içme suyu amaçlı kullanım için temin edilen yeraltı sularında sınır değeri aşan parametrelerin izlenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Halk sağlığını etkilemesi muhtemel seviyelerde tespit edilen parametrelere uygun arıtma teknikleri uygulanması bir çözüm olarak sunulabilir ancak her bir su kaynağı için arıtma ekonomik açıdan bakıldığında kullanışlı bir yöntem olmayabilir. Bölgeye hizmet veren mahalli idarelerin ve yerel yönetimlerin su temini için birbirlerine yakın köylere ortak su kaynağı birimler oluşturulmasıyla alternatif temiz su kaynakları kontrol altında tutulabilir. Seyitgazi ve Mahmudiye ilçeleri için büyük önem taşıyan Seydisuyu Havzası yeraltı suları üzerinde yapılacak ayrıntılı çalışmalarla mevcut durumun izlenmesi, kontrol edilmesi ve iyileştirilmesi sağlanmalıdır. Bu konuda sorumlu belediyeler, DSİ, Orman ve Su İşleri Bakanlığı ve ilgili kurum ve kuruluşlar üzerlerine düşen görevleri yerine getirmeli, yapılacak çalışmalarda desteklerini esirgememelidirler.

KAYNAKLAR

- Acar, G., Tokatlı, C., Köse, E., Çiçek, A. ve Dayıoğlu, H. (2012), “Emet ve Hisarcık Bölgesi (Kütahya) Yeraltı Suyu Kalitesinin İncelenmesi”, DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, **Sayı:27**.
- Akgiray, Ö. (2003), “İçme suyu ve su arıtımı”, *Suyumuzun Geleceği ve Türkiye Su Politikaları* (Ed: Şen,Z. ve Sırdaş, S.), 22 Mart Dünya Su Günü paneli, Bildiriler, İstanbul, 62-75.
- Akman Y., Ketenoğlu O., Evren H., Kurt L. Ve Düzenli S. (2000), “Su Kirliliği”, *Çevre Kirliliği (Çevre Biyolojisi)*, Palme Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 168-176.
- Aksoy, T., (2006), *Silisyumun bitki ve toprakta bulunuşu, dağılımı ve insan sağlığı için önemi*, Yüksek lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Anonim (1998), Su Kirliliği ve Kontrol Yönetmeliği, Resmi Gazete, 19919, 13-74.
- Anonim (2005), Sular - İnsani tüketim amaçlı sular, TS-266, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (2009), Investigation into cadmium in shallow groundwater in Taranaki Technical Report, Taranaki Regional Council, **No:35**, New Zealand.
- Atabey, E. (2005), Tıbbi Jeoloji, Jeoloji mühendisleri odası yayınları, Ankara, 134.
- Azizullah A., Khattak M. N. K., Richter P. ve Hader D. P., (2011), *Water pollution in Pakistan and its impact on public health*, Environment International, **37**, 479-497.
- Bakar, C. ve Baba, A. (2009), *Metaller ve İnsan Sağlığı: Yirminci Yüzyıldan Bugüne ve Geleceğe Miras Kalan Çevre Sağlığı Sorunu*, 1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı, Nevşehir.
- Bakış, R., Koyuncu, H., Özkan, A., Banar, M., Yılmaz, G. ve Yörükoğulları, E. (2011), “Porsuk Havzası yüzeysel ve yeraltı suyu kirlilik düzeyinin araştırılması”, *Anadolu University Journal of Science and Technology*, **Vol.:12, Sayı/No:2**, 75-89.

- Basavaraddi, S.B., Kouser, H. ve Puttaiah, E.T. (2012), Sodium Toxicity in Ground Water and its Hazardous Effect on Life –A Study in Tiptur Town and its Surrounding Areas, *Global Advanced Research Journal of Microbiology*, **Vol. 1(9)**, 149-154.
- Baş, L. ve Demet, Ö. (1992), “Çevresel Toksikoloji Yönünden Bazı Ağır Metaller”, *Çevre Dergisi*, **5**, 42-46.
- Bayındır, Y. (2006), *Harran Ovası Serbest Akiferinin Kirlilik Potansiyelinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Bhattacharya, P., Jacks, G., Ahmed, K. M., Routh, J. ve Khan, A. A. (2002), “Arsenic in Groundwater of the Bengal Delta Plain Aquifers in Bangladesh”, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **69**, 538–545.
- Brownlow, A.H. (1979), “Geochemistry”, Prentice-Hall, 498.
- Brusewitz, S. (1984), “Aluminum”, Stockholm, Sweden: University of Stockholm, Institute of Theoretical Physics, **Vol. 203**, 13.
- Chen, C.J., Wu, M.M., Lee, S.S., Wang, J.D., Cheng, S.H. ve Wu, H.Y. (1988), “Artherogenicity and carcinogenicity of high-arsenic artesian well water.”, *Arteriosclerosis*, **8(5)**, 452-460.
- Cheng, W. P. ve Jia, Y., (2010), *Identification of contaminant point source in surface waters based on backward location probability density function method*, *Advances in Water Resources*, **33**, 397-410.
- Çakmak, Ö. (2007), *Eskişehir ilinde yeraltı ve yüzeysel sulardaki nitrat kirliliğinin kirletici kaynaklar göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Davis, S. N. (1964), “Silica in streams and ground water”, *American Journal of Science*, **262**, 870-891.
- Day, B. ve A., Nightingale, H. I. (1984), “Relationships between ground- water silica”, *Total dissolved solids, and specific electrical conductivity: Ground Water*, **22, 1**, 80- 85.
- Doğan, G., Sabah, E. ve Erkal, T., *Borun çevresel etkileri üzerine Türkiye’de yapılan bilimsel araştırmalar*, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi IMCET, İzmir, 2005.

- Dopson, S. (1992),” Cadmium-Environmental Aspects”, Environmental Health Criteria, *World Health Organization*, Genova,135.
- Durmaz, H., Ardiç, M., Aygün, O. ve Genli, N. (2007), “Şanlıurfa ve Yöresindeki Kuyu Sularında Nitrat ve Nitrit Düzeyleri”, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, **18(1)**, 51-54.
- Eduljee, G., Badsha, K. ve Price, L. (1985), Enviromental monitoring and heavy metals in the vicinity of a chemical waste disposal facility-1, *Chemosphere*, **14(9)**, 1371-1382.
- Eiswirth, M. ve Hötzl, H. (2006), “Impacts of sewer leakage on urban groundwater”, Urban Groundwater Management and Sustainability, *NATO Science Series*, **Volume 74**, 189-204
- EN ISO 10304-1, *Water quality -- Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions -- Part 1: Determination of bromide, chloride, fluoride,nitrate, nitrite, phosphate and sulfate*
- EN ISO 10304-2, *Water Quality ‘Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions.’ Determination of sulfate*
- EN ISO 26777, *Water Quality ‘Determination of Dissolved anions by liquid chromatography of ions’. Determination of nitrite*
- EPA, *Drinking water standarts and health advisories*, Office of Water U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, 2012.
- EPA Method 7000B, *Flame atomic absorption spectrophotometry*, 2007.
- Ersoy, A.F., Ersoy, H. ve Gültekin, F. (2007), “Nitrate, Nitrite and Ammonia Contamination in Ground Water: A Case Study from Gümüşhacıköy Plain, Turkey”, *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **Volume 4, Number 1**, 107-118.
- Ertaş, N., Gönülalan, Z., Yıldırım, Y., Al, S. ve Karadal, F. (2013), “Kayseri Bölgesi Kuyu Sularındaki Nitrat ve Nitrit Düzeyleri”, *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, **10(1)**, 15-19.
- Fadiran, A.O., Dlamini, S.C. ve Mavuso, A. (2008), “A Comparative Study Of The Phosphate Levels In Some Surface And Ground Water Bodies Of Swaziland”, *Bull. Chem. Soc. Ethiop.*, **22(2)**, 197-206.

- Fawell, J.K., Lund, U. ve Mintz, B. (2004), “*Chromium in Drinking-water*”, Background document for development of WHO Guidelines for Drinking Water Quality.
- Fisher, R.S. ve Davidson B. (2007), “*Groundwater quality in Kentucky: manganese*”, Kentucky geological survey, **no:12**, Lexington.
- Franke, R. ve Nielson, G. (1980), “Smooth interpolation of large sets of scattered data”, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, **15**, 1691-1704.
- Freeze, R.A. ve Cherry, J.A. (1979), Groundwater. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, U.S.A, 604
- Frengstad, B., Banks, D. ve Siewers, U. (2001), “The chemistry of Norwegian groundwaters: IV. The pH-dependence of element concentrations in crystalline bedrock groundwaters”, *Science of The Total Environment*, **Volume 277, Issues 1 – 3**, 101–117.
- Garrels, R. M. (1967), “Genesis of ground waters from igneous rocks”, *Researches in geochemistry* (Ed: Abelson, P. H.), Wiley&Sons, New York,.
- Göktay, B. (1991), “Sakarya Seydisuyu Toplama Havzası,” Dsi Yayınları, Eskişehir, 1-12.
- Güllüoğlu, M. S. (2006), *Harran Ovası Yeraltı Suyu Kalitesinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Gündüz, O. (2009), “Kütahya-Simav Ovasında Arsenik Sorunu: Mevcut Durum ve Yeni Araştırmalar” 1.Tıbbi Jeoloji Çalıştayı, 127, Nevşehir, Türkiye.
- Hem, J. D. (1992), “Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water” (Third Edition), United States Geological Survey Water-Supply Paper, **2254**, 264.
- Hounslow, A.W. (1995), Water Quality Data: Analysis and Interpretation. Lewis Publishers, 54.
- Homoncik, S.C., MacDonald, A.M., Heal K.V., Dochartaigh, B. ve Ngwenya, B.T. (2010), “Manganese concentrations in Scottish groundwater”, *Science of the Total Environment*, **408 (12)**, 2467-2473.
- Horst, A., Mahlknecht, J., Angel M., Zavala, L. ve Mayer, B. (2011), “The origin

- of salinity and sulphate contamination of groundwater in the Colima State, Mexico, constrained by stable isotopes”, *Earth Sciences*, **Volume 64, Issue 7**, 1931-1941.
- Hökelekli, E. ve İçağa, Y. (2011), “Akarçay Kuzey Alt Havzası Yeraltı Suyu Modellemesi”, *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, **02**, 5-16.
- İleri, B., Gündüz, O., Elçi, A., Şimşek, C. ve Alpaslan, M. N. (2007), “Tahtalı Havzası Yeraltı Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Değerlendirilmesi,” 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Yaşam Çevre Teknoloji, İzmir.
- Jamshidzadeh, Z. ve Mirbagheri, S.A. (2010), “Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran”, *Desalination*, **270**, 23-30
- Kaçaroğlu, F. (1991), Eskişehir Ovası Yeraltı suyu Kirliliği İncelemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Kali, N. (2010), *Erzurum Ovası Su Kalitesi ve Kirliliğin Tespiti*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kavaf, N. (2007), *Kütahya Ovasının Su Kalitesi ve Kirliliği*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kaykıoğlu, G. Ve Ekmekyapar, F. (2005), “Ergene Havzasında Endüstriyel İşlem Suyu Olarak Kullanılan Yeraltı Sularının Özellikleri Üzerine Bir Araştırma”, *Trakya University Journal Science*, **6(1)**, 85-91.
- Kwiatowsky, J. (1998), “Salinity Classification”, *Mapping and Management in Alberta*, Food and Rural Development and Agriculture and AgriFood, Canada.
- Kayabalı, K. (2003), “Yeraltı Suyu”, Gazi Kitabevi, Ankara, Türkiye 381-383.
- Korkut, R.N., Güler, C., Akbulut, C. ve Kurt, M.A. (2011), “Tarsus Ovası (Mersin) Yeraltı Sularında Görülen Nitrat – Nitrit Kirliliğinin Alansal Dağılımları Ve Çeşitli Fiziksel Parametrelerle Olan İlişkileri”, *64. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, MTA, Ankara, Bildiri Özetleri Kitabı, 49-50.
- Kumar, A.R. ve Riyazuddin, P. (2012), “Seasonal variation of redox species and redox potentials in shallow groundwater: A comparison of measured and calculated redox potentials”, *Journal of Hydrology*, **Volumes 444 – 445**, 187–198.

- Lindenbaum, J. (2012), "Identification of sources of ammonium in groundwater using stable nitrogen and boron isotopes in Nam Du, Hanoi", Yüksek Lisans tezi, Lund University, Sweden.
- Liu, C.W., Lin, K.H. ve 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**, 77–89.
- Marin, C., Tudorache, A. ve Vladescu, L. (2010), "Aluminium Determination and Speciation Modelling in Groundwater from the Area of a Future Radioactive Waste Repository", *Rev. Chim.*, Bucharest, **5**, 61.
- McNeely, R.N., Neimanis, V.P. ve Dwyer, L. (1979), Water Quality Sourcebook-A guide to water quality parameters: Inland Waters Directorate, *Water Quality Branch*, Ottawa, Kanada, 88.
- Miller, R.G., Kopfler, F.C. ve Kelty, K.C. (1984), "The occurrence of aluminum in drinking water" , *Water Works Assoc.*, **76**, 84-91.
- Nkansah, M.A., Ofosuah, J., ve Boakye, S. (2010), "Quality of groundwater in the Kwahu West district of Ghana", *Am. Journal Sci. Ind. Res.*, **1(3)**, 578-584.
- Ocheri, M. ve Ogwuche. J. (2012), "Lead in rural groundwater of Benue state, Nigeria", *Journal of Environmental Science and Water Resources*, **Vol. 1(5)**, 115 – 119.
- Onur, E. (1997), "Alüminyum Toksisitesinin Kalite Kontrol Açısından Değerlendirilmesi", *Türk Nefroloji Diyaliz ve Transplantasyon Dergisi*, Türk Nefroloji Derneği Yayınları, Ankara, **Cilt 6, Sayı 1-2**, 74-79.
- Özdemir, M., Yavuz, H. ve İnce, S. (2004), "Afyon bölgesi kuyu sularında nitrat ve nitrit düzeylerinin belirlenmesi", *Ankara Üniv Vet Fak Dergisi*, **51**, 25-28.
- Özkaldı, A., Boz, B. ve Yazıcı, V. (2004), *Gap'ta Drenaj Sorunları ve Çözüm Önerileri Sulanan Alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu*, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Puls, R. W. ve Barcelona, M. J. (1996), "Low-Flow (Minimal Drawdown) Ground Water Sampling Procedure", Ground Water Issue Paper, U.S. Environmental Protection Agency, EPA/540/S-95/504. 12.

- Rameeza, S., Srikant, V. N. V., Rao, D. M. ve Ramakrishna, C. (2012), Study of Ground Water Quality In Industrial Zone Of Visakhapatnam, *Pelagia Research Library*, **3(4)**, İndia, 2463-2467.
- Rao, P. ve Prasad, P.R. (1997), "Phosphate pollution in the groundwater of lower Vamsadhara river basin, Indi", *Environmental Geology*, **Volume 31, Issue 1-2**, 117-122.
- Rose, S., ve A. Long. (1988), "Monitoring Dissolved Oxygen in Ground Water: Some Basic Considerations", *Ground Water Monitoring Review*, **Vol. 8, No. 1**, 93-97.
- Sargın, A. H. ve Kaya Y. (2010), "İklim Değişikliklerinin Yeraltı suyu Sulamalarına Etkisi," Yeraltı Suları, DSI Yayınları, Ankara, Türkiye, 169-176.
- Sargın, A. H. ve Ünal A. A. (2010), "Yeraltı suları Kirliliği," Yeraltı Suları, DSI Yayınları, Ankara, Türkiye, 46-60.
- Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J. A., Finkelman, R. B., Fuge, R., Lindh, U. ve Smedley, P. (2005), *Medical Geology*, Elsevier, **7**, 115-594
- Sen, Z. (2003), "Yeraltı Suyu ve Önemi", *Yeraltı Suyu (Hidrojeoloji)*, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, Türkiye, 1-8.
- Shepard, D. (1968), *A Two-Dimensional Interpolation Function for Irregularly-Spaced Data*, New York: Proceedings of the 1968 ACM National Conference, USA, 517–524.
- Sripanyakorn, S., Ravin, J., Thompson, R.P.H. ve Powell, J.J. (2005), "Dietary silicon and bone health", *Nutrition Bulletin*, **30(3)**, 222-230.
- Stanic, M.H., Kules, M., Kalajdzic, B. ve Romic, Z. (2005), "Quality of Groundwater in Eastern Croatia. The problem of Arsenic Pollution", 9th Environmental Science and Technology Symposium, Rhodes, Greece.
- Stevens, H.H., Ficke, J.F. ve Smoot, G.F. (1975), "Water temperature- influential factors", *Field measurement and data presentation: Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geol. Survey*, USA, 65.

- Swatland, H.J. (2012), "Groundwater temperature and degassing in the Mad River subwatershed of Lake Huron", *Journal of Great Lakes Research*, **Volume 38, Issue 1**, 117–120.
- Şirin, G. ve Demir, Y. (2007), "Çarşamba ovası sol sahilindeki bazı köylerde içme ve kullanma suyu problemleri ve çözümüne ilişkin öneriler", OMÜ Zir. Fak. Dergisi, Samsun, **22(3)**, 248-259.
- Tchounwou, P. B., Centeno, J. A. ve Patlolla, A. K. (2004), "Arsenic toxicity, mutagenesis and carcinogenesis a health risk assesment and management approach. " *Molecular and Cellular Biochemistry*, **255**, 47-55.
- Uygan, D. ve Çetin, Ö. (2004), *Bor'un Tarımsal ve Çevresel Etkileri: Seydisuyu Su Toplama Havzası*, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- Uygan, D. ve Çetin, Ö. (2009), *Eskişehir Seyitgazi Sulama Şebekesinde Seçilen Bazı Tarım Alanlarının, Topraktaki ve Sulama, Suyundaki Bor Düzeylerinin Belirlenmesi*, IV. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- Uylaş, M. (2013), *Seyitgazi yöresi (Eskişehir) içme sularında bor seviyelerinin araştırılması*, Yüksek lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Ünlü, M.İ., Bilen, M. ve Gürü, M. (2011), *Kütahya-Emet Bölgesi Yeraltı Sularında Bor ve Arsenik Kirliliğinin Araştırılması*, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, **Cilt:26, No: 4**, 753-760.
- Varol, S., Davraz, A. ve Varol, E. (2008), "Yeraltı suyu Kimyası ve Sağlığa Etkisinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi," *TAF Preventive Medicine Bulletin*, **7(4)**, 351-356.
- Wang, H., Liu, S., ve Du, S. (2013), "The Investigation and Assessment on Groundwater Organic Pollution", *Organic Pollutants – Monitoring, Risk and Treatment* (Ed: Rashed, M.N.), ISBN: 978-953-51-0948-8, InTech, DOI:10.5772/53549.
<http://www.intechopen.com/books/organic-pollutants-monitoring-risk-and-treatment/the-investigation-and-assessment-on-groundwater-organic-pollution>.

WHO, *Drinking water quality*, Backround Document for Development of WHO Guidelines for Drinking Water Quality, Genova, 2003.

Wiedemeier, T.H., Swanson, M.A., Moutoux, D.E., Wilson, J.T. , Kampbell, D.H., Hansen, J.E. ve Haas, P. (1997), “Overview of the Technical Protocol for Natural Attenuation of Chlorinated Aliphatic Hydrocarbons in Ground Water Under Development for the U.S. Air Force Center for Environmental Excellence in Proceedings of the Symposium on Natural Attenuation of Chlorinated Organics in Ground Water”, Washington, USA, 37-61.

Yıldız, D., Özbay, Ö. ve Kırmızıtaş, H. (2011), *Görünmez Stratejik Kaynak Sınır aşan Yeraltı Suları*, ORSAM Raporu, **No: 63**, Ankara, Türkiye.