

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**VAN OVASI YÜZEY VE YERALTI SULARININ HİDROJEOKİMYASAL
İNCELEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Abdulaziz KURT
DANIŞMAN: Doç. Dr. Harun AYDIN

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**VAN OVASI YÜZEY VE YERALTI SULARININ HİDROJEOKİMYASAL
İNCELEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Abdulaziz KURT

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2018-6880 No'lu proje ile desteklenmiştir.

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Harun AYDIN danışmanlığında, Abdulaziz KURT tarafından sunulan “**Van Ovası Yüzey ve Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal İncelemesi**” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 05/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği /oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Zehra ŞAPCI AYAS

İmza:

Üye: Doç. Dr. Harun AYDIN

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül DEMİR YETİŞ

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08/08/2019 tarih ve 2019/103 -I sayılı kararı ile onaylanmıştır.



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

Abdulaziz KURT



ÖZET

VAN OVASI YÜZEY VE YERALTI SULARININ HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

KURT, Abdulaziz

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Harun AYDIN

Ağustos 2019, 69 sayfa

Çalışmada, Van Ovası yüzey ve yeraltısularının hidrojeokimyasal yapısının aydınlatılması ve kullanım açısından değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda inceleme alanında 8 yüzey suyu ve 42 yeraltısuyu olmak üzere toplam 50 noktada yerinde ölçüm ve laboratuvar analizleri (majör iyon, iz element, çevresel izotop) için örnekleme gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 10 noktadan alınan kayaç örneklerinde ise iz element analizleri yapılmıştır. Ca+Mg-HCO₃ su türü ile temsil edilen Van Ovası suların sıcaklık, pH ve özgül elektriksel iletkenlik değerleri sırası ile 9.35-27.74 °C, 6.57-8.30 ve 316-2570 µS/cm arasında değişmektedir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Van Ovası yeraltısularının kimyasal yapısı su-kayaç etkileşim süreçleri ile kontrol edilmektedir. Yeraltısularının δ¹⁸O-δD izotop değerleri, Küresel ile Akdeniz meteorik su doğruları arasında yer almakta olup meteorik kökenli sular olduğunu göstermektedir. Yüzey suyu örnekleme noktalarının birkaçında azot bileşikleri açısından sınır değerlerin üzerinde antropojenik kaynaklı kirlilik tespit edilirken yeraltısularında ise önemli bir sorun belirlenmemiştir. Van Ovası yüzey ve yeraltısularının iz element içerikleri, arsenik ve vanadyum dışında analiz yapılan diğer elementlere göre genel olarak standartların öngördüğü limit (sınır) değerlerin altında kalmaktadır. 19 noktadaki arsenik değeri 0.6-9.47 ppb arasında değişirken, 31 noktada (10.29-168.10 ppb) ise standartlarda öngörülen sınır değerinin (10 ppb) üzerinde gözlenmiştir. Sulardaki vanadyum ise 1.82 ppb ile 24.74 ppb arasında değişmekte olup 9 su noktasında 15.0 ppb sınır değerinin üzerinde gözlenmiştir. Jeojenik kökenli ağır metal kirliliği özellikle ovanın orta ve kuzey kesimleri arasında yer alan hem yüzey hem de yeraltısuyu gözlem noktalarında yüksek konsantrasyonlar gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: arsenik, çevresel izotop, hidrojeoloji, jeojenik kirlilik, Van.



ABSTRACT

HYDROGEOCHEMICAL EXAMINATION OF VAN PLAIN SURFACE AND GROUNDWATERS

KURT, Abdulaziz
MSc. Thesis, Environmental Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Harun AYDIN
August 2019, 69 pages

In this study, it is aimed to determine hydrogeochemical structure of surface and groundwater in Van Plain, and to evaluate it in terms of usage. For this purpose, totally 50 surface and groundwater samples have been taken for in-situ measurement and laboratory analysis. Additionally, trace element analysis has been done in rock samples that taken from 10 localities. Van Plain waters which are of mostly represented by Ca+Mg-HCO₃ character that have *T*, *pH* and *EC*₂₅ values varying between 9.35-27.74 °C, 6.57-8.30 ve 316-2570 µS/cm, respectively. Consequently, the chemical structure of the groundwater in Van Plain is controlled by water-rock interaction processes. The δ¹⁸O-δD isotope values of the groundwater are between Global and Mediterranean meteoric water lines, which indicating that they are meteoric origin. The anthropogenic contamination was detected above the limit values for nitrogen compounds in a few surface water sampling points, but no significant problem was determined in groundwater. The trace element contents, except for arsenic and vanadium, of Van Plain waters are generally below the limit values. The arsenic value was observed between 0.6 ppb and 9.47 ppb at the 19 sampling points, while it was observed (10.29-168.10 ppb) at 31 sampling points that above the limit value (10 ppb) foreseen by the standards. The vanadium in the water ranges between 1.82 ppb and 24.74 ppb and it was observed above the limit value of 15.0 ppb at 9 sampling points. The arsenic and vanadium values in the rocks at the study area and its surroundings observed between 0.01-33.1 ppm and 0.1-139.1 ppm, respectively. The high concentrations of geogenic heavy metal pollution at both surface and groundwater were especially observed at the central and northern parts of the plain.

Keywords: arsenic, environmental isotope, hydrogeology, geogenic contamination, Van.



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sn. Doç. Dr. Harun AYDIN'a ve laboratuvar çalışmalarında desteğini esirgemeyen Sn. Doç. Dr. Funda AYDIN'a teşekkür ederim.

FYL-2018-6880 No'lu proje ile maddi desteklerinden dolayı Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'na ve arazi çalışmaları için araç desteği nedeni ile Tuşba Belediyesi'ne teşekkür ederim.

Ayrıca tez ile ilgili çalışmalarımnda manevi desteğini esirgemeyen aileme ve özellikle eşim Aysel KURT'a teşekkürlerimi sunarım.

2019
Abdulaziz KURT



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Hedefler	2
1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı.....	3
1.3. İklimi ve Ulaşım	4
1.4. Literatür Özeti.....	4
1.4.1. Bölgesel çalışmalar	5
1.4.2. Yerel çalışmalar	8
2. MATERYAL ve YÖNTEM	11
2.1. Mevcut Verilerin Derlenmesi	11
2.2. Arazi Çalışmaları	11
2.3. Laboratuvar Analizleri	15
2.4. Değerlendirme Çalışmaları	16
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	19
3.1. Jeoloji, Hidroloji ve Hidrojeoloji.....	19
3.1.1. Stratigrafik yapı	19
3.1.1.1. Allohton birimler.....	19
3.1.1.2. Para-otokton birimler	21
3.1.1.3. Neo-otokton birimler.....	22
3.1.1.4. Tektonizma ve yapısal jeoloji	23
3.1.2. Hidroloji.....	24
3.1.2.1. Drenaj ağı ve akarsular	24
3.1.2.2. Göller ve sulak alanlar	26

	Sayfa
3.1.2.3. Meteorolojik veriler	27
3.1.3. Hidrojeoloji.....	31
3.2. Hidrojeokimya	34
3.2.1. Suların fiziksel özellikler	34
3.2.2. Suların kimyasal özellikler	37
3.2.3. Hidrojeokimyasal süreçler	40
3.2.4. Yüzey ve yeraltısularının kökeni	43
3.3. Su Kalitesi.....	46
3.3.1. Azot bileşikleri.....	47
3.3.2. Yüzey ve yeraltısularında iz element miktarı	48
3.3.2.1. Arsenik	49
3.3.2.2. Vanadyum	53
3.3.3. Kirlilik indisi.....	54
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR.....	63
ÖZ GEÇMİŞ.....	69

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Van Ovası yüzey ve yeraltısuyu örnekleme noktalarına ait özet bilgi	13
Çizelge 2.2. Van Ovası kayaç örnekleme noktalarına ait özet bilgi.....	14
Çizelge 2.3. Kaynak başı ölçümleri ve laboratuvar analizleri için alınan örnek miktarı ve yöntemi	14
Çizelge 3.1. İnceleme alanı akarsuları uzun yıllar (1960-2014) aylık ortalama akım miktarları (m ³ /s)	26
Çizelge 3.2. Van MGI'da 1939-2018 yılları arasında kaydedilen aylık ortalama sıcaklık, yağış ve nem verileri.....	28
Çizelge 3.3. Van MGI'da 1939-2018 yılları arasında kaydedilen uzun yıllar aylık ortalama veriler ile hesaplanan Thorntwaite-Mather (1955) bütçe yaklaşımı sonuçları.....	30
Çizelge 3.4. İnceleme alanı su noktalarına ait fiziksel ölçüm sonuçları.....	35
Çizelge 3.5. İnceleme alanı su noktalarına ait majör iyon analiz sonuçları	38
Çizelge 3.6. İnceleme alanı su noktalarına ait çevresel izotop analiz sonuçları.....	45
Çizelge 3.7. İçme-kullanım suları ile ilgili ulusal ve uluslararası standartlarda yer alan sınır değerleri.....	47
Çizelge 3.8. İnceleme alanı sularına ait iz element analiz sonuçları	50
Çizelge 3.9. İnceleme alanı kayaçlarına ait iz element analiz sonuçları	51
Çizelge 3.10. İnceleme alanı su noktaları için hesaplanan kirlilik indisi sonuçları.....	56



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Çalışma alanı lokasyon haritası.	3
Şekil 2.1. Su ve kayaç örnekleme noktalarının inceleme alanındaki dağılımı.	12
Şekil 3.1. İnceleme alanı ve yakın dolayının jeoloji haritası.	20
Şekil 3.2. İnceleme alanı ve yakın dolayının stratigrafik istifi (Acarlar ve ark. (1991)'den derlenmiştir).	21
Şekil 3.3. İnceleme alanı ve yakın dolayının hidroloji haritası.	25
Şekil 3.4. Van MGİ uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık grafiği.	29
Şekil 3.5. Van MGİ uzun yıllar aylık ortalama yağış ve nispi nem grafiği.	29
Şekil 3.6. Van Ovasında DSİ tarafından açılan bazı sondaj kuyularına ait loglar.	32
Şekil 3.7. Van Ovası yeraltısuyu seviye dağılım haritası (Selçuk ve Aydın, 2012)...	33
Şekil 3.8. Van Ovası örnekleme noktalarında gözlenen özgül elektriksel iletkenlik değerleri.....	36
Şekil 3.9. Çalışma alanında yer alan su noktalarına ait dairesel (pie) diyagram.	41
Şekil 3.10. Van Ovasında yer alan su noktalarına ait Piper diyagramı.	42
Şekil 3.11. Van Ovası sularının Gibbs diyagramı.	43
Şekil 3.12. Van Ovası sularının $\delta^{18}\text{O}$ - δD ilişkisi.....	46
Şekil 3.13. Van Ovası su ve kayaç örneklerine ait Arsenik (As) dağılım haritası.	52
Şekil 3.14. Van Ovası su ve kayaç örneklerine ait Vanadyum (V) dağılım haritası. ..	54



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
EB	Analitik hata, %
EC ₂₅	25 ° C ' deki özgül elektriksel iletkenlik, µC/cm
ETa	Gerçek buharlaşma-terleme, mm
ETp	Potansiyel buharlaşma-terleme, mm
d	Döteryum fazlası
I	Sıcaklık indisi
ΣC	Na, K, Ca ve Mg katyonlar toplamı, meq/l
ΣA	CO ₃ , HCO ₃ , Cl ve SO ₄ anyonlar toplamı, meq/l
Kısaltmalar	Açıklama
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EPA	Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (United States Environmental Protection Agency)
MGİ	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
TS266	İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
WHO	Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organisation)



1. GİRİŞ

Su kaynakları, insanlık tarihinin başlangıcından beri hem insanlar hem de diğer canlılar için sağlık, refah ve güvenlik sağlamaktadır. Dünyamızda, canlıların yaşamını devam ettirmek için suyu kullanma ve kontrol altına alma isteği, yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı hayati önem taşımaktadır. Dolayısı ile hidrosfer, biyosfer ve atmosferde bulunan suyun, miktar ve kalitesini yöneten kuramları tanımlamak, oluşturabileceği tehlikeleri belirlemek ve bertaraf etmek ve en önemlisi sudan en iyi şekilde yararlanmaya yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bununla birlikte 1900'lü yılların ortasından itibaren etkisini şiddetli bir şekilde hissettiren endüstrileşme, yoğun tarımsal faaliyetler ve artan nüfusla birlikte şehirleşme, su kaynakları üzerinde baskı (temiz su kaynaklarının kirlenmesi, tuzlusu girişi, vb.) oluşturmuştur.

Diğer taraftan, geçtiğimiz yüzyılın son çeyreğinden itibaren gündeme gelen iklim değişikliği de su kaynakları üzerinde önemli baskı oluşturmaktadır. Örneğin, RCP4.5 iklim değişikliği senaryosuna göre inceleme alanında içinde yer aldığı Van Gölü Kapalı Havzasında, 2016-2040, 2041-2070 ve 2071-2099 dönemlerinde sıcaklık ve yağışların sırası ile 1.0-2.5 °C arasında artacağı ve % 5.0-10.0 oranında azalacağı öngörülmektedir (Akçakaya ve ark., 2015). Bu durum artan sıcaklıklar ve azalan yağışlara bağlı olarak yüzey ve yeraltı sularının da benzer ya da yakın oranlarda etkilenecek azalacağı anlamına gelmektedir. Bu nedenle su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir yönetimi, diğer canlılarla birlikte yaşadığımız ekosistemin geleceğinin korunması ile eşdeğer bir konudur.

Yaşamın temel kaynağı olan su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilirliği için yüzey veya yeraltı suyu akım sistemlerinde meydana gelen fiziksel ve kimyasal süreçlerin ve bu süreçleri etkileyen parametrelerin tanımlanması gerekmektedir. Bu noktada, su kaynaklarından optimum olarak yararlanmak için bu kaynakların yer aldığı yüzey veya yeraltı suyu akım sistemlerine ait etkin bir koruma ve yönetim modelinin "hidrojeolojik kavramsal model" çerçevesinde oluşturulması gerekmektedir. Bundan dolayı özellikle yeraltı suyu akım sistemlerinde, su kalitesini ve miktarını kontrol eden fiziksel ve kimyasal süreçlerin tanımlanması en önemli aşamalardan birini oluşturmaktadır. Bu süreçlerin ortam koşullarına bağlı olarak tanımlanabilmesi için yeraltı suyu akım

hareketinin meydana geldiği sistemde akım hareketini kontrol eden sınır koşullarının tanımlanması ve bunun için de sistemi oluşturan jeolojik birimlerin ve bu birimlerde etken olan tektonizma, morfoloji gibi yapısal unsurların belirlenmesi gerekmektedir. Bununla beraber sistemdeki su miktarı ile sistemin dinamik (yağış rejimi, süzülme, beslenme, dolaşım, depolama) özellikleri arasındaki ilişkilerin sağlıklı bir şekilde tanımlanması ve bu ilişkilerin “hidrojeolojik kavramsal model” çerçevesinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Günümüzde Van şehir merkezi ve yakın dolayının ana su kaynağını Gürpınar ilçesinde yer alan Şamran Kaynağı oluşturmakla birlikte, Van Ovası içinde şahıs ve resmi kurumlarca açılmış çok sayıda sığ ve derin sondaj kuyusunda bu amaçla kullanılmaktadır. Özellikle Narman Düzü (Erek Dağı Batı etekleri) mevkiinde açılan derin sondajlardan sağlanan yeraltısuları içme ve kullanım amacı ile kullanılmaktadır. Buna karşın, Van şehir merkezine ev sahipliği yapan, Van Ovasında kontrolsüz tarım ve hayvancılık ile yetersiz atık su altyapı tesisleri, bu bölgelerdeki suların kirlenme potansiyelini arttırmaktadır. Bu kuyulardan elde edilen sular hem tarımsal amaçlı hem de içme ve kullanma suyu olarak kullanılmaktadır. Van Ovasında kontrolsüz tarım ve hayvancılık ile yetersiz atık su altyapı tesisleri, bu bölgelerdeki suların kirlenme potansiyelini arttırmaktadır. Bu bağlamda, Van Ovası yüzey ve yeraltı sularına ait kalite parametrelerinin mevcut standartlara göre belirlenmesi önem taşımaktadır. Ayrıca içme ve kullanma suyu ölçütlerinin sürekli olarak güncellenmesi, yüzey ve yeraltı sularının kalitesinin de izlenmesi ve kalite uygunluğunun güncellenen bu ölçütlere göre tekrar değerlendirilmesi ihtiyacını doğurmaktadır.

1.1. Amaç ve Hedefler

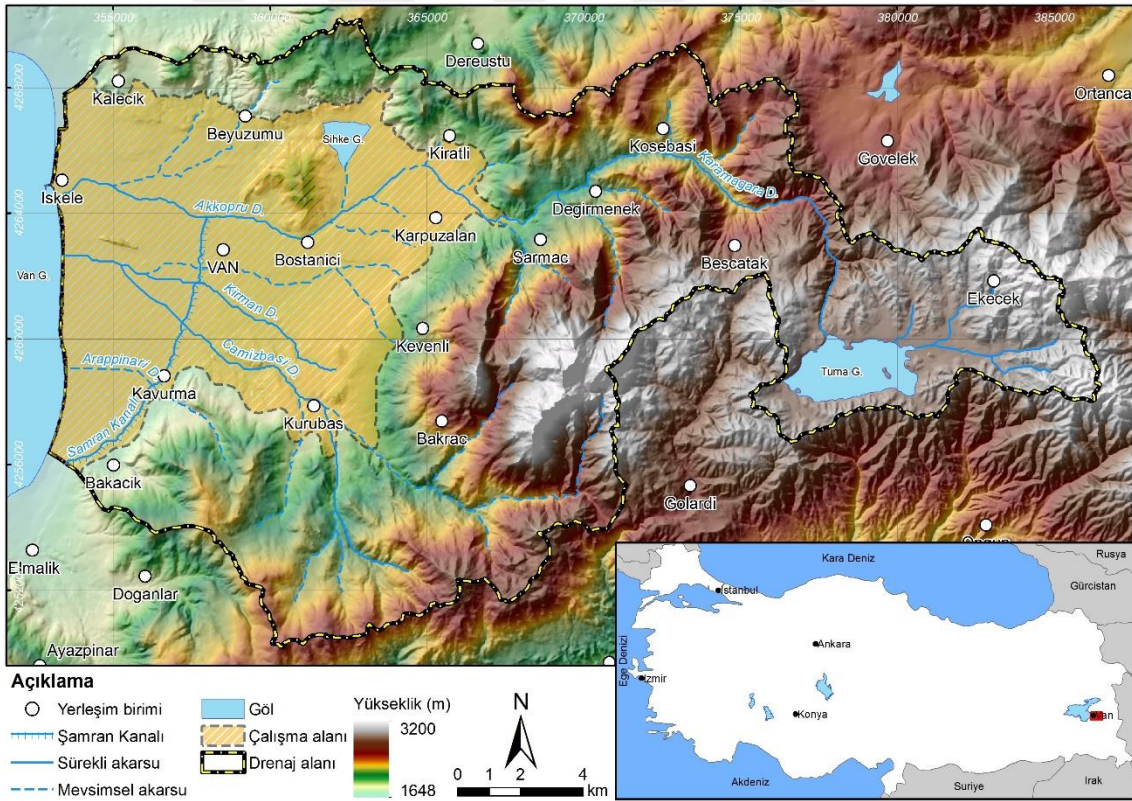
Bu çalışmada, Van Ovası yüzey ve yeraltısularının “hidrojeolojik kavramsal model” bakış açısı ile kalite ve kirlilik düzeyinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda;

- Ovanın hidrolojik ve hidrojeolojik yapısının ortaya konması,
- Ovada alansal yeraltısuyu akım yönünün ve kökeninin belirlenmesi,
- Yüzey ve yeraltı sularında olası kirlilik kaynaklarının belirlenmesi,
- Su kalitesine ilişkin alansal dağılım haritalarının oluşturulması,

- İnceleme alanında yer alan yüzey ve yeraltı sularının içme-kullanma (TS266, EPA, WHO, vb.) ve sulama suyu kalite ölçütlerine göre değerlendirilmesi, hedeflenmiştir.

1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı

Doğu Anadolu bölgesi sınırları içinde yer alan çalışma alanı, Van Gölü'nün doğu kesiminde yer almakta olup deniz seviyesinden yaklaşık 1731 m yükseklikte yer almaktadır (Şekil 1.1). Çalışma alanı, 1/25.000 ölçekli K50 (c3-c4), K51 (d3-d4), L50 (b1-b2) ve L51 (a1-a2) paftalarında yer almaktadır. İnceleme alanının doğu sınırını yaklaşık K-G (Kuzey-Güney) uzanımlı Erek Dağı (3200 m) oluştururken batı sınırını ise Van Gölü oluşturmaktadır.



Şekil 1.1. Çalışma alanı lokasyon haritası.

Van Ovası, Van Gölü Kapalı Havzası doğusunda yer alan Akköprü, Kirman, Camızbaşı ve Arappınarı dereleri drenaj alanı mansap kesiminde kalmaktadır. Ovaya drene olan akarsuların toplam drenaj alanı 373.7 km² olup 1648 m ile 3200 m arasında

yer almaktadır. 1648 m ile 2060 m kotları arasında yüksekliğe sahip olan Van Ovasının alanı ise 117.8 km² olarak hesaplanmıştır. İnceleme alanı doğusunda Turna Gölü (6.01 km²) yer alırken ova içinde ise Sihke Göleti (1.22 km²) bulunmaktadır. Van Büyükşehir Belediyesi merkez ilçelerini oluşturan Edremit, İpekyolu ve Tuşba idari sınırları içinde kalan alanda, il nüfusunun (1,123,784 kişi; TÜİK, 2019) yaklaşık % 50'si yaşamaktadır.

1.3. İklimi ve Ulaşım

Doğu Anadolu karasal iklim tipinin hüküm sürdüğü inceleme alanında yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve yağışlı geçmektedir. Van Meteoroloji Gözlem İstasyonunda (MGİ) 1939-2018 yılları arasında kaydedilen uzun yıllar ortalama sıcaklık, yağış ve nispi nem değerleri sırası ile 9.39 °C, 397.8 mm/yıl ve % 58.1 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte çalışma alanında kış ayları çevre illerle kıyaslandığında daha ılıman geçmektedir. Örneğin, Ocak ayı uzun yıllar ortalama sıcaklık değeri Van için -3.1 °C olarak hesaplanırken söz konusu değer Ağrı, Erzurum, Kars ve Muş için -7.7 °C ile -11.0 °C arasında hesaplanmıştır. Ayrıca Şensoy ve ark. (2008) Thorntwaite metodu ile Türkiye için iklim sınıflaması gerçekleştirmiş ve inceleme alanının yer aldığı bölge söz konusu çalışmada “*yarı kurak-az nemli*” iklim sınıfı içinde yer almaktadır.

Çalışma alanı karayolu, demiryolu ve havayolu ağları üzerinde yer almaktadır. İnceleme alanı, kuzeyde Ağrı, doğuda İran ve Hakkari ve batıda ise Bitlis ve Muş yerleşim birimlerine bölünmüş karayolu ile bağlanmaktadır. Çalışma alanı içinde geçen Türkiye-İran demiryolu hem yolcu hem de yük taşımacılığı amacı ile kullanılmaktadır. Ayrıca inceleme alanı içinde yer alan Van Ferit Melen Havaalanına, Adana, Ankara, Antalya, İstanbul ve İzmir gibi şehirlerden havayolu ile ulaşım mevcuttur.

1.4. Literatür Özeti

Bu bölüm kapsamında tez çalışması konusu ile ilgili önceki çalışmalar iki alt başlıkta sunulmuştur. Birinci bölümde, tez çalışması ile ilgili hem ulusal hem de uluslararası literatürde yer alan çalışmalar bölgesel ölçekte sunulurken, ikinci bölümde ise mevcut çalışmalar yerel ölçekte sunulmaktadır.

1.4.1. Bölgesel çalışmalar

Alemdar ve ark. (2009), Bitlis ili içme sularında ağır metal düzeyleri ile ilgili yaptıkları çalışmada, İlkbahar ve Sonbahar mevsimlerinde il merkezi ve diğer ilçelerde musluk ve depo sularından toplam 164 örnek almışlar ve Alevli Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresinde (Co, Ni, Pb, Zn, Cu, Cd, Fe ve Mn) analizleri gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analiz sonucunda; Fe (6.67 ppb), Cd (2.58 ppb), Mn (3.88 ppb), Zn (28.2 ppb) ve Cu (7.52 ppb) elementlerine ait ortalama değerlerin her iki örnekleme döneminde içme suyu standartlarına uygun olduğu belirtilmektedir. Ancak, Co (İlkbahar: 44.2 ppb; Sonbahar: 11.9 ppb) ve Pb (İlkbahar: 68.4 ppb; Sonbahar: 47.0 ppb) elementlerine ait sonuçlar her iki mevsimde ve Ni elementine ait sonucun ise sadece İlkbahar (40.1 ppb) döneminde standartların üzerinde olduğu belirtilmektedir. Çevre ve insan sağlığı açısından su kaynaklarının korunması ve su kalite kontrollerinin belirli periyotlarla yapılması sonucuna ulaşılmıştır.

Öztürk (2009) çalışmasında, arseniğin (As) içme sularındaki miktarı üzerinde yoğunlaşarak bu değerlerin yüksek olmasının insanlarda bazı hastalıklara yol açtığını belirtmiştir. Araştırmacı içme sularındaki As'nin, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen 10 ppb sınır değerini aşmaması gerektiğini vurgulamıştır. Çalışmada, Manisa ili ve bazı ilçelerinin içme ve yeraltısularındaki As'nin Atomik Absorbsiyon Spektroskopisi ile ölçümlerini yapmıştır. Analiz sonuçlarında, As(III) değeri 2.75 ppb'den ve As(V) değeri ise 8.04 ppb'den düşük bulunmuştur. As(V) değeri sadece bir örnekte sınır değeri (15.66 ppb) aşmış ve toplam arsenik 18.40 ppb olarak ölçülmüştür.

Varol (2011), Burdur İlinin Tefenni Ovasında yaptığı çalışmada bu alanda bulunan yeraltısularını hidrojeokimyasal açıdan değerlendirmiştir. İzotop çalışması sonucunda, bölgede yer alan sıcak ve soğuk suların, güncel meteorik kökenli yağışların besleniminden kaynaklandığını vurgulamıştır. İnceleme alanında yer alan yeraltı suları mikrobiyolojik ve ağır metal içeriği açısından analiz edilmiş olup insan sağlığını tehdit edecek herhangi bir kirlilikle karşılaşılmamıştır. Ayrıca bölgede bulunan sıcak suların balinolojik (sağlık turizmi) amaçlı kullanılması önerilmiştir.

Demir Yetiş (2013), Ceylanpınar Ovası yeraltısuyu kalitesini incelediği çalışmada majör iyon ve ağır metal analizleri gerçekleştirmiştir. Söz konusu çalışmada

yeraltısularının ağır metal kirliliği açısından sınır değerlerin altında kaldığı belirtilmekte olup bölgedeki suların Ca-HCO₃ ve Ca+Mg-Cl+SO₄ tipi sular olduğunu belirtmektedir.

Şimşek (2013) tarafından Şarkışla Ovasında (Sivas) gerçekleştirilen çalışmada, bu ovadaki yeraltısularındaki As'in kaynağını Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı sedimanter birimlerin oluşturduğu belirtilmektedir. Ovada akiferi oluşturan birimlerdeki (kayaç ve sediment) As miktarı 2-155 ppm arasında değişirken bu akiferdeki yeraltısuları ise 0.5-345 µg/l arasında değiştiği belirtilmekte olup As kirliliğinin jeojenik kökenli olduğu vurgulanmaktadır.

Yaren (2013), Anamur kıyı akiferinin hidrojeokimyasal özelliklerini incelemiştir. Çalışma kapsamında, su örneklerinde fiziksel ölçümler ile kimyasal ve izotop analizleri yapılmıştır. Kaynak başında ölçülen sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinin standart aralıklarda olduğu tespit edilmiştir. Bazı örneklerde nitrat, amonyum, potasyum, florür, demir ve alüminyum gibi kimyasal parametrelerin içme suyu standartlarının üzerinde çıktığı tespit edilmiştir. Sonuç itibariyle çalışma alanındaki suların sadece sulama amaçlı kullanımı uygun görülmüştür.

Yüksel (2014), Kayseri ili yeraltısularının hidrojeokimyası ile ilgili yaptığı çalışmada, bölgede yer alan suların Ca-HCO₃, Ca+Mg-HCO₃ ve Na-HCO₃ sular sınıfında yer aldığı belirtilmiştir. Alınan örneklerde yapılan analiz sonuçlarına göre, anyonların içerisinde HCO₃ değerinin diğer anyonlara oranla yüksek olduğu, katyonların içerisinde de Na, Ca ve Mg değerlerinin nispeten yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak bölgede boşalım sağlayan yeraltısularının içme suyu standartları açısından uygun olduğu tespit edilmiştir.

Karataş (2017) çalışmasında, Kütahya'nın Emet bölgesinde bulunan topraklarda insan sağlığı açısından zararlı olan arsenik (As) metaolidinin yüksek değerlerde olduğunu tespit etmiştir. Çalışmanın amacı bölgede bulunan bitki, toprak ve sudaki arseniğin detaylı bir şekilde araştırılması ve diğer potansiyel toksik elementlerin de (Cr, Cu, Zn, Hg, Sb, Cd, Ni, Pb) konsantrasyonlarının ölçülerek olası risklerinin bulunması olarak belirtilmiştir. Bu alanda geçmişte yapılan çalışmalarda yüksek As kirliliğinin insanlarda cilt hastalıklarına sebep olduğu gözlenmiştir. Yapılan çalışmada topraktaki As konsantrasyonunun 22 ile 770 ppm arasında değiştiği belirtilmekte olup bu değer bitkilerde 700 ppb ve sularda ise 730 ppb maksimum değerine kadar ulaştığı belirtilmektedir. Yetişkin ve çocuk bireyler için "istemsiz toprak yutma" senaryolarında

As'nin olası kanserojen risk değerinin 10 ppb limitini aştığı tespit edilmiştir. Çalışmanın gelecekteki muhtemel iyileştirme projelerine ışık tutacağı belirtilmiştir.

Özcan (2018), ülkemizin batısında yer alan Kütahya ve Köprüören Ovalarında, yüzey ve yeraltısularındaki ağır metal kirliliğini incelemiştir. Gerçekleştirilen çalışmada, suların kalitesini karbonatlı kayaçların denetlediği belirtilmekte olup ağır metal konsantrasyonlarının ppm düzeyinde olduğu belirtilmektedir. İncelenen alanın bazı kesimlerinde yüksek ağır metal konsantrasyonları jeojenik (doğal) kaynaklı olduğu bazı kesimlerinde ise antropojenik (yapay) kaynaklı olduğu vurgulanmaktadır. Sonuç olarak, elde edilen analiz sonuçları hem ulusal hem de uluslararası standartlara göre değerlendirilmiş ve çözüm önerileri ortaya konmuştur.

Şekerci (2018) yaptığı çalışmada, Antalya ili Korkuteli ilçesinde bulunan su kaynaklarını hidrojeokimyasal açıdan incelemiştir. Yapılan ölçüm ve analiz sonuçlarına göre bazı kaynakların sulamaya uygun olmadığı tespit edilmiştir. Yeraltısularında tespit edilen yüksek nitrat içeriği bölgedeki tarımsal faaliyetlerle ilişkilendirilmiştir. Su kaynaklarında analizi yapılan ağır metaller, Al, As, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn'dir. Sonuç itibarıyla bazı sularda Cr ve tüm sularda da As değerinin içme suyu standartlarının üzerinde çıkması, uzun süreli kullanımlarda insan sağlığını olumsuz olarak etkileme potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir.

Yedikardeş (2018), Kahramanmaraş ili, Göksun ilçesinin Yukarıkargabükü mevkiinde bulunan ve içme suyu amaçlı kullanılan kaynak sularının hidrojeokimyasal incelemesi üzerine çalışma yapmıştır. Beş farklı su kaynağından beş ay boyunca su örnekleri alınmıştır. Toplanan örneklerden ^{18}O ve ^2H ve ^3H izotop analizleri yapılmıştır. İzotop analiz sonuçlarına göre Nisan ayı yağışlı dönemde ^{18}O , ^2H ve ^3H değerleri sırası ile -10.44 – -8.85, -67.82 – -52.93 ve 3.84 – 7.72 aralığında değiştiiği, Eylül ayı kurak dönemde ise söz konusu izotop değerleri sırası ile -10.46 – -9.34, -67.50 – -64.04 ve 4.60 –7.00 aralığında değiştiiği vurgulanmıştır. Bölgede yapılan araştırmada, burada yaşıyan 60-70 yaşı aralığındaki insanlarda işitme kayıpları ile ilgili şikayetlerin fazla olması sulardaki baryum konsantrasyonunun Dünya standartlarının üzerinde çıkmasına bağlanmıştır.

Yücel (2018), Yeşilhisar (Develi-Kayseri) havzasında yaptığı çalışmada, su, kayaç ve toprak örneklerinde analizler gerçekleştirmiş ve yeraltısularındaki arsenik (3.8-750 $\mu\text{g/l}$) kirliliğinin jeojenik kökenli olduğunu belirlemiştir.

1.4.2. Yerel çalışmalar

Degens ve Kutman (1978) tarafından yapılan, “Van Gölü Jeolojisi” konulu çalışma; Van Gölü ve yakın çevresi ile ilgili jeolojik, batimetrik, hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmaları kapsamaktadır. Söz konusu çalışmada, Van Gölü için hidrolojik bütçe çalışması gerçekleştirilmiş, bütçenin dengede olduğu vurgulanmış ve Van Gölü ana beslenme kaynağının göl yüzeyine düşen yağışlar ve akarsular ile beslenme olduğu belirtilmektedir.

Acarlar ve ark. (1991), “Van Gölü Doğu ve Kuzeyinin Jeolojisi” adlı çalışmalarında, bölgenin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamışlardır. Araştırmacılar, Üst Pleyistosen oluşuklarını, eski-yeni yelpaze çökelleri, eski-yeni göl çökelleri, eski-yeni akarsu çökelleri, eski- yeni akarsu göl çökelleri ve akarsu çökelleri olmak üzere gruplara ayırarak incelemişlerdir.

Akdemir (1997), “Van Merkez ve Çevresinin Hidrojeolojisi” adlı incelemesinde, Pliyo-Kuvaterner yaşlı göl çökellerinin tane çapı dağılımlarının değişken olduğunu ve permabilite değerlerini 3.2×10^{-4} m/s – 6.6×10^{-4} m/s arasında olduğunu, bu anlamda göl çökellerinin geçirimli, yarı geçirimli zemin sınıfında olduğunu belirtmektedir. Ayrıca su alınan yeraltısuyu örneklerinin kimyasal analizi sonucunda ovada yer alan suların CaHCO_3 su tipi olduğu vurgulanmaktadır.

Gürpınar-Gevaş (Van) havzasındaki karst kaynaklarının hidrolojik ve hidrojeolojik incelemesi isimli çalışmalarında (Levendoğlu, 1982; Zırhlıoğlu, 1992; Akdemir, 1997; Özler ve ark., 2000; Özler, 2002), Mayıs-Kasım 1992 tarihleri arasında belirledikleri kaynak ve kuyulardan yapılan ölçüm ve analizleri sonuçları yer almaktadır. Bu sonuçlara göre bölge genelindeki yeraltısularını CaHCO_3 ve Na^+KHCO_3 tipi sular olmak üzere iki sınıfa ayırmışlardır. Araştırmacılar, çalışma alanı genelinde yayılım gösteren Permiyen yaşlı mermerler ile Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyon birimlerinin akifer özelliği gösterdiğini belirtmektedirler. Fakat bu çalışmalar sadece bahar ve yaz aylarında yapılmış olan gözlemleri kapsamakta olup, karst kaynaklarının yıl içindeki değişimleri hakkında bilgi içermemektedir.

Van Gölü’nde su seviyesinin yükselmesi nedeni ile ileride karşılaşılabilecek hidrolojik ve hidrojeolojik problemlerin çözümü için DSİ – TAKK (1998)’nin yaptığı, göl su bütçesini belirlenmesine yönelik çevresel izotop yöntemlerinin uygulandığı

çalışma, Van Gölü drenaj alanından bağımsız sadece göl ve yakın çevresini kapsamaktadır. Bu çalışmada, Göl suyunun kimyasal özelliklerinin derinlik boyunca fazla bir değişim göstermediği belirtilmektedir. Buna ek olarak, akarsular ve yeraltularının izotop içeriklerinin Dünya Meteorik Su Doğrusu üzerinde yer aldığı ve Göl suyuna ait değerlerin ise meteorik su doğrusundan bir miktar ($\delta D = 6.4 \times \delta 18O - 6.8$) saparak buharlaşma doğrusu üzerine düştüğü vurgulanmaktadır. Bu doğrunun meteorik su doğrusu ile akarsular ve yeraltularını temsil eden noktalarda çakışması, Van Gölü'nün söz konusu suların beslendiğini ve buharlaşmadan dolayı 18O ve D gibi ağır izotoplar bakımından zenginleşmiş olduğu şeklinde açıklanmaktadır.

Cantürk (2007) çalışmasında, Van il merkezi içinde akımını gerçekleştiren Akköprü Deresi su kalitesini belirlemek için bazı kirletici parametrelerin analizini gerçekleştirmiştir. Mevsimsel açıdan değişiklikleri gözlemlemek adına dere üzerinde önceden belirlenen 5 noktada Nisan 2015 ile Mart 2016 tarihleri arasında aylık periyotlarla su numuneleri alınmıştır. Alınan su numunelerinden yerinde ve laboratuvarında çeşitli analizler yapılmıştır. Yerinde yapılan ölçümler su sıcaklığı, Elektriksel iletkenlik, debi ve pH'tır. Laboratuvar ortamında ise su numunelerinde magnezyum, karbonat, bikarbonat, total alkalinite, total sertlik, çözülmüş oksijen, klorür, oksijen doymuşluğu, amonyum azotu parametreleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler ve analizler sonucunda Akköprü deresinin su kalite değişimi ve kirlenme potansiyeli değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda derenin rejiminin düzensiz olduğu ve düzensiz akış rejiminin su kalitesini etkilediği belirlenmiş olup suyun I. ve II. kalite sınıflarına girdiği tespit edilmiştir. Kirlilik ve kalitede yüzey akışların, diğer derelerin, evsel, endüstriyel ve tarımsal atıkların etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kılıçel ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, Van şehir merkezi ve yakın dolayındaki akarsularda, su ve dere yataklarındaki topraklarda bazı ağır metal içeriklerinin belirlenmesine yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışmada, su örneklerinin ortalama değerlerine göre, Pb, Co ve Cu konsantrasyonları yüksek ve Cd, Zn, Mn, Cr, Ni ve Fe konsantrasyonları ise normal değerlerde veya normal değerlerin altında bulunmuştur. Toprak örneklerinin ortalama değerlerine göre ise, Cd, Pb, Cu, Cr ve Ni konsantrasyonları yüksek ve Co, Zn ve Mn konsantrasyonları normal değerler içerisinde bulunmuştur. Araştırmacılar, sular ve topraklarda araştırılan elementlerin bir kısmının toksik etki gösterebilecek seviyeye ulaştığını belirtmektedir.

Atasoy ve ark. (2011) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Van şehir merkezinde yer alan 10 su noktasında ağır metal (mangan, kadmiyum, çinko, bakır, nikel, kobalt, demir, kurşun) ve bazı majör iyon (kalsiyum, magnezyum ve sodyum) analizleri için toplamda 100 adet su örneği alınmıştır. Alınan örneklerde analizler, Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresiyle gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda; Co, Ni, Fe, Cu, Zn, Cd, Mn ve Pb değerlerinin sırası ile 0.007-0.014 ppm, 0.012-0.046 ppm, 0.001-0.18 ppm, 0.006-0.11 ppm, 0.03-0.40 ppm, 0.001-0.005 ppm, 0.007-0.015 ppm ve 0.016-0.082 ppm arasında değiştiği belirtilmektedir. Ca, Na ve Mg gibi majör iyon değerleri ise 3.88-6.68 ppm, 31.06-38.49 ppm ve 6.78-6.81 ppm arasında belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, iz elementlerden Pb değerinin, ulusal ve uluslararası içme-kullanım suyu standartlarının üstünde olduğu belirtilmektedir.

Çavuş ve ark. (2017) çalışmalarında, Van ilinin içme suyu kaynaklardan aldıkları örneklerden fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelere ait ölçümler yapmışlar ve bu suların tüketime uygun olup olmadığını araştırmışlardır. Çalışmada, şebeke sularından alınan örneklerde, elektriksel iletkenlik, sıcaklık, bulanıklık ve çözünmüş oksijen değerleri yerinde ölçülmüştür. Kalsiyum, magnezyum, toplam sertlik, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam alkalinite, kobalt, siyanür, florür, potasyum, molibden, fosfor, çinko, bakır, nikel, alüminyum ve demir analizleri ile mikrobiyolojik analizler laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, Van il merkezinde alınan örneklerin genellikle İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik sınır değerleri içinde kaldığı belirtilmektedir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Tez çalışmasının amaç ve hedeflerine ulaşmak amacıyla oluşturulan teknik yaklaşım ve çalışma yönteminin gerektirdiği veriler, aşağıda belirtilen aşamalarda elde edilmiş ve değerlendirilmiştir.

2.1. Mevcut Verilerin Derlenmesi

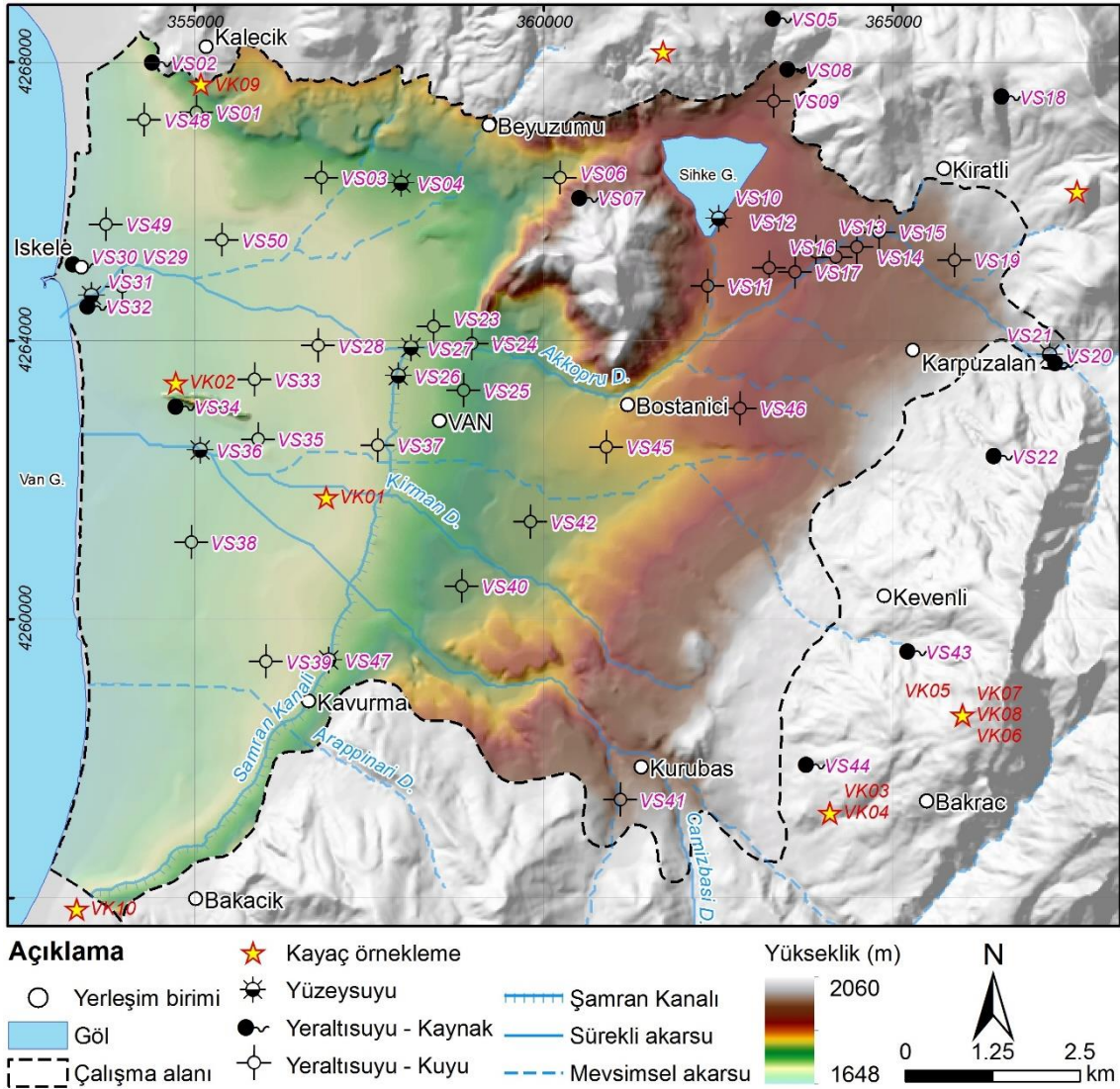
Çalışma alanının sınırlarının belirlenmesi amacı ile 1/25.000 ölçekli K50 (c3-c4), K51 (d3-d4), L50 (b1-b2) ve L51 (a1-a2) topografik paftalar sağlanmış ve doğal hidrolojik sınırlar dikkate alınarak Van Ovasının içinde yer aldığı drenaj alanı belirlenmiştir. Bununla birlikte 1/25.000 ölçekli topografik haritalar kullanılarak inceleme alanının sayısal arazi modeli (DEM: Digital Elevation Model) 25×25 m hassasiyet ile elde edilmiş ve çalışma kapsamında kullanılan haritalara altlık oluşturmuştur. Elde edilen drenaj sınırı ve yakın dolayında yayılım gösteren jeolojik birimlerin alansal yayılımı ve litolojik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile mevcut jeolojik çalışmalar derlenmiş ve arazi çalışması ile kontrolü sağlanmıştır. Yapılan değerlendirme sonrasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı yazılımlar kullanılarak inceleme alanı için 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası oluşturulmuştur.

İnceleme alanı ile ilgili mevcut hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmaları derlenmiş ve belirlenen jeolojik yapı ile birlikte değerlendirilmiştir. Çalışmanın amaç ve hedeflerine ulaşmak için gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda arazi çalışması kapsamında yapılacak su ve kayaç örneklemelerine ait strateji belirlenmiştir.

2.2. Arazi Çalışmaları

Bu bölüm kapsamında önceden belirlenen su ve kayaç örnekleme noktalarına, 11-12 Temmuz 2018 tarihlerinde arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Örnekleme noktalarının seçiminde öncelikle yöre halkı tarafından aktif olarak kullanılan su kaynakları seçilmiş olup ayrıca Van Ovasını temsil edecek şekilde yüzey ve yeraltısuyu noktalarında

örnekleme gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışması kapsamında öncelikle örnekleme yapılan noktaların koordinat bilgileri GPS ile belirlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. İnceleme alanında yer alan tüm su noktalarında YSI 556 MPS model multiparametre ölçüm aleti ile sıcaklık (T), pH, elektriksel iletkenlik (EC), tuzluluk (Sal) ve yükseltgenme-indirgenme potansiyeli (ORP) kaynak başında ölçülmüştür. Van Ovası su ve kayaç örneklerine ait lokasyon haritası Şekil 2.1’de verilmektedir. Su örnekleme noktalarında gerçekleştirilen analizlere ilişkin bilgi ise Çizelge 2.1’de yer almaktadır. Majör iyon ve ağır metal analizleri için 8 adet yüzey suyu ve 42 adet yeraltısuyu (12 adet kaynak ve 30 adet kuyu) olmak üzere toplam 50 noktadan yerinde



Şekil 2.1. Su ve kayaç örnekleme noktalarının inceleme alanındaki dağılımı.

Çizelge 2.1. Van Ovası yüzey ve yeraltısuyu örnekleme noktalarına ait özet bilgi

Kod	Tür	X (UTM - Zon 38)	Y	Z (m)	Analiz Türü				Açıklama
					Arazi	Majör	Ağır Metal	İzotop	
VS01	Sondaj	355008	4267282	1666	+	+	+	-	YTY Opet Kuyu
VS02	Kaynak	354500	4267995	1691	+	+	+	+	Kalecik Mah. - Kaynak
VS03	Sondaj	356804	4266345	1673	+	+	+	-	Sanayi - Sondaj
VS04	Dere	357951	4266259	1686	+	+	+	-	Sanayi
VS05	Kaynak	363392	4268627	1865	+	+	+	+	Hoşgedik Kaynağı - Özalp Yolu
VS06	Sondaj	360221	4266346	1717	+	+	+	-	Beyüzümü Mah. - Mehmet Nuri BOZKURT
VS07	Kaynak	360617	4266051	1725	+	+	+	+	Beyüzümü Mah. - Sihke TOKİ Kaynak
VS08	Kaynak	363600	4267898	1768	+	+	+	-	Gölüstü - İşrat Camii
VS09	Sondaj	363282	4267445	1766	+	+	+	-	Gölüstü - Savcı ERTOPCU
VS10	Gölet	362503	4265753	1756	+	+	+	-	Sihke Gölü
VS11	Sondaj	362335	4264789	1750	+	+	+	-	VASKİ Kuyu - Yalimerez Mah.
VS12	Sondaj	363885	4265275	1755	+	+	+	-	VASKİ Kuyu - Narmandüzi Mevkii
VS13	Sondaj	364169	4265203	1757	+	+	+	-	VASKİ Kuyu - Narmandüzi Mevkii
VS14	Sondaj	364470	4265346	1757	+	+	+	+	VASKİ Kuyu - Narmandüzi Mevkii
VS15	Sondaj	364788	4265564	1760	+	+	+	-	VASKİ Kuyu - Narmandüzi Mevkii
VS16	Sondaj	363214	4265048	1748	+	+	+	-	VASKİ Kuyu - Narmandüzi Mevkii
VS17	Sondaj	363586	4264991	1749	+	+	+	-	VASKİ Kuyu - Narmandüzi Mevkii
VS18	Kaynak	366662	4267506	1835	+	+	+	-	Kıratlı (Lacmizgirt) Köyü
VS19	Sondaj	365869	4265159	1797	+	+	+	-	Hamurkesen Mah. - Cafer SAĞLAM
VS20	Dere	367246	4263796	1835	+	+	+	-	Karpuzalan Köyü
VS21	Kaynak	367430	4263683	1838	+	+	+	+	Zernabat Suyu
VS22	Kaynak	366553	4262343	1814	+	+	+	-	Karpuzalan Camii
VS23	Sondaj	358412	4264207	1684	+	+	+	+	VASKİ Kuyu - Van Otogar
VS24	Sondaj	358954	4263962	1691	+	+	+	-	Akköprü Mah. - Umut ÖZKAN
VS25	Sondaj	358840	4263289	1690	+	+	+	-	Alipaşa Mah., Örnek Sitesi
VS26	Dere	357912	4263492	1675	+	+	+	-	İskele Cad. - Şamran Kanalı
VS27	Dere	358095	4263895	1673	+	+	+	-	İskele Cad. - Akköprü Deresi
VS28	Sondaj	356757	4263932	1667	+	+	+	-	İskele Cad. - Sezer Oto Yıkama
VS29	Sondaj	353949	4264778	1645	+	+	+	-	İskele Cad. - Lider Halı Yıkama
VS30	Kaynak	353363	4265100	1643	+	+	+	+	İskele Kaynak - Eski DMO
VS31	Dere	353518	4264642	1643	+	+	+	-	İskele Mah. - Akköprü Deresi
VS32	Kaynak	353574	4264496	1638	+	+	+	-	İskele Mah. - Kale Çeşme
VS33	Sondaj	355844	4263444	1656	+	+	+	-	Kale Mah. - Naci KOÇ
VS34	Kaynak	354837	4263058	1650	+	+	+	+	Van Kalesi - Horhor Kaynağı
VS35	Sondaj	355893	4262587	1658	+	+	+	-	Van Kalesi - Atatürk Kültür Parkı
VS36	Dere	355075	4262425	1650	+	+	+	-	Kırman Dere - Balıkbendi Yolu
VS37	Sondaj	357607	4262503	1673	+	+	+	+	Halılağa Mah. - Değirmencioğlu Halı Yıkama
VS38	Sondaj	354937	4261107	1652	+	+	+	+	Eminpaşa (Şamranaltı) Mah. - Harun ÇAKAR
VS39	Sondaj	356009	4259394	1665	+	+	+	+	Mavi Kent Sitesi
VS40	Sondaj	358814	4260480	1704	+	+	+	-	Şabaniye Mah. - Abbas BİÇEK
VS41	Sondaj	361083	4257410	1786	+	+	+	+	Kurubaş Köyü - İlhami KUMLI
VS42	Sondaj	359799	4261399	1710	+	+	+	-	Cumhuriyet Cad. - Sunpet
VS43	Kaynak	365318	4259537	1967	+	+	+	+	Kevenli (Şusanis) Köyü
VS44	Kaynak	363863	4257909	1897	+	+	+	-	Yedikilise (Bakraçlı) Köyü
VS45	Sondaj	360883	4262479	1733	+	+	+	+	Çuhaz Petrol
VS46	Sondaj	362800	4263032	1757	+	+	+	-	Bostaniçi (Esenler) Mah.
VS47	Dere	356921	4259413	1676	+	+	+	-	Selimbey Mah. - Şamran Kanalı
VS48	Sondaj	354261	4267173	1658	+	+	+	-	Kalecik Mah. - Bedrettin KÖSEOĞLU
VS49	Sondaj	353716	4265674	1647	+	+	+	-	İskele Mah. - Mete
VS50	Sondaj	355378	4265450	1656	+	+	+	+	Altntepe Mah. - İtfaiye Dairesi

fiziksel ölçümler (T, pH, EC) yapılarak, yöntemin gerektirdiği miktarda su örnekleri alınmıştır. Buna ek olarak çevresel izotop (^{18}O -D) analizleri için 15 noktadan yeraltısuyu örnekleme gerçekleştirilmiştir. Araziden alınan su örnekleri, buz kapları ve buzdolabında analiz edilinceye kadar $< 4^\circ\text{C}$ koşullarında saklanmıştır.

Ayrıca bölgede yayılım gösteren jeolojik birimlerde ağır metal içeriğini belirlemek üzere 10 noktadan kayaç örneği alınmıştır (Çizelge 2.2). Suda majör iyon, ağır metal ve çevresel izotop analizleri ile kayaçta ağır metal analizleri için alınan örnek miktarı, örnekleme yöntemi ve analiz hatalarına ilişkin özet bilgiler Çizelge 2.3'de verilmektedir.

Çizelge 2.2. Van Ovası kayaç örnekleme noktalarına ait özet bilgi

<i>Kod</i>	<i>Tür</i>	<i>X</i> (UTM - Zon 38)	<i>Y</i>	<i>Z</i> (m)	<i>Analiz Türü</i> <i>Ağır Metal</i>	<i>Açıklama</i>
VK01	Kayaç	356884	4261749	1673	+	Kale Mah. - Alüvyon
VK02	Kayaç	354730	4263396	1660	+	Van Kalesi - Kireçtaşı
VK03	Kayaç	364102	4257218	1979	+	Yedikilise (Bakraçlı) Köyü - Altere Kumtaşı
VK04					+	Yedikilise (Bakraçlı) Köyü - Kumtaşı
VK05	Kayaç	365999	4258621	2480	+	Erekdağı Ofiyolit - Serpantin
VK06					+	Erekdağı Ofiyolit - Kireçtaşı
VK07					+	Erekdağı Ofiyolit - Volkanik
VK08					+	Erekdağı Ofiyolit - Karmaşık
VK09	Kayaç	355087	4267686	1715	+	Kalecik Mah. - Kireçtaşı
VK10	Kayaç	353312	4255839	1670	+	Edremit - Traverten

Çizelge 2.3. Kaynak başı ölçümleri ve laboratuvar analizleri için alınan örnek miktarı ve yöntemi

<i>Parametre</i>	<i>Sayı</i>	<i>Faz/Miktar/Yöntem</i>
pH, T, EC, TDS, Sal, ORP	50	Yerinde/Kaynak başı/YSI 556MP cihazı/Ölçüm hatası; T: $\pm 0.15^\circ\text{C}$; pH: ± 0.2 birim; EC: ± 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Sal: ± 0.1 ppt; ORP: ± 20 mV.
Anyonlar	50	Sıvı/125 mL HP (High Polietilen) plastik şişeye filtre (0.45 μm) edilerek hava kabarcığı kalmayacak şekilde alınmıştır.
Kasyonlar	50	Sıvı/125 mL HP plastik şişeye filtre (0.45 μm) edilerek alınan su örneklerinin pH değeri 2'nin altına düşürülerek (HNO_3 ile) hava kabarcığı kalmayacak şekilde alınmıştır.
Ağır Metal	50	Sıvı/125 mL HP plastik şişeye filtre (0.45 μm) edilerek alınan su örneklerinin pH değeri 2'nin altına düşürülerek (HNO_3 ile) hava kabarcığı kalmayacak şekilde alınmıştır.
	10	Katı/~100 gr/Kayaç örneği sırası ile çeneli kırıcı ve agat havanda öğütülerek analiz için hazırlanmıştır.
İzotop ($\delta^{18}\text{O}$, δD)	15	Sıvı/10 mL/Vakumlu tüp veya HP plastik şişe

2.3. Laboratuvar Analizleri

İnceleme alanında yer alan su kaynaklarında ölçülen EC değerlerinin daha sağlıklı değerlendirilebilmesi amacı ile APHA ve ark. (1989) tarafından önerilen Eş. 2.1 kullanılarak 25 °C'deki eşdeğer elektriksel iletkenlik (EC_{25}) değerleri hesaplanmıştır.

$$EC_{25} = [EC \times K] / [1 + 0.0191 \times (T - 25)] \quad (2.1)$$

burada; EC_{25} : 25 °C'deki özgül elektriksel iletkenliği ($\mu\text{S}/\text{cm}$), EC : arazide ölçülen elektriksel iletkenliği ($\mu\text{S}/\text{cm}$), K : iletkenlik ölçer hücre sabitini ($=1 \text{ cm}^{-1}$) ve T : arazide ölçülen örnek sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$) ifade etmektedir.

Majör iyon analizleri için toplanan su örnekleri, Iğdır Üniversitesi, Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (ALUM) laboratuvarına ulaştırılmıştır. CO_3 ve HCO_3 iyonları dışındaki majör iyon analizleri bu laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. CO_3 ve HCO_3 analizleri Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Majör iyon analiz sonuçlarının güvenilirliği, Eş. 2.2'de (Appelo ve Postman, 2005) verilen yük dengesi (EB) hesaplanarak kontrol edilmiştir.

$$EB (\%) = [(\sum C + \sum A) / (\sum C - \sum A)] \times 100 \quad (2.2)$$

burada; EB : analitik hatayı (%), $\sum C$: Na, K, Ca ve Mg katyonlar toplamını (meq/l) ve $\sum A$: CO_3 , HCO_3 , Cl ve SO_4 anyonlar toplamını (meq/l) ifade etmektedir. Appelo ve Postman (2005), tatlılarda gerçekleştirilen analiz sonuçlarında analitik hatanın $\pm\%5$ aralığında olması gerektiğini belirtmektedir.

Suda ağır metal analizleri için alınan örnekler Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Bilim Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Analiz işlemlerinde kullanılan yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

- Majör iyonlar (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4) ile Br, F, Li, PO_4 , NO_2 , NO_3 , NH_4 ve PO_4 analizleri Dionem Model İyon Kromatografi cihazı,
- Alkalinite analizleri ise Titrimetrik Yöntem (hata: ± 3 ppm),
- İz element analizleri ICP-MS cihazı,

ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanında yer alan su noktalarından 10 ml'lik vakumlu cam tüpler ile derlenen örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD izotop analizleri, Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Duraylı İzotop Laboratuvarında lazer absorsiyonlu spektroskopi yöntemi (LGR DT-100 model Los Gatos Liquid Water Stable Isotope Analyzer) ile yapılmıştır. Bu analizlerin hata oranları $\delta^{18}\text{O}$ için %0.2 (VSMOW) ve δD için ise %1.0 (VSMOW)'tir.

İnceleme alanında Çizelge 2'de belirtilen noktalardan alınan kayaç örneklerinde ağır metal analizleri öncesi her bir örnek kırma ve öğütme işlemlerine tabi tutulmuştur. Bu kapsamda çeneli kırıcı ile örneğin %70'ine ait tane boyutu ≤ 2 mm olacak şekilde kırılmış ve standart bölücü ile yaklaşık 100 gr örnek Agat Havanda öğütülmek üzere alınmıştır. Agat Havanda alınan örneğin %85'inin tane boyutu ≤ 75 μm olacak şekilde öğütülmüş ve örnek hazırlama işlemi tamamlanmıştır. Kayaç örneklerinde ağır metal analizleri, ArgeTest Laboratuvarlarında (Ankara), aqua regia ($\text{HNO}_3:\text{HCl}$) çözme metodu kullanılarak çözelti haline getirilmiş ve ICP-MS (PerkinElmer – NexOIN 2000) cihazı kullanılarak, AT-8/SOIL 02 iş paketinde yer alan metaller belirlenmiştir.

2.4. Değerlendirme Çalışmaları

Çalışmanın amaç ve hedeflerine ulaşmak amacıyla Van Ovasından toplanan su ve kayaç analiz sonuçlarından; litoloji ve hidrojeolojik yapı arasındaki ilişki, su-kayaç etkileşim süreçleri, su türü ve kökeni, vb. süreçler hidrokimyasal çalışmalarda yaygın olarak kullanılan diyagramlar (Piper, Schoeller vb.) ve jeokimyasal model yazılımları kullanılarak belirlenmiştir. İnceleme alanındaki yeraltısularının kökeni ve olası beslenme bölgeleri $\delta^{18}\text{O}$ ve δD analiz sonuçlarından itibaren değerlendirilmiştir. Ardından her bir örneğin su kalitesi, TS266, WHO ve EPA gibi ulusal ve uluslararası standartlar ölçeğinde kıyaslanmış ve içme-kullanım amacı ile ortaya konmuştur. Kaynak başı ölçüm sonuçları ile majör iyonlar (Na, Ca, Mg, Cl, SO_4 , vb.) ve ağır metal (As, Cd, Hg, Sb, Pb, Zn, vb.) derişimlerinin Van Ovası içindeki konumsal dağılım haritaları, CBS tabanlı yazılımlar ile oluşturulmuştur. Kirlilik yükü yüksek alanlar ve olası kirletici kaynakları, oluşturulan bu dağılım haritaları yardımı ile belirlenmiştir. Sonuç olarak, çalışma alanı içindeki yüzey

ve yeraltısuyu kalitesindeki sorunlar ve bu olası sorunların çözümü için öneriler sunulmuştur.





3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Jeoloji, Hidroloji ve Hidrojeoloji

3.1.1. Stratigrafik yapı

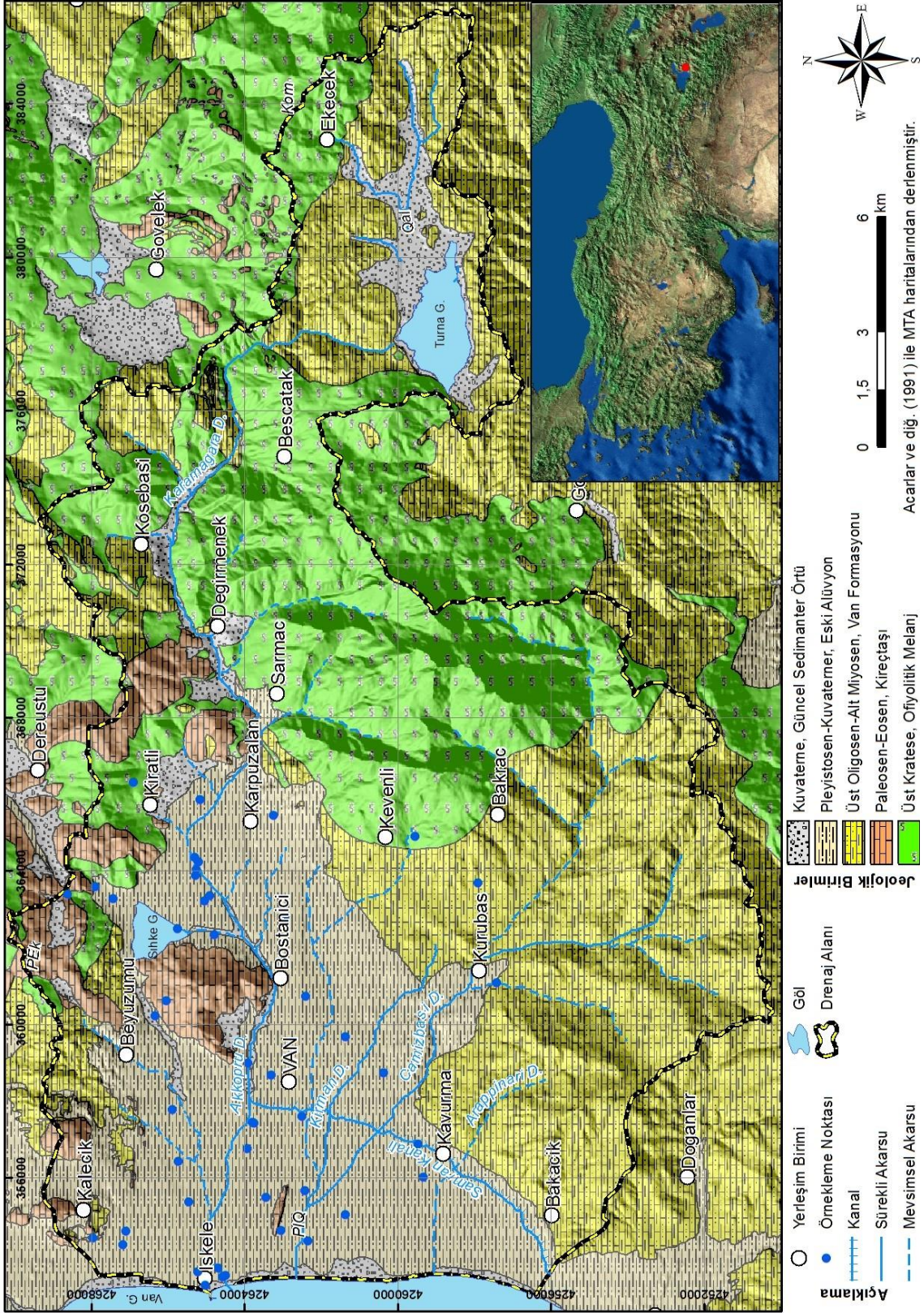
İnceleme alanında yüzeyleyen birimler, tektonik ve stratigrafik açıdan Allohton, Otokton ve Neo-otokton birimlerdir. Allohton birimleri Üst Kratese yaşlı Ofiyolitik Melanj ve Paleosen-Eosen yaşlı kireçtaşları oluşturmaktadır. Otokton birimi Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Van Formasyonu oluştururken, Neo-otokton birimler ise Pleyistosen-Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar ile Kuvaterner yaşlı güncel akarsu çökelleri oluşmaktadır.

3.1.1.1. Allohton birimler

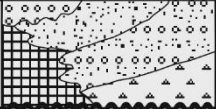
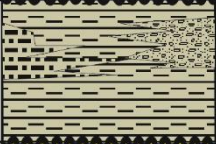

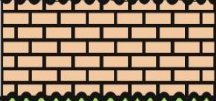

Üst Kratese Ofiyolitik Melanj: Farklı zaman dilimine ait metamorfik volkanik ve sedimanter kayalardan oluşan bu birimi, Özalp dolayında yüzeyleyen Mehmetalan Peridotiti, Bakışık Karmaşığı, Serpantinler ve Beyaslan Gabrosu (Şenel ve ark., 1984) ile benzer özellik göstermektedir. Ofiyolitik Melanj, Acarlar ve ark. (1991) Ereğdağı Ofiyolit'i olarak tanımlamıştır. Birim adını, Van ilinin doğusunda bulunan ve inceleme alanının D sınırını oluşturan Ereğ Dağı'ndan almaktadır.

Birim, Ereğ Dağı ve D'da geniş alanlarda yüzeylenmektedir (Şekil 3.1). Birimin gabro ve peridotitleri çoğun diyabaz daykalarıyla kesilmektedir. Ofiyolitik Melanjı oluşturan kaya türleri birbirleri ile ekaylı bir yapı göstermektedirler. Bu ekaylanmalar sonucu kimi yerde metagabro ve metadiyabazlara rastlanmaktadır (Acarlar ve ark., 1991; Ateş ve ark., 2007). Ereğdağı Ofiyolit'inin alt ve üst ilişkisi tektoniktir. Ofiyolitlerin ilk yerleşimi yaşı Şenel ve ark. (1984) tarafından Üst Kratese olarak belirtilmektedir (Şekil 3.2).

Paleosen-Eosen Kireçtaşı: Bu birim, Van şehir merkezinin K'de yer alan Toprakkale Tepe'den adını almakta olup Acarlar ve ark. (1991) tarafından Toprakkale Formasyonu olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.1. İnceleme alanı ve yakın dolayının jeoloji haritası.

Zaman	Devir	Devre	Formasyon	Litoloji	Açıklamalar
SENOZOYİK	Kuvaterner	Pleyistosen-Holosen	Güncel Çökeller		Tutturulmamış silt, kil, kum, çakıl, yamaç molozu, eski alüvyon ve traverten
			Eski Alüvyon		Krem-bej renkli konglomera, çakıllı kumtaşı, kumtaşı ve silttaşı ardalanması
	Tersiyer	Üst Oligosen	Van Formasyonu		Yeşil- bej renkli kumtaşı, kiltası, silttaşı ve yer yer kireçtaşı ardalanması
			Paleosen Eosen	Kireçtaşı	
MESOZOYİK	Kratase	Üst	Ofiyolitik Melanj		Serpantin, radyolarit ve kireçtaşı blokları karışık

Ölçeksiz

Şekil 3.2. İnceleme alanı ve yakın dolayının stratigrafik istifi (Acarlar ve ark. (1991)'den derlenmiştir).

İnceleme alanının K kesiminde Kalecik, Bostaniçi ve Dereüstü mahalleleri arasında kalan yüksek kesimlerde yüzeylenmektedir (Şekil 3.1). Ayrıca, Van şehir merkezinin B'da yer alan ve yaklaşık 2900 yıl önce Urartulara ev sahipliği yapmış Van Kalesi, Paleosen-Eosen yaşlı kireçtaşları üzerine kurulmuştur. Resifal kireçtaşlarından oluşan birim, yer yer breşik bir yapıda olup krem, yer yer gri renkli, masif görümlü, kalın katmanlı ve sık kırıklı-çatlaklı bir yapı sunmaktadır. Bol miktarda fosil içeren birim, yer yer dolomitik kireçtaşlarını da kapsamaktadır (Acarlar ve ark., 1991; Ateş ve ark., 2007). Alt ve üst ilişkisi tektonik olan kireçtaşlarının çökme ortamı ve birimin içerdiği fosiller dikkate alınarak, Paleosen-Eosen yaşlı olduğu belirtilmektedir (Şekil 3.2; Acarlar ve ark., 1991).

3.1.1.2. Para-otokton birimler

Van Formasyonu: Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı, kırıntılı kayalardan oluşan bu birime Acarlar ve ark. (1991) Van Formasyonu adını vermişlerdir. Van Formasyonu, Özalp ve Başkale dolayında yüzeylenen Mendikdere Formasyonu (Acarlar ve Türkecan, 1986; Şenel ve ark., 1984) ile denestirilebilir. Bölgede gözlenen Gürpınar Gurubu'nun

(Balkaş ve ark., 1980) üst bölümleri Van Formasyonu ile benzer özellikler göstermektedir. İnceleme alanının G'de Bakacık, Kurubas, Bakraç ve Doğanlar mahalleleri arasında kalan geniş alanlarda yüzeylemektedir. Ayrıca Van Ovası drenaj alanının doğusunda Turna Gölü G'de de mostra vermektedir. Kıltaşı, silttaşı ve kumtaşı araldanmasından oluşan birimin en üst kesimleri Kurubaş Geçidi (İl merkezinin GD'su) çevresinde yayılım göstermektedir (Şekil 3.1).

Van Formasyonu'nun hakim kaya türünü, kumtaşı ve şeyl araldanması oluşturmaktadır. Kumtaşları, ince-orta ve kısmen kalın tabakalı, şeyller ise ince tabakalı bir yapıdadır. Tektonik etkilerle kimi şeyl seviyelerinde yapraklanma görülmektedir. Makro fosil kavkıları içeren kumtaşları, bol miktarda ofiyolitik kayalardan kopan malzeme içermekte olup bitki izli ve genelde karbonat çimentoludur. Kumtaşı ve şeyller, yeşilimsi kahverengi ve kahve renklidir. Çakıltaşları, kumtaşı ve şeyl araldanması içinde arakatki biçiminde olup çakıltaşı düzeylerinin kalınlığı genellikle 1-2 m'dir. Çakıltaşlarının çakılları; ofiyolit, kristalize kireçtaşı, şist ve volkanik kökenlidir (Acarlar ve ark., 1991).

Van Formasyonu'nun kapsadığı kaya türleri biri birleri ile yanal ve düşey geçişlidir. Van Formasyonu daha yaşlı formasyonların üzerinde açısız uyumsuz olarak yer alırken, üzerine ise Kurtdeği Formasyonu, yine açısız uyumsuz olarak gelmektedir. Formasyonun kalınlığı yaklaşık 1200 m'dir. Van Formasyonu, içerdiği fosillere göre Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlıdır (Şekil 3.2; Acarlar ve ark., 1991; Balkaş, 1980).

3.1.1.3. Neo-otokton birimler

Eski Alüvyon: Pekişmemiş kırıntılı kayalardan oluşan ve Pliyosen-Kuvaterner yaşlı olarak varsayılan bu birim, Acarlar ve Türkecan (1986) tarafından yapılan çalışmada, Büyükçay Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bu formasyon, Van Ovasının büyük bir kesiminde yüzeylemektedir (Şekil 3.1).

Acarlar ve Türkecan (1986) birimi oluşturan kırıntılı kayaların, karasal çökeller olduğunu ve örgülü akarsu ve taşkın ovası çökellerini kapsadığını belirtmektedir. Formasyonu, tabanda çakıltaşları daha üst düzeylerde ise kumtaşı ve kıltaşından oluşmaktadır. En üst seviyede ise tutturulmamış kumlu-çakıllı ve killi-siltli düzeylerden oluşmaktadır. Çakıltaşları, çok çakıllı-polijenik olup kimi yerde iyi tutturulmamıştır.

Bunlar kötü boylanmalı ve orta-kalın tabakalıdır. Genellikle açık kırmızı ve kahve renkli olan çakıllar orta yuvarlaklıkta ve köşelidir. Kumtaşları ile kilttaşları, sarımsı kahverenkli ve kahverenkli olup ince-orta tabakalıdır. En üst seviyede yer alan kumlu-çakıllı ve killi-siltli düzeyler karışık ve girift olarak gözlenmektedir. Bunlar, kahverenkli olup yatay konumlu tabakalanma göstermektedir (Acarlar ve Türkecan, 1986).

Büyükçay Formasyon'u, Gürpınar ilçesinin D'da Büyükçay Dere'de tip kesit vermektedir. Bu Formasyon, daha yaşlı birimleri açısız uyumsuzlukla örtmekte ve Bunların üzerine güncel çökeller uyumsuz olarak gelmektedir. Birimin kalınlığı yaklaşık 400 m dolayındadır. Bu formasyon yanıl değişim göstermemektedir. Büyükçay Formasyonu içinde herhangi bir fosil bulgusuna rastlanmamıştır. Ancak Alt Miyosen yaşlı çökelleri açısız uyumsuzlukla örtmeleri ve günümüz oluşukları tarafından uyumsuzlukla örtülmeleri, Pliyosen-Kuvaterner yaşlı olmalarını gerektirmektedir (Şekil 3.2; Acarlar ve Türkecan, 1986).

Güncel Sedimanter Örtü: Kuvaterner yaşlı bu birim yamaç molozu ve güncel akarsu çökellerinden oluşmaktadır. Yamaç molozları yamaçlarda ve yamaçların düzlüğe ulaştığı yerlerde düşerek ve kayarak oluşmuş; yer yer gevşek oluşum gösteren çökellerdir. Tutturulmamış veya az tutturulmuş, blok, çakıl ve kum boyu malzemeler, dağların yamaçlarında veya eteklerinde yer yer birikintiler halinde gözlenmektedir. Yamaç molozları ise Erek Dağı B etekleri ile Van Kalesi ve Toprakkale çevresinde yer alan yamaçlarda yüzeylenmektedir. Güncel alüvyonlar ise akarsu oluşukları, kanal çökelleri ve taşkın ovası çökellerini kapsamaktadır. Genel olarak kanal çökelleri, kumlu-çakıllı düzeylerden, taşkın ovası çökelleri ise killi-siltli düzeylerden oluşmaktadır. İnceleme alanındaki Alüvyon birimlerin Van Gölü sahili ve dere yatakları (Akköprü, Kirman, vb. dere yatakları) boyunca çökeldiği gözlenirken, Van Ovasının D ve KD'da Kıratlı, Değirmenek, Dereüstü ve Gövelek mahalleleri ile Turna Gölü çevresinde de gözlenmektedir (Şekil 3.1-3.2).

3.1.1.4. Tektonizma ve yapısal jeoloji

İnceleme alanı ve yakın dolayının yer aldığı Doğu Anadolu'nun jeolojik evrimi, kuzeyde Avrasya plakası ve güneyde ise Afrika-Arabistan levhalarının hareketine bağlı olarak gelişmiştir. Orta Miyosen'den itibaren Avrasya ve Arabistan levhalarının Bitlis-

Zagros Bindirme Zonu boyunca çarpışması, günümüzde deniz seviyesinden ortalama 2000 m yüksekliğe sahip Doğu Anadolu'nun D-B uzanımlı plato karakterli yükselim alanlarına ve dağlar arası havzalara sahip olmasına neden olmuştur (Şengör ve Kidd, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Dewey ve ark., 1986). Doğu Anadolu'nun güncel morfolojisinin oluşmasında, Avrasya-Arabistan plakalarının çarpışmasına koşut bölgede gelişen önemli volkanik aktivitelerde (Tendürek, Süphan, Nemrut, vb.) rol oynamıştır.

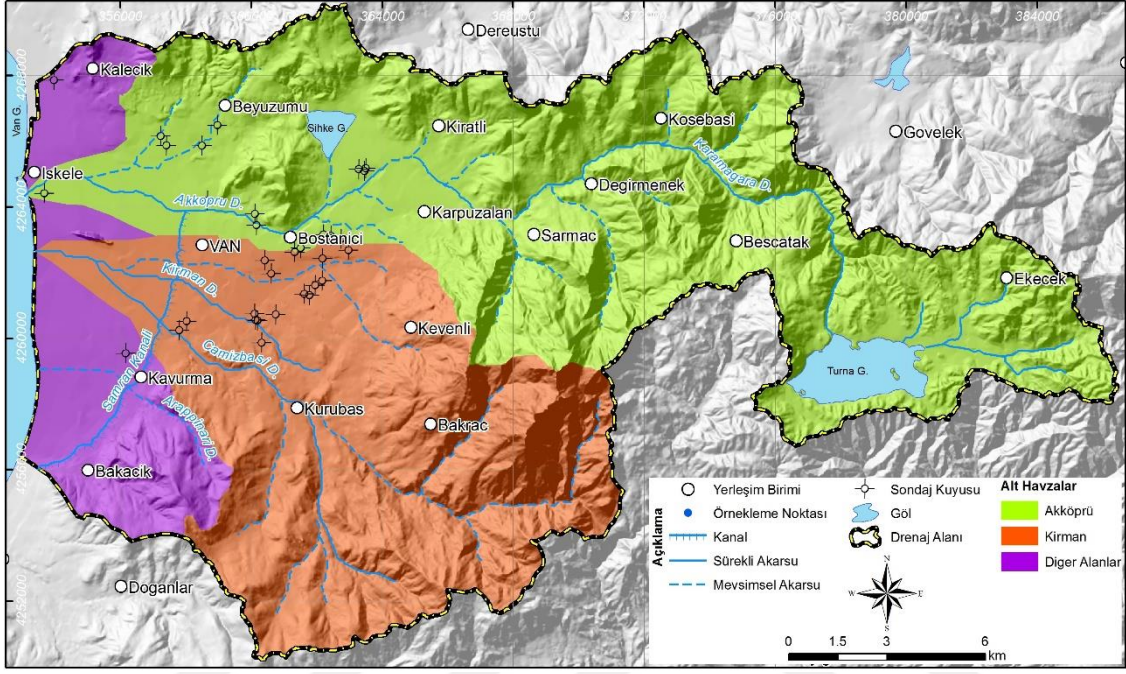
İnceleme alanı ve yakın dolayında paleotektonik dönemde oluşmuş faylar bulunmakla birlikte, Orta Miyosen'de ki çarpışmadan itibaren bu fayları kesen D-B doğrultulu neotektonik dönemde oluşan faylarda söz konusudur (Ateş ve ark., 2007). Ketin (1977), ülkemizin D'de Van Gölü ile İran sınırı arasında kalan bölgede D-B uzanımlı dört fay zonunun bulunduğunu belirtmekte olup en önemlisinin ise inceleme alanının K sınırı boyunca Van Gölü-Erçek Gölü-Özalp-Khoy (İran) hattı boyunca uzandığını belirtmektedir. Bu faylar G'den K'ye doğru Gürpınar, Beyüzümü, Van ve Yeniköşk fayı olarak tanımlanmıştır. Gürpınar Fayı inceleme alanının G sınırında yer alırken, Van Fayı ise K sınırında yer almaktadır. Beyüzümü Fayı is inceleme alanının K kesiminde Beyüzümü Mahallesinde D-B doğrultusu boyunca uzanmaktadır.

3.1.2. Hidroloji

3.1.2.1. Drenaj ağı ve akarsular

İnceleme alanındaki ana drenaj ağını Akköprü Deresi oluşturmaktadır (Şekil 3.3). Çalışma alanının D'da kalan yüksek kesimleri drene eden mevsimsel dereler, KD ve D kesimlerden Turna Gölü'ne ulaşmaktadır. Turna Gölü K çıkışına günümüzden yaklaşık 2900 yıl önce Urartu Kralı II. Rusa tarafından yaptırılan ve halen aktif olarak çalışan Rusa Barajı ile yüzey suları Karamağara Dereye ulaşmaktadır. Karamağara Dere ve yan kolları tarafından drene olan yüzey suları Van Ovası'nın D'da Karpuzalan Mahallesinde Akköprü Deresi ile birleşmektedir. Akköprü Deresi D'dan B'ya doğru Van Ovasını kat ederek İskele Mahallesinden Van Gölü'ne ulaşmaktadır. Akköprü Deresi'nin yanı sıra, inceleme alanının G-GD kesimlerinde nispeten topoğrafyanın yüksek olduğu alanlarda meydana gelen kar erimelerine bağlı olarak mevsimsel akarsu özelliği gösteren Camızbaşı Dere, Van Kalesi yakınlarında sürekli akarsu karakterindeki Kirman Dere ile

birleşmekte ve Van Gölüne ulaşmaktadır. Akköprü ve Kirman derelerinin drenaj alanları, Van Ovası toplam drenaj alanının (373.7 km²) sırası ile %52.5 (196.3 km²) ve %35.3'ünü (132.0 km²) olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. İnceleme alanı ve yakın dolayının hidroloji haritası.

İnceleme alanı içinde sürekli gözlem yapan Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) bulunmamakta olup yakın AGİ'ni Turna Gölü'nün yaklaşık 13 km G'de yer alan Zerne Barajında yer almaktadır. Van ovasında meydana gelen yüzeysel akım miktarının belirlenmesi için Turna Gölü G'inde yer alan ve Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'ne ait E25A009 (1960-1992) nolu AGİ yer almaktadır. Söz konusu AGİ'da gözlenen aylık ortalama akım verileri OSİB (2018)'den sağlanmıştır. Aynı raporda, söz konusu AGİ'da gözlenen veriler, komşu akım gözlem istasyonları ile drenaj alanı-akış katsayısı ilişkisi kullanılarak eksik kalan yıllar (1993-2014) için elde edilmiş ve gözlem süresi 1960-2014 yıllarını kapsayacak şekilde oluşturulmuştur. Dolayısı ile Van Ovası yüzeysel akım miktarı ile ilgili değerlendirmeler E25A009 nolu AGİ'da gözlenen akım değerleri kullanılarak hesaplanacaktır (OSİB, 2018).

Bu kapsamda söz konusu AGİ'na ait drenaj alanı-akış katsayısı (α) ilişkisi değerlendirmeye alınmış olup, bu değerler t zamanında AGİ'de ölçülen akım değerinin söz konusu AGİ'nin drenaj alanına bölünmesi ile elde edilmektedir. α , birim zaman

içinde birim alanda meydana gelen akım miktarını ($l/s/km^2$) ifade etmektedir (OSİB, 2018).

E25A009 (drenaj alanı: $1598 km^2$) nolu AGİ'da gözlenen akımların 1960-2014 yılları arası ortalama, en düşük ve en yüksek akım değerleri sırası ile $4.532 m^3/s$, $0.622 m^3/s$ ve $39.0 m^3/s$ olarak gözlenmiştir. E25A009 nolu Zernek AGİ'de 1960-2014 yılları arasında gözlenen uzun yıllar aylık ortalama akım değerleri, söz konusu AGİ'nin drenaj alanına ($1598 km^2$) bölünerek her ay için akış katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda E25A009 nolu AGİ'nin drenaj alanında birim alanda ($1.0 km^2$) yağışlardan ve kar ermelerinden sonra yüzeysel akışa geçen ortalama su miktarı $4.439 l/s$ olarak hesaplanmıştır (OSİB, 2018). Akköprü ($196.3 km^2$) ve Kirman ($132.0 km^2$) dereleri ile diğer alanlarda ($45.4 km^2$) meydana gelen akım miktarları Zernek AGİ'da elde edilen drenaj alanı-akış katsayısı ilişkisi kullanılarak 1960-2014 yılları (55 yıl) için aylık olarak hesaplanmıştır. Söz konusu AGİ'da meydana gelen uzun yıllar aylık ortalama akım değerleri Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. İnceleme alanı akarsuları uzun yıllar (1960-2014) aylık ortalama akım miktarları (m^3/s)

Akarsu Adı	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Ort
Akköprü Deresi	0.237	0.243	0.375	1.196	1.739	1.081	0.503	0.293	0.232	0.260	0.275	0.249	0.557
Kirman Dere	0.160	0.163	0.252	0.804	1.169	0.727	0.338	0.197	0.156	0.175	0.185	0.167	0.374
Diğer Alanlar	0.055	0.056	0.087	0.277	0.402	0.250	0.116	0.068	0.054	0.060	0.064	0.058	0.129
Toplam	0.452	0.463	0.714	2.276	3.310	2.058	0.957	0.557	0.441	0.495	0.523	0.474	1.060

Yapılan değerlendirme sonucunda; inceleme alanı içinde yer alan Akköprü ve Kirman dereleri ile diğer alanlarda drene olan ve Van Gölüne ulaşan uzun yıllar ortalama akım miktarı sırası ile $0.557 m^3/s$, $0.374 m^3/s$ ve $0.129 m^3/s$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Van Ovası drenaj alanında yağışlar ve kar erimesi sonrası meydana gelen yüzeysel akım miktarı ile yeraltısuyu katkı miktarlarını temsil etmektedir.

3.1.2.2. Göller ve sulak alanlar

İnceleme alanının B sınırını Van Gölü oluşturmaktadır. Van Gölü ile çalışma alanı doğusunda Turna (Keşiş) Gölü yer alırken ova içinde ise Sihke Göleti bulunmaktadır

(Şekil 3.3). Van Gölü, Dünya'nın en büyük sodalı ve dördüncü kapalı havza gölüdür. Van Gölü ortalama serbest su yüzeyi (göl) alanı 3580.9 km^2 hesaplanmış olup 1944-2016 yılları arasında serbest su yüzeyi alanı 3558.3 km^2 ile 3623.6 km^2 arasında değişmiştir. Söz konusu zaman diliminde en düşük ve en yüksek su seviyesi 1646.64 m ile 1650.55 m arasında değişmekte olup, uzun yıllar Van Gölü ortalama su seviyesi ise 1648.43 m olarak hesaplanmıştır. En düşük, en yüksek ve ortalama su seviyelerinde Van Gölü hacmi Düzen (2011) tarafından sırası ile 563.3 km^3 , 575.0 km^3 ve 568.1 km^3 olarak belirtilmektedir.

Turna (Keşiş) Gölü, inceleme alanının D'de ortalama 2544 m kotunda yer almakta ve 6.01 km^2 'lik yüzey alanına sahiptir. Turna (Keşiş) Gölü sulak alanı, yaklaşık 10.0 km^2 'lik bir serbest su yüzeyine ve sulak alana sahiptir. Turna (Keşiş) Gölü drenaj alanın yükseklik değeri 2544 m ile 2935 m arasında değişmektedir. Turna (Keşiş) Gölü, Urartu Kralı II. Rusa (M.Ö. 685-645) tarafından küçük bir akarsu vadisinin önünün kapatılmasıyla meydana getirilmiş yapay bir göldür. Ancak zamanla doğallaşmış ve önemli bir sulak alan haline gelmiştir. Bölgede, Turna (Keşiş) Gölü, yapımcısının ismi olan "*Rusa Barajı*" olarak da bilinmektedir.

İnceleme alanının K'de Van Ovası içinde yer alan Sıhke Göleti, 1954-1958 yılları arasında Van Ovasında yer alan tarım alanlarının sulanması amacı ile yapılmıştır. 1958 yılında su tutmaya başlanan göletin, serbest su yüzeyi alanı 1.22 km^2 olarak hesaplanmıştır.

İnceleme alanı drenaj sınırları içinde bir adet ulusal ve iki adet mahalli öneme haiz sulak alan olmak üzere üç tane sulak alan bulunmaktadır (DKMP, 2019). Ulusal öneme sahip sulak alan çalışma alanının D'de yer alan Turna Gölü olup yaklaşık 30.5 km^2 'lik tescil alanına sahiptir. Mahalli öneme sahip sulak alanlar ise inceleme alanının B sınırında Van Gölü kıyısında yer alan Van ve Edremit Sazlıkları sulak alanlarıdır.

3.1.2.3. Meteorolojik veriler

Çalışma alanı ve yakın dolayının iklimsel özelliklerinin ortaya konması amacı ile inceleme alanı içinde yer alan Van Meteoroloji Gözlem İstasyonunda (MGİ) 1939-2018 yılları arasında gözlenen meteorolojik veriler değerlendirilmiştir. Van MGİ'da 1939-

2018 yılları arasında kaydedilen aylık ortalama sıcaklık, yağış ve nem verilerine ait özet bilgi Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Van MGİ’da 1939-2018 yılları arasında kaydedilen aylık ortalama sıcaklık, yağış ve nem verileri

Parametre	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Ort/Top	
T _{ort} (°C)	Ort	-3.09	-2.58	1.55	7.71	13.10	18.18	22.27	22.16	17.79	11.25	4.88	-0.50	9.39
	Min	-10.20	-8.50	-4.10	4.30	9.90	15.20	19.90	18.80	14.10	7.80	-0.10	-6.50	
	Max	1.80	2.70	8.20	11.40	16.50	21.30	25.30	24.50	20.40	14.20	9.00	3.70	
T _{min} (°C)	Ort	-15.35	-14.94	-11.01	-3.59	1.91	6.16	10.23	10.73	6.07	-0.01	-6.40	-12.32	-2.38
	Min	-28.70	-28.20	-22.70	-13.10	-3.50	-2.60	3.60	5.00	-0.10	-14.00	-18.60	-21.30	
	Max	-6.70	-5.50	-1.60	2.10	5.70	10.60	14.20	15.00	10.80	4.70	1.50	-4.10	
T _{max} (°C)	Ort	7.12	8.39	13.16	19.60	24.43	28.95	32.35	32.33	29.29	23.44	15.73	9.97	20.40
	Min	2.40	3.40	4.70	13.60	20.20	25.00	29.10	28.40	23.80	19.20	10.80	2.30	
	Max	12.60	14.30	22.70	27.20	28.30	33.50	37.50	36.70	35.00	28.80	20.10	15.50	
P (mm)	35.6	33.5	46.5	55.7	46.3	19.2	6.1	6.2	15.9	47.3	47.9	37.7	397.8	
RH (%)	69.1	69.2	67.8	62.1	56.8	49.7	43.8	41.5	43.7	58.4	66.5	68.9	58.13	

T_{ort}: ortalama sıcaklık; T_{min}: en düşük sıcaklık; T_{max}: en yüksek sıcaklık; P: yağış; RH: nispi nem.

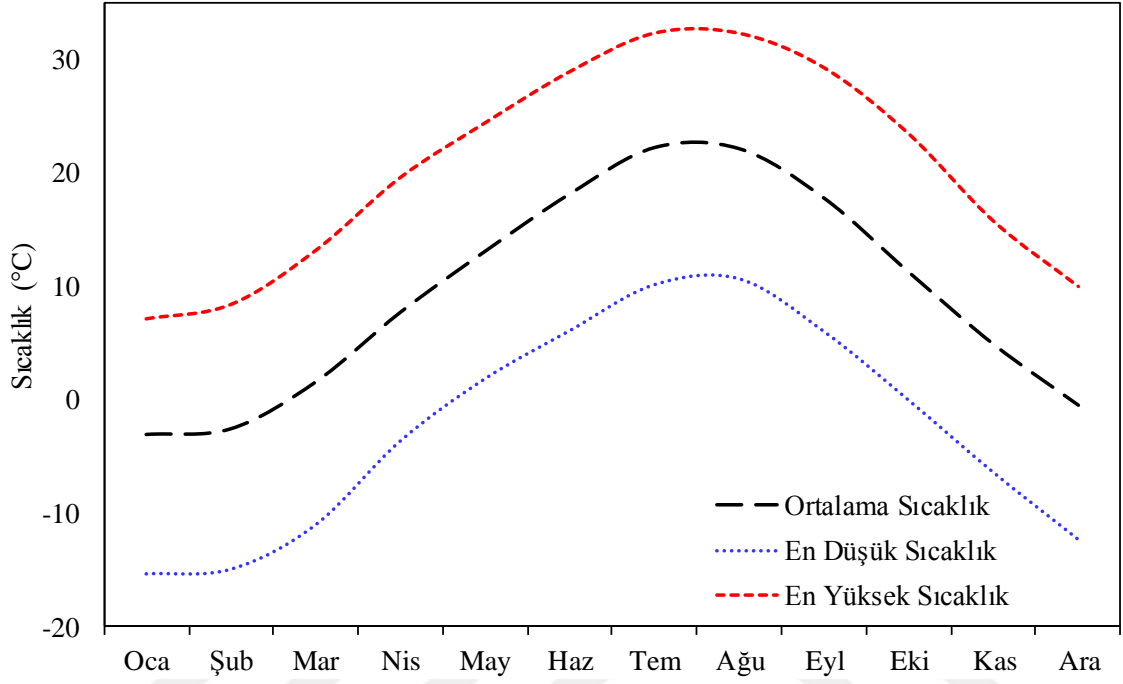
Sıcaklık: Van MGİ’da 1939-2018 yılları arasında kalan 80 yıllık sürede kaydedilen sıcaklık verileri ile hesaplanan aylık ortalama sıcaklık değeri 9.39 °C elde edilmiştir. Uzun yıllar en düşük ve en yüksek ortalama sıcaklık değerleri ise sırası ile -3.09 °C (Ocak) ve 22.27 °C (Temmuz) olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.4). Çalışma alanında 1939-2018 yılları arasında kaydedilen en düşük ve en yüksek aylık ortalama hava sıcaklık değerleri ise sırası -28.70 °C ile Ocak 1964’de ve 37.50 °C ile Temmuz 1966’da kaydedilmiştir (Çizelge 3.2).

Yağış: Van MGİ’da 80 yıllık sürede kaydedilen yıllık ortalama toplam yağış miktarı 397.8 mm iken (Şekil 3.5) en düşük ve en yüksek yıllık ortalama toplam yağış miktarı ise 239.0 mm (2000 yılı) ve 548.1 mm (1994 yılı) olarak kaydedilmiştir. Yağış verisi aylara göre incelendiğinde en yüksek aylık ortalama toplam yağış 55.7 mm ile Nisan ayında gerçekleşirken, en düşük yağış ise yaklaşık 6.0 mm ile Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleşmiştir (Çizelge 3.2).

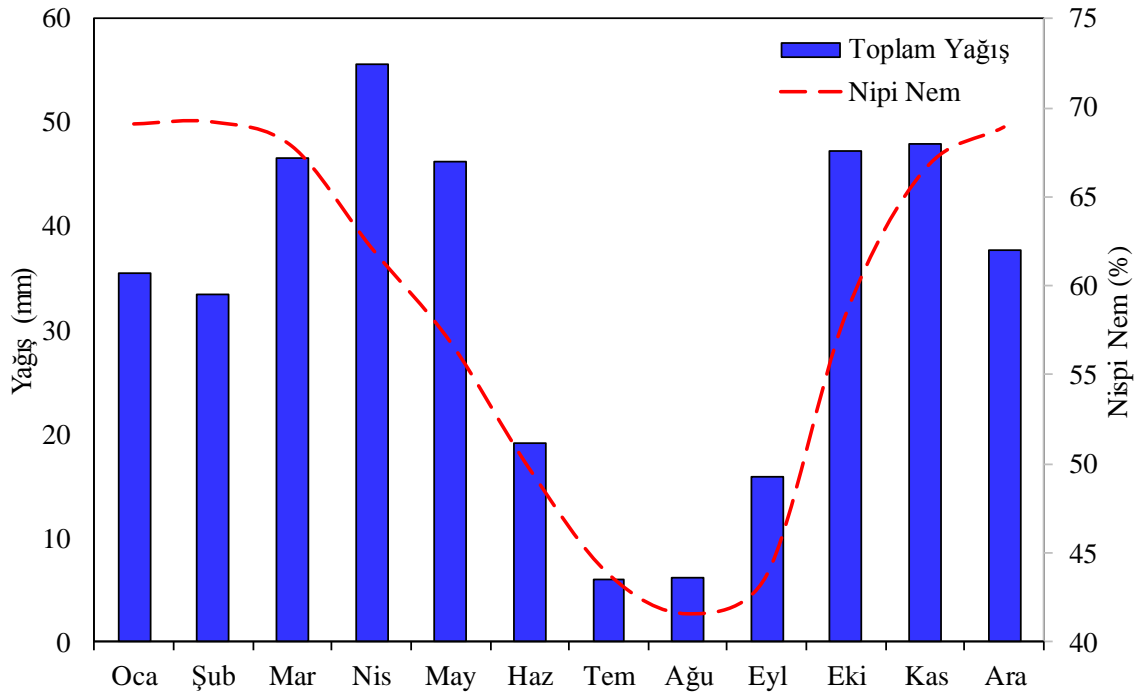
Nispi Nem: Uzun yıllar ortalama nemlilik katsayısı % 58.1 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.2). Yıl içinde Ağustos ayı %41.5 nem oranı ile en kurak ve Ocak ayı ise %68.1 nem oranı ile en nemli ayı temsil etmektedir (Şekil 3.5).

Buharlaşma: Van MGİ’da elde edilen verilerden itibaren Van Ovası ve yakın dolayında meydana gelen potansiyel buharlaşma-terleme miktarı Thorntwaite Yöntemi

(Thorntwaite, 1948) ile hesaplanırken gerçek buharlaşma-terleme miktarı ise Turc (1954) ve Thorntwaite-Mather Bütçe Yaklaşımı (Thorntwaite ve Mather, 1955) yöntemleri kullanılarak ayrı ayrı hesaplanacaktır.



Şekil 3.4. Van MGİ uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık grafiği.



Şekil 3.5. Van MGİ uzun yıllar aylık ortalama yağış ve nispi nem grafiği.

Bir bölgedeki aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarı, aylık ortalama hava sıcaklığının bir fonksiyonu olarak Thorntwaite (1948) tarafından önerilen Eş. 3.1 ile hesaplanabilmektedir.

$$ET_p = 16 \times [(10 \times T)/I]^\alpha \quad (3.1)$$

$$\alpha = (675 \times 10^{-9} \times I^3) - (771 \times 10^{-7} \times I^2) + (179 \times 10^{-4} \times I) + 0.492 \quad (3.2)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (T_i/5)^{1.514} \quad (3.3)$$

burada; ET_p : aylık potansiyel buharlaşma-terleme (mm), T : aylık ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) ve I : sıcaklık indisini ifade etmektedir. Van MGİ'da 1939-2018 yılları arasında kaydedilen uzun yıllar aylık ortalama veriler ile hesaplanan aylık toplam potansiyel buharlaşma-terleme miktarları Çizelge 3.3.'de verilmekte olup yıllık toplam ET_p miktarı 551.4 mm olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.3. Van MGİ'da 1939-2018 yılları arasında kaydedilen uzun yıllar aylık ortalama veriler ile hesaplanan Thorntwaite-Mather (1955) bütçe yaklaşımı sonuçları

Parametre	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Toplam
P	35.6	33.5	46.5	55.7	46.3	19.2	6.1	6.2	15.9	47.3	47.9	37.7	397.8
ET_p	0.0	0.0	4.7	31.3	58.6	86.4	109.9	109.2	84.2	48.9	18.2	0.0	551.4
R_w	100.0	100.0	100.0	100.0	87.7	20.4	0.0	0.0	0.0	0.0	29.7	67.4	
ET_a	0.0	0.0	4.7	31.3	58.6	86.4	26.5	6.2	15.9	47.3	18.2	0.0	295.0
E_w	3.0	33.5	41.8	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	102.8
D_w	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.4	103.0	68.3	1.7	0.0	0.0	256.3

P : yağış; ET_p : potansiyel buharlaşma-terleme; R_w : rezerv su; ET_a : gerçek buharlaşma-terleme; E_w : fazla su; D_w : eksik su.

Turc (1954), bir bölgedeki gerçek buharlaşma-terlemeyi sıcaklık ve yağışın bir fonksiyonu olduğunu belirtmiş ve Eş. 3.4 ile ifade etmiştir.

$$ET_a = P/\sqrt{0.9 + (P^2/L^2)} \quad (3.4)$$

$$L = 30 + (25 \times T) + (0.05 \times T^3) \quad (3.5)$$

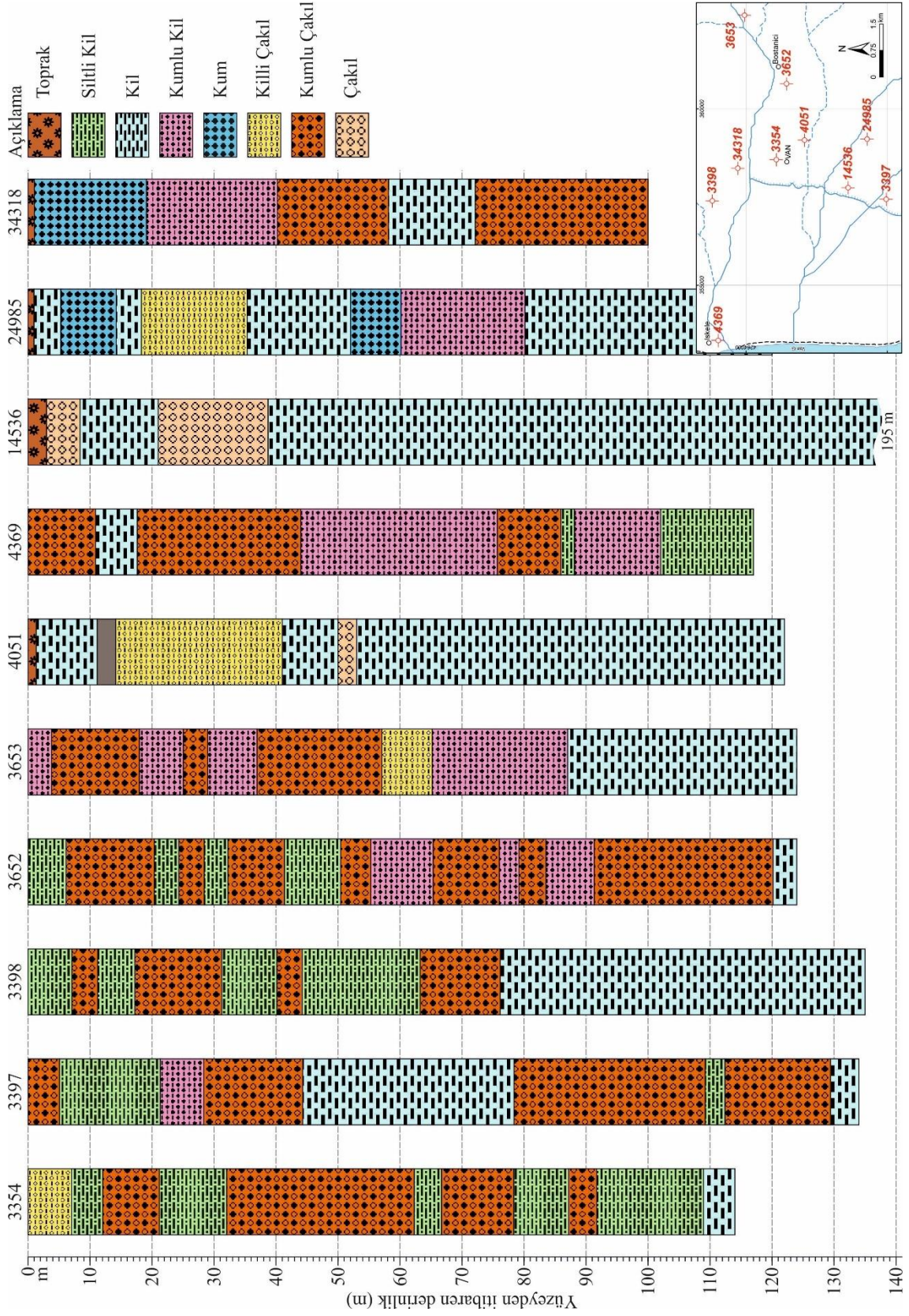
burada: ET_a : yıllık gerçek buharlaşma-terleme (mm), P : yıllık toplam yağış (mm) ve T : yıllık ortalama hava sıcaklığını ($^{\circ}\text{C}$) ifade etmektedir. Van MGI'da kaydedilen uzun yıllar (1939-2018) ortalama toplam yağış (397.8 mm) ve ortalama sıcaklık (9.39°C) verilerinden itibaren Turc Yöntemi ile yıllık gerçek buharlaşma-terleme miktarı 339.0 mm hesaplanmış olup yıllık toplam yağışın yaklaşık %85.2'sini oluşturmaktadır.

Thorntwaite-Mather Bütçe Yaklaşımı ile Van MGI'da kaydedilen uzun yıllar verileri ile hesaplanan gerçek buharlaşma-terleme miktarı 295.0 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.3). Bu yaklaşım ile elde edilen gerçek buharlaşma-terleme miktarı Turc yöntemi ile hesaplanan değer ile kısmen tutarlı olup yüzeysel akışa geçen ve yeraltına süzülen su miktarı (E_w) ise 102.8 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Başka bir ifade ile yağışlardan itibaren ovada yüzeysel akışa geçen ve yeraltına süzülen su miktarı, Van Ova alanı (117.8 km^2) dikkate alındığında $12.1 \times 10^6\text{ m}^3/\text{yıl}$ ($117.8 \times 10^6\text{ m}^2 \times 0.1028\text{ m/yıl}$) olarak hesaplanmıştır.

3.1.3. Hidrojeoloji

İnceleme alanını oluşturan Van Ovası genelinde Paleosen-Eosen yaşlı kireçtaşları, Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Van Formasyonu, Pleyistosen-Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar ile dere yataklarında çökelen Kuvaterner yaşlı güncel akarsu çökelleri yer almaktadır (Bkz. Şekil 3.1). Hidrojeolojik açıdan bu birimlerden kireçtaşları ile eski ve güncel alüvyonlar geçirimli birim özelliği sergilerken Van Formasyonuna ait birimler ise yarı geçirimli birim özelliği sergilemektedir. Bol kırıklı-çatlaklı Paleosen-Eosen yaşlı kireçtaşları Toprakkale civarında yüksek kesimlerde ve dar alanlarda (6.56 km^2) yüzeylenmekte olup bu birime ait akiferi birkaç l/s debiye sahip mevsimsel kaynaklar drene etmektedir.

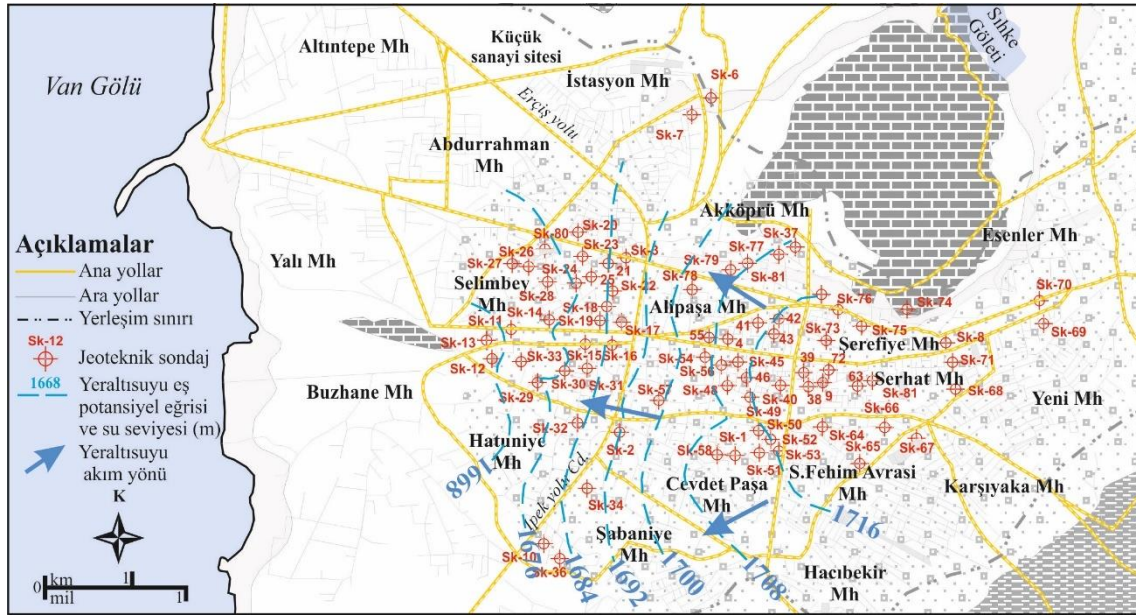
Van Ovasında DSİ tarafından açılan sondaj kuyularına ait kuyu loglarında, Paleosen-Eosen yaşlı kireçtaşları gözlenmemiştir (Şekil 3.6). Hidrojeolojik olarak akifer özelliği gösteren güncel alüvyonlar, inceleme alanında yer alan akarsu yataklarında yer almakta olup sınırlı alanlarda (5.49 km^2) yüzeylenmektedir. Van Ova alanının (117.8 km^2) yaklaşık %78'ini (91.5 km^2) kaplayan Pleyistosen-Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar inceleme alanındaki ana akiferi oluşturmaktadır. Ovada hem Van Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (VASKİ) hem kamu kurumları (DSİ, MGM, Karayolları, vb.)



Şekil 3.6. Van Ovasında DSİ tarafından açılan bazı sondaj kuyularına ait loglar.

hem de şahıslar tarafından içme-kullanım ve tarımsal sulama suyu sağlamak amacı ile açılmış çok sayıda sondaj kuyusu yer almaktadır.

Ova genelinde DSİ tarafından açılan sondaj kuyularına ait loglar incelendiğinde bu birimin kalınlığının yaklaşık 200 m'ye ulaştığı görülmektedir (Şekil 3.6). Heterojen bir yapı sergileyen eski alüvyonlar silt, kil, kum ve çakıl ardalanmasından oluşmaktadır. İnceleme alanında yer alan sondaj kuyularının verimi (debisi) 10-60 lt/s arasında değişmekte olup yüzeyden itibaren yeraltısuyu seviyesi ise 2.5 m ile 15.0 m arasında değişmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Van Ovası yeraltısuyu seviye dağılım haritası (Selçuk ve Aydın, 2012).

Van yerleşim alanı içerisinde açılmış 81 adet jeoteknik sondaj verisi Selçuk ve Aydın (2012) tarafından değerlendirilmiştir. Adı geçen çalışmada ovadaki yeraltısuyu seviyesinin deniz seviyesinden itibaren 1668 m ile 1716 m arasında değiştiği ve yeraltısuyu akım yönünün doğuda Erek Dağından itibaren batıya Van Gölü'ne doğru gerçekleştiği belirtilmektedir (Bkz. Şekil 3.7). Akdemir (1997), Pleyistosen-Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar ile güncel çökellerde yaptığı permametre deneyleri sonucunda hidrolik iletkenlik katsayısının her iki birimde sırası ile 3.2×10^{-4} m/s ile 6.6×10^{-4} m/s ve 1.8×10^{-4} m/s ile 2.9×10^{-4} m/s arasında değiştiğini belirtmektedir. Belirtilen hidrolik iletkenlik değerleri Bear (1988)'e göre dikkate alındığında söz konusu birimler, iyi boylanmış killi-siltli-kum ve killi-siltli-çakıl akiferleri temsil etmektedir.

3.2. Hidrojeokimya

3.2.1. Suların fiziksel özellikleri

Bu bölüm kapsamında 11-12 Temmuz 2018 tarihlerinde inceleme alanında yer alan su noktalarında sıcaklık (T), pH, elektriksel iletkenlik (EC), vb. gibi kaynak başında gerçekleştirilen fiziksel ölçüm sonuçları değerlendirilecektir. Van Ovasında yer alan yüzey suyu ve yeraltısuyu örnekleme noktalarının fiziksel özellikleri Çizelge 3.4'de verilmektedir. Van Ovasında yer alan yüzey sularının en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri 15.25 °C ile 27.74 °C arasında değişirken ortalama sıcaklık değeri 21.29 °C hesaplanmıştır. Yeraltısularının ortalama sıcaklık değeri ise 10.83 °C hesaplanmış olup en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri 9.35 °C ile 12.90 °C arasında değişmektedir. Yüzey sularının ve yeraltısularının ortalama pH değeri sırası ile 7.97 (7.28-8.30) ve 7.13 (6.57-7.95) olarak elde edilmiştir (Çizelge 3.4).

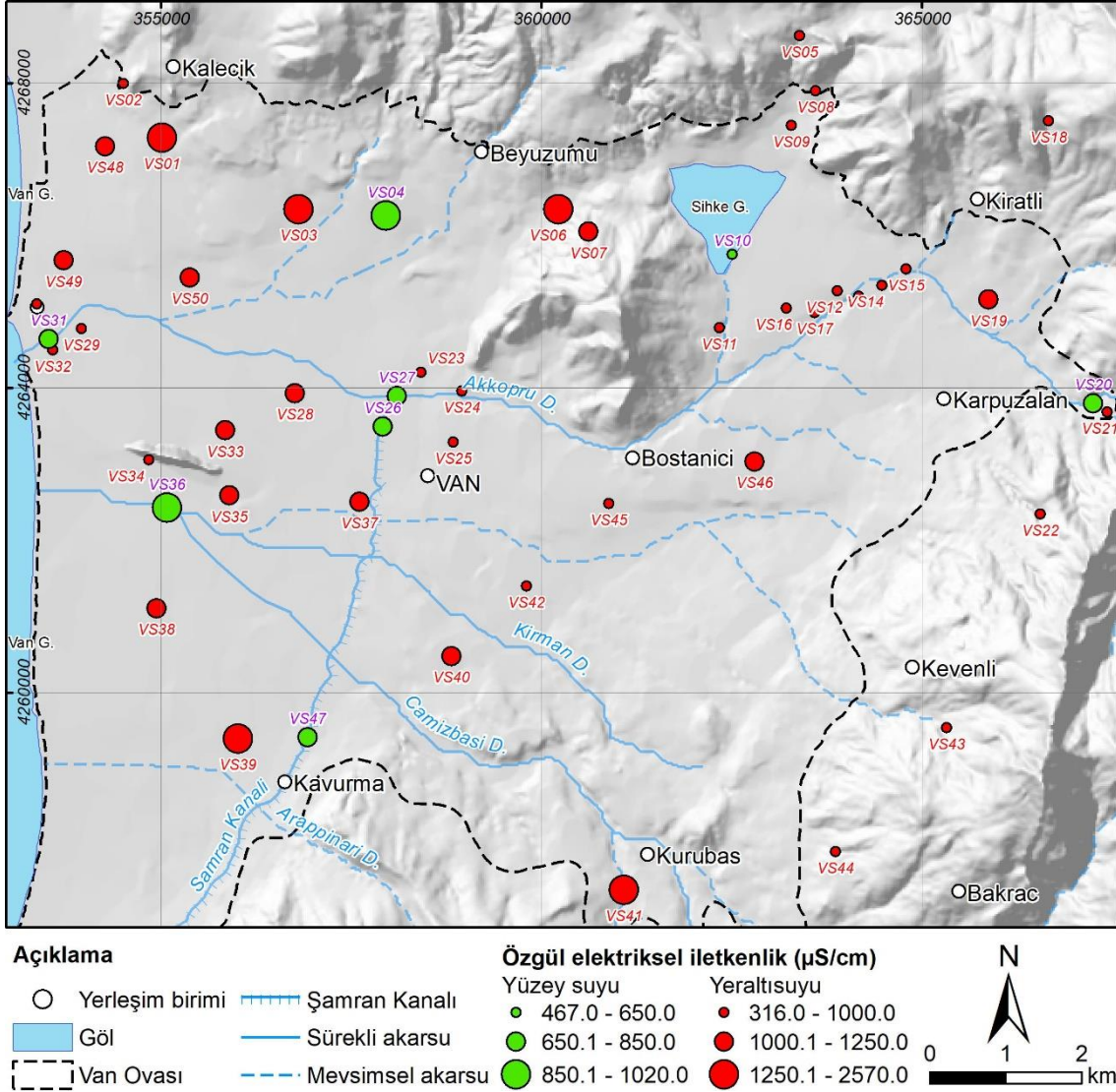
Doğadaki suların toplam çözünmüş katı (TDS) içeriğinin göstergesi olan EC değeri suların sıcaklıkları ile doğru orantılı bir ilişki göstermektedir (Appelo ve Postman, 2005). Bununla birlikte özgül elektriksel iletkenlik (EC₂₅) değeri ise arazide farklı sıcaklıklarda ölçülen EC değerlerinin referans sıcaklığına (örneğin 20 °C, 25°, vb.; Bkz. Bölüm 2.3) indirerek veya yükselterek hesaplanmakta olup suların toplam çözünmüş iyonları arasındaki kıyaslamaya izin vermektedir. Van Ovasında örneklenen yüzey sularının ortalama EC₂₅ değeri 761 µS/cm olarak hesaplanmış olup bu değer 467 µS/cm ile 1020 µS/cm arasında değişmektedir (Çizelge 3.4). Yüzey sularında en düşük ve en yüksek EC₂₅ değerleri sırası ile Sıhke Gölü (VS10) ve Kirman Dere'de (VS36) gözlenmiştir (Şekil 3.8). İnceleme alanındaki yeraltısuyu örnekleme noktalarında gözlenen en düşük ve en yüksek EC₂₅ değerleri 316 µS/cm (VS18) ile 2570 µS/cm (VS03) arasında değişirken ortalama değer ise 1004 µS/cm olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3.8'de verilen dağılım haritası incelendiğinde genel olarak inceleme alanının doğu kesiminden Van Gölü'ne doğru suların EC₂₅ değerinin arttığı görülmektedir. Bu durum beslenme alanından itibaren yeraltısuyu akım yolu boyunca su-kayaç etkileşimi nedeni ile suların toplam çözünmüş iyon içeriklerinin artışına neden olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Çizelge 3.4. İnceleme alanı su noktalarına ait fiziksel ölçüm sonuçları

<i>Kod</i>	<i>T</i> (°C)	<i>pH</i>	<i>EC</i> ($\mu S/cm$)	<i>EC₂₅</i> ($\mu S/cm$)	<i>TDS</i> (g/l)	<i>Sal</i> (ppt)	<i>ORP</i> (mV)
VS01	11.55	6.94	1301	1751	1.138	0.890	-5.6
VS02	10.17	7.31	585	816	0.530	0.400	13.7
VS03	12.29	7.34	1946	2570	1.670	1.340	29.1
VS04*	17.36	7.50	806	944	0.612	0.470	19.5
VS05	10.52	7.00	403	557	0.361	0.270	29.4
VS06	12.62	6.79	1083	1418	0.918	0.710	30.0
VS07	10.45	6.69	768	1064	0.677	0.520	23.9
VS08	12.24	7.95	529	699	0.395	0.300	72.7
VS09	12.15	7.11	751	995	0.550	0.420	37.1
VS10*	27.74	8.30	491	467	0.327	0.240	16.9
VS11	11.62	7.26	724	973	0.502	0.380	30.8
VS12	10.14	7.48	643	898	0.584	0.440	16.1
VS13	9.62	7.50	668	946	0.613	0.470	11.7
VS14	9.38	7.45	658	938	0.610	0.470	16.2
VS15	11.60	7.52	586	788	0.513	0.390	15.2
VS16	10.08	7.32	556	778	0.494	0.370	13.2
VS17	9.89	7.24	600	843	0.547	0.420	11.8
VS18	12.90	7.93	243	316	0.185	0.140	11.7
VS19	9.40	7.37	731	1041	0.578	0.440	22.7
VS20*	22.92	8.24	664	691	0.449	0.340	13.3
VS21	9.46	7.20	341	485	0.309	0.230	15.6
VS22	11.44	7.08	557	752	0.489	0.370	20.9
VS23	10.24	6.95	700	975	0.631	0.480	30.5
VS24	9.35	6.73	643	917	0.584	0.450	28.3
VS25	11.01	6.90	716	977	0.635	0.490	27.2
VS26*	20.89	7.97	678	736	0.478	0.360	20.0
VS27*	23.01	8.25	756	786	0.508	0.380	23.7
VS28	11.85	6.90	831	1110	0.718	0.550	32.3
VS29	10.15	7.53	671	937	0.607	0.460	14.9
VS30	11.90	7.98	529	706	0.458	0.350	14.3
VS31*	21.69	8.13	721	770	0.500	0.380	18.2
VS32	12.11	7.24	678	899	0.566	0.430	24.4
VS33	9.77	6.91	779	1099	0.714	0.550	25.6
VS34	10.20	6.93	647	902	0.579	0.440	26.5
VS35	10.81	6.79	815	1118	0.706	0.540	25.4
VS36*	15.25	7.28	830	1020	0.661	0.510	8.9
VS37	10.42	6.57	853	1182	0.767	0.590	20.9
VS38	9.80	6.84	813	1146	0.748	0.570	19.6
VS39	11.60	6.68	1545	2076	1.333	1.050	18.9
VS40	10.01	6.86	730	1023	0.662	0.510	177.3
VS41	10.60	6.74	1047	1444	0.937	0.730	162.6
VS42	11.20	6.88	622	845	0.541	0.410	21.3
VS43	11.65	7.02	291	391	0.234	0.170	22.3
VS44	11.53	7.04	524	706	0.459	0.350	28.4
VS45	10.26	7.09	510	710	0.461	0.350	23.3
VS46	9.90	6.73	855	1202	0.782	0.600	25.2
VS47*	21.47	8.09	627	672	0.437	0.330	25.6
VS48	10.70	6.92	742	1021	0.662	0.510	25.7
VS49	11.83	7.23	778	1039	0.677	0.520	22.2
VS50	10.45	7.41	809	1120	0.706	0.540	17.5

*: yüzey suları; *T*: sıcaklık; *EC*: elektriksel iletkenlik; *EC₂₅*: özgül elektriksel iletkenlik; *Sal*: tuzluluk; *ORP*: yükseltgenme-indirgenme potansiyeli.



Şekil 3.8. Van Ovası örnekleme noktalarında gözlenen özgül elektriksel iletkenlik değerleri.

Van Ovasında örneklenen yüzey suları ile yeraltısularının toplam çözülmüş madde miktarı ile tuzluluk değerleri EC_{25} değerlerine benzer bir dağılım göstermektedir (Çizelge 3.4). Appelo ve Postman (2005), redoks süreçlerinin (yükseltgenme-indirgenme potansiyeli, ORP), yeraltısularında O_2 , Fe, SO_4 , H_2S , CH_4 , vb. iyonlarının doğal konsantrasyonunun önemli oranda etkilediğini ve bu sulara yükseltgenme (oksidasyon) sürecinin baskın olduğunu belirtmektedir. İnceleme alanındaki yüzey suları ile yeraltı sularının yükseltgenme-indirgenme potansiyeli değerleri 8.9-25.6 mV (ortalama: 18.26 mV) ile -5.6-177.3 mV (ortalama: 29.78 mV) arasında değişmektedir (Çizelge 3.4).

3.2.2. Suların kimyasal özellikler

Doğal suların toplam iyon içeriğinin, %90'dan daha yüksek oranı oluşturan Na, K, Ca, Mg, CO₃, HCO₃, Cl ve SO₄ (>5 ppm) iyonları, majör iyonlar olarak adlandırılmakta ve geri kalan %10'luk kısmını ise iz elementler (<0.01 ppm – 10 ppm) ile organik ve inorganik kirleticiler oluşturmaktadır (Hem, 1985). İnceleme alanındaki su kaynaklarına ait majör iyon analiz sonuçları Çizelge 3.5'de verilmektedir.

Sodyum (Na) ve Potasyum (K): Na, doğal sularda en yaygın olarak bulunan alkali elementtir. Magmatik kayalar, kil mineralleri, feldspatlar, feldspatoidler ve evaporitler Na içeren başlıca kayaç ve minerallerdir. K ise genel olarak feldspat, mika, feldspatoyid ve kil minerallerinde bulunmakta olup doğal sularda K içeriği genelde 20 ppm'yi aşmamaktadır. Yüzey ve yeraltısularındaki Na ve K miktarı ortamın pH, redoks ve bozunma süreçleri, doğal ve yapay kirlilik kaynakları, su-kayaç etkileşimi ve yeraltısuyu geçiş süreleri, vb. gibi süreçler tarafından kontrol edilmektedir (Hem, 1985; Şahinci, 1991). İnceleme alanındaki yüzey ve yeraltısuyu örnekleme noktalarında gözlenen Na değeri sırası ile 26.5-67.6 ppm ve 6.8-403.1 ppm arasında değişirken bu noktadaki K değerleri ise 2.8-7.0 ppm ve 0.3-30 ppm arasında değişmektedir (Çizelge 3.5). En yüksek Na ve K değerleri, Sanayi (VS03) ve Mavi Kent Sitesi (VS39) sondaj kuyularında gözlenmiştir.

Kalsiyum (Ca) ve Magnezyum (Mg): Ca, doğal sularda suda çözülmüş CO₂ miktarı ile doğru orantılı bir şekilde artmakta olup en bol bulunan katyonlardan biridir (Hem, 1985). Magmatik kayalarda yaygın olarak gözlenen piroksen, amfibol ve feldspat gibi minerallerin ana bileşenini Ca oluşturmaktadır. Karbonat ve karbonatlı sedimanter kayalarda (kalsit, dolomit, vb.) yaygın olarak gözlenen Ca metamorfik kayalarda ise özellikle mermerlerde bulunmaktadır.

Mg ise genelde dolomit ve ofiyolitik kayalarda bol miktarda bulunmaktadır. İnceleme alanındaki su noktalarında Ca ve Mg iyonları, Na ve K iyonlarına oranla baskın katyonları oluşturmaktadır. Van Ovası yeraltısularında Ca konsantrasyonu, 17.6 ppm ile 152.9 ppm ve Mg konsantrasyonu ise 7.7 ppm ile 89.7 ppm arasında değişmektedir (Çizelge 3.5). Yüzey sularında Ca 28.8-105.6 ppm ve Mg ise 16.8-39.9 ppm elde edilmiştir.

Çizelge 3.5. İnceleme alanı su noktalarına ait majör iyon analiz sonuçları

Kod	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	Br	F	Li	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	EB
	(mg/l)														(%)
VS01	163.7	22.1	63.4	89.7	574.6	74.7	295.4	0.73	1.03	0.09	-	5.03	0.94	1.59	1.2
VS02	63.3	11.8	74.1	30.2	282.0	58.6	55.3	-	0.84	0.03	-	140.4	-	5.88	-3.5
VS03	403.1	30.0	50.1	61.9	726.5	140.7	457.7	-	0.60	0.12	-	18.25	-	1.39	0.3
VS04*	67.6	5.6	88.1	39.9	490.4	35.5	66.1	-	0.28	0.03	-	0.80	7.46	1.79	3.1
VS05	24.0	2.4	68.4	26.7	280.0	5.2	51.6	-	0.37	0.01	-	20.40	-	1.71	3.9
VS06	143.4	6.2	77.4	80.5	646.6	56.7	200.2	-	0.42	0.01	-	22.49	-	2.13	0.2
VS07	53.6	2.8	98.5	64.0	508.6	27.2	92.0	-	0.26	0.02	-	23.17	-	-	4.9
VS08	28.1	1.3	63.7	34.6	300.1	6.4	71.7	-	0.30	0.01	-	31.35	-	1.79	0.8
VS09	38.7	3.8	95.0	38.0	383.1	53.6	50.9	0.69	-	0.01	-	-	-	1.70	4.0
VS10*	46.6	3.1	28.8	16.8	158.6	31.7	66.8	-	0.28	0.03	-	17.26	-	1.72	-3.0
VS11	51.3	2.5	79.3	30.5	347.1	42.3	54.3	-	0.24	0.02	-	11.42	-	1.64	3.0
VS12	56.2	3.1	79.9	38.7	385.2	74.2	12.9	-	0.13	0.02	-	12.94	-	1.69	4.0
VS13	55.9	2.8	88.7	38.4	402.0	70.9	47.4	-	0.10	0.03	-	13.36	-	-	1.5
VS14	54.7	4.1	89.2	43.4	396.5	70.6	37.1	-	0.06	0.03	-	19.28	-	-	4.6
VS15	45.2	2.3	84.4	34.6	348.2	59.6	41.0	-	0.17	0.03	-	7.59	-	-	4.1
VS16	40.6	2.4	86.1	34.7	350.8	49.5	47.0	-	0.16	0.02	-	3.58	0.06	-	4.7
VS17	44.6	2.6	86.4	38.1	375.4	54.7	42.1	-	0.16	0.03	-	7.34	-	-	4.2
VS18	6.8	1.1	46.0	11.6	162.3	2.3	28.4	-	0.08	0.00	-	4.13	-	1.53	1.9
VS19	66.0	2.8	63.2	44.1	372.7	72.3	21.7	-	0.39	0.02	-	14.08	-	-	4.7
VS20*	51.7	3.9	72.5	21.2	314.2	45.2	27.6	-	0.01	0.04	-	1.59	-	-	4.7
VS21	11.2	0.9	94.7	10.3	251.3	15.7	44.7	-	-	0.00	-	7.32	-	1.68	3.6
VS22	35.7	1.6	103.8	22.9	338.6	21.3	66.9	-	0.13	0.00	-	38.07	-	1.66	2.6
VS23	54.2	5.9	105.6	38.6	427.0	45.3	56.6	-	0.03	0.04	-	32.54	-	-	4.7
VS24	33.4	3.1	134.8	37.9	497.2	20.2	68.4	-	0.02	0.03	-	15.35	-	1.65	4.3
VS25	53.6	8.6	106.2	39.3	479.5	22.9	72.1	-	0.10	0.04	-	31.41	-	-	2.6
VS26*	26.5	3.3	103.2	37.0	417.2	18.0	55.1	-	0.07	0.03	-	1.86	-	1.57	4.8
VS27*	55.2	3.6	68.5	35.1	292.2	55.4	68.1	-	0.08	0.03	-	18.19	-	-	4.4
VS28	49.9	2.0	152.9	49.0	534.4	34.9	155.4	-	-	0.02	-	31.30	-	1.97	1.3
VS29	78.0	7.2	81.4	39.8	394.7	52.1	77.4	-	0.14	0.03	-	19.82	-	1.74	4.7
VS30	116.6	6.2	17.6	18.4	324.5	42.7	48.0	-	0.23	0.04	-	9.93	-	1.75	-0.8
VS31*	54.6	3.2	63.6	35.0	365.4	29.7	44.1	-	0.15	0.03	1.24	1.98	3.02	1.59	4.9
VS32	74.2	5.7	66.7	36.3	376.2	56.5	33.1	-	0.09	0.07	-	30.98	-	-	4.0
VS33	72.1	7.6	103.2	48.0	469.7	57.1	58.1	-	0.05	0.03	-	48.02	-	-	4.8
VS34	73.7	5.1	73.5	35.6	383.9	57.0	34.9	-	0.07	0.07	-	32.88	-	-	4.1
VS35	69.9	5.7	100.3	48.9	466.0	54.2	53.8	-	0.10	0.06	-	51.54	-	-	4.7
VS36*	43.9	7.0	105.6	35.1	528.9	40.0	41.5	-	0.24	0.03	-	2.78	27.92	2.26	4.5
VS37	58.0	7.9	120.6	58.3	594.8	45.5	52.8	-	0.09	0.04	-	17.92	-	-	4.3
VS38	61.8	5.4	108.7	60.2	581.9	34.0	53.5	-	0.18	0.03	-	27.68	-	-	4.5
VS39	304.9	6.0	90.9	63.2	749.1	128.9	225.3	-	0.39	0.02	-	42.12	-	1.36	4.1
VS40	75.4	3.4	90.8	43.5	501.4	35.8	40.7	-	0.26	0.03	-	23.51	-	-	4.6
VS41	131.4	5.9	81.4	78.1	725.3	62.9	56.6	-	0.74	0.04	-	25.46	-	-	3.4
VS42	51.4	2.2	65.8	28.5	467.9	15.1	22.3	-	0.12	0.02	-	8.60	-	-	-4.7
VS43	21.9	0.3	59.1	7.7	253.7	2.3	24.3	-	0.18	0.00	-	1.68	-	-	-2.5
VS44	26.7	3.1	63.7	45.5	377.0	9.8	33.5	-	0.52	0.00	-	14.98	-	-	4.7
VS45	52.2	3.4	69.3	29.5	321.5	43.6	54.9	-	-	0.07	-	9.93	-	16.41	-0.4
VS46	71.1	3.1	132.6	43.4	477.6	90.3	43.8	0.75	1.71	0.04	-	43.83	-	5.14	4.3
VS47*	27.2	2.8	82.6	30.7	358.7	17.9	29.0	-	0.09	0.03	-	1.80	-	5.64	4.7
VS48	28.2	6.5	84.9	73.1	535.0	17.7	51.0	-	0.27	0.10	-	27.14	0.35	-	4.0
VS49	128.3	11.7	49.8	46.1	487.4	47.4	71.0	-	0.43	0.08	-	7.20	-	6.52	4.4
VS50	161.1	9.7	38.4	35.0	438.6	47.4	101.9	-	0.36	0.07	-	14.59	-	4.77	4.4

* : yüzey suları; EB : analitik hata; -: saptama sınırının altında.

Suların Ca ve Mg iyonlarınca zengin olması, bu noktalarda boşalan suların yeraltısuyu akım yolu boyunca karbonatça zengin kayalarla temas ettiğini işaret etmektedir. Ca iyonu beslenme alanından (membra) itibaren akım yolu boyunca boşalım alanına (mansap) doğru artış göstermektedir. Genel olarak inceleme alanı içinde ana drenaj ağını oluşturan Akköprü Deresi çevresindeki su noktalarında yüksek değerler gözlenirken inceleme alanının kuzey ve güneyinde yer alan yüksek kesimlerde ise nispeten düşük değerler gözlenmektedir. İnceleme alanının kuzey kesiminde yüzeyleyen Paleosen-Eosen yaşlı bol sık kırıklı-çatlaklı dolomitik kireçtaşlarının (Bkz. Bölüm 3.1.1.1) oluşturduğu Toprakkale Formasyonu ve yakın dolayında yer alan su noktalarında nispeten yüksek Mg değerleri elde edilmiştir.

Alkalinite (CO_3 ve HCO_3): Suların alkalitesi, içerdiği çözülmüş maddelerin asitlerle tepkimeye girme ve nötrleştirme kapasitesidir. Hemen hemen bütün doğal sularda, alkalinite karbonat (CO_3), bikarbonat (HCO_3) ve hidroksil (OH) iyonlarından dolayı ortaya çıkmaktadır (Appelo ve Postman, 2005). Doğal sularda alkaliniteyi oluşturan temel unsur CO_2 olup içme sularında toplam alkalitenin 500 ppm'den fazla olmaması standartlarda önerilmektedir. İnceleme alanında yer alan su noktalarının tamamında HCO_3 baskın anyonu oluşturmaktadır. Alkalinite miktarı, yüzey ve yeraltısuyu örnekleme noktalarında sırası ile 158.6-528.9 ppm ve 162.3-749.1 ppm arasında değişmektedir (Bkz. Çizelge 3.5).

Klorür (Cl) ve Sülfat (SO_4): Cl iyonunun ana kaynağını genel olarak deniz suyu ve sedimanter kayalardan evaporitler oluşturmaktadır. Ayrıca, azda olsa sodalit, biyotit ve hornblent gibi magmatik kökenli minerallerin bozunması ile şeyl ve kil türü sedimanter kayalarda Cl iyonu içermektedir. Buna ek olarak antropojenik (yapay) kirlilik kaynakları (atık su, sulamadan dönen sular, vb.) ile yağış sularının buharlaşmasından dolayı da sulardaki Cl iyonu yüksek olabilmektedir (Hem, 1985). HCO_3 'den sonra doğal sularda en fazla miktarda bulunan anyonu oluşturan SO_4 , kükürt ve kükürtlü bileşiklerin indirgenme süreçleri sonunda metal sülfürleri şeklinde magmatik ve sedimanter kayalarda yaygın olarak bulunmaktadır. Yeraltısularının, kükürtlü mineral içeren kayalarla temas etmeleri sonucunda bu mineraller zamanla oksitlenerek bozunmakta ve sularda SO_4 iyonunu oluşturmaktadır (Hem, 1985; Şahinci, 1991). İnceleme alanında yer alan yeraltısularında Cl ve SO_4 konsantrasyonları sırası ile 2.3-140.7 ppm ve 12.9-457.7 arasında değişirken yüzey sularında ise bu anyonlar sırası ile 17.9-55.4 ppm ve 27.6-68.1 arasında

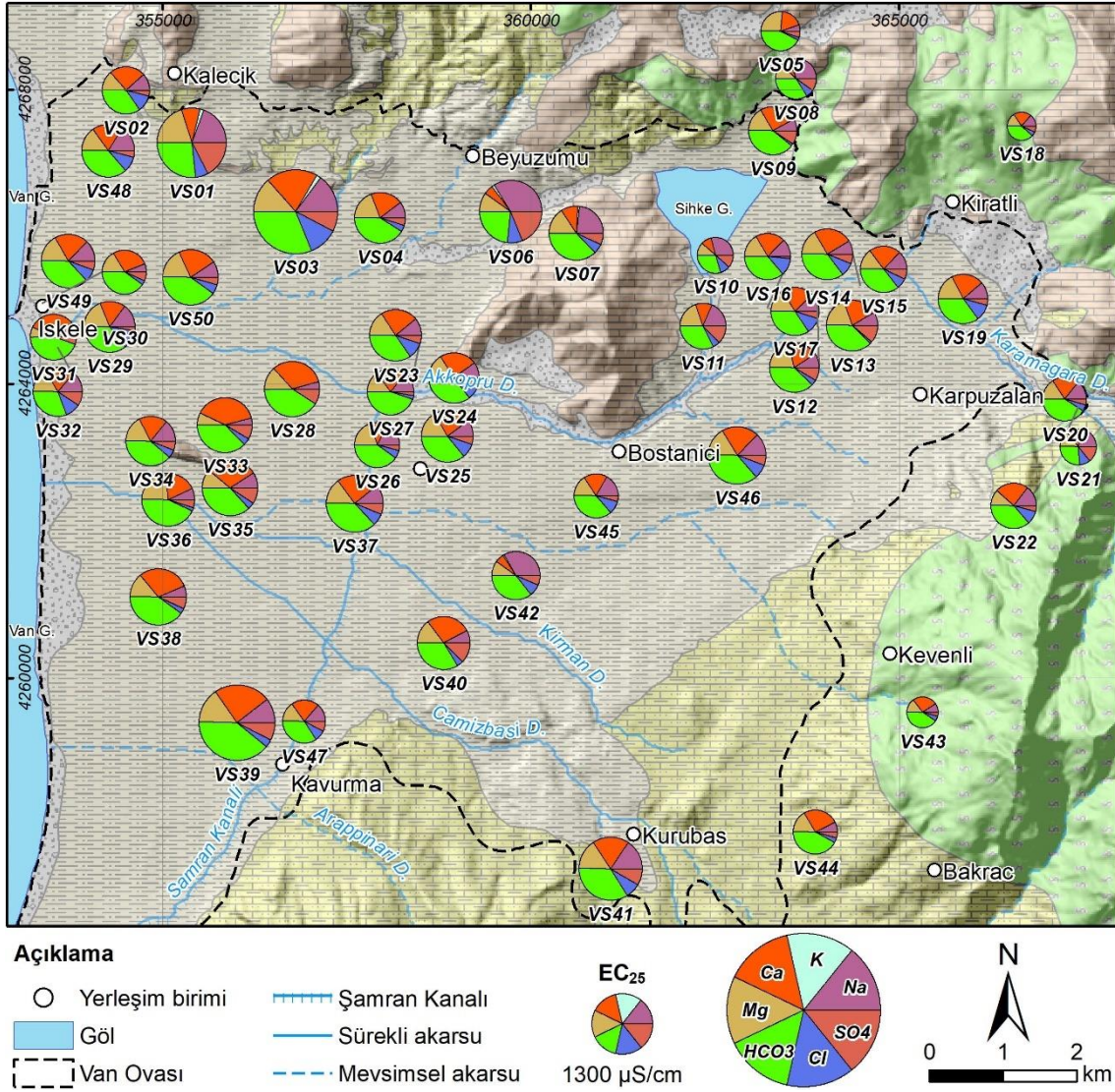
değişmektedir (Bkz. Çizelge 3.5). Konservatife (korunumlu) özelliğe sahip Cl iyonu (jeojenik ve antropojenik kirlilik kaynağı olmadığı durumlarda) doğal sularda genellikle 10-20 ppm arasında değişmekte olup yağış sularının Cl içeriği de benzer şekilde değişmektedir (Hem, 1985). İnceleme alanında boşalım sağlayan yüzey ve yeraltısularının büyük bir kısmının nispeten yüksek Cl değerlerine sahip olması, yağışlardan ve kar erimesinden itibaren yeraltına süzülen suların buharlaşmaya maruz kalması ile yeraltısularının atık su ve sulamadan dönen sular ile karışımdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

3.2.3. Hidrojeokimyasal süreçler

Doğal yeraltısularında bulunan kimyasal bileşenlerin konsantrasyonu, yeraltısuyu beslenme koşulları, minerallerin çözünürlüğü, jeokimyasal ortama (pH, Eh, vb.), iyon değişim süreçleri, yeraltısuyu geçiş süresi, vb. sayısız işlem ve koşula bağlı konum ve zaman içinde değişiklik göstermektedir (Freeze ve Cherry, 1979; Hem, 1985; Appelo ve Postman, 2005). Van Ovası yüzey ve yeraltısularının kimyasal yapısını denetleyen süreçlerin açıklanması amacı ile hidrojeolojik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan Piper (1944), Gibbs (1970) ve dairesel diyagramlar kullanılmıştır.

Dairesel diyagramlar, su-kayaç etkileşim süreçleri (jeolojik yapı ile yeraltısuları arasındaki ilişki) hakkında değerlendirme yapmak için kullanılan grafiksel bir yaklaşımdır. Bu grafiklerle, yeraltısularının kendi aralarında gruplandırmak ve akifer içindeki dolaşım yollarını tanımlamak olasıdır. Farklı iyon içeriğine sahip örnekler için dairesel diyagramları harita üzerinde ortak bir ölçekte gösterilebilmek için dairenin çapı EC₂₅ miktarını verecek şekilde seçilmiştir. İnceleme alanında toplanan su örneklerine ait dairesel diyagram Şekil 3.9'da verilmektedir. Şekil 3.9'da Van Ovasında yer alan su noktalarında toplanan örneklerin Ca, Mg ve HCO₃'ca zengin olduğu görülmektedir. Özellikle inceleme alanının D'da (Erek Dağı B etekleri) yer alan kaynakların beslenme alanına yakın olması ve su-kayaç etkileşim sürelerinin nispeten kısa olmasından dolayı bu kaynak sularının toplam iyon içerikleri boşalım alanındaki su noktalarına oranla daha düşüktür. İnceleme alanındaki suların, köken ve hidrojeokimyasal fasiyes değerlendirmeleri amacıyla dairesel diyagramlara ek olarak Piper diyagramı ile değerlendirme yapılmıştır (Şekil 3.10).

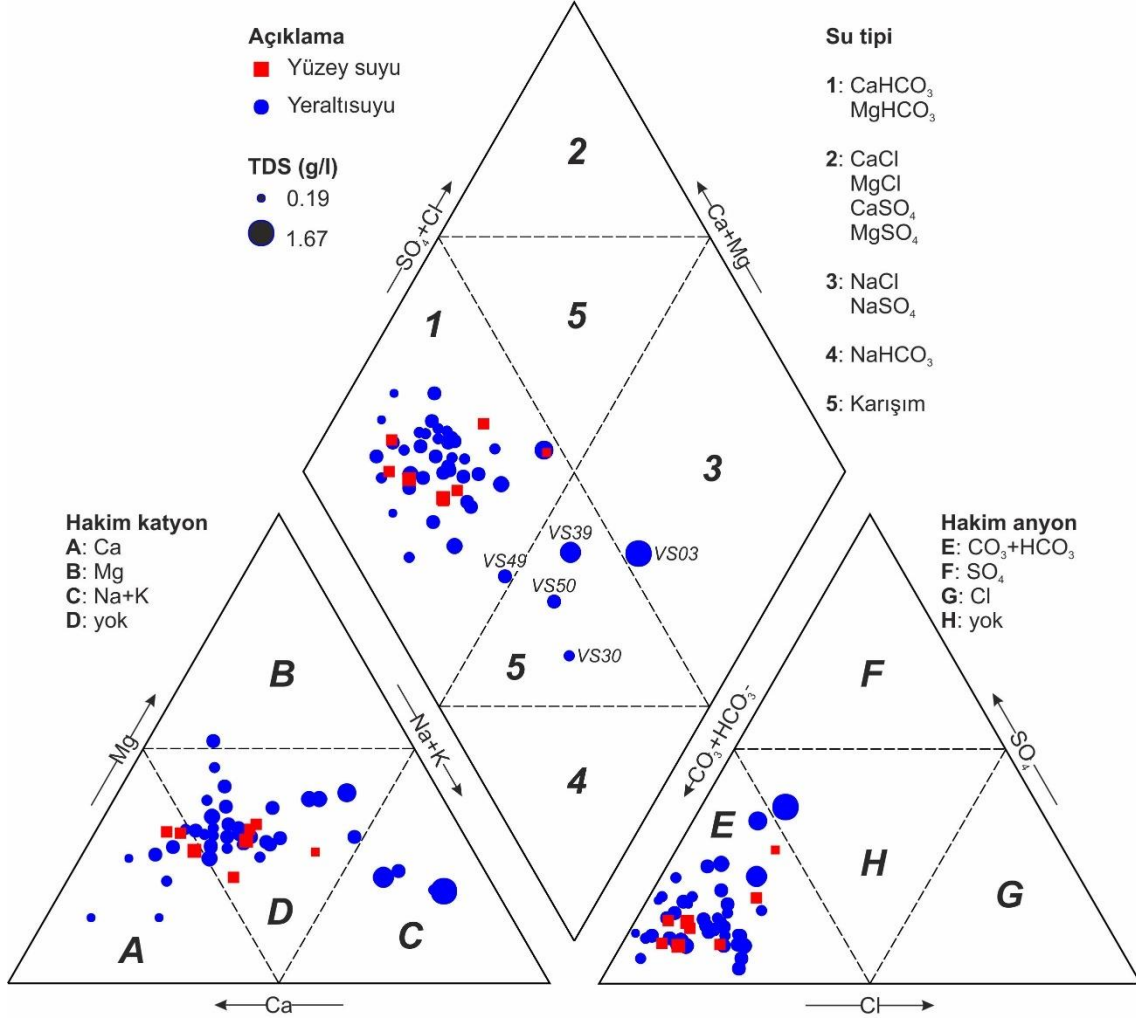
Şekil 3.10'de, VS03 (Sanayi sondaj kuyusu), VS30 (İskele Eski DMO kaynak), VS39 (Mavi Kent Sitesi sondaj kuyusu) ve VS50 (İtfaiye Dairesi sondaj kuyusu) nolu örnekler hariç, inceleme alanındaki suların tamamı Ca-HCO₃ ve Mg-HCO₃ fasiyesinde (1. Bölge) olduğu görülmektedir. İnceleme alanının jeolojik yapısı göz önünde bulundurulduğunda, bölgede yüzeylenen ofiyolitik kayalar içinde yer alan kireçtaşı seviyeleri,



Şekil 3.9. Çalışma alanında yer alan su noktalarına ait dairesel (pie) diyagram.

Toprakkale Formasyonu kireçtaşları ve Büyükçay Formasyonu (eski alüvyonlar) içinde yer alan karbonatlı (kalsite, vb.) ve mafik (olivin, vb.) minerallerin çözünmesi ile ilişkilendirilmiştir. Ek olarak Şekil 3.11'de de görüleceği üzere Ca+Mg-HCO₃

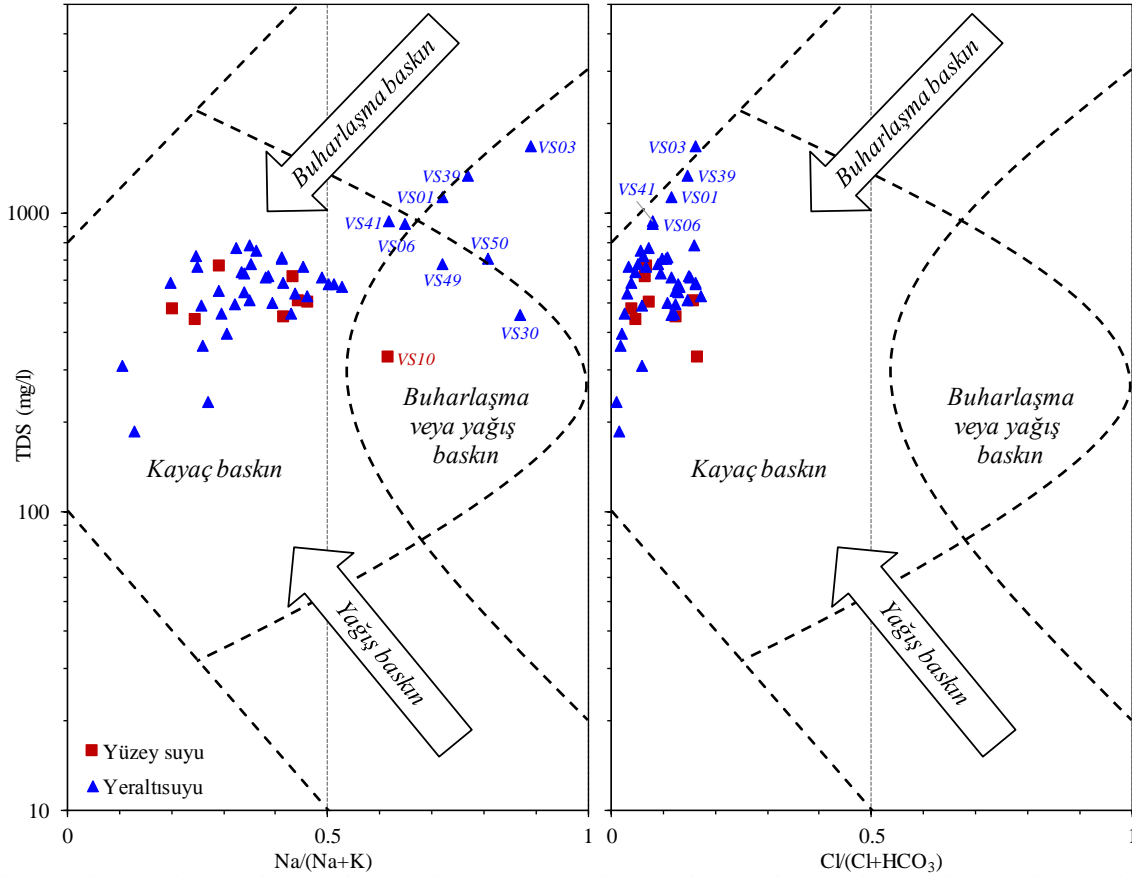
fasiyesinde ki suların, $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ ve $\text{Cl}/(\text{Cl}+\text{HCO}_3)$ oranları 0.5'den küçük olup buharlaşma ve yağış etkisinden çok kayaç çözünmesinin baskın olduğu bölgede yer almaktadır. VS03 nolu Sanayi sondaj kuyusundan alınan yeraltısuları ise Na-Cl+SO₄ tipi sular (3. Bölge) sınıfında yer almaktadır.



Şekil 3.10. Van Ovasında yer alan su noktalarına ait Piper diyagramı.

VS30, VS39 ve VS50 nolu örnekler ise karışım bölgesinde yer almakta olup (5. Bölge) $\text{Ca}+\text{Mg}-\text{HCO}_3$ tipi sular ile $\text{Na}-\text{HCO}_3$ tipi suların karışımını işaret etmektedir (Şekil 3.10). Sulardaki Na ve Cl iyonlarındaki artışa, yağış (yağmur ve özellikle kar erimesi) sularının yeraltına süzülmeden önce buharlaşmaya maruz kalması neden olabilmektedir. İnceleme alanında azda olsa hem Na-Cl+SO₄ tipi suların hem de karışım suları yer almakta olup bu sulardaki Na ve Cl iyonlarındaki artışın incelenmesi amacı ile Gibbs diyagramından faydalanılmıştır (Şekil 3.11). VS03, VS30, VS39 ve VS50 nolu

örnekler Şekil 3.11’de diğer su noktalarına oranla farklı konumlarda yer almakta olup su-kayaç etkileşim süreçlerine ek olarak buharlaşmanın bu noktadaki suların kimyasal yapısının şekillenmesinde baskın olduğu görülmektedir.



Şekil 3.11. Van Ovası sularının Gibbs diyagramı.

3.2.4. Yüze ve yeraltı sularının kökeni

Su molekülünü oluşturan, hidrojen (H) ve oksijen (O) atomlarının kararlı ağır izotopları olan döteryum ($\delta^2\text{H}$ veya δD) ve oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) doğadaki bütün sulara çeşitli oranlarda bulunmaktadır. Suların çevresel (kararlı) izotop içeriklerinin incelenmesi ve araştırılması, ilgilenilen suların kökeninin (meteorik, fosil, metamorfik) ve beslenme yükseltisinin belirlenmesi, farklı su kütleleri arasındaki karışım oranlarının belirlenmesi, olası karışım süreçlerinin aydınlatılması, vb. gibi hidrolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin aydınlatılması aşamasında faydalı bilgiler sağlamaktadır (Clark ve Fritz, 1997). Meteorik suların hidrojen ve oksijen izotopları arasında, buharlaşma ve

yoğunlaşma gibi atmosferik süreçler ile kontrol edilen doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle her coğrafi bölgeyi karakterize eden bir meteorik su doğrusu bulunmaktadır. Bu meteorik su doğruları, söz konusu izotopların yeraltısularının kökeninin belirlenmesinde doğal izleyici olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Oksijen ve hidrojen izotoplarının atomik kütleleri arasındaki farklılık, bu izotoplar arasında doğrusal bir ilişkinin oluşmasına neden olmaktadır. Söz konusu ilişki,

$$\delta D = s \times \delta^{18}O + d \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilmekte olup burada s meteorik doğrunun eğimini ve d ise döteryum fazlasını ifade etmektedir. Eş. 3.6'da verilen s ve d değerleri, suyu oluşturan hidrojen ve oksijenin izotoplarının hidrolojik döngü (çevrim) içinde gerçekleşen buharlaşma, nem, yağış, sıcaklık, vb. gibi iklimsel ve yükseklik, bakı, vb. gibi coğrafi faktörlerin izlerini taşımaktadır. Küresel ölçekteki yağışların $\delta^{18}O$ ve δD izotopları arasındaki doğrusal ilişki Craig (1961) tarafından:

$$\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 10 \quad (3.7)$$

olarak belirlenmiş ve bu eşitlik “*Küresel Meteorik Su Doğrusu (GMWL)*” olarak adlandırılmıştır. Eş. 3.7'deki döteryum fazlası değeri (10) yerel olarak değişmekle birlikte, global ölçekte %85 nem koşullarında buharlaşma ve yoğunlaşma sonucunda oluşan yağış suları ile tatlı suların bu “*GMWL*” üzerinde yer alacağını ifade etmektedir. Eşitlikteki eğim değeri (8) yerel olarak kısmi farklılık göstermesine karşın, genel olarak sabit bir değer olarak kullanılmaktadır. Döteryum fazlası ise bu eşitlikte en temel değişken olup buharlaşma anındaki nem koşullarınca denetlenmektedir.

Gat ve Carmi (1970), oldukça düşük nem koşulları nedeniyle kinetik buharlaşmanın egemen olduğu Doğu Akdeniz'deki yağışların döteryum fazlası %22 olarak saptamış olup “*Akdeniz Meteorik Su Doğrusu (MMWL)*” olarak adlandırmıştır. Dolayısıyla, herhangi bir bölgeye düşen yağışların döteryum fazlası değeri nemi getiren yağış cephesine göre değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle her bölgenin kendisini karakterize eden bir meteorik su doğrusu söz konusudur. İnceleme alanının güney

kesiminde yer alan Gürpınar Ovası için “*Yerel Meteorik Su Doğrusu (LMWL)*” Aydın ve ark. (2009) tarafından Eş. 3.8 ile tanımlanmıştır.

$$\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 16.5 \quad (3.8)$$

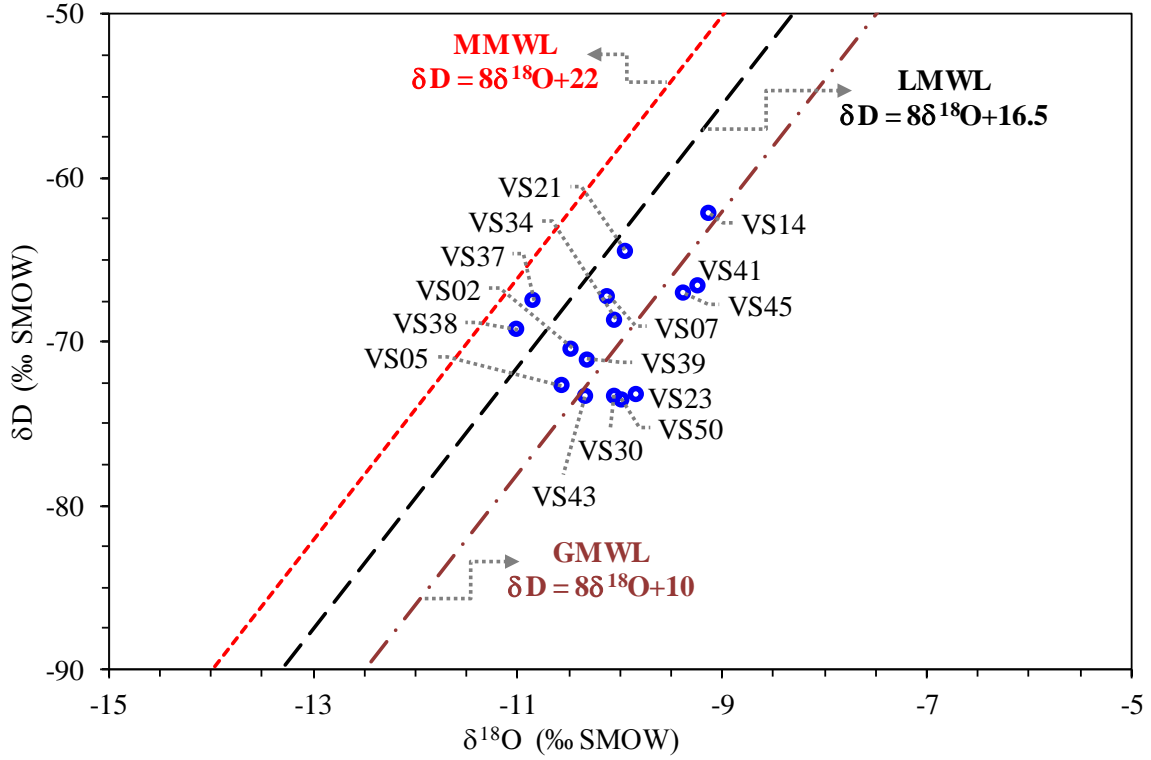
Çalışma kapsamında Van Ovası su noktalarında gerçekleştirilen çevresel izotop analiz sonuçları ve grafiği Çizelge 3.6 ve Şekil 3.12’de verilmektedir. Söz konusu suların ^{18}O ve D içerikleri sırasıyla, -11.01 ile -9.12 ve -73.50 ile -62.13 arasında değişmektedir. İnceleme alanında örneklenen su noktalarında gözlenen kararlı izotop içerikleri Aydın ve ark. (2009) tarafından Gürpınar Ovasında gerçekleştirilen çalışma sonuçları ($\delta^{18}O$: -12.6 ile -10.6 ve δD : -79.3 ile -68.3) ile tutarlı bir ilişki sergilemektedir.

Çizelge 3.6. İnceleme alanı su noktalarına ait çevresel izotop analiz sonuçları

Kod	$\delta^{18}O$ (‰ VSMOW)	δD (‰ VSMOW)
VS02	-10.47 ± 0.09	-70.41 ± 0.51
VS05	-10.57 ± 0.10	-72.65 ± 0.07
VS07	-10.11 ± 0.06	-67.17 ± 0.14
VS14	-9.12 ± 0.05	-62.13 ± 0.22
VS21	-9.95 ± 0.08	-64.41 ± 0.21
VS23	-9.84 ± 0.08	-73.17 ± 0.40
VS30	-10.05 ± 0.06	-73.29 ± 0.35
VS34	-10.05 ± 0.06	-68.60 ± 0.56
VS37	-10.85 ± 0.06	-67.44 ± 0.34
VS38	-11.01 ± 0.12	-69.23 ± 0.79
VS39	-10.32 ± 0.03	-71.07 ± 0.57
VS41	-9.24 ± 0.08	-66.59 ± 0.45
VS43	-10.33 ± 0.06	-73.33 ± 0.69
VS45	-9.37 ± 0.02	-67.03 ± 0.59
VS50	-9.98 ± 0.04	-73.50 ± 0.39

İnceleme alanı su noktaları için elde edilen $\delta^{18}O$ - δD ilişkisi Şekil 3.12’de görüldüğü üzere inceleme alanında yer alan sular MMWL ile GMWL arasında kalmaktadır. Bu durum, Van Ovası yeraltısularının meteorik orjinli olduğunu

göstermekte olup bölgede yüksek buharlaşma etkisine sahip atmosferik su buharınca oluşan yağışların baskın olduğunu göstermektedir. Başka bir ifade ile güneyden gelen yağmur bulutları, inceleme alanında meydana gelen yağış rejimini oluşturmakta ve bu yağışlardan itibaren yeraltına süzülen sular ise Van Ovası yeraltısularının beslenme kaynağını oluşturmaktadır.



Şekil 3.12. Van Ovası sularının $\delta^{18}\text{O}$ - δD ilişkisi.

3.3. Su Kalitesi

İçme-kullanma suyu, sulama suyu ve sucul yaşamın devamı açısından; majör iyon, azot türevleri, fosfat ve ağır metal konsantrasyon değerleri için hem ulusal hem de uluslararası düzeyde standartlar bulunmaktadır. Sularda 1 ppm'den daha düşük konsantrasyona sahip elementler, iz (minör) element veya ağır metal olarak adlandırılmaktadır. Doğal sulardaki iz element konsantrasyonunun kaynağı, jeojenik (doğal) ve antropojenik (yapay) kökenli veya her ikisinin bileşimi şeklinde gözlenebilmektedir. Yerküreyi oluşturan litolojik birimler yüksek miktarda ağır metal içermektedir. Doğal sularda, su-kayaç etkileşim süreçleri, asit-kaya drenajı, vb. ile

jeojenik kökenli iz element miktarı artabilmektedir. Bununla birlikte, antropojenik kaynaklarda (atık sular, madencilik faaliyetleri, çöp depolama alanları, vb.), bazen önemli miktarda sulardaki iz element konsantrasyonlarını etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan değerlendirmeler, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA, 2019) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO-WQG, 2019) standartları ile 17.02.2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” (TS266, 2019) göz önünde bulundurulmuştur (Çizelge 3.7).

Çizelge 3.7. İçme-kullanım suları ile ilgili ulusal ve uluslararası standartlarda yer alan sınır değerleri

<i>Parametre</i>	<i>Birim</i>	<i>TS266</i>	<i>EPA</i>	<i>WHO</i>
Arsenik -	µg/l	10.0	10.0	10.0
Bromat -	µg/l	10.0	10.0	10.0
Kadmiyum -	µg/l	5.0	5.0	3.0
Krom -	µg/l	50.0	100.0	50.0
Bakır -	mg/l	2.0	1.3	2.0
Florür -	mg/l	1.5	4.0	1.5
Demir -	µg/l	200.0	300.0	-
Mangan -	µg/l	50.0	-	-
Amonyak -	mg/l	0.5	-	-
Nikel -	µg/l	20.0	-	70.0
Nitrit -	mg/l	0.5	1.0	3.0
Nitrat -	mg/l	50.0	10.0	50.0
Kurşun -	µg/l	10.0	1.3	10.0
Antimon -	µg/l	5.0	6.0	20.0
Selenyum -	µg/l	10.0	50.0	40.0
Çinko -	mg/l	1.0	-	3.0

EPA: ABD Çevre Koruma Ajansı; WHO: Dünya Sağlık Örgütü.

3.3.1. Azot bileşikleri

İnceleme alanındaki yüzey suyu örnekleme noktalarında Nitrat (NO₃) ve Amonyak (NH₄) değerleri sırası ile 0.8-18.19 ppm ve 3.02-27.92 ppm arasında değişirken yeraltısularında ise 1.68-140.40 ppm ve 0.06-0.94 ppm arasında değişmektedir (Bkz. Çizelge 3.5). Van merkez su noktalarında yapılan çalışmada (Çavuş ve ark., 2017) NO₃ ve NH₄ iyonlarının 0.8-21.4 ppm ve 0-30 ppm arasında değiştiği belirtilmektedir.

NO₃ iyonu, sulara bulunan bağlı azot bileşiklerinin en önemlisidir. Çoğu yüzey suları bir miktar NO₃ iyonu içermektedir. Bununla birlikte, yüzey ve yeraltısularındaki NO₃ çoğunlukla organik veya antropojenik kaynaklıdır. Örneğin, bitkisel ve hayvansal

atıklar, evsel ve endüstriyel atık sular, gübreler, sulamadan dönen sular, atmosferik azotun yağışlarla yıkanması, yüzey ve yeraltısularındaki nitratı sağlayan başlıca kaynaklardır (Hem, 1985). Çizelge 3.7’de verilen içme-kullanım suyu standartları dikkate alındığında inceleme alanında NO_3 , VS02 (Kalecik Kaynak) ve VS35 (Van Kalesi, Atatürk Kültür Parkı) noktalarında sınır değeri aşarken, NH_4 ise VS01 YTY Opet Sondaj kuyusu ile yüzey sularında (VS04 Sanayi Dere, VS31 İskele Akköprü Deresi ve VS36 İskele Kirman Dere) sınır değeri aşmaktadır.

Diğer taraftan yüzey ve yeraltısularında ki NH_4 ’ın ana kaynağını evsel ve endüstriyel atık sular oluşturmaktadır. VS01, VS02 ve VS35 nolu noktaların, yerleşim alanı içinde kalmasından ve/veya bu kaynaklar çevresinde yapılan halı, yün, bulaşık, vb. yıkama ve temizlik faaliyetleri, kaynak sularının kaynak başında NH_4 açısından kirliliğine neden olmaktadır. Söz konusu kirliliğinin kaynağını, Van yerleşim alanı içinde geçen derelere özellikle kanalizasyon alt yapısının yetersiz olduğu alanlarda evsel atık suların verilmesinden kaynaklanmaktadır.

Nitrit (NO_2) iyonu, sulara düşük miktarlarda bulunan bir azot bileşiğidir. Oksijenin bulunduğu ortamlarda kararsız durumda olduğundan, NH_4 ve NO_3 arasında (nitritifikasyon) veya NO_3 ve NO arasında (denitritifikasyon) geçiş formu olarak bulunmaktadır. Suda NO_2 ’nin bulunması aktif biyolojik süreçlerin varlığını işaret etmektedir. NO_2 değeri ise sadece inceleme alanında VS31 (İskele Mah., Akköprü Deresi) nolu noktada 1.24 ppm olarak gözlenmiş olup (Bkz. Çizelge 3.5) standartta öngörülen izin verilebilir sınır değerini aşmaktadır. Çavuş ve ark. (2017) tarafında yapılan çalışmada Van merkez yerleşim alanında örneklenen su noktalarında NO_2 ’nin 0.007 ppm ile 0.77 ppm arasında değiştiği belirtilmektedir.

3.3.2. Yüzey ve yeraltısularında iz element miktarı

Tez çalışması kapsamında, Van Ovası su noktalarından toplanan örneklerde As (arsenik), Cd (kadmiyum), Co (kobalt), Cr (krom), Cu (bakır), Fe (demir), Mn (mangan), Ni (nikel), P (fosfor), Pb(kurşun), Sb (antimon), Se (selenyum), Sn (kalay), Sr (stronsiyum), Ti (titanyum), Tl (talyum), V (vanadyum) ve Zn (çinko) elementlerine ait analizler ppb düzeyinde gerçekleştirilmiştir. Fakat, Co, P, Sn, Sr, Ti ve Tl elementlerine ait analiz sonuçları belirleme limiti altında olduklarından dolayı bu bölüm kapsamında

değerlendirme dışında bırakılmıştır. Diğer iz elementlere ait analiz sonuçları Çizelge 3.8’de verilmekte olup 17.02.2005 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik” (Bkz. Çizelge 3.7) ile belirlenen limit değerlerinin üzerinde konsantrasyona sahip su noktaları, her bir element için vurgulanarak belirtilmiştir. Van Ovası yüzey ve yeraltısularının iz element içerikleri, As ve V dışında analiz yapılan diğer elementlere göre standartların öngördüğü limit (sınır) değerlerin altında kalmaktadır. As ve V elementleri ile ilgili ayrıntılı değerlendirme bu bölüm kapsamında ayrıntılı gerçekleştirilecektir. Fakat VS03 Sanayi sondaj kuyusunda deşarj olan yeraltısularının Cr (50.17 ppb) ve Se (15.02 ppb) elementlerine göre izin verilebilir sınır değerleri aştığı gözlenirken VS38 nolu Eminpaşa Mahallesiinde yer alan sondaj kuyusunda ise Mn (52.02 ppb) elementine göre sınır değeri aşmaktadır.

3.3.2.1. Arsenik (As)

Arsenik (As) ve bileşikleri, doğada her yerde hem metalik hem de metalik olmayan formda her yerde bulunmaktadır. En yaygın oksidasyon formları üç (arsenit, As^{3+}) ve beş (arsenat, As^{5+}) değerlikli formlardır. Hem biyolojik hem de toksikolojik açıdan, arsenik bileşikleri inorganik arsenik bileşikleri, organik arsenik bileşikleri ve arsin gazı (AsH_3) olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır (WHO-AQG, 2019). Toksik özelliği zayıftan güçlüye doğru göz önünde bulundurulduğunda arsenik, As^{5+} , As^{3+} ve AsH_3 şeklinde sıralanmaktadır (AU-EF, 2019).

Doğada arsenik, jeojenik ve antropojenik kaynaklı olabilmektedir. Jeojenik kaynaklı As, genellikle volkanik ve hidrotermal aktiviteler sonucunda hem kayada hem de suda önemli miktarlarda gözlenebilmekle birlikte genellikle gümüş, kurşun, bakır, nikel, antimon, kobalt ve demir cevherlerinin sülfürleri ile birlikte sülfidler şeklinde görülmektedir. Genel olarak sulardaki arsenik, oksijence zengin ortamlarda arsenat (As^{5+}) formunda baskın iken indirgenme koşullarında (oksijence fakir ortamlar) ise arsenit (As^{3+}) formu baskın olmaktadır (Şahinci, 1991; Appelo ve Postman, 2005; WHO-AQG, 2019). İnceleme alanı ve yakın dolayında yüzeylenen litolojik birimlerden alınan örneklerin (Bkz. Çizelge 2.2) iz element içeriği Çizelge 3.9’de verilmektedir. İnceleme alanında yüzeylenen Kuvaterner yaşlı alüvyonları As içeriği 24.3 ppm iken Edremit travertenlerinde As belirleme limitinin altında kalmaktadır.

Çizelge 3.8. İnceleme alanı sularına ait iz element analiz sonuçları

Kod	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	V	Zn
	(µg/l)											
Limit ^θ	10	5	50	2000	200	50	20	10	5	10	15	1000
VS01	11.30	0.02	2.45	1.01	13.16	2.87	1.53	-	0.22	1.44	4.46	1.33
VS02	9.19	0.02	5.56	0.71	14.14	0.03	1.15	-	0.10	1.94	8.63	0.27
VS03	34.29	0.02	50.17	1.01	22.21	0.58	0.86	-	0.26	15.02	21.76	1.06
VS04*	16.10	0.02	1.79	0.22	38.73	4.28	3.01	-	0.53	1.50	6.31	1.09
VS05	8.65	0.01	2.96	-	27.32	0.17	0.73	-	0.08	1.44	14.79	0.46
VS06	109.30	0.06	11.03	1.12	33.83	0.07	1.56	-	0.26	3.03	14.07	0.83
VS07	9.47	0.02	6.74	0.73	39.05	0.10	1.46	-	0.12	3.16	15.19	0.58
VS08	27.59	0.01	9.62	0.15	32.46	0.04	1.50	-	0.06	1.17	16.75	2.30
VS09	10.29	0.02	16.79	2.02	36.25	0.08	1.57	-	0.16	3.50	14.18	5.59
VS10*	24.58	0.02	1.28	1.78	64.29	0.64	1.85	-	0.74	0.79	4.63	0.92
VS11	55.67	0.02	6.58	3.14	36.20	0.13	1.14	0.01	0.12	1.80	17.45	4.57
VS12	74.51	0.01	16.67	0.43	41.06	0.10	1.00	-	0.09	1.23	4.88	0.78
VS13	110.40	0.01	13.64	0.19	42.41	0.12	1.13	-	0.11	1.52	6.31	0.73
VS14	56.10	0.01	23.79	0.20	40.65	0.06	1.37	-	0.15	1.36	5.12	0.50
VS15	168.10	0.02	7.07	3.98	41.82	0.87	2.32	-	0.17	3.70	7.97	6.09
VS16	162.80	0.01	9.60	1.27	38.41	0.06	1.50	-	0.09	1.04	8.69	2.94
VS17	132.80	0.01	10.24	0.17	39.48	0.06	1.03	-	0.10	1.26	9.32	1.13
VS18	2.31	0.01	2.47	-	38.35	0.08	0.54	-	0.06	1.27	9.17	0.29
VS19	4.78	0.01	9.01	0.27	37.55	0.20	1.29	-	0.07	1.10	17.62	0.64
VS20*	38.63	0.01	1.24	0.82	55.88	4.76	3.22	-	0.47	0.68	2.35	0.05
VS21	0.62	0.01	1.34	-	35.82	0.13	0.92	-	0.04	0.33	3.41	0.25
VS22	1.87	0.02	7.56	-	36.89	0.18	1.64	-	0.11	1.46	14.47	0.28
VS23	24.07	0.01	9.36	-	45.92	0.59	1.50	0.07	0.16	5.88	6.93	2.46
VS24	29.17	0.01	7.89	-	43.53	0.11	1.65	-	0.10	1.86	6.61	0.26
VS25	9.25	0.01	7.21	0.64	41.43	0.12	1.52	-	0.16	3.31	4.12	2.90
VS26*	3.09	0.01	1.82	0.57	54.14	2.40	2.01	-	0.40	0.89	3.24	1.25
VS27*	36.75	0.03	4.47	0.98	39.09	0.70	1.57	-	0.42	3.43	9.89	0.57
VS28	16.30	0.01	10.79	5.53	46.16	0.23	2.52	0.18	0.08	6.76	5.12	11.98
VS29	84.01	0.01	21.21	-	37.15	0.01	0.82	-	0.12	3.11	8.98	0.05
VS30	45.17	0.01	18.33	-	27.84	0.00	0.15	-	0.17	1.53	24.74	-
VS31*	32.23	0.02	1.99	2.17	55.25	19.01	3.35	0.09	0.57	1.65	6.83	4.49
VS32	19.25	0.01	9.69	-	35.83	0.05	0.92	-	0.13	1.93	6.51	0.06
VS33	43.30	0.00	16.05	-	50.08	1.43	1.62	-	0.18	3.22	7.94	0.46
VS34	19.20	0.01	10.44	-	38.49	0.09	1.06	-	0.10	2.08	6.80	-
VS35	15.32	0.01	16.38	-	40.47	0.06	2.11	-	0.10	3.12	8.80	0.20
VS36*	3.50	0.01	2.56	1.08	72.87	21.71	3.06	0.02	0.89	1.08	4.01	4.39
VS37	3.05	0.02	11.26	0.66	48.14	0.10	2.42	-	0.18	1.55	6.35	0.47
VS38	2.73	0.01	4.91	0.39	44.71	52.20	2.24	-	0.11	1.88	6.73	1.68
VS39	2.36	0.01	7.91	1.50	39.99	0.72	3.83	-	0.10	8.47	6.71	1.00
VS40	2.36	0.00	10.59	-	42.35	0.03	1.33	-	0.08	2.14	7.09	0.04
VS41	41.49	0.01	7.92	1.33	43.97	1.42	1.51	-	0.12	1.48	18.48	1.20
VS42	8.02	0.02	4.48	0.44	45.91	0.03	1.50	-	0.08	1.95	7.17	0.23
VS43	0.60	0.00	0.62	-	32.12	0.22	0.51	-	0.01	0.77	2.94	-
VS44	1.03	0.01	4.10	1.62	34.30	0.14	2.27	-	0.21	1.86	9.41	-
VS45	47.01	0.00	6.68	-	33.59	0.12	0.68	-	0.03	1.22	10.79	-
VS46	25.53	0.00	7.01	-	39.09	0.14	1.49	-	0.08	3.26	6.74	0.10
VS47*	1.99	0.00	1.77	0.07	40.24	1.50	1.28	-	0.22	0.68	1.82	-
VS48	6.68	0.09	8.74	0.06	35.23	0.19	1.29	-	0.21	3.85	3.83	0.18
VS49	39.82	0.01	8.44	-	29.05	0.04	0.52	-	0.16	2.17	22.11	-
VS50	45.45	0.01	32.63	-	44.77	0.42	0.35	-	0.21	4.13	24.32	-

^θ: TS266 (2019)da izin verilebilir sınırlar değer; *: yüzey suları; -: saptama sınırının altında.

Toprakkale Formasyonu kireçtaşları ile Ofiyolitik seri içinde yer alan kireçtaşlarında As miktarı 24.1 ppm ile 33.1 ppm arasında değişmektedir. Van Formasyonuna ait kumtaşlarında ise 14.7-17.3 ppm As gözlenirken ofiyolitik seri içinde yer alan serpantin, volkanik kayalar ve karmaşıklarda ise sırası ile 0 ppm, 3.1 ppm ve 10.4 ppm gözlenmiştir (Çizelge 3.9; Şekil 3.13). Bu çalışma kapsamında serpantinlerde gerçekleştirilen analizlerde As konsantrasyonu belirleme limitinin altında kalmasına karşın, Yazıcıoğlu (2018) ve Üner (2019) tarafından inceleme alanı ve yakın dolayında gerçekleştirilen çalışmalarda ofiyolitik kayalardaki As konsantrasyonunun 0.6-48.9 ppm (harzburjit), 6.1-22.7 ppm (lisvenit), 0.5-28.7 ppm (serpantin) ve 0.5-24.2 ppm (diyabaz) arasında değiştiği belirtilmektedir.

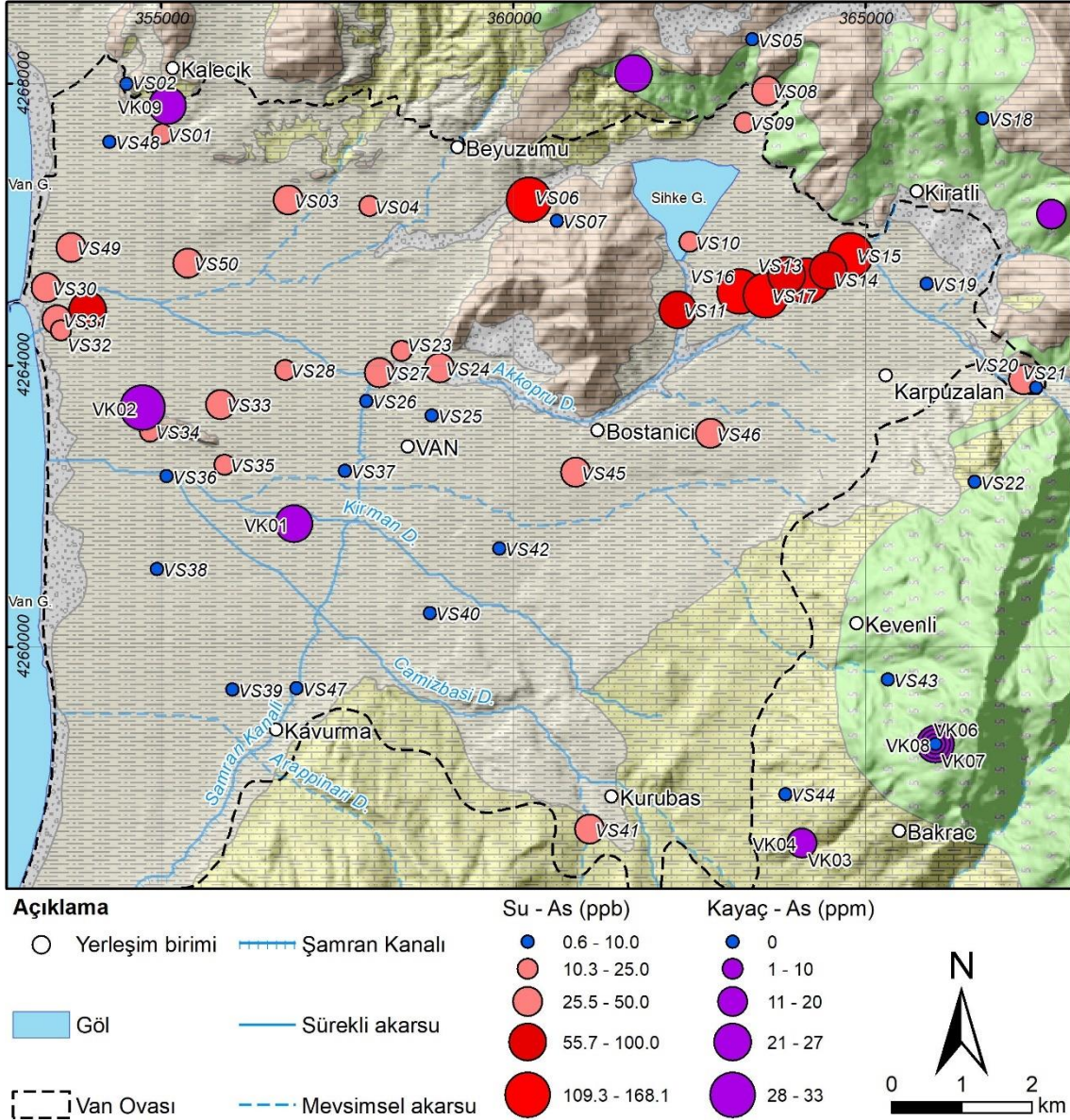
Çizelge 3.9. İnceleme alanı kayalarından iz element analiz sonuçları

<i>Kod</i>	<i>As</i>	<i>Cd</i> (ppm)	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i> (%)	<i>Mn</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Sb</i> (ppm)	<i>Se</i>	<i>V</i>	<i>Zn</i>
VK01	24.3	<0.1	320.4	50.1	4.37	>1000	163.3	14.82	0.74	<0.5	139.7	99.0
VK02	33.1	0.49	14.8	17.4	0.03	76.84	16.6	9.58	0.54	<0.5	6.2	26.1
VK03	17.3	0.26	195.3	27.5	2.21	539.97	222.2	12.47	0.67	<0.5	68.4	99.0
VK04	14.7	0.18	134.1	15.1	1.24	371.22	124.1	10.55	0.74	<0.5	36.1	165.7
VK05	<0.01	<0.1	40.2	23.2	3.10	890.72	24.4	31.70	1.57	<0.5	102.5	130.6
VK06	26.6	0.34	11.6	8.2	0.20	357.13	15.0	48.81	0.55	<0.5	6.5	32.4
VK07	3.1	0.26	143.2	33.8	2.94	>1000	52.2	7.92	<0.5	<0.5	67.1	94.5
VK08	10.4	0.14	67.5	36.8	3.97	>1000	45.0	11.66	0.67	<0.5	116.3	106.1
VK09	24.1	0.66	38.7	14.5	0.19	320.25	10.2	4.00	0.73	<0.5	71.9	48.8
VK10	<0.01	0.22	9.1	3.4	<0.01	17.29	11.1	2.68	<0.5	<0.5	<0.1	16.9

Antropojenik olarak da özellikle maden sahalarında drene olan sular, metal (bakır, demir, vb.) eritme işlemi yapan sanayilerden kaynaklanan atıklar, arsenikli pestisit kullanımı, vb. şekilde toprakta ve suda görülebilmektedir. Kirlenmemiş topraktaki arsenik konsantrasyonları genellikle 0.2-40 ppm (WHO-AQG, 2019) arasında değişirken bakır eritme tesislerinin yakınında 100–2500 ppm ve arsenikli gübre kullanılan tarım arazilerinde 200-2500 ppm (Diaz-Barriga ve ark., 1993) seviyeleri arasında değişmektedir.

Çizelge 3.7’de belirtildiği gibi içme-kullanım sularındaki As sınır değeri hem ülkemizde hem de Dünya’da 10 ppb (ppb)’yi geçmemelidir. Bir bölgedeki hem yüzey hem de yeraltısularındaki As konsantrasyonu, yeraltısularının beslenme alanından boşalım alanına doğru akış yolu boyunca temas ettiği kayaların yapısı ile ilgilidir. Örneğin sularda ki As miktarı Yeni Zelanda, Romanya, Rusya ve Amerika Birleşik

Devletleri'ndeki karbonatlı akiferlerde 0.4-1.3 ppm, Çin ve Tayvan'daki basınçlı akiferlerde 1.8 ppm civarında ve Kordoba, Arjantin'deki yeraltısularında ise 3.4 ppm düzeyinde gözlenmiştir (WHO-AQG, 2019). Van Ovası ve yakın dolayında yapılan çalışmalarda ise As miktarının yüzey ve yeraltısularında 0.378-14.21 ppb (Yılmaz ve Ekici, 2004) ve 0.15-52.27 ppb (Çavuş ve ark., 2017) arasında değiştiği belirtilmektedir.



Şekil 3.13. Van Ovası su ve kayaç örneklerine ait Arsenik (As) dağılım haritası.

Tez çalışması kapsamında Van Ovasında gerçekleştirilen analiz çalışmaları sonucunda örnek alınan 50 su noktasının 31'inde As miktarı TS266'da önerilen 10 ppb sınır değerinin üzerinde gözlenmiştir (Çizelge 3.8; Şekil 3.13). İnceleme alanındaki ortalama As miktarı 33.56 ppb olup en düşük As değerleri 0.6 ppb ile VS43 nolu Kevenli

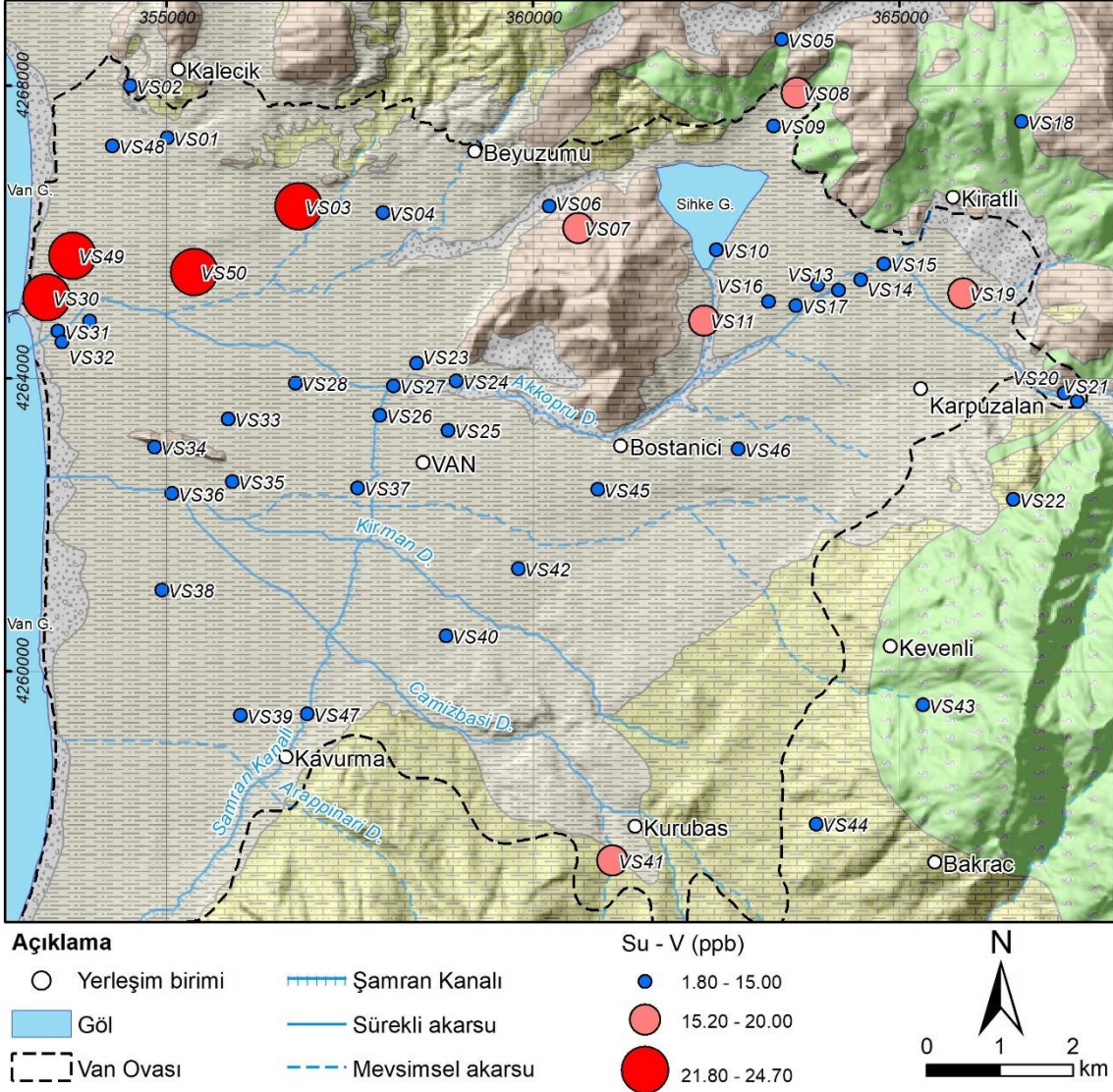
(Şusanis) Köyündeki kaynakta gözlenirken en yüksek değerler (110.0-168.1 ppb) ise Narmandüzü Mevkiinde (VS13, VS15, VS16, VS17) yer alan sondaj kuyularında gözlenmiştir. Şekil 3.13’de verilen Van Ovası As dağılım haritasında da görüleceği üzere özellikle ovanın orta ve kuzey kesimleri arasında yer alan hem yüzey hem de yeraltısuyu gözlem noktalarında yüksek konsantrasyonlar gözlenmesine karşın en yüksek değerler derin sondaj kuyularından deşarj olan sularda gözlenmiştir. İnceleme alanı sınırları içinde antropojenik kökenli As üretecek faaliyet alanlarının olmaması ile Ova ve yakın dolayında yüzeylenen kayaçların büyük bir kısmının ppm düzeyinde (Çizelge 3.9) As içermesi dikkate alındığında, Van Ovasındaki As’nin bölgede yüzeylenen kayaçlardan kaynaklanan jeojenik orijin ile ilişkilendirilebilir. Başka bir ifade ile nispeten derin dolaşıma ve dolayısı ile uzun yeraltısuyu geçiş süresine sahip sondaj kuyularında deşarj olan yeraltısularının yüksek As içermesinin kaynağını; uzun su-kayaç etkileşim sürecinden kayaçlarda bulunan yüksek miktardaki As’nin çözünerek sulardaki As’yi yükseltmesi şeklinde yorumlanmıştır.

3.3.2.2. Vanadyum (V)

İnceleme alanında analiz yapılan 50 adet su noktasının 9’unda Vanadyum (V) değeri standartlarda öngörülen sınır değerinin 15 ppb üzerinde gözlenmiştir. V, periyodik tabloda beşinci grupta yer alan element olup parlak beyaz bir metaldir. Yük değerleri dikkate alındığında V^{3+} , V^{4+} ve V^{5+} formlarında gözlenmekte olup yükseltgenme koşullarında genellikle V^{5+} ve indirgenme koşullarında ise V^{4+} formunda gözlenmektedir (Erdmann ve ark., 1984). Yerkabuğundaki ortalama vanadyum konsantrasyonu 150 $\mu\text{g/g}$ olup topraktaki konsantrasyon 3-310 $\mu\text{g/g}$ arasında değişmekte ve uçucu kül ile kirlenen alanlarda ise yüksek değerlere (400 $\mu\text{g/g}$) ulaşabilmektedir (WHO-AQG, 2019). Yüzey ve yeraltısularındaki V konsantrasyonu büyük ölçüde coğrafi lokasyona bağlı olarak değişmekte olup tatlı sularda 0.2 ppb ile 100 $\mu\text{g/l}$ ve deniz suyunda ise 0.2 ppb ile 29 $\mu\text{g/l}$ arasında değişmektedir (Bengtsson ve Tyler, 1976).

konsantrasyonu inceleme alanında; Sanayi sondaj kuyusu (VS03) ile Beyüzümü ((VS07, VS08), Yalımız (VS11), Hamurkesen (VS19), İskele (VS30, VS49), Kurubaş (VS41) ve Altıntepe (VS50) mahallerindeki kaynak ve sondaj kuyularından alınan yeraltısuyu örneklerinde gözlenmiştir (Şekil 3.14; Çizelge 3.8). İnceleme alanındaki kayaç

örneklerindeki V konsantrasyonu ise 0.1 ppm ile 139.7 ppm arasında değişmektedir (Çizelge 3.9). İnceleme alanındaki nispeten yüksek V değerlerinin, jeolojik yapıdan kaynaklanan bir kirliliğe maruz kaldığı düşünülmektedir.



Şekil 3.14. Van Ovası su ve kayaç örneklerine ait Vanadyum (V) dağılım haritası. Standartlarda öngörülen sınır değerinin (15 ppb; Çizelge 3.7) üzerinde V

3.3.3. Kirlilik indisi

Genel olarak kabul edilmiş bileşik bir su kalitesi indeksi olmamasına rağmen, bazı ülkeler ve bölgeler su kalitesi indekslerinin geliştirilmesinde su kalitesi verilerinin tümünü kullanmış ve/veya kullanmaktadır. Çoğu su kalitesi indeksi, izin verilen

konsantrasyonlara göre verilerin normalleştirilmesi veya standartlaştırılması ile “iyi” ile “kötü” ayırımına dayanmaktadır. Hesaplama yöntemlerinde, gözlenen parametreler izin verilen sınır değerlerine oranla ağırlıklandırılmakta ve indeks, gözlem yapılan tüm noktalarda anomali veren parametrelerin ağırlıklı ortalaması veya toplamı şeklinde hesaplanmaktadır (UNEP, 2007). Bununla birlikte hem ülkemizde (örneğin, Gölge, 2010; Özcan, 2018) hem de dünyada (örneğin; Backman ve ark., 1998; Pesce ve Wunderlin, 2000; Tsegaye ve ark., 2006) yüzey ve yeraltısularında kirlilik indisinin hesaplanmasına yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Sunulan çalışmada, standartlarda önerilen sınır değerlerinin üzerinde iz element kirliliği gözlenen su noktaları için Backman ve ark. (1998) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır.

Backman ve ark. (1998) tarafından önerilen yöntemde Kirlilik İndisi (C_d), her bir parametre için kirlilik faktörü (C_{fi}) Eş. 3.9 ile hesaplanmakta ve söz konusu parametre için hesaplanan C_{fi} 'nin toplamı ise o parametrenin C_d 'ni (Eş. 3.10) vermektedir.

$$C_{fi} = [C_{Ai}/C_{Ni}] - 1 \quad (3.9)$$

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_{fi} \quad (3.10)$$

burada, C_{Ai} i parametresinin analiz değeri ve C_{Ni} ise i parametresine standartlarda izin verilebilir sınır değerini ifade etmektedir. Yöntemde, hesaplama sonucu elde edilen negatif C_{fi} değerleri ihmal edilmektedir. Bir örneğe ait hesaplanan C_d değeri; düşük ($C_d < 1$), orta ($1 < C_d < 3$) yüksek ($C_d > 3$) olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Van Ovası sularının standartta (TS266, 2019) izin verilen sınır değerinin üzerinde ağır metal içeriğine sahip noktalar için hesaplanan faktörü C_{fi} ve C_d değerleri ile kirlilikte baskın parametreye ait bilgi Çizelge 3.10'de verilmektedir.

Van Ovasında 50 noktada örneklenen yüzey ve yeraltısularının 34 tanesinde (Bkz. Çizelge 3.8) ağır metal kirliliği tespit edilmiş olup yapılan değerlendirme sonucunda;

- VS01, VS07, VS09, VS19, VS28, VS32, VS34, VS35 ve VS38 yeraltısuyu örnekleme noktaları ile VS04 yüzey suyu örnekleme noktasında düşük kirlilik ($C_d < 1$),
- VS08, VS23, VS24 ve VS46 yeraltısuyu örnekleme noktaları ile VS10, VS20, VS27 ve VS31 yüzey suyu örnekleme noktalarında orta kirlilik ($1 < C_d < 3$),

- VS03, VS06, VS11, VS12, VS13, VS14, VS15, VS16, VS17, VS29, VS30, VS33, VS41, VS45, VS49 ve VS50 yeraltısuyu örnekleme noktalarında yüksek kirlilik ($C_d > 3$),

Çizelge 3.10. İnceleme alanı su noktaları için hesaplanan kirlilik indisi sonuçları

<i>Kod</i>	<i>C_{fi}</i>					<i>C_d</i>	<i>Baskın Parametre</i>
	<i>As</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Se</i>	<i>V</i>		
VS01	0,130	-	-	-	-	0,130	Arsenik
VS03	2,429	0,003	-	0,502	0,451	3,385	Arsenik
VS04*	0,610	-	-	-	-	0,610	Arsenik
VS06	9,930	-	-	-	-	9,930	Arsenik
VS07	-	-	-	-	0,013	0,013	Vanadyum
VS08	1,759	-	-	-	0,117	1,876	Arsenik
VS09	0,029	-	-	-	-	0,029	Arsenik
VS10*	1,458	-	-	-	-	1,458	Arsenik
VS11	4,567	-	-	-	0,163	4,730	Arsenik
VS12	6,451	-	-	-	-	6,451	Arsenik
VS13	10,040	-	-	-	-	10,040	Arsenik
VS14	4,610	-	-	-	-	4,610	Arsenik
VS15	15,810	-	-	-	-	15,810	Arsenik
VS16	15,280	-	-	-	-	15,280	Arsenik
VS17	12,280	-	-	-	-	12,280	Arsenik
VS19	-	-	-	-	0,175	0,175	Vanadyum
VS20*	2,863	-	-	-	-	2,863	Arsenik
VS23	1,407	-	-	-	-	1,407	Arsenik
VS24	1,917	-	-	-	-	1,917	Arsenik
VS27*	2,675	-	-	-	-	2,675	Arsenik
VS28	0,630	-	-	-	-	0,630	Arsenik
VS29	7,401	-	-	-	-	7,401	Arsenik
VS30	3,517	-	-	-	0,649	4,166	Arsenik
VS31*	2,223	-	-	-	-	2,223	Arsenik
VS32	0,925	-	-	-	-	0,925	Arsenik
VS33	3,330	-	-	-	-	3,330	Arsenik
VS34	0,920	-	-	-	-	0,920	Arsenik
VS35	0,532	-	-	-	-	0,532	Arsenik
VS38	-	-	0,044	-	-	0,044	Mangan
VS41	3,149	-	-	-	0,232	3,381	Arsenik
VS45	3,701	-	-	-	-	3,701	Arsenik
VS46	1,553	-	-	-	-	1,553	Arsenik
VS49	2,982	-	-	-	0,474	3,456	Arsenik
VS50	3,545	-	-	-	0,621	4,166	Arsenik

*: yüzey sular.

belirlenmiştir. Ayrıca Çizelge 3.10'de görüleceği üzere VS07 ve VS19 örnekleme noktalarında kirliliği oluşturan baskın parametreyi Vanadyum ve VS38 nolu noktada ise

Mangan oluştururken, geri kalan ova sularında kirliliği oluşturan baskın parametrenin Arsenik olduğu net bir şekilde görülmektedir. Bölüm 3.3.2.1’de de belirtildiği üzere hem insan hem de diğer canlılar için hayati boyutta risk oluşturan toksik özelliğe sahip arseniğin kaynağını bölgede yüzeylenen kayalar oluşturmaktadır.





4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Van Ovası Yüzey ve Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal İncelemesi tez çalışması kapsamında aşağıda belirtilen sonuçlar ve öneriler elde edilmiştir.

- İnceleme alanı içinde yer alan Akköprü ve Kirman dereleri ile diğer alanlarda drene olan ve Van Gölüne ulaşan uzun yıllar ortalama akım miktarı sırası ile 0.557 m³/s, 0.374 m³/s ve 0.129 m³/s olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Van Ovası drenaj alanında yağışlar ve kar erimesi sonrası meydana gelen yüzeysel akım miktarı ile yeraltısuyu katkı miktarlarını temsil etmektedir. Doğu Anadolu karasal iklim tipinin hakim olduğu inceleme alanında uzun yıllar (1939-2018) ortalama sıcaklık ve nispi nem ile yıllık toplam yağış ve gerçek buharlaşma-terleme miktarları sırası ile 9.39 °C, %58.1, 397.8 mm/yıl ve 295.0 mm/yıl olarak elde edilmiştir. Hesaplanan bu değerlerden itibaren Van Ovası su potansiyeli 12.1×10⁶ m³/yıl olarak hesaplanmıştır.
- Van Ovası genelinde Paleosen-Eosen yaşlı kireçtaşları, Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Van Formasyonu, Pleyistosen-Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar ile dere yataklarında çökelen Kuvaterner yaşlı güncel akarsu çökelleri yer almaktadır. Hidrojeolojik açıdan bu birimlerden kireçtaşları ile eski ve güncel alüvyonlar geçirimli birim özelliği sergilerken Van Formasyonuna ait birimler ise yarı geçirimli birim özelliği sergilemektedir. İnceleme alanının büyük bir kesiminde (%78) Pleyistosen-Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar yüzeylemekte olup inceleme alanındaki ana akiferi oluşturmaktadır. Söz konusu alüvyon akiferin kalınlığı 200 m'yi geçmekte olup silt, kil, kum ve çakıl aralanmasından oluşan heterojen bir yapı sergilemektedir.
- Van Ovasında yer alan yüzey ve yeraltısularının sıcaklıkları sırası ile 15.25-27.74 °C (ortalama: 21.29 °C) ve 9.35-12.90 °C (ortalama: 10.83 °C) arasında değişmektedir. Yüzey sularının ve yeraltısularının ortalama pH değeri sırası ile 7.97 (7.28-8.30) ve 7.13 (6.57-7.95) olarak elde edilmiştir. İnceleme alanında örneklenen yüzey sularının ortalama EC₂₅ değeri 761 µS/cm olarak hesaplanmış olup bu değer 467 µS/cm ile 1020 µS/cm arasında değişmektedir. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örnekleme noktalarında gözlenen en düşük ve yüksek EC₂₅

değerleri 316 $\mu\text{S/cm}$ ile 2570 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişirken ortalama değer ise 1004 $\mu\text{S/cm}$ olarak hesaplanmıştır.

- İnceleme alanındaki suların büyük bir çoğunluğu Ca-HCO_3 ve Mg-HCO_3 tipi sular sınıfında yer almaktadır. Bu durum inceleme alanının jeolojik yapısı göz önünde bulundurulduğunda, bölgede yüzeyleyen ofiyolitik kayalar içinde yer alan kireçtaşı seviyeleri, Toprakkale Formasyonu kireçtaşları ve Büyükçay Formasyonu (eski alüvyonlar) içinde yer alan karbonatlı (kalsite, vb.) ve mafik (olivin, vb.) minerallerin çözünmesi ile ilişkilendirilmiştir.
- İnceleme alanı su noktaları $\delta^{18}\text{O}$ ve δD çevresel izotop içerikleri sırasıyla, -11.01 ile -9.12 ve -73.50 ile -62.13 arasında değişmektedir. $\delta^{18}\text{O}$ - δD ilişkisi, Van Ovası yeraltısularının meteorik orjinli olduğunu göstermekte olup bölgede yüksek buharlaşma etkisine sahip atmosferik su buharınca oluşan yağışların baskın olduğunu göstermektedir. Başka bir ifade ile güneyden gelen yağmur bulutları, inceleme alanında meydana gelen yağış rejimini oluşturmakta ve bu yağışlardan itibaren yeraltına süzülen sular ise Van Ovası yeraltısularının beslenme kaynağını oluşturmaktadır.
- Tez çalışması kapsamında Van Ovası yüzey ve yeraltısularının iz element içerikleri, Arsenik ve Vanadyum dışında analiz yapılan diğer elementlere göre standartların öngördüğü limit (sınır) değerlerin altında kalmaktadır. Fakat VS03 Sanayi sondaj kuyusunda deşarj olan yeraltısularının Cr (50.17 ppb) ve Se (15.02 ppb) elementlerine göre izin verilebilir sınır değerleri aştığı gözlenirken VS38 nolu Eminpaşa Mahallesiinde yer alan sondaj kuyusunda ise Mn (52.02 ppb) elementine göre sınır değeri aşmaktadır.
- Tez çalışması kapsamında Van Ovasında gerçekleştirilen analiz çalışmalarını sonucunda örnek alınan 50 su noktasının 31'inde Arsenik miktarı TS266'da önerilen 10 ppb sınır değerinin üzerinde gözlenmiştir. İnceleme alanındaki ortalama Arsenik miktarı 33.56 ppb olup en düşük Arsenik değerleri 0.6 ppb ile VS43 nolu Kevenli (Şusanis) Köyündeki kaynaktan gözlenirken en yüksek değerler (110.0-168.0 ppb) ise Narmandüzü Mevkiinde (VS13, VS15, VS16, VS17) yer alan sondaj kuyularında gözlenmiştir. Vanadyum değeri ise 1.82 ppb (VS47) ile 24.74 ppb (VS30) arasında değişmektedir. İnceleme alanındaki kayalar örneklerindeki

Arsenik ve Vanadyum konsantrasyonları sırası ile 33.1 ppm ve 139.7 ppm gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır.

- Van Ovası ve yakın dolayında yer alan yüzey ve yeraltısularında yüksek Arsenik kirliliğinin ana kaynağı; bölgede antropojenik kökenli Arsenik üretecek faaliyet alanlarının olmaması nedeni ile söz konusu kirlilik bölgede yüzeyleyen kayaçlardan kaynaklanan jeojenik orijin ile ilişkilendirilmiştir. Başka bir ifade ile nispeten derin dolaşıma ve dolayısı ile uzun yeraltısuyu geçiş süresine sahip sondaj kuyularında deşarj olan yeraltısularının yüksek Arsenik içermesi, uzun su-kayaç etkileşim sürecinden kayaçlarda bulunan yüksek miktardaki As'nin çözünerek sulara yüksek konsantrasyonların görülmesi şeklinde yorumlanmıştır. İnceleme alanındaki sulara gözlenen nispeten yüksek Vanadyum, jeolojik yapıdan kaynaklanmaktadır.
- İnceleme alanında 50 noktada örneklenen yüzey ve yeraltısularınının 34 tanesinde ağır metal kirliliği tespit edilmiş olup bunlarda 10 tanesi (VS01, VS04, VS07, VS09, VS19, VS28, VS32, VS34, VS35, VS38) düşük kirli ($C_d < 1$), 8 tanesi (VS08, VS10, VS20, VS23, VS24, VS27, VS31, VS46) orta kirli ($1 < C_d < 3$) ve 16 tanesi (VS03, VS06, VS11, VS12, VS13, VS14, VS15, VS16, VS17, VS29, VS30, VS33, VS41, VS45, VS49, VS50) yüksek kirli ($C_d > 3$) kategorisinde yer almaktadır.

Öncelikle sunulan çalışmada yapılan ölçüm, örnekleme, analiz ve değerlendirme çalışmaları herhangi bir işleme tabi tutulmamış doğal örneklerle yapılmıştır. Ekosistem açısından yüksek risk teşkil eden Arsenik konsantrasyonunun inceleme alanı su noktalarında gözlenmesi bu su noktaları ile ilgili acil tedbirlerin alınmasını gerektirmektedir. Günümüzde Van Ovasında, Van Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (VASKİ) tarafından işletilen Van Otogar (VS23) ve Narmandüzü Mevkii (VS12, VS13, VS14, VS15, VS16, VS17) olmak üzere iki adet Arsenik arıtma tesisi yer almaktadır. Bu arıtma tesisinden arıtılan sular kontrollü bir şekilde şehir şebekesine verilmektedir. Fakat bu su noktaları dışında kalan diğer Arsenik kirliliği olan su noktalarında (örneğin; VS30 İskele Mahallesi Eski DMO Kaynağı, VS34 Horhor Kaynağı, vb.) insanlar tarafından yoğun bir şekilde içme-kullanım amacı ile su alınmakta olup herhangi bir arıtma tesisi bulunmamakla birlikte herhangi bir uyarıda bulunmamaktadır. *Dolayısı ile inceleme alanında Arsenik arıtma tesisi bulunmayan kirli*

noktalara, öncelikle herkes tarafından görülecek ve insanları uyaracak ikaz tabelalarının konulması acilen önerilmektedir.

Diğer taraftan jeojenik (doğal) kaynaklı Arsenik kirliliğinin bulunduğu inceleme alanında bu kirliliğin giderilmesi günümüz teknolojisi ile mümkün olmakla birlikte, arıtma tesisinin giderlerinin fazla olması küçük debili kaynaklarda efektif olmamaktadır. Fakat, inceleme alanının temiz ve güvenli su ihtiyacı, günümüzde Van yerleşim alanı ve yakın dolayının içme-kullanım suyunun büyük bir kısmının temin edildiği Şamran Kaynağından karşılanabilmektedir. Çünkü Aydın ve ark. (2009; 2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda, ortalama 5.240 m³/s debiye sahip Şamran Kaynağının en düşük akım (3.497 m³/s) değerinde akması koşulunda dahi 2050 yılına kadar bölgedeki içme ve kullanım suyu ihtiyacını karşılayabileceği belirtilmektedir.

Yaşadığımız bölgede flora ve fauna için birinci derecede hayati öneme sahip su kaynaklarının, sunulan tez içeriğinde temel alınan “hidrojeolojik kavramsal model” bakış açısı ile daha (aylık ve/veya mevsimsel örnekleme ve analiz) detay çalışmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Acarlar, M., Bilgin, Z.A., Erkal, T., Güner, E., Şen, A.M., Umut, M., Elibol, E., Gedik, İ., Hakyemez, Y., Uğuz, M.F., 1991. *Van Gölü Doğu ve Kuzeyinin Jeolojisi*. MTA Genel Müdürlüğü Raporu, No: 9469.
- Acarlar, M., Türkecan, A., 1986. *Başkale (Van) Batı ve Kuzeybatısının Jeolojisi*. MTA Genel Müdürlüğü Raporu, No: 7913.
- Akçakaya, A., Sümer, U.M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Gürkan, H., Yazıcı, B., Kocatürk, A., Şensoy S., Bölük, E., Arabacı, H., Açar, Y., Ekici, M., Yağan, S., Çukurçayır, F., 2015. Yeni senaryolarla Türkiye iklim projeksiyonları ve iklim değişikliği – TR2015-CC. <http://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-degisikligi.aspx>. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 149 s, Ankara. Erişim tarihi: 14.06.2019.
- Akdemir, S., 1997. *Van Merkez ve Çevresinin Hidrojeolojisinin İncelemesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Alemdar, S., Kahraman, T., Ağaoğlu, S., Alışarlı, M., 2009. Bitlis ili içme sularının bazı mikrobiyolojik ve fizikokimyasal özellikleri. *Ekoloji*, **19**(73): 29-38.
- APHA, AWWA and WPCF, 1989. *Standart Methods for the Estimation of Water and Waste Water* (17th Edition), American Public Health Association, Washington, USA, 1134 p.
- Appelo, C.A.J., Postman, D., 2005. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Second edition. A.A. Balkema Publishers, Leiden, Netherlands. 649 s.
- Atasoy N., Yücel U.M., Alacabey İ., Kul A.R., 2011. Van ili içme sularında ağır metal ve iz element düzeyleri. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, **39**: 391-396.
- Ateş, Ş., Mutlu, G., Özerk, O.C., Çiçek, İ., Karakaya Gülmez, F., Bulut Üstün, A., Katabıyıkoglu, M., Osmançelebıoglu, R., Özata, A., Aksoy, A., 2007. *Van İlinin Yerbilim Verileri*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara. 158 s.
- AU-EF, 2019. Toksikoloji-Metaller. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/68005/mod_resource/content/0/Metaller%20I.pdf. Ankara Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Açık Ders Malzemeleri, Ankara. Erişim tarihi: 26.07.2019.
- Aydın, H., Ekmekçi, M., Tezcan, L., Dişli, E., Aksoy, N., Yalçın, P., Özcan, G., 2009. *Gürpınar Karst Su Kaynaklarının Potansiyelinin Belirlenmesi ve Sürdürülebilir Yönetim Açısından Değerlendirilmesi*. TÜBİTAK-ÇAYDAG, Proje No: 106Y040, Van.
- Aydın, H., Ekmekçi M., Tezcan L., Aksoy N., Dişli E., 2018. Şamran Karst Kaynağı (Gürpınar-Van) Su Potansiyelinin Sürdürülebilir Yönetim Açısından Değerlendirilmesi. *HİDRO'2018 – Ulusal Hidrojeoloji ve Su Kaynakları Sempozyumu*, 27-29 Eylül 2018, Ankara, 246-253.
- Backman, B., Bodis, D., Lahermo, P., Rapant, S., Tarvainen, T., 1998. Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. *Environmental Geology*, **36**(1-2):55-64.
- Balkaş, Ö., Serdar, S. H., Erakman, B., Güngör, A., Pasin, C., Aksu, R. ve İşbilir, M., 1980. *Başkale-Gürpınar-Çatak-Van alanının jeolojisi ve petrol olanakları*. TPAO Arama Grubu, Rapor No: 1455. 24.
- Bear, J., 1988. *Dynamics of Fluids in Porous Media*. Dover Publications, 784 p

- Bengtsson, S., Tyler, G., 1976. *Vanadium in the Environment*. University of London Monitoring and Assessment Research Centre (MARC) Report, No: 2, London.
- Cantürk, N., 2007. *Vangözü'ne Dökülen Akköprü Deresi Su Kalitesinin İncelenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Clark, I. D., Fritz, P. 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. New York: Lewis Publishers, 328 s.
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, **133**:3465, 1702-1703.
- Çavuş, A., Atıcı, A.A., Şen, F., 2017. Van-Merkez içme sularının su kalite kriterlerinin incelenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, **27**(3): 326-336.
- Degens, E.T., Kurtman, F., 1978. *The Geology of Lake Van*. MTA Genel Müd. Yay. No: 169, Ankara. 158.
- Demir Yetiş, A., 2013. *Ceylanpınar Ovası Yeraltısuyu Kalitesinin ve Kirlenme Potansiyelinin Belirlenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Dewey, J.F., Hempton, M R., Kidd, W.S. F., Şaroglu, F., Şengör, A.M.C., 1986. Shortening of Continental Lithosphere: the Neotectonics of Eastern Anatolia - a Young Collision Zone. *Collision Tectonics* (Editör: Coward, M.P., Ries, A.C.), Geol. Soc. London Spec. Pub. 19 (R.M. Shackleton volume), 3-36.
- Diaz-Barriga, F., Santos, M.A., Mejia, J.J., Batres, L., Yanez, L., Carrizales, L., Vera, E., del Razo, L.M., Cebrian, M.E. 1993. Arsenic and cadmium exposure in children living near a smelter complex in San Luis Potosi, Mexico. *Environmental Research*, **62**(2): 242-250.
- DKMP, 2019. Ulusal sulak alan envanteri yönetim bilgi sistemi. <https://saybis.tarimorman.gov.tr/>. Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Ankara. Erişim tarihi: 05.07.2019.
- DSİ-TAKK, 1998. *Van Gölü ve Çevresindeki Suların İzotopik ve Kimyasal İçeriklerinin Belirlenmesi ve Su Dengesinin İncelenmesi*. DSİ-TAAK Dairesi Araştırma Raporu, Ankara.
- Düzen, H., 2011. *Van Gölü Su Seviye Değişimlerine Hidrojeolojik Yaklaşım* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- EPA, 2019. 2018 edition of the drinking water standards and health advisories tables. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-03/documents/dwtable2018.pdf>. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. Erişim tarihi: 25.07.2019.
- Erdmann, E., Werdan, K., Krawietz, W., Schmitz, W., Scholz, H., 1984. Vanadate and its Significance in Biochemistry and Pharmacology. *Biochemical Pharmacology*, **33**(7): 945-50.
- Freeze, R.A., Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall, London, 624 p.
- Gat, J.R., Carmi, I. 1970. Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area. *Journal of Geophysical Research*, **75**: 3039-3048.
- Gibbs, J.R., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, **170**:3962, 1088-1090.
- Gölge, M., 2010. *Development of an Environmental Pollution Index for the Middle Section of Seyhan Basin* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hem, J. D., 1985. *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters*. US Geological Survey Water-Supply Paper 2254, 264 p.

- Karataş, T., 2017. *Kütahya-Emet Bölgesi Toprak, Bitki ve Sularında Arsenik Kirliliği ve Risk Karakterizasyonu* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Ketin, İ., 1977. Van Gölü ile İran sınırı arasındaki bölgede yapılan jeoloji gözlemlerinin sonuçları hakkında kısa bir açıklama. *T.J.K. Bülteni*, **20**:2, 79-85.
- Kılıçel, F., Yavuz, G., Talay Pınar, P., 2008. Van şehir merkezinden geçerek Van Gölü'ne dökülen akarsuların ve bu akarsuların geçtiği yerlerdeki çamurların ağır metal içeriklerinin araştırılması. *Van Gölü Hidrolojisi ve Kirliliği Konferansı*. 21-22 Ağustos 2008, Van, 121-128.
- Levendoğlu, E., 1982. *Van – Gevaş Ovasının Hidrojeolojik Planlama Raporu*. D.S.İ. XVII. Bölge Müdürlüğü, Rapor No: 123, Van.
- OSİB, 2018. *Van Gölü Havzası Kuraklık Yönetim Planı*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Final Raporu, Ankara. 350 s.
- Özcan, M., 2018. *Kütahya ve Köprüören Ovalarındaki Yüzey ve Yeraltı Sularındaki Ağır Metal Kirliliğinin İncelenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Özler, H. M., 2002. *Gevaş – Gürpınar (Van) Havzasının Hidrojeolojik İncelemesi*. İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu, 1540/16012001, İstanbul.
- Özler, H. M., Zırlıoğlu, O. ve Ertinç, E., 2000. Hydrological and hydrogeological investigation of karst springs in the Gürpınar – Gevaş (Van) Basin, Eastern Turkey, Karst 2000, International Symposium and Field Seminar on Present State and Future Trends of Karst Studies. Marmaris (Muğla, Turkey), 17-26/09/2000.
- Öztürk, R., 2009. *Manisa ve Bazı İlçelerin Yer altı ve İçme Sularında Arsenik Miktarının Tayini* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Pesce, S.F., Wunderlin, D.A., 2000. Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba City (Argentina) on Suquia River. *Water Research* **34**: 2915-2926.
- Piper, A.M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos Transactions American Geophysical Union*, **25**: 914-928.
- Sağlam Selçuk, A., 2016. Evaluation of the relative tectonic activity in the eastern Lake Van basin, East Turkey. *Geomorphology*, **270**:9-21.
- Selçuk, L., Aydın, H., 2012. Kuvaterner yaşlı alüvyal zeminlerin kuvvetli yer hareketine etkisi: 2011 Van Depremleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, **36**(2):75-97.
- Şahinci, A., 1991. *Doğal Suların Jeokimyası*. Reform Matbaası. İzmir, 548 s.
- Şekerci, M., 2018. *Korkuteli (Antalya) Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Şenel, M., Acarlar, M., Çakmakçoğlu, A., Dağar, Z., Erkanol, D., Örcen, S., Taşkiran, M.A., Ulu, Ü., Ünal, M.F., Yıldırım, H., 1984. *Özalp (Van) - İran Sınırı Arasındaki Alanın Jeolojisi*. MTA Genel Müdürlüğü Raporu, No:7623, Ankara.
- Şengör, A.M.C., Kidd, W.S.F., 1979. Postcollisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, **55**: 361-376.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey, a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, **75**: 181-241.
- Şensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, U., Balta, İ., 2008. Climate of Turkey. <http://www.emcc.mgm.gov.tr/files/climateofturkey.pdf>. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara. Erişim tarihi: 01.07.2019.

- Şimşek, C., 2013. Assessment of naturally occurring arsenic contamination in the groundwater of Sarkisla Plain (Sivas/Turkey). *Environ Earth Sciences*, **68**:691-702.
- Tsegaye, T., Sheppard, D., Islam, K.R., Johnson, A., Tadesse, W., Atalay, A., Marzen, L., 2006. Development of chemical index as a measure of in-stream water quality in response to landuse and land cover changes. *Water, Air, and Soil Pollution* **174**: 161-179.
- Thornthwaite, C. W., 1948. An approach a rational classification of climate. *The Geographical Review*, **C38**:55-94.
- Thornthwaite, C. W., Mather, J. R., 1955. The water balance. *Climatology*, **8**:1-86.
- TS266. 2019. İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik. <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspix?MevzuatKod=7.5.7510&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=insani>. Resmî Gazete, 17.02.2005, 25730, Ankara. Erişim tarihi: 25.07.2019.
- Turc, L., 1954. Le bilan d'eau des sols: Relations entre les precipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Annales Agronomiques*, **5**:491-595
- TÜİK, 2019. Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/>. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara. Erişim tarihi: 01.07.2019.
- UNEP, 2007. Global drinking water quality index development and sensitivity analysis report. <https://www.unenvironment.org/resources/report/global-drinking-water-quality-index-development-and-sensitivity-analysis-report-0>. United Nations Environment Programme GlobEnvironment al Monitoring System (GEMS), Canada. Erişim tarihi: 26.07.2019.
- Üner, T., 2019. Listwaenitization and enrichment of precious metals in the hydrothermal mineralization zones of serpentinites in Sugeçer-Van (Eastern Anatolia, Turkey). *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, <https://doi.org/10.1144/geochem2018-087>. Erişim tarihi: 26.07.2019.
- Varol, S., 2011. *Tefenni (Burdur) Ovası Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi* (doktora tezi, basılmamış). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- WHO-AQG, 2019. Air quality guidelines for Europe (2nd edition). *Arsenic*: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0014/123071/AQG2ndEd_6_1_Arsenic.PDF. *Vanadium*: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0016/123082/AQG2ndEd_6_12vanadium.PDF. World Health Organization, Copenhagen. Erişim tarihi: 26.07.2019.
- WHO-WQG, 2019. Guidelines for drinking-water quality (4th eddition). <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>. World Health Organization, Copenhagen. Erişim tarihi: 25.07.2019.
- Yaren, Z., 2013. *Anamur (Mersin) Kıyı Akiferinin Hidrojeokimyası* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Yazıcıoğlu, H., 2018. *Kırathlı (İpekyolu-Van) Çevresinde Gözlenen Mafik ve Ultramafik Kayaçların Petrolojik Özellikleri* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Yedikardeş, A., 2018. *Yukarıkargabükü (Anzorey) (Göksun-Kahramanmaraş) Mevkii Soğuksu Kaynaklarının Hidrojeokimyasal İncelenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.

- Yılmaz, O., Ekici, K., 2004. Van yöresinde içme sularında arsenikle kirlenme düzeyleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, **15**(1-2): 47-51.
- Yücel, Ç., 2018. *Develi- Yeşilhisar Havzası (Kayseri) Kuzey Bölümü Yeraltısu Arsenik Kirliliğinin Hidrojeokimyasal İncelenmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yüksel, G., 2014. *Kayseri İlinin Yeraltı Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesi* (yüksek lisans tezi, basılmamış). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Zırhlıoğlu O., 1992. *Van - Gevaş Ovası Karst Hidrojeoloji Ön Etüt Raporu*. D.S.İ. XVII. Bölge Müdürlüğü, Van.





ÖZ GEÇMİŞ

1987 yılında Van'da doğan Abdulaziz KURT, ilköğrenimini 1994-2001 yılları arasında Van Hacı Ömer Sabancı İlköğretim okulunda, ortaöğrenimini ise 2001-2004 yılları arasında Van Atatürk Lisesinde tamamladı. 2005 yılında yerleştiği Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2009 yılında mezun oldu.

2010-2015 yılları arasında En-Çev Enerji Çevre Danışmanlık firmasında Çevre Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2015 yılından itibaren Tuşba Belediyesi, Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü'nde, Çevre Mühendisi olarak çalışmaktadır.



T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 07/08/2019

Tez Başlığı / Konusu: *Van Ovası Yüzey ve Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal İncelemesi*

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 50 (elli) sayfalık kısmına ilişkin, 07/08/2019 tarihinde şahsım/tez danışmamın tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı %6 (altı)'dır.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

07.08.2019


İmza

Adı Soyadı: Abdulaziz KURT

Öğrenci No: 149101119

Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği

Programı:

Statüsü: **Yüksek Lisans X**

Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR



Doç. Dr. Harun AYDIN

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

Prof. Dr. Suat ŞENSOY

Prof. Dr. Suat ŞENSOY
Enstitü Müdürü