



**ÇEVRESEL İZOTOPLAR KULLANILARAK
HAZAR GÖLÜ HAVZASI'NIN HİDROLOJİK
KARAKTERİSTİKLERİ VE YERALTI SUYU BESLENİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurettin PARLAKYILDIZ

122115101

AĞUSTOS-2017

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRESEL İZOTOPLAR KULLANILARAK HAZAR
GÖLÜ HAVZASI'NIN HİDROLOJİK
KARAKTERİSTİKLERİ VE YERALTI SUYU
BESLENİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurettin PARLAKYILDIZ

122115101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Ağustos 2017

Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Eylül 2017

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mualla ÖZTÜRK (F.Ü) 
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. M. Cihat TUNA (F.Ü) 
Yrd. Doç. Dr. Recep ÇELİK (D.Ü) 

AĞUSTOS-2017

ÖNSÖZ

“Çevresel İzotoplar Kullanılarak Hazar Gölü Havzası’nın Hidrolojik Karakteristikleri ve Yeraltı Suyu Beslenim ” başlıklı bu çalışma, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmış ve Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından MF. 15.07 no’lu proje ile desteklenmiştir. Araştırmayı maddi açıdan destekleyen Fırat Üniversitesi Rektörlüğü’ne ve Fırat Üniversitesi Bilim Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) ’ne teşekkür ederim.

Bu çalışmanın hazırlanmasında, arazi ve büro çalışmalarında yönlendirici ve bilgilendirici katkılarından dolayı danışman hocam Prof. Dr. Mualla ÖZTÜRK e çok teşekkür ederim.

DSİ 9. Bölge Müdürlüğünde çalışan Çevre ve Jeoloji Yüksek Mühendisi Dr. Murat ÇELİKER’e arazi çalışmaları ve su analizleri ile CBS analizlerini yorumlamasındaki katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmamda her konuda desteğini aldığım aileme içtenlikle teşekkür ederim.

Nurettin PARLAKYILDIZ

ELAĞIĞ-2017

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
ABSTRACT	V I
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	X
SEMBOLLER LİSTESİ	X I
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi	2
1.2. Çalışma Alanının Yeri ve Coğrafi Özellikleri.....	2
1.3.Önceki Çalışmalar	4
2. MATERYAL VE METOD	9
2.1. Büro Çalışmaları	9
2.2. Arazi Çalışmaları	9
2.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	10
3. BULGULAR	11
3.1 Jeoloji	11
3.2. Hidroloji	13
3.2.1. Buharlaşma.....	13
3.2.2. Akarsular	15
3.3. Hidrojeoloji	16
3.4. Hidrojeokimya.....	16
3.4.1. Fiziksel – Kimyasal Analizler	16
3.4.2. Ağır Metaller.....	44

3.4.3. Çevresel İzotoplar	52
3.4.3.1. Oksijen-18 ve Döteryum	53
3.4.3.2. Tritiyum	70
4. SONUÇ VE TARTIŞMA	75
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	81



ÖZET

Çevresel İzotoplar Kullanılarak Hazar Gölü Havzası'nın Hidrolojik Karakteristikleri ve Yeraltı Suyu Beslenimi

Bu çalışma kapsamında, Hazar Gölü yüzey ve göl yüzeyinden 0.5 m derinlikte olmak üzere 6 lokasyonda toplam 12 su örneği ile kuyu, kaynak ve akarsulardan toplam 60 lokasyonda fiziksel - kimyasal analizler için, 51 lokasyonda ağır metal analizleri ile O_{18} , H_2 analizleri için ve 23 lokasyonda H_3 analizleri için su örnekleri alınmıştır.

Kaynaklardan alınan su örneklerinde Oksijen 18 değeri ‰-9 ile ‰-10.02, Döteryum değeri ‰ -52.71 ile ‰ -61.06 arasında, kuyulardan alınan sularda Oksijen ‰18 değeri -‰ 6.32 ile ‰-10.41, Döteryum değeri ‰-43.52 ile ‰-65.44 arasında, akarsulardan alınan su örneklerinde Oksijen 18 değeri ‰-8.88 ile ‰8.9, Döteryum değeri ‰-53.95 ile ‰-54.4 arasında, Hazar Gölü yüzey suyundan alınan örneklerinde Oksijen 18 değeri ‰-0.41 ile ‰-1.57, Döteryum değeri ‰-9.27 ile ‰-15 arasında, Hazar Göl yüzeyinden 0.5 m derinlikte alınan su örneklerinde Oksijen 18 değeri ‰-0.28 ile ‰-0.89, Döteryum değeri ‰-8.55 ile ‰-15.31 arasında saptanmıştır. Böylece, havzadan alınan tüm su örneklerinin meteorik kökenli olduğu saptanmıştır.

Çalışma alanından alınan tüm su örneklerine ait çizilen buharlaşma doğrusunun denklemi

$$\delta D = 5.4195 \delta^{18}O - 7.7183 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Hazar Gölü Havzası'nın karasal yağış rejimi etkisinde olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Döteryum, Oksijen, Trityum, ağır metal, Hazar Gölü

ABSTRACT

Determination of Groundwater Recharge and Hydrological Characteristics by Using Environmental Isotope Techniques in the Hazar Lake Basin

In this study, Hazar Lake is used for physical - chemical analyzes in 60 locations from wells, welds and rivers with 12 water samples in 6 locations, 0.5 m depth from the surface and lake surface, 51 locally heavy metal analyzes, ^{18}O , 2H analyzes and 23 loci Water samples were taken for ^3H analysis.

In the water samples taken from the waters, oxygen was found between ‰-18 ‰-9-‰10.02, Deuterium value between ‰ -52.71 and ‰ -61.06, oxygen in the water from the wells was found to be -18.41 and -6.32 ‰ -10.41 and deuterium values between -43.52 ‰ and -‰65.44, in the water samples taken from the rivers, the values of oxygen 18 between ‰ -8.88 and ‰8.9, between deuterium value ‰ -53.95 and ‰ -54.4, in the samples taken from surface water of Caspian Lake, oxygen 18 value -0.41 ‰ with -1.57 ‰, with deuterium value ‰ -9.27 ‰- 15, in the water samples taken at a depth of 0.5 m from the surface of the Caspian Lake, the oxygen values were ‰ -0.28 to ‰ -0.89, and deuterium values ‰ -8.55 to ‰ -15.31.

The equation of evaporation line drawn for all water samples taken from the study area is calculated as $\delta\text{D} = 5.4195 \delta^{18}\text{O} - 7.7183$.

It has been determined that the Caspian Lake Basin is under the terrestrial precipitation regime.

Key Words: Deuterium, Oxygen, Tritium, heavy metal, Caspian Lake

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	3
Şekil 1.2. Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli	4
Şekil 2.1. Örnek suyu yerinde ölçüm analizleri.	10
Şekil 3.1. Çalışma alanı jeoloji haritası (MTA Haritası'ndan değiştirilerek)	12
Şekil 3.2. Çalışma alanının thornthwaite yöntemine göre, yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği (Güven, 2013).....	15
Şekil 3.3. Hazar Gölü Havzası'nda bulunan akarsular	16
Şekil 3.4. Fiziksel-kimyasal analizler için alınan örnek yerleri.	22
Şekil 3.5. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları EC eş dağılım haritası.	22
Şekil 3.6. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları EC eş dağılım haritası.	23
Şekil 3.7. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları pH eş dağılım haritası.	23
Şekil 3.8. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları pH eş dağılım haritası.	24
Şekil 3.9. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Ca eş dağılım haritası.	24
Şekil 3.10. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Ca eş dağılım haritası.....	25
Şekil 3.11. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Mg eş dağılım haritası.....	25
Şekil 3.12. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Mg eş dağılım haritası.....	26
Şekil 3.13. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Na eş dağılım haritası.....	26
Şekil 3.14. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Na Eş dağılım haritası	27
Şekil 3.15. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları K Eş dağılım haritası.....	27
Şekil 3.16. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları K Eş dağılım haritası.....	28
Şekil 3.17. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları HCO ₃ eş dağılım haritası.....	28
Şekil 3.18. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları HCO ₃ eş dağılım haritası.....	29
Şekil 3.19. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları SO ₄ eş dağılım haritası	29
Şekil 3.20. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları SO ₄ eş dağılım haritası.....	30
Şekil 3.21. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Cl eş dağılım haritası.....	30

Şekil 3.22. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Cl eş dağılım haritası.....	31
Şekil 3.23. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları F eş dağılım haritası	31
Şekil 3.24. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları F eş dağılım haritası	32
Şekil 3.25. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları NO ₃ eş dağılım haritası	32
Şekil 3.26. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları NO ₃ eş dağılım haritası	33
Şekil 3.27. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi EC eş dağılım haritası.....	33
Şekil 3.28. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik EC eş dağılım haritası	34
Şekil 3.29. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi pH eş dağılım haritası.....	34
Şekil 3.30. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik pH eş dağılım haritası	35
Şekil 3.31. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi Ca eş dağılım haritası	35
Şekil 3.32. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik Ca eş dağılım haritası.....	36
Şekil 3.33. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi Mg eş dağılım haritası	36
Şekil 3.34. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik Mg eş dağılım haritası.....	37
Şekil 3.35. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi Na eş dağılım haritası	37
Şekil 3.36. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik Na eş dağılım haritası.....	38
Şekil 3.37. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi K eş dağılım haritası.....	38
Şekil 3.38. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik K eş dağılım haritası	39
Şekil 3.39. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi HCO ₃ eş dağılım haritası.....	39
Şekil 3.40. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik HCO ₃ eş dağılım haritası	40
Şekil 3.41. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi Cl eş dağılım haritası.....	40
Şekil 3.42. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik Cl eş dağılım haritası	41
Şekil 3.43. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi SO ₄ eş dağılım haritası	41
Şekil 3.44. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik SO ₄ eş dağılım haritası.....	42
Şekil 3.45. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi F eş dağılım haritası	42
Şekil 3.46. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik F eş dağılım haritası	43
Şekil 3.47. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi NO ₃ eş dağılım haritası.....	43
Şekil 3.48. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik NO ₃ eş dağılım haritası	44
Şekil 3.49. Ağır metal analizi için alınan örnek yerleri	45
Şekil 3.50. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları As eş dağılım haritası.....	48
Şekil 3.51. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Cd eş dağılım haritası.....	48

Şekil 3.52. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Cu eş dağılım haritası.....	49
Şekil 3.53. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Pb eş dağılım haritası	49
Şekil 3.54. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Zn eş dağılım haritası	50
Şekil 3.55. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Ni eş dağılım haritası.....	50
Şekil 3.56. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Cr eş dağılım haritası.....	51
Şekil 3.57. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Mn eş dağılım haritası	51
Şekil 3.58. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Co eş dağılım haritası.....	52
Şekil 3.59. Çevresel izotop (Oksijen-18, Döteryum) analizleri için alınan örnek yerleri.....	55
Şekil 3.60. Hazar Gölü Havzası Oksijen 18 eş değer dağılım haritası	58
Şekil 3.61. Hazar Gölü Havzası Döteryum eş değer dağılım haritası.....	58
Şekil 3.62. Hazar Gölü yüzey örneklerinin Oksijen 18 eş dağılım haritası	59
Şekil 3.63. Hazar Gölü yüzey örneklerinin eş Döteryum dağılım haritası	59
Şekil 3.64. Hazar Gölü 0.5 m derinlik örneklerinin Oksijen 18 eş değer dağılım haritası	60
Şekil 3.65. Hazar Gölü 0.5 m derinlik örneklerinin Döteryum eş değer dağılım haritası.....	60
Şekil 3.66. Kuyu, kaynak, akarsu ve göl sularının Oksijen 18 - Döteryum grafiği	61
Şekil 3.67. Kuyu suları ile SK-3 ve SK-4 nolu kuyuların Oksijen18 - Döteryum grafiği	61
Şekil 3.68. Su Örneklerine ait Buharlaşma Doğru Grafiği	63
Şekil 3.69. Kaynak sularının buharlaşma doğru grafiği.....	64
Şekil 3.70. Kuyu sularının buharlaşma doğru grafiği	65
Şekil 3.71. Hazar Gölü yüzey sularının buharlaşma doğru grafiği	65
Şekil 3.72. Hazar Gölü 0.5 m derinlik sularının buharlaşma doğru grafiği	66
Şekil 3.73. Ortalama ^{18}O ile yükseklik (m) arasındaki doğru grafiği	67
Şekil 3.74. Hazar Gölü Havzası d fazlası eş değer dağılım haritası.....	68
Şekil 3.75. Hazar Gölü yüzey örneklerinin d fazlası eş değerler dağılım haritası	69
Şekil 3.76. Hazar Gölü 0.5 m derinlik örneklerinin d fazlası eş değerler dağılım haritası	69
Şekil 3.77. Kararlı izotop (Trityum)analizi için alınan örnek yerleri.....	71
Şekil 3.78. Hazar Gölü Havzası Trityum eş değer dağılım haritası.....	72
Şekil 3.79. Oksijen 18 – Trityum grafiği	73
Şekil 3.80. Elektirksel iletkenlik – Trityum grafiği	74

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1. 1991-2013 yılları arasındaki nem bilançosu (Thorntwaite formülüne göre; Güven, 2013).....	14
Tablo 3.2. Hazar Gölü fiziksel – kimyasal analiz sonuçları	17
Tablo 3.3. Haziran (2015) dönemi fiziksel – kimyasal analiz sonuçları	18
Tablo 3.4. Eylül (2015) dönemi fiziksel – kimyasal analiz sonuçları	19
Tablo 3.5. Suların EC parametrelerinin sulama suyuna göre sınıflaması.....	20
Tablo 3.6. Suların pH 'a göre sınıflandırılması	20
Tablo 3.7. Eylül (2015) dönemi ağır metal sonuçları	47
Tablo 3.8. Su örneklerinin Oksijen 18, Döteryum Analiz Sonuçları.....	57
Tablo 3.9. Tritiyum analiz sonuçları (SK; kuyu, K; kaynak)	71

SEMBOLLER

DL: Dedeksiyon Limiti

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemleri

T: Sıcaklık

Eİ: Elektrik İletkenliği

LMWL: Yerel Meteorik Yağış Doğrusu

MMWL: Akdeniz Meteorik Su Doğrusu

GMWL: Dünya Meteorik Su Doğrusu

IAEA: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu

WMO: Dünya Meteoroloji Teşkilatı

PH: Çözeltini asidik veya bazlık derecesi

µs: Mikro saniye

EPA: Çevre Koruma Ajansı

Mg: Magnezyum

Ca: Kalsiyum

Cl: Klor

F: Flor

Na: Sodyum

K: Potasyum

SO₄: Sülfat

HCO₃: Bikarbonat

As: Arsenik

Cd: Kadmiyum

Cu: Bakır

Ni: Nikel

Pb: Kurşun

Zn: Çinko

Cr: Krom

Co: Kobalt

PPM: Parts per million

1. GİRİŞ

Su kaynaklarının bir yandan verimli ve sürdürülebilir olarak kullanılabilmesi diğer yandan su kaynakları geliştirme faaliyetlerinde, yüzey suyu ile yeraltı suyu, tatlı su ile tuzlu su arasındaki etkileşimlerin bölge ve havza ölçeğinde bilinmesi gerektiğinden, su kaynaklarının kalite ve sayısal olarak bütün yönleriyle gözlem altına alınması ve araştırılma yapılması her geçen gün daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Miktar ve kalite sorunlarının yanında suyun verimli ve sürdürülebilir bir biçimde kullanılmasını amaçlayan çalışmalarda gösterdiği başarılar nedeniyle “İzotop Hidrolojisi” yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Arslan, 2015).

Hidrolojik çalışmalarda akarsu, dere gibi yüzey sularının akım miktarlarının ölçümü, yeraltısuyu beslenim-boşalım yönü ve hızının belirlenmesi, göl sularının beslenim ve koruma alanlarının belirlenmesi gibi oldukça geniş bir alanda çevresel izotoplar yaygın olarak kullanılmaktadır (Akdeniz ve ark., 2015)

Suyun kararlı izotoplarından Oksijen-18 (^{18}O) ve Döteryum (^2H) yeraltı suyunun kökeni, beslenme kotu ve alanı ile farklı suların karışım oranlarının saptanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidrojenin radyoaktif Trityum (^3H) izotopu yeraltısuyu geçiş süresi ve beslenme rejimi ile yüzeysuyu-yeraltısuyu ilişkisinin belirlenmesinde önemli bir araçtır. Fiziksel yapısı iyi tanımlanmış bir hidrojik sistemde izotop ve kimyasal veriler birlikte değerlendirilerek sisteme ait dinamik birçok özellik tanımlanabildiği gibi, bu veriler fiziksel yapının tanımlanmasındaki bazı belirsizliklerin ortadan kaldırılmasında da yararlanılan önemli araçlardır (Apaydın ve ark., 2015).

Hidrolojide kullanılan çevresel izotopik izleyiciler doğal ve/veya insanoğlunun neden olduğu etkilerin sonucunda atmosfere salınmakta, buradan da hidrolojik çevrime dahil olmaktadır. Yağış ile yüzey ve yeraltısularına katılan atmosferdeki çevresel izleyiciler bu sistemler içinde taşınmakta ve belirli bir süre sonra akarsuya, denize, kaynağa ulaşma şeklinde tabii yollarla ya da kuyulardan çekim gibi suni yollarla sistemi terk etmektedirler. Yüzey sularında yağıştan itibaren oluşan beslenimin, havzadaki geçiş süresi dağılımının belirlenmesi, yüzey sularının pek çok amaçla yaygın kullanımından dolayı oldukça önem teşkil etmektedir. Çevresel izleyiciler kullanılarak elde edilecek bilgiler, yüzey suyundan farklı amaçlar için kullanılan sular için, yönetim politikalarının geliştirilmesi açısından kullanılabilir (Özyurt ve ark., 2015).

Türkiye’de yapılan çevresel izotop çalışmalarında, Dünya Meteorik Su Doğrusu (GMWL) veya Akdeniz Meteorik Su Doğrusu (MMWL) dikkate alınmaktadır. Fakat yüzey ve yeraltı sularının ana beslenme kaynağını oluşturan yağışların çevresel izotop (^{18}O , D , ^3H) içerikleri, iklimsel koşullar, yağışların kökeni, yükseklik, sıcaklık gibi süreçlerden dolayı konum ve zaman içinde farklılık göstermektedir. Bu süreçler, sistemin hidrodinamik yapısının fiziksel koşullarla uyumlu bir şekilde elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Dolayısı ile hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalarda yukarıda belirtilen süreçlerden dolayı Yerel Meteorik Su Doğrusu'nun (LMWL) elde edilmesi önem taşımaktadır(Aydin ve ark., 2015).

1.1.Çalışmanın Amacı ve Önemi

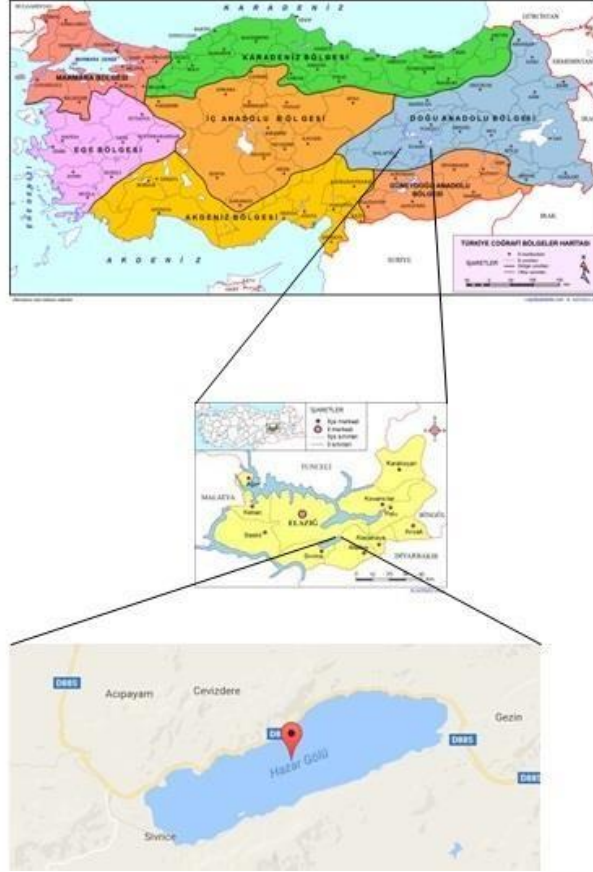
Bu çalışmada, Hazar Gölü Havzası’nda yeraltı ve yerüstü sularında fiziksel – kimyasal ve çevresel izotop çalışmaları yapılarak, havzanın hidrolojik su döngüsü ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak Hazar Gölü Havzası’nda farklı kot ve koordinatlarda göl, dere, kaynak ve su kuyularından su numuneleri alınmıştır. Alınan su numuneleri üzerinde major katyon ve anyon analizleri ile Oksijen-18 (^{18}O), Döteryum (^2H) ve Tritiyum (^3H) analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma sonucunda elde edilecek veriler ile özellikle CBS ortamında hazırlanmış haritalar ile, Hazar Gölü Havzası’nın hidrolojik su döngüsünün belirlenmesine çalışılacaktır. Böylece havzada bulunan su kaynaklarının planlanmasına veri desteği sağlanmış olacaktır.

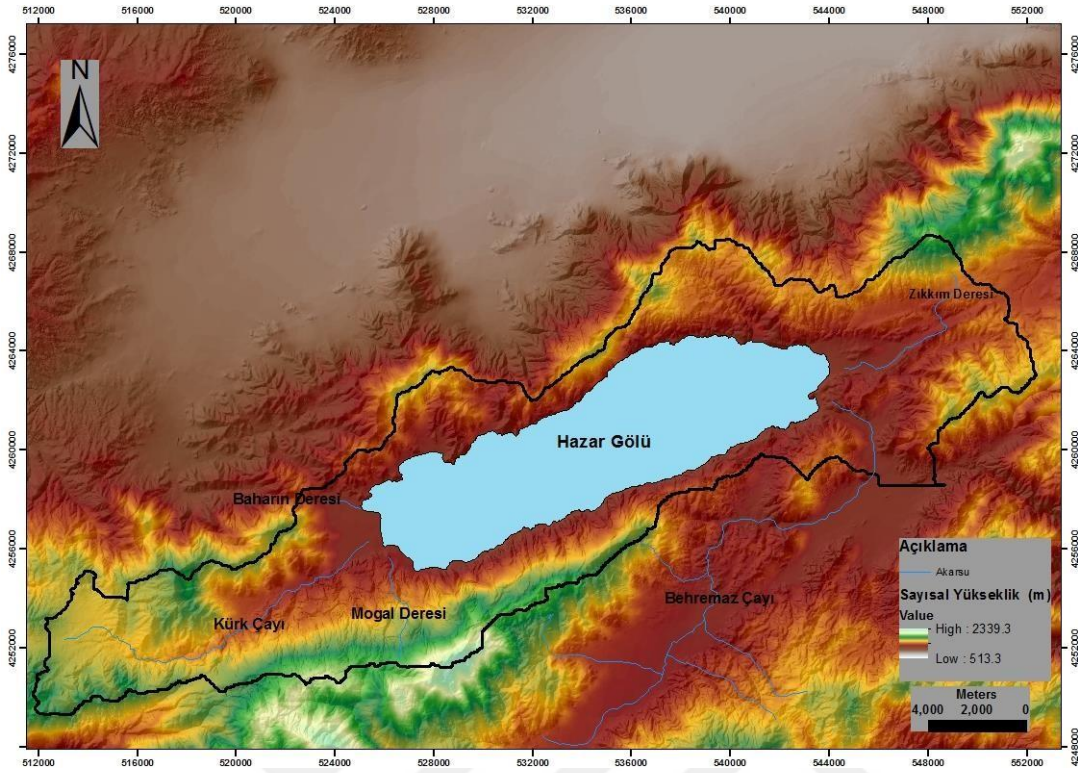
1.2. Çalışma Alanının Yeri ve Coğrafi Özellikleri

Çalışma alanı; 512000D– 552000D boylamları ile 4248000K – 4276000K enlemleri arasında yer almakta olup, Elazığ ilinin Sivrice İlçesi ve Gezin Beldelerini de içerisine alan Hazar Gölü Havzasını kapsamaktadır (Şekil 1.1). Hazar Gölü Havzası’nın yağış alanı yaklaşık 300 km^2 , göl yüzeyinin alanı yaklaşık 78.69 km^2 ’dir. Hazar Gölü Havzası bir çek-ayır bir havza olup, doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Sistemi üzerinde gelişmiştir. Hazar Gölü tektonik bir göldür. Hazar Gölü Havzası’nın en düşük kotu 1245 m, en yüksek kotu 2347 m dir. Hazar Gölü’nü besleyen başlıca akarsular Behremaz Çayı, Kürk Çayı, Baharın Deresi, Zıkkım Deresi, Savsak Deresi ve Mogal Deresi’ dir. Hazar Gölünün beslenmesi amacıyla Behremaz Çayı, DSİ tarafından yapılan bir çevirme

kanalıyla göle bağlanmıştır (Şekil 1.2). Bölge karasal iklim özelliklerini taşımakla birlikte bitki örtüsü bakımından oldukça fakirdir. Yaz ayları sıcak ve kurak geçen bölgede yalnızca yerleşim yerlerinde küçük topluluklar halinde bulunan ağaçlara rastlanmaktadır.



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.



Şekil 1.2. Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli.

1.3.Önceki Çalışmalar

Bu bölüm çalışma alanında daha önce yapılmış farklı boyutlarda araştırmaları (hidrolojik, hidrojeolojik, jeolojik ve coğrafik) içermektedir.

Hempton ve arkadaşları (1983), Hazar Gölü yöresinde yaptıkları çalışmada, Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunan gölün doğrultu atımlı faylar üzerinde gelişen bir çek-ayır havza olduğu fikrini söylemişlerdir.

Sağiroğlu ve Çetindağ (1995), yapmış oldukları çalışmada Kürk Çayı ve Mogal Deresi'nin Hazar Gölü'ne taşıdıkları silt miktarını hesaplamış ve yıllık miktarı 80000 ton olarak tespit etmişlerdir.

Cici, 1995 yılında Hazar Gölü su kalitesiyle ilgili olarak kıyı boyunca kirlenme potansiyelinin fazla olduğu bölgeler göz önüne alınarak altı örnekleme istasyonundan yüzeyden alınan örneklerin kimyasal ve fizikokimyasal parametrelerini incelemiştir. Bu çalışmada yüzeysel su sıcaklığının 10-11°C arasında ve doğu yakasının su sıcaklığının batı yakasının sıcaklığından 1°C daha yüksek olduğu, pH'nın 8.75-8.83 ve toplam alkalitenin 390-770 mg CaCO₃/L, sertliğin 560-628 mg CaCO₃/L, elektriksel iletkenliğin 827-1758µmhos/cm ve toplam katı madde miktarının 708-1440 mg/L arasında değiştiği görülmüştür. 0.18-0.92 mg/L arasında amonyum azotuna, 0.23-0.86 mg/L arasında nitrit azotuna rastlanması gölün o dönemde mevcut olan organik kirliliğinin göstergesidir.

Ortofosfat değeri de 0.34- 0.98 mg PO₄⁻³/L arasında değişmiştir.

Günek ve Yiğit (1995), Hazar Gölü Havzası'nın, Doğu Anadolu bölgesinin diğer kesimlerine oranla daha az karasal olan, Yukarı Fırat bölümünün batı yarısında hüküm süren iklim ile Akdeniz ve Doğu Anadolu karasal iklimleri arasında bir geçiş sahasında yer aldığını belirtmektedirler. Ayrıca, yağışın yıl içerisindeki dağılışına bakıldığında, en yağışlı mevsimin kış ve ilkbaharlara rastlaması (Sivrice'de yıllık yağışın yaklaşık %75'i, kış ve ilkbahar aylarında görülmektedir) özelliğinden dolayı Akdeniz yağış rejimine benzer bir özellik arz ettiğini söylemişlerdir.

Öztürk ve Ünlü (1996), Hazar Gölü Havzası'nın hidrolojik özelliklerini inceleyerek Behremaz Deresi üzerinde inşa edilecek olan Hatunköy Barajı'nın göl seviyesine tesirini geçmiş yıllara göre tahmini incelemiştir.

Emiroğlu ve arkadaşları (1998), Hazar Gölü'nü besleyen derelerin eğimleri, taşkın hidrograflarını belirlenmiş ve gölün drenaj alanı, su seviye değişimi, yıllara göre buharlaşma değerleri, su kimyası, sulama suyu kalitesi durumlarını incelemiştir.

Ünlü ve Uslu (1999), yapmış oldukları "Hazar Gölü Su Kalitesinin Değerlendirilmesi" başlıklı çalışmalarında, Hazar Gölü'nde fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik analizlerini yaparak, Hazar Gölü'nü su kirliliği açısından incelemiştir. Araştırmada, Hazar Gölü suyunun kalite kriterlerinin genel olarak I. ve II. sınıf sular özelliğinde olduğu fakat ötrofikasyon kontrol sınır değerlerinin aşıldığı belirtilmiştir.

Gölbaşı (2006) çalışmasında Kürk Çayının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmıştır. Bu çalışmada, Kürk Çayı'nın klorür ve reaktif fosfor değerleri bakımından II. sınıf (az kirli su), nitrit azotu değeri bakımından III. sınıf (kirli su) ve tespit edilen diğer parametreler açısından I. Sınıf (yüksek kaliteli su) su özelliğine sahip olduğunu tespit etmiştir.

Tuna ve Emiroğlu (1995), Hazar Gölü suyunun sulama suyu kalitesini C₃S₂ (yüksek tuzlu, orta sodyumlu) olarak tayin etmiş ve sulama suyu bakımından iyileştirilerek kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Tonbul ve Yiğit (1995), Alüvial, İnterplüvial ve Postglasyal dönemlerde Hazar Gölü'ndeki seviye oynamalarının bir korelasyonu yapıp, özellikle alüvyal göl taraçaları ve eski kıyı izlerini araştırmıştır.

Şen ve ark. (2003), Hazar Gölü'nün limnolojik özelliklerini, kirlilik durumunu, su ürünleri açısından önemini ve gölün trofik (besin) düzeyini daha önce yapılmış olan çalışmaların sonuçları paralelinde değerlendirmişlerdir. Hazar Gölü'nün trofik seviyesinin oligotrofik statüden çıkıp mezotrofik statüye geçmekte olduğunu tespit etmişlerdir.

Doğru ve Külahçı (2004), 1998-2001 aralığında elde edilen verilere göre yüzeyde orta derinlikte ve dipte alfa ve beta radyoaktivitesinin eşdeğer eğrilerini elde etmişlerdir. Buna göre göldeki radyoaktivite konsantrasyonları Dünya Sağlık  rg t 'nün (WHO) içme suları için önerdiği radyoaktivite değerlerinin üzerinde olduğundan içme suyu olarak kullanılamayacağı belirlenmiştir.

 zmen ve diğ. (2004), sekiz ayrı istasyondan yüzeysel sudan ve dip sedimentinden örnek olarak Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Co, Pb gibi ağır metaller ve Na, K, Ca, Mg elementleri ile ^{226}Ra 'a bağlı α ve β radyasyonunu incelemişlerdir.

 zaydın ve ark. (2005), izotop teknikleri kullanarak birbirleri ile bağlantılı olan Mogan ve Eymir G lleri, özellikle g l ve derelerin, yeraltı suyu ile olan ilişkisini incelemişlerdir. Bu  alışma neticesinde, eşitliği $\delta^2\text{H} = 5,06.\delta^{18}\text{O} - 23,085$ $r=0.983$ olan bir buharlaşma doğrusu elde edilmiştir. Mogan ve Eymir G llerinin farklı derinliklerinden alınan izotop değerleri değişiklik göstermediğinden, g llerde herhangi bir tabakalaşma olmadığına karar vermişlerdir. Mogan ve Eymir G llerinin izotop içeriğinin, yağış, dere suyu ve yeraltı suyuna göre zengin izotop içeriğine sahip olduğu g r lm ştir.

Değirmenci ve ark., (2008) Kayseri Kenti içme suyu Havzası'ndaki akiferlerin özelliklerini izotop teknikleri kullanarak belirlemişlerdir. Bu kapsamda, Kayseri kentine içme-kullanma suyu sağlayan kaynak ve kuyulardan alınan örnekler üzerinde çevresel izotop analizleri yapılmıştır. Oksijen-18 ve Döteryum izotop içerikleri, akifer sisteminde depolanan suların gruplandırılarak beslenme alanlarının tespit edilmesine olanak sağlamış, Tritiyum analizleri ise suların geçiş sürelerine ilişkin önemli bilgiler sağlamıştır.

Yıldız ve ark., (2008) Develi Kapalı Havzası'nda yeraltı suyu ve yüzey suyu ilişkisinin doğal izotoplar yardımıyla incelemişlerdir. Bu  alışma kapsamında Sultansazlığı'ndaki su sıkıntısının sebepleri araştırılmış ve doğal izotoplar (Oksijen 18, Döteryum ve Tritiyum) kullanılarak Sultansazlığı'ndaki yüzey suyunun Develi Kapalı Havzası'nda mevcut olan akifer ile bir ilişkisinin olup olmadığı araştırılmıştır. İzotop analiz sonuçlarına göre yeraltı suyu ile Sultansazlığı'nın yüzey suyu arasında direkt bir ilişki olmadığı ancak çok uzun zaman içinde yeraltı suyunun Sultansazlığı'nın yüzey suyunu besleyebileceği tespit edilmiştir. Çalışma sonucuna göre, Develi Kapalı Havzası'nda kuyulardan çekilen yeraltı suyunun Sultansazlığı'nın su sıkıntısı üzerinde bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Güven (2013), yapmış olduğu yüksek lisans tezinde Hazar Gölü civarında yer alan al vyoneli akiferin hidrojeolik ve hidrojeokimyasal özelliklerini ortaya koymuştur. Al vyoneli akiferlerin geçirimsizlik katsayıları 6.3×10^{-5} m/s ile 4.42×10^{-4} m/s arasında, gözeneklilikleri

%30 ile %55 arasında, transmisivite ise $1.7 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ ile $3.7 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ arasında hesaplamıştır. Alüvyon akiferde genel yeraltı suyu akım yönü Hazar Gölü'ne doğru olduğunu ve gerçek rejimde Hazar Gölü batısındaki alüvyon akiferden Hazar Gölü'ne boşalan su miktarı $13.245.120 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplamıştır. Su örneklerini, sertliği %50'den fazla olan karbonatlı ve sülfatlı sular olarak tanımlamıştır. Yeraltı sularını izotop analiz sonuçlarına göre meteorik kökenli sular olarak belirtmiştir.

Çeliker (2014), yapmış olduğu "Elazığ Uluova Yeraltısuyu Akiferinin Arsenik ve Ağır Metal İçeriğinin Araştırılması" başlıklı doktora tezinde, Uluova'da 103 farklı lokasyonda aldığı su örneklerinde ağır metal ve arsenik parametrelerini araştırmış ve analiz edilen su numunelerinin yaklaşık %20'sinde ağır metal kirliliği tespit etmiştir.

Dursun ve arkadaşları (2014)'nın "Hidrojeokimyasal Analizler ve Çevresel İzotop Teknikleri Kullanarak Derme Karstik Kaynağının Hidrolojik Özellikleri" başlıklı makalelerinde, Derme Karstik Kaynağı ile etrafında büyük debide boşalım yapan kaynakların çevresel izotoplar (^{18}O , ^2H , ^3H) ile karstik özellikleri araştırılmış ve Derme Karstik Kaynağının farklı karstik sistemler etkisinde olduğu belirtilmiştir.

Çeliker (2016) yapmış olduğu "Uluova'da Çevresel İzotoplar ve Kimyasal Analizler Kullanarak Yeraltı ve Yerüstü Sularının İlişkisinin Belirlenmesi" örnekleme çalışmaları yeraltı, yerüstü ve yağmur suyu örneklerini içeren 19 lokasyonda, yağışlı ve kurak dönem olmak üzere toplam 35 örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çevresel izotop analiz sonuçlarına göre havzada yağışlı ve kurak dönemde üç farklı grup su kütlesi tanımlanmıştır. Uluova Bölgesinden alınan su örneklerinin, Oksijen-18 Döteryum değerlerinin oluşturduğu doğrunun denklemi kurak dönemde " $\delta\text{D}=6\delta^{18}\text{O} - 10,50$ " yağışlı dönemde " $\delta\text{D}=6\delta^{18}\text{O} - 8,66$ " olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, Uluova yeraltı suyu akiferi güncel yağışlardan beslendiği ve sulama mevsimde, yapılan yüzey suyu sulamasının, yeraltı suyu akiferini etkilemediğini söylemiştir.

Aydın ve ark. (2015), “Van Gölü Havzası Yerel Meteorik Su Doğrusunun Belirlenmesi” başlıklı çalışmalarında, Van Gölü Havzası’nda çevresel izotop çalışmaları yaparak bölge için yerel meteorik su doğrusunun elde edilmesini amaçlamışlardır. Bu amaçla, havzanın güneyinde 1715 m ile 2350 m arasında kalan 10 noktada Ocak 2009 tarihinde yağış (kar) örneği almışlardır. İnceleme alanındaki yağışların ¹⁸O ve D değerleri sırası ile ‰ -19.5 ile ‰ -11.1 ve ‰ -143.7 ile -‰72.3, ³H değeri ise 12.3 ile 13.1 Trityum birimi arasında değiştiğini tespit etmişlerdir. Van Gölü Havzası yerel meteorik su doğrusunun, Dünya Meteorik Su Doğrusu ile Akdeniz Meteorik Su Doğrusu arasında yer aldığını söylemişlerdir. Böylece, Dünya Meteorik Su Doğrusuna oranla nispeten yüksek Döteryum fazlası değerinden dolayı, Van Gölü Havzası’nda meydana gelen yağışların Akdeniz kökenli yağışlar olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Günek ve Yiğit (1995), Hazar Gölü Havzası’nın, Doğu Anadolu bölgesinin diğer kesimlerine oranla daha az karasal olan, Yukarı Fırat bölümünün batı yarısında hüküm süren iklim ile Akdeniz ve Doğu Anadolu karasal iklimleri arasında bir geçiş sahasında yer aldığını belirtmektedirler. Ayrıca, yağışın yıl içerisindeki dağılışına bakıldığında, en yağışlı mevsimin kış ve ilkbaharlara rastlamasından (Sivrice’de yıllık yağışın yaklaşık %75’i, kış ve ilkbahar aylarında görülmektedir) dolayı Akdeniz yağış rejimine benzer bir özellik arz ettiğini söylemişlerdir.

2. MATERYAL VE METOT

“Çevresel İzotoplar Kullanarak Hazar Gölü Havzası’nın Hidrolojik Karakteristikleri ve Yeraltı Suyu Beslenim Kaynaklarının Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma; büro, arazi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.1. Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları, literatür çalışmaları ile başlatılmış ve çalışmanın her aşamasında devam etmiştir. Bu kapsamda inceleme alanı ve yakın çevresinin hidrolojisi ve hidrojeolojisini konu alan çalışmalar ve metotlar incelenmiştir. Çalışma alanının genel özellikleri, jeoloji ve analiz parametreleri eş dağılım haritaları ArcGIS 10.1 programında çizilmiştir.

2.2. Arazi Çalışmaları

Literatür çalışmaları sonucu elde edinilen bilgi ve haritalar, sahada birebir karşılaştırılmıştır. Böylece inceleme alanının hidrolojik, hidrojeolojik ve morfolojik yapısı önceden anlaşılmaya çalışılmıştır. İnceleme alanını temsil edeceği düşünülen örnek lokasyonlarının (kuyu, kaynak, akarsu) coğrafi koordinatları GPS ile alınmıştır. Örnek alma çalışmaları, 6 – 8 Haziran 2015 ve 5 – 7 Eylül 2015 dönemlerini kapsayan yağışlı ve kurak sezonlarda 3 günlük bir periyotta gerçekleştirilmiştir. Haziran (2015) ve Eylül (2015) dönemlerinde olmak üzere farklı iki periyotta, fiziksel – kimyasal analiz için 60 farklı lokasyonda, ağır metal analizi için 51 farklı lokasyonda su örnekleri alınmıştır. Haziran (2015) döneminde 53 farklı lokasyonda, Hazar Gölü Havzası’nda yeraltı ve yerüstü suları ile Hazar Gölü yüzeyi ve göl yüzeyinin 0.5 m derinliğinden göl suyu alınarak çevresel izotop analizleri için laboratuvara gönderilmiştir (Şekil 2.1).

Örnekleme çalışmaları ile eş zamanlı olarak, sıcaklık (T), pH ve elektriksel iletkenlik (EI) gibi fiziksel özellikler yerinde ölçülmüştür. İzotop analizleri için alınan su numuneleri, numune kabına hava almayacak ve güneşten korunacak şekilde alınmıştır. Ağır metal analizi için alınan numunelere, parametre özelliklerinin bozulmasını engellemek için $\text{pH} < 2$ (SM, 2005) şartlarını oluşturmak amacıyla 2 ml % 65 konsantre HNO_3 çözeltisi ilave edilmiş ve $+4\text{ }^\circ\text{C}$ ’de saklanmıştır.

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları, Hacettepe Üniversitesi, Siirt Üniversitesi ile Elazığ İl İdaresi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Su numunelerinin çevresel izotop analizleri (^{18}O , ^2H ve ^3H) Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya Laboratuvarı'nda, major anyon ve katyon (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^-) analizleri Elazığ İl İdaresi Laboratuvarında ve ağır metal (As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn, Cr, Co) analizleri Siirt Üniversitesi Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Haziran (2015) döneminde alınan su örneklerinin ağır metal analiz sonuçları, laboratuvar deneyleri esnasında dedeksiyon limiti yüksek alındığından, cihaz analiz sonuçları okunamamıştır.



Şekil 2.1. Örnek suyu yerinde ölçüm analizleri

3. BULGULAR

3.1. Jeoloji

Çalışma alanı ve çevresinde gözlenen birimler yaşlıdan gence doğru, Üst Triyas yaşlı Pötürge Metamorfikleri, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Guleman Ofiyolitleri, Senoniyen yaşlı Elazığ Magmatitleri, Maestrihtiyen – Alt Eosen yaşlı Hazar Grubu, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, Pliyo- Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır (Şekil 3.1).

Pötürge metamorfikleri iki litoloji grubu ile dikkat çeker. Alt kesimlerde egemen olarak yarı-pelitik ara seviyeli pisamitik kayalar yer almaktadır. Bu kesimde ayrıca belirli seviyelerde metabazit ve metakarbonat seviyeleri de bulunur. Üst kesimlerde ise egemen olarak pelitik, yarı-pelitik kayalar ve bunlar ile araseviyeli pisamit, metabazit, metagranitoid ve metakarbonatlar yer almaktadır (Şahin ve Işık, 2010).

Guleman Ofiyoliti, çalışma alanında; Hazar Gölü'nün kuzeydoğusunda ve güneybatısında yayılım göstermekte olup dünit, verlit, piroksenit, olivinli, klinopiroksenli gabro, bantlı gabro, lerzolit ve gabroları kesen diyabaz dayklarından oluşmaktadır (Kaya, 1992).

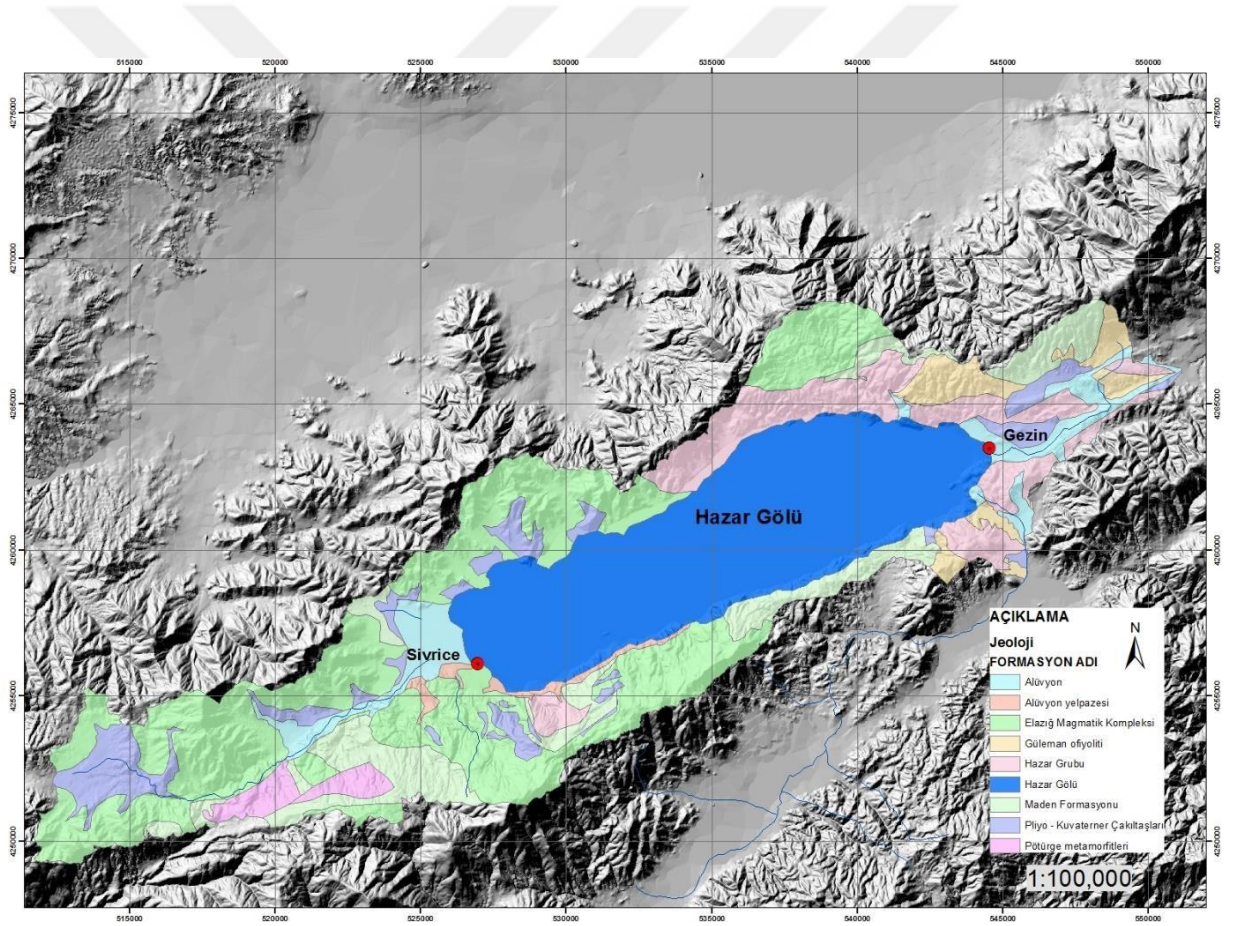
Elazığ Mamatitleri, çalışma alanında; Hazar Gölü'nün kuzeyinde, güneyinde ve batısında yayılım göstermekte olup gabro, diyabaz, bazalt ve andezit gibi magmatik kayalarla temsil edilmektedir (Kaya, 1992).

Hazar Grubu, bu litolojik olarak bir fliş özelliği sunmaktadır. Kumtaşı – çamurtaşı aralanmasıyla temsil edilir. Birim Hazar Gölü'nün kuzeyinde, güneyinde ve güneydoğusunda yayılım göstermektedir.

Maden Karmaşığı, tabanda Guleman Ofiyoliti'nin gabroları üzerinde taban çakıltaşlarıyla başlar. Üste doğru kumtaşı tabakaları, yer yer silisleşmiş kırmızı kahve- gri renkli kumtaşı-çamurtaşı-marn aralanmasına geçer. Bunların üstünde bol Nummulit fosilli, gri renkli neritik, mikritik kireçtaşları bulunur. Birim en üstte, kırmızı-pembe pelajik kireçtaşlarıyla son bulur. Tüm bu birimlere yanal ve düşey geçişli, ara katkılar halinde gözlenen andezitik, bazaltik volkanitler eşlik eder. Volkanotortul istifin ara seviyelerinde manganlı-demirli cevherleşmeler görülür. Maastrihtiyen yaşlı, gri renkli kireçtaşı olistolitleri, havza dışı kökenli yabancı bloklar şeklinde istife karışmışlardır. Aynı zamanda havza içi kökenli kireçtaşı olistolitleri de tespit

edilmiştir. Buolistostromal istife volkanizmanın da eşlik etmesi Maden çökeltme Havzası'nın genel özelliğidir. Gezin Beldesi'nin kuzey kesimlerinde ve Hazar Gölü güneyinde yaygın yüzeylemelerini veren birim bölgede bazalt, andezit, kırmızı-pembe- gri renkli kireçtaşı, volkanik ara katkılı yeşil-gri-kırmızı renkli şeyl- kumtaşı marn ardalanması ile temsil edilmektedir.

Pliyo - Kuvaterner yaşlı alüvyonlar çalışma alanında özellikle tektonizmanın yoğun olduğu Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde yayılım sunmaktadırlar. Kötü boylanmalı çakıl, kum, kil ve silt ile temsil olunan birimde taneler gevşek tutturulmuştur. Güncel alüvyonlar ise özellikle dere yataklarında gözlenmekte olup çakıl, kum ve silt boyutundaki, tutturulmamış malzemelerden meydana gelmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı jeoloji haritası (MTA Haritası'ndan değiştirilerek)

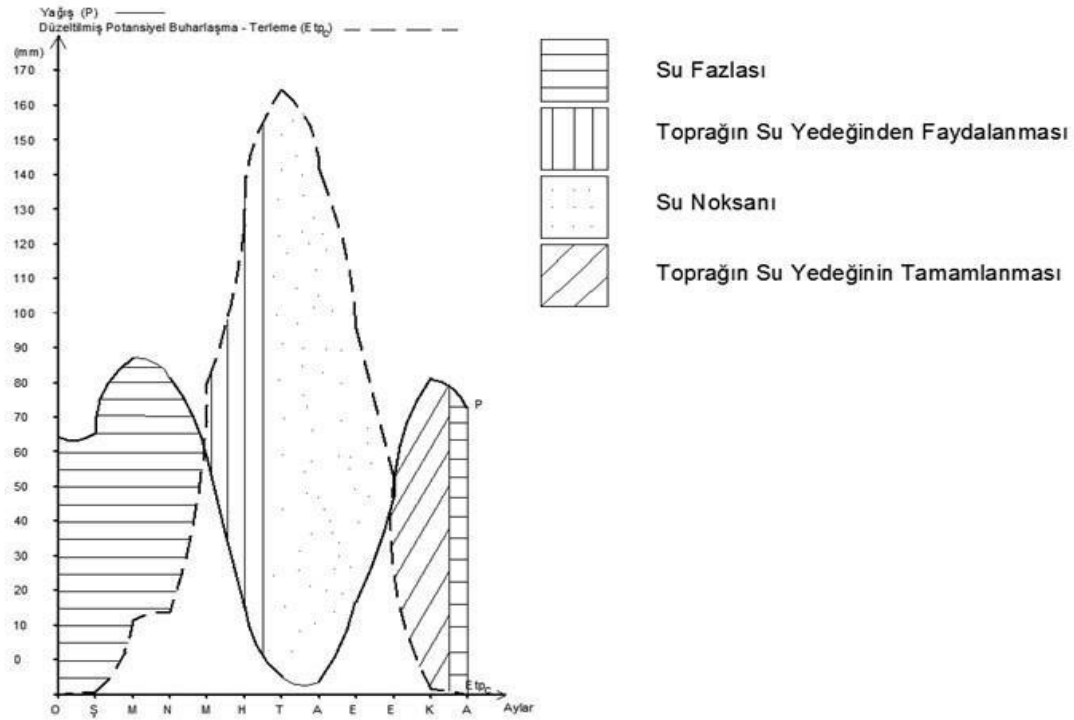
3.2.Hidroloji

3.2.1. Buharlaşma

Önceki çalışmalarda, Hazar Gölü Havzası'nın Devlet Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nün Sivrice gözlem İstasyonu'na ait 1991- 2013 yılları arası yağış ve sıcaklık ara verileri esas alınarak Thornthwaite yöntemi ile buharlaşma-terleme, sellenme ve süzülme hesaplanmıştır (Tablo 3.1). Hazırlanan nem bilançosuna göre bölgeye düşen ortalama yıllık yağış miktarı 601.07 mm, gerçek buharlaşma-terleme 320.35 mm, su fazlasının olduğu dönemde sellenme miktarı ise 280.88 mm olarak belirlenmiştir. Çalışma alanındaki su fazlası bölgeye düşen yıllık yağışın % 46.73'ü kadardır. Bu verilere göre çalışma alanının yağış ve buharlaşma-terlemenin grafiği hazırlanmıştır (Şekil 3.2). Bu grafikte, Kasım ayının ortasında başlayıp Mayıs ayının ortasına kadar olan dönemde su fazlalığı; Haziran ayının ortasıyla Ekim ayının ortası arasında ise su noksanlığı vardır ve Ekim ile Aralık ayları arasında ise bölgeye düşen yağış miktarı artmakta ve toprağın su yedeği bu aylar arasında tamamlanmaktadır. Ekim ayının ortasında bölgede yine su fazlalığı meydana gelmektedir (Güven, 2013).

Tablo3.1. 1991-2013 yılları arasındaki nem bilançosu (Thorntwaite formülüne göre; Güven, 2013).

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
Aylık Sıcaklık Ort. °C	-0.73	0.25	5.29	10.9	16.3	21.8	25.9	24.6	20.7	14.6	6.6	0.9	
Sıcaklık İndisi	0	0.01	1.09	3.25	5.98	9.3	12.1	11.2	8.59	5.07	1.52	0.07	58.18
Potansiyel Buharl	0	0.19	13.9	38.6	68.1	102.4	130.4	121.3	95.2	58.3	19.1	1.16	
Enlem Düzeltme Katsayı	0.85	0.84	1.03	1.105	1.23	1.24	1.255	1.175	1.04	0.96	0.84	0.825	
Düzeltilmiş Etp-mm	0	0.16	14.4	42.7	83.7	126.9	163.7	142.5	98.9	55.9	16.04	0.96	746.01
Yağış-mm	64.2	65.3	87.7	81.7	58.8	14.3	5.7	4.93	14.7	47.7	81.99	74.3	601.07
Faydalı Su Yedeği -mm	100	100	100	100	75.13	0	0	0	0	0	65.95	100	
Gerçek Buharlaşma Terleme	0	0.16	14.4	42.7	83.7	89.4	5.7	4.93	14.7	47.7	16.04	0.96	320.35
Su Fazlası - mm	64.2	65.3	73.3	38.8	0	0	0	0	0	0	0	39.3	280.8
Su Noksanı - mm	0	0	0	0	0	37.5	157.9	137.6	84.3	8.25	0	0	425.66

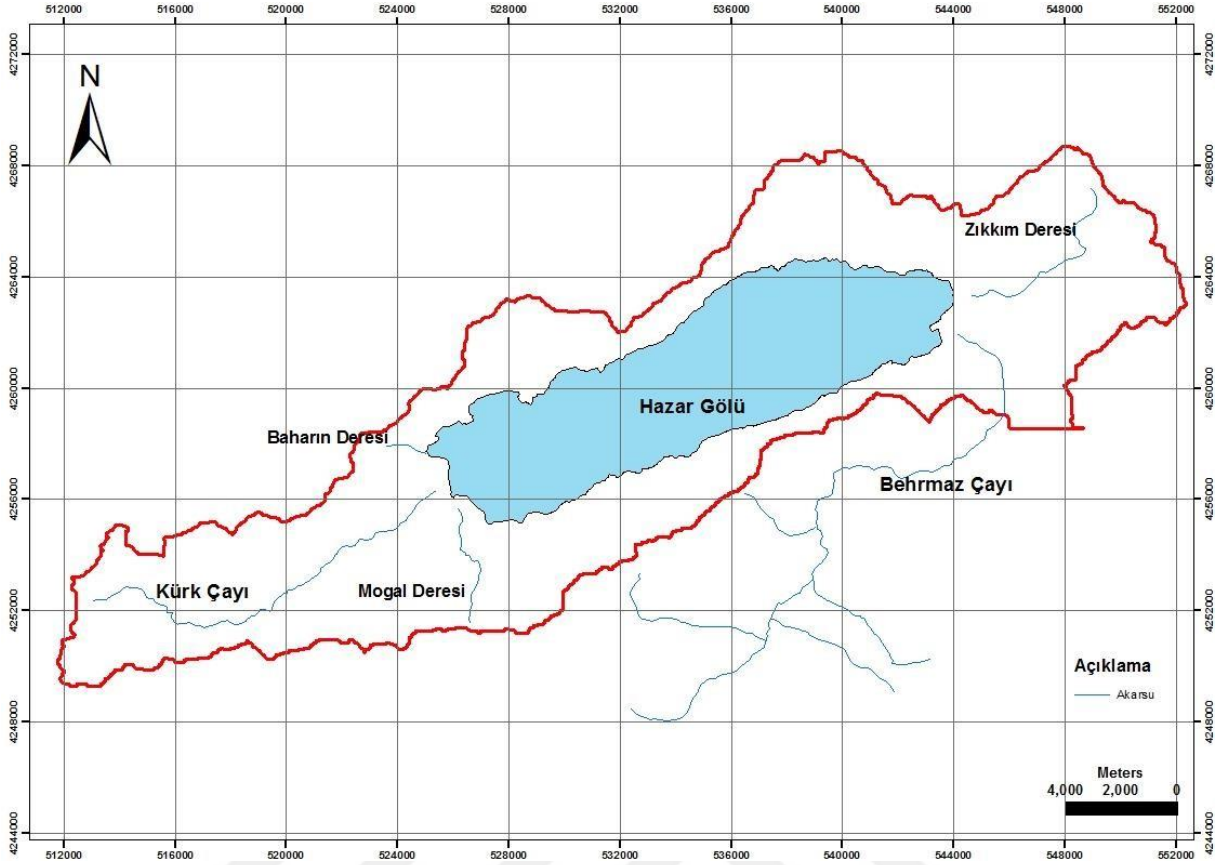


Şekil 3.2. Çalışma alanının Thornthwaite yöntemine göre, yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği (Güven, 2013).

3.2.2. Akarsular

Havzada, Hazar Gölü'nü besleyen başlıca akarsular Behremaz Çayı, Kürk Çayı, Baharın Deresi, Zıkkım Deresi, Savsak Deresi ve Mogal Deresi' dir. Behremaz Deresi ve Kürk Çayı havzanın en uzun akarsularıdır (Şekil 3.3).

Behremaz Deresi ve Kürk Çayı maksimum akımı Mart ve Nisan Aylarında gerçekleşmektedir. Behremaz Deresi'nde; Ağustos-Eylül aylarında, Kürk Çayı'nda ise Temmuz ve Kasım ayları arasında akış yoktur.



Şekil 3.3. Hazar Gölü Havzası'nda bulunan akarsular

3.3. Hidrojeoloji

Hazar gölü batısındaki alüvyon akiferlerinin arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda ortalama porozitesi % 45, geçirimsizlik katsayısı 6.3×10^{-5} m/s ile 4.42×10^{-3} m/s arasında, transmisivitesi ise 4.8×10^{-5} m²/s ile 9.7×10^{-4} m²/s arasında hesaplanmıştır. Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyonun ise porozitesi % 45, geçirimsizlik katsayısı 5.1×10^{-4} m/s ile 4.4×10^{-3} m/s arasında, transmisivitesi ise 1.7×10^{-5} m²/s ile 3.7×10^{-2} m²/s arasında hesaplanmıştır (Güven, 2013).

3.4. Hidrojeokimya

3.4.1. Fiziksel – Kimyasal Analizler

Çalışma alanında Hazar Gölü yüzey ve göl yüzeyinden 0.5 m derinlikte olmak üzere 6 lokasyonda toplam 12 su örneği ve Hazar Gölü Havzası'nda kuyu, kaynak ve akarsulardan toplam 60 lokasyonda su örnekleri (Şekil 3.1) fiziksel - kimyasal analizler için alınmış ve analiz sonuçları Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'de verilmiştir. İnceleme alanından alınan sularda EC, pH, kation (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) ve anyon (HCO_3^- , SO_4^{2-}),

Cl^- , F^- , NO_3^-) parametrelerinin dağılımı ArcGIS 10.1 programı kullanılarak Hazar Gölü Havzası'nın eş dağılım haritaları yapılmıştır (Şekil 3.5-Şekil 3.48).

Hazar Gölü yüzeyi ve 0.5 m derinlikte alınan su örnekleri üzerinde yapılan Ca^{2+} , Mg^{2+} , N^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- ve NO_3^- parametre analizlerinde önemli bir değişim tespit edilmemiştir (Tablo 3.2). Analizi yapılan parametrelerin eş dağılımları hemen hemen göl yüzeyinin her tarafında aynıdır.

Tablo 3.2. Hazar Gölü fiziksel – kimyasal analiz sonuçları

Örne k	Örnek Türü	pH	EC	Ca pp	Mg pp	Na pp	K ppm	HCO3 ppm	F ppm	Cl pp	SO4 ppm	NO3 ppm
61	Göl	9.38	1866	2.467	89.00	302.14	4.604	598.16	0.351	336.28	19.746	1.445
61	0.5 m Derinlik	9.37	1809	2.488	89.93	305.24	4.628	605.48	0.348	339.62	20.393	1.457
62	Göl	9.46	1919	4.12	94.24	321.4	4.807	605.73	0.351	348.32	19.918	1.498
62	0.5 m Derinlik	9.4	2038	5.334	94.71	323.4	4.854	605.48	0.355	354.23	20.337	1.52
63	Göl	9.41	2009	2.52	82.79	280.84	4.205	605.73	0.346	351.04	20.938	1.508
63	0.5 m Derinlik	9.43	2039	3.086	90.48	307.76	4.602	605.73	0.347	353.86	20.581	1.522
64	Göl	9.44	2025	3.261	102	340.38	5.082	605.48	0.363	385.40	17.945	1.551
64	0.5 m Derinlik	9.45	1945	3.419	93.26	309.88	4.6	605.73	0.369	361.34	18.204	1.477
65	Göl	9.18	2075	2.521	82.79	280.83	4.205	605.48	0.346	351.04	20.938	1.508
65	0.5 m Derinlik	9.25	2145	3.086	90.48	307.75	4.602	605.24	0.347	353.86	20.581	1.522
66	Göl	9.42	2062	1.933	89.26	290.06	4.473	605.12	0.365	360.16	18.478	1.463
66	0.5 m Derinlik	9.4	2107	1.543	90.02	300.62	4.515	605.24	0.361	361.18	18.848	1.465

Tablo 3.3. Haziran (2015) dönemi fiziksel – kimyasal analiz sonuçları

Sıra	Örnek	pH	EC	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	F	NO ₃
a	No.			mg	mg	mg	mm	ppm	ppm	mg	mm	ppm
1	1	7.78	458	62.0528	22.3252	16.6007	0.407	328.06	21.2022	9.5802	0.0211	16.8813
2	2	7.84	345	35.176	15.9439	8.1495	0.2815	213.01	16.8246	2.6925	0.0235	14.7011
3	3	7.89	417	45.823	16.6265	10.751	0.4708	204.96	48.6142	7.05	0.0242	22.6674
4	4	7.83	357	40.8643	15.9391	10.0556	ölçülmed	232.53	13.6067	2.2722	0.0282	8.3051
5	5	7.63	563	72.8709	27.7468	19.3819	1.1398	345.02	18.7498	20.9872	0.0294	15.6846
6	6	7.89	378	49.7299	16.867	15.1275	0.3811	243.15	12.6624	2.1294	ölçülmed	12.575
7	7	7.82	399	59.5849	17.8454	8.9773	0.3008	247.17	16.1134	3.8605	ölçülmed	13.3346
8	8	7.28	467	64.3462	23.4282	14.2499	0.4712	298.66	19.6837	4.0048	0.0509	7.2052
9	9	7.61	1184	56.1121	29.7257	210.134	0.8537	518.26	30.794	185.890	0.0517	19.2889
10	10	7.83	461	60.873	19.2145	8.9923	0.4281	290.48	15.2689	3.4197	0.0527	3.4644
11	11	7.89	447	53.9936	21.147	13.5179	1.4505	272.79	20.0875	6.0105	0.0567	9.5109
12	13	7.63	511	67.6561	18.836	8.8159	0.3324	336.35	22.5671	3.8337	ölçülmed	10.6424
13	14	8.2	491	62.1478	28.5117	6.6101	0.3712	344.28	17.5863	4.2618	ölçülmed	3.493
14	15	7.55	784	86.7919	23.6362	39.3294	0.6794	406.38	11.4416	82.1723	0.0597	0.5983
15	16	7.72	455	63.6898	15.6619	12.5095	0.6049	285.48	16.5982	5.4102	0.0676	3.9137
16	17	7.76	576	46.372	44.9371	4.932	ölçülmed	390.77	16.5203	5.7333	0.0685	16.6821
17	18	7.79	312	37.9106	13.3423	3.5715	ölçülmed	214.48	10.9488	1.8816	0.0688	5.3579
18	19	8.19	288	45.6146	7.6664	2.3529	0.285	191.17	10.4922	1.2822	0.0711	5.6783
19	20	7.62	424	63.3544	15.561	4.3567	0.4071	290.12	14.3468	2.0875	0.073	5.7107
20	21	7.41	529	76.1416	15.0475	4.3121	0.6895	344.41	18.2926	4.666	0.0752	14.3286
21	22	7.93	355	44.9961	12.3154	8.3059	0.5247	223.02	18.1961	2.3051	0.0762	1.3939
22	23	7.75	491	54.3146	14.7341	23.4004	0.5959	305.12	ölçülme	18.6909	0.0776	13.5754
23	24	7.05	593	64.0944	22.7089	5.4989	0.4675	407.24	22.8787	2.7717	0.0788	5.9387
24	25	7.72	386	45.8562	15.0628	6.6823	ölçülmed	273.65	23.6002	2.7226	ölçülmed	4.9835
25	26	8.33	205	19.8057	8.7841	3.9257	ölçülmed	121.76	9.633	1.2288	0.0794	3.2891
26	28	7.31	433	47.643	18.2427	5.7995	0.6229	234.73	41.1656	5.4527	0.0795	12.8155
27	29	8.43	348	34.8981	15.1295	3.4039	0.3853	218.26	29.9399	1.7297	0.0802	1.2914
28	30	7.91	201.8	23.6527	7.2228	3.9404	2.2851	125.29	11.0366	1.6896	0.0815	3.8427
29	31	7.84	232	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	1.3916	ölçülmed	ölçülme	ölçülme	ölçülmed	ölçülmed
30	32	8.02	484	69.3677	17.5148	7.3003	1.3916	273.04	38.7606	3.9806	0.0827	8.3663
31	33	7.84	218.3	24.7546	8.1983	5.3028	ölçülmed	176.9	6.9226	2.2371	0.0831	4.2617
32	34	8.07	220	24.5724	9.0232	5.335	0.276	150.67	8.058	2.5429	0.0847	5.3916
33	35	8.25	241	39.7688	3.0229	0.8835	ölçülmed	187.39	8.4837	1.0722	0.0863	0.1393
34	36	7.98	412	37.1419	25.7717	1.7958	0.4837	395.89	17.7702	1.698	0.0871	3.1275
35	37	6.39	411	44.0293	17.4545	4.7804	0.399	259.01	22.0802	2.4858	0.089	3.2497
36	38	6.45	469	52.6055	21.0599	4.8636	0.4706	429.81	22.3156	2.4927	0.089	2.6172
37	39	6.91	499	59.9135	22.2201	5.0557	0.4266	427.12	20.5132	2.5225	0.0903	3.4633
38	40	7.09	729	94.3465	33.4779	8.908	0.4895	566.69	3.8266	2.6631	0.0936	5.3813
39	41	7.73	256	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	206.3	ölçülme	ölçülme	0.0942	ölçülmed
40	42	7.19	282	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	212.04	ölçülme	ölçülme	0.0945	ölçülmed
41	43	7.32	236	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	184.59	ölçülme	ölçülme	0.1031	ölçülmed
42	44	7.85	352	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	295.12	ölçülme	ölçülme	0.1043	ölçülmed
43	45	7.41	149	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	96.624	ölçülme	ölçülme	0.1046	ölçülmed
44	46	6.39	466	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	0	ölçülme	ölçülme	0.1076	ölçülmed
45	47	8.72	130	15.0748	5.1184	2.7665	ölçülmed	150.43	4.8478	1.0278	0.1088	0.8655
46	48	8.81	179.9	12.3701	9.9848	4.889	2.0169	186.17	11.3387	23.197	0.1145	0.4214
47	49	7.47	167	20.0545	6.072	2.6998	ölçülmed	99.064	4.611	0.8937	0.1222	2.0108
48	50	7.4	221	29.6178	7.3836	3.9905	ölçülmed	140.91	6.2565	1.0508	0.128	0.1322
49	51	8.29	187	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	ölçülme	ölçülme	0.1287	ölçülmed
50	52	8.58	247	21.6138	14.2102	6.3451	ölçülmed	298.41	5.4108	1.8437	0.1313	1.6281
51	53	7.48	763	76.9613	27.5255	44.4432	0.5001	397.6	31.6045	46.0464	ölçülmed	6.0423
52	54	7.43	288	29.3758	12.8842	7.826	ölçülmed	171.17	15.4086	3.0337	0.1422	0.8767
53	55	7.27	513	59.0432	20.8099	7.883	0.2923	285.85	25.641	11.018	0.1428	7.2213
54	56	7.9	344	29.7139	17.3835	10.4991	1.6004	212.77	12.6341	3.4448	ölçülmed	0.0568
55	57	7.77	452	44.1541	25.9848	5.1619	0.3623	282.19	12.3871	1.6931	0.1504	9.1428
56	58	7.85	408	43.1755	14.1023	8.795	0.3257	174.83	16.5885	15.2502	ölçülmed	35.2655
57	59	7.93	574	4.1833	77.4527	3.9551	0.3283	401.5	0.8792	17.4319	0.1516	ölçülmed
58	60	7.81	631	71.4961	285.709	27.7708	2.1071	1030.7	3.463	118.723	0.1624	0.3185
59	61	8.01	461	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	ölçülmed	268.4	ölçülme	ölçülme	0.1658	ölçülmed
60	62	8.13	344	38.709	13.4011	5.8574	0.3492	213.99	9.8742	1.8012	0.2189	2.7167

Tablo3.4. Eylül (2015) dönemi fiziksel – kimyasal analiz sonuçları

Sır No	Örne No:	pH	EC	C	Mg	Na	K	HCO	SO4	C	F	NO3
1	1	8.09	576	76.2498	16.0411	10.948	0.4633	183.85	15.6321	54.7609	0.0925	11.3562
2	2	7.89	513	70.9495	19.581	8.6453	0.355	239.85	17.1933	3.5055	0.0731	6.4706
3	3	7.16	475	73.864	18.467	5.3588	0.4576	223.38	14.6835	2.1844	0.0861	5.4755
4	4	7.16	257	30.8129	10.0271	2.583	0.5195	116.27	7.6903	1.1138	0.0793	0.3617
5	5	6.99	266	42.2118	8.2013	4.7336	0.3491	154.94	9.4322	2.5818	0.1356	3.7227
6	6	7.74	492	70.3545	19.3257	6.0841	1.5132	302.68	20.4817	5.7297	0.0793	8.9784
7	7	7.1	310	44.1282	7.277	3.811	0.4526	129.93	10.7447	2.4839	0.0817	15.1407
8	8	7.6	203.4	25.3923	7.2137	3.4623	ölçlmd	129.32	4.0856	1.0412	0.0983	0.1738
9	9	6.98	284	ölçülmed	11.007	35.671	0.5601	121.88	77.5817	17.3875	0.328	0.0871
10	10	7.8	202.4	21.6597	9.6822	4.203	ölçlmd	84.912	9.2438	1.1464	0.0966	2.8638
11	11	7.4	238	44.104	3.3723	1.179	ölçlmd	109.92	8.7618	1.5535	0.0869	0.0502
12	13	7.21	385	57.3375	19.0699	5.5178	0.4792	148.96	27.1016	3.3683	0.1312	7.9354
13	14	7.35	357	38.1243	26.2948	1.8007	0.572	160.67	17.4954	1.1444	0.1057	1.749
14	15	8.02	507	55.9449	19.8542	15.052	0.4298	215.21	19.7889	9.9572	0.1572	16.137
15	16	7.45	189.7	25.4227	6.0105	2.5855	ölçlmd	127.49	3.3823	0.8752	0.0919	3.8692
16	17	7.94	520	63.6851	22.6733	17.076	0.446	301.71	17.5624	9.7194	0.1475	15.451
17	18	6.37	499	58.1692	22.2825	4.5102	0.4526	220.33	22.1397	2.4662	0.0702	2.8006
18	19	7.55	788	34.0267	94.3532	3.6257	0.5522	527.41	1.5525	25.2537	0.0698	7.1633
19	20	8.14	476	59.7043	15.251	14.870	0.5914	223.87	11.639	5.3575	0.0867	4.285
20	21	8.09	361	42.1921	16.3739	10.408	ölçlmd	167.02	11.3588	2.0462	0.133	7.1101
21	22	7.27	281	35.2688	10.567	5.3506	2.2366	168.48	10.8016	2.3479	0.0792	3.1577
22	23	8.23	389	48.4312	16.2686	13.325	0.414	175.56	12.6163	2.6245	0.1152	12.7434
23	24	7.7	893	114.854	46.5876	12.320	0.3622	456.77	11.6319	17.6398	0.1512	0.486
24	25	6.96	383	46.2511	17.7576	6.6534	0.5663	156.4	31.1319	3.4327	0.08	7.9683
25	26	8.04	207.2	17.8983	6.065	20.115	0.2709	127.73	6.4432	3.4879	0.0574	1.0601
26	28	8.04	469	66.0317	16.2624	12.591	0.7913	225.46	16.2844	5.3852	0.0867	4.3217
27	29	7.01	517	90.8316	18.2405	5.7482	0.848	233.63	21.1571	4.6527	0.0755	13.3123
28	30	7.59	433	41.5615	25.5232	5.5788	0.3363	279.87	11.671	1.6686	0.0557	6.7585
29	31	7.27	520	68.1795	22.9007	8.4461	0.3157	303.29	20.9716	10.8617	0.0609	6.9924
30	32	7.04	340	37.1249	14.7996	5.1004	0.5662	146.89	27.6882	3.1949	0.1035	1.1912
31	33	7.51	182.9	22.4314	8.3708	4.4473	ölçlmd	117.73	6.9416	1.7417	0.058	1.9041
32	34	7.28	187.6	29.848	3.3211	2.0048	0.4788	118.46	9.6644	2.8499	0.0594	0.2608
33	35	7.15	137.6	15.7455	5.0011	2.7903	ölçlmd	101.5	4.6423	1.081	0.063	2.237
34	36	7.83	364	46.1923	15.8578	4.3875	0.3269	167.14	11.5374	2.1238	0.0836	4.5361
35	37	7.2	603	69.831	32.5908	15.073	1.1206	402.23	16.815	2.0542	0.0833	ölçülmd
36	38	8.21	432	51.449	15.4778	7.5648	0.2955	189.47	14.3231	4.7786	0.1017	12.1822
37	39	6.29	486	57.2094	23.1279	4.4424	0.5195	227.9	19.9307	2.5625	0.1171	1.7632
38	40	7.01	420	55.1354	14.1406	5.9678	0.2518	176.05	19.0114	2.8257	0.1524	8.3295
39	41	7.71	493	57.4248	20.5884	12.069	0.4682	225.09	16.8284	3.7367	0.0673	7.5124
40	42	7.24	196	25.0701	7.1574	3.1373	0.8232	86.864	10.949	1.918	0.0687	3.4654
41	43	8.02	574	46.4222	42.1118	4.9712	ölçlmd	268.4	14.2851	5.3283	0.0628	9.6554
42	44	8.35	528	71.8144	26.6431	9.0795	0.8815	255.35	18.5824	5.2504	0.0772	3.0322
43	45	7.55	305	29.5482	12.9188	8.941	ölçlmd	165.92	14.1482	10.555	0.0367	0.5176
44	46	ölçlme	ölçlme	ölçülmedi	ölçülmed	ölçlme	ölçlmd	ölçlmd	ölçlmed	ölçülmedi	ölçlmed	ölçülmd
45	47	6.47	707	93.84	33.2	9.0361	0.4788	344.16	6.231	3.8702	0.0231	8.9744
46	48	6.93	294	48.4513	4.7603	3.2743	0.3021	179.1	5.9213	2.4519	0.0504	6.3412
47	49	6.68	513	63.2429	24.0968	6.7748	0.4349	337.7	14.2392	4.5573	0.0502	4.9658
48	50	7.63	563	72.8709	27.7468	19.381	1.1398	345.02	18.7498	20.9872	0.0597	15.6846
49	51	7.9	344	29.7139	17.3835	10.499	1.6004	212.77	12.6341	3.4448	0.0527	0.0568
50	52	7.19	256	27.2217	9.0788	5.6357	2.3651	107.85	7.8969	3.6938	0.0667	5.506
51	53	8.16	442	43.7801	15.7255	10.701	0.51	156.16	27.1641	8.977	0.1535	31.1992
52	54	7.25	210.3	24.4591	7.2763	4.7011	ölçlmd	92.964	8.1023	2.6554	0.0702	4.4957
53	55	8.08	436	47.1399	21.5072	9.9864	0.3862	183	17.595	3.8918	0.1322	15.3411
54	56	ölçlme	ölçlme	ölçülmedi	ölçülmed	ölçlme	ölçlmd	ölçlmd	ölçlmed	ölçülmedi	ölçlmed	ölçülmd
55	57	7.09	311	43.03	10.4371	5.4151	ölçlmd	205.94	6.9895	1.36	0.0894	1.0644
56	58	ölçlme	ölçlme	ölçülmedi	ölçülmed	ölçlme	ölçlmd	ölçlmd	ölçlmed	ölçülmedi	ölçlmed	ölçülmd
57	59	7.81	807	64.3913	25.718	77.771	0.8361	300	9.5157	74.5877	0.1391	0.2104
58	60	7.07	134.3	8.1914	8.6575	4.0073	ölçlmd	53.07	16.8314	0.8666	0.1514	1.1834
59	61	6.21	419	59.8391	23.6166	6.39	0.5304	178.85	27.2766	2.7286	0.0977	3.2484
60	62	7.17	391	47.2054	18.7734	6.7876	ölçlmd	172.51	20.0493	3.7534	0.0723	5.8509

Elektriksel iletkenlik bir suyun içerdği iyon miktarının göstergesidir. Suyun içerdği iyon miktarındaki artışa bağlı olarak elektriksel iletkenlik değeri artış gösterir (Çeliker, 2008).

İyi bir içme suyunun elektrik iletkenliği 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den az olmalıdır. Üst limit İHTASHY'a göre 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Sulama suyu sınıflaması açısından ise aşağıda Tablo 3.5'de olduğu gibi bir sınıflama söz konusudur (Kalkan ve Olgun, 1994).

Tablo3.5. Suların EC parametrelerinin sulama suyuna göre sınıflaması

0-250 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Çok iyi
250-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$	İyi
750-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Kullanılabilir.
2000-3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	İhtiyatla kullanılmalı
>3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	Zararlı kesinlikle

Analiz edilen suların elektriksel iletkenlikleri Eylül (2015) döneminde 130 - 1184 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında, Haziran (2015) döneminde 134 - 893 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Tüm su örnekleri sulama suyu açısından kullanılabilir olarak değerlendirilmiştir. 9 nolu su örneği hariç diğer su örnekleri içme suyu açısından uygun bulunmuştur.

PH hidrojen iyonu aktivitesinin negatif logaritmasını yada suda hidrojen iyonu bolluğunun hangi düzeyde olduğunu ifade eden temel bir parametredir. Suda bulunan kimyasal türler arasındaki ilişkinin belirlenmesinde büyük önem taşıdığından pH'ın mutlaka sahada ölçülmesi gerekmektedir(Şahinci, 1991). Yeraltı suları genel olarak pH < 7 olan asidik özelliğe sahip iken yerüstü suları pH < 8 olan bazik özellikteki sulardır (Örmeci, 2005). Şahinci (1991) tarafından yapılan pH'a göre sınıflandırma Tablo3.6'da verilmiştir.

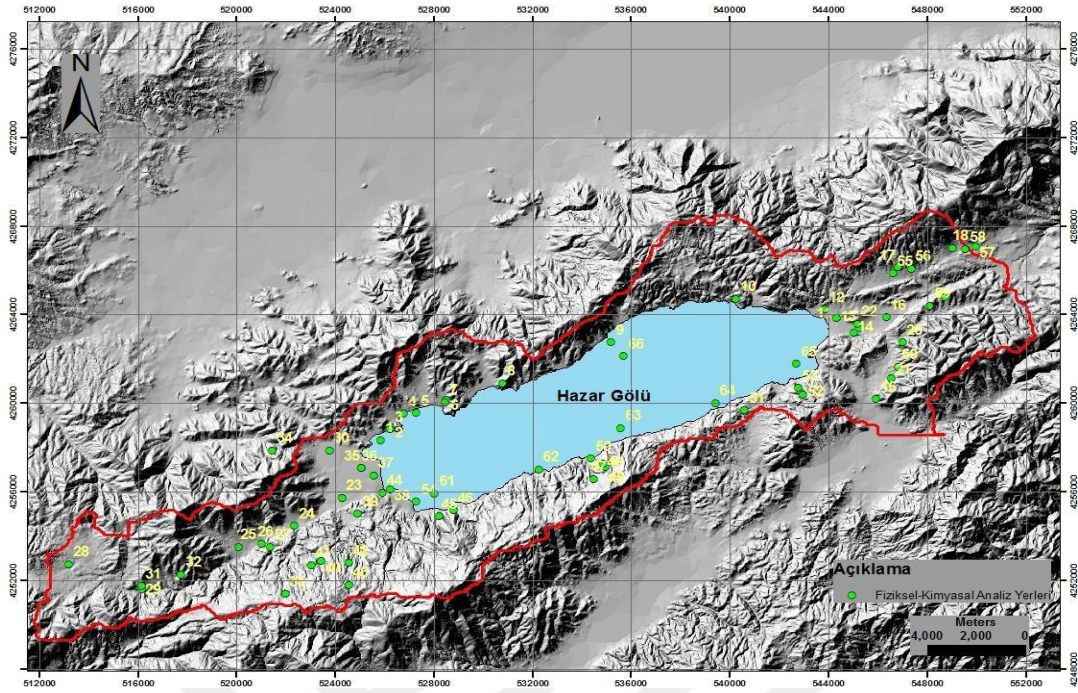
Tablo 3.6. Suların pH 'a göre sınıflandırılması.

p	Sınıfı
> 8,5 – 7	Bazik
7	Bazik
7 - 4.5	Nötr
< 4,5	Asit karakterli
	Asidik

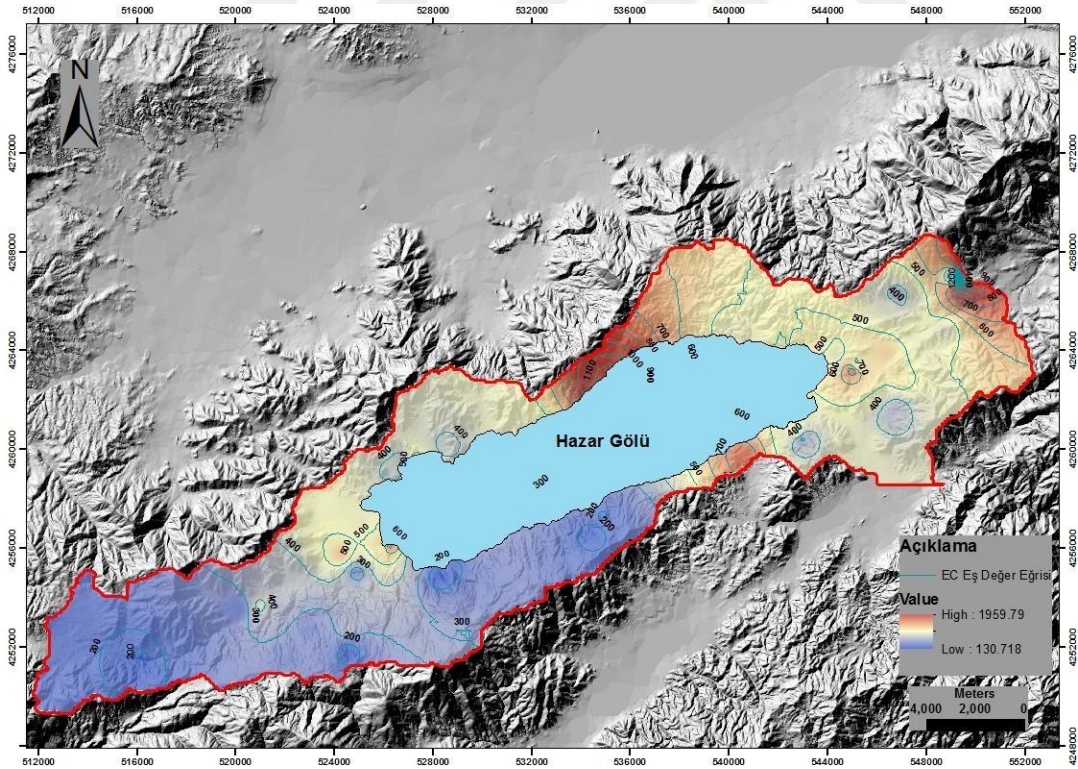
Haziran (2015) döneminde alınan su örneklerinde pH 6.39 – 8.81 aralığında, Eylül(2015) döneminde alınan su örneklerinde pH 6.21 – 8.35 aralığında ölçülmüştür. Ölçümü yapılan suların genelde nötr ve bazik özelliklerde olduğu görülmüştür. 37, 38, 39 ve

40 nolu örnek sularının asidik karakterde olduğu ve pH parametresi açısından içme suyu standartlarına uygun olmadığı tespit edilmiştir.

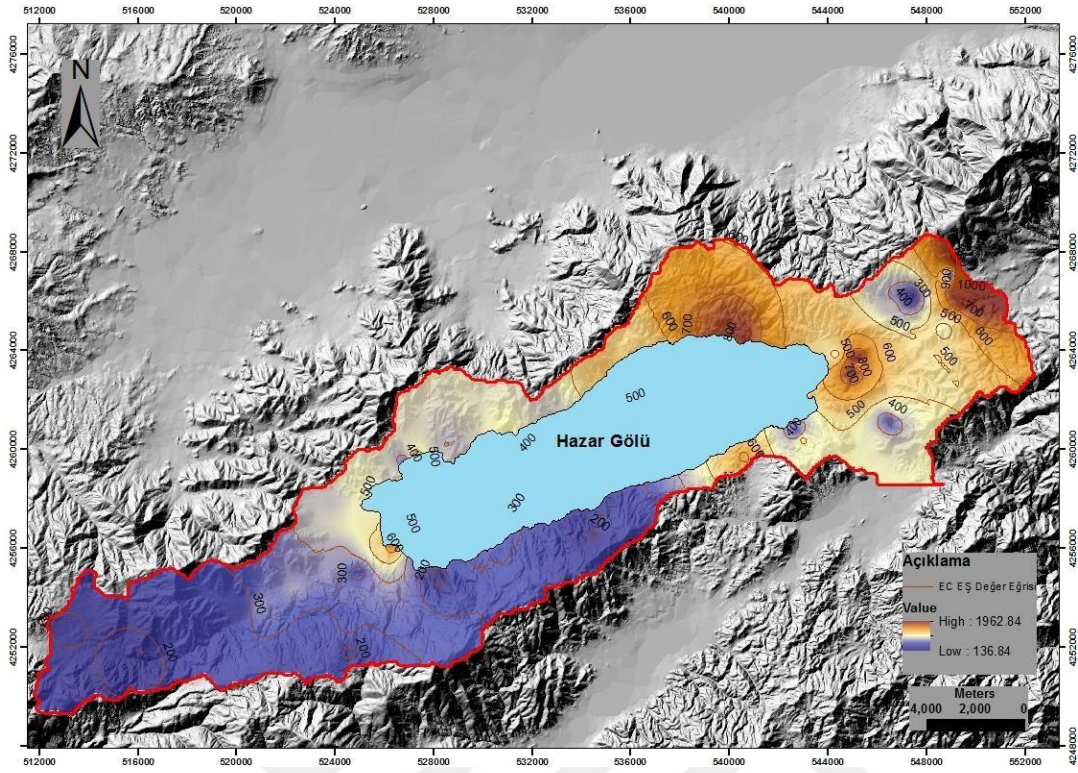
Çalışma alanından alınan suların Ca^{2+} , Mg^{+2} , N^+ Ve K^+ katyonlarının konsantrasyonları, Haziran (2015) döneminde sırasıyla 4.18 – 94.34 ppm, 3.02 – 285.70 ppm, 0.88 – 210.13 ppm ve 0.27 – 2.28 ppm aralığında, Eylül (2015) döneminde 8.19 – 114.85 ppm, 3.32 – 94.35 ppm, 1.17 – 77.77 ppm ve 0.25 – 2.36 ppm aralığında tespit edilmiştir. Suların HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- ve F^- anyonları Haziran (2015) döneminde sırasıyla 96.62 – 1030 ppm, 0.87 – 48.61, 0.89 – 185.89 ppm, 0.02 – 0.21 ppm aralığında, Eylül (2015) döneminde konsantrasyonlar 53.07 – 527.40 ppm, 1.55 – 77.58 ppm, 0.86 – 74.58 ppm, 0.02 – 0.32 ppm aralığında ölçülmüştür (Tablo 3.8 ve Tablo 3.9). Haziran (2015) ve Eylül (2015) dönemlerinde alınan su örneklerinde iyonu İTASHY (200 ppm) tarafından belirlenen üst sınırında altında ölçülmüştür. Mg^{+2} katyonu, Haziran (2015) döneminde 59 ve 60 nolu örneklerinde, Eylül (2015) döneminde 59 nolu su örneğinde İTASHY (50 ppm) tarafından belirlenen üst limitlerin üzerinde analiz edilmiştir. Na^+ iyon miktarının, Eylül (2015) döneminde 9 nolu örnekte İTASHY (200 ppm) ve WHO (200 ppm) tarafından önerilen üst değerin üzerinde olduğu görülmüştür. Cl^- ve SO_4^{2-} anyon konsantrasyonları İTASHY (250 ppm), EPA (250 ppm) ve WHO (250 ppm) tarafından belirlenen değerler arasındadır. Su örneklerinin katyon ve anyon analizleri mevsimsel değişimden etkilenmektedir (Tablo 1, Tablo 2). Önemli bir kirletici parametresi olan NO_3^- anyonu Haziran (2015) döneminde 0.05 – 35.26 ppm aralığında, Eylül (2015) döneminde 0.05 – 31.19 ppm aralığında ölçülmüştür. Ölçümü yapılan sularda İHTASY (50 ppm), EPA (44.3 ppm) ve WHO (50 ppm) standartlarına göre nitrat kirliliği saptanmamıştır.



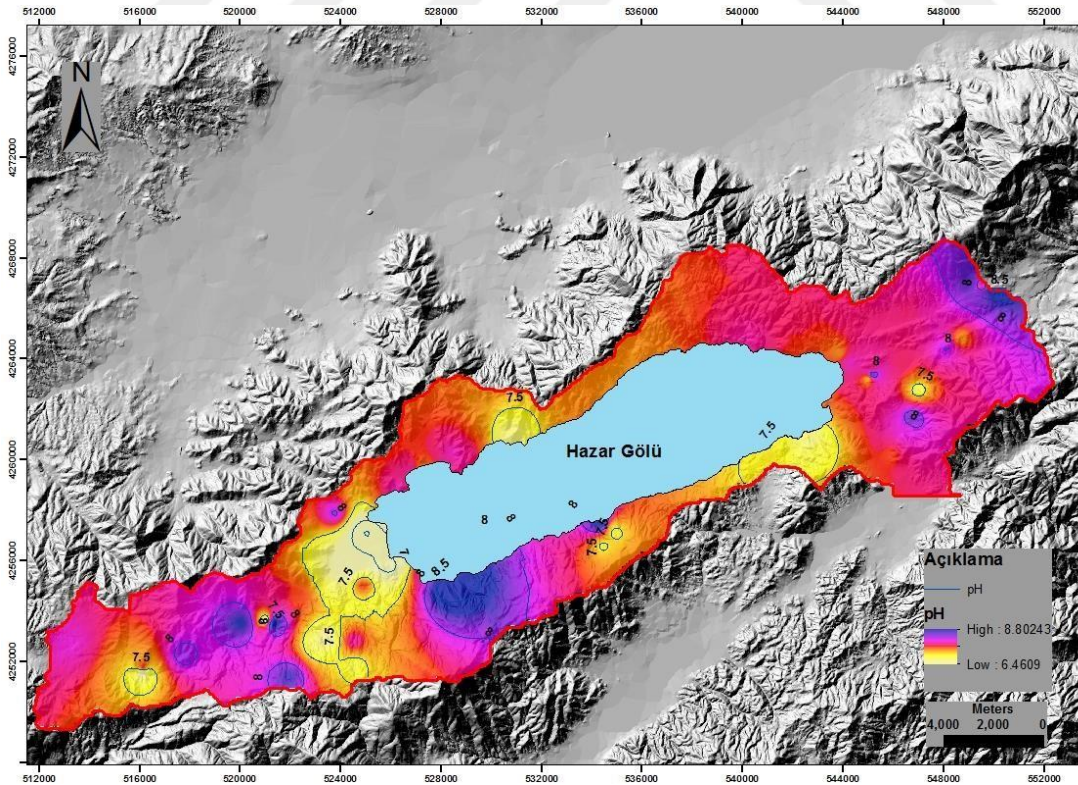
Şekil 3.4. Fiziksel-kimyasal analizler için alınan örnek yerleri



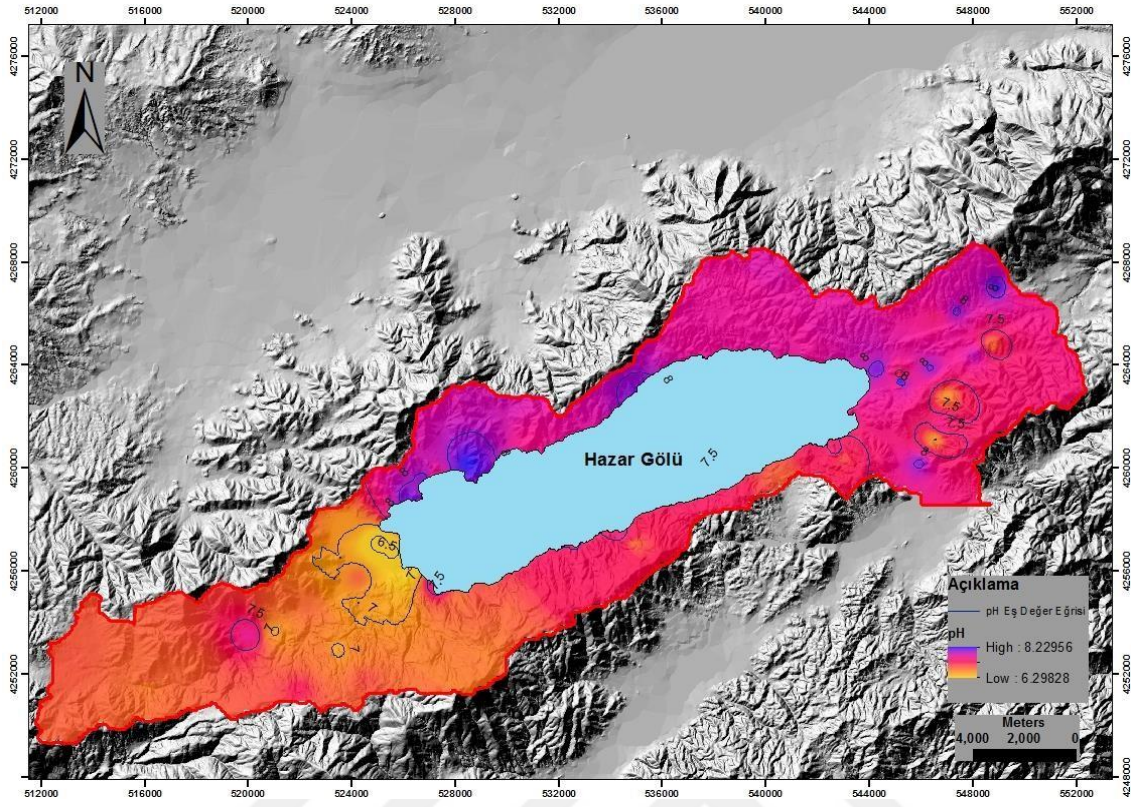
Şekil 3.5. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları EC eş dağılım haritası



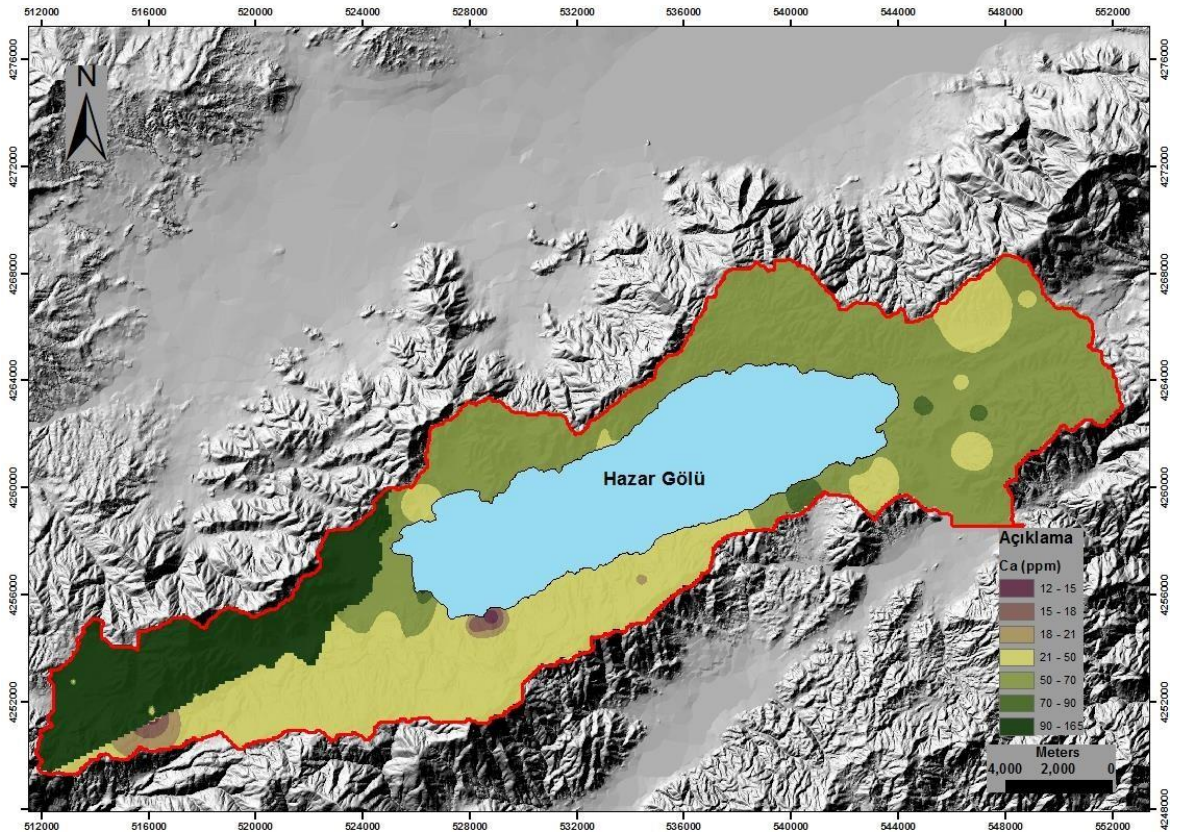
Şekil 3.6. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları EC eş dağılım haritası



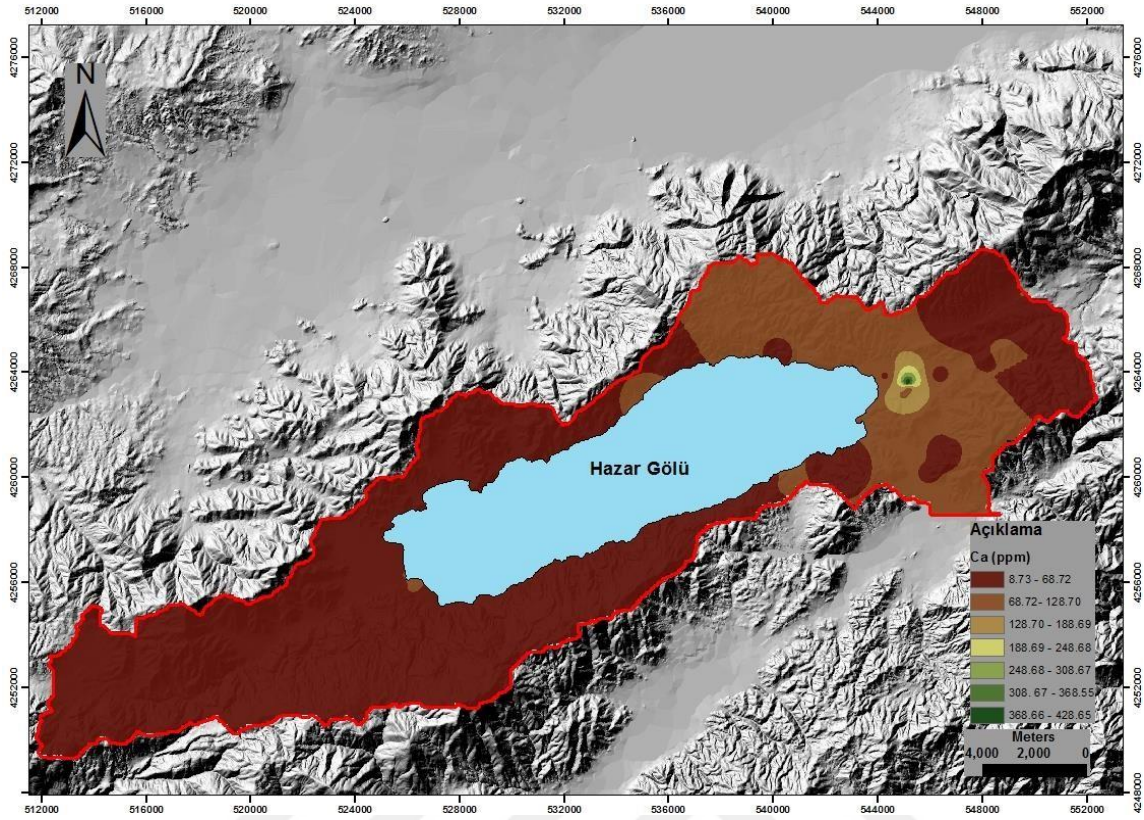
Şekil 3.7. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları pH eş dağılım haritası



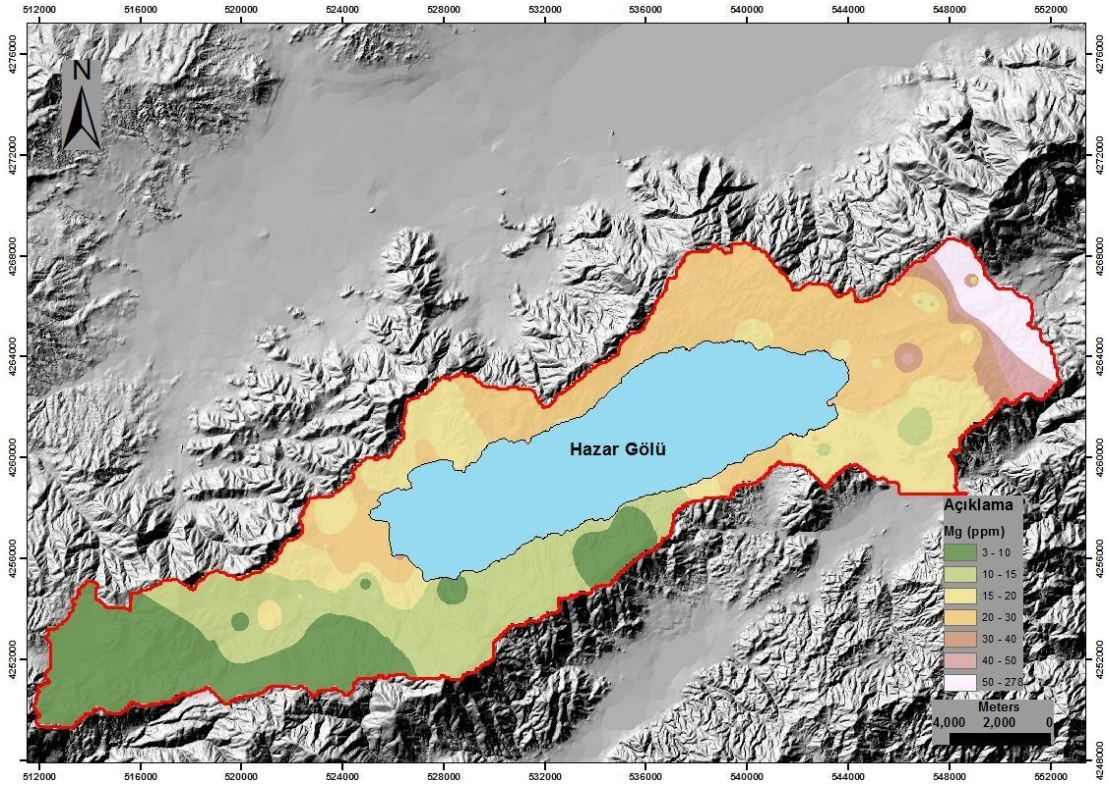
Şekil 3.8. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları pH eş dağılım haritası



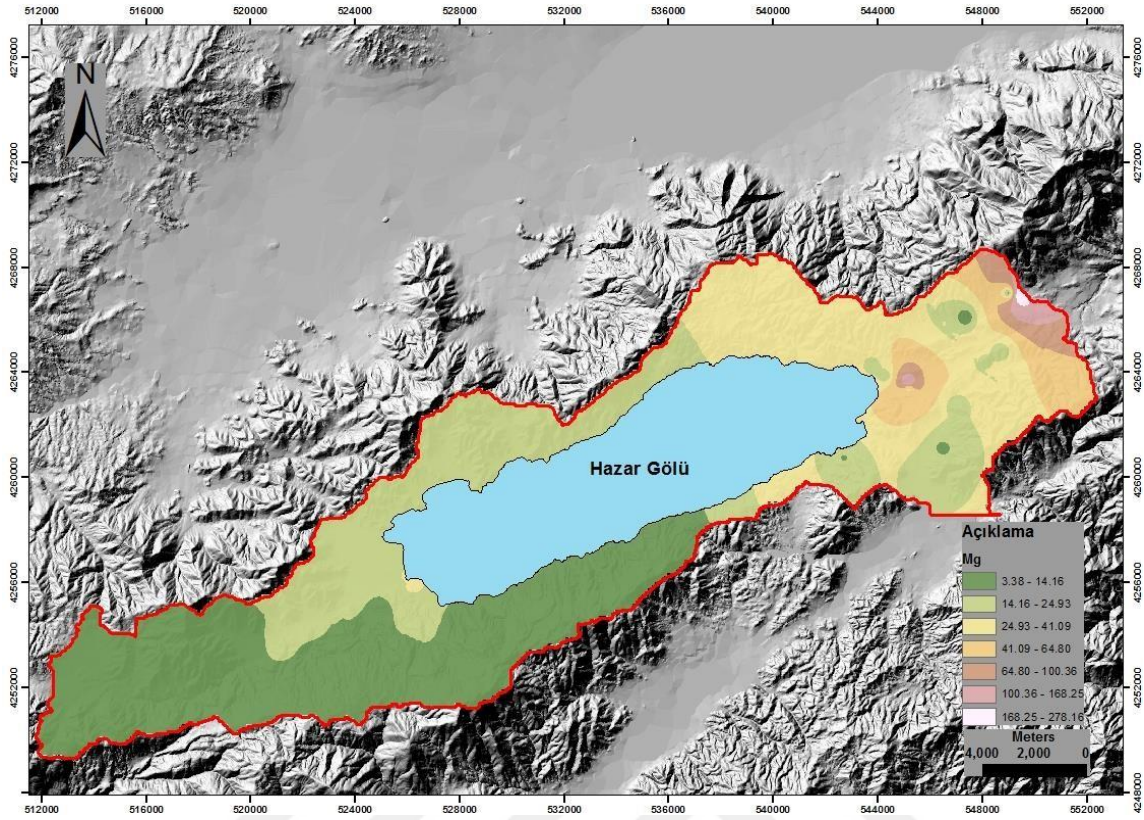
Şekil 3.9. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Ca eş dağılım haritası



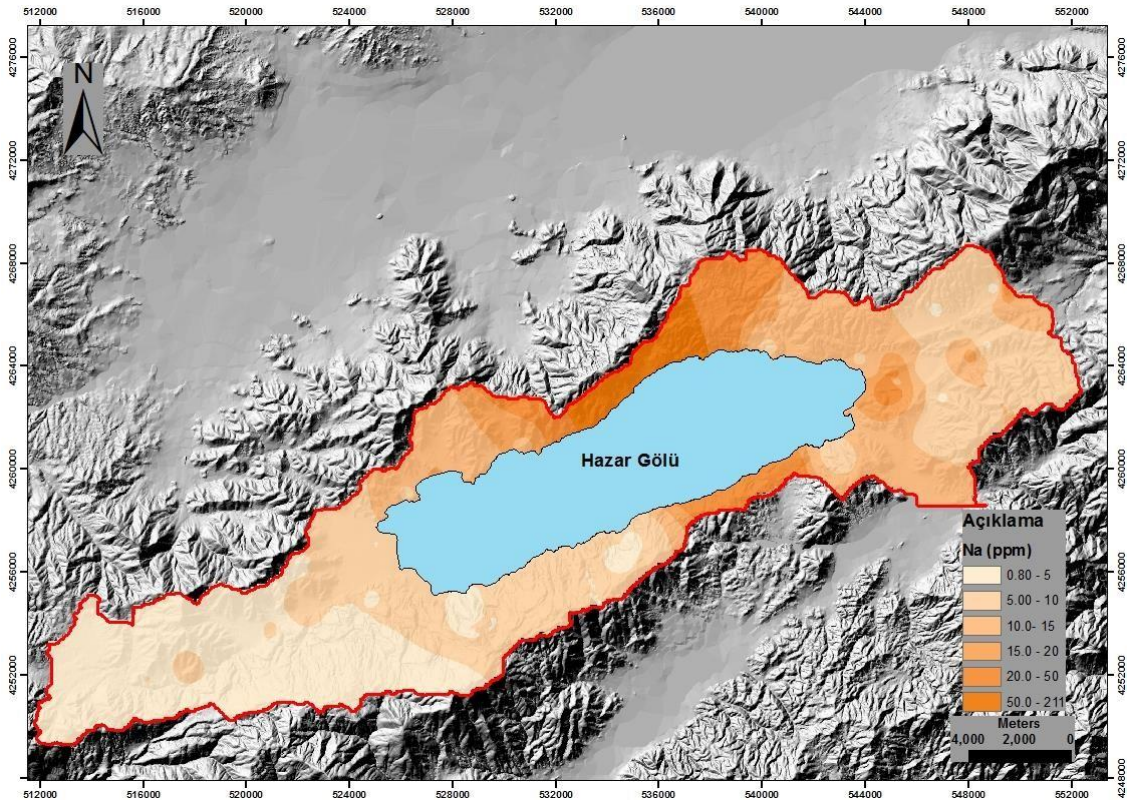
Şekil 3.10. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Ca eş dağılım haritası



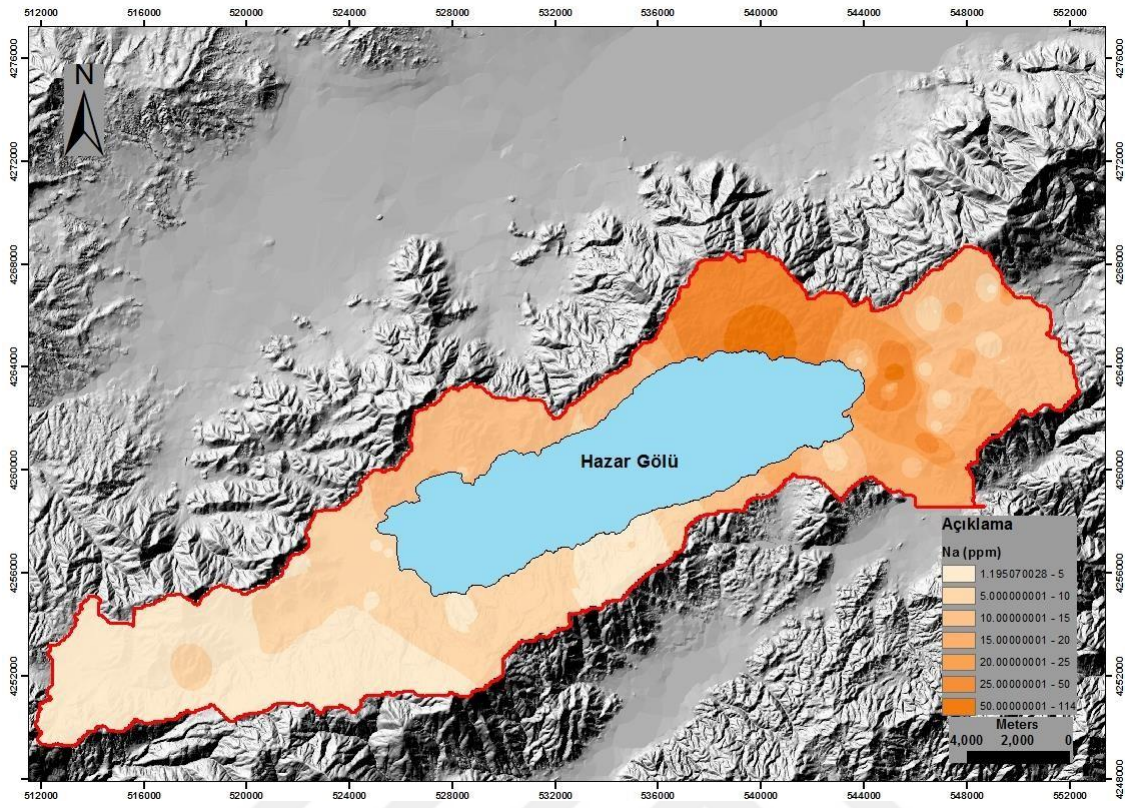
Şekil 3.11. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Mg eş dağılım haritası



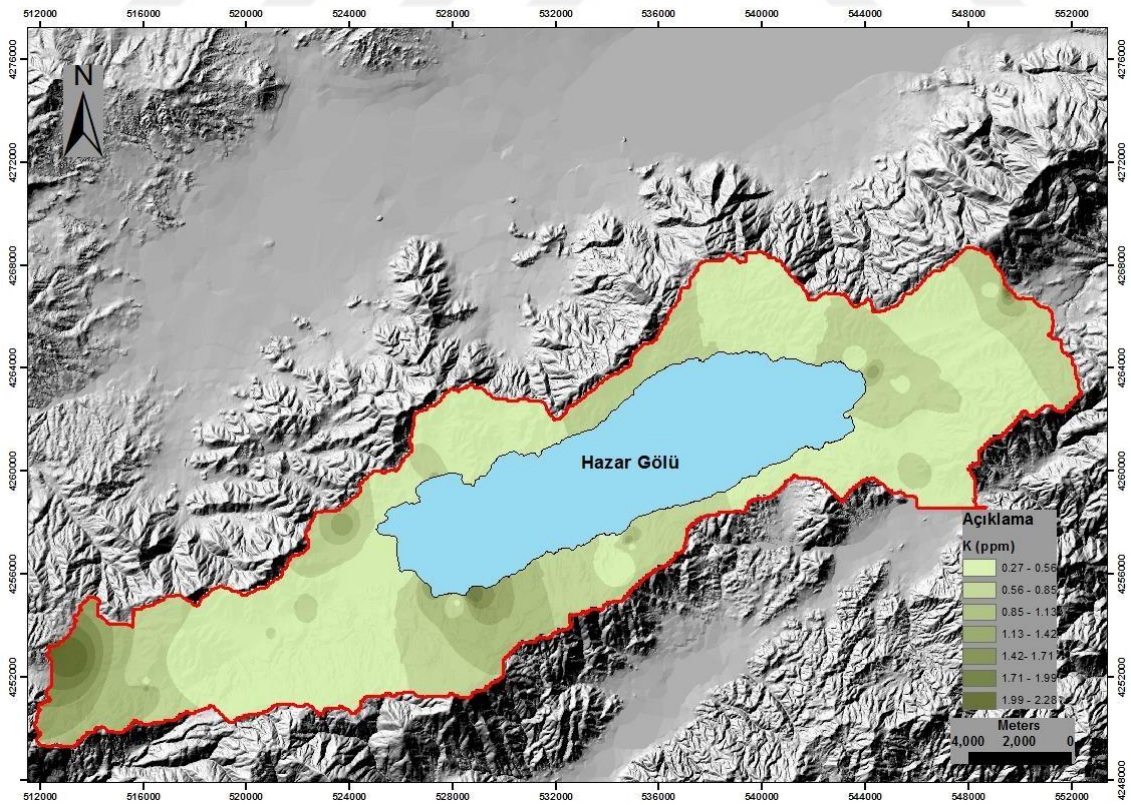
Şekil 3.12. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Mg eş dağılım haritası



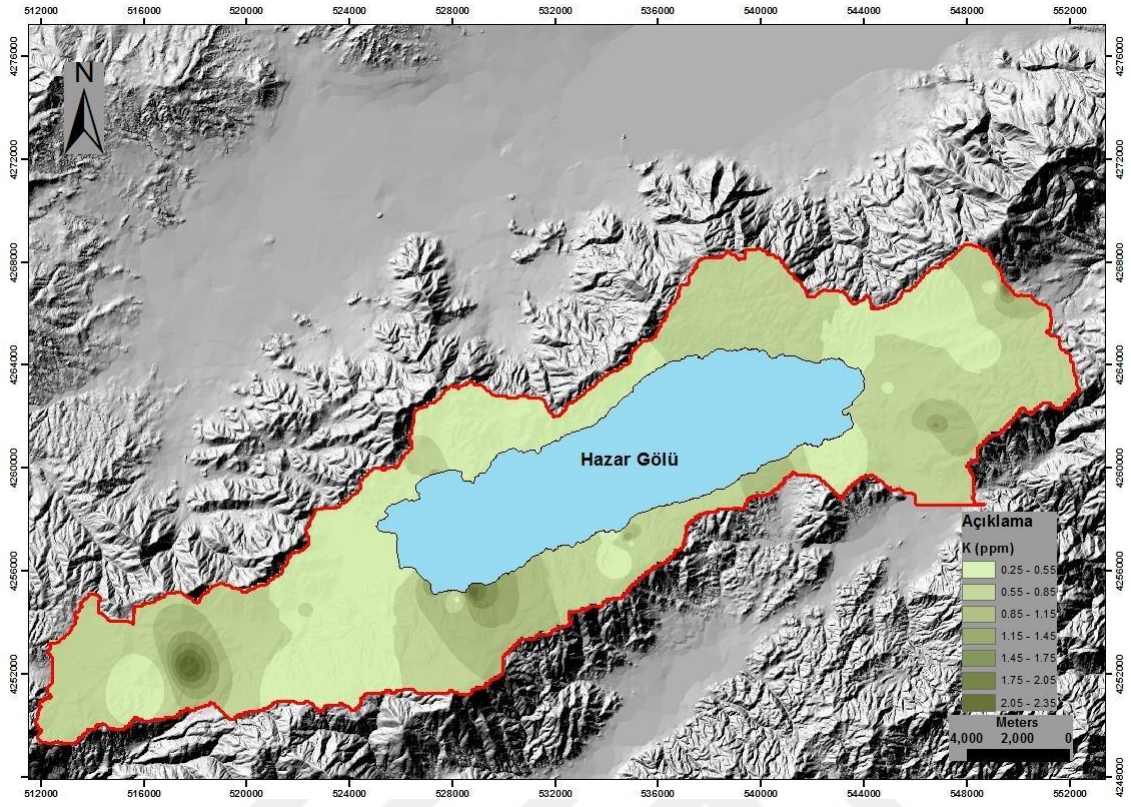
Şekil 3.13. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Na eş dağılım haritası



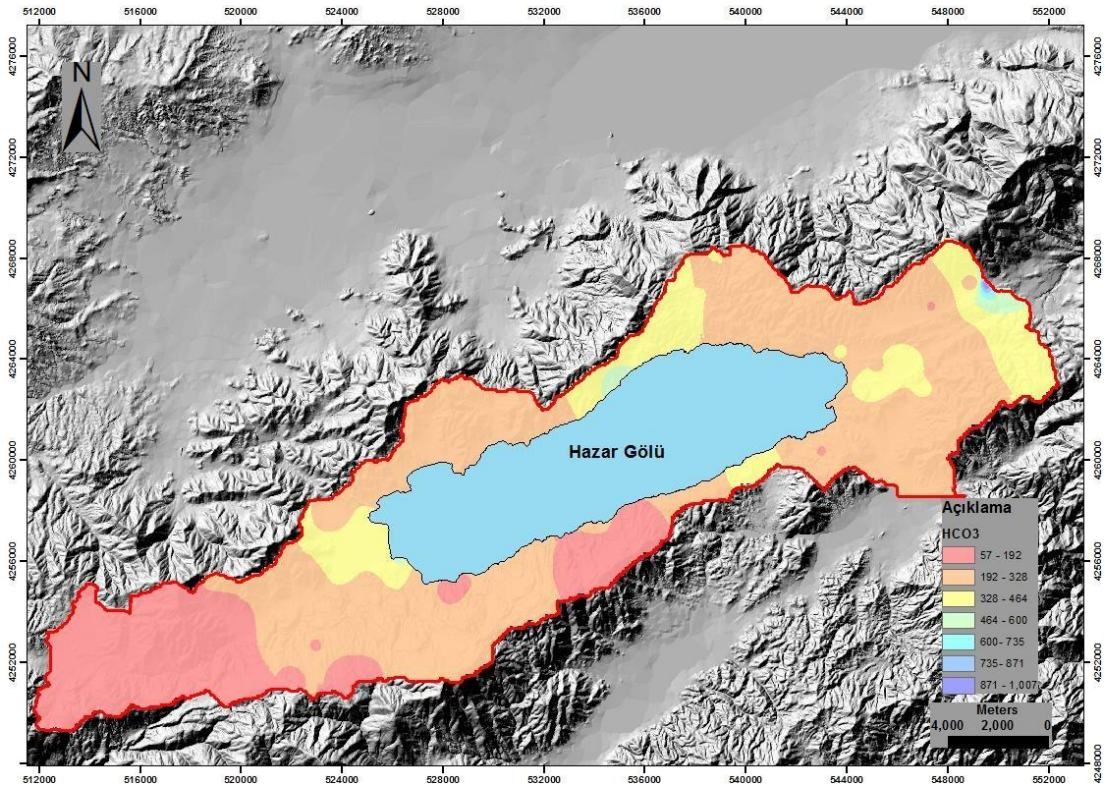
Şekil 3.14. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Na eş dağılım haritası



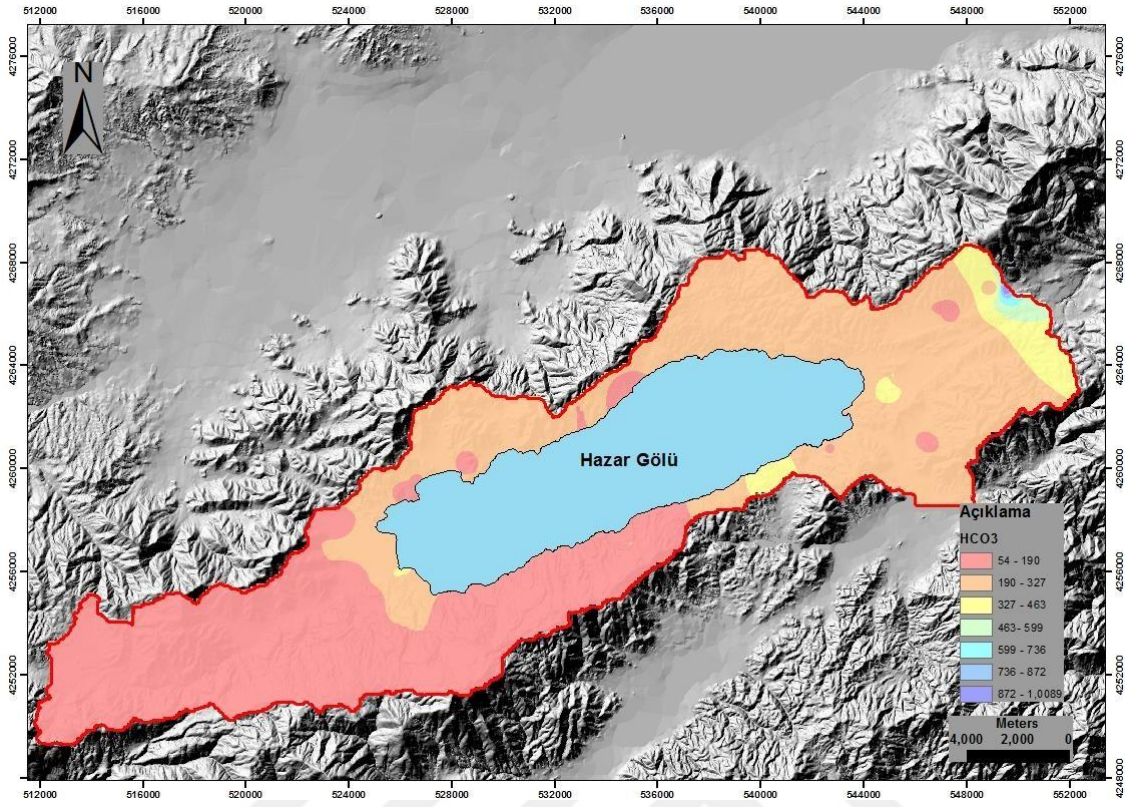
Şekil 3.15. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları K eş dağılım haritası



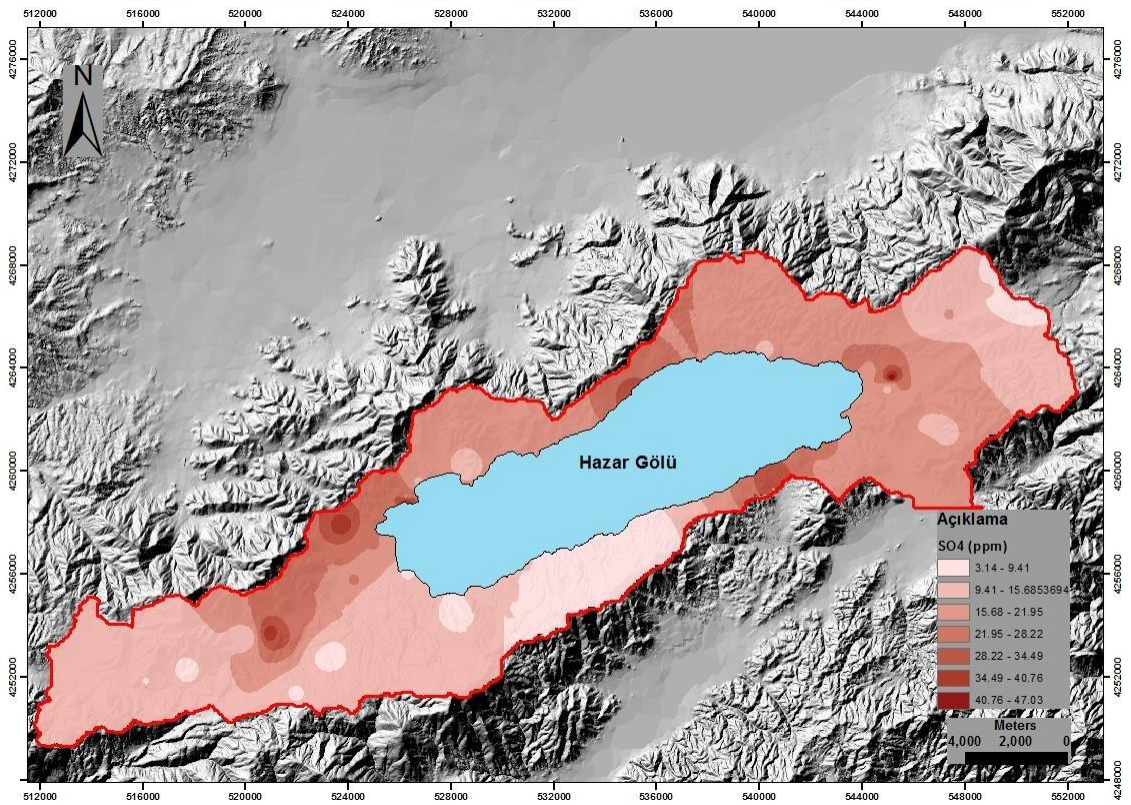
Şekil 3.16. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları K eş dağılım haritası



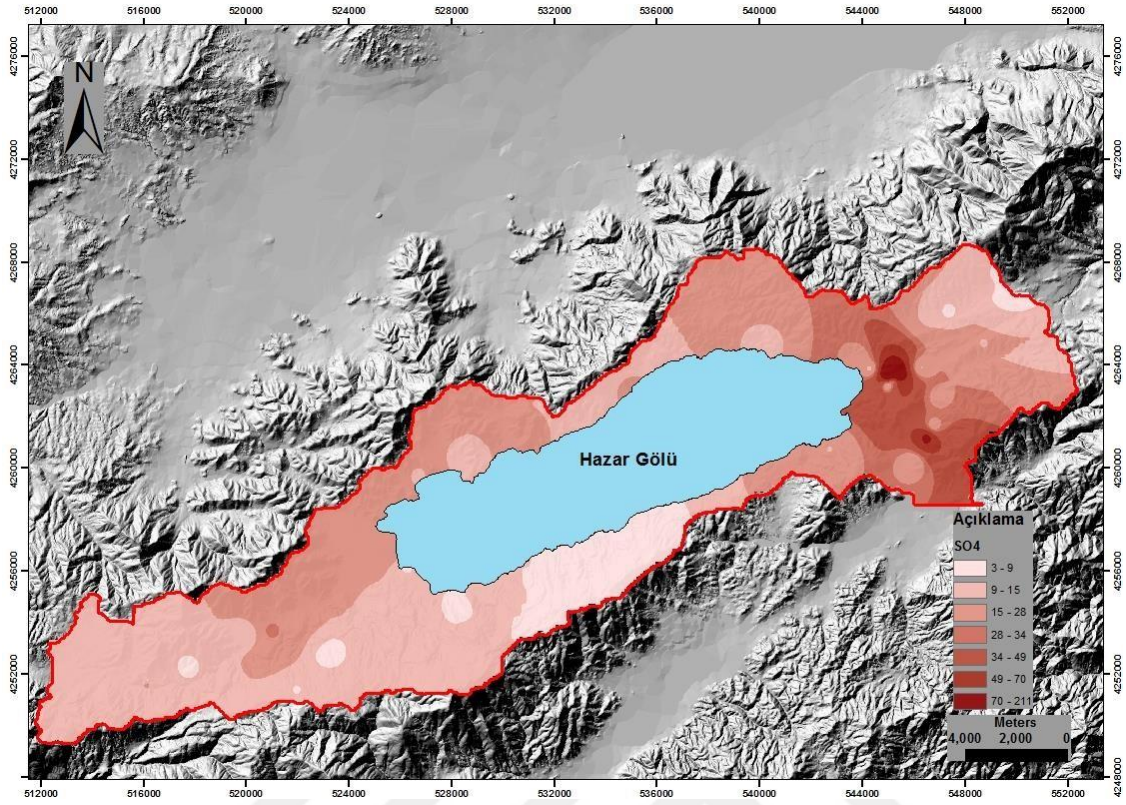
Şekil 3.17. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları HCO₃ eş dağılım harita



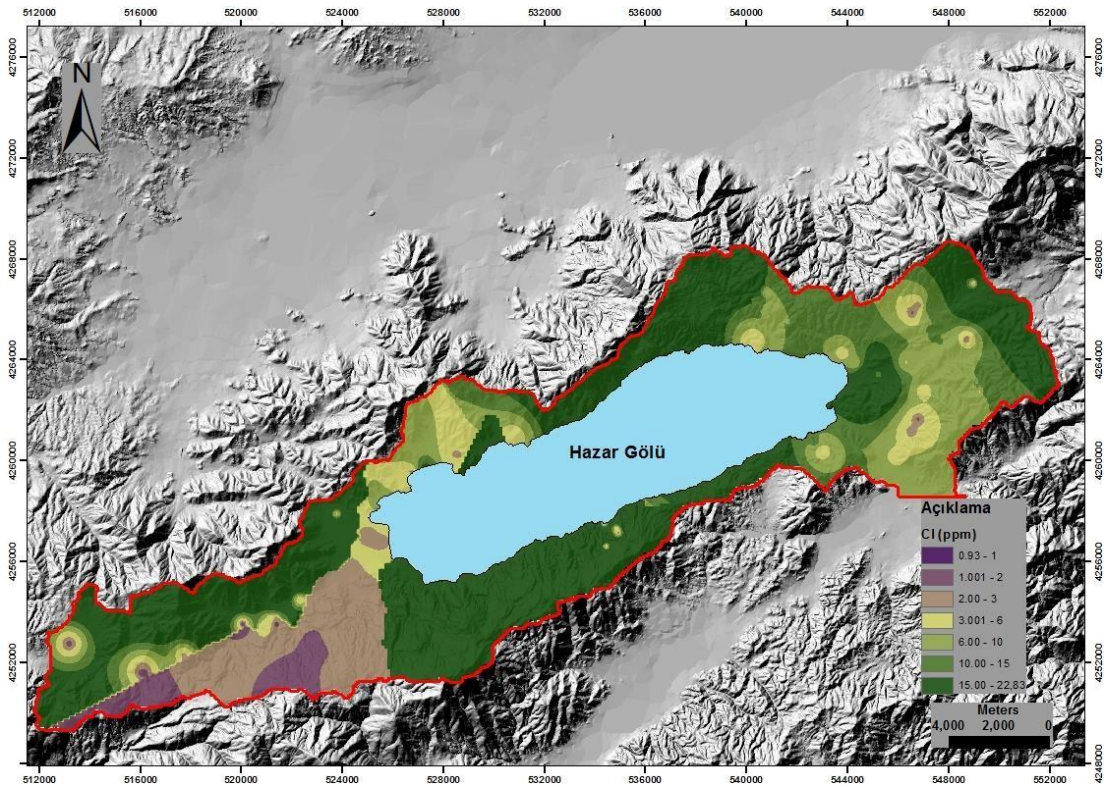
Şekil 3.18. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları HCO₃ eş dağılım haritası



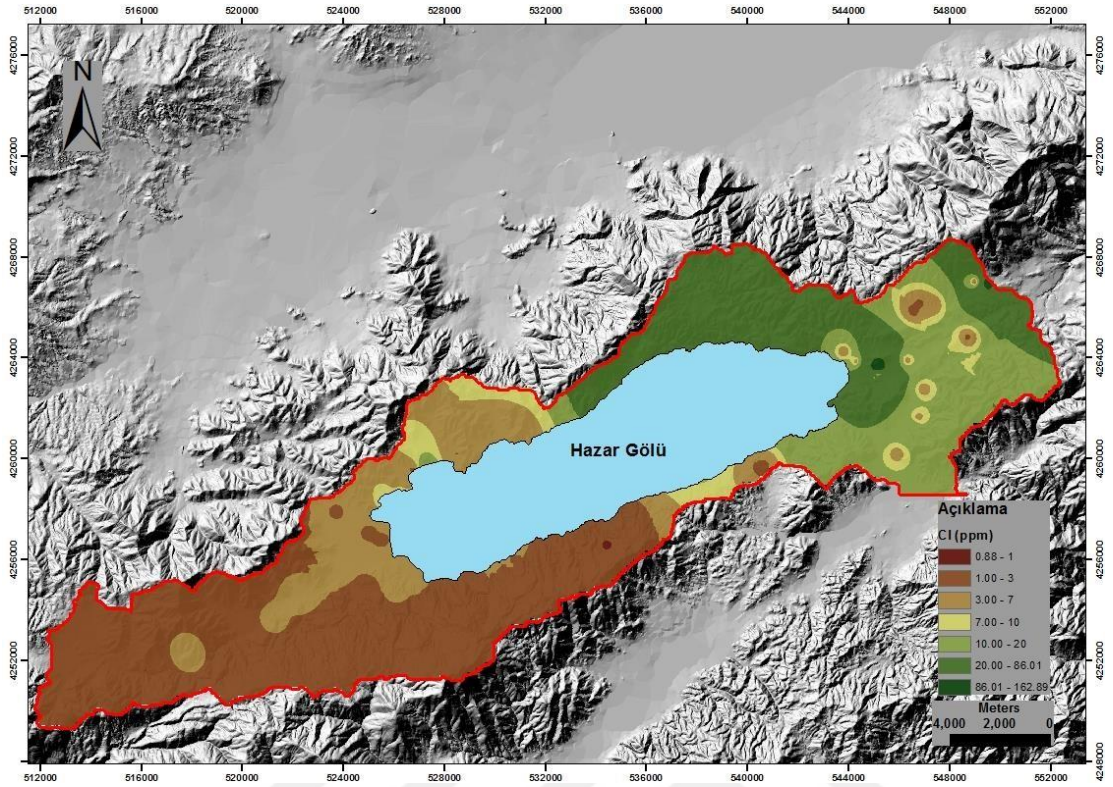
Şekil 3.19. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları SO₄ eş dağılım haritası



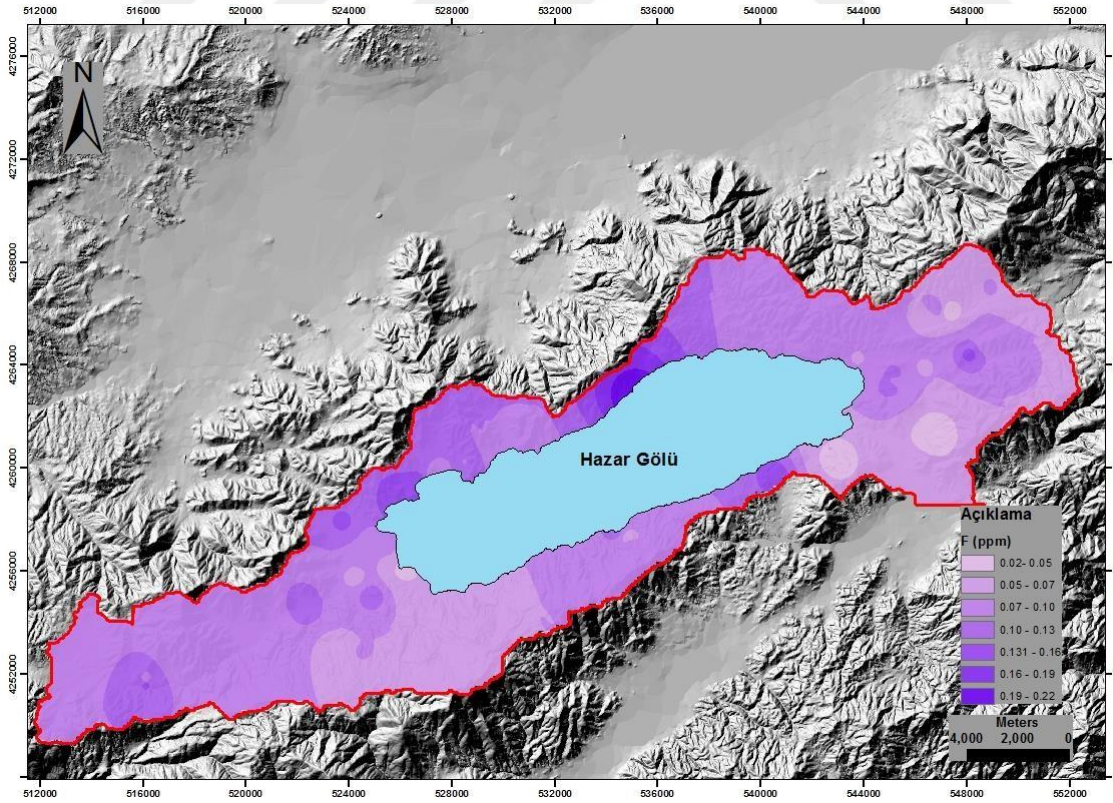
Şekil 3.20. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları SO_4 eş dağılım haritası



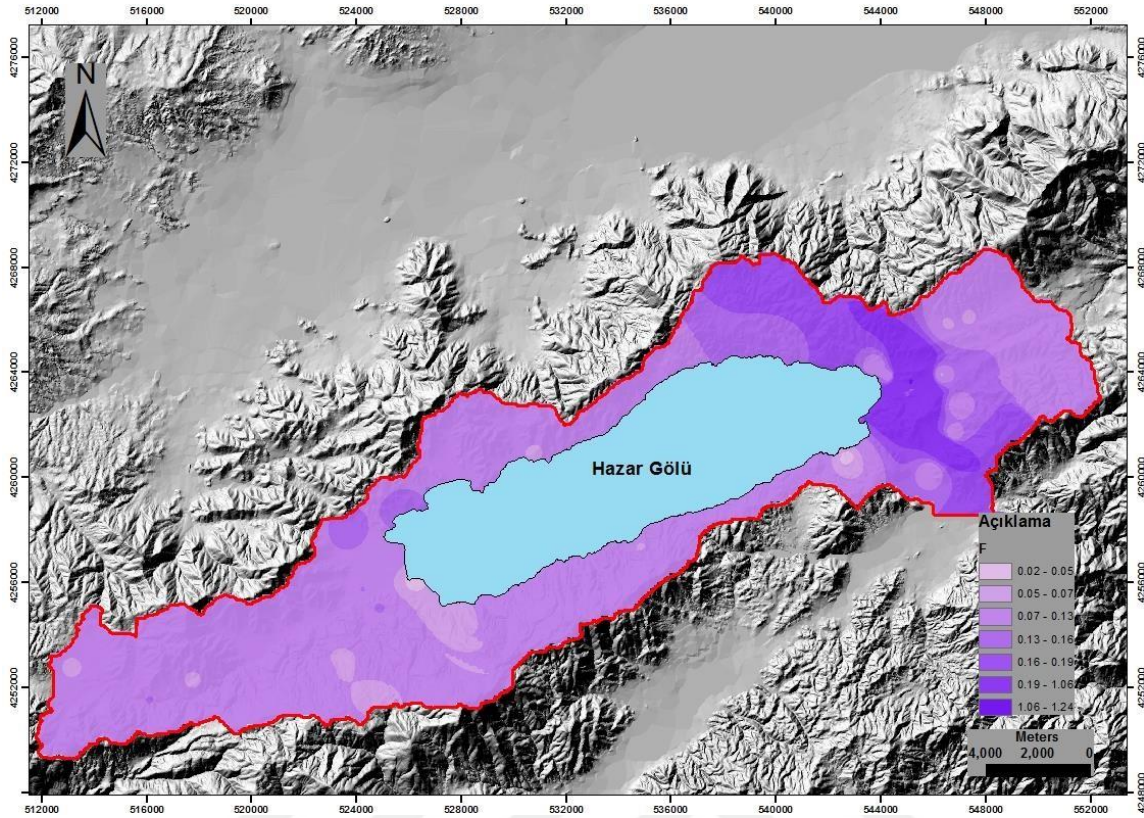
Şekil 3.21. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Cl eş dağılım haritası



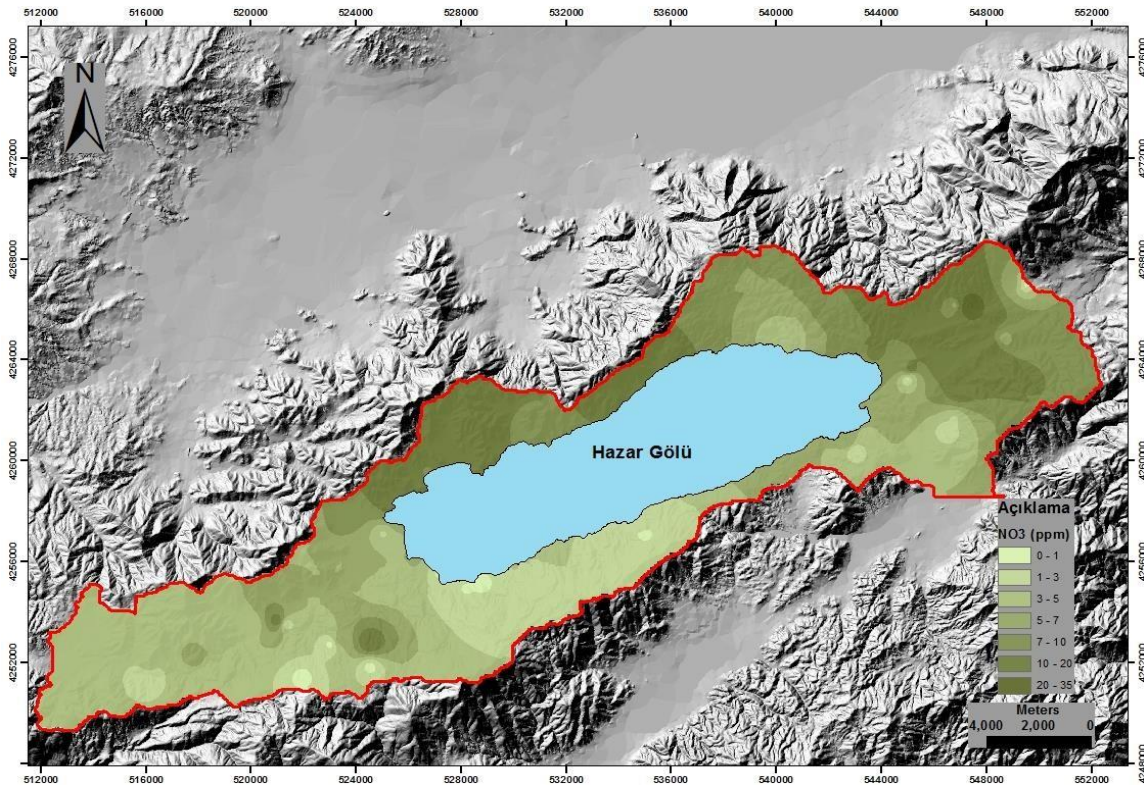
Şekil 3.22. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Cl eş dağılım haritası



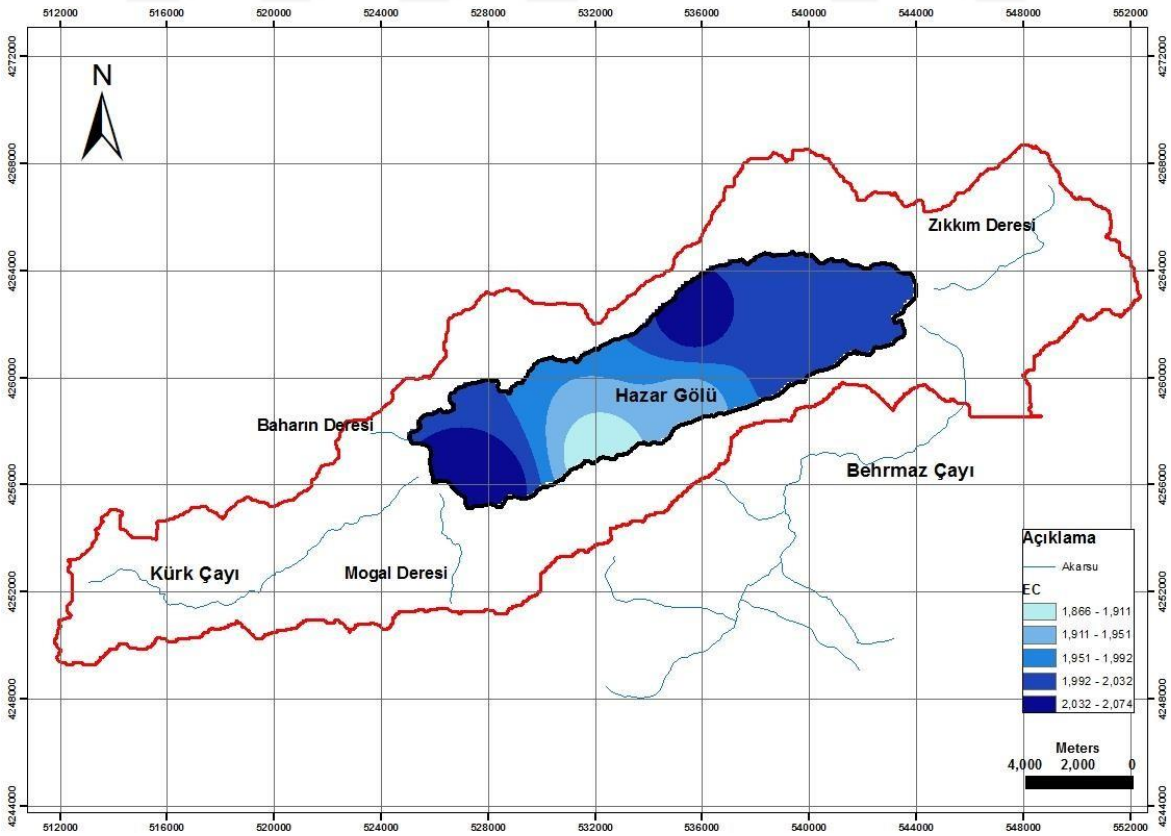
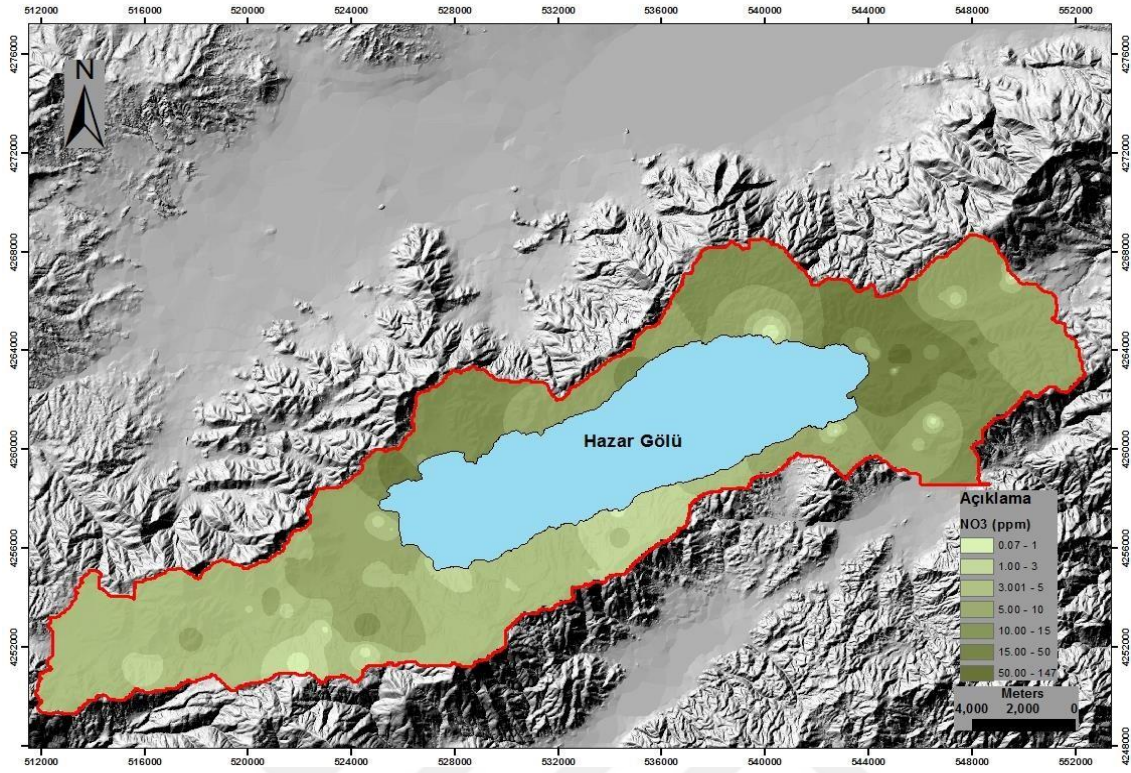
Şekil 3.23. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları F eş dağılım haritası

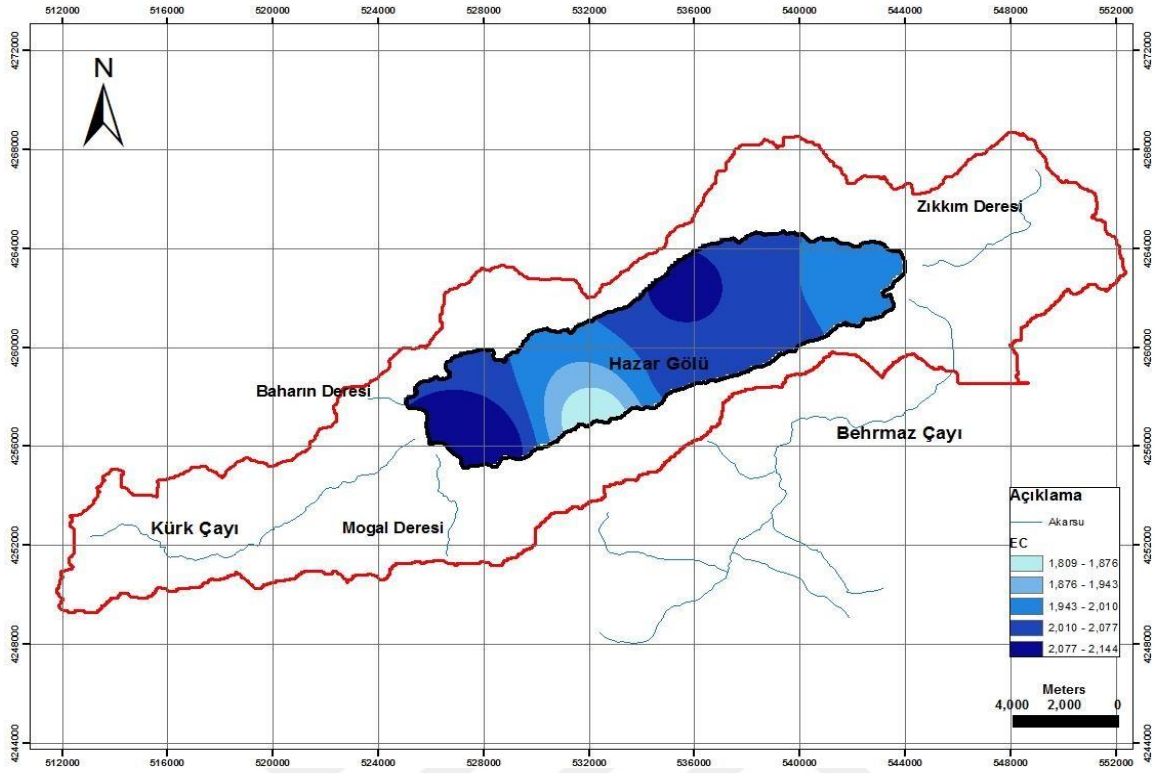


Şekil 3.24. Eylül (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları F eş dağılım haritası

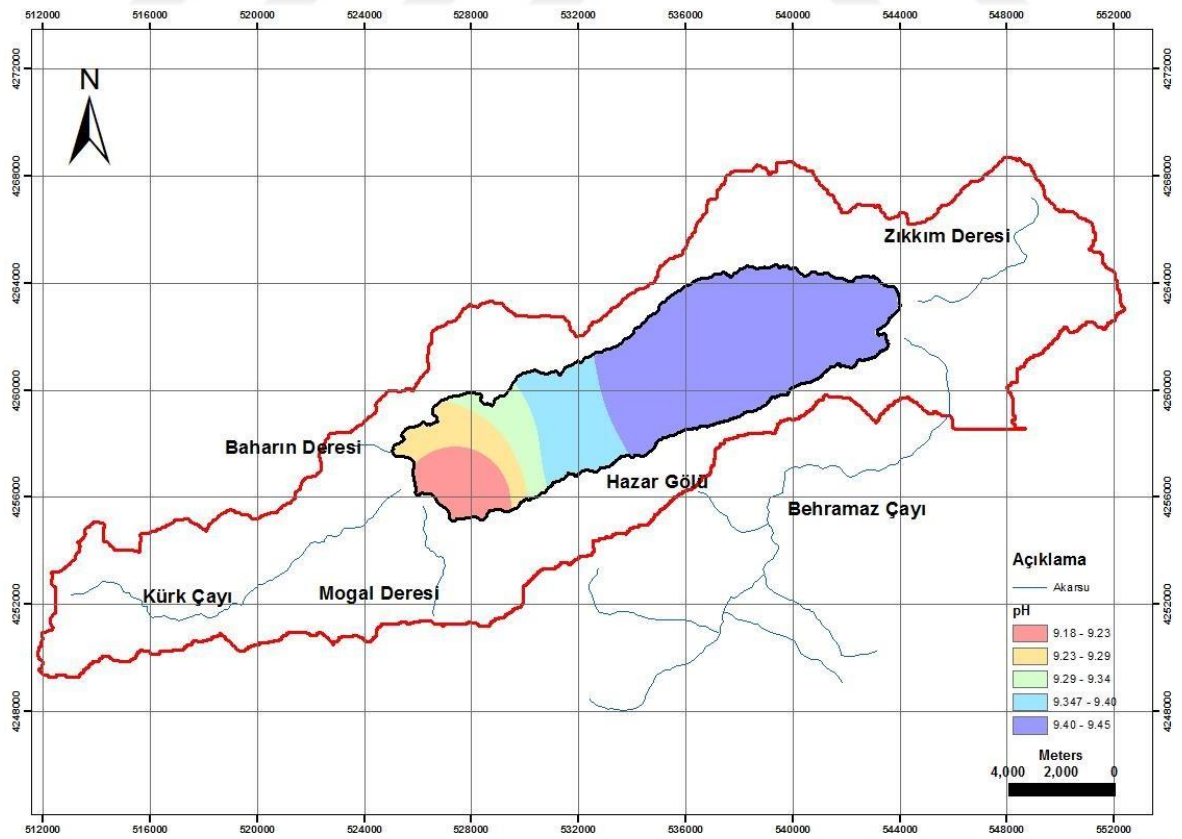


Şekil 3.25. Haziran (2015) Hazar Gölü Havzası yeraltı suları NO₃ eş dağılım haritası

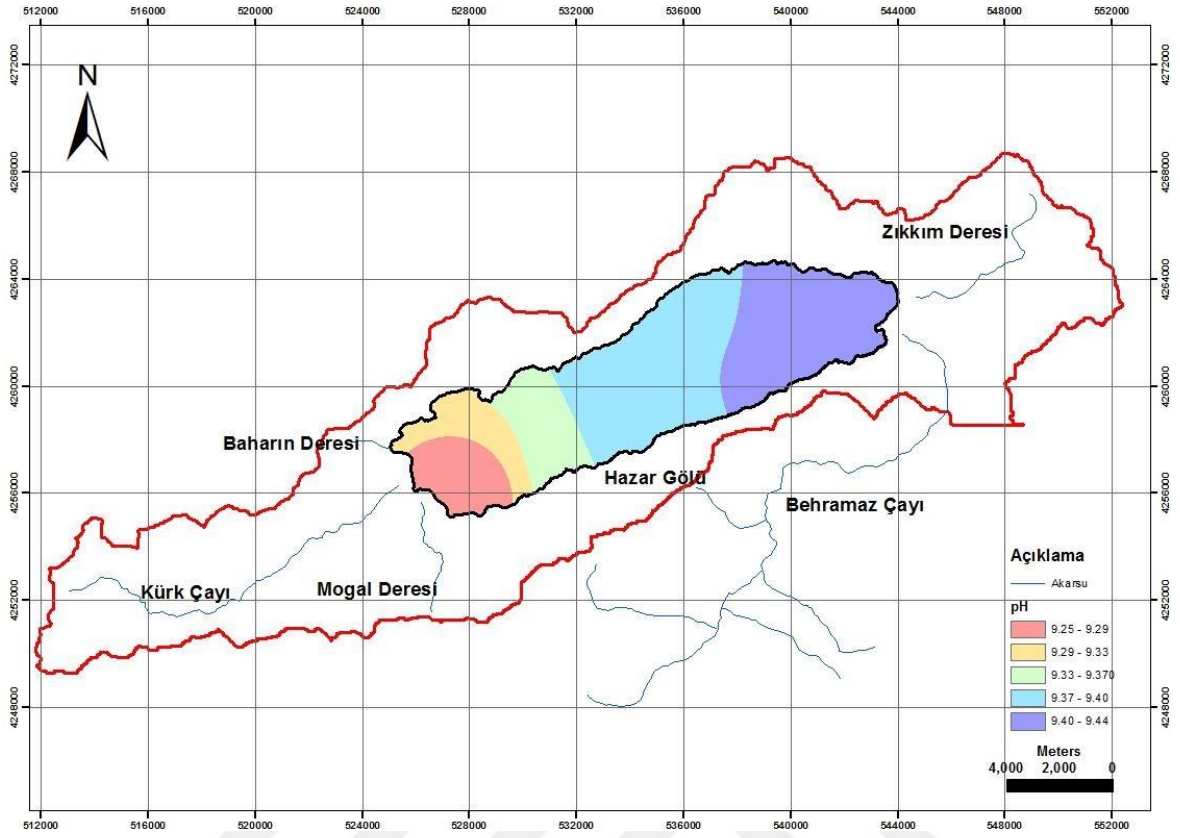




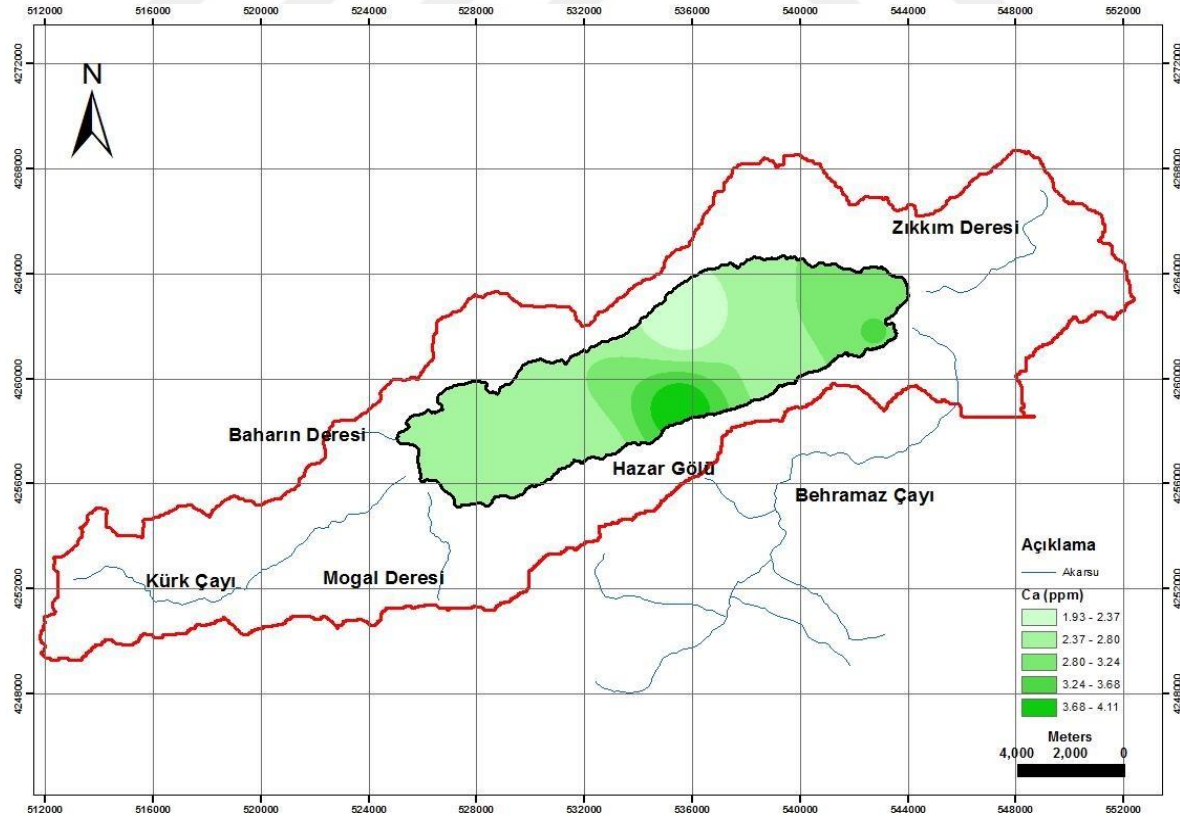
Şekil 3.28. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik EC eş dağılım haritası



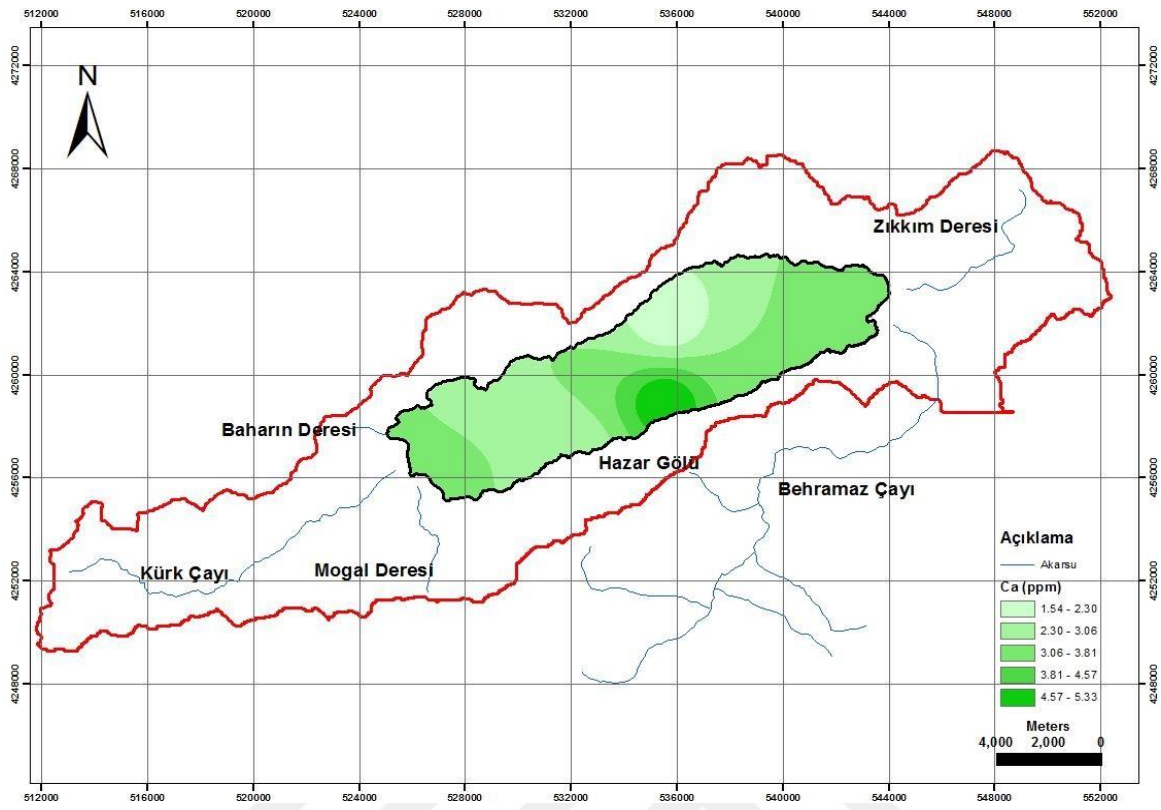
Şekil 3.29. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi pH eş dağılım haritası



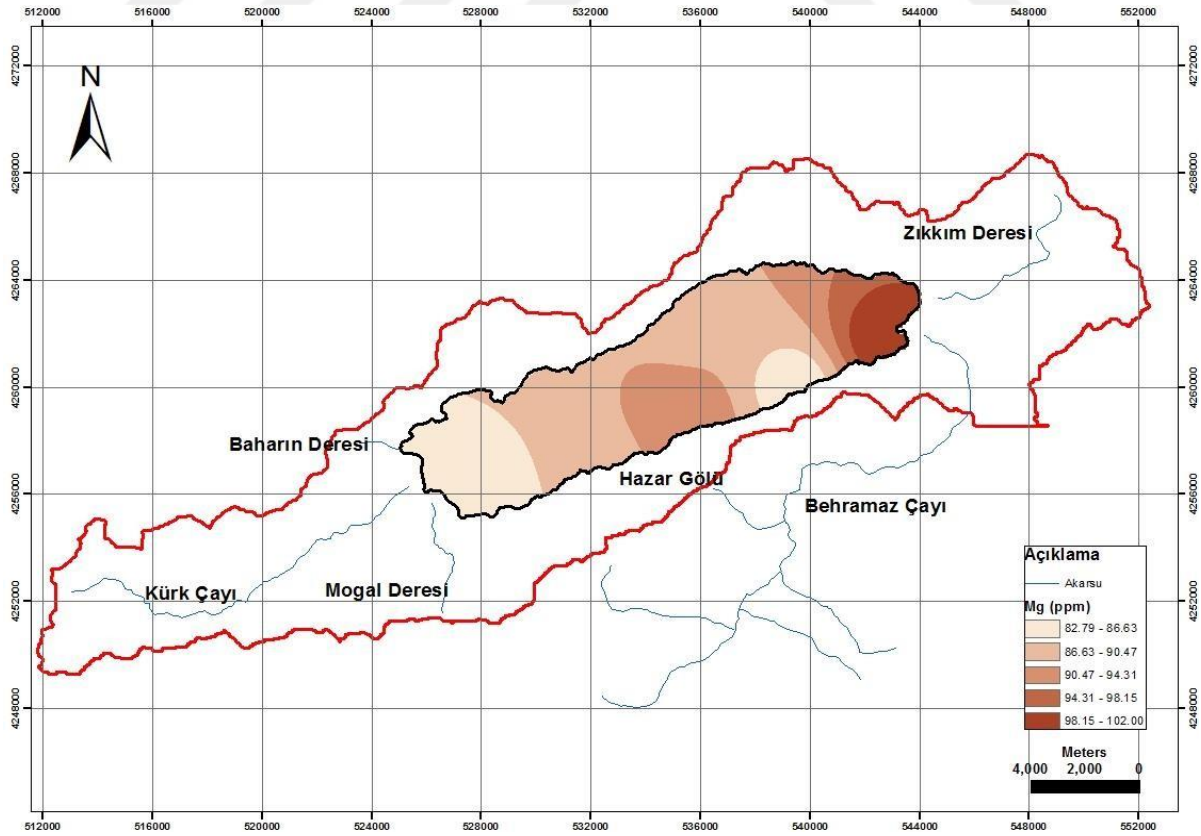
Şekil 3.30. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik pH eş dağılım haritası



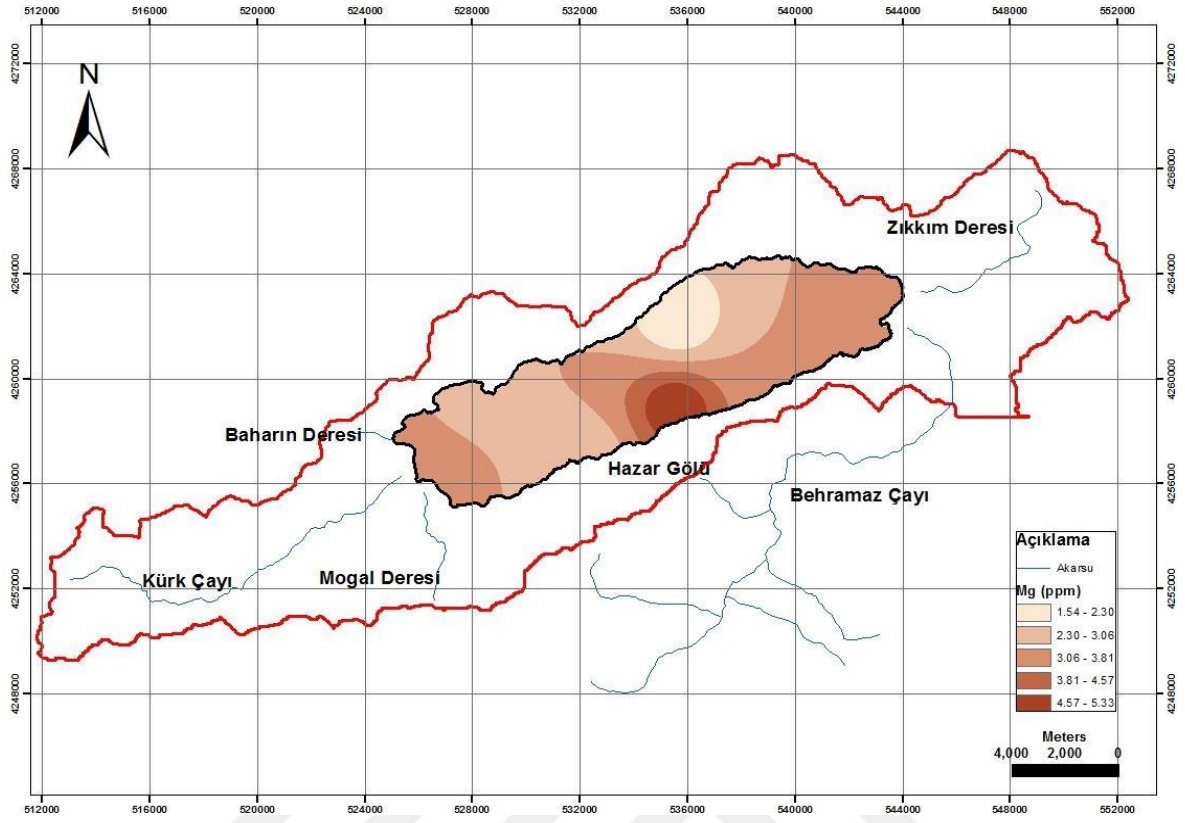
Şekil 3.31. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi Ca eş dağılım haritası



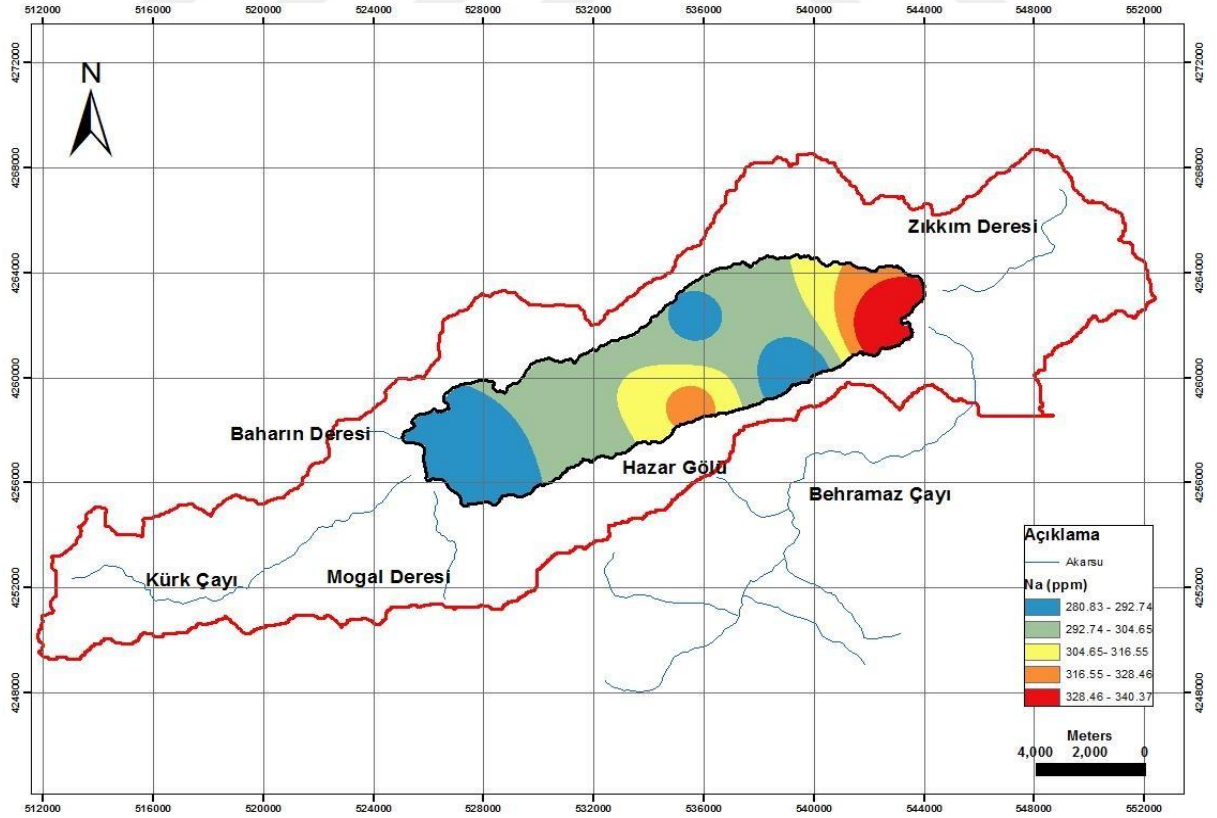
Şekil 3.32. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik Ca eş dağılım haritası



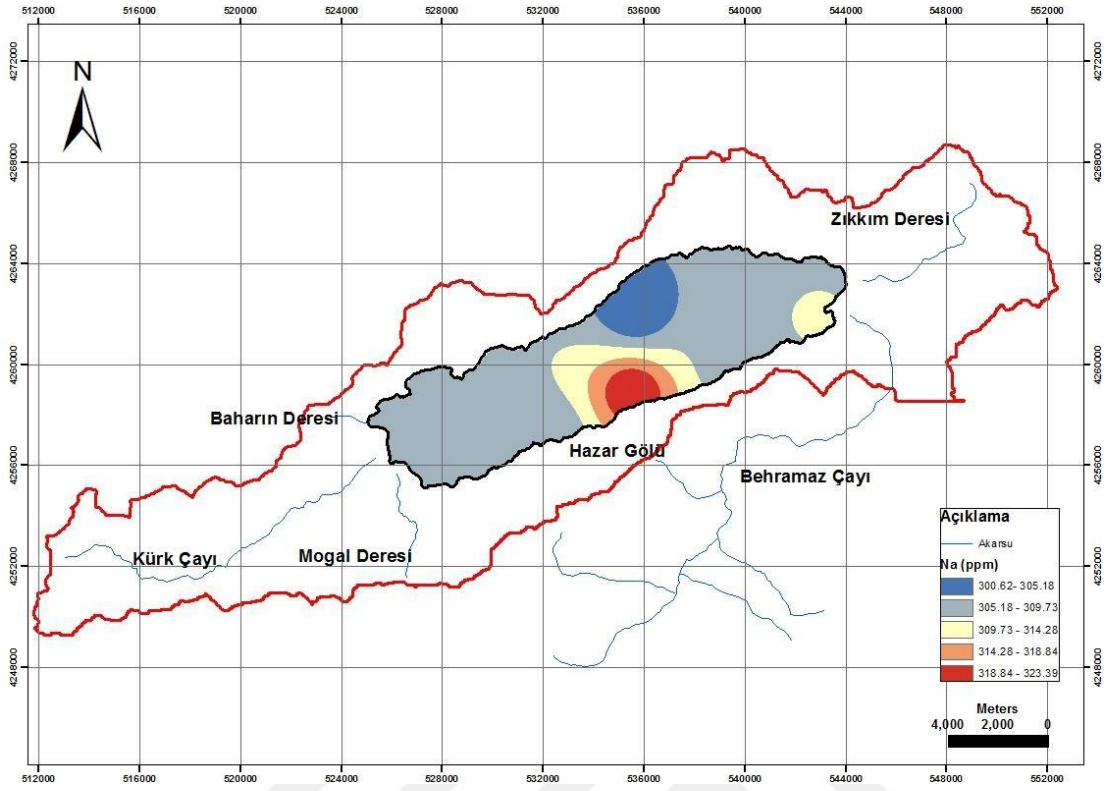
Şekil 3.33. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi Mg eş dağılım haritası



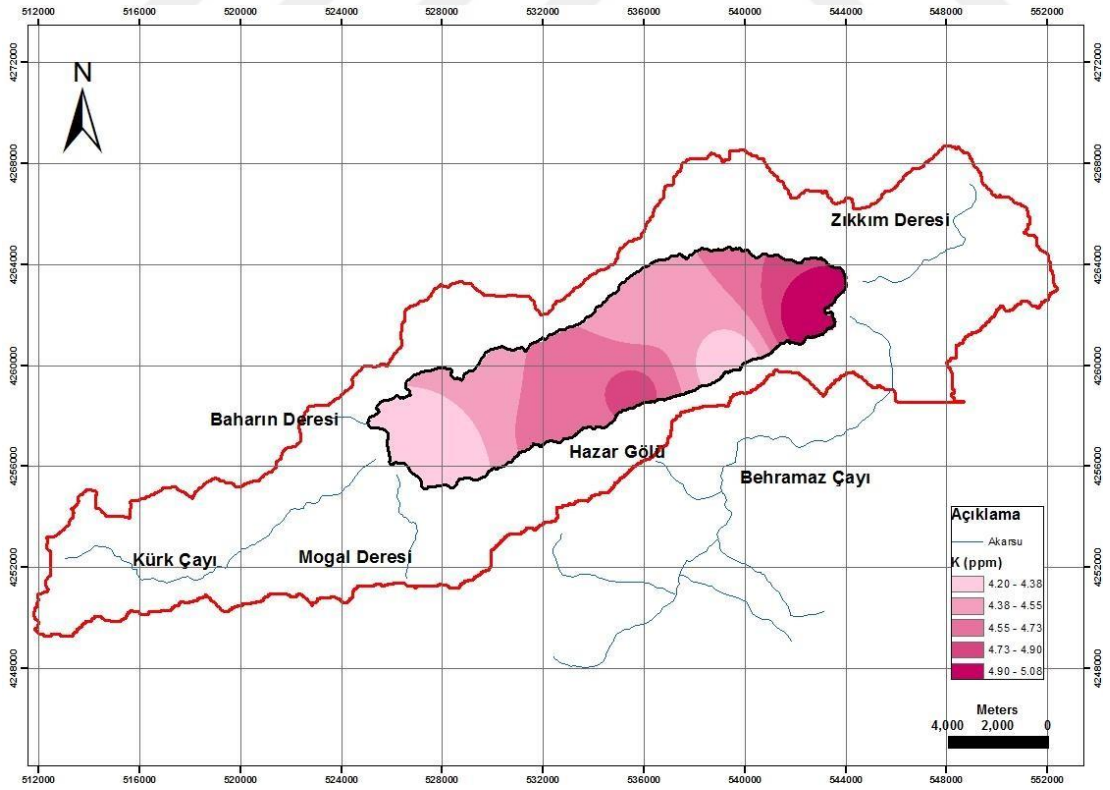
Şekil 3.34. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik Mg eş dağılım haritası



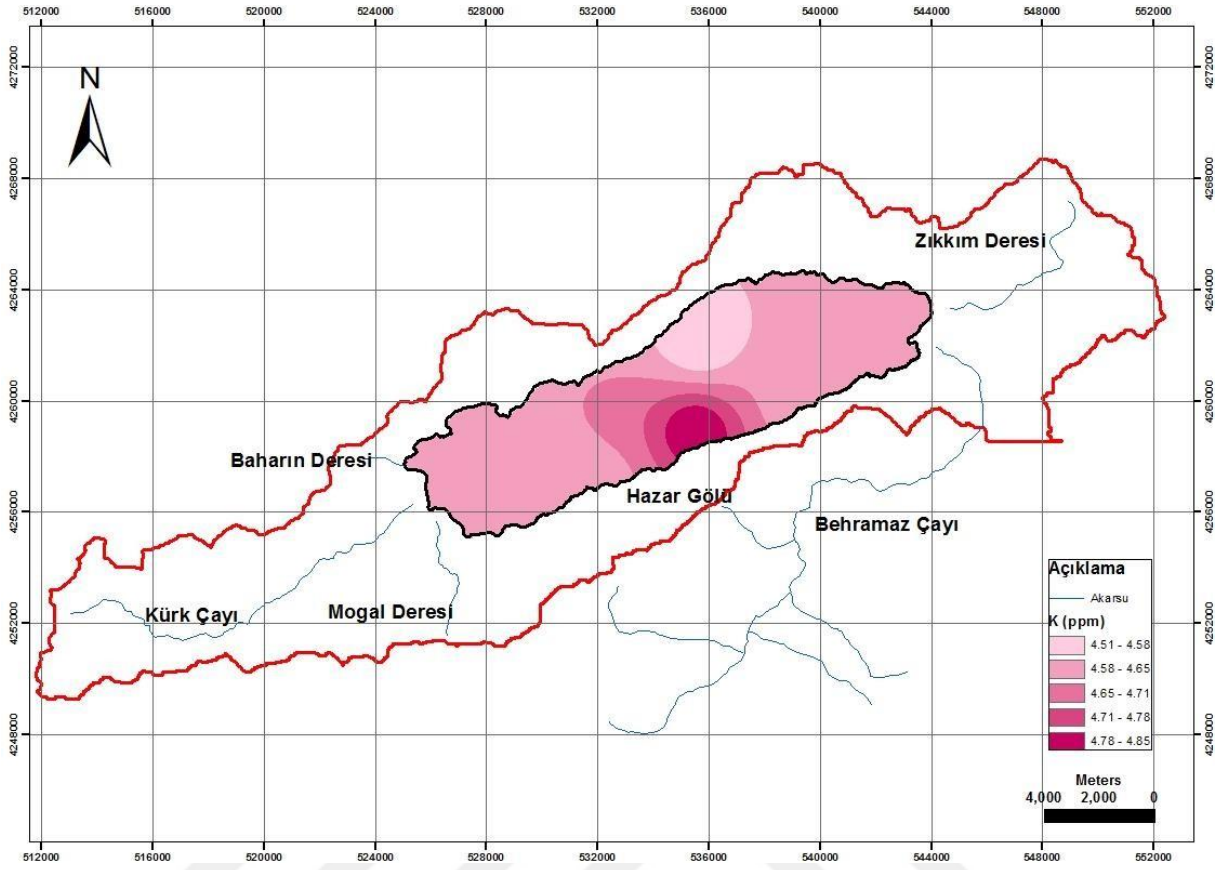
Şekil 3.35. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi Na eş dağılım haritası



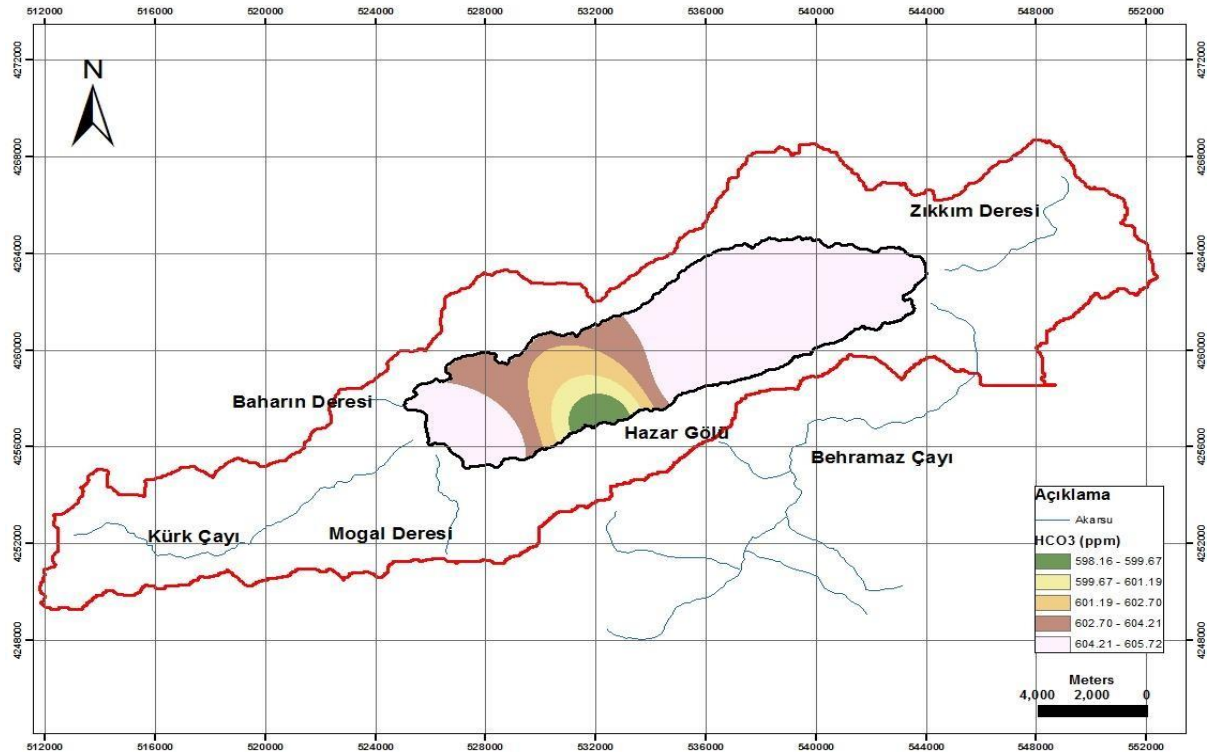
Şekil 3.36. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik Na eş dağılım haritası



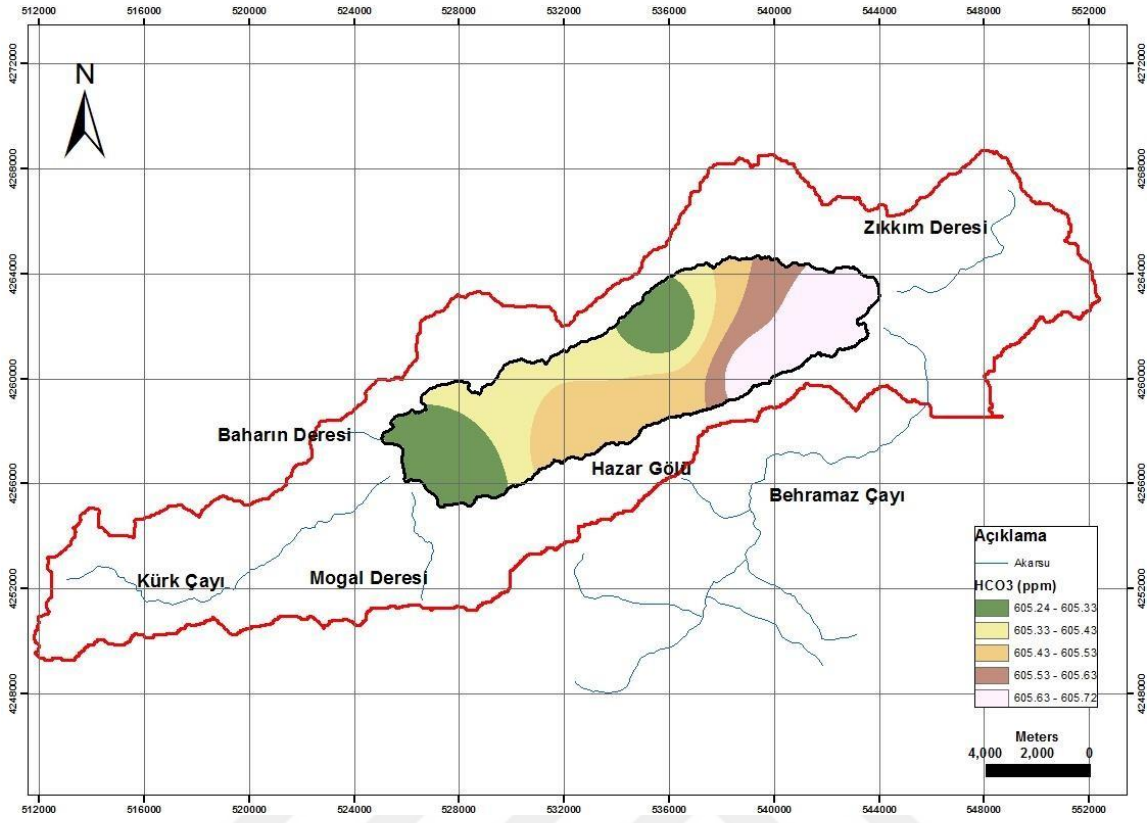
Şekil 3.37. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi K eş dağılım haritası



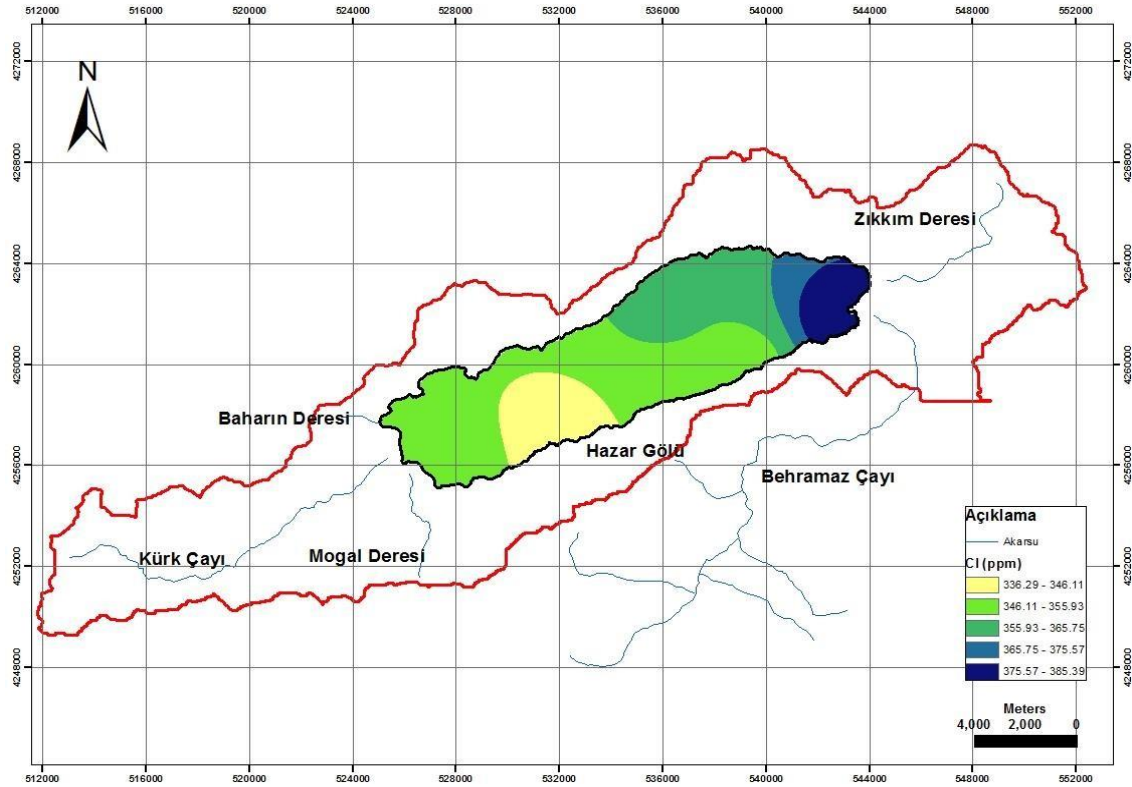
Şekil 3.38. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik K eş dağılım haritası



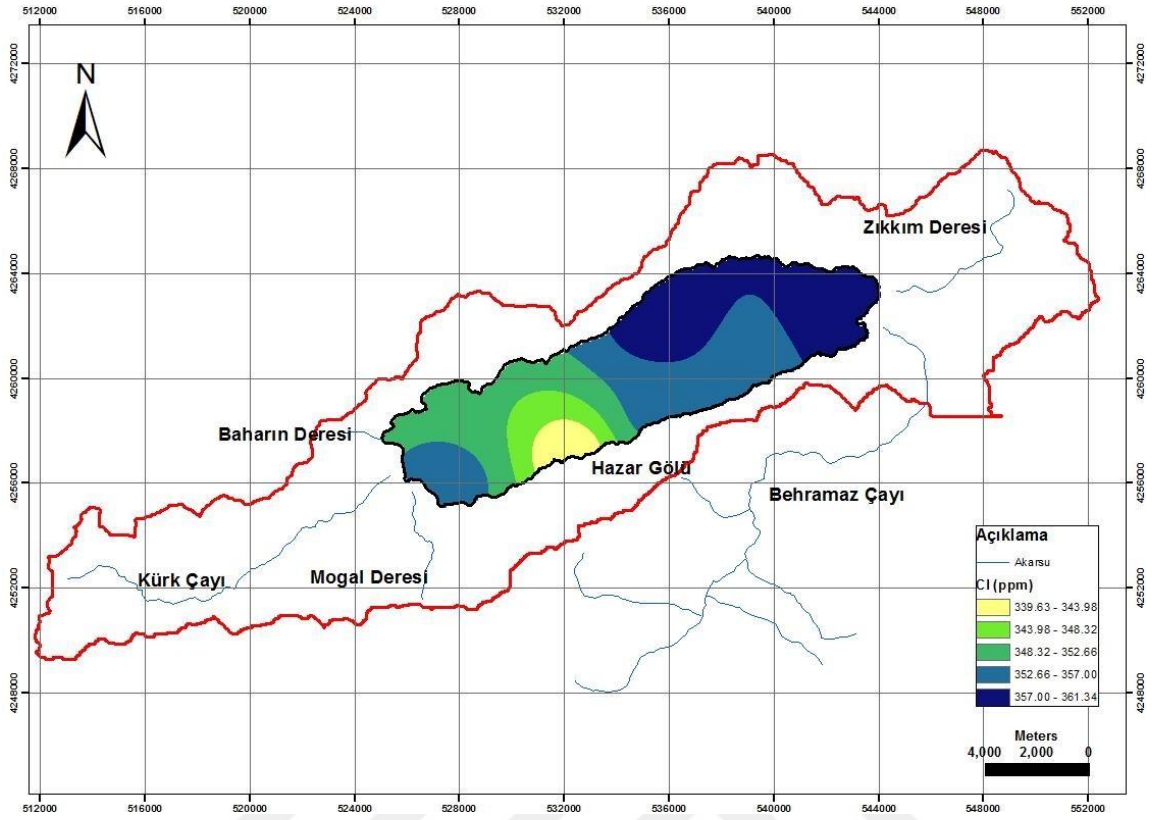
Şekil 3.39. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi HCO₃ eş dağılım haritası



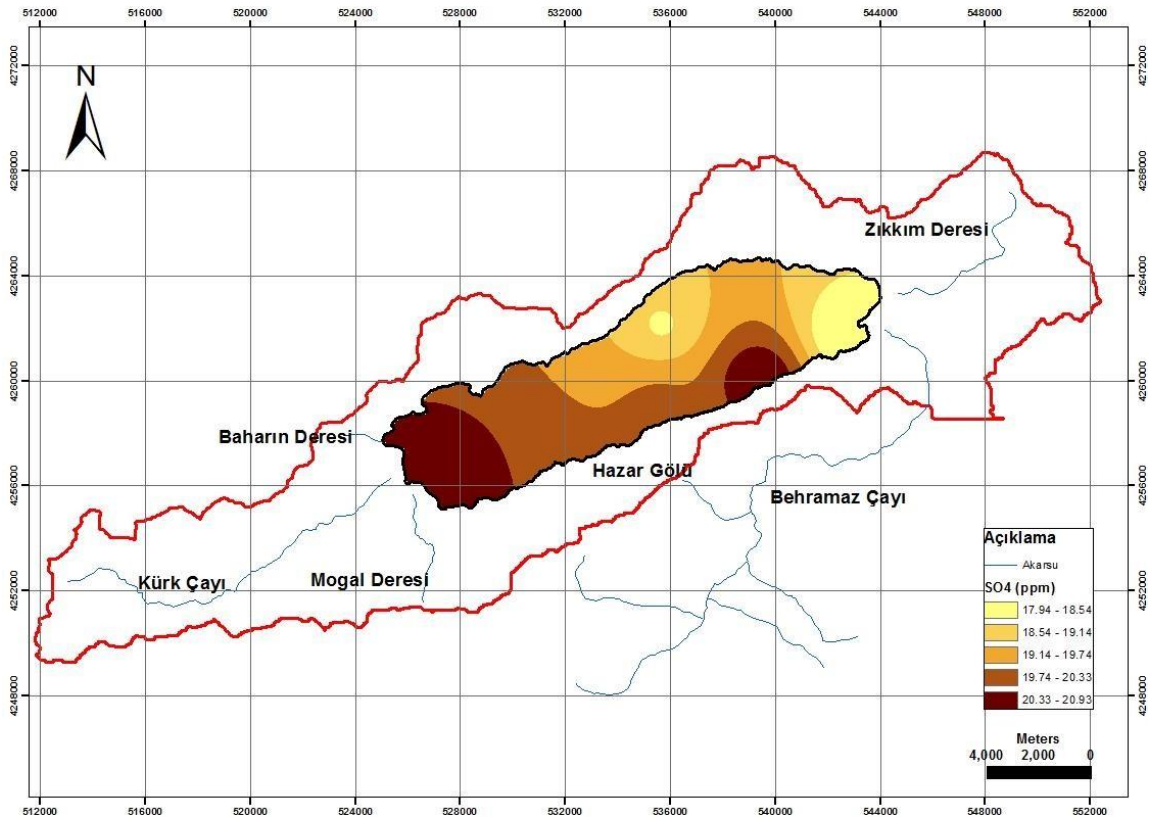
Şekil 3.40. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik HCO₃ eş dağılım haritası



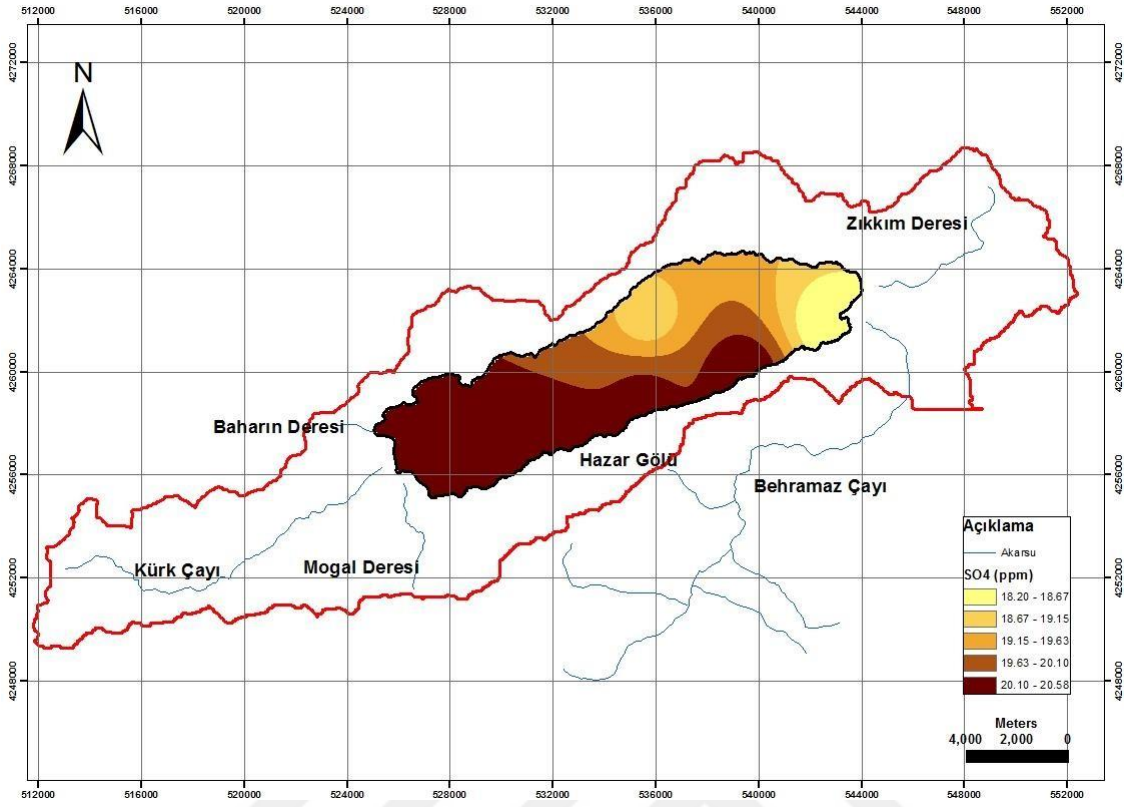
Şekil 3.41. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi Cl eş dağılım haritası



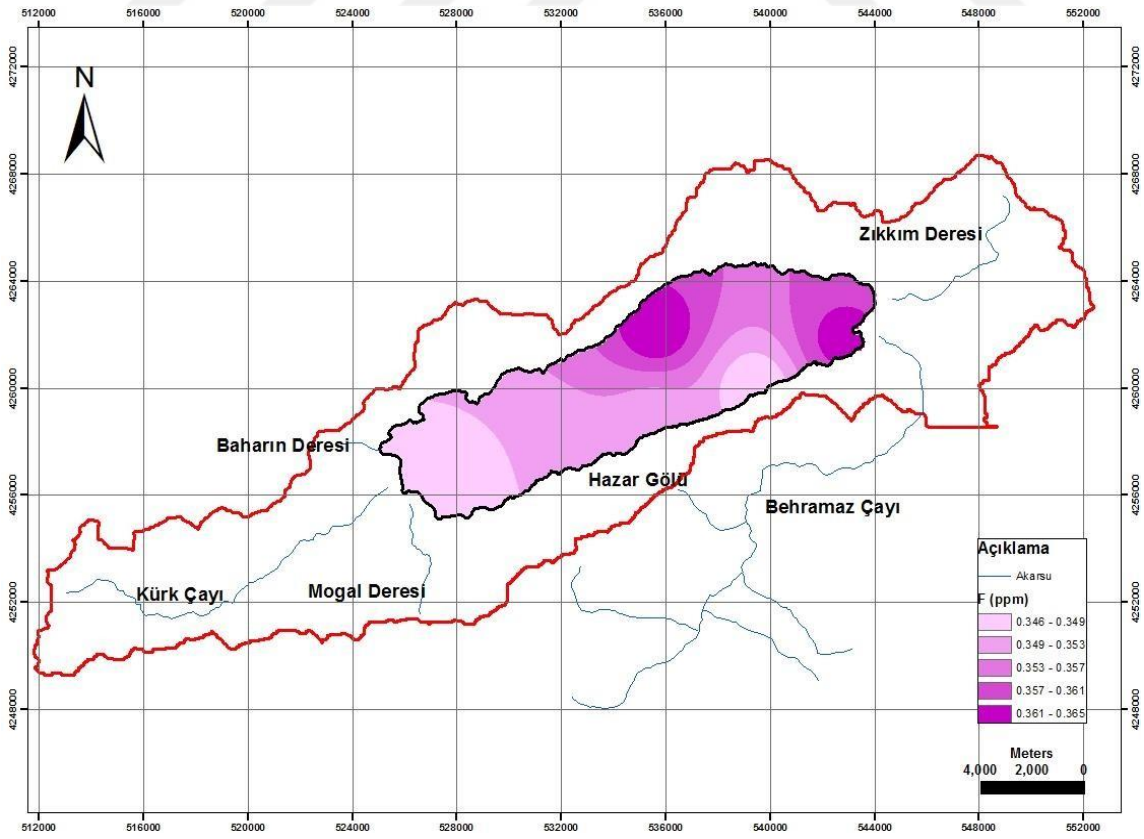
Şekil 3.42. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik Cl eş dağılım haritası



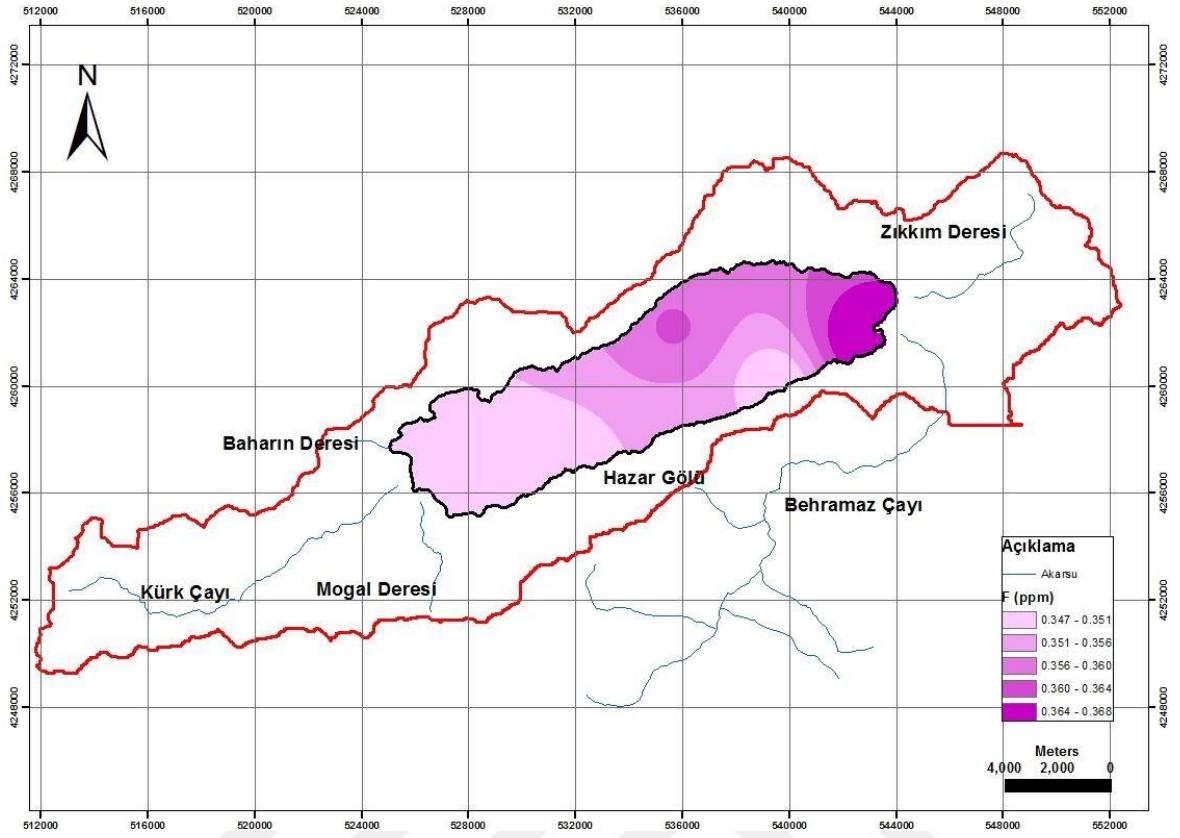
Şekil 3.43. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi SO_4 eş dağılım haritası



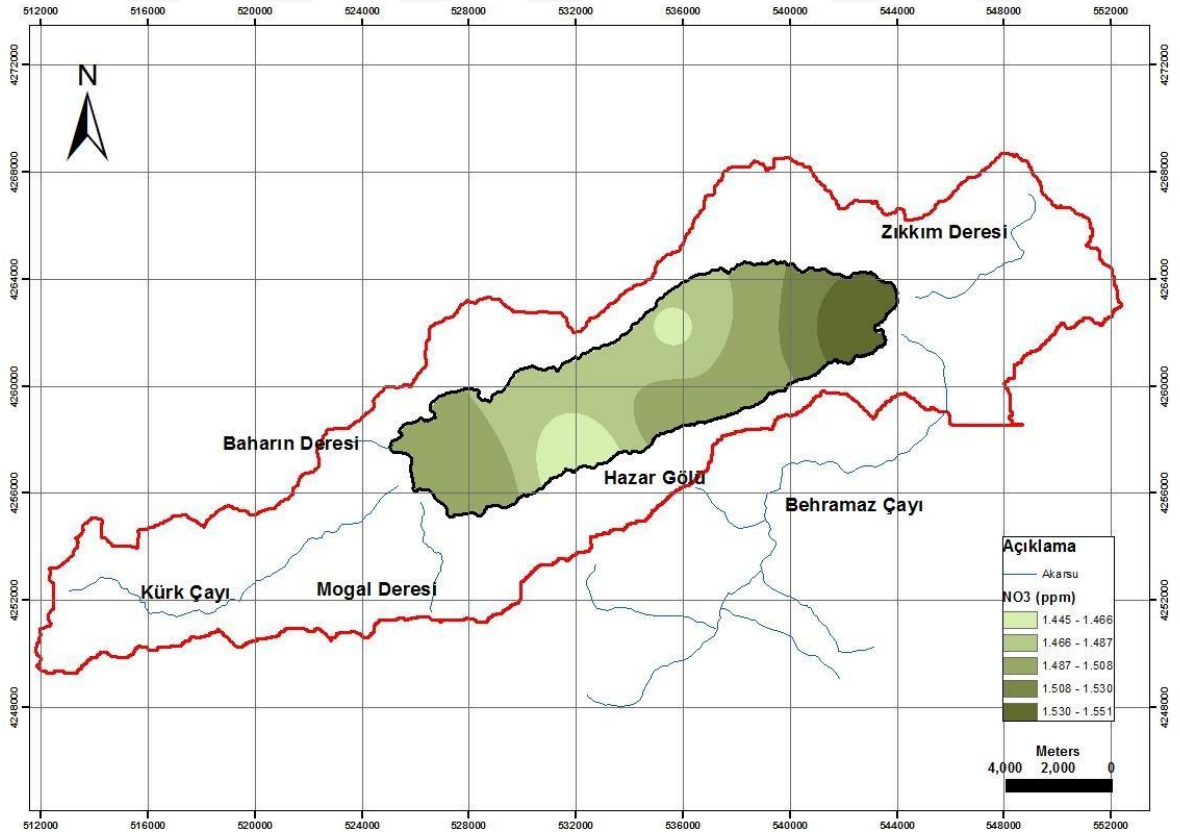
Şekil 3.44. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik SO_4 eş dağılım haritası



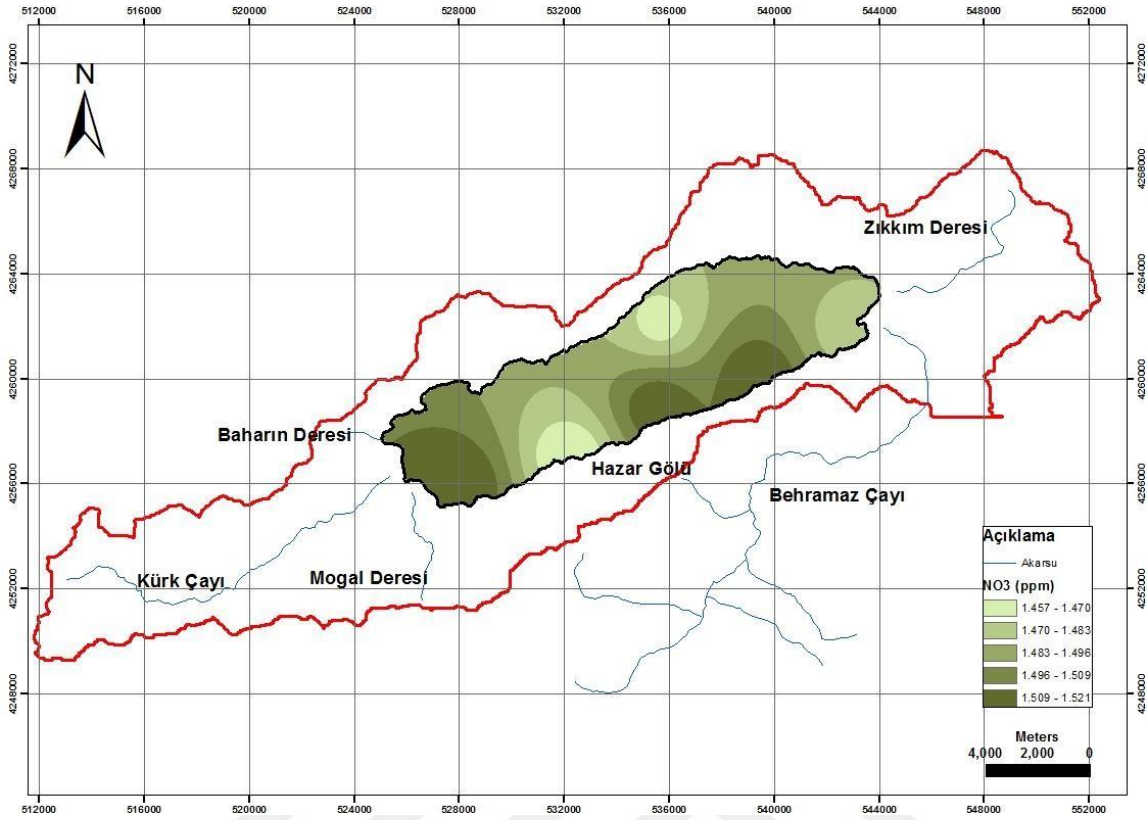
Şekil 3.45. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi F eş dağılım haritası



Şekil 3.46. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik F eş dağılım haritası



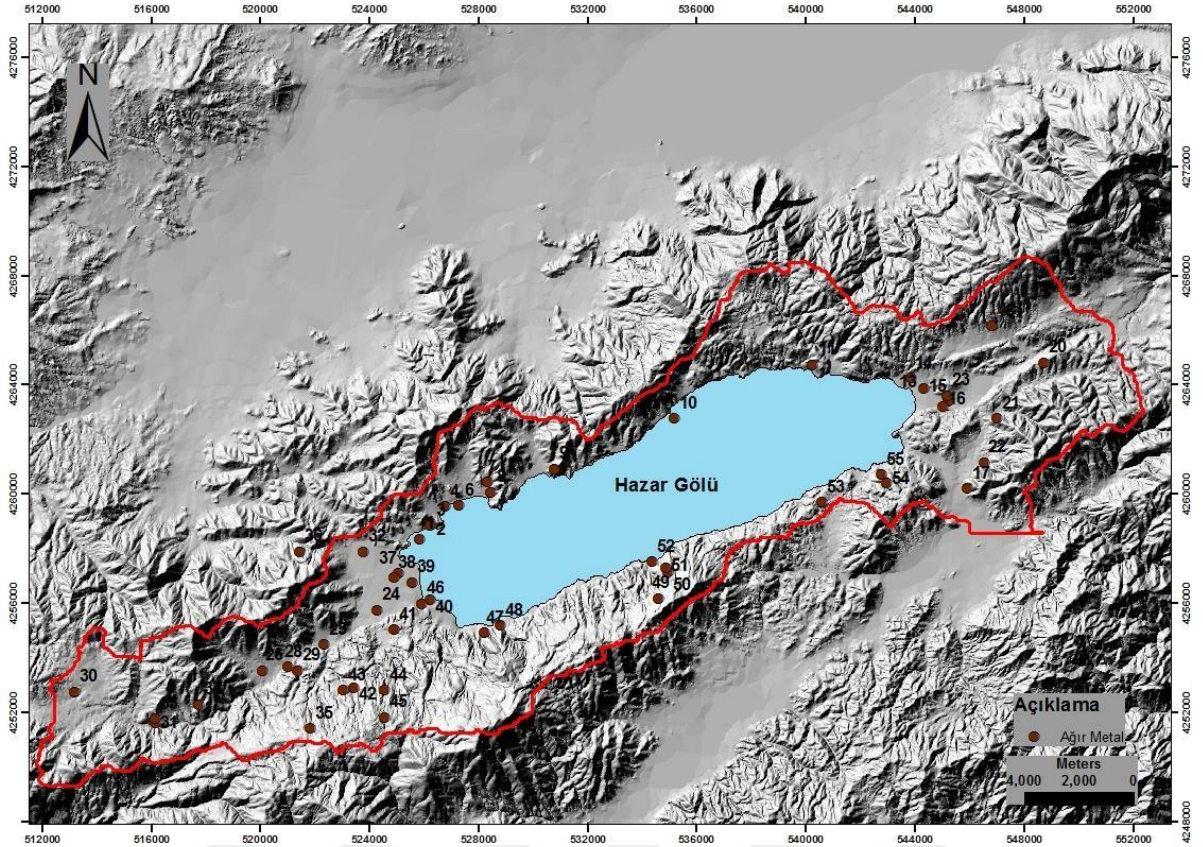
Şekil 3.47. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi NO3 eş dağılım haritası



Şekil 3.48. Haziran (2015) Hazar Gölü yüzeyi 0.5 m derinlik NO₃ eş dağılım haritası

3.4.2. Ağır Metaller

Çalışma alanında 51 lokasyonda (Şekil 3.49) ağır metal analizi için su numuneleri alınmış ve analiz sonuçları Tablo 3.5’de verilmiştir. Hazar Gölü Havzası’nda alınan yeraltı suları analiz sonuçları ArcGIS 10.1 programı kullanılarak haritalanmıştır (Şekil 3.50-3.58).



Şekil 3.49. Ağır metal analizi için alınan örnek yerleri

Hazar Gölü Havzası'nda alınan ve analiz edilen sularda arsenik (As) konsantrasyonu 0.002 – 2.075 ppb aralığında ölçülmüştür. En yüksek As konsantrasyonu SK-4 nolu su örneğinde tespit edilmiştir.

Belirlenen lokasyonlardan alınan su örneklerinde gerçekleştirilen kadminyum (Cd) analizlerinde 0.002 – 0.148 ppb değerleri arasında ölçüm yapılmıştır. En düşük ölçüm K- 37 nolu kaynak suyu örneğinde, en yüksek ölçüm ise SK-17 nolu kuyu suyu örneğinde Cd analiz edilmiştir.

İnceleme alanından alınan su örneklerinde bakır (Cu) konsantrasyonları 0.053 – 111.354 ppb aralığında tespit edilmiştir. En yüksek Cu miktarı SK-16 nolu su örneğinde ölçülmüştür.

Ölçümü yapılan su örneklerinde nikel (Ni) konsantrasyonu, 0.092 – 14.206 ppb aralığındadır. En düşük Ni konsantrasyonu K-47 nolu su örneğinde, en yüksek nikel konsantrasyonu K-37 nolu su örneğinde ölçülmüştür.

Kurşun (Pb) analiz sonuçları 0.012 – 2.561 ppb aralığında tespit edilmiştir. En yüksek Zn miktarı SK-7 nolu kuyu suyu örneğinde ölçülmüştür

Su numuneleri üzerinde yapılan çinko (Zn) analizlerinde ölçüm aralığı 1.729 – 896.108 ppb aralığındadır. En düşük Zn miktarı K-35, en yüksek çinko miktarı SK-7 nolu su örneklerinde analiz edilmiştir.

Çalışma alanından alınan su numunelerinde yapılan mangan (Mn) konsantrasyonu ölçümü 0.063 – 311.415 ppb aralığındadır. En yüksek Mn değeri A-15 nolu dere suyu örneğinde ölçülmüştür.

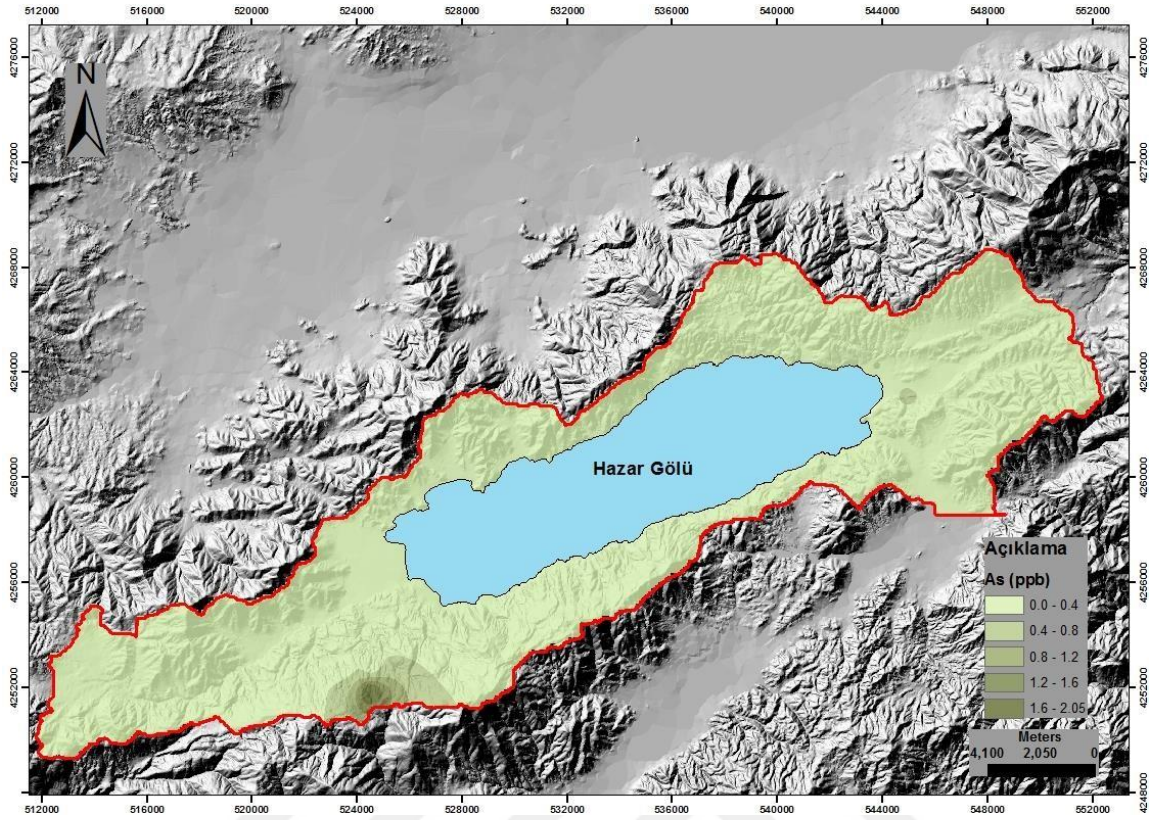
Sularda, krom konsantrasyonu 0.053 – 3.391 ppb arasında ölçülmüştür. En düşük krom konsantrasyonu SK-3 nolu kuyu suyu örneğinde, en yüksek krom konsantrasyonu SK-48 nolu kuyu suyu örneğinde tespit edilmiştir.

Kobalt (Co) miktarı, ölçümü yapılan sularda 0.001 – 0.321 ppb aralığındadır.

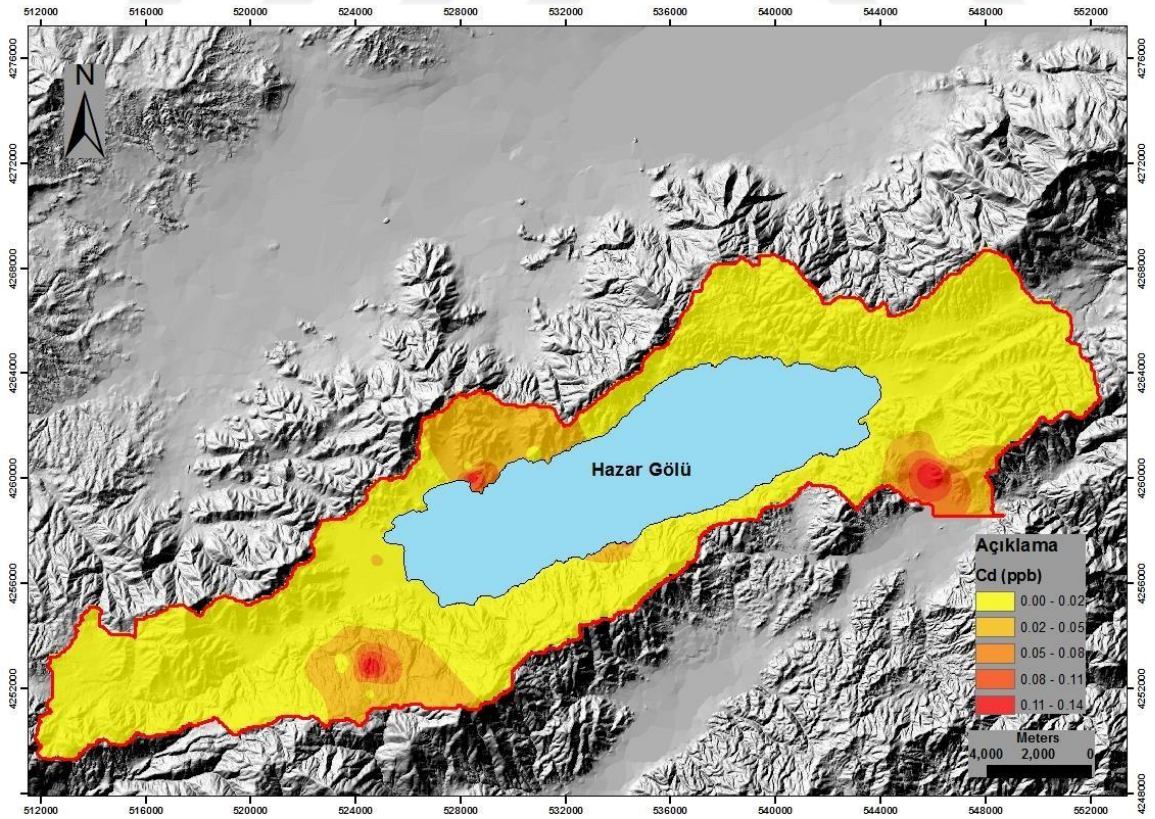
Çalışma alanında alınan su örneklerinde ağır metal konsantrasyonları İTASHY, WHO ve EPA standartlarına göre sadece SK-16 (111.354 ppb) nolu kuyu suyu örneğinde Cu konsantrasyonu İTASHY (50 ppb) tarafından belirlenen üst limitin üzerinde tespit edilmiştir. Diğer su örneklerinde ağır metal konsantrasyon ölçümleri İTASHY, WHO ve EPA standartları içerisinde analiz edilmiştir.

Tablo 3.7. Eylül (2015) dönemi ağır metal sonuçları

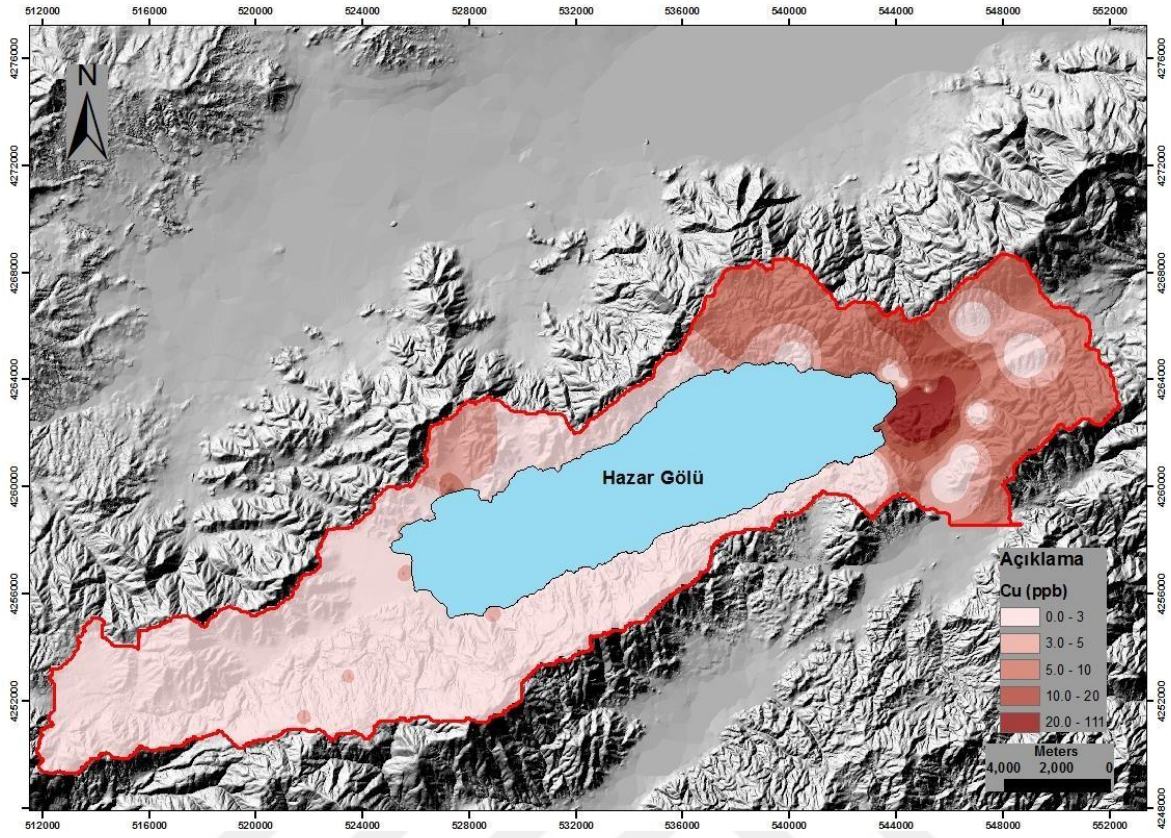
Örnek No	Örnek Türü	As (ppb)	Cd (ppb)	Cu (ppb)	Ni (ppb)	Pb (ppb)	Zn (ppb)	Mn (ppb)	Cr (ppb)	Co (ppb)
1	SK	0.163	D.L	5.191	2.821	0.341	176.98	0.836	2.433	0.187
2	SK	0.038	D.L	1.211	2.03	0.065	2.478	0.553	1.178	0.128
3	SK	0.069	0.007	0.186	1.387	0.27	206.16	1.051	1.261	0.118
4	SK	0.022	D.L	0.161	1.244	0.057	13.278	0.603	1.241	0.103
6	SK	0.019	D.L	15.042	1.246	0.224	16.163	0.478	0.842	0.1
7	SK	0.027	0.005	3.783	2.009	2.561	896.11	0.28	1.179	0.176
8	SK	0.0178	0.138	0.632	1.516	0.146	5.872	0.514	1.26	0.302
9	SK	0.042	0.019	1.267	0.912	0.074	44.657	0.169	0.86	0.098
10	SK	0.177	D.L	D.L	1.285	D.L	17.455	119.06	0.731	0.238
11	SK	0.036	D.L	1.619	0.697	0.288	11.598	1.079	2.105	0.101
13	SK	0.029	D.L	D.L	1.657	D.L	D.L	0.09	2.079	0.161
14	SK	0.425	D.L	D.L	2.465	D.L	D.L	0.281	1.405	0.178
15	A	0.127	D.L	D.L	6.35	D.L	116.61	311.435	1.119	0.222
16	SK	0.59	D.L	111.354	0.853	1.157	30.034	2.881	0.828	0.038
17	SK	0.19	0.148	D.L	1.676	0.207	156.16	0.922	2.274	0.321
18	K	0.029	0.016	0.244	0.951	0.043	D.L	0.227	1.753	0.117
20	K	0.028	D.L	D.L	1.201	D.L	D.L	0.093	0.884	0.121
21	K	0.021	D.L	D.L	1.334	D.L	D.L	0.109	2.276	0.12
22	SK	D.L	D.L	D.L	0.812	D.L	D.L	0.277	0.508	0.047
23	SK	0.054	D.L	D.L	2.345	D.L	D.L	2.843	1.039	0.188
24	SK	0.002	D.L	D.L	0.966	D.L	D.L	0.066	0.616	0.062
25	SK	0.061	D.L	D.L	0.793	D.L	D.L	0.443	0.566	0.067
26	SK	0.075	D.L	0.053	0.239	D.L	D.L	0.127	0.466	0.001
28	K	0.13	D.L	D.L	0.628	D.L	D.L	0.622	0.438	0.048
29	A	0.871	D.L	D.L	0.56	D.L	D.L	0.584	0.367	0.047
30	K	0.085	D.L	D.L	0.124	D.L	D.L	0.143	0.163	0.003
31	SK	0.131	D.L	0.119	2.268	D.L	D.L	0.075	0.053	D.L
32	SK	0.043	D.L	D.L	0.828	D.L	5.401	0.161	0.637	0.067
33	SK	0.014	D.L	D.L	0.2	D.L	11.695	0.124	0.308	0.003
34	K	0.178	D.L	D.L	0.281	D.L	D.L	0.418	0.313	0.02
35	K	0.176	D.L	3.187	0.737	D.L	1.729	0.37	0.213	0.038
36	K	0.487	D.L	D.L	1.116	D.L	D.L	1.51	0.736	0.062
37	K	0.017	0.002	D.L	14.206	D.L	D.L	15.967	0.633	0.179
38	SK	0.02	0.035	D.L	10.671	0.024	10.582	77.144	1.043	0.285
39	SK	0.064	D.L	5.27	2.956	D.L	5.037	34.328	0.671	0.125
40	SK	D.L	D.L	D.L	2.75	0.012	D.L	1.06	0.922	0.188
41	A	0.064	D.L	D.L	0.222	D.L	D.L	0.101	0.547	0.015
42	SK	0.069	D.L	3.952	1.18	0.062	72.515	1.515	0.563	0.089
43	K	0.404	0.044	0.879	0.321	0.222	D.L	0.111	0.238	0.013
44	SK	0.233	0.142	D.L	1.594	1.046	9.193	1.914	0.595	0.198
45	SK	2.075	0.017	2.332	0.364	D.L	D.L	3.334	0.182	0.014
46	SK	D.L	D.L	D.L	1.288	D.L	D.L	3.083	0.416	0.043
47	K	0.016	D.L	D.L	0.092	D.L	D.L	0.063	0.335	D.L
48	SK	0.067	D.L	3.574	0.666	0.108	15.971	0.292	3.391	0.009
49	K	D.L	D.L	0.194	2.268	0.015	D.L	0.349	0.304	0.011
50	SK	D.L	D.L	D.L	1.141	D.L	D.L	0.201	0.595	0.09
51	SK	D.L	D.L	D.L	0.138	D.L	D.L	0.193	0.233	0.003
52	SK	D.L	0.06	0.755	0.583	1.431	126.95	0.273	0.331	0.011
53	SK	0.067	D.L	0.11	1.144	0.113	116.76	16.249	0.597	0.102
54	SK	D.L	D.L	D.L	0.743	D.L	D.L	0.291	0.457	0.063
55	SK	0.399	0.003	D.L	0.786	D.L	8.654	0.292	0.329	0.05
İTASHY		10	5	50	20	10	5000	50	50	
EPA		10	5	1300	-	15	5000	50	100	
WHO		10	3	2000	70	10	3000	400	50	



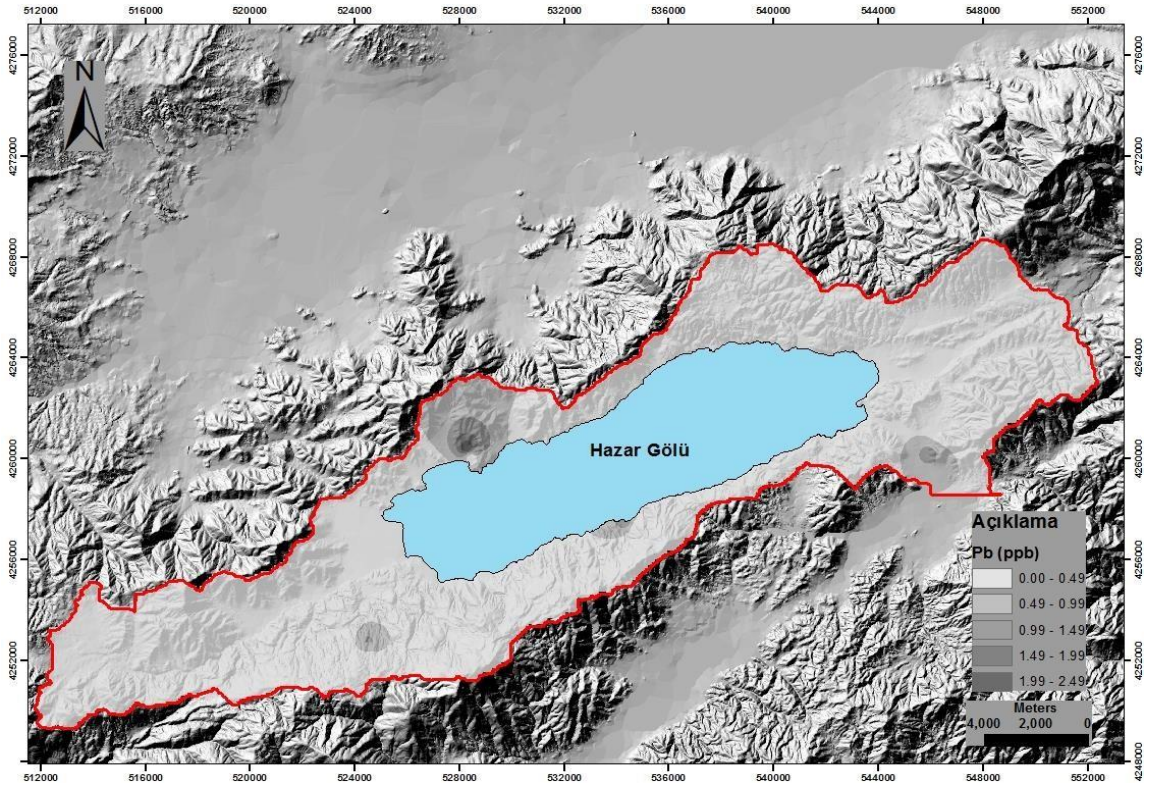
Şekil 3.50. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları As eş dağılım haritası



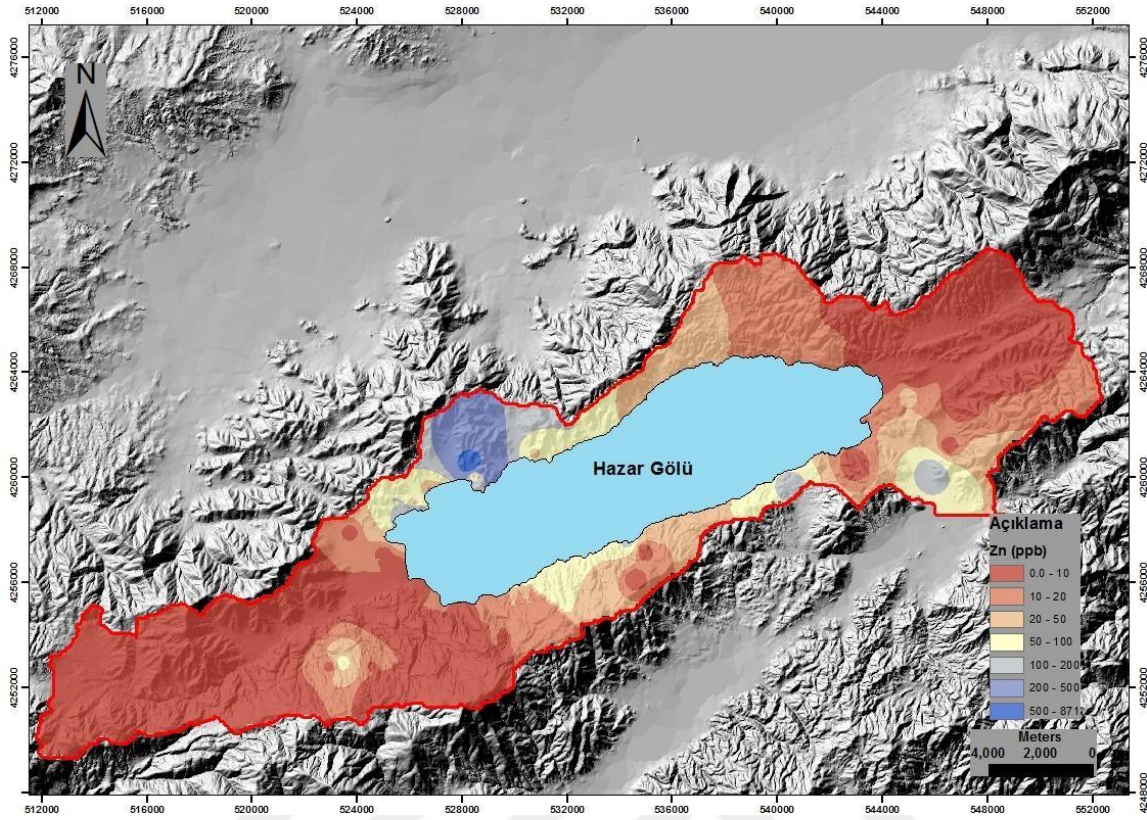
Şekil 3.51. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Cd eş dağılım haritası



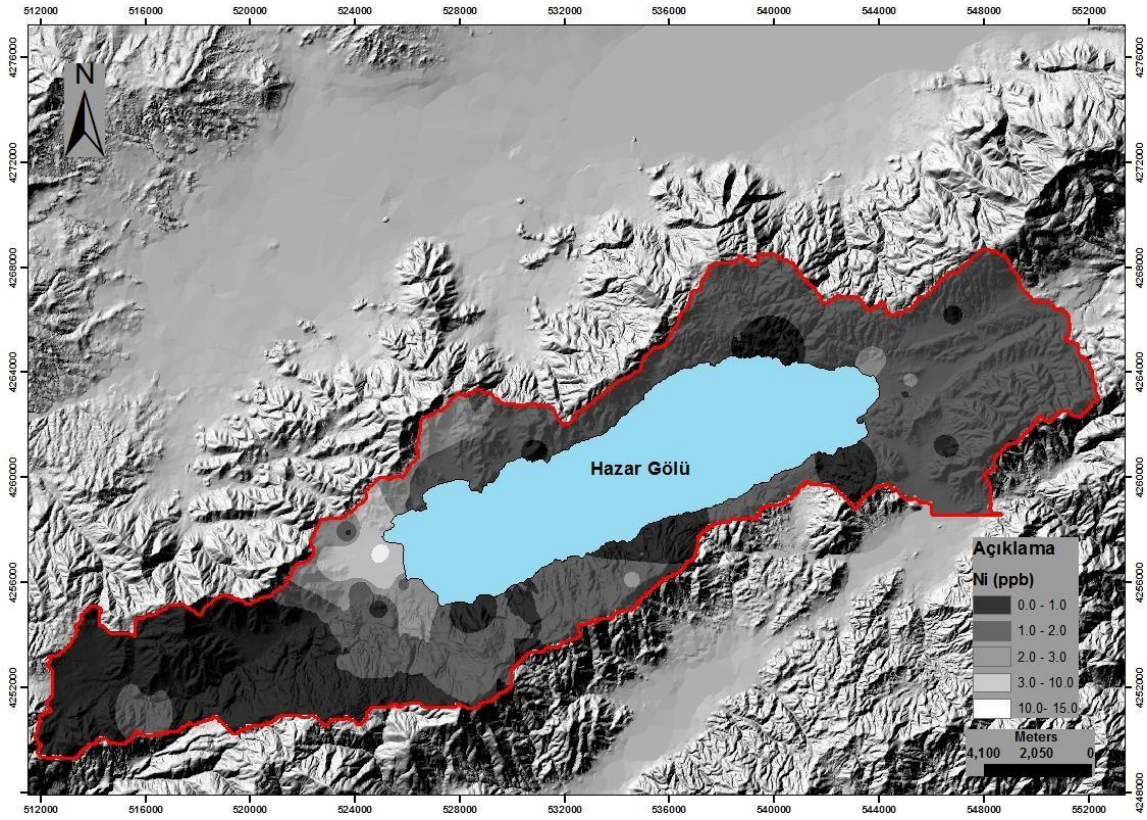
Şekil 3.52. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Cu eş dağılım haritası



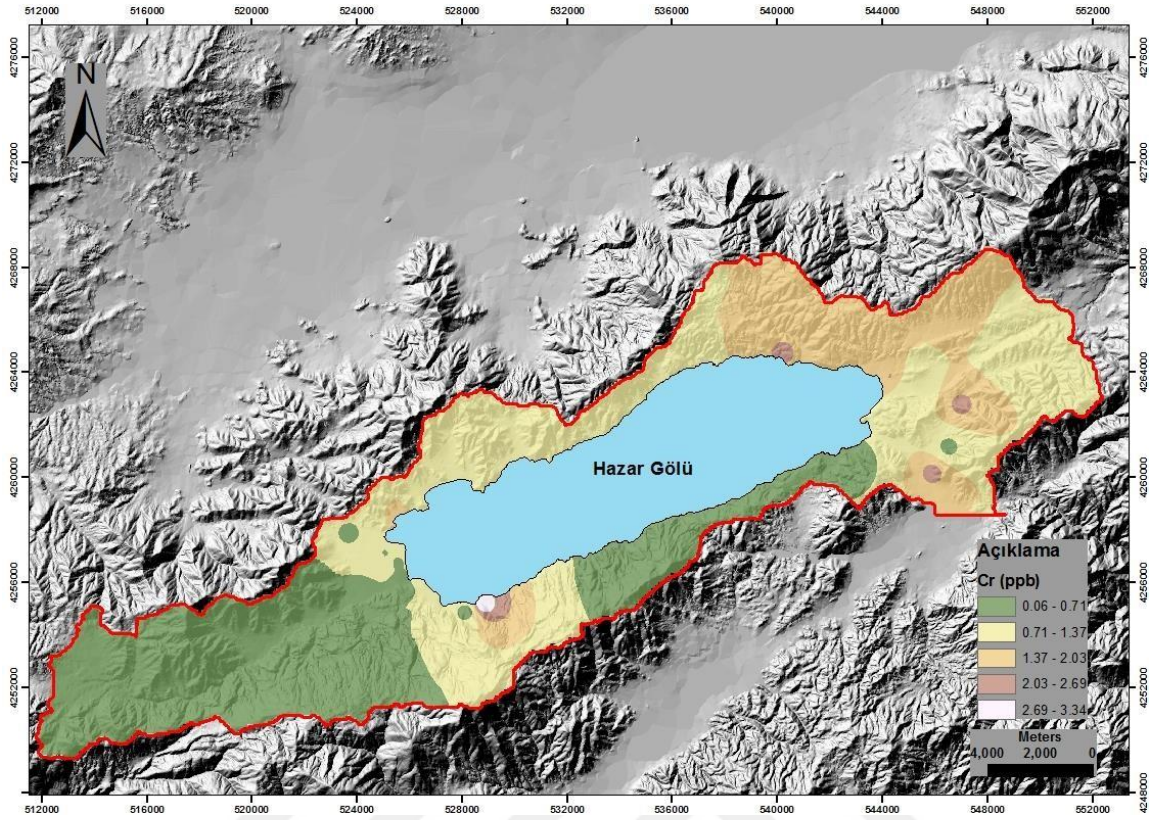
Şekil 3.53. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Pb eş dağılım haritası



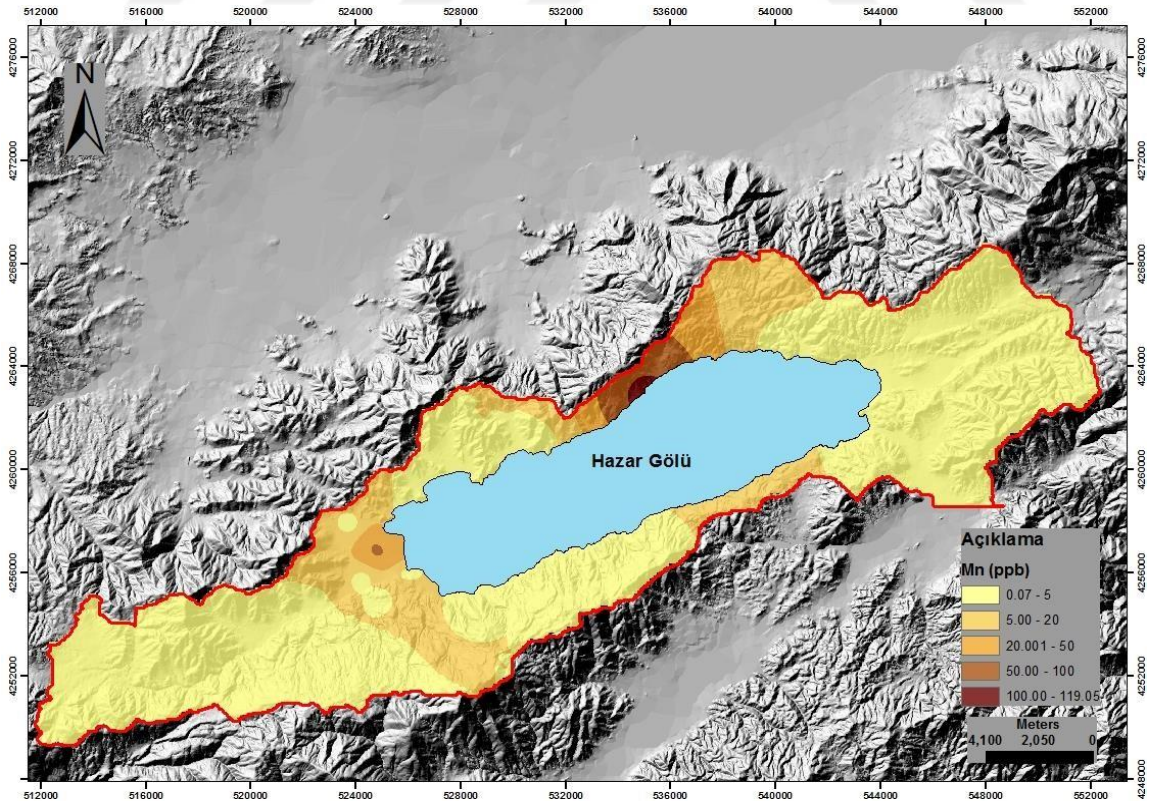
Şekil 3.54. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Zn eş dağılım haritası



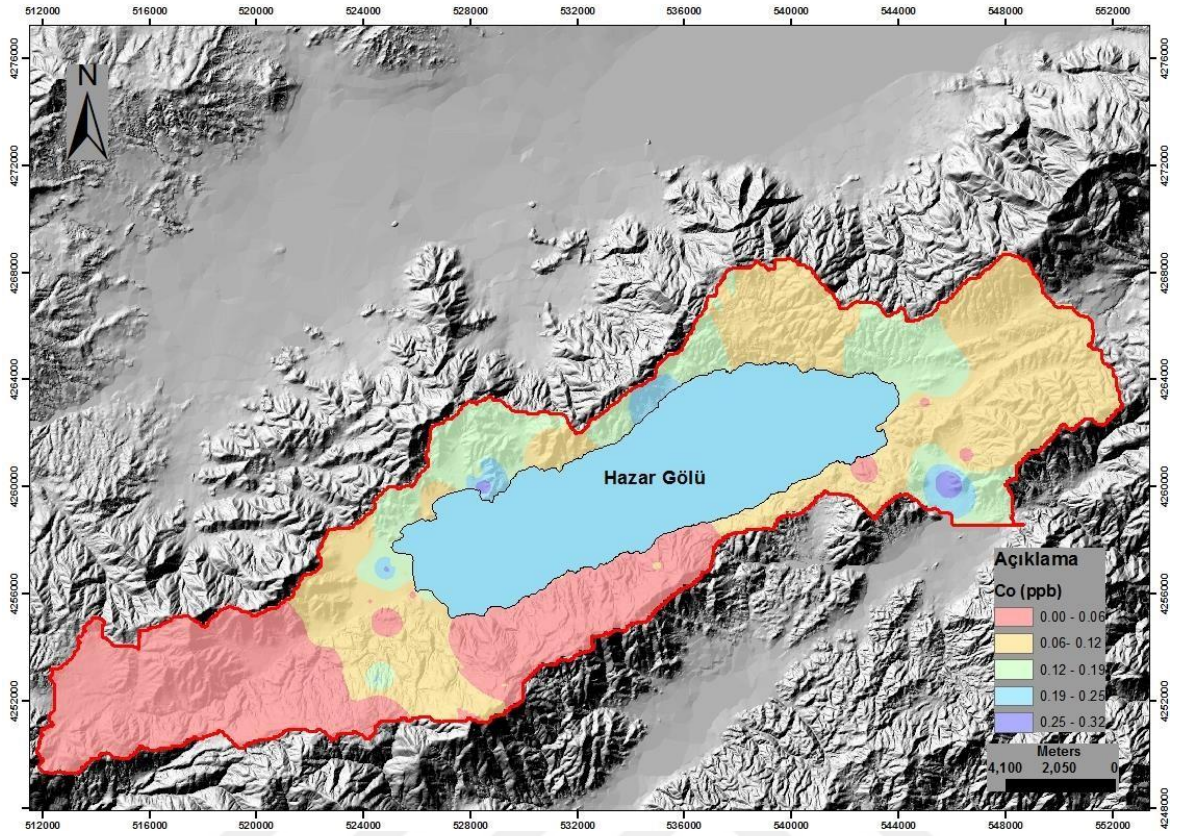
Şekil 3.55. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Ni eş dağılım haritası



Şekil 3.56. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Cr eş dağılım haritası



Şekil 3.57. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Mn eş dağılım haritası



Şekil 3.58. Eylül (2015) dönemi Hazar Gölü Havzası yeraltı suları Co eş dağılım haritası

3.4.3. Çevresel İzotoplar

Çevresel izotoplar su sistemlerinin dinamiği ve suların kökeni ile ilgili problemlerin çözümünde en çok kullanılan datalardır. Duraylı izotoplardan Döteryum ve Oksijen-18'den suların olası beslenme yüksekliklerinin saptanmasında, Tritiyumdan ise bağlı yaş ve geçiş sürelerinin belirlenmesi amacıyla yararlanılır (Payne 1978; Yurtsever, 1978; Eftimi R., 2007).

İzotoplar genel olarak iki gruba ayrılırlar: Duraylı (kararlı) izotoplar, duraysız(radyoaktif) izotoplar. Duraylı (kararlı) izotoplar buharlaşma ve yoğunlaşma gibi fiziko-kimyasal süreçlerle konsantrasyonları değişmesine rağmen zaman içinde değişmeyen izotoplardır.

Hidrojeolojide yaygın olarak kullanılan duraylı izotoplar hidrojen (^1H , ^2H) ve Oksijen (^{16}O , ^{17}O , ^{18}O) izotoplarıdır (Clark ve Fritz, 1997; Demer, 2008). Genel olarak duraylı izotoplar, verilen elementin iki en bol izotopunun oranı olarak ölçülür. Oksijen ve hidrojenin izotopik bileşimleri, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ve $\text{D}/^1\text{H}$ oranlarının farklılıkları açısından

belirtilmektedir. Deniz suyunun izotopik bileşimi referans olarak kullanılan SMOW olarak bilinir.

SMOW (Standard Mean Ocean Water) ilk defa Craig (1961) tarafından tanımlanmıştır. SMOW, okyanus sularının ortalama izotop bileşimini yansıtmakta ve $\delta D=0\text{‰}$ ve $\delta^{18}O=0\text{‰}$ değerleriyle tanımlanmaktadır.

Duraylı izotop bileşimleri, belli bir standartın bileşiminden olan sapmalar şeklinde, δ (delta) parametresi ile ifade edilir.

$$R_{\text{SAMPLE}} - R_{\text{STANDARD}}$$

$$\delta = \frac{R_{\text{SAMPLE}} - R_{\text{STANDARD}}}{R_{\text{STANDARD}}} \times 10^3$$

Standarta göre suyu karakterize eden negatif değerler izotopik olarak tükenmeyi (ağır izotop açısından fakir olduğunu), pozitif değerler ise su örneğine göre izotopik zenginleşmeyi (ağır izotop açısından zengin olduğunu) göstermektedir (IAEA, 1998).

3.4.3.1. Oksijen-18 ve Döteryum

Yağışlarda ve güncel sularda δD ve $\delta^{18}O$ genellikle (GMWL) Küresel Meteorik su doğrusuna yakın noktalarda yer alır. Bu doğru Craig (1961b) tanımlanmış ve ^{18}O and 2H arasındaki ilişki dünya çevresinde denklem 3.1 deki gibi hesaplanmıştır.

$$\delta^2H = 8 \delta^{18}O + 10 (\text{‰ SMOW}) \quad (3.1)$$

Her bölgeye ait yerel meteorik doğrular da (LMWL) oluşturulabilmekle beraber, bu doğruların eğimi dünya meteorik su doğrusundan kot, yerel iklim şartları ve farklı nem kaynaklarının bir sonucu olarak hafif hafif sapma gösterebilmektedirler (Rozanski ve ark., 1993). Örnekleme bölgesinden alınan suların δD ve $\delta^{18}O$ değerleri yağış çizgisini sunan doğruya yakın bir noktada ise muhtemelen bu su örnekleri meteorik kökenlidir. Yani yağış sularının herhangi bir değişikliğe uğramadığını göstermektedir. Eğer bu su örneklemelerine ait δD ve $\delta^{18}O$ değerleri bu doğru hattından sapma göstermişler ise bu örnekler akifer yolculuğu boyunca fiziksel veya kimyasal etkilere maruz kalmıştır (Clark and Fritz, 1997). Yerel çalışmalarda, yüzey ve yeraltı suları datalarının yerel meteorik su doğrusu ile

(LMWL) karşılaştırılması önemlidir. Ancak temsili bir süre boyunca yağışı izlememek mümkün değildir. Bundan dolayı yerel meteorik su hatları için en yakın mevcut izleme istasyonundan alınan değerler kullanılabilir (Clark and Fritz, 1997).

Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) ve (WMO), 1961'den bu yana yağışta hidrojen ve Oksijen izotoplarının içeriğini incelemektedir. Ülkemizde de bu çalışmalar 1963 yılından beri Ankara Yağış İstasyonunda toplanan yağış örnekleri için Oksijen ve Döteryum içerikleri analiz edilmektedir. Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA) tarafından mevcut dataların toplandığı yağış izotoplarının küresel ağı (Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP)) diye bir veri tabanı oluşturulmuştur.

GNIP veri tabanından alınan analiz sonuçlarına göre Ankara Yağış İstasyonu değerleri alınabileceği gibi bu çalışma için yağış verilerinin analiz edildiği ve bölgeye en yakın istasyon olan Erzurum Yağış İstasyonundan alınan veriler üzerine elde edilen 3.2 deki Yerel Meteorik Yağış Doğrusu (LMWL) olarak kabul edilmiştir.

$$\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 14.87 (\text{‰ SMOW}) \quad (3.2)$$

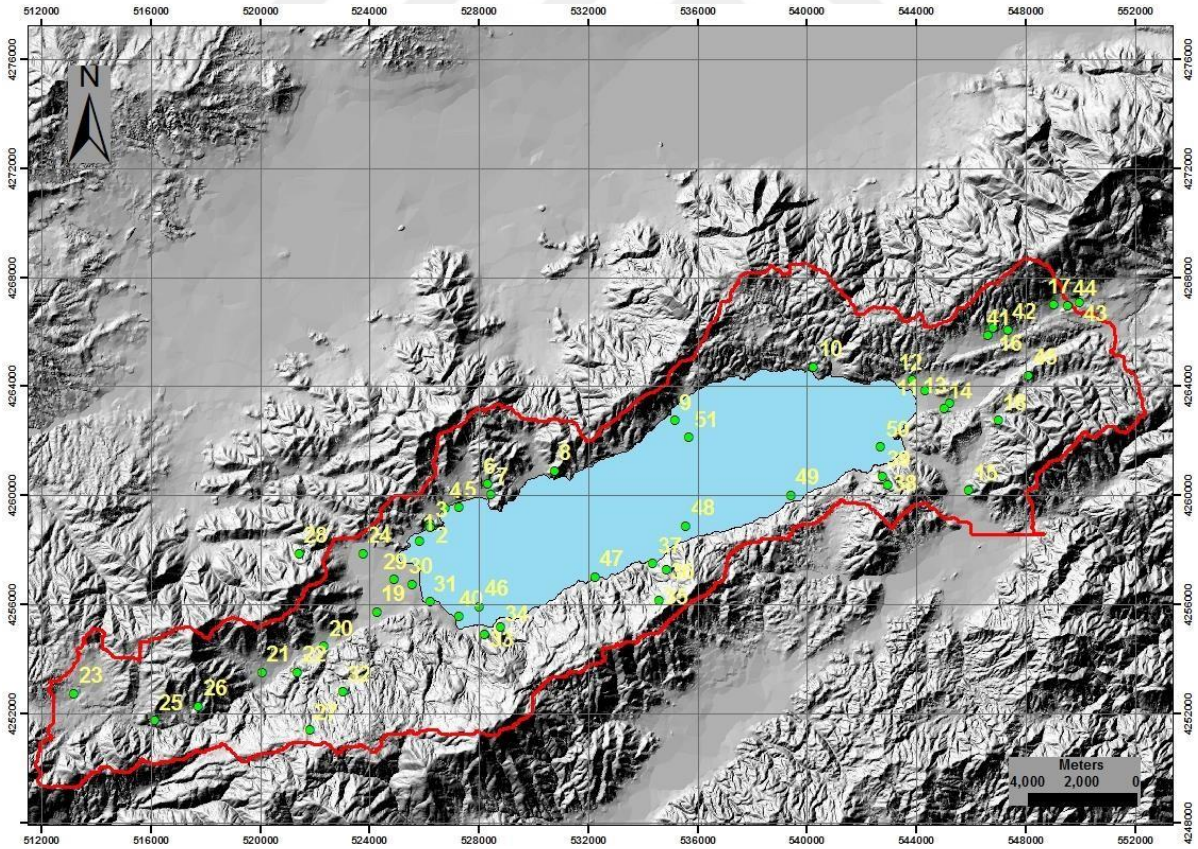
Sıcaklık ve buharlaşma kaynaklarının hemen hemen aynı olduğu iklim şartlarında, yağışın ortalama yıllık δD ve $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin mevsimsel değişimi benzerdir (Clark and Fritz, 1997). Genellikle, dönemsel sıcaklık farklılıklarından dolayı kışın yağış değerleri yazın yağış değerlerinden izotopik olarak daha hafiftir (daha negatif). Kaynak suları yağış sonucu hemen boşaldığı için dönemsel değişimleri çoğunlukla yansıtmaz beklenir.

Doymamış zon boyunca süzülme, bu zonun akış yolu uzunluğu ve kalış süresinin kısalığı sonucu fiziksel ve kimyasal bir fonksiyonu olarak bu değişimler genelde ortadan kaybolur. Clark ve Fritz'e (1997) göre, $\delta^{18}\text{O}$ analizinin izotop değişiminin 2σ hatasından daha düşük olduğu yerde kritik bir derinlik tanımlanabilir. Kritik derinlik, ince taneli bir zeminde 3-5 m'de ulaşılabilir (Zimmermann ve diğerleri, 1967). Kritik derinlik su tablasının altında yer alıyorsa minör mevsimsel değişiklikler sığ yeraltı sularında korunur. Öte yandan, sınırlı akiferdeki kritik derinliğin altında izotopik değişkenlik genellikle 2σ analitik kesinliğini aşmaz. İzotopik değişikliklerin bulunması farklı kökenli suların karışımı anlamına gelir (Clark ve Fritz, 1997). Yüksek sıcaklıklarda, özellikle jeotermal sistemlerde suyun ^{18}O değeri, kayaç-su etkileşiminden kaynaklanan Oksijen-18 değişimi ile daha pozitif değerlere doğru kayabilir. Düşük sıcaklık sistemlerinde Oksijen-18 değişimini gözlemlemek de

mümkündür, ancak bu süreç jeolojik zaman ölçeğinde önemli miktarda zaman gerektirir (Aslan, 2008).

Oksijen-18 ve Döteryum analizi için alınan örnek yerleri Şekil 3.59’da gösterilmiştir. Kuyu, kaynak ve yüzey sularından alınan su örneklerine ait Oksijen ^{18}O ve ^2H analiz sonuçları Tablo 3.8’de sunulmuştur.

Kaynaklardan alınan su örneklerinde Oksijen 18 değeri ‰ -9 ile ‰ -10.02, Döteryum değeri ‰ -52.71 ile ‰ -61.06 arasında, kuyulardan alınan sularda Oksijen 18 değeri ‰ -6.32 ile ‰ -10.41, Döteryum değeri ‰ -43.52 ile ‰ -65.44 arasında, akarsulardan alınan su örneklerinde Oksijen 18 değeri ‰ -8.88 ile ‰ 8.9, Döteryum değeri ‰ -53.95 ile ‰ -54.4 arasında, Hazar Gölü yüzey suyundan alınan örneklerinde Oksijen 18 değeri ‰ -0.41 ile ‰ -1.57, Döteryum değeri ‰ -9.27 ile ‰ -15 arasında, Hazar Gölü yüzeyinden 0.5 m derinlikte alınan su örneklerinde de Oksijen 18 değeri ‰ -0.28 ile ‰ -0.89, Döteryum değeri ‰ -8.55 ile ‰ -15.31 arasında ölçülmüştür (Tablo 3.8). Analiz sonuçlarına göre Hazar Gölü Havzası’nın Oksijen 18 ve Döteryum eş yükselti haritaları oluşturulmuştur (Şekil 3.60-Şekil 3.65).



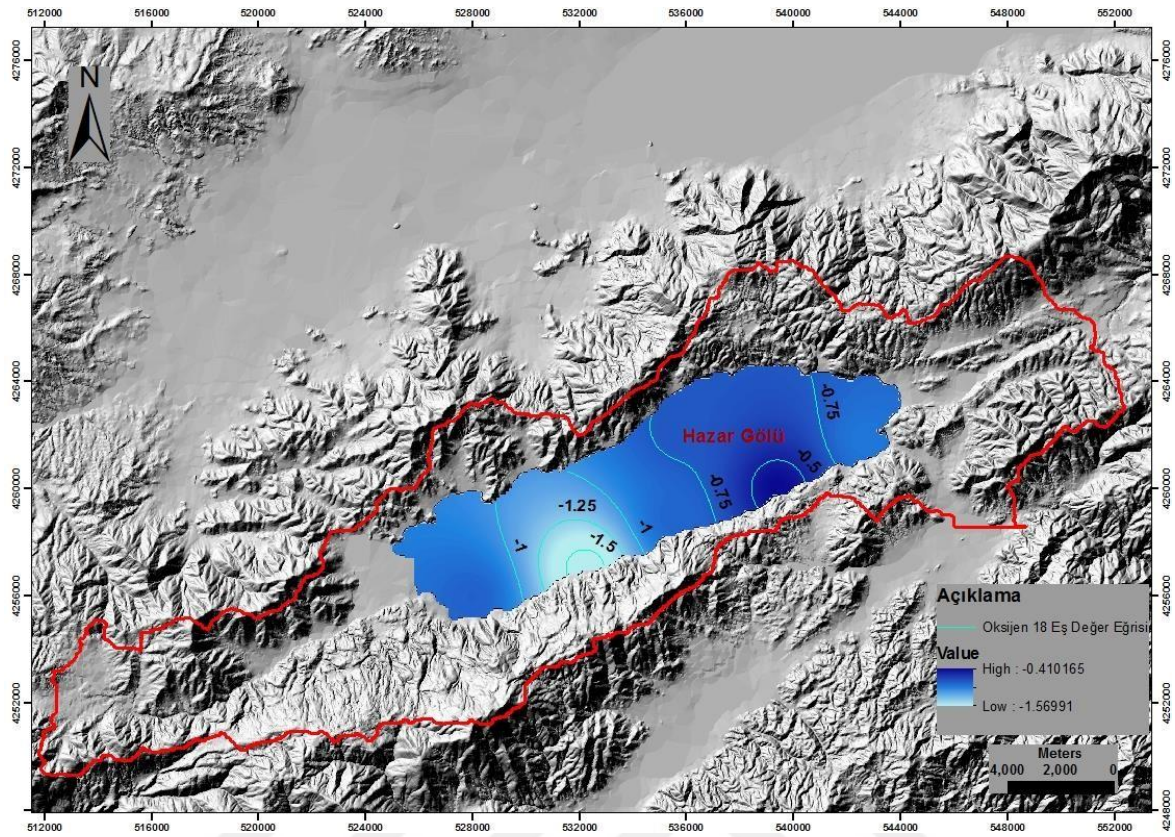
Şekil 3.59. Çevresel izotop (Oksijen-18, Döteryum) analizleri için alınan örnek yerleri

^{18}O ile ^2H arasındaki ilişkiyi anlamak için sonuçlar Şekil 3.66'da Dünya Meteorik Su Doğrusu (GMWL), Akdeniz Meteorik Su Doğrusu (MMWL) ve Yerel Meteorik Su Doğrusu (LMWL) ile birlikte çizilmiş ve sunulmuştur. Bu çizime göre, tüm sistem için (kaynak, kuyu, akarsu ve göl suları) hem $\delta^2\text{H}$ hem de $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinde geniş bir değer yelpazesi bulunmaktadır.

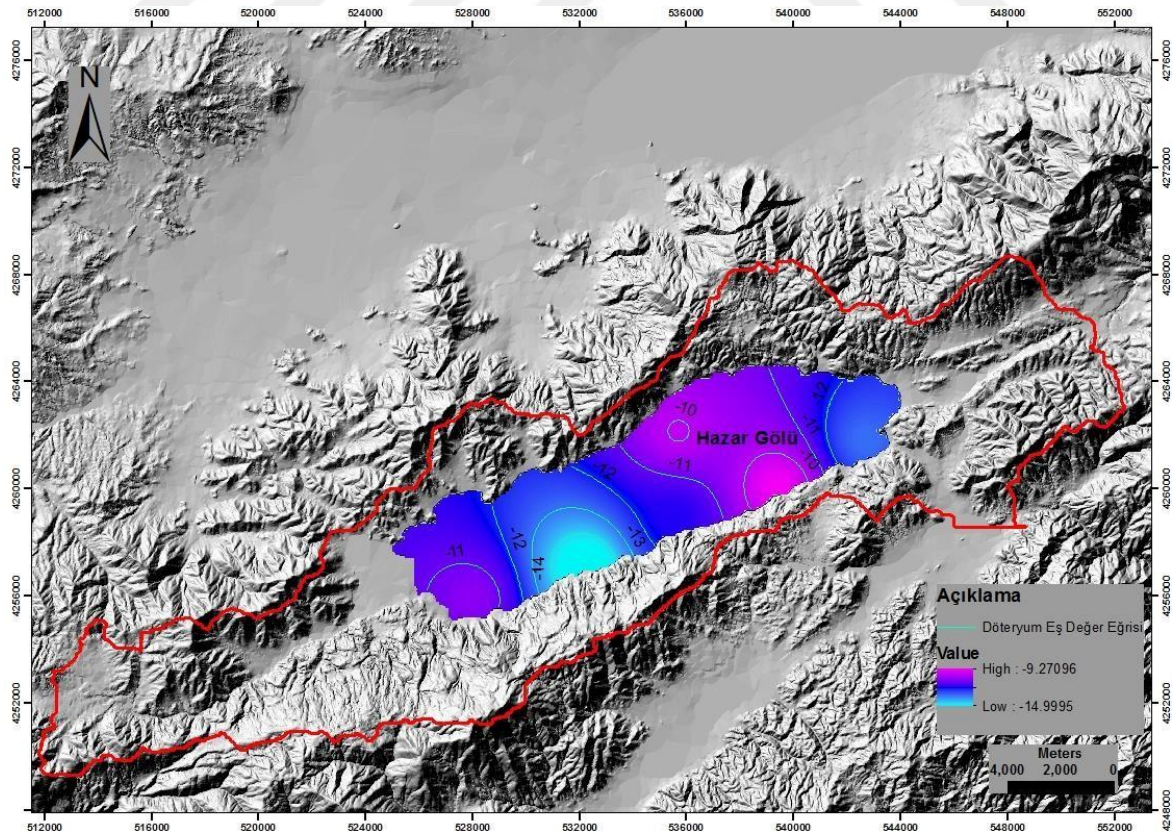
Hazar Gölünden alınan su örnekleri ile SK-9 ve SK-3 nolu su örneklerinin hariç diğer tüm örneklerinin ^{18}O ile ^2H değerleri Dünya Meteorik Su Doğrusu ile Akdeniz Meteorik Su Doğrusu arasında yer almakta olup yerel meteorik su doğrusu etrafında yoğunlaşmaktadır (Şekil 3.67). Dünya Meteorik Su Doğrusundan sapma genellikle buharlaşma, yoğunlaşma, su-kayaç etkileşimleri, farklı kökene sahip suların karışması ve mevsimsel etkiler gibi farklı proseslerden kaynaklanabilmektedir (Clark ve Fritz, 1997). Hazar Gölü'nden alınan su örnekleri buharlaşma sonucu daha pozitif değerler olarak Dünya Meteorik Su Doğrusu'ndan sapma göstermiştir. SK-3 ve SK-9 nolu su örneklerinde meydana gelen sapma ise farklı iki kökene sahip (yeraltı suyu ve Hazar Gölü) su kaynaklarının karışımı sonucu kaynaklanmaktadır. SK-3 ve SK-9 örnek yerleri Hazar Gölü kıyı kesiminde yer alır ve muhtemelen Hazar Göl Suyu yeraltı suyu akiferine girişim yapmaktadır.

Tablo 3.8. Su örneklerinin Oksijen 18, Döteryum analiz sonuçları

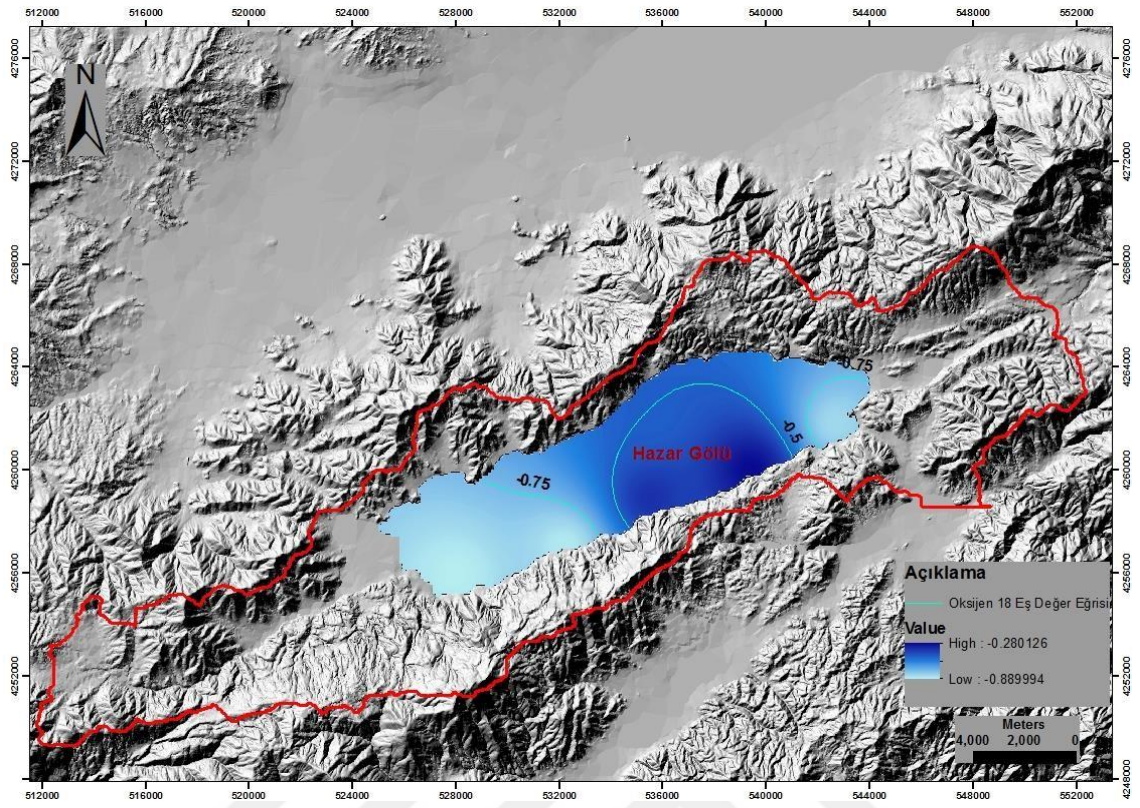
No	Örnek	Kot	EC	Oksijen-	Hata	Döteryu	Hata	d fazlası
1	SK	1255	525	-9.3	0.11	-61.43	0.89	0
2	SK	1272	349	-8.37	0.14	-56.01	0.99	0.95
3	SK	1258	423	-6.32	0.08	-43.52	0.35	-2.96
4	SK	1272	358	-9.17	0.22	-58.67	1.06	4.69
5	SK	1252	576	-9.07	0.16	-58.49	0.87	4.07
6	SK	200	379	-9.06	0.13	-59.37	1.02	3.11
7	SK	1246	414	-9.19	0.20	-60.09	0.76	3.43
8	SK	1255	485	-9.03	0.11	-58.47	1.01	3.77
9	SK	1260	1278	-6.61	0.20	-47.56	0.66	-4.68
10	SK	1263	453	-9.71	0.11	-60.31	1.09	7.37
11	SK	1247	464	-9.33	0.23	-61.06	0.65	3.58
13	SK	1240	511	-9.06	0.11	-57.27	1.04	5.21
14	A	1240		-8.88	0.11	-54.4	1.05	6.64
15	SK	1245		-10.41	0.11	-65.34	0.86	7.94
16	SK	1250	445	-9.12	0.14	-55.2	0.89	7.76
18	K	1415	363	-9.42	0.14	-59.43	1.14	5.93
19	K	1516	297	-10	0.09	-61.06	0.70	8.94
21	K	1270	541	-9.3	0.18	-54.49	0.22	9.91
24	SK	1271	596	-9.39	0.18	-60.62	0.88	4.5
25	SK	1327	384	-8.22	0.14	-52.87	1.04	2.89
26	SK	1420	201	-9.11	0.10	-58.81	0.74	4.07
29	A	1349	348	-8.9	0.06	-53.95	0.24	7.25
30	K	1640	202	-9.19	0.07	-58.68	0.75	4.84
32	SK	1280	531	-8.6	0.08	-54.43	0.59	4.37
33	SK	1550	216	-9.28	0.06	-59.96	0.86	4.28
34	K	1530	203.6	-9.26	0.18	-58.52	0.77	5.56
35	K	1820	262	-9.51	0.05	-56.55	0.45	9.53
36	K		415	-9.84	0.17	-59.16	0.45	9.56
38	SK	1252	477	-8.78	0.11	-55.61	0.57	4.63
39	SK	1248	508	-9.08	0.14	-56.33	0.84	6.31
40	SK	1255	559	-9.04	0.18	-53.57	0.04	8.75
43	K	1490	234	-9.67	0.07	-58.34	0.72	9.02
47	K	1285	128.4	-9.22	0.16	-52.71	1.14	11.05
48	SK	1259	280	-9.34	0.09	-56.9	0.64	7.82
49	K	1520	187.8	-10.02	0.07	-59.24	0.86	10.92
51	SK	1271	266	-9.75	0.02	-58.68	0.54	9.32
52	SK	1251	334	-9.63	0.07	-56.77	0.78	10.27
54	SK	1296	282	-9.61	0.15	-59.62	0.82	7.26
55	SK	1250	516	-9.19	0.08	-55.79	0.91	7.73
56	K	1280	430	-9	0.11	-59.01	0.47	2.99
57	SK	1392	449	-9.81	0.11	-59.78	0.30	8.7
58	SK	1398	631	-10.1	0.12	-60.07	0.49	10.73
59	SK	1436	731	-9.89	0.12	-65.44	1.14	3.68
60	SK	1405	1624	-10.25	0.10	-65.21	1.01	6.79
61	SK	1298	916	-9.42	0.08	-57.38	0.98	7.98
A1	G	1245		-1.57	0.15	-15	0.86	
A2	G	1244.5		-0.88	0.20	-10.99	1.09	
B1	G	1245		-0.79	0.09	-11.72	0.07	
B2	G	1244.5		-0.38	0.11	-11	0.35	
C1	G	1245		-0.41	0.10	-9.27	0.36	
C2	G	1244.5		-0.28	0.06	-8.55	0.45	
D1	G	1245		-0.86	0.01	-12.93	0.24	
D2	G	1244.5		-0.84	0.11	-11.39	0.82	
E1	G	1245		-0.73	0.16	-9.95	0.65	
E2	G	1244.5		-0.5	0.06	-11.32	0.55	
S1	G	1245		-0.77	0.19	-10.67	0.57	
S2	G	1244.5		-0.89	0.12	-15.31	0.90	



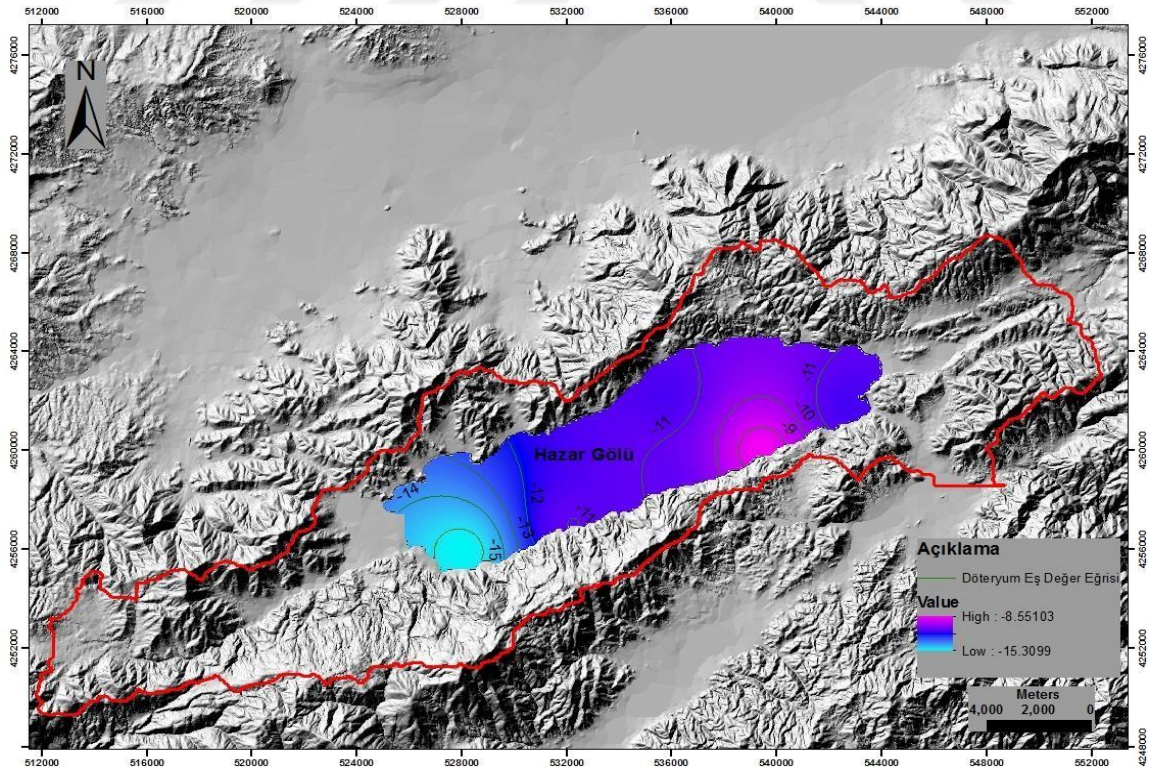
Şekil 3.62. Hazar Gölü yüzey örneklerinin Oksijen 18 eş dağılım haritası



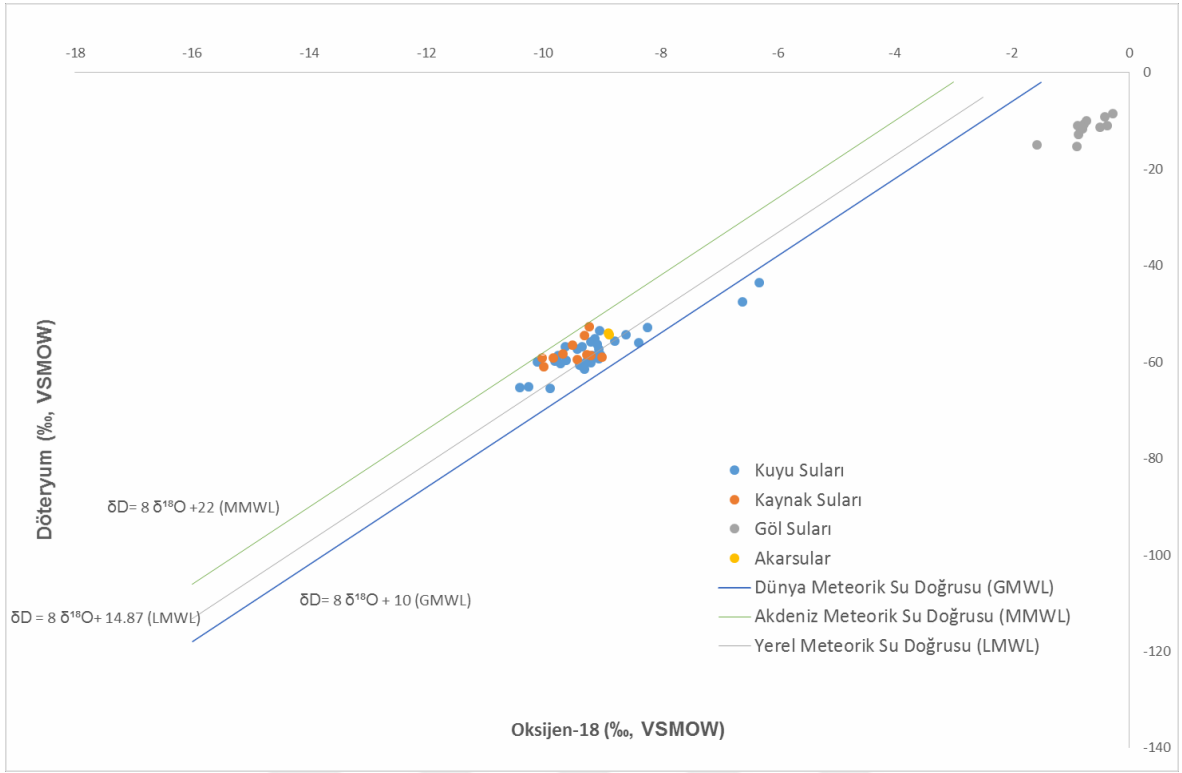
Şekil 3.63. Hazar Gölü yüzey örneklerinin eş Döteryum dağılım haritası



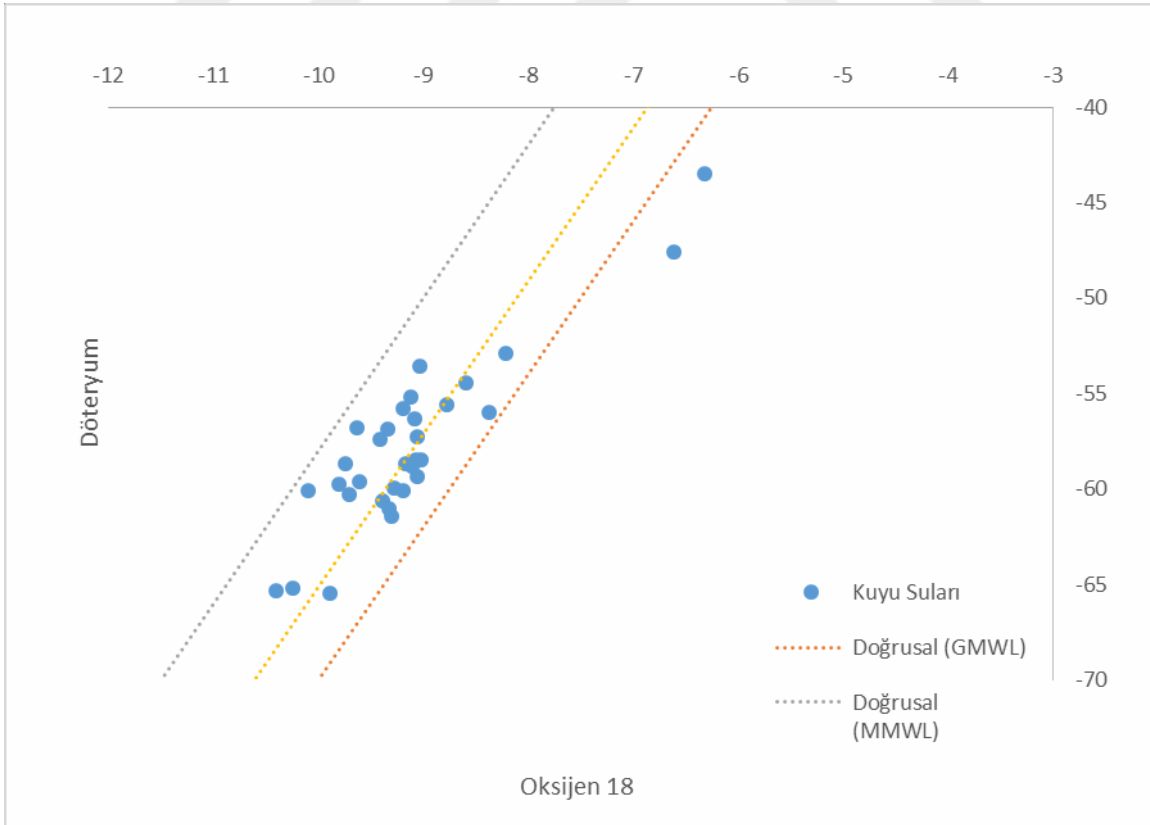
Şekil 3.64. Hazar Gölü 0.5 m derinlik örneklerinin Oksijen 18 eş değer dağılım haritası



Şekil 3.65. Hazar Gölü 0.5 m derinlik örneklerinin Döteryum eş değer dağılım haritası



Şekil 3.66. Kuyu, kaynak, akarsu ve göl sularının Oksijen 18 - Döteryum grafiği



Şekil 3.67. Kuyu suları ile SK-3 ve SK-4 nolu kuyuların Oksijen18 - Döteryum grafiği

Farklı iki su kütlesinin karıştığı gözlenen, SK-3 ve SK-9 lokasyonlarında yeraltı suyu ile Hazar Göl Suyu karışım oranı izotoplar yardımı ile bulunabilir. Oksijen 18 ve Döteryum parametreleri karışım halinde de kendi değerlerini koruduklarından dolayı bu karışım oranı cebirsel olarak denklem 3.3' de,

$$\delta_{\text{örnek}} = \lambda \delta_A + (1 - \lambda) \delta_B \quad (3.3)$$

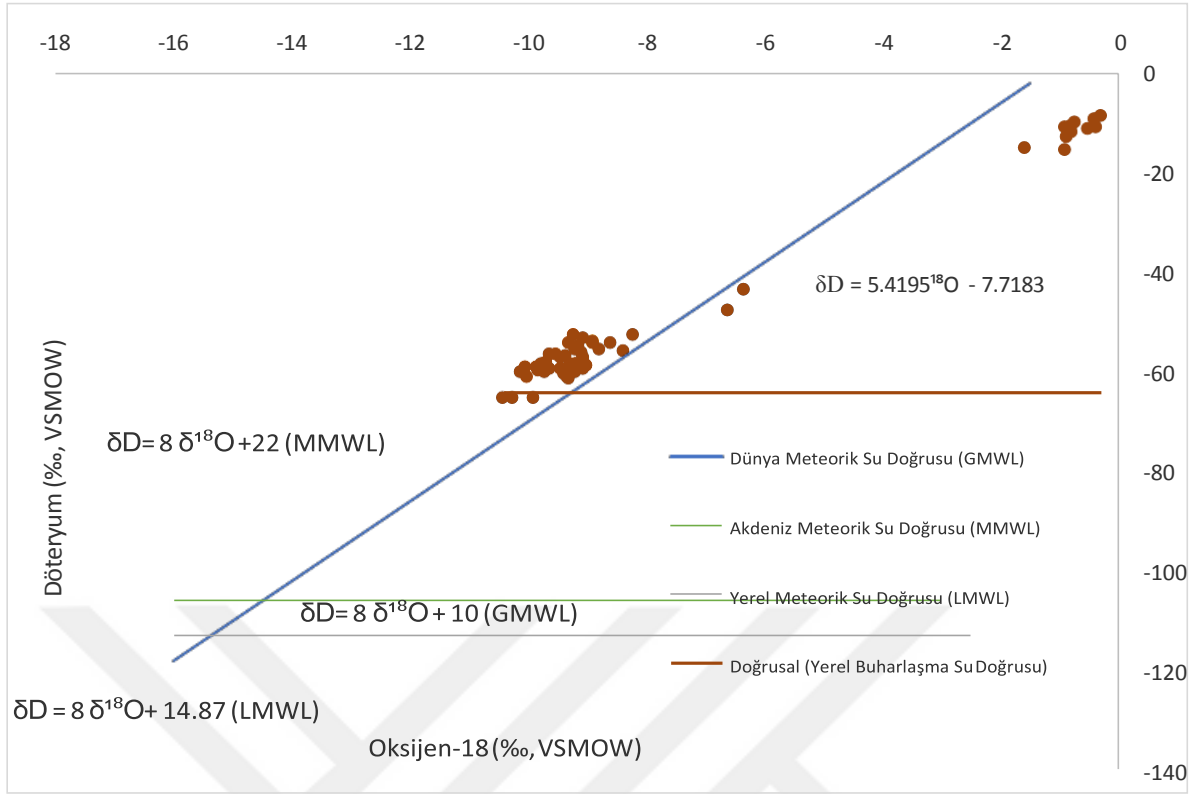
Yukarıdaki denklemde, λ ; karışım yüzdesi, δ ; ^{18}O veya ^2H değeri, A ve B, karışım bileşenleri, $\delta_{\text{örnek}}$ karışım suyu olarak tanımlanmıştır.

Buna göre SK-3 nolu su örneğinde %40, SK-9 nolu su örneğinde %38 Hazar Göl Suyu karışımı tespit edilmiştir.

Çalışma alanından alınan tüm su örneklerine ait çizilen buharlaşma doğrusunun denklemi 3.4' de,

$$\delta D = 5.4195 \delta^{18}\text{O} - 7.7183 \quad (3.4)$$

şeklinde elde edilmiş olup doğru denkleminin eğimi 5 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.68). Havadaki bağıl nem, Oksijen ve hidrojeni etkilediği için buharlaşma doğrusunun eğimini değiştirir. Bağıl nem %25 ile %75 arasındaysa buharlaşma doğrusunun eğimi 4 ile 5 arasındadır (Clark ve Fritz, 1997). Elazığ ilinde bağıl nem bu iki değer arasındadır. Çalışma sahasındaki bağıl nem miktarı ile buharlaşma doğrusunun eğiminin birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. En yüksek buharlaşma, yüksek sıcaklığa maruz kalarak buharlaşmaya uğramış olan Hazar Gölü'nden alınan örneklerde görülmüştür.



Şekil 3.68. Su örneklerine ait buharlaşma doğru grafiği

Kaynaklardan alınan su örneklerinde buharlaşma doğruyu aşağıdaki denklem 3.5’de olduğu gibi elde edilmiştir (Şekil 3.69).

$$\delta D = 3.2149 \delta^{18}O - 27.405 \quad (3.5)$$

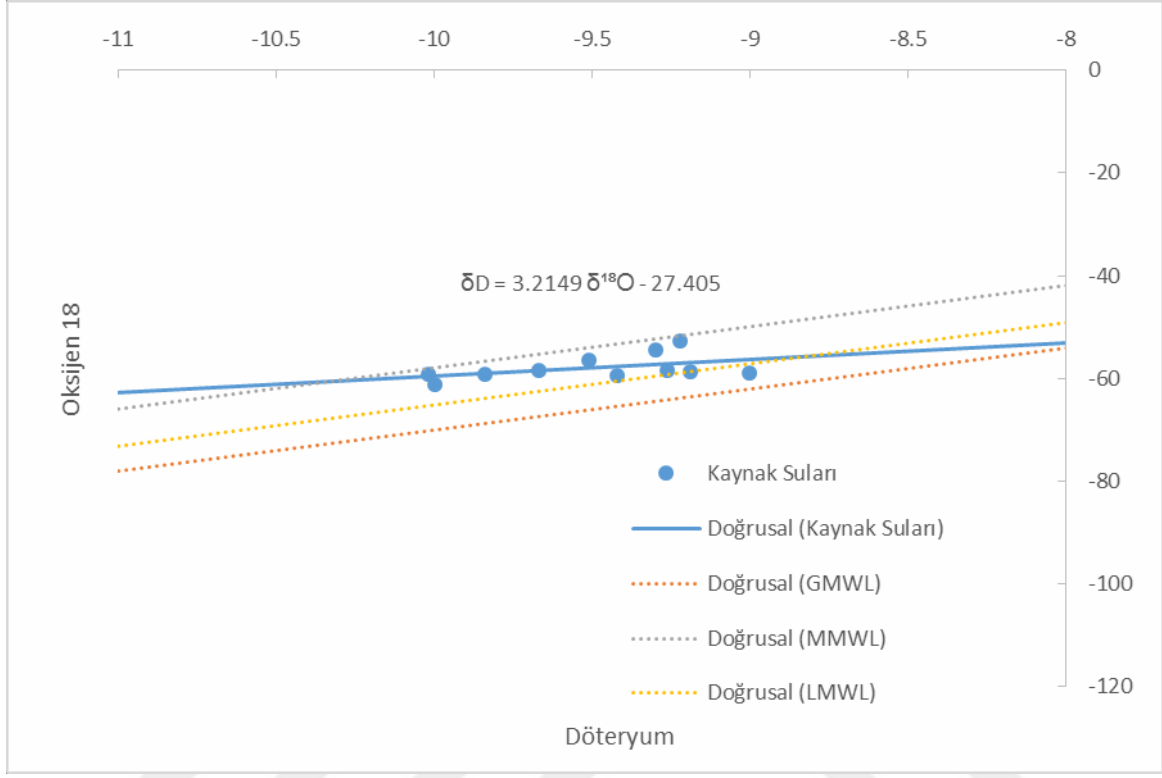
Eğim derecesinin 3 olarak belirlenmesi kaynakların daha uzun bir seyahat süresi ile kayaç birimlerinin içerisinde kaldığını göstermektedir.

Kuyu sularının Şekil 3.70’de çizilen buharlaşma doğrusunun eğimi yeraltı sularının beslenme esnasında bağıl nemden etkilendiğini göstermektedir.

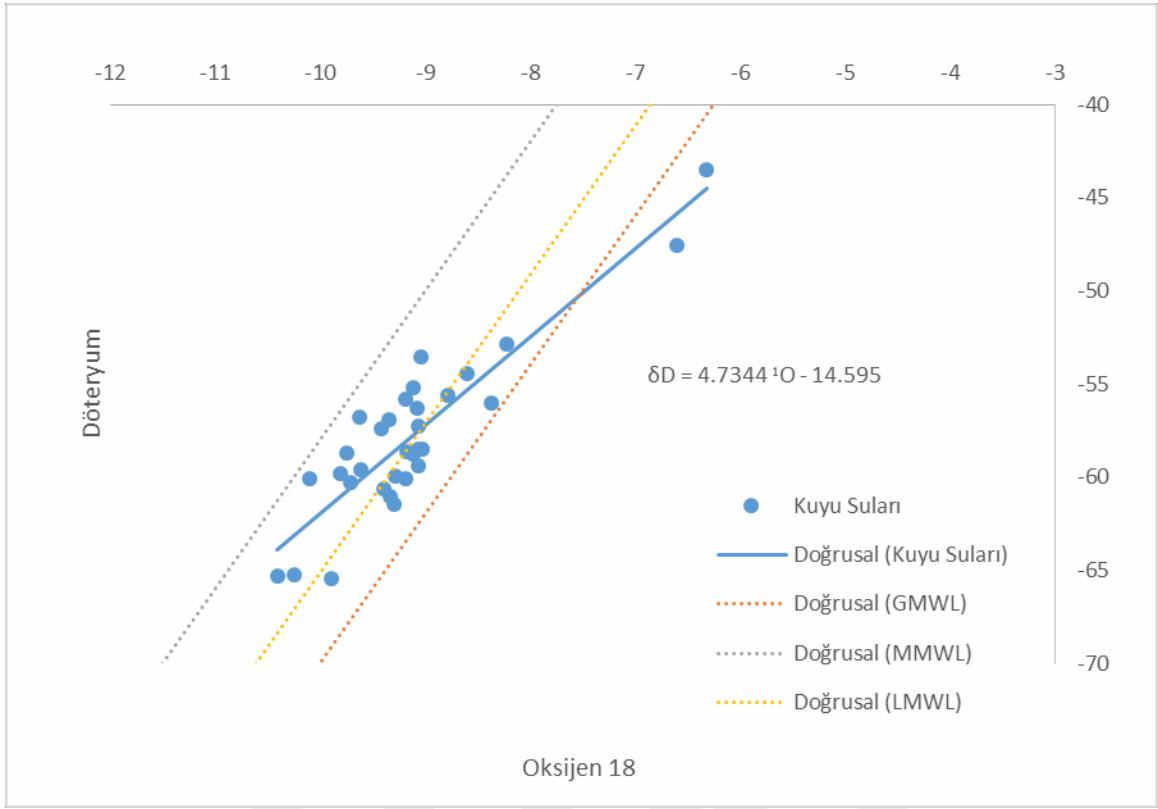
Hazar Gölü yüzeyi ve 0.5 m derinlikte alınan su örneklerinin buharlaşma doğruları aynı doğru denklemleri aşağıda sırasıyla denklem 3.6 ve denklem 3.7’ de verilmiştir (Şekil 3.71, 3.72). Hazar Gölü yüzey ve 0.5 m derinlikte hemen hemen aynı değerleri vermesi buharlaşmanın yaklaşık 0.5m derinliğe kadar etkili olduğunu göstermekte ve tabakalaşma oluşmadığı görülmektedir.

$$\delta D = 3.2149 \delta^{18}O - 27.405 \quad (3.6)$$

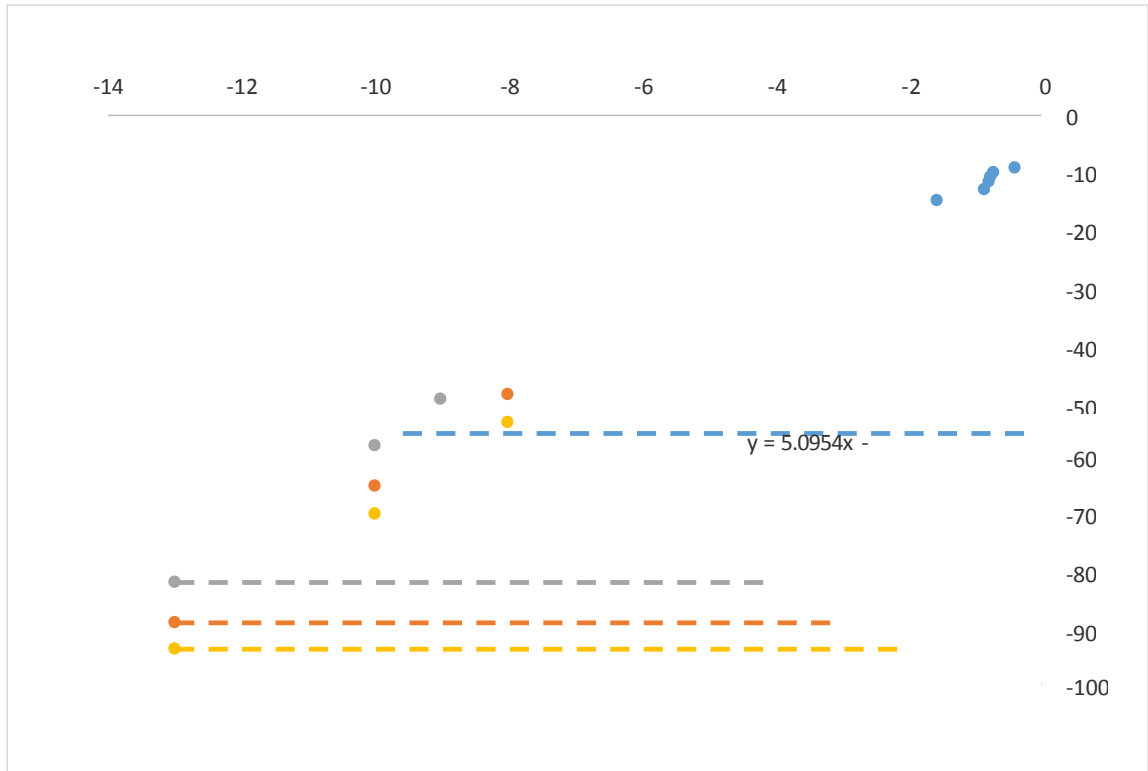
$$\delta D = 3.2149 \delta^{18}O - 27.405 \quad (3.7)$$



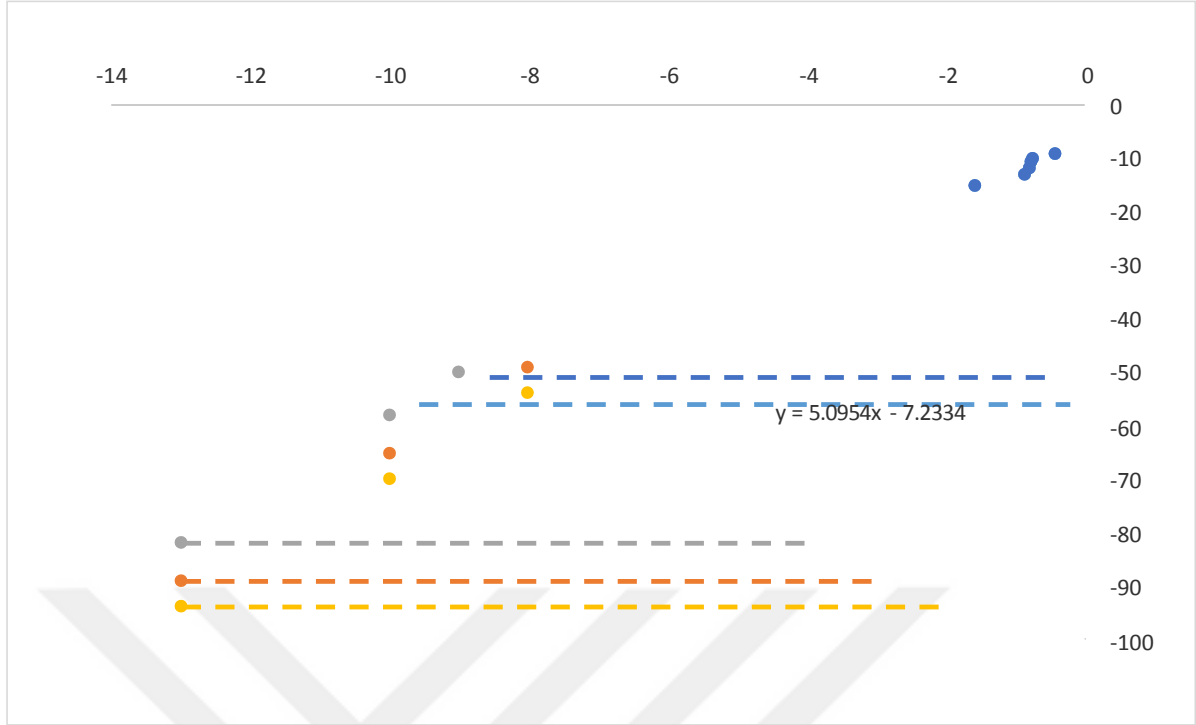
Şekil 3.69. Kaynak sularının buharlaşma doğru grafiği



Şekil 3.70. Kuyu sularının buharlaşma doğru grafiği

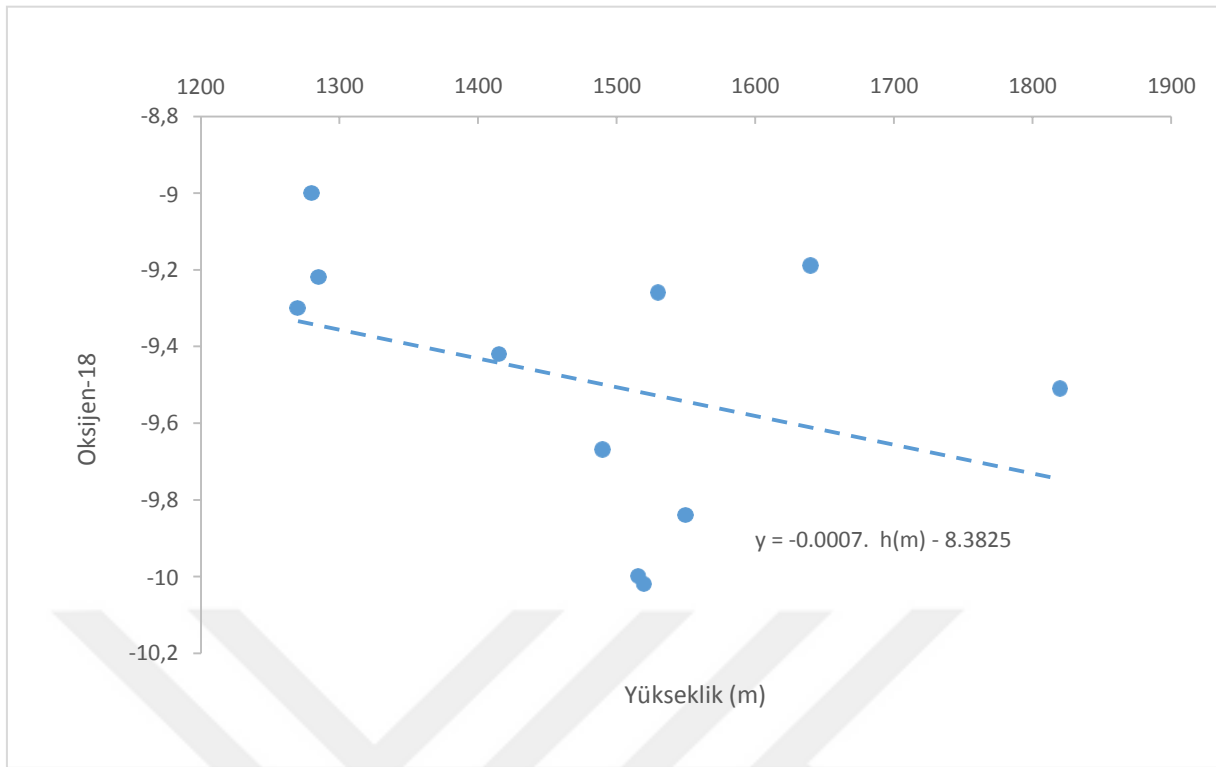


Şekil 3.71. Hazar Gölü yüzey sularının buharlaşma doğru grafiği



Şekil 3.72. Hazar Gölü 0.5 m derinlik sularının buharlaşma doğru grafiği

İzotop hidrolojisi konusunda geçmişte yürütülen çalışmalar sonucunda Oksijen-18 içeriğinin, coğrafi konum, enlem vb. parametrelerin yanı sıra, esas olarak yükselti ile ters orantılı biçimde azaldığı gösterilmiştir (Payne ve Dinçer, 1965). Her 100 m kot artışına karşılık ^{18}O içeriğindeki azalma ‰ 0.15 ile ‰ 0.50 arasındadır (Clark ve Fritz, 1997). Kot yükseldikçe sıcaklığın ve buna bağlı olarak buharlaşmanın azalması, bu negatifleşme oranını arttırmaktadır. Şekil 3.73’de yükseklik ile O değerleri arasında ters orantı gözlenmektedir



Şekil 3.73. Ortalama ¹⁸O ile yükseklik (m) arasındaki doğru grafiği

Sularda analiz edilen Döteryum ve Oksijen-18 değerleri arasındaki ilişki belli yağış rejimleri için değişmez. Bundan dolayı su örneklerindeki Döteryum fazlası değerler kullanılarak, farklı yağış rejimlerinin etkisi belirlenebilmektedir. Hesaplanan, birbirine yakın Döteryum fazlası değerler aynı yağış rejimini göstermektedir. Döteryum fazlası aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

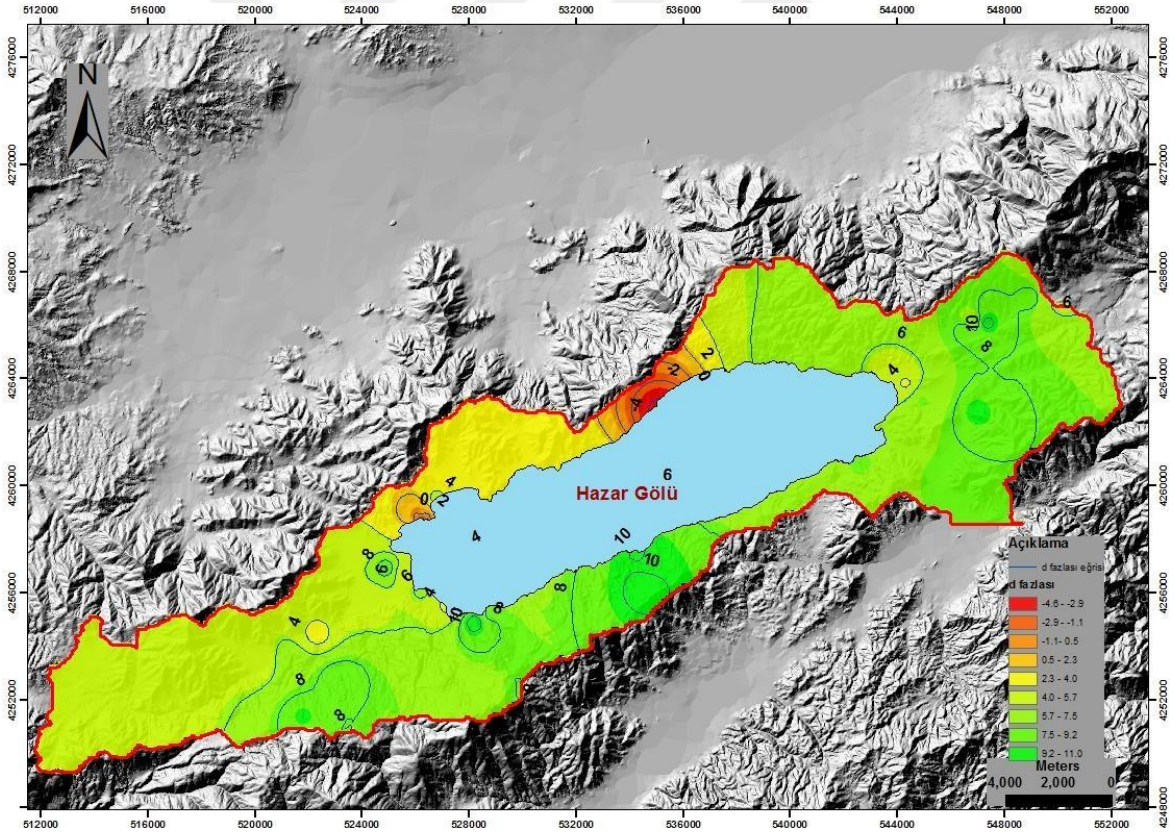
$$df = \delta D - (8 \delta^{18}O + 10) \quad (3.8)$$

Çalışma alanında kaynak, kuyu, akarsu ve göl örneklerinin Döteryum fazlası değerleri Tablo 3.6'da verilmiştir. +10 değeri, karasal iklim rejimini gösterir. Ülkemiz üzerinde etkili olan Doğu Akdeniz iklimi için bu değer +22 ‰'dir (Gat, 1971; IAEA, 1981; IAEA, 1983).

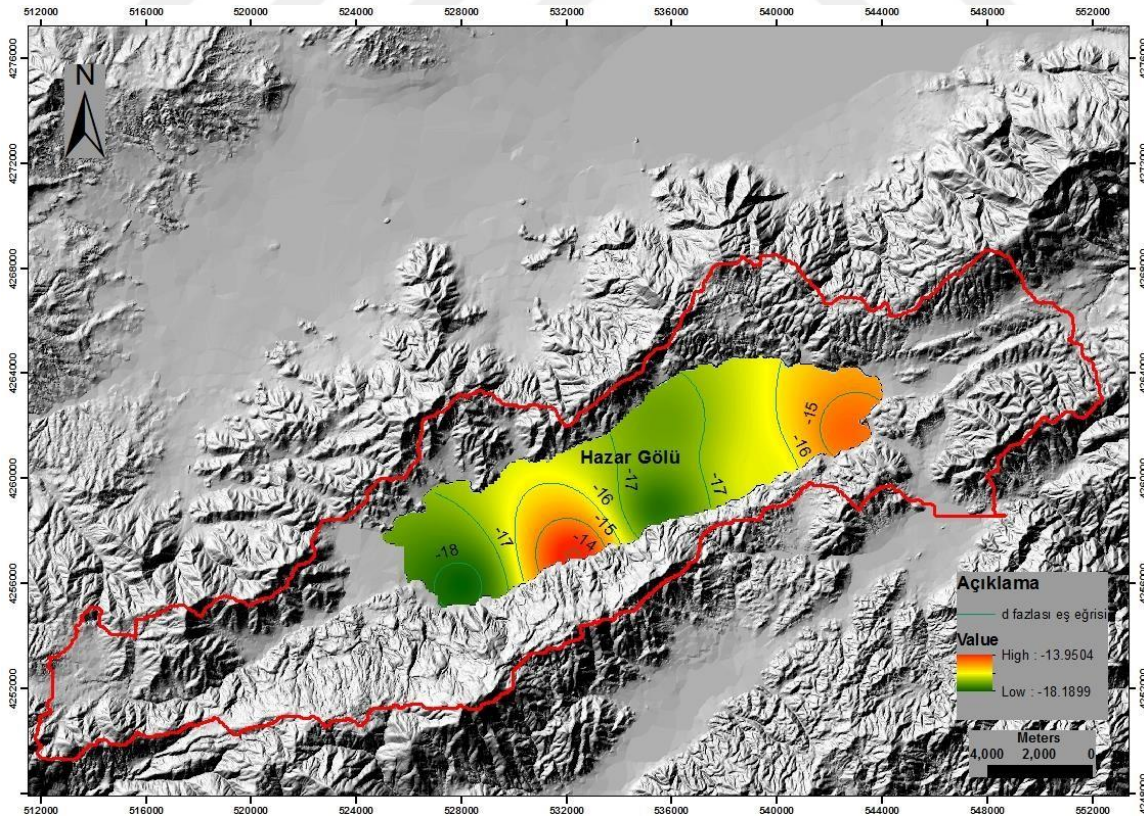
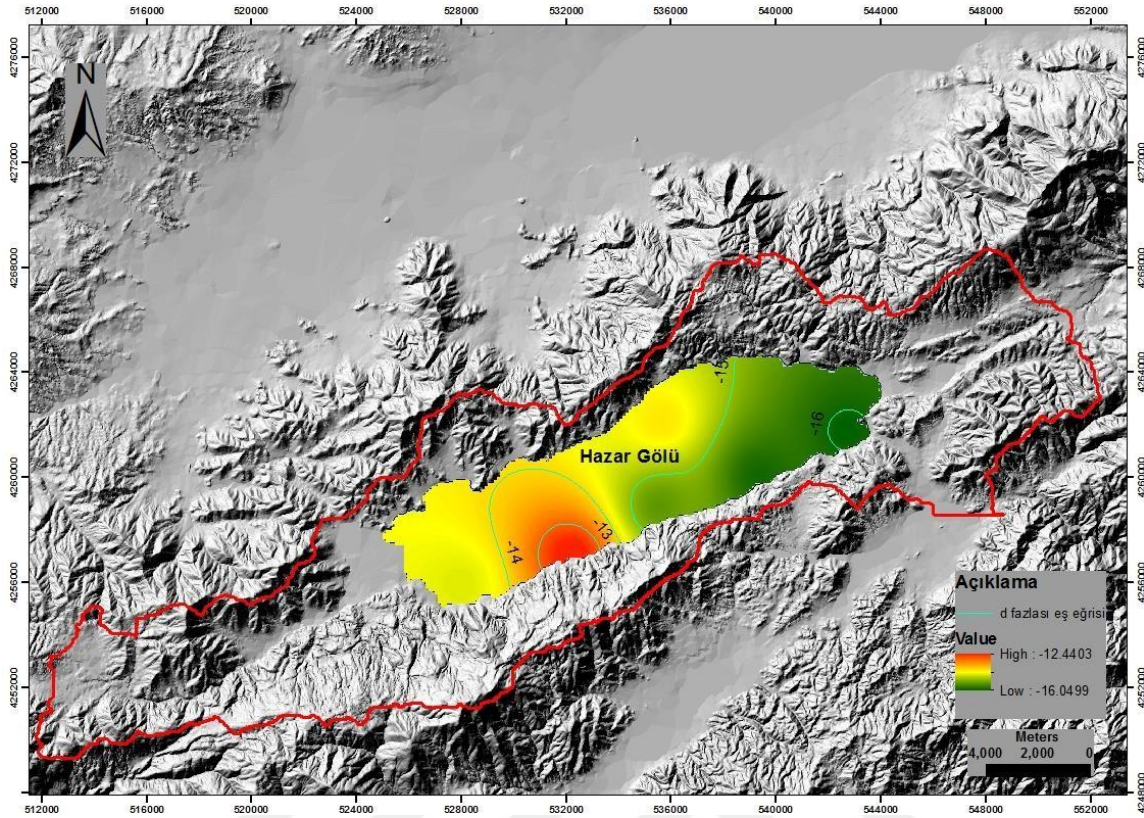
Döteryum fazlasının yüksek değerleri denizel kökenli yağışların göstergesi olmasına karşılık, düşük değerler karasal kökenli yağışları temsil etmektedir (Kehinde, 1993). Ortalama değerler ise; hem karasal hem de denizel kökenli yağışlardan beslenmeyi göstermektedir. Çalışma alanından alınan su örneklerin Döteryum fazlası değerleri +10 ve daha düşük değerler olup karasal yağışları işaret etmektedir (Dinçer ve Payne, 1971).

SK-3 ve SK-9 örneklerindeki negatif Döteryum fazlası değerler buharlaşmanın etkisinden kaynaklanmaktadır. Hazar Gölü Havzası'na ait Döteryum fazlası değerlerinin eş değer dağılım haritası Şekil 3.74'de verilmiştir. Oluşturulan bu haritada; Hazar Gölü Havzası'nın karasal yağış rejimi etkisinde olduğu belirlendiği gibi yeraltı sularının bağıl nemden etkilendiği alanlar ile Hazar Gölü ile yeraltı suyu arasındaki girişimin etkileşim alanları görülmektedir. Hazar Gölü kuzey kıyı kesiminde negatif Döteryum fazlası değerler net olarak izlenmektedir.

Hazar Gölü'nün yüzeyi ile 0.5 m derinlikte alınan su örneklerinin d fazlası eş dağılım haritası Şekil 3.75 ve Şekil 3.76'da gösterilmiştir. d fazlası değer Hazar Gölü'nde tamamen buharlaşmadan etkilenmektedir. Buna göre, Hazar Gölü'nde her yerde ve her derinlikte aynı buharlaşmanın izlenmediği görülmektedir. Hazar Gölü'nde buharlaşmayı etkileyen muhtemelen gölü yüzeyden ve dipten besleyen taze su kaynaklarının varlığı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.74. Hazar Gölü Havzası d fazlası eş değer dağılım haritası



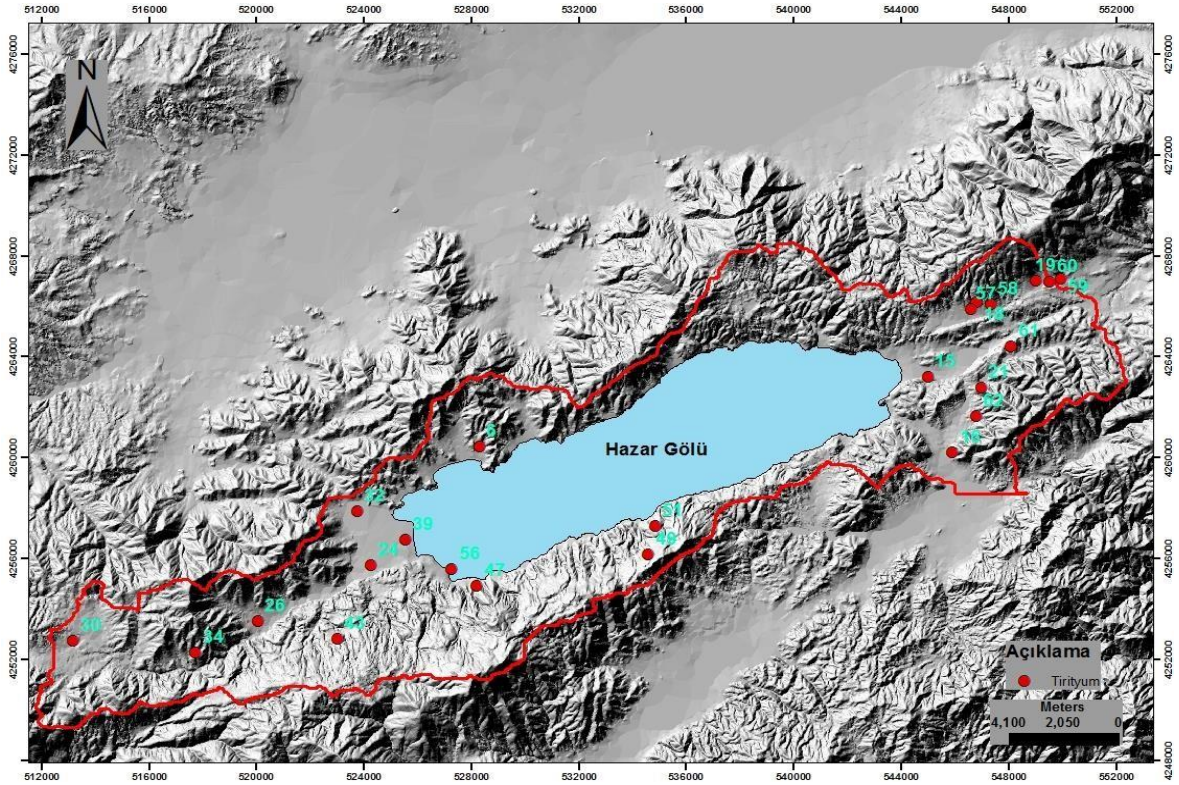
3.4.3.2. Tritiyum

Hidrojeolojide en yaygın olarak kullanılan duraysız (radyoaktif) izotop Tritiyum (^3H) izotopudur. Tritiyumun sulardaki konsantrasyonu Tritiyum Birimi (Tritium Unit, TU) cinsinden ifade edilmektedir. $1 \text{ TU} = 1 \text{ atom } ^3\text{H} / 10^8 \text{ atom H}$ 'dir (Dansgaard, 1964). Yeraltı suyunu besleyen yağışın Tritiyum içeriğinin bilinmesi durumunda, yeraltısuyunun ağırlıklı ortalama yaşının belirlenmesi ve farklı yeraltı sularının karışımına ilişkin öngörülerde bulunulması mümkün olmaktadır (Tezcan, 1992) Tritiyum değeri, $\text{TU} < 1$ olan sular en az 50 yıllık suları temsil ettiği düşünülebilir. Tritiyum değeri, $\text{TU} \approx 3$ olan sular 30–40 yıllık sular olarak düşünülebilir. Tritiyum değeri, $\text{TU} = 1–8$ arasında olan sular güncel ve eski sular karışımı olarak düşünülebilir. Tritiyum değeri, $\text{TU} = 9–18$ arasında olan sular güncel sular ve Tritiyum değeri, $\text{TU} = 19–28$ arasında olan sular da termonükleer etkileşimlerden çokça etkilenen sular olarak ifade edilebilir (Clarke ve ark., 1976). Yeraltı sularının $\delta^{18}\text{O}$ – Tritiyum içeriği arasındaki ilişki bölgenin hidrodinamik yapısı hakkında bize önemli bilgiler verir. Yaşlı sular beslenmenin zayıf, genç sular ise güçlü olduğunun göstergesidir (Aksoy ve Filiz, 2001).

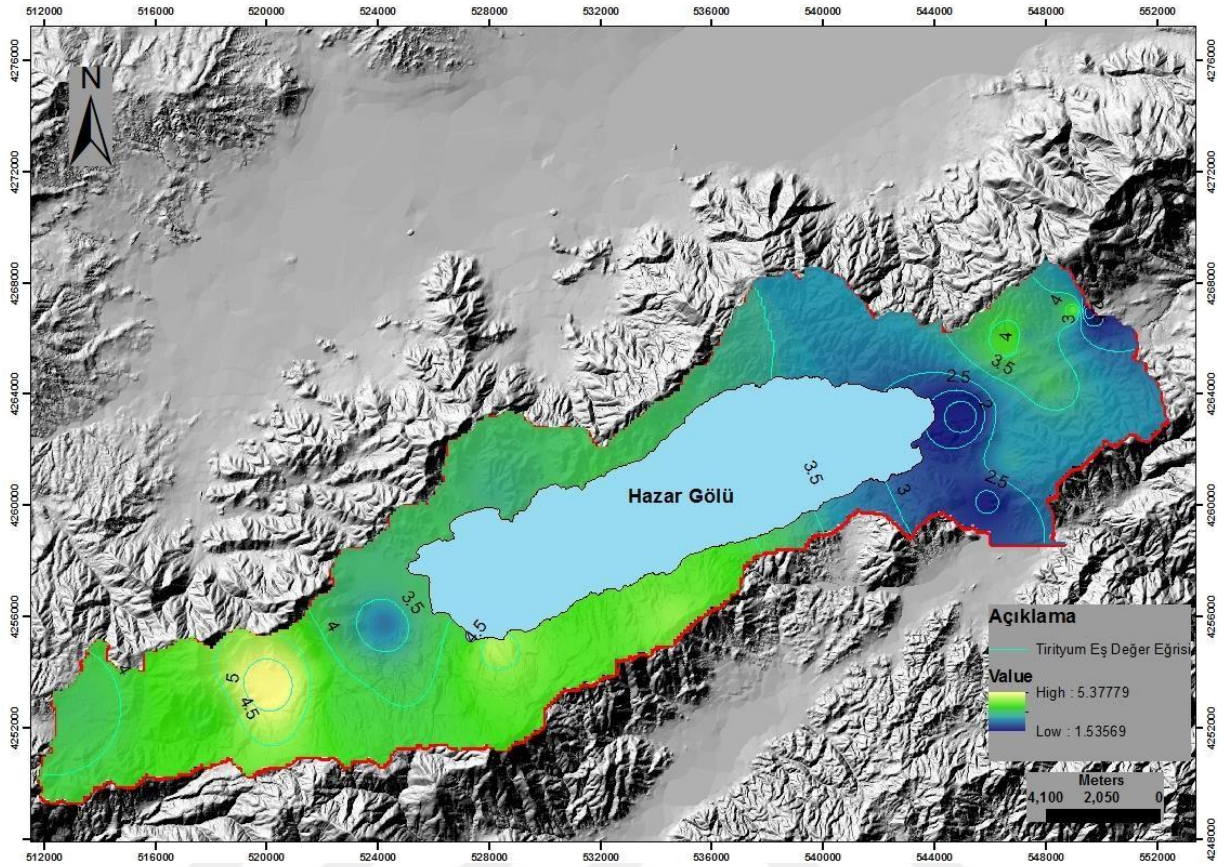
Hazar Gölü Havzası bir tektonik göl olup yapılan Tritiyum analizleri ile yeraltı sularının yaşı ile birlikte kırık hatları boyunca yükselen eski suların varlıkları da araştırılmak istenilmiştir. Hazar Gölü Havzası'nda yapılan karalı izotop (Tritiyum) çalışmalarının örnek yerlerini gösteren harita Şekil 3.77'de, analiz sonuçları da Tablo 3.9' da verilmiştir. Su örneklerinin Tritiyum değerleri 1.47 – 5.38 TU arasında ölçülmüştür. Analiz sonuçlarına göre Hazar Gölü Havzası'nın Tritiyum eş değer dağılım haritası Şekil 7.8'de oluşturulmuştur. Bu haritaya göre havzanın ova kesiminde daha düşük Tritiyum değerleri gözlemlenirken, havzanın yüksek dağlık kesimlerinde daha yüksek Tritiyum değerleri gözlemlenmiştir. En düşük Tritiyum değeri SK-60 nolu (1.47 TU) kuyu suyu örneğinde, en yüksek Tritiyum değeri SK-26 nolu (5.38 TU) kuyu suyu örneğinde ölçülmüştür. Yağışlı mevsimde örnekleme çalışmalarının yapıldığı düşünülürse SK-60, SK-15, SK-16 ve SK-59 nolu kuyu suyu örneklerini yaşlı sular, diğer örnek sularını da güncel ve eski suları (en az 50 yıllık) içeren karışım suları olarak sınıflandırmak mümkündür. SK-60, SK-15, SK-16 ve SK-59 nolu kuyu yerleri tektonik kırıklar üzerindedir. Dolayısıyla bu kırık hatlar boyunca eski suların akiferi beslediği düşünülmüştür. Ayrıca bu yerlerinde yağıştan beslenme zayıf, diğer örnek yerleri yağıştan güçlü olarak beslenmektedir.

Tablo 3.9. Trityum analiz sonuçları (SK; kuyu, K; kaynak)

Örnek No	Örnek Türü	EC	Oksijen-18	Döteryum	TU	TU hata +/-
6	SK	379	-9.06	-59.37	3.62	0.25
15	SK	794	-10.41	-65.34	1.56	0.23
16	SK	445	-9.12	-55.2	2.41	0.25
18	K	363	-9.42	-59.43	4.25	0.28
19	K	297	-10	-61.06	4.5	0.28
21	K	541	-9.3	-54.49	3.34	0.26
24	SK	596	-9.39	-60.62	3.08	0.25
26	SK	201	-9.11	-58.81	5.38	0.3
30	K	202	-9.19	-58.68	3.87	0.26
32	SK	531	-8.6	-54.43	3.7	0.26
34	K	203.6	-9.26	-58.52	4.14	0.27
39	SK	508	-9.08	-56.33	3.78	0.27
43	K	234	-9.67	-58.34	4.05	0.28
47	K	128.4	-9.22	-52.71	4.71	0.3
49	K	187.8	-10.02	-59.24	4.49	0.27
51	SK	266	-9.75	-58.68	4.28	0.27
56	K	430	-9	-59.01	4.06	0.26
57	SK	449	-9.81	-59.78	4.24	0.26
58	SK	631	-10.1	-60.07	3.51	0.26
59	SK	731	-9.89	-65.44	2.63	0.24
60	SK	1624	-10.25	-65.21	1.47	0.23
61	SK	916	-9.42	-57.38	3.79	0.26
62	SK	853			3.43	0.27



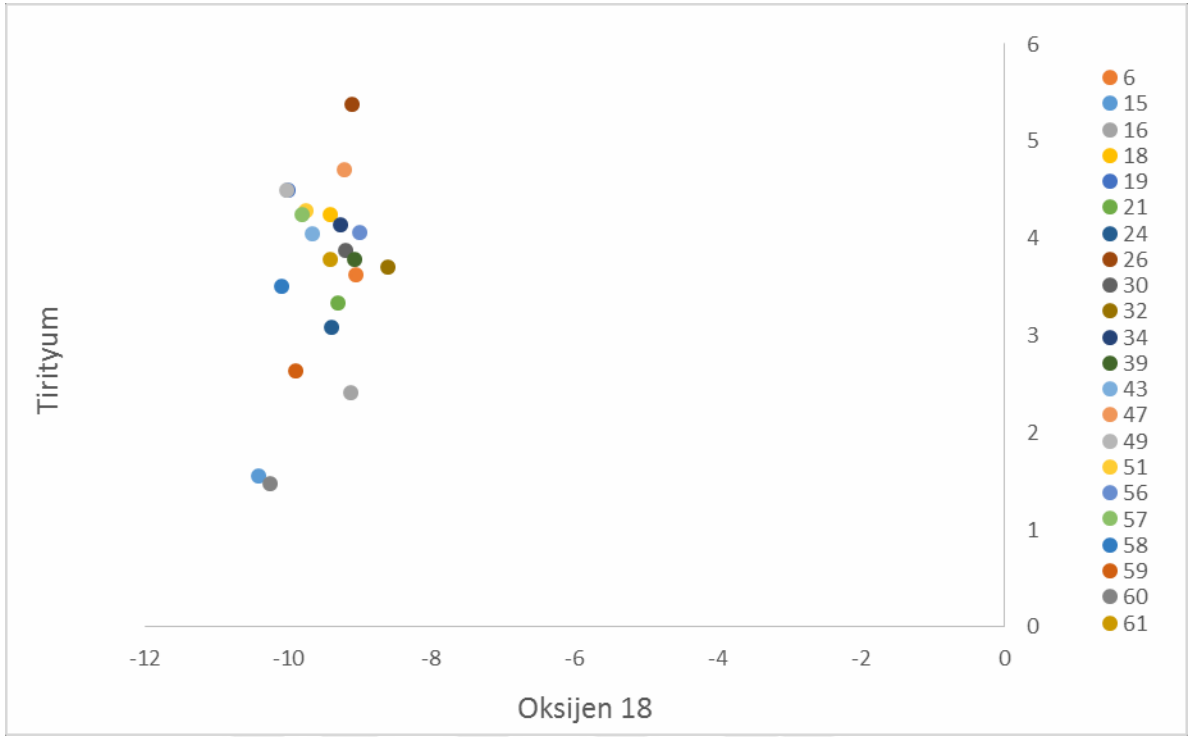
Şekil 3.77. Kararlı izotop (Trityum) analizi için alınan örnek yerleri



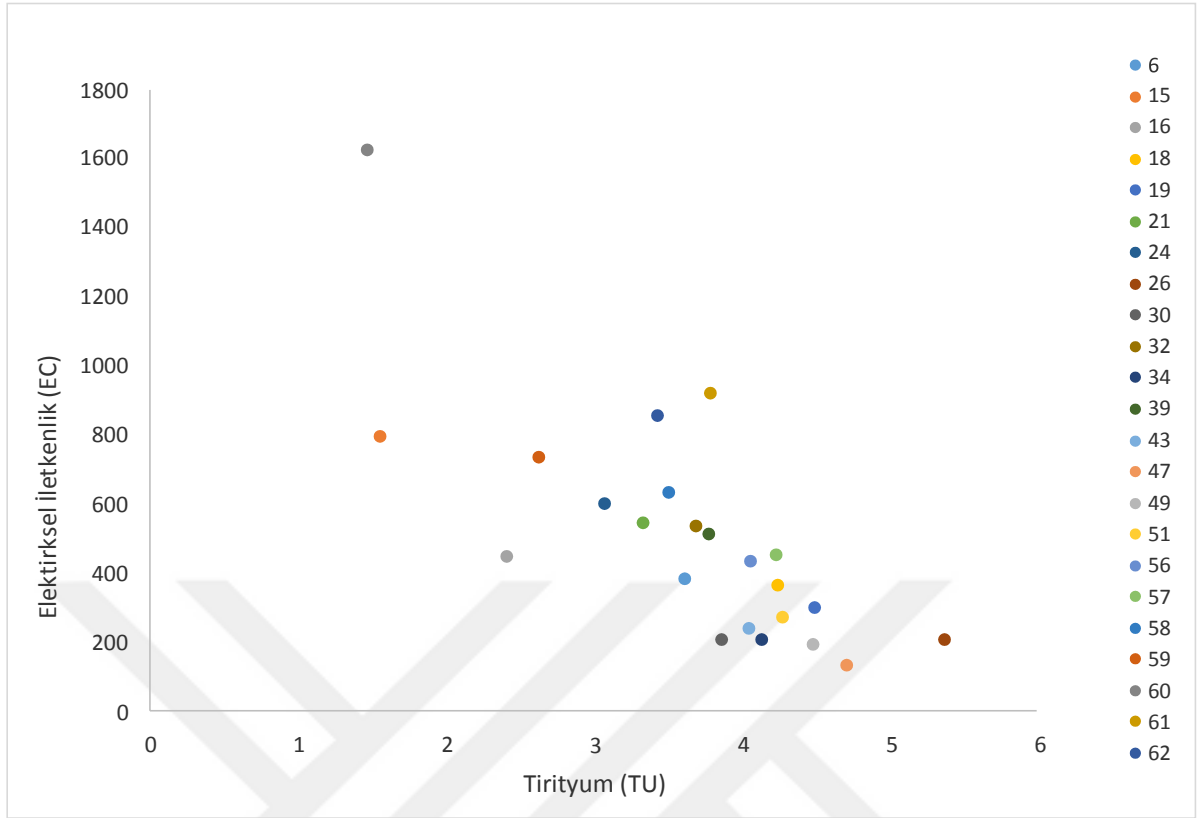
Şekil 3.78. Hazar Gölü Havzası Trityum eş değer dağılım haritası

Suların beslenme yükseltileri ile akifer içerisinde kalış süreleri $^{18}\text{O} - ^3\text{H}$ ilişkisi göstermektedir. Genel Olarak $^{18}\text{O} - ^3\text{H}$ grafiğinde merkeze doğru yaklaşıldıkça akifer içinde kalış süresi artmaktadır (Celiker, 2016). Çalışma alanında analiz edilen SK-60, SK- 15, SK-16 ve SK-59 nolu örnek suları merkeze daha yakın ve düşük ^3H değerlerine sahiptir. Bu durum, bu suların akifer içerisinde kalış sürelerinin diğer sulara oranla daha uzun olduklarını göstermektedir (Şekil 3.79).

Şekil 3.80’de SK-60 nolu örnek yerinden alınarak analiz yapılan suyun yüksek EC (1820), düşük Trityum (1.47 TU) değerine sahip olması aynı şekilde bir önceki grafikte de (Şekil 3.79) belirtildiği gibi bu suyun diğer sulara göre daha yaşlı ve derin dolaşımli olduğunu teyit etmektedir.



Şekil 3.79. Oksijen 18 – Trityum grafiği



Şekil 3.80. Elektirksel iletkenlik – Trityum grafiği

4.SONUÇ VE TARTIŞMA

K-37, K-38, SK-39 ve SK-40 nolu örnek sularının asidik karakterde ve pH parametresi açısından içme suyu standartlarına uygun olmadığı saptanmıştır.

Çalışma alanından incelenen suların Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ve K^+ katyonlarının konsantrasyonları, sırasıyla 4.18 – 114.85 ppm, 3.02 – 285.70 ppm, 0.88 – 210.13 ppm ve 0.25 – 2.36 ppm aralığında, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- ve F^- anyonları, Haziran (2015) döneminde sırasıyla 53.07 – 1030 ppm, 0.87 – 77.58, 0.86 – 185.89 ppm, 0.02 – 0.32 ppm aralığında ölçülmüştür.

Mg^{2+} katyonu, Haziran (2015) döneminde SK-59 ve SK-60 nolu kuyu suyu örneklerinde, Eylül (2015) döneminde SK-59 nolu su örneğinde İTASHY (50 ppm) tarafından belirlenen üst limitlerin üzerinde analiz edilmiştir.

Na^+ iyon miktarının, Eylül (2015) döneminde SK-9 nolu örnekte İTASHY (200 ppm) ve WHO (200 ppm) tarafından önerilen üst değerin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu Hazar Gölü suyunun akifere girişim yapmasıyla açıklanmıştır.

Ölçümü yapılan sularda İHTASY (50 ppm), EPA (44.3 ppm) ve WHO (50 ppm) standartlarına göre nitrat kirliliği saptanmamıştır.

Su örneklerinin katyon ve anyon parametreleri mevsimsel değişimden etkilenmektedir.

Arsenik, kadmiyum, bakır, nikel, kurşun, çinko, mangan, krom ve kobalt konsantrasyonları, 0.002 – 2.075 ppb, 0.002 – 0.148 ppb, 0.053 – 111.354 ppb, 0.092 – 14.206 ppb, 0.012 – 2.561 ppb, 1.729 – 896.108 ppb, 0.063 – 311.415 ppb, 0.053 – 3.391 ppb, 0.001 – 0.321 ppb aralığında ölçülmüştür. Çalışma alanında alınan su örneklerinde ağır metal konsantrasyonları İTASHY, WHO ve EPA standartlarına göre sadece SK-16 (111.354 ppb) nolu kuyu suyu örneğinde Cu konsantrasyonu İTASHY (50 ppb) tarafından belirlenen üst limitin üzerinde tespit edilmiştir. Diğer su örneklerinde ağır metal konsantrasyon ölçümleri İTASHY, WHO ve EPA standartları içerisinde analiz edilmiştir.

Kaynaklardan alınan su örneklerinde Oksijen 18 değeri -9 ‰ ile -10.02 ‰, Döteryum değeri -52.71 ‰ ile -61.06 ‰ arasında, kuyulardan alınan sularda Oksijen 18 değeri -6.32 ‰ ile -10.41, Döteryum değeri -43.52 ‰ ile -65.44 ‰ arasında, akarsulardan

alınan su örneklerinde Oksijen 18 değeri -8.88 ‰ ile 8.9 ‰, Döteryum değeri -53.95 ‰ ile -54.4 ‰ arasında, Hazar Gölü yüzey suyundan alınan örneklerinde Oksijen 18 değeri -0.41 ‰ ile -1.57 ‰, Döteryum değeri -9.27 ‰ ile -15 ‰ arasında, Hazar Göl yüzeyinden 0.5 m derinlikte alınan su örneklerinde Oksijen 18 değeri -0.28 ‰ ile -0.89 ‰, Döteryum değeri -8.55 ‰ ile -15.31 ‰ arasında saptanmıştır. Böylece, havzadan alınan tüm su örneklerinin meteorik kökenli olduğu saptanmıştır.

Çalışma alanından alınan tüm su örneklerine ait çizilen buharlaşma doğrusunun denklemi $\delta D = 5.4195 \delta^{18}O - 7.7183$ olarak hesaplanmıştır.

Hazar Gölü Havzası karasal yağış rejimi etkisindedir.

Hazar Gölünde Buharlaşmadan dolayı tabakalaşma görülmemiştir. Gölün dip kaynaklarından beslendiği çevresel izotoplar ile teyit edilmiştir.

Su örneklerinin Trityum değerleri 1.47 – 5.38 TU arasında ölçülmüştür. Yağışlı mevsimde örnekleme çalışmalarının yapıldığı düşünülürse SK-60, SK-15, SK-16 ve SK-59 nolu kuyu suyu örneklerini yaşı sular, diğer örnek sularını da güncel ve eski suları (en az 50 yıllık) içeren karışım suları olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu örnek lokasyonlarında yağıştan beslenme zayıf, diğer örnek yerleri yağıştan güçlü olarak beslenmektedir.

SK-60 nolu örnek suyunun yüksek EC (1820), düşük Trityum (1.47 TU) değerine sahip olması bu suyun diğer sulara göre daha yaşı ve derin dolaşımli olduğunu teyit etmektedir.

Bu yüksek lisans tez çalışması sonucu elde edilen verilere dayanarak oluşturulan CBS haritaları Hazar Gölü Havzası su bütçesi çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. **Akdeniz, U., Başaran, N., Bozkurt, Ş., Olgun, K., Pelen, N., 2015.** Ermenek Barajı Göl Alanı Sağ Sahil İzotop Hidrolojisi, 4. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, İstanbul.
2. **Aksoy, N., Filiz, S., 2001.** Investigation of Balçova-Narlıdere Geothermal Field by Isotopes, Proceedings, 1st Environment and Geology Symposium, İzmir, 21-23.
3. **Apaydin, A., Aktaş, E.D, Kaya, S., 2015.** Karaören (Şabanözü-Çankırı) Basınçlı Akiferinin Beslenme Koşulları Ve Yeraltısuyu Dinamiğinin Analizinde Çevresel İzotopların (^{18}O , ^2H , ^3H) Katkisi 4. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, İstanbul.
4. **Arslan, M., 2015.** İzotop Hidrolojisi-Ulusal Ve Uluslararası Kuruluşlar, 4. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, İstanbul
5. **Aslan, Ş., 2008.** Investigation Of The Recharge And Discharge Mechanisms Of A Complex Aquifer System By Using Environmental Isotopes And Noble Gases, Middle East Technical University Doctor Thesis, 108p.
6. **Aydin, H., Ekmekçi, M., Tezcan, L., Aksoy, N., Dişli, E., 2015.** Van Gölü Havzası Yerel Meteorik Su Doğrusunun Belirlenmesi, . Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, İstanbul
7. **Celiker, M., 2008.** Uluova'nın (Elazığ) Hidrojeolojisinin Coğrafi Bilgi Sistemleri İle İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,, Yüksek Lisans Tezi, 103s.
8. **Celiker, M., 2014.** Elazığ Uluova Yeraltısuyu Akiferinin Arsenik ve Ağır Metal İçeriğinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 235 s.
9. **Celiker, M., 2016.** Uluova'da Çevresel İzotoplar ve Kimyasal Analizler Kullanarak Yeraltı ve Yerüstü Sularının İlişkisinin Belirlenmesi, Journal of Engineering Research, 4(1), 105-124., (
10. **Clarke, W. B., W. J. Jenkins and Z. Top. 1976.** Determination of tritium by mass spectrometric measurement of ^3He . Int. J. Appl. Rad. Isotopes 27, pp. 217- 225.
11. **Cici, M., 1995.** "Hazar Gölü Su Kalitesi", I. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu, 20 Mayıs, Sivrice, 23-26.
12. **Clark, I., ve Fritz, P., 1997,** Environmental Isotopes in Hydrogeology, Lewis Publishers, CRC Press, Florida, p 328

13. **Dinçer, T., Payne, B.R. 1971.** An Environmental Isotope Study of The South-Western Karst Region of Turkey", Journal of Hydrology, 14: 233-258.
14. **Dansgaard, W., 1964.** Stable isotopes in precipitation. Tellus 16:436– 468
15. **Değirmenci M., Ekmekçi M., Atmaca E., Altın A., 2008.**Kayseri Kenti İçme suyu Havzası'ndaki Akiferlerin Özelliklerinin İzotop Teknikleri Kullanılarak Belirlenmesi, III.Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, İstanbul.
16. **Demir, S., 2008.** Isparta Ve Yakın Çevresi Yeraltısularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal Ve İzotop Jeokimyasal İncelenmesi ve İçme Suyu Kalitesinin İzlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
17. **Doğru, M. and Külahcı,F., 2004.** Iso-radioactivity curves of the water of the Hazar Lake, Elazığ, Turkey, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, vol.260, No.3, 557-562.
18. **Dursun, Ö.F., Çeliker, M., Fırat, M., 2016.** Hidrojeokimyasal Analizler ve Çevresel İzotop Teknikleri Kullanarak Derme Karstik Kaynağının Hidrolojik Özellikleri, CLEAN - Soil, Air, Water, 44(2), 143-153., Doi: 10.1002/clen.201400035
19. **Eftimi R., Zoto J 1997.** Isotope study of the connection of Ohrid and Prespa lakes, In: International Symposium, "Towards Integrated Conservation and Sustainable Development of Transboundary Macro and Micro Prespa Lakes". Korcha, pp 32-38
20. **Emiroğlu, M.E, Baylar A., ve Balı S., 1998.** Hazar Gölünün Özellikleri ve Gelecek İçin Su Bütçesi II. Ulusal Hidroloji Kongresi.
21. **Gat, J.R., 1971,** Comments on the Stable Isotope Method in Regional Groundwater Investigations, , Water Resources Research, v.7, pp.980-993,
22. **Gölbaşı, S., ve Şen B., 2006,** Hazar Gölüne Dökülen Kürk Çayı'nın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Fen Bilimleri Enstitüsü
23. **Günek, H., A. Yiğit. 1995.** Hazar Gölü Havzası'nın hidrografik özellikleri. I. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu, Çağ Ofset, Elazığ, 91-103.
24. **Güven, A., 2013, Hazar Gölü (Elazığ) Çevresindeki Alüvyon Akiferinin Hidrojeoloji İncelemesi,** Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst. (yayımlanmamış), 77s. **Hempton, M.R., Dune, L.A and Dewey. J.F., 1983.** Sedimentation active strike-slip basin, South- eastern Turkey : Geology, 91, 401-412.
25. **IAEA, 1998.** "Analytical quality in the IAEA isotope hydrology laboratory: Some recent improvements". Water and environment news, IAEA, No.3, pp 5-7,

26. **IAEA., 1981.** Stable isotope in hydrology, IAEA. Tech., Rep. International Atomic Energy Agency - Ser., No 210, pp 339
27. **IAEA., 1983.** International Atomic Energy Agency, Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, IAEA. Tech. Rep. Ser., No 91, pp 439
28. **Kaya, A, 1992.** Gezin – Maden (Elazığ) Çevresinde Jeolojik Araştırmalar: Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst. (yayımlanmamış), 72s.
29. **K.C. Lohmann, J.McKenzie, and S. Savin, Editors, Geophysical Monograph 78,** American Geophysical Union, 1-36.
30. **Kehinde, M. O., 1993.** Preliminary isotopic Studies in the Bida Basin, Central Nigeria", Environmental Geology, 22:212-217.
31. **Olgun, K., Kalkan. S., 1994.** Elazığ – Uluova Revize Etüt Raporu. DSİ. Ankara, 67s.
32. **Örmeci, S., 2005.** Şarkikaraağaç Havzası'nın (Isparta) Hidrojeoloji İncelemesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 110s.
33. **Özaydın V., Şendil U., Altınbilek D., 2005.** Su Bütçesi Elemanlarının Arasındaki İlişkilerin Kararlı İzotoplarla İncelenmesi, II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, İzmir.
34. **Öztürk, M. ve Ünlü, A., 1996.** "Hazar Gölü'nün Hidrolojik Özellikleri ve Hatunköy Barajı'nın Göl seviyesine Etkisi", II. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu, 28-29 Mayıs, Sivrice.
35. **Özmen, H., Külahçı, F., Çukurovalı, A. and Doğru, M., 2004,** Concentrations of heavy metal and radioactivity in surface water and sediment of Hazar Lake (Elazığ, Turkey), Chemosphere 55, 401-408.
36. **Özyurt, N.N., Bayari, C.S., 2015.** Tuna Nehri Viyana (Avusturya) Kesitindeki Akarsu Geçiş Süresinin Trityum İzotopu İle Belirlenmesi, .Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, İstanbul.
37. **Payne, B. and Dinçer, T., 1965,** Isotope Survey of Karst Region of Southern Turkey, Proc. of Sixth Int. Conference of Radiocarbon and Tritium Dating, IAEA, Publ.
38. **Payne BR, Leontiadis LL, Dimitrulas I, Dounas A, Kallergis G, Morfis A., 1978.** A study of the Kalamos Spring in Greece with environmental isotopes. Water Resources Research 14(4):653-658
39. **Rozanski, K., Araguas-Araguas, L. and Gonfiantini, R., 1993,** Isotopic Patterns in Modern Global Precipitation, Climate Change in Continental Isotopic Records, P.K. Swart,

41. **Sağiroğlu, A. ve Çetindağ, B., 1995,** Hazar Gölü'nün Kürk ve Mogal derelerinden kaynaklanan siltlesmesi, I. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu, Çağ Ofset, Elazığ, 33-39.
42. **Şahinci, A. 1971.** Yeraltına Süzülen Yağış Miktarının Klor Metodu İle Tayini: Ege Üniv. Fen Fak. İlmi Raporlar Serisi, No:117, İzmir, 37s.
43. **Şahin, Ö., Işık, V. 2010.** Çelikhan (Adıyaman) Civarında Yüzeyleyen Metamorfik ve Magmatik Kayaların Petrolojisi, Cilt 53, Sayı 2-3, Türkiye Jeoloji Bülteni.
44. **Şen, B., Alp, M.T. ve Koçer, M.A.T., 2003.** “Ha-zar Gölü (Elazığ) ve Özellikleri”, XII. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, 2-5 Eylül, Elazığ, 87-105.
45. **Tonbul, S. Ve Yiğit, A.1995.** “ ‘ Pleyistosen’den Günümüze Hazar Gölü’ndeki Seviye Değişimleri, Çevresel Etkileri ve Hatunköy Kapması’”, 1. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu, 41- 69, Sivrice – Elazığ.
46. **Tezcan, L., 1992,** Karst Akifer Sistemlerinin Trityum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Beytepe, Ankara, 121 s.
47. **Tuna, A. ve Emiroğlu, M.E., 1995.** “Hazar Gölü Su Rezervinin Sulamada Değerlendirilmesi” I. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu, 20 Mayıs, Sivrice, 15-22.
48. **Ünlü, A. ve Uslu, G., 1999.** Hazar Gölü’nde Su Kalitesinin Değerlendirilmesi, Ekoloji Dergisi, 32 , 7- 13.
49. **Yıldız F.E., Dilaver A. T., Gürer İ., Ünsal N., Bayarı S., 2008.** Türkeri S., Çelenk S., Develi Kapalı Havzası’nda Yeraltı suyu ve yüzey suyu ilişkisinin doğal izotoplarla belirlenmesi, III. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, İstanbul.
50. **Yurtsever, Y., 1978,** Environmental Isotopes As a Tool In Hydrogeological Investigation of Southern Karst Region of Turkey, Proceedings Of a International Seminar on Karst Hydrogeology, Antalya, Turkey

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Elazığ'da doğdum. İlkokulu elazığ karakoçan ilçesinde , orta ve lise eğitimimi Elazığ merkez okullarında tamamladıktan sonra 2001 yılında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, inşaat Mühendisliği Bölümü'ne kayıt yaptırđım. 2005 yılında Mühendislik Fakültesi, inşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldum. 2012 yılında hidrolik ana bilim dalında Yüksek Lisansa başladım.

