

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YALVAÇ-GELENDOST (ISPARTA) HAVZASI SU KAYNAKLARININ
HİDROJEOKİMYASI VE SAĞLIK RİSK DEĞERLENDİRMESİ**

Burcu Batur

**Danışman
Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2020**



© 2020 [Burcu BATUR]

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Burcu BATUR



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	8
3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması.....	8
3.2. Çalışma Yöntemleri.....	10
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	
4.1. Stratigrafi	12
4.1.1. Otokton Birimler.....	12
4.1.1.1. Gökoluk formasyonu (Pεg)	12
4.1.1.2. Hüdai Kuvarsiti (εh).....	14
4.1.1.3. Çaltepe formasyonu (εç)	14
4.1.1.4. Seydişehir formasyonu (εOs).....	15
4.1.1.5. Ergenli formasyonu (Je)	16
4.1.1.6. Kurucaova formasyonu (JKk)	17
4.1.1.7. Hacılabaz formasyonu (JKh)	17
4.1.1.8. Gölge formasyonu (Teg)	18
4.1.1.9. Değirmendere formasyonu (DCd)	19
4.1.1.10. Bağkonak formasyonu (Tmb).....	19
4.1.1.11. Yarıkkaya formasyonu (Tmy).....	20
4.1.1.12. Göksöğüt formasyonu (Tmg)	21
4.1.1.13. Kepeztepe formasyonu (plQk)	23
4.1.1.14. Alüvyon (Qal), Alüvyon Yelpazesi (Qay), Eski Alüvyon Çökelleri (Qeal) ve Yamaç Molozu (Qym)	23
4.1.2. Allokton Birimler.....	24
4.1.2.1. Marmaris Peridotiti (Kmp).....	24
4.1.2.2. Dutedere formasyonu (TRJd)	24
4.1.2.3. Bakırdağ formasyonu (TRb)	24
4.2. Yapısal Jeoloji.....	25
4.3. Hidroloji	26
4.3.1. Yağış	26
4.3.2. Buharlaşma	35
4.3.3. Akış	38
4.4. Hidrojeoloji	39
4.4.1. Su noktaları	39
4.4.1.1. Akarsular	39
4.4.1.2. Kaynaklar	42
4.4.1.3. Göller ve göletler	50
4.4.1.4. Sığ kuyular	51
4.4.1.5. Sondaj kuyuları	51

4.4.2. Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri	60
4.4.2.1. Geçirimli birim-1 (Gç-1)	60
4.4.2.2. Geçirimli birim-2 (Gç-2)	61
4.4.2.3. Yarı geçirimli birim (Gy)	61
4.4.2.4. Az geçirimli birim (Ga)	62
4.4.2.5. Geçirimsiz birim (Gz)	62
4.5. Su Kimyası.....	63
4.5.1. Suların majör iyon içerikleri	63
4.5.1.1. Sodyum (Na^+)	66
4.5.1.2. Kalsiyum (Ca^{+2})	66
4.5.1.3. Magnezyum (Mg^{+2})	67
4.5.1.4. Potasyum (K^+)	67
4.5.1.5. Karbonat (CO_3^{-2})- Bikarbonat (HCO_3^{-2})	68
4.5.1.6. Sülfat (SO_4^{-2}).....	68
4.5.1.7. Klörür (Cl^-)	69
4.5.1.8. Hidrojeokimyasal proseslerin tanımlanması	69
4.5.1.9. Majör iyonların istatistiksel analizi	76
4.5.1.10. Doygunluk İndisi (SI) değerlendirmeleri	78
4.5.2. Suların genel kimyasal özellikleri	80
4.5.2.1. Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	80
4.5.2.2. Hidrojen iyon konsantrasyonu (pH)	80
4.5.2.3. Özgül Elektriksel İletkenlik (EC)	81
4.5.2.4. Sertlik	81
4.5.3. Suların hidrojeokimyasal sınıflaması.....	82
4.5.3.1. Schoeller (1955)' e göre suların sınıflandırılması	82
4.5.3.2. Schoeller yarı logaritmik diyagram ile suların sınıflaması	83
4.5.3.3. Piper diyagram ile suların sınıflaması	83
4.5.3.4. Durov diyagram ile suların sınıflaması	85
4.5.3.5. Toplam çözünmüş madde (TDS)	86
4.5.4. suların kullanım özellikleri	87
4.5.4.1. Suların içilebilirlik özellikleri	87
4.5.4.2. Suların sulamada kullanım özellikleri	90
4.5.5. Sularda kirlilik araştırmaları	99
4.5.5.1. Havzadaki kirlletici kaynaklar	99
4.5.5.2. Azot türevleri	101
4.5.5.3. Ağır metaller	103
4.6. Sağlık Risk Değerlendirmesi	108
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	115
KAYNAKLAR	122
EKLER	133
EK A. Haritalar	134
ÖZGEÇMİŞ	135

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YALVAÇ-GELENDOST (ISPARTA) HAVZASI SU KAYNAKLARININ HİDROJEOKİMYASI VE SAĞLIK RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Burcu BATUR

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ

Yalvaç-Gelendost Havzası Türkiye'nin güneybatısında Göller Bölgesi içerisinde bulunmaktadır. Bu çalışmada, öncelikle havzanın jeolojik, hidrojeolojik özellikleri araştırılmıştır. Havzada kullanılan suların hidrojeokimyasal ve kalite özellikleri incelenmiş ve kullanım ile ilgili ortaya çıkabilecek sağlık risk değerlendirilmeleri yapılmıştır.

Havzada bulunan yeraltısuları Ca-Mg-HCO₃, Mg-Ca-HCO₃ ve Ca-HCO₃'lı sular sınıfındadır. Ca ve HCO₃ iyonları baskın olup akifer ortamın alüvyon ile kireçtaşı ve kumtaşı gibi kayalar olabileceği tespit edilmiştir. Araştırmada, yeraltısuyu kimyasını denetleyen temel faktörün kaya-su etkileşimi olduğu ve silikat ayrışmasının majör ayrışma süreci olduğu belirlenmiştir. Yeraltısularının çoğunluğunda dolomit ve kalsit mineralleri aşırı doygunudur. Suların tamamında anhidrit, jips ve halit mineralleri doygunluk altındadır. İnceleme alanında suların azot türevleri (NO₂, NO₃, NH₄) ve ağır metal (As, B, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn) içeriklerinin içme suyu limit değerleri içerisinde olduğu tespit edilmiştir. F elementi ise sadece bir örnekte limit değerlerin üzerindedir. İnceleme alanından alınan örneklerde yapılan kirlilik parametreleri dikkate alındığında sağlık riski oluşturabilecek As, NO₃ ve F parametreleri için sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır. Yetişkin bireyler için iki örneğin içme suyu olarak kullanımda sağlık riski oluşturabileceği belirlenmiştir. Yetişkin bireylerde As elementi için dermal yolla maruziyette kanser riski oluşabileceği tespit edilmiştir. Çocuk bireylerde ise içme suyu ve dermal yolla kullanımda sağlık riski olmadığı görülmüştür.

Ayrıca, suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için majör iyon içeriklerine bağlı farklı kimyasal oranlar ve grafikler kullanılmıştır. Bu parametrelere göre yeraltısularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yeraltısuyu, hidrojeoloji, hidrojeokimya, sağlık riski, Yalvaç-Gelendost

2020,135 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

HYDROGEOCHEMISTRY AND HEALTH RISK ASSESSMENT OF YALVAÇ-GELENDOST (ISPARTA) BASIN WATER RESOURCES

Burcu BATUR

**Suleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ

Yalvaç-Gelendost Basin is located within the Lake District in the southwest of Turkey. In this study, firstly the geological and hydrogeological properties of the basin were investigated. The hydrogeochemical and quality characteristics of the waters used in the basin were examined and health risk assessments related to usage were made.

Groundwaters in the basin are Ca-Mg-HCO₃, Mg-Ca-HCO₃ and Ca-HCO₃ facies. Ca and HCO₃ ions are predominant and it has been determined that the aquifer environment may be such as alluvium, limestone and sandstone rocks. In the study, it was determined that the main factor controlling groundwater chemistry is rock-water interaction and silicate weathering is the major weathering process. Dolomite and calcite minerals are over saturated in the majority of groundwater. In all waters, anhydrite, gypsum and halite minerals are under saturation. In the study area, nitrogen derivatives (NO₂, NO₃, NH₄) and heavy metal (As, B, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn) contents of the waters were found to be within drinking water limit values. The F element is above the limit values in only one example. Considering the pollution parameters made in the samples taken from the investigation area, health risk assessment has been made for the parameters As, NO₃ and F, which may occur a health risk. It has been determined that for adult individuals, two samples may occur a health risk in use as drinking water. It has been determined that there may be a risk of cancer in the dermal exposure for the As element in adult individuals. In children, it was observed that there was no health risk in drinking water and dermal use.

In addition, different chemical ratios and graphics depending on the major ion contents were used to evaluate the usability of water as irrigation water. According to these parameters, it has been observed that groundwater is suitable for use as irrigation water.

Keywords: Groundwater, hydrogeology, hydrogeochemistry, health risk, Yalvaç-Gelendost

2020, 135 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, yolumu aydınlatan, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen çok kıymetli Danışmanım Sayın Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ' a teşekkürlerimi tüm içtenliğimle bir borç bilirim.

Tezimin arazi çalışmalarının yürütülmesinde yardımcı olan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Metin DAVRAZ' a teşekkürlerimi sunarım. Tez aşamamda desteklerini hissettiren sevgili hocalarım Doç. Dr. Simge VAROL ve Doç. Dr. Şehnaz ŞENER'e teşekkürlerimi sunarım.

FYL-2019-7043 No'lu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin ve hayatımın her aşamasında bana kattıklarıyla her daim benimle olduğunu hissettiren sevgili anneciğim Gülay BATUR' a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Burcu BATUR
İSPARTA, 2020

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası	9
Şekil 4.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti	13
Şekil 4.2. Seydişehir formasyonu şistleri.....	16
Şekil 4.3. Bağkonak formasyonu	20
Şekil 4.4. Göksöğüt formasyonu	22
Şekil 4.5a.Yalvaç DMİ yıllık toplam yağış (mm) grafiği	28
Şekil 4.5b.Yalvaç DMİ ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği	28
Şekil 4.6a. Gelendost DMİ yıllık toplam yağış (mm) grafiği	29
Şekil 4.6b. Gelendost DMİ ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği.....	29
Şekil 4.7a. Şarkikaraağaç DMİ yıllık toplam yağış (mm) grafiği	30
Şekil 4.7b. Şarkikaraağaç DMİ ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği.....	30
Şekil 4.8a. Akşehir DMİ yıllık toplam yağış (mm) grafiği.....	31
Şekil 4.8b. Akşehir DMİ ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği	31
Şekil 4.9a. Çay DMİ yıllık toplam yağış (mm) grafiği	32
Şekil 4.9b. Çay DMİ ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği.....	32
Şekil 4.10. İnceleme alanının eş yağış eğrileri haritası	34
Şekil 4.11. Yalvaç DMİ verilerine göre yağış ve ETP' nin aylık değişim grafiği	37
Şekil 4.12. Yalvaç-Gelendost havzası drenaj ağı haritası	40
Şekil 4.13. Yalvaç deresi ortalama akış debisi grafiği	40
Şekil 4.14. Sücüllü deresi ortalama akış debisi grafiği	41
Şekil 4.15. Sugözü kaynağı görünümü	42
Şekil 4.16. Sugözü kaynağı çevresi litolojisi	43
Şekil 4.17. Sugözü kaynağı şematik enine kesiti	43
Şekil 4.18. Özbayat Suçikan kaynağı şematik enine kesiti	44
Şekil 4.19. Yalvaç Suçikan kaynağı depo ve su alma yapısı	44
Şekil 4.20. Yalvaç Suçikan kaynağı şematik enine kesiti	45
Şekil 4.21. Kozluca kaynağı şematik enine kesiti	45
Şekil 4.22. Çetince kaynağı şematik enine kesiti	45
Şekil 4.23. Çetince kaynağı boşalım görünümü	46
Şekil 4.24. Dedeçam kaynağı şematik enine kesiti	46
Şekil 4.25. Tokmacık Kızılkaya kaynağı şematik enine kesiti	47
Şekil 4.26. Yalvaç-Gelendost havzasında açılmış olan sondaj kuyularına ait kuyu logları.....	55
Şekil 4.27. Yalvaç-Gelendost havzasında açılmış olan sondaj kuyularına ait kuyu logları	56
Şekil 4.28. Yalvaç-Gelendost havzasında açılmış olan sondaj kuyularına ait kuyu logları	57
Şekil 4.29. Yalvaç-Gelendost havzasında açılmış olan sondaj kuyularına ait kuyu logları	58
Şekil 4.30. Yalvaç-Gelendost havzasında açılmış olan sondaj kuyularına ait kuyu logları	59
Şekil 4.31. Hidrojeokimya haritası	65
Şekil 4.32. Gibbs diyagramı	70
Şekil 4.33. (Ca+Mg)- (HCO ₃ +SO ₄) diyagramı	72
Şekil 4.34. Yeraltısularının Na/Cl-EC (µmhos /cm) diyagramı	76

Şekil 4.35. Kalsit ve Dolomit doygunluk indisi grafiği	79
Şekil 4.36. Schoeller yarı logaritmik diyagramı	84
Şekil 4.37. Piper diyagramı	85
Şekil 4.38. Durov diyagramı	86
Şekil 4.39. Schoeller içilebilirlik diyagramı	90
Şekil 4.40. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı	92
Şekil 4.41. Wilcox diyagramı	93



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Isparta ve Afyonkarahisar illerine bağlı Devlet Meteoroloji İstasyonları	26
Çizelge 4.2. Devlet Meteoroloji İstasyonlarına ait yıllık ortalama yağış verileri.....	27
Çizelge 4.3. Yalvaç Meteoroloji İstasyonu için hazırlanan Thornthwaite buharlaşma-terleme bilançosu	36
Çizelge 4.4. Köy Hizmetlerine ait sondaj kuyularının karakteristik parametreleri	53
Çizelge 4.5. DSİ' ye ait sondaj kuyularının karakteristik parametreleri	54
Çizelge 4.6. Yeraltı sularının hidrojeokimyasal özellikleri	64
Çizelge 4.7. Yeraltı sularının bazı iyon oranları	74
Çizelge 4.8. Majör iyonların Spearman Rank korelasyon analizi	77
Çizelge 4.9. Su örneklerinin mineral doygunluk değerleri (SI)	79
Çizelge 4.10. Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması	81
Çizelge 4.11. Fransız sertlik sınıflaması	82
Çizelge 4.12. Schoeller (1955)' e göre su sınıflaması	83
Çizelge 4.13. Suların TDS değerine göre sınıflaması	86
Çizelge 4.14. İçme suyu standartları	88
Çizelge 4.14. İçme suyu standartları devamı	89
Çizelge 4.15. Suların tuzluluk ve sodyum miktarlarına göre sınıflaması	91
Çizelge 4.16. Sulama sularının SAR değerine göre sınıflandırılması	94
Çizelge 4.17. Sulama suyu sınıflamasında kullanılan parametreler	94
Çizelge 4.18. RSC' ye göre sulama suyunun sınıflandırılması	96
Çizelge 4.19. RSBC' ye göre sulama suyunun sınıflandırılması	96
Çizelge 4.20. RSBC' ye göre sulama suyu alkalinite risk kategorileri	97
Çizelge 4.21. Geçirgenlik İndisi (PI) değerine göre su sınıfları	97
Çizelge 4.22. İnceleme alanında yeraltı sularının ağır metal, azot türevleri ve F analiz sonuçları	102
Çizelge 4.23. İçme suyu ve dermal kullanım için varsayılan değerler	109
Çizelge 4.24. Bazı elementlerin Kp, RfD, SF değerleri	111
Çizelge 4.25. Su örneklerinin HQ, HI ve kanser risk değerleri (Yetişkin)	112
Çizelge 4.26. Su örneklerinin HQ, HI ve kanser risk değerleri (Çocuk)	113

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ca ⁺⁺	Kalsiyum
Cl ⁻	Klorür
CO ₃ ⁼	Karbonat
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EC	Elektriksel İletkenlik
ETa	Gerçek Buharlaşma-Terleme
ETp	Potansiyel Buharlaşma-Terleme
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat
HI	Sağlık Risk Tehlike Endeksi
HQ	Sağlık Risk Tehlike Katsayısı
K ⁺	Potasyum
KR	Kelly Oranı
mek	miliekivalen
Mg ⁺⁺	Magnezyum
mg	Miligram
μS	Mikrosiemens
MT	Magnezyum Tehlikesi
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
Na ⁺	Sodyum
NH ₄	Amonyum
NO ₃	Nitrat
NO ₂	Nitrit
P	Yağış
pH	Hidrojen İyonu Konsantrasyonu
PO ₄	Fosfat
Q	Debi
r	Korelasyon Katsayısı
SAR	Sodyum Adsorpsiyon Oranı
SO ₄ ⁼	Sülfat
PI	Geçirgenlik İndeksi
RSC	Artıksal Sodyum Karbonat
RSBC	Artıksal Sodyum Bikarbonat
T	Sıcaklık
TSE	Türk Standartları Enstitüsü Genel Müdürlüğü
WHO	World Health Organization

1. GİRİŞ

Küreselleşmenin de etkisiyle değişen ve gelişen dünyada, geçmişten günümüze canlıların yaşamlarını idame ettirilebilmesi için en önemli doğal kaynak olan su, günümüze kadar artan ihtiyaçla beraber çevresel ve antropojenik etkiler nedeniyle kullanım alanlarının kısıtlandığı, aynı zamanda kalitesi açısından olumsuz etkilendiği bir süreçtedir.

Yeraltısularında doğal kökenli kirlilik, suların hidrolojik döngü sırasında etkileşim halinde oldukları kayaların bileşimlerinde bulunan majör iyon (Na, Ca, K, Mg) ve iz (Ba, Fe, Cu, As, Ni, Cr, Al, F, vb.) elementlerle etkileşim içine girerek kimyasal ve fiziksel yapısında değişimlerin meydana gelmesidir. Bunların yanı sıra tarımda ilaçlama ve gübreleme, sanayi atıklarının arıtılmadan akarsulara verilmesi veya bu atıkların toprağa gömülmesi nedeniyle yağmur suları vasıtasıyla yeraltısularına karışması, enerji santralleri, çelik, kağıt vb. büyük endüstriyel kuruluşların açığa çıkardığı zararlı maddeler hava yoluyla toprağa karışıp, oradan süzülerek yeraltısularına karışması, çöp depolama yerlerinin yanlış yerleşimi, evsel kirleticiler (deterjanlar vb.) gibi insan kaynaklı antropojenik nedenler de yeraltısularının dolaylı yollardan kirlenmesine yol açarak, kalitesini düşüren etmenlerdir.

Günümüzde yüzey ve yeraltı suları kıyaslandığında yüzey sularının yoğun kirleticilere daha kolay maruz kaldığı ve bu nedenle özellikle içme suyu olarak kullanımı açısından, nispeten daha az kirleticiye maruz kalmasından kaynaklı yeraltısularının kullanımının artması ve dolayısıyla önem kazanmasına neden olmuştur. İçme suyu amacıyla kullanılan kaynak suları, insan sağlığını tehdit edebilecek tüm doğal ve antropojenik kökenli kirleticilerden ve kirlenmeye sebep olabilecek etkenlerden korunmalı ve uygun şartlarda kullanıma sunulmalıdır. Günümüzde yapılan pek çok araştırmada yeraltısularının da farklı kirleticiler ile kirlendiği ve kullanılamaz durumda olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle mevcut durumda kullanımı bulunan bütün su kaynaklarının kalite değerlendirmelerinin yapılması özellikle insan sağlığı için büyük önem taşımaktadır.

Bu alışmada Akdeniz Bölgesi Isparta İli Eğirdir Gölü kuzeydoğusunda yer alan Yalvaç-Gelendost havzası seçilmiştir. Havzanın hidrojeoloji incelemesi ve yeraltısuyu modellemesi ile ilişkili Soyaslan (2004) tarafından doktora tezi yapılmıştır. Bu çalışmada yeraltısuyu kimyasına yönelik değerlendirmeler de bulunmaktadır. Bu havzada içme suyu amacıyla yoğun olarak kaynak suları kullanılmaktadır. Günümüz koşullarında değişen şartlar dikkate alındığında mevcut durumda kullanılan suların kalite değerlendirmelerinin yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışmada, özellikle içmesuyu amaçlı kullanılan kaynak sularının hidrojeokimya, kalite ve sağlık risk değerlendirmeleri ön plana çıkarılmıştır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Yalvaç-Gelendost havzası, Türkiye'nin güneybatısında Göller Bölgesi içerisinde Türkiye'nin ikinci büyük tatlı su gölü olan Eğirdir Gölü drenaj alanı içerisinde oldukça geniş bir alanı kapsamaktadır. Havzada hemen hemen bütün yerleşim alanlarında kaynak suları içme suyu amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, kaynak sularının hidrojeokimyasal özellikleri, kalite ve sağlık risk değerlendirmelerinin yapılması oldukça önemlidir. Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada Yalvaç-Gelendost havzasının jeolojik, hidrojeolojik özellikleri yanı sıra havzada kullanılan kaynak sularının hidrojeokimyasal ve kalite özelliklerinin değerlendirilmesi, kaynak sularının kullanımı ile karşılaşılabilecek sağlık risklerinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Araştırma sonuçları dikkate alınarak havzada alınması gerekli önlemlere yönelik öneriler de tartışılacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeolojisine yönelik çok sayıda yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından yapılmış araştırmalar bulunmaktadır. Hidrojeoloji amaçlı ise sayılı araştırma bulunmaktadır.

Abdüsselamoğlu (1958), "Sultan Dağı'nın Jeolojisi" isimli çalışmada metamorfik şistler ve şistlerin arasında gözlenen kuvarsit ve kireçtaşı merceklerinin temeli oluşturduğunu belirtmiştir. Bu temel üzerinde uyumsuz olarak bulunan dolomit ve kireçtaşı seviyelerinin Jura yaşlı olduğunu söylemiştir. Çalışmada fosil içeren seviyelerin Üst Kretase yaşında olduğunu ve Sultan Dağı'nın kuzeydoğu yatımlı bir antiklinal olduğunu tespit etmiştir.

Brunn vd.(1971), "Batı Torosların Jeolojisi'nin Ana Hatları" isimli çalışmada, Otoktan Torosları oluşturan yapıların yaşı ve Batı Toroslar'daki büyük nap sistemleri tartışılarak yapısal sorunlara açıklık getirilmeye çalışılmıştır.

Dumond ve Kerey (1975), tarafından yapılan çalışmada Eğirdir Gölü güneyinin temel jeolojik özellikleri ile Orta ve Batı Toroslar arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Bu alandaki kaya birimlerini stratigrafik ve tektonik özelliklerine göre Karacahisar Birliği, Ofiyolitli Birlik, Dulup birliği şeklinde isimlendirerek ayırmıştır. Miyosen zamana ait çökellerin bu birliklerin üzerini trangresyon olayı sonucu örttüğünü ifade etmiştir.

Demirkol (1977), "Yalvaç-Akşehir Dolayının Jeolojisi" isimli çalışmada Yalvaç (Isparta)-Akşehir (Konya) çevresini ve Batı Toroslarla bağlantısını incelemeyi amaçlamıştır. Bu doğrultuda inceleme alanındaki litolojilerin Alt (?) - Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe kireçtaşı ile başlayarak kademeli olarak Üst- Kambriyen- Alt Ordovisiyen yaşlı Sultandede formasyonuna geçtiğini tespit etmiştir. Üst Jura yaşlı Hacılabaz kireçtaşını Mezosoik'in temsil ettiğini, Neojen yaşlı birimlerin açılı uyumsuzlukla en üste geldiğini belirtmiştir. Neojen'de Bağkonak, Göksöğüt ve Yarıkkaya formasyonlarını tanımlamıştır.

Topçam vd. (1977), “Hoyran-Gelendost ve Yalvaç Ovaları Hidrojeolojik Etüdü” isimli raporlar için çalışma alanının 1/200.000 ölçekli hidrojeoloji haritasını hazırlamışlardır. İnceleme alanında yeraltısuyu taşıyan birimleri, Mezosoyik - Neojen kireçtaşları, Pliyosen ve Kuvaterner kum- çakıllar olarak tanımlamışlardır. Hoyran, Gelendost ve Yalvaç ovalarının yeraltısuyu bilançosunu hesaplayarak toplam beslenme miktarını $41,5 \times 10^6$ m³/yıl, boşalım miktarını 41×10^6 m³/yıl olarak tespit etmişlerdir. Emniyetli verimi ise; Hoyran Ovasında $8,5 \times 10^6$ m³/yıl, Gelendost Ovasında 13×10^6 m³/yıl, Yalvaç Ovasında $6,5 \times 10^6$ m³/yıl olarak hesaplamışlardır. İnceleme alanındaki yeraltı ve yüzey sularının sulama suyuna uygun yani C₂S₁ sınıfında yer aldığını belirtmişlerdir.

Koçyiğit (1984), Güneybatı Türkiye ve yakın çevresindeki tektonik gelişimi Eski Tektonik dönem, Geçiş dönemi ve Yeni Tektonik dönem olarak gruplandırmıştır. Alp dağ oluşumu kuşağında birçok kesimin geçiş dönemini yansıttığını ve kalın bir molas istifile ötelendiğini belirtmiştir. Çekme tektoniği ile gelişen karasal tortullaşma, onunla yaşıt kıta içi volkanizma ve blok faylanmanın ise, Yeni Tektonik Dönemde gözlemlendiğini öne sürmüştür. Yeni Tektonik Dönemi temsil eden olay ve yapıların daha çok Ege Hendeğine bağlı çekme tektoniği sonucu oluştuğunu ve bu nedenle de bölgenin verrev atımlı normal faylarla sınırlı çok sayıda ve farklı boyutta bloklara bölünmüş, depremsellliği yüksek alanlar olduğunu ifade etmiştir.

Boray vd. (1985), Isparta büklümünün kuzeyinde Şuhut-Çay, Yalvaç-Gelendost ve Sultandağ sahalarındaki Neojen ve Kuvaterner çökellerini incelemişlerdir. İnceleme alanında Neotektonik dönemin Üst Miyosen’de başladığını ifade etmişlerdir. Neojen çökellerin karasal, akarsu ve göl fasiyesinde olup, Üst Miyosen-Pliyosen yaşta olduğunu ve daha eski kayalar üzerinde uyumsuz olarak yayılım gösterdiklerini belirtmişlerdir. Çalışma alanında tektonik şekil değiştirme ile yaklaşık K-G uzanımlı kıvrımlar ve ters faylar ile bölgenin kuzeyinde küçük bir alanda D-B uzanımlı normal fayların oluştuğunu ortaya koymuşlardır. Bölgede Üst Miyosen’den beri devam eden bir sıkışmadan kaynaklı Isparta Büklümü’nün kuzey kesiminde D-B yönlü daralma olduğunu ifade etmişlerdir.

Demirkol ve Yetiş (1985), Sultandağ kuzeybatısındaki allokton birimler ve stratigrafileri ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Çalışma alanında temelden sırasıyla Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen yaşlı Sultandede formasyonunun bulunduğunu, bu formasyonu diskordansla Maestrihtiyen öncesi karbonatların, Maestrihtiyen- Lütisiyen aralığında ise Pelajik ve Neritik çökellerin diskordans olarak örttüğünü tespit etmişlerdir. Çalışma alanında Üst Miyosen'de başlayan yeni bir tektonik etkinlik dönemi içinde hızlı bir karasal ve gölsel kırıntılı depolanmadan, Kaledoniyen ve Alpin dağ oluşumu hareketleri ile gelişmiş yapı şekillerinden bahsetmektedirler.

Yalçinkaya vd. (1986), Bu çalışmada Batı Torosların jeolojik haritaları yapılmış ve yapısal özelliklerine açıklık getirilmiştir. Antalya, Beyşehir - Hoyran ve Likya naplarının Menderes Masifinin kuzeyindeki ofiyolitlerin, Üst Kretase- Üst Paleosen'de masifin güneyine, Üst Paleosen- Alt Eosen'de Anatolid Torid platformunun güneyine aktarılmasıyla oluştuğunu, bunların aynı kökenli ofiyolitler olduğunu ifade etmişlerdir. Allokton birimler sıkışmayla otokton birimlerin üzerine yerleşerek sıkışmanın Beydağları doğusunda alçalma, batısında yükselme ile neticelendiğini ifade etmişlerdir. Bu çekme-gerilmeleri sonucu birçok horst ve graben meydana gelmekle beraber günümüze kadar varlığını sürdüren göllerin çukurluğunu oluşturduklarını belirtmişlerdir.

Eren (1990), "Engili (Akşehir) ve Bağkonak (Yalvaç) Köyleri Arasında Sultandağları Masifi'nin Tektonik Özellikleri" isimli çalışmada bölgenin tektonik yapısını ortaya koymak amacıyla çalışmalar yapmıştır. İnceleme alanında, tabanda kısmen mermerleşmiş, çoğunlukla metamorfik kireçtaşı ve dolomit varlığını; bu tabakanın üstünde aratabakalarında ince fillit ve metakumtaşı bulunan yumrulu kireçtaşlarından meydana gelen Alt (?) - Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonunun yer aldığını; bu formasyon üzerinde metakumtaşı, fillit ardalanmalı, intraformasyonal çakıl içerikli metakonglomeralardan oluşmuş Üst Kambriyen- Alt ordovisiyen yaşlı Sultandede formasyonunun bulunduğunu; daha üst kesimlerde ise, tektonik Hoyran Ofiyolitine ait grovak piroklastik konglomera- breş, şeyl ara katkılı diyabazik bileşimli yastık lavlar, Üst Jura- Üst Kretase yaşlı kireçtaşı olistolitine ait kireçtaşı ve dolomitler ile bu birimleri diskordans olarak kaplayan Üst

Miyosen- Pliyosen yaşı, çoğunlukla alüvyal yelpaze çökellerini ayırıcı özellikte gösteren moloz ve çamur akmaları ile çevrili nehir çökellerinden oluşan Bağkonak formasyonu ve Yarıkkaya formasyonunun varlığını ortaya koyarak Sultandağları Masifi' nin üç farklı dağ oluşum hareket etkilerini ve bu hareketlere bağlı kıvrımlı ve bindirmeli yapılardan bahsetmiştir.

Özgül vd. (1991), Göller Bölgesi batısında yapmış oldukları çalışmada, Geyikdağı birliğinin ortam koşullarını, birbirleriyle tektonik bağlantılarını ve meydana geldiği istiflerin çeşidini ortaya koymuşlardır.

Yağmurlu (1991), Isparta Büklümü olarak adlandırılan yapıda bulunan Neojen havzanın incelemesini yaptığı "Yalvaç-Yarıkkaya Neojen Havzasının Stratigrafisi ve Depolanma Ortamı" isimli çalışmasında, havzayı dolduran, toplam kalınlığı 800 m'ye ulaşan Neojen istifini, tabandan üste doğru Bağkonak, Madenli, Yarıkkaya, Göksöğüt ve Kırkbaş formasyonu olarak 5'e ayırmış, havzadaki Neojen öncesi birimlerin Ofiyolit karmaşığı ve çoğunlukla Ordovisiyen yaşı meta-sedimentitler ile Triyas- Kretase yaşı karbonat kayalardan meydana gelmiş olduğunu ve dolayısıyla yoğun bir şekilde alüvyon ve gölssel tortullardan meydana geldiğini ifade etmiştir.

Karagüzel vd. (1995), Eğirdir Gölü'nün su potansiyelini ve su seviyesindeki değişimlerin nedenlerini araştırdıkları raporda, Eğirdir Gölü suyunun gelecekteki potansiyelini belirlemek için yaptıkları bilanço hesaplamalarına göre belli yıllardaki kuraklığın sebebinin gölden boşalmanın, beslenmeden fazla olmasından kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Göldeki seviye artışlarının nedeninin ise yağış artışı ve enerjiye aktarılan suyun azalmasından dolayı gerçekleştiğini öne sürmüşlerdir.

Elitok (2001), "Şarkikaraağaç (Isparta) ve Çevresinin Jeolojisi, Minerolojisi ve Petrografisi" isimli doktora çalışmasında, çalışma alanında yer alan kaya birimlerini Sultandağ ve Anamas kesimi olarak iki kısımda incelemiştir. Anamasdağ kesiminin bölgenin güneyinde ve Sultandağ kesiminin bölgenin doğusunda ayrı istiflerden oluştuğunu belirtmiştir.

Güneş vd. (2001), TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü tarafından hazırlanan çalışmada, Eğirdir Gölü Havzasının Evsel Atık Sularının Arıtımına Yönelik Master Plan Hazırlanması ve Göl Su Kalitesinin İzlenmesi konuları yer almaktadır. Çalışmada göl havzası alanında bulunan yerleşim yerlerinden gelen atık sularının ülke şartlarında nasıl bir arıtma teknolojisi ile arıtılabileceği konusunda tespitlerde bulunulmuş ve Eğirdir Gölü'nün var olan durumunda su kalitesi ortaya çıkarılmıştır.

Soyaslan (2004), "Eğirdir Gölü Doğusunun Hidrojeoloji İncelemesi ve Yeraltı Suyu Modellemesi" adlı doktora çalışmasında Hoyran ve Yalvaç - Gelendost ovalarını ele alarak bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerini incelemiştir. Bölgede gözlenen alüvyon birimin serbest akifer ve kireçtaşlarının karstik akifer özellik taşıdığını öne sürmüştür. Çalışma alanı hidrojeolojik olarak iki tali havzaya ayrılmış Yalvaç-Gelendost ovasında emniyetli kullanılacak yeraltısuyu miktarı $63.71 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ve Hoyran ovasında $24.93 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak tespit etmiştir. Bu çalışmada MODFLOW üç boyutlu modüler sonlu farklar matematik modeli ile Yeraltısuyu akım modellemesi yapılmıştır. Modelde 2000 yılına ait hidrolojik gözlem verileri kullanılmıştır. Modelleme sonucunda yeraltısuyu boşalımının Eğirdir Gölü'ne doğru olduğu ve kireçtaşlarından yıllık $114 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak gerçekleştiği hesaplanmıştır.

Davraz vd. (2016), çalışmalarında su kaynaklarının koruma kullanma metodolojisinin geliştirilmesi amacıyla genel olarak yüzey ve yeraltı suyu havzalarında hidroloji, jeoloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya, kirlilik araştırmaları ve yönetimi şeklinde bilimsel araştırmalar yapılması gerekliliğini ortaya koymuşlardır. Aynı zamanda havzalarda sürdürülebilir kullanım ve korunmanın sağlanabilmesi için yapılması gereken çalışmaları bir model çerçevesinde Eğirdir Gölü örneğiyle sunmuşlardır. Bu çalışmada göle yakın alanlar ve alüvyon akiferdeki yeraltı suyunun neredeyse tamamının risk altında olduğunu belirterek, mevcut durumda içme suyu olarak kullanımı açısından bir sorun görülmemesine karşın gölün sürdürülebilir kullanımı açısından havzadaki antropojenik kökenli kirleticilerin kontrol altına alınmasının zorunlu olduğunu belirtmişlerdir.

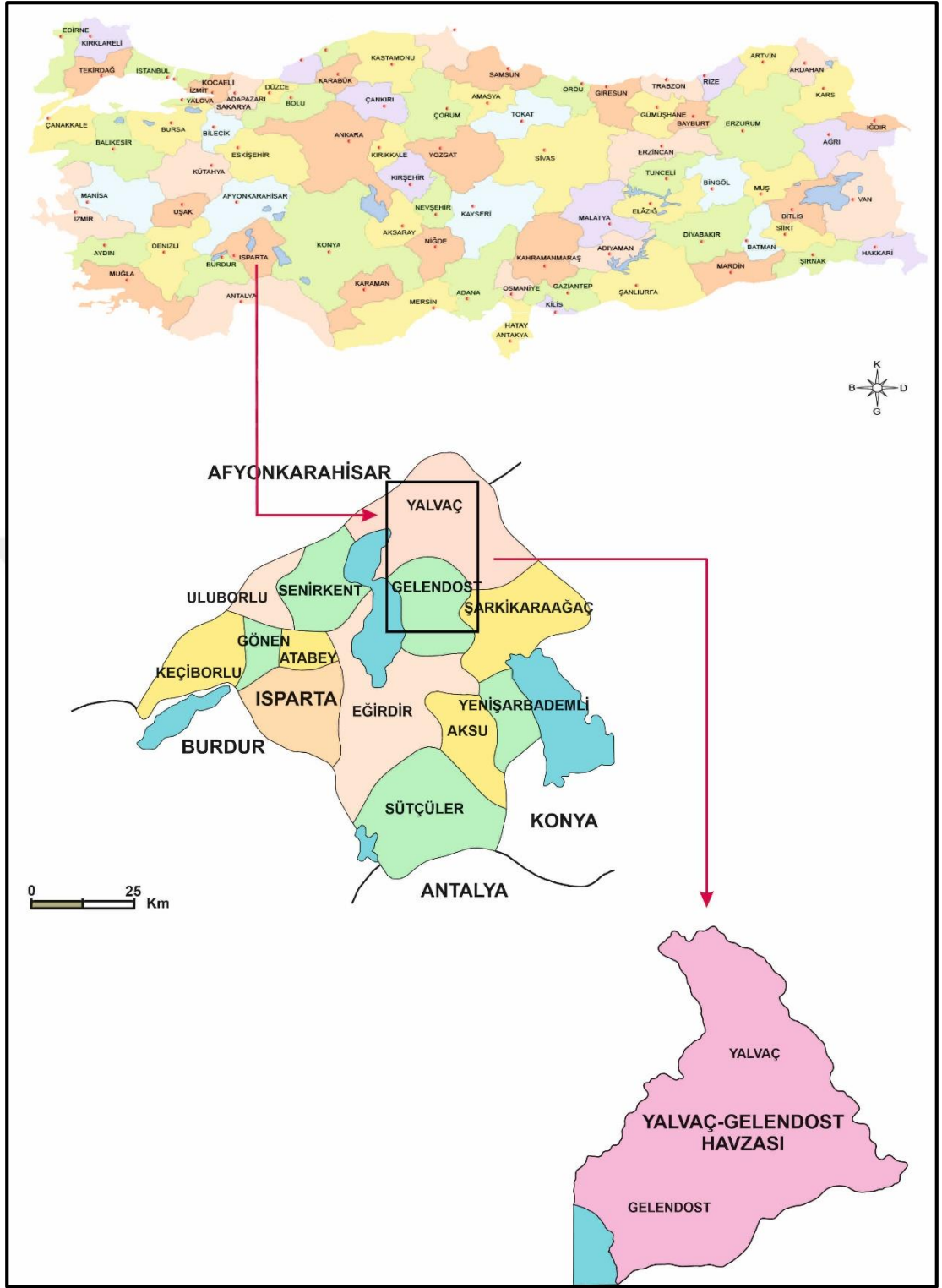
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması

İnceleme alanı Isparta iline bağlı Yalvaç ve Gelendost ilçelerini kapsayan havza alanındadır (Şekil 3.1). Göller yöresinde bulunan Yalvaç - Gelendost havzası, Eğirdir Gölü kuzeydoğusunda 1165 km²'lik alanı kapsamaktadır. Isparta il merkezine yaklaşık 109 km uzaklıkta bulunan Yalvaç ilçesine bağlı 31; Isparta il merkezinin yaklaşık olarak 82 km kuzeybatısında bulunan Gelendost ilçesine bağlı 13 adet köy bulunmaktadır. Yalvaç- Gelendost ovasında yaşayan kişi sayısı 2018 itibariyle yaklaşık 62.060 olmakla beraber halkın geçim kaynağı çoğunlukla tarımsal faaliyetler ve hayvancılıktır.

Bölgedeki yükseklikler Tepelik Tepe (1774 m), Büyüksivri Tepe (2032 m), Diktaş Tepe (2023 m), Göztaş Tepe (2025 m), Arapsivrisi Tepe (1628 m), Kızılın Tepe (1256 m), Koçyatağı Tepe (1557 m), Deliklitaş Tepe (1788 m), Mestan Tepe (1992 m), Mezar Tepe (1912 m), Hatıbinalgıl Tepe (1519 m), Boz Tepe (1928 m), Kömürcü Tepe (2159 m), Menendere Tepe (2013 m), Kızılkaya Tepe (1936 m), Sivri Tepe (1417 m), Uzunali Tepe (1650 m), Karapınar Tepe (2197 m), Ortasenir Tepe (2324 m), Hacıveyis Tepe (2077 m), Dumlu Tepe, Gökseki Tepe (2116 m), Sarıdoğan Tepe (2324 m), Payamlıçatak Tepe (1607 m), Hüyük Tepe (1094 m), Sivri Tepe (1303 m), Barakkaya Tepe (1135 m), Kötürnektası Tepe (1175 m), Köşkçukur Tepe (1145 m), Dedeğaç Tepe (1347 m), Kirazlı Tepe, Kuz Tepe (1573 m), Kirişli Dağı (1893 m), Yumru Tepe (1633 m)' dir.

İnceleme alanında birçok irili ufaklı dere bulunmakla beraber bunların büyük bir çoğunluğu yazları kuruyup, kışları yağışlara paralel olarak akışa geçmektedir. Bölgede önemli yer tutan dereler Yalvaç deresi ve kollarına ayrılan Sücüllü ve Bahtiyar dereleridir. Bunların yanında Çetince barajı da bölgedeki önemli bir unsurdur. Havza alanı Akdeniz bölgesinde olmasına karşın Akdeniz iklimi ve Karasal iklim arasında bir geçiş özelliği göstermektedir. Bitki örtüsü genellikle bozkırdır.



Şekil 3.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası (ölçeksiz)

3.2. Çalışma Yöntemleri

Yalvaç-Gelendost Havzası su kaynaklarının hidrojeokimyasal incelemesi ve insan sağlığı açısından risk durumunun değerlendirilmesi amacıyla yapılan araştırma yöntemleri başlıklar halinde sunulmuştur.

Jeoloji: İnceleme alanında bulunan jeolojik birimler önceki araştırmalar ve arazi çalışmaları ile yeniden irdelenerek bölgenin 1/100000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Bu birimlerin tanımları ve yapısal özellikleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Hidroloji: Su kaynaklarının kullanılabilirliği miktarı ve kalitesine bağlı olarak şekillenmektedir. Miktar araştırmalarında hidrolojik parametreler tanımlanmaktadır. Havzada hidrolojik döngü elemanlarından en önemlileri olan yağış ve buharlaşma parametreleri bu bölümde tanımlanmıştır. Bu değerlendirmelerde havza içinde ve çevresinde bulunan Devlet Meteoroloji İstasyonlarından alınan uzun yıllara ait yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak ortalama yağış ve buharlaşma hesaplamaları yapılmıştır. Ortalama yağış hesaplamasında İzohyet Yöntemi, buharlaşma hesaplamalarında ise Thornthwaite yöntemi kullanılmıştır.

Hidrojeoloji: Havzada akifer olabilecek birimler litolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerinin tanımlanması ile belirlenmiş ve hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Hidrojeokimyasal değerlendirmeleri yapılan her kaynak için ayrıntılı enine kesitler hazırlanmış ve kaynakların beslenme-boşalım ilişkileri açıklanmıştır.

Hidrojeokimya: İnceleme alanında bulunan kaynak sularının hidrojeokimyasal özellikleri irdelenmiştir. Su örneği alım işlemleri sırasında suların hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) değerleri arazide Hanna marka çok parametrelili ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Su örneklerinin majör anyon içerikleri (Cl, SO₄, HCO₃, CO₃) ve azot türevi analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma Laboratuvarında yaptırılmıştır. Major katyon (Na, Ca, Mg, K) ve iz

element içerikleri Bureau Veritas (Acme-Kanada) Analitik Laboratuvar Hizmetleri Ltd. Şti. laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Suların hidrojeokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesinde AquaChem 2014.2 yazılım programı kullanılmıştır. Ayrıca, Pie, Piper (1944), Schoeller (1955) yarı logaritmik ve Gibbs (1970) diyagramları ile suların sınıflamaları yapılmıştır. Suların içmesuyu amacı için kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde 17/2/2005 tarihli ve 25730 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarından yararlanılmıştır. Ayrıca, suların sulama suyu amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi amacı ile Wilcox (1955) ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı (Richards, 1954) diyagramları ile Permeabilite İndeksi (Doneen, 1962) gibi farklı parametreler açısından hesaplamalar yapılmış ve yorumlanmıştır.

Sağlık Risk Değerlendirmesi: Bu bölümde kaynak sularının kimyasal analiz sonuçlarına göre elde edilen sonuçlara bağlı olarak seçilen parametreler için sağlık risk değerlendirme yapılmıştır. Sağlık risk değerlendirilmesinde analiz sonuçları ile USEPA'nın (1986) "Kimyasal Karışımların Sağlık Risk Değerlendirmesi Kılavuzları"na dayanarak oluşturduğu tehlike indeksi (HI) yaklaşımı kullanılmıştır. Kanserojen risk ise, bir bireyin yaşam boyu kanserojen tehlikelere maruz kalmasından dolayı herhangi bir kanser türü geliştirme olasılığı olarak tanımlanmıştır. Bu risk değerlendirme için de USEPA (2004) tarafından önerilen formül ve katsayılar kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Stratigrafi

İnceleme alanı ve çevresinde ulusal ve uluslararası düzeyde özellikle jeolojik yapı ile ilişkili pek çok araştırma yapılmıştır. Jeolojik amaçlı önceki araştırma sonuçları ve arazi çalışmaları dikkate alınarak bölgenin 1/100000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır (Ek-A1). Hazırlanan jeoloji haritasında MTA tarafından yapılan Afyon-L25 (Balcı, 2011) ve Afyon-L26 (Umut, 2009) paftaları baz alınmıştır. İnceleme alanında Anamas-Akseki Otoktonu ve Beyşehir-Hoyran-Hadim naplarına ait birimler ile Neootokton örtü kayaları yüzeylemektedir. Anamas-Akseki Otoktonu bölgede geniş alanlarda Sultandağ Birimi ve Çay Birimine ait formasyonlar ile temsil edilmektedir. Bölgede Sultandağ birimine ait Gökoluk formasyonu, Hüdai Kuvarsiti, Çaltepe, Seydişehir, Ergenli, Kurucaova, Hacılabaz ve Gölge formasyonları gözlenmektedir. Çay birimine ait ise sadece Tersiyer yaşlı Değirmendere formasyonu yüzeylemektedir. İnceleme alanında Beyşehir-Hoyran-Hadim napları Marmaris Ofiyolit napına ait Marmaris Peridotiti, Domuzdağ napına ait Dutdere ve Bakırdağ formasyonları ile temsil edilmektedir. Neootokton Örtü kayaları ise Bağkonak, Yarıkkaya, Göksöğüt ve Kepeztepe formasyonları ile yamaç molozu ve alüvyondur (Şekil 4.1).

4.1.1. Otokton Birimler

PALEOZOYİK

4.1.1.1. Gökoluk Formasyonu (pEg)

İnceleme alanının kuzey ucunda Kale Tepe kuzeybatısında yüzeyleyen formasyon Özgül vd. (1991) tarafından adlandırılmıştır. Gökoluk Formasyonu düşük dereceli metamorfizma gösteren siyah, koyu gri, koyu yeşil ve mor renkli klorit-serizit şist, yer yer kahverengi kayrak, rekristalize dolomit mercekleri ve kuvars arenit seviyeleri içermektedir. Formasyon Hacılabaz formasyonu tarafından transgresif olarak üzerlenir. Formasyonun yaşı bölgedeki konumu ve deneştirmeler dikkate alınarak Kambriyen öncesi olarak verilmiştir (Umut, 2009).

Üst Sistem	Sistem	Seri	Formasyon	Simge	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK						
	KUVATERNER		Alıyön Y. Eski Alıy. Çök. Qal			Gevşek tutturulmuş, tutturulmamış kil, kum, çakıl UYUMSUZLUK
	PLİYO-KUVATERNER		Kepaztep Formasyonu	pQk		Eski yamaç molozu ve akarsu çökelleri UYUMSUZLUK
	MİYOSEN	ÜST	Yanıkaya Gökşüt Formasyonu Kireçtaşı Üyesi	Tmg		Kumtaşı, kilitaşı, marn, killi kireçtaşı, vb. GEÇİŞLİ
		ORTA	Bağkonak Formasyonu	Tmb		Kireçtaşı, marn GEÇİŞLİ
						Kilitaşı, marn, kumtaşı, çakilitaşı, linyit, vb.
						Kırmızı renkli çakilitaşı, kumtaşı UYUMSUZLUK
MESOZOYİK						
	JURA	LiYAS	Dutdere Formasyonu	TrJd		Neritik kireçtaşı TEKTONİK
	ORTA-ÜST	Bakırdağ	Peritodid Formasyonu	Tsb		Kireçtaşı, dolomit TEKTONİK
	KRETASE	Marmaris	Peritodid Formasyonu	Kmp		Harzburjit, dunit, serpantin, vb. TEKTONİK
	DEVONİYEN KARBONİFER			DCd		Sleyt, şist, dolomit, kuvarsit, rekristalize kireçtaşı TEKTONİK
SENOZOYİK	PALEOJEN	PALEOSEN	Gölgeli Formasyonu	Teg		Konglomera, kumtaşı, vb. UYUMSUZLUK
MESOZOYİK						
	KRETASE	ÜST				JKk- Neritik kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, dolomit
	ALT					Je- Oolitle, algi kireçtaşı, dolomit
	JURA	DOĞGER	Hacılabaz Formasyonu	JKh		JKhd- Düz kaya üyesi; Spilit, bazalt, diyabaz
	ORTA LiYAS	Kurucaova Formasyonu	JKk			JKh- kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı UYUMSUZLUK
PALEOZOYİK						
	ORDOVİSİYEN	Alt	Seydişehir Formasyonu	8Os		Şist, kuvarsit, dolomit, metakumtaşı, metaşeyli, metaçakilitaşı, yumrulu-rekristalize kireçtaşı GEÇİŞLİ
	KAMBRIYEN	Orta	Çaltepe Formasyonu	8ç		Rekristalize kireçtaşı, yumrulu kireçtaşı, dolomit
	Alt	Hüdaı Kuvarsiti		8h		Kuvarsit
	PREKAMBRIYEN		Gökölük Formasyonu	p8g		Şist, kuvarsit, kayrak

Şekil 4.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti

4.1.1.2. Hüdai Kuvarsiti (Əh)

Birim Öngür (1973) tarafından “Hüdai Kuvarsit Üyesi” olarak adlandırılmıştır. Özgül vd. (1991) tarafından geniş bir yayılım gösterdiği ve benzer stratigrafik konumdaki kuvarsitlerle deneştirilebildiği belirtilerek formasyon mertebesinde incelenmiştir. Hüdai Kuvarsiti inceleme alanında Yalvaç kuzeydoğusunda Menendere Tepe civarında bindirme düzlemi boyunca gözlenmektedir.

Hüdai Kuvarsiti kirli beyaz, pembe renkli, orta-kalın katmanlı, seyrek olarak kayrak ara katkılı kuvarsitlerden oluşmaktadır. Hüdai Kuvarsitlerinin egemen kaya türünü oluşturan iyi yıkanmış, boylanmış, laminalı ve çapraz katmanlı kuvarsarenitler yüksek enerjili plaj ortamını yansıtmaktadır (Özgül vd., 1991). Hüdai Kuvarsitinde herhangi bir fosil bulgusu olmamıştır. Bölgede, Çaltepe formasyonu tarafından uyumlu olarak üstlendiğinden Kambriyen yaşında olması gerektiği belirtilmiştir (Umut, 2009).

4.1.1.3. Çaltepe Formasyonu (Əç)

Orta Toroslar’da varlığı ilk kez Blumental (1947) tarafından belirlenen istifin litostratigrafik adlaması Dean ve Monod (1970) tarafından yapılmıştır. Formasyon inceleme alanında Yalvaç ilçesi doğu ve güneydoğusunda Sultandağı, Teke Dağı ve Menendere Tepe civarlarında yüzeylemektedir.

Çaltepe Formasyonu gri, mavi, beyaz, sarımsı renklerde orta-kalın katmanlı kireçtaşlarıyla temsil edilir. Formasyon alttan üste doğru dolomit, kristalize kireçtaşı ve yumrulu kireçtaşı birimlerini kapsar. Kireçtaşlarının taban kesimleri genel olarak dolomitik özellik göstermektedir. Kalın-çok kalın tabakalı dolomitler metamorfizma etkisiyle yeniden kristallenmiş ve kaba kristalli doku kazanmıştır. Dolomitler üste doğru kristalize kireçtaşlarına yanal ve düşey geçiş göstermektedir. Kireçtaşları açık koyu kül renkli, orta-kalın katmanlı, pürüzlü, köşeli kırılmalı, kalsit damarlıdır. Kireçtaşları metamorfizma etkisiyle yer yer mermerleşmiştir. Çaltepe formasyonunun üst kesimlerinde şeyl ara katkılı sarımsı gri, pembe renklerde yumrulu kireçtaşı düzeyleri bulunur. Bu düzeyler

Seydişehir formasyonu ve Çaltepe formasyonu arasında bir geçiş zonu oluşturmaktadır. Çaltepe formasyonunun alt düzeylerini oluşturan dolomitize kireçtaşları Hüdai kuvarsitlerini uyumlu olarak örtmektedir.

Formasyonun dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşı düzeylerinde fosile rastlanmamıştır. Yumrulu kireçtaşı düzeylerinde ise Trilobit ve İnarkülat brakriyopod fosillerine rastlanır. Farklı araştırmacılar tarafından Çaltepe formasyonu içerisinde bulunan fosil kapsamına göre formasyonun yaşı Orta Kambriyen olarak verilmiştir (Umut, 2009).

4.1.1.4. Seydişehir Formasyonu (EOs)

İlk kez Blumenthal (1947) tarafından "*Seydişehir formasyonu (şistleri)*" olarak adlandırılan formasyona Dean ve Monod (1970) "*Seydişehir formasyonu*", Brunn vd. (1971) "*Seydişehir şeylleri*", Erişen (1972) "*Sultandede yeşilşist formasyonu*", Demirkol vd. (1977) "*Sultandede formasyonu*" isimlerini vermiştir. Seydişehir formasyonu inceleme alanının doğusunda Sultandağları boyunca geniş alanlarda kuzey-güney doğrultusunda dik topoğrafyalarda yüzeylemektedir.

Seydişehir formasyonu şist, metaşeyl, metakumtaşı ve metakil ardalanmalı alt düzeyleri yer yer boz, yeşil, kırmızımsı renkli kuvarsit, sleyt ve fillit seviyelerinden oluşmaktadır (Şekil 4.2). Özgül ve Gedik (1973) ile Monod (1977) birimin kalınlığının 1000 m olduğunu söylemişlerdir. Formasyon açısız uyumsuzlukla Üst Jura yaşlı Hacılabaz formasyonu tarafından örtülmektedir (Umut, 2009).

İnceleme alanında fosil varlığı açısından herhangi bir bulguya rastlanmamıştır. Ancak, Dean ve Monod (1970), Seydişehir bölgesinde, Sultandağları'nın büyük kısmında gözlenen metakumtaşları içinde Alt Ordovisiyen yaşlı Trilobitler tespit etmiştir. Demirkol vd. (1977), Seydişehir formasyonuna ait metakumtaşlarında Üst Kambriyen ve Alt Ordovisiyen'e ait izlere rastlamışlardır. Kerey (1987), Koca Tepe'nin güney doğusunda şistlerdeki kireçtaşı bantlarında Trilobit izleri saptanmıştır. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar gözönünde

bulundurulduğunda Seydişehir formasyonunun yaşı Üst Kambriyen- Alt Ordovisiyen olarak verilmiştir.



Şekil 4.2. Seydişehir formasyonu şistleri

MESOZOYİK

4.1.1.5. Ergenli Formasyonu (Je)

Formasyon adlaması Koçyiğit (1980) tarafından yapılmıştır. Formasyon Eğirdir Gölü Hoyran kesimi doğusunda Kirişli Dağı ve Sivri Tepe boyunca gözlenmektedir. Algli ve oolitli kireçtaşlarından oluşan formasyonun alterasyon rengi sarımsı, taze yüzeyleri gri renkli, orta-kalın tabakalı, erime boşluklu ve bol çatlaklıdır. Yer yer tabakalanmasız, dolomit merccek ve ara seviyeleri içermektedir. Formasyonun kalınlığı 100-400 m arasında olup Neotokton örtü kayaları tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Formasyondan derlenen fosil kapsamına göre Malm yaşı verilmiştir (Öztürk vd., 1989).

4.1.1.6. Kurucaova Formasyonu (JKk)

Öztürk vd. (1981) tarafından “Anamas Formasyonu” olarak adlandırılan birime Şenel vd., (1992) “Kurucaova formasyonu” ismini vermiştir. Formasyon inceleme alanında Gelendost güneyinde Büyüksivri Tepe, Diktaş Tepe ve Göztaş Tepe civarlarında gözlenmektedir.

Kalın karbonatlarla temsil edilen birim, altta orta-kalın katmanlı, siyah, gri ve kremi renklerde; üstte ince-kalın katmanlı, kırık-çatlaklı, sert, kristalin dokulu, kremi bej renklerde, bol makro fosilli, yer yer kumlu onkoidli, oolitli ve pelletli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bunların üzerinde dolomitik kireçtaşı ara düzeyli, yersel gastropodlu, onkoidli, oolitli kireçtaşları bulunmaktadır. Anamas formasyonuna ait karbonat istifi için Yağmurlu (1992), Ammonit, Rudist ve Megalodont izlerinin hakim olduğu ifade edilmiştir. Elitok (2001) ise, çalışma alanını kapsamayan ofiyolitler ile olan dokanağa yakın kesimdeki birimlerden aldığı örneklerle yaptığı yaş tayini neticesinde birimin yaşını Kretase- Alt Eosen olarak belirlemiştir. Umut (2009) tarafından yapılan çalışmada birim içerisinde tespit edilen fosil kapsamına göre yaş Orta Liyas-Senomaniyen olarak verilmiştir.

4.1.1.7. Hacılabaz Formasyonu (JKh)

Birim adını Demirkol (1977), tarafından çalışma alanı dışında kalan en geniş gözleendiği yer olan Hacılabaz Dağı'ndan almaktadır. Formasyon, Yalvaç ilçesi kuzeyinde Kayaönü Tepe, Gökseki Tepe, Sarıoğlan Tepe, Palamut Tepe civarlarında geniş alanlarda, Bağkonak güneyi ve kuzeyinde gözlenmektedir.

Hacılabaz formasyonu, kireçtaşı, dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından meydana gelmektedir. Sultandağı' nın batı yamaçlarının bazı kesimlerinde yayılım gösteren birimin güneybatıdan Üst Jura'da meydana gelen deniz ilerlemesiyle gerçekleştiği düşünülmektedir. Formasyon oldukça dik ve sert yüzey şekliyle uzaktan ayırt edilebilmektedir. Rengi koyu grimsi-siyah, biyomikritli, kalsit damarlı, ara ara oolitli erime boşluklu kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşından meydana gelmektedir. Mikritik doku özelliğine sahip olan birimde mikrit kırıntıları sparkalsit ile tutturulmuştur. Karst şekillerine yoğun olarak

rastlanılmakta ve gözlenen bu şekiller mağara, erime boşluğu, dolin ve karst kaynaklarıdır (Soyaslan, 2004).

Formasyon, Paleozoyik yaşlı birimleri transgressif olarak üzerler. Önceki çalışmalarda birimin yaşı Dogger- Üst Kretase olarak belirlenmiş olmasına karşın Demirkol (1981), formasyonda Alt Eosen'e kadar aralıksız bir karbonat çökelişi gözlemleyerek farklı isimlerle gruplandırmıştır. Formasyonda görülen fosil kapsamına göre yaşı Özgül vd. (1991) tarafından Dogger-Geç Kretase olarak verilmiştir.

Düzakaya Volkanit Üyesi (JKhd)

Hacılabaz formasyonunun alt düzeylerinde değişen kalınlıklarda görülen volkanitler yeşil, koyu yeşil, siyah, kahve renklerde, demirce zengin diyabaz spilit ve spilitleşmiş bazaltlardan oluşmaktadır. Volkanitlerin boşlukları kalsit dolguludur. Üye adlanması Özgül vd. (1991) tarafından yapılmıştır. Üye, inceleme alanında Yalvaç kuzeyinde ve doğusunda ince şeritler halinde gözlenmektedir.

4.1.1.8. Gölge Formasyonu (Teg)

Öztürk vd. (1981) tarafından adlandırılan birim inceleme alanında Celeptaş köyü kuzeyinde küçük bir alanda gözlenmektedir. Birim Demirkol vd. (1977) tarafından adlandırılan Celeptaş formasyonu ile benzerlik göstermektedir. Hem fliš hem de türbiditik özellikler gösteren Gölge formasyonu yeşil, sarı ve gri renklerde kumtaşı, kiltası, silttaşı, marn ve kumlu kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Paleosen-Eosen yaşlı pelajik ve neritik karbonatlar ile geçişli olan birim Beyşehir-Hoyran napları kayalar tarafından örtülmüştür. Gölge formasyonunun kapsadığı fosil kapsamına göre belirlenen yaşı Orta Eosen olarak verilmiştir (Öztürk vd., 1987; Umut, 2009).

TERSİYER

4.1.1.9. Değirmendere Formasyonu (DCd)

Sultan Dağlarının kuzey kenarında bulunan Çay Birimi'ne ait formasyon Özgül vd. (1991) tarafından adlandırılmıştır. Formasyon, inceleme alanının kuzeyinde bulunan Çakırçal köyü kuzeybatı ve kuzeydoğusunda yüzeylemektedir. Değirmendere formasyonu gri, yeşil ve mor renkli klorit, kuvarssist, serisit, metakiltası ve metakumtaşlarından oluşmaktadır. Şist ve metakiltaları kloritleşme ve serisitleşme nedeniyle parlak görünümlüdür. Birim içerisinde koyu kül rengi kireçtaşları ve mor renkli kuvarsit ara katkıları bulunur. Mercan, brakyopod, crinoid gibi makro fosilleri kapsayan kireçtaşı mercekleri içerisinde 5-10 m kalınlıkta kırmızı renkli dolomit mercekleri görülmektedir.

Çay biriminin en yaşlı kaya birimini oluşturan Değirmendere formasyonu Sultandağı biriminin kaya birimleri üzerinde tektonik dokanakla bulunmaktadır. Değirmendere formasyonunun fosil kapsamı ve stratigrafik konumuna göre Geç Devoniyen-Karbonifer (Erken-Orta) aralığında çökelindiği belirtilmiştir (Özgül vd., 1991).

NEOOTOKTON ÖRTÜ KAYALARI

4.1.1.10. Bağkonak Formasyonu (Tmb)

Formasyon ilk kez Demirkol vd. (1977) tarafından Bağkonak köyü civarında tanımlanmıştır. Formasyonu, Bağkonak çevresinde, Hüyükü ile Özgüney civarlarında, Yalvaç çevresinde ve Yağcılar kuzeyi ile Sücüllü arasında yüzeylemektedir. Birim, bölgede bulunan bütün Neojen öncesi temel kayaları uyumsuz olarak örtmektedir.

Bağkonak formasyonu kırmızımsı-sarımsı, kötü boylanmalı çakıltası, yersel kumtaşı, kumlu kireçtaşı, kiltası, marn ve çamurtaşı birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 4.3). Formasyonda yer yer karbonat çimentolu çamurtaşları gözlenmektedir. Üst tabakalarda kumtaşı-silttaşı birimleri egemen iken, alt

tabakalarda çakıltası-kumtaşı egemen birimdir. Yağmurlu (1991) tarafından, formasyondaki kırıntılı tortulların iç içe alüvyal yelpaze ortamında birikmiş olabileceği ifade edilmiştir. Kumtaşları pembe, krem, yeşil, kahve renkli, orta-kalın tabakalanmalı, gevşek yer yer sıkı tutturulmuş ve karbonat çimentoludur. Silttaşları ise açık yeşil-boz renklidir. Birimin kalınlığı 180-220 m arasında değişmektedir.

Formasyon Geç Miyosen yaşlı Göksöğüt formasyonu tarafından geçişli olarak üzerlenmiştir. Formasyonda yaş tayini yapılabilecek herhangi bir fosile rastlanmamıştır. İnceleme alanı dışındaki benzer birimlerdeki yaş tayinleri ve stratigrafik korelasyon dikkate alınarak birime Orta-Geç Miyosen yaşı verilmiştir (Umut, 2009).



Şekil 4.3. Bağkonak formasyonu (Kozluçay köyü civarı)

4.1.1.11. Yarıkkaya Formasyonu (Tmy)

Demirkol (1977) tarafından adlandırılan Yarıkkaya formasyonu ismini en geniş yayılımını gördüğü Yarıkkaya köyünden almıştır. Yarıkkaya formasyonu Yalvaç ilçesinin kuzeybatısında Yarıkkaya, Çamharman, Bağlarbaşı, Terziler ve Sağırköy civarlarında yüzeylemektedir.

Yarıkkaya formasyonunun alt bölümü egemen olarak kıltaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Kıltaşı ve çamurtaşları genellikle soluk yeşilimsi, düzensiz laminalı, zayıf peşleşmiş ve yersel ince taneli kumtaşı arakatlıdır. Formasyon içerisinde kıltaşı seviyeleri üzerinde ekonomik linyit düzeyleri bulunur. Yarıkkaya civarındaki bu kömürler koyu kahve-siyahımsı renkte olup yumuşak ve sert linyit arasında değişen özelliktedirler. Formasyonda genellikle kömür düzeylerinin üstünde bulunan marnlar sarımsı, açık grimsi, orta-ince düzgün yarılmıdır. Kıltaşı, killi kireçtaşı ve çamurtaşından oluşan düzeyler olağandır (Umut, 2009). Demirkol (1982) tarafından, Yarıkkaya formasyonu, kuzeybatıda Hacılabaz kireçtaşı üzerinde uyumsuz, güneybatıda ise, Göksöğüt formasyonu ile uyumlu olduğu belirtilerek, formasyonun enine kesitlere göre kalınlığının yaklaşık 80 m civarında saptanmıştır.

İnceleme alanı dışında bulunan Yukarıkaşıkara Köyü civarında Yarıkkaya formasyonu içerisinde Pyrgula türü olan Alt Pliyosen'in üst bölümlerini temsil eden iki fosile ve Üst Pliyosen'in alt bölümlerini temsil eden Corymbina türüne rastlanmıştır (İnal, 1975). Yarıkkaya formasyonundaki linyitlerde Orta Miyosen'e ait polenler ve sporlar tespit edilmiştir (Yağmurlu, 1991; Soyaslan, 2004).

Kireçtaşı Üyesi (Tmyk)

Kireçtaşı üyesi, Körküler Köyü batısında Kırkbaş ve Mısırlı köyleri civarında, Ayvalı köyü ve kuzeyinde yüzeylenmektedir. Gri, beyaz renkli sert sıkı tutturulmuş, orta-kalın katmanlı, eklemlili, fosilli ve travertinimsi kireçtaşları Demirkol vd. (1977) tarafından üye olarak ayırtlanmıştır. Üye Yarıkkaya formasyonuna uyumlu ve yaklaşık olarak 70 m kalınlık göstermektedir.

4.1.1.12. Göksöğüt formasyonu (Tmg)

Yalvaç ilçesi güneyi ve Gelendost ilçesi doğusu ve batısında geniş alanlarda yüzeyleyen Göksöğüt formasyonu Demirkol vd. (1977) tarafından adlandırılmıştır. Birim alttan üste doğru çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kıltaşı, çamurtaşı ile gölsel kireçtaşlarıyla temsil edilmektedir (Şekil 4.4). Üst düzeylerde

görülen killi kireçtaşları orta-kalın yer yer masif tabakalanmalı, sert ve bol makro fosillidir (Öztürk, vd., 1981). Havzanın güneyinde farklı yönere uzanan formasyonun kalınlığı 100-130 m civarındadır. Birim, Pliyo-Kuvaterner ve Kuvaterner çökeller tarafından örtülmüştür.

Yine Göksöğüt formasyonunun yüzeylediği Tokmacık Kasaba'sının 2 km doğusunda 1994 yılında, Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri tarafından kazı yapılmıştır. Bu çalışmalarda Mamut (Proboscidae), Gergedan (Rhinolcerotidae), Etoburlar (Carnivores), At (Equidae) ve Geyikgillere (Bovidae) ait fosilleşmiş ve kısmen korunmuş kemik parçalarından oluşan memeli kalıntıları bulunmuştur. Bu kalıntılar Yalvaç Arkeoloji müzesinde teşhir edilmektedir. Bu kalıntıların Geç Miyosen (Turoliyen) dönemine ait 9 milyon yıl öncesi memeli topluluğuna ait oldukları belirtilmiştir (Yağmurlu vd., 1994). Yağmurlu (1991) çalışmasında birimdeki kireçtaşlarında bazı tatlı su gastropodlarının yaygın olarak bulunduğunu ifade etmiştir. Öztürk vd. (1981), Bahtiyar civarında birimden aldıkları örneklerden Radac (?), Ostrocodes: Caspiocypris cf. Candide gözlemlemişler ve birimin yaşını Miyosen-Pliyosen geçişi olabileceğini belirtmiştir. Birimin yaşı elde edilen tüm bu veriler neticesinde Üst Miyosen-Pliyosen olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.4. Göksöğüt formasyonu (Çetince köyü civarı)

4.1.1.13. Kepeztepe Formasyonu (plQk)

Formasyon inceleme alanında Gelendost güneybatısında gözlenmektedir. Kumtaşı ve mercekli çakıllaşlarından oluşan formasyon Öztürk ve Öztürk (1989) tarafından Kepeztepe formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyon içerisindeki kumtaşları kuvars, volkanit, şist, ofiyolit ve kireçtaşı parçalarından oluşmuştur ve bu elemanlar çakıl-kum boyutundadır. Çok türlü bileşene sahip çakıllaşları gri, bej renkli ince-orta tabakalı kumtaşı mercekleri içermektedir. Birim içerisinde gözlenen kireçtaşları ise kötü boylanmalı, gevşek tutturulmuş, karbonat çimentolu volkanit, ofiyolit, radyolarit ve kumtaşı parçaları içermektedir. Birimin kalınlığı 50 ile 75 m civarındadır. Formasyonun yaşı stratigrafik ilişkilerine göre Pliyo-Kuvaterner olarak verilmiştir (Balcı, 2011).

4.1.1.14. Alüvyon (Qal), Alüvyon Yelpazesi (Qay), Eski Alüvyon Çökelleri (Qeal) ve Yamaç Molozu (Qym)

İnceleme alanında alüvyon birim ovalardaki çukurluk alanlarda ve dere yataklarında yüzeylemektedir. Alüvyon birim farklı şekil ve boyutlarda çakıl, kum, kil ve siltlerden oluşmaktadır. Temel kayalardan türemiş olan bu litolojiler temel kayaları uyumsuz olarak örtmektedir.

Yamaç molozları, yükseltilerin eteklerinde ve dik topoğrafyalarda köşeli blok, çakıl ve kum boyutundaki tutturulmamış kırıntılardan oluşmaktadır. İnceleme alanının güneyinde yer alan bu dik topoğrafya boyunca kuzeye doğru Yakaköy ve Balcı arasında gözlenmektedir. Vadilerin ağız kısımlarında yelpaze görünümünde olan kireçtaşları farklı boyut ve derecelerde yuvarlaklaşan çakıl ve bloklardan meydana gelmektedir.

Alüvyon yelpazesi akarsuların göllere açıldığı ova kenarlarında blok ve çakıl birikintilerinden oluşmaktadır. Yalvaç ilçesi Kurusarı, Akçaşar ve Hüyükülü köyleri arasında kalan eski alüvyon çökelleri ise eski akarsu yataklarındaki çakıl, kum ve kil depolanmalarıdır. Bunlar, gri, beyaz, kırmızımsı renkli, kötü boylanmalı, yer yer çapraz tabakalanmalıdır.

4.1.2. Allohton Birimler

4.1.2.1. Marmaris Peridotiti (Kmp)

İnceleme alanında Marmaris ofiyolit napına ait tek birim olan Marmaris Peridotiti bölgede Öztürk vd. (1981) tarafından “Kızılcadağ ofiyolitleri” olarak adlandırılmıştır. Birim, Gelendost ilçesi kuzeyinde Kurtyurdu Tepe, Eğirler-Çaltı köyleri arası ve Akçaşar-Eyüpler köyleri arasında yüzeylemektedir.

Marmaris peridotiti yeşil, koyu yeşil ve siyah renkli peridotit, serpantinit, lisfenit, yeşil tonlarda ve siyah renkli harzburjit, serpantinleşmiş peridotit, serpantinleşmiş harzburjit-dunit ve az oranda da dunit seviyelerinden oluşmaktadır. Serpantinler bindirme zonlarında belirgin yüzeyler oluşturmaktadır. Serpantinler genel olarak büyük harzburjit kütlelerinin tabanında gözlenmektedir. Lisfenit seviyeleri ise ultrabazik kayaların kireçtaşları ile dokanağında gelişmişlerdir. Kalınlığı 800 m civarında olan birimin alt ve üst sınırları tektoniktir.

4.1.2.2. Dutdere Formasyonu (TRjd)

Domuzdağ Napına ait Dutdere formasyonu megalodonlu kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu birim farklı araştırmalarda Dutdere kireçtaşı olarak da isimlendirilmiştir. Birim inceleme alanında Madenli köyü doğusu ve kuzeyinde küçük alanlarda yüzeylemektedir. Kireçtaşları orta-kalın tabakalı, yer yer masif, kırılma yüzey rengi beyaz, kirli beyaz, krem, bej, aşınma yüzey rengi gri algli veya megalodonludur. Kalınlığı yaklaşık 700 m civarında olan kireçtaşlarına Şenel vd., (1989) tarafından Orta Triyas- Liyas yaşı verilmiştir.

4.1.2.3. Bakırdağ Formasyonu (TRb)

Formasyon adlaması Öztürk vd. (1989) tarafından yapılmıştır. Birim inceleme alanında Gelendost ilçesi kuzeyinde bulunan Celeptaş köyü çevresinde yüzeylemektedir. Formasyon, beyaz, gri, bej renkli, genel olarak masif, yer yer orta-kalın tabakalı dolomitik özellikte, kısmen rekristalize ve erime boşluklu

kireçtaşlarından oluşmaktadır. Formasyon kalınlığı 300-1000 m arasındadır ve bölgede Orta-Geç Miyosen kayaları tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir.

4.2. Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı Toros kuşağında Batı Toroslar bölümünün kuzey kısmında yer almaktadır. Anamas-Akseki Otoktonuna ait Sultandağı Biriminin yapısal unsurları kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı olup Sultandağlarının genel konumuna uyum göstermektedir. Sultandağı birimi Tersiyer tektonik hareketlerinden önemli ölçüde etkilenmiştir. Bu tektonizma ile Sultandağı birimi kendi içinde düşük açılı bindirmelerle dilimlenerek karmaşık bir yapı kazanmıştır. Orta Toroslar'da kuzeyden güneye doğru Anamas-Akseki otoktonu üzerine Beyşehir-Hoyran-Hadim napları yerleşmiştir (Umut, 2009). Demirkol ve Yetiş (1984), Paleozoyik yaşlı Seydişehir formasyonunun aynı anda Kaledoniyen ve Alpin dağ oluşumlarından etkilenirken, Senozoyik ve Mezozoyik yaşlı kayaların yalnızca Alpin Dağ oluşumu hareketinden etkilenerek kıvrımlandıklarını öne sürmüşlerdir. Yalvaç Neojen havzasının çevresi çoğunlukla normal faylarla sınırlanmış bir çöküntü alanı olmakla beraber üçgenimsi bir yapı sergilemektedir. İnceleme alanı ve çevresinde bulunan bindirme ve ters faylar Neojen öncesi birimlerde gelişmiştir. İnceleme alanının güneyinde KD uzanımlı normal faylar Gelendost ve Madenli dolaylarında egemen olup, kısmen KB doğrultulu faylar tarafından kesilmektedir (Yağmurlu, 1990).

4.3. Hidroloji

İnceleme alanında temel hidroloji parametreleri olan yağış, buharlaşma ve akış değerlendirmeleri bu bölümde irdelenmiştir.

4.3.1. Yağış

Genel olarak bütün yüzey ve yeraltı sularının en önemli beslenme elemanı yağıştır. İnceleme alanında yağış verilerinin analizi için havza içerisinde ve havza dışında bulunan Devlet Meteoroloji İstasyonlarında ölçülen yağış verileri temin edilmiştir. İnceleme alanı ve çevresinde Yalvaç, Gelendost, Bağkonak, Kumdanlı, Şarkikaraağaç, Akşehir, Çay yerleşim merkezlerinde gözlem istasyonları bulunmaktadır. Bu istasyonlara ait teknik özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Isparta ve Afyonkarahisar illerine bağlı Devlet Meteoroloji İstasyonları (DMİ)

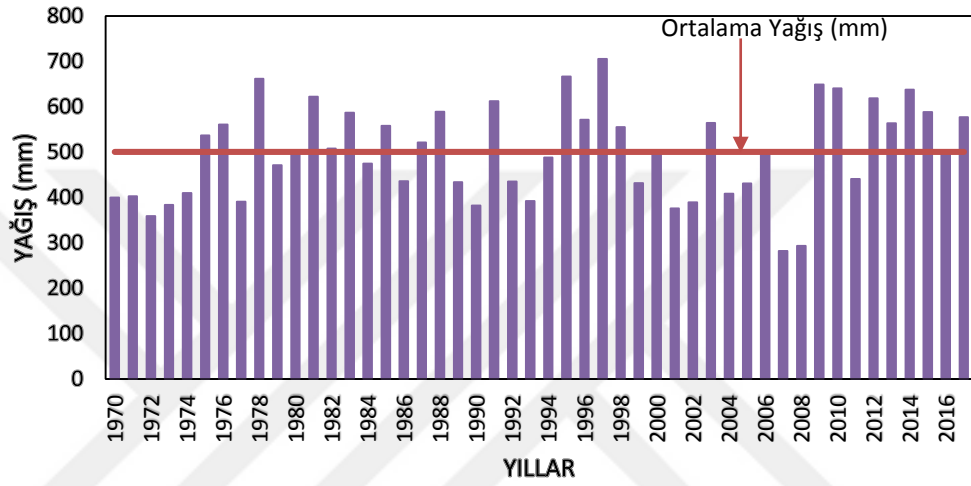
İstasyon	İstasyon No.	Enlem	Boylam	Rakım (m)
Yalvaç	17828	38.2830	31.1778	1096
Gelendost	18114	38.1242	30.9986	1010
Bağkonak	6155	38.2166	31.2666	1150
Kumdanlı	5998	38.3333	30.9833	1050
Şarkikaraağaç	17863	38.0630	31.3558	1158
Akşehir	17239	38.3688	31.4297	1002
Çay	17793	38.5903	31.0315	996

Bu istasyonlarda sadece Akşehir, Yalvaç ve Çay DMİ’nda 1970-2017 yılları arası 48 yıllık ölçüm bulunmaktadır. Gelendost, Kumdanlı, Şarkikaraağaç ve Bağkonak DMİ’lerde ölçüm verisi sınırlıdır (Çizelge 4.2). İnceleme alanı ve çevresinde bulunan DMİ’lerde mevsimsel değişiklikler ve yağış trendlerinin tespiti için eklenik sapma grafikleri hazırlanmıştır.

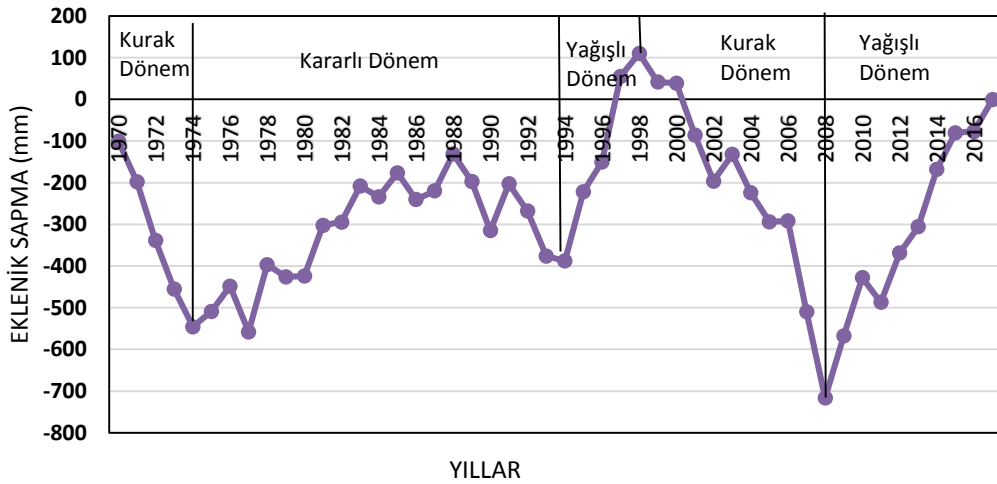
Çizelge 4.2. Devlet Meteoroloji İstasyonlarına ait yıllık ortalama yağış verileri

Yıllar	Yalvaç	Gelendost	Kumdanlı	Bağkonak	Şarkikaraağaç	Akşehir	Çay
1970	400	487.2	327.7	508.6	446.7	502.5	507.6
1971	403.2	475.3	427.6	509.4	447.3	666.8	615.4
1972	359.2	438.9	568.4	408.0	356.2	471.3	413.9
1973	384	416.7	379.1	307.3	300	466.8	442.9
1974	409.9	524.1	432.4	472.4	267	441.4	422.0
1975	537.2	593.8	561.2	512.3	526.1	594.1	535.2
1976	561	615.9	498.6	548.7	524.8	709.4	602.0
1977	390.8	405.1	271.7	401.6	340.7	711.1	435.7
1978	661.8	801.8	590.0	694.1	524.7	719.2	688.8
1979	471	627.4	559.4	630.0	503.6	649.1	633.9
1980	502.3	609.7	453.0	574.1	459.7	570.5	535.5
1981	622	757.3	414.8	547.4	584.7	554.5	616.4
1982	508.2	554.3	437.6	488.7	365	508.6	469.5
1983	586.9	566.2	509.2	565.1	689.3	647.3	467.7
1984	474.6	446.2	488.7	469.5	408.7	490.7	405.8
1985	557.9	617.3	478.2	604.5	506.8	581.6	505.7
1986	436.3	396.7	274.7	372.0	302.2	371.3	407.5
1987	521.4	541.5	386.8	461.4	585.4	641.1	613.2
1988	589.1	366.3	405.9	553.4	585.1	649.3	580.6
1989	434.1		337.4	389.1	463.6	474.2	452.6
1990	382.5		277.7	364.9	391.6	452.8	517.59
1991	612.7		510.8	546.6	623.3	610.8	486.74
1992	435.1		384.5	376.9	403.9	479.3	467.9
1993	392.3		311.9	353.9	314.3	385.3	405.1
1994	488.6		442.9	459.3	436.5	533.4	477.9
1995	666.7			619.9		675.5	619
1996	571.7					598.5	696.1
1997	705.8					590	487.4
1998	555.4					594.7	511.7
1999	431.7					417.2	380.9
2000	497.9					553.8	478.7
2001	375.9					604.1	286.4
2002	389.8					519.4	364.6
2003	564.4					625.4	514.6
2004	408.3					392.3	333.8
2005	430.8				271.0	485.3	472.2
2006	502.5				288.8	588.5	531.5
2007	282.4				291.6	486.5	459
2008	293.6				353.8	394.2	377.2
2009	649.4				509.8	637.3	719.4
2010	640.3				422	453.4	699
2011	441				292.2	378.6	475.2
2012	619				578.2	399.8	363.8
2013	563.4				398.8	400.5	428
2014	637.8				495.8	498.8	587.6
2015	588.2				412.4	598.8	554.3
2016	503.6				393.4	442.2	558.7
2017	577.2				445.8	462.4	405.2
Ort.	500.4	539.03	429,21	489,96	450.04	535	500.24

Yalvaç DMI’de 1970-2017 yılları arasında 48 yıllık ölçüm bulunmaktadır (Şekil 4.5a). Bu istasyonda ölçülen ortalama yağış değeri 500.4 mm olarak hesaplanmıştır. Yalvaç DMI için eklenik sapma grafiği hazırlanmıştır (Şekil 4.5b). Bu grafikte 1970-1974 yılları arası kurak, 1974-1994 yılları arası kararlı, 1994-1998 yılları arası yağışlı, 1998-2008 yılları arası kurak ve 2008-2017 yılları arası yağışlı dönem olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.5b).

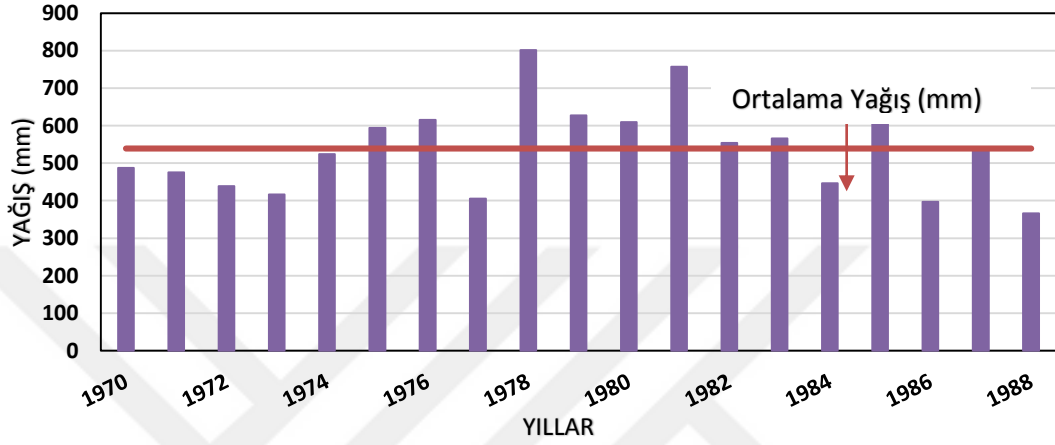


Şekil 4.5a. Yalvaç DMI yıllık toplam yağış (mm) grafiği

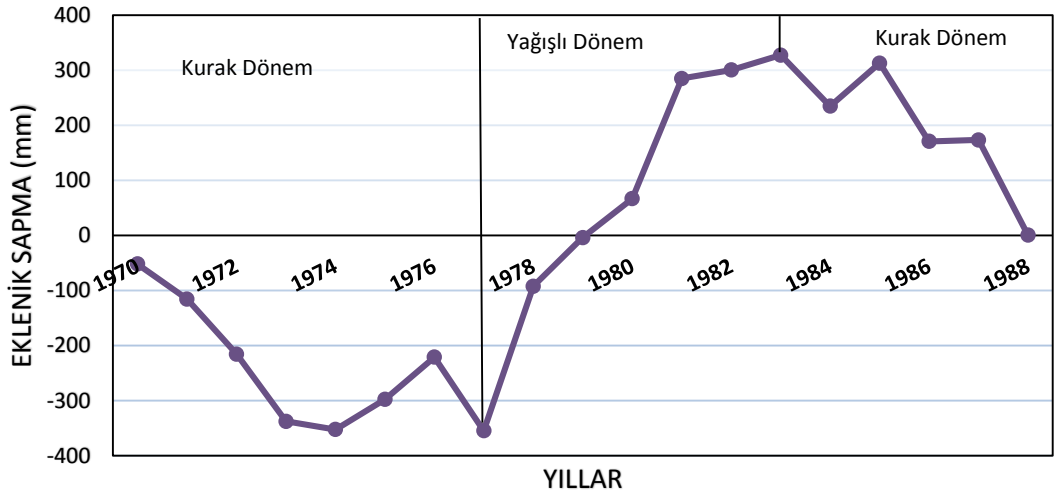


Şekil 4.5b.Yalvaç DMI ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği

Gelendost DMİ’de 1970-1988 yılları arasında 19 yıllık ölçüm bulunmaktadır (Şekil 4.6a). Bu istasyonda ölçülen ortalama yağış değeri 539.03 mm olarak hesaplanmıştır. Gelendost DMİ için eklenik sapma grafiği hazırlanmıştır (Şekil 4.6b). Bu grafikte 1970-1978 yılları arası kurak, 1978-1983 yılları arası yağışlı, 1983-1988 yılları arası kurak dönem olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.6b).

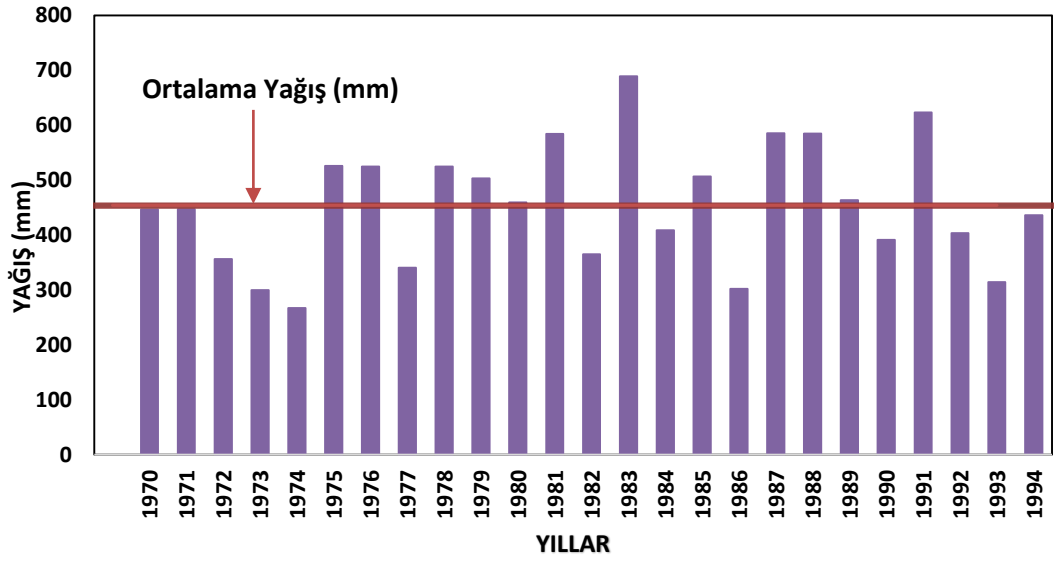


Şekil 4.6a. Gelendost DMİ yıllık toplam yağış (mm) grafiği

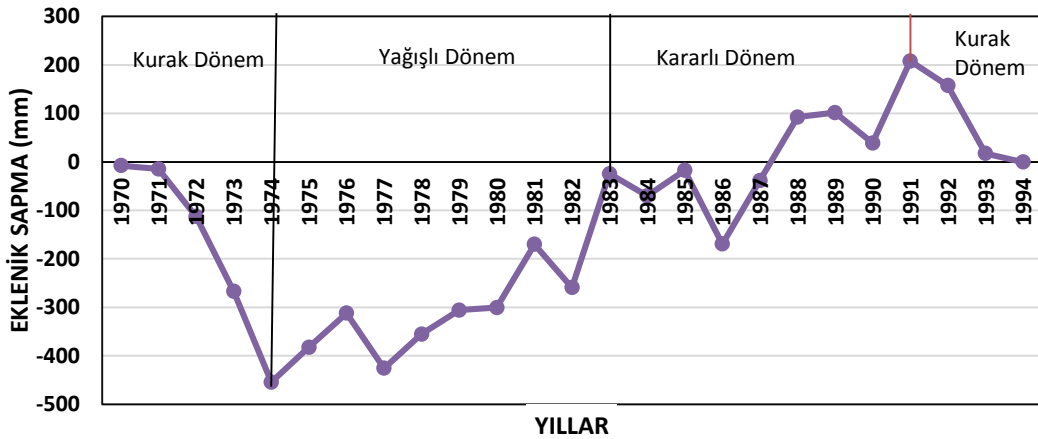


Şekil 4.6b. Gelendost DMİ ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği

Şarkikaraağaç DMİ’de 1970-1994 ve 2005-2017 yılları arasında yağış ölçümü bulunmaktadır (Çizelge 4.2). Bu istasyonda 1970-1994 yılları arasında ölçülen ortalama yağış değeri 454.28 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.7a). Şarkikaraağaç DMİ için eklenik sapma grafiği hazırlanmıştır (Şekil 4.7b). Bu grafikte 1970-1974 yılları arası kurak, 1974-1983 yılları arası yağışlı, 1983-1991 yılları arası kararlı ve 1991-1994 yılları arası kurak dönem tespit edilmiştir (Şekil 4.7b).

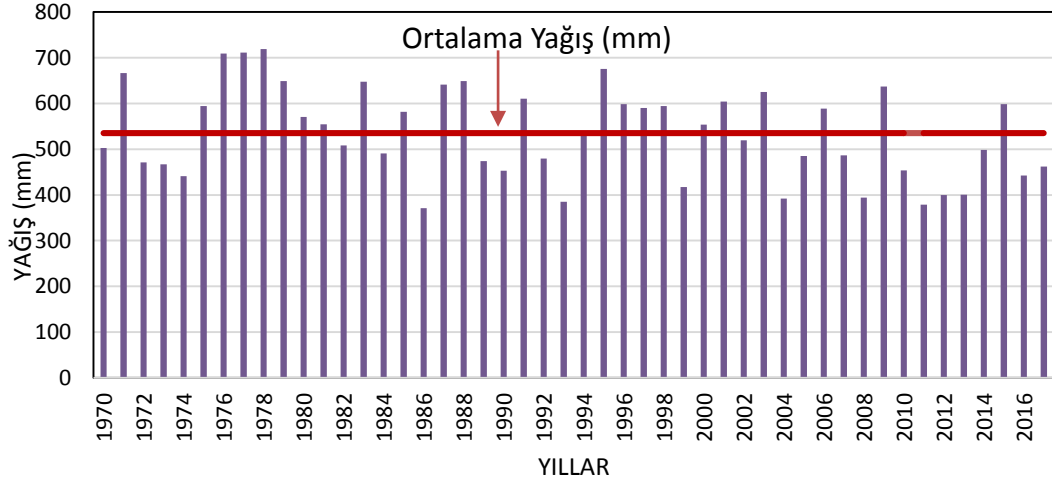


Şekil 4.7a. Şarkikaraağaç DMİ yıllık toplam yağış (mm) grafiği

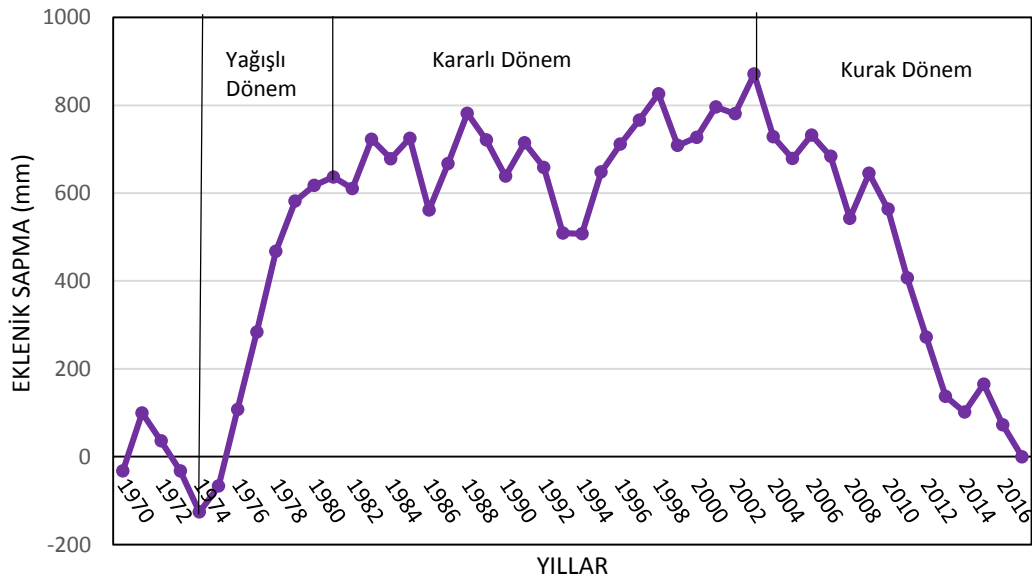


Şekil 4.7b. Şarkikaraağaç DMİ ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği

Akşehir DMİ’de 1970-2017 yılları arasında 48 yıllık ölçüm bulunmaktadır (Şekil 4.8a). Bu istasyonda ölçülen ortalama yağış değeri 535 mm olarak hesaplanmıştır. Akşehir DMİ için eklenik sapma grafiği hazırlanmıştır (Şekil 4.8b). Bu grafikte 1970-1974 yılları arası kurak, 1974-1981 yılları arası yağışlı, 1981-2003 yılları arası kararlı, 2003-2017 yılları arası kurak dönem olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.8b).

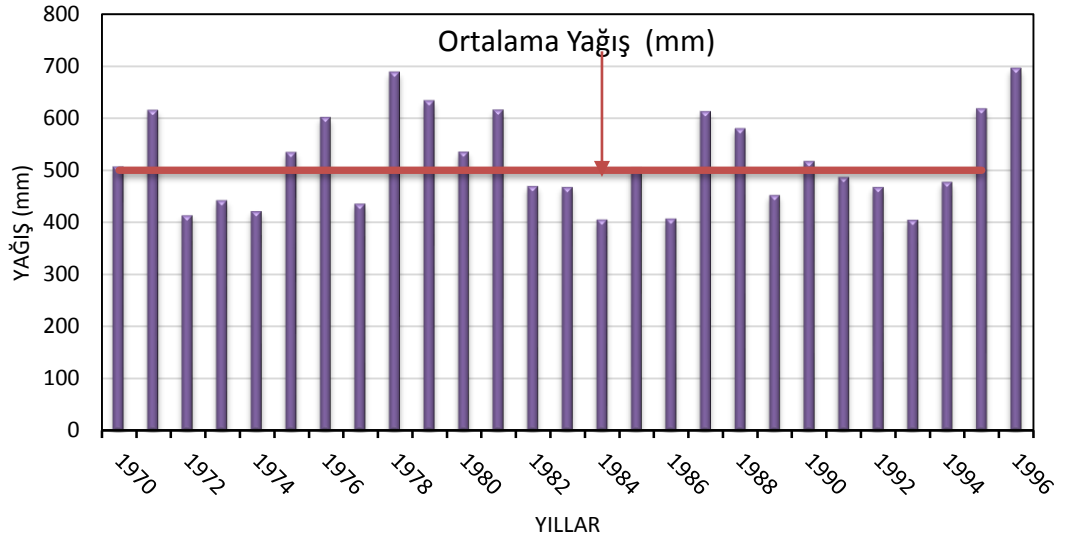


Şekil 4.8a. Akşehir DMİ yıllık toplam yağış (mm) grafiği

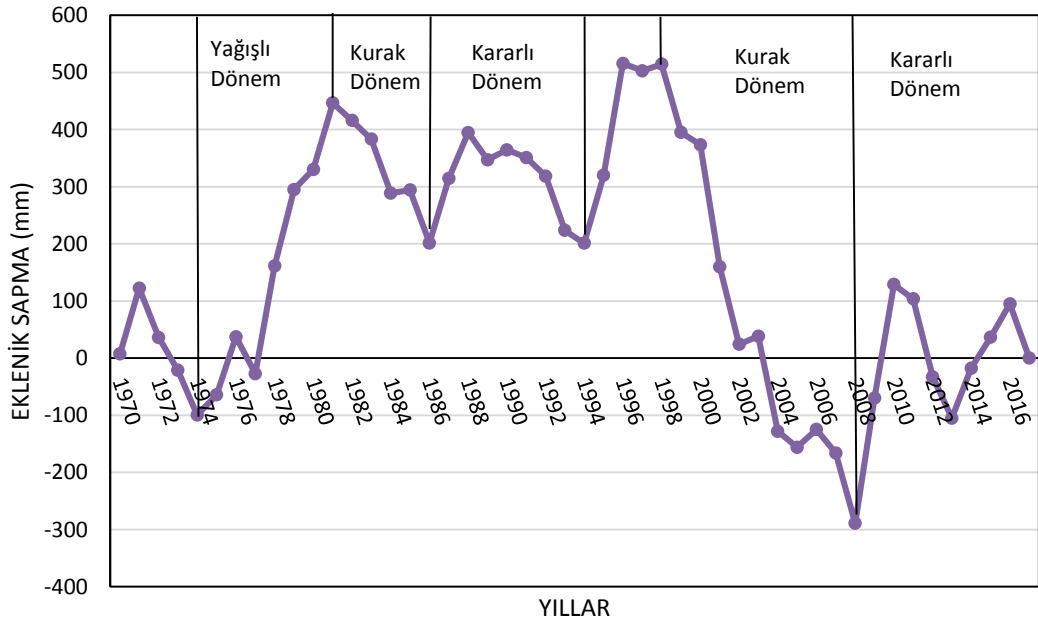


Şekil 4.8b. Akşehir DMİ yıllık toplam yağış (mm) grafiği

Çay DMİ’de 1970-2017 yılları arasında 48 yıllık ölçüm bulunmaktadır (Şekil 4.9a). Bu istasyonda ölçülen ortalama yağış değeri 500.24 mm olarak hesaplanmıştır. Çay DMİ için eklenik sapma grafiği hazırlanmıştır (Şekil 4.9b). Bu grafikte 1970-1974 yılları arası kurak, 1974-1981 yılları arası yağışlı, 1981-1986 yılları arası kurak, 1986-1994 yılları arası kararlı, 1994-1998 yılları arası yağışlı, 1998-2008 yılları arası kurak, 2008-2017 yılları arası kararlı dönem olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.9b).



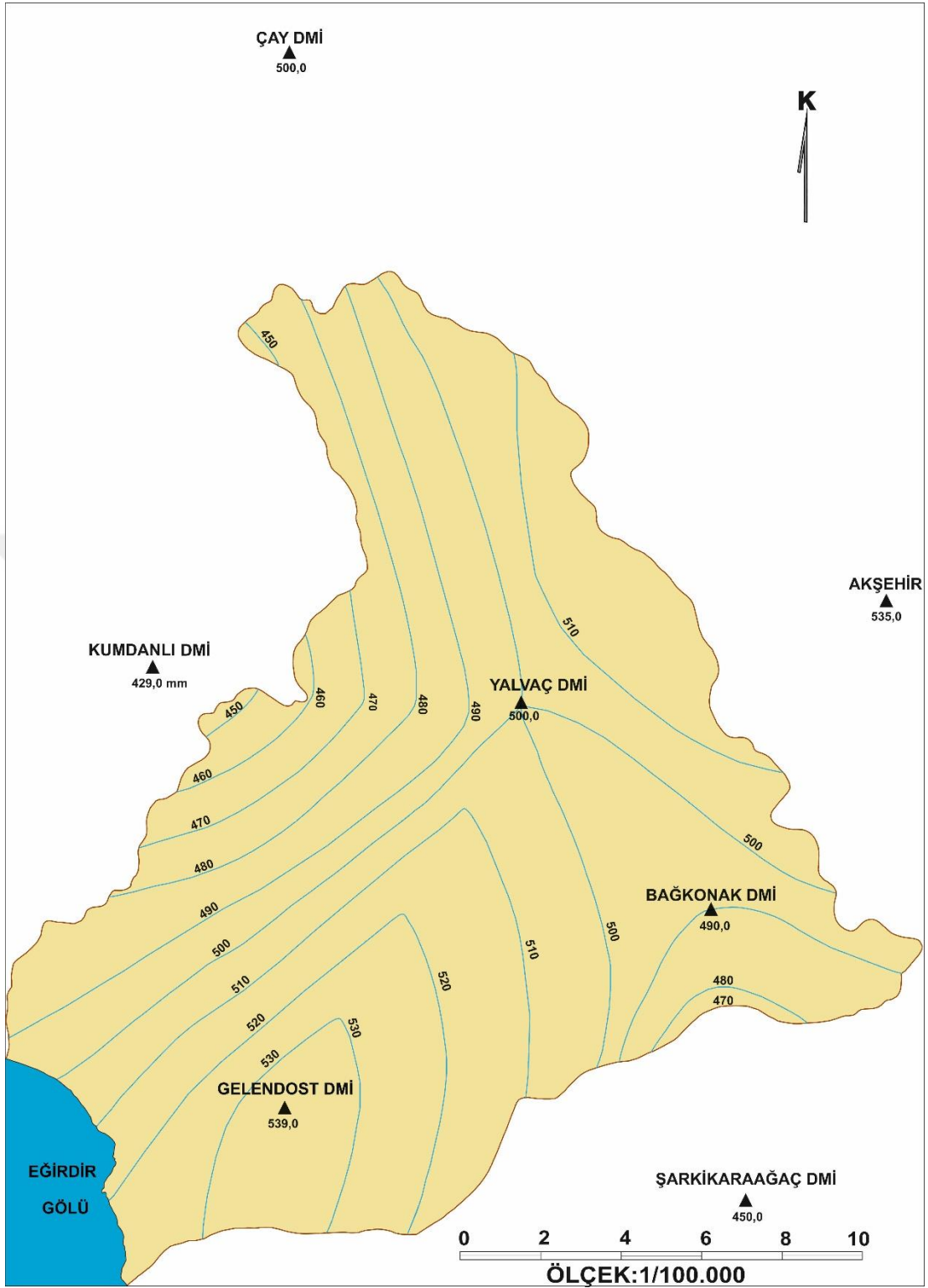
Şekil 4.9a. Çay DMİ yıllık toplam yağış (mm) grafiği



Şekil 4.9b. Çay DMİ yıllık toplam yağış (mm) grafiği

Havzaya düşen ortalama yağış değeri nin hesaplanmasında Eş Yağış Eğrileri (İzohyet) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde aynı yıllarda ölçülmüş uzun yıllara ait verilerin kullanılması daha doğru sonuç elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak, inceleme alanında yöntemin uygulanabilmesi için uygun veri ağlarının gerekliliği nedeniyle, veri aralıkları farklı olmasına rağmen bütün istasyonlarda ölçülen yağış değeri lerinin ortalamaları kullanılmıştır. Bu istasyonlara ait eklenik sapma verileri incelendiğinde de benzer yıllarda benzer yağış rejimlerinin etkili olduğu ve mevsimsel değ işim trendinin benzer olduğu görülmektedir. İnceleme alanı için hazırlanan eş yağış eğrileri haritası Şekil 4.10'da verilmiştir. Eş yağış eğrileri yöntemi ile havza için hesaplanan ortalama yağış miktarı 490 mm olarak belirlenmiştir.





Şekil 4.10. İnceleme alanının eş yağış eğrileri haritası

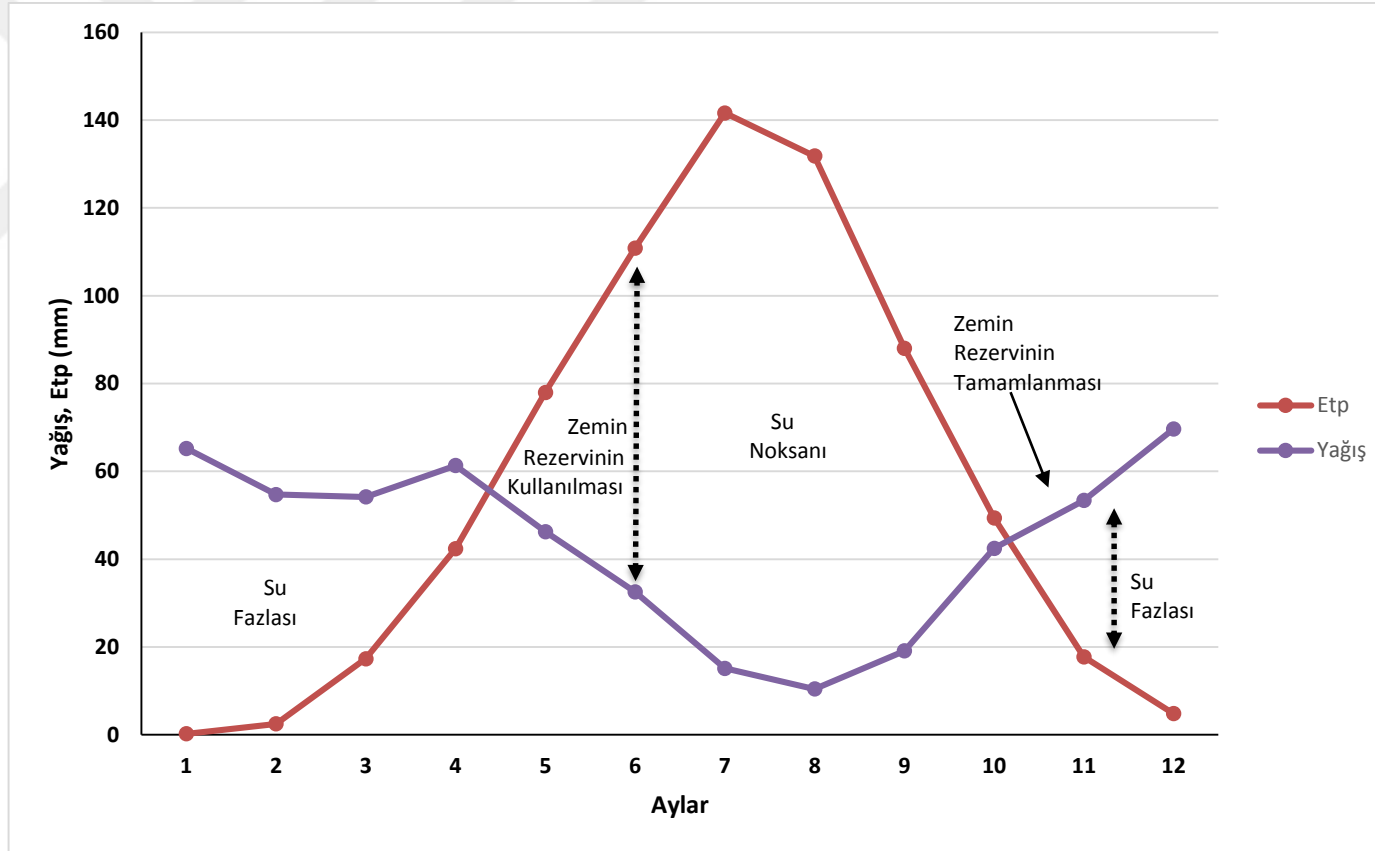
4.3.2. Buharlaşma

Buharlaşma hidrolojik su döngüsünün ana parametrelerinden ve bütün su kaynaklarının ana boşalım elemanlarından birisidir. İnceleme alanında buharlaşma kayıplarının tespiti için Thornthwaite yöntemi kullanılmıştır. Yalvaç DMI'de ölçülen aylık yağış ve sıcaklık verileri ile potansiyel ve gerçek buharlaşma değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.3). İklim koşullarına bağlı olarak sadece sıcaklığın etkisinin dikkate alındığı buharlaşma potansiyel buharlaşma olarak tanımlanmaktadır. Ancak, hidrolojik döngüde ve bilanço hesaplamalarında gerçek buharlaşma değeri gereklidir. Çünkü, gerçek buharlaşma iklim koşulları yanı sıra yağış miktarı ve zeminde bulunan başka bir deyişle ortamda bulunan suyu da dikkate alır.

Yalvaç-Gelendost havzası için Yalvaç DMI verileri ile Thornthwaite yöntemi kullanılarak hazırlanan deneştirmeli su bilançosunda potansiyel buharlaşma miktarı (Etp) 684.68 mm ve gerçek buharlaşma miktarı (Etr) 319.2 mm olarak hesaplanmıştır. Bu veriler ile çizilen grafikte su fazlasının Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Aralık aylarında olduğu görülmektedir (Şekil 4.11). Haziran ve Ekim aylarında gerçekleşen su noksanı değeri ise 334,75 mm'dir. Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Kasım ve Aralık aylarında yağış miktarının buharlaşmadan fazla olması nedeniyle Etp Etr'ye eşittir.

Çizelge 4.3. Yalvaç Meteoroloji İstasyonu için hazırlanan Thornthwaite buharlaşma- terleme bilançosu

Yalvaç	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık Sıcaklık Ort.	0.2	1.3	5.1	9.8	14.5	19	22.9	22.8	18.2	12.3	6.1	2.2	134.4
Aylık Sıcaklık İndisi	0	0.1	1.03	2.77	5.01	7.55	10	9.95	7.07	3.91	1.35	0.29	49.03
Etp (mm)	0.23	2.49	17.3 3	42.41	77.99	110.83	141.62	131.82	88.0 2	49.4	17.74	4.8	684.68
Yağış (mm)	65.2	54.7 3	54.1 5	61.33	46.26	32.54	15.11	10.44	19.1 1	42.47	53.38	69.65	524.37
Zemin Rezervi (mm)	100	100	100	100	68.27	0	0	0	0	0	35.64	100	603.91
Etr (mm)	0.23	2.49	17.3 3	42.41	46.26	100.81	15.11	10.44	19.1 1	42.47	17.74	4.8	319.2
Zemin Rezerv Değişimi (mm)	-	-	-	-	-31.73	-68.27	-	-	-	-	35.64	64.36	
Su Noksanı (mm)	-	-	-	-	-	10.02	127.51	121.38	68.9 1	6.93	-	-	334.75
Su Fazlası (mm)	64.9 7	52.2 4	36.8 2	18.92	-	-	-	-	-	-	-	0.49	173.44
Enlem Düzeltme Kat.	0.85	0.84	1.03	1.1	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	0.96	0.84	0.83	



Şekil 4.11. Yalvaç DMİ verilerine göre yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği

4.3.3. Akış

İnceleme alanının en önemli akarsuyu Yalvaç deresidir. Havzada yer alan akarsuların tamamı Eğirdir Gölü'ne ulaşmaktadır. Yalvaç deresinin drenaj alanı $1159.58 \times 10^6 \text{ m}^2$ 'dir. Ortalama yıllık akarsu akımı; $63.40 \times 10^6 \text{ m}^3$ ve özgül debisi 1.73 l/s ve akış katsayısı 0.11'dir (Soyaslan, 2004). Havzada Eğirdir Gölü'ne boşalan çok sayıda mevsimlik yüzeysel akış bulunmaktadır. Ancak, bu akışlara ait ölçüm verileri mevcut değildir.

Havza için Soyaslan (2004) tarafından yapılan doktora tezinde alüvyon ve kireçtaşı akiferleri vasıtasıyla yeraltısuyu akım yönünün Eğirdir Gölü'ne doğru olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada yeraltısuyu akışının ve potansiyelinin belirlenmesi amacıyla PMWIN (Processing Modflow) programı ile yeraltısuyu akış modellemesi yapılmıştır. 2000 yılı verileri kullanılarak yapılan bu modelleme ile Eğirdir Gölü'ne olan yeraltısuyu akımı $114.06 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ tespit edilmiştir.

4.4. Hidrojeoloji

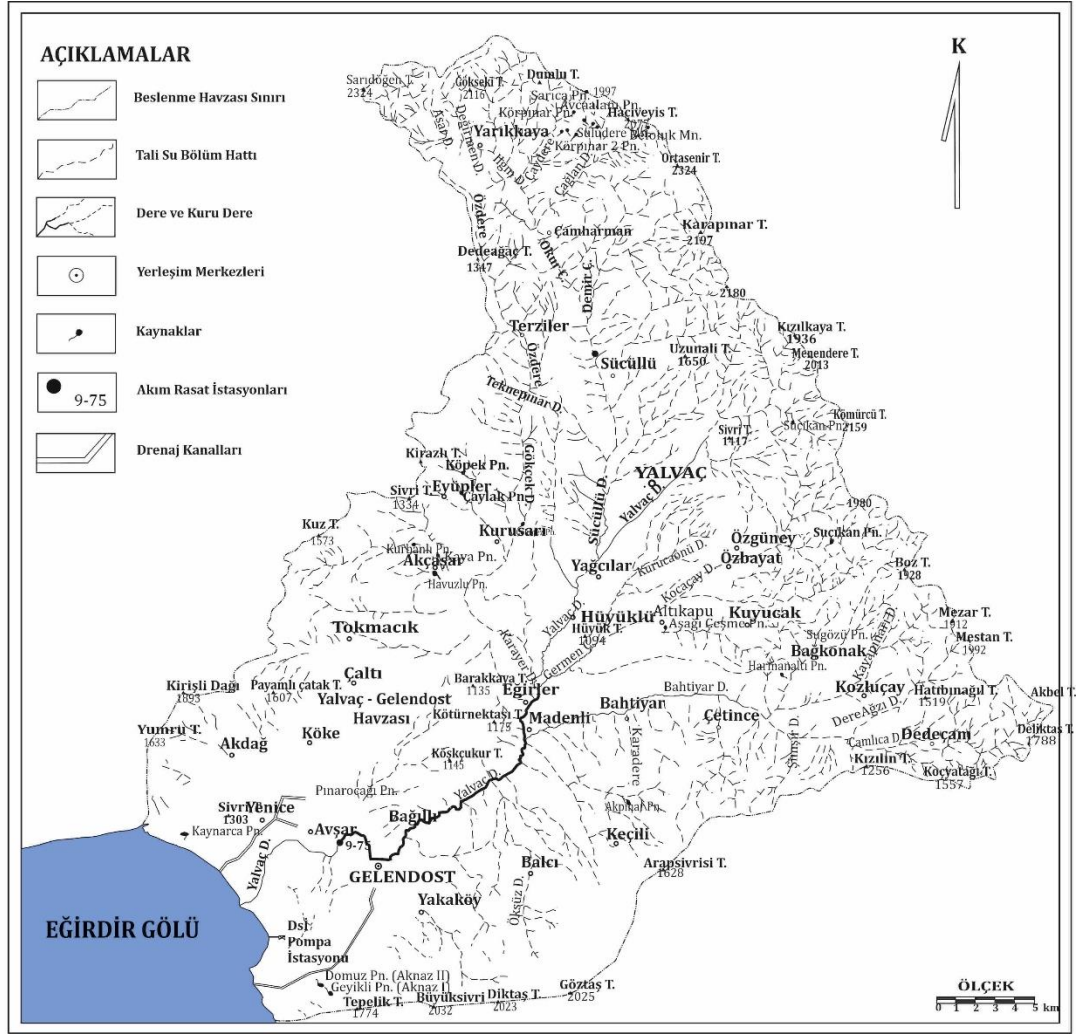
Bu bölümde inceleme alanında bulunan su noktaları (kuyu, kaynak, akarsu vb.) ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ayrıca, inceleme alanında gözlenen litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri değerlendirilerek birimler yeniden sınıflandırılmış ve hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır.

4.4.1. Su noktaları

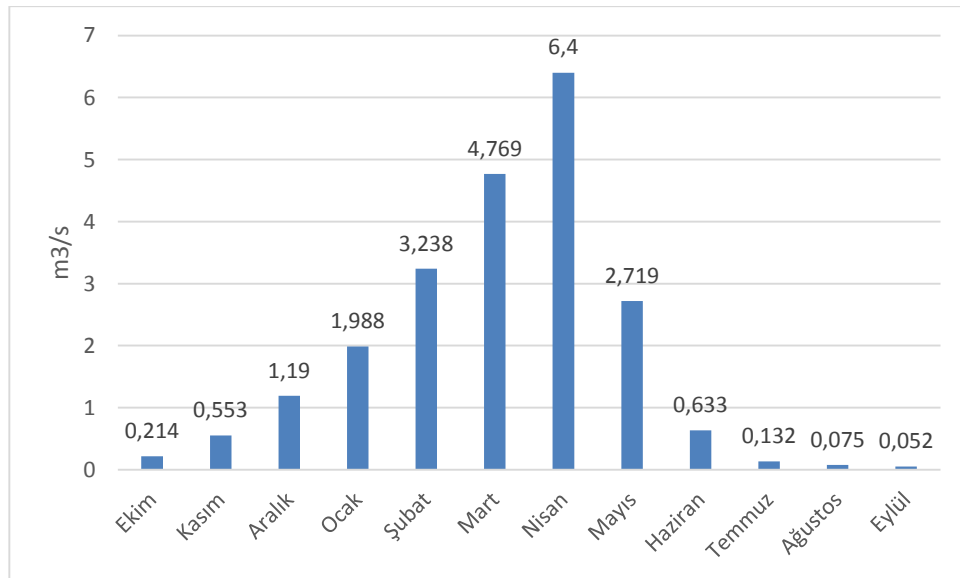
İnceleme alanında gözlenen en önemli yüzeysel akışlar Eğirdir Gölü ve Yalvaç deresidir. Ayrıca, alanda çok sayıda kaynak ve sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu su noktaları ile ilgili bilgiler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

4.4.1.1. Akarsular

Yalvaç Deresi; İnceleme alanında yüzey suları Yalvaç deresi vasıtasıyla Eğirdir Gölü'ne dökülmektedir. Dere, havza genelinde farklı isimlerle adlandırılan mevsimlik derelerin akışlarını almaktadır (Şekil 4.12). Yalvaç Deresi'nin, Madenli ile Eğirler arasında kalan Kötürnekteşi Tepe doğusundaki alüvyonlardan yer altına süzülerek tabanda bulunan Hacılabaz formasyonuna ait karstik tabandan boşaldığı tahmin edilmektedir (Soyaslan, 2004). Derenin akım verileri Gelendost-Avşar yolu üzerinde bulunan akım gözlem istasyonunda 1977-2016 yılları arasında ölçülmüştür. Bu yıl aralığında ortalama akım $0.741 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak tespit edilmiştir (svtbilgi.dsi.gov.tr). Uzunluğu yaklaşık 55 km olan derenin debisi yaz aylarında azaldığı gözlenmektedir (Şekil 4.13). Derenin debisinin nisan ayında maksimum, eylül ayında ise minimum olduğu görülmektedir.

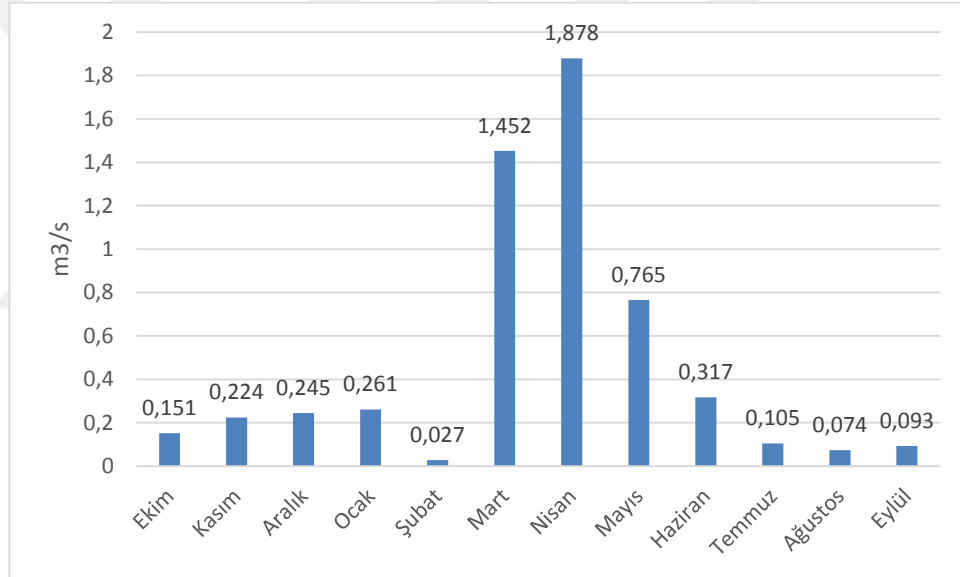


Şekil 4.12. Yalvaç – Gelendost havzası drenaj ağı haritası



Şekil 4.13. Yalvaç deresi ortalama akış debisi grafiği (svtbilgi.dsi.gov.tr)

Sücüllü Deresi; İnceleme alanının kuzeyinde kaynak boşalımları ile başlayan dere farklı isimler alarak güneye doğru akışına devam eder. Dere Sücüllü köyünden gererken Sücüllü dere adını alır. Yalvaç deresi ile de birleşerek güney yönde akışa devam ederken Bahtiyar dere ile birleşip Gelendost ovasından Eğirdir Gölü'ne dökülmektedir. Sücüllü Deresi üzerinde 1973 yılında Sücüllü barajı inşa edilmiştir. Barajın amacı Yalvaç ilçe merkezi ve 3 adet daha yerleşim alanında tarım arazisinin sulanması ve taşkın korumadır. Sücüllü baraj girişinde bulunan akım gözlem istasyonundan 1975-2017 yılları arasında debi ölçümleri yapılmıştır. Bu yıllar arasında ortalama akım $0.160 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak tespit edilmiştir (svtbilgi.dsi.gov.tr). Derenin debisinin nisan ayında maksimum, şubat ayında ise minimum olduğu görülmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Sücüllü deresi ortalama akış debisi grafiği (svtbilgi.dsi.gov.tr)

Özdere: Havzanın kuzeybatı kenarından Dedeğaç Tepe civarından doğan dere havza sınırı boyunca güneye doğru Terziler içerisinde geçerek güneyde Eğirler civarında Yalvaç deresi ile birleşmektedir. Mevsimlik özellikteki dereye ait akım verisi bulunmamaktadır.

Bahtiyar Dere; İnceleme alanının güneydoğusunda Bağkonak, Kozluçay ve Dedeçam çevrelerinden doğan dere kolları Bahtiyar dereyi oluşturur. Bahtiyar

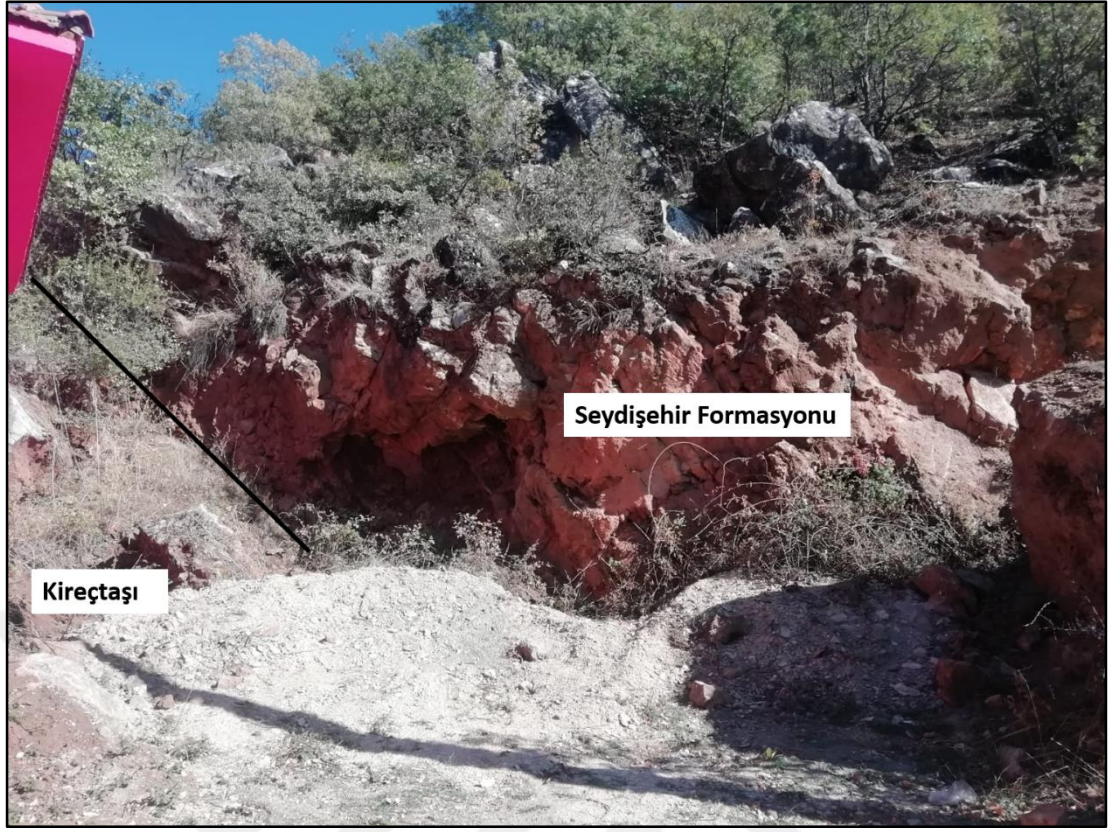
dere Yalvaç deresi ile birleşerek Gelendost ovasından Eğirdir Gölü'ne dökülmektedir. Mevsimlik özellikteki dereye ait akım verisi bulunmamaktadır.

4.4.1.2. Kaynaklar

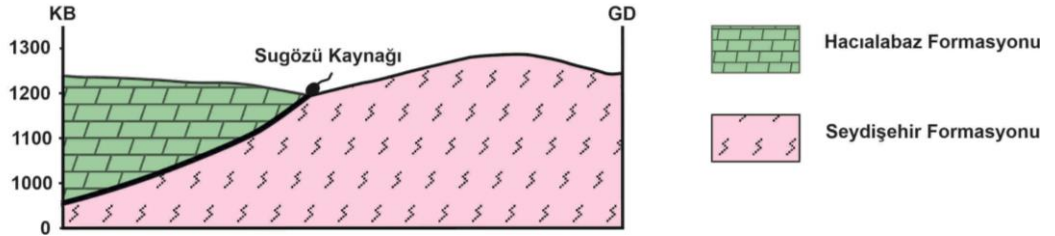
Bağkonak Sugözü Kaynağı: Bağkonak köyünün kuzeydoğusunda yer alan kaynak, Seydişehir ve Hacıalabaz formasyonları dokanağında boşalmaktadır (Şekil 4.15, 4.16, 4.17). Sürekli akışa sahip olan kaynağın debisi 50-73 l/s olarak tespit edilmiştir (Soyaslan, 2004). Sugözü kaynağı dere olarak akışına devam etmektedir. Kaynak çıkış bölgesi çevresinde bu alan mesirelik alan olarak düzenlenmiştir.



Şekil 4.15. Sugözü kaynağı görünümü

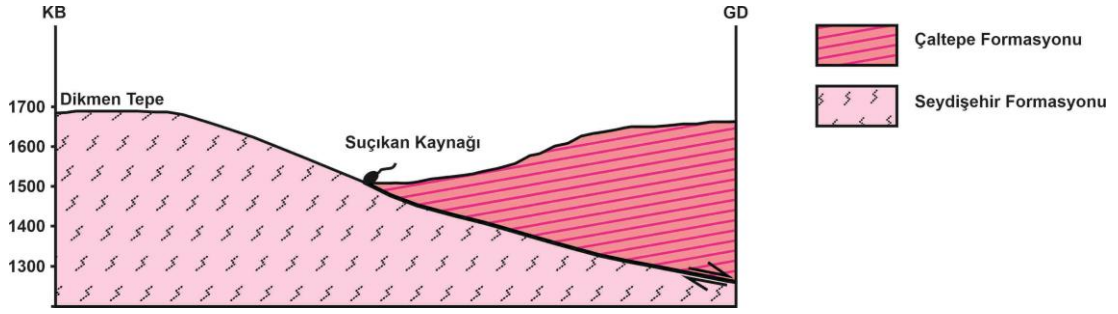


Şekil 4.16. Sugözü kaynağı çevresi litolojisi



Şekil 4.17. Sugözü kaynağı şematik enine kesiti

Özbayat Suçikan Kaynağı: Özbayat köyü doğusunda, Seydişehir ve Çaltepe formasyonu dokanağından boşalan kaynak suları Özbayat ve Özgüney köylerinin içme suyu ihtiyacının karşılanması için kullanılmaktadır (Şekil 4.18). Kaynağın debisi 75 ile 110 l/s civarındadır (Soyaslan, 2004).

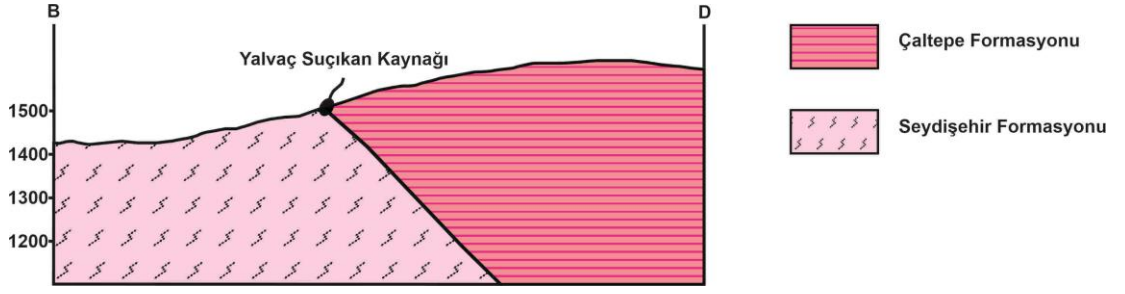


Şekil 4.18. Özbayat Suçikan kaynağı şematik enine kesiti

Yalvaç Suçikan Kaynağı: Yalvaç ilçesinin kuzeydoğusunda Seydişehir formasyonunun Çaltepe formasyonu ve bindirme düzlemi ile ilişkili olarak boşalan kaynak suyu Yalvaç ilçesinin içme suyu ihtiyacı için kullanılmaktadır (Şekil 4.19). Kaynağın debisi yaklaşık olarak 70-85 l/s arasındadır (Soyaslan, 2004). Yalvaç ilçesi kuzeyinde kurulmuş olan Pisidia antik kentinin su ihtiyacı, Suçikan pınarından alınan suyun yaklaşık olarak 10 km uzunluğundaki su yolu kullanılarak kente getirilmesi ile karşılanmıştır. Bu su yolunun kalıntıları Pisidia antik kentinde gözlenmektedir (Şekil 4.20).

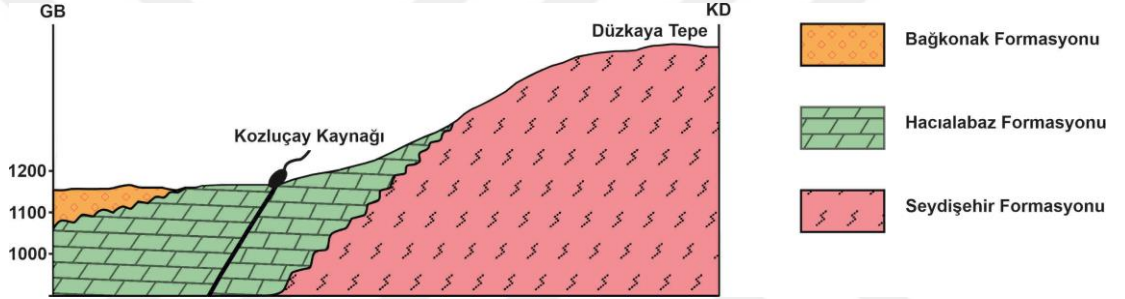


Şekil 4.19. Yalvaç Suçikan kaynağı depo ve su alma yapısı



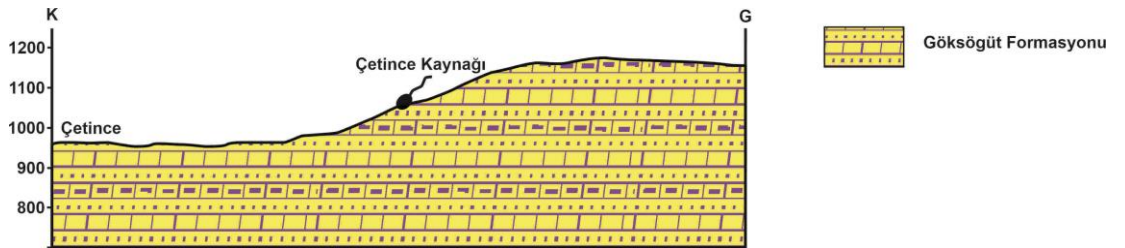
Şekil 4.20. Yalvaç Suçikan kaynağı şematik enine kesiti

Kozluçay Kaynağı: Kozluçay köyünün içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayan kaynak Hacılabaz kireçtaşındandır (Şekil 4.21). Depoya alınarak kullanılan kaynak debisi ile ilgili bilgi bulunmamaktadır.



Şekil 4.21. Kozluçay kaynağı şematik enine kesiti

Çetince Kaynağı: Çetince Göleti kuzeyinden boşalan kaynak Göksöğüt formasyonundan boşalmaktadır (Şekil 4.22, 4.23). Göksöğüt formasyonu içerisindeki çakıltı ve kumtaşı seviyeleri yayılımları ve kalınlıkları oranında yeraltısuyu bulundurabilmektedir. Kaynak debisi ile ilgili bilgi bulunmamaktadır.

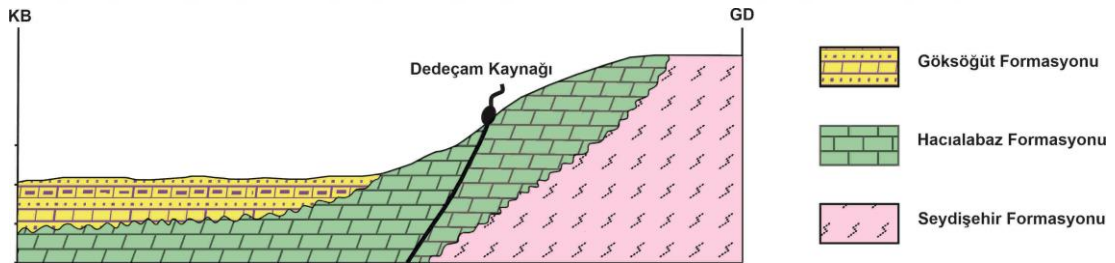


Şekil 4.22. Çetince kaynağı şematik enine kesiti



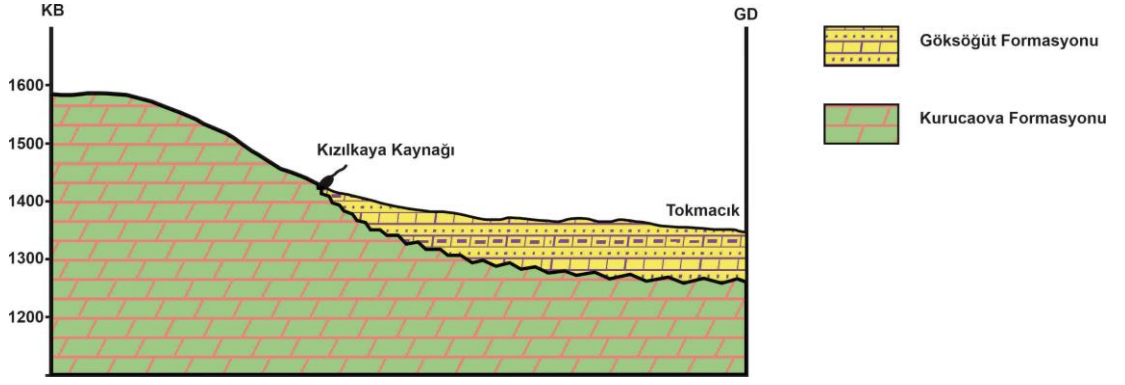
Şekil 4.23. Çetince kaynağı boşalım görünümü

Dedeçam Kaynağı: Dedeçam köyünün içme suyu ihtiyacının sağlandığı kaynak Hacılabaz formasyonuna ait kireçtaşlarından fay düzlemi üzerinden boşalmaktadır (Şekil 4.24). Dedeçam kaynağının debisi ile ilgili bilgi bulunmamaktadır.



Şekil 4.24. Dedeçam kaynağı şematik enine kesiti

Tokmacık Kızılkaya Kaynağı: Kaynak Tokmacık köyü kuzeybatısında Kurucaova formasyonuna ait kireçtaşları ile Göksöğüt formasyonu dokanağından boşalmaktadır (Şekil 4.25). Kaynak sularının kaptajı Tokmacık-Aşağıtırtar yolu üzerinde Erenli mevkiinde yapılmıştır (Soyaslan, 2004).



Şekil 4.25. Tokmacık Kızılkaya kaynağı şematik enine kesiti

Harmanaltı Pınarı: Yalvaç ilçesi Bağkonak köyünün yaklaşık olarak 2 km güneybatısında yer almaktadır. Kaynak, Bağkonak formasyonu alt seviyelerinde bulunan çakıltaşı düzeylerinden boşalan kaynağın debisi kış aylarında 25 l/s'ye kadar çıkabilmektedir (Soyaslan, 2004). Ancak, günümüzde kaynak debisi ile ilgili bilgi bulunmamaktadır.

Pınarocağı Pınarı: Avşar köyünün 1.5 km kuzeyinde bulunan kaynak Göksoğüt formasyonundan boşalmaktadır. Kaynağın tahmini debisi 1-3 l/s arasındadır (Soyaslan, 2004). Kaynak suyu Köke köyünde kullanılmaktadır.

Kaya Pınarı: Akçaşar köyünde bulunan kaynak Göksoğüt formasyonundan boşalmaktadır. Köyde içme ve sulama suyu olarak kullanılan kaynağın debisi yaklaşık 2 l/s'dir (Soyaslan, 2004).

Havuzlu Pınarı: Akçaşar'ın içme ve sulama suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılan kaynak Bakırdağ formasyonuna ait kireçtaşlarından boşalmaktadır. Kaynak debisi 5-7 l/s'dir (Soyaslan, 2004).

Kurbanlı Pınarı: Akçaşar köyüne 1.5 km uzaklıkta bulunan kaynak Göksoğüt formasyonuna ait kireçtaşı-kiltaş dokanağından boşalmaktadır. Kaynak, Kurbanlı Dere adı altında doğuya doğru akarak Kaya kaynağısuları ile birleşir. Kaynağın debisi yaklaşık 5-12 l/s arasında değişmektedir. (Soyaslan, 2004).

Çaylak Pınarı: Eyüpler köyünün 800 m doğusunda bulunan kaynak, Marmaris peridotiti Bakırdağ formasyonu dokanağından boşalmaktadır. Kaynağın debisi yaklaşık 1,01 l/s'dir (Soyaslan, 2004).

Köpek Pınarı: Eyüpler Köyü'nün 1.5 km kuzeydoğusunda bulunan kaynak Bakırdağ formasyonu ve Bağkonak formasyonu dokanağından boşalmaktadır. Kaynağın debisi 0.8 l/s'dir. Yaz aylarında kaynağın suyu, kanallarla alınarak sulamada kullanılır (Soyaslan, 2004).

Çekmez Pınarı: Kurusarı köyünün 2 km kuzeydoğusunda Bağkonak formasyonundan boşalan kaynağı debisi 3 l/s'dir (Soyaslan, 2004). Tabaka kaynağı şeklinde boşalan kaynak Kurusarı Köyü'nün içme suyu ihtiyacı için kullanılmaktadır.

Suludere Menbası: Çamharman köyünün 10 km kuzeydoğusunda 1700 m kotunda bulunan kaynak Hacılabaz formasyonuna ait kireçtaşlarından boşalmaktadır. Kaynakların debisi 1.2 l/s'dir (Soyaslan, 2004).

Beloluk Menbası: Çamharman köyünün 13 km kuzeydoğusunda 1900 m kotunda Hacılabaz kireçtaşı ve Seydişehir formasyonu dokanağından boşalmaktadır. Kaynağın debisi 70-85 l/s olarak verilmiştir (Soyaslan, 2004).

Avcaalan Pınarı: Çakırçal köyünün yaklaşık olarak 2.5 km kuzeydoğusunda bulunan kaynak Hacılabaz kireçtaşı Değirmendere formasyonu dokanağından boşalmaktadır. Kaynağın debisi 5.0 ile 12.0 l/s arasındadır (Soyaslan, 2004).

Sarıca Pınar: Çakırçal köyünün yaklaşık olarak 3 km kuzeydoğusunda 1920 m kotunda bulunan kaynak Hacılabaz formasyonunu oluşturan kireçtaşlarından boşalmaktadır ve kaynağın debisi 10.0 l/s civarındadır (Soyaslan, 2004).

Körpınar Pınarı: Çakırçal köyü doğusunda birbirine çok yakın mesafede Körpınar I ve Körpınar II olmak üzere iki adet kaynak bulunmaktadır. Bu kaynaklar Değirmendere formasyonu ve Hacılabaz kireçtaşı arasındaki fay

düzlemi boyunca çıkan kaynak suları köyün içme-kullanma suyu ihtiyacını karşılamaktadırlar. Kaynakların debisi 3.0-5.0 l/s olarak belirtmiştir (Soyaslan, 2004).

Akpınar Pınarı: Bahtiyar köyü'nün yaklaşık olarak 4 km güneyinde 1072 m kotunda bulunan kaynak Göksöğüt formasyonundan boşalmaktadır. Bahtiyar köyünün kullanma ve içme suyu olarak kullanılan kaynağın debisi önceki araştırmalarda 1.0 l/s olarak verilmiştir (Soyaslan, 2004).

Altıkapı Aşağı Çeşme Pınarı: Altıkapı köyünün 700 m güneyinden, Göksöğüt formasyonundan boşalımı gerçekleşen kaynağın debisi 12-20 l/s olup köyün içme ve kullanma suyu ihtiyacında kullanılmaktadır (Soyaslan, 2004).

Geyikli (Aknaz I) Pınarı: Gelendost ilçesinin 6 km güneyinde Kurucaova formasyonunu oluşturan kireçtaşlarından boşalan kaynağın debisi Soyaslan, (2004) tarafından 5.0-13.0 l/s olarak belirtilmiştir.

Domuz (Aknaz II) Pınarı: Aknaz I Pınarı ile yan yana olan kaynağın boşalımı Kurucaova formasyonundan gerçekleşmektedir. Soyaslan, (2004) tarafından kaynağın debisi 10.0-15.0 l/s olarak ifade edilmiştir.

Pınarocağı Pınarı: Avşar köyünün yaklaşık olarak 1.5 km kuzeyinde bulunan kaynak Göksöğüt formasyonundan boşalmaktadır. Yaz aylarında azalan kaynağın debisi tahmini 1-3 l/s'dir (Soyaslan, 2004).

Kaynarca Pınarı: Yenice köyüne 3.5 km güneybatıda kalan kaynak, Kurucaova formasyonundan boşalmaktadır. Kaynak yakın köylerin içme suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Kaynağın yaklaşık debisi 25.0 l/s'dir. Kaynarca Pınarı ve göl kıyısındaki diğer küçük pınarların Eğirdir Gölü su seviyesinin yükselmesi ile mevsimsel olarak göl seviyesi altına düştükleri tespit edilmiştir (Soyaslan, 2004).

4.4.1.3. Göller ve Göletler

İnceleme alanı ve çevresindeki en önemli yüzey suyu Eğirdir Gölü'd r. Eğirdir Gölü, Neojen dönemde tektonik olarak meydana gelmiş büyük bir çöküntü alanıdır. İnceleme alanının güneybatısında havza sınırında bulunan g l n yüzey alanı 482 km² ve ortalama derinliği 8-14 m arasında değişmektedir ( ener, 2010). G l n su girdisi ya ı , y zeyssel akış ve yeraltısu akışı ile sağlanmaktadır ve beslenme alanı yaklaşık 3417.04 km² olarak tespit edilmiştir (Davraz vd., 2014). Gölü besleyen en önemli akarsular inceleme alanı dışında bulunan Uluborlu'dan gelen Pupa  ayı, Aksu'dan gelen  aydere, Hoyran Ovası'ndan Hoyran Deresi ve inceleme alanı içerisinde bulunan Yalvaç- Gelendost'tan gelen Yalvaç Deresi'dir.

G lden bo alım ise; doğal olarak buharlaşma ve d den kayıpları ile yapay olarak ise su kullanımı (sulama, enerji üretimi ve içme-kullanma suyu temini) ve g l n güney ucundaki Kovada kanalı vasıtasıyla (Davraz vd., 2014). İnceleme alanı içerisinde tarım arazilerinde, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından inşa edilen Gelendost ve Tokmacık- altı sulama projeleri ile pompajlı sulama yapılmaktadır.

Kurusarı Göleti: Terziler güneyinden geçen  zdere'nin su kaynağı olduğu, 6730 dekar zirai arazinin sulanması amaçlanan gölet 2012 yılında tamamlanmıştır (AKDENİZGEP, 2016).

Hisarardı Göleti: Su ıkan Dere'nin kollarından Killet Dere  zerinde Yalvaç ilçesinin 3 km kuzeydoğusunda DSİ tarafından sulama amacıyla inşa edilmiştir.

Balcı Göleti: Balcı'nın 4 km güneydoğusunda 1390 dekar arazinin sulanması amacıyla 2009 yılında tamamlanmıştır (AKDENİZGEP, 2016).

Kozluçay Göleti: 6280 dekar zirai arazinin sulanması amacıyla 2012 yılında tamamlanan gölet, Kozluçay kasabasının 2.5 km kuzeydo usundadır (AKDENİZGEP, 2016).

Yalvaç Dedeçam Göleti: 2007 yılında tamamlanan gölet, Yukarıçamlıca Dere'nin kollarından Çevik Dere ve Kazıkboğazı Dere birleşiminde yer almaktadır (AKDENİZGEP, 2016).

Bağkonak Göleti: 5890 dekar tarım arazinin sulanması ve taşkın amaçlı yapılan gölet, Bağkonak kasabasının 1 km doğusunda inşaa edilmeye başlanarak 2012 yılında tamamlanmıştır (AKDENİZGEP, 2016).

Kuyucak Göleti: Kuyucak kasabasının kuzeydoğusunda yer alan gölet, Köy Hizmetleri tarafından inşa edilmiştir (Soyaslan, 2004).

Çetince Göleti: Çetince kasabasının yaklaşık 2.5 km güneyinde DSİ tarafından inşaa edilmiştir (Soyaslan, 2004).

4.4.1.4. Sığ Kuyular

İnceleme alanında alüvyon ortamda açılmış çok sayıda sığ ve keson kuyu bulunmaktadır. Soyaslan (2004) tarafından yapılan çalışmada bu kuyulardan 60 adedinde yeraltısuyu seviye ölçümü yapılmıştır. Sığ kuyuların derinlikleri 5-15 m arasındadır. Bu kuyularda ölçülen yeraltısuyu seviyesi 1-11m arasında değişmektedir. Bölgede yeraltısuyu seviyesinin yüzeye yakın olduğu tarım alanlarında sulama amaçlı açılmış 200 civarında tulumba ile su çekilen sığ kuyular bulunmaktadır (Soyaslan, 2004).

4.4.1.5. Sondaj Kuyuları

İnceleme alanında önceki yıllarda Köy Hizmetleri tarafından açılmış 20 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır (Çizelge 4.4). Bölgede Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan 28 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır (Çizelge 4.5). Yalvaç ovasında yer alan sondaj kuyuların derinlikleri 14-199.5 m, yeraltısuyu derinlikleri 1.0- 21.60 m, debileri ise 1- 20 l/s civarındadır. Gelendost ovasında bulunan sondaj kuyuların derinlikleri 21-225 m, yeraltısuyu derinlikleri 0.15- 51.2 m, debileri ise 0.2- 63.2 l/s civarındadır (Soyaslan, 2004).

DSİ tarafından farklı tarihlerde açılan kuyuların logları Şekil 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiştir. Gelendost güneyinde açılan en derin kuyu 197.5 m olup kuyuda tamamen alüvyon birim kesilmiştir. Gelendost kuzeybatısında açılan kuyularda 65-110 m'den sonra alüvyon tabanında kireçtaşı birimi kesilmiştir. Gelendost batısında Yalvaç deresi kenarında açılan kuyuda ise 150 m alüvyon seviyeden sonra kireçtaşı birimine girilmiştir. Bu değerlendirmeler Gelendost Ovası batısında alüvyon tabanında kireçtaşı biriminin olduğunu göstermektedir.

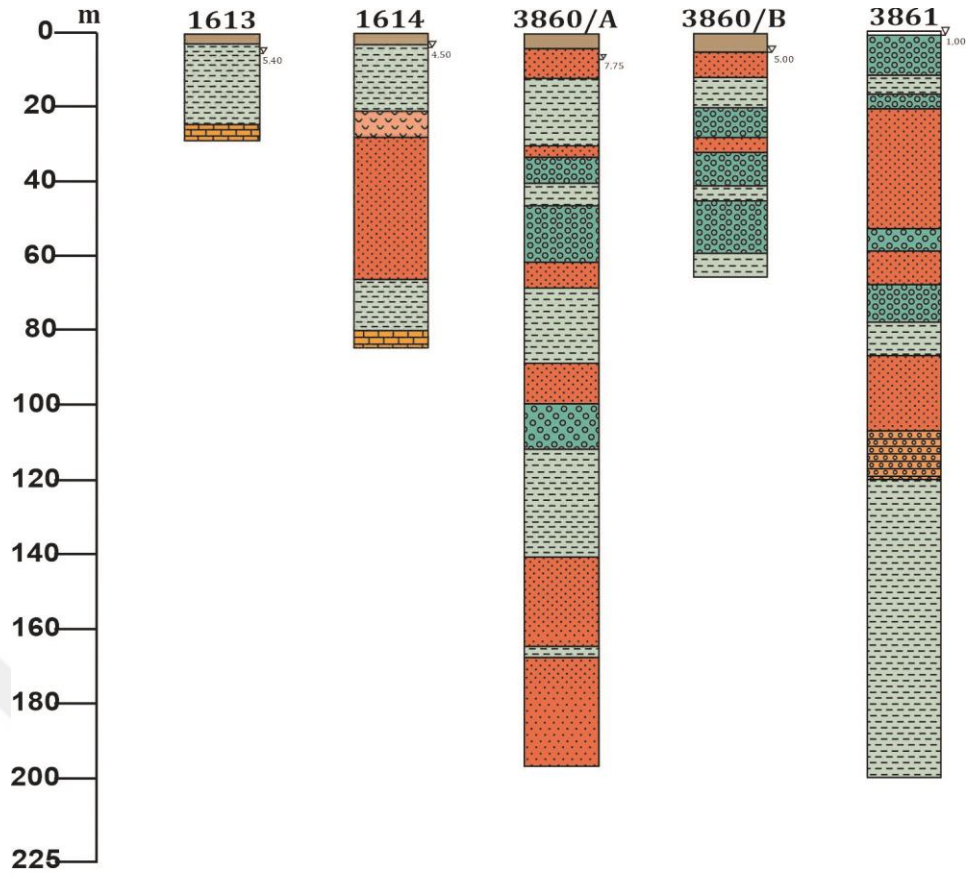
Yalvaç Ovası Tokmacık civarında açılan kuyularda kil seviyeleri altında kireçtaşı-marn ardalanması ve tabanda kireçtaşı ve çakıl seviyeleri kesilmiştir. Yalvaç güneybatısında Akçaşar-Hüyüklü arasında alüvyon birim altında yaklaşık olarak 110-150 metreden sonra kireçtaşı birimi tespit edilmiştir. Yalvaç ilçesi güneybatısında bulunan Bağkonak civarında açılan 100 m derinliğindeki kuyuda sadece alüvyon birim gözlenmiştir. Yalvaç güneyi Madenli köyü civarında açılan kuyuda 54939 nolu kuyuda 30 m'den sonra serpantin ve ofiyolit birimi gözlenmiştir. Yalvaç güneybatısında Kurusarı civarında açılan kuyuda ise 50 metreden sonra konglomera birimi kesilmiştir (Şekil 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30).

Çizelge 4.4. Köy Hizmetlerine ait sondaj kuyularının karakteristik parametreleri
(Soyaslan, 2004)

Bölge	Sıra No	Kuyu Adı	Lokasyon	Rakım (m.)	Derinlik (m)	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Verim (Qp) l/s
Yalvaç	1	KH1	Altıkapı	1062	24.00	3.50	18.00	4.00
	2	KH2	Bahtiyar	1085	40.00	4.00	20.00	6.00
	3	KH3	Eğirler	1078	30.50	3.60	9.60	5.00
	4	KH4	Eleği	1080	76.00	0.00	14.00	6.00
	5	KH5	Eyüpler	1128	24.00	4.00	12.00	6.00
	6	KH6	Yağcılar	1042	104.7	3.80	6.00	7.00
	7	KH7	Kurusarı	1074	75.00	10.00	41.50	3.30
	8	KH8	Madenli	975	24.00	2.30	19.00	7.00
	9	KH9	Çakırcal	1263	40.00	2.00	24.00	10.00
	10	KH10	Çamharman	1233	44.00	7.00	10.00	7.00
Gelendost	11	KH11	Afşar	940	21.00	10.50	11.50	12.00
	12	KH12	Akdağ	928	200.00	34.00	39.00	15.00
	13	KH13	Bağıllı	965	71.00	-	-	-
	14	KH14	Çaltı1	1105	160.00	2.30	69.00	3.00
	15	KH15	Çaltı2	1028	135.00	24.00	72.00	6.00
	16	KH16	Köke1	930	80.00	2.50	7.50	15.00
	17	KH17	Köke2	920	31.00	3.20	3.22	8.00
	18	KH18	Yenice1	997	38.00	2.75	5.00	16.50
	19	KH19	Yenice2	965	39.00	2.10	6.50	16.00
	20	KH20	Yenice30	925	51.00	3.75	4.30	8.00

Çizelge 4.5. DSİ'ye ait sondaj kuyularının karakteristik parametreleri
(Soyaslan, 2004)

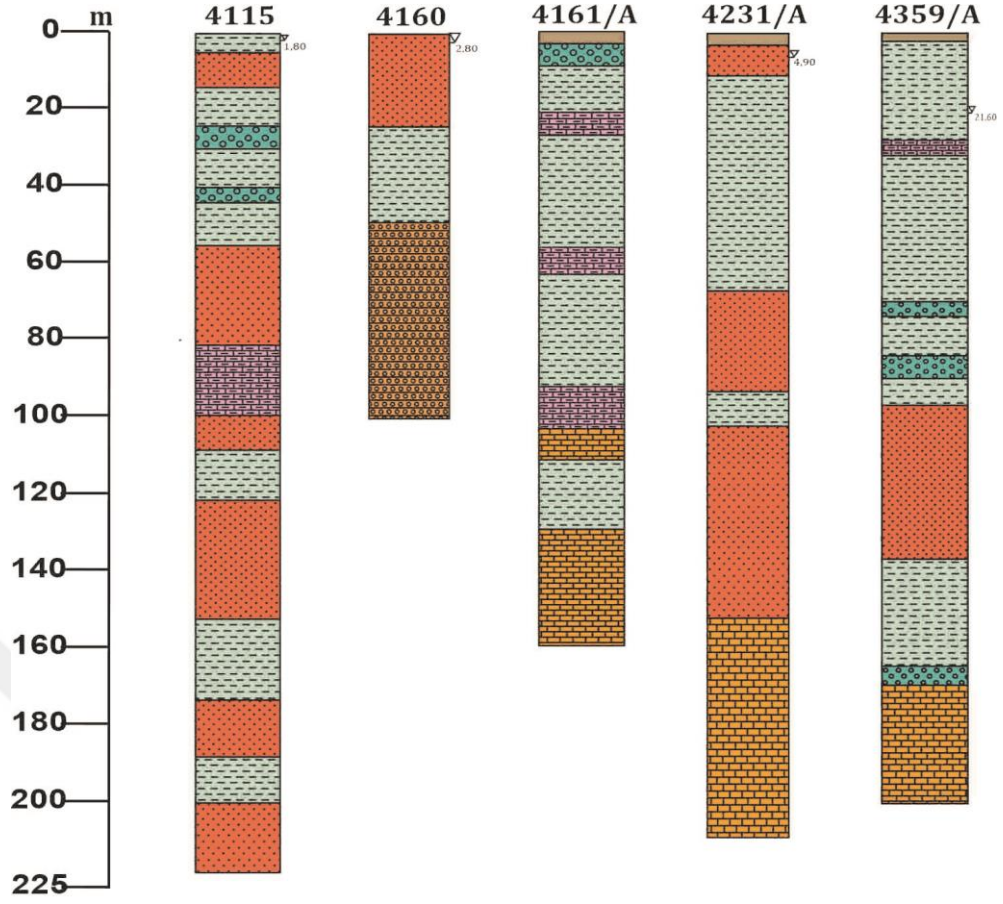
BÖLGE	Sıra No.	Kuyu Adı	Lokasyon	Rakım (m)	Derinlik (m)	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Verim (Qp) (l/s)
YALVAÇ	1	3861	Yalvaç	1072	199.75	1.00	37.76	3.60
	2	4115	Hüyükülü	1045	218.00	1.80	23.10	10.00
	3	4160	Kurusarı	1038	99.05	2.80	3.10	0.02
	4	4161/A	Altıkapi	1073	159.40	KUYU KURU		
	5	4161/B	Altıkapi	1073	14.00	2.40	9.08	8.00
	6	4359/A	Eğirler	1018	200.00	21.60	72.45	7.20
	7	4359/B	Eğirler	1018	140.00	5.15	50.20	0.50
	8	38557	Bağkonak	1135	100.00	1.47	56.25	3.00
	9	43831	Kuyucak	1115	140.00	11.16	72.00	1.00
	10	54939	Madenli	1010	155.00	3.95	49.00	20.00
GELENDOST	11	1613	Avşar	928	29.00	5.40	7.10	5.00
	12	1614	Yenice Köy	923	84.00	4.50	8.75	11.00
	13	3860/A	Gelendost	945	197.50	7.75	29.85	17.30
	14	3860/B	Gelendost	945	65.00	5.00	27.75	13.50
	15	4231/A	Yenice	923	210.00	4.90	10.73	25.30
	16	4231/B	Yenice	923	77.50	4.94	29.88	8.00
	17	4360/A	Pınar Ocağı	926	211.00	4.65	29.45	8.50
	18	4360/B	Pınar Ocağı	924	73.40	3.00	30.26	7.60
	19	17235/A	Gelendost	925	110.00	7.00	14.46	25.00
	20	17235/B	Gelendost	927	141.00	7.30	12.56	25.00
	21	27075	Tokmacık	1066	135.00	8.67	46.47	31.22
	22	33139	Tokmacık	1068	200.00	6.00	51.14	21.13
	23	33140	Tokmacık	1221	225.00	13.50	33.34	38.35
	24	36774	Çaltı	1135	150.00	51.20	82.00	0.20
	25	46387	Tokmacık	1041	150.00	0.15	6.20	63.20
	26	47635	Çaltı	1033	140.00	84.15	99.45	14.13
	27	50845	Tokmacık	1040	153.00	4.76	8.32	62.32
	28	55464	Tokmacık	1100	60.00	30.00	55.00	4.00



AÇIKLAMALAR

	Bitkisel Toprak		Konglomera
	Kil		Kum
	Kireçtaşı		Jibs
	Çakıl		Yeraltı Suyu Seviyesi

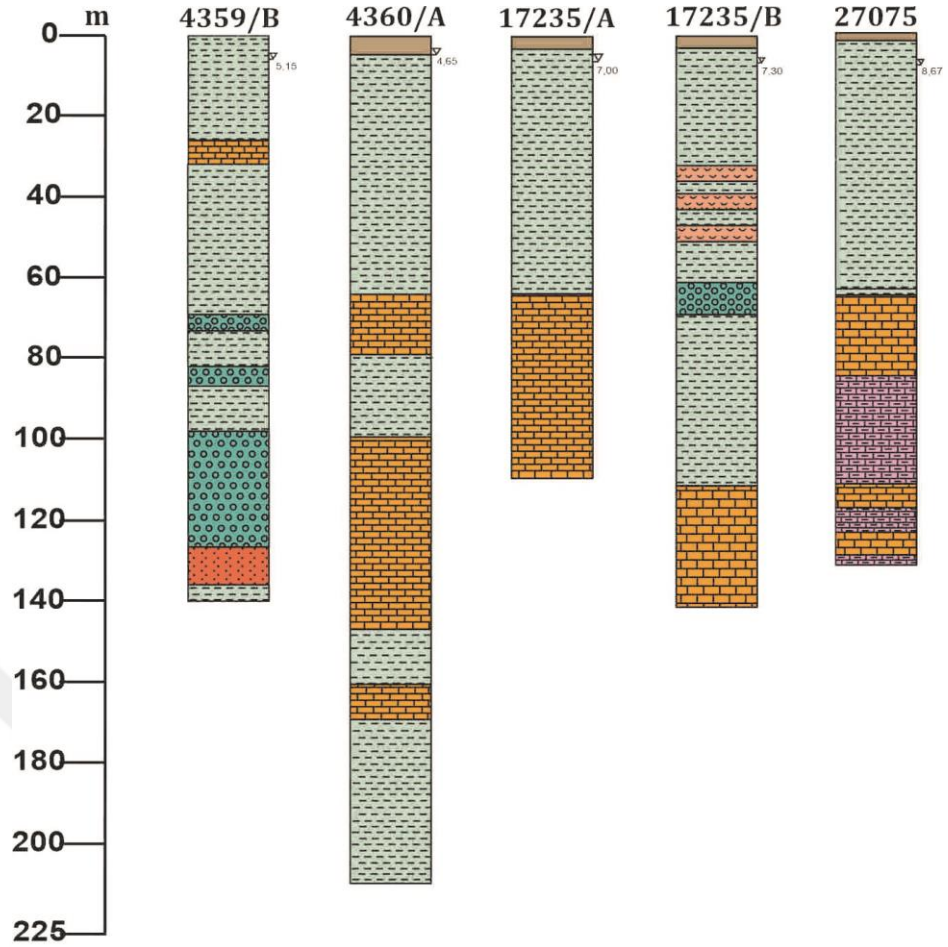
Şekil 4.26. Yalvaç- Gelendost havzasında açılmış olan sondaj kuyularına ait kuyu logları



AÇIKLAMALAR

	Bitkisel Toprak		Konglomera
	Kil		Kum
	Kireçtaşı		Yeraltı Suyu Seviyesi
	Çakıl		
	Marn		

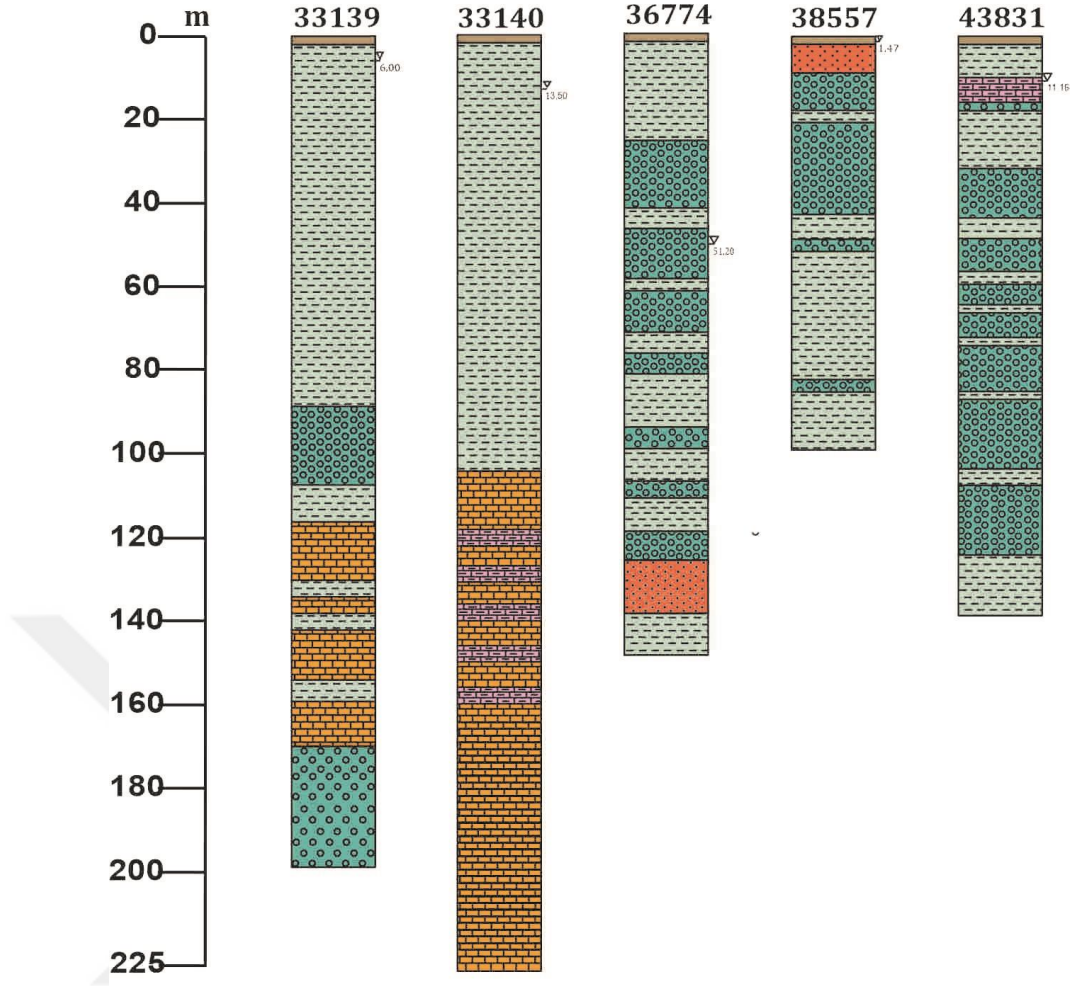
Şekil 4.27. Yalvaç- Gelendost havzasında açılmış olan sondaj kuyularına ait kuyu logları



AÇIKLAMALAR

	Bitkisel Toprak		Kum
	Kil		Jibs
	Kireçtaşı		Yeraltı Suyu Seviyesi
	Çakıl		
	Marn		

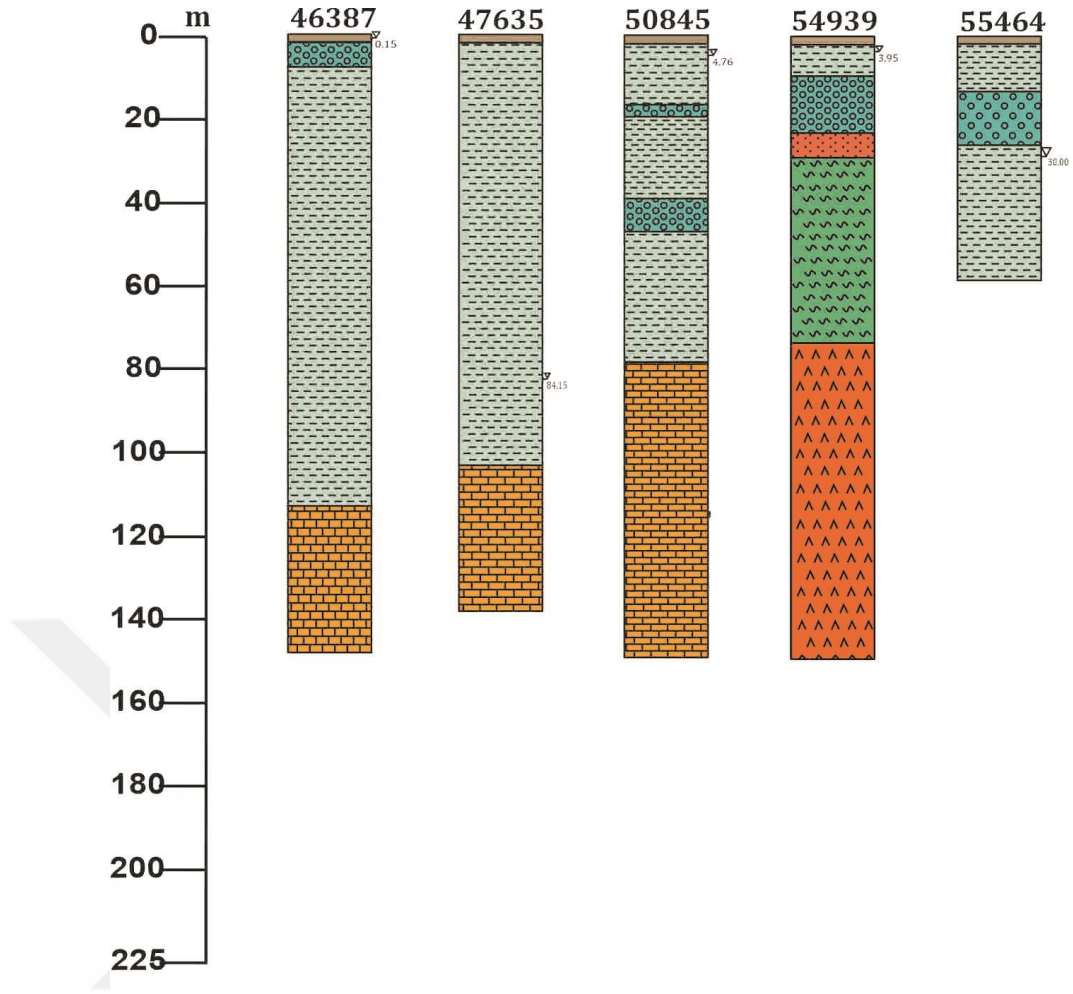
Şekil 4.28. Yalvaç- Gelendost havzasında açılmış olan sondaj kuyularına ait kuyu logları



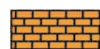
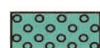
AÇIKLAMALAR

	Bitkisel Toprak		Kum
	Kil		Yeraltı Suyu Seviyesi
	Kireçtaşı		
	Çakıl		
	Marn		

Şekil 4.29. Yalvaç- Gelendost havzasında açılmış olan sondaj kuyularına ait kuyu logları



AÇIKLAMALAR

	Bitkisel Toprak		Kum
	Kil		Ofiyolitik Melanj
	Kireçtaşı		Serpantinit
	Çakıl		Yeraltı Suyu Seviyesi

Şekil 4.30. Yalvaç- Gelendost havzasında açılmış olan sondaj kuyularına ait kuyu logları

4.4.2. Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri

İnceleme alanında bulunan jeolojik birimler hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak yeniden değerlendirilmiş ve hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Hidrojeoloji haritasında bu formasyonlar Geçirimli (Gç), Yarı Geçirimli (Gy), Az Geçirimli (Ga) ve Geçirimsiz (Gz) olmak üzere ayırtlanmıştır (Ek-A2). İnceleme alanında bulunan alüvyon, alüvyon yelpazesi, eski alüvyon, yamaç molozu ve Kepeztepe formasyonu Geçirimli Birim (Gç-1) olarak ayırtlanmıştır. Kireçtaşlarından oluşan Çaltepe, Ergenli, Kurucaova, Hacılabaz, Dutedere, Bakırdağ formasyonları ile Yarıkkaya formasyonunun kireçtaşı üyesi Geçirimli Birim (Gç-2) olarak gruplandırılmıştır. Göksöğüt formasyonu Yarı Geçirimli Birim (Gy), Gölge, Bağkonak ve Yarıkkaya formasyonları ise Az Geçirimli Birim (Ga) olarak adlandırılmıştır. Gökölük, Seydişehir ve Değirmendere formasyonları, Marmaris peridotiti, Düzkaya volkanit üyesi ve Hüdai kuvarsiti Geçirimsiz Birim (Gz) olarak sınıflandırılmıştır. Bu birimler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

4.4.2.1. Geçirimli Birim-1 (Gç-1)

Benzer litolojilerden oluşan alüvyon, alüvyon yelpazesi, eski alüvyon çökelleri, yamaç molozu ve Kepeztepe formasyonu geçirimli birim olarak adlandırılmıştır. Bu birimler Eğirdir Gölü kıyısında, Gelendost ve Yalvaç ova düzlüklerinde ve dere yataklarında gözlenmektedir. İnceleme alanında alüvyon birim içerisinde açılmış çok sayıda kuyu bulunmaktadır. Gelendost civarında alüvyonda açılan kuyularda kalın kil tabakaları ile kum ve çakıl seviyeleri kesilmiştir. Gelendost batısında yaklaşık olarak 50 m kil tabakasından sonra kalın kum ve ince kil seviyeleri kesilmiş ve tabanda kireçtaşı birimine girilmiştir. Bu kuyularda kum, çakıl ve kireçtaşı birimlerinden yeraltısuyu alınmaktadır. Kurusarı civarında alüvyon kalınlığı 50 m olup kil-kum seviyeleri, Akçaşar güneyinde alüvyon kalınlığı 80-110 m arasında olup kalın kil seviyelerinden oluşmaktadır. Tokmacık civarında açılan kuyularda ise 60-110 m kalınlıkta kil tabakasından sonra çakıl, kireçtaşı ve marn seviyeleri kesilmiştir. Yalvaç güneyinde açılan kuyuda kum, çakıl seviyelerinin altında 80 m'den fazla kil tabakası kesilmiştir. İnceleme alanında

alüvyon önemli miktarda yeraltısuyu potansiyeline sahip gözenekli akifer özelliği taşımaktadır ve inceleme alanında en önemli akiferdir.

4.4.2.2. Geçirimli Birim-2 (Gç-2)

İnceleme alanında kireçtaşlarından oluşan Çaltepe, Ergenli, Kurucaova, Hacılabaz, Dutdere ve Bakırdağ formasyonları ile Yarıkkaya formasyonunun kireçtaşı üyesi aynı grup içerisinde ele alınmıştır. Kireçtaşları kırık, çatlak ve erime boşluklu yapılarından dolayı karstik akifer özelliği taşımaktadır. İnceleme alanında Gelendost Ovası ve Tokmacık, Çaltı ve Akçaşar köyleri civarında alüvyon tabanında bulunan kireçtaşlarından yeraltısuyu alınmaktadır. Tokmacık'da bulunan 33140 nolu kuyuda 105 m kil seviyesi altında kireçtaşı kesilmiştir. 225 m'ye kadar kireçtaşı-marn ardalanması bulunan kuyunun debisi 38.35 l/s'dir. Yine Tokmacık'da bulunan 22075 nolu kuyuda 65 m kil seviyesi altında kireçtaşı kesilmiştir ve debi 31.22 l/s'dir. Kumdanlı'da bulunan 25339 nolu kuyuda 30 m kil seviyesi altında 60 m'ye kadar kireçtaşı kesilmiştir ve kuyunun debisi 34.58 l/s'dir (Soyaslan, 2004). Soyaslan (2004) tarafından yapılan doktora tezinde kireçtaşı akiferinden Eğirdir Gölü'ne yeraltısuyu boşalımı olduğu belirtilmiştir. İnceleme alanında kireçtaşları önemli yeraltısuyu potansiyeline sahip karstik akifer özelliği taşımaktadır.

4.4.2.3. Yarı Geçirimli Birim (Gy)

Yalvaç, Gelendost ilçeleri ve çevresinde geniş alanlarda yüzeyleyen Göksöğüt ve Bağkonak formasyonları Yarı Geçirimli Birim olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanında kumtaşı, kıltaşı, marn, killi kireçtaşı ile gözenekli travertenimsi kireçtaşı litolojilerinden oluşan Göksöğüt formasyonu ve çakıltaşı ve kumtaşı birimlerinden oluşan Bağkonak formasyonlarından boşalan çok sayıda kaynak bulunmaktadır. Formasyonlar içerisindeki kumtaşı ve kireçtaşı seviyeleri bol kırık çatlaklı ve ikincil gözenekliliğe sahiptir. Çakıltaşları erime boşlukludur. Bu seviyeler yer yer kaynak boşalımları oluşturmuştur. Formasyonlar içerisindeki kıltaşı, marn ve çamurtaşı seviyeleri ise birimlerin akifer olma kapasitesini kısıtlamaktadır.

4.4.2.4. Az Geçirimli Birim (Ga)

İnceleme alanında Gelendost ilçesi kuzeyinde küçük alanlarda görülen Gölge formasyonu ile Yalvaç ilçesi kuzeybatısında yüzeyleyen Yarikkaya formasyonları Az Geçirimli birim olarak adlandırılmıştır. Gölge formasyonu kumtaşı, kilaşı, silttaşı ve marnlardan, Yarikkaya formasyonu ise kilaşı, çamurtaşı, marn ve yersel çakilaşından oluşmaktadır. Formasyonlar içerisindeki marn, kilaşı, çamurtaşı ve silttaşı birimlerin su depolama ve iletme özelliğini azaltmaktadır. Kumtaşı ve çakilaşı seviyelerinde ise kırık-çatlak durumları, kalınlık ve yayılımları oranında bir miktar yeraltısuu bulunabilmektedir. İnceleme alanında bu birimlerden boşalan kaynak suyu bulunmamaktadır.

4.4.2.5. Geçirimsiz Birim (Gz)

İnceleme alanında benzer hidrojeolojik özellikler taşıyan Gökoluk, Seydişehir ve Değirmendere formasyonları ile Hüdayi kuvarsiti, Marmaris peridotiti ve Düzkaya volkanit üyesi geçirimsiz birim olarak değerlendirilmiştir. Seydişehir formasyonu ve Gökoluk formasyonu içerisindeki rekristalize kireçtaşı ve mermer seviyeleri az miktarda yeraltısuu içerebilmektedir. Ancak, birimlerin metamorfizma geçirmesi nedeniyle geçirimsiz kabul edilmiştir. İnceleme alanının doğusunda bulunan kaynakların çoğunluğu Hacıalabaz formasyonu-Seydişehir formasyonu dokanağından boşalmaktadır. Bu kaynak çıkış bölgelerinde Seydişehir formasyonu karstik kireçtaşının altında geçirimsiz tabanı oluşturmaktadır. İnceleme alanında açılan sondaj kuyularında bu birim kesilmemiştir. Peridotit ve kuvarsit seviyeleri de kırıklı-çatlaklarında bir miktar yeraltısuu bulundurmaktadır. Ancak, bölgede bu birimlerin yayılımları ve kırık-çatlak seviyeleri düşük olduğundan geçirimsiz birim olarak kabul edilmiştir.

4.5. Su Kimyası

Yalvaç-Gelendost havzasında özellikle içme suyu amacı için kullanılan kaynak ve kuyu sularından Ekim-2019 tarihinde 15 adet su örneği alınmıştır. Su örneği alımı sırasında elektriksel iletkenlik (EC), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), sıcaklık (T) ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) değerleri Hanna marka çok parametrelili ölçüm cihazı insitu olarak ölçülmüştür. Su örneklerinin majör anyon içerikleri (HCO_3 , CO_3 , Cl , SO_4), flor (F) ve azot türevi analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma Laboratuvarında analiz edilmiştir. Major katyon (Na, Ca, Mg, K) ve iz element içerikleri Bureau Veritas (Acme-Kanada) Analitik Laboratuvar Hizmetleri Ltd. Şti. laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Suların hidrojeokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesinde AquaChem 2014.2 yazılım programı kullanılmıştır.

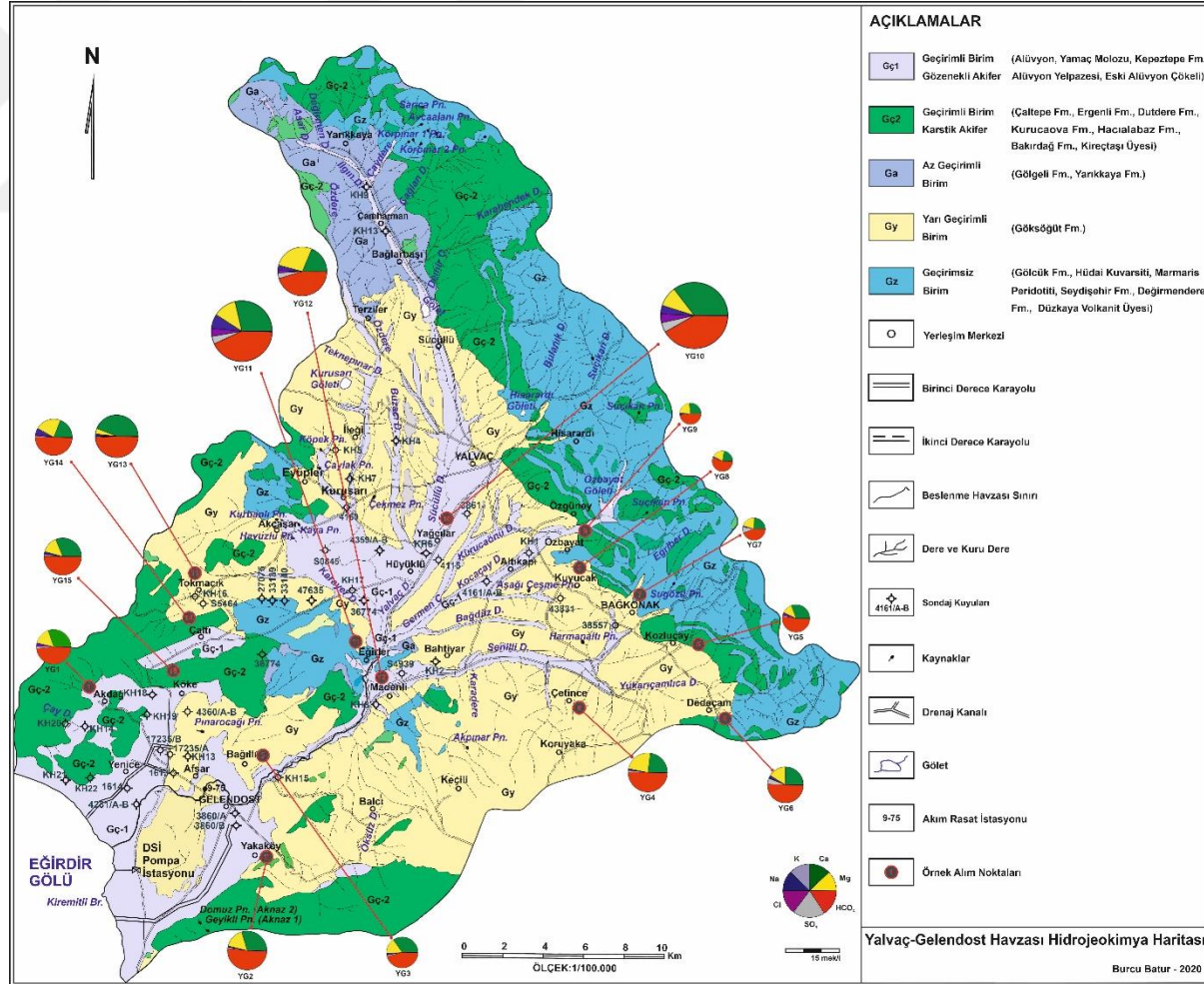
4.5.1. Suların majör iyon içerikleri

Sularda başlıca bulunan anyonlar HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} ve Cl^- katyonlar ise Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ ve K^+ 'dur. Bu bölümde inceleme alanından alınan su örneklerinin majör iyon içerikleri açıklanmış ve yeraltısularının hidrojeokimyasal süreçleri irdelenmiştir. Su örneklerinin majör iyon içerikleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Ayrıca, su örneklerinin majör iyon içerikleri kullanılarak hazırlanan dairesel diyagramlar ile hidrojeokimya haritası oluşturulmuştur. Dairesel diyagramlarda her su örneğine ait meq/l cinsinden toplam iyon konsantrasyonlarına göre belirlenen çap değerleri kullanılmıştır (Şekil 4.31).

Çizelge 4.6. Yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri (Ekim -2019)

Bölge	Örnek No	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ⁺⁺ (mg/l)	Mg ⁺⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁼ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Sertlik Fr°	EC μ S/cm	pH	T °C	TDS	Su Sınıfı
Gelendost	YG-1*	3.35	0.90	54.32	19.99	6.74	6.40	262.3	21.77	320	8.01	12.8	160	Ca-Mg-HCO ₃
Yakaköy	YG-2*	1.65	2.02	61.34	20.68	1.30	4.93	323.3	23.81	380	8.11	16.7	190	Ca-Mg-HCO ₃
Bağlılı	YG-3*	3.14	0.72	44.96	17.29	2.23	6.92	244	18.33	310	7.86	17.6	150	Ca-Mg-HCO ₃
Çetince	YG-4	2.37	1.20	46.36	28.86	1.71	7.25	305	23.42	350	7.91	13.4	160	Mg-Ca-HCO ₃
Kozluca	YG-5	2.95	0.34	44.95	10.75	4.83	4.98	231.8	15.64	280	7.59	14.1	140	Ca-Mg-HCO ₃
Dedeçam	YG-6	4.92	0.54	48.13	18.49	1.89	24.51	292.8	19.61	340	7.93	12.8	160	Ca-Mg-HCO ₃
Bağkonak-Sugözü kyn	YG-7	2.01	0.22	28.83	14.57	0.64	23.80	158.6	13.18	240	8.60	12.7	120	Ca-Mg-HCO ₃
Kuyucak	YG-8	1.49	0.24	24.56	13.10	0.80	3.11	183	11.51	290	8.89	13	100	Ca-Mg-HCO ₃
Özbayat-Su çıkan kyn	YG-9	1.90	0.23	29.29	14.43	0.84	3.32	158.6	13.24	230	8.73	12.6	110	Ca-Mg-HCO ₃
Yağcılar	YG-10*	16.42	1.04	124.50	20.72	27.20	40.63	445.3	39.58	660	8.01	15.7	330	Ca-HCO ₃
Eğirler	YG-11*	27.85	1.76	90.94	23.61	23.46	31.60	414.8	32.40	600	7.91	15.1	300	Ca-Mg-HCO ₃
Madenli	YG-12*	10.15	0.67	48.33	42.16	7.46	23.35	353.8	29.39	520	8.69	12.7	260	Mg-Ca-HCO ₃
Tokmacık Kızılkaya k.	YG-13	3.67	1.44	99.34	5.76	2.60	3.32	335.5	27.15	420	8.27	15.7	210	Ca-HCO ₃
Çaltı	YG-14	11.64	1.48	37.25	26.56	5.47	5.81	292.8	20.21	360	8.88	19.6	180	Mg-Ca-HCO ₃
Köke	YG-15	3.71	0,78	58.66	16.54	2.29	7.53	286.7	21.44	340	8.53	17.5	170	Ca-Mg-HCO ₃

*Kuyudan alınan örnekleri göstermektedir.



Şekil 4.31. Hidrojeokimya haritası (Ekim-2019)

4.5.1.1. Sodyum (Na^+)

Sodyum elementi bir alkali metaldir. Doğal sularda bulunan alkali metaller (Li, Na, K, Rb, Cs) arasında yer kabuğunda en fazla sodyum elementi bulunur. Kil mineralleri, magmatik kayalar, evaporitler (NaCl gibi), feldispatlar ve feldispatoidler sodyum içeren başlıca kayaç ve minerallerdir. Yeraltısularında sodyumun miktarı mineral cinsine ve miktarına, suyun pH'a, yeraltısuyu akım hızına, ortamdaki kalsiyum iyon derişimine, bozunum süresine, yapay ve doğal kirlenme vb. etkenlere bağılı olarak değışmektedir. Özellikle tarımsal gübreler, kanalizasyon ve fabrika atık suları yeraltısularında sodyum artışına neden olan antropojenik unsurlardır (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında kaynak ve kuyu sularından alınan örneklerin sodyum içerikleri 1.49 – 27.85 mg/l arasında değışmekte olup yüksek sodyum içerikleri kuyu sularından elde edilmiştir (Çizelge 4.6). Kuyu sularındaki Na artışı Göksöğüt ve Bağkonak formasyonları ile ilişkilidir.

4.5.1.2. Kalsiyum (Ca^{+2})

Kalsiyum soğuk yeraltısularında en yüksek oranda bulunan elementlerden bir tanesidir. Yeraltısularında kalsiyumun varlığı etkileşimde olunan kayalar ile doğrudan ilişkilidir. Yeraltısularındaki kalsiyum en fazla kalsit, dolomit, aragonit, anhidrit ve jips minerallerinde bulunmaktadır. Ayrıca, metamorfik ve mağmatik kaya minerallerinden amfibol ve piroksen grupları, apatit, vollastonit, florit ve bazı feldispatların bozunumundan ortaya çıkan kalsiyum iyonları yeraltısularına geçer. Yeraltısularının kimyasal bileşimi genellikle kalsiyum bikarbonatlı olup daha az oranda da jips yataklarından gelen sularda kalsiyum sülfatlı sular şeklindedir (Şahinci, 1991). Suyun pH değeri su içerisindeki kalsiyum iyonlarının miktarını ve çökelimini doğrudan etkiler. PH değeri arttıkça CO_3/HCO_3 oranı büyür ve kalsit çökelimi izlenir. Karbondioksitin ortamdaki ayrılması kalsit çökelimine neden olur (Ergüvanlı ve Yüzer, 1987).

İnceleme alanında tespit edilen Ca^{+2} içerikleri kaynak sularında 24.56-99.34 mg/l, kuyu sularında ise 44.96-124.50 mg/l değerleri arasında değişmektedir (Çizelge 4.6). Kuyu sularındaki kalsiyum artışı dolaşım süresinin uzunluğuna bağlı olarak artmaktadır.

4.5.1.3. Magnezyum (Mg^{+2})

Magnezyum yeraltısularında genel olarak yüksek oranda bulunan ikinci elementtir. Yeraltısularında magnezyumun kökeni başlıca dolomit kaynaklıdır. Ayrıca, magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend, ojit), evaporit ve metamorfik kaya mineralleri (serpantin, talk, tremolit, diopsid) vasıtasıyla da yeraltısularında magnezyum bulunur. Dolomit mineralinin kalsiyum mineraline göre çözünürlüğünün az olması yeraltısularında kalsiyum mineralinin magnezyuma göre daha yüksek oranda bulunmasını sağlar. Genel olarak yeraltısularında magnezyum 1-40 mg/l arasında olup mgnezyumca zengin sularda bu oran 100 mg/l'ye ulaşabilmektedir (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında suların Mg içerikleri kaynak sularında 5.76-28.86 mg/l, kuyu sularında ise 17.29-42.16 mg/l değerleri arasındadır (Çizelge 4.6). Mg^{+2} artışı Çetince, Çaltı ve Madenli köyleri kaynak ve kuyu sularında dolomitik kireçtaşı düzeyleri içeren Kurucaova formasyonu ile ilişkilidir.

4.5.1.4. Potasyum (K^{+})

Potasyum yeraltısularında genel olarak düşük konsantrasyonlarda bulunan bir elementtir. Potasyum ve sodyum yer kabuğunda yaklaşık eşit miktarlarda bulunan alkali metallerdir. Ancak, magmatik kayalarda sodyum, sedimanter kayalarda ise potasyum egemendir. Bunun yanısıra metamorfik ve magmatik kayalardaki mika, lösit, feldispat ve nefelin mineralleri de bol miktarda potasyum içermektedir. Yeraltında potasyum miktarı, K-feldispatlar gibi potasyum içeren minerallerin bozunumuna, iyon değişimine, duraylı potasyum minerallerinin oluşumuna (illit), ve gözenek sularının yeraltısularını beslemesine bağlıdır. Kurak iklimlerde yüzey ve yeraltısuları daha fazla potasyum içermektedir. Sıcak

sularda ise potasyum derişimi sıcaklıkla artmaktadır. Soğuk yeraltısularında potasyum artışı genel olarak potasyumlu gübre kullanımı ile ilişkilidir (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında su kaynaklarının K içerikleri 0.22-2.22 mg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.6).

4.5.1.5. Karbonat (CO_3^{2-})-Bikarbonat (HCO_3^-)

Genel olarak yeraltısularındaki bikarbonat ve karbonat iyonları atmosfer ve topraktaki CO_2 'den ve karbonatlı kayaçların erimesi ile oluşmaktadır. Doğal sulardaki bikarbonat içeriği suyun pH ve CO_2 miktarına bağlıdır. pH 8.2'nin üzerinde bikarbonat iyonları karbonat ve hidrojen iyonları ayrılır. Bu nedenle pH 8.2'nin üzerinde CO_3 egemen anyon iken bu değerin altında HCO_3 egemen iyondur. Sulama sularında ise HCO_3 iyonlarının egemen olması sodyum tehlikesini azaltıcı etki oluşturmaktadır (Şahinci, 1991).

İnceleme alanındaki yeraltısularında CO_3 içeriği tespit edilememiştir. Baskın iyon HCO_3 'dır. Bölgede kaynak ve kuyu sularının HCO_3 içeriği 158.6-445.3 mg/l arasında değişmektedir. Kuyu suları kaynak sularına göre daha yüksek HCO_3 içeriğine sahiptir.

4.5.1.6. Sülfat (SO_4^{2-})

Yeraltı sularındaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidrit kaynaklıdır. Sülfürlü mineraller su ile temas ederek oksitlenirler ve sülfat iyonları oluşur. Kükürdün göçü çoğunlukla SO_4 şeklindedir. Sülfat oldukça büyük iyon yarıçapına sahip olması nedeniyle çok hareketlidir. Sülfat iyonunun sulardaki varlığına neden olan doğal kaynaklar, jips ve anhidritlerin çözünmesi, pirit mineralinin oksitlenmesi, atmosferdeki H_2S gazlarının fotokimyasal oksitleşmesi, volkanlar, deniz suyunun buharlaşması ve rüzgar etkisi ile atmosfere taşınmasıdır. Ancak, sülfat daha yüksek oranda antropojenik olarak sulara karışır. Bunlar; yapay gübre, kimyasal ilaçlar, evsel ve endüstriyel atıklardır (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında suların SO₄ içeriği kaynak sularında 3.11-24.51 mg/l, kuyu sularında 4.93-40.63 mg/l arasında tespit edilmiştir (Çizelge 4.6).

4.5.1.7. Klorür (Cl⁻)

Klor halojen grubu (F, Cl, Br, I) elementidir ve diğerlerine oranla doğada daha fazla bulunmaktadır. Sulara klorün asıl kaynağı sedimanter kayaçlar olup özellikle evaporitler büyük rol oynamaktadır. Magmatik kayaçlarda klor ise feldispatoyid grubu mineraller, mikalar, klorapatit ve hornblend kaynaklıdır. Klorür doğal sulara sadece Cl⁻ formunda bulunmaktadır (Şahinci, 1991). Sıcak sular dışında Cl iyonu soğuk yeraltısularında baskın değildir. Soğuk yeraltısularında klorür fazlalığı genel olarak tarımsal faaliyetler ile evsel ve endüstriyel atık kaynaklıdır.

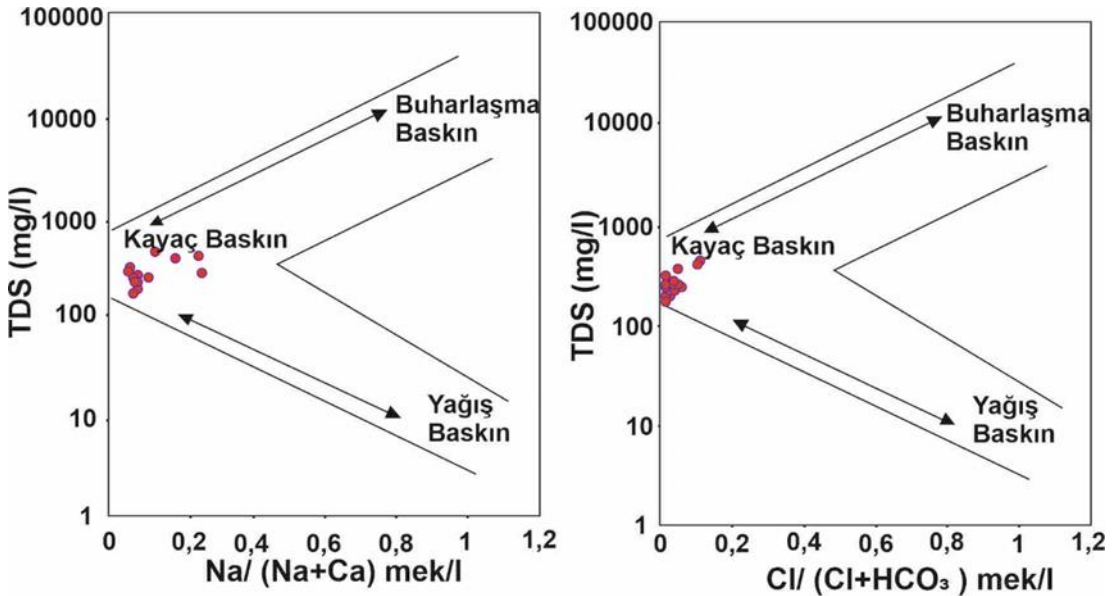
İnceleme alanındaki sularının Cl iyonu konsantrasyonu kaynak sularında 0.64-5.47 mg/l, kuyu sularında ise 1.30-27.20 mg/l arasında değişim göstermektedir. Kuyu sularında Cl artışı antropojenik kökenli kirliliğin gözlenmediği alanlarda kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır.

4.5.1.8. Hidrojeokimyasal proseslerin tanımlanması

Yeraltısuyu ve akifer mineralleri arasındaki reaksiyonlar, yeraltısuyunun kökeninin anlaşılmasında yararlı olan su kalitesi üzerinde önemli bir role sahiptir. Majör iyonlar, yeraltısularında bulunan toplam çözünmüş katıların önemli bir bölümünü oluşturur. Yeraltısularındaki iyonların konsantrasyonu, akifer sisteminde gerçekleşen hidrojeokimyasal süreçlere bağlıdır (Lakshmanan vd., 2003). Bu süreçler, yeraltısuyunun majör iyon konsantrasyonlarında dengeye doğru ulaştığında meydana gelir. Bu nedenle yeraltısuyunda bulunan çeşitli majör iyonların konsantrasyonlarının incelenmesi jeokimyasal süreçlerin tanımlanmasında kullanılır.

Ayrışma, iyon değişim süreçleri ile atmosferik ve antropojenik kaynaklardan gelen girdiler, yeraltısularındaki kimyasal bileşenlerin konsantrasyonunu kontrol eden başlıca çözünen madde alım mekanizmalarıdır. Sudaki çeşitli çözünmüş iyonların nispi oranı, rezervuar kayalar veya akiferdeki bolluklarına ve çözünürlüklerine bağlıdır (Sarin vd., 1989; Singh ve Hasnain, 1999). Hidrojeokimyasal veriler, suda çözünmüş iyonların olası kaynağı hakkında bilgi edinmek için kullanılabilir.

Gibbs (1970) diyagramı, sudaki iyonik oranları kullanarak, suyun yapısındaki bileşimi ve kökenini tanımlamaktadır. Diyagramda suların $Cl/Cl+HCO_3$ (Gibbs Oranı I = anyonlar için) ve $Na+K/Na+K+Ca$ (Gibbs Oranı II = katyonlar için) oranları ile Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS) değerleri kullanılır. Gibbs diyagramında yeraltısuyu kimyasını kontrol eden kayaç, buharlaşma ve atmosferik yağış gibi fonksiyonel kaynaklar tespit edilebilmektedir. İnceleme alanından alınan su örnekleri Gibbs diyagramı üzerinde “**Kayaç Baskın**” bölgede bulunmaktadır. Bu durum, inceleme alanında yeraltısuyu kimyasını denetleyen temel faktörün kaya-su etkileşimi olduğunu göstermektedir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. Gibbs diyagramı

Suların yeraltına süzülürken iyon bileşimlerinin çözünümünü kontrol etmek imkânsızdır. Ancak, dolaşım sırasında suların kimyasal değişimlerini anlayabilmek mümkündür (Johnson, 1979). Yeraltısuyunun kimyasal yapısını denetleyen muhtemel hidrojeokimyasal süreçler aşağıda tanımlanmıştır. Bunlar, ayrışma-çözünme (karbonat ayrışması-silikat ayrışması), iyon alışverişi ve buharlaşma (evaporasyon) süreçleridir.

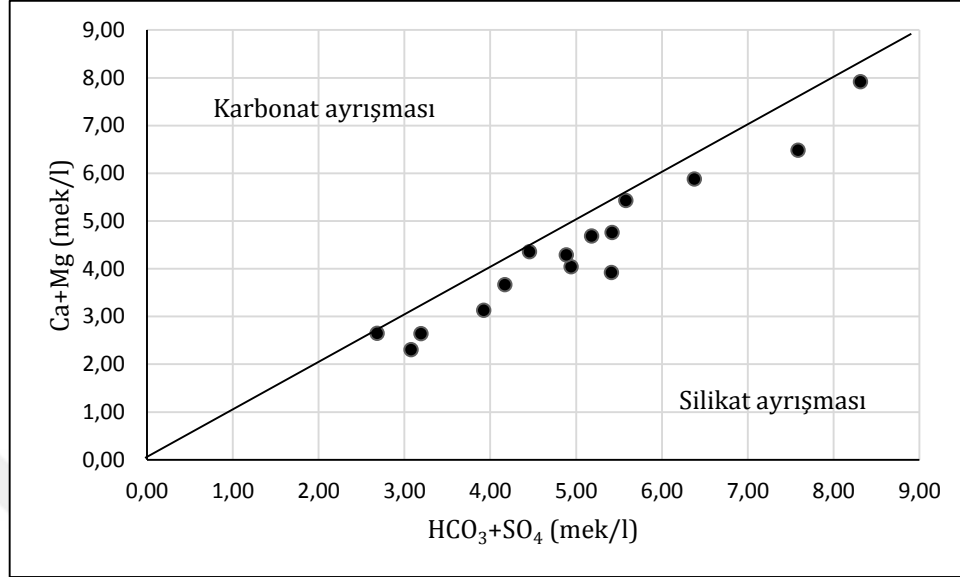
Ayrışma-Çözünme

Yeraltısuyunda çözülmüş bileşenlerin kökeni bireysel iyonların bolluğu, iyonik oranlar ve bunların korelasyonlarına bakılarak değerlendirilebilir. Akifer ortamdaki hidrojeokimyasal süreçleri tanımlamak için kimyasal analiz sonuçları ile farklı X-Y koordinatlı grafikler veya farklı çözünürlükteki iyonların birbiri ile oranları kullanılabilir (Aghazadeh and Mogaddam, 2011; Davraz ve Ünver, 2014).

Minerallerin ayrışması ve çözünmesi $(Ca+Mg)-(HCO_3+SO_4)$ grafiği ile basit bir şekilde yorumlanabilmektedir. Bu dağılım grafiğinde yeraltısuyu örnek noktaları 1:1 doğrusu boyunca sıralanıyorsa, bu iyonların karbonat ve silikat ayrışmasından kaynaklandığını gösterir (Rajmohan ve Elango, 2004; Kuldip vd., 2011). Grafikte örnek noktaları 1:1 doğrusuna yakınsa kalsit, dolomit ve jips çözünürlüğünün baskın reaksiyon olduğu düşünülür. SO_4 ve HCO_3 iyonlarının artışından dolayı noktalar 1:1 doğrusundan sağa kayarsa iyon alışverişinin varlığını yansıtır (Datta ve Tyagi, 1996; Fisher ve Mulican, 1997).

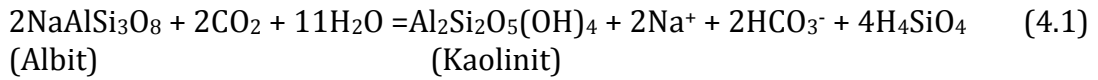
İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örnekleri $(Ca+Mg)-(HCO_3+SO_4)$ dağılım grafiği üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.33). Örneklerin büyük bir çoğunluğu 1:1 denge çizgisinin yakınında ve altında bulunmaktadır. Bu durum silikat ayrışmasının baskın olduğunu göstermektedir. Silikat ayrışması iyon değişim sürecinden dolayı yeraltısuyunda Na konsantrasyonunun azaldığını ve HCO_3 iyonunun arttığını gösterebilir. Ayrıca, sodyum feldspat (albit) ve potasyum feldspatların (ortoklaz ve mikroklin) ayrışması, Na ve K iyonlarının yeraltısuyuna

katkısından büyük ölçüde sorumludur. Feldispatlar, silikatlı kayalar içerisinde kuvarsdan daha fazla ayrışma ve alterasyon süreçlerine karşı hassastır.



Şekil 4.33. (Ca+Mg)-(HCO₃+SO₄) diyagramı

Silikat ayrışması albitin kaolinite dönüşmesi ile temsil edilebilir. Silikat ayrışmasında aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi HCO₃ üretilir. Bu durum, inceleme alanındaki sularda baskın HCO₃ içeriğini açıklar (Tay, 2012).



Silikat ayrışmasının su kimyası üzerindeki etkisi öncelikle katyon ve silis ilavesidir. Bütün silikat ayrışma reaksiyonları asit tüketir ve bu nedenle pH tamponlama etkisine sahiptir. Kirlenmemiş koşullar altında, en önemli proton kaynağı karbonik asittir. Ayrışma reaksiyonları, yeraltısuyla süzülen silikat kayalarda veya kumtaşlarında da gerçekleşir (Hounslow, 1995). Kumtaşlarında kil ve kalsit içerebilen matriks içinde bazen potasyum feldispat taneleri ve ağırlıklı olarak kuvars bulunur. Yeraltısuyla etkileşimi ile kumtaşlarının ayrışması sırasında da bikarbonat üretilebilir (Tay, 2012).

Bir su numunesindeki $\text{HCO}_3/\text{SiO}_2$ oranı, bir akiferde meydana gelen ayrışma sürecinin türünü de ortaya çıkarabilir. $\text{HCO}_3/\text{SiO}_2 < 5$ oranı silikat ayrışma işlemini gösterirken, $\text{HCO}_3/\text{SiO}_2 > 10$ oranı karbonat ayrışma işlemini gösterir (Tay, 2012). İnceleme alanında yeraltısuyu örneklerinin $\text{HCO}_3/\text{SiO}_2$ oranı 5'in altındadır (Çizelge 4.7). Bu durum bölgede akifer birimlerde silikat ayrışmasının majör ayrışma süreci olduğunu desteklemektedir.

Yeraltısularının $\text{Ca}+\text{Mg}/\text{HCO}_3$ oranı ayrışma türü hakkında bilgi verebilmektedir. Bu oranın 1'den büyük değerleri karbonat ayrışmasının baskın olduğunu gösterirken 1'den düşük değerleri silikat ayrışmasına işaret etmektedir (Kumar Singh vd., 2012; Pazant vd., 2012). İnceleme alanında alınan örneklerin $\text{Ca}+\text{Mg}/\text{HCO}_3$ oranı beş adet örnek hariç 1'den daha düşük değerlere sahiptir. Bu durum Ca, Mg ve yüksek HCO_3 kaynağının karbonat olmayan kaynaklardan türetilmiş olduğu ve silikat ayrışmasının baskın olduğunu göstermektedir.

Potansiyel hidrokimyasal davranış Ca/Mg ve Na/Cl gibi iyonlar arasındaki oranlardan da çıkarılabilir (Han vd., 2009). İnceleme alanında Ca ve Mg baskın katyon, HCO_3 ise baskın anyondur. Yeraltısularında baskın Ca ve Mg içerikleri havzada karbonatlı kayaçların varlığı ile ilişkilidir. Karbonat ve silikat ayrışması Ca ve Mg'un varlığını denetler. Farklı çalışmalarda, suların Ca/Mg oranları kalsit ve dolomitin çözünürlüğü hakkında yorum yapılmasında kullanılmıştır. Genel olarak, Ca/Mg oranı 1'e eşit ise dolomit çözünürlüğünün varlığından bahsedilir. Büyük değerler ise kalsit katkısını yansıtır (Maya ve Loucks, 1995). Farklı bir ifadeyle, $\text{Ca}/\text{Mg}=1$ doğrusuna yakın değerler kalsit ve dolomitin çözünürlüğünü yansıtırken, 2'den büyük değerler silikat mineralleri ayrışmasının etkisini gösterir (Katz vd., 1998; Han vd., 2009). İnceleme alanında yeraltısularının % 33'ünün Ca/Mg oranları 2'den büyük (Çizelge 4.7) olup yeraltısuyuna Ca iyonlarını sağlayan ikincil prosesin silikat ayrışması olduğunu göstermektedir (Datta ve Tyagi 1996). Ancak, inceleme alanında kalsit ve dolomit çözünürlüğünün baskın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7. Yeraltısularının bazı iyon oranları

Örnek No	Ca/Mg	Na/Cl	HCO ₃ /SiO ₂	Ca+Mg/HCO ₃	CAI-I	CAI-II
YG-1*	1,65	0,77	2,34	1,01	0,11	0,00
YG-2*	1,80	1,96	1,76	0,90	-2,37	-0,02
YG-3*	1,58	2,17	1,43	0,92	-1,46	-0,02
YG-4	0,97	2,14	0,63	0,94	-1,77	-0,02
YG-5	2,54	0,94	2,35	0,82	-0,01	0,00
YG-6	1,58	4,01	3,65	0,82	-3,27	-0,03
YG-7	1,20	4,84	1,89	1,01	-4,15	-0,02
YG-8	1,14	2,87	2,01	0,77	-2,14	-0,02
YG-9	1,23	3,49	1,68	1,02	-2,74	-0,02
YG-10*	3,65	0,93	1,99	1,08	0,03	0,00
YG-11*	2,34	1,83	1,48	0,95	-0,90	-0,08
YG-12*	0,70	2,10	1,07	1,01	-1,18	-0,04
YG-13	10,46	2,18	1,41	0,99	-1,68	-0,02
YG-14	0,85	3,28	0,92	0,84	-2,53	-0,08
YG-15	2,15	2,50	2,38	0,91	-1,81	-0,02

İyon alışverişi

Yeraltısuyunun dolaşımı boyunca etkileşimde olduğu kayaçlar ile su arasındaki iyon değişimi su kimyasını kontrol eden önemli faktörlerdir. Kıl mineralleri akifer sisteminde en çok bulunan iyon değiştiricilerdir. Yeraltısuyu ve akifer ortam arasındaki iyon alışverişi aşağıda formülleri verilen Kloroalkalin indeksi (CAI-I, CAI-II) değerleri ile tanımlanmaktadır (Schoeller 1965, 1967). Formüllerde değerler meq/l cinsindendir.

$$CAI-I = [Cl - (Na + K)] / Cl \quad (4.2)$$

$$CAI-II = [Cl - (Na + K)] / (SO_4 + HCO_3 + CO_3 + NO_3) \quad (4.3)$$

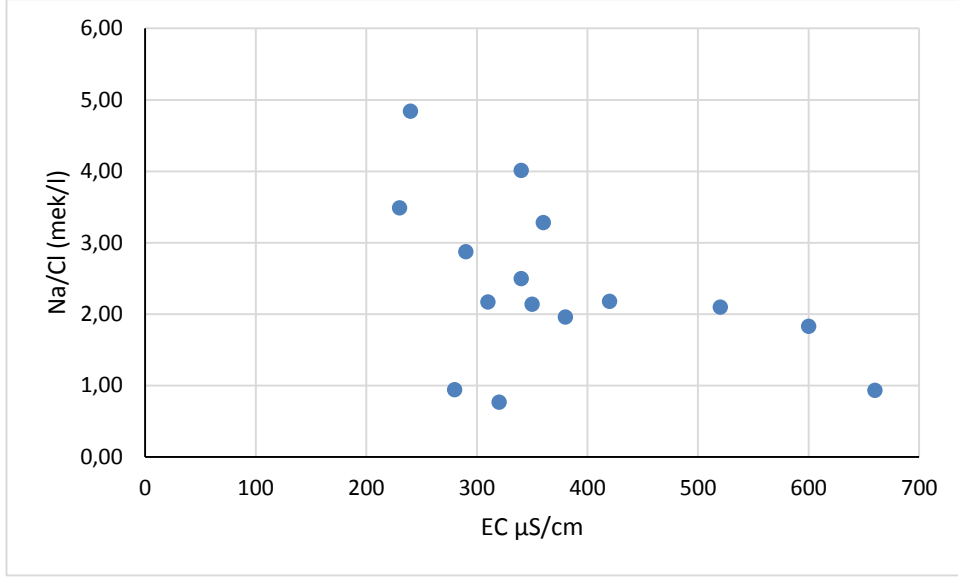
Hesaplanan kloroalkalin indeksler pozitif değerlerde ise kayaçlardaki Ca ve Mg iyonları ile suda bulunan Na ve K değişimini göstermektedir. Pozitif değerler baz değişim reaksiyonu olarak bilinen ters iyon değişimini yansıtır. Negatif değerler ise kayaçlardaki Na ve K iyonlarının sudaki Ca ve Mg iyonları ile değiştiğini yansıtmaktadır (Schoeller, 1965; 1977). Ayrıca, negatif kloroalkalin indeks değerleri kloroalkalin dengesizliğini gösterir ve reaksiyon katyon-anyon değişim reaksiyonu olarak bilinir. Bu işlem sırasında, akifer kayaçlar sudaki çözünmüş iyonların birincil kaynaklarıdır.

İnceleme alanında su örneklerinin hesaplanan CAI-I ve CAI-II değerleri genel olarak negatiftir (Çizelge 4.7). Bu durum bölgede “*normal iyon değişimi*”nin baskın olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, akifer ortamdaki Na ve K iyonları sudaki Ca ve Mg iyonları ile yer değiştirmektedir.

Evaporasyon

Buharlaşma sadece yüzey suyunda değil, aynı zamanda yeraltısuyu sisteminde de yaygın bir olgudur. Na/Cl oranı, yeraltı sularındaki buharlaşma sürecini tanımlamak için kullanılabilir. Buharlaşma, yeraltı sularındaki toplam çözünmüş katıların konsantrasyonunu (TDS) artıracak ve Na/Cl oranı aynı kalacaktır. Na/Cl oranı 1 civarında veya üzerinde ise iyon alışveriş proseslerine bağlı olarak sodyumun silikat ayrışmasından kaynaklandığını göstermektedir (Kumar vd., 2006; Tay, 2012). İnceleme alanında yeraltısuyunun Na/Cl oranları genel olarak 1’den büyüktür (Çizelge 4.7). Bu durum, iyon alışverişi sonucu kil minerallerindeki Na iyonlarının yeraltısuyundaki Ca iyonları ile yer değiştirdiğini göstermektedir. Na/Cl oranının 1’den büyük değerleri Na’un kaynağının silikat ayrışması olduğunu gösterebilmektedir (Mayback 1987, Garcia vd., 2001).

Eğer buharlaşma egemense, yeraltısuyunun EC değeri artarken Na/Cl oranı sabit kalacaktır. Buna göre Na/Cl’a karşı EC ($\mu\text{S} / \text{cm}$) diyagramı yatay bir doğru oluşturmalıdır (Jankowski ve Acworth, 1997; Chebboh ve Allia, 2015). Na/Cl- EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) diyagramında ise incelenen örneklerin sıralanışı tamamen düz bir çizgi şeklinde değildir (Şekil 4.34). Bu durum, buharlaşmanın, inceleme alanında yeraltısuyu kimyasını kontrol eden ana jeokimyasal süreç olmadığını göstermektedir. Şekil 4.32’de verilen Gibbs diyagramı da buharlaşmanın bu havzada baskın bir süreç olmadığını doğrulamaktadır.



Şekil 4.34. Yeraltısularının Na/Cl-EC (µS /cm) diyagramı

4.5.1.9. Major iyonların istatistiksel analizi

Korelasyon analizi, iki değişkenin birlikte değişimini belirlemek amacıyla kullanılan istatistik yöntemlerden birisidir. Korelasyon katsayısı matematiksel olarak -1 ile +1 arasındadır. Korelasyonun büyüklüğü (0-1) iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü gösterir. İşareti ise (+,-) değişkenlerin aynı yönde (+) veya zıt yönlerde (-) artış ve azalış gösterdiğini belirtmektedir. Korelasyon analizi su örneklerinde çözünen elementlerin kökeni ve fizikokimyasal özellikleri arasındaki ilişkileri belirlemek için de kullanılabilmektedir (Azaza vd., 2011; Parizi ve Samani, 2013). Değişkenlerin normal dağılıma sahip olmadığı durumlarda Spearman Rank korelasyon katsayısı tercih edilmektedir. Yüksek korelasyon katsayısı (1 veya 1'e yakın), iki değişken arasında iyi bir pozitif ilişki anlamına gelir. Ayrıca, $r > 0.7$ 'yi gösteren parametrelerin güçlü bir şekilde korele olduğu düşünülürken, 0.5 ile 0.7 arasındaki r orta düzeyde korelasyonu yansıtmaktadır.

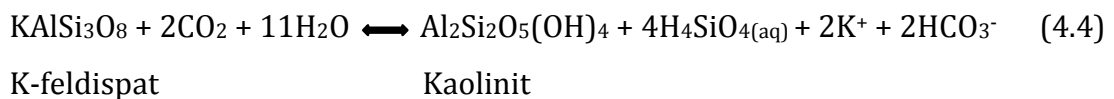
İnceleme alanında su örneklerine ait 9 parametre için korelasyon analizi Aquachem 2014.2 programı kullanılarak yapılmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Major iyonların Spearman Rank korelasyon analizi

	pH	EC	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄
pH	1	-0.106	-0.456	-0.09	-0.18	-0.220	-0.214	-0.288	-0.356
EC		1	0.732	0.617	0.696	0.774	0.988	0.687	0.427
Ca			1	0.212	0.503	0.665	0.756	0.610	0.350
Mg				1	0.490	0.482	0.614	0.411	0.563
Na					1	0.415	0.688	0.862	0.661
K						1	0.754	0.479	0.083
HCO ₃							1	0.686	0.454
Cl								1	0.44
SO ₄									1

Su örneklerinin Elektriksel iletkenlik (EC- $\mu\text{S}/\text{cm}$) değeri ile Ca, K ve HCO_3 içerikleri arasında güçlü pozitif korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, HCO_3 ile Ca ve K iyonları arasında güçlü pozitif korelasyon, Na-Cl iyonları arasında güçlü pozitif korelasyon bulunmaktadır.

HCO₃ ve K iyonları arasındaki güçlü pozitif korelasyon, suların kimyasal yapısını denetleyen unsurların silikat ayrışması ile ilişkili olduğunun göstermektedir. Aşağıda örnek olarak potasyum feldispatın ikincil mineral olarak kaolinit oluşturan silikat ayrışması verilmiştir. Böyle bir reaksiyonda K ve HCO₃ çözünme ürünüdür (Eşitlik 4.4).



HCO₃ ve Ca iyonları arasındaki güçlü pozitif korelasyon karbonat çözünürlüğü ile ilişkilidir (Eşitlik 4.5).



Korelasyon analizine göre Ca ile Na, K ve Cl iyonları arasında ve Mg-SO₄ arasında orta düzeyde korelasyon bulunmaktadır. Bu durum iyonik mobilizasyon sırasında benzer kaynak ve/veya jeokimyasal davranışı yansıtmaktadır.

Na ile HCO_3 ve SO_4 arasında yine orta seviyede korelasyon bulunmaktadır. Na ve HCO_3 arasındaki korelasyon yine silikat ayrışması ile ilişkili olup albit ayrışmasından kaynaklanmaktadır (Eşitlik 4.1).

4.5.1.10. Doygunluk İndisi (SI) değerlendirmeleri

Yeraltısuyu jeokimyasını kontrol eden en önemli faktör, kaya-su etkileşiminden kaynaklanan çözünme-çökelme süreçleridir. Yeraltısuyunun döngü sırasında dokanak halinde bulunduğu kayaçlar ile iyon alışverişi suyun kimyasal bileşiminde değişikliklere neden olmaktadır. Suların bu kimyasal içeriğinin yorumlanması amacıyla çeşitli minerallere göre doyunluk durumları incelenmektedir (Şahinci, 1991). İnceleme alanında su örneklerinin Doygunluk indeksi (SI) değerleri PHREEQC jeokimyasal bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır. SI, belirli bir sıcaklıkta iyon aktivite ürünü (IAP) mineral denge sabitine oranının logaritması olarak tanımlanır ve şöyle verilir:

$$SI = \log_{10} (IAP/K_{sp}) \quad (4.6)$$

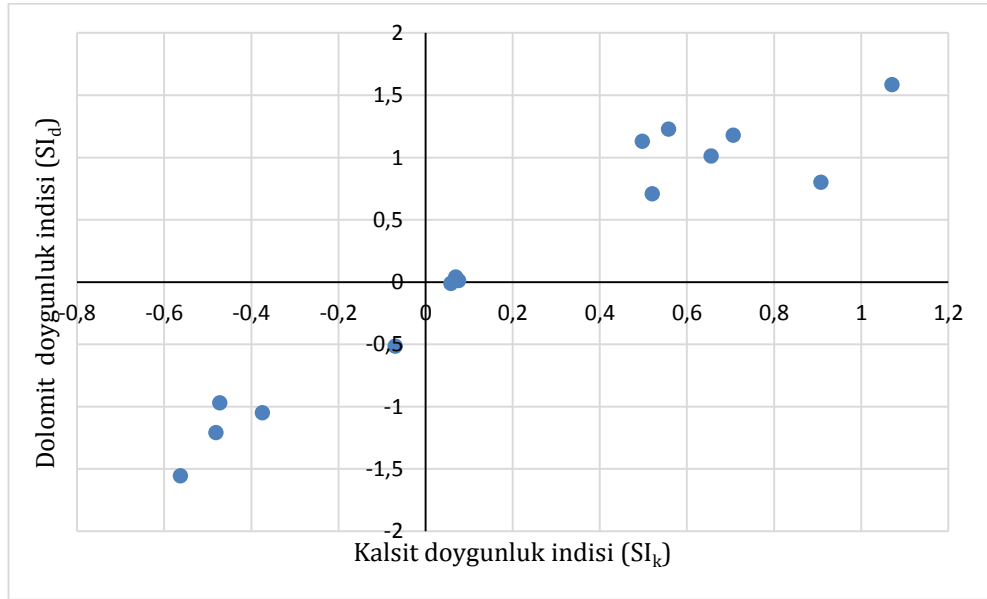
Formülde; IAP = iyon aktivitesi ürünü, K_{sp} = verilen sıcaklıkta çözünürlük ürünü'dür. SI = 0 olduğunda denge durumu söz konusudur. SI değerleri <0 olan sularda çözünme ve SI değerleri >0 olan sularda çökelme eğilimi vardır.

İnceleme alanında yeraltısularından alınan örneklerin boşalım sıcaklığı ve arazide ölçülen pH değerine göre belirlenen mineral doyunluk indeksi değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir. Ekim-2019 tarihinde alınan yeraltısuyu örneklerinin tamamında anhidrit, jips ve halit mineralleri doyunluk altındadır ve bunları çözme eğilimindedir. Bu durum Na, Cl ve SO_4 iyonlarının rezervuarda çözünürlüğünün hala devam ettiğini göstermektedir. Florit minerali de bir örnek (YG10) hariç doyunluk altındadır. YG10 örneğinin yüksek F (3.5 mg/l) içeriği bu değeri desteklemektedir. Bu örnekteki F iyonu artışının kaynak suyunun boşaldığı Seydişehir formasyonu ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Su örneklerinin %46'sı aragonit mineralinde doyundur.

Kalsit (SI_k) ve dolomit (SI_d) doygunluk indeksleri grafiği, yeraltısuyu örneklerinin çoğunun dolomit ve kalsite göre aşırı doygun olduğunu göstermektedir (Şekil 4.35). Bu durum karbonat minerallerinin akifer ortam içerisinde ana bileşenler olduğunu ve karbonat çözünme-çökelme süreçlerinin devam ettiğini göstermektedir. Bölgede kalsit ve dolomit minerallerine doygun olan örneklerin kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı litolojilerinden oluşan Kurucaova formasyonu ile ilişkili olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9. Su örneklerinin mineral doygunluk değerleri (SI)

Örnek No	Anhidrit	Aragonit	Barit	Kalsit	Dolomit	Florit	Jips	Halit
YG-1*	-3,0858	0,3676	-0,7939	0,5205	0,7088	-3,2413	-2,8331	-9,1842
YG-2*	-3,1769	0,5562	-0,3655	0,7061	1,1782	-2,3553	-2,9313	-10,2205
YG-3*	-3,0048	-0,524	-0,2186	-0,3747	-1,0502	-3,1399	-2,7612	-9,827
YG-4	-3,1187	-0,6247	-0,2294	-0,4722	-0,9696	-2,5698	-2,8668	-9,9352
YG-5	-3,2327	-0,715	-0,4044	-0,563	-1,5549	-4,0437	-2,9819	-9,3801
YG-6	-2,5573	-0,6346	-0,2294	-0,4816	-1,2083	-3,089	-2,3046	-9,5707
YG-7	-2,7243	-0,0951	-0,1004	0,0579	-0,0103	-4,5633	-2,4714	-10,4159
YG-8	-3,6554	-0,0834	-1,2033	0,0693	0,0408	-4,2681	-3,4029	-10,4464
YG-9	-3,5586	-0,0771	-1,176	0,076	0,0127	-4,5413	-3,3056	-10,3196
YG-10*	-2,0679	0,9203	0,3594	1,071	1,5845	0,3791	-1,8202	-7,92
YG-11*	-2,2727	-0,2209	0,3507	-0,0698	-0,5155	-1,2158	-2,0238	-7,7481
YG-12*	-2,6468	0,4051	-0,0793	0,5581	1,2285	-1,8471	-2,394	-8,6707
YG-13	-3,1589	0,7568	-0,1971	0,9074	0,8005	-4,1247	-2,9111	-9,5731
YG-14	-3,3012	0,3499	-0,2369	0,4976	1,1303	-3,3036	-3,0629	-8,752
YG-15	-2,9936	0,5064	-0,5589	0,6557	1,012	-4,9726	-2,7497	-9,6214



Şekil 4.35. Kalsit ve dolomit doygunluk indisi grafiği

4.5.2. Suların genel kimyasal özellikleri

Bu bölümde yeraltısularının kalitesini belirten iyon özellikleri olan sıcaklık (T), özgül elektriksel iletkenlik (EC), hidrojen iyonu konsantrasyonu, (pH), sertlik değerleri ayrıntılı olarak irdelenmiştir. İnceleme alanından alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

4.5.2.1. Sıcaklık (°C)

Suların sıcaklığı daha çok içme suyu amacı ve endüstride soğutma suyu olarak kullanılacak ise önem kazanmaktadır. İçme suyu açısından en uygun sıcaklık 10-12 °C civarındaki sudur. Sıcaklık, biyolojik aktiviteyi (mikroorganizma gelişim hızı) etkiler. Sıcaklık artışı suda oluşan reaksiyonların hızını artırır ve çözünmüş oksijen miktarını azaltır. Katıların suda ayrışma ve çökme hızları da sıcaklıkla değişir. İnceleme alanında yeraltısularının sıcaklıkları 12.6-19.6 °C arasında değişmektedir (Çizelge 4.6).

4.5.2.2. Hidrojen iyon konsantrasyonu (pH)

pH, su içerisindeki hidrojen iyonu konsantrasyonunun negatif logaritması olarak tanımlanır ve sudaki hidronyum ve OH⁻ iyonu içeriklerine bağlı olarak değişir. Suların pH değerleri 0-14 arasında değişmektedir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Hidrojen iyonu yoğunluğunun artması pH'nın düşmesine, azalması veya hidroksit iyonlarının artması ise pH'nın yükselmesine neden olur. Yeraltısuları, genel olarak pH<7 olan asidik özelliğe sahip, yerüstü suları ise pH>8 olan bazik özellikteki sulardır. Suyun pH değeri suda erimiş karbonat, bikarbonat ve serbest karbondioksit derişimine bağlıdır. pH 7-9 arasında iken bikarbonat iyonları (HCO₃) baskın iken, pH 9.5-10 iken karbonat iyonları (CO₃) önem kazanır.

Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması Çizelge 4.10'da verilmiştir. İnceleme alanında su kaynaklarının pH değeri 7.59-8.89 arasında olup "**Bazik karakterli**" olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 4.10. Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991)

pH	
>8.5	Bazik
8.5 – 7	Bazik karakterli
7	Nötr
7 – 4.5	Asit karakterli
4.5	Asidik

4.5.2.3. Özgül elektriksel iletkenlik (EC)

Özgül elektriksel iletkenlik, +25 °C'deki 1 cm³ suyun iletkenliğidir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). İletkenlik, sudaki çözünmüş maddelerin bir göstergesidir ve bu nedenle izleyici parametre olarak kullanılır. Suda bulunan inorganik çözünmüş maddeler vasıtasıyla iletkenlik sağlanır. Suların elektriksel iletkenlikleri, iyon varlığına, toplam derişimlerine ve sıcaklığa bağlı olarak değişir (Şahinci, 1991). İçme ve sulama suları sınıflandırmasında EC değeri değerlendirme ölçütü olarak kullanılmaktadır. İnceleme alanında kaynak sularının EC değeri 230-420 µS/cm ve kuyu sularının 310-660 µS/cm arasında değişmektedir (Çizelge 4.6).

4.5.2.4. Sertlik

Suların sertliği su içinde çözünmüş (+2) değerlikli iyonların (Ca⁺², Mg⁺², Sr⁺², Fe⁺², Mn⁺² vb.) bulunuşu ile artar. Ca⁺² ve Mg⁺² iyonları doğal sularda daha fazla oranda bulunduklarından Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg sülfat ve Ca-Mg nitrat sertliği oluşturan ana bileşiklerdir. Ülkemizde suların sertliği için 'Fransız Sertlik Derecesi (Fr°) kullanılmaktadır. 1 Fransız sertlik derecesi; 1 lt suda 10 mg Ca ve Mg bikarbonat veya buna eşit miktarda farklı sertlik verici iyonların varlığı olarak tanımlanmaktadır. Fransız sertlik derecesinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Formülde r mek/l'yi tanımlamaktadır.

$$\text{Toplam sertlik} = 5(r\text{Ca} + r\text{Mg}) \quad (4.7)$$

İnceleme alanında yeraltısularının sertliği kaynak sularında 11.51-27.15 Fr⁰, kuyu sularında ise 12.7-17.6 Fr⁰ arasında değişmektedir. İnceleme alanında sular sertlik derecesine göre **Yumuşak- Az sert** arasında sınıflandırılmaktadır (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Fransız sertlik sınıflaması (Şahinci, 1991)

Konsantrasyon	Sertlik Derecesi
0.0 – 7.2	Cok yumusak
7.2 – 14.5	Yumusak
14.5 – 21.5	Az sert
21.5 -32.5	Oldukca sert
32.5 – 54	Sert
54 <	Cok sert

4.5.3. Suların hidrojeokimyasal sınıflaması

Suların majör iyon içeriklerine bağlı olarak çok sayıda farklı sınıflandırma yapılabilmektedir. Bu sınıflandırmalar benzer özellikteki suların değerlendirilmesi için hidrojeolojik araştırmalarda önemli katkılar sağlamaktadır. Söz konusu sınıflamalardan en çok kullanılanları Schoeller, Piper ve Durov diyagramlarıdır. Bu bölümde farklı sınıflandırmalara göre değerlendirmeler verilmiştir.

4.5.3.1. Schoeller (1955)'e göre suların sınıflandırılması

Schoeller (1955) suları bileşimindeki karbonat-bikarbonat, klorür ve sülfat miktarları ile anyon-katyon derişim miktarlarına göre sınıflandırmıştır (Çizelge 4.12). İnceleme alanındaki su örnekleri Schoeller (1955) sınıflamasına göre '**Olağan karbonatlı sular**', '**Olağan klorürlü sular**' ve '**Olağan sülfatlı sular**' sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 4.12. Schoeller (1955)'e göre su sınıflaması

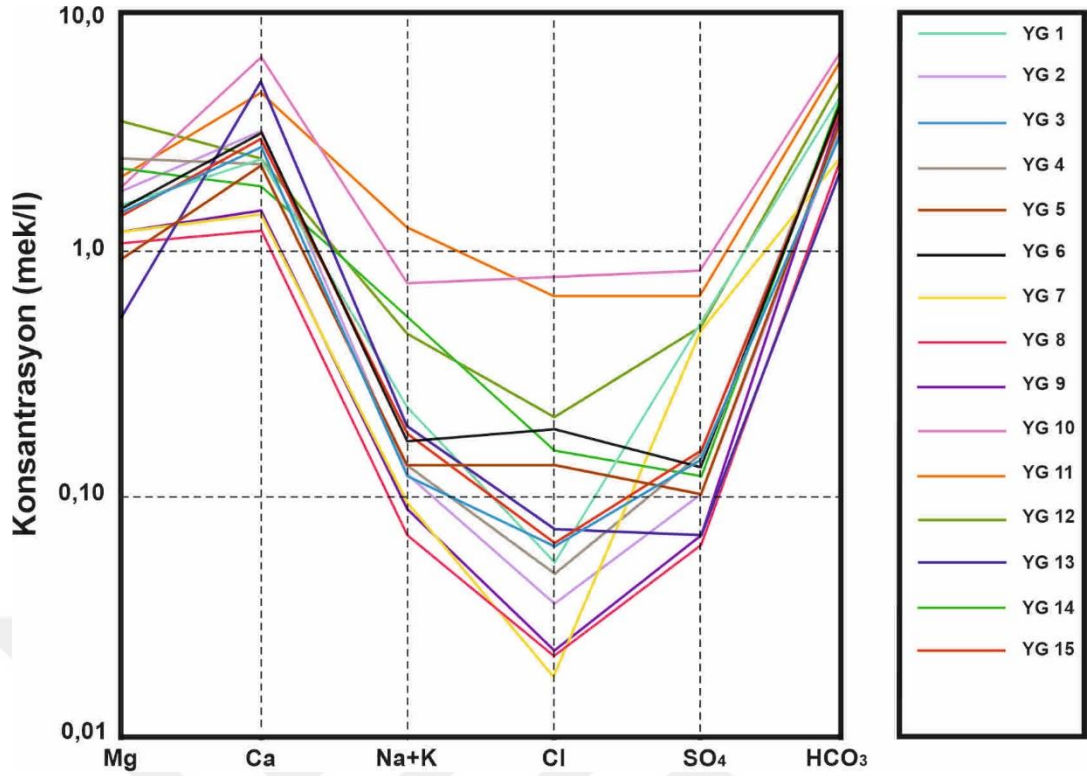
Klorür Sınıflaması		Sülfat Sınıflaması		Karbonat-Bikarbonat Sınıf.	
Su sınıfı	Klorür miktarı (mek/l)	Su sınıfı	Sülfat miktarı (mek/l)	Su sınıfı	Karbonat-Bikarbonat miktarı (mek/l)
Hiperklorürlü Sular	>700	Hiposülfatlı Sular	>58	Hiperkarbonatlı Sular	>7
Klorotalasik Sular	420-700	Sülfatlı Sular	24-58	Olağan Karbonatlı Sular	2-7
Klorürce zengin sular	140-120	Oligosülfatlı Sular	6-24	Hipokarbonatlı Sular	<2
Orta Klorürlü Sular	40-140	Olağan Sülfatlı Sular	<6		
Oligoklorürlü Sular	15-40				
Olağan Klorürlü Sular	<15				

4.5.3.2. Schoeller yarı logaritmik diyagram ile suların sınıflaması

Schoeller (1955) üstte verilen sınıflamadan farklı olarak farklı kimyasal özelliğe sahip suların daha kolay ayırt edilmesini sağlayan yarı logaritmik diyagram geliştirmiştir. Schoeller yarı logaritmik diyagrama göre, inceleme alanındaki yeraltısuları örneklerinin tamamında Ca ve HCO₃ iyonlarının baskın olduğu görülmektedir (Şekil 4.36).

4.5.3.3. Piper diyagram ile suların sınıflaması

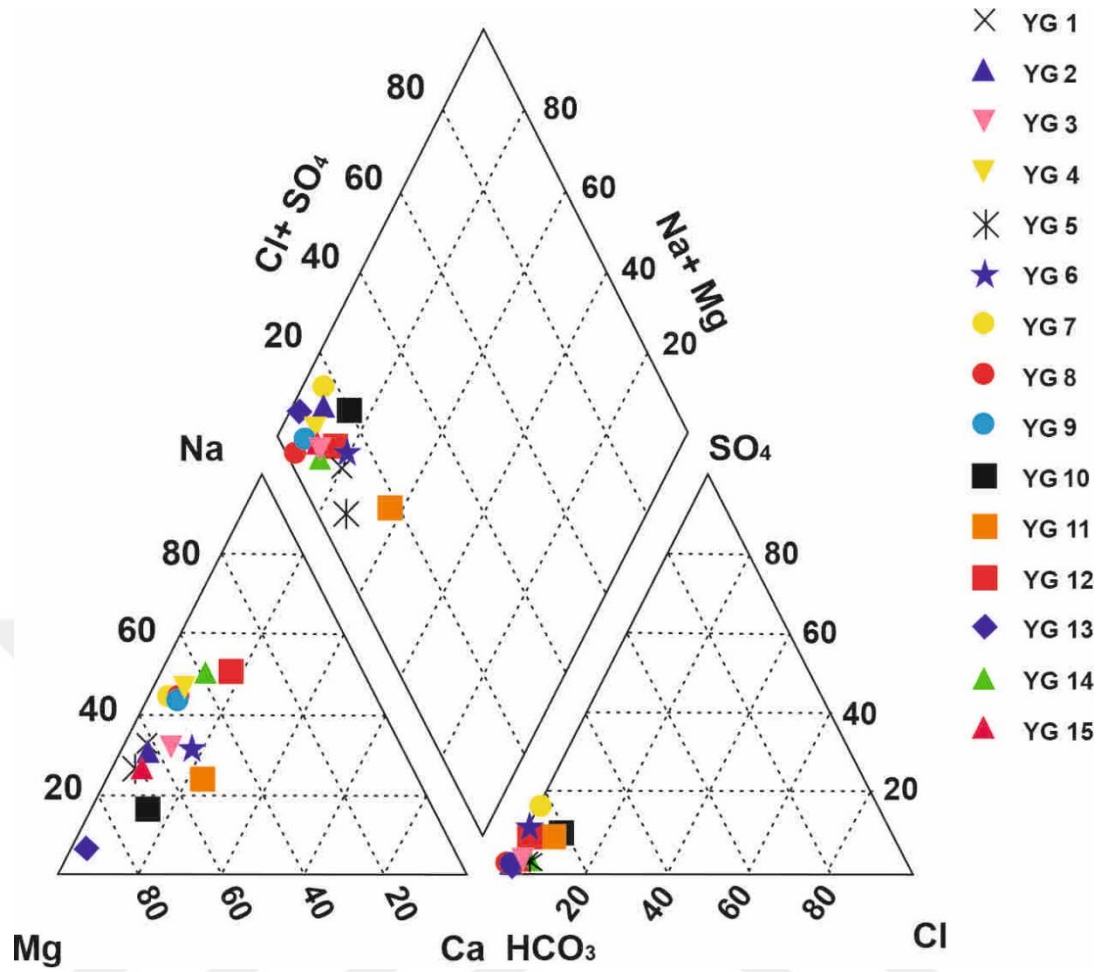
Hidrolojik sistemlerde su çözeltilerinin kimyasal karakteri, su bileşimlerinin tanımlanabilir kategorilere göre uygun alt bölümlere ayrılmasını sağlayan ve kayalar içindeki mineraller ve yeraltısuyu arasında meydana gelen kimyasal süreçlerin etkilerini yansıtan hidrokimyasal fasiyes kavramı (Back, 1966) ile belirlenebilmektedir. Suda çözünen major anyon ve katyon ayrı ayrı olmak üzere mek/l cinsinden %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir.



Şekil 4.36. Schoeller yarı logaritmik diyagramı

Piper diyagramına göre, inceleme alanındaki bütün kuyu ve kaynak suyu örnekleri genel olarak benzer yapıya sahiptir. Bu örnekler alkali toprak elementlerinin (Ca+Mg), alkali elementlere (Na+K) göre daha fazla olduğu, zayıf asit köklerinin (CO_3+HCO_3) güçlü asit köklerinden (SO_4+Cl) fazla olduğu, karbonat sertliği %50'den fazla olan suları temsil etmektedir.

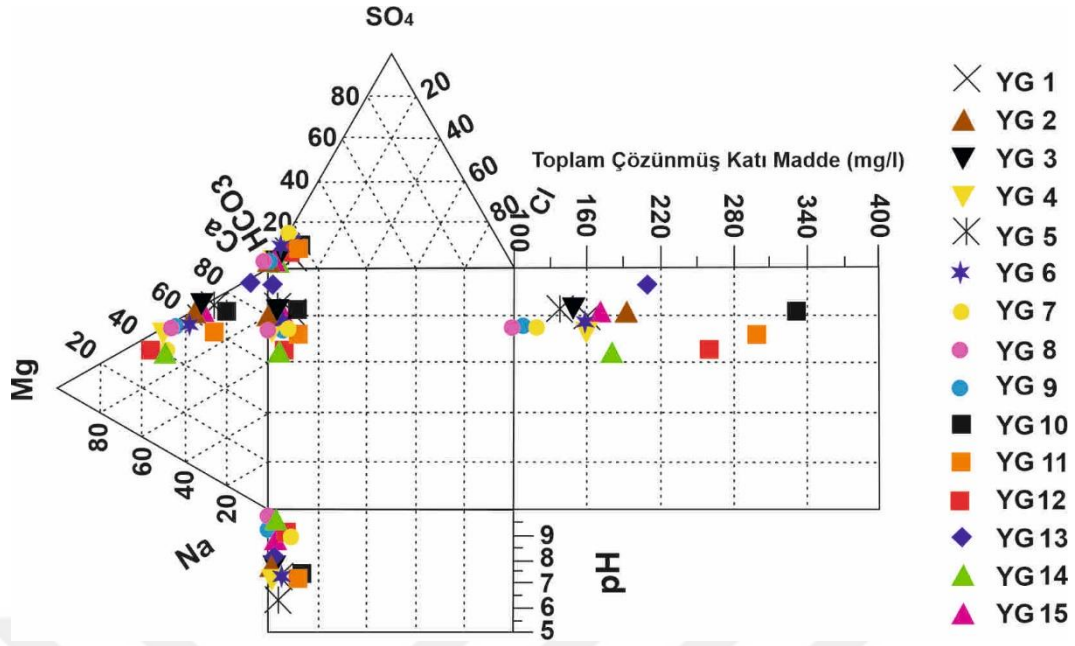
İnceleme alanında yeraltısularının büyük bir çoğunluğu Ca-Mg- HCO_3 'lu sular fasiyesinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.37). YG4, YG12 ve YG14 nolu örnekler Mg-Ca- HCO_3 'lu su sınıfında, YG10 ve YG13 nolu örnekler Ca- HCO_3 'lu sular sınıfındadır. Madenli (YG12) ve Çaltı (YG14) örneklerindeki Mg artışı dolomitik kireçtaşlarından oluşan Kurucaova formasyonu ile kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Çetince (YG4) kaynak suyundaki Mg artışı ise çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı ve marn birimlerinden oluşan Göksöğüt formasyonu ile ilişkilidir.



Şekil 4.37. Piper diyagramı

4.5.3.4. Durov diyagram ile suların sınıflaması

Durov (1948) diyagramı, hidrokimyasal veriler için trilinier grafik gösteriminin en yaygın kullanılan biçimlerinden biridir. Bu diyagram sadece hidrokimyasal verilerin gösterimini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda yeraltısuyu kimyasına hakim olan hidrokimyasal işlemlerin tanımlanmasını da sağlar. Diyagramda majör iyonların yanı sıra pH ve TDS gibi parametrelerde gösterilebilmektedir. İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örnekleri Durov diyagramı üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.38). Diyagramda örneklerin benzer alanlarda toplanmaları suların benzer akifer ortamdan beslendiğini göstermektedir. Örneklerde Ca ve HCO_3 baskın iyonlar olduğu görülmektedir. Bu durum akifer ortamın kireçtaşı ve kumtaşı gibi kayaçlar olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.38. Durov diyagramı

4.5.3.5. Toplam çözünmüş madde (TDS)

Toplam çözünmüş madde, su içerisinde çözünmüş halde bulunan katyon, anyon, ağır metal, inorganik tuzlar ve az miktardaki organik madde toplamını temsil etmektedir. TDS değeri kayalarda bulunan farklı minerallerin çözünürlükleri, suyun sıcaklığı ve etkileşim zamanına bağlıdır. TDS, iletkenlikle ilişkilendirilerek suyun iyon yükü, tuzluluğu veya kirliliğin değerlendirmesi için kullanılmaktadır. TDS değerine göre suların sınıflaması Çizelge 4.13'te verilmiştir. İnceleme alanında yeraltısularının TDS değeri 100-330 mg/l arasında değişmektedir ve sınıflamaya göre **Tatlı Su** sınıfında yer almaktadır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.13. Suların TDS değerine göre sınıflaması (USSSL, 1954)

TDS (mg/l)	Sınıf
<200	Tatlı Su
200-500	Acımsı Su
500-1500	Tuzlu Su
>1500	Çok Tuzlu Su

4.5.4. Suların kullanım özellikleri

İnceleme alanında yeraltısuları içme ve sulama suyu amacı için kullanılmaktadır. Bu bölümde suların bu iki amaç için kullanılabilme özellikleri standartlar ve diyagramlar kullanılarak değerlendirilmiştir.

4.5.4.1. Suların içilebilirlik özellikleri

İnceleme alanındaki suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde elde edilen kimyasal parametreler öncelikle Türkiye İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliği (TS266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2006, 2011) standartları ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.14). Bu değerlendirmelere göre, havzada kaynak ve kuyu sularından alınan örneklerin genel olarak fiziksel özellikleri ile anyon-kasyon içeriklerinin TS266 (2005) ve WHO (2006, 2011) sınır değerleri aşmadığı görülmektedir.

H.Schoeller'e göre suların içilebilirlik özellikleri

İnceleme alanında suların içme suyu olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek için H. Schoeller içilebilirlik diyagramı kullanılmıştır. Bölgede yeraltısularının genel olarak **‘İyi- çok iyi kaliteli sular’** sınıfında yer aldığı görülmektedir (Şekil 4.39). Elektriksel iletkenlik ve sertlik parametreleri açısından **“iyi su kaliteli sular”** sınıfındadır.

Çizelge 4.14. İçme suyu standartları (TS266, 2005; WHO, 2011)

Sınıflar			
TS 266 Standard kapsamına giren sular;			
Sınıf 1 - Kaynak (memba) suları.			
Sınıf 2 - Kaynak suları dışındaki insanî tüketim amaçlı sular olmak üzere iki sınıftır.			
Tipler			
Sınıf 1 sular bir tiptir			
Sınıf 2 sular;			
Tip 1 - İşlem görmüş kaynak (memba) suları,			
Tip 2- İçme ve kullanma suları olmak üzere iki tiptir.			
Özellikler			
1- Organoleptik Özellikler			
2- Mikrobiyolojik Özellikler			
3- Kimyasal Özellikler			
4- Gösterge Özellikleri			
		TSE-266 (2005)	WHO (2011)
ORGANOLEPTİK ÖZELLİKLER			
Özellik	Değer, en çok		
	Sınıf 1 ve Sınıf 2	Sınıf 2 Tip 2	
	Su; berrak, tortusuz, kendine		
MİKROBİYOLOJİK ÖZELLİKLER			
Özellik	Değer, en çok		
	Sınıf 1 ve Sınıf 2	Sınıf 2 Tip 2	
Eschericha coli (E.coli)	0/250 ml	0/100 ml	
Enterococci	0/250 ml	0/100 ml	
Pseudomonas aeruginosa	0/250 ml	-	
Koloni sayısı, 22°C'ta	100/ml	-	
Koloni sayısı, 37°C'ta	20/ml	-	
KİMYASAL ÖZELLİKLER			
Özellik	Değer, en çok		Maks. izin veril. Kons. ^j (mg/l)
	Sınıf 1 ve Sınıf 2	Sınıf 2 Tip 2	
Antimon	5.0 µg/l	5.0 µg/l	0.02
Arsenik	10 µg/l	10 µg/l	0.01
Baryum			0.7
Benzen	1.0 µg/l	1.0 µg/l	0.01
Bor	1.0 mg/l	1.0 mg/l	2.4
Bromat	10 µg/l	10 µg/l	0.01
Kadmiyum	5.0 µg/l	5.0 µg/l	0.003
Çinko			
Krom	50 µg/l	50 µg/l	0.05
KİMYASAL ÖZELLİKLER			
Özellik	Değer, en çok		Maks. izin veril. Kons. ^j (mg/l)
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2	
Bakır	100 µg/l	2000 µg/l	2.0
Siyanür	50 µg/l	50 µg/l	-
Florür	1.0 mg/l	1.5 mg/l	1.5
Gümüş			-
Kurşun	10 µg/l	10 µg/l	0.01
Civa	1.0 µg/l	1.0 µg/l	0.006
Nikel	20 µg/l	20 µg/l	0.07
Nitrat	25 mg/l	50 mg/l	50 ⁱ
Nitrit	0.10 mg/l	0.50 mg/l	3

Çizelge 4.14. İçme Suyu Standartları Devamı

Selenyum	10 µg/l	10 µg/l	0.04
Toplam pestisit ^a	0.50 µg/l	0.50 µg/l	
Polisiklik aromatik ^b	0.10 µg/l	0.10 µg/l	
Pestisitler ^c	0.10 µg/l	0.10 µg/l	
Endirin			0.0006
Lindan			0.002
Metoksiklorür			0.02
2,4-D			0.03
2,4,5-T			0.009
Stiren			0.04
Etilbenzen			0.3
DDT			0.001
GÖSTERGE ÖZELLİKLERİ			
Özellik	Değer, en çok		Maks. izin veril. Kons. ^j (mg/l)
	Sınıf 1 ve Sınıf 2	Sınıf 2 Tip 2	
Toplam çöz. katı madde			500 (2006 yılı)
Alüminyum, en çok	200 µg/l	200 µg/l	
Amonyum, en çok	0.05 mg/l	0.50 mg/l	
Demir, en çok	50 µg/l	200 µg/l	0.3 (2006 yılı)
Mangan, en çok	20 µg/l	50 µg/l	0.4 (2006 yılı)
Sülfat, en çok	25 mg/l	250 mg/l	250 (2006 yılı)
Sodyum, en çok	100 mg/l	200 mg/l	
Klorür, en çok	30 mg/l	250 mg/l	250 (2006 yılı)
Clostridium	0 sayı/100 ml	0 sayı/100 ml	
Renke, en çok	1 mg/l	20 mg/l	
pH ^f	6.5<pH<9.5	6.5<pH<9.5	
Koliform bakteri ^g	0 sayı/100 ml	0 sayı/100 ml	1 sayı/100 ml
Bulanıklık ^h , en çok	5 NTU	5 NTU	
E.iletkenlik, 20°C'de en çok	650 µS/cm	2500 µS/cm	
Radyoaktivite, en çok			Maks. izin veril.
Radyum 226			1 Bq/l
Stronsiyum 90			10 Bq/l
Uranyum-238			10 Bq/l
Tritiyum	100 Bq/l	100 Bq/l	10000 Bq/l
Uranyum-234			1 Bq/l
Toryum-230			1 Bq/l
Iyot-131			10 Bq/l
Toplam gösterge dozu	0.10 mSv/yıl	0.10 mSv/yıl	
Alfa aktivitesi	0.1 Bq/l	0.1 Bq/l	
Beta aktivitesi	1 Bq/l	1 Bq/l	3

a: Yukarıda belirtilen ve ayrı ayrı tespit edilebilen pestisitlerin derişimleri toplamını ifade etmektedir.

b: Değer, benzo(b)floranten, benzo(k)floranten, benzo(ghi)perilen ve indeno(1,2,3-cd)piren bileşiklerinin derişimleri toplamını ifade etmektedir.

c: Pestisit ifadesi, organik insektisitler, organik herbisitler, organik fungusitler, organik nematositler, organik acarisitler, organik algisitler, organik rodentisitler, organik slimisitler ve ilgili ijrünler (bunlarla birlikte büyüme düzenleyicileri) ile bunların metabolitleri, parçalanma ve tepkime ürünlerini kapsamaktadır. Belirtilen değer, her bir pestisit için ayrı ayrı uygulanır. Suda aldrin, dieldrin, heptaklor ve heptaklor epoksit bulunması hâlinde bu değer 0,030 mg/L olarak uygulanmalıdır.

d: Suyun yüzeyden alınmaması veya yüzey suyundan etkilenmemesi halinde bu özellikler aranmaz.

e: Suyun kendine has renginden fark edilebilir bir sapma gözlenmemelidir.

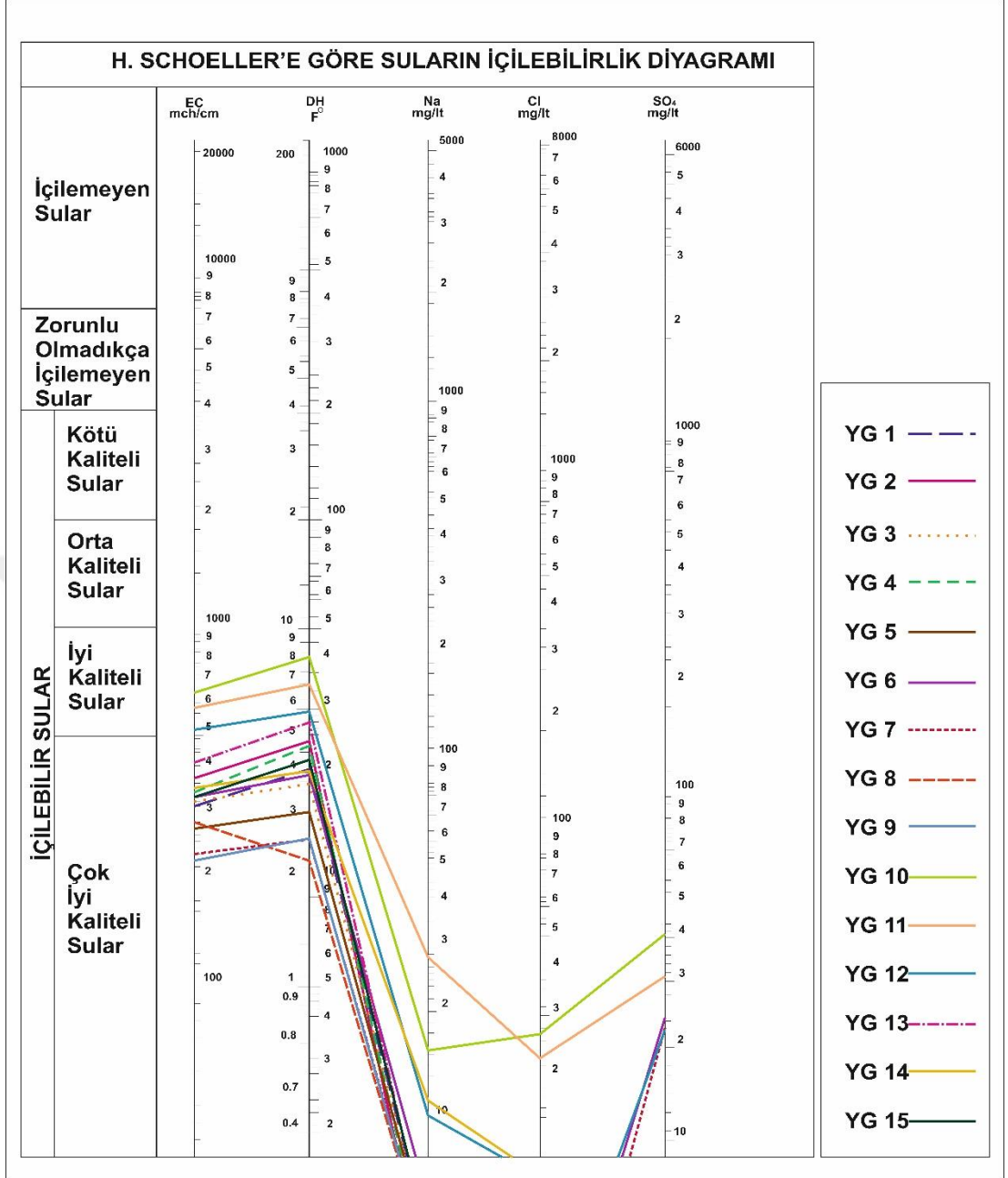
f: Ambalajlı sular için, üst sınır aynı kalmak kaydıyla, en düşük pH değeri 4,5 olarak uygulanmalıdır.

g: Ambalajlı sular için birim, sayı/250 mL olarak uygulanmalıdır.

h: Suyun, yüzey suyunun artırılması ile elde edilmesi durumunda, bulanıklık en çok 1,0 NTU (Nefelometrik Bulanıklık Birimi) olmalıdır.

i: A.B.D. ve Kanada standartlarına göre NO₃⁻ sınırı 10mg/l olarak ifade edilmektedir. Avrupa standartlarında bu sınır n için 11,3 mg/l; NO₃⁻ için 50mg/l' dir.

j: Maksimum izin verilebilir sınırlar sağlık kriterlerine göre belirlenir.



Şekil 4.39. Schoeller içilebilirlik diyagramı

4.5.4.2. Suların sulamada kullanım özellikleri

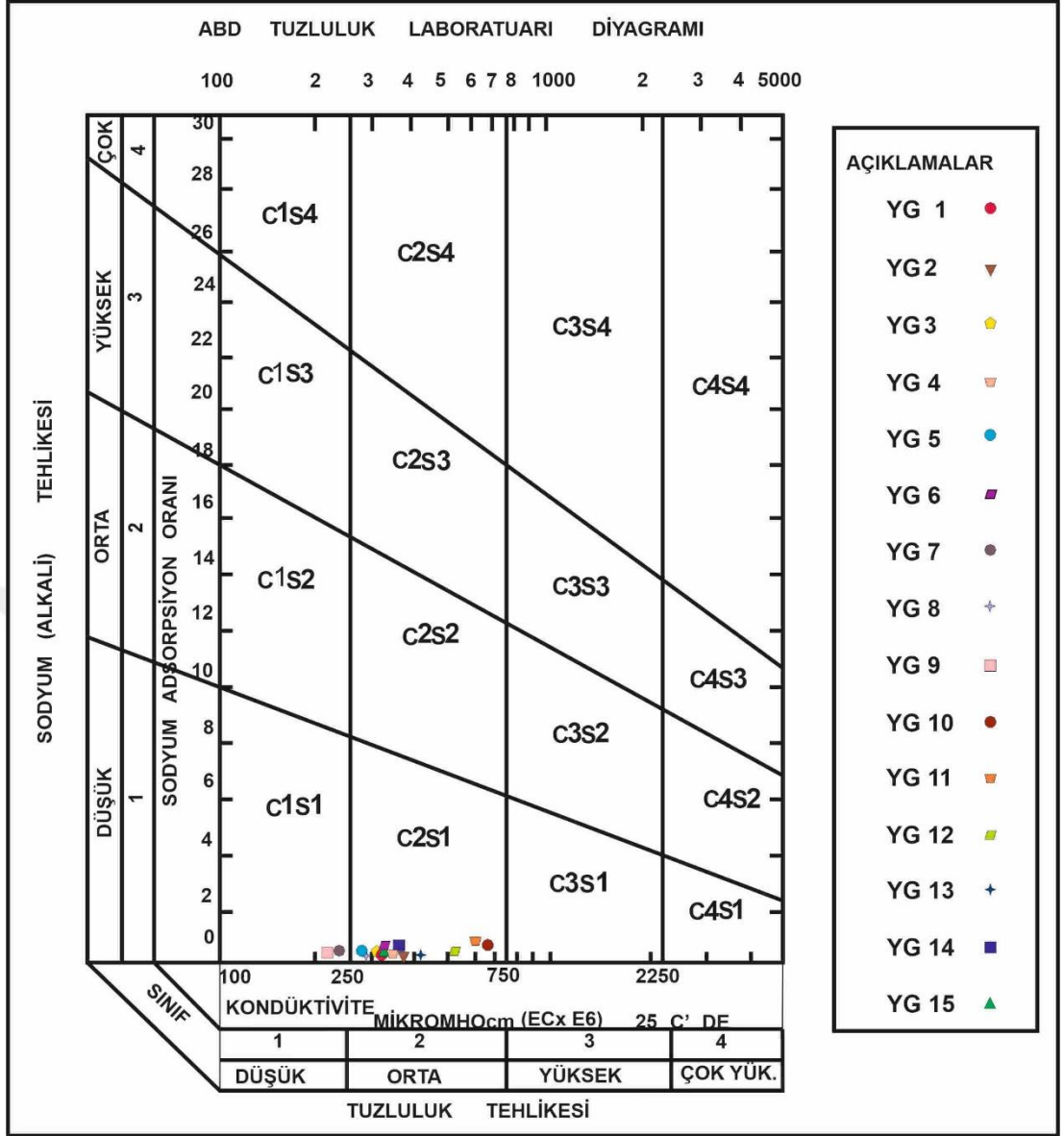
İnceleme alanında yeraltısularının sulama suyu amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), sodyum yüzdesi (%Na), Artıksal sodyum karbonat (RSC), Artıksal sodyum bikarbonat (RSBC), Geçirgenlik indeksi (PI), Magnezyum Tehlikesi (MT) ve Kelly oranı (KR) değerleri kullanılmıştır.

ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı

Suların sulama suyu kullanılabilirliği için genel olarak kullanılan diyagramlardan biri ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramıdır. Diyagramda SAR ve EC değerlerine göre 16 ayrı kategori tanımlanmıştır. Bunlar, tuzluluğa göre oluşturulan C1, C2, C3 ve C4 alt sınıfları ile sodyum miktarına göre oluşturulan S1, S2, S3 ve S4 alt sınıflarıdır (Çizelge 4.15). İnceleme alanından alınan su örnekleri ABD tuzluluk diyagramına göre YG-7 ve YG-9 nolu örnekler hariç '**C₂S₁**' (az sodyumlu ve orta tuzlulukta sular) sınıfında yer almaktadır (Şekil 4.40). YG-7 ve YG-9 nolu örnekler '**C₁S₁**' (az sodyumlu ve az tuzlu sular) sınıfında bulunmaktadır.

Çizelge 4.15. Suların tuzluluk ve sodyum miktarlarına göre sınıflaması (ABD Tuzluluk Lab. Diyagramı; Şahinci, 1991)

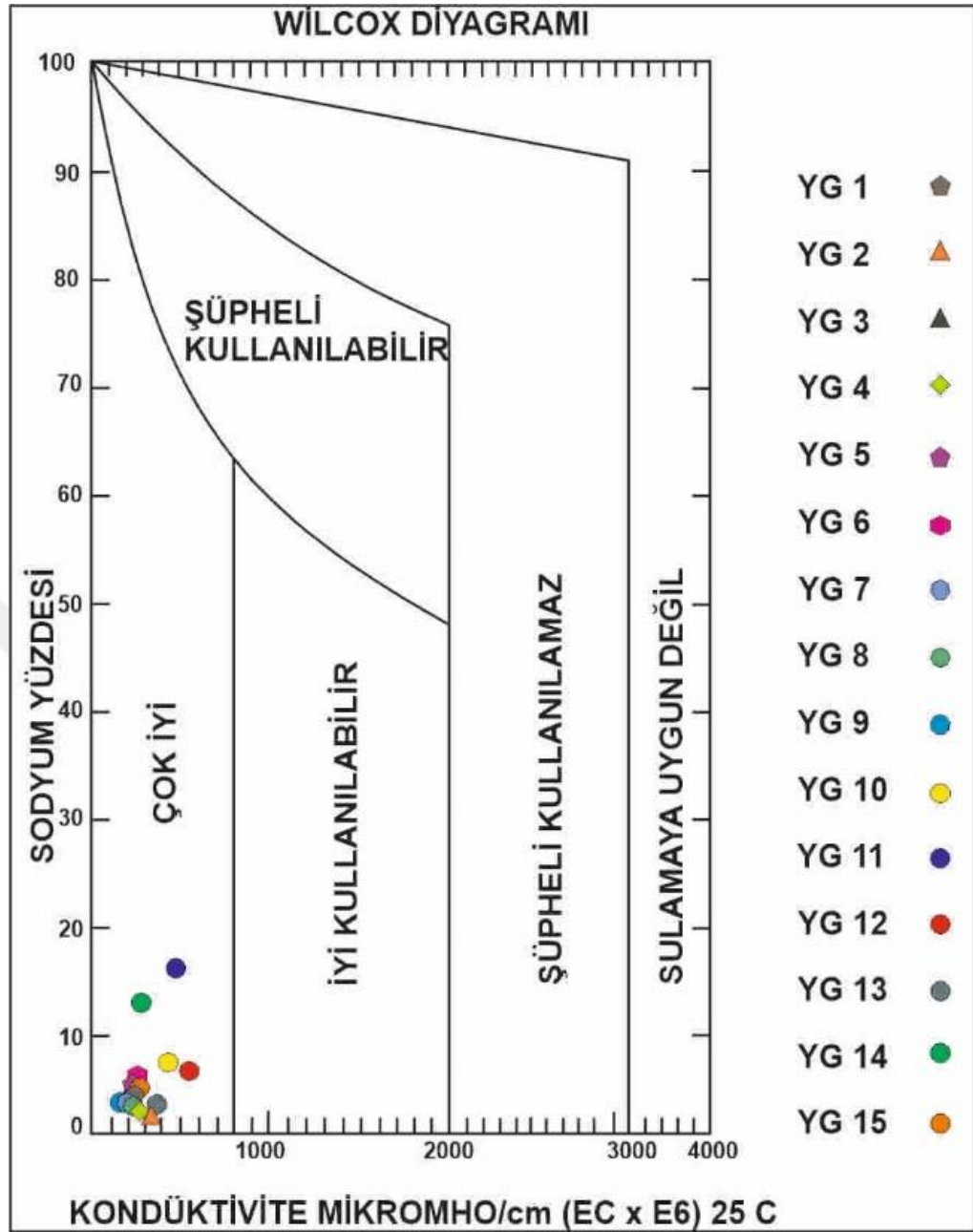
C1	Az tuzlu su. Bitkilerin çoğu için sulama suyu olarak kullanılabilir
C2	Orta tuzlulukta su. Orta derecede suya ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılabilir.
C3	Fazla tuzlu su. Drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Bazı bitkiler için kullanılabilir.
C4	Çok fazla tuzlu su. Sulama suyu için uygun değil. Ancak çok iyi drenaj yapılmış olanlarda bazı bitkiler yetişebilir.
S1	Az sodyumlu su. Sodyuma karşı duyarlı olan bitkiler dışında her türlü tarım için uygun
S2	Orta derecede sodyumlu su. Permeabilitesi iyi olan jipsli arazi için uygun.
S3	Fazla sodyumlu su. Ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilir
S4	Çok fazla sodyumlu su. Çok düşük tuzluluk hallerinin dışında sulama suyu olarak kullanılmaz



Şekil 4.40. ABD Tuzluluk Laboratuari diyagramı

Wilcox diyagramı

Sulama suyu değerlendirmesinde kullanılan diğer bir diyagram da Wilcox diyagramıdır. Diyagramda suların EC ve % Na değerleri ile sulama suyu olarak kullanılabilirlik açısından sınıflamalar yapılmıştır. Havzadan alınan su örnekleri Wilcox diyagramına göre '**çok iyi kullanılabilir sular**' sınıfında yer almaktadır (Şekil 4.41).



Şekil 4.41. Wilcox diyagramı

Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)

Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), sulama suyu olarak kullanım için yararlanılan önemli ölçütlerden biridir (Çizelge 4.16). SAR değerleri ile sodyumun toprak tarafından alınma derecesi arasında anlamlı bir ilişki vardır (Richards, 1954). Sodyum miktarı toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltmaktadır. SAR değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987).

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{(rCa^{++} + rMg^{++})/2}} \quad (4.8)$$

Çizelge 4.16. Sulama sularının SAR değerine göre sınıflandırılması
(Şahinci, 1991; Erguvanlı ve Yüzer, 1987)

SAR	Su sınıfı
<10	Çok iyi özellikte sulama suları
10- 18	İyi özellikte sulama suları
18- 26	Orta özellikte sulama suları
> 26	Kötü özellikte sulama suları

İnceleme alanında yeraltısularının SAR değeri 0.05-0.67 arasında değişmektedir (Çizelge 4.16) ve '**çok iyi özellikte sulama suyu**' sınıfındadır.

Çizelge 4.17. Sulama suyu sınıflamasında kullanılan parametreler

Örnek No	SAR	%Na	RCS	RSCB	PI	MT	KR
YG-1*	0,10	3,22	-0,06	1,59	49,31	37,75	0,03
YG-2*	0,05	1,47	0,54	2,24	49,11	35,72	0,02
YG-3*	0,10	3,57	0,33	1,76	56,19	38,79	0,04
YG-4	0,07	2,14	0,31	2,68	48,83	50,64	0,02
YG-5	0,10	3,93	0,67	1,56	63,81	28,27	0,04
YG-6	0,15	5,15	0,88	2,40	58,13	38,77	0,05
YG-7	0,08	3,20	-0,04	1,16	62,39	45,44	0,03
YG-8	0,06	2,73	0,70	1,77	75,88	46,78	0,03
YG-9	0,07	3,02	-0,05	1,14	62,06	44,81	0,03
YG-10*	0,36	8,25	-0,62	1,09	39,57	21,52	0,09
YG-11*	0,67	15,65	0,32	2,26	49,65	29,97	0,19
YG-12*	0,26	6,96	-0,08	3,39	45,08	58,98	0,08
YG-13	0,10	2,84	0,07	0,54	44,80	8,72	0,03
YG-14	0,36	11,03	0,76	2,94	59,28	54,02	0,13
YG-15	0,11	3,61	0,41	1,77	52,35	31,73	0,04

Sodyum İyon Yüzdesi (%Na)

Suların sodyum içeriği sulama suyu için önemli bir parametredir. Sodyumun fazlalığı toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltır ve toprak yüzeyinde sert bir tabaka oluşmasına neden olur. Bu tabaka bitki köklerinin havalanmasını engeller. Sodyum fazlalığı bitkiler için de zehirli bir ortam oluşturur. Bu nedenlerle, sulama suyu olarak kullanımda suların % Na değerinin sınır değerleri aşması istenmemektedir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). % Na değeri aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır.

$$\%Na = \frac{rNa^{+}}{rNa^{+} + rCa^{++} + rMg^{++} + rK^{+}} \times 100 \quad (4.9)$$

İnceleme alanında % Na değeri 1.47-15.65 arasında değişmektedir (Çizelge 4.17). Sularda Na artışı kil mineralleri ile ilişkilidir.

Artıksal Sodyum Karbonat (RSC)

Toprak infiltrasyon oranı sorununun tahmini için kullanılan parametrelerden biri Artıksal (Kalıcı) Sodyum Karbonat (RSC) (Eaton, 1950; Richards, 1954) değeridir. RSC değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$RSC = (rCO_3^{-2} + rHCO_3^{-}) - (rCa^{+2} + rMg^{+2}) \quad (4.10)$$

Pozitif (+) RSC değeri, ortamda ($Ca^{+2} + Mg^{+2}$) ile birleşmiş halde bulunan ($CO_3^{-2} + HCO_3^{-}$) dışında bir miktar daha karbonat+bikarbonat bulunduğu şeklinde ifade edilmektedir. Bu iyonlar Na^{+} ile birleşerek sodyum bikarbonat ($NaHCO_3$) bileşimini oluşturabilirler. Bu durum, ortamda sodyum zararı oluşturabilecek potansiyel CO_3 ve HCO_3 iyonu bulunduğunu gösterir. Negatif (-) RSC değeri, ortamda sodyum zararı oluşabilme olasılığının olmadığı şeklinde tanımlanmaktadır.

İnceleme alanında YG1, YG7, YG9, YG10 ve YG12 örnekleri dışında tüm örneklerin RSC değerleri pozitifdir. Bu durum da inceleme alanında yeraltısularında sodyum zararı oluşturabilecek potansiyel CO₃ ve HCO₃ iyonu varlığını göstermektedir. Ayrıca, RSC değerine göre yapılan sınıflamada ise yeraltısuları “**çok iyi kaliteye sahip I. Sınıf sular**” sınıfındadır (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. RSC'ye göre sulama suyunun sınıflandırılması (Arıkan, 2007)

Aralığı	Değerlendirme	Su Sınıfı
< 1.25	çok iyi	I. Sınıf su
1.25-2.5	iyi	II. Sınıf su
> 2.5	kullanılabilir	III. Sınıf su

Artıksal Sodyum Bikarbonat (RSBC)

Yeraltısularında CO₃ iyonlarının genel olarak önemli miktarlarda bulunmaması ve baskın olarak bulunan HCO₃ iyonunun Mg iyonu ile Ca iyonuna göre daha az bileşik oluşturmaları sebebi ile alkalinite tehlikesini tahmin etmek için Artık Sodyum Bikarbonat (RSBC) değerlendirmesi Gupta ve Gupta (1987) ve Todd (1980) tarafından önerilmiştir. RSBC değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$RSBC = (rCO_3^{2-} - rCa^{+2}) \quad (4.11)$$

Pozitif RSBC değeri, çözünmüş kalsiyum ve magnezyum iyonlarının karbonat ve bikarbonat içeriklerinden daha düşük olduğunu göstermektedir. RSCB değerine göre su sınıflaması ve sulama suyu için alkaliniteye göre 6 su sınıfı tanımlanmıştır (Çizelge 4. 19, 4.20).

Çizelge 4.19. RSBC'ye göre sulama suyunun sınıflandırılması
(Gupta, 1983)

RSBC	
<5	Sulama için uygun
5-10	Sulama için değerlendirilebilir-ortada
>10	Sulama için uygun değil

Çizelge 4.20. RSBC'ye göre sulama suyu alkalinite risk kategorileri
(Gupta ve Gupta, 1987; Todd, 1980)

Alkalinite	RSC değeri
Alkali olmayan su	Negatif değer
Normal su	0 mek/l
Düşük alkaliniteli su	2.5 mek/l
Orta alkaliniteli su	2.5-5.0 mek/l
Yüksek alkaliniteli su	5.0-10 mek/l
Çok yüksek alkaliniteli su	>10 mek/l

İnceleme alanında suların RSCB değeri 0.54-2.68 mek/l arasında değişmektedir. Sular RSBC değerine göre sulama için uygun ve düşük alkaliniteli sular sınıfındadır.

Geçirgenlik İndeksi (PI)

Geçirgenlik indisi (PI) değeri sulama suyu değerlendirmesi için önemli bir parametredir ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1989) tarafından yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır. PI değeri Doneen (1964) ve WHO (1989) tarafından verilen formül ile hesaplanmaktadır. PI değerine göre üç sınıf ayırt edilmektedir (Çizelge 4.21). I. ve II. sınıf sular iyi sulama sularıdır (Ragunath, 1987; Aghazadeh ve Mogaddam, 2011).

$$PI=100 \times [(rNa^{++} + r\sqrt{HCO_3^-}) / (rNa^{++} + rCa^{+2} + rMg^{+2})] \quad (4.12)$$

Çizelge 4.21. Geçirgenlik indisi (PI) değerine göre su sınıfları

Su sınıfı	PI değeri
I. sınıf	>%25
II. sınıf	%25-75
III. sınıf	<%75

İnceleme alanında suların PI değerleri % 39.77-75.88 arasında değişmektedir. Geçirgenlik indeksi değerine göre yeraltısuları genel olarak II. sınıf suları temsil etmekte ve iyi sulama sularıdır (Çizelge 4.17).

Magnezyum Tehlikesi (MT)

Birçok çalışmada magnezyum oranı magnezyum tehlikesi (MH) ve magnezyum adsorpsiyon oranı (MAR) olarak belirlenmiştir. Paliwal (1972), magnezyum tehlike indeksi olarak adlandırılan önemli bir oranı ortaya koymuştur. Ayrıca, sulama suyunun MT değeri Szabolcs ve Darab (1964) tarafından önerilmiştir. Bu değer aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$MT=100 \times [rMg^{+2} / (rMg^{+2} + rCa^{+2})] \quad (4.13)$$

50 mek/l'den büyük MT değerlerinin sulama suyu olarak kullanıma uygun olmadığı belirtilmektedir. 50 mek/l'den küçük MT değerine sahip olan sular ise sulamaya elverişli sulardır (Szabolcs ve Darab, 1964).

İnceleme alanında yeraltısularının MT değerleri %21.52 ile 50.64 arasında değişmektedir (Çizelge 4.17). MT değeri YG12 ve YG14 örneklerinde 50'den büyüktür. Bu örnekler dışındaki bütün su örnekleri MT değeri açısından sulama suyu olarak kullanıma elverişlidir.

Kelly Oranı (KR)

Kelly oranı (KR) Kelley (1963) tarafından sulama suyu değerlendirilmesi için önerilmiştir. Suların Na, Ca ve Mg içeriklerine göre verilen bu oranın 1'in altında değerleri sulama suyuna uygun olarak tanımlanmıştır. KR'nin 1'den büyük değerleri suda yüksek miktarda sodyum olduğunu göstermektedir ve sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir.

$$KR=rNa^{+}/(rCa^{+2}+rMg^{+2}) \quad (4.14)$$

İnceleme alanında suların KR değerleri 0.02-0.19 arasında olup sulama suyu için uygundur (Çizelge 4.17).

4.5.5. Sularda kirlilik araştırmaları

Genel olarak insan faaliyetleri yüzey ve yeraltı sularının kalitesi üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır. Yüzey sularında görünür olarak karşılaştığımız bu baskıların yeraltısuları üzerinde de önemli etkisi vardır. Yeraltısuları seyrelme kapasitelerinin sınırlı olması nedeniyle kirlenme riski açısından yüzeysel sulardan daha duyarlıdır. Su kaynakları üzerinde önemli baskılar oluşturan kirletici etkenler jeojenik ve antropojenik kökenli olarak ayrılabilir. Çoğu havzada karşıımıza çıkan jeojenik kökenli kirlilik; suların döngü sırasında içerisinden geçtikleri kayaçlarla etkileşimleri nedeniyle bünyelerine aldıkları elementlerden kaynaklanan kirliliktir. Kaya-su etkileşimi ile yeraltısularında çözünen elementlerin miktarı, etkileşim süresi, elementin yoğunluğu ve sıcaklığa bağlıdır. Ancak, günümüzde yeraltısuyu kirliliği açısından en çok sorun antropojenik kökenli kirlilik kaynaklıdır. Bunlar; tarımsal faaliyetler, katı-sıvı atıklar ve çeşitli endüstri kuruluşlarından kaynaklı kirliliktir.

4.5.5.1. Havzadaki kirletici kaynaklar

Havzada bulunan kirletici kaynaklar aşağıda özetlenmiştir.

Evsel atık sular

Yerleşim alanları kaynaklı en önemli kirlilik etkeni evsel atık sulardır. Evsel atık sular kolloidal, askıda ve çözünmüş halde organik ve inorganik maddeler içerir. İnsanların yaşam koşulları, iklimsel şartlar ve kültürel alışkanlıklar evsel atık su özelliğini önemli ölçüde değiştirmektedir.

İnceleme alanında Yalvaç ilçesinde atıksu arıtma tesisi bulunmaktadır. Diğer yerleşim merkezlerinin atık sularının bir kısmı kanalizasyon sistemleri ile yüzeysel su kaynaklarına boşaltılmaktadır. Kanalizasyon sisteminin olmadığı bölgelerde atık sular fosseptik çukurlarda toplanmaktadır. Bu fosseptik çukurlardan sızan suların yeraltısuyunu kirletmesi kaçınılmazdır. Farklı çalışmalarda, havzada yüzey ve yeraltısuyu akım yönünün Eğirdir Gölü'ne doğru olduğu tespit edilmiştir (Soyaslan, 2004; Şener, 2010; Şener, 2011). Bu durumda

havzada bulunan evsel atık sular yüzey ve yeraltıları vasıtasıyla Eğirdir Gölü'nü kirletecektir.

Yalvaç arıtma tesisi ilçe merkezinin batısında Sofular mahallesi civarında bulunmaktadır. Tesiste asıl arıtmanın yapıldığı bir adet ana havuz ve çökertme işlemlerinin gerçekleştiği iki adet havuz ve katı atık değerlendirme bölümü ile kontrol üniteleri bulunmaktadır (Şener, 2010). Yalvaç Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi: 2004 yılında kurulmuş biyolojik arıtma tesisi olup, 5000 m³/gün kapasitelidir (Anonim, 2019).

İnceleme alanı içerisinde Ayvalı yerleşim yerinde doğal arıtma tesisi bulunmaktadır. Bu tesisler kırsal kesimler için diğer arıtma tesislerine göre daha ekonomik ve uygulanabilir sistemler oldukları için tercih edilmektedir (Şener, 2010).

Katı atık depolama alanları

İnceleme alanı katı atık düzenli depolama tesisi bulunmamaktadır. Havzadaki yerleşim birimlerinde atıklar ayırmaksızın toplanmakta ve havza içerisindeki açık arazilere bırakılmaktadır. Yalvaç ilçesi ilçe merkezine 3 km uzaklıktaki Deliktaş-Hisar bölgesine, Gelendost ilçesi ise Bağlılı civarındaki açık araziye çöplerini dökmektedir. Diğer köy ve belediyeler de yerleşimlerine yakın alanlarda açık arazilere çöplerini bırakmaktadır (Şener, 2010). Havzada, Gelendost, Yalvaç ve Şarkıkaraağaç (GE-YA-ŞA) Belediyeler Birliğine ait Sücüllü Mevkiinde Katı Atık Entegre Düzenli Depolama Tesisi projesi bulunmaktadır.

Yalvaç deri organize sanayi

Havzada bulunan başlıca endüstriyel kirletici Yalvaç Deri Sanayii'dir. Tabakhanede bulunan işletmelere ait atık sular arıtılmadan Yalvaç Deresine deşarj edilmektedir. Eski tabakhanede bulunan bazı deri işletmeleri ise endüstriyel atıksu oluşturmayaacağı taahhüt edilerek Yalvaç Küçük Sanayi Sitesine taşınmıştır (Anonim, 2019).

Soğuk hava depoları

İnceleme alanında Gelendost ilçesinde yoğun olmak üzere çok sayıda soğuk hava depoları bulunmaktadır. Soğuk hava depoları kullandıkları amonyaklı suları zaman zaman çevredeki fosseptik, kanalizasyon yada yüzey sularına boşaltmaktadırlar. Bu durum da yüzey ve yeraltısuları için kirlilik kaynağıdır.

Tarımsal faaliyetler

Havzada bulunan yerleşim yerlerinde temel geçim kaynağının tarım olması nedeniyle en önemli yayılı kirletici kaynak tarımsal faaliyettir. Havzada meyvecilik başta olmak üzere tarla ürünleri ve sebze yetiştirilmektedir. Bu ürünlerin yetiştirilmesi sırasında yoğun miktarda gübre ve tarımsal mücadele ilaçları kullanılmaktadır. Bu ilaçların kullanımı ve ambalaj atıklarının yine doğaya atılması yüzey ve yeraltısuları için önemli kirlilik oluşturmaktadır.

4.5.5.2. Azot türevleri

Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan başlıca kirletici olan azot yeraltısuyunda çoğunlukla nitrat (NO_3) şeklinde bulunur. Azot sularda amonyum (NH_4), nitrit (NO_2), azot (N_2), azot oksit (N_2O) çözülmüş azot ve organik azot şeklinde de bulunabilmektedir (Uslu ve Türkman, 1987). Yeraltısuyunda nitratın başlıca kaynağı tarımsal faaliyetler olup magmatik ve tortul kayalardan da nitrat gelebilir. Sularda 5-10 mg/l'nin üzerinde NO_3 varlığı suyun antropojenik kökenli kirleticiler tarafından kirletildiğini göstermektedir. İçme suyu standartlarına göre (TS266, 2005; WHO, 2006, 2008, 2011) 50 mg/l NO_3 için limit değer olarak verilmiştir. İnceleme alanında yeraltısuyu örneklerinin nitrat içerikleri 0.73-40.63 mg/l arasında olup sınır değeri aşmamaktadır. Suların nitrit içerikleri <0.01 mg/l, amonyum içerikleri ise <0.06 mg/l olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. İnceleme alanında yeraltısularının ağır metal, azot türevleri ve F analiz sonuçları

Bölge	Örnek No	NO ₃ mg/l	NO ₂ mg/l	NH ₄ mg/l	F mg/l	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Mn µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l
Gelendost	YG-1*	3,86	0,01	0,06	0,07	6,9	10	50,7	2	12,3	2,03	0,9	27,9
Yakaköy	YG-2*	4,95	0,01	0,06	0,2	4,7	8	225,06	0,8	4,4	<0,05	0,3	5,4
Bağlılı	YG-3*	2,61	0,01	0,06	0,08	5,1	13	84,11	1	3,9	<0,05	0,6	7,4
Çetince	YG-4	5,13	0,01	0,06	0,17	6,9	11	177,37	0,6	0,5	1,72	<0,02	1
Kozluca	YG-5	2,1	0,01	0,06	0,03	6,9	5	154,3	0,7	0,7	0,5	<0,02	1,3
Dedeçam	YG-6	0,73	0,01	0,06	0,09	4,0	11	50,41	0,7	0,5	4,96	<0,02	0,9
Bağkonak-Sugözü kyn	YG-7	1,36	0,01	0,06	0,02	4,2	5	59,62	0,7	0,3	0,22	<0,02	0,7
Kuyucak	YG-8	2,37	0,01	0,06	0,03	3	5	18,7	0,7	2,2	<0,05	<0,02	7,8
Özbayat-Su çıkan kyn	YG-9	2,21	0,01	0,06	0,02	1,9	5	33,45	0,7	1,7	<0,05	<0,02	2,2
Yağcılar	YG-10*	41,3	0,01	0,06	3,5	4,3	34	185,75	1,3	3	0,13	0,3	7,7
Eğirler	YG-11*	6,93	0,01	0,06	0,63	6,8	35	208,72	1,7	3,8	0,33	<0,02	4
Madenli	YG-12*	8,65	0,01	0,06	0,4	2,7	43	85,99	6,3	2	0,31	<0,02	4,7
Tokmacık Kızılkaya kyn	YG-13	14,14	0,01	0,06	0,02	3,2	5	490,97	0,9	8	0,32	0,4	11,9
Çaltı	YG-14	7,32	0,01	0,06	0,09	5,1	43	280,12	3,3	10,8	0,32	0,4	17,2
Köke	YG-15	5,53	0,01	0,06	0,01	5,7	5	94,3	1,9	3,9	0,08	0,4	5,2
TS266, 2005		50	0.50	0.50	1.5	10	1000		50	2000	50	10	--
WHO, 2006, 2011		50	3	--	1.5	10	2400	700	50	2000	50	10	5000

4.5.5.3. Ağır metaller

Ağır metaller, geçiş elementleri veya iz elementler doğal sularda izlenen üçüncül elementlerdir. Bu elementler kaya-su etkileşimine bağlı olarak veya atıklar, tarımsal faaliyetler gibi antropojenik etkenlerle yeraltısularında bulunurlar. Minerallerde bulunan metaller normal olarak çözünmeyen bileşikler halinde olup canlı organizmalar açısından zararsızdır. Ancak, bunların çözünen türevleri, genellikle organizmalar için zehirlidirler. Ağır metallerin su içerisindeki varlığı suyun etkileşimde olduğu kayaç veya mineral bileşimi hakkında bilgi vermektedir. Ağır metallerin yüksek içerikleri içme suyu olarak kullanımda önemli sağlık problemlerinde neden olabilmektedir. Bu nedenle içme suyu standartlarında ağır metaller için limit değerler önerilmiştir. İnceleme alanında bulunan su kaynaklarının bazı ağır metal içerikleri Bureau Veritas (Acme-Kanada) laboratuvarında analizi yaptırılmıştır. Bu metallerden bir kısmı (As, B, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn) ve F aşağıda kısaca açıklanmış olup İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği (TS266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları ile karşılaştırılarak değerlendirilmektedir.

Arsenik (As): Arsenik elementi 200'den fazla mineral türünde bulunmaktadır. Arsenik, hidrotermal damarlarda Au, Ag, Cu, Co, Fe, Ni, gibi elementlerle, bazı uranyum damarlarında, Ni-Cu sülfid yataklarında, bakırlı şeyl ve kumtaşlarında ve fosfatlı kayalarda bulunabilmektedir. Yeraltısuyunda hakim olan inorganik As türleri, en toksik olan arsenat (AsO_4^{3-}) ve arsenittir (AsO_3^{3-}). Element arsenik suda çözünmezken inorganik arsenik tuzları, pH ve iyonik ortama bağlı olarak çözünebilmektedir. Sudaki, arsenit ve arsenat dengesi bu ortamın pH ve redoks potansiyeline bağlıdır (O'Day, 2006). Yeraltısularındaki As konsantrasyonları, havzadaki kayaların ayrışması, akifer içinde sediment ve su sütunu arasında iyonların emilmesi ve desorpsiyonu, yeraltısuyu kalma süresi, reaktif organik maddenin mevcudiyeti ve beslenme suyunun bileşimi ile ilişkili olarak değişmektedir (Mukherjee vd., 2009; Verma vd., 2016). Yeraltısularında As içeriği, volkanik kayalar ve sülfürlü minerallerin bulunduğu yerler dışında, ortalama 1-2 $\mu\text{g/l}$ 'dir (Şahinci, 1991). Ayrıca, As içeren tarımsal ilaçların

kullanılması toprakta ve infiltrasyon ile geçtiği yeraltısularında risk oluşturmaktadır.

TS266 (2005) ve WHO (2006, 2011) içme suyu standartlarında As için verilen limit değeri 10 µg/l'dir. İnceleme alanında yeraltısularının As konsantrasyonu 1.9-6.9 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.22) ve içme suyu sınır değerini aşmamaktadır.

Bor (B): Doğada, mineral ve kayalardaki bor içeriği değişkendir. Bor doğada Ca, Na ve Mg' un tuzları şeklinde bulunur. Magmatik ve metamorfik kayalarda B iz element veya bor silikatları olarak mevcuttur. Bor, yeraltı suyunda doğal kaynaklardan (kaya-su etkileşimi, jeotermal sular), yüzey sularında endüstriyel kirlenici olarak, sulamadan dönen suların yüzey akışları veya çürüyen bitki materyallerinin ürünü olarak bulunabilir (Uygan ve Çetin, 2004). Bor, sularda borik asit (H_3BO_3) şeklinde bulunmaktadır. Sıcaklığın yükselmesi ile boratların çözünürlüğü artar ve genel olarak sıcak suların bor içerikleri yüksektir. Sulama suyu olarak jeotermal suyun doğrudan kullanımı veya jeotermal suyun sulama suyuna karışması önemli çevre problemlerine neden olabilmektedir.

İçme suyu standartlarında bor için belirlenen limit değeri TS266 (2005) için 1000 µg/l, WHO (2011) için 2400 µg/l'dir. İnceleme alanındaki yeraltısularının Bor konsantrasyonları 13-43 µg/l arasında olup içme suyu limit değerlere uygundur (Çizelge 4.22).

Baryum (Ba): Baryum, ultrabazik ve tortul kayalarda ender olarak bulunmaktadır. Magmatik kayalarda Ba bulunmazken, metamorfik kayaların Ba oranı ise değişkendir. Ba, genellikle doğal sularda çok az bulunur (Şahinci, 1991). Ba için Türk içme suyu standartlarında sınır değeri önerilmemiştir. Ancak, Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) Ba elementi için içme suyu sınır değerini 700 µg/l olarak önermiştir. İnceleme alanındaki Ba değerleri 18.7-490.97 µg/l olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.22).

Krom (Cr): Doğal sulara çok az çözünebilen krom, asidik ve çok oksitleyici ortamlarda kromat iyonu şeklinde bulunabilmektedir (Şahinci, 1991). Oksitlenmiş ortamlarda Cr doğada daha çok +6 ve +3 değerliklerinde bulunmaktadır. Krom magmatik kayalarda ortalama 100 mg/l'ye kadar, şeyllerde 100 mg/l, kireçtaşlarında ise 10 mg/l, kumtaşlarında 35 mg/l ve mafik kayalarda ise ortalama 200 mg/l'ye kadar çıkabilmektedir. Krom, pH değeri düşük doğal sulara eser miktarda bulunabilir. Krom +6 tuzları kanserojen özelliktedir. +3 değerli krom ise daha az toksiktir.

Krom için TS266 (2005) ve WHO (2011) tarafından sınır değeri 0.05 mg/l (50 µg/l) olarak verilmiştir. İnceleme alanında yeraltısularının Cr içeriği 0.7-6.3 µg/l olarak belirlenmiştir ve standart değerlere uygundur (Çizelge 4.22).

Bakır (Cu): Bakır yerkabuğundaki kayalarda doğal bakır veya bakır içeren karbonat (azurit, malakit) ve sülfür (kalkopirit, kalkosit) mineralleri şeklinde bulunmaktadır (Goldschmidt, 1958). Bakır doğal su kaynaklarında genellikle düşük konsantrasyonlardadır. Eğer metal içeren alanlarla temas söz konusu ise suyun Cu içeriği artar. Cu minerallerinin çözünürlükleri düşük olduğundan sulara bulunan bakırın çok az bir kısmı doğal kökenlidir (Hem, 1985). Suda bulunan antropojenik kökenli Cr, tarım ilaçları, kaplama sanayii atıkları ve alg ile mücadelede rezervuara atılan bakır sülfattan kaynaklanır.

Cu elementi için içmesuyu sınır değeri TS266 (2005) ve WHO (2011)'de 2000 µg/l'da olarak belirlenmiştir. İnceleme alanında sulara tespit edilen Cu konsantrasyonu 0.3-12.3 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.22).

Mangan (Mn): Birçok magmatik ve metamorfik mineral, küçük bir bileşen olarak iki değerlikli manganer içerir. Mn, bazalt, olivin ile piroksen ve amfibolün önemli bir bileşenidir. Mangan bazik kayalarda 1.6×10^3 mg/l ve ultrabazik kayalarda 1.6×10^3 mg/l civarında bulunabilmektedir. Karbonat ve sülfat derişimi yüksek sulara (1000 mg/l) $MnHCO_3$ veya $MnSO_4$ bileşikleri izlenebilir. Yeraltı suyunun bileşenleri olarak Fe ve Mn nadiren antropojeniktir, daha çok yeraltı suyuna

suyun kaya ile doğal etkileşimleri yoluyla sokulur (Daughney, 2003). Yüksek Fe içeren sularda genel olarak yüksek Mn içeriklerine rastlanır.

TS266 (2005) içme suyu standartlarında Mn için sınır değeri 50 µg/l olarak belirlenmiştir. İnceleme alanında yeraltısularının Mn içeriği <0.05 -4.96 µg/l arasında değişmektedir.

Kurşun (Pb): Kurşun tortul kayalarda yaygın olarak bulunmaktadır. Kurşunun başlıca minerali galendir (PbS). Magmatik ve metamorfik kayalarda bulunan K-feldispat ve mika minerallerinin bozunması tortul kayalardaki Pb iyonunun ana kaynağıdır (Şahinci, 1991). Bununla birlikte, kurşun hidroksi karbonatların ve fosfatın düşük çözünürlüğü nedeniyle doğal hareketliliği düşüktür. Doğada kurşun kirliliği özellikle araçların egsoz gazlar, fabrika ve konutlarda yakılan kömürlerden kaynaklanabilmektedir (Şahinci, 1991). Kurşun su, hava ve toprak aracılığıyla, solunum sistemi ile veya besinlere karışmak suretiyle biyolojik sistemlere girmektedir. Ayrıca, kurşun içeren su borularının kullanımı ile de içme suyuna karışabilmektedir (Kahvecioğlu vd., 2004).

Kurşun için TS266 (2005) ve WHO (2011) içme suyu standartlarında verilen limit değeri 10 µg/l'dir. İnceleme alanı sularında Pb konsantrasyonu <0.02-0.9 µg/l arasındadır (Çizelge 4.22).

Çinko (Zn): Çinko, yerkabuğunda bakır veya nikel ile hemen hemen aynı miktarda bulunur ve bu nedenle oldukça yaygındır. Bununla birlikte, çinko sadece bir önemli oksidasyon durumuna, Zn⁺² sahiptir ve doğal sularda diğer iki metalden daha fazla çözünme eğilimindedir. Magmatik kayalarda ortalama 70 mg/l çinko bulunurken, ultrabazik ve bazik kayalarda daha yüksektir. Doğal sularda çinko çökmesi bakteriler tarafından sülfatların indirgenmesi ile gerçekleşmektedir (Şahinci, 1991). Çinko kirliliği antropojenik olarak tarımsal ilaçların (insektisit, fungusit) kullanımı, kömür-kül tozlarının yüzey sularına karışması, sülfidlerin yıkanması sonucu ortaya çıkan asit maden suları ve endüstriyel atıklar ile gerçekleşmektedir.

TS266'da Zn için sınır değeri verilmemiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) 2006 yılındaki standardında Zn için limit değeri 5000 µg/l olarak önerilmiştir. Fakat, 2011 yılı WHO standardında suların Zn içeriğine ait sınır değeri verilmemiştir. İnceleme alanında yeraltısularının Zn içeriği 1-27,9 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.22).

Flor (F): Flor en çok bilinen elektronegatif elementtir. Oldukça reaktiftir ve doğada element halinde bulunmaz, sadece sulu çözeltideki katı tuzlarda veya florür iyonlarında bulunur (Sreedevi vd., 2006). Yeraltısularında F kaynağı genel olarak kaya-su etkileşimidir. Yeraltısularındaki florürün yaygın doğal kaynakları, magmatik ve tortul kayalar ile ilişkili olarak bulunan kalsiyum florit, fluorapatit, amfiboller (örn., Hornblend, tremolit) ve silikatların ayrışma ürünü olan bazı mikalar (flogopit/biyotit)'dır (Datta vd., 1996; Çoban vd., 2001).

CaF₂ çoğunlukla granitik kayalar ve bazen de alkali bileşimde (siyenit, nefelin siyenitler) çökelen ve bazen ekonomik olarak işletilebilecek damarlar şeklinde bulunur ve yeraltısularından florürün başlıca mineralidir. Sedimanter kayalarda aksesuar mineraller olarak apatit bulunur ve florit de bazı kumtaşlarında çimento olarak görülür. Florürün antropojenik kaynakları ise, fosfatlı gübreler, kömür yanması, alüminyum çıkarılması ve çelik endüstrisi atıklarıdır (Kundu vd., 2001).

TS266 (2005) ve WHO (2011) içme suyu standartlarında F için verilen limit değeri 1.50 mg/l'dir. İnceleme alanındaki yeraltısularında F içeriği 0.01-3.5 mg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.22). F için içme suyu limit değeri Yağcılar köyünden alınan kuyu suyu (YG10) örneğinde aşılmıştır. Bu kuyuda alüvyon ve Göksöğüt formasyonu kesilmiştir. Kuyudaki F artışı Göksöğüt formasyonunu oluşturan kumtaşları ile ilişkili olabilir. Ayrıca, tarımsal faaliyet kaynaklı antropojenik etkenler de söz konusudur.

4.5. Sağlık Risk Değerlendirmesi

Günümüzde içme suyu yokluğu ve içme suyu kaynaklı sağlık problemleri küresel bir sorun haline gelmiştir. İnsan yaşamı sağlıklı içme suyu alımına bağlıdır (WHO, 2004). Yüzey ve yeraltı suyu dünyanın birçok yerinde temel içme suyu kaynakları olmasına rağmen, tuzdan arındırılmış deniz suyu, şişe suyu ve kaynak suyu özellikle su sıkıntısı çeken bölgelerde düzenli olarak kullanılmaktadır (Sarvestani ve Aghasi, 2019; Kim vd., 2015). İçme suyunda bulunabilecek mikrobiyolojik ve ağır metaller gibi toksik kirletici maddelerin varlığı insan sağlığı için önemli riskler oluşturmaktadır. İnsan sağlığı için risk değerlendirmesi, günümüz ve gelecekte kirlenmiş çevre ortamlarında (su, hava, toprak) kimyasal maddelere maruz kalabilecek insanlarda karşılaşılabilecek olumsuz sağlık etkilerini ve olasılığını tahmin etme sürecidir. (USEPA, 2013).

Risk değerlendirmesi, çeşitli kirletici maddelere maruz kalmaktan kaynaklı insan sağlığı üzerindeki olası riskleri belirleme ve ölçme çabasıdır. İnsanların maruz kaldığı kirleticiler (ağır metaller, kimyasallar vb.) için toksisite değerlendirilmesini ve potansiyel maruz kalma seviyelerinin tahmin edilmesini içerir (Kavcar vd., 2009; Davraz vd., 2016; Varol ve Davraz, 2016).

Maruziyet değerlendirme

İnsan sağlığı risk değerlendirmesinin bir adımı maruziyet değerlendirmesidir (Means, 1989; USEPA, 2001). Kirletici maddeler insan vücuduna yutma, inhalasyon (solunum) ve cilt teması (deri) yollarıyla girmektedir. Bu kirleticilerin etkili dozlarda alınması insan vücudunda kan dolaşımına ulaşarak vücut dokularını ve diğer organları etkilemesine neden olabilmektedir. İçme suları için yutma ve deri absorpsiyonu genel maruziyet durumlarıdır (USEPA, 2004; Wu vd., 2009; Li ve Zhang, 2010).

Bir bireyin günlük maruziyetini tahmin etmek için, USEPA (2005) tarafından *Yaşam Boyu Ortalama Günlük Doz* (ADD) maruziyet hesabı önerilmiştir (Varol ve Davraz, 2016; Kavcar vd., 2009). Yutma ve deri yoluyla günlük alım dozu (ADD)

aşağıdaki formüller ile hesaplanmaktadır (USEPA, 2004). Bu formüllerde kullanılan simgeler farklı çalışmalarda değişiklikler göstermektedir.

$$ADD_{oral} = (C_i \times L \times EF \times ED) / (BW \times AT) \quad (4.15)$$

$$ADD_{dermal} = (C_i \times SA \times K_p \times ET \times EF \times ED \times 10^{-3}) / (BW \times AT) \quad (4.16)$$

Formüllerde;

C_i : içme suyundaki (i) kirleticinin konsantrasyonu (mg/l), ED: maruziyet süresi (yıl), L: günlük su alım oranı (l/gün), EF: maruziyet sıklığı (gün/yıl), BW: vücut ağırlığı (kg), ET: maruziyet zamanı (saat/gün); AT: ortalama maruziyet zamanı (gün), SA: maruz kalan deri alanı (cm²), K_p : sudaki dermal geçirimsizlik katsayısı (cm/saat)'dır. Hesaplamalarda, ED değeri kanserojen olmayan risk için 30 yıl, kanserojen risk için 70 yıl alınır. AT değeri ise kanserojen olmayan risk için 30 yıl x 365 gün/yıl, kanserojen risk için 70 yıl x 365 gün/yıl kabul edilir.

İçmesuyu ve dermal (banyo vb. deri absorpsiyonu) maruziyeti için ortalama günlük dozun (ADD) hesaplanmasında USEPA (2001) tarafından önerilen parametreler Çizelge 4.23'de verilmiştir.

Çizelge 4.23. İçme suyu ve dermal kullanım için varsayılan değerler (USEPA, 2001)

Parametreler	Yetişkin	Çocuk
L (l/gün)	2	1
EF (gün/yıl)	365-oral 350-dermal	365-oral 350-dermal
ED (yıl)	30	6
BW (kg)	70	15
AT (gün)	10950	2190
SA (cm ²)	18000	6600
ET (s/gün)	2.6	1

Kanserojen olmayan risk değerlendirmesi

Birden fazla kimyasalın yol açtığı kanserojen olmayan etkilerin değerlendirilmesi için USEPA'nın (1986) "*Kimyasal Karışımın Sağlık Risk Değerlendirmesi Kılavuzları*"na dayanarak tehlike indeksi (HI) yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, birkaç kimyasal maddenin eş zamanlı olarak alt eşik değerde alımı ile sağlık açısından olumsuz sonuçlar ile karşılaşılabileceğini varsaymaktadır.

Potansiyel kanserojen olmayan risk, kirletici maddenin vücuda alınma yolu, maruziyet süresi, derecesi ve sıklığı dikkate alınarak hesaplanan ortalama günlük doz (ADD) değeri ve referans doz (RfD) değeri kullanılarak aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Tehlike katsayısı (HQ)} = \text{ADD} / \text{RfD} \quad (4.17)$$

Birden fazla ağır metal yoluyla insan sağlığı için kanserojen olmayan potansiyel risk hesabı, bireysel ağır metal için hesaplanan tüm HQ'ların toplamı olan tehlike indeksi (HI) ile de değerlendirilebilir. HQ veya HI > 1 değerleri kirleticilerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etki edeceğini göstermektedir (USEPA 2001; USEPA, 2004). Bu değerler 1'e ne kadar yakınsa kanserojen olmayan risk olasılığı oldukça yüksektir (Qaiyum vd., 2011; Wei vd., 2015).

Kanserojen risk değerlendirilmesi

Kanserojen risk, bireyin yaşamı boyunca kanserojen tehlikelere maruziyeti ile herhangi bir kanser türü gelişme olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Yaşamboyu içilen suda bulunabilecek kirleticilerin kanser riski oluşturup oluşturmayacağı ortalama günlük doz (ADD; mg/kg d) ve eğim faktörü (SF; kg d/mg) değerleri kullanılarak aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Kanser risk} = \text{ADD} \times \text{SF} \quad (4.18)$$

Formül ile hesaplanan kanser riski birimsizdir ve içme suyunda kansere neden olan kirletici riski tanımlamaktadır. Eğim faktörü (SF) potansiyel kanserojen risklerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir katsayıdır (USEPA, 1989). SF ve RfD değerleri EPA Entegre Risk Bilgi Sistemi (IRIS, 2005) çevrimiçi veritabanı ve EPA Sağlık Etkileri Değerlendirme özet tablolarından (HEAST) temin edilebilmektedir (USEPA, 2013). Kabul edilebilir veya tolere edilebilir kanser risk değeri 10^{-6} ile 10^{-4} arasında kabul edilmektedir (Rodriguez-Proteau ve Grant, 2005; Li ve Zhang, 2010).

İnceleme alanında sadece bir örnekte (YG-10) F elementi için içmesuyu sınır değeri aşılmıştır. YG-10 ve YG-14 örneklerinin nitrat içerikleri 10 mg/l'nin üzerinde olup antropojenik etkiyi yansıtmaktadır. Bu çalışmada inceleme alanından alınan örneklerde yapılan kirlilik parametreleri dikkate alındığında sağlık riski oluşturabilecek As, NO₃ ve F parametreleri için sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır. Kanser risk ve kanserojen risk hesaplamaları için kullanılan parametrelere ait USEPA (2004), IRIS (2005) ve USEPA (2013) tarafından önerilen değerler Çizelge 4.24'de verilmiştir.

As, NO₃ ve F parametreleri için yetişkin ve çocuk bireyler dikkate alınarak hesaplanan, oral (yutma) ve dermal (deri) yolla alım ile gerçekleşebilecek tehlike katsayıları (HQ), tehlike endeksi (HI) ve kanser riski değerleri Çizelge 4.25 ve Çizelge 4.26'da verilmiştir. Söz konusu parametrelerin neden olabileceği sağlık riskleri tartışılmıştır.

Çizelge 4.24. Bazı elementlerin Kp, RfD, SF değerleri (IRIS, 2005; USEPA, 2013)

	Kp (cm/h)	RfD-oral (mg/kg/d)	RfD-dermal (mg/kg/d)	SF-oral (kg d/mg)	SF-dermal (kg d/mg)
As	0.001	3E-04	1.23E-04	1.5	3.66
F	0.001	0.06	0.06		
NO ₃		1.6	0.8		

Çizelge 4.25. Su örneklerinin HQ, HI ve Kanser risk değerleri (Yetişkin)

No	Yetişkin-HQ _{oral}					Yetişkin-HQ _{dermal}				
	As	F	NO ₃	HI	As-Kan.R.	As	F	NO ₃	HI	As-Kan.R.
YG-1	6.57E-01	3.33E-02	6.89E-02	7.59E-01	2.96E-04	1.03E-04	7.48E-04	3.09E-03	3.94E-03	1.39E-07
YG-2	4.48E-01	9.52E-02	8.84E-02	6.31E-01	2.01E-04	7.00E-05	2.14E-03	3.97E-03	6.17E-03	9.47E-08
YG-3	4.86E-01	3.81E-02	4.66E-02	5.70E-01	2.19E-04	7.59E-05	8.55E-04	2.09E-03	3.02E-03	1.03E-07
YG-4	6.57E-01	8.10E-02	9.16E-02	8.30E-01	2.96E-04	1.03E-04	1.82E-03	4.11E-03	6.03E-03	1.39E-07
YG-5	4.10E-01	1.43E-02	3.75E-02	4.61E-01	1.84E-04	6.40E-05	3.21E-04	1.68E-03	2.07E-03	8.67E-08
YG-6	3.81E-01	4.29E-02	1.30E-02	4.37E-01	1.71E-04	5.96E-05	9.62E-04	5.85E-04	1.61E-03	8.06E-08
YG-7	4.00E-01	9.52E-03	2.43E-02	4.34E-01	1.80E-04	6.25E-05	2.14E-04	1.09E-03	1.37E-03	8.46E-08
YG-8	2.86E-01	1.43E-02	4.23E-02	3.42E-01	1.29E-04	4.47E-05	3.21E-04	1.90E-03	2.26E-03	6.05E-08
YG-9	1.81E-01	9.52E-03	3.95E-02	2.30E-01	8.14E-05	2.83E-05	2.14E-04	1.77E-03	2.01E-03	3.83E-08
YG-10	4.10E-01	1.67E+00	7.38E-01	2.81E+00	1.84E-04	6.40E-05	3.74E-02	3.31E-02	7.06E-02	8.67E-08
YG-11	6.48E-01	3.00E-01	1.24E-01	1.07E+00	2.91E-04	1.01E-04	6.73E-03	5.55E-03	1.24E-02	1.37E-07
YG-12	2.57E-01	1.90E-01	1.54E-01	6.02E-01	1.16E-04	4.02E-05	4.27E-03	6.93E-03	1.12E-02	5.44E-08
YG-13	3.05E-01	9.52E-03	2.53E-01	5.67E-01	1.37E-04	4.77E-05	2.14E-04	1.13E-02	1.16E-02	6.45E-08
YG-14	4.86E-01	4.29E-02	1.31E-01	6.59E-01	2.19E-04	7.59E-05	9.62E-04	5.87E-03	6.90E-03	1.03E-07
YG-15	5.43E-01	4.76E-03	9.88E-02	6.46E-01	2.44E-04	8.49E-05	1.07E-04	4.43E-03	4.62E-03	1.15E-07

Çizelge 4.26. Su örneklerinin HQ, HI ve Kanser risk değerleri (Çocuk)

No	Çocuk-HQ _{oral}					Çocuk-HQ _{dermal}				
	As	F	NO ₃	HI	As-Kan.R.	As	F	NO ₃	HI	As-Kan.R.
YG-1	3.07E-01	1.56E-02	3.22E-02	3.54E-01	6.91E-04	2.37E-02	4.92E-04	2.04E-03	2.62E-02	1.07E-05
YG-2	2.09E-01	8.89E-03	4.13E-02	2.59E-01	4.71E-04	1.61E-02	1.41E-03	2.61E-03	2.01E-02	7.27E-06
YG-3	2.27E-01	3.56E-03	2.18E-02	2.52E-01	5.11E-04	1.75E-02	5.63E-04	1.38E-03	1.94E-02	7.89E-06
YG-4	3.07E-01	7.56E-03	4.28E-02	3.57E-01	6.91E-04	2.37E-02	1.20E-03	2.71E-03	2.76E-02	1.07E-05
YG-5	1.91E-01	1.33E-03	1.75E-02	2.10E-01	4.31E-04	1.47E-02	2.11E-04	1.11E-03	1.61E-02	6.65E-06
YG-6	1.78E-01	4.00E-03	6.08E-03	1.88E-01	4.01E-04	1.37E-02	6.33E-04	3.85E-04	1.47E-02	6.19E-06
YG-7	1.87E-01	8.89E-04	1.13E-02	1.99E-01	4.21E-04	1.44E-02	1.41E-04	7.17E-04	1.53E-02	6.50E-06
YG-8	1.33E-01	1.33E-03	1.98E-02	1.54E-01	3.01E-04	1.03E-02	2.11E-04	1.25E-03	1.18E-02	4.64E-06
YG-9	8.44E-02	8.89E-04	1.84E-02	1.04E-01	1.90E-04	6.52E-03	1.41E-04	1.17E-03	7.82E-03	2.94E-06
YG-10	1.91E-01	1.56E-01	3.44E-01	6.91E-01	4.31E-04	1.47E-02	2.46E-02	2.18E-02	6.11E-02	6.65E-06
YG-11	3.02E-01	2.80E-02	5.78E-02	3.88E-01	6.81E-04	2.33E-02	4.43E-03	3.65E-03	3.14E-02	1.05E-05
YG-12	1.20E-01	1.78E-02	7.21E-02	2.10E-01	2.71E-04	9.26E-03	2.81E-03	4.56E-03	1.66E-02	4.18E-06
YG-13	1.42E-01	8.89E-04	1.18E-01	2.61E-01	3.21E-04	1.10E-02	1.41E-04	7.46E-03	1.86E-02	4.95E-06
YG-14	2.27E-01	4.00E-03	6.10E-02	2.92E-01	5.11E-04	1.75E-02	6.33E-04	3.86E-03	2.20E-02	7.89E-06
YG-15	2.53E-01	4.44E-04	4.61E-02	3.00E-01	5.71E-04	1.96E-02	7.03E-05	2.92E-03	2.25E-02	8.82E-06

Yetişkin

İçme suyu olarak kullanımda As ve NO₃ parametreleri için hesaplanan tehlike katsayısı (HQ) değerlerinin tamamı 1'den küçüktür. Bu durum As ve NO₃ parametreleri açısından içme suyu olarak kullanımda su kaynaklarının olumsuz etki yaratmayacağını göstermektedir. F içeriği açısından ise Yağcılar köyü kuyu suyundan alınan rneğin (YG-10) HQ değerinin 1'den büyük olduğu içme suyu olarak kullanımda sağlık riski oluşturabileceği görülmektedir. Tehlike indisi (HI) değerleri ise YG-10 ve YG-11 (Eğirler köyü kuyu suyu) rnekleri hariç 1'den küçüktür. YG-10 ve YG-11 rneklelerinin içme suyu olarak kullanımda sağlık riski oluşturabileceği tespit edilmiştir.

Yetişkinler için hesaplanan kanser riski değerlerinin 1.29×10^{-4} ile 8.19×10^{-5} arasında değiştiği görülmektedir (izelge 4.25). İnceleme alanındaki suların kanser riski değerleri kabul edilebilir değer olan 10^{-6} ile 10^{-4} arasında olup bu suların yaşam boyu içme suyu olarak kullanımında kanser riski oluşturmayacağı söylenebilir.

Su kaynaklarının kullanımı ile deri yoluyla maruziyete bağlı olarak As, NO₃, F parametreleri için hesaplanan tehlike katsayıları (HQ_{dermal}) ve toplam tehlike indeksi (HI) değerleri 1'den küçüktür (izelge 4.25). Bu parametrelerin deri yoluyla vücuda alımında riskin olmadığını belirtmektedir. Dermal yolla hesaplanan kanser risk değerlerinin tamamı ise kabul edilebilir değerlerin üzerindedir. Bu durum, As elementi için dermal yolla maruziyette kanser riski oluşturabileceğini göstermektedir.

ocuk

Çocuklar için içme suyu olarak kullanımda As, F ve NO₃ parametreleri için hesaplanan tehlike katsayısı (HQ_{oral}) ve tehlike indisi değerlerinin (HI_{oral}) 1'den küçük olduğu ve içme suyu olarak kullanımda olumsuz etki yaratmayacağı görülmektedir. Yine benzer şekilde, deri yoluyla maruziyete bağlı olarak As, NO₃ ve F parametreleri için hesaplanan tehlike katsayıları (HQ_{dermal}) ve toplam tehlike indeksi (HI) değerleri 1'den küçüktür (izelge 4.26). Bu parametrelerin deri yoluyla vücuda alımında da riskin olmadığı söylenebilir.

As elementi için, içme suyu olarak kullanımda (oral) ve dermal alınımda hesaplanan kanser risk değerleri de 10^{-6} ile 10^{-4} olan tolere edilebilir risk değer aralığı içerisinde (Çizelge 4.26). Bu durum, içme suyu ve deri yoluyla maruziyette çocuklar açısından uzun süreli kullanımda kanser riski olmadığını göstermektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye'nin güneybatısında Göller Bölgesi içerisinde Türkiye'nin ikinci büyük tatlı su gölü olan Eğirdir Gölü drenaj alanı içerisinde oldukça geniş bir alanı kapsayan Yalvaç-Gelendost Havzası için hidroloji ve hidrojeoloji özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca, havzada içme suyu olarak kullanılan su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiş ve sağlık risk değerlendirmeleri yapılmıştır.

- İnceleme alanında Anamas-Akseki Otoktonu ve Beyşehir-Hoyran-Hadim naplarına ait birimler ile Neootokton örtü kayaları yüzeylemektedir. Anamas-Akseki Otoktonu bölgede geniş alanlarda Sultandağ Birimi ve Çay Birimine ait formasyonlarla temsil edilmektedir. Bölgede Sultandağı birimine ait Gökoluk formasyonu, Hüdei Kuvarsiti, Çaltepe, Seydişehir, Ergenli, Kurucaova, Hacılabaz ve Gölgeli formasyonları gözlenmektedir. Çay birimine ait ise sadece Tersiyer yaşlı Değirmendere formasyonu yüzeylemektedir. İnceleme alanında Beyşehir-Hoyran-Hadim napları Marmaris Ofiyolit napına ait Marmaris Peridotiti, Domuzdağ napına ait Dutdere ve Bakırdağ formasyonları ile temsil edilmektedir. Neootokton Örtü Kayaları ise Bağkonak, Yarıkkaya, Göksöğüt ve Kepeztepe formasyonları ile yamaç molozu ve alüvyondur.
- İnceleme alanında tutturulmamış kum, çakıl, kil ve siltten oluşan Kuvaterner birimler olan alüvyon, alüvyon yelpazesi, eski alüvyon, yamaç molozu ile gevşek tutturulmuş kumtaşı, çakıltası ve kireçtaşlarından oluşan Pliyo-Kuvaterner yaşlı Kepeztepe formasyonu Geçirimli Birim (Gç-1) olarak ayırtlanmıştır. İnceleme alanında kireçtaşlarından oluşan Çaltepe, Ergenli, Kurucaova, Hacılabaz, Dutdere, Bakırdağ formasyonları

ile Yarıkkaya formasyonunun kireçtaşı üyesi Geçirimli Birim (GÇ-2) olarak gruplandırılmıştır. Çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kiltası, çamurtaşı ile gölsel kireçtaşlarından oluşan Göksöğüt formasyonu Yarı Geçirimli Birim (Gy) olarak tanımlanmıştır. Benzer litolojilerden oluşan Gölge, Bağkonak ve Yarıkkaya formasyonları ise Az Geçirimli Birim (Ga) olarak adlandırılmıştır. Düşük dereceli metamorfizma geçirmiş Gökölük formasyonu; genel olarak şist, şeyl, metaşeyl, metakumtaşı ve metakil araldanmasından oluşan Seydişehir formasyonu; şist, kuvarşşist, serisit, metakiltası ve metakumtaşlarından oluşan Değirmendere formasyonu ile Marmaris peridotiti, Düzkaya volkanit üyesi ve Hüdai kuvarsiti Geçirimsiz Birim (Gz) olarak sınıflandırılmıştır.

- İnceleme alanı ve çevresinde Yalvaç, Gelendost, Bağkonak, Kumdanlı, Şarkikaraağaç, Akşehir, Çay yerleşim merkezlerinde gözlem istasyonları bulunmaktadır. Bu istasyonlardan uzun dönem yağış verisi bulunan Yalvaç, Gelendost, Şarkikaraağaç, Akşehir ve Çay meteoroloji istasyonu verileri kullanılarak eklenik sapma grafiği hazırlanmıştır. Bu istasyonlarda benzer yıl aralıklarında benzer yağış trendlerinin egemen olduğu tespit edilmiştir. Havzaya düşen ortalama yağış değeri Eş Yağış Eğrileri (İzohyet) yöntemi ile 490 mm olarak hesaplanmıştır.
- İnceleme alanında önemli su kaynaklarından olan Bağkonak Sugözü, Özbayat Suçikan, Tokmacık Kızılkaya, Çetince, Kozluçay, Dedeçam, Kuyucak, Çaltı ve Köke köylerinde bulunan kaynak suları ile Gelendost, Yaka, Bağlılı, Yağcılar, Eğirler ve Madenli yerleşim yerlerinde içme suyu olarak kullanılan kuyu sularında örnekleri Ekim-2019 döneminde alınarak hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiş su kimyasını denetleyen hidrojeokimyasal süreçler tartışılmıştır. Suların hidrojeokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesinde AquaChem 2014.2 yazılım programı kullanılmıştır.
- İnceleme alanında kaynak ve kuyu sularından alınan örneklerin Na⁺ içerikleri 1.49 – 27.85 mg/l arasında değişmekte olup yüksek sodyum

içerikleri kuyu sularından elde edilmiştir. Kuyu sularındaki Na^+ artışı Göksöğüt ve Bağkonak formasyonları ile ilişkilidir. Suların Ca^{+2} içerikleri kaynak sularında 24.56-99.34 mg/l, kuyu sularında ise 44.96-124.50 mg/l değerleri arasında değişmektedir. Suların Mg^{+2} içerikleri kaynak sularında 5.76-28.86 mg/l, kuyu sularında ise 17.29-42.16 mg/l değerleri arasındadır. Mg^{+2} artışı Çetince, Çaltı ve Madenli köyleri kaynak ve kuyu sularında dolomitik kireçtaşı düzeyleri içeren Kurucaova formasyonu ile ilişkilidir. K içerikleri ise 0.22-2.22 mg/l arasında değişmektedir. İnceleme alanındaki yeraltısularında CO_3^{-2} içeriği tespit edilememiştir. Baskın iyon HCO_3^- 'dir. Bölgede kaynak ve kuyu sularının HCO_3^- içeriği 158.6-445.3 mg/l arasında değişmektedir. Kuyu suları kaynak sularına göre daha yüksek HCO_3^- içeriğine sahiptir. İnceleme alanında suların SO_4 içeriği kaynak sularında 3.11-24.51 mg/l, kuyu sularında 4.93-40.63 mg/l arasında, Cl iyonu ise kaynak sularında 0.64-5.47 mg/l, kuyu sularında ise 1.30-27.20 mg/l arasında değişmektedir.

- Yeraltısularında bulunan majör iyonların içeriği akifer sistemde gerçekleşen hidrojeokimyasal süreçlere bağlıdır. Bu çalışmada, inceleme alanında yeraltısularının kimyasını denetleyen hidrojeokimyasal süreçler farklı grafik ve hesaplamalar ile incelenmiştir. İnceleme alanından alınan su örnekleri Gibbs diyagramı üzerinde '**Kayaç Baskın**' bölgede bulunmaktadır. Bu durum, inceleme alanında yeraltısuyu kimyasını denetleyen temel faktörün kaya-su etkileşimi olduğunu göstermektedir.
- İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örnekleri $(\text{Ca}+\text{Mg})-(\text{HCO}_3+\text{SO}_4)$ dağılım grafiği üzerinde gösterilmiştir. Örneklerin büyük bir çoğunluğu 1:1 denge çizgisinin yakınında ve altında bulunmaktadır. Bu durum silikat ayrışmasının baskın olduğunu göstermektedir. Silikat ayrışması albitin kaolinite dönüşmesi ile temsil edilebilir. Bu denklemde HCO_3 artışı gerçekleşir. İnceleme alanında yeraltısuyu örneklerinin $\text{HCO}_3/\text{SiO}_2$ oranı 5'in altındadır ve akifer birimlerde silikat ayrışmasının majör ayrışma süreci olduğunu desteklemektedir. İnceleme alanında alınan örneklerin $\text{Ca}+\text{Mg}/\text{HCO}_3$ oranı beş adet örnek hariç 1'den daha düşük değerlere

sahiptir. Bu durum Ca, Mg ve yüksek HCO_3 kaynağının karbonat olmayan kaynaklardan türetilmiş olduğu ve silikat ayrışmasının baskın olduğunu göstermektedir. İnceleme alanında yeraltısularının % 33'ünün Ca/Mg oranları 2'den büyük olup yeraltısuyuna Ca iyonlarını sağlayan ikincil prosesin silikat ayrışması olduğunu göstermektedir. Ancak, inceleme alanında kalsit ve dolomit çözünürlüğünün baskın olduğu görülmektedir.

- Yeraltısuyunun dolaşımı boyunca etkileşimde olduğu kayaçlar ile su arasındaki iyon değişimi su kimyasını kontrol eden önemli faktörlerdir. Yeraltısuyu ve akifer ortam arasındaki iyon alışverişi Kloroalkalin indeksi (CAI-I, CAI-II) değerleri ile tanımlanmaktadır. İnceleme alanında su örneklerinin hesaplanan CAI-I ve CAI-II değerleri genel olarak negatiftir. Bu durum bölgede '**normal iyon değişimi**'nin baskın olduğunu göstermektedir.
- İnceleme alanında su örneklerine ait 9 parametre için korelasyon analizi Aquachem 2014.2 programı kullanılarak yapılmıştır. Su örneklerinin Elektriksel iletkenlik değeri ile Ca, K ve HCO_3 içerikleri arasında güçlü pozitif korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, HCO_3 ile Ca ve K iyonları arasında güçlü pozitif korelasyon, Na-Cl iyonları arasında güçlü pozitif korelasyon bulunmaktadır. HCO_3 ve K iyonları arasındaki güçlü pozitif korelasyon, suların kimyasal yapısını denetleyen unsurların silikat ayrışması ile ilişkili olduğunun göstermektedir.
- İnceleme alanında su örneklerinin Doygunluk indeksi (SI) değerleri PHREEQC jeokimyasal bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır. Örneklerinin tamamında anhidrit, jips ve halit mineralleri doygunluk altındadır. Bu durum Na, Cl ve SO_4 iyonlarının rezervuarda çözünürlüğünün hala devam ettiğini göstermektedir. Florit minerali de bir örnek (YG10) hariç doygunluk altındadır. Bu örnekteki F iyonu artışının kaynak suyunun boşaldığı Seydişehir formasyonu ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Su örneklerinin %46'sı aragonit mineralinde doygunudur. Kalsit (SI_k) ve dolomit (SI_d) doygunluk indeksleri grafiği,

yeraltısuyu örneklerinin çoğunun dolomit ve kalsite göre aşırı doygun olduğunu göstermektedir.

- İnceleme alanında yeraltısularının sıcaklıkları 12.6-19.6 °C arasında, kaynak sularının EC değeri 230-420 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve kuyu sularının EC değeri 310-660 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. İnceleme alanında su kaynaklarının pH değeri 7.59-8.89 arasında olup “*Bazik karakterli*” olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanında yeraltısularının sertliği kaynak sularında 11.51-27.15 Fr^0 , kuyu sularında ise 12.7-17.6 Fr^0 arasında değişmektedir. İnceleme alanında sular sertlik derecesine göre **Yumuşak-Az sert** arasında sınıflandırılmaktadır.
- İnceleme alanındaki sular Schoeller, Piper ve Durov diyagramları ile TDS değerlerine göre sınıflandırılmıştır. Schoeller (1955) sınıflamasına göre ‘*Olağan karbonatlı sular*’, ‘*Olağan klorürlü sular*’ ve ‘*Olağan sülfatlı sular*’ sınıfında yer almaktadır. Piper diyagramına göre yeraltısularının büyük bir çoğunluğu Ca-Mg-HCO₃’lı sular fasiyesinde olduğu tespit edilmiştir. YG4, YG12 ve YG14 nolu örnekler Mg-Ca-HCO₃’lı su sınıfında, YG10 ve YG13 nolu örnekler Ca-HCO₃’lı sular sınıfındadır. Madenli (YG12) ve Çaltı (YG14) örneklerindeki Mg artışı dolomitik kireçtaşlarından oluşan Kurucaova formasyonu ile kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Çetince (YG4) kaynak suyundaki Mg artışı ise çakıltası, kumtaşı, kıltaşı ve marn birimlerinden oluşan Göksöğüt formasyonu ile ilişkilidir. Durov diyagramına göre, yeraltısuyu örneklerinin Ca ve HCO₃ iyonlarının baskın olduğu ve akifer ortamın kireçtaşı ve kumtaşı gibi kayalar olabileceği tespit edilmiştir. İnceleme alanında yeraltısularının TDS değeri 100-330 mg/l arasında değişmektedir ve sınıflamaya göre **Tatlı Su** sınıfında yer almaktadır.
- İçme suyu olarak kullanımın değerlendirilmesi için suların kimyasal özellikleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği Türk İçme Suyu (TS266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2006, 2011) standartları ile karşılaştırılmış ve bütün su örneklerinin genel olarak fiziksel özellikleri ile

anyon-kasyon içeriklerinin sınır değerleri aşmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, inceleme alanında suların içme suyu olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek için H. Schoeller içilebilirlik diyagramı da kullanılmıştır. Yeraltısularının genel olarak **‘İyi- çok iyi kaliteli sular’** sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Elektriksel iletkenlik ve sertlik parametreleri açısından **“iyi su kaliteli sular”** sınıfındadır.

- İnceleme alanında yeraltısularının sulama suyu amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), sodyum yüzdesi (%Na), Artıksal sodyum karbonat (RSC), Artıksal sodyum bikarbonat (RSBC), Geçirgenlik indeksi (PI), Magnezyum Tehlikesi (MT) ve Kelly oranı (KR) değerleri kullanılmıştır. ABD tuzluluk diyagramına göre YG-7 ve YG-9 nolu örnekler hariç **‘C₂S₁’** (az sodyumlu ve orta tuzlulukta sular) sınıfında yer almaktadır. YG-7 ve YG-9 nolu örnekler **‘C₁S₁’** (az sodyumlu ve az tuzlu sular) sınıfında bulunmaktadır. Wilcox diyagramına göre ise **‘çok iyi kullanılabilir sular’** sınıfındadır. İnceleme alanında yeraltısularının SAR değeri 0.05-0.67 arasında değişmektedir ve **‘çok iyi özellikte sulama suyu’** sınıfındadır.
- İnceleme alanında YG1, YG7, YG9, YG10 ve YG12 örnekleri dışında tüm örneklerin RSC değerleri pozitifdir. Bu durumda inceleme alanında yeraltısularında sodyum zararı oluşturabilecek potansiyel CO₃ ve HCO₃ iyonu varlığını göstermektedir. Ayrıca, RSC değerine göre yapılan sınıflamada ise sular yeraltısuları **“çok iyi kaliteye sahip I. Sınıf sular”** sınıfındadır. Suların RSCB değeri 0.54-2.68 mek/l arasında değişmektedir. Sular RSBC değerine göre sulama için uygun ve düşük alkaliniteli sular sınıfındadır. Suların Geçirgenlik İndisi (PI) değeri % 39.77-75.88 arasında değişmektedir ve genel olarak II. sınıf suları temsil etmekte olup iyi sulama sularıdır. Yeraltısularının Magnezyum tehlikesi (MT) değerleri %21.52 ile 50.64 arasında değişmektedir. YG12 ve YG14 örnekleri dışındaki bütün su örnekleri MT değeri açısından sulama suyu olarak

kullanıma elverişlidir. Ayrıca, suların KR değerleri 0.02-0.19 arasında olup sulama suyu için uygun olduğu tespit edilmiştir.

- İnceleme alanında yeraltısuyunun kirlilik analizleri de değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler için azot türevleri ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Örneklerinin nitrat içerikleri 0.73-40.63 mg/l arasında olup sınır değeri aşmamaktadır. Suların nitrit içerikleri <0.01 mg/l, amonyum içerikleri ise <0.06 mg/l olarak belirlenmiştir ve limit değerler içerisinde. İnceleme alanında suların As, B, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn ve F içerikleri analiz edilmiştir. F elementi için YG-10 örneği dışında bütün su örneklerinin ağır metal ve F içeriklerinin TS266 (2005) ve WHO (2006, 2011) içme suyu standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir.
- İnceleme alanından alınan örneklerde yapılan kirlilik parametreleri dikkate alındığında sağlık riski oluşturabilecek As, NO₃ ve F parametreleri için sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır. Bu değerlendirmelerde tehlike katsayıları (HQ), tehlike endeksi (HI) ve kanser riski değerleri yetişkin ve çocuk bireyler dikkate alınarak oral ve dermal yolla alım için hesaplanmıştır. Yetişkin bireyler için, YG-10 ve YG-11 örneklerinin içme suyu olarak kullanımda sağlık riski oluşturabileceği tespit edilmiştir. Dermal yolla hesaplanan kanser risk değerlerinin tamamı ise kabul edilebilir değerlerin üzerindedir. Bu durum, As elementi için dermal yolla maruziyette kanser riski oluşturabileceğini göstermektedir.

Çocuk bireylerde As, F ve NO₃ parametreleri için içme suyu ve dermal yolla kullanımda hesaplanan tehlike katsayısı (HQ_{oral}), tehlike indisi değerlerinin (HI_{oral}) ve kanser risk değerleri belirlenen limit değerlerde olup risk oluşturmamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abdüsselamoğlu, Ş., 1958. Sultandağı'nın 1/100.000 ölçekli jeolojik leveleri hakkında rapor: M.T.A. Gen. Müd. Derleme Rapor No. 2669.
- Aghazadeh, N., Mogaddam, A., 2011. Investigation of Hydrochemical Characteristics of Groundwater in the Harzandat Aquifer, Northwest of Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176, 183–195
- AKDENİZGEP, 2016. Akdeniz Gelişim Projesi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 322 s
- Anonim, 2019. Isparta İli 2018 Yılı Çevre Durum Raporu, Isparta Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 95 s
- Arıkan, A., 2007. İkizce (Haymana-Ankara) ve Çevresindeki Yeraltı Sularının Kimyası Ve Bazı Kirlilik Parametrelerinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi, 97 sayfa, Ankara.
- Azaza, F.H., Ketata, M., Bouhlila, R., Gueddari, M., Riberio, L., 2011. Hydrogeochemical characteristics and assessment of drinking water quality in Zeuss-Koutine aquifer, southeastern Tunisia. *Environmental Monitoring Assessment*, 174, 283–298
- Back, W., 1966. Hydrochemical Facies and Ground-Water Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain, 498-A, 1-42.
- Balcı, V., 2011. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Afyon-L25 Paftası, No:162, Ankara
- Blumenthal, M., 1947. Seydişeyir-Beyşehir Hinterlandındaki Toros Dağları'nın Jeolojisi: M.T.A. Enst. Yayın No:2, 242 s.
- Boray, A., Şaroğlu, F., Emre, Ö., 1985. Isparta Büklümünün Kuzey Kesiminde Doğu-Batı Daralma için Bazı Veriler, *Jeoloji Mühendisliği*, 23, 9-20.
- Brunn, J.H., Dumont, J.F., Graciansky, P.C., Gutnic, M., Juteau, T., Marcoux, J., Monod, O.ve Poisson, A., 1971. Outline of the Geology of the Western Taurids Campbell, A.S., ed., *Geology and History of Turkey*, Pet. Expl. Soc. Libya, Tripoli, 225-255.
- Chebbah, M., Allia, Z., 2015. Geochemistry and Hydrogeochemical Process of Groundwater in the Souf Valley of Low Septentriaonal Sahara, Algeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 9(3), 261-273.
- Çoban, H., Caran, Ş., Görmüş, M., 2001. Origin of fluoride within the Afyon-Isparta volcanic district, SW Turkey: is fluormica the key? In: Cidu (ed) *Water-rock interaction*. Swets & Zeitlinger, Lisse (90 2651 824 2)

- Datta, P.S., Deb, D.L., Tyagi, S.K., 1996. Stable isotope (^{18}O) investigations on the processes controlling fluoride contamination of groundwater. *Journal of Contaminant Hydrology*, 24, 85–96.
- Datta, P.S., Tyagi, S.K., 1996. Major ion Chemistry of Groundwater in Delhi Area: Chemical Weathering Processes and Groundwater Flow Regime. *Journal of Geological Society India*, 47, 179–188.
- Daughney, C.J., 2003. Iron and manganese in New Zealand's groundwaer. *Journal of Hydrology (NZ)*, 42(1), 11–26.
- Davraz, A., Afşin, M., Aksever, F, Karataş, Z., Hınıs, M.A., 2016. The Interference of a Deep Thermal System with a Shallow Aquifer and Health Risk Assessment: The Case of Sandıklı (Afyonkarahisar). *Environmental Earth Science*, 75: 332
- Davraz, A., Şener, E., Şener, Ş., Varol, S., 2014. Water Balance of the Eğirdir Lake and the Influence of Budget Components, Isparta,Turkey. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(2):27-36.
- Davraz, A., Ünver, Ö., 2014. İnegöl Havzası (Bursa) Hidrojeolojisi ve Yeraltısularının Kalite Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18(2), 7-21.
- Dean, W. T. ve Monod, O., 1970. The Lower Paleozoic Stratigraphy and Faunas of the Taurus Mountains Near Beyşehir (Turkey): *Bulletin of the British Museum Natural History (Geol.)*, 19/8, 411-426.
- Demirkol, C., 1977. Yalvaç-Akşehir Dolayının Jeolojisi: Doçentlik Tezi, SÜ. Fen. Fak. 114 s., (yayınlanmamış).
- Demirkol, C., Sipahi, H., Çiçek, S., Barka, A., Sönmez, Ş., 1977. Sultandağının Stratigrafisi ve Jeoloji Evrimi, MTA Enstitüsü Jeoloji Dairesi, MTA raporu, Yayınlanmamış, Derleme No:6305.
- Demirkol, C., 1981. Sultandağ Kuzeybatısının Jeolojisi ve Beyşehir-Hoyran Napı ile İlişkileri, TÜBİTAK TBAG-382, 56 s.
- Demirkol, C., 1982. Yalvaç-Akşehir Dolayının Stratigrafisi ve Batı Toroslarla Deneştirimi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 14, 3-14.
- Demirkol, C. ve Yetiş, C., 1984. Hoyran Gölü (Isparta) Kuzeyinin Stratigrafisi, *MTA Dergisi*, 101-102, 1-14.
- Demirkol, C., ve Yetiş, C., 1985. Sultandağ Kuzeybatısındaki Allohton Birimler ve Jeoloji Evrimi, *T.M.M.O.B. Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 22, 3-10.
- Demirkol, C., 1986. Sultandağ ve Dolayının Tektoniği, *MTA Dergisi*, 107, 111-118.

- Doneen, L.D., 1964. Water Quality for Agriculture. Department of Irrigation, University of California, Davis, 48.
- Dumont, J.F., Kerey, E., 1975. Eğirdir Gölü Güneyinin Temel Jeolojik Etüdü, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 18, 169-175.
- Durov, S.A., 1948. Natural Waters and Graphic Representation of Their Compositions. Dokl Akad Nauk SSSR, 59,87-90
- Eaton, F.M., 1950. Significance of Carbonate in Irrigation Water. Soil Science, 69(2), 123-133
- Elitok, Ö., 2001. Şarkikaraağaç (Isparta) ve Çevresinin Jeolojisi, Minerolojisi ve Petrografisi, SDÜ Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, 210 s.,
- Eren, Y., 1990. Engili (Akşehir) ve Bağkonak (Yalvaç) Köyleri Arasında Sultandağları Masifi'nin Tektonik Özellikleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 33.
- Erguvanlı, K., Yüzer, E., 1987. Yeraltısuları Jeolojisi. İTÜ Maden Fakültesi yayınları, İstanbul.
- Erişen, B., 1972. Afyon-Heybeli (Kızılkilise) Jeotermal Araştırma Sahasının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları, MTA., Rapor No: 3107 (Yayımlanmamış).
- Fisher, R.S., Mullican, F.W., 1997. Hydrochemical Evolution of Sodium-Sulfate and Sodium-Chloride Groundwater Beneath the Northern Chihuahuan Desert, Trans- Pecos, Texas, USA. Hydrogeology Journal, 10(4), 455-474.
- Garcia, M.G., Hidalgo, M., Blesa, M.A. 2001. Geochemistry of groundwater in the alluvial plain of Tucumán province, Argentina. Hydrogeology Journal, 9, 597-610.
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanism controlling world water chemistry. Science, 170, 795-840
- Goldschmidt, V.M., 1958. Geochemistry. Oxford Univ Press, London, p 730
- Gupta, I.C., 1983. Concept of residual sodium carbonate in irrigation waters in relation to sodic hazard in irrigated soils. Current Agriculture, 7(3/4), 97-113
- Gupta, S.K., Gupta, I.C., 1987. Management of Saline Soils and Waters Oxford and IBH Publishing and Co New Delhi 339p
- Güneş, K., Tüvekçi, H., Karakaş, D., Morkoç, E., Tüfekçi, V., Okay, O., Tolun, L., Karakoç, T., 2001, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Eğirdir Gölü Havzasının Evsel Atık Sularının

Arıtımına Yönelik Master Plan Hazırlanması ve Göl Su Kalitesinin İzlenmesi, Projesi (yayınlanmamış).

Han, D., Liang, X., Jin, M., Currell, M.J., Han, Y., Song, X., 2009. Hydrogeochemical Indicators of Groundwater Flow Systems in the Yangwu River Alluvial Fan, Xinzhou Basin, Shanxi, China. *Environmental Management*, 44, 243–255.

Hem, J.D., 1985. Study and Interpretaion of the Chemical Characteristics of Natural Water US Geological Supply Paper, 2242 78p

Hounslow, A.W., 1995. Water quality data analysis and interpretation. Lewis Publishers, Boca Raton

IRIS (Integrated Risk Information System), 2005. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH. Accessed at: (<http://www.epa.gov/iris>), September-2005

İnal, A., 1975. Afyon Bölgesi Gölsel Neojeninde Bulunmuş Yeni İki Gastropod Türü ve Bir Alt Türün Tanımı, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 18(2), 161-164.

Jankowski, J., Acworth, R.I. 1997. Impact of debris-flow deposits on hydrogeochemical process and the development of dry land salinity in the Yass River catchment, New South Wales, Australia. *Hydrogeology Journal*, 5(4), 71-88.

Johnson, C.C. 1979. Land application of waste-an accident waiting to happen. *Groundwater*, 17(1), 69-72.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2004. Metallerin çevresel etkileri- I. *Metalurji dergisi*, 136, 47-53.

Karagüzel, R., Taşdelen, S., Akyol, E., Tokgözlü, A., Irlayıcı, A., Özgül, S., 1995. Eğirir Gölü Hidrolojisi, Ön Raporu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh-Mim. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, Isparta (yayınlanmamış).

Katz, B.G., Coplen, T.B., Bullen, T.D., Davis, J.H., 1998. Use of Chemical and Isotopic Tracers to Characterize the Interaction between Groundwater and SurfaceWater in Mantled Karst. *Groundwater*, 35, 1014–1028

Kavcar P, Sofuoglu A, Sofuoglu S, 2009. A Health Risk Assessment for Exposure to Trace Metals via Drinking Water Ingestion Pathway, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 212, 216–227

Kelley, W.P., 1963. Use of Saline Irrigation Water *Soil Science*, 95(4), 355-391

Kerey, İ.E., 1987. Sultan Dağları Bölgesinde Koçbeyli Tektonik Penceresi, Akdeniz Üniversitesi, Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, 3(3), 61-69.

- Kim, D., Amy, G.L., Karanfil, T., 2015. Disinfection by-product formation during seawater desalination: a review. *Water Research*, 81, 343–355. doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.040
- Koçyiğit, A., 1980. Hoyran Gölü yöresinin (Afyon-Isparta) stratigrafik ve tektonik özellikleri. Doçentlik tezi, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Genel Jeoloji Kürsüsü, 172 s.
- Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve Yakın Dolayında Levha İçi Yeni Tektonik Gelişim, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 27, 1-16.
- Kuldip, S., Hundal, H.S., Dhanwinder, S., 2011. Geochemistry and Assessment of Hydrogeochemical Processes in Groundwater in the Southern Part of Bathinda District of Punjab, Northwest India. *Environmental Earth Science*, 64, 1823-1833.
- Kumar Singh, A., Mondal, G.C., Singh, T.B., Singh, S., Tewary, B.K., Sinha, A., 2012. Hydrogeochemical processes and quality assessment of groundwater in Dumka and Jamtara districts, Jharkhand, India. *Environmental Earth Science*, 67, 2175–2191.
- Kumar, M., Ramanathan, A.L., Rao, M.S., Kumar, B., 2006. Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. *Environmental Geology*, 50, 1025–1039.
- Kundu, N., Panigrahi, M.K., Tripathy, S., Munshi, S., Powell, M.A., Hart, B.R., 2001. Geochemical appraisal of fluoride contamination of groundwater in the Nayagarh District of Orissa, India. *Environmental Geology*, 41, 451–460.
- Lakshmanan, E., Kannan, R., Senthil Kumar, M., 2003. Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of ground water in a part of Kancheepuram district, Tamil Nadu, India. *Environmental Geosciences*, 10(4), 157–166.
- Li, S., Zhang, Q., 2010. Risk assessment and seasonal variations of dissolved trace elements and heavy metals in the Upper Han River, China. *Journal of Hazardous Materials*, 181(1–3), 1051–1058.
- Maya, A.L., Loucks, M.D., 1995. Solute and Isotopic Geochemistry and Groundwater Flow in the Central Wasatch Range, Utah. *Journal of Hydrology*, 172, 31– 59.
- Mayback, M., 1987. Global Chemical Weathering of Surficial Rocks Estimated from River-Dissolved Loads., *American Journal of Science*, 287, 401–428.
- Means, B., 1989. Risk-assessment guidance for superfund. Volume 1. Human health evaluation manual. Part A. Interim report (Final). Environmental Protection Agency, Washington DC, USA. Office of Solid Waste. <https://www.osti.gov/biblio/7037757>. Accessed 4 Feb 2019

- Monod, O., 1977. Recherches Geologiques Dans le Taurus Occidental au Sud de Beysehir (Turquie): These d'etat, l'Univ. De Paris Sud, Center d'Orsay, sr. A, 896, 571 s.
- Mukherjee, A., Bhattacharya, P., Shi, F., Fryar, A.E., Mukherjee, A.B., Xie, Z.M., Sracek, O., Jacks, G., Bundschuh, J., 2009. Chemical evolution in the high arsenic groundwater of the Huhhot basin (Inner Mongolia, PR China) and its difference from the western Bengal basin (India). Applied Geochemistry, 24, 1835-1851.
- O'Day, P.A., 2006. Chemistry and Mineralogy of Arsenic. Element, 2, 77-83.
- Öngür, T., 1973. Sandıklı (Afyon) jeotermal araştırma bölgesine ilişkin jeolojik durum ve jeotermal enerji olanakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No:5520, Ankara, (yayınlanmamış).
- Özgül, N., Bölükbaşı, S., Alkan, H., Öztaş, Y. ve Korucu, M., 1991. Göller bölgesinin tektonostratigrafik birlikleri, O. Sungurlu Semp. 213-237.
- Özgül, N. ve Gedik, İ., 1973. Orta Toroslar'da Alt Paleozoyik Yaşta Çaltepe Kireçtaşı ve Seydişehir Formasyonu'nun Stratigrafisi ve Konodont Faunası Hakkında Yeni Bilgiler, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 16/2, 39-52.
- Öztürk, M.E., Öztürk, Z., Acar, Ş., Ayaroğlu, A., 1981. Şarkıağaç (Isparta) ve dolayının Jeolojisi, MTA, Jeoloji Dairesi, Rapor No:7045, 190s.
- Öztürk, E.M., Dalkılıç, H., Ergin, A., Afşar, Ö.P., 1987. Sultandağı güneydoğusu ile anamas Dağı dolayının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No:8191 (yayınlanmamış)
- Öztürk, E.M., Öztürk, Z., 1989. Balçıkhisar-Karaadilli (Afyon)-Dereköy (Isparta) Dolayının Jeolojisi, MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No.8946, 1989
- Öztürk, E.M. ve Öztürk, Z., 1989. Balçıkhisar-Karaadilli (Afyon)-Dereköy (Isparta) dolayının jeolojisi. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor no:8946 (yayınlanmamış)
- Paliwal, K.V., 1972. Irrigation with Saline Water Monogram No 2 (New series) New Delhi: IARI 198p
- Parizi, H.S., Samani, N., 2013. Geochemical evolution and quality assessment of water resources in the Sarcheshmeh copper mine area (Iran) using multivariate statistical techniques. Environmental Earth Science, 69, 1699-1718.
- Pazand, K., Hezarkhani, A., Ghanbari, Y., Aghavali, N., 2012. Geochemical and quality assessment of groundwater of Marand Basin, East Azarbaijan

- Province, northwestern Iran. *Environmental Earth Science*, 67, 1131–1143.
- Piper, A. M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. *Trans. Amer. Geophys. Union*, vol. 25, p. 914-923.
- Qaiyum, M.S., Shaharudin, M.S., Syazwan, A.I., Muhaimin, A., 2011. Health Risk Assessment after Exposure to Aluminium in Drinking Water between Two Different Villages, *Journal of Water Resource and Protection*, 3, 268-274.
- Ragunath, H.M., 1987. *Groundwater*. New Delhi: Wiley.
- Ramesh, K., Elango, L., 2012. Groundwater Quality and its Suitability for Domestic and Agricultural use in Tondiar River Basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring Assessment*, 184, 3887–3899.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline Alkaline Soils, US Department of Agriculture, HandBook 60 (160)
- Rodriguez-Proteau, R., Grant, R.L., 2005. Toxicity Evaluation and Human Health Risk Assessment of Surface and Groundwater Contaminated by Recycled Hazardous Waste Materials. In: *Handbook of Environmental Chemistry* (T. A. Kassim, ed.), Vol. 5, Part F, Vol. 2. Springer-Verlag, Berlin, pp. 133–189.
- Sarin, M.N., Krishnaswamy, S., Dilli, K., Somayajulu, B.L.K., Moore, W.S., 1989. Major ion chemistry of the Ganga–Brahmaputra river system: weathering processes and fluxes to the Bay of Bengal. *Geochim Cosmochim Acta*, 53, 997–1009.
- Sarvestani, R.A., Aghasi, M., 2019. Health risk assessment of heavy metals exposure (lead, cadmium, and copper) through drinking water consumption in Kerman city, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 78, 714, doi.org/10.1007/s12665-019-8723-0
- Schoeller, H., 1955, *Gechemie des Eaux Souterraines*. Rev. Inst. Franc. Petrole, Paris, 10. No. 3-4.
- Schoeller, H., 1965. Qualitative evaluation of groundwater resources. In *Methods and techniques of groundwater investigations and development* (pp. 54–83). Paris: UNESCO.
- Schoeller, H., 1967. Qualitative evaluation of groundwater resources. In *Methods and techniques of groundwater investigation and development*. Water Research, Series-33 (pp. 44–52) Paris: UNESCO.
- Schoeller, H., 1977. Geochemistry of groundwater In *Groundwater studies-An International guide for research and practice* Paris UNESCO Chap 15 pp1-18

- Singh, A.K., Hasnain, S.I., 1999. Environmental geochemistry of Damodar river basin- east coast of India. *Environmental Geology*, 37, 124-136.
- Soyaslan, İ., 2004, Eğirdir Gölü Doğusunun Hidrojeoloji İncelemesi ve Yeraltısuyu Modellemesi. SDÜ Fen Bil. Enst., Doktora tezi, Isparta (yayınlanmamış)
- Sreedevi, P.D., Ahmed, S., Made, B., Ledoux, E., Gandolfi, J.M., 2006. Association of hydrogeological factors in the temporal variations of fluoride concentration in a crystalline aquifer India. *Environmental Geology*, 50(1), 1-11.
- Szabolcs, I., Darab, C., 1964. The Influence of Irrigation Water of High Sodium Carbonate Content on Soils. In I. Szabolcs (Ed.), *Proc 8th International Congress Soil Science Sodics Soils, Res Inst Soil Sci Agric Chem Hungarian Acad Sci, ISSS Trans II*, 1964, 802-812.
- Şahinci, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, 546, İzmir.
- Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z.R., Şen, A.M., Karaman, T., Dinçer, M.A., Durukan, e., Arbas, A., Örcen, S., Bilgi, C., 1989. Çameli (Denizli)-Yeşilova (Burdur)-Elmalı (Antalya) ve kuzeyinin jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor no:9761, Ankara (yayınlanmamış)
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdaroğlu, M., Bölükbaşı, A.S., Metin, S., Esentürk, K., Bilgin, A.Z., Uğuz, M.F., Korucu, M., Özgül, N., 1992. Eğirdir-Yenişarbademli-Gebiz ve Geriş Köprülü (Isparta-Antalya) arasında kalan alanların jeolojisi. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Rapor no:9390, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Rapor No:3132, 559s., Ankara (yayınlanmamış)
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A., Karagüzel, R., Bulut, C., 2010. Eğirdir Gölü Su Kalitesine Yönelik Ön Bulgular: Yerinde Ölçümlerin Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14-1, 72-83.
- Şener, Ş., 2010. Eğirdir Göl Suyu ve Dip Sedimanlarının Hidrojeokimyasal İncelemesi, SDÜ Fen Bilimleri Enst. Doktora Tezi, 348 s., Isparta
- Şener, E., 2011. Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Akifer Kirlenebilirlik Haritalarının Çok Kriterli Karar Verme Analizleri Kullanılarak Hazırlanması: Eğirdir Gölü Havzası Örneği, SDÜ Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi, 131 s, Isparta
- Tay, C.K., 2012. Hydrochemistry of groundwater in the Savelugu-Nanton District, Northern Ghana. *Environmental Earth Science*, 67, 2077-2087.
- Todd, D.K., 1980. Groundwater Hydrology (2nd Edition) John Wiley & Sons pp 535

- Topçam, A., vd., 1977. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Hoyran-Gelendost ve Yalvaç Ovaları Hidrojeolojik Etüd Raporu, DSİ, İşletme Müdürlüğü Matbaası, 56 s., Ankara.
- TS266, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü –Ankara.
- Umut, M., 2009. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Afyon-L26 Paftası, No:119, Ankara
- USEPA, 1986. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC. EPA/600/8-87/045.
- USEPA, 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund. Vol. I. Human Health Evaluation Manual. Part A. Interim Final, Office of Emergency and Remedial Response, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- USEPA, 2001. Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume 1: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplement Guidance for Dermal Risk Assessment). Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC, USA
- USEPA, 2004. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment) Final. EPA/540/R/99/005 OSWER 9285.7-02EP PB99-963312 July 2004, Office of Superfund Remediation and Technology Innovation U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC, 2004.
- USEPA, 2005. Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. EPA/630/P-03/001F. US Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC.
- USEPA, 2013 Risk Assessment IRIS (Integrated Risk Information System). http://www.epa.gov/risk_assessment
- Uslu, O., Türkman, A., 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınlar Eğitim Dizisi, Ankara, 364s.
- Uygan, D. ve Çetin, Y., 2004. Bor'un Tarımsal ve Çevresel Etkileri: Seydisuyu Su Toplama Havzası, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 23-25 Ey 10 2004 Eskişehir.
- Varol, S., Davraz, A., 2016. Evaluation of Potential Human Health Risk and Investigation of Drinking Water Quality in Isparta City Center (Turkey). Journal of Water and Health, 14,3, 471-488

- Verma, S., Mukherjee, A., Mahanta, C., Choudhury, R., Mitra, K., 2016. Influence of geology on groundwater-sediment interactions in arsenic enriched tectono-morphic aquifers of the Himalayan Brahmaputra river basin. *Journal of Hydrology*, 540, 176–195.
- Wei, H., Le, Z., Shuxian, L., Dan, W., Xiaojun, L., Lan, J., Xiping, I.M., 2015. Health risk assessment of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in soil at coke oven gas plants. *Environmental Engineering Management Journal*, 14(2), 487–496.
- WHO, 1989. Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. In: Report of a WHO Scientific Group: Technical Report Series 778, WHO, Geneva, p 74
- WHO, 2004. Guidelines for drinking-water quality, vol 1. World Health Organization.
- WHO, 2006. Guidelines for drinking-water quality. 3rd edition incorporating 1st and 2nd addenda, World Health Organization.
- WHO, 2008. Guidelines for drinking-water quality, 1st and 2nd addenda, vol 1, Recommendations, 3rd edn., World Health Organization, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. ISBN 978 92 4 154761 1 (WEB version),
- WHO, 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th ed., World Health Organization, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN 978 92 4 154815 1
- Wilcox, L.V. 1955. Classification and use of irrigation waters, USDA Circular No. 969, p 19
- Wu, B., Zhao, D., Jia, H., Zhang, Y., Zhang, X., Cheng, S., 2009. Preliminary Risk Assessment of Trace Metal Pollution in Surface Water from Yangtze River in Nanjing Section, China, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 82, 405–409.
- Yalçinkaya, S., Ergin, A., Afşar, Ö. P., Dalkılıç, H., Taner, K. ve Özgönül, E., 1986. Batı Torosların Jeoloji Raporu, MTA Rapor No: 7898, 131 s.
- Yağmurlu, F., 1991. Yalvaç-Yarıkkaya Neojen Havzasının Stratigrafisi ve Depolama Ortamları, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 34, 9-19.
- Yağmurlu, F., 1992. Yalvaç-Yarıkkaya (Isparta) Yöresindeki Linyit Yataklarının Jeolojik Konumu ve Petrokimyasal Özellikleri, *Doğa-Türk Yerbilimleri Dergisi*, 35-42.
- Yağmurlu, F., Kaya, T., Aslan, F., Tuna, V., Mutlutürk, M., Bozcu, M., Saraç, G., ve Yalçın, A., 1994. Isparta-Tokmacık Omurgalı Fosil Yataklarının Araştırılması: Kültür Bak. Anıtlar ve Müzeler Gen. Müd. Araş. Projesi.



EKLER

EK A. Haritalar



EK A. Haritalar

Şekil A.1. Jeoloji Haritası

Şekil A.2. Hidrojeoloji haritası



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Burcu BATUR

Doğum Yeri ve Yılı : Erzurum, 1982

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : burcubatur@hotmail.com

Taranmış
Fotoğraf
(3.5cm x 3cm)

Eğitim Durumu

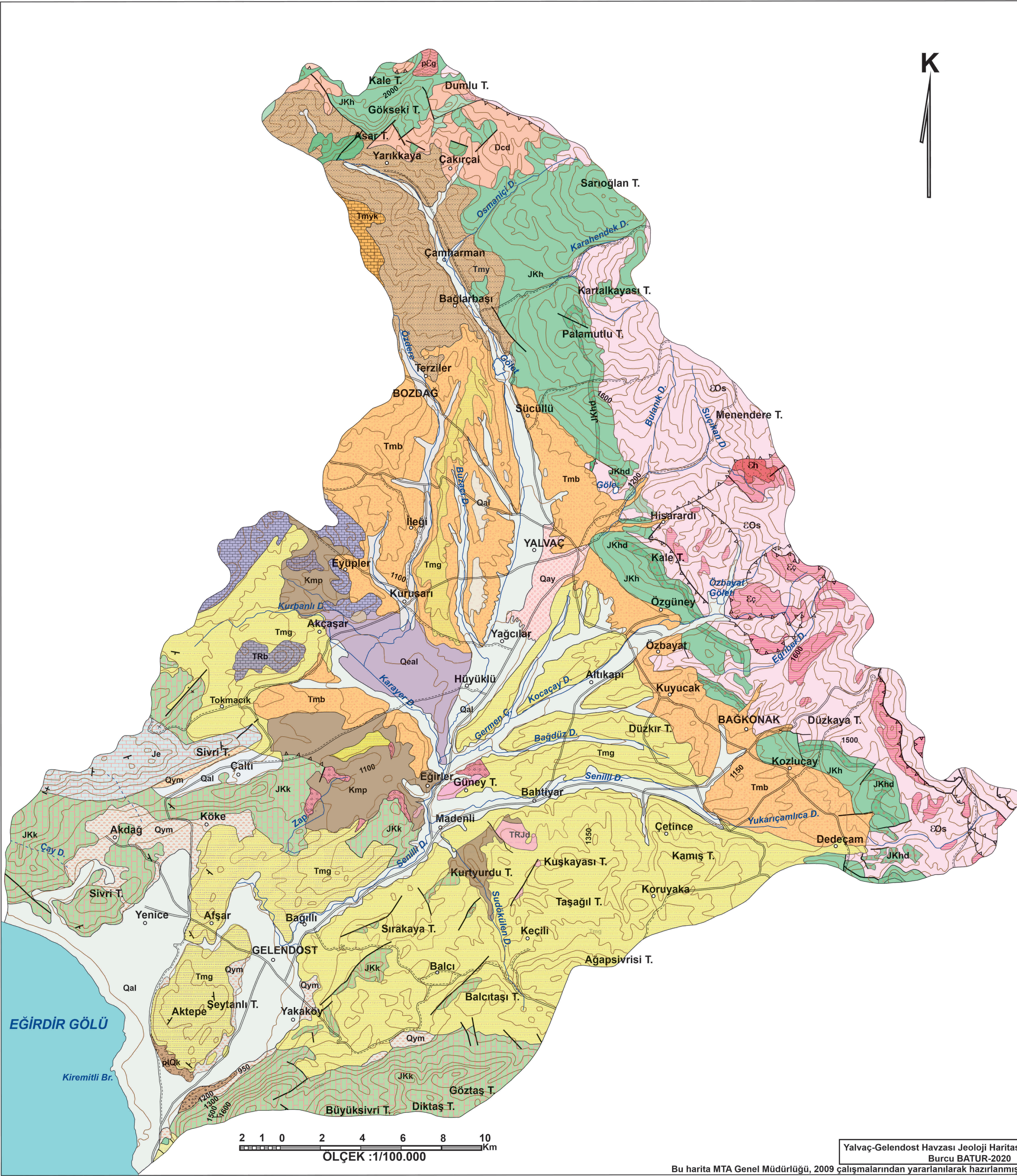
Lise : Darıca Lisesi, 2000

Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği

Mesleki Deneyim

Gökyol İnşaat ve Sanayii A.Ş.

2014-2015



AÇIKLAMALAR

OTOKTON BİRİMLER

KUVATERNER

Qal	Alüvyon
Qym	Yamaç Molozu
plQk	Kepeztepe Formasyonu
Qay	Alüvyon Yelpazesi
Qeal	Eski Alüvyon Çökelleri

NEOOTOKTON ÖRTÜ KAYALARI

Tmb	Bağkonak Formasyonu
Tmy	Yarıkkaya Formasyonu
Tmyk	Kireçtaşı Üyesi
Tmg	Göksöğüt Formasyonu

ANAMAS-AKSEKİ OTOKTONU

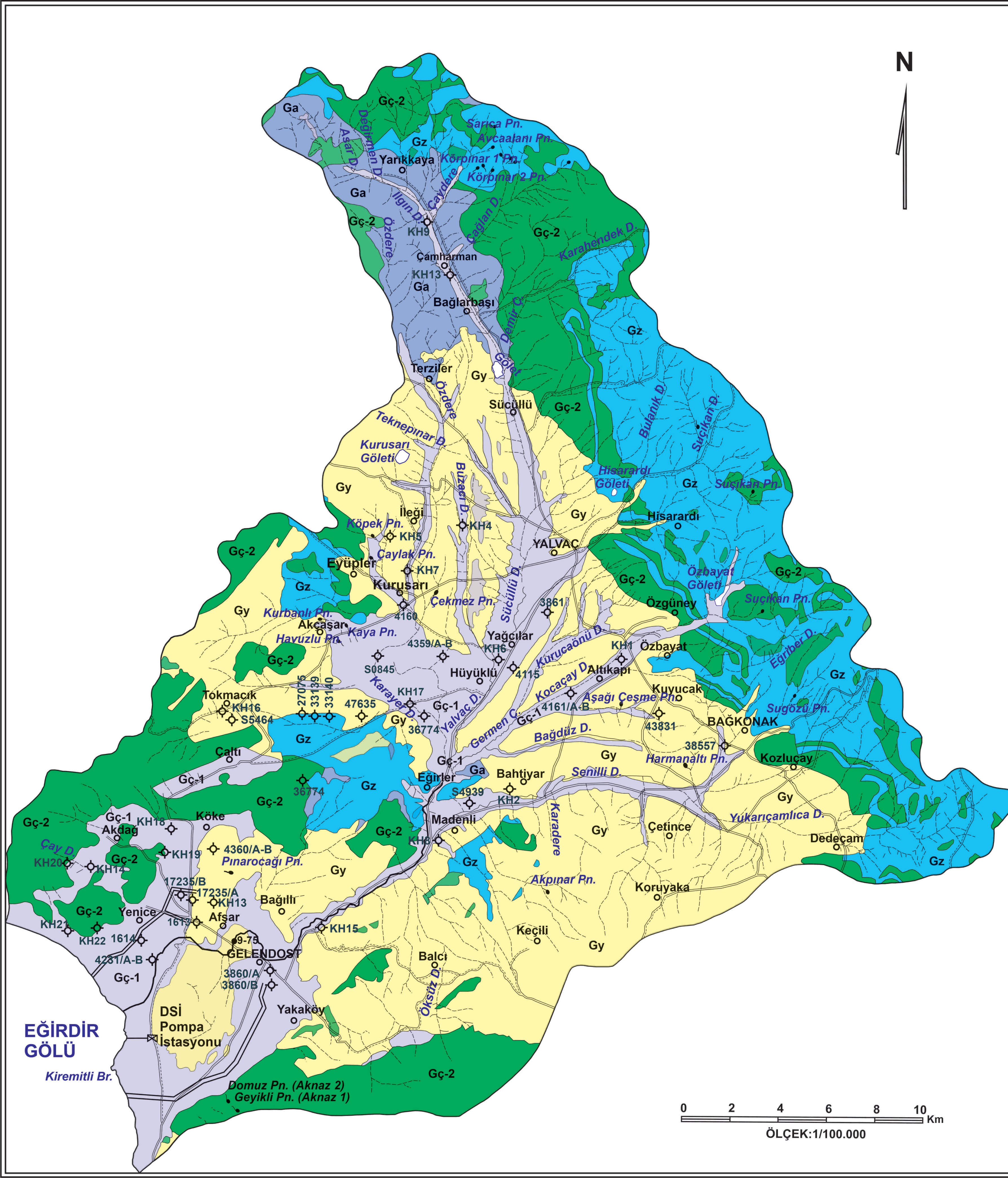
SULTANDAĞ BİRİMİ	Paleozoik	pÇg	Gökoluk Formasyonu
	Mezozoik	Əh	Hüdaı Kuvarsiti
		Əç	Çaltepe Formasyonu
		ƏOs	Seydişehir Formasyonu
ÇAY BİRİMİ	Tersiyer	Je	Ergenli Formasyonu
		JKk	Kurucaova Formasyonu
		JKh	Hacılabaz Formasyonu
		JKhd	Düz kaya Volkanit Üyesi
ÇAY BİRİMİ	Tersiyer	Teg	Gölgeli Formasyonu
		DCd	Değirmendere Formasyonu

ALLOKTON BİRİMLER

MARMARİS OFİYOLİT NAPI	Kmp	Marmaris Peridotiti
DOMUZDAĞ NAPI	TRJd	Dutdere Formasyonu
	TRb	Bakırdağ Formasyonu

İŞARETLER

	Dokanak Yeri
	Tanımlanmamış Fay
	Eğim Atımlı Normal Fay
	Bindirme (Ters Fay), Yeri Yaklaşık Bindirme
	Tabaka Doğrultu ve Eğimi
	Birinci Derece Karayolu
	İkinci Derece Karayolu
	Yerleşim Yeri



AÇIKLAMALAR		
Gç1	Geçirimli Birim	(Alüvyon, Yamaç Molozu, Kepeztepe Fm., Gözenekli Akifer)
Gç2	Geçirimli Birim	(Çaltepe Fm., Ergenli Fm., Duttare Fm., Kurucaova Fm., Hacılabaz Fm., Bakırdağ Fm., Kireçtaşı Üyesi)
Ga	Az Geçirimli Birim	(Gölgeli Fm., Yarıkkaya Fm.)
Gy	Yarı Geçirimli Birim	(Göksöğüt Fm.)
Gz	Geçirimsiz Birim	(Gölcük Fm., Hüdai Kuvarsiti, Marmaris Peridotiti, Seydişehir Fm., Değirmendere Fm., Düzkaya Volkanit Üyesi)
○	Yerleşim Merkezi	
==	Birinci Derece Karayolu	
==	İkinci Derece Karayolu	
—	Beslenme Havzası Sınırı	
—	Dere ve Kuru Dere	
⊕	Sondaj Kuyuları	4161/A-B
•	Kaynaklar	
—	Drenaj Kanalı	
—	Gölet	
9-75	Akım Rasat İstasyonu	

Yalvaç-Gelendost Havzası Hidrojeoloji Haritası