



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

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SULTANHANI (AKSARAY) OVASI VE ÇEVRESİNİN
HİDROJEOLojİK HİDROKİMYASAL VE İZOTOPIK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yusuf Gökhan DURSUN

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hatim ELHATİP

AKSARAY, 2022

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 172312001 numaralı Doktora öğrencisi Yusuf Gökhan DURSUN tarafından hazırlanan “**SULTANHANI (AKSARAY) OVASI VE ÇEVRESİNİN HİDROJEOLÖJİK, HİDROKİMYASAL VE İZOTOPIK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman:

Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye:

Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye: Doç.

Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye: Dr.

Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Üye:

Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum

Tez Savunma Tarihi:/...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Doktora tezi olarak sunduđum bu çalıřmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı dűsecek bir yol ve yardıma bařvurmaksızın yazdıđımı, yararlandıđım eserlerin kaynakçada gűsterilenlerden olduđuunu, çalıřmamda kullandıđım verilerin orijinalliđini ve her tűrlű intihalden uzak olduđuunu beyan ederim.

Enstitű tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tűm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Yusuf Gűkhan DURSUN

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Aksaray üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında Sultanhanı (Aksaray) ovası ve çevresinin hidrojeolojik, hidrokimyasal ve izotopik özellikleri tüm yönleri ile incelenmiştir.

Tez çalışmamın başlangıcından itibaren, değerli görüş ve önerileri ile bana destek olan ve yönlendiren tez danışmanım sayın Prof. Dr. Hatim ELHATİP (Aksaray Üniversitesi) teşekkür ederim.

Tez çalışmamın tüm aşamalarında değerli önerileri ve bilimsel katkıları ile benden desteğini bir an olsun esirgemeyen, beni yönlendiren değerli hocalarım sayın Doç. Dr. Mustafa Murat KAVURMACI (Aksaray Üniversitesi) ve sayın Dr. Öğr. Üyesi Uğur Erdem DOKUZ'a (Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi) ve Jeoloji Mühendisliği A.B.D. başkanı sayın Prof. Dr. Mustafa AFŞİN'e sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Su kimyası analizlerini gerçekleştirilmesi noktasında katkıda bulunan ve her daim yardımını esirgemeyen değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Levent ALTAŞ (Aksaray Üniversitesi), Doç. Dr. Melayib BİLGİN (Aksaray Üniversitesi), Öğr. Gör. Tolga BAHADIR'a (Aksaray Üniversitesi) ve Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Bilgi birikimlerini ve uzun süreli uygulama tecrübelerini bizimle paylaşan, gerçekleştirdikleri çalışmaların sonuçlarını ve raporlarını bizimle paylaşan D.S.İ 4. Bölge Müdürlüğü'ne bağlı Jeoteknik hizmetler ve YAS şube müdürlüğü, D.S.İ 44. Şube Müdürlüğü (Aksaray) çalışanlarına, İzotop analizlerini gerçekleştiren D.S.İ. Genel Müdürlüğü T.A.K.K. Dairesi Başkanlığına bağlı İzotop Laboratuvarları Şube Müdürlüğüne, Meteoroloji istasyonlarının uzun süreli verilerini bizimle paylaşan, sabır ve ilgiyle desteklerini esirgemeyen Aksaray Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü personeli Adnan KOÇAK'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımın gerçekleştirilmesinde 2019/034 numaralı proje ile maddi destek sağlayan Aksaray Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne (B.A.P.) teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme, özellikle sabrı ve özverisi ile her zaman yanımda olan biricik kızım ve eşime sonsuz teşekkür ederim.

Yusuf Gökhan DURSUN

AKSARAY, 2022

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Önemi ve Amacı	1
1.2 İnceleme Alanının Konumu ve Jeomorfolojik Özellikleri	2
1.2.1 Coğrafi konumu	2
1.2.2 Yerleşim ve ulaşım	2
1.2.3 İklim özellikleri ve bitki örtüsü	3
1.2.4 Ekonomik durum ve nüfus	3
1.3 Literatür araştırması	4
2. MATERYAL METOD	11
2.1 Arazi Çalışmaları	11
2.2 Laboratuvar Çalışmaları	12
2.3 Büro Çalışmaları	13
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	14
3.1 Bölgesel Jeoloji	14
3.1.1 Bölgenin genel jeolojik özellikleri ve jeolojik evrimi	14
3.1.2 Stratigrafi	21
3.1.3 Yapısal jeoloji	30
3.2 Bölgenin Hidrolojik Özellikleri	35
3.2.1 Yağış verilerinin değerlendirilmesi	36
3.2.2 Sıcaklık verilerinin değerlendirilmesi	43
3.2.3 Buharlaşma verilerinin değerlendirilmesi	45
3.2.4 Yeraltı suyu bilançosu	55
3.3 Bölgenin Hidrojeolojik Özellikleri	59
3.3.1 Miyo-Pliyosen yaşlı kireçtaşları	62
3.3.2 Hasandağı volkanik birimleri	68
3.3.3 Kuvaterner, Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimler	71
3.3.4 Yeraltı suyu seviye değişimleri ve akım sistemi	75
3.4 Bölgenin Hidrojeokimyasal Özellikleri	79
3.4.1 Fiziksel parametrelerin değerlendirilmesi	82
3.4.2 Kimyasal parametrelerin değerlendirilmesi	93
3.4.3 Suların sınıflandırılması	114
3.4.4 Ağır metal ve iz element parametrelerinin değerlendirilmesi	133
3.4.5 Su kalitesi ve kullanım özelliklerinin değerlendirilmesi	139
3.5 Bölgenin İzotop Hidrolojisi	154
3.5.1 Hidrolojide izotop değerlerinin kullanımı	154
3.5.2 Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) - Döteryum ($\delta^2\text{H}$) değerlendirmesi	157
3.5.3 Trityum (^3H) - Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) değerlendirmesi	161
3.5.4 Trityum (^3H) - EC, Trityum (^3H) - CL değerlendirmesi	163

3.6 Bölgenin Jeostatistiksel Özelliklerinin değerlendirilmesi	169
3.6.1 Jeostatistik yöntem ve analiz.....	169
3.6.2 Tanımlayıcı istatistiksel analizler.....	171
3.6.3 Yarıvariogram modelleri	180
3.6.4 Çapraz doğrulama	192
3.6.5 Kriging interpolasyon yöntemi	197
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	213
5. KAYNAKÇA	219
ÖZGEÇMİŞ.....	2195



DOKTORA TEZİ

SULTANHANI (AKSARAY) OVASI VE ÇEVRESİNİN HİDROJEOLÖJİK, HİDROKİMYASAL VE İZOTOPIK ÖZELLİKLERİNİ İNCELENMESİ

Yusuf Gökhan DURSUN

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Hatim ELHATİP

ÖZET

Bu çalışmada; Sultanhanı (Aksaray) ovası ve çevresindeki yeraltı sularının hidrojeolojik, hidrokimyasal ve izotopik özellikleri araştırılmıştır. Tuz Gölü'nün güneyinde bulunan Sultanhanı-Aksaray arasında kalan bölge ile sınırlanmaktadır. Alan içerisinde yüzeyleyen Kuvaterner, Pliyo-Kuvaterner ve Miyo-Pliyosen yaşlı birimlerin jeolojik, tektonik ve stratigrafik özellikleri incelenmiştir.

Çalışma kapsamında inceleme alanını temsil eden 5 adet M.G.İ yağış istasyonundan alınan 1970-2021 yılları arasındaki 51 yıllık veriler değerlendirilmiştir. Bölgede yıllık ortalama yağış miktarı 323,98 mm, yıllık ortalama sıcaklık ise 11,7 °C olarak hesaplanmıştır. Thornthwaite ve Penman yöntemi kullanılarak bölgede gerçekleşen potansiyel ve gerçek buharlaşma-terleme miktarı hesaplanarak yeraltı su bilançosu oluşturulmuştur. Çalışma alanında yıllık ortalama potansiyel buharlaşma-terleme miktarı (E_p) 706,34 mm, yıllık ortalama gerçek buharlaşma-terleme miktarı (E_g) 298,10mm olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki hidrolik sisteme giren ve çıkan su miktarı hesaplanarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışma alanında içme ve sulama amaçlı kullanılan yeraltı suyu akiferlerinin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri incelenmiştir. Bölgedeki akifer birimleri; Kuvaterner, Pliyo-Kuvaterner birimler ve Miyo-Pliyosen yaşlı kireçtaşları ile temsil olunur. Bölgenin stratigrafik birimlerinin akifer yapısı incelenerek geçirimsizlik özellikleri sınıflandırılmıştır. Çalışma alanındaki yeraltı sularının seviye değişimleri ve akım sistemi incelenerek yeraltı sularının hareketi değerlendirilmiştir.

Yeraltı sularının fiziksel, kimyasal ve izotopik özelliklerini incelemek, sınıflandırmak ve kullanım özelliklerini belirlemek için Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yeraltı sularının fiziksel parametreleri kullanılarak pH-EC-T.Ç.K.M karşılaştırma grafikleri oluşturulmuş ve IDW interpolasyon tekniğiyle dağılım haritaları hazırlanmıştır.

Yeraltı sularına ait kimyasal parametreler kullanılarak iyon içeriklerinin karşılaştırma grafikleri, Gibbs diyagramları ve dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Kimyasal

parametreler ile Piper, Durov ve Yarı logaritmik (Schoeller) diyagramları oluşturulup yeraltı sularının fasiyes özellikleri belirlenmiştir. Ağır metal ve iz element parametreleri kullanılarak doygunluk indisi hesapları ve dağılım grafikleri oluşturulup değerlendirilmiştir. Yeraltı sularının Schoeller içilebilirlik, A.B.D. Tuzluluk, Wilcox, diyagramları ve SAR, %Na ve MH değerleri kullanılarak su kalitesi ve kullanım özellikleri belirlenmiştir. Fiziksel ve kimyasal parametrelerin WHO ve TSE-266 standartları ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

Çalışma kapsamında yeraltı sularında izotop analizleri ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H) gerçekleştirilmiştir. Bölgedeki yeraltı suları Global Meteorik Su Doğrusu (GMSD) ve Adana Meteorik Su Doğrusu (AMSD) arasında dağılım göstermektedir. Yeraltı sularının İzotop parametrelerinin karşılaştırmalı diyagramları ($\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$, ^3H - $\delta^{18}\text{O}$, ^3H -EC, ^3H -Cl) hazırlanarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışma kapsamında yeraltı sularının EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR, %Na, Ca, Mg ve HCO_3 değerleri kullanılarak jeostatistiksel açıdan değerlendirmeleri yapılmıştır. Jeostatistiksel hesaplamalar yardımı ile parametrelerin çalışma alanındaki dağılım özellikleri belirlenerek histogram grafikleri, Spearman korelasyon analizi, trend analizi yapılmış ve yarıvariogram modelleri oluşturulmuştur. Yarıvariogram modelleri kullanılarak kriging interpolasyon yöntemi ile tahmin haritaları oluşturularak değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sultanhanı, Aksaray, Tuz Gölü, yeraltısuyu, hidrojeoloji, hidrokimyasal, izotop özellikleri, su kalitesi, jeostatistik, tuzluluk

Haziran, 2022; 225 sayfa

PhD. THESIS

**INVESTIGATION OF HYDROGEOLOGICAL, HYDROCHEMICAL AND
ISOTOPIC PROPERTIES OF SULTANHANI (AKSARAY) PLAIN AND ITS
SURROUNDINGS**

Yusuf Gökhan DURSUN

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

Supervisor: Prof. Dr. Hatim ELHATİP

ABSTRACT

In this study; Hydrogeological, hydrochemical and isotopic properties of underground waters in Sultanhanı (Aksaray) plain and its surroundings were investigated. The study area is limited to the region between Sultanhanı and Aksaray, located in the south of Salt Lake. The geological, tectonic and stratigraphic features of the Quaternary, Plio-Quaternary and Mio-Pliocene aged units cropping out in the area were investigated.

Within the scope of the study, 51 years of data between the years 1970-2021 taken from 5 M.G.İ precipitation stations representing the study area were evaluated. The average annual precipitation in the region is 323.98 mm, and the annual average temperature is calculated as 11.7 °C. Using the Thornthwaite and Penman method, the potential and actual evaporation-sweating amount in the region was calculated and the groundwater balance was formed. In the study area, the annual average potential evaporation-perspiration amount (Etp) was calculated as 706.34 mm, and the annual average actual evaporation-perspiration amount (Etg) was calculated as 298.10 mm. Evaluations were made by calculating the amount of water entering and leaving the hydraulic system in the study area.

The geological and hydrogeological properties of groundwater aquifers used for drinking and irrigation purposes in the study area were investigated. Aquifer units in the region; It is represented by Quaternary, Plio-Quaternary units and Mio-Pliocene aged limestones. The aquifer structure of the stratigraphic units of the region was examined and their permeability properties were classified. The level changes of groundwater in the study area and the flow system were examined and the movement of groundwater was evaluated.

Field, laboratory and office studies were carried out in May 2019, October 2019 and May 2020 to examine, classify and determine the physical, chemical and isotopic properties of groundwater. Using the physical parameters of groundwater, pH-EC-

T.Ç.K.M comparison charts were created and distribution maps were prepared using IDW interpolation technique.

Comparison graphs of ion contents, Gibbs diagrams and distribution graphs were created by using chemical parameters of groundwater. With chemical parameters, Piper, Durov and Semi-logarithmic (Schoeller) diagrams were created and facies properties of groundwater were determined. Saturation index calculations and distribution graphs were created and evaluated using heavy metal and trace element parameters. Schoeller potability of groundwater, U.S.A. Water quality and usage characteristics were determined by using salinity, Wilcox, diagrams and SAR, %Na and MH values. Comparisons of physical and chemical parameters with WHO and TSE-266 standards were made.

Within the scope of the study, isotope analyzes ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ^3H) were carried out in groundwater. Groundwater in the region is distributed between the Global Meteoric Water Line (GMSD) and Adana Meteoric Water Line (AMSD). Comparative diagrams ($\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$, 3H - $\delta^{18}\text{O}$, ^3H -EC, ^3H -Cl) of the Isotope parameters of the Groundwaters were prepared and evaluations were made.

Within the scope of the study, geostatistical evaluations of groundwater were made using EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR, %Na, Ca, Mg and HCO_3 values. With the help of geostatistical calculations, the distribution characteristics of the parameters in the study area were determined, histogram graphs, Spearman correlation analysis, trend analysis and semivariogram models were created. Evaluations were made by creating estimation maps with the kriging interpolation method using Semi-Variogram models.

Keywords: Sultanhanı, Aksaray, Tuz Gölü, groundwater, hydrogeology, hydrochemical, isotope properties, water quality, geostatistics, salinity

June, 2022; 225 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çalışma alanı konumu	2
Şekil 2.1 Çalışma modeli	11
Şekil 3.1 Türkiye Kenet Kuşakları (Okay ve Tüysüz, 1999).....	14
Şekil 3.2 Tuzgölü havzasının doğu ve batı bölümlerinde gözlenen stratigrafik kolon kesit (Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2000; Dirik ve Güncüoğlu, 1996) 15	
Şekil 3.3 Tuz Gölü Havzası ve Çevresinin literatürdeki çalışmalarda incelenen birimlerin ilişkilerini gösteren karşılaştırma (Akıl, 2008).....	20
Şekil 3.4 Çalışma alanı stratigrafik kolon kesiti (Akıl, 2008; Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2000; Güncüoğlu vd., 1996; Kürçer, 2012; Özsayın vd., 2013)..	22
Şekil 3.5 Çalışma alanının jeolojik haritası	23
Şekil 3.6 Eşmekaya- Sultanhanı Yolu Cihanbeyli Formasyonu Birimleri	28
Şekil 3.7 Tuz Gölü havzası ve çevresinin genelleştirilmiş haritası (Görür, 1984 ve Akıl, 2008'den değiştirilerek)	31
Şekil 3.8 TGFZ ve Tersaka-Sultanhanı Fay Sistemi (Gürbüz, 2010).....	33
Şekil 3.9 Çalışma alanı çevresinde mevcut olan MGİ istasyonları	35
Şekil 3.10 İnceleme alanı çevresindeki M.G.İ.'da gözlenen yağışların mevsimlik dağılımı	37
Şekil 3.11 Aksaray M.G.İ.'nun ortalama yıllık yağıştan (1970-2021) birikimli eklenik sapma grafiği.....	38
Şekil 3.12 Şereflikoçhisar M.G.İ.'nun ortalama yıllık yağıştan (2007-2020) birikimli eklenik sapma grafiği.....	39
Şekil 3.13 Cihanbeyli M.G.İ.'nun ortalama yıllık yağıştan (1970-2021) birikimli eklenik sapma grafiği.....	39
Şekil 3.14 Karapınar M.G.İ.'nun ortalama yıllık yağıştan (1970-2021) birikimli eklenik sapma grafiği.....	40
Şekil 3.15 Kulu M.G.İ.'nun ortalama yıllık yağıştan (1970-2021) birikimli eklenik sapma grafiği	41
Şekil 3.16 Çalışma alanı ve çevresine ait IDW interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş toplam yıllık yağış ve eş yağış eğrileri haritası	42
Şekil 3.17 Aylık ortalama sıcaklık değerleri(1970-2021).....	44
Şekil 3.18 Çalışma alanı ve çevresine ait IDW yöntemi ile hazırlanmış yıllık ortalama sıcaklık haritası	44
Şekil 3.19 Çalışma alanına ait ETp-Yağış aylık değişim grafiği (Thorntwaite, 1948)'e göre.....	48
Şekil 3.20 Çalışma alanına ait ETp-Yağış aylık değişim grafiği (Penman, 1948)'e göre	52
Şekil 3.21 Konya Kapalı Havzası Hidrojeolojik Model (Bayarı ve diğ., 2009).....	60
Şekil 3.22 Sultanhanı - Aksaray ovasında yüzeyleyen birimlerin genel hidrojeolojik özellikleri	61
Şekil 3.23 Çalışma Alanındaki Miyo-Pliyosen Kireçtaşı birimleri çalışma alanındaki yerleşimi	62
Şekil 3.24 Miyo-Pliyosen yaşlı kireçtaşı birimleri	64
Şekil 3.25 Yenikent Merkez Deney kuyusu Cooper-Jacop Yöntemine göre oluşturulmuş yarı - logaritmik Düşüm- Zaman Grafiği.....	66

Şekil 3.26 Sultanhanı Merkez Deney kuyusu Cooper-Jacop Yöntemine göre oluşturulmuş yarı-logaritmik Düşüm-Zaman Grafiği.....	66
Şekil 3.27 Eski Yaylası Deney kuyusu Cooper-Jacop Yöntemine göre oluşturulmuş yarı-logaritmik Düşüm-Zaman Grafiği	67
Şekil 3.28 Hasandağı volkaniklerinin yüzeylendiği bölgeler	69
Şekil 3.29 Çalışma Alanındaki Neojen Yaşlı Volkanik Birimler (SUIŞ, 2013).....	69
Şekil 3.30 Çalışma Alanındaki Kuvaterner-Pliyo - Kuvaterner Tuzgölü formasyonu birimleri	71
Şekil 3.31 Tuzgölü Formasyonu ve Üyelerinin Lokasyon haritası.....	72
Şekil 3.32 Özgül verim ve İletkenlik Katsayısı D.S.İ 4. Bölge tarafından belirlenmiş kuyuların yer buldu haritası (SUIŞ, 2013).....	74
Şekil 3.33 Çalışma alanındaki birimlere ait hidrojeoloji haritası	75
Şekil 3.34 Çalışma alanında Mayıs 2019 döneminde ölçümlenen statik yeraltı su seviyesi haritası.....	77
Şekil 3.35 Çalışma alanında Mayıs 2020 döneminde ölçümlenen statik yeraltı su seviyesi haritası.....	77
Şekil 3.36 2000-2020 yılları arası da Sultanhanı ve çevresine ait aylık statik yeraltı su seviye değişimleri	78
Şekil 3.37 Yeraltı suyu örnek noktaları ve oluşturulmuş hatlar.....	81
Şekil 3.38 İn-situ fiziksel parametrelerinin ölçümü.....	83
Şekil 3.39 İnceleme alanı pH değerleri dağılım haritası (Mayıs 2019)	88
Şekil 3.40 İnceleme alanı pH değerleri dağılım haritası (Mayıs 2020)	88
Şekil 3.41 İnceleme alanına ait EC dağılım haritası (Mayıs 2019)	89
Şekil 3.42 İnceleme alanına ait EC dağılım haritası (Mayıs 2020)	89
Şekil 3.43 Örneklemeye dönemlerine ait pH değerleri değişim grafiği	90
Şekil 3.44 Örneklemeye dönemlerine ait EC değerleri değişim grafiği.....	91
Şekil 3.45 Örneklemeye dönemlerine ait T.Ç.K.M değerleri değişim grafiği	91
Şekil 3.46 EC-T.Ç.K.M grafiği.....	92
Şekil 3.47 Mayıs 2019 örneklemeye dönemine ait iyon dağılımları	98
Şekil 3.48 Ekim 2019 örneklemeye dönemine ait iyon dağılımları	99
Şekil 3.49 Mayıs 2020 örneklemeye dönemine ait iyon dağılımları	99
Şekil 3.50 Çalışma alanında Hat-1’de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020).....	101
Şekil 3.51 Çalışma alanında Hat-2’de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020).....	101
Şekil 3.52 Çalışma alanında Hat-3’de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020).....	102
Şekil 3.53 Çalışma alanında Hat-4’de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020).....	102
Şekil 3.54 Çalışma alanında Hat-5’de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020).....	102
Şekil 3.55 Çalışma alanında Hat-6’de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020).....	103
Şekil 3.56 Çalışma alanında Hat-7’de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020).....	103
Şekil 3.57 Çalışma alanı örnek noktalarına ait iyon dağılım diyagramı (Mayıs 2019)	106

Şekil 3.58 Çalışma alanı örnek noktalarına ait iyon dağılım diyagramı (Mayıs 2020)	107
Şekil 3.59 Çalışma alanındaki örneklerin Ca + Mg - HCO ₃ + SO ₄ (meq/L) oranı diyagramı	108
Şekil 3.60 Çalışma alanındaki örneklerin Na/Cl (meq/L) oranı diyagramı	109
Şekil 3.61 Çalışma alanındaki örneklerin Na/Cl (meq/L) - EC (mS/cm) oranı diyagramı	110
Şekil 3.62 Çalışma alanındaki örneklerin Ca/SO ₄ (meq/L) oranı diyagramı	111
Şekil 3.63 Çalışma alanındaki örneklerin Ca/Mg (meq/L) oranı diyagramı	112
Şekil 3.64 Çalışma alanındaki örneklerin Mayıs 2020 dönemine ait Gibbs-1 diyagramı (Gibbs, 1970)	113
Şekil 3.65 Çalışma alanındaki örneklerin Mayıs 2020 dönemine ait Gibbs-2 diyagramı (Gibbs 1970)	114
Şekil 3.66 Piper Diyagramı Bölgelere ayrılmış hali (Piper, 1944)'den uyarlanmıştır.	115
Şekil 3.67 Çalışma alanındaki örneklerin Piper Diyagramı (Mayıs 2019)	117
Şekil 3.68 Çalışma alanındaki örneklerin Piper Diyagramı (Ekim 2019)	118
Şekil 3.69 Çalışma alanındaki örneklerin Piper Diyagramı (Mayıs 2020)	118
Şekil 3.70 Durov diyagramı (Durov, 1948; Lloyd ve Heathcote, 1985)'den değiştirilerek	120
Şekil 3.71 Çalışma alanındaki örneklerin Durov diyagramı (Mayıs 2019)	122
Şekil 3.72 Çalışma alanındaki örneklerin Durov diyagramı (Mayıs 2020)	122
Şekil 3.73 Çalışma alanındaki örneklerin Yarı logaritmik (Schoeller) diyagramı (Mayıs 2019)	124
Şekil 3.74 Çalışma alanındaki örneklerin Yarı logaritmik (Schoeller) diyagramı (Ekim 2019)	125
Şekil 3.75 Çalışma alanındaki örneklerin Yarı logaritmik (Schoeller) diyagramı (Mayıs 2020)	125
Şekil 3.76 Çalışma alanına ait örneklerin doygunluk indisi değerleri (Mayıs 2019)	131
Şekil 3.77 Çalışma alanına ait örneklerin doygunluk indisi değerleri (Ekim 2019)	132
Şekil 3.78 Çalışma alanına ait örneklerin doygunluk indisi değerleri (Mayıs 2020)	132
Şekil 3.79 Çalışma alanındaki örneklerle ait ağır metal ve iz element dağılım grafiği (Ekim 2019)	136
Şekil 3.80 Çalışma alanındaki örneklerle ait ağır metal ve iz element dağılım grafiği (Mayıs 2020)	136
Şekil 3.81 Schoeller içilebilirlik diyagramı (Schoeller, 1962)	141
Şekil 3.82 Çalışma alanındaki yeraltı sularının ABD tuzluluk diyagramı (Mayıs 2019, Ekim 2019, Mayıs 2020)	147
Şekil 3.83 Çalışma alanındaki yeraltı sularının Wilcox diyagramı (Mayıs 2019, Ekim 2019, Mayıs 2020)	149
Şekil 3.84 İzotop örnekleri yer buldu haritası	156
Şekil 3.85 Çalışma alanına ait $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisi dağılım grafiği (Ekim 2019)	159
Şekil 3.86 Çalışma alanına ait $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisi dağılım grafiği (Mayıs 2020)	160
Şekil 3.87 Çalışma alanına ait ^3H - $\delta^{18}\text{O}$ dağılım grafiği	162
Şekil 3.88 Çalışma alanına ait ^3H - EC dağılım grafiği	164

Şekil 3.89 Çalışma alanına ait ^3H - Cl dağılım grafiği	165
Şekil 3.90 G-K hattı boyunca oluşturulmuş kavramsal model	167
Şekil 3.91 GD-KB hattı boyunca oluşturulmuş kavramsal model.....	168
Şekil 3.92 EC değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri	176
Şekil 3.93 T.Ç.K.M değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri	176
Şekil 3.94 Ca değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri.....	177
Şekil 3.95 Mg değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri	177
Şekil 3.96 HCO_3 değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri	178
Şekil 3.97 Na değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri	178
Şekil 3.98 Cl değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri	179
Şekil 3.99 SAR değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri	179
Şekil 3.100 %Na değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri	180
Şekil 3.101 İdeal Yarıvariogram Modeli Özellikleri	182
Şekil 3.102 Deneysel ve Teorik (Küresel) yarıvariogram modellerinin yapısal durumu.....	184
Şekil 3.103 EC değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları.....	186
Şekil 3.104 T.Ç.K.M değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları.....	186
Şekil 3.105 Na değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları.....	187
Şekil 3.106 Cl değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları.....	187
Şekil 3.107 SAR değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları.....	188
Şekil 3.108 %Na değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları.....	188
Şekil 3.109 Ca değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları.....	189
Şekil 3.110 Mg değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları.....	189
Şekil 3.111 HCO_3 değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları.....	190
Şekil 3.112 EC-T.Ç.K.M Ölçülen değer-Tahmin dağılım grafiği	194
Şekil 3.113 Na-Cl Ölçülen değer-Tahmin dağılım grafiği	195
Şekil 3.114 SAR-%Na Ölçülen değer-Tahmin dağılım grafiği	195
Şekil 3.115 Ca- HCO_3 -Mg Ölçülen değer-Tahmin dağılım grafiği	196
Şekil 3.116 Kriging interpolasyon yöntemi ile tahmin modeli.....	198
Şekil 3.117 Çalışma alanına ait kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş EC dağılım haritası	201
Şekil 3.118 Wilcox'a göre suların EC sınıflandırma haritası	202
Şekil 3.119 Çalışma alanına ait kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş T.Ç.K.M dağılım haritası.....	203
Şekil 3.120 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş Na iyonu dağılım haritası	204
Şekil 3.121 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş Cl iyonu dağılım haritası	205

Şekil 3.122 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş SAR dağılım haritası	207
Şekil 3.123 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş %Na dağılım haritası	208
Şekil 3.124 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş Ca iyonu dağılım haritası	209
Şekil 3.125 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş Mg iyonu dağılım haritası	210
Şekil 3.126 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş HCO ₃ iyonu dağılım haritası.....	211



ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 3.1 İnceleme alanı ve evresindeki M.G.İ.'lerden toplanan yağış verileri.....	36
Tablo 3.2 Çalışma alanı çevresindeki M.G.İ.'larına ait sıcaklık verileri	43
Tablo 3.3 Thorntwaite Yöntemi kullanılarak M.G.İ. (1970-2020 yılları arası) istasyon verilerine göre hesaplanmış yıllık ortalama buharlaşma-terleme (ETp) değerleri	47
Tablo 3.4 Çalışma alanı ve çevresinin su bilançosu (Thornthwaite Yöntemine göre hazırlanmış)	50
Tablo 3.5 Çalışma alanı ve çevresinin su bilançosu (Penman Yöntemine göre hazırlanmış)	54
Tablo 3.6 Süzülme ile birimlerde meydana gelen beslenme miktarı (m ³ /yıl)	56
Tablo 3.7 Sondaj kuyularında yapılan fiili çekim miktarı (SUIŞ, 2013; D.S.İ, 2020)	58
Tablo 3.8 Çalışma alanı yeraltı suyu bilançosu.....	58
Tablo 3.9 Miyo-Pliyosen akiferinin özgül verim ve iletkenlik katsayısı değerleri (SUIŞ, 2013).....	67
Tablo 3.10 Neojen volkanik akiferinin özgül verim ve iletkenlik katsayısı değerleri (SUIŞ, 2013).....	70
Tablo 3.11 Kuvaterner, Pliyo-Kuvaterner akiferi özgül verim ve iletkenlik katsayısı değerleri (SUIŞ, 2013).....	74
Tablo 3.12 Mayıs 2019-Ekim 2019-Mayıs 2020 dönemleri yeraltı su seviyeleri.....	76
Tablo 3.13 Örneklem, ölçüm ve analiz dönemlerinde yapılmış çalışmalar	82
Tablo 3.14 Fiziksel Özellikler (Mayıs 2019)	84
Tablo 3.15 Fiziksel Özellikler (Ekim 2019).....	85
Tablo 3.16 Fiziksel Özellikler (Mayıs 2020)	86
Tablo 3.17 Çalışma alanı fiziksel özellik parametrelerinin dönemlere göre minimum, maksimum ve ortalama değerleri	87
Tablo 3.18 Çalışma alanı Kimyasal özellikleri (Mayıs 2019).....	94
Tablo 3.19 Çalışma alanı Kimyasal özellikleri (Ekim 2019).....	95
Tablo 3.20 Çalışma alanı Kimyasal özellikleri (Mayıs 2020).....	96
Tablo 3.21 Tüm örnek alınan dönemlere ait su tipleri ve iyon dizilimleri.....	97
Tablo 3.22 Çalışma alanındaki değerlendirme hatlarının özellikleri	104
Tablo 3.23 Çalışma alanındaki örneklerle ait doygunluk indisi sonuçları (Mayıs 2019).....	128
Tablo 3.24 Çalışma alanındaki örneklerle ait doygunluk indisi sonuçları (Ekim 2019)	129
Tablo 3.25 Çalışma alanındaki örneklerle ait doygunluk indisi sonuçları (Mayıs 2020).....	130
Tablo 3.26 Çalışma alanındaki örnek noktalarına ait ağır metal ve iz element analizi sonuçları (Ekim 2019)	134
Tablo 3.27 Çalışma alanındaki örnek noktalarına ait ağır metal ve iz element analizi sonuçları (Mayıs 2020).....	135
Tablo 3.28 Çalışma alanında içme amaçlı kullanılan suların fiziksel ve kimyasal parametrelerinin kalite değerlendirme tablosu	142
Tablo 3.29 Çalışma alanında içme amaçlı kullanılan suların iz ve ağır metal parametrelerinin kalite değerlendirme tablosu	143

Tablo 3.30 Örnek noktalarının ABD laboratuvarı tuzluluk diyagramına göre sınıflandırması	147
Tablo 3.31 Örnek noktalarının Wilcox diyagramına göre sınıflandırması.....	149
Tablo 3.32 SAR değerine göre suların sınıflandırma kriteri	151
Tablo 3.33 İzotop elementler ve kullanım alanları (Tezcan, 2002)	155
Tablo 3.34 Çalışma alanına ait izotop analizi sonuçları(Ekim 2019)	156
Tablo 3.35 Çalışma alanına ait izotop analizi sonuçları(Mayıs 2020)	157
Tablo 3.36 Mayıs 2019 dönemine ait Korelasyon analizi sonuçları	171
Tablo 3.37 Ekim 2019 dönemine ait Korelasyon analizi sonuçları.....	172
Tablo 3.38 Mayıs 2020 dönemine ait Korelasyon analizi sonuçları	172
Tablo 3.39 Yeraltı sularının hidrokimyasal parametrelerinin	174
Tablo 3.40 Uygulanan yarıvariogram modellerinin parametrik özellikleri.....	190
Tablo 3.41 Çapraz doğrulama sonuçları.....	193



SİMGELER VE KISALTMALAR

°C	Santigrad Derece
$\delta^{18}\text{O}$	Oksijen-18
$\delta^2\text{H}$	Döteryum
$\delta^3\text{H}$	Trityum
AMDS	Adana Meteorik Su Doğrusu
EC	Elektriksel İletkenlik
D.S.İ	Devlet Su İşleri
Etp	Potansiyel Buharlaşma-Terleme
Etg	Gerçek Buharlaşma-Terleme
GMSD	Global Meteorik Su Doğrusu
KBM	Kütahya-Bolkardağı Metamorfikleri
ME	Ortalama Hata
M.G.İ.	Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MH	Magnezyum Tehlikesi
MSE	Ortalama Standart Hata
IAEA	Uluslararası Atom Enerji Ajansı
IDW	Inverse Distance Weighting
O.A.K.K.	Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı
RMSE	Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü
RMSSE	Kök Ortalama Kare Standardize Hata
T.A.K.K.	Teknik Araştırma Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı
T.Ç.K.M	Toplam Çözünmüş Madde
TGFZ	Tuz Gölü Fay Zonu
TU	Trityum Ölçü Birimi
SI	Doygunluk İndisi
SAR	Sodyum Adsorbsiyon Oranı
%Na	Sodyum Yüzdesi
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
YASS	Yeraltı su seviyesi

1 GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Önemi ve Amacı

Tuz Gölü; ülkemiz sınırları içerisinde büyük oranda tuz rezervine sahip nadide özellikte bir gölümüzdür. Bu özelliğini barındırmasında en önemli etkenlerden birisi bölgenin hidrojeolojik yapısı ve hidrokimyasal özellikleridir. Son zamanlarda dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de yaşanan küresel ısınmanın etkisi fazlası ile hissedilmektedir. Bu durumun sebebiyet verdiği iklim değişiklikleri, yağışların azalması, artan nüfus artan ile birlikte tarımsal faaliyetler kaynaklı ruhsatlı ve ruhsatsız kuyulardan plansız aşırı su çekimi ile birlikte doğal güzelliklerimizden birisi olan tuz gölünün doğal dengesinin bozulmaya başladığı aşikârdır. Özellikle kuraklıkla baş etmeye çalışan Tuz Gölü'nün güney bölgesinde yer alan su kaynaklarının etkin kullanımı için gözetim ve denetim altında tutulması gerekmektedir. Büyük düzlüklere sahip olan Tuz Gölü'nün güney bölgesinin hidrojeolojik özelliklerinin tespit edilip, doğal oluşumunu tehdit eden bölgesel veya noktasal unsurların tespit edilmesi bölgenin geleceği açısından çok önemlidir.

Tez çalışması kapsamında Tuz Gölü'nün güney kısmını içerisine alan çalışma alanında; Sultanhanı (Aksaray) ovasının ve çevresinin hidrojeolojik ve hidrokimyasal özelliklerinin ortaya konulması, inceleme alanında yer alan yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının birbirleriyle ve Tuz Gölü ile olan etkileşiminin incelenmesi, çalışma alanında yer alan akiferlerin belirlenmesi, yarı geçirimli ve geçirimsiz ortamların belirlenmesi, akifer ortamını temsil eden parametrelerin ve beslenme havzasının hidrolik özelliklerinin tespit edilmesi, havzanın genel su bütçesinin yapılması, yeraltı ve yerüstü su potansiyelinin sürdürülebilir devamının sağlanması ve verimli kullanımına yönelik esasların oluşturulması, kaynakları olumsuz etkileyebilecek ağır metal ve kirlilik parametrelerinin belirlenmesi ve çevreye olan olumsuz etkilerinin çözüm önerileri ile birlikte ortaya konulması, bölgede yürütülen tarımsal faaliyetlerin kalitesinin ve miktarının arttırılması, bölgenin su yönetim planının oluşturulması, hidrojeolojik özelliklerinin modellenmesi ve haritalanması amaçlanmaktadır.

olduğu görülmektedir. En büyük etkenin topografyanın az eğimli olmasıdır. Geniş düzlüklere sahip olan Tuz Gölü'nün güney bölgesinin yerleşime uygun olduğu yapılan yatırımlar ve yeni projelerin bu bölgeye doğru konuşlanmasından da anlaşılabılır.

Çalışma alanının içinde bulunduğu Aksaray ili ulaşım ağı düşünüldüğünde önemli bir konumda yer almaktadır. Ankara-Konya-Adana illeri arasında kavşak özelliği göstermektedir. Çalışma alanı içerisinde bulunan yerleşim yerlerine ulaşım genel olarak asfalt ile sağlanmaktadır.

1.2.3 İklim özellikleri ve bitki örtüsü

İnceleme alanı Tuz gölü havzasının genelinde görülen karasal ve yarı kurak özellikle kış aylarında oldukça soğuk iklim özelliği taşımaktadır (Ö.Ç.K.K.B., 2010). Çalışma alanının içinde bulunduğu Tuz gölü havzası yağış miktarının düşük olduğu yani az yağış alan bir bölgedir. İlerleyen bölümlerde meteorolojik veriler ışığında hazırlanmış olan su bilançosunda da açıkça görülecektir.

İnceleme alanı karasal özellikteki yarı kurak iklim nedeniyle çorak ve yarı çorak çöl gibi değerlendirilebilir. Bölge içerisinde ormanlık alana rastlanmaz. Çalışma alanı içerisinde ağaçlık alanların bulunduğu bölge batı kısmından başlayıp güneybatı kısmına kadar devam eden Aksaray ili ve Hasan Dağ'ı etekleri arasında kalan bölgedir.

Çalışma alanının en doğu kısmında yer alan Eski ilçeinden en batı kısmındaki Aksaray iline kadar olan bölge Tuz Gölü'nün güney yakasını oluşturur. Bu bölgenin Tuz Gölü'ne yakın olan bölgeleri özellikle Eski çölleri olarak geçen kısmı tuz çölü niteliğindedir. Bölgenin az engebeli olmasından kaynaklı çok geniş ekilebilir alanı mevcuttu. Özellikle Sultanhanı ilçesi ve çevresindeki geniş arazilerde büyük miktarda tarımsal faaliyet mevcuttur. Ancak ağaçlık ve ormanlık alana bu bölgede rastlamak mümkün değildir.

1.2.4 Ekonomik durum ve nüfus

Çalışma alanının komşusu niteliğinde, ülkemizin en büyük 2. gölü ünvanına sahip olan Tuz Gölü bulunmaktadır. Yağış alanı 11.900 km² olan ve dışarıya akıntısı olmayan

kapalı bir göl niteliğindedir. Büyük bir göl olmasına rağmen birçok yerinde 0,5m derinliği geçmemesi nedeniyle ülkemizin en sık göllerindendir.

Bölgede ekonomik durumun temellerini tarım, hayvancılık ve taşımacılık oluşturmaktadır. Tuz Gölü'ne yaklaştıkça nüfus yoğunluğu azalmakta ve bu bölgedeki köylerde yaşayan insan sayısının da azaldığı görülmektedir. Aksaray il merkezine bağlı Eskil ve Sultanhanı ilçeleri çalışma alanı içerisindeki en büyük yerleşkeler durumundadır.

1.3 Literatür Araştırması

Agalede (1954); Tuz Gölü'nün güney-batı kısmının jeoloji haritasını yaparak çalışma alanı içerisinde yer alan kayaçların karakterlerini tayin etmiş, Karbonatlı, kırıntılı ve ofiyolitler olarak ayrımını yapmıştır.

Akmandor ve Arıman (1953), Ankara DSİ müdürlüğü adına hazırladığı raporda tarım arazilerinin kapladığı alan yüzdesini hesaplamış ve tarım arazisi sulamasında Peçeneközü çayı üzerine DSİ adına hazırladıkları raporda, sulanacak tarım yapılması planlanan sulama göleti yerine yeraltısularının kullanılması gerektiği fikrini savunmuştur.

Rigo de Righi ve Cortesini (1960), Tuz Gölü havzasının yapısal özellikleri ve konumunu ayrıntılı olarak incelemiştir. Bölgede Üst-Kratese yaşına sahip birimlerin varlığı ortaya koymuştur. Asmaboğazı, Mezgit, Kırkkavak formasyonlarını ilk kez ayırt edilmiştir.

Beekman (1966), Tuz Gölü'nün güney-doğusunda yer alan bölgenin en yüksek dağı konumunda olan Hasandağı ve Melendiz'in volkanik faaliyetleri sonucu oluşan volkanosedimenter kayaçların özelliklerini ayrıntılı olarak ortaya koymuştur.

Erol (1969), Tuz Gölü havzasında jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Havzanın Miyosen-Erken Pliyosen döneminde göl ile kaplı olduğunu havzanın gelişiminin orta kısımlarında kuvaterner'de devam ettiğini belirtmiştir. Havzanın gelişiminin horst-graben yapısına bağlı olarak şekillendiğini ve havza alt sınırının kuvaterner'de de çökmeye devam ettiğini belirtmiştir.

Arıkan, (1975); Tuz Gölü havzasında mevcut olan petrol imkânları ve jeolojik özellikleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Havza içerisindeki kayaçların jeolojik tanımlamalarını yapmış, sismik profiller üzerine yorumlamalar yaparak taban birimlerini oluşturan tuz kütlesinin yaşını Geç Kretase veya Eosen olarak belirlemiş, hazne kayaların Paleosen yaşlı karbonatlı birimler olduğunu belirtmiştir.

Uğurtaş (1975); Tuz Gölü güney bölgesinde Shell N.V. Turkse Shell tarafından gerçekleştirilen arama çalışmaları sonuçlarının sunulduğu çalışmada, jeofizik verilerden faydalanarak tuz gölü alanındaki olası tuz yapılarının varlığını öne sürmüştür. Ayrıca çalışma alanındaki tuz yapılarını doğu-batı tuz duvarı şeklinde ayırt etmiştir.

Innocenti ve diğ. (1975); Orta Toros'ta Neojen volkanik aktivitesinin gelişimi incelenmiştir. Kızılkaya ignimbiritlerinin stratigrafik ve radyometrik yaş verileri, bölgedeki volkanizmanın Üst-Miyosene kadar uzandığını belirtmiştir.

Turgut (1978)'deki çalışmasında Tuz Gölü havzasında gerçekleştirilmiş sondaj verilerine göre bölgenin paleocoğrafik değişimini açıklamıştır. Havzanın sığlaştığı dönemde kuzey bölgelerinde kireçtaşının çökeldiğini güney bölgede ise lagün özelliği kazanıp; suyun tuzluluk özelliğinin yüksek derecede artması sonucu evaporitik kayaçların oluştuğunu ortaya koymuştur.

Görür ve Derman (1978) Tuz Gölü- Haymana havzasının tektonik ve stratigrafik özelliklerini analiz etmiştir. Bölgede bulunan tuzların oluşum yaşlarının Maestrihtiyen (Üst- Kretase) yaşlı olabileceğini belirtmiştir.

Uygun ve diğ. (1978), Tuz Gölü'nün tutmakta olduğu suyun jeokimyasal özellikleri hakkında araştırmalar yapmış, sudaki anyon ve katyon değerlerinin zamanla gösterdiği değişim ve mineral çökelişi etkilerini incelemişlerdir. Tuz Gölü'nü erimiş madde miktarına göre derin ve sığ olacak şekilde iki kısımda ayırt etmişlerdir.

Uygun (1981); Tuz Gölü havzasının jeolojik özelliklerini incelemiş bölgenin yapısal unsurları ve paleocoğrafik özelliklerini yorumlayarak stratigrafik kolon kesitini çıkarmıştır. Bölgenin hidrokarbon potansiyeli hakkında çalışmalarda bulunmuştur.

Power ve Schepers (1989) Kuzey Amerika'daki yeraltı sularının nitrat kirliliği isimli çalışmalarında; Nitrat kirliliğinin jeolojik kökenli, gübrelerin uygunsuz kullanımı ve yağışın etkisi gibi birçok noktadan kaynaklandığını belirtmiştir.

Arnold ve Stephens (1990); Utah eyaleti sınırları içerisinde bulunan Great Salt Lake üzerine yaptıkları çalışmalarında gölün tuz kaynağının evaporitleşme olduğunu, gölü besleyen kaynakların yüzey suları ile sınırlanmadığını ayrıca kırık ve çatlaklar boyunca hareket eden yeraltı suyunun da etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ayhan, ve diğ., (1993), “Konya Kapalı Havzasında ve Tuz Gölünde Kirliliğin Tespiti ve Giderilmesi” isimli projesinde havza içinde ve Tuz Gölü'nde kirlilik parametrelerini belirleyerek modelleme ve istatistiksel değerlendirmeler yapıp 2010 yılı itibarıyla kirlenmenin maksimum seviyeye ulaşacağını ortaya koymuşlardır.

Gündoğan ve diğ. (1996)'daki çalışmasında Tuz Gölü'nün güney-batısında konumlanan Bolluk gölü ve civarının hidrojeolojik ve jeolojik çalışmalarda bulunmuşlardır. Bolluk gölü yakınlarındaki traverten konilerini incelemiş ve bu konilerden çıkan sülfatça zengin sular sayesinde Bolluk Gölü'nün sülfat değerinin arttığını ortaya koymuşlardır.

Dirik ve Güncüoğlu, (1996); Orta Anadolu kuşağının neotektonik oluşum mekanizmasının geçmişten günümüze değişimine ışık tutan çalışmalarında, bölgenin neotektonik yapılar tarafında oldukça kompleks bir hal aldığını belirtmiştir. Bu bölgede Neotektonik aktivitenin temelini 3 ana fay sisteminin (Tuzgolu fay bölgesi, Ecemis fay bölgesi ve Yozgat-Akdağmadeni-Boğazlıyan fay sistemi) oluşturduğunu belirtmiştir. Tuz Gölü'nün Pliyo-Kuvaterner çökellerinin yükselmiş olması ve Şereflikoçhisar ile Aksaray arasında kalan alanda yer alan derelerin saat yönünde dönüşüme uğramış olmaları bu fay zonunun en önemli karakteristik özelliklerinden biri olduğunu belirtmişlerdir.

Patterson (1999) “Sulamayı etkileyen su kalitesinin ölçümünde pratik yöntemler” isimli çalışmasında; su kalite parametrelerinin izlenmesi için oluşturulacak programda

su kaynağındaki olası değişimleri tam anlamı ile anlaşılması için örneklemenin düzenli olması gerektiğini belirtmiştir.

Çemen ve diğ. (1999) Çalışmalarında Tuz Gölü havzasını; Alp-Himalaya orojeninde yer alan iç Anadolu kuşağının en büyük kıta içi havzası olduğunu belirtmişlerdir. Bu iç havzasının oluşum mekanizmasının tektonik kökenli ve Geç Kretase’de geliştiğini belirtmişlerdir. Geç Eosen’de meydana gelen sıkışmanın etkisi ile Tuz Gölü fayının etkinlik kazandığını ve günümüze kadar geçen sürece etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Jones ve Deocampo (2003), Tatlı su kaynakları ve toprak yapısı ile Tuz miktarı yüksek göl sularının jeokimyasal özelliklerini kıyaslamış ve tuz girişiminin modellenmesi üzerine çalışmalar yapmıştır.

Derman ve diğ. (2003), Konya Kapalı Havzası içerisinde yer alan Tuz Gölü, Ulukışla, Haymana havzaları olarak bilinen bölgede çalışmalar yapmış ve geçmişte ayrı ayrı havzalar olarak nitelendirilen bu alanların esasında tek bir havzanın yani Orta Anadolu Havzası’nın parçaları olduğunu belirtmiştir.

Canik ve diğ., (2004), Bolluk gölü ve civarında gerçekleştirdikleri çalışmada bölgedeki jeotermal suların meteorik kökene sahip olduğunu ayrıca yeraltında dolaşım sürelerinin uzun olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca Bolluk Gölü’nün iletkenlik değerinin yüksek olduğunu ve bor, amonyum kirliliğinin mevcut olduğunu belirtmişlerdir.

Bayarı ve diğ., (2005)’deki çalışmalarında Konya Kapalı Havzası’ndaki yeraltısularının yaş dağılımını tespit etmişlerdir. Yeraltısularının izotopik özelliklerini inceleyip suların yeraltında dolaşım sürelerini ve karbon-14 analizi ile yaşlarını ortaya koymuşlardır.

Göçmez ve diğ., (2005), “Konya’daki Sıcak ve Mineralli Suların Hidrokimyasal Özellikleri” çalışmalarında Konya’nın ilçesi olan Cihanbeyli ve civarında mevcut olan sıcak suların ısı temelini jeotermal gradyan ile bölgedeki genç volkanik kayalardan kaynaklandığını ortaya koymuşlardır.

Arslan ve Göçmez, (2007), Tuz Gölü'nün güney bölgesinde bulunan Eşmekaya ve Sultanhanı arasında yer alan bölgenin yeraltı suyu seviyesini izlemişler ve bölgedeki jeolojik formasyonların hidrojeolojik özellikleri ile suların kimyasal özelliklerini belirlemişlerdir. Bölgedeki bilinçsiz su kullanımı dolayısıyla yeraltı suyu statik seviyesinde hızlı düşüşler olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ekercin, (2007), doktora tezinde Tuz Gölü ve çevresinde CBS ve uzaktan algılama sistemlerini entegre ederek eş zamanlı yer ölçümlerini kullanarak gölün su alanının zamansal değişimini analiz etmiştir.

Üstün ve diğ., (2007); çalışmalarında K.K.H'nda faaliyet gösteren su kuyularına ilişkin zaman dizisi verileri aracılığı ile yeraltı suyu seviyelerinin zamansal değişimini ortaya koymuşlardır.

Aydemir, (2008) Tuz Gölü havzasının hidrokarbon potansiyelini, jeofiziksel ve jeokimyasal verilerden faydalanarak ortaya koymaya çalışmıştır. Havzanın gravite verileri ile Türkiye Petrollerinin ve daha önceki çalışmalarda elde edilen jeokimyasal verileri birleştirerek 3 boyutlu model oluşturmuştur. Sonuç olarak Aksaray ilinin güneyi ve çevresinde hidrokarbon arama faaliyetlerinin yapılabileceğini ortaya koymuştur.

Bayari ve diğ. (2008), çalışmalarında Konya Kapalı Havzasının yeraltı suyu besleniminin bölgenin hidrolik gradyanı ile uyumlu bir şekilde Toros dağlarının eteklerinden başladığını ve Tuz Gölü'ne kadar hareket ettiğini ortaya koymuşlardır. Karbon-14 analizleri sonucunda model yaşlarının 5000-45000 yıl aralığında değişiklik gösterdiğini ve suyun yeraltında akış hızının 3 m/yıl olduğunu belirtmişlerdir.

Güner, (2009), Doktora çalışmasında Tuz Gölü'nün batı kısmından başlayan Yukarı Sakarya Havzasının izotop analizlerinden elde ettiği ^3H ve ^{14}C verilerinden yararlanarak çalışma alanındaki yeraltısularının genç ve yaşlı kuşak suların karışımından oluştuğunu ortaya koymuştur.

Blair F. Jones ve diğ., (2009)'da "Geochemical Evolution of Great Salt Lake" makalesinde Amerikanın en büyük tuz gölü olan Great salt lake'nin gölün jeokimyasal

özellikleri hakkında çalışmalar yapmış ve geçmişten günümüze değişimi hakkında yorumlarda bulunmuştur. Gölün tuzluluğunun evaporitik kayaların çözünmesiyle artış gösterdiğini ortaya koymuştur.

Ö.Ç.K.K.B., (2010)'da hazırladığı raporda Tuz Gölü Havzası'nın genelinde bulunan tüm su kaynaklarının (yeraltı ve yüzey) hidrojeolojik özelliklerinin tespitini yapmış ve etkin kullanımına yönelik önerilerde bulunmuştur.

Kılıç ve Kılıç, (2010), makalelerinde Tuz Gölü'ne ait tuz kabuğunun mineralojik özelliklerini ve jeokimyasal değişimleri hakkında araştırma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında Kaldırım tuzlasında tuz kabuğu altından topladıkları tuz örnekleri ve konsolide olmamış çamur sedimanları üzerinde detaylı minerolojik incelemelerde bulunmuşlardır. Göl suyunun su sınıfının % 98,50 oranında NaCl tipinde olduğunu belirtmişlerdir.

Bozdağ (2010), Tuz Gölü'nün batı bölümünde bulunan Cihanbeyli ilçesi ve çevresinin hidrojeolojik özelliklerini incelemiştir. İnsuyu deresi Tersakan ve Bolluk gölünü de içerisine alan bölgede çalışmalar yapmıştır. Bölgenin iki alt havzadan oluştuğunu ortaya koymuştur. İzotopik incelemeleri sonucunda yeraltı suyunun uzun ve derin dolaşımını olduğunu belirtmiştir.

Kavurmacı ve diğ. (2010), yılında yayınladıkları makalelerinde Tuz Gölünün güney ve güney doğu yakasını içine alan Aksaray ovasının yeraltısuyu verilerini değerlendirmiştir. Aksaray ovasının tuz gölüne kıyılarına yakın bölgelerde tuzluluk miktarında artış gözlemlemişler ve tuz girişiminin olduğu sonucunu çıkarmışlardır.

Gürbüz (2012), yılında tamamlamış olduğu doktora tezi çalışmasında Tuz Gölü havzasının iklimsel ve yapısal özelliklerini kullanarak Pliyo-Kuvaterner dönemindeki sedimantolojik ve jeomorfolojik değişimi incelemiştir. Bulgular; teze konu olan jeolojik dönemdeki jeolojik değişimlerin anlaşılmasına ışık tutacak niteliktedir.

Kavurmacı (2013), yılında doktora tezi çalışmasını Tuz Gölü'nün batı kısmında yer alan Şereflikoçhisar havzasının yeraltısularının hidrojeolojik özelliklerini incelemiştir. Özellikle Tuz Gölüne sınır olan bu bölgede tuzlu su girişimlerinden çok farklı olarak

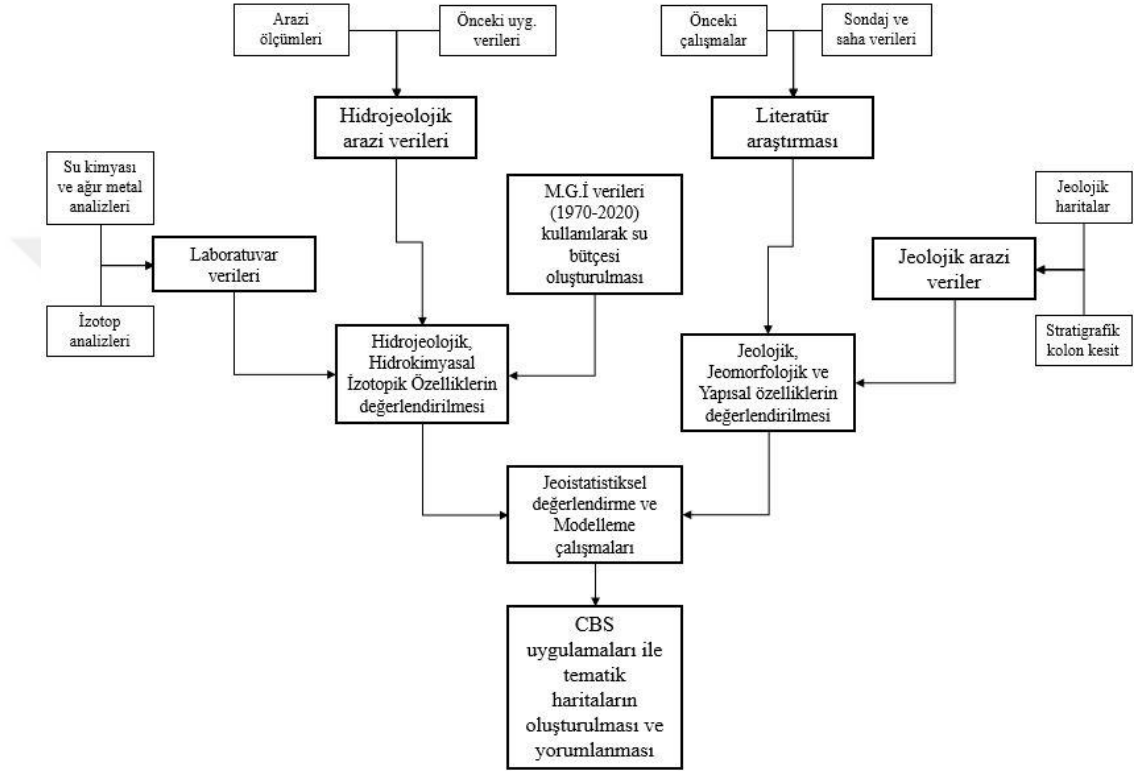
Tuz Gölü'nün tatlı su akiferlerini etkileme potansiyeli çalışma alanındaki jeolojik oluşum ve hidrojeolojik sistemin haricinde Tektonizmanın da etkisi altında olduğunu ortaya koymuştur.

Gürbüz ve Kazancı (2014); Tuz Gölü havzası içerisinde yer alan kuvaterner tortulların sedimentolojik özelliklerinin zamansal ve mekânsal değişim aşamalarını tespit etmeye yönelik arazi gözlemlerine dayalı yorumlarını ortaya koymuşlardır.

Kavurmacı (2016), çalışmasında Aksaray ili su kaynaklarından sağladığı verileri çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak yeraltı suyu kalitesini değerlendirmek için su kimyası verilerine dayalı bir yeraltı suyu kalite indeksi (AWQI) geliştirmiştir. Ayrıca su kalitesinin mekânsal dağılımını GIS tabanlı uygulama üzerinde haritalandırmıştır.

2 MATERYAL METOD

Bu bölüm içeriğinde çalışma kapsamında gerçekleştirilecek çalışmalar, uygulamalar, analiz ve değerlendirme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar model olarak sunulmuştur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Çalışma modeli

2.1 Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları kapsamında inceleme alanının jeolojisi; önceki çalışmalar ve saha verileri göz önünde bulundurularak jeoloji haritasına uygun stratigrafik kolon kesit çıkarılmıştır. Birimlerin özelliklerini daha iyi ayırt etme noktasında önceki çalışmalardan ve haritalardan yararlanarak birimler arazide tespiti yapılmıştır.

Su kimyası çalışmaları için inceleme alanı dâhilindeki tüm su noktalarının (soğuk sular, kaynaklar, derin ve sığ kuyular yüzey suları) tespiti yapılmıştır. Çalışma alanı

hakkında sağlıklı yorum yapabilmemizi sağlayacak nitelikte örnek noktalarının koordinatları yerinde alınarak haritaya işlenmiştir.

Belirlenen noktalardan yağışlı dönemlerde (Mayıs 2019-Mayıs 2020) 39 adet yeraltı suyu 2 adet göl ve kurak dönemde (Ekim 2019) 19 adet yeraltı suyu numunesi olmak üzere örnekleme çalışması yapılmıştır. Suların yeraltı su seviyesi, pH, sıcaklık, Elektriksel iletkenlik (EC), Toplam çözünmüş katı madde miktarı (T.Ç.K.M) gibi fiziksel özellikleri in-situ olarak sahada ölçülmüştür. Yerinde ölçümlerde OHAUS Starter 400 ve ISOLAB marka pH/T/T.Ç.K.M/EC değerlerini ölçümleyen portatif ölçüm cihazı kullanılmıştır. Laboratuvar analizleri için su örnekleri 1 lt.'lik çift kapaklı polietilen şişelere alınarak örnekleme yapılmıştır. Anyon ve Katyon analizleri için asitsiz örnek alınmıştır. Laboratuvar yakınlığı ve saklama koşullarının uygunluğu göz önünde bulundurularak çökelimi önlemek herhangi bir katkı maddesi ilave edilmemiştir. Yeraltı sularının statik seviye ve dinamik seviye ölçümleri makaralı sesli su seviye ölçüm cihazı ile üç örnekleme döneminde yapılmıştır.

İzotop analizleri ($\delta^{18}\text{O}$, ^2H , ^3H) için Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde 1 adet kar 6 adet yeraltı suyu numunesi, D.S.İ. Teknik Araştırma Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı (T.A.K.K) bağlı izotop laboratuvarı numune alımında uyulması gereken şartnameye uygun olarak örnekleme çalışması yapılmıştır.

2.2 Laboratuvar Çalışmaları

Tez çalışmasında; su kimyası analizleri için inceleme alanında belirlenen su noktaların da Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde toplanan numuneler Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği laboratuvarlarına örnek alım şartnamesine uyarak teslim edilmiştir. Örnekler üzerinde anyon, katyon ağır metal ve kirlilik parametrelerinin analizleri gerçekleştirilmiştir.

İzotop hidrolojisi çalışmaları için kurak dönem (Ekim 2019) ve yağışlı dönemlerde (Mayıs 2020) örnekleme yapılmıştır. Çevresel izotop (^{18}O , ^2H , ^3H) analizleri D.S.İ. Teknik Araştırma Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı (T.A.K.K) bağlı izotop laboratuvarında yapılmıştır.

2.3 Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları içeriğinde; Çalışma alanı ve çevresinde bulunan, çalışma alanının yağış-buharlaşma verilerini temsil edecek şekilde konumlanmış olan Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait 5 meteorolojik veri istasyonundan 1970-2020 yıllarına ait yağış, buharlaşma, sıcaklık verileri alınmıştır. Çalışma alanı ve çevresini temsil eden verilerin zamansal değişimleri değerlendirilerek yorumlanmıştır. Ortalama sıcaklık, yağış, güneşlenme süresi vb. veriler kullanılarak alanının su bütçesi oluşturulmuştur. Su bütçesi verileri ile çalışma alanı ve çevresinin beslenme ve boşalım süreçleri değerlendirilmiştir.

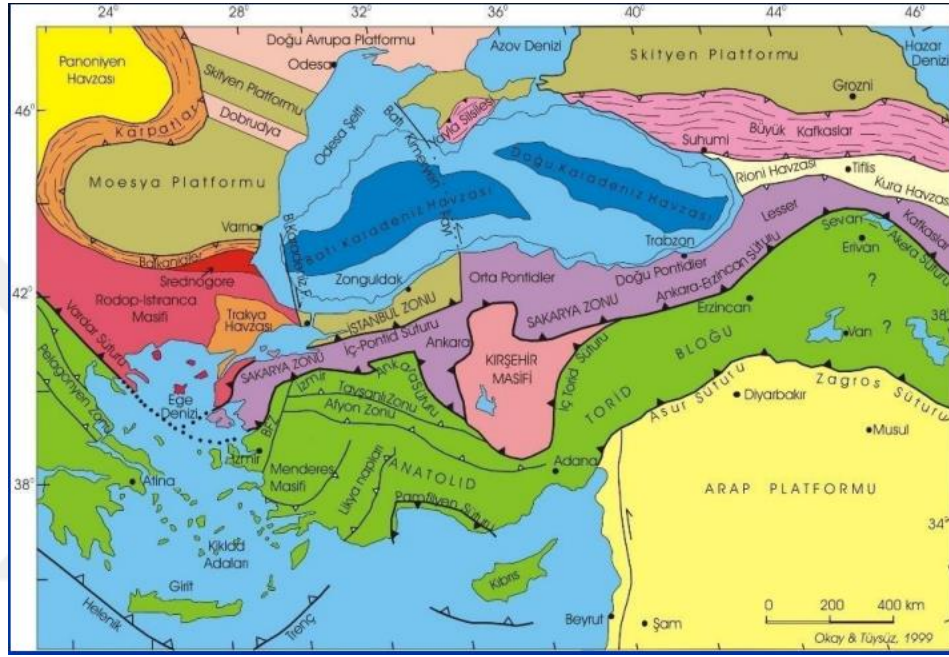
Çalışma alanı ile ilgili literatür araştırması, yağış buharlaşma sıcaklık verilerinin toplanarak değerlendirilmesi, jeolojik, hidrojeolojik, tektonik, izotop hidrolojisi verilerinin değerlendirilmesi ve Jeostatistiksel değerlendirmeler ile modelleme çalışmaları yapıp tematik haritaları oluşturulmuştur. Çalışma aşamalarını yerine getirebilmek için ArcGIS 10.5, Aquachem, AqQa, Global Mapper 21.0, Phreeqc Windows Office programları kullanılmıştır.

3 ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 Bölgesel Jeoloji

3.1.1 Bölgenin genel jeolojik özellikleri ve jeolojik evrimi

Ülkemizin genelinde çok sayıda mikro ölçekte kıta (kıtasal blok) ve bunların birleşimi olan kenet zonları mevcuttur (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay ve Tüysüz, 1999).



Şekil 3.1 Türkiye Kenet Kuşakları (Okay ve Tüysüz, 1999)

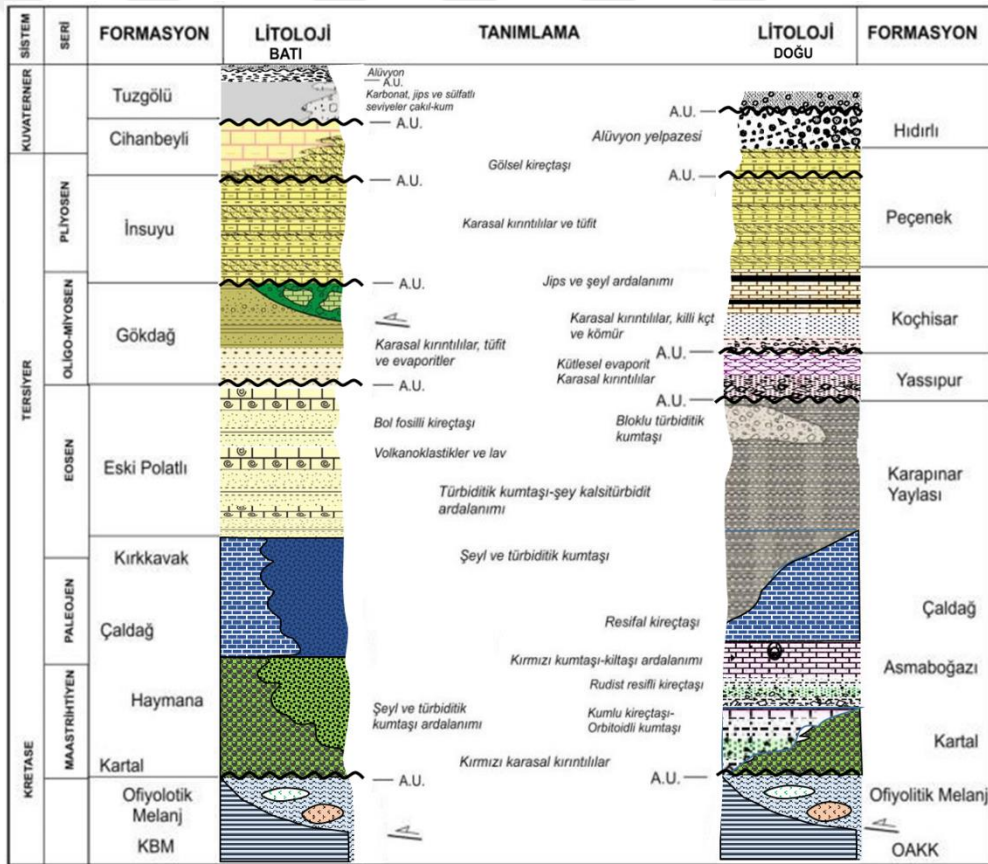
Triyas sonrası açılıp kapanan bölümüne Neo-Tetis adı verilen okyanusun kuzey ve güney kollarının kapanması sonucu bu kenet zonları oluşmuştur. Kırşehir mikro kıtası ve çevresinde birçok sedimanter kökenli havza meydana gelmiştir. Sedimanter kökenli bu havzaların en büyüğü ise Tuzgölü havzasıdır.

Tuzgölü havzası Alpin kuşağı üzerinde, Anadolu plakasının orta bölgesinde yer alır. Batısı Eskişehir-Sultanhanı fay sistemi, doğusu ise Tuzgölü fay zone ile sınırlanmış kapalı havza özelliği göstermektedir.

Tuzgölü havzasının gelişim mekanizmasına bütüncül bakıldığında temelini oluşturan birimler ve havza dolgusunu oluşturan örtü birimleri şeklinde 2 kısma ayrılmaktadır.

Temel birimleri Paleozoik-Mesozoyik dönemlerde oluşmuş Orta Anadolu'nun genelini kapsayan niteliktedir. Ülkemizde yüzey veren en kompleks yapıda olan bu birim; Birçok çalışmada Kırşehir masifi olarak ifade edilen bu bölge eski çalışmalara bakıldığında Kırşehir mikro kıtası olarak da adlandırılmıştır (Sengör ve Yılmaz, 1981).

Tuz Gölü havzası; havza oluşum sürecindeki değişimlerden dolayı kuzeyde Bala, kuzeybatıda Haymana ve güney kısmında Ereğli havzaları ile zaman zaman bağlantı kurulmuştur (Aydemir ve Ates, 2006; Uygun ve Şen, 1978). Tuz Gölü havzası geneli itibari ile doğuda Kırşehir masifi, batı-güneybatı kısmında Kütahya-Bolkardağı kuşağı, Kuzey-Kuzeybatı kısmında ise Ankara yükselimi ile sınırlanmaktadır (Görür, 1981; Uygun, 1981; Uygun ve Şen, 1978).



Şekil 3.2 Tuzgölü havzasının doğu ve batı bölümlerinde gözlenen stratigrafik kolon kesit (Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2000; Dirik ve Güncüoğlu, 1996)

Tuz Gölü havzasının doğu kısmında temel birimleri oluşturan Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı (O.A.K.K.) jeolojik olarak granitoyitlerin baskın olduğu bir birimdir (Aydın

vd. 1998). Kompleks içerisinde mevcut olan diğer birimler; düzenli istif halinde bulunan Orta Anadolu Metamorfikleri ile birlikte metamorfizmaya uğramış Orta Anadolu Ofiyolitleri ve bu birimleri kesen Orta Anadolu Granitoidleri'nden oluşmaktadır (Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2000; Göncüoğlu vd., 1996; Gürbüz, 2012).

Tuzgölü havzasının temel birimleri üzerindeki 10.000 metreden fazla olduğu düşünülen havza dolgusunu oluşturan sedimantasyon Üst Kretase (Maastirithiyen)-Paleosen zaman aralığında başlar (Dirik ve Erol, 2003; Göncüoğlu vd., 1996). Konveksiyonel hava hareketleri, Üst Senoniyen-Orta Eosen süresince meydana gelmiştir. İlerleyen dönemde Regresyon hareketi Orta Eosende başlayıp Oligosen sonlarına kadar devam etmiştir (Arıkan, 1975; Kavurmacı, 2013). Tuz Gölü havzası karakteristik olarak Geç Kretase (Üst Senoniyen)'den Orta Eosen sonuna kadar denizsel nitelikte birimler, Geç Eosen-Kuvaterner aralığında karasal nitelikte sedimanter birimler ile şekillenmiştir (Arıkan, 1975).

Tuzgölü havza dolgusunu oluşturan sedimanter birimler incelendiğinde; Havzanın doğu ve batı kesimlerinde temel birimleri üzerini uyumsuzlukla örten kırmızı renkli kırıntılı, eski çalışmalarda "Kırmızı Tabakalar" olarak adlandırılan (Rigo de Righi ve Cortesini, 1960), sonraki çalışmalarda çoğunlukla Kartal Formasyonu olarak ele alınan birim yer almaktadır.(Dirik ve Erol, 2000; Dirik ve Güncüoğlu, 1996; Görür, 1981; Görür ve Derman, 1978; Güncüoğlu vd., 1996; Gürbüz, 2010; Kavurmacı, 2010; Uygun, 1981).

Kartal formasyonu; üst kesimlerine doğru küçülen, alt kesimlerinde blok boyutuna ulaşan yuvarlak çakıllardan oluşmuş konglomeralarla başlar. Kırmızı renkli kaba taneli çamurtaşları ile üst seviyelere devam eder. Köken olarak konglomeralar andezit-gabro, kırmızı çört, granit ve az miktarda olsa metamorfiklerden oluşur (Gürbüz, 2012; Kavurmacı, 2010). Birimin yaşı üzerine transgresif şekilde gelen birimin Maastirithiyen yaşlı olmasından kaynaklı Maastirithiyen veya Üst-Kretase içinde daha yaşlıdır (Atabey vd., 1987; Oktay ve Delaloğlu, 1987; Uçar, 2008)

Tuzgölü havzasının doğusunda Kartal formasyonu üzerine Maastirithtiyen yaşlı alt seviyelerinde gri-bej renkli orta kalın tabakalı algli kumtaşları ve kireçtaşlarından oluşan istif gelmektedir. Birçok çalışmada Asmaboğazı Formasyonu olarak isimlendirilen bu birim (Arıkan, 1975; Görür, 1981; Uygun, 1981; Dirik ve Erol, 2000; Derman vd., 2003) bazı çalışmalarda Kartal ve Haymana Formasyonu kapsamında da ifade edilmiştir. Birim genel olarak alt kısımlarında merceksi çakıltaşları, yeşilimsi gri renkli, “Orbitoides” fosilli Kumtaşları ve “Hippurites” fosilli Kireçtaşlarından oluşmaktadır (Dirik ve Erol, 2000; Kavurmacı, 2010). Birimin fosil içeriğinden yola çıkarak Maastirithtiyen yaşlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Dirik ve Erol, 2000; Göncüoğlu vd., 1996).

Tuz Gölü Havzasının doğu kısmında bu birimlerin üzerine alg fosilleri içeriğine sahip beyaz-krem renkli kireçtaşlarından oluşan Çaldağ Formasyonu gelmektedir. Alt seviyelerinde Kırmızı renkli kumlu, üst seviyelerine doğru ise yeşilimsi marn-kumtaşı geçişli devamlılık gösterir ve beyaz-krem kireçtaşları ile sonlanır (Çemen vd., 1999; Göncüoğlu vd., 1996). Havzanın kuzeyinde ve batısında Kartal ve Haymana formasyonları dâhilinde incelenmiş olup fosil içeriğine bağlı olarak Alt Paleosen olarak yaşlandırılmıştır (Gürbüz, 2010).

Çaldağ Formasyonu üzerine açılı uyumsuzlukla karbonat ara katkılı konglomeralar, algli türbitik kireçtaşları ve orta-kalın tabakalı yüksek yoğunluğa sahip türbiditler gelmektedir. Önceki çalışmalarda Çaldağ, Kırkkavak, Dizilitaş, Karapınaryaylası, Karapınar formasyonları adı altında irdelenmiştir (Akıl, 2008; Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2003; Göncüoğlu vd., 1996; Rigo de Righi ve Cortesini, 1960). Çalışmalarda çokça Karapınaryaylası formasyonu olarak karşımıza çıkan birim ilk kez Oktay ve Dellaloğlu tarafından (1987) birimin alt seviyelerini oluşturan çakıltaşı ve kumtaşlarından oluşan kısmi formasyon niteliğinde değerlendirilmiş ve Karasaytepe formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışmaların geneline bakıldığında Karapınaryaylası formasyonu olarak irdelenmiştir. Çalışmalarda; birim içerisindeki fosil kayıtlarından ve üzerine gelen Üst Eosen- Oligosen yaşlı birimlerin bu birimi uyumsuzlukla örtmesinden dolayı Paleosen-Orta Eosen yaşlı olduğu ifade edilmiştir (Göncüoğlu vd., 1996; Oktay ve Delaloğlu, 1987).

Üst Eosen- Oligosen zaman aralığını Tuz Gölü havzasında temsil eden birimler alttaki birimlere uyumsuzlukla gelen karasal nitelikteki kırıntılı ve kalın evaporitik birimlerdir(Gürbüz, 2012; Kavurmacı, 2010). Karapınaryaylası formasyonu üzerine Kırıntılı çökelleri metamorfik ve magmatik kökenli kırmızı-gri renklerde kalın tabakalı çakıltası ve üst seviyelerinde evaporitler içeren Yassıpur formasyonu gelmektedir(Dirik ve Erol, 2003; Oktay ve Delaloğlu, 1987).

Oligosen sonrası Oligo-Miyosen birimler havzasının doğusunda ve batısında farklı isimler ile irdelenmiştir. Tuzgölü havzasının doğu kesiminde Koçhisar formasyonu (Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2003; Kavurmacı, 2010; Oktay ve Delaloğlu, 1987) batısında ise Gökdağ formasyonu (Akıl, 2008; Bozdağ, 2010; Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2000; Göncüoğlu vd., 1996) olarak çalışmalarda yer almıştır. Oluşumu itibari ile karasal niteliğe sahip bu birimler; tabanda kırmızımsı konglomeralar ile başlayıp üste doğru kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı ve marn ardalanması ile devam eder. Havzanın doğu kesiminde kumtaşlarının tane çağında bileşiminin kökeni granitler iken (Çemen vd., 1999); batı kesiminde kırıntılıların bileşeni metamorfikler ve kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır (Akıl, 2008; Bozdağ, 2010; Çemen vd., 1999; Gürbüz, 2010). İstifin yaşı; altta Üst Eosen-Oligosen yaşlı birimler ve üstünde ise Miyo-Pliyosen birimleri ile açılı uyumsuzlukla örtülmesinden dolayı ayrıca yapısında bulunan fosillere dayandırılarak Oligo-Miyosen olarak saptanmıştır(Derman vd., 2003; Dirik ve Erol, 2003; Gürbüz, 2010; Uygun, 1981).

Miyo-Pliyosen birimler genel olarak Kuvaterner yaşlı birimlerden sonra en çok yayılım gösteren istifi temsil eder. Yoğunlukla karbonatlı çökeller ve karasal nitelikte kırıntılı birimler ile alttaki birimleri uyumsuzlukla örter. Tuzgölü havzasının batı kısmında Cihanbeyli (Akıl, 2008; Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2003; Güncüoğlu vd., 1996; Oktay ve Delaloğlu, 1987) ve İnsuyu (Bozdağ, 2010; Dirik ve Erol, 2003; Uygun, 1981) formasyonları olarak incelenmiştir.

İnsuyu formasyonu; Tuzgölü havzanın güneybatı kesimlerinde Gökdağ formasyonu uyumludur. Havzanın doğu kesiminde yer alan eşdeğeri ise Peçenek formasyonudur. İnsuyu formasyonu alt katmalarında kırmızı-açık kahve renkli iyi tutturulmamış kumtaşı çakıltası geçişleri ile başlamaktadır. İstifin orta kısımlarında sarımsı-gri renkli

kumtaşı ve çamurtaşı ardalanması, üst kesimlerinde ise yeşilimsi-sarı, gri renkli kireçtaşı ve marn seviyeleri mevcuttur (Bozdağ, 2010; Dirik ve Erol, 2000; Dirik ve Güncüoğlu, 1996). Ayrıca birim içerisinde tuf ve jips seviyelerine rastlamak mümkündür. İstifin kalınlığı ile ilgili havzanın batı ve güneyinde 400 m’lik bir kalınlık sunduğu öngörülmektedir (Uygun, 1981). Birimin yaş tayini önceki çalışmalarda altındaki birimi uyumsuzlukla örtmesi kireçtaşlarındaki “Ostrakoda” türlerinden dolayı Beker (2000) tarafından Pliyosen olarak belirlenmiştir. Havzanın doğu kısmında bu formasyonla eşleştirilen Peçenek formasyonundaki tüfler üzerinde yapılan radyometrik yaş tayini 5-7 My sonucunun vermesinden dolayı Miyo-Pliyosen olarak yaşlandırılmıştır (Gürbüz, 2010).

Cihanbeyli formasyonu; İnsuyu formasyonunun üzerini uyumsuzlukla örten kırmızımsı renkli alüvyal çökeller, killer, evaporitik killer, çakıl taşları ve çakıllı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Ulu vd. (1994) tarafından Cihanbeyli formasyonu olarak adlandırılmıştır. Cihanbeyli formasyonu Miyo-Pliyosen yaşlı İnsuyu formasyonu ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı Tuzgölü formasyonunun arasında yer alan 110 m kalınlığa sahip bir birim olarak tanımlanmıştır (Ulu vd., 1994).

Çalışma alanı genelinde en çok yayılım gösteren ve özellikle bölgede yüzeye yakın sulamada kullanılan yeraltı sularının da temelini oluşturan Pliyo-Kuvaterner birimlerdir. Tutturulmamış veya az tutturulmuş çakıl, kum, silt, kil ve marnlar ile bir araya gelmiş istif; bazı çalışmalarda Cihanbeyli formasyonu ile birlikte (Görür ve Derman, 1978; Oktay ve Delaloğlu, 1987), bazılarında ise ayırt edilmeden “Alüvyon” olarak tanımlanmıştır (Akıl, 2008; Dirik ve Erol, 2003; Rigo de Righi ve Cortesini, 1960; Ulu vd., 1994). Birim içeriğinde çakıl-kum geçileri başlayıp, üst kısımlarına doğru çamurlu ve killi seviyeler ile devam etmektedir. Kuvaterner yaşlı birimler olarak adlandırılan “Alüvyon” birimler Pliyo-Kuvaterner yaşlı Tuzgölü formasyonu olarak 1994 yılında ayırt edilmiştir (Ulu vd., 1994).

Üst Sistem	Seri	Kat	ARIKAN, 1975 Tuz G. Havzası	GÖRÜR, 1981 Tuz G.-Haymana	UYGUN, 1981 Tuz G. Havzası	GÖRÜR vd., 1984 Tuz G. Havzası	ULU vd., 1994 Cihanbeyli-Karapınar	GÖNCÜOĞLU vd. 1996 Tuz G. Havzası batısı	GÜNDOĞAN ve HELVACI, 1996 Cihanbeyli (Boluk G.)	ÇEMEN vd., 1999 Tuz G. Havzası	DİRİK ve EROL, 2000 Tuz G. Havzası	DERMAN vd., 2003 Tuz G. Havzası	ÖZSAYIN, 2007 Tuz G. Havzası batısı	AKIL, 2008 Tuz G. Havzası batısı
Senozoyik	Kuvaterner	Holosen	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon
		Pleyistosen	Üst Taraçalar Hasandağ volk. Alt Karacadağ volk.		Kum Çakıl Jipsli kil		Yamaç molozu Evaporitler Tuzgölü		Güncel göl sedimanları Tuz çökelleri Traverten konileri		Tuzgölü		Tuzgölü	Alüvyon Alüvyal yelpaze çökelleri
	Neojen	Pliyosen	Üst Klastikler		Karacadağ volk. Peçenek		Cihanbeyli	Cihanbeyli	Cihanbeyli	Cihanbeyli	Cihanbeyli	Cihanbeyli	Cihanbeyli	Cihanbeyli
		Alt					Tavşançalı Bazalt Çataltepe Andezit		Andezit		İnsuyu			
	Miyosen	Üst	Klastikler		İnsuyu		İnsuyu		Ankara Melanjı		Melanj		OAK Birimleri	OAK Birimleri
		Orta	Gösel kıt.								Melanj		Koçhisar	
	Alt	Alt	Karacadağ volk.								Melanj		Gökdağ	Gökdağ
		Üst	Kırmızı tabakalar	Ofiyolitik Melanj	Mezgit Grubu	Şihkuyusu		Gökdağ		Gökdağ	Gökdağ		Gökdağ	Gökdağ
	Oligosen	Üst	Jips		Mezgit									
		Alt	Bala Volkanikler		Tepeköy									
Mesozoyik	Paleosen	Üst	Nummulitik kıt.		Çayraz	Çayraz		Çayraz						
		Orta (Lütesiyen)	Çayraz	Eskipolatlı	Boyalı	Kartal		Çayraz		Eskipolatlı	Eskipolatlı			
		Alt	Küredağ		Kartal	Eskipolatlı								
		Üst	Ankara yükselimi volk.	Kırkkavak	Kartal	Kırkkavak		Kırkkavak		Kırkkavak	Kırkkavak	Kaleninözüdere	Çaldağ	Çaldağ
	Paleosen	Alt	Algili kıt.	Kartal	Asmaboğazı	Kartal	Çaldağ	Çaldağ		Çaldağ	Çaldağ	Çaldağ	Çaldağ	Çaldağ
		Üst			Asmaboğazı	Kartal	Çaldağ	Çaldağ		Çaldağ	Çaldağ	Çaldağ	Çaldağ	Çaldağ
		Alt			Asmaboğazı	Kartal	Çaldağ	Çaldağ		Çaldağ	Çaldağ	Çaldağ	Çaldağ	Çaldağ
		Üst			Asmaboğazı	Kartal	Çaldağ	Çaldağ		Çaldağ	Çaldağ	Çaldağ	Çaldağ	Çaldağ
Mesozoyik	Kretase	Üst. Maast.	Haymana	Haymana	Haymana	Haymana	Haymana	Haymana	Haymana	Haymana	Haymana	Haymana	Haymana	Haymana
		Maast. Öncesi	Ofiyolit karmaşığı Mesozoyik kıt.	Ofiyolitik karışık	Temel Doğuda: Kırşehir Masifi ve Ofiyolit Batıda: Bolcardağ Birliği	Met. Baranadağ Plütonu	Bolcardağ Birliği	Kütahya-Bolcardağ Birliği	Kütahya-Bolcardağ Birliği	Kütahya-Bolcardağ Birliği	Kütahya-Bolcardağ Birliği	Kütahya-Bolcardağ Birliği	TEMELE BİRİMLER Orta Anadolu Kristalen Kompleksi Kütahya-Bolcardağ Metamorfizmi	Ofiyolitik M.

Şekil 3.3 Tuz Gölü Havzası ve Çevresinin literatürdeki çalışmalarda incelenen birimlerin ilişkilerini gösteren karşılaştırma (Akıl, 2008)

3.1.2 Stratigrafi

Tuz gölü havzasında gelişen sedimantasyon Paleojen (Üst-Kretase-Oligosen) boyunca devam etmiştir. Sedimantasyon devam ederken havzanın graben şeklini alarak depo havzası haline dönüşmesi ise Paleojen'in ortasında sonuna kadar (Üst-Orta Eosen-Oligosen) geçen sürede meydana gelmiştir. Regresyon hareketi Orta-Eosen sonlarına doğru başlamıştır. Bu sebeple graben yapısı içerisinde kıyasal ve sıkı deniz sedimentleri Orta Eosende depolanmıştır. Üst Eosen-Oligosen sırasında ise karasal sedimentler depolanmaya başlamıştır (Arıkan, 1975; Görür, 1981; Uygun, 1981). Neojenden günümüze kadar sedimanter birimler depolanmaya devam etmektedir.

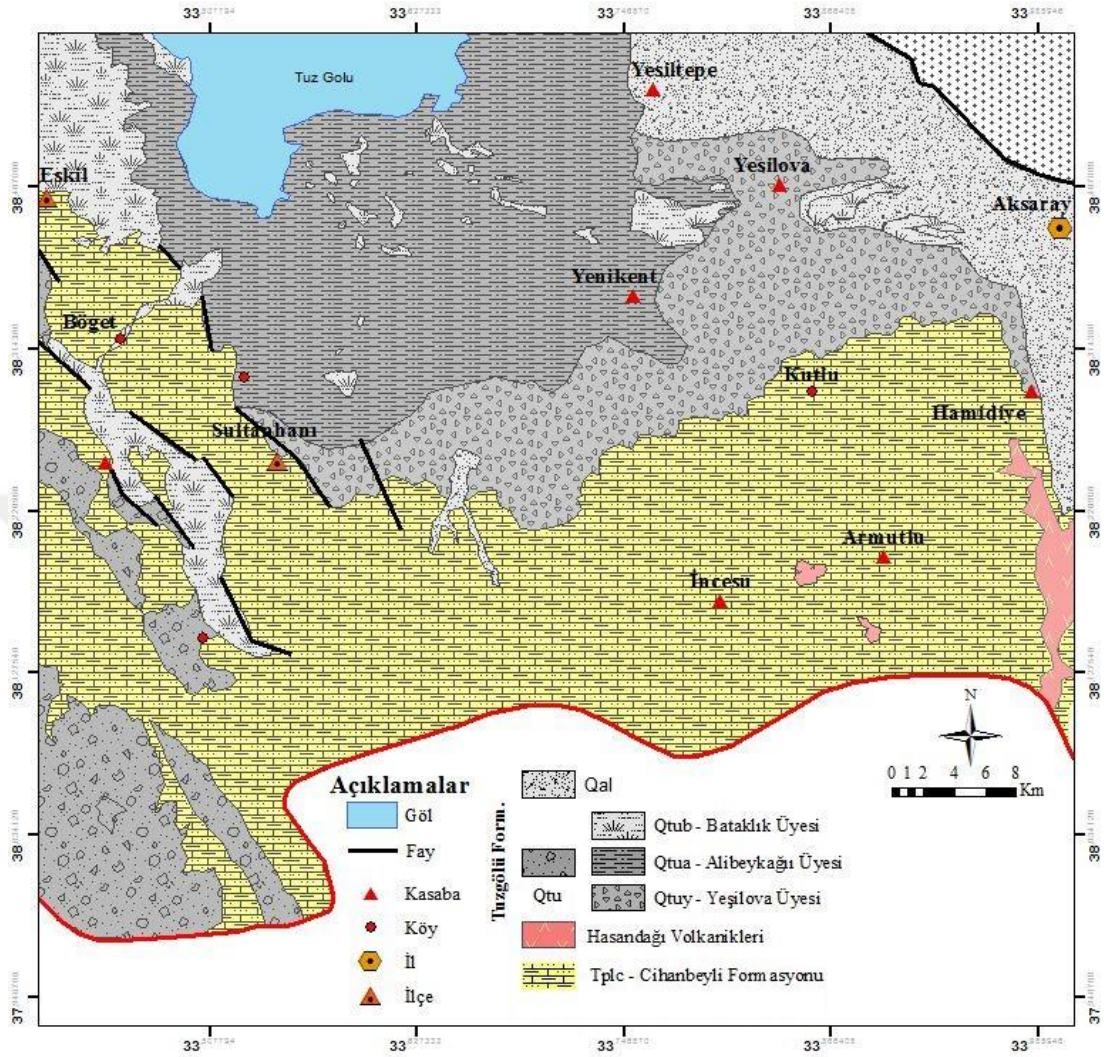
Çalışma alanında yer alan birimleri en yaşlıdan gence doğru sıralayacak olursak temelde Ofiyolitik melanaj ile başlamaktadır. Temel birimlerinin üzerine sırası ile Üst kretase yaşlı Kartal formasyonu, Paleosen yaşlı çaldağ formasyonu, Üst Paleosen-Eosen yaşlı Eskipolatlı formasyonu, Oligo-Miyosen yaşlı Gökdağ formasyonu, Miyo-Pliyosen yaşlı İnsuyu formasyonu, Pliyosen yaşlı Cihanbeyli formasyonu ve Tuzgölü formasyonu, Holosen yaşlı Alüvyon birimleri yer almaktadır.

Çalışma alanının içerisinde yüzeylenen birimlerin kolayca irdelenmesi için jeoloji haritası ve temel birimlerden günümüze kadar yerleşmiş birimlerin oluşum ortam ve şartları bilgi sahibi olmak için stratigrafik kolon kesiti oluşturulmuştur. Çalışma alanına ait jeoloji haritasının yapımında MTA tarafından 1/100.000 ölçekte hazırlanmış L30, L-31, L-32 paftalarından ve arazi gözlemlerinden yararlanılmıştır. Çalışma alanının stratigrafik kolon kesitini oluştururken, bölgede daha önce yapılmış akademik çalışmalar ve kurumların hazırlamış olduğu raporlardan yararlanılmıştır.

SİSTEM	SERİ	FORM.	ÜYE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
TERSİYER	KUVATERNER	HOLOSEN	Altıvyon		Çakıllı ve kumlu kesimleri boyunca gözeneklilik ve geçirgenlik özelliği yüksektir. Silt ve killi seviyeler geçirimsizdir. Akifer özelliği gösterir.
		PLİYO-KUVATERNER	Tuzgözü Form.		Açısal Uyumsuzluk
			Bataklık Üyesi		Koyu gri renkli organik malzemeli yumuşak Karbonatlı kum,silt, Killi birimdir. Gözeneklilik zayıftır geçirgenliği düşüktür.
			Yeşilova Üyesi		Altere olmuş Karbonatlı kireçtaşları kırıntı şeklinde boşluk oranı yüksektir. kumlu ve siltli birimleri geçirimli orta akiferdir.
	PLİYOSEN	Cihanbeyli Form.			İyi tutturulmamış çakıl, Kumlu birimler geçirimlidir. Siltli birimlerde gözeneklilik düşüktür. Orta akifer özelliği gösterir
		MIYO-PLİYOSEN	İnsuyu Form.		Uyumsuzluk Kılavuz tepe bazaltı: Koyu-gri renkli volkanik birim
		OLİGO-MİYOSEN	Gökdağ Form.		Cihanbeyli formasyonu; Kırmızımsı alüvyal çökeller, jipsli (evaporitik) killer, karbonat çimentolu çakıltaşları ve çakıllı kireçtaşları
		ÜST PALEOSEN	Eskipolath Form.		İnsuyu Formasyonu: Gevşek tutturulmuş volkanik arakatlı çakıltaşı, kumtaşı ve bol çatlaklı kırıklı yüksek boşluk oranına sahip açık kahverengi renkli, gösel marn ve kireçtaşları geçirimli birimleri oluşturmaktadır.
		PALEOSEN	Çaldağ Form.		Açısal Uyumsuzluk Gökdağ Formasyonu; Tabanda kırmızımsı konglomeralar ile başlayıp üste doğru kumtaşı, çakıltaşı, çamurtaşı ve marn aralanması.
					Açısal Uyumsuzluk Eskipolath Formasyonu: Karbonat ara katkılı konglomera, yeşilimsi gri renkli şeyl, sarı bej renkli killi, kumlu kireçtaşları
					Açısal Uyumsuzluk Çaldağ Formasyonu; Grimsi bej renkli, orta kalın tabakalı, alg içerikli kireçtaşları.
KRETASE	ÜST KRETASE ALT PALEOSEN	Kartal Form.			Kartal Formasyonu; Kırmızı, bordo renkli çakıltaşları, kumtaşları, çamurtaşları aralanması.
	SENONİYEN	Ofiyolitik Melanj KBM			Uyumsuzluk Yeşil, kırmızı, kahverengi renkli matriks içerisinde düzensiz yerleşmiş serpantin, gabrolardan oluşmuş karmaşık.

Ölçeksiz

Şekil 3.4 Çalışma alanı stratigrafik kolon kesiti (Akıl, 2008; Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2000; Göncüoğlu vd., 1996; Kürçer, 2012; Özsayın vd., 2013)



Şekil 3.5 Çalışma alanının jeolojik haritası

3.1.2.1 Ofiyolitik melanaj, Kütahya-Bolkardağı metamorfileri (KBM)

Çalışma alanının temel birimlerini oluşturan Ofiyolitik melanaj, Kütahya-Bolkardağı metamorfileri; Tuzgölü havzasının en güney ve güneybatı bölgelerinde yüzey vermektedir. Birim; İzmir-Ankara-Erzincan kenet zonunun kapanma sürecinde, Torit-Anatolit tektonik birliğinin alt birimi olan Kütahya-Bolkardağı Kuşağına ait metamorfileri üzerleyen yığılma malzemesi olarak değerlendirilmektedir (Dirik ve Erol, 2003; Göncüoğlu, 2011; Kürçer, 2012).

Kütahya-Bolkardağı Metamorfikleri (KBM); Paleozoik-Mezozoik dönem aralığında çökelen kayaçların metamorfizmaya uğraması sonucu oluşmuştur (Dirik ve Erol, 2000; Göncüoğlu vd., 1996). Tuzgölü havzasının batı, güney batı bölgesinde yer alan Bozdağlarda, Altınekin grabeni ve Cihanbeyli civarında yüzey vermektedir (Göncüoğlu, 2011).

Birim; oluşum süreçlerinden dolayı karasal ve okyanusal kökene sahip farklı tipte metamorfizma içeren kayalardan ve bloklardan oluşmaktadır (Göncüoğlu, 2011; Göncüoğlu vd., 1996).

3.1.2.2 Kartal formasyonu

Tuzgölü havzasında temel birimlerinin üzerine gelen en yaşlı örtü birimi Kartal formasyonudur. İlk olarak “Kırmızı tabakalar (Red beds)” olarak adlandırılan birim Türk Gulf Oil tarafından (1961) Kartal formasyonu olarak isimlendirilmiştir (Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2000). Karasal ve denizsel özelliğe sahip birimlerden oluşan Kartal formasyonu, Tuzgölü havzasının doğu, batı ve kuzeybatı kesimlerinde yaygın olarak gözlenmektedir (Akıl, 2008; Çemen vd., 1999; Kadir Dirik ve Göncüoğlu, 1996).

Kırmızımsı bordo-kiremit renkli, yüksek katman kalınlığına sahip, formasyon tabanında kötü boylanmalı çakıtaşı, kumtaşı, çamurtaşı ardalanmasına sahip kırıntılılardan oluşur (Kadir Dirik ve Erol, 2003; Göncüoğlu vd., 1996). Formasyon içerisinde çakıtaşı, kumtaşı, çamurtaşı ardalanması; üst kesimlere doğru tane boyu incelenerek tekrarlı olarak devam eder (Kürçer, 2012). Birimi oluşturan yumuşak köşeli, mercek yapılı kırıntılıların ardalanmalı geçişleri; göl ortamına yönelen akarsu çökellerinin geniş düzlüklerde depolandığını veya yelpaze deltası göstermektedir (Kürçer, 2012). Tuzgölü havzasının farklı bölgelerinde ve farklı zamanlarda gerçekleştirilen çalışmalara göre formasyonun yaşı Maastrichtiyen-Daniyen-Tanesiyen (Üst-Kretase-Paleosen) olarak belirlenmiştir (Göncüoğlu vd., 1992; Göncüoğlu, Toprak, Kuşcu, Erler, ve Olgun, 1991; Ünal vd., 1976). Formasyona ait killi kireçtaşlarında saptanmış fosil kayıtlarına göre formasyonun yaşı Senoniyen olarak belirlenmiştir (Göncüoğlu vd., 1996).

Kartal formasyonu üzerine uyumlu şekilde Alt-Paleosen yaşı Çaldağ formasyonu geldiği için çalışma kapsamında Üst-Kretase, Alt-Paleosen olarak stratigrafik kesite yerleştirilmiştir.

3.1.2.3 Çaldağ formasyonu

Çaldağ formasyonu stratigrafik konum olarak Kartal formasyonunun üzerine uyumlu bir şekilde gelmektedir. Çaldağ formasyonu; Paleosen yaşı sığ denizsel kireçtaşlarını tanımlamak için Rigo de Righi ve Cortesini (1960) tarafından kullanılmıştır. Sonraki çalışmalarda litolojik özellikleri ve stratigrafik konumları aynı olan birimler için Çaldağ formasyonu ismi kullanılmaya devam etmiştir (Dirik ve Erol, 2000; Göncüoğlu vd., 1991, 1992; Ünal vd., 1976). Çalışma alanının bulunduğu Tuzgölü havzasının güney bölgelerinde yüzey vermemektedir. Yüzey verdiği havzasının doğu kesiminde bej, beyaz, sarımsı renklerde orta-kalın tabakalı algli fosilli kireçtaşları, batı-kuzeybatı kesiminde ise beyaz, bej, krem renkli kalın tabakalı makro fosil parçalı kireçtaşları ile temsil edilmektedir (Akıl, 2008; Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2003). Birimin alt seviyelerinde bulunan killi kireçtaşlarında saptanana nannoplankton içeriklerine göre Tanesiyen (Paleosen) olarak kabul edilmiştir (Göncüoğlu vd., 1996).

3.1.2.4 Eskipolatlı formasyonu

Çaldağ formasyonunun üzerine açılı uyumsuzlukla yerleşen, Üst Paleosen-Eosen yaşı çamurtaşı-kumtaşı ardalı kireçtaşı birimleri Eskipolatlı formasyonu olarak adlandırılmaktadır (Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2003; Göncüoğlu vd., 1996). Birim; yeşilimsi gri renkli, orta-ince tane yapısına sahip, kalın orta tabakalı kumtaşları ile boz, yeşil renkli orta ince tabakalı şeyl ardalımasından oluşmuştur (Akıl, 2008; Bozdağ, 2010). Eskipolat formasyonu üzerine yine açılı uyumsuzlukla Gökdağ formasyonu yerleşmiştir.

3.1.2.5 Gökdağ formasyonu

Eskipolatlı formasyonun üzerine uyumsuzlukla gelen Gökdağ formasyonu ilk defa “Oligosen fillisi” olarak ifade edilmiştir (Agalede, 1954). Daha sonraki çalışmalarda birimin karakteristik özelliklerinin Gökdağ ve çevresinde yüzey verdiği için Gökdağ

formasyonu olarak ifade edilmiştir (Göncüoğlu vd., 1996). Sonraki çalışmalarda Gökdağ formasyonu adı altında incelenmiştir (Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2003). Tuzgölü havzasında batı-kuzey batı kesiminde yayılım gösteren birim havzanın doğusunda Koçhisar formasyonunun karşılığı olarak değerlendirilmektedir (Dirik ve Erol, 2000).

Tuzgölü havzasının batı, kuzey-batı kesimlerinde yüzey verdiği bölgelerde kırmızımsı kiremit renkli çakıltası, kıltaşı, kumtaşı araldanması şeklinde incelenmiştir (Bozdağ, 2010). Birim bazı yerlerde kırmızımsı kiremit renginde, bazı yerlerde ise sarımsı, yeşilimsi boz renkte yer yer tabaka halinde tuf, tüfit içeriğine sahiptir (Dirik ve Erol, 2000).

Gökdağ formasyonu üzerine geldiği Üst Paleosen – Eosen yaşlı Eskipolatlı formasyonu ve üzerine gelen İnsuyu formasyonu ile açılı uyumsuzlukla ayrılmaktadır (Dirik ve Erol, 2000; Göncüoğlu vd., 1996). Karasal özellikteki Gökdağ formasyonunun yaşı ile ilgili Agalede (1954) ve Uygun (1982) çalışmalarında Oligosen, Erol (1969)'da Miyo-Pliyosen kırıntılıları, olarak tanımlamıştır. Özsayın (2007)'deki çalışmasında birimin karasal nitelikte olduğunu ifade ederek yaşını Oligo-Miyosen olarak değerlendirmiştir.

3.1.2.6 İnsuyu formasyonu

Çalışma alanının da geniş yayılım gösteren yer yer sarımsı, grimsi, beyaz renkli gölsel kireçtaşı, marn, çakıltası, kumtaşı, kıltaşı içeren birim Turk Gulf Oil (1961) tarafından Neojen olarak değerlendirilmiştir. Kireçtaşı seviyeleri göze alınarak “İnsuyu kireçtaşı” olarak incelenmeleri yapılmıştır (Uygun, 1981). Gerçekleştirilen çalışmalar da yapısında yer alan marn, tuf, tüfit, kumtaşı ve çakıltası içeriğinden dolayı sadece kireçtaşı ve kumtaşından oluşmadığı anlaşılmış ve “İnsuyu Formasyonu” olarak incelenmiştir (Ulu vd., 1994). İnsuyu formasyonu Tuzgölü havzasının güneybatısı kesiminde Gökdağ formasyonu ile uyumludur. Doğusunda yer alan birimlerde ise eşdeğeri Peçenek formasyonudur (Dirik ve Erol, 2000). Karşılaştırıldığında iki birimde de tabanda kırmızımsı renkli alüvyal çökellerle başlar, orta kısımlarda çapraz tabakalı kumtaşı, çakıltası, silttaşı araldanması devam eder ve orta kalınlıkta tabakalı

krem, beyaz renkli boşluk oranı yüksek kireçtaşları ile tamamlanır (Dirik ve Erol, 2000).

Birimin tabanını genel olarak renkleri kırmızımsı alüvyal çökeller oluşturmaktadır. Kumtaşı, çakıltası, silttaşı ile devam edip ve Sarımsı-grimsi beyaz kireçtaşları ile son bulmaktadır (Ulu ve ark. 1994). Birimde bulunan çakıltaları grimsi renkli, az-çok derecelenmeli ve kötü boylanmalıdır. Çakıllı birimler kireçtaşı ve volkanik kayaç parçalarından oluşmaktadır (Bozdağ, 2010). Kumtaşları ince taneli ve genelde kötü boylanmalıdır. Genel itibari ile çapraz ve ince orta tabakalıdır. Marnların magnezyumca zengin olduğunu ve yanal yönde devamlılığının olduğu bilinmektedir (Ulu vd., 1994).

3.1.2.7 Cihanbeyli formasyonu

Karasal kırıntılı tortullar ve karbonatlı birimlere ilk olarak Akarsu (1971) Cihanbeyli formasyonu adını vermiştir. Sonraki çalışmalarda aynı litolojik ve stratigrafik özelliklere sahip birimler Cihanbeyli formasyonu olarak değerlendirilmiştir (Çemen vd., 1999; Dirik ve Erol, 2000, 2003; Göncüoğlu vd., 1996).

Çalışma alanında içerisinde Eski-Böğet köyünden Güneşli kasabasının doğu kısmını içine alarak devam eder. En doğu kısmında Taşpınar- Hamidiye kasabasına kadar bulunan geniş bir alanı kaplar. Kuzeyde ise Aratol-Yapılcan-Sultanhanı ilçesi sınır olmak koşulu ile çalışma alanının büyük bölümünde yer alan gölsel kireçtaşlarıdır.

Çalışma alanında Tuzgölü formasyonu üyerleri ve Alüvyon birimlerle birlikte en geniş yayılıma sahip formasyon özelliği gösterir. Alt seviyelerinde açık kahve renkli, az tutturulmuş karbonat çimentolu çakıltası, kumtaşı ve silt taşı ardalanmalı olarak yer alırken, üst seviyelerinde sarımsı gri renkli yatay katmanlı kireçtaşı ve marn seviyeleri ile tamamlanır. Beker (2002)'deki çalışmasında birimin kireçtaşı seviyelerinde yer alan “ostrakoda” içeriğine göre yaşını Pliyosen olarak belirlemiştir.



Şekil 3.6 Eşmekaya- Sultanhanı Yolu Cihanbeyli Formasyonu Birimleri

3.1.2.8 Tuzgölü formasyonu

Çalışma alanı içerisinde İnsuyu Formasyona benzer şekilde geniş yayılım gösteren ikinci formasyon Tuzgölü formasyonudur. Kuzeyde Tuz Gölü'nün kıyı şeridinden başlayarak Sultanhanı-Yapılcan- Hamidiye sınırına kadar olan bölgede mostra veren çakıl, kum, silt, karbonatlı kum ve siltler, karbonatlı seviyeler ile jipsli killerden oluşan birimdir. Tuzgölü sınırında geniş bir alanda gözlemlendiği için “Tuzgölü formasyonu” adı verilmiştir (Ulu vd., 1994).

Birim genel anlamda yatay ve dikey geçişli Çakıl, kum, kil, silt, Karbonatlı çökeller ve jipslerden oluşmaktadır. Formasyon çalışma alanı içerisinde 3 üyeden oluşmaktadır. Bunlar; Yeşilova Üyesi (Qtuy), Alibeykağılı Üyesi (Qtua) ve Bataklık Üyesi (Qtub) şeklinde ayırt edilmiştir. Daha önceki çalışmalarda birime yaşını verebilecek fosil bulunamamıştır. Birimin yaşı Pliyo-Kuvaterner olarak kabul edilmektedir (Ulu vd., 1994).

İklimsel değişimler neticesinde çökeltme havzası içerisine taşınmış olan farklı boyutlardaki alüvyal malzemelerin tuzlu göl ortamında kuraklaşma ve buharlaşma etkisi ile farklı eksenlerde çöktüğü gözlenmiştir (Ö.Ç.K.K.B., 2010).

3.1.2.8.1 Yeşilova üyesi

Yatay katmanlı, çakıllı kum ve siltten oluşan birim, Ulu ve diğ. (1994) tarafından Yeşilova üyesi olarak adlandırılmıştır. Birim yer yer iyi tutturulmuştur. Çalışma alanı içerisinde özellikle Yeşilova kasaba merkezinin kuzey, güney ve doğu kesimlerinde geniş alanlar kapsar. Birim içerisinde gözlenen taneler ve çakıllar çoğu zaman iyi yuvarlaklaşmış ve iyi boylanmıştır. Çakıllar yer yer kumlu bir karmaşıklıkla, yer yer de tane destekli olarak tutturulmuştur. (Ulu ve diğ., 1994). Birimin çökelme ortamının bazen yüksek enerjili düşük eğimli bir alan, bazen sabit su koşulları, yer yer de fırtına koşulları altında olduğu belirtilmektedir. Yine aynı araştırmacılar tarafından birimin yaşı Pliyo-Kuvaterner olarak kabul edilir (Ulu vd., 1994).

3.1.2.8.2 Alibeykağılı üyesi

Alibeykağılı Üyesi karbonatlı kum, silt ve altere olmuş kireçtaşlarından oluşan gölsel çökellerdir. Sarımsı- beyaz renkli Kireçtaşları kristal dolguludur. Bazı kısımlarında karasal malzemenin baskın olduğu karbonat çökeltisinin kalınlığı çalışmalarda 20 m olarak ölçülmüştür (Ö.Ç.K.K.B., 2010). Alibeykağılı üyesinin taban dokanağı kristalize özellikteki Jipslerle geçişlidir. Kuzeyde Yeşiltepe kasabasının batı sınırı ile güneyde Yenikent batıda ise Yeşiltömek köyüne kadar olan alanda yayılım gösterir. Alibeykağılı üyesi çalışma alanının en genç yayılım gösteren üyesinden biridir. Bazı kesimlerde Bataklik üyesi tarafından küçük çapta üzerlenir. Kuvaterner yaşlı gölsel çökellerle deneştirilebilir.

3.1.2.8.3 Bataklik üyesi

Göle yakın alanlarda yüzey sularının süzülmeden birikim oluşturduğu alanlarda gelişen, koyu gri renkli, yumuşak karbonattan oluşan karbonatlı killi birimdir. Ulu ve diğ. (1994)'deki çalışmasında Bataklik üyesi olarak isimlendirilmiştir. Özellikle Yeşilova kasabası batısında Yeşilova doğusu Hırkatolu, Kazıcık köyleri civarında, Sultanhanı ilçesi güneyi Bezirci köyü civarında, Tuzgölü' nün güney kenarında yer yer yayılım gösterir. Tuzgölü formasyonunun diğer üyeleri ile yanal ve düşey geçişli

olarak gözlenirler. Bu nedenle birimin yaşı Pliyo-Kuvaterner olarak kabul edilmektedir (Ö.Ç.K.K.B., 2010; Ulu vd., 1994).

3.1.2.9 Alüvyon

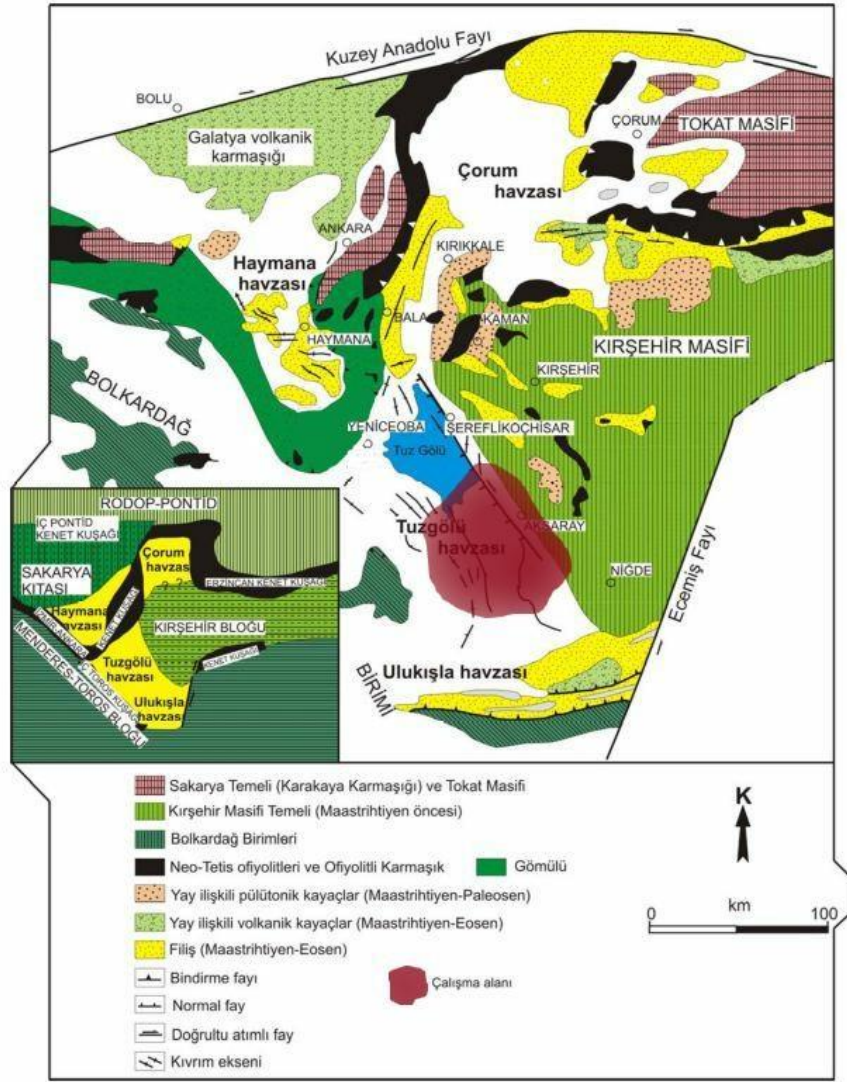
Alüvyon birimler çökeldiği dönem içerisinde uğradığı farklı enerji sistemlerine sahip akarsuların morfolojisi yüksek kotlardaki birimlerden aşındırdığı gevşek, çimentolanmamış, çakıl-kum-silt ve kil boyutlu malzemelerden oluşmuştur (Kavurmacı, 2010). Birim geneli itibari ile kahverengi-gri renkli ve kötü boylanmalıdır.

Alüvyon içerisinde kil içeriği bölgesel olarak farklılıklar içerir. Stratigrafik ilişkilerine göre alüvyonun yaşı Holosen olup, oluşumu halen devam etmektedir.

3.1.3 Yapısal jeoloji

Kıta içi havzaların arasında en büyüğünü temsil eden Tuz gölü havzası Akdeniz Alpin kuşağının hemen üzerinde, KB-GD doğrultulu çöküntü alanı içerisinde Anadolu levhasının orta kesiminde bulunmaktadır. Avrasya ve Arabistan levhalarının K-G doğrultulu hareketleri nedeni ile Maastrihtiyen’de Tetis okyanusunun kapanmaya başlamıştır. Tortoniyen’de Lavrasya ve Afro Arabistan levhaları; Bitlis-Pütürge kenet zonu boyunca çarpışmışlardır (Sengör ve Yılmaz, 1981). Büyük levha hareketliliği sonucunda Tuz Gölü havzası Geç Kretase- Kuvaterner aralığında K-G yönlü sıkışmaların ve D-B yönlü gerilmelerin etkisi altında kalmıştır (Akıl, 2008; Arıkan, 1975).

Geç Kretase’de tansiyonel hareketlerin etkisinde oluşumu başlayan Tuz Gölü havzası Eosen döneminin ortasına kadar gerilmeli rejim etkisinde kalmıştır. Geç Eosen itibari ile sıkışmalı rejim etkisi altına girerek havza sığlaşmış ve denizsel ortamdan izole olamaya başlamıştır (Ö.Ç.K.K.B., 2010). Geç Eosen-Oligosen’de meydana gelen yükselme ve aşınma mekanizmasını takiben Erken-Orta Miyosen’de Orta Anadolu’da geniş bir depo havzası oluşmuştur. Tuz Gölü havzasında Miyosen-Erken Pliyosen’de meydana gelen aşınma ve birikim mekanizması tektonizma ve iklimin morfoloji üzerindeki etkisini etkin bir şekilde yansıtmaktadır.



Şekil 3.7 Tuz Gölü havzası ve çevresinin genelleştirilmiş haritası (Görür, 1984 ve Akıl, 2008'den değiştirilerek)

Geç-Miyosen’de havzanın şekillenmesinde önemli rolü olan “Tuz Gölü Fay Zonu”, “Eskişehir-Sultanhanı fay sistemi” ve bu fayların gelişimine paralel oluşmuş diğer fayların aktifleşmesi fay kontrollü havzaların gelişmesine sebep olmuştur (Ö.Ç.K.K.B., 2010). Pliyosen’de Tuz Gölü havzası, fayların aktivitesinden kaynaklı gelişimini sürdürmüştür.

Tuz Gölü havzasının tektonik gelişimi literatürde paleotektonik ve neotektonik dönem olarak ayrılarak incelenmiştir. Çalışmalara bakıldığında Paleotektonik dönem gelişimi üzerine farklı görüşler ortaya çıkmıştır. Görüşlerden birisi “Tuz Gölü havzasının bir yay önü havza olarak geliştiği” (Görür, Tüysüz, ve Şengör, 1998), diğeri ise “

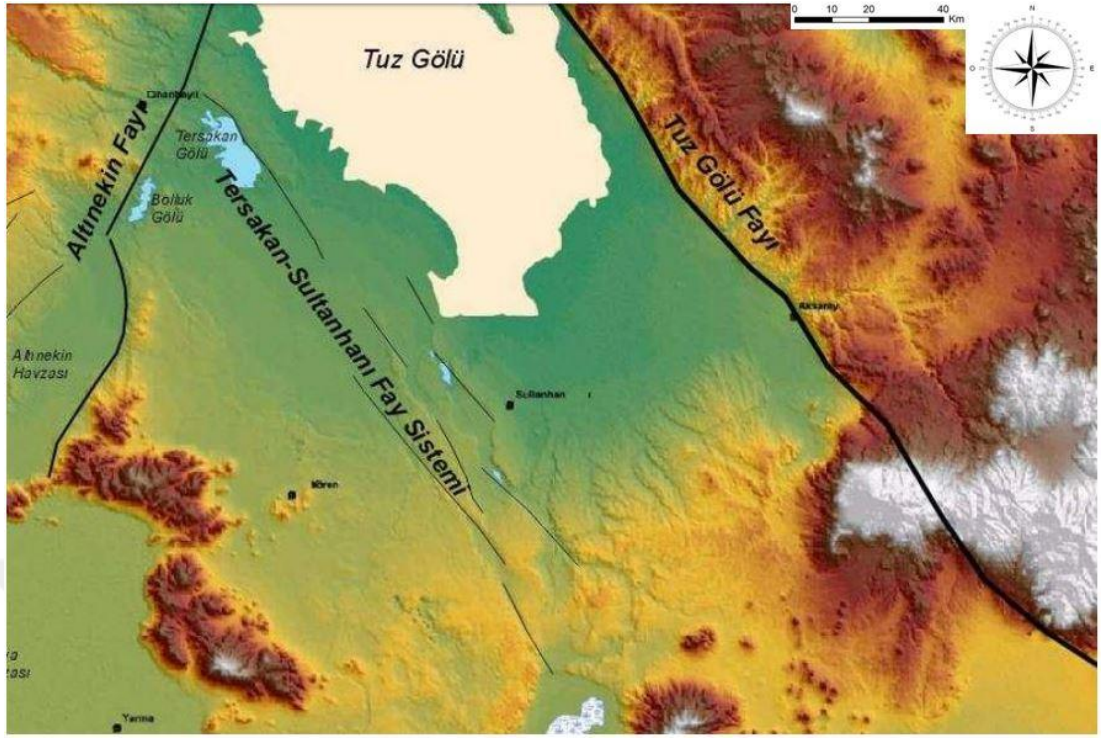
Havzanın D-B gerilme rejimi etkisinde K-G doğrultulu graben niteliğinde” olduğudur (Çemen vd., 1999; Uygun, 1981).

İlk görüşe göre; Neotetisin, Kırşehir masifi, İzmir-Ankara- Erzincan kenet zonu ve Toros Platformu arasında okyanusu temsil eden kolları mevcuttu. Kapanma süresinde bu okyanus kollarının; bağımsız kıta parçaları arasındaki bölgelerde Tuz Gölü, Haymana, Çankırı ve Kırıkkale havzalarının okyanus çukuru ile ada yayları arasında gelişim gösterdiği savunulmuştur (Görür vd., 1998). Ayrıca aynı çalışma içerisinde; Tuz Gölü havzasının KB sınırını çevreleyen Samsam yükseliminin bu kapanım esnasında kıtaların çarpışması sonucu meydana geldiği ve havzaları birbirinden ayırdığı öne sürülmüştür (Görür vd., 1998).

İkinci görüşte ise; Literatüre bakıldığında Şereflikoçhisar-Aksaray fayı, Şereflikoçhisar fayı, Tuz Gölü fay zonu olarak adlandırılmıştır (Arıkan, 1975; Güncüoğlu vd., 1996; Oktay ve Delaloğlu, 1987). Tuz Gölü fayı ile aynı doğrultuda fakat havzayı doğu bölgesinden sınırlandıran farklı bir fayın mevcut olduğu öne sürülmüştür (Çemen vd., 1999; Uygun, 1981). İlk zamanlarda normal fay özelliği gösteren bu yapının zaman içerisinde doğrultu atım şeklinde karakterize olarak gelişimini devam ettirmiştir (Çemen vd., 1999; Derman vd., 2003). Karasal çökellerin Geç Eosen-Oligosende ortaya çıkmaları, Geç Miyosen dönemine kadar süregelen sıkışmalı rejim olduğu kanaatine varılmıştır (Çemen vd., 1999; Derman vd., 2003).

Tektonik faaliyetler Geç Miyosen sonrası daha sakin hale bürünmüştür. Normal fayların etkisi altında Gölsel birimleri temsil eden çökellerin istiflenebileceği ortama izin vermiştir (Gürbüz, 2012).

Tuz Gölü havzası ve çalışma alanını gelişiminde en önemli yapısal unsurlar; “Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ) ve Tersakan-Sultanhanı Fay Sistemidir”.



Şekil 3.8 TGFZ ve Tersaka-Sultanhanı Fay Sistemi (Gürbüz, 2010)

3.1.3.1 Tuz gölü fay zonu (TGFZ)

Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ); çalışma alanının doğu kesimini sınırlayan niteliktedir. Tuz Gölü'nün kuzeyinden başlayıp Niğde'ye kadar devam eden, 5-25 km genişliğinde, K 25-60 doğrultusunda ve 190-200 km uzunluğunda bir yapıdır. Horst-Graben yapısına sahip basamaklı paralel fay setlerinden oluşmuştur (Kürçer, 2012). TGFZ'nin güney kısmında Hasandağı bulunduğu için fay zonuna paralel traverten oluşumları, fay kontrolünde meydana gelmiş teras oluşumları, lav akıntıları mevcuttur (Göncüoğlu, 1986; Kavurmacı, 2010; Ö.Ç.K.K.B., 2010).

TGFZ'nin oluşum yaşı ve şekli ile ilgili farklı görüşler mevcuttur. Bir çalışmada fayın gelişim karakterinin “yüksek açılı ters fay” olarak geliştiği ifade edilmiştir (Sengor, Gorur, ve Saroglu, 1985). Başka bir çalışmada fayın ilk başta normal bir fay olarak oluşumunun başladığı, Eosen zamanında sol yönlü doğrultu atımlı fay karakteri kazandığı, sonraki süreçte tekrar normal bir fay haline döndüğü ileri sürmüştür(Derman, Rojay, Güney, ve Yıldız, 2000). Bir diğer çalışmada; TGFZ'nin neotektonik dönemde “yüksek açılı normal fay bileşenli sağ-yanal doğrultu atımlı fay”

olarak değerlendirilmiştir (Çemen vd., 1999; Dirik ve Güncüoğlu, 1996). Yakın zamanda yapılan çalışmada ise TGFZ'nin K25-60B doğrultulu, 65-85 GB eğimli, düşük oranda “sağ-yanal doğrultu atımlı” yapıya sahip, yüzey bölgelerde yüksek açılı normal faylardan oluşmuş bir zon olduğunu belirtmektedir (Kürçer, Gökten, ve Yeleser, 2012).

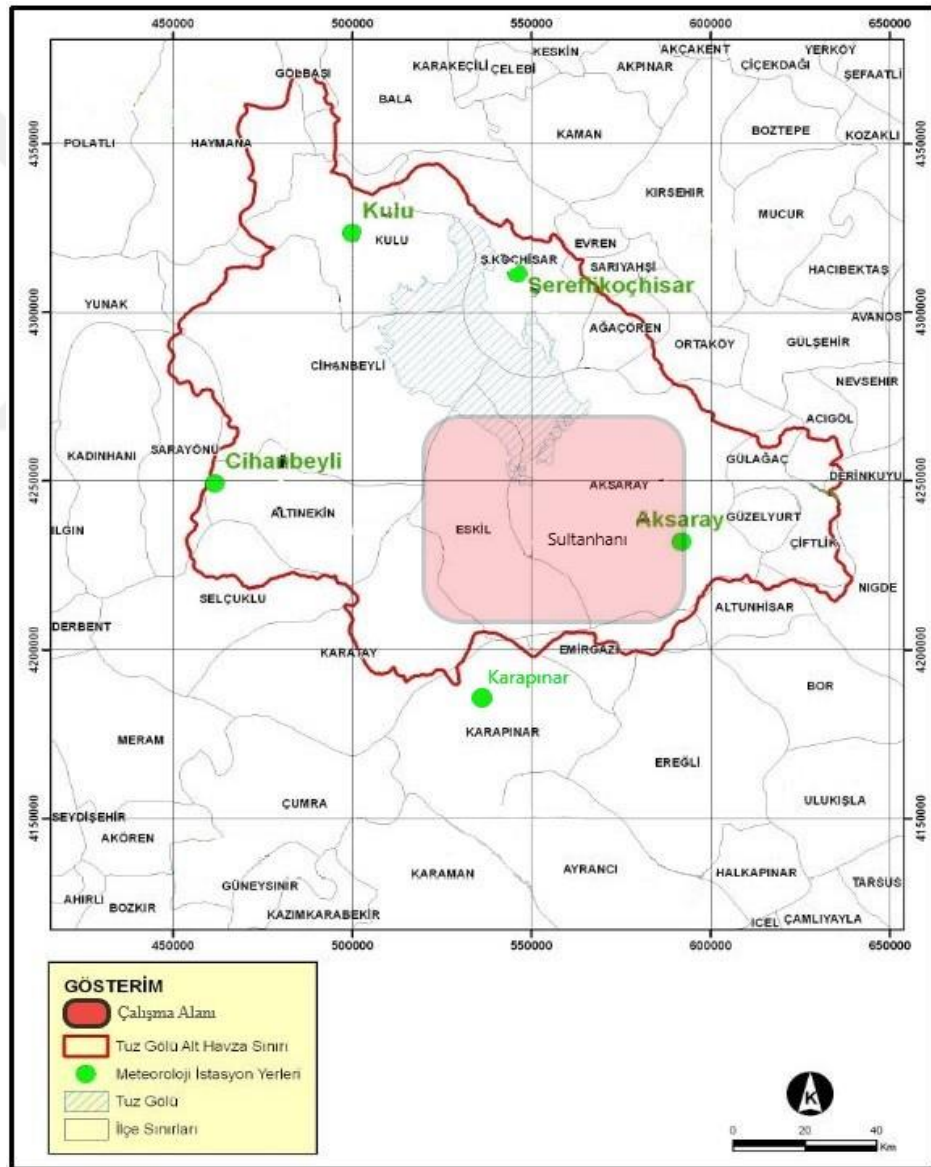
3.1.3.2 Tersakan-Sultanhanı fay sistemi

Tuz Gölü havzasının orta bölgesinde Tuz Gölü'nün güney-batı bölgesine yakın gölsel alanların yer kapladığı kısımda bulunan morfolojik çizgisellikler literatüre bakıldığında araştırmacıların dikkatini çektiği görülmüştür (Dirik ve Güncüoğlu, 1996; Erol, 1969; Koçyiğit, 1991; Ünal vd., 1976; Uygun, 1981). Bir fay sistemi olarak değerlendirilmesi sonraki çalışmalarda gerçekleşmiştir (Akıl, 2008; Dirik ve Erol, 2003; Özsayın ve Dirik, 2007, 2011). Çalışmalarda “Eskişehir- Sultanhanı veya İnönü-Eskişehir Fay zone” olarak incelenmiştir. Bu çizgisellikler bahsi geçen kırık zonlarının bir devamı niteliğinde olup Sultanhanı ilçesine kadar devam eder. Eskişehir Fay zoneunun Cihanbeyli civarında ki doğrultusu ile Sultanhanı civarındaki doğrultusu farklılık gösterdiği için “Tersakan-Sultanhanı Fay Sistemi” olarak ifade edilmiştir (Gülbüz, 2012). TGFZ ile paralellik gösteren Tersakan-Sultanhanı Fay Sistemi, topoğrafik haritalar ve uydu görüntülerinde net bir şekilde ayırt edilmektedir. Paralel iki yapının arasında kalan alan çalışma alanını temsil etmektedir. Bu çizgisel fay sistemini en kuzey ucunda Tersakan Gölü bulunmaktadır.

3.2 Bölgenin Hidrolojik Özellikleri

Bu başlık altında inceleme alanının sahip olduğu iklim özelliklerinin etkisi ile uzun yıllar kayıt altına alınmış meteorolojik veriler analiz edilmiştir. Verilerin ışığında hidrolik sistemi etkileyebilecek hidrolojik özellikler hakkında bilgilere ulaşılmıştır.

İnceleme alanını temsil edecek nitelikte Aksaray, Cihanbeyli, Şereflikoçhisar ve Kulu Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından alınan, 1970-2021 yıllarına ait 51 yıllık veriler analiz edilerek hidrolojik ve yeraltı suyu bilançoları hazırlanmıştır.



Şekil 3.9 Çalışma alanı çevresinde mevcut olan MGİ istasyonları

Çalışma alanına düşen ortalama yağış miktarının analizinde aritmetik ortalama ve eş yağış eğrileri (İsohyet) yöntemleri, yıllık dönemde gerçekleşen buharlaşma-terleme miktarı analizinde ise Thornhtwaite ve Penman yöntemi kullanılmıştır.

3.2.1 Yağış verilerinin değerlendirilmesi

Bir havza içerisine düşen yağış, buharlaşarak atmosfere geri döner veya süzülerek yeraltı suyuna ulaşır ve hareket ederek kısa sürede denize ulaşır. Yağış Akiferlerin yeraltı suyu potansiyelini doğrudan etkilemektedir. Akiferlerin beslenme periyodu yağışlar ile ilişkilidir. Boşalım periyodu ise Akiferlerin tipi, depolama, iletkenlik ve geçirgenlik özellikleri bağlantılıdır.

Çalışma alanı içerisinde mevcut kullanım sularının neredeyse tamamı yeraltı sularından sağlanmaktadır. Bu nedenle Akiferlerin tuttuğu su miktarı ve buna bağlı yeraltı su seviyesi yıllık yağışlara bağlı olarak değişim göstermektedir.

İnceleme alanı içerisine düşen alansal yağışı hesaplayabilmek için T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından işletilmeye devam eden Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından (M.G.İ.) elde edilen veriler kullanılmıştır.

Alansal yağışı sağlıklı bir şekilde hesaplayabilmek için çalışma alanını çevreler nitelikteki ve uzun yıllar ölçüm yapmış ve yapmaya devam eden 5 adet istasyon seçilmiştir.

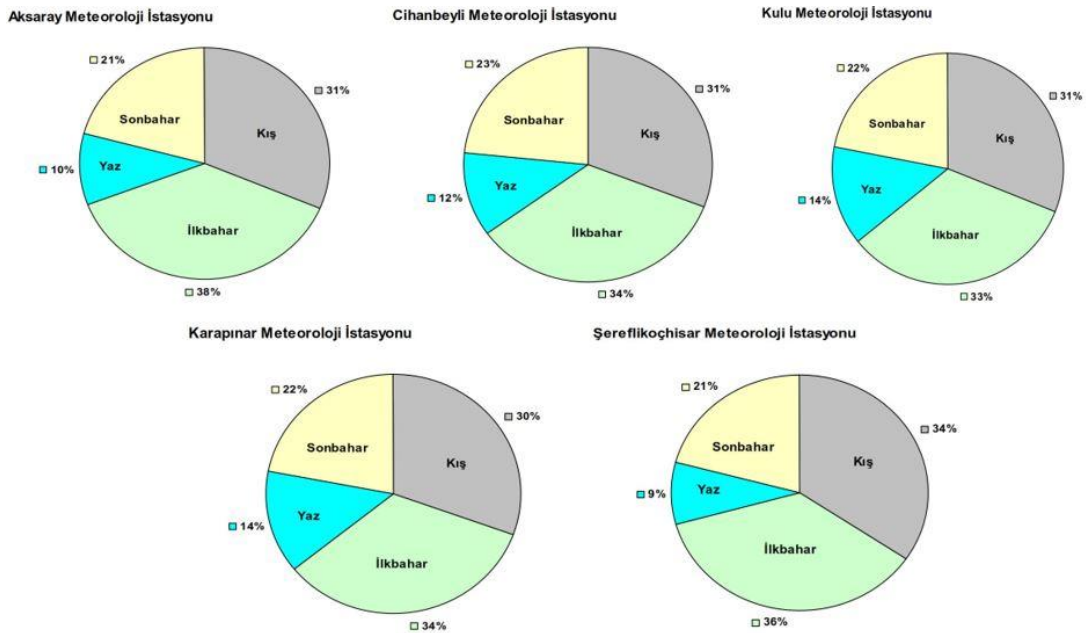
Tablo 3.1 İnceleme alanı ve evresindeki M.G.İ.'lerden toplanan yağış verileri

M.G.İ.(İstasyon adı)	İstasyon No	R(m)	T(yıl)	$\Sigma Port(mm)$	$\Sigma Pmax(mm)$	$\Sigma Pmin(mm)$
Aksaray	DMİ 17192	970	1970-2021	345,49	506,20(1987)	228,80(1984)
Cihanbeyli	DMİ 17191	973	1970-2021	321,17	499,81(1988)	184,60(1993)
Karapınar	DMİ 17902	996	1970-2021	290,00	422,80(2019)	171,60(2004)
Kulu	DMİ 17754	1005	1970-2021	381,57	733,60(1970)	219,30(1973)
Şereflikoçhisar	DMİ 17731	975	2007-2021	281,71	432,10(2011)	234,30(2008)

M.G.İ.: Meteoroloji Gözlem İstasyonu, **R:** Topografik Yükseklik, **T:** Ölçülen veri aralığı, **$\Sigma Port(mm)$:** Yıllık ortalama toplam yağış, **$\Sigma Pmax (mm)$:** Yıllık maksimum toplam yağış, **$\Sigma Pmin (mm)$:** Yıllık minimum toplam yağış

İncelme alanına düşen alansal yağışı hesaplamak için değerlendirmeye alınan istasyon verilerine bakıldığında Aksaray, Cihanbeyli, Karapınar, Kulu, Şereflikoçhisar istasyonları için ölçülen ortalama yıllık yağış miktarları sırası ile 345,49 mm, 321,17 mm, 290,00 mm, 381,57 mm, 281,71 mm olarak ölçülmüştür. Aynı 5 istasyona ait yıllık maksimumum toplam yağış verileri sırası ile 506,20 mm (1987), 499,81 mm (1987), 422,80 mm (2019), 733,60 mm (1970), 432,10 mm (2011) şeklinde ölçülmüştür. Ayrıca yıllık minimum toplam yağış verileri ise; 228,80 mm (1984), 184,60 mm (1993) 171,60 mm (2004) 219,30 mm (1973), 234,30 mm (2008) şeklinde ölçülmüştür. Değerlendirmeye alınan 5 istasyonun yıllık ortalama yağış değerleri 281,71 – 381,57 mm arasında değiştiği gözlenmiştir. Uzun dönemlik yıllık ortalama yağış değerlerinin aritmetik ortalama yöntemi ile hesaplanması sonucu 323,98 mm değeri ortaya çıkmıştır.

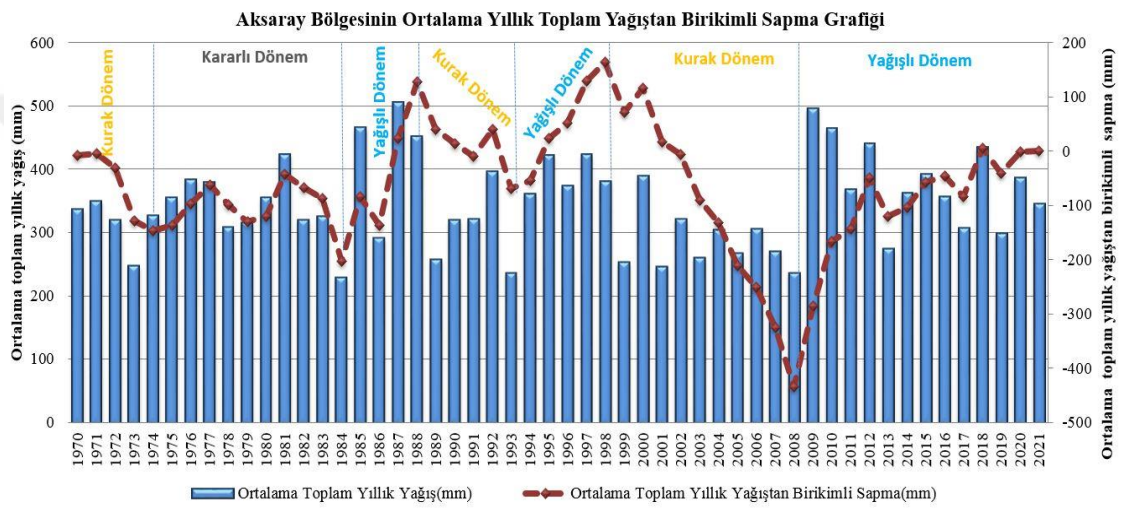
Yağış analizini gerçekleştirebilmek için çalışma alanı çevresinden seçilen 5 istasyondan Şereflikoçhisar istasyonunun 2007 yılında ölçümlere başladığı için 2007-2021 yılları arası ölçümler değerlendirmeye alınmıştır. Diğer 4 istasyondan alınan 1970-2021 yılları arasındaki döneme bakıldığında 2000’li yıllardan sonra gerçekleşen yağışlarda %10-15 oranında yağışlarda azalma gözlenmiştir.



Şekil 3.10. İnceleme alanı çevresindeki M.G.İ.'da gözlenen yağışların mevsimlik dağılımı

Yağışın aylara göre değişim karakteristiğine bakıldığında 5 istasyon için en fazla yağışın Aralık, Mart, Nisan, Mayıs aylarında, en az yağışın ise Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında gerçekleştiği sonucu çıkarılmıştır. İstasyonların mevsimlere göre yağış diyagramları oluşturulmuştur.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde belirlediğimiz 5 istasyonun 50 yıllık yağış verileri kullanılarak yıllık ortalama toplam yağıştan birikimli eklenik sapma grafikleri elde edilmiş ve 50 yıllık dönemdeki kurak ve yağışlı dönemler analiz edilmiştir.

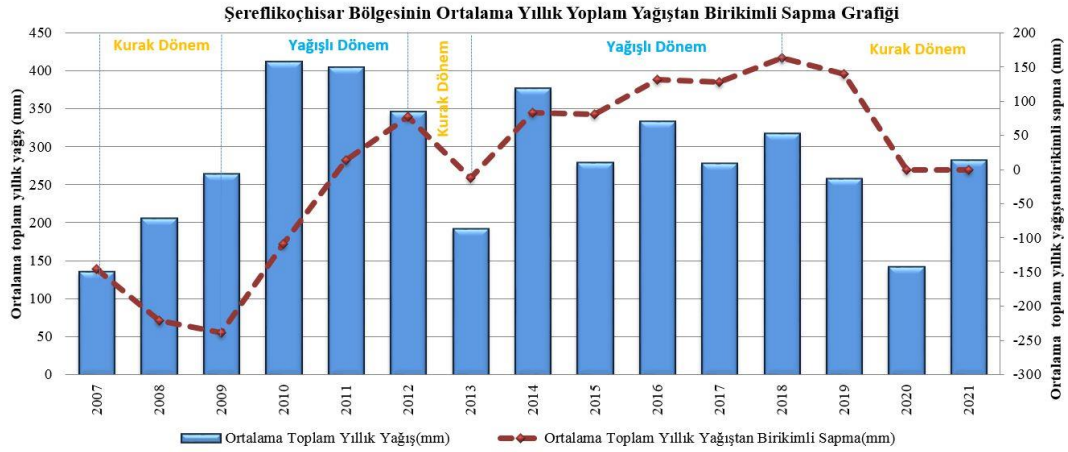


Şekil 3.11 Aksaray M.G.İ.'nin ortalama yıllık yağıştan (1970-2021) birikimli eklenik sapma grafiği

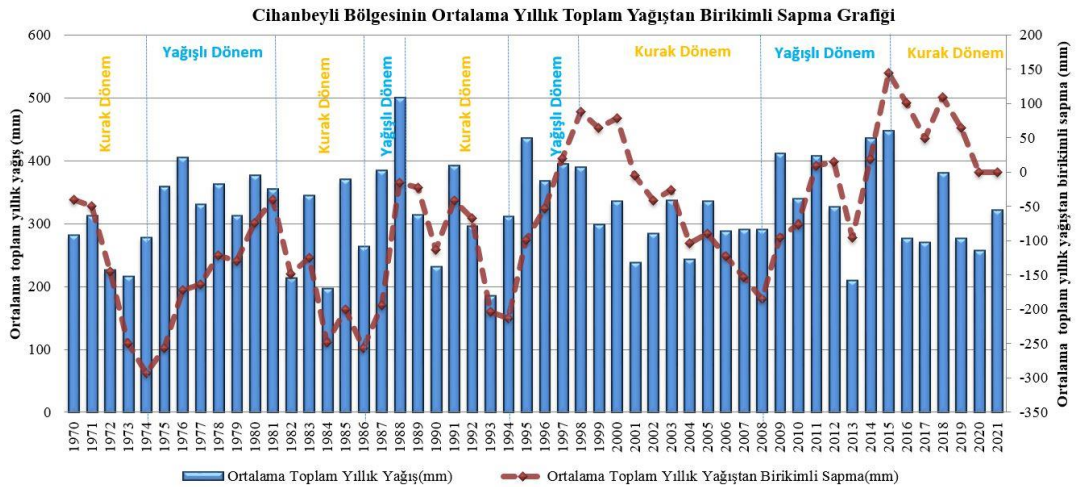
Aksaray bölgesini temsil eden M.G.İ.'nin kayıt altına aldığı 1970-2021 yılları arasındaki 51 yıllık yağış değerlerinin ortalaması ve yıllık ortalama toplam yağıştan birikimli eklenik sapma grafiği oluşturulmuştur. Grafik incelendiğinde 1970-1974 yılları arasında 4 yıl, 1988-1993 yılları arasında 5 yıllık dönem, 1998-2008 yılları arasında 10 yıllık dönemlerde yağış miktarındaki düşüş sebebi ile kurak dönemler yaşanmıştır. Özellikle birikimli eklenik sapma grafiğine bakıldığında 2006-2008 yılları arasında en düşük seviyeleri gördüğü ortaya çıkmaktadır. Yağışlı dönemler incelendiğinde ise; 1974-1984 yıllarında yağışlar belirli bir seviyede devam ettiği için kararlı bir dönem geçilmiş devamında 1984-1988 yılları arasındaki 4 yılda ve yağış artışı sebebi ile yağışlı bir dönem yaşanmıştır. Sürecin devamında incelediğimiz 50 yıl içerisinde en uzun kurak dönem 1988-2008 yılları arasındaki 10 yıllık dönemde yaşanmıştır. En kurak dönemin sonrasında yağışların nispeten artması sebebi ile

2008'den günümüze kadar geçen zamanda grafiğe bakıldığında yağışlı bir dönem içerisindeyiz.

Şereflikoçhisar bölgesine ait M.G.İ. kayıtlarına göre 2007-2021 yılları arasındaki 14 yıllık yağış verilerinin ortalaması ve yıllık ortalama toplam yağıştan birikimli eklenik sapma grafiği oluşturulmuştur. İnceleme sonucunda 2007-2009,2012-2013,2018-2020-2021 yılları aralığında bölgeye düşen yağışın azalması neticesinde kurak dönem özelliği göstermiştir. Bölgeye düşen yağışın miktarının yükseldiği ve yağışlı dönem özelliği gösterdiği aralık ise 2009-2012, 2013-2018 yılları arasındadır. İncelemeye alınan yıllar içerisinde birikimli eklenik sapma değerinin en düşük olduğu zaman 2009 en yüksek olduğu zaman ise 2018 senesidir.

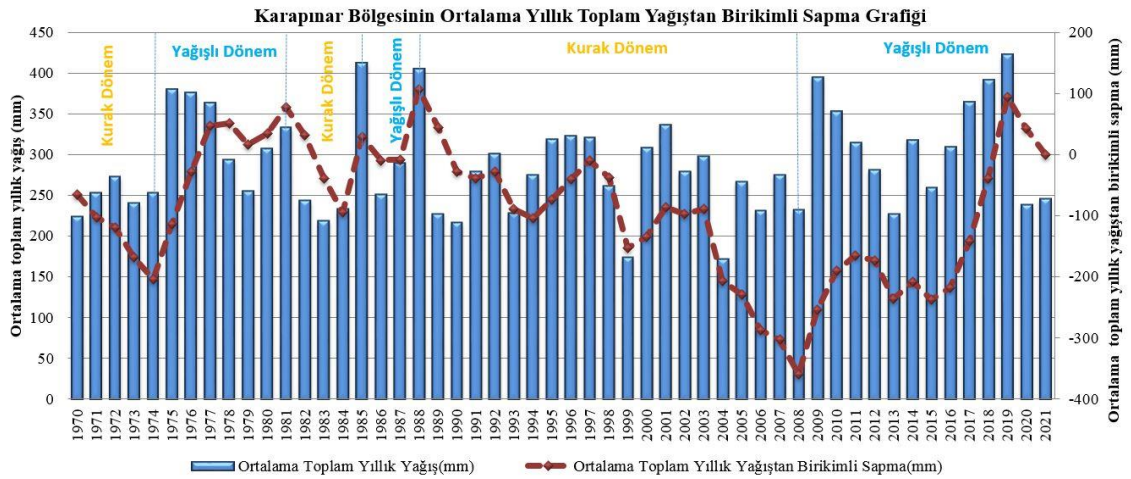


Şekil 3.12 Şereflikoçhisar M.G.İ.'nin ortalama yıllık yağıştan (2007-2020) birikimli eklenik sapma grafiği



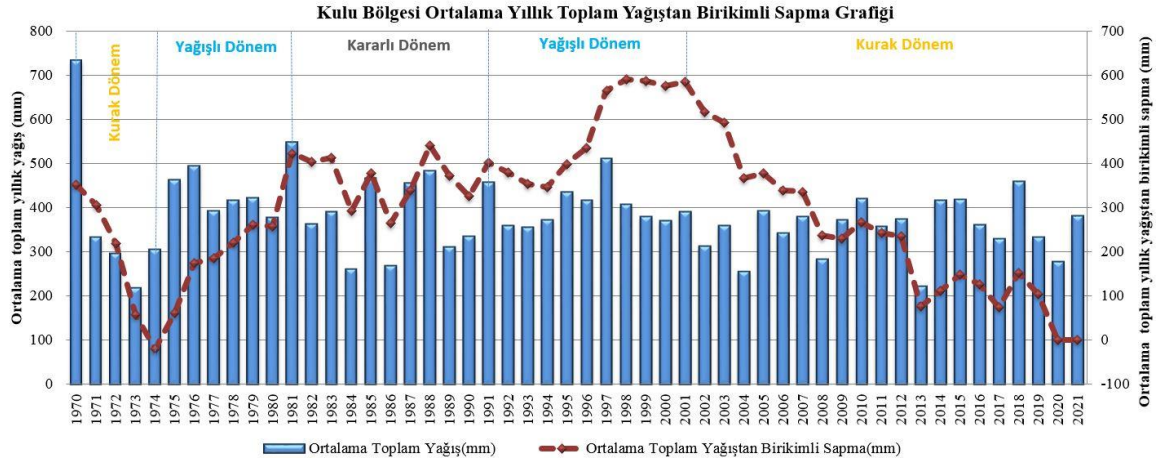
Şekil 3.13 Cihanbeyli M.G.İ.'nin ortalama yıllık yağıştan (1970-2021) birikimli eklenik sapma grafiği

Cihanbeyli bölgesini temsil eden M.G.İ.'nin kayıt altına aldığı 1970-2021 yılları arasındaki 51 yıllık yağış değerlerinin ortalaması ve yıllık ortalama toplam yağıştan birikimli eklenik sapma grafiği oluşturulmuştur. Grafik incelendiğinde 1970-1974 yılları arasında 4 yıllık dönem, 1981-1986 yılları arasında 5 yıllık dönem, 1988-1994 yılları arasında 6 yıllık dönem, 1998-2008 yılları arasındaki 10 yıllık dönem, 2015-2021 yılları arasındaki 6 yıllık dönemlerde yağış miktarındaki düşüş sebebi ile kurak dönem özelliği göstermiştir. Özellikle birikimli eklenik sapma grafiğine bakıldığında 1981-1986 yılları arasında yağışlarda meydana gelen düşüş nedeni ile en düşük seviyeleri gördüğü ortaya çıkmaktadır. Yağışlı dönemler incelendiğinde ise; 1974-1981 yılları arasındaki 7 yıl, 1986-1988 yılları arasındaki 2 yıl, 1994-1998 yılları arasındaki 4 yıl ve 2008-2015 yılları arasındaki 7 yıl aralıklarında bölgeyi etkileyecek nitelikteki yağış artışı sebebi ile yağışlı bir dönem yaşanmıştır.



Şekil 3.14 Karapınar M.G.İ.'nin ortalama yıllık yağıştan (1970-2021) birikimli eklenik sapma grafiği

Karapınar bölgesine ait M.G.İ. kayıtlarına göre 1970-2021 yılları arasındaki 50 yıllık yağış verilerinin ortalaması ve yıllık ortalama toplam yağıştan birikimli eklenik sapma grafiği oluşturulmuştur. İnceleme sonucunda 1970-1974, 1981-1984, 1988-2008 yılları aralığında bölgeye düşen yağışın azalması neticesinde kurak dönem özelliği göstermiştir. Bölgeye düşen yağışın miktarının yükseldiği ve yağışlı dönem özelliği gösterdiği aralık ise 1974-1981, 1984-1988, 2008-2021 yılları arasındadır. İncelemeye alınan yıllar içerisinde birikimli eklenik sapma değerinin en düşük olduğu zaman 2008 en yüksek olduğu zaman ise 1988 ve 2019 seneleridir.

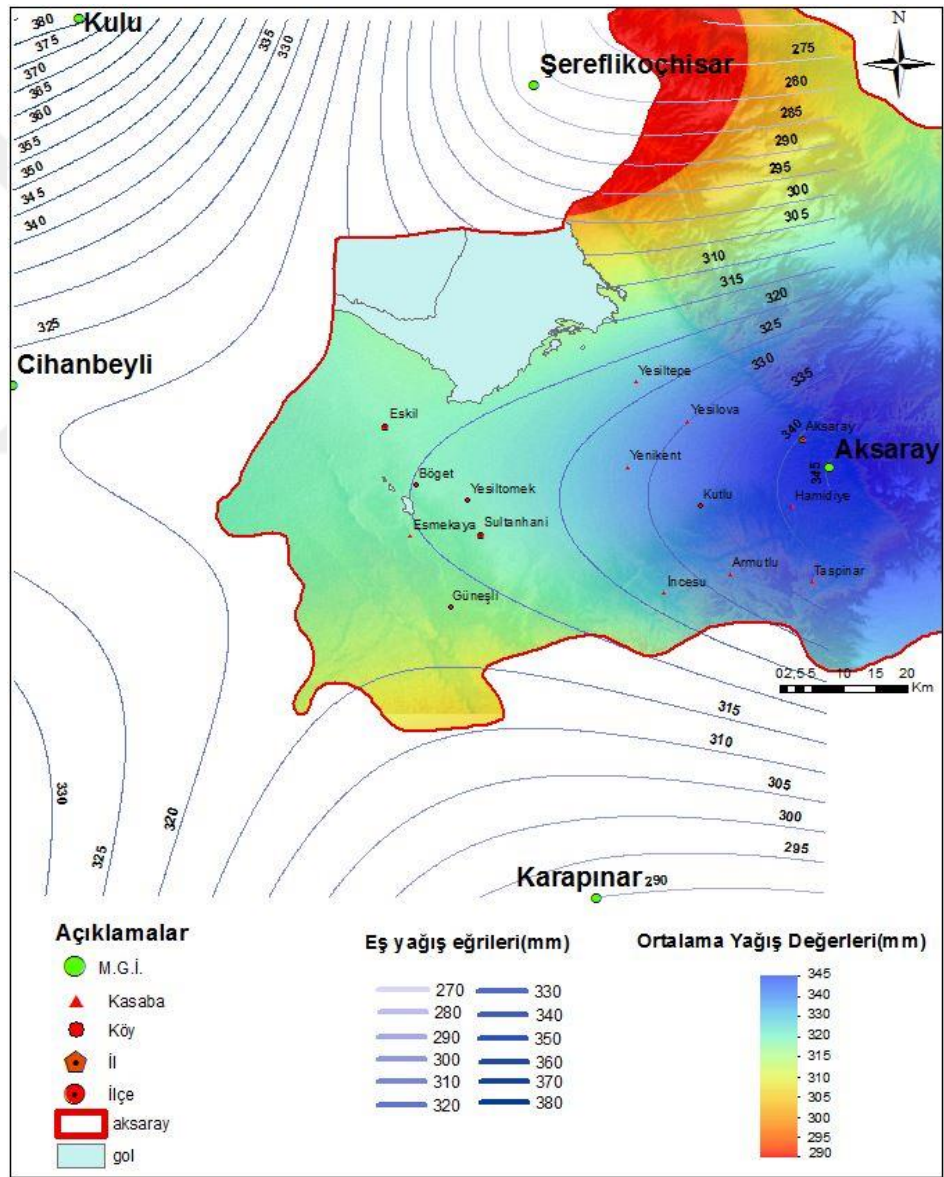


Şekil 3.15 Kulu M.G.İ.'nin ortalama yıllık yağıştan (1970-2021) birikimli eklenik sapma grafiği

Kulu bölgesini temsil eden M.G.İ.'nin kayıt altına aldığı 1970-2021 yılları arasındaki 51 yıllık yağış değerlerinin ortalaması ve yıllık ortalama toplam yağıştan birikimli eklenik sapma grafiği oluşturulmuştur. Grafik incelendiğinde 1970-1974 yılları arasında 4 yıllık dönem ve 2001-2021 yılları arasında 20 yıllık dönemlerde yağış miktarındaki düşüş sebebi ile kurak dönem özelliği göstermiştir. Özellikle birikimli eklenik sapma grafiğine bakıldığında 1970-1974 yılları arasında yağışlarda meydana gelen düşüş nedeni ile en düşük seviyeleri gördüğü ortaya çıkmaktadır. Yağışlı dönemler incelendiğinde ise; 1974-1981 yılları arasında 7 yıllık yağışlı bir dönem geçilmiş ardından, 1981-1991 yılları arasında yağışlar belirli bir seviyede devam ettiği için kararlı bir dönem geçilmiştir. 1974-1981 yılları arasındaki 7 yıl ve 1991-2001 yılları arasındaki 10 yıl aralıklarında bölgeyi etkileyecek nitelikteki yağış artışı sebebi ile yağışlı bir dönemler yaşanmıştır.

İnceleme alanını çevreleyen 5 M.G.İ.'nden elde edilen veriler ile oluşturulmuş olan yıllık ortalama yağıştan birikimli eklenik sapma grafiklerine bakıldığında kurak 51 yıllık dönemde kurak dönemlerin yağışlı dönemlere oranla baskın olduğu sonucu çıkarılmıştır. Özellikle 2000-2008 yılları aralığında yağışlarda ciddi derecede düşüş olduğu ve birikimli eklenik sapma grafiklerinde bu zaman aralığında ciddi düşüşlerin meydana geldiği ve kurak dönemlerin yaşandığı gözlenmiştir. Yıllık toplam yağışlar incelemeye alındığında 1981-1988-2010-2015-2018 yılları en fazla yağışın geliştiği yıllar olarak gözlenmiştir.

İnceleme alanı içerisinde uzun yıl periyoduna dayanan yağış ölçüm değerlerinin aritmetik ortalama yöntemine göre değeri 323,98 mm olarak hesaplanmıştır. Alan içerisine düşen yağış miktarının istasyonlarda ölçülen değerler ile bağlantısının kurularak eş yağış eğrisi ve IDW interpolasyon yöntemi kullanılarak yağış haritası oluşturulmuştur. Yağış haritası ve eş yağış eğrisi haritası oluşturulurken M.G.İ. istasyonlarından elde ettiğimiz ve hesaplamalarını yapmış olduğumuz verileri ArcGIS 10.5 paket programı aracılığı ile eş yağış eğrileri ve toplam yıllık yağış haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.17.)



Şekil 3.16 Çalışma alanı ve çevresine ait IDW interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş toplam yıllık yağış ve eş yağış eğrileri haritası

3.2.2 Sıcaklık verilerinin değerlendirilmesi

Çalışma alanı ve çevresindeki sıcaklık verilerinin değerlendirilmesi; yağışla beslenen ve buharlaşma ile su çıkışının olduğu kapalı sistemlerde önemli bir veri kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Sıcaklık analizini yapmak için yağış verilerini elde ettiğimiz M.G.İ.'lerinin uzun yıllar ölçmüş olduğu sıcaklık verilerinden faydalanmış bulunmaktayız. Çalışma alanını temsil etmesi açısından 5 istasyona ait uzun süreli kayıt edilmiş sıcaklık verileri değerlendirilmiştir. Sıcaklık verilerinin M.G.İ.'lerine göre ayırt edilmiş hali tabloda verilmiştir.

Tablo 3.2 Çalışma alanı çevresindeki M.G.İ.'lerine ait sıcaklık verileri

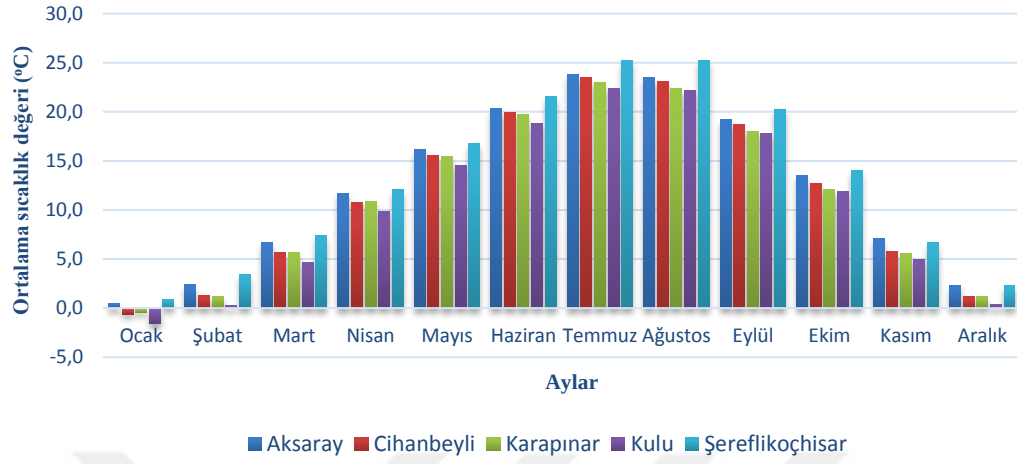
MGİ(İstasyon adı)	İstasyon No	R(m)	T(yıl)	Sort(°C)	Sortmax.(°C)	Sortmin.(°C)
Aksaray	DMİ 17192	970	1970-2021	12,3	23,9(Temmuz)	0,5(Ocak)
Cihanbeyli	DMİ 17191	973	1970-2021	11,5	23,5(Temmuz)	-0,6(Ocak)
Karapınar	DMİ 17902	996	1970-2021	11,2	23,0(Temmuz)	-0,4(Ocak)
Kulu	DMİ 17754	1005	1970-2021	10,5	22,4(Temmuz)	-1,6(Ocak)
Şereflikoçhisar	DMİ 17731	975	2007-2021	13,0	25,3(Temmuz)	0,9(Ocak)

Sort: Yıllık ortalama sıcaklık, **Sortmax:** Aylık ortalama en yüksek sıcaklık değeri, **Sortmin:** Aylık ortalama en düşük sıcaklık değeri, **T:** Değerlendirmeye alınan veri aralığı, **R:** İstasyonun topoğrafik yüksekliği

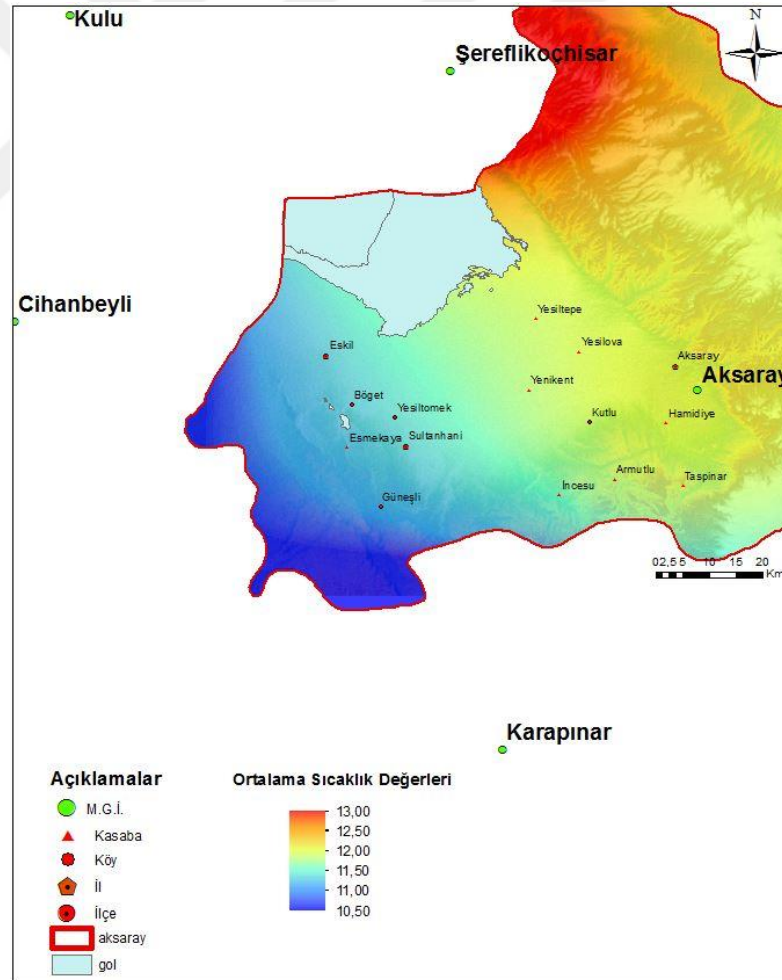
Çalışma alanı ve çevresini temsil edecek nitelikte seçilmiş 5 istasyonun 51 yıllık sıcaklık verileri değerlendirilmiştir. Ölçüm periyodu içerisinde yıllık ortalama sıcaklık değerleri 10,5 °C ile 13,0 °C aralığında değişim göstermiştir. Aritmetik ortalama yöntemi ile hesaplandığında yıllık ortalama sıcaklık değeri 11,7°C olduğu tespit edilmiştir. Aylık ortalama sıcaklık verilerine bakıldığında seçmiş olduğumuz 5 istasyon için ölçülen en yüksek sıcaklık değeri Temmuz ayında ölçülmüştür. Aylık ortalama en düşük sıcaklık verilerine bakıldığında ise en düşük sıcaklığın Ocak ayında gerçekleştiği gözlenmiştir. Değerlendirmeye aldığımız M.G.İ.'leri içerisinde aylık ortalama en düşük sıcaklık -1,6°C ile Kulu istasyonunda, aylık ortalama en yüksek sıcaklık ise 25,3°C ile Şereflikoçhisar istasyonunda ölçülmüştür.

Çalışma alanı ve çevresindeki sıcaklık dağılımlarını daha net anlayabilmemiz için ortalama sıcaklık değerleri grafiği ve IDW İnterpolasyon yöntemi kullanılarak ortalama sıcaklık dağılım haritası oluşturulmuş (Şekil 3.17., Şekil 3.18.).

Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından (M.G.İ) ölçülen aylık ortalama sıcaklık değerleri (1970-2021)



Şekil 3.17 Aylık ortalama sıcaklık değerleri(1970-2021)



Şekil 3.18 Çalışma alanı ve çevresine ait IDW yöntemi ile hazırlanmış yıllık ortalama sıcaklık haritası

3.2.3 Buharlaşma verilerinin değerlendirilmesi

Çalışma alanı ve çevresinin mevcut iklim özelliklerinin incelenmesi kapsamında DMI(Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü)'ye ait ölçüm yapmaya devam eden MGI.'larından sıcaklık ve yağış verilerinin alındığı 5 istasyon değerlendirmeye alınmıştır. İstasyonlarda ölçülmüş olan 1970-2021 yıllarına ait açık yüzey buharlaşma verileri değerlendirmeye alınmıştır. Çalışma alanını temsil edecek nitelikte 5 istasyonun açık yüzey buharlaşma oranı ortalama değeri 1246,25mm olarak hesaplanmıştır. İstasyonlara ait uzun yıllık dönem (1970-2021) açık yüzey buharlaşma ortalama değeri sırası ile Aksaray: 1348,29 mm, Cihanbeyli:1251,15 mm, Karapınar: 1215,59 mm, Kulu: 1247,66 mm, şereflikoçhisar: 1168,00 mm olarak hesaplanmıştır. İstasyonların uzun yıllara ait yıllık ortalama nem değerleri hesaplandığında ise Aksaray: %57,1, Cihanbeyli: % 61,1, Karapınar: %61,6, Kulu:%62,5, şereflikoçhisar: %62,3 değerlerine ulaşılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan verilerden sadece şereflikoçhisar istasyonuna ait 2007-2021 yılları arasında ölçülen veriler kullanılmıştır. Diğer istasyonlarda 1970-2021 yılları arasındaki 51 yıllık veriler kullanılmıştır. İstasyonların genelinde Aralık, Ocak, şubat, Mart aylarına ait buharlaşma verilerinin ölçülemediği gözlenmiştir.

M.G.İ.'lerden sağlanan veriler ile hesaplanmış olan yıllık ortalama açık yüzey buharlaşma oranları serbest su yüzeyinde gerçekleşen buharlaşma değerleri olduğu için çalışma alanındaki gerçek buharlaşma değerini temsil etmemektedir. Fakat su yüzeyi üzerine yapılacak hesaplamalarda kullanım açısından uygun değerdir.

Çalışmamız açısından gerekli olan gerçek buharlaşma-terleme değerinin hesaplanabilmesi için toprağın nem koşulları rezerv olarak depolanan ve kullanılan suyun hesaba katılarak sonuca ulaşılması gerekmektedir. Gerçek buharlaşma-terleme değerlerinin hesaplanması için geliştirilen yöntemler kullanılmıştır.

3.2.3.1 Thornthwaite yöntemi

Thorntwaite; potansiyel buharlaşma-terleme ifadesini bitkiler için toprakta hiçbir zaman su eksikliği olmadığı durumda meydana gelecek su kaybı olarak ifade etmiştir (Thorntwaite, 1948).

Hidrojeolojik çalışmalarda sıklıkla karşılaştığımız Thornthwaite Yöntemi bitki yoğunluğu ve bitkilerin büyüme etkisini göz ardı edip yalnızca meteorolojik koşulları göz önüne alarak Potansiyel buharlaşma-terleme (ET_p) ve Gerçek buharlaşma-terleme (ET_g) hesabı yapmamızı sağlayan yöntemdir. Yöntem uygulanırken kullanılan en önemli hesaplama faktörleri aylık ortalama hava sıcaklığı, aylık ortalama yağış değeri ve alanın bulunduğu enlem derecesidir.

İnceleme alanı ile ilgili hesaplama yapılırken seçmiş olduğumuz 5 M.G.İ.'nin ortalama değerleri kullanılmıştır.

Thornthwaite eşitlik formülü (Thorntwaite, 1948);

$$ET_p = 16 \times \left(10 \times \frac{T}{I}\right)^a \times k \quad (3.1)$$

$$I = \sum i \quad (3.2)$$

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad T > 0 \quad (3.2)$$

$$i = 0 \quad T \leq 0 \quad (3.3)$$

$$a = (6,75 * 10^{-7} x I^3) - (7,71 * 10^{-5} x I^2) + (1,79 * 10^{-2} x I) + 0,49239 \quad (3.4)$$

Şeklinde bu formül eşitliğindeki ifadeler;

ETp : Aylık Potansiyel Buharlaşma-Terleme miktarı(mm),

T : Aylık ortalama hava sıcaklığı değerini(⁰C),

I : Yıllık toplam sıcaklık indisi değeri,

i : Aylık sıcaklık indisi değeri,

k : Enlem düzeltme katsayısı, olarak açıklanmıştır.

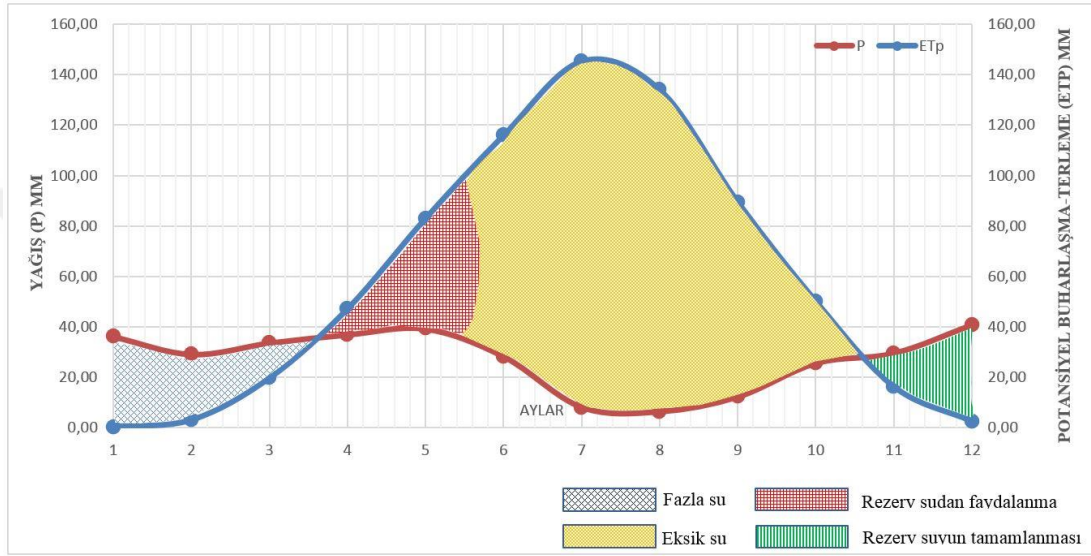
Çalışma alanını ve çevresinde belirlediğimiz 5 istasyon verilerine ait gerçekleşen aylık potansiyel buharlaşma-terleme (ETp) hesabı Thorntwaite Yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Aylık potansiyel buharlaşma-terleme(ETp) değerleri kullanılarak yıllık potansiyel buharlaşma-terleme değeri hesaplanmıştır.

Tablo 3.3 Thorntwaite Yöntemi kullanılarak M.G.İ. (1970-2020 yılları arası) istasyon verilerine göre hesaplanmış yıllık ortalama buharlaşma-terleme (ETp) değerleri

İst. Adı. Aylar	Aksaray	Karapınar	Şereflikoçhisar	Kulu	Cihanbeyli
Ocak	0,55	0,00	0,87	0,00	0,00
Şubat	4,25	2,21	5,99	0,45	2,19
Mart	21,51	19,42	22,52	16,36	18,65
Nisan	49,22	47,64	48,66	44,08	46,27
Mayıs	85,09	82,72	86,03	79,04	82,75
Haziran	117,14	113,77	124,12	109,87	115,63
Temmuz	146,22	140,52	157,22	138,51	144,39
Ağustos	134,51	127,44	147,45	127,95	132,24
Eylül	90,64	84,97	95,50	86,16	89,18
Ekim	51,96	48,14	51,82	48,02	49,50
Kasım	18,86	15,60	15,64	14,54	15,68
Aralık	3,97	2,19	3,33	0,61	1,93
ΣETp	723,93	684,63	759,15	665,57	698,41

Çalışmamız için seçmiş olduğumuz 5 nokta için hesaplanmış değerler Aksaray: 723,93 mm/yıl, Cihanbeyli: 698,41 mm/yıl, Karapınar: 684,63 mm/yıl, Kulu: 665,57 mm/yıl, Şereflikoçhisar: 759,15 mm/yıl şeklindedir.

Thorntwaite Yöntemi ile hesapladığımız aylık potansiyel buharlaşma-terleme(ETp) değerleri ile 5 M.G.İ.'nu verilerinden hesaplayarak elde ettiğimiz aylık yağış değerleri karşılaştırmalı grafik haline getirilmiştir. Grafik incelendiğin aylık süreçte yağış ve ETp'nin değişim grafiğini net bir şekilde görmemizi sağlarken yıllık süreçte sistem içerisinde gelişen su fazlası ve rezervden kullanılan su miktarını net bir şekilde görmemizi sağlamıştır.



Şekil 3.19 Çalışma alanına ait ETp-Yağış aylık değişim grafiği (Thorntwaite, 1948)'e göre

Genel itibari ile grafiğe bakıldığında yağışların devam ettiği aylarda (Ocak, Şubat, Mart, Nisan ayının yarısı, Kasım, Aralık) yağışın etkisi ile su miktarında açıklık söz konusu değildir. Nisan ayının yarısı itibari ile hava sıcaklığının artması ve yağışların azalmaya başlaması ile birlikte buharlaşma için gerekli su miktarı yağıştan karşılanamayıp toprak içerisinde mevcut nemden karşılanmıştır. Nisan ayının ortalarından Haziran ayına kadar olan dönemde yağışın buharlaşmadan az olması nedeni ile gereken su miktarı toprak rezervinden karşılanmıştır. Haziran-Ekim ayı aralığında yağışların çok düşük buharlaşmanın yüksek oluşu sebebi ile sistemde su eksikliği oluşmaya başlamıştır. Ekim ayı itibari ile yağışların tekrar artmaya başlaması ve sıcaklığın düşmesi sonucu azalan buharlaşma ile birlikte rezerv suyunda oluşan eksik tamamlanmaya başladığı gözlenmiştir.

Thorntwaite Yöntemi kullanarak oluşturduğumuz su bilançosunda sayısal olarak daha detaylı sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlara göre yıllık potansiyel buharlaşma-terleme değeri (ETp) 706,34 mm olarak hesaplanmıştır. Aylık ortalama en yüksek gerçek buharlaşma değeri 83,13 mm ile Mayıs ayında, en düşük ise 0,28 mm ile Ocak ayında meydana gelmiştir. Yıllık ortalama gerçek buharlaşma-terleme (ETg) 298,10 mm olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanının yıllık rezerv su miktarı 501,10 mm iken yıllık dönemde eksik su miktarı 408,24 mm, fazla su miktarı ise 75,80 mm olarak hesaplanmıştır. Rezerv su miktarının sıfır değerine ulaşması aylık ortalama gerçek buharlaşma değerinin en fazla olduğu ayı takip eden Haziran ayında gerçekleşmiştir.



Tablo 3.4 Çalışma alanı ve çevresinin su bilançosu (Thornthwaite Yöntemine göre hazırlanmış)

Veriler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
T (Sıcaklık)	-0,24	1,71	6,02	11,06	15,68	20,07	23,57	23,27	18,80	12,81	6,01	1,46	11,69
ETp (Potansiyel Buh.-Ter.)	0,28	3,02	19,69	47,17	83,13	116,10	145,37	133,92	89,29	49,89	16,07	2,41	706,34
P (Yağış)	36,11	29,07	33,61	36,91	39,21	28,19	8,05	6,37	12,26	25,64	29,58	40,91	325,92
P-ETp	35,83	26,06	13,92	-10,26	-43,91	-87,92	-137,32	-127,55	-77,03	-24,24	13,52	38,50	-380,42
R_{su} (Rezerv su)	100,00	100,00	100,00	89,74	45,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,52	52,02	501,10
E_{tg} (Gerçek Buh.-Ter.)	0,28	3,02	19,69	47,17	83,13	74,01	8,05	6,37	12,26	25,64	16,07	2,41	298,10
E_{su} (Eksik su mik.)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,09	137,32	127,55	77,03	24,24	0,00	0,00	408,24
F_{su} (Fazla su mik.)	35,83	26,06	13,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,80
A_{yer} (Yeraltı suyuna akış)	17,91	21,98	17,95	8,98	4,49	2,24	1,12	0,56	0,28	0,14	0,07	0,04	75,77
P-A_{yer}	18,20	7,09	15,66	27,94	34,73	25,94	6,93	5,81	11,98	25,50	29,51	40,87	250,15
N_k (Aylık ort. Nemlilik kat.)	126,50	8,64	0,71	-0,22	-0,53	-0,76	-0,94	-0,95	-0,86	-0,49	0,84	16,01	12,33

3.2.3.2 Penman yöntemi

İngiliz araştırmacı Penman tarafından 1948 yılında; kütle taşınımı ve enerji bütçesi teorilerini birleştirerek geliştirdiği yöntem buharlaşma tahmininde etkili ve güvenilir olarak kullanılmaktadır. Yönteme genel olarak bakıldığında buharlaşma hesabı yaparken yağış, sıcaklık, nisbi nem, rüzgâr hızı, güneşin sağladığı enerjinin yer kürede transferi vb. parametreleri göz önünde bulundurduğu için detaylı ve güçlü bir teorik altyapıya sahiptir. Bu nedenle pratik uygulamalarda diğer yöntemlere göre daha çok tercih edilmektedir. Penman yönteminin uygulanmasında kullanılan parametreler aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır.

$$ET_p = \frac{\Delta H + 0,27 E}{\Delta + 0,27} \quad (3.5)$$

$$H = R(1 - r)(0,18 + 0,55n/N) - B(0,56 - 0,92 \sqrt{e_a})(0,10 + 0,9 n/N) \quad (3.6)$$

$$E = 0,35(e_a - e_d)(1 + 0,0098U_2) \quad (3.7)$$

$$B = \sigma T_a^4 \quad (3.8)$$

$$e_d = R_H * e_a \quad (3.9)$$

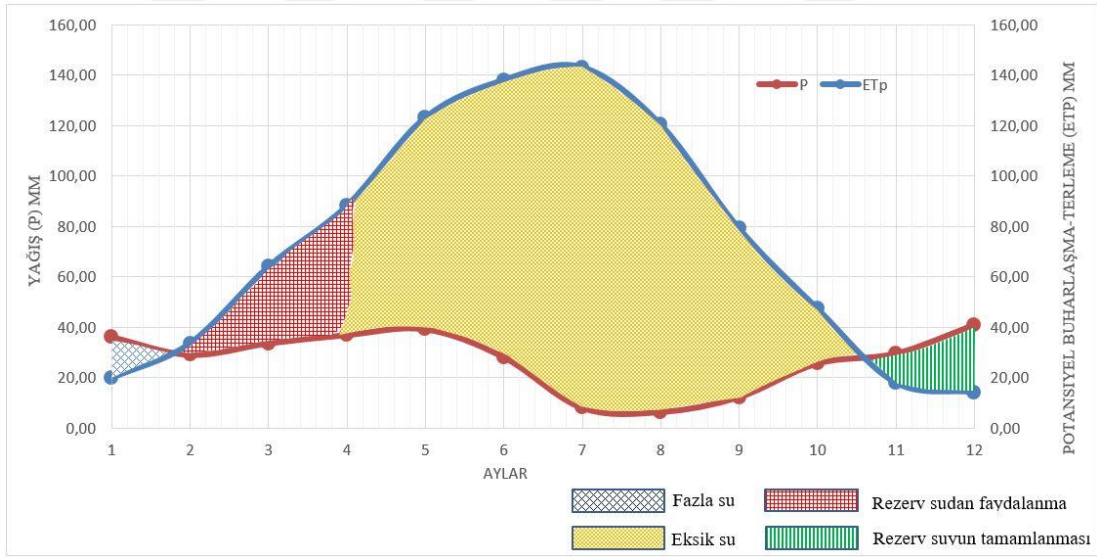
ET_p : Potansiyel buharlaşma- terleme miktarı(aylık/yıllık) (mm.su/gün)

Δ : Mutlak sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşmış su buharı ile hava sıcaklık (günlük) değeri arasındaki katsayı

H : Buharlaşma yüzeyinde kullanılan güneş enerjisi değeri (mm.su/gün)

E : Potansiyel buharlaşma (günlük)

- R : Aylık ortalama atmosfer üstü güneş enerjisi miktarı (mm.su/gün)
- r : Albedo değeri (Buharlaşmanın meydana geldiği yüzeyin yansıtma katsayısı)
- N : Ortalama maksimum güneşlenme süresi (aylık) (saat/gün)
- n : Ortalama gerçek güneşlenme süresi (aylık) (saat/gün)
- B : Boltzman katsayısı ($\sigma:2,01 \cdot 10^{-9}$ mm/gün, T_a : Sıcaklık)
- e_d : Ortalama sıcaklıkta havanın doymunluğa ulaşmış buhar basıncı (günlük)
- R_H : Aylık ortalama bağıl nem (%)
- e_a : Ortalama sıcaklık değerinde eşitlenen havanın doymun buhar basıncı (aylık)
- U_2 : Yüzeyden 2 m yükseklikte meydana gelen ortalama rüzgâr hızı (aylık) (m/s)



Şekil 3.20 Çalışma alanına ait ETp-Yağış aylık değişim grafiği (Penman, 1948)'e göre

Grafik incelendiğinde yıl içerisinde yağışın buharlaşmadan fazla olduğu aylar Ocak, Kasım ve Aralık aylarıdır. Yağışların devam ettiği aylarda (Şubat, Mart, Nisan) buharlaşmanın yağıştan fazla olduğunu ve rezervdeki suyun eksildiği görülmektedir. Yıllık dönem de sadece ocak ayında su fazlası gerçekleşmiştir. Kasım ve aralık

aylarında sıcaklığın düşmesi ve yağışın artması ile birlikte rezervdeki su eksikliği tamamlanma eğilimi göstermiştir.

Çalışma alanı ve çevresindeki seçmiş olduğumuz 5 MGI'dan sağlanan uzun yıllık verilerin ortalaması, Penman yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda su bilançosu oluşturulmuştur. Bilanço grafiğinde hesaplanan değerler incelendiğinde (Şekil 3.20.) yıllık potansiyel buharlaşma – terleme (E_t) değeri 889,5 mm.su/yıl şeklinde gerçekleşmiştir. Yıllık gerçek buharlaşma-terleme miktarı ise 371,37 mm olarak hesaplanmıştır. Aylık ortalama en yüksek gerçek buharlaşma değeri 88,14 mm ile Nisan ayında, en düşük ise 6,37 mm ile Ağustos ayında meydana gelmiştir. Çalışma alanının yıllık rezerv su miktarı 324,35 mm iken yıllık dönemde eksik su miktarı 518,22 mm, fazla su miktarı ise 16,28 mm olarak hesaplanmıştır. Rezerv su miktarının sıfır değere ulaşması, aylık ortalama gerçek buharlaşma değerinin en fazla olduğu Mayıs ayında gerçekleşmiştir. Yıllık yeraltı suyuna akış ortalama değeri 16,27 mm ve yeraltı suyuna en çok akış 8,14 mm değeri ile Ocak ayında gerçekleşmiştir. Ortalama aylık nemlilik katsayısı ise -0,21 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.5 Çalışma alanı ve çevresinin su bilançosu (Penman Yöntemine göre hazırlanmış)

Veriler	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
T (Sıcaklık)	-0,24	1,71	6,02	11,06	15,68	20,07	23,57	23,27	18,80	12,81	6,01	1,46	11,69
ETp (Potansiyel Buh.-Ter.)	19,83	33,57	64,00	88,14	123,17	138,11	143,24	120,55	79,30	47,46	18,01	14,21	889,59
P (Yağış)	36,11	29,07	33,61	36,91	39,21	28,19	8,05	6,37	12,26	25,64	29,58	40,91	325,92
P-ETp	16,28	-4,49	-30,40	-51,22	-83,96	-109,93	-135,18	-114,18	-67,04	-21,82	11,57	26,70	-563,67
R_{su} (Rezerv su)	100	95,51	65,11	13,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,57	38,27	324,35
Etg (Gerçek Buh.-Ter.)	19,83	33,57	64,00	88,14	53,10	28,19	8,05	6,37	12,26	25,64	18,01	14,21	371,37
E_{su} (Eksik su mik.)	0,00	0,00	0,00	0,00	70,07	109,93	135,18	114,18	67,04	21,82	0,00	0,00	518,22
F_{su} (Fazla su mik.)	16,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,28
A_{yer} (Yeraltı suyuna akış)	8,14	4,07	2,03	1,02	0,51	0,25	0,13	0,06	0,03	0,02	0,01	0,00	16,27
P-A_{yer}	27,97	25,00	31,57	35,89	38,71	27,93	7,93	6,31	12,22	25,63	29,57	40,91	309,65
N_k (Aylık ort. Nemlilik kat.)	0,82	-0,13	-0,47	-0,58	-0,68	-0,80	-0,94	-0,95	-0,85	-0,46	0,64	1,88	-0,21

3.2.4 Yeraltı suyu bilançosu

Yeraltı suyu potansiyeli hakkında yorum yapabilmek için yeraltı suyunu ihtiva eden akifer sistemine giren ve çıkan su miktarının doğru hesaplanması gerekmektedir.

Havza sınırları içerisinde belirli bir zaman aralığında hidrojeolojik sisteme içerisine giren, sistemden çıkan ve sistem içerisinde depolanan su miktarında meydana gelen değişimin matematiksel hesaplanması yeraltı suyu bilançosu olarak ifade edilir.

Literatüre bakıldığında yeraltı suyu bilançosunun temelini oluşturan beslenim boşalım miktarının saptanmasında izotop hidrolojisi, bütçe esaslı yaklaşım, su tablasında meydana gelen değişim odaklı yaklaşım gibi birçok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Çalışmamızda; inceleme alanında elde ettiğimiz veriler göz önünde bulundurularak bütçe esaslı yaklaşım kullanılmıştır.

$$Q_{Bes.} = Q_{Boş.} \pm \Delta_S \quad (3.10)$$

$Q_{Bes.}$: Hidrojeolojik sisteme giren su

$Q_{Boş.}$: Hidrojeolojik sistemden çıkan su

Δ_S : Hidrojeolojik sistemin depoladığı su miktarındaki değişim

3.2.4.1 Hidrojeolojik sisteme giren su miktarı

Çalışma alanı incelendiğinde beslenim süreci temel olarak yağışlardan süzülen sular ile sağlanmaktadır. Geçirimli birimlerin yüzey alanları Arc GIS programı yardımı ile hesaplanmıştır. İnceleme alanının geneli 2750 km² olarak hesaplanmıştır. Mevcut alanın 2700 km²'lik kısmında geçirimsiz birimler yüzey vermektedir. Kuvaterner - Pliyokuvaterner birimleri(Tuz gölü formasyonu ve Alüvyon formasyonu) toplam yüzey alanı 1710 km², Hasandağı volkanik birimleri Tuz gölü fayının doğusunda büyük alanlar kaplasa da Tuz gölü fayının batısında kalan çalışma alanı içerisinde 10 km²'lik alanda yüzey vermektedir. Kuvaterner-Pliyokuvaterner birimler ile birlikte çalışma alanının genelinde büyük yayılım gösteren Neojen kireçtaşlarından (Miyopliosen) Cihanbeyli formasyonu ise 980 km²'lik alanda yayılım göstermektedir.

Çalışma alanı ve çevresi yeraltı suyu bilançosu hesabında farklı metotlarda oluşturduğumuz su bilançolarından Thornthwaite yöntemi ile elde ettiğimiz veriler kullanılacaktır. Thornthwaite yönteminde hesaplamış olduğumuz fazla su miktarı 75,80 mm'dir. Ayrıca süzülme yüzdesi değeri ise D.S.İ. 4. Bölge müdürlüğüne ait uzun yıllar seviye değişimini izlediği kuyulardan faydalanarak hesapladığı ve teorik bilgiler ışığında neojen kireçtaşlarında 0,50, alüvyon birimlerde 0,40, geçirimsizliği ikincil deformasyon ile oluşmuş kırıklı çatlaklı türde volkanik birimlerde ise 0,43 değerleri kullanılmıştır.

Çalışma alanının yüksekliği 890 m ile 1300 m arasında değişiklik göstermektedir. Su taşıyan litolojik birimlerin beslenmesi süzülme yolu ile olduğu için beslenme hesabında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$Q_{Bes.} = A \times F_{su.} \times I \quad (3.11)$$

Q_{Bes} : Yağıştan beslenme mik. (m³/yıl)

A : Alan (km²)

$F_{su.}$: Fazla su miktarı (mm)

I : Süzülme katsayısı (%)

Tablo 3.6 Süzülme ile birimlerde meydana gelen beslenme miktarı (m³/yıl)

Litoloji	A	F_{su}	I	$Q_{Y.Bes}$
	(m ²)	(m/yıl)	(%)	(m ³ /yıl)
Kuvaterner-Holosen Birimler (Q_{al} - Q_{tu})	1710×10^6	$75,80 \times 10^{-3}$	0,4	$51,84 \times 10^6$
Hasandağı Volkanikleri	10×10^6	$75,80 \times 10^{-3}$	0,4	$0,3 \times 10^6$
Miyo-Pliyosen kireçtaşları (T_{plc})	980×10^6	$75,80 \times 10^{-3}$	0,5	$37,14 \times 10^6$
TOPLAM				$89,28 \times 10^6$

Çalışma alanı içerisindeki yüzey veren birimlerin litolojik özellikleri, Penman yöntemi ile hesaplanmış fazla su miktarı ve süzülme katsayısı göz önünde bulundurularak yeraltı suyu beslenme miktarı teorik olarak hesaplanmıştır. Yağış haricinde sistemi besleyen herhangi bir kaynak çalışma alanında mevcut değildir. Uzun yıllar önce Eşmekaya sazlıklarını besleyen kaynakların aşırı ve düzensiz yeraltı suyu kullanımı sonucu kuruduğu yerinde gözlenmiştir.

3.2.4.2 Hidrojeolojik sistemden çıkan su miktarı

Çalışma alanı içerisinde yeraltı suyu incelendiğinde sistemden çıkan su miktarı buharlaşma – terleme ve yeraltı suyundan tarımsal ve kullanım suyu ile bağlantılıdır.

Özellikle çalışma alanında 1980’li yıllarda kullanılan aktif kaynakların kurumuş olması, yeraltı suyuna talebi daha çok arttırmıştır. Önceki çalışmalara ve D.S.İ 4. Bölge müdürlüğünün çalışmalarına bakıldığında bölgede ruhsatlı ve ruhsatsız kuyulardan ciddi bir yeraltı suyu çekiminin mevcut olduğu ve bu çekim sonucu günden yeraltı suyu seviyesinde geri dönüşü olmayan düşümlerin gerçekleştiği bilinmektedir.

Yeraltı suyunun buharlaşma – terleme ile boşalım süreci, pratikte yeraltı su seviyesinin topoğrafik yüzey kotunun 2 m altında olduğu yerlerde gerçekleştiği varsayılır. Çalışma alanında yeraltı su seviyesinin 2 m dolaylarında olduğu alan Tuz Gölü’ne yakın olan 386 km²’lik bir alan hesaplanmıştır. Yeraltı suyundan buharlaşma hesabı yapılırken Thornthwaite yöntemi ile hesaplanmış “Eksik su” miktarı değeri kullanılmıştır. Eksik su miktarı 408,24 mm olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.). Buharlaşma oranı ise güvenli sınırdan kalması için eksik su miktarının %40’ı alınmıştır.

Buharlaşma-terleme ile boşalım miktarı; yeraltı su seviyesinin 2 m dolaylarında olduğu 286 km²’lik alanda 46,67 x 10⁶ m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanının da içinde bulunduğu SU-İŞ firması tarafından 2014 yılında gerçekleştirilen “Tarımsal Ekonomi Raporu” ve “Hidroloji Raporu” bitki sulama suyu ihtiyaçlarını detaylı olarak ele almıştır. Raporda sulama sahaları için ayrı ayrı belirlenen bitki paterni dikkate alarak Blanney Criddle metodu ile su ihtiyaçlarını belirlemiştir. Alt havza içerisinde D.S.İ sulama kooperatifleri, İl Özel İdareleri

Sulamaları ve Halk sulama (YAS kullanma belgeli ve belgesiz sondaj kuyuları ile yapılan tüm sulamalar) alanları belirlenmiş ve hesaplanmıştır (SUIŞ, 2013).

Tablo 3.7 Sondaj kuyularında yapılan fiili çekim miktarı (SUIŞ, 2013; D.S.İ, 2020)

Kurum	İl	İlçe	Sulama Alanı	Sulama suyu ihtiyacı	Toplam Su Tüketim	
			(m ²)	(mm)	m ³ /yıl	hm ³ /yıl(m ³ /yıl x 10 ⁶)
Konya İl Özel İdare Sulamaları	Aksaray	Merkez	2117789	4969,98	1052536	1,05
	Aksaray	Eskil-Sultanhanı	1948514	5728,52	1116210	1,12
Aksaray İl Özel İdare Sulamaları	Aksaray	Merkez	14088378	7187,67	10126261	10,13
	Aksaray	Eskil-Sultanhanı	81169563	5728,52	46498146	46,49
D.S.İ Koop. Sulamaları	Aksaray	Merkez	10659124	7187,67	7661425	7,66
	Aksaray	Eskil-Sultanhanı	25875710	5728,52	14822957	14,82
Halk Sulamaları	Aksaray	Merkez	25289128	7187,67	18176990	18,17
	Aksaray	Eskil-Sultanhanı	265558371	5728,52	152125643	152,12
TOPLAM						251,56

Tablo 3.8 Çalışma alanı yeraltı suyu bilançosu

Beslenim (Sisteme giren su) (m ³ /yıl)		Boşalım (Sistemden çıkan su) (m ³ /yıl)	
Litolojik birimlerden süzülme ile sağlanan beslenim	89,28 x 10 ⁶	Yeraltından buh. - ter.	46,67 x 10 ⁶
		Özel İd. ve Koop. kuyu çek.	81,27 x 10 ⁶
		Hak sulamaları ile kuyu çek.	152,12 x 10 ⁶
TOPLAM	89,28 x 10⁶		280,06 x 10⁶

Çalışma alanı yeraltı suyu bilançosuna bakıldığında sisteme giren ve sistemden çıkan su miktarında yaklaşık 3 katlık bir fark bulunmaktadır. Teorik kaynaklara göre sisteme giren ve sistemden çıkan su miktarının eşit olması gerekmektedir. Farkın ortaya çıkmasının sebebi üst akifer alt akifer ilişkileri, yerinde ölçümlenemeyen parametreler ve uygulanan varsayımlar olabilir. Ancak çalışma alanının ciddi geçim kaynağını oluşturan tarım faaliyeti ve buna bağlı aşırı yeraltı suyu kullanımı bu farkın oluşmasında temel etken olarak görülmelidir. Özellikle uzun yıllar önce aktif bulunan

kaynakların şuan kuruması ve yeraltı su seviyelerindeki değişimlerde bölge durumu açıklar niteliktedir. Çalışma alanının güney ve güney batı kesiminde yer alan ve benzer jeolojik özellikler gösteren Karapınar bölgesinde son yıllarda artan obruk oluşumları da yeraltı suyunun yok oluşuna ve beslenme boşalım süreçleri arasındaki farkı açıklar niteliktedir. Çalışma alanı ve çevresi için görünen tabloda obruk oluşumları söz konusu olabilir.

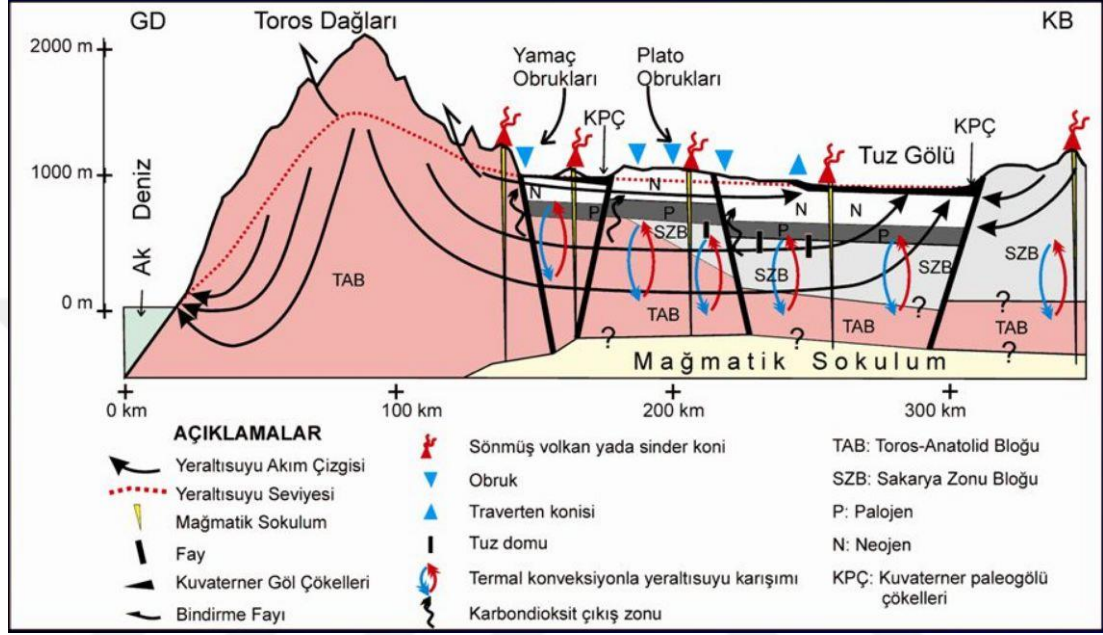
3.3 Bölgenin Hidrojeolojik Özellikleri

Bu bölümün içeriğinde çalışma alanı ve çevresi ile ilgili hidrojeolojik ve hidrokimyasal özellikler su ve araziden toplanan örneklemeler üzerinden değerlendirilmeye çalışılmıştır. Jeolojik birimlerin akifer özellikleri ve yapısındaki hidrolojik hareket ve kullanım özellikleri hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışma alanı ve çevresinin fiziksel ve kimyasal parametrelerini değerlendirebilmek için 2019-2020 yıllarına ait Yağışlı dönemde (Mayıs 2019 ve Mayıs 2020) 41 adet, kurak dönemde (Ekim 2019) ise 19 adet su numunesi toplanmıştır. Yeraltı sularının hareket mekanizmasının ve dolaşım sürecinin anlaşılabilmesi için izotop analizinde kullanılmak üzere Kurak dönemde (Ekim 2019) 6 adet yeraltı suyu, 1 adet kar, Yağışlı dönemde (Mayıs 2020) 6 adet yeraltı suyu numunesi toplanmıştır. Ayrıca çalışma alanı içerisinde ölçüm şartlarının uygun olduğu yerlerde yeraltı su seviyesi (Statik ve Dinamik seviye) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. D.S.İ 4. Bölge Müdürlüğü'nden sağlanan uzun yıllık yeraltı su seviye ölçümleri ile karşılaştırma yapılmıştır. Fiziksel parametreler sahada in-situ olarak ölçülmüş ve değerlendirmeye alınmıştır.

Çalışma alanı ve çevresinin hidrojeolojik özellikleri hakkında değerlendirme yapabilme için genel beslenme ve boşalım mekanizmasının anlaşılması gerekmektedir. Konya Kapalı Havzasındaki yeraltı sularının hareketinin anlaşılması için C^{14} yaş tayini gerçekleştirilmiş ve yeraltı sularının ana beslenme kaynağının havzanın güney batı, güney, güney doğu kısmını çevreleyen Toroslar olduğu, bununla birlikte yeraltı suyu yöneliminin Toroslardan Tuz Gölü'ne doğru olduğu ifade edilmiştir (Bayari vd., 2009). Söz konusu çalışmaya bakıldığında belirlenmiş düzlemde 8 farklı noktadan alınmış yeraltı sularının analizi gerçekleştirilmiş ve genelleştirilmiş bir kavramsal

model oluşturulmuştur. Çalışma alanı içerisinde bulunan Eski ve Taşpınar bölgelerinden de numune olarak değerlendirmeye katmışlardır. Beslenme alanı olan Toroslardan Tuz Gölü'ne doğru yeraltı suyunun yaşının güncelden 40.000 yıla ulaştığını belirtmiştir (Bayarı vd., 2005).



Şekil 3.21 Konya Kapalı Havzası Hidrojeolojik Model (Bayarı ve diğ., 2009)

Çalışma alanı ve çevresi düşük eğim değerine sahip topoğrafik özellik göstermektedir. Alanın doğusunda yer alan Tuz Gölü fayı yükseliminin altında kurulan Aksaray il merkezinden batısında yer alan Eski-Eşmekaya-Güneşli hattının bulunduğu bölgeye kadar olan kısım genişlemeli tektonik rejim etkisi altında oluşmuş eğimi çok düşük çanak biçiminde bir alanı oluşturur. Kuzey'de Tuz Gölü'nden başlayıp güneye doğru artan topoğrafik yükseklik Bozdağ-Karadağ-Hasandağ yükselimi ile çalışma alanını sınırlamaktadır. Tuz Gölü fayının meydana getirdiği yükselimi ve Karadağ-Hasandağ hattının yüksek kotları çalışma alanının beslenme kotunu oluşturmaktadır. Toroslardan Tuz Gölü'ne olan ana beslenme mekanizmasının haricinde ikincil beslenme alanı bu bölge olarak ifade edilebilir. Tuz Gölü güney bölgesi ve Eşmekaya-Sultanhanı-Yenikent-Yapılcan hattının arasında kalan 905-910 kotlu bölge ise boşalım hattını oluşturmaktadır. Bu kotun altında kalan boşalım alanları ise işletmeye uygun olmayan tuz oranı yüksek sulardır. Bu tuzlu suların sebebi Sultanhanı-Yenikent-Yapılcan hattının

güneyinde TPAO ve Botaş tarafından açılan derin sondaj kuyularında tespiti yapılmış halit (kayatzu), anhidrid, ve jipslerin yoğunluğundan kaynaklıdır. Bu suların mevcut olduğu akiferler basınçlıdır.

Çalışma alanı ve çevresinde incelen formasyonların akifer özellikleri göz önünde bulundurularak;

- Miyo-Pliyosen yaşlı Kireçtaşları

- Neojen yaşlı Volkanik birimler

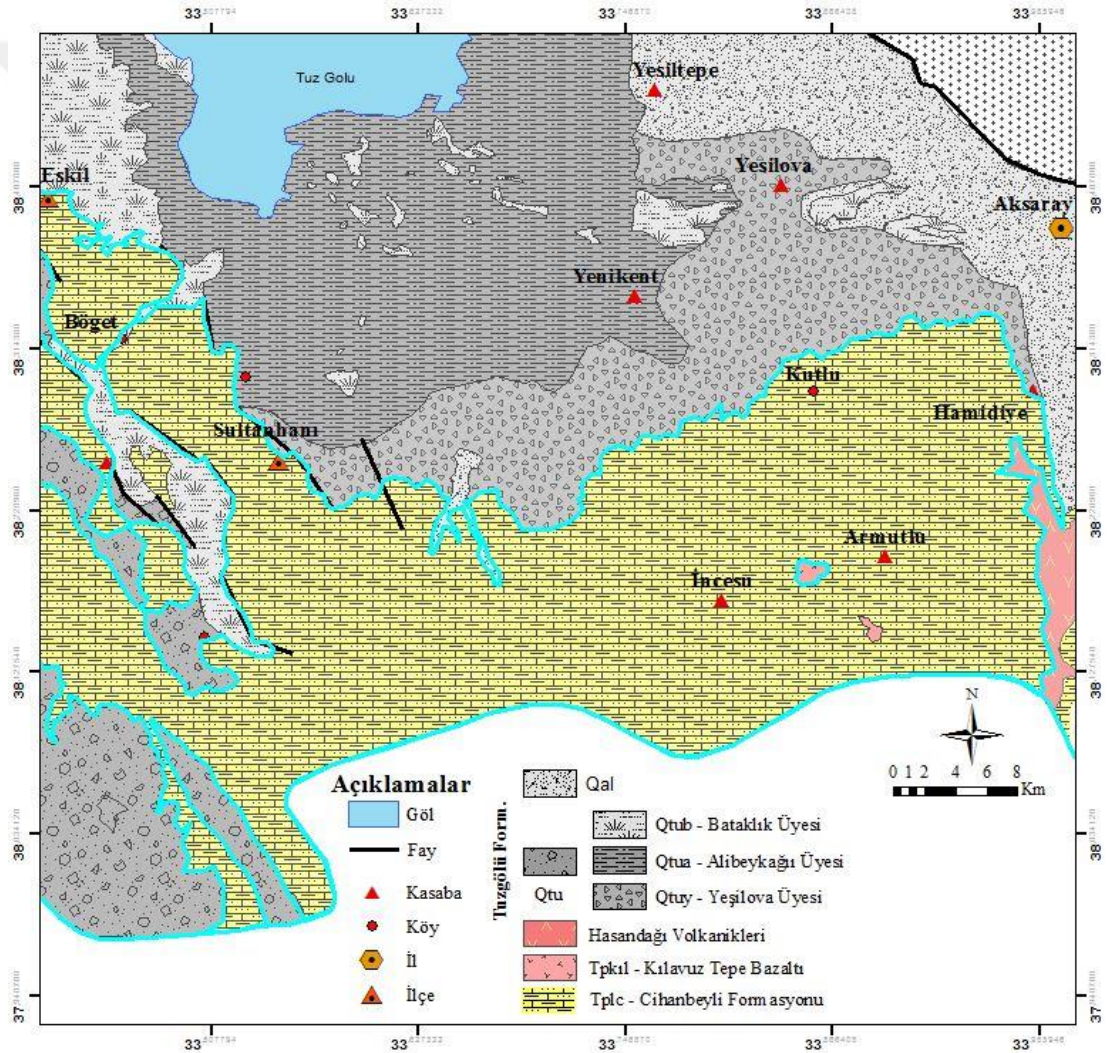
- Kuvaterner ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimler olarak ayırt edilmiştir. Ayrıca formasyonu oluşturan birimlerin yapısal özellikleri göz önünde bulundurularak Geçirimli, Az geçirimli ve Geçirimsiz olarak hidrojeolojik gruplara ayrılmıştır.

SİSTEM	HOLOSEN SERİ	FORM.	ÜYE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
KUVATERNER	PLİYO-KUVATERNER	Tuzgölü Form.	Alüvyon		Geçirimli Birim(G-1)
			Bataklık Üyesi		Az Geçirimli Birim(A G-1)
			Akagöl Üyesi		Geçirimli Birim(G-2)
			Yeşilova Üyesi		Geçirimli Birim(G-3)
TERSİNER	PLİYOSEN	Cihanbeyli Form.	Hasandığı Volkanikleri		Geçirimli Birim(G-4)
					Geçirimli Birim(G-5)
	MİYO-PLİYOSEN	İnsuyu Form.			Geçirimli Birim(G-6)
					Ölçeksiz

Şekil 3.22 Sultanhanı - Aksaray ovasında yüzeylenen birimlerin genel hidrojeolojik özellikleri

3.3.1 Miyo-Pliyosen yaşlı kireçtaşları

Tuzgözü havzası ve çevresinde geniş yüzey alanına sahip Miyo-Pliyosen yaşlı Kireçtaşı birimleri Aksaray-Sultanhanı-Eşmekaya hattının güney bölümünde geniş yayılıma ve genellikle yatay tabakalı yerleşime sahip uyumlu biçimde yer almaktadır. Bu kireçtaşlarının kalınlığı çalışma alanının B-G.B istikametine gidildikçe kalınlıkları artmaktadır. Çalışma alanının D-G.D bölgesine doğru ise kalınlıkları azalmaktadır. Sultanhanı ve çevresinde yoğun olarak işletmede olan kuyuların kullandığı Miyo-Pliyosen kireçtaşı akiferi 3-10 l/s/m özgül debiye sahiptir.

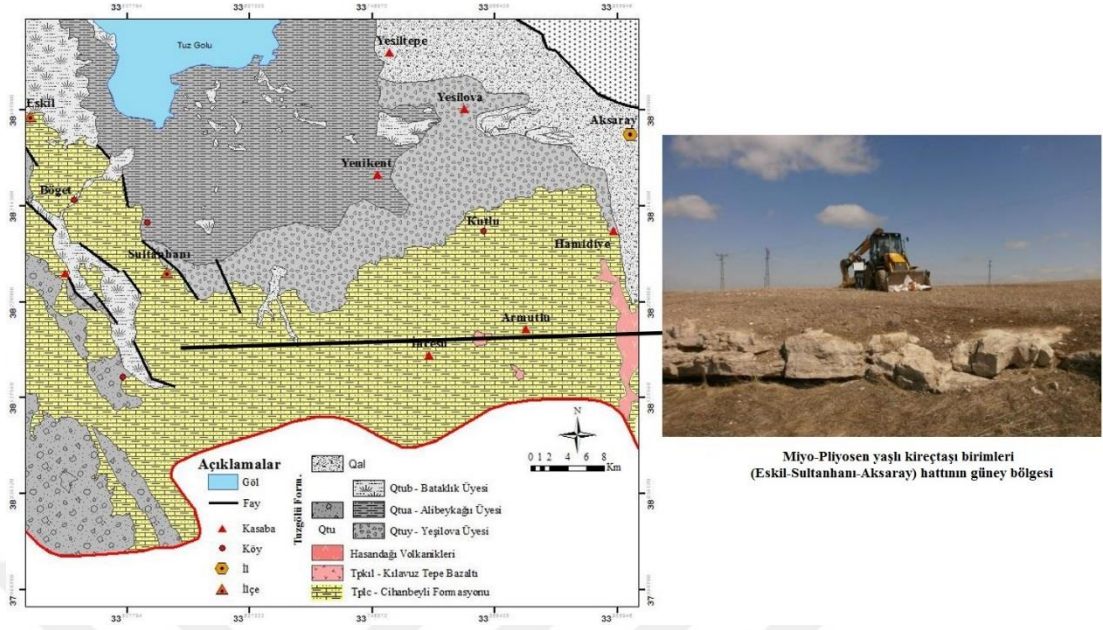


Şekil 3.23 Çalışma Alanındaki Miyo-Pliyosen Kireçtaşı birimleri çalışma alanındaki yerleşimi

Birim bazında sınıflarken Geçirimli birim (G-6) olarak sınıfladığımız Miyo-Pliyosen yaşlı İnsuyu Formasyonu yapısı itibari ile bol kırıklı çatlaklı Kireçtaşı ve Killi kireçtaşı birimlerine sahiptir. Bu özelliğinden dolayı bölgedeki en önemli akifer olma özelliğine sahiptir. Tektonik hareketlerin etkisi ile ikincil deformasyona da uğramış ve gözeneklilik miktarı artmıştır. Çalışma alanındaki yerleşkelerde içme ve sulama suyu olarak kullanıma sunulan kuyuların büyük çoğunluğu bu akiferden beslenmektedir. Birimin içerisinde düzensiz dağılım gösteren kumtaşı, jipsli killi birimler ve kilaşları kısmen geçirimsizlik gösterirler.

Miyo-Pliyosen yaşlı formasyonun üst kesimini oluşturan Pliyosen yaşlı Cihanbeyli formasyonu (G-5) ; Alt seviyelerinde açık kahve renkli, az tutturulmuş karbonat çimentolu çakıtaşı, kumtaşı ve silt taşı ardalı olarak yer alırken, üst seviyelerinde sarımsı gri renkli yatay katmanlı kireçtaşı ve marn seviyelerinden oluşmaktadır. Çatlaklı kırıklı yapıda kireçtaşları, iyi yuvarlanmış çakıla sahip çakıtaşları ve tane boyu iri yapıda olan kumtaşları akifer özelliğini yüksek oranda etkilediği için geçirimli birim özelliği taşımaktadır. Birim içerisinde silttaşı, kilaşı yerleşimi farklı yönlerde gelişim gösterdiği için geçirimliliği düşürecek nitelikte değildir.

Miyo-Pliyosen yaşlı formasyonun üst kesimini oluşturan Pliyosen yaşlı Cihanbeyli formasyonu (G-5) ; Alt seviyelerinde açık kahve renkli, az tutturulmuş karbonat çimentolu çakıtaşı, kumtaşı ve silt taşı ardalı olarak yer alırken, üst seviyelerinde sarımsı gri renkli yatay katmanlı kireçtaşı ve marn seviyelerinden oluşmaktadır. Çatlaklı kırıklı yapıda kireçtaşları, iyi yuvarlanmış çakıla sahip çakıtaşları ve tane boyu iri yapıda olan kumtaşları akifer özelliğini yüksek oranda etkilediği için geçirimli birim özelliği taşımaktadır. Birim içerisinde silttaşı, kilaşı yerleşimi farklı yönlerde gelişim gösterdiği için geçirimliliği düşürecek nitelikte değildir.



Şekil 3.24 Miyo-Pliyosen yaşlı kireçtaşı birimleri

Miyo-Pliyosen yaşlı kireçtaşlarının hidrolik özelliklerini değerlendirebilmek çalışma alanı içerisinde yer alan şahıslara ait 3 farklı noktada kuyu ruhsatı alımı için (Sultanhanı, Eski, Yenikent) işletmeye açılacak kuyularda pompalama deneyleri yapılmıştır. Pompalama deneylerinde Cooper-Jacop yöntemi kullanılarak logaritmik grafikler oluşturulup “Geçirgenlik Katsayısı (K), İletkenlik katsayısı (T) ve Depolama Katsayısı (S)” değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca çalışma alanı içerisinde D.S.İ 4. Bölge müdürlüğü tarafından sürekli izlenen kuyuların verilerinden yararlanarak Özgül debi ve İletkenlik katsayısı (T) değerleri değerlendirilmeye alınmıştır.

Kuyularda pompalama deneyi yardımı ile sabit bir debi ile su çekimi yapıldığı esnada çekim yapılan kuyudan veya çevresindeki başka bir kuyudan yeraltı su seviyesinde meydana gelen değişim izlenir. Gözlem sonucunda elde edilen değişim miktarı veriler ve hesaplama yöntemleri yardımı ile akifer formasyonunun geçirimsizlik değerleri hesaplanabilir. Bu yöntemlerden Cooper-Jacop yöntemi; dengesiz rejim ortamında kuyulardan pompalama sonucu elde edilen verileri yarı - logaritmik çözüm yolu ile yorumlama imkânı sunmaktadır (Canik, 2003).

Cooper - Jacop Yöntemi;

$$T = \frac{0,183 \times Q}{\Delta d} \quad (3.12)$$

$$K = \frac{T}{e} \quad (3.13)$$

$$S = \frac{2,25 \times T \times t_0}{r^2} \quad (3.14)$$

T : İletkenlik katsayısı (m²/sn)

K : Geçirgenlik katsayısı (m/sn)

S : Depolama Katsayısı

Q : Pompaj Debisi (lt/sn/m)

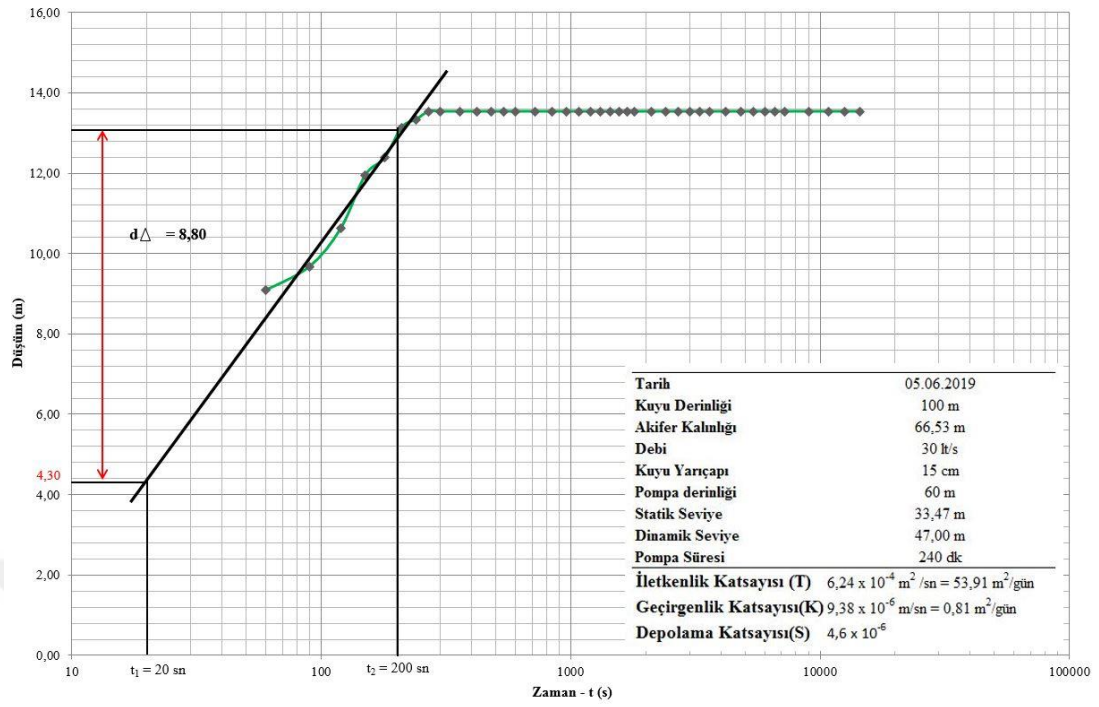
dΔ : Yarı - Logaritmik düzlemde bir logaritmik aralığa denk gelen yeraltı su seviyesi düşüm değeri (m)

e : Akifer kalınlığı (m)

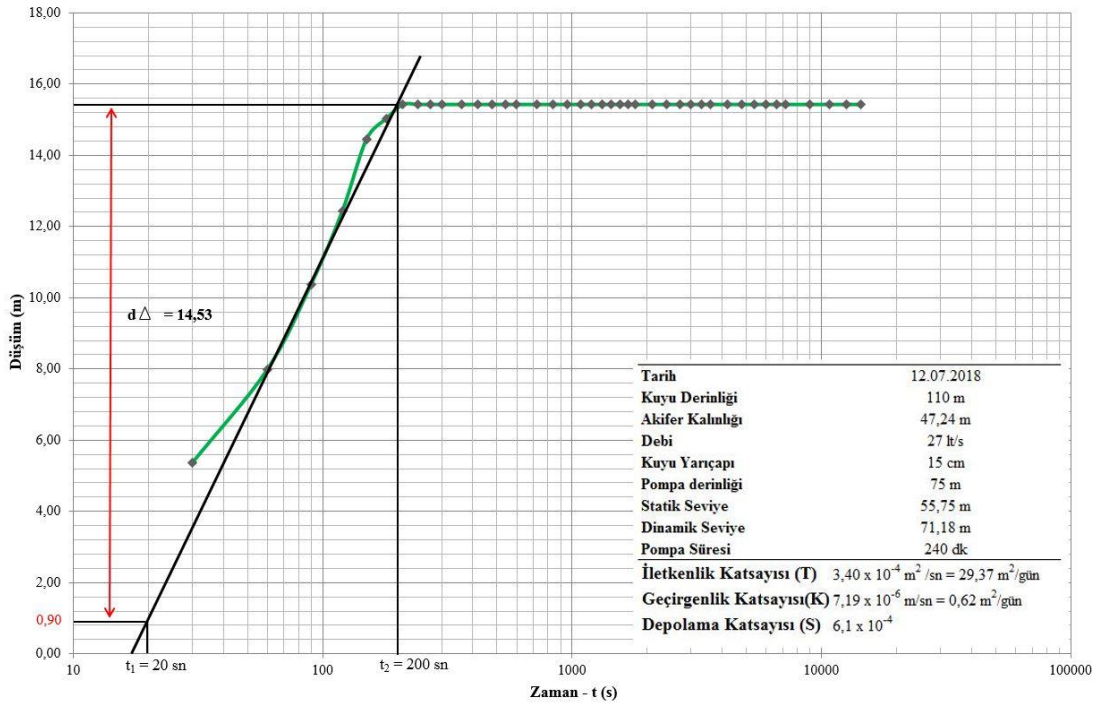
t₀ : Yarı-Logaritmik düzlemde düşüm değerinin sıfır olduğu süre

r : Kuyu Yarıçapı

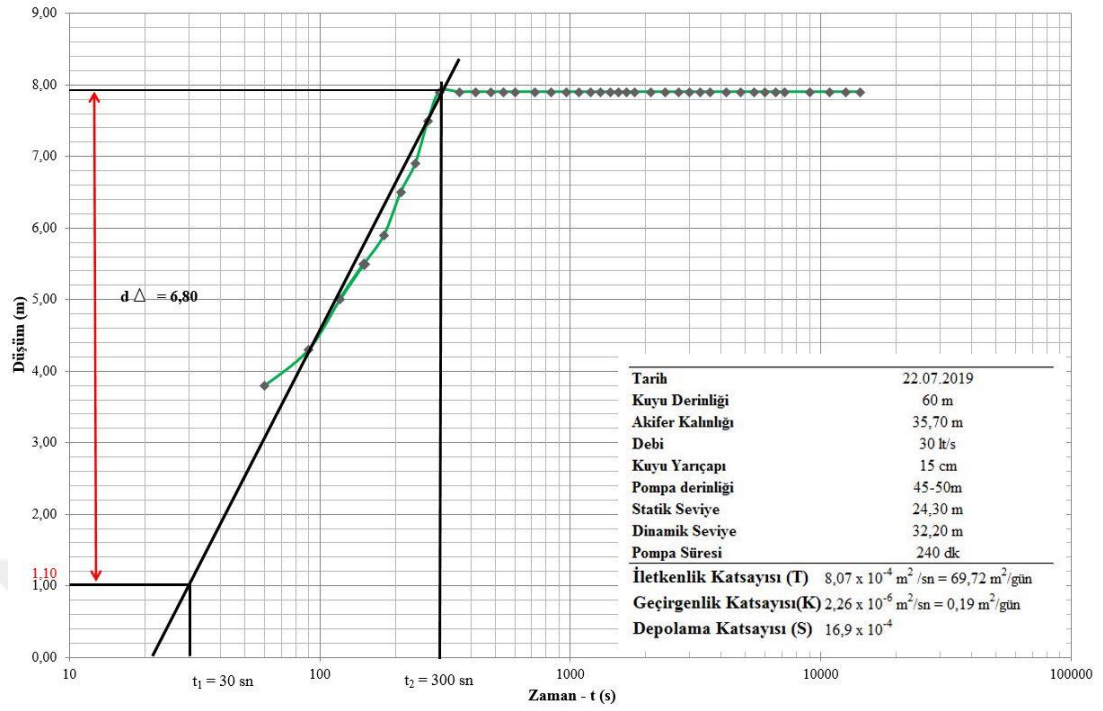
Çalışma alanında aynı akiferi temsil eden 3 farklı noktada 60-110 m arasında değişen derinlik değerlerine sahip kuyularda 240 dk süre ile pompa deneyi yapılmıştır. Pompa deneyleri sırasında 240 dakika sonunda yeraltı su seviyesi 3 kuyuda da dengeye gelmiş gibi gözükse de küçük miktarda düşüm ve yükselimler söz konusu olmuştur. Depolama katsayısı (S) değerini hesaplarken kuyuların etki alanı içerisinde kalacak gözlem kuyusu bulunmadığı için pompa yapılan kuyudan hesaplama yapılmıştır



Şekil 3.25 Yenikent Merkez Deney kuyusu Cooper-Jacob Yöntemine göre oluşturulmuş yarı - logaritmik Düşüm-Zaman Grafiği



Şekil 3.26 Sultanhanı Merkez Deney kuyusu Cooper-Jacob Yöntemine göre oluşturulmuş yarı-logaritmik Düşüm-Zaman Grafiği



Şekil 3.27 Eski Yayla Deney kuyusu Cooper-Jacob Yöntemine göre oluşturulmuş yarı-logaritmik Düşüm-Zaman Grafiği

Deney sonucunda Neojen kireçtaşı akiferinin Geçirgenlik Katsayısı (K) değeri $2,26 \times 10^{-6}$ ile $9,38 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sn}$, İletkenlik Katsayısı (T) değeri $3,40 \times 10^{-4}$ ile $8,07 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sn}$, Depolama Katsayısı (S) değerleri ise $4,6 \times 10^{-4}$ ile $16,9 \times 10^{-4}$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.9 Miyo-Pliyosen akiferinin özgül verim ve iletkenlik katsayısı değerleri (SUIŞ, 2013)

Kordinat		Özgül Verim (l/s/m)	T (m ² /gün)			T (m ² /sn)
X	Y		T-Düşüm	T-Yükselim	T-Ortalama	
543513	4219556	19,66	2452,65	0,00	2452,65	0,028
530590	4241500	15,50	6320,00	0,00	6320,00	0,073
566577	4229252	8,33	1296,37	1423,69	1360,03	0,015
540695	4226854	5,60	275,37	0,00	275,37	$3,18 \times 10^{-3}$
585070	4212625	3,27	173,63	0,00	173,63	$2,01 \times 10^{-3}$
535418	4235712	3,46	218,77	0,00	218,77	$2,53 \times 10^{-3}$
541581	4211175	10,00	0,00	421,33	421,33	$4,87 \times 10^{-3}$
536162	4243165	4,00	109,53	0,00	109,53	$1,26 \times 10^{-3}$
550353	4209790	2,20	81,79	243,08	162,44	$1,88 \times 10^{-3}$

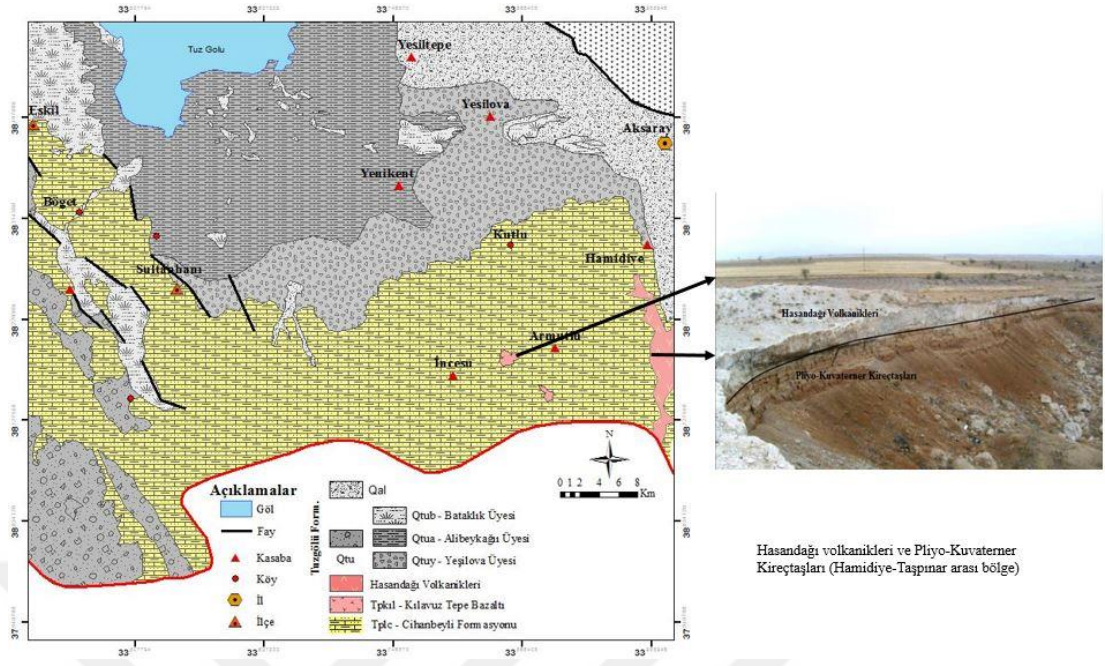
Çalışma alanının en önemli akiferi olan neojen akiferinin D.S.İ 4. Bölge müdürlüğü tarafından ölçülmüş özgül verim ve iletkenlik katsayısı değerleri de aşağıda verilmiştir (Tablo 3.9.)

Miyo-Pliyosen yaşlı akiferin özgül verim değerleri incelendiğinde 2,20-19,66 l/s/m aralığında değişmekte olduğu için yeraltı suyu verimlilik derecesi iyi durumdadır. İletkenlik katsayısı (T) değerleri ise $4,87 \times 10^{-3}$ -0,015 m²/sn. aralığında değişmektedir.

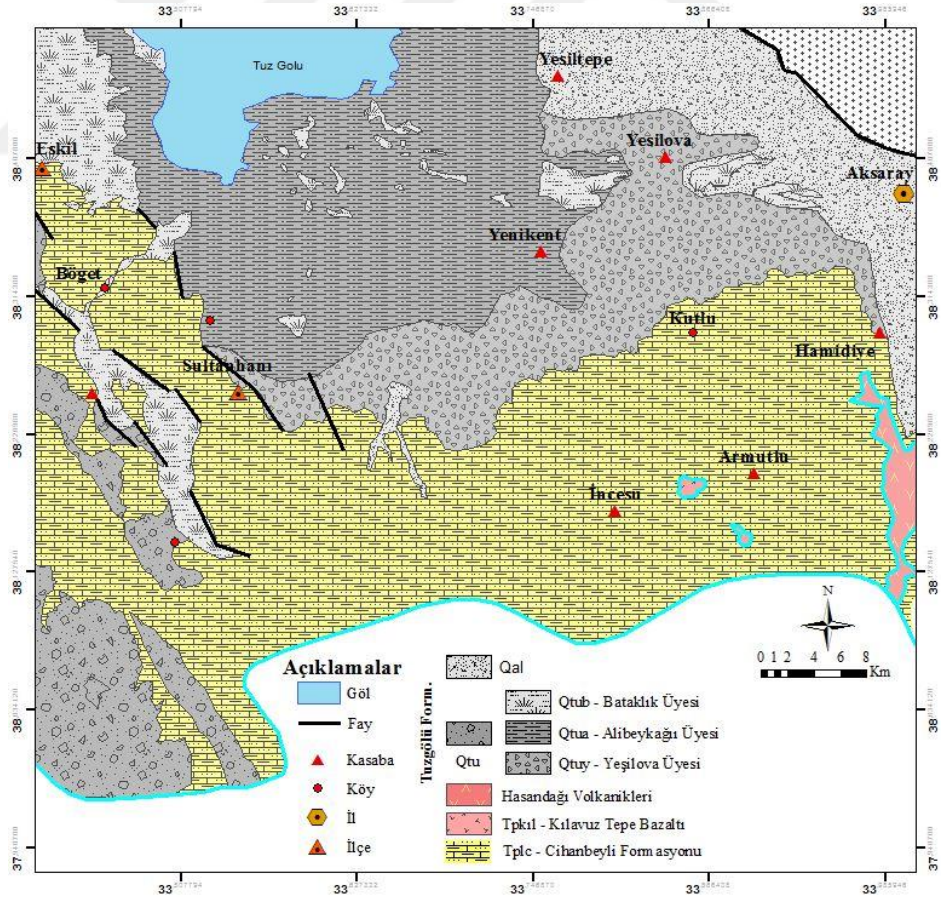
Yeraltı suyuna en çok ihtiyaç duyulan dönemde gerçekleştirdiğimiz pompa testleri ve D.S.İ 4. Bölge tarafından ölçümlenmiş veriler göz önünde bulundurulduğunda neojen akiferin içme, sulama, sanayi ve kullanma suyu ihtiyaçlarına cevap verecek nitelikte olduğu ortaya çıkmaktadır. Hali hazırda bölgenin içme, sulama ve kullanma suyu ihtiyacının neredeyse tamamına bu akifer hizmet etmektedir.

3.3.2 Hasandağı volkanik birimleri

Çalışma alanı ve çevresinin özellikle D-G.D. bölgelerinde volkanik birimler mevcuttur. Özellikle Tuz Gölü Fay Zonu'nun yükselim yaptığı bölgeler ile G.D. kısmında yer alana Hasandağ volkanizmasının etkisi ve tektonik değişimi sebebiyle sokulum yapan volkanik birimlerden oluşmaktadır. Volkanik birimler çalışma alan çevresinde yer almasına rağmen alan içerisinde sokulum yaptığı bölgeler gözlenmektedir. Volkanik birimler Konya Kapalı Havzası içerisinde tüf, İgnimbirit, Bazalt, Andezit gibi farklı karakterlerde olduğu için çalışma alanı içerisinde Hasandağı volkanik birimleri (G-4) Neojen yaşlı volkanik birimler başlığı ile incelemeye alınmıştır. Bu birimler çalışma alanı sınırı içerisinde 10-15 km²'lik bir alan kapsamaktadır. Alanın genel boyutu düşünüldüğünde(2750 km²) alan içerisinde sınırlı ve küçük bir bölgeyi oluşturmaktadır. Çalışma alanı içerisinde yalnızca İncesu-Armutlu köylerinin arasında yer alan bölgede Küçük Kılavuz Tepe(Kot:1103) ve Büyük Kılavuz Tepe(Kot:1182) ve Taşpınar-Hamidiye arasında kalan bölgede yüzeylenen Neojen yaşlı volkanik birimlerin bazaltlarda Kırıklı çatlaklı yapısından dolayı ikincil gözeneklilikleri yüksektir. Bu sebepten dolayı akifer olma özelliği vardır.



Şekil 3.28 Hasandağı volkaniklerinin yüzeylendiği bölgeler



Şekil 3.29 Çalışma Alanındaki Neojen Yaşlı Volkanik Birimler (SUIŞ, 2013)

Literatüre bakıldığında kalınlığı ile ilgili net bir bilgi yer almamaktadır. Bu birimlerin akifer özelliklerini temsil edecek nitelikte sağlıklı olarak işletilen bir kuyu bulunmadığı için yakın bölgede D.S.İ tarafından işletilen kuyunun akifer özelliklerinden yararlanma imkânı bulunmuştur. Çalışma alanı sınırlarının güney-doğu bölgesinde yer alan çiftlik köyünde 17040 numaralı kuyuda 40 l/s verim elde edilmiştir. Aynı bölgede yer alan Kitreli köyünde 17233 numaralı kuyuda özgül debi 5 l/s/m olarak ölçülmüştür. Dolayısı ile çalışma alanı içerisinde bazaltlar ikinci derece soğuma çatlaklarında muhafaza ettiği yeraltı suyu neticesinde akifer olma özelliği gösterir.

Çalışma alanında kılavuz tepe bölgesinde yüzey verdiği için gözlemlene imkânı bulduğumuz ikincil gözeneklilik değerleri yüksek olan bazaltlar, Hamidiye-Taşpınar arasında yer alan volkanik birimlere göre iletkenlik ve özgül verim kapasiteleri daha yüksektir. Ekonomik olarak işletmede olan kuyuların büyük çoğunluğu Miyo-Pliyosen ve Pliyo-Kuvaterner kireçtaşı akiferlerine aittir. Çalışma alanının doğu ve güney doğu bölgesinde (Güzelyurt, Gülağaç, Kitreli, Çiftlik) akifer niteliği taşıyan Neojen yaşlı volkanik birimler bulunmasına rağmen, çalışma bölgemizde D.S.İ. 4. Bölge müdürlüğü tarafından izlenen sadece 2 adet kuyu bulunmaktadır. Bu kuyuların özgül verim ve iletkenlik katsayısı değerleri aşağıda verilmiştir (Tablo 3. 10.). Çalışma kapsamında Neojen volkanik akiferine ait su kullanımı çalışma alanında sınırlı olduğu için pompa testi gerçekleştirme imkânı bulunmadığı için iletkenlik katsayısı ve özgül verim değerleri dikkate alınmıştır.

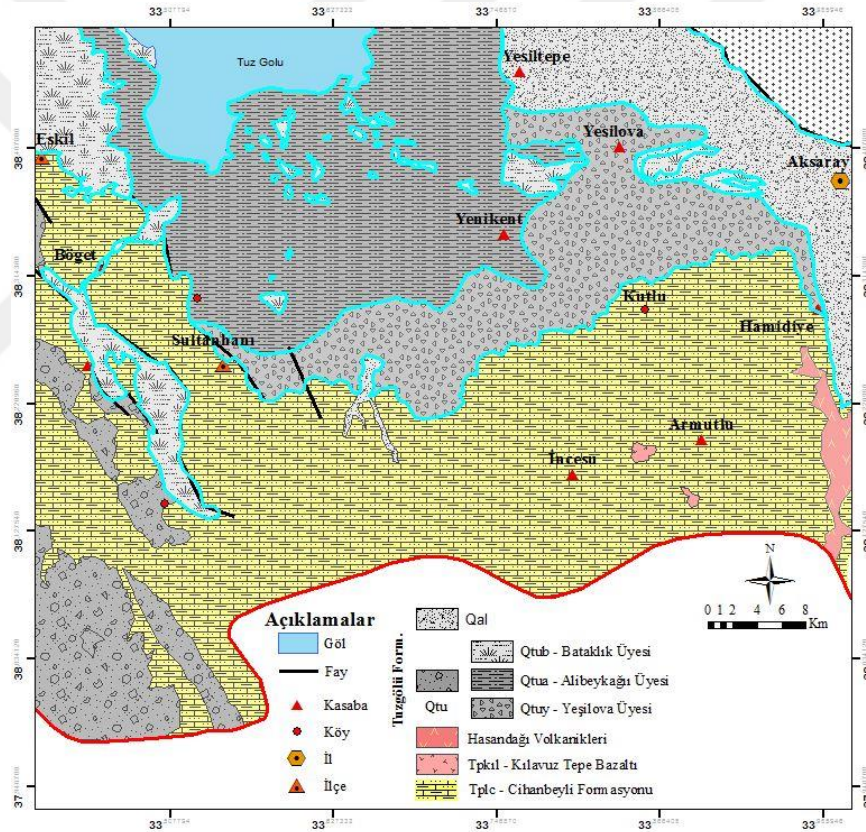
Tablo 3.10 Neojen volkanik akiferinin özgül verim ve iletkenlik katsayısı değerleri (SUIŞ, 2013)

Kordinat		Özgül Verim (l/s/m)	T (m ² /gün)			T (m ² /sn)
X	Y		T-Düşüm	T-Yükselim	T-Ortalama	
591747	4230007	5,69	979,60	0,00	979,60	0,011
596209	4235783	12,20	1606,33	1285,07	1445,70	0,016

Neojen volkanik akiferinin özgül verim değerleri incelendiğinde 5,69-12,20 l/s/m aralığında değişmekte olduğu için yeraltı suyu verimlilik derecesi iyi durumdadır. İletkenlik katsayısı (T) değerleri ise 0,011-0,016 m²/sn aralığında değişmektedir.

3.3.3 Kuvaterner, Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimler

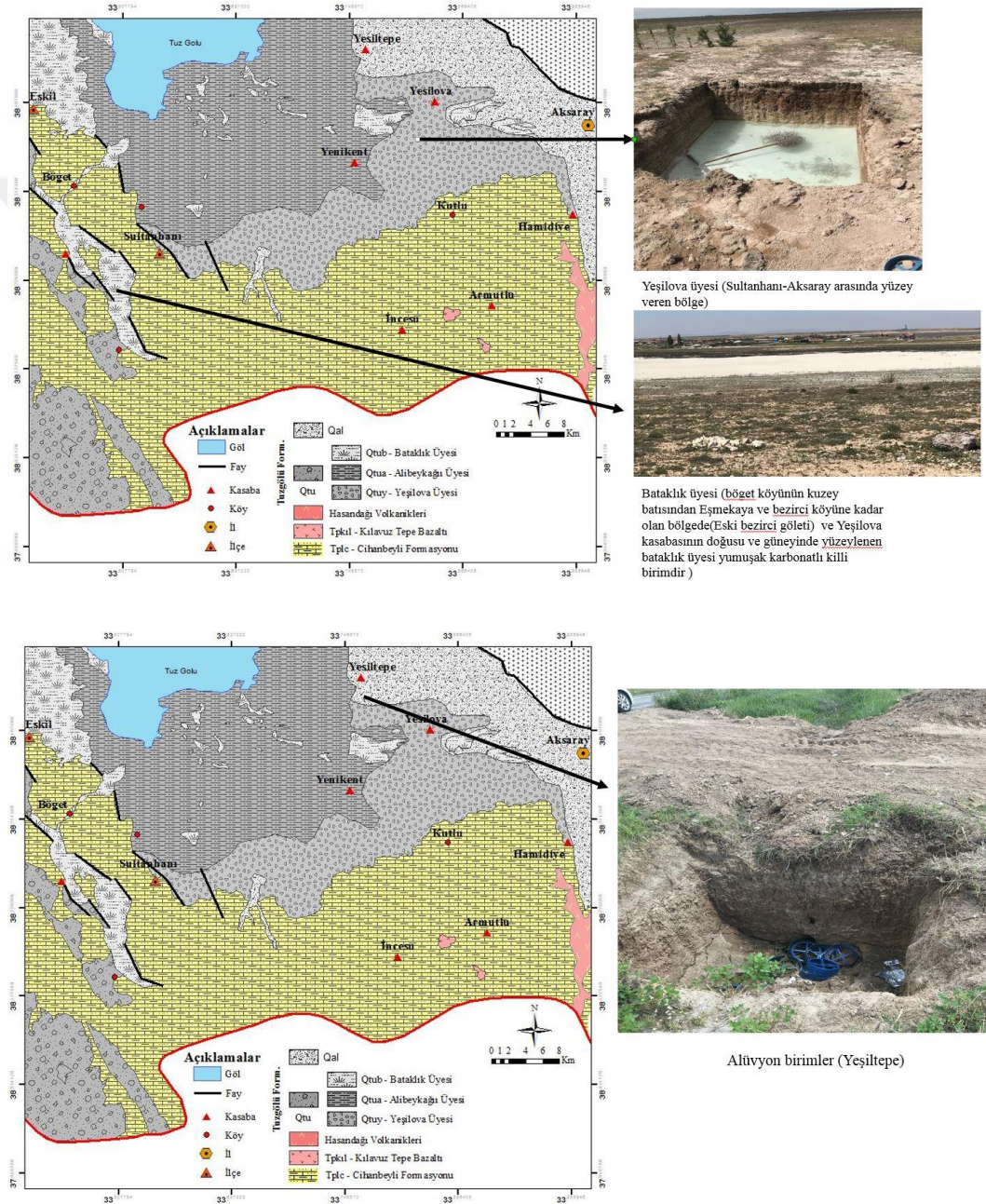
Çalışma alanı ve çevresinde Miyo-Pliyosen kireçtaşları ile birlikte en çok yayılım gösteren ve yüzeylenen birim Kuvaterner, Pliyo-Kuvaterner birimlerdir. Literatürde birçok kaynakta Pliyosen yaşlı Cihanbeyli formasyonu, Miyo-Pliyosen yaşlı İnsuyu formasyonu ile birlikte, Tuz Gölü formasyonu ise tek bir birim olarak ele alınmaktadır. Tuzgölü havzasında gerçekleştirilen çalışmalarda Tuzgölü formasyonunda fiziksel özellikleri bakımında farklılık gösteren 3 alt üye ile ayırt edildiği için bu çalışmada da akifer özellikleri bakımından farklılık gösteren bu 3 üye ayırt edilerek incelenmiştir (Akıl, 2008; Dirik ve Erol, 2003; Özsayın ve Dirik, 2007).



Şekil 3.30 Çalışma Alanındaki Kuvaterner-Pliyo - Kuvaterner Tuzgölü formasyonu birimleri

Tuzgölü Formasyonu; yaşlıdan gence olmak üzere Yeşilova Üyesi (G-3), Alibeykağılı Üyesi (G-2) ve Bataklık üyesi (AG-1) olmak üzere 3 üyeden oluşmaktadır.

Tuzgölü formasyonu geneli itibari ile kill, malzeme içeriğinden kısmen geçirirliği düşmesine rağmen kumlu-siltli-çakıllı seviyelerinin geniş yayılımı neticesinde akifer özelliği kuvvetlidir. Taşpınar kasabasında açılan 14761 ve 16802 numaralı kuyulardan 30-50 l/s verim ile üretim yapılmaktadır. Yerleşim yerlerinin düşük debili sulama suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Yeraltı su seviyesinin düşük olduğu Yapılcan-Yeşilova-Aratol civarında sulama ihtiyacının büyük çoğunluğu bu akiferden sağlanmaktadır.



Yeşilova üyesi (Sultanhanı-Aksaray arasında yüzey veren bölge)



Bataklik üyesi (böğel köyünün kuzey batısından Eşmekaya ve bezirci köyüne kadar olan bölgede(Eski bezirci göleti) ve Yeşilova kasabasının doğusu ve güneyinde yüzeylenen bataklik üyesi yumuşak karbonatlı killi birimdir)



Alüvyon birimleri (Yeşiltepe)

Alibeykağılı üyesi (G-2); bölgenin alüvyondan sonra en güncel birimidir. Tuz Gölü'nün güney bölgesinde Sultanhanı ilçesine kadar geniş yayılım gösterir. Alterasyona uğramış kireçtaşları geçirgen özelliktedir. Yapısında kum, siltli birim geçirgenliği olumsuz yönde etkilese de akifer olma özelliği göstermektedir. Karbonatlı malzeme yapısında tuttuğu suları sülfatça zenginleştirmektedir. Akifer özelliği göstermektedir

Bataklık üyesi (AG-1) ; Eski ilçesi (Eski sazlıklarının olduğu bölge), böğet köyünün kuzey batısından Eşmekaya ve bezirci köyüne kadar olan bölgede(Eski bezirci göleti) ve Yeşilova kasabasının doğusu ve güneyinde yüzeylenen bataklık üyesi yumuşak karbonatlı killi birimdir. Yapısında kum ve silt bulunmasına rağmen baskın olan yapı grimsi renkli killerdir. Gözeneklilik çok düşüktür geçirgenliği azdır. Özellikle yağışlı dönemlerde Yeşilova kasabasının güney ve batı bölgesinde yüzey suyunun alt birimlere geçmesini engelleyerek küçük su birikintileri oluşturmaktadır. Akifer olma özelliği zayıftır.

Çalışma alanı içerisinde güneyde Aksaray-Sultanhanı hattı ile Tuz Gölü arasında ki geniş alanda yüzeylenen birimdir. Konya Kapalı Havzası içerisinde Karapınar ilçesi dolaylarından Emirgazi ilçesine kadar uzanan bir yüzey alanı da vermektedir.

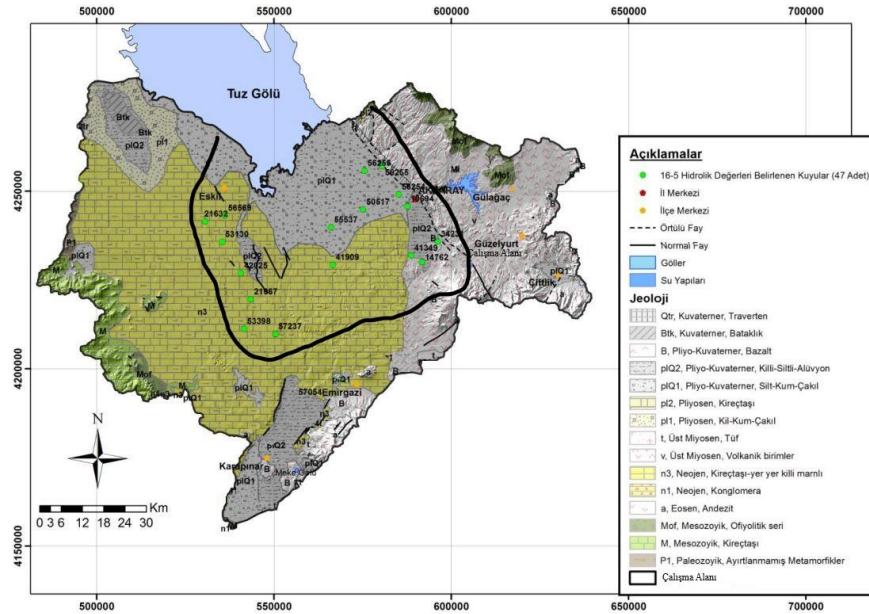
Kuvaterner, Pliyo-Kuvaterner yaşlı akiferin yeraltı su seviyesi yüzeye yakın olduğu için bölgede kullanım ve küçük çaplı tarımsal sulamada kullanılmaktadır. Yeşiltepe-Yeşilova arasında yer alan bir tarla sulama kuyusunda Pompa testi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Fakat test esnasında sağlıklı sonuçlara ulaşamadığı için D.S.İ 4. Bölge müdürlüğünün bölgede uzun süreli izlediği kuyulardan yararlanılmıştır. Kuyu numarası ve koordinatları verilen kuyularda gerçekleştirilmiş pompa testi sonucunda hesaplanan özgül verim ve iletkenlik katsayısı değerleri aşağıda verilmiştir (Tablo 3. 11.).

Tablo 3.11 Kuvaterner, Pliyo-Kuvaterner akiferi özgül verim ve iletkenlik katsayısı değerleri (SUIŞ, 2013)

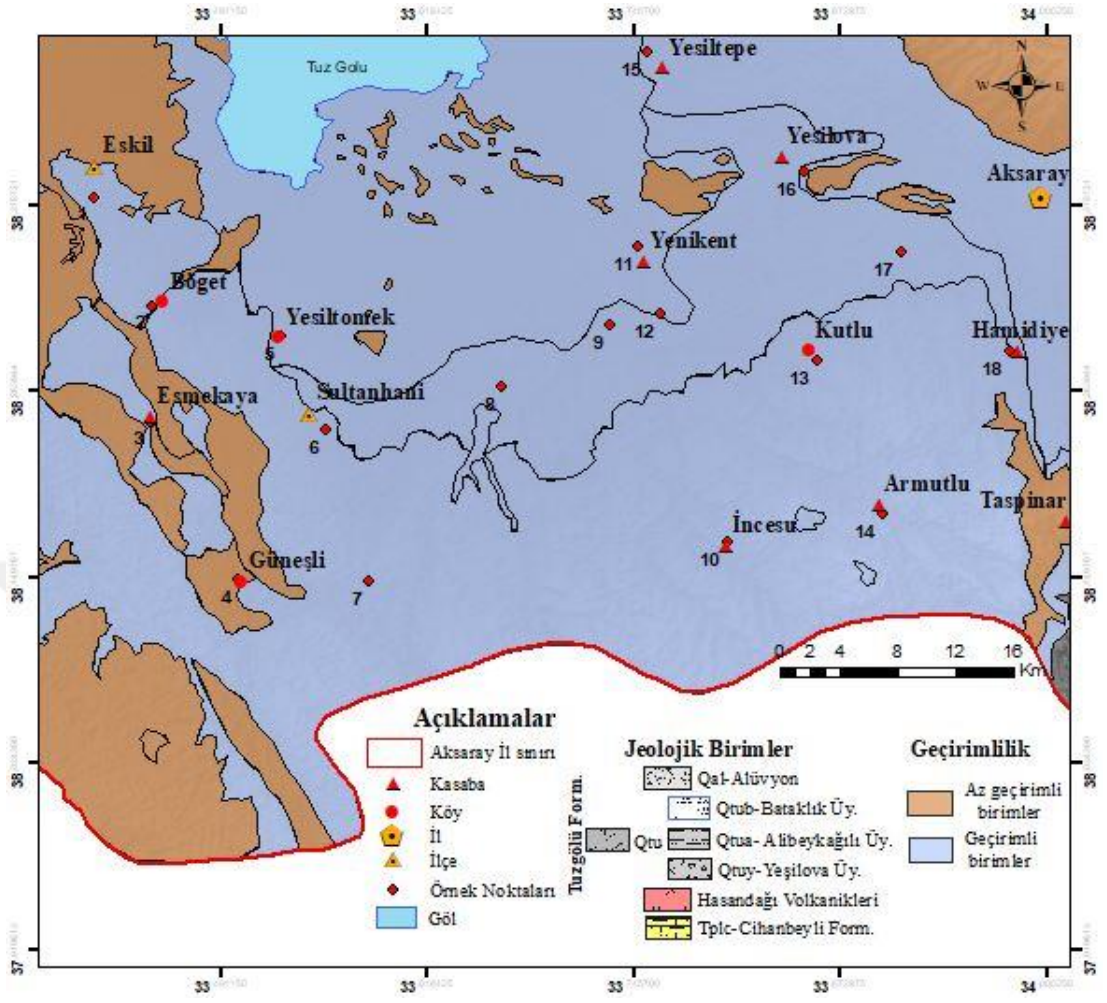
Kuyu No.	Kordinat		Özgül Verim (l/s/m)	T (m ² /gün)			T (m ² /sn)
	X	Y		T-Düşüm	T-Yükselim	T-Ortalama	
41349	588690	4231857	4,55	175,56	0,00	175,56	2,03 x 10 ⁻³
50517	575140	4244875	3,92	707,24	284,44	495,84	5,73 x 10 ⁻³
55537	566135	4239810	2,78	103,27	0,00	103,27	1,19 x 10 ⁻³
56254	585162	4249093	31,00	356,22	0,00	356,22	4,12 x 10 ⁻³
56255	580531	4257075	2,50	200,63	142,99	171,81	1,98 x 10 ⁻³
56256	57550	4255800	4,06	410,80	263,33	337,07	3,90 x 10 ⁻³

Kuvaterner, Pliyo-Kuvaterner akiferinin özgül verim değerleri 2,78-31,00 l/s/m. aralığında değişim göstermektedir. Özgül verim değerleri göz önünde bulundurulduğunda yeraltı suyu verimlilik derecesinin iyi olduğu sonucuna varılmaktadır. İletkenlik katsayısı (T) değerleri ise 1,19 x 10⁻³-5,73 x 10⁻³ m²/sn. aralığında değişmektedir.

D.S.İ 4. Bölge tarafından ölçümlenmiş veriler göz önünde bulundurulduğunda Kuvaterner, Pliyo-Kuvaterner akiferin kullanıldığı alan içerisinde içme, sulama ve kullanma suyu ihtiyaçlarına cevap vermektedir. Fakat Akiferin tek beslenme kaynağının alana düşen yağış olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu değerlerin yıllık yağış ve buharlaşma ile değişkenlik gösterebileceği göz ardı edilmemelidir.



Şekil 3.32 Özgül verim ve iletkenlik Katsayısı D.S.İ 4. Bölge tarafından belirlenmiş kuyuların yer buldu haritası (SUIŞ, 2013).



Şekil 3.33 Çalışma alanındaki birimlere ait hidrojeoloji haritası

3.3.4 Yeraltı suyu seviye değişimleri ve akım sistemi

Çalışma alanı ve çevresinde yer alan akiferlerin beslenme süreci yağışlardan süzülen sularla sağlanmaktadır. Çalışma alanında mevcut olan kaynakların aşırı su kullanımı sonucu kurumuş olması, alan içerisinde yüzey su kaynağının bulunmaması ve topoğrafik eğimin düşük olması yeraltı suyu hareketi hakkında yorum yapmamızı engellemiştir. Yeraltı suyu yönelimini analiz etmek için D.S.İ. 4. Bölge müdürlüğü tarafından sürekli ölçülen yeraltı su seviyelerinden ve Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde farklı noktalardan ölçtüğümüz statik su seviye ölçümleri değerlendirmeye alınmıştır (Tablo 3.12.).

Çalışma alanında kendi yaptığımız statik yeraltı su seviye ölçümleri, örnekleme noktaları öncelikli olmak üzere yapılmaya çalışılmıştır. Örnekleme noktalarında

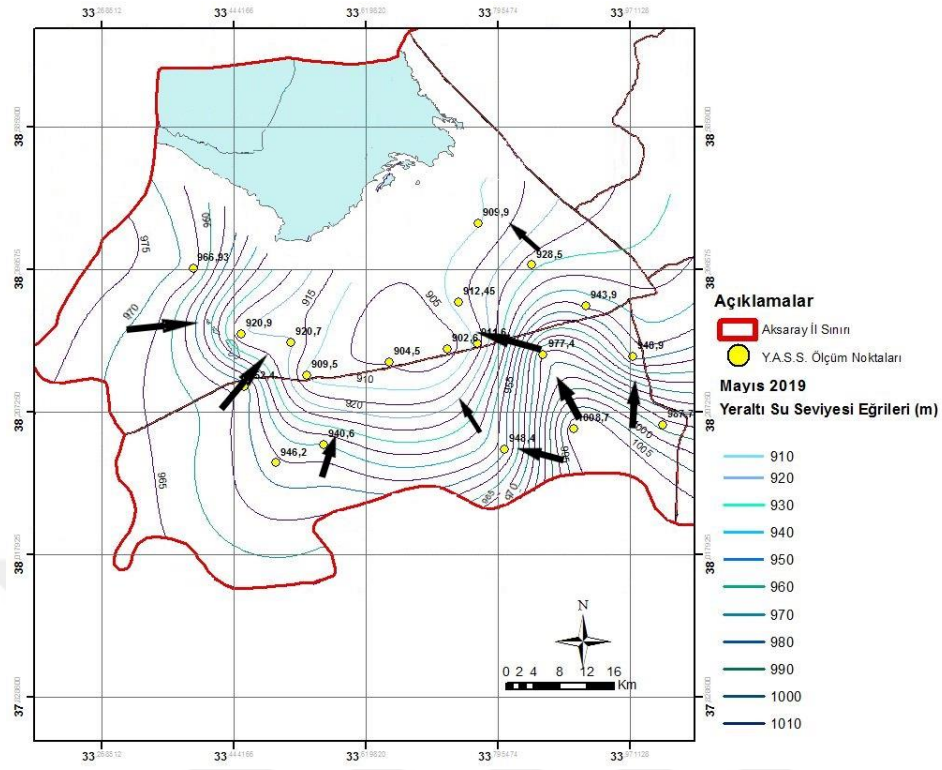
seviye ölçümü yapmamızı engelleyecek durumlarda örnekleme noktasına en yakın olan başka bir noktadan ölçüm yapılmaya çalışılmıştır. Yeraltı su seviye ölçümleri ve noktaların topoğrafik yükseklikleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.12 Mayıs 2019-Ekim 2019-Mayıs 2020 dönemleri yeraltı su seviyeleri

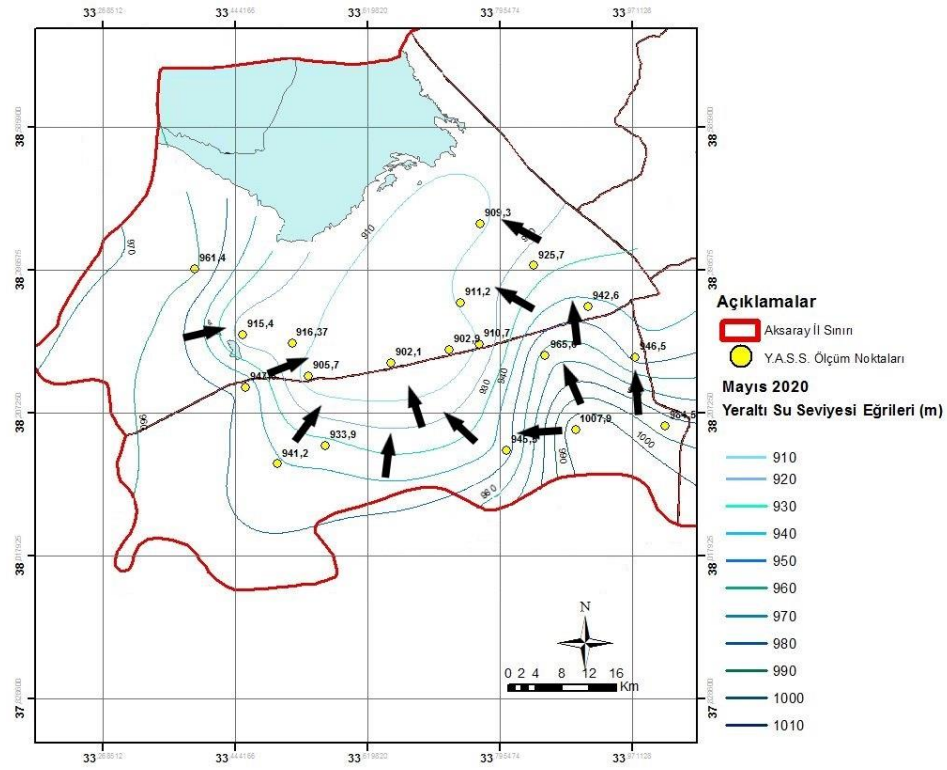
Örnek	Örnek	Kordinat		R	Mayıs 2019	Düşüm	Ekim 2019	Düşüm	Mayıs 2020	Düşüm
No	Yeri	X	Y	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)
1	Eskil(yayla)	0531388	04240355	991	24,07	966,93	25,70	965,30	29,60	961,40
2	Böget	0539794	04241521	947	26,10	920,90	30,50	916,50	31,60	915,40
3	Eşmekaya	0540058	04229709	982	29,60	952,40	33,73	948,27	34,40	947,60
4	Güneşli	0543407	04224214	985	38,80	946,20	39,10	945,90	43,80	941,20
5	Yeşiltömek	0545476	04238102	945	24,30	920,70	27,24	917,76	28,63	916,37
6	Sultanh.(itf.)	0547953	04234072	925	15,50	909,50	14,90	910,10	19,30	905,70
7	Sultanh.(Şbk.)	0545285	04228306	998	57,40	940,60	-	-	64,10	933,90
8	Kn. Y. (E.Ob)	0554164	04234939	922	17,50	904,50	17,30	904,70	19,90	902,10
9	Kn. Y. (K.T)	0564812	04238029	918	15,40	902,60	16,10	901,90	15,10	902,90
10	İncesu	0570342	04223401	1012	63,60	948,40	67,23	944,77	66,50	945,50
11	Yeniknt (itf.)	0565644	04243957	931	18,55	912,45	20,10	910,90	19,80	911,20
12	Yeniknt (Şbk)	0566349	04239197	928	16,40	911,60	17,20	910,80	17,30	910,70
12-1	Yeniknt(Mez)	0569143	04237547	932	Artezyen	-	Kapatıldı	-	-	-
13	Kutlu	0576346	04236981	991	13,60	977,40	21,08	969,92	25,40	965,60
14	Armutlu	0579120	04227170	1044	35,30	1008,70	31,40	1012,60	36,10	1007,90
15	Yeşiltepe	0567200	04257953	919	9,08	909,90	10,90	908,10	9,70	909,30
16	Yeşilova	0575920	04250146	931	2,50	928,50	4,75	926,25	5,30	925,70
17	Ataköy	0579505	04244910	945	1,10	943,90	2,21	942,79	2,40	942,60
18	Hamidiye	0584503	04239279	972	23,10	948,90	24,24	947,76	25,50	946,50
19	Taşpınar	0587784	04230909	1010	22,30	987,70	-	-	25,50	984,50

Çalışma alanını temsil edecek nitelikte 19 adet kuyudan yeraltı su seviyesi ölçümlenmiştir. Ölçümler manuel olarak kuyu başında kuyudan su çekimi yapılmadığı teyit edilerek yapılmıştır. Ölçüm değerleri kuyu başı kot yüksekliği (Rakım) göz önünde bulundurularak tekrar hesaplanmış ve yeraltı su seviye haritasına aktarılacak için yeraltı suyu kot yüksekliği belirlenmiştir.

Statik yeraltı su seviyeleri ve çalışma alanı sınırları ArcGIS 10.5 paket programına aktarılarak IDW interpolasyon yöntemi kullanılarak yeraltı su seviye eğrileri çizilmiş ve haritaları hazırlanmıştır.



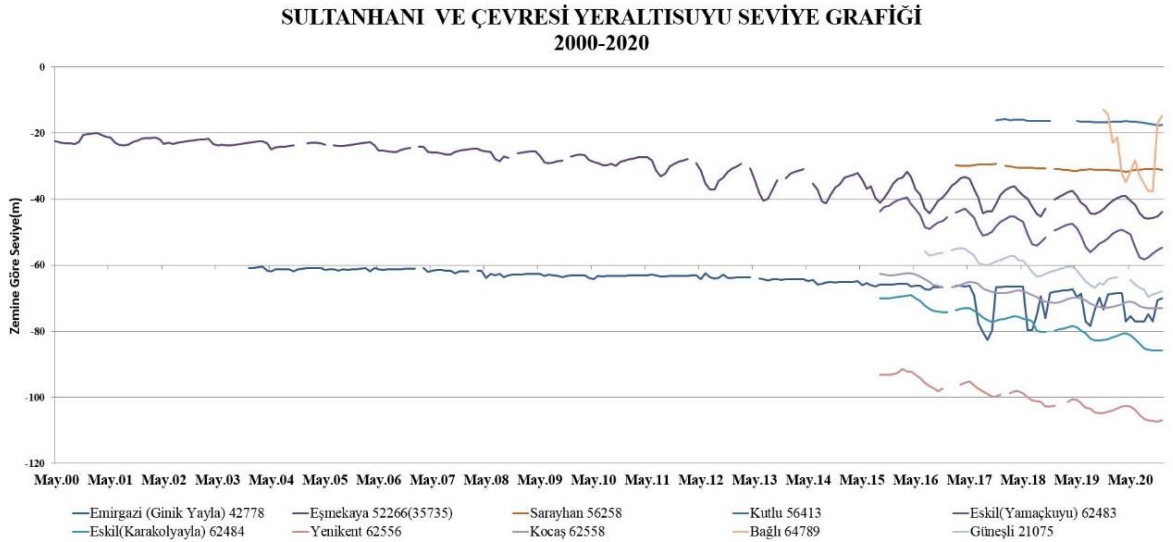
Şekil 3.34 Çalışma alanında Mayıs 2019 döneminde ölçümlenen statik yeraltı su seviyesi haritası



Şekil 3.35 Çalışma alanında Mayıs 2020 döneminde ölçümlenen statik yeraltı su seviyesi haritası

Topoğrafik eğimin düşük olduğu çalışma alanında yeraltı suyu hareketi incelendiğinde yüksek kotlardan eğimin düştüğü tuz gölüne doğru olduğu görülmektedir. Yeraltı suyu hareketini Tuz Gölü'ne doğru yaparken eğimin azaldığı Yeşiltömek-Yenikent-Yeşilova arasında kalan bölgede 910-915m kotunda birikim alanı oluşturduğu görülmektedir. Tuz Gölü'nün kotu 890-905 m arasında değişim gösterdiği düşünüldüğünde Yeşiltömek-Yenikent-Yeşilova arasında oluşan yeraltı su seviyesi eğrisinin azalması hidrolik eğimin azaldığının göstergesidir.

Yeraltı su seviye haritaları incelendiğinde; benzer özellik gösterecek de noktasal ölçekte ölçümü gerçekleştirilen su seviyelerin de yıllık periyotta 2-10 m arasında düşüm olduğu gözlenmiştir. Çalışma alanı sınırlarında yer alan ve D.S.İ. 4. Bölge Müdürlüğü tarafında uzun süredir izlenen kuyular mevcuttur. Sağlıklı verilerine ulaşabildiğimiz 10 adet kuyudan 2000-2020 yılları arasında aylık olarak ölçülen statik su seviye verileri incelenmiştir.



Şekil 3.36 2000-2020 yılları arasın da Sultanhanı ve çevresine ait aylık statik yeraltı su seviye değişimleri

Çalışma alanını temsil edecek nitelikte ki noktalardan elde ettiğimiz veriler ışığında 2000-2020 yılları arasında aylık dönemlerde ölçülmüş olan statik yeraltı su seviyeleri grafik haline getirilmiştir. Grafikler incelendiğinde 20 yıllık süreçte statik yeraltı su seviyesinde düzenli bir düşüş gözlenmiştir. 20 yıllık süreçteki düşüm seviyesi 20-25m aralığında değiştiği görülmektedir.

Yeraltı su seviyesinde gerçekleşen bu düşüşün sebebi kapalı havza özelliğinin negatif etkisi ve bunun üzerine beslenmeyi sağlayan yağışların yetersizliğidir. Havza içerisinde beslenim miktarı az olan yeraltı sularının aşırı ve kaçak kullanımı bu sürecin düzenli devam etmesinde büyük rol oynamaktadır.

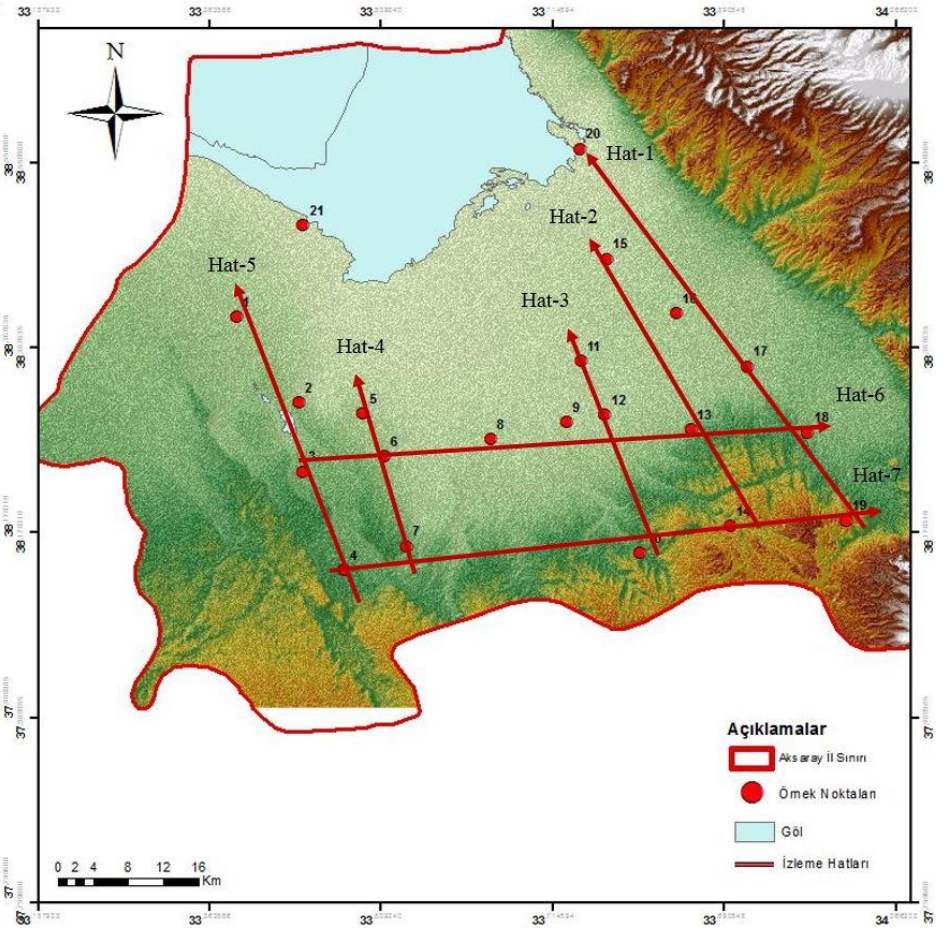
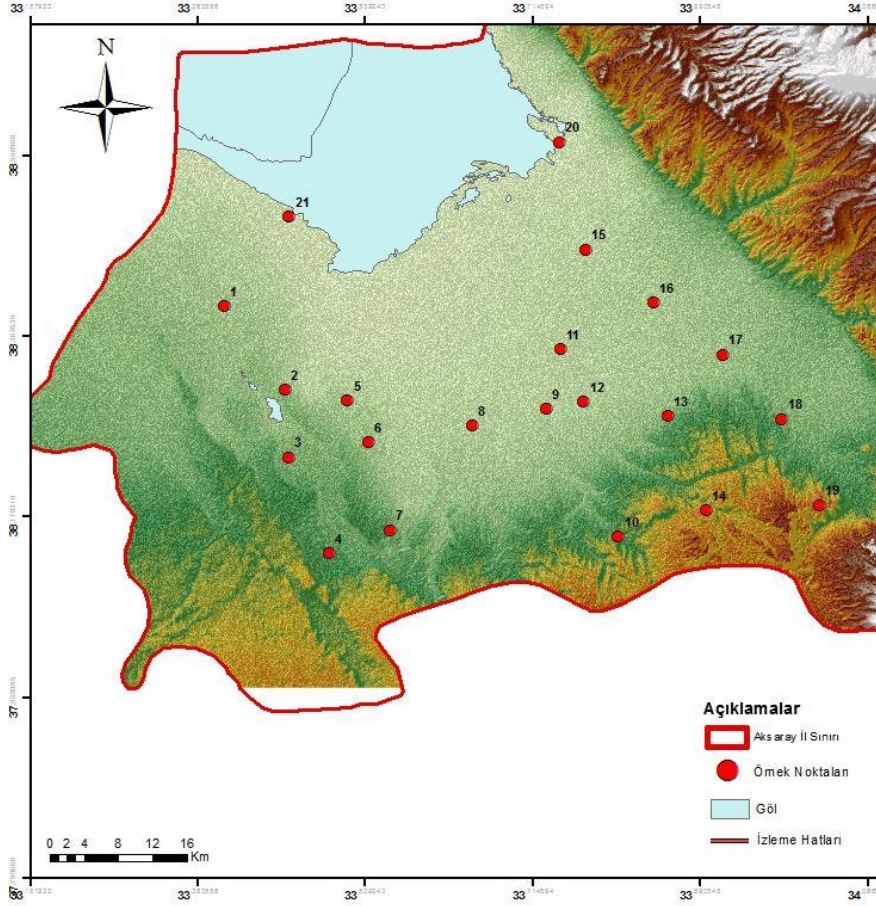
3.4 Bölgenin Hidrojeokimyasal Özellikleri

Yaşayan en küçük organizmadan, en büyük canlılara kadar tüm dünya faaliyetlerinin sürdürülebilirliğini sağlayan başlıca unsur sudur. Dünya üzerinde birçok farklı özelliğe sahip sular bulunmasına rağmen yaşam faaliyetlerinin sürdürülebilirliği için gerekli su miktarı sınırlıdır. Sınırlı kullanıma sahip temiz su kaynaklarının önemli miktarı yeraltı su kaynaklarından sağlanmaktadır. Yeraltı su kaynaklarının temeli ise meteorolojik faaliyetler sonucu yeraltına süzülen sulardan oluşmaktadır. Meteorolojik sular genelde kimyasal olarak zenginleşmiş değildir. Yer yüzeyinde ki hareketi esnasında (süzülme, taşınma) temas ettiği kayaçların etkisi ile kimyasal yapısı değişmektedir. Temas ettiği ve kimyasal olarak yapısına kattığı her ortamın özelliklerini taşır. Bu durum suların hareketi boyunca temasta olduğu ortamlar ile ilgili hafızasının olduğunun göstergesidir. Bir bölgede bulunan suların kimyasal yapıları bölgede ki hidrolik hareketlilik ve sistemin anlaşılmasında önemli bir parametredir.

İnceleme alanında en önemli su kaynağı olarak kullanılan yeraltı sularının hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi, bu kaynakların etkili ve doğru kullanımı açısından hem bugün hem de gelecek açısından önem arz etmektedir. Çalışma kapsamında Tuz Gölü dâhil olmak üzere sulama ve günlük kullanım için kullanılan kuyulardan Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde örnekler toplanmıştır. Bu örneklerle ait katyon ve iz element analizleri ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) ile Anyon analizleri ise iyon kromatografisi ile Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Elde ettiğimiz analiz sonuçları kullanılarak suların hidrokimyasal özellikleri yorumlanmıştır. Çalışma alanının kuzey bölümünde Tuz Gölü'ne olan sınırı ve bölgede yeraltı sularının tek kaynak olarak yoğun kullanımından dolayı azalan yeraltı su seviyeleri de göz önünde bulundurularak Tuz Gölü ile olan etkileşimini

incelemek için örnek noktaları sistematik olarak hatlara bölünmüştür. Örnek noktaları ve hatlara ayrılmış detaylı hali harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3.37.).





Şekil 3.37 Yeraltı suyu örnek noktaları ve oluşturulmuş hatlar.

Çalışma kapsamında örnekleme noktalarının koordinatları, yeraltı su seviyesi, pH, sıcaklık, Elektriksel iletkenlik (EC), Toplam çözünmüş katı madde miktarı (TDS) gibi fiziksel özellik değerleri in-situ olarak OHAUS Starter 400 ve ISOLAB marka ph/T/TDS/EC çoklu ölçüm aleti ile ölçülmüştür. Laboratuvar analizleri için su örnekleri 1 lt.'lik çift kapaklı polietilen şişelere alınarak örnekleme yapılmıştır. Anyon ve Katyon analizleri için laboratuvara ulaşım hızlı olduğu için asitsiz örnek alınmıştır. İzotop analizleri için Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde örnek alımı yapılmıştır. İzotop analizi için toplanan örnekler D.S.İ. Genel Müdürlüğü T.A.K.K (Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol) Dairesi Başkanlığı'na bağlı İzotop Laboratuvarları şube müdürlüğüne teslim edilmiştir. Yeraltı su seviye seviyelerinin ölçümleri örnek noktaları ve yakınlarından alınmıştır ve değerlendirmesi bölüm 3.2.2.'de yapılmıştır.

Tablo 3.13 Örnekleme, ölçüm ve analiz dönemlerinde yapılmış çalışmalar

No	Çalışma türü	Örnekleme, Ölçüm ve Analiz dönemleri		
	Gerçekleştirilmiş Çalışmalar	Kurak Dönem	Yağışlı Dönem	Kurak Dönem
1	Fiziksel Parametrelerin Ölçümü	Mayıs 2019	Ekim 2019	Mayıs 2020
2	Anyon-Katyon Analizi	Mayıs 2019	Ekim 2019	Mayıs 2020
3	Ağır Metal Analizi	Mayıs 2019	Ekim 2019	Mayıs 2020
4	İzotop Analizleri(O^{18} - H^2 – H^3)	-	Ekim 2019	Mayıs 2020
5	Yeraltı su seviye ölçümleri	Mayıs 2019	Ekim 2019	Mayıs 2020

3.4.1 Fiziksel parametrelerin değerlendirilmesi

Dünya üzerinde sular genel itibari ile bir döngü içerisinde. Bu döngüyü gerçekleştirirken birçok farklı ortama maruz kalarak yoluna devam etmektedir. Suların en önemli özelliklerinden birisi iyi bir çözücü olmasıdır. Özellikle temasta bulunduğu ortamları çözebildiği kadarı ile yapısına katar ve içerdiği bu iyonları muhafaza eder. Bir başka deyişle suların hafızası vardır. Yeraltı suları da hareket halinde olduğu için temas ettiği birimlerden yapısına kattığı iyon içeriği sayesinde bulunduğu birimlerin özellikleri hakkında fikir sahibi olmamızı sağlar. Yeraltı sularının yapısına kattığı içeriği değerlendirmek için farklı ölçüm teknikleri mevcuttur. Bu çalışmada yeraltı

sularının içeriğini değerlendirirken fiziksel özellikler ve kimyasal özellikler olarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Yeraltı sularının fiziksel özellikleri; pH, sıcaklık, Elektriksel iletkenlik (EC), Toplam çözülmüş katı madde miktarı (TDS) gibi fiziksel özellik değerleri in-situ olarak OHAUS Starter 400 ve ISOLAB marka ph/T/TDS/EC çoklu ölçüm aleti ile ölçülmüştür.



Şekil 3.38 İn-situ fiziksel parametrelerinin ölçümü

İn-situ ölçülmesinin sebebi bulunduğu ortamda anlık ölçüm yapılmaz ise zaman ve mekân değişikliği faktörlerinden kaynaklı olarak orijinal yapısının bozulmasını engellemektir. Çünkü geçen zaman ve bulunduğu ortam değişikliğinden kaynaklı olarak temasta bulunduğu birimlerin özelliklerini farklı tepkimeler sonucu kaybedebilir ve yanlış yorum yapmamıza sebep olabilir.

Çalışma kapsamında örnek noktalarından topladığımız 19 adet yeraltı suyu ve 2 adet göl suyu örneklerine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları hidrojeokimyasal açıdan değerlendirilmiştir. Laboratuvar ve in-situ olarak ölçülmüş parametreler fiziksel ve kimyasal özellikler bakımında ayrı ayrı tablo haline getirilmiş ve analiz edilmiştir.

Tablo 3.14 Fiziksel Özellikler (Mayıs 2019)

Örnek No	Örnek Yeri	Koordinat X	Koordinat Y	R (m)	T (C°)	pH	T.Ç.K.M. (mg/L)	EC (µS/cm)	S (CaCO ₃)	TZ (%)
1	Eskil	0531388	04240355	991	18,1	7,01	804	1270	557,7	6,11
2	Böget	0539794	04241521	947	18,7	7,15	1780	2640	771,5	13,60
3	Eşmekaya	0540058	04229709	982	18,6	7,34	955	1376	562,2	7,24
4	Güneşli	0543407	04224214	985	17,8	7,29	684	960	363,4	5,20
5	Yeşiltömek	0545476	04238102	945	16,6	7,18	927	1327	489	7,03
6	Sultanh.(itf.)	0547953	04234072	925	17,7	7,71	922	1362	522,8	7,00
7	Sultanh.(Şbk.)	0545285	04228306	998	19,9	7,62	671	970	400,7	5,24
8	Kn. Y. (E.Ob)	0554164	04234939	922	21,4	7,64	1257	2028	589,1	9,60
9	Kn. Y. (K.T)	0564812	04238029	918	22,1	7,92	534	862	261,8	3,78
10	İncesu	0570342	04223401	1012	20,1	7,90	435	690	232,3	3,32
11	Yeniknt (itf.)	0565644	04243957	931	18,4	7,16	1309	2220	445,5	13,50
12	Yeniknt (Şbk)	0566349	04239197	928	20,1	7,70	550	874	290,7	4,13
12-1	Yeniknt(Mez)	0569143	04237547	932	28,6	6,70	42700	66800	6611,7	-
13	Kutlu	0576346	04236981	991	21,8	7,65	502	825	262,7	3,81
14	Armutlu	0579120	04227170	1044	19,8	8,04	297	460	189,6	2,26
15	Yeşiltepe	0567200	04257953	919	18,7	7,08	1650	2590	683,0	12,3
16	Yeşilova	0575920	04250146	931	17,7	7,19	1257	2088	648,3	9,63
17	Ataköy	0579505	04244910	945	19,2	6,80	3140	4680	620,5	23,8
18	Hamidiye	0584503	04239279	972	21,8	7,47	336	522	216,3	2,56
19	Taşpınar	0587784	04230909	1010	19,7	7,49	318	472	192,9	2,42

R: Yükseklik, T: Sıcaklık, T.Ç.K.M: Toplam Çözünmüş Katı Madde, TZ: Tuzluluk, EC: Elektriksel İletkenlik, S:Toplam Sertlik

Belirlediğimiz noktalardan alınan su numunelerinin ilk ölçüm değerleri; Mayıs (2019) döneminde Sıcaklık (T): 16,6 °C-22,1°C arasında değişiklik göstermiş fakat inceleme alanı içerisindeki en derin kuyu özelliği gösteren 12-1 numaralı kuyu 28,6 °C sıcaklık değerine sahip olduğu için, alanı temsil eden diğer numunelerden ayrılmaktadır. Bu kuyunun fiziksel ve kimyasal parametreleri alanı temsil eden diğer örneklerden farklı olduğu için ayrıca belirtilmiştir. Suların asidik-bazik özelliğini gösteren pH değerleri; 6,70-8,04 arasında değişkenlik göstermektedir. pH değeri en düşük olan 12-1 numara, en yüksek olan 14 numaralı örnek noktasıdır. Diğer örneklerin pH değerleri genellikle 7,5 değerinin üzerinde değişmektedir. Elektriksel iletkenlik değeri; 460-66800 (µS/cm) arasında değerler ölçülmüştür en yüksek değer olan 66800 yine 12-1 numaralı kuyuya aittir. Toplam Çözünmüş Katı Madde Miktarı; 318-42700 mg/L arasında değişiklik göstermiştir. Sertlik değeri incelendiğinde; 189,6-771,5 mg/L arasında değişmektedir. Tuzluluk değeri yüzde (%) cinsinden incelendiğinde ise; 2,42-23,8 arasında değişim göstermektedir.

Tablo 3.15 Fiziksel Özellikler (Ekim 2019)

Örnek No	Örnek Yeri	Koordinat		R (m)	T (C°)	pH	T.Ç.K.M. (mg/L)	EC (µS/cm)	S (CaCO3)	TZ (%)
1	Eskil	0531388	04240355	991	9,5	7,06	934	1199,00	537,52	7,08
2	Böget	0539794	04241521	947	12,5	7,17	1690	2689,00	800,25	12,50
3	Eşmekaya	0540058	04229709	982	12,4	7,21	1011	1556,00	601,10	10
4	Güneşli	0543407	04224214	985	8,7	7,26	673	934,00	392,65	5,14
5	Yeşiltömek	0545476	04238102	945	11,7	7,21	933	1346,00	478,50	7,06
6	Sultanh.(itf.)	0547953	04234072	925	12,8	7,36	1026	1390,00	560,60	7,76
7	Sultanh.(Şbk.)	0545285	04228306	998	8,7	7,29	685	969,00	390,10	5,20
8	Kn. Y. (E.Ob)	0554164	04234939	922	11,2	7,38	1383	2005,00	555,00	9,05
9	Kn. Y. (K.T)	0564812	04238029	918	8,6	7,50	585	844,00	275,00	4,45
10	İncesu	0570342	04223401	1012	14,6	7,77	498	645,00	223,00	3,77
11	Yeniknt (itf.)	0565644	04243957	931	14,0	7,21	1392	2360,00	490,50	14,6
12	Yeniknt (Şbk)	0566349	04239197	928	17,8	7,61	607	839,00	334,20	4,57
13	Kutlu	0576346	04236981	991	14,7	7,52	632	840,00	259,34	4,25
14	Armutlu	0579120	04227170	1044	18,3	7,98	302	438,00	188,46	2,26
15	Yeşiltepe	0567200	04257953	919	17,7	6,98	1874	2418,00	702,56	9,06
16	Yeşilova	0575920	04250146	931	12,8	7,12	1400	2160,00	621,00	10,50
17	Ataköy	0579505	04244910	945	12,4	6,91	3550	4760,00	640,35	26,80
18	Hamidiye	0584503	04239279	972	12,6	7,43	394	581,00	240,90	2,96
19	Taşpınar	0587784	04230909	1010	13,0	7,60	345	511,00	206,25	2,61

R: Yükseklik, T: Sıcaklık, T.Ç.K.M: Toplam Çözünmüş Katı Madde, TZ: Tuzluluk, EC: Elektriksel İletkenlik, S:Toplam Sertlik

Belirlediğimiz noktalardan alınan su numunelerinin ölçüm değerleri; Ekim (2019) döneminde Sıcaklık (T): 8,6 °C - 18,3°C arasında değişiklik göstermiştir. İnceleme alanı içerisindeki daha önceki dönemde ölçüm gerçekleştirdiğimiz 12-1 numaralı kuyunun işletmeye kapatıldığı görülmüş ve Ekim 2019 döneminde ölçüm yapılamamıştır. Suların asidik-bazik özelliğini gösteren pH değerleri; 6,91-7,98 arasında değişkenlik göstermektedir. pH değeri en düşük olan 17 numara, en yüksek olan ise 14 numaralı örnek noktasıdır. Diğer örneklerin pH değerleri genellikle 7,5 değerinin üzerinde değişmektedir. Elektriksel iletkenlik değeri; 438 – 4760 (µS/cm) arasında değerler ölçülmüştür en yüksek değer olan 4760 (µS/cm) ise 17 numaralı örneğe, en düşük ise 438 (µS/cm) 14 numaralı örneğe aittir. Toplam Çözünmüş Katı Madde Miktarı; 302-3550 mg/L arasında değişiklik göstermiştir. Sertlik değeri incelendiğinde; 188,46-800,25 mg/L arasında değişmektedir. Tuzluluk değeri yüzde (%) cinsinden incelendiğinde ise; 2,24-26,8 arasında değişim göstermektedir.

Tablo 3.16 Fiziksel Özellikler (Mayıs 2020)

Örnek No	Örnek Yeri	Koordinat		R (m)	T (C°)	pH	T.Ç.K.M. (mg/L)	EC (µS/cm)	S (CaCO ₃)	TZ (%)
1	Eskil	0531388	04240355	991	23,0	7,11	720	1144,00	516,52	5,46
2	Böget	0539794	04241521	947	19,2	7,09	1732	2664,00	790,40	13,20
3	Eşmekaya	0540058	04229709	982	22,2	7,22	943	1496,00	596,52	8,66
4	Güneşli	0543407	04224214	985	18,9	7,40	677	949,00	401,42	5,20
5	Yeşiltömek	0545476	04238102	945	18,3	7,38	946	1379,00	491,36	7,01
6	Sultanh.(itf.)	0547953	04234072	925	17,8	7,42	814	1306,00	500,32	6,16
7	Sultanh.(Şbk.)	0545285	04228306	998	21,5	7,61	675	959,00	388,25	5,19
8	Kn. Y. (E.Ob)	0554164	04234939	922	21,8	7,55	1166	2013,00	565,54	8,85
9	Kn. Y. (K.T)	0564812	04238029	918	22,3	7,75	526	893,00	256,00	3,99
10	İncesu	0570342	04223401	1012	23,5	7,86	357	691,00	236,30	3,43
11	Yeniknt (itf.)	0565644	04243957	931	19,6	7,24	1330	2280,00	460,10	14,01
12	Yeniknt (Şbk)	0566349	04239197	928	21,5	7,60	529	891,00	356,40	4,01
13	Kutlu	0576346	04236981	991	22,6	7,77	457	790,00	264,10	3,45
14	Armutlu	0579120	04227170	1044	20,1	8,02	223	445,00	164,80	2,04
15	Yeşiltepe	0567200	04257953	919	20,9	7,01	1590	2500,00	691,20	10,10
16	Yeşilova	0575920	04250146	931	18,6	7,11	1460	2190,00	660,50	11,20
17	Ataköy	0579505	04244910	945	18,1	6,90	2980	4610,00	642,25	22,70
18	Hamidiye	0584503	04239279	972	22,1	7,51	378	639,00	253,60	2,87
19	Taşpınar	0587784	04230909	1010	20,6	7,70	238	525,00	199,20	1,81
20	Tuz Gölü-1	0565036	04270501	903	18,1	7,48	214960	334000	53929	>50
21	Tuz Gölü-2	0543503	04258088	910	19,3	7,91	300640	542000	-	>50

R: Yükseklik, T: Sıcaklık, T.Ç.K.M: Toplam Çözünmüş Katı Madde, TZ: Tuzluluk, EC: Elektriksel İletkenlik, S:Toplam Sertlik

Belirlediğimiz noktalardan alınan su numunelerinin ölçüm değerleri; Mayıs (2020) döneminde Sıcaklık (T): 17,8 °C - 23,5°C arasında değişiklik göstermiştir. Suların asidik-bazik özelliğini gösteren pH değerleri; 6,90-8,02 arasında değişkenlik göstermektedir. pH değeri en düşük olan 17 numara, en yüksek olan ise 14 numaraları örnek noktasıdır. Elektriksel iletkenlik değerleri; 445 - 4610 (µS/cm) aralığında ölçülmüştür en yüksek değer olan 4610 (µS/cm) ise 17 numaralı örneğe, en düşük ise 445 (µS/cm) ile 14 numaralı örnek noktasına aittir. Toplam Çözünmüş Katı Madde Miktarı; 223-2980 mg/L arasında değişiklik göstermiştir. Sertlik değeri incelendiğinde; 164,80-790,58 mg/L arasında değişmektedir. Tuzluluk değeri yüzde (%) cinsinden incelendiğinde ise; 1,81-22,7 arasında değişim göstermektedir.

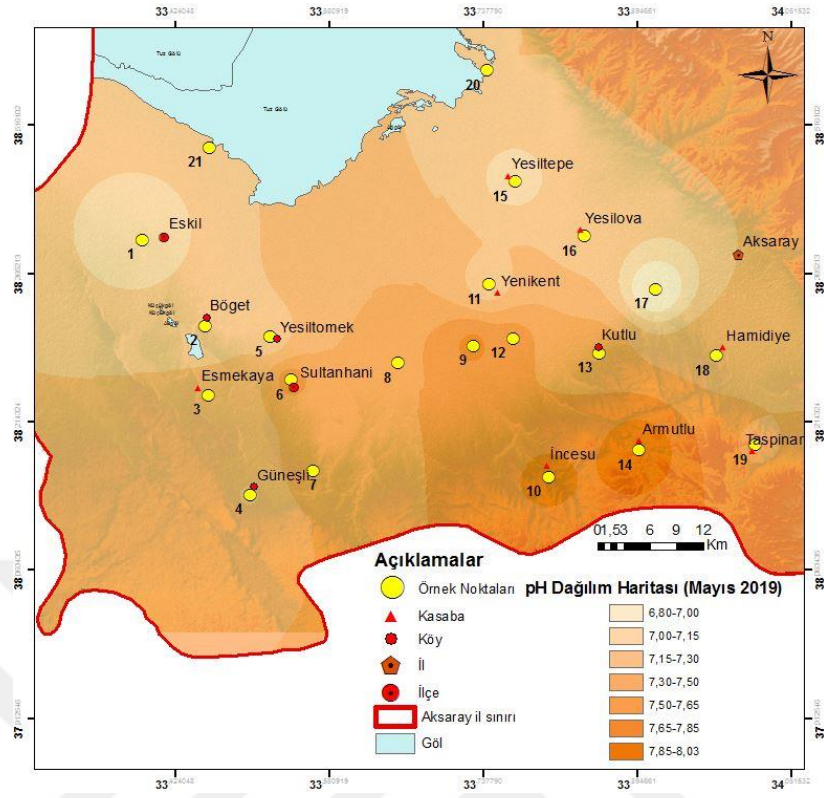
Tablo 3.17 Çalışma alanı fiziksel özellik parametrelerinin dönemlere göre minimum, maksimum ve ortalama değerleri

Parametreler	Mayıs (2019)			Ekim (2019)			Mayıs (2020)		
	Min.	Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.	Min.	Mak.	Ort.
T (C°)	16,60	22,10	19,37	8,60	18,30	12,84	17,80	23,50	20,66
pH	6,70	8,04	7,44	6,91	7,98	7,35	6,90	8,02	7,43
T.Ç.K.M (mg/L)	318,00	3140,00	964,63	302,00	3550,00	1048,11	223,00	2980,00	933,74
EC (µS/cm)	472,00	4680,00	1485,05	438,00	4760,00	1499,16	445,00	4610,00	1492,84
S (CaCO ₃)	189,60	771,50	436,84	188,46	640,35	431,69	164,80	690,40	443,94
TZ (%)	2,26	23,80	7,50	2,27	26,80	7,90	1,70	22,70	7,35

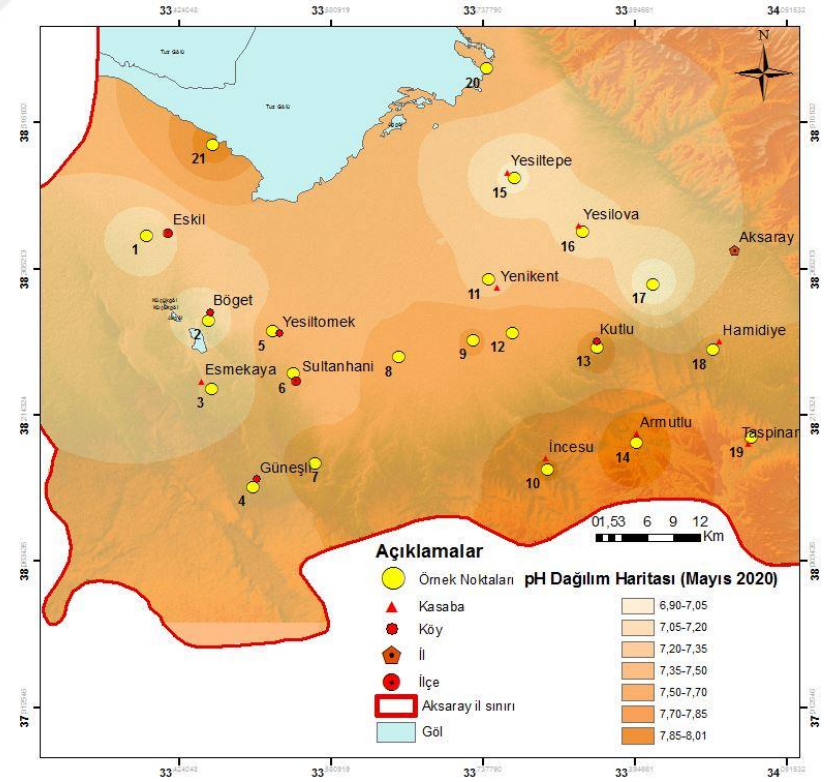
R : Yükseklik, T : Sıcaklık, T.Ç.K.M : Toplam Çözülmüş Katı Madde, TZ : Tuzluluk, EC : Elektriksel İletkenlik, S :Toplam Sertlik

İnceleme alanında Mayıs 2019, Ekim 2019, Mayıs 2020 dönemlerinde ölçülen pH değerleri incelendiğinde 6,90-8,04 arasında değişim göstermektedir. Tuz Gölü ile Aksaray-Sultanhanı karayolu arasında kalan Alibeykağılı ve Yeşilova üyesine ait birimlerin hâkim olduğu bölgede pH değerleri 6,91-7,22 arasında asidik özellik göstermektedir. Çalışma alanının daha güney kesimlerinde; özellikle İnsuyu formasyonu birimlerinin hâkim olduğu bölgede ise pH değeri 7,5 değeri ve üzerine çıkmıştır. Bu durumun sebebi alanının jeolojik yapısının karbonatlı kayalar ağırlıklı olması (İnsuyu Formasyonu-Kuvaterner Çökelleri) ve bikarbonat-karbonat ayrışmasının etkili olduğu şeklinde açıklanabilir. Yeraltı suyunda bikarbonat-karbonat miktarının artması pH değerinin artarak suyun bazik özelliğinin artmasına sebep olmuştur.

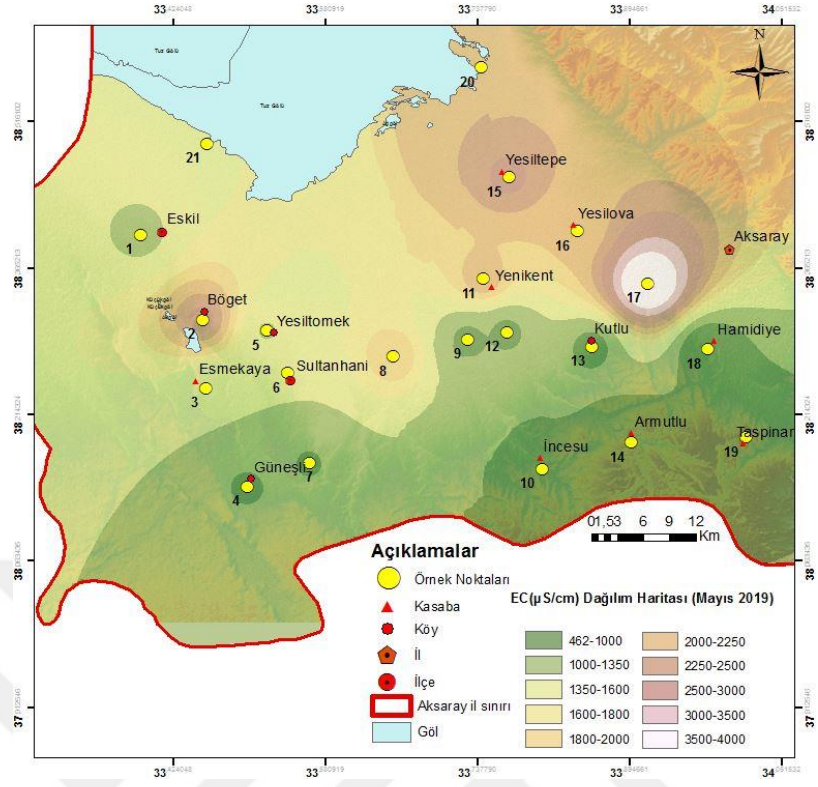
İnceleme alanındaki EC (Elektriksel İletkenlik) değerleri inceleme dönemi olan Mayıs 2019-Ekim 2019-Mayıs 2020 boyunca 438-66800 (µS/cm) aralığında değişmektedir. Alandaki EC değerleri geniş bir aralıkta bulunmaktadır. Bu durumun sebebi su kayalar ilişkilerinin farklı sürelerde olmasına bağlanabilir. Yeraltı sularının kayalar ile temas süresi arttıkça iyon içeriği zenginleşecek ve elektriksel iletkenliği artacaktır. Elektriksel iletkenlik değerinin en düşük olduğu bölgede suların yeraltında kalış süresinin kısa olduğu ve mevsimsel yağışlardan beslendiği yorumunu yapabiliriz. En yüksek olduğu örneklerle bakıldığında ise yeraltında kalış süresinin uzun ve su kayalar etkileşiminin fazla olduğu söylenebilir. Ayrıca Tuz Gölü'ne yakın olan örneklerde de EC değerinin yüksek olduğu gözlenmektedir. Bu durum Tuz Gölü'nün yeraltı sularını etkilediği ve tuz içeriği yüksek suyun yeraltı sularına karıştığına belirtisi olabilir.



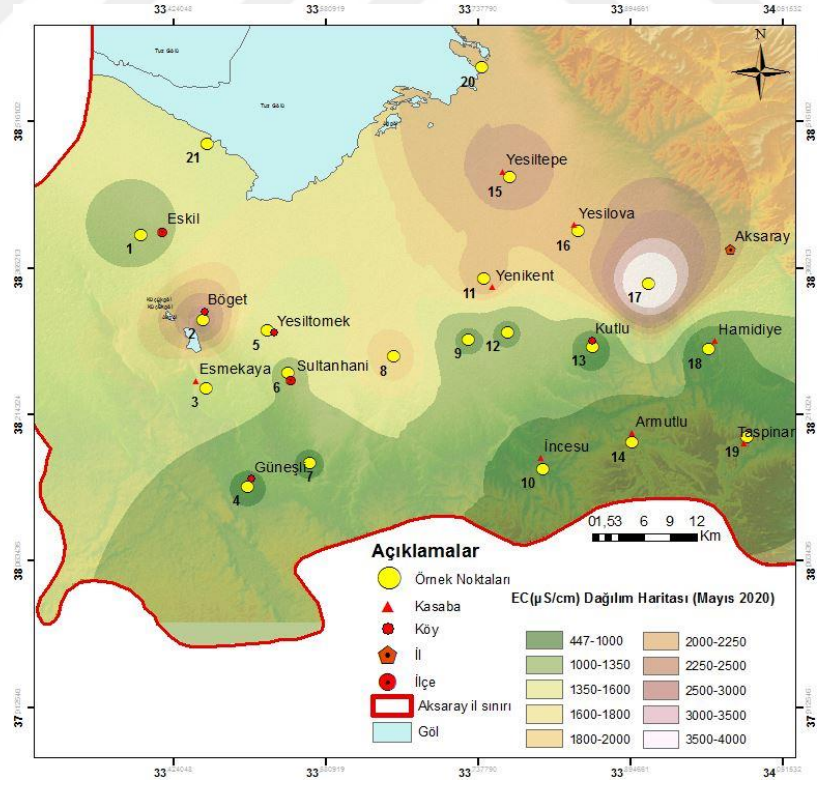
Şekil 3.39 İnceleme alanı pH değerleri dağılım haritası (Mayıs 2019)



Şekil 3.40 İnceleme alanı pH değerleri dağılım haritası (Mayıs 2020)

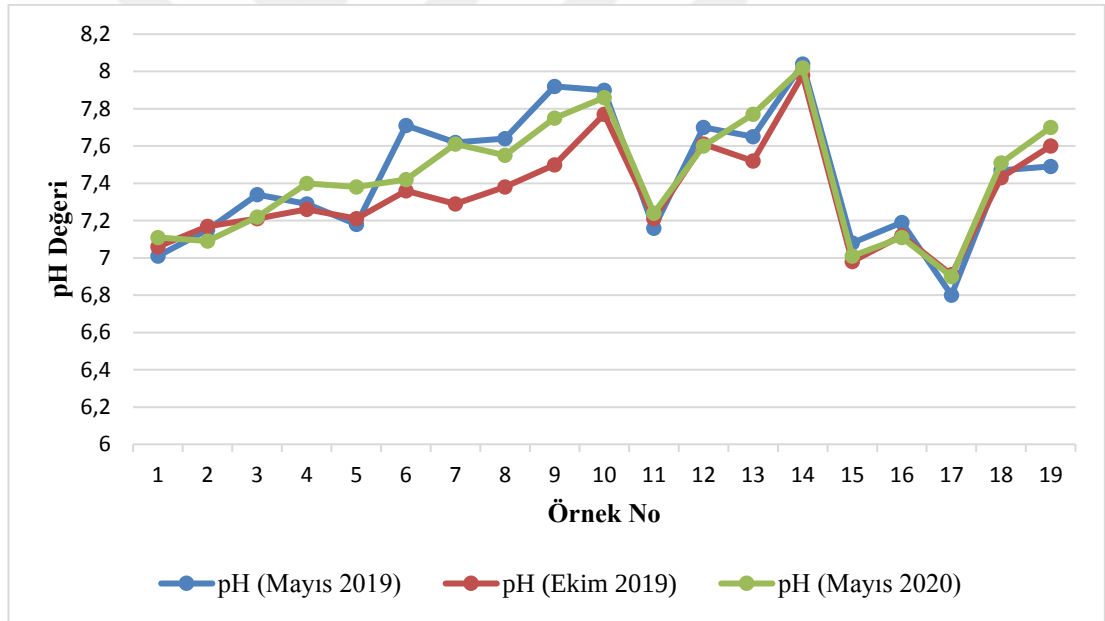


Şekil 3.41 İnceleme alanına ait EC dağılım haritası (Mayıs 2019)

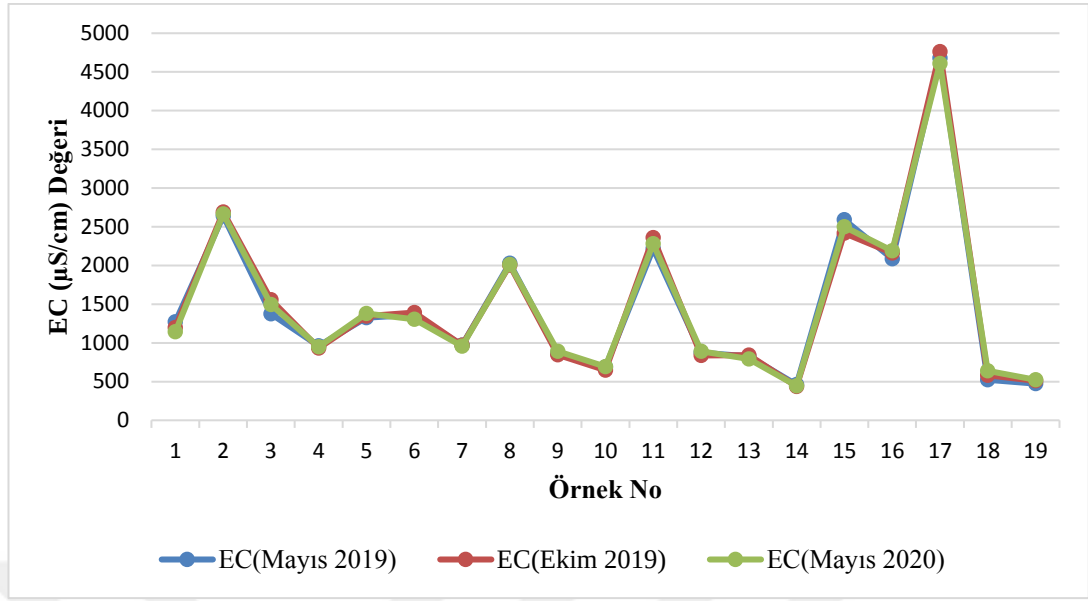


Şekil 3.42 İnceleme alanına ait EC dağılım haritası (Mayıs 2020)

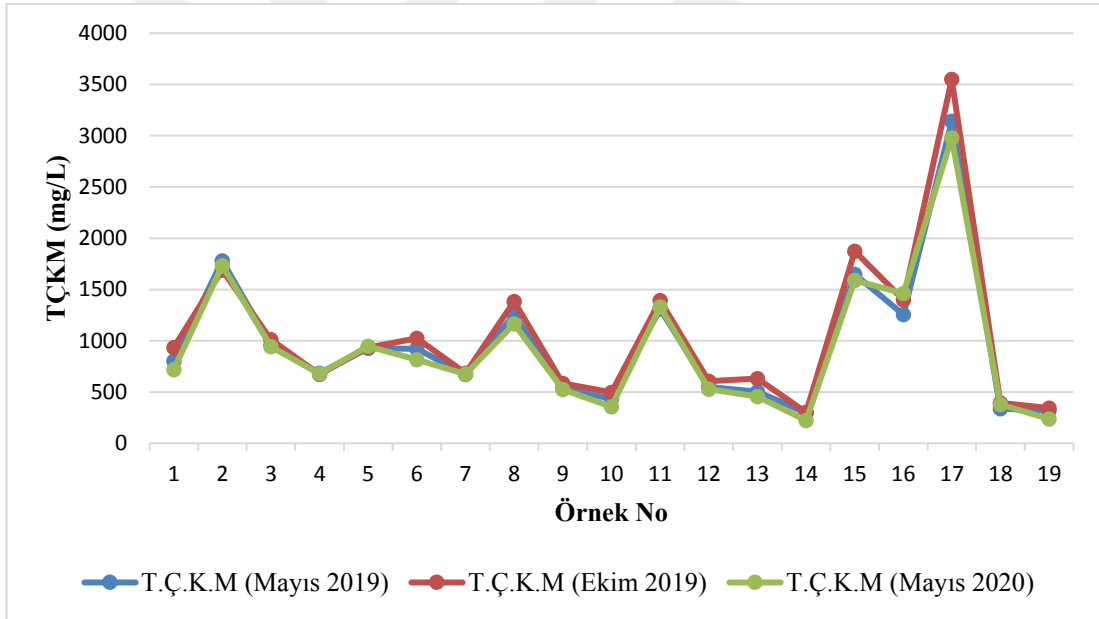
Toplam çözünmüş katı madde (T.Ç.K.M) sonuçlarına bakıldığında Mayıs 2019-Ekim 2019-Mayıs 2020 dönemleri boyunca 223-42700 mg/L aralığında değişim göstermektedir. En düşük değer 14 ve 19 numaralı Armutlu ve Taşpınar kasabasından aldığımız örneklerle aittir. En yüksek değerler ise 20 ve 21 numaralı Tuz Gölü örnekleri ile yeraltı suyu örneklerinden 12-1 ile 17 numaralı örneğe aittir. Fakat 12-1 numaralı örnek noktasının Ekim 2019 örnekleme çalışmaları sırasında işletmeye kapatıldığı görülmüştür bu sebeple Ekim 2019 ve Mayıs 2020’de veri alınamamıştır. Bu yüzden karşılaştırmaların sağlıklı yapılabilmesi için Mayıs 2019 - Ekim 2019 - Mayıs 2020 dönemlerinde en yüksek 2. T.Ç.K.M değerine sahip olan nokta değerlendirilecektir. En yüksek değere sahip 2. Nuktada ise Ekim 2019 döneminde 3550 mg/L’lik değer ile 17 no’lu Ataköy beldesidir. Diğer dönemlerde de EC değeri ile orantılı olarak T.Ç.K.M değeri en yüksek olarak ölçülmüştür.



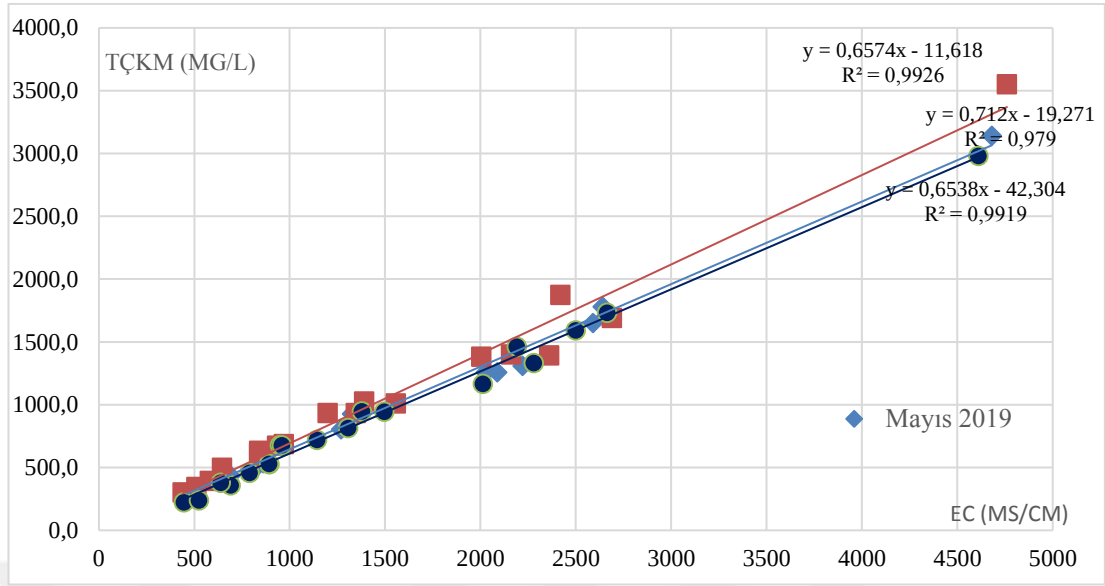
Şekil 3.43 Örnekleme dönemlerine ait pH değerleri değişim grafiği



Şekil 3.44 Örnekleme dönemlerine ait EC değerleri değişim grafiği



Şekil 3.45 Örnekleme dönemlerine ait T.Ç.K.M değerleri değişim grafiği



Şekil 3.46 EC-T.Ç.K.M grafiği

İnceleme alanının fiziksel parametreleri genel olarak ele alındığında, EC ve T.Ç.K.M değerleri birbirleri ile orantılı seyretmektedir. Mayıs 2019-Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde örnekleme yaptığımız noktalarda Mayıs aylarında elde edilen fiziksel parametrelerde nispeten düşmeler söz konusudur. Bu durumun sebebi; kış aylarında yağış miktarının fazla oluşu ve yeraltı sularının kullanımının bu dönemde az oluşundan kaynaklı süzülen suların akiferi beslediği olarak açıklanabilir.

Fiziksel parametre değerleri bulunduğu jeolojik birimin özelliklerini yansıttığı grafiklerden ve dağılım haritalarından da anlaşılmaktadır. EC dağılım haritasına bakıldığında Kuvaterner, Pliyo - Kuvaterner birimler ile Neojen kireçtaşlarına ait birimler dağılım haritasında net bir şekilde ayırt edilmektedir. EC değerinin Kuvaterner, Pliyo - Kuvaterner birimlerde 1500-4610 $\mu\text{S/cm}$ aralığında olduğu, Neojen kireçtaşlarına ait birimlerde ise 450-1500 $\mu\text{S/cm}$ aralığında olduğu görülmektedir. Aynı formasyon birimlerinde, örnek noktaları yakın olmasına rağmen ölçülen EC ve T.Ç.K.M değerlerinde meydana gelen farklılıklar akifer heterojenliğine bağlanmaktadır.

3.4.2 Kimyasal parametrelerin değerdendirilmesi

Yeraltı su kaynaklarının temeli olan atmosferik sular, yeryüzünde ve süzüldükten sonra yeraltında temasta bulunduğu kayaçların özelliklerini ihtiva ederler. Çözücü özelliği sayesinde temasta bulunduğu kayaçlardan pozitif ve negatif yüklü iyonları yapısına dâhil ederek farklı kimyasal içeriklere sahip olurlar. Suların hareketi boyunca uğradığı zamansal ve mekânsal değışimler (kayaç temas süresi, litolojik farklılıklar vb.) sahip oldukları kimyasal içeriklerde de değışime sebep olurlar. Suların kazanmış olduğu bu kimyasal özellikler, suların etkili ve doğru kullanımında önem arz etmektedir. Yeraltı sularının temel iyon yapısı, yeraltı sularının gelişim aşamalarını anlayabilmek ve içerisinde ihtiva ettiği malzemeyi anlamak için en önemli veridir

Suların etkili ve doğru kullanımı için yapılan sınıflandırmaların temelinde kimyasal parametreler göz önünde bulundurulmaktadır. Suların sınıflandırılması, su tiplerinin belirlenmesi ve fasiyes özellikleri hakkında yorum yapılması için suyun ihtiva ettiği kimyasal parametreler su içinde bulunma yüzdelerine göre sıralanarak sınıflandırılırlar. Sıralama öncelikli olarak katyonlar ve daha sonra anyonlar şeklinde yapılır (A.I.H, 1979). Ca^{+2} , Mg^{+3} , Na^{+} , K^{+} iyonları katyon grubunda yer alırken, HCO_3^{-} , SO_4^{-} , Cl^{-} ve CO_3^{-} iyonları anyon grubunda yer alır. Yeraltı sularının sahip olduğu katyon ve anyonların bulunma yüzdeleri, yeraltı sularının akış yönü, temas ettiği birimlerin jeolojik özellikleri ve kirletici kaynakları hakkında geniş yorum yapabilmemizi sağlamaktadır. Geliştirilen yorumlar; yeraltı sularının kullanıldığı tüm alanlarda etkin kullanım olanakları ve sorunların çözümlerine yardımcı olmaktadır.

Çalışma kapsamında, Mayıs 2019-Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde 19 adet su kuyusu ve 2 adet göl ortamından alınan numuneler analiz edilmiştir. Kimyasal analizler Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Katyon ve iz element analizleri ICP-OES (İndüktif Eşleştirilmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi) ile anyon analizleri ise iyon kromatografisi ile ölçülmüştür. Dönemlere ait kimyasal parametreler ve hesaplanan SAR, %Na, MH değeri Tablo 3. 18., Tablo 3 19. ve Tablo 3 20.'de düzenlenmiştir.

Tablo 3.18 Çalışma alanı Kimyasal özellikleri (Mayıs 2019)

Örnek No	T Tür	T (C°)	pH	EC (µS/cm)	T.Ç.K.M (mg/L)	Sertlik (CaCO ₃)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺ (mg/L)	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	SAR	%Na	MH (%)	Su Tipi
1	Kuyu	18,1	7,01	1270	804	557,7	150,5	44,2	78,6	7,1	596,4	107,5	137,0	1,44	30,58	32,89	Ca-HCO ₃
2	Kuyu	18,7	7,15	2640	1780	771,5	140,5	102,3	429,4	17,8	869,0	449,2	369,5	6,70	64,81	54,82	Na-HCO ₃
3	Kuyu	18,6	7,34	1376	955	562,2	160,3	62	101,5	14,7	570,5	182,8	178,7	1,72	34,32	39,20	Ca-HCO ₃
4	Kuyu	17,8	7,29	960	684	363,4	101,0	27,1	59,8	2,6	474,0	39,3	54,9	1,37	32,75	30,88	Ca-HCO ₃
5	Kuyu	16,6	7,18	1327	927	489	108,5	53,1	104,5	5,7	505,7	90,6	177,6	2,05	40,55	44,90	Ca-HCO ₃
6	Kuyu	17,7	7,71	1362	922	522,8	116,5	56,5	131,5	9,0	528,4	135,5	182,4	2,49	44,83	44,68	Ca-HCO ₃
7	Kuyu	19,9	7,62	970	671	400,7	110,6	30,3	65,6	2,9	461,8	49,6	77,1	1,42	32,73	31,35	Ca-HCO ₃
8	Kuyu	21,4	7,64	2028	1257	589,1	83,3	92,7	273,3	9,9	625,4	147,6	410,3	4,87	61,68	64,97	Na-Cl
9	Kuyu	22,1	7,92	862	534	261,8	74,4	24,8	69,5	6,6	330,2	79,4	67,7	1,78	43,44	35,69	Ca-HCO ₃
10	Kuyu	20,1	7,90	690	435	232,3	51,9	24,9	64,3	3,0	220,4	106,3	60,8	1,83	46,66	44,43	Na-HCO ₃
11	Kuyu	18,4	7,16	2220	1309	445,5	85,3	57,1	399,9	22,0	649,6	236,4	427,3	8,18	74,76	52,73	Na-Cl
12	Kuyu	20,1	7,70	874	550	290,7	74,2	25,6	81,1	7,0	210,5	97,0	159,7	2,06	46,87	36,52	Na-Cl
12-1	Kuyu	28,6	6,70	66800	42700	6611,7	788,8	1128,6	20696,1	102,2	3024,2	5,9	36706,5	110,14	91,56	70,45	Na-Cl
13	Kuyu	21,8	7,65	825	502	262,7	49,4	33,4	87,0	3,3	287,1	59,1	119,2	2,34	52,18	52,94	Na-HCO ₃
14	Kuyu	19,8	8,04	460	297	189,6	39,8	21,9	23,5	2,1	222	30,6	27,4	0,74	29,30	47,88	Mg-CO ₃
15	Kuyu	18,7	7,08	2590	1650	683,0	129,6	107,4	361	18,1	629,8	197,2	630,2	5,65	61,53	58,01	Na-Cl
16	Kuyu	17,7	7,19	2088	1257	648,3	146	99,3	330,9	29,2	555,9	267,8	629,9	5,16	59,51	53,06	Na-Cl
17	Kuyu	19,2	6,80	4680	3140	620,5	101,6	89,2	992	32,2	744,7	406,6	1390,2	17,24	84,29	59,40	Na-Cl
18	Kuyu	21,8	7,47	522	336	216,3	45,3	25,1	42,38	5,98	267,2	38,5	39,6	1,25	40,72	48,01	Ca-HCO ₃
19	Kuyu	19,7	7,49	472	318	192,9	57,7	11,9	31,3	7,5	234,4	13,4	57,8	0,98	35,77	25,58	Ca-HCO ₃

%Na: Yüzde Sodyum İçeriği, **SAR:** Sodyum Adsorpsiyon Oranı, **MH:** Magnezyum Tehlikesi

Tablo 3.19 Çalışma alanı Kimyasal özellikleri (Ekim 2019)

Örnek No	T Tür	T (C°)	pH	EC (µS/cm)	T.Ç.K.M (mg/L)	Sertlik (CaCO ₃)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	SAR	%Na	MH (%)	Su Tipi
1	Kuyu	9,5	7,06	1199,00	934	537,52	155,0	45,6	69,8	6,2	539,3	104,0	164,5	1,26	27,46	32,91	Ca-HCO ₃
2	Kuyu	12,5	7,17	2689,00	1690	800,25	135,3	68,9	460,6	10,5	790,6	451,3	387,2	8,01	69,77	45,90	Na-HCO ₃
3	Kuyu	12,4	7,21	1556,00	1011	601,10	175,4	64,6	116,6	4,3	590,4	136,6	235,4	1,91	33,50	38,04	Ca-HCO ₃
4	Kuyu	8,7	7,26	934,00	673	392,65	103,4	29,4	63,3	2,5	471,3	48,2	57,7	1,41	33,08	32,11	Ca-HCO ₃
5	Kuyu	11,7	7,21	1346,00	933	478,50	107,6	55,0	99,7	5,5	499,6	91,3	169,6	1,95	39,28	46,01	Ca-HCO ₃
6	Kuyu	12,8	7,36	1390,00	1026	560,60	109,4	55,6	119,4	8,3	508,2	134,2	170,9	2,32	43,62	45,86	Ca-HCO ₃
7	Kuyu	8,7	7,29	969,00	685	390,10	106,3	30,9	68,4	3,3	459,6	48,9	79,7	1,50	34,28	32,65	Ca-HCO ₃
8	Kuyu	11,2	7,38	2005,00	1383	555,00	84,3	93,7	269,7	8,7	615,3	152,3	392,2	4,78	61,01	64,95	Na-Cl
9	Kuyu	8,6	7,50	844,00	585	275,00	73,4	25,7	65,4	6,2	325,4	73,6	70,4	1,67	41,94	36,84	Ca-HCO ₃
10	Kuyu	14,6	7,77	645,00	498	223,00	47,2	25,2	53,8	2,8	212,5	96,3	68,6	1,57	43,90	47,10	Na-HCO ₃
11	Kuyu	14,0	7,21	2360,00	1392	490,50	84,3	76,7	400,2	23,8	651,5	246,3	426,5	7,56	72,49	60,27	Na-Cl
12	Kuyu	17,8	7,61	839,00	607	334,20	79,3	26,8	79,6	9,4	212,4	105,2	137,7	1,97	45,61	36,05	Na-Cl
13	Kuyu	14,7	7,52	840,00	632	259,34	80,7	36,4	111,3	3,8	313,4	99,6	170,1	2,58	49,57	42,94	Na-HCO ₃
14	Kuyu	18,3	7,98	438,00	302	188,46	32,9	22,5	31,2	4,3	215,4	36,7	24,9	1,03	39,05	53,27	Mg-HCO ₃
15	Kuyu	17,7	6,98	2418,00	1874	702,56	123,3	103,2	367,4	12,3	617,6	185,5	639,2	5,88	62,64	58,26	Na-Cl
16	Kuyu	12,8	7,12	2160,00	1400	621,00	145,6	92,4	325,4	23,7	564,7	233,4	537,5	5,17	59,47	51,40	Na-Cl
17	Kuyu	12,4	6,91	4760,00	3550	640,35	100,3	89,5	995,4	52,0	763,4	289,1	1494,4	17,33	84,66	59,81	Na-Cl
18	Kuyu	12,6	7,43	581,00	394	240,90	54,4	28,3	48,5	5,8	270,9	42,6	61,5	1,33	39,47	46,40	Mg-HCO ₃
19	Kuyu	13,0	7,60	511,00	345	206,25	54,3	14,3	33,6	7,4	243,1	10,2	54,0	1,05	37,40	30,50	Ca-HCO ₃

%Na: Yüzde Sodyum İçeriği, **SAR:** Sodyum Adsorpsiyon Oranı, **MH:** Magnezyum Tehlikesi

Tablo 3.20 Çalışma alanı Kimyasal özellikleri (Mayıs 2020)

Örnek No	T Tür	T (C°)	pH	EC (µS/cm)	T.Ç.K.M (mg/L)	Sertlik (CaCO ₃)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	SAR	%Na	MH (%)	Su tipi
1	Kuyu	23,0	7,11	1144,00	720	516,52	96,5	54,4	79,1	7,0	432,1	90,3	149,8	1,60	36,32	48,43	Ca-HCO ₃
2	Kuyu	19,2	7,09	2664,00	1732	790,40	136,9	86,7	440,2	12,6	825,3	433,6	382,3	7,22	66,95	51,35	Na-HCO ₃
3	Kuyu	22,2	7,22	1496,00	943	596,52	168,6	71,4	108,7	7,9	560,0	165,3	220,3	1,77	32,70	41,37	Ca-HCO ₃
4	Kuyu	18,9	7,40	949,00	677	401,42	95,8	36,9	66,2	3,4	465,7	68,8	65,7	1,46	34,41	39,12	Ca-HCO ₃
5	Kuyu	18,3	7,38	1379,00	946	491,36	106,3	57,2	111,3	6,6	490,7	99,3	175,4	2,16	41,89	47,31	Ca-HCO ₃
6	Kuyu	17,8	7,42	1306,00	814	500,32	106,7	59,5	121,5	9,3	509,2	131,3	179,5	2,34	44,03	48,19	Ca-HCO ₃
7	Kuyu	21,5	7,61	959,00	675	388,25	105,6	32,3	68,3	3,4	466,7	51,3	81,3	1,49	34,20	33,75	Ca-HCO ₃
8	Kuyu	21,8	7,55	2013,00	1166	565,54	89,2	99,7	253,4	8,8	618,3	154,3	394,7	4,36	58,13	65,07	Na-Cl
9	Kuyu	22,3	7,75	893,00	526	256,00	78,3	31,1	69,9	6,9	300,5	90,4	100,3	1,69	41,25	39,85	Ca-HCO ₃
10	Kuyu	23,5	7,86	691,00	357	236,30	56,2	30,8	64,3	3,5	211,4	126,4	67,5	1,71	43,77	47,72	Na-HCO ₃
11	Kuyu	19,6	7,24	2280,00	1330	460,10	88,0	75,2	403	24,0	647,3	236,6	457,8	7,59	72,35	58,75	Na-Cl
12	Kuyu	21,5	7,60	891,00	529	356,40	87,6	34,1	78,2	7,5	205,4	99,6	180,3	1,79	41,29	39,35	Na-Cl
13	Kuyu	22,6	7,77	790,00	457	264,10	56,7	43,2	85,4	3,1	273,0	103,8	133,9	2,07	46,98	55,93	Na-HCO ₃
14	Kuyu	20,1	8,02	445,00	223	164,80	37,4	26,1	37,4	5,2	217,2	52,9	24,4	1,15	40,13	53,72	Mg-HCO ₃
15	Kuyu	20,9	7,01	2500,00	1590	691,20	121,3	115,7	375,8	21,8	608,0	186,7	642,2	5,83	62,66	61,39	Na-Cl
16	Kuyu	18,6	7,11	2190,00	1460	660,50	154,7	108,7	326,8	42,7	545,6	253,4	633,2	4,90	58,39	53,93	Na-Cl
17	Kuyu	18,1	6,90	4610,00	2980	642,25	92,2	92,1	1047,0	41,8	733,6	391,4	1348,3	18,37	85,52	62,47	Na-Cl
18	Kuyu	22,1	7,51	639,00	378	253,60	43,6	31,5	54,5	5,0	265,5	46,7	67,7	1,54	44,22	54,60	Mg-HCO ₃
19	Kuyu	20,6	7,70	525,00	238	199,20	63,6	17,3	38,6	8,6	242,8	14,3	77,7	1,10	36,88	31,25	Ca-HCO ₃
20	Göl	18,1	7,48	334000	214960	53929	701,0	12710	101610	4550	850,0	27600	179900	188,87	88,78	96,80	Na-Cl
21	Göl	19,3	7,91	542000	300640	-	890,0	4160	124160	3520	340,0	8400	199700	386,00	96,20	88,62	Na-Cl

%Na: Yüzde Sodyum İçeriği, **SAR:** Sodyum Adsorpsiyon Oranı, **MH:** Magnezyum Tehlikesi

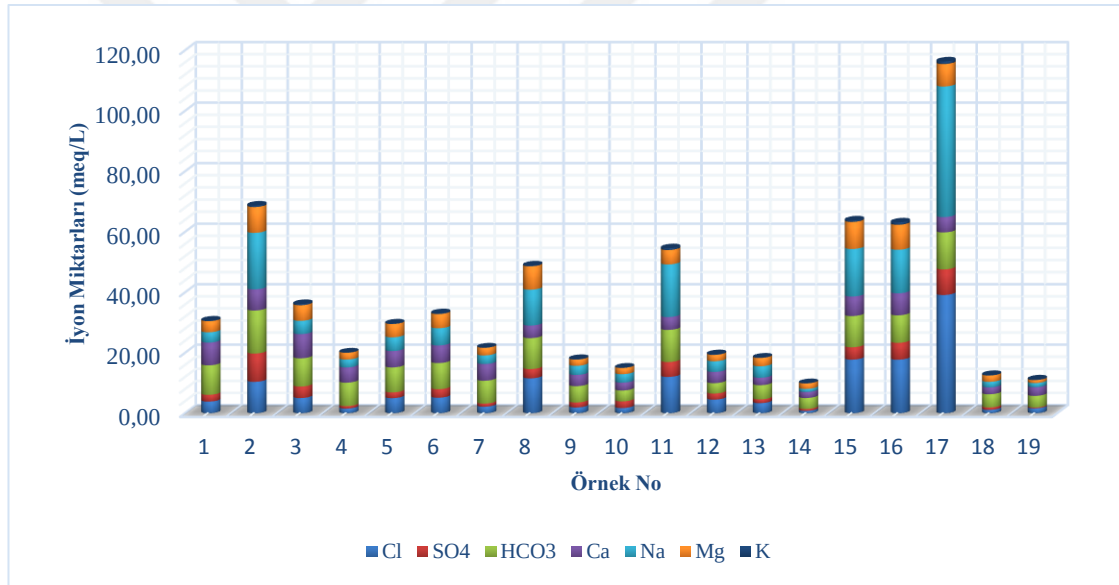
Tablo 3.21 Tüm örnek alınan dönemlere ait su tipleri ve iyon dizilimleri

İyon Dizilimi (meq/L)	Su Tipi	Mayıs 2019	Ekim 2019	Mayıs 2020
$\text{Ca}^{+2} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{+2}$ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$	Ca-HCO₃	4-5-6-7-9-19	1-4-6-7-9-19	4-5-6-7-9-19
$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$		1-3-18	3-5	1-3
$\text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2} > (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$	Mg-HCO₃	14	14-18	14-18
$(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2}$ $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2}$	Na-Cl	8-11-(12-1)-15-16-17	8-11-15-16-17	8-11-15-16-17-20-21
$(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$ $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2}$		12	12	12
$(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2}$ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$	Na-HCO₃	2-13	10	2-13-18
$(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$ $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$		10	2-10-13	10

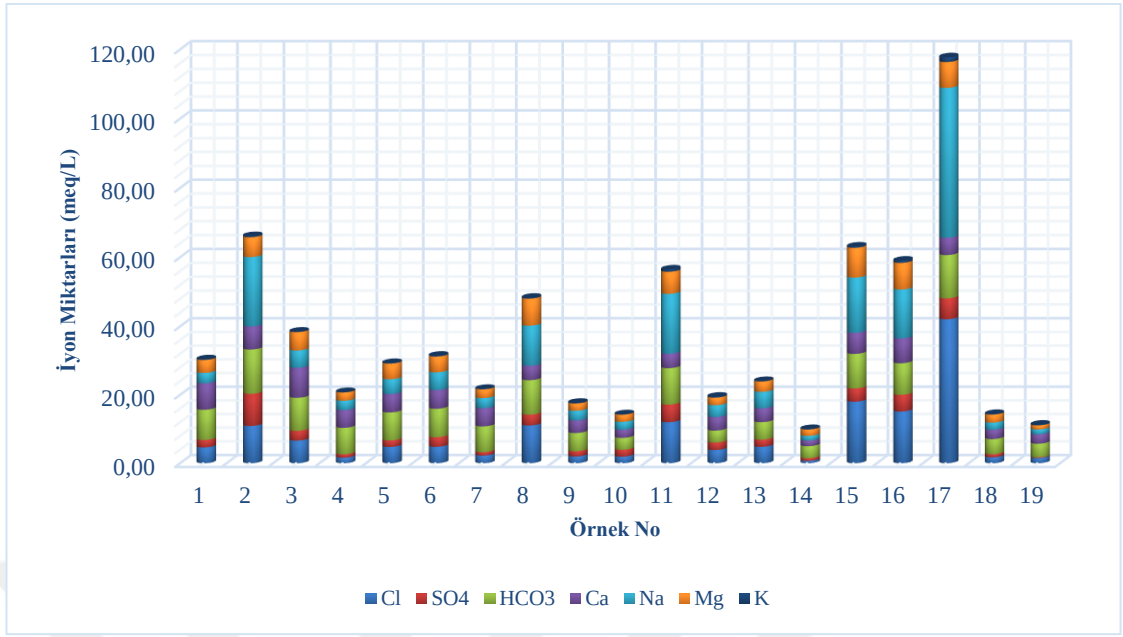
Çalışma alanında yer alan yeraltı sularının kimyasal parametreleri ve hidrokimyasal özellikleri değerlendirildiğinde Na-Cl, Na-HCO₃, Ca-HCO₃, Mg-HCO₃ fasiyes özellikleri gösterdiği anlaşılmıştır. Fasiyes özelliklerinde farklılık olmasının sebebi çevresel koşulların farklılık göstermesidir. Özellikle Tuz Gölü'nün çalışma alanına komşu olması, yeraltı su seviyesinin azalması ve birimlerin geçirimsizlik özelliklerinden kaynaklı fasiyes özelliklerinde farklılıklar söz konusudur. Örnekleme yapılan noktalardan göle yakın bölgeler Na-Cl tipi fasiyes özelliği gösterirken gölden uzaklaştıkça ve jeolojik birim özellikleri değiştikçe Na-HCO₃ ve Ca-HCO₃ şeklinde fasiyes değişimleri gözlenmiştir. Mayıs 2019, Ekim 2019, Mayıs 2020 dönemlerinde yapılan örneklerin fasiyes özelliklerinde değişim gözlenmemiştir. Sadece 14 ve 18 numaralı örneklerde fasiyes özellikleri değişim göstermiştir. Mayıs 2019 döneminde Na-HCO₃ tipi fasiyes özelliği gösteren 14 numaralı örnek Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde Mg-HCO₃ tipi fasiyes özelliği göstermiştir. Kimyasal parametreler karşılaştırıldığında Mayıs 2019 döneminde Mg ve Na bulunma değerlerinin yakın

olduğu, Na değerinin Mg değerinden az miktarda fazla olduğu gözlenmiştir. İlerleyen dönemlerde (Ekim 2019 ve Mayıs 2020) Mg miktarının Na miktarını geçerek baskın iyon durumuna geçtiği gözlenmiştir. Cihanbeyli formasyonu bölgede hâkim birim olmasına rağmen Hasandağı volkaniklerinin bu bölgede yüzeylendiği gözlenmiştir. Yeraltı sularında Mg miktarının artışı volkanik birimlerin sularla etkileşimine bağlanabilir.

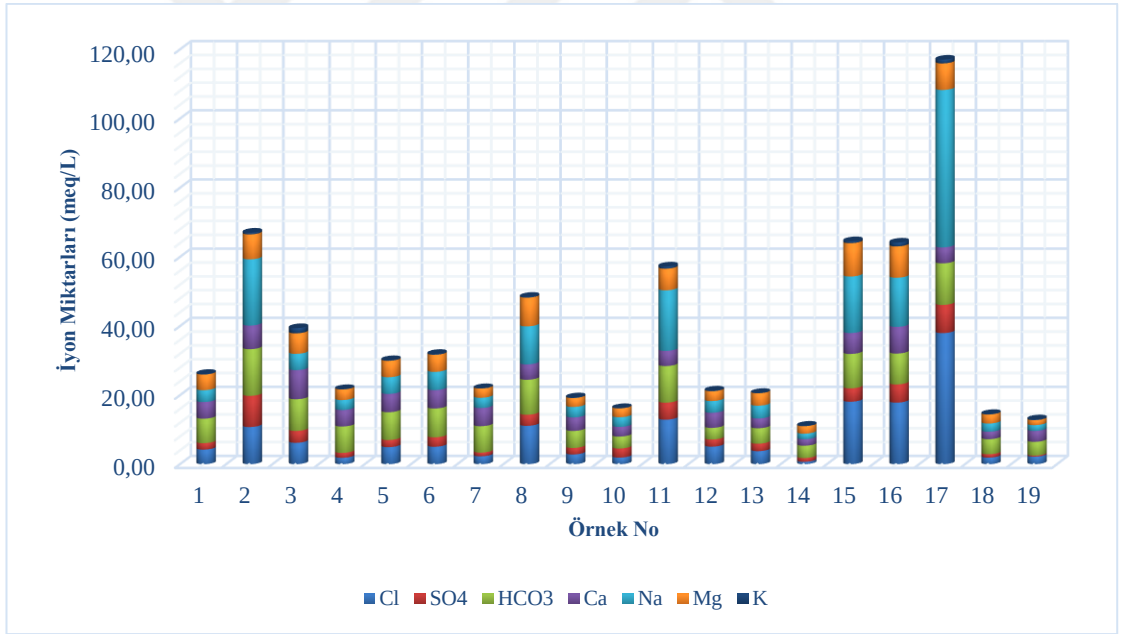
Mayıs 2019, Ekim 2019 dönemlerinde Ca-HCO₃ tipi fasiyes özelliği gösteren 18 numaralı örnek, Mayıs 2020 döneminde Na-HCO₃ tipi fasiyes özelliği göstermiştir. 18 numaralı örneğin 3 dönem de elde edilen iyon dizilimleri ve diğer örnekler karşılaştırıldığında Na-Cl tipi fasiyes özelliği gösteren örneklerle en yakın örnek olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 3.47 Mayıs 2019 örnekleme dönemine ait iyon dağılımları



Şekil 3.48 Ekim 2019 örnekleme dönemine ait iyon dağılımları



Şekil 3.49 Mayıs 2020 örnekleme dönemine ait iyon dağılımları

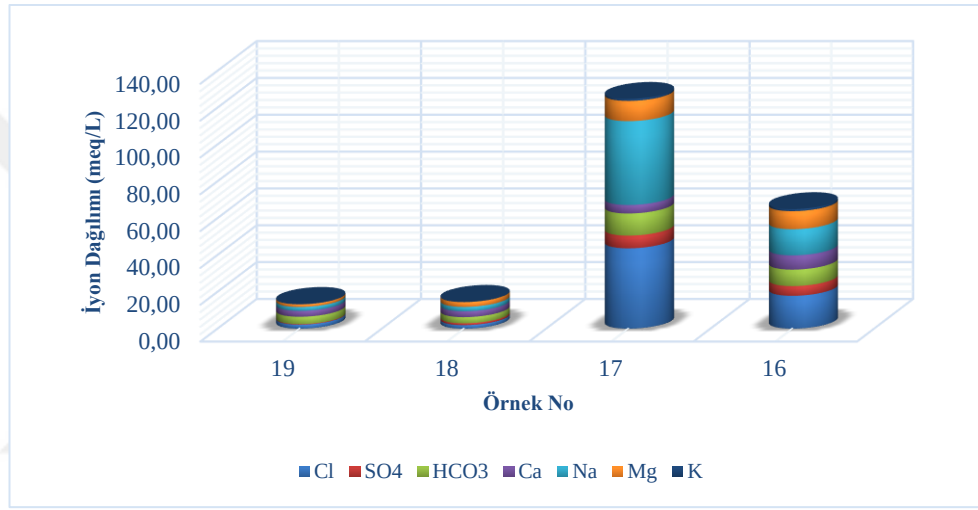
İyon dağılımları dönemsel olarak grafiklerde verilmiştir. Mayıs 2019 döneminde örnek alabildiğimiz 12-1 numaralı kuyu artezyen yaptığı için yüksek basınçtan dolayı kapatılmıştır. Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde 12-1 numaralı kuyudan örnek alınamamış ve karşılaştırma imkânı bulunmadığı için grafiğe yansıtılmamıştır. İyon

dağılımlarına bakıldığında 2, 8, 11, 15, 16, 17 numaralı örneklerin iyon miktarlarının diğerlerine oranla yüksek olduğu gözükmemektedir. Bu noktalar Tuz Gölü sınırı ile Sultanhanı-Aksaray yolunun kuzeyinde kalan bölgede ve litolojik olarak Tuz gölü formasyonuna ait birimlere karşılık gelmektedir. Bu örneklerin iyon içerikleri incelendiğinde Na^+ ve Cl^- değerinin yüksek olduğu gözlenmektedir. Örneklerin fasiyes özelliklerine bakıldığında (Tablo 3. 21.) 8, 11, 15, 16, 17 Na-Cl tipinde, 2 numaralı örnek ise Na- HCO_3 tipinde fasiyes özelliği göstermiştir. Örneklerin yer aldığı bölge ve yeraltı sularının iyon içerikleri dikkate alındığında Na ve Cl miktarının yüksek oluşu nedeni ile yeraltı sularının Tuz Gölü ile etkileşim içerisinde olduğu veya yeraltında kalış süresine bağlı olarak tuz içeriğine yüksek birimlerle iyon değişimine uğradığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

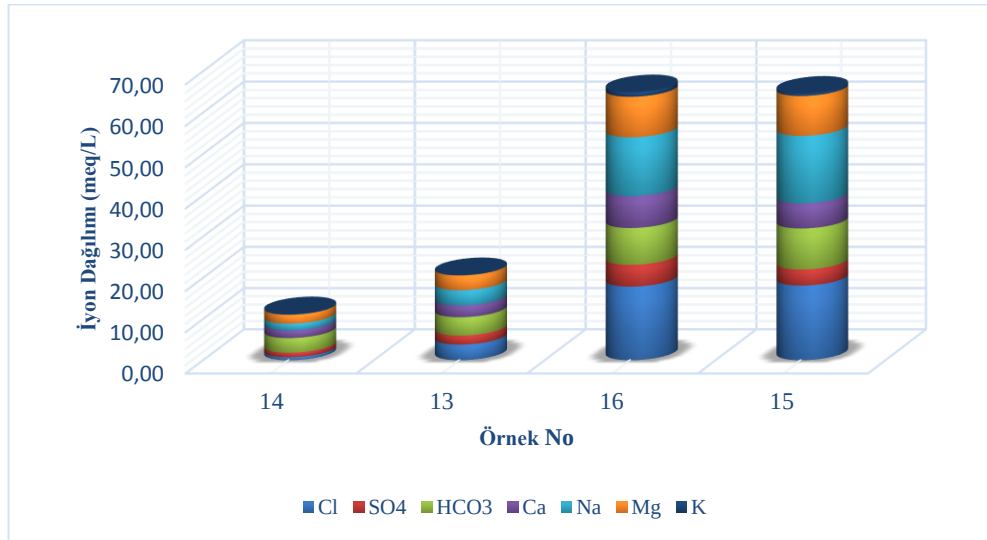
Sultanhanı-Aksaray karayolunu yakınındaki örneklerin iyon dağılımlarında Na^+ ve Cl^- değerleri yüksek olmasına rağmen fasiyes özellikleri değişim göstermektedir. Çalışma alanında Aksaray iline yaklaştıkça bu değişim hattı yolun güneyine Armutlu - İncesu bölgesine kadar ilerlerken, Sultanhanı tarafına gidildikçe bu değişim hattı karayolu kuzeyine kayma eğilimi göstermektedir. Özellikle 10, 12, 13, 14, 18 numaralı örnekler sırası ile İncesu, Yenikent, Kutlu Armutlu, Hamidiye bölgelerinden alınmıştır. Örneklerin iyon dağılımlarına bakıldığında fasiyes özelliklerini ortaya koyacak iyon değerleri birbirine yakındır. Örneklerin fasiyes özelliklerine bakıldığında (Tablo 3. 21.) 10, 13, 14, 18 numaralı örnekler Na- HCO_3 tipinde, 12 numaralı örnek ise Ca-Cl tipinde iyon dizilimi göstermiştir. Hamidiye bölgesinde yer alan 18 numaralı örneğin iyon dizilimine baktığımızda Mayıs 2019, Ekim 2019 döneminde Ca- HCO_3 fasiyes tipindeyken Mayıs 2020 döneminde Na miktarının nispeten artmasından kaynaklı Na- HCO_3 tipi fasiyes özelliği göstermiştir. Değişim ekseninin jeolojik özelliklerine bakıldığında Tuz gölü formasyonu içerisinde olduğu görülmektedir.

Çalışma alanı güney bölgesinde yer alan örnekleme noktalarına baktığımızda fasiyes özelliklerinde bir değişim durumu söz konusu değildir. Örnek noktalarından 1,3, 4, 5, 6, 7, 9, 19 numaralı örneklerin iyon dizilimine bakıldığında 3 örnekleme dönemi boyunca kararlı biçimde Ca- HCO_3 tipi fasiyes özelliği gösterdiği gözlenmiştir.

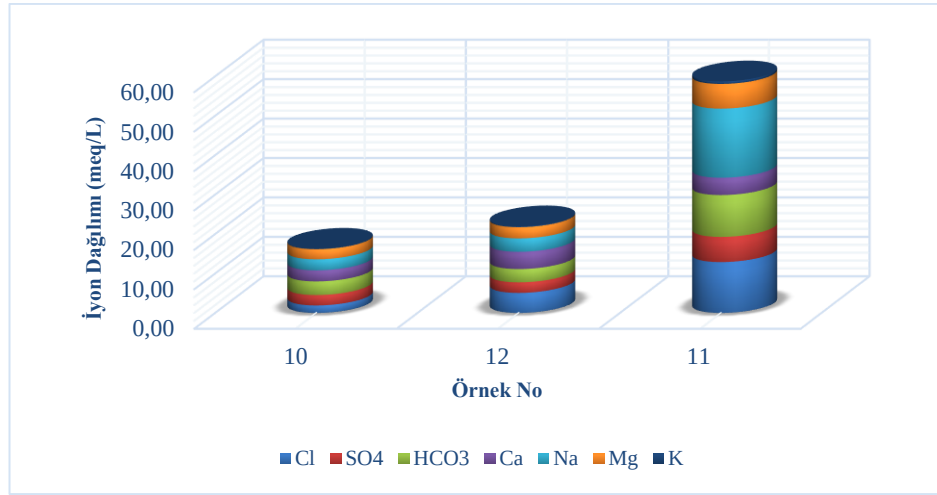
Örneklerin yer aldığı bölgenin jeolojik özelliklerine bakıldığında 1 ve 5 numaralı örneklerin olduğu bölge hariç hepsi Cihanbeyli formasyonu içerisinde yer almaktadır. İyon diziliminde baskın durumda bulunan Ca ve HCO₃ iyonunun kaynağı, Cihanbeyli formasyonuna ait kireçtaşlarıdır. Bölgede yeraltı suyu taşıyan en önemli birimler Pliyo-Kuvaterner yaşlı Tuz gölü formasyonu birimleri ve Miyo-Pliyosen yaşlı Kireçtaşı seviyeleridir. Yeraltı sularının, ikincil deformasyona uğramış kireçtaşı birimlerini çözerek etkileşimde bulunması sonucu katyon tarafında Ca ve anyon tarafında HCO₃ iyonlarının baskın olduğu sonucuna varılmaktadır.



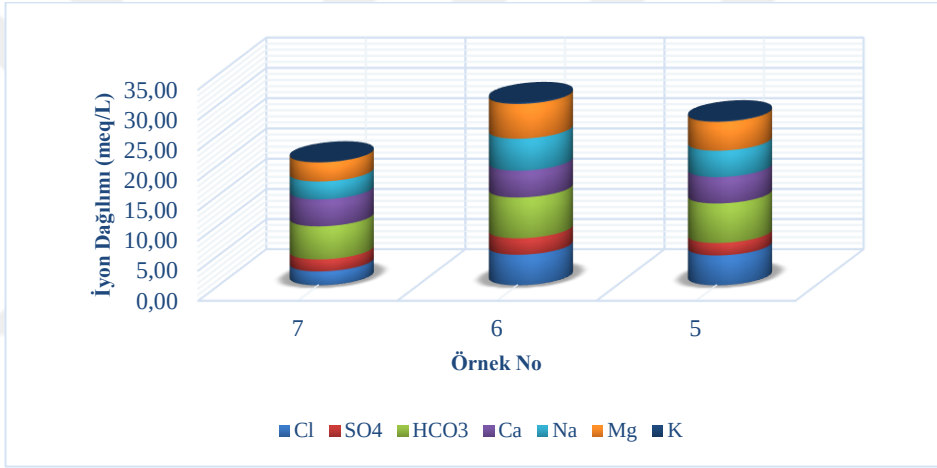
Şekil 3.50 Çalışma alanında Hat-1’de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020)



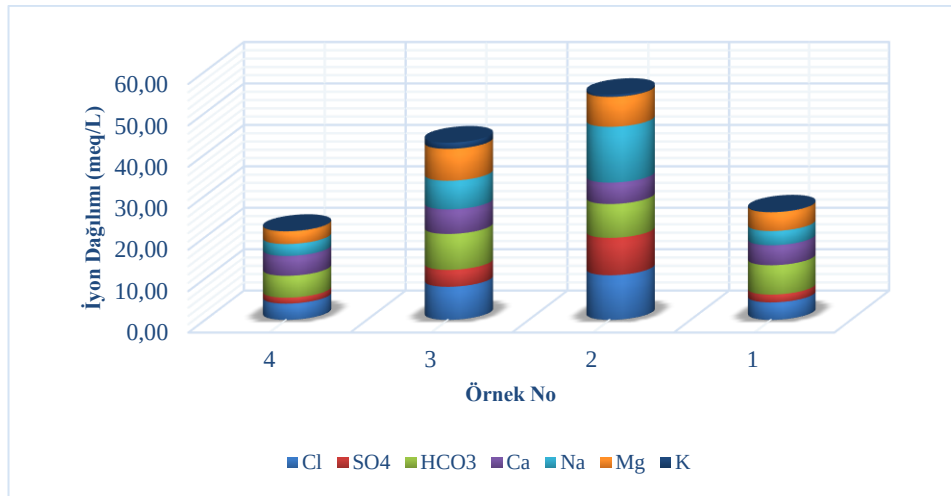
Şekil 3.51 Çalışma alanında Hat-2’de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020)



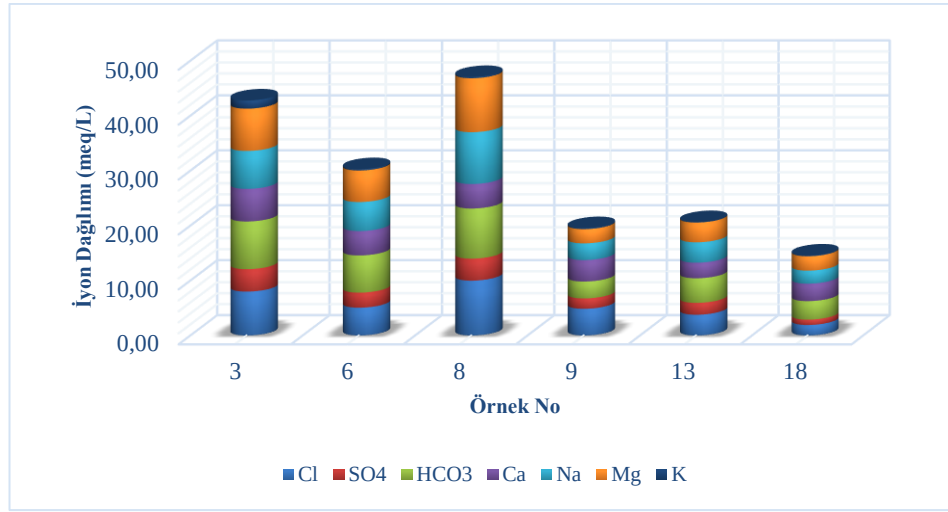
Şekil 3.52 Çalışma alanında Hat-3’de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020)



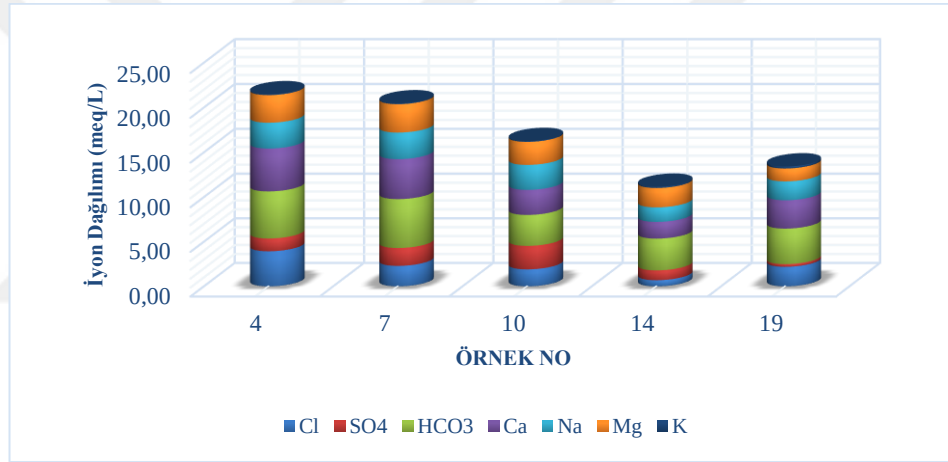
Şekil 3.53 Çalışma alanında Hat-4’de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020)



Şekil 3.54 Çalışma alanında Hat-5’de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020)



Şekil 3.55 Çalışma alanında Hat-6'de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020)



Şekil 3.56 Çalışma alanında Hat-7'de yer alan yeraltı sularının iyon dağılımı (Mayıs 2020)

Çalışma alanı içerisinde örnekleme noktalarına ait iyon değişimlerini takip edebilmek ve değerlendirebilmek için hatlara ayrılmıştır (Şekil 3. 35.). Yeraltı sularının akım yönünde hareketi sonucu kimyasal yapısındaki değişiklikleri anlamak için iyon dağılım grafikleri çizilmiştir (Şekil 3.45.-3.54.).

Yeraltı sularının hareketi boyunca değerlendirme yapmak için oluşturulmuş hatların EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Cl(meq/L) iyonu, Fasiyes tipi özelliklerini, kolayca karşılaştırıp değişimleri gözleyebilmemiz için değerlendirme grafiği oluşturulmuştur (Tablo 3.22.).

Tablo 3.22. Çalışma alanındaki değerlendirme hatlarının özellikleri

Hat-1	Örnek No	19	18	17	16	20(Tuz Gölü D.)	
	EC (µS/cm)	525	639	4610	2190	334000	
	Cl(meq/L)	2,19	1,91	37,98	17,84	5068	
	Fasiyes Tipi	Ca-HCO ₃	Mg-HCO ₃	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	
Hat-2	Örnek No	14	13	15			
	EC (µS/cm)	445	790	2500			
	Cl(mg/L)	0,67	3,77	18,09			
	Fasiyes Tipi	Mg-Na-HCO ₃	Na-HCO ₃	Na-Cl			
Hat-3	Örnek No	10	12	11			
	EC (µS/cm)	691	891	2280			
	Cl(meq/L)	1,9	5,08	12,90			
	Fasiyes Tipi	Na-HCO ₃	Na-Cl	Na-Cl			
Hat-4	Örnek No	7	6	5			
	EC (µS/cm)	959	1306	1379			
	Cl(meq/L)	2,29	5,06	4,94			
	Fasiyes Tipi	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃			
Hat-5	Örnek No	4	3	2	1	21(Tuz Gölü B.)	
	EC (µS/cm)	949	1496	2664	1144	542000	
	Cl(meq/L)	1,85	6,2	10,77	4,22	5625	
	Fasiyes Tipi	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Na-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Na-Cl	
Hat-6	Örnek No	3	6	8	9	13	18
	EC (µS/cm)	1496	1306	2013	893	790	639
	Cl(meq/L)	6,2	5,06	11,12	2,82	3,77	1,91
	Fasiyes Tipi	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Na-Cl	Ca-HCO ₃	Na-HCO ₃	Mg-HCO ₃
Hat-7	Örnek No	4	7	10	14	19	
	EC (µS/cm)	949	959	691	445	525	
	Cl(meq/L)	1,85	2,29	1,9	0,69	2,19	
	Fasiyes Tipi	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Na-HCO ₃	Mg-Na-HCO ₃	Ca-HCO ₃	

Çalışma alanında ayırdığımız değerlendirme hatlarına bakıldığında Hat-1, Hat-2, Hat-3, Hat-4 ve Hat-5’de Tuz Gölü’ne doğru yeraltı sularının iyon içeriğinde zenginleşme görülmektedir. Bu durumun sebebi su hareketi boyunca temasta olduğu kayaları çözmekte ve iyon içeriğini zenginleştirmektedir. Fakat Tuz Gölü’ne yakın olan bölgelerde fasiyes tipi Na-Cl şeklinde değişim gösterdiği için Tuz Gölü’nden çalışma alanına doğru bir girişim olduğu söylenebilir. Hat-6 ve Hat-7’nin iyon dizilimleri ne bakıldığında Hat-6’ya ait noktalarda iyon dağılımlarında dalgalanma söz konusudur. İyon içeriği zenginleşen noktaların fasiyes özelliğine bakıldığında Ca-HCO₃, Na-HCO₃ ve Na-Cl şeklinde değişimler olduğu görülmektedir. Hat-6’da açık bir şekilde Na ve Cl iyonlarının artış göstermesi nedeni ile yeraltı suyunun karakterini değiştirdiği anlaşılmaktadır. Çalışma alanının en güney kısmını temsil eden Hat-7’de ise su karakteri Ca-HCO₃ tipinde ve iyon miktarı diğer noktalara göre nispeten daha düşük seviyededir. Hat-7’de yer alan noktaların topoğrafik yükseklikleri diğer noktalar göre yukarıda yer aldığı ve beslenme kotlarına yakın olduğu için yeraltı suyu karakterinin daha kararlı olduğu anlaşılmaktadır.

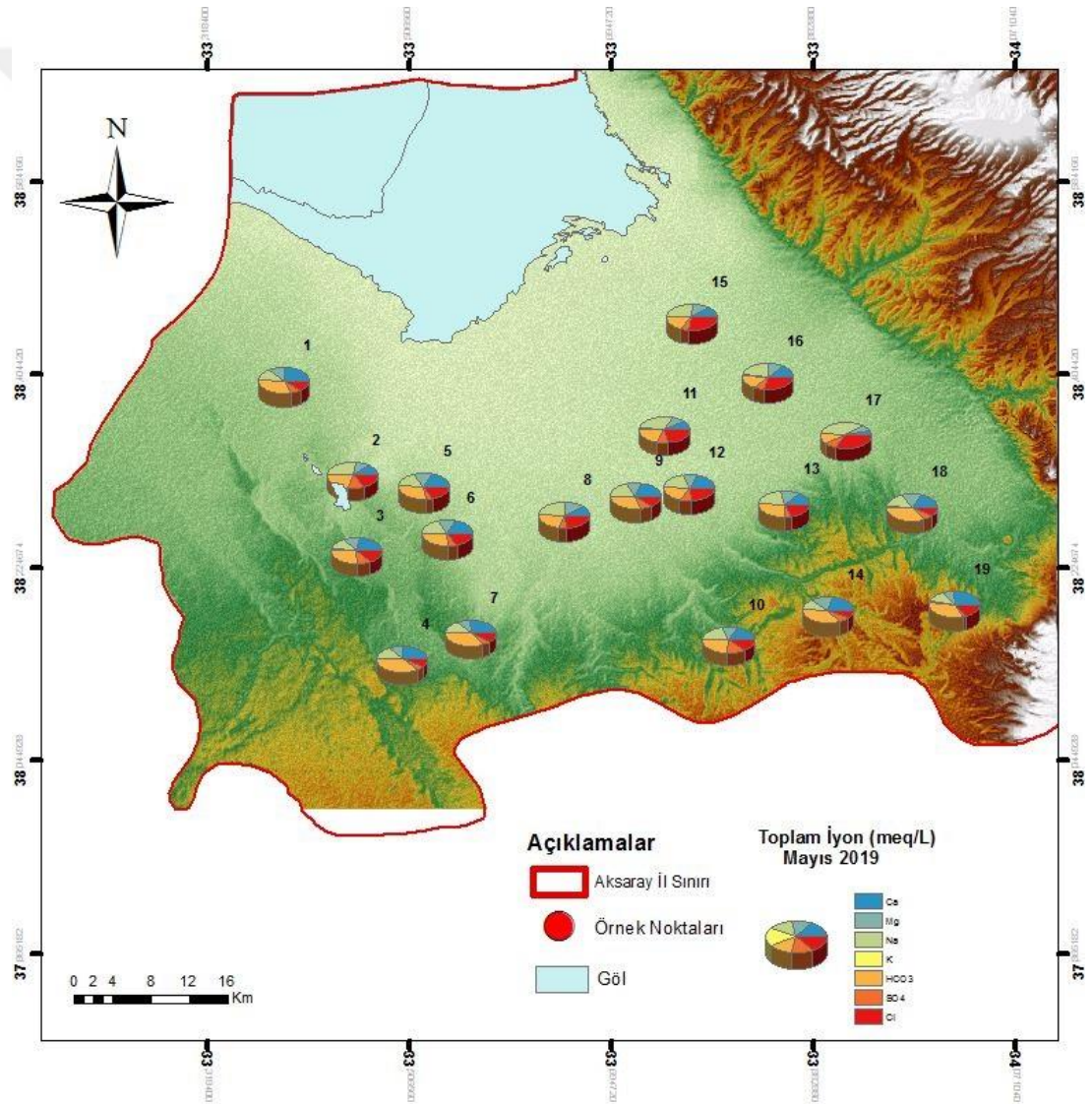
Değerlendirme hatlarının fasiyes, Elektriksel iletkenlik (EC), Cl iyonu değişimlerini daha net görebilmek için değerlendirme hatlarının özellikleri tablosu oluşturulmuştur (Tablo 3. 22.). Grafiğe bakıldığında EC değerinin artışı ile Cl iyon miktarının arttığını görmekteyiz.

Doğal kaynaklı sular içerisinde bulunan klorür, litosferdeki kayalarda en az bulunan element olmasına rağmen klorür tuzları suda en kolay çözünen tuzlardır. Dolaşımdaki sulara klorür kazandıran bileşik sodyum klorürdür (NaCl). Bu sebepten dolayı klorür (Cl) miktarı yüksek sularda sodyum (Na) miktarı da fazladır. Fakat yeraltı sularının hareketi sırasında temasta bulunduğu kayalar ile arasında iyon değişimi meydana gelir.

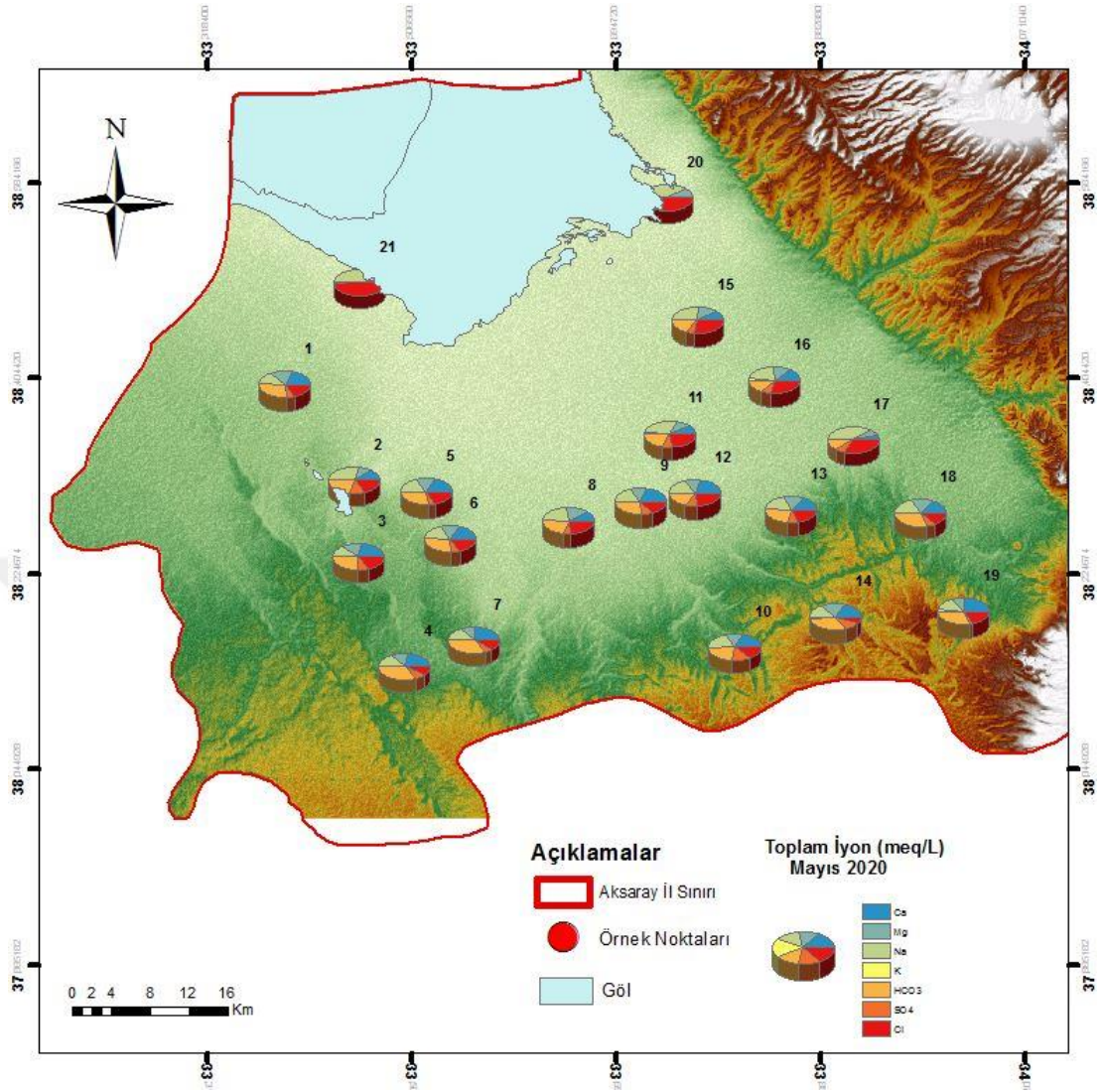
Kireçtaşı birimlerinde bulunan sular iyon değişimi ile içeriğindeki Cl iyonunu değiştirebilecek başka bir iyon bulamadığı için bu sulardaki Cl iyon miktarında azalma söz konusu olmaz (Doğan, 1981). Bu yüzden yeraltı suyunun kimyasal içeriğindeki iyonların hemen hemen hepsi, suyun hareketi esnasında artış ve azalış göstermesine rağmen Cl iyonu sadece artış gösterir (Doğan, 1981). Yeraltı suları yapısındaki Cl

iyonlarını uzaklaştıramadığı için zamanla Cl miktarında artış gözleneceği anlaşılmaktadır. Bu özellik sayesinde Cl iyonundaki değişimler yeraltı suyunun hareketi hakkında bize bilgi verecektir.

Çalışma alanı hatlarının Cl iyon değişimlerini değerlendirmeye aldığımızda Hat-2 ve Hat-3’de yeraltı suyu akım yönünde düzenli artış söz konusudur. Hat-1, Hat-4 ve Hat-5’e baktığımızda düzenli artış devam ederken 15 ve 16 numaralı örneklerde Cl miktarının düştüğü gözlenmiştir. Bu bölgede yeraltı suyuna Cl oranı düşük sularla karışım olduğundan söz edebiliriz.



Şekil 3.57 Çalışma alanı örnek noktalarına ait iyon dağılım diyagramı (Mayıs 2019)



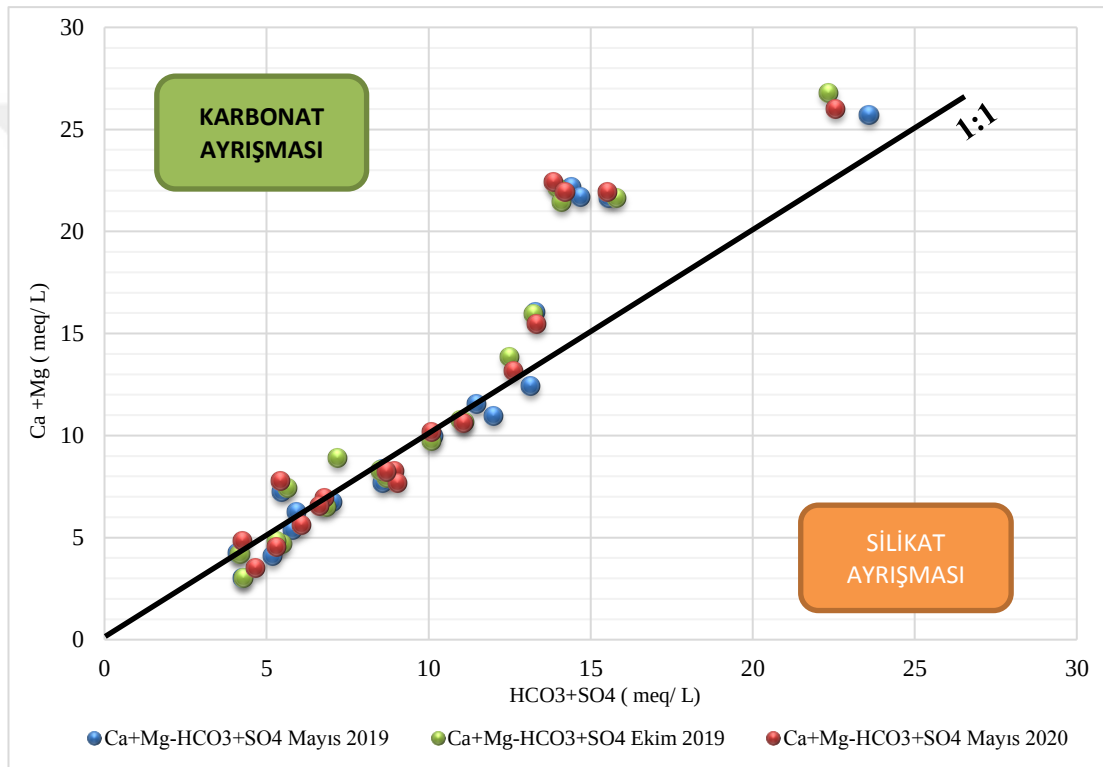
Şekil 3.58 Çalışma alanı örnek noktalarına ait iyon dağılım diyagramı (Mayıs 2020)

Yeraltı suları ile akifer yapısındaki elementlerin reaksiyonu, yeraltı sularının hidrokimyasal özelliklerini kontrol eder. Bu kontrol mekanizmasının incelenmesi yeraltı suyunun geçirdiği süreçler ile kaynağını anlama noktasında faydalıdır. Yeraltı suyunda bulunan ana iyonlar, toplam çözünmüş katıların önemli parçasını oluşturur. Ana iyonların sularda bulunma miktarı akifer sistemindeki hidrokimyasal süreçlere bağlıdır. Hidrokimyasal süreçlerin belirlenmesi ve yorumlanması için yeraltı sularındaki ana iyonların konsantrasyonlarının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yeraltı sularında çözünmüş halde bulunan iyonların kökeni hakkında bilgi edinebilmek için iyon içerikleri, bulunma yüzdeleri ve birbirleri ile olan oranları

değerlendirilmelidir. Yeraltı sularının iyon miktarı değişimleri, farklı X-Y koordinat grafikleri veya farklı çözünürlük değerine sahip iyon oranları ile kolayca anlaşılabilir (Güler vd., 2002).

Çalışma alanında dolaşımda olan yeraltı sularının ihtiva ettiği ana iyon konsantrasyonları kullanılarak farklı X-Y grafikleri oluşturulmuştur. Grafiklerden yola çıkarak hidrokimyasal süreçler ve akifer sistemi hakkında yorumlamalar yapılmıştır.

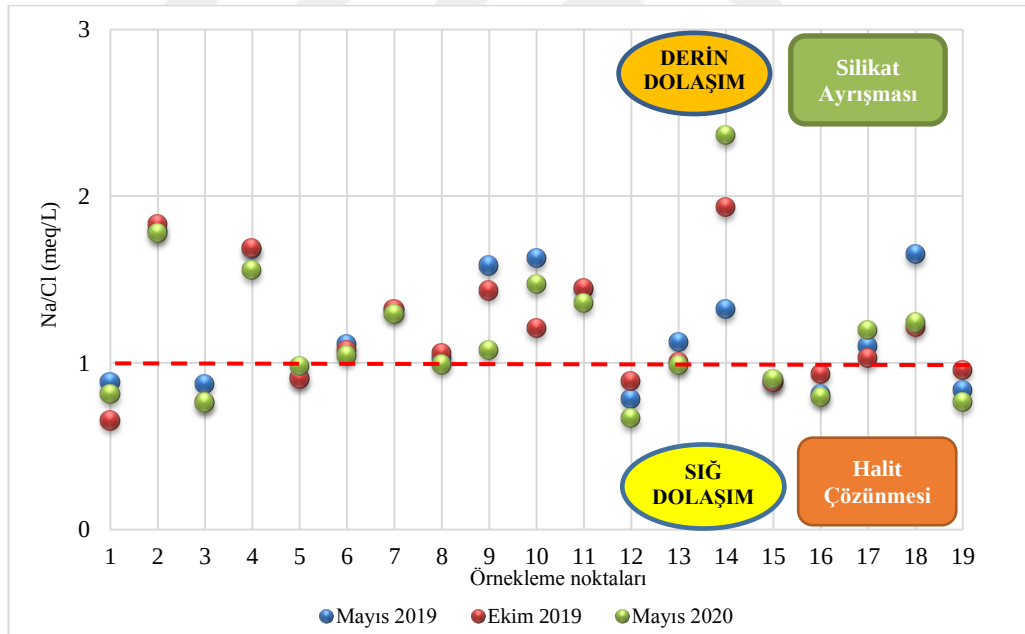


Şekil 3.59 Çalışma alanındaki örneklerin Ca + Mg - HCO₃ + SO₄ (meq/L) oranı diyagramı

Ayrışma ve iyon değişim süreçleri, atmosferik, antropojenik kaynakların sağladığı girdiler, yeraltı sularının hidrokimyasal içeriğinde değişime yol açan mekanizmalardır. Akiferlerin iyon miktarına ve çözünme özelliğine göre yeraltı sularının iyon içeriği değişiklik göstermektedir. Yeraltı suyu hareketinde minerallerin ayrışması ve çözünmesi basitçe $Ca^{+2}+Mg^{+2} - HCO_3^{-}+SO_4^{-2}$ grafiği ile yorumlanabilir. Yeraltı sularında iyon miktarlar 1:1 çizgisi boyunca dağılım gösteriyorsa bu yeraltı suyunda

karbonat ve silikat ayrışmasının varlığını gösterir (Kuldip-Singh, Hundal, ve Dhanwinder-Singh, 2011).

Çalışma alanına ait $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} - \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{-2}$ grafiği oluşturulmuştur (Şekil 3. 57.). Örnek noktalarının büyük bölümü 1:1 çizgisinde çıkmıştır. Dolomit, jips ve kalsit çözünürlüğü baskın olan yeraltı su sistemlerinde örnekler 1:1 doğrusuna yakın çıkmaktadır (Datta ve Tyagi, 1996). Örneklerden 2, 3, 8, 11, 12, 15, 16, 17 numaralar 1:1 grafiğinin üzerinde çıkmıştır. Bu durum akifer sisteminde karbonat ayrışmasının baskın olduğunu göstermektedir. Çalışma alanı içerisinde geniş yayılım gösteren Cihanbeyli formasyonuna ait kireçtaşları karbonat mineralinin temel kaynağı niteliğindedir. Ayrıca Tuzgözü formasyonuna ait alt üyelerde gözlemlenen kalsit ve jipsler karbonat iyonlarını etkilemektedir. Akifer sistemi içerisinde karbonat minerallerinin yeraltı suyu hareketi esnasında veya yağmur ve sulama yolu ile çözünerek karışmış olabilir.

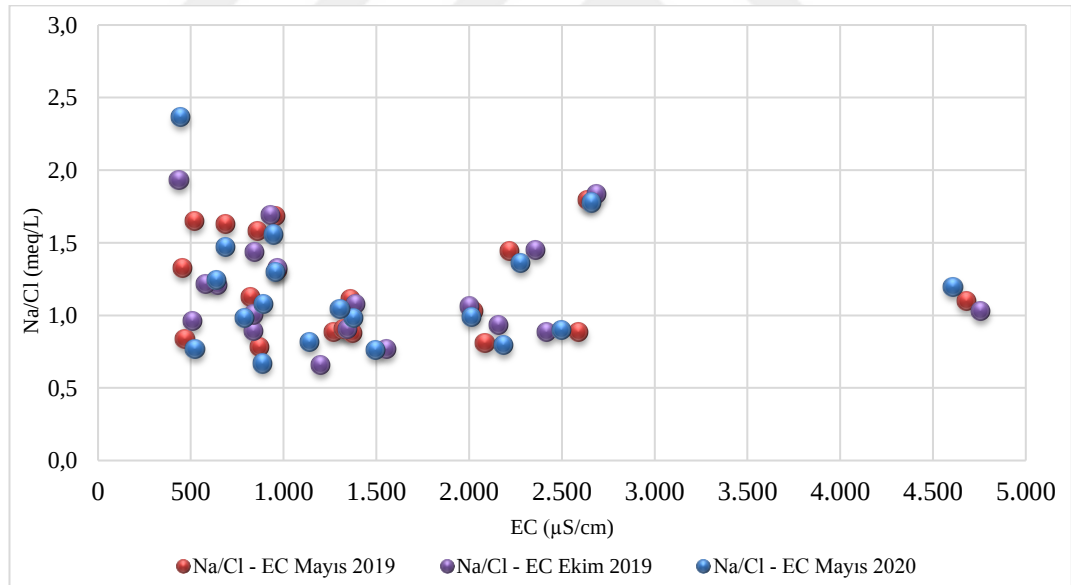


Şekil 3.60 Çalışma alanındaki örneklerin Na/Cl (meq/L) oranı diyagramı

Evaporasyon; su içeriğinde bulunan iyonların konsantrasyonunu artıran bir etkiye sahiptir. Evaporasyon ile suyun ortamdaki uzaklaşması ile iyonların bulunma oranı artış gösterecektir. Silikat ayrışması ise yeraltı sularındaki Na^+ miktarının artmasındaki önemli faktörlerdendir. Bölge içerisinde Evaporasyon süreci baskın rol oynuyorsa

herhangi bir minerallerin çökelmeyeceği varsayıldığında Na^+/Cl^- oranı değişmeyecektir (Jankowski ve Ian Acworth, 1997). Bu nedenle Na^+/Cl^- - $\text{EC}(\mu\text{S}/\text{cm})$ grafiği yatay bir düzlem oluşturacaktır. Bölgede Na miktarı halit çözünmesine bağlı ise Na^+/Cl^- oranı yaklaşık 1:1 doğrusunun altında veya eşit çıkar. Na miktarının kaynağı silikat ayrışması ise 1:1 doğrusunun üzerinde çıkar (Meybeck, 1987).

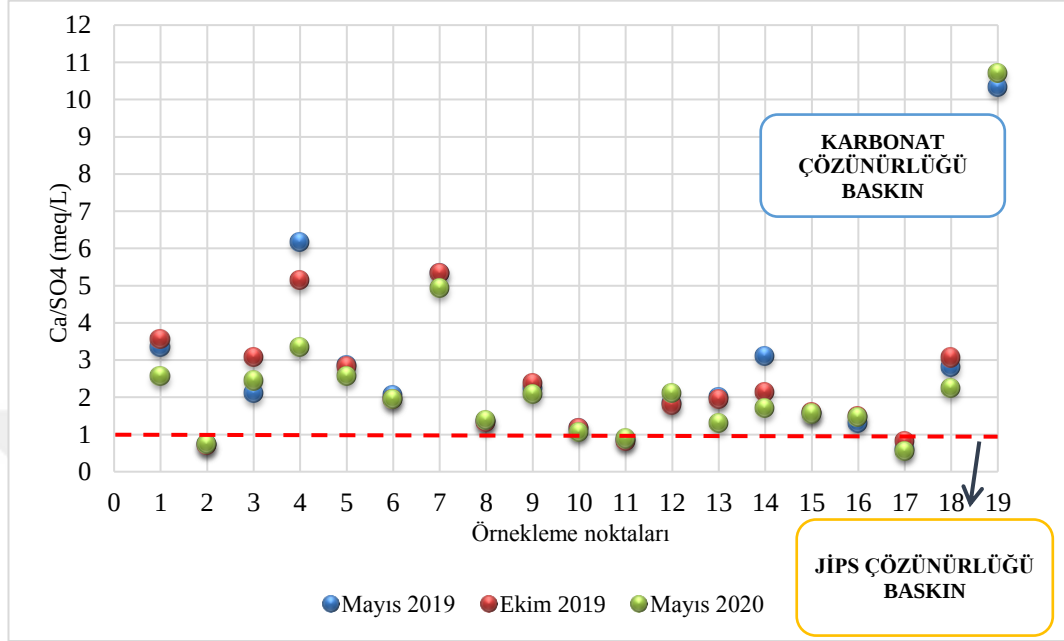
Çalışma alanındaki örneklerin Na^+/Cl^- diyagramındaki (Şekil 3. 58.) durumu değerlendirildiğinde 1, 3, 5, 12, 13, 15, 16, 19 numaralı örnekler her üç örnekleme döneminde de 1:1 doğrusunun altında değer alarak halit çözünümü etkisi altında olduğu gözlenmiştir. Geriye kalan 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 17, 18 numaralı örnekler 1:1 doğrusunun üstünde dağılım göstererek silikat ayrışmasının etkili olduğunu göstermiştir. Silikat ayrışması gözlenen örnek miktarı fazla olduğu için sistemde silikat ayrışmasının baskın ve yeraltı sularının derin dolaşımli olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.61 Çalışma alanındaki örneklerin Na/Cl (meq/L) - EC (mS/cm) oranı diyagramı

Na^+/Cl^- - $\text{EC}(\mu\text{S}/\text{cm})$ diyagramı (Şekil 3. 59.) incelendiğinde örneklerin dağılımı tam yatay bir eksen oluşturmadığı için çalışma alanındaki yeraltı su kimyasında etkili olan temel jeokimyasal sürecin evaporasyon kaynaklı olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Fakat genel dizilim yatay eksene benzer özellik gösterdiği için jeokimyasal süreçte Evaporasyonun tali etkiye sahip olduğu söylenebilir. Bu durumu daha detaylı

açıklayabilmek için ilerleyen bölümler de Gibbs diyagramlarından faydalanılmıştır (Şekil 3. 62. Şekil 3. 63).

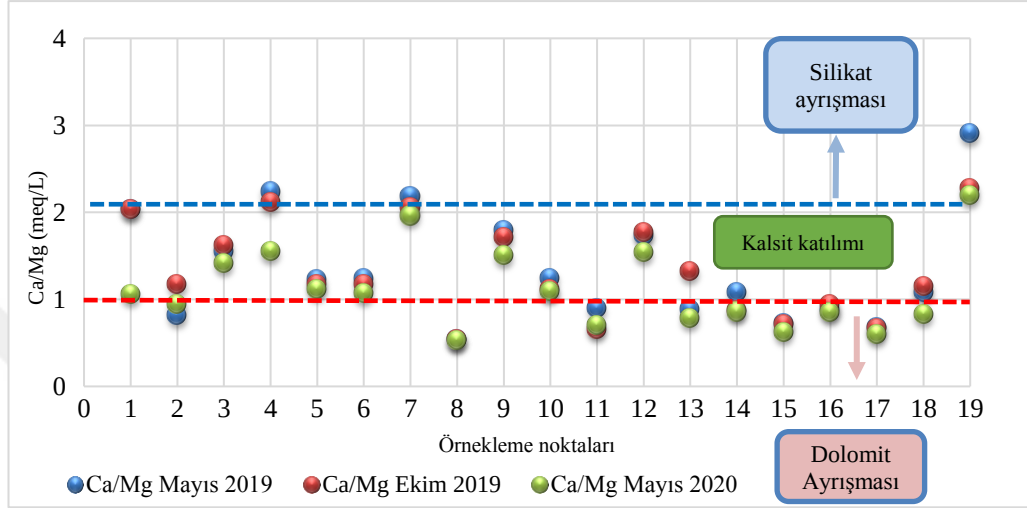


Şekil 3.62 Çalışma alanındaki örneklerin Ca/SO₄ (meq/L) oranı diyagramı

Çalışma alanındaki örnekleme yapılan yeraltı sularının Ca²⁺/SO₄²⁻ oranı diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 3. 60.). Yeraltı sularındaki Ca²⁺/SO₄²⁻ iyonlarının oranı; su kayaç etkileşim süresi hakkında ve jips ve karbonat çözünürlüğü hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar (Bozdağ, 2010; Doğan, 1981). Diyagram incelendiğinde; örnekleme yapılan noktaları büyük çoğunluğu 1:1 doğrusunun üzerinde çıktığı görülmüştür. Örnek noktalarından sadece 2, 11, 17 numaralı örneklerde jips çözünürlüğünün baskın olduğu gözlenmiştir. Jips çözünürlüğünün düşük olması su kayaç etkileşim süresinin kısa olmasına bağlanabilir. Çalışma alanı genelinde karbonat çözünürlüğünün yüksek olduğu görülmektedir. Karbonatlı birimlerin çözünerek yeraltı suyundaki Ca²⁺ iyon miktarını artırdığı anlaşılmaktadır.

Yeraltı sularının potansiyel hidrokimyasal değişimi Ca²⁺/Mg²⁺ ve Na⁺/Cl⁻ iyonlarının birbirine oranları yardımıyla yorumlanabilir (Han vd., 2009). Yapılmış olan birçok çalışmada Ca²⁺/Mg²⁺ oransal miktarı dolomit ve kalsit çözünürlüğü hakkında yorum yapmak için kullanılmıştır. Ca²⁺/Mg²⁺ oransal miktarı 1:1 doğrusunda çıkarsa Ca²⁺ ve Mg²⁺ iyon miktarı dolomit ayrışmasına bağlıdır. Ca²⁺/Mg²⁺ oransal miktarı 1:1

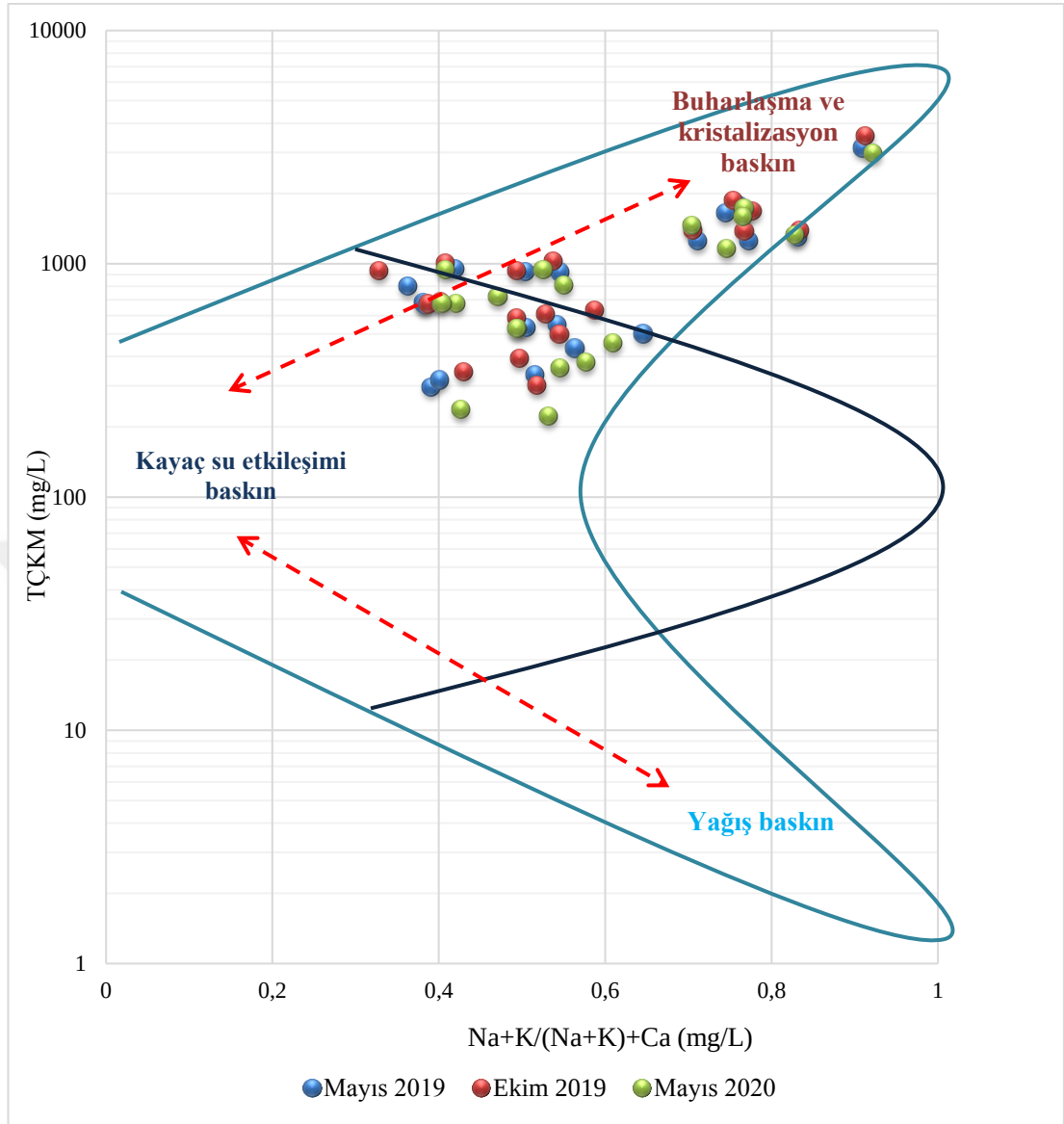
doğrusunda yüksekse kireçtaşı ayrışmasına bağlı kalsit katılımının olduğunu gösterir. Eğer $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ oransal miktarı 2:2 doğrusu üzerinde çıkarsa yeraltı suyuna Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyon katkısının silikat ayrışması sonucu gerçekleştiğini gösterir (Han vd., 2009; Mayo ve Loucks, 1995).



Şekil 3.63 Çalışma alanındaki örneklerin Ca/Mg (meq/L) oranı diyagramı

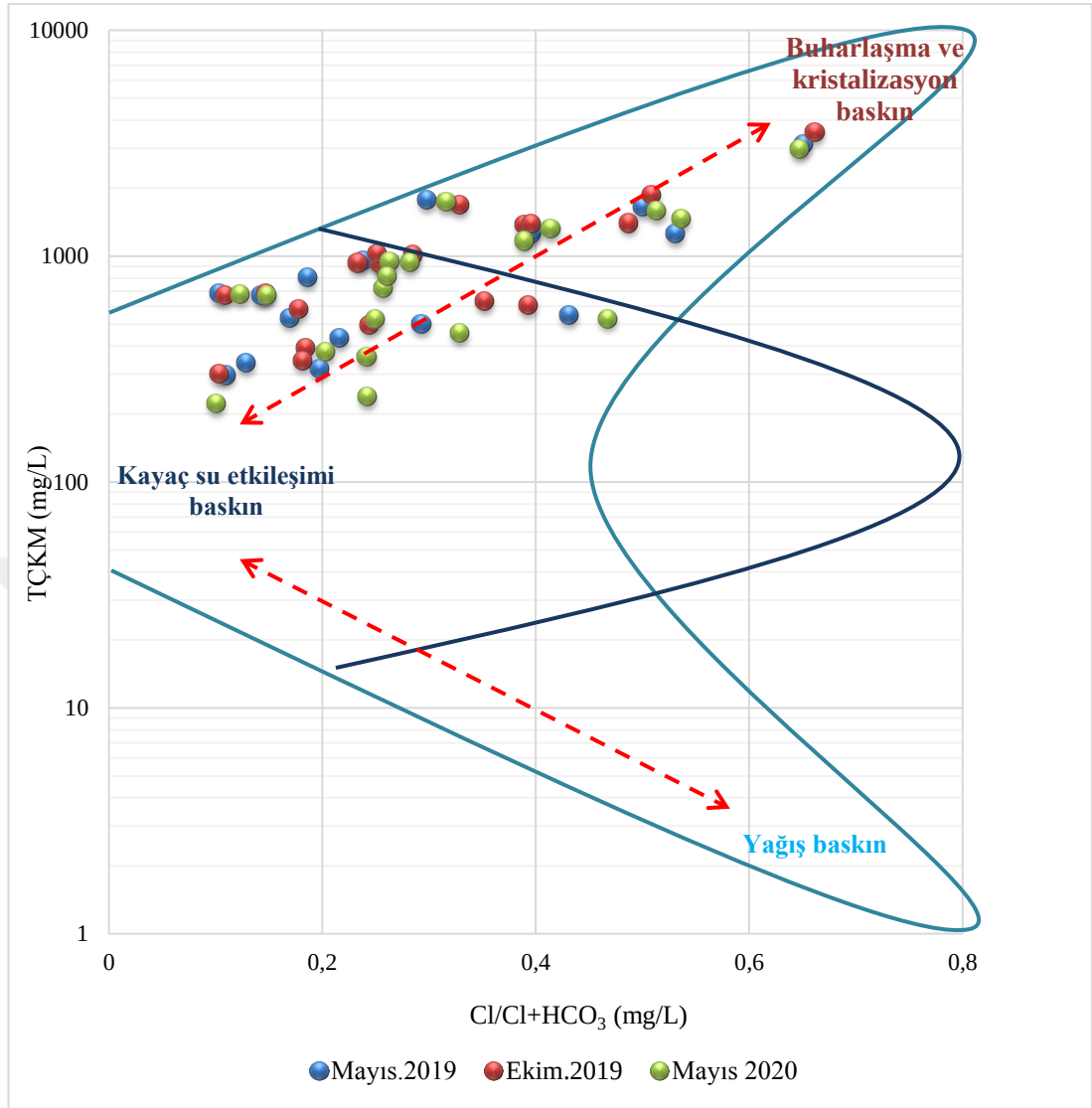
Çalışma alanında örnekleme yapılan 3 dönemde 4, 7, 19 numaralı örneklerde silikat ayrışmasının etkin olduğu, 2, 8, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18 numaralı örneklerde dolomit çözünürlüğünün baskın olduğu, 1, 5, 6, 9, 10, 12, numaralı örneklerde ise kalsit katılımının meydana geldiği gözlenmiştir. Geneline bakıldığında yeraltı suları dolaşımı süresince dolomitik kayalar ve kalsit katılımını sağlayan kireçtaşları ile etkileşimde bulunduğu anlaşılmaktadır.

Gibbs; sayısız yağmur, göl ve okyanus örneklerinin analitik kimyasal verilerine dayanarak dünya yüzey suyu kimyasını kontrol eden 3 ana mekanizma olduğunu ifade etmiştir. Bu mekanizmayı atmosferik yağış, su-kayaç etkileşimi, buharlaşma ve kristalizasyon olarak tanımlamıştır (Gibbs, 1970). Belirli bir alan içerisinde tuzluluğu karakterize eden Na^+ ve Cl^- iyonlarının iyon dağılımları kullanılarak evaporasyon ve su-kayaç etkileşim ve yağış süreçleri hakkında yorum yapabilmek için “Gibbs Diyagramını” geliştirmiştir.



Şekil 3.64 Çalışma alanındaki örneklerin Mayıs 2020 dönemine ait Gibbs-1 diyagramı (Gibbs, 1970).

Diyagram katyon oran miktarları ile T.Ç.K.M değerleri karşılaştırarak oluşturulmuştur. Çalışma alanı verileri Gibbs diyagramında incelendiğinde alanın güneyinden Tuz Gölü'ne doğru yaklaştıkça, özellikle Tuzgölü formasyonu ve Alüvyon birimlerinden alınan örnekler “buharlaştırma ve kristalizasyon baskın” alana yerleşmiştir. Tuz Gölü'nün tersi yönde alanın güney kısmına yaklaştıkça Cihanbeyli formasyonuna ait örneklerde ise “Kayaç-su etkileşimi baskın” alanına doğru yönelme gözlenmiştir.



Şekil 3.65 Çalışma alanındaki örneklerin Mayıs 2020 dönemine ait Gibbs-2 diyagramı(Gibbs 1970).

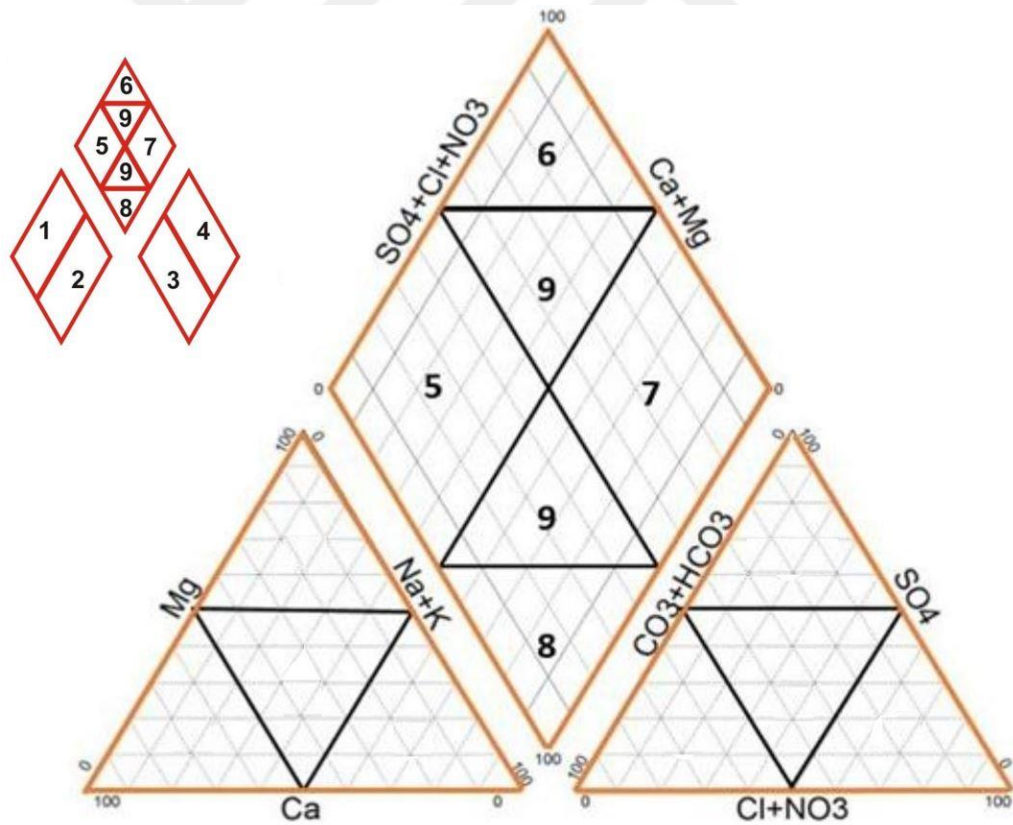
3.4.3 Suların sınıflandırılması

Yeraltı sularının sınıflandırılması; etkili ve doğru kullanım alanlarının belirlenmesi için önemli bir araçtır. Dolaşımında olduğu sürece fiziksel ve kimyasal yapısında meydana gelen değişiklikler, kullanım şeklini ve alanını da değiştirmektedir. Suların fiziksel ve kimyasal özellikleri birçok parametre içerdiği için anlaşılması ve yorumlanabilmesi zaman almaktadır. Bu parametreleri hızlı ve kolay bir şekilde değerlendirip sınıflandırmak için birçok farklı yöntem ve grafik geliştirilmiştir. Bu yöntem ve grafiklerden en çok kullanılan Piper, Schoeller ve Durov diyagramları

çalışma alanında uygulanmıştır. Çalışma alanındaki yeraltı sularının hidrokimyasal parametreleri ilk olarak Piper (Üçgen) diyagramı üzerinde sınıflandırılmıştır.

3.4.3.1 Piper diyagramı

Piper diyagramı; suların anyon (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) ve katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$) miktarlarının meq/L cinsinden yüzde değerlerinin iki ayrı eşkenar üçgene yerleştirilmesi ve üçgenlere yerleştirilen anyon ve katyonların merkezde yer alan eşkenar bir dörtgende iz düşümlerinin gösterilmesini sağlamaktadır. Suların kimyasal özellikleri hakkında geniş yorum yapma imkânı sağlayan bir diyagramdır. Piper diyagramı; suları sınıflandırırken merkezde bulunan eşkenar dörtgeni 9 bölgeye ayırmıştır (Piper, 1944).



Şekil 3.66 Piper Diyagramı Bölgelere ayrılmış hali (Piper, 1944)'den uyarlanmıştır.

1. bölge sınırlarında yer alan sular toprak alkaliler ($\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$), alkalilerden ($\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$) fazladır. Bu bölgede yer alan sular karbonatlı ve sülfatlıdır.

2. bölge sınırlarında yer alan sular alkaliler ($\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$), toprak alkalilerden ($\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$) fazladır. Bu bölgede yer alan sular tuzlu ve sodalıdır.

3. bölge sınırlarında yer alan suların zayıf asit miktarı ($\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{-2}$), kuvvetli asit ($\text{Cl}^{-} + \text{SO}_4^{-2}$) miktarından fazladır.

4. bölge sınırında yer alan suların kuvvetli asit ($\text{Cl}^{-} + \text{SO}_4^{-2}$) miktarı, zayıf asit miktarından ($\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{-2}$) fazladır.

5. bölge sınırında yer alan suların karbonat sertliği miktarı, karbonat olmayan sertlik miktarında fazladır. Bu alan CaCO_3 ve MgCO_3 sulardır.

6. bölge sınırında yer alan suların karbonat olmayan sertlik miktarı, karbonat sertliği miktarından fazladır. Bu alan; CaSO_4 ve MgSO_4 sulardır.

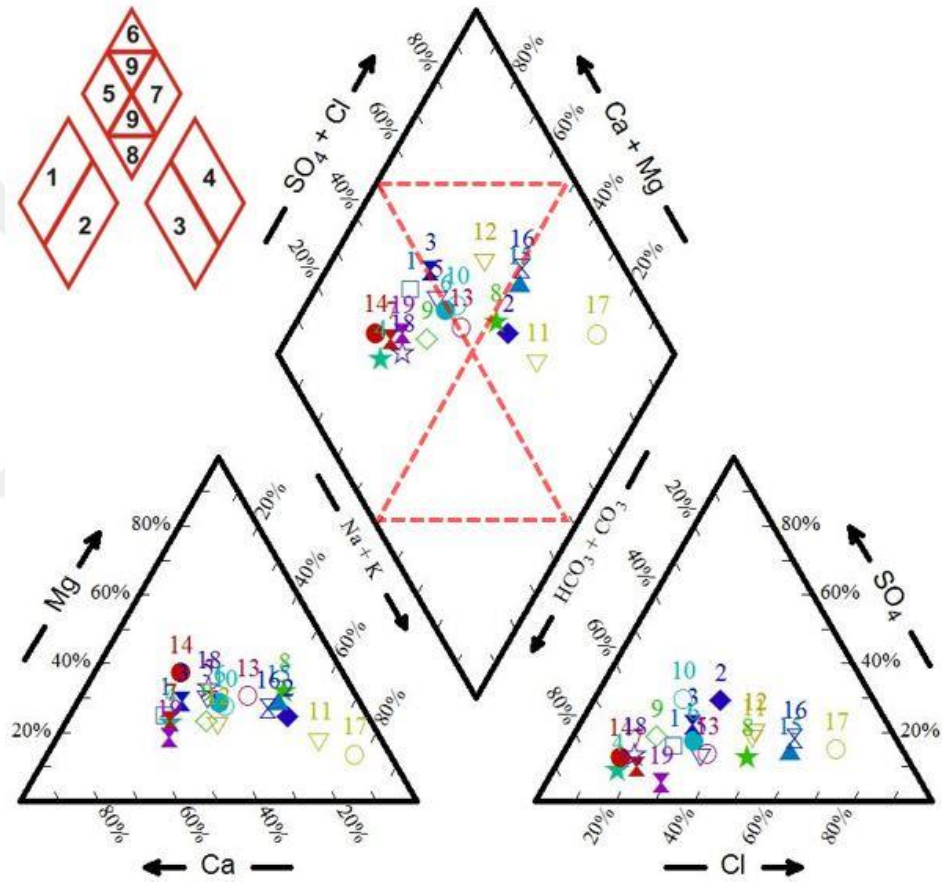
7. bölge sınırında yer alan suların karbonatsız alkali miktarı, karbonatlı alkali miktarından fazladır. Bu alan; NaCl , NaSO_4 ve KCl 'lü sulardır.

8. bölge sınırında yer alan suların karbonatlı alkali miktarı, karbonatsız alkali miktarından fazladır. Bu alan; Na_2CO_3 ve K_2CO_3 'lü sulardır.

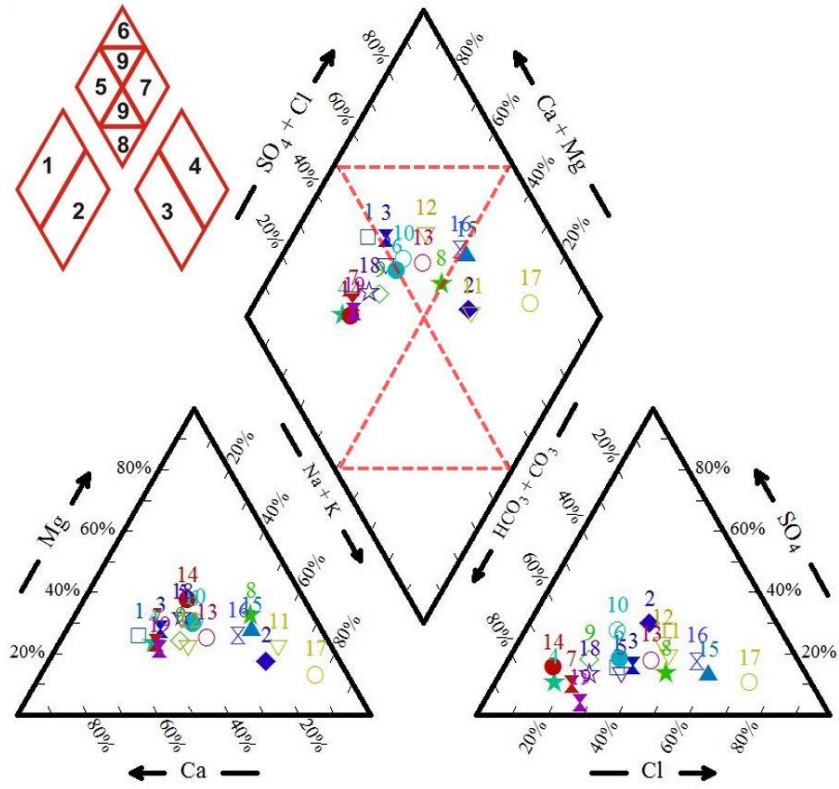
9. bölüm sınırında yer alan suların iyon miktarında karakterize edebilecek baskınlıkta (meq/L miktarı %50'den fazla) iyon yoktur. Karışım sularıdır (Piper, 1944).

Çalışma kapsamında örnekleme yaptığımız yeraltı sularının Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerine ait Piper diyagramları hazırlanmıştır (Şekil 3.65., Şekil 3.66. ve Şekil 3.67.). Üç dönemde örnek noktalarından alınan numunelerden elde ettiğimiz kimyasal parametreler Piper diyagramında dağılımı incelenmiştir. Örnek noktalarından 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 18, 19 numaralı örnekler 1. ve 3. bölgede yer alırken, 2, 8, 11, 15, 16, 17 numaralı örnekler 2. ve 4. bölgede yer almaktadır. 1. ve 3. bölgeye yerleşen suların toprak alkali ($\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$) miktarı ile zayıf asit (HCO_3^{-}

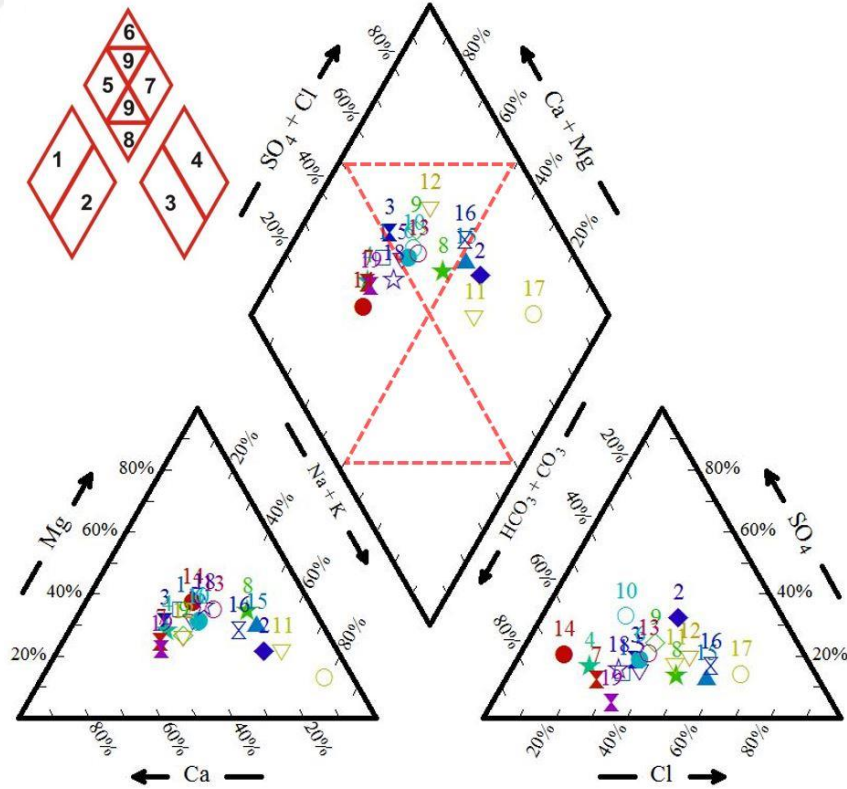
+ CO_3^{2-}) miktarı, alkali ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) miktarı ile kuvvetli asit ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) miktarından fazla olduğu için karbonatlı ve sülfatlı sular sınıfındadır. 2. ve 4. bölgeye yerleşen suların ise tam tersi biçimde alkali ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) miktarı ile kuvvetli asit ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$) miktarı, toprak alkali ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$) miktarı ile zayıf asit ($\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) miktarından fazla olduğu için tuzlu ve sülfatlı sular sınıfına girmektedir. Diğer bir deyişle 1 ve 3. Bölgede yer alan sular Ca^{+2} - Mg^{+2} - HCO_3^- tipi sular sınıfına, 2. Ve 4. Bölgeye düşen sular ise $\text{Na}^+ - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ tipi sular sınıfına girmektedir.



Şekil 3.67 Çalışma alanındaki örneklerin Piper Diyagramı (Mayıs 2019)



Şekil 3.68 Çalışma alanındaki örneklerin Piper Diyagramı (Ekim 2019)



Şekil 3.69 Çalışma alanındaki örneklerin Piper Diyagramı (Mayıs 2020)

Mayıs 2019 dönemine ait verilere Piper diyagramı üzerinde baktığımızda; örneklerin 5, 9. ve 7. bölgelerde dağılım gösterdiğini görüyoruz. Örnekler ayrıntılı incelendiğinde; 1, 4, 5, 6, 7, 9, 14, 18, 19 numaralı örnekler 5. bölgede yer almaktadır. Bu suların karbonat sertliği miktarı, karbonat olmayan sertlik miktarından fazla olduğu için CaCO_3 ve MgCO_3 su sınıfında yer almaktadır. Örneklerden 3, 10, 12, 13 numaralı olanlar ise 9. bölgede yer almaktadır. Bu örneklerin iyon miktarı suları karakterize edebilecek baskınlıkta olmadığı için karışım suları sınıfında yer almaktadır. Geriye kalan 2, 8, 11, 15, 16, 17 numaralı örnekler ise 7. Bölge sınırlarında dağılım göstermiştir. Bu suların Piper diagramına göre karbonatsız alkali miktarı, karbonatlı alkali miktarından fazla olduğu için NaCl , NaSO_4 ve KCl 'lü sular sınıfındadır.

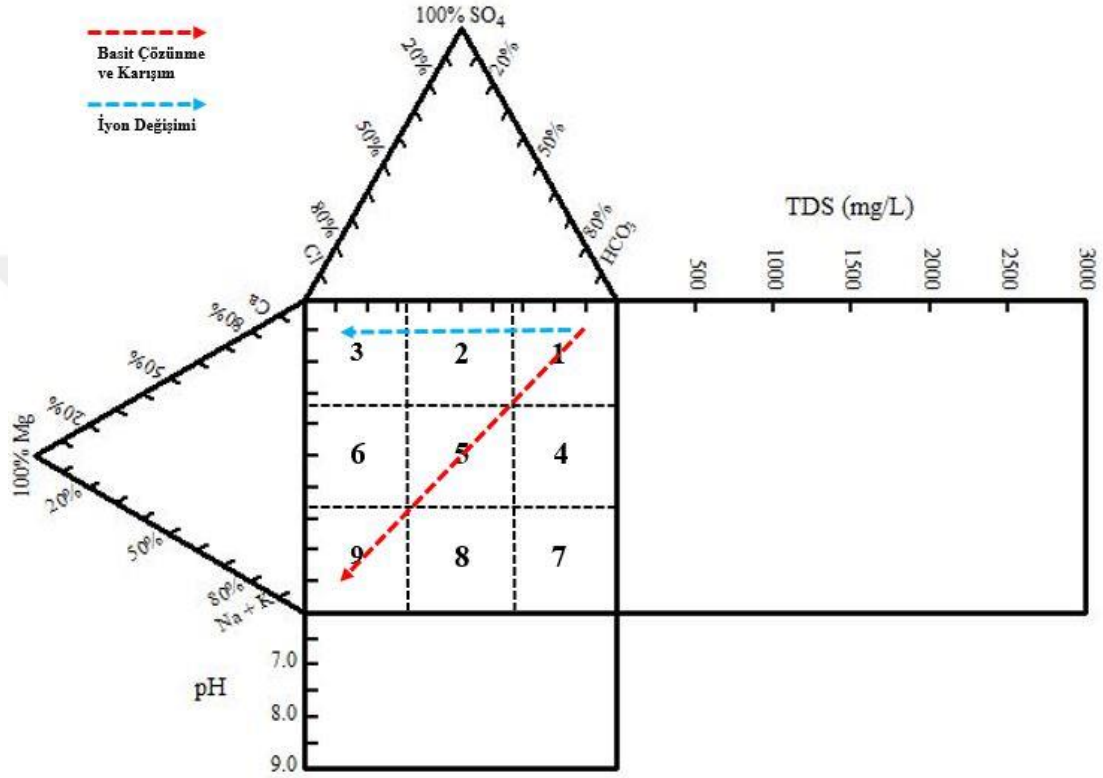
Ekim 2019 dönemine ait Piper diyagramına baktığımızda ve Mayıs 2019 dönemi verileri ile karşılaştırdığımızda 5 ve 6 numaralı örnekler 5. bölgeden 9. bölgeye geçmiştir. Mayıs 2019 döneminde sınırda bulunan bu iki örnek noktasında karışım miktarının artışına bağlı olarak iyon miktarı arttığı için bölge değişimi yaşamıştır.

Mayıs 2020 dönemine ait Piper diyagramı verileri diğer dönemler ile karşılaştırıldığında ise 5, 6, 9, 10 numaralı örneklerin 9. bölgede yer aldığı görülmektedir. Ekim 2019 döneminde 5. bölgeden 9. bölgeye geçen 5 ve 6 numaralı örnekler Mayıs 2020 döneminde yerini korurken 9 ve 10 numaralı örneklerde 9. bölgeye geçmiştir. Bu durum yeraltı sularının zamanla iyon içeriklerinin zenginleşmesi, iyon değişimi veya Na^+ ve Cl^- iyonu zengin suların bu yeraltı sularına karışım yaparak tuzluluğunu artırdığının işareti olarak değerlendirilir.

3.4.3.2 Durov diyagramı

Yeraltı sularının sınıflandırılmasında kullanılmak için 1948 yılında Durov tarafından geliştirilen bir diğer diyagram ise Durov diyagramıdır. Piper diyagramı gibi trilinear grafik özelliği göstermektedir. Piper diyagramından farkı ise ana iyonların bulunma miktarlarına ek olarak Toplam Çözünmüş Katı Madde ($\text{T.Ç.K.M}=\text{T.D.S}$) ve pH miktarlarını da değerlendirmeye alarak ana dikdörtgen alanı içerisinde sınıflandırmıştır. Durov diyagramı hidrokimyasal verilerin temsil ettiği yeraltı suyu kimyasal süreçlerine ışık tutmaya yardımcı olur (Lloyd ve Heathcote, 1985). Durov

diyagramının merkezinde bulunan dikdörtgen 9 ana bölüme ayrılmıştır. Bu alanlar özelliklerine göre su türleri ve akifer ortamları hakkında yorum yapmamızı sağlamaktadır.



Şekil 3.70 Durov diyagramı (Durov, 1948; Lloyd ve Heathcote, 1985)'den değiştirilerek.

1. bölge; Ca⁺² ve HCO₃⁻ iyonlarınca baskın, sık miktarda kireçtaşı, kumtaşı ve diğer birçok akifer sularının yeniden şarj olduğunu gösterir.

2. bölge; Bu su tipi Ca⁺² ve HCO₃⁻ iyonlarınca baskındır. Mg⁺² miktarının önemli olduğu numunelerde dolomitlerden geldiği varsayılır. Na⁺ miktarının önemli olduğu numunelerde ise iyon değişimi olduğu varsayılır.

3. bölge; Na⁺ ve HCO₃⁻ iyonları baskındır. Normal şartlarda iyon değişimi olan suyu gösterir. Fakat derinlerde ki CO₂ dönüşümü, belirli şartlar altında Na⁺ iyonunun baskın olduğu HCO₃⁻ üretebilir.

4. bölge; Ca^{+2} ve SO_4^{-2} baskın sulardır. Genellikle lav ve jipsli birimlerin sularıdır. Aksi durumda basit çözünme gösteren karışık su olarak belirtilebilir.

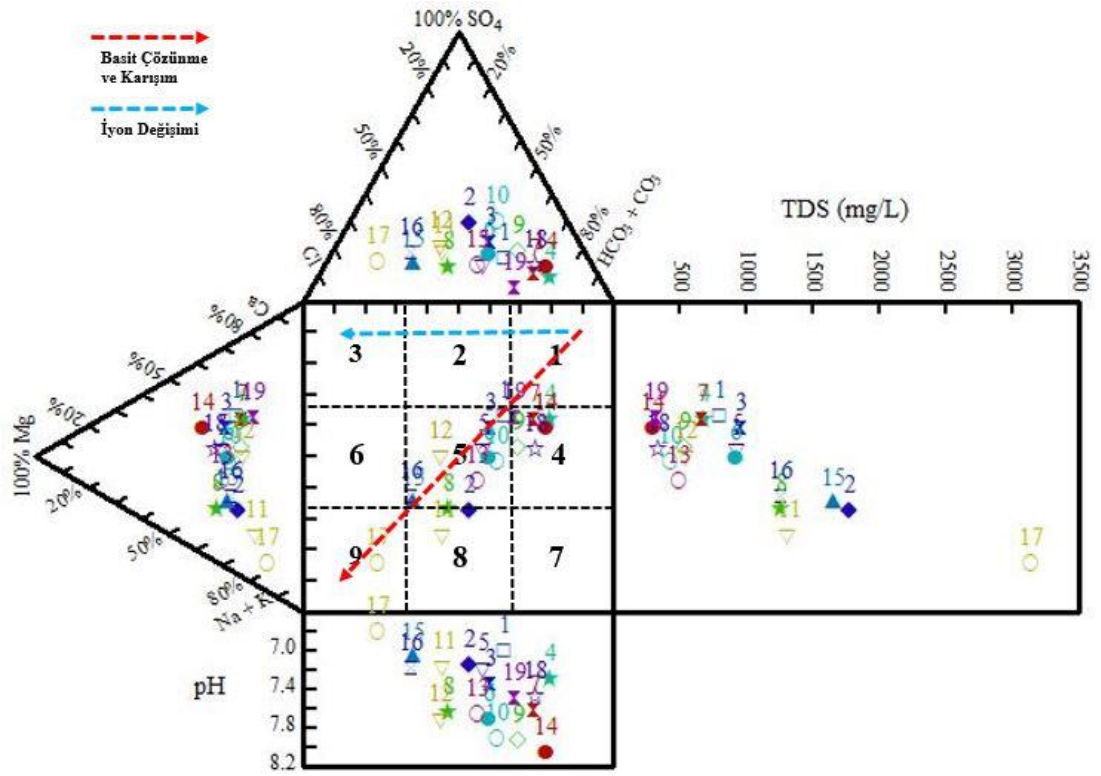
5. bölge; Baskın bir anyon veya katyon yoktur. Sularda basit çözünme veya karışım suyu olduğunu göstermez.

6. bölge; SO_4^{-2} iyonu baskın veya anyon ayırt edici ve Na^{+} iyonu baskındır. Çok sık rastlanmayan bir su türüdür. Çok sık görülmeyen çözünme etkilerini gösterir.

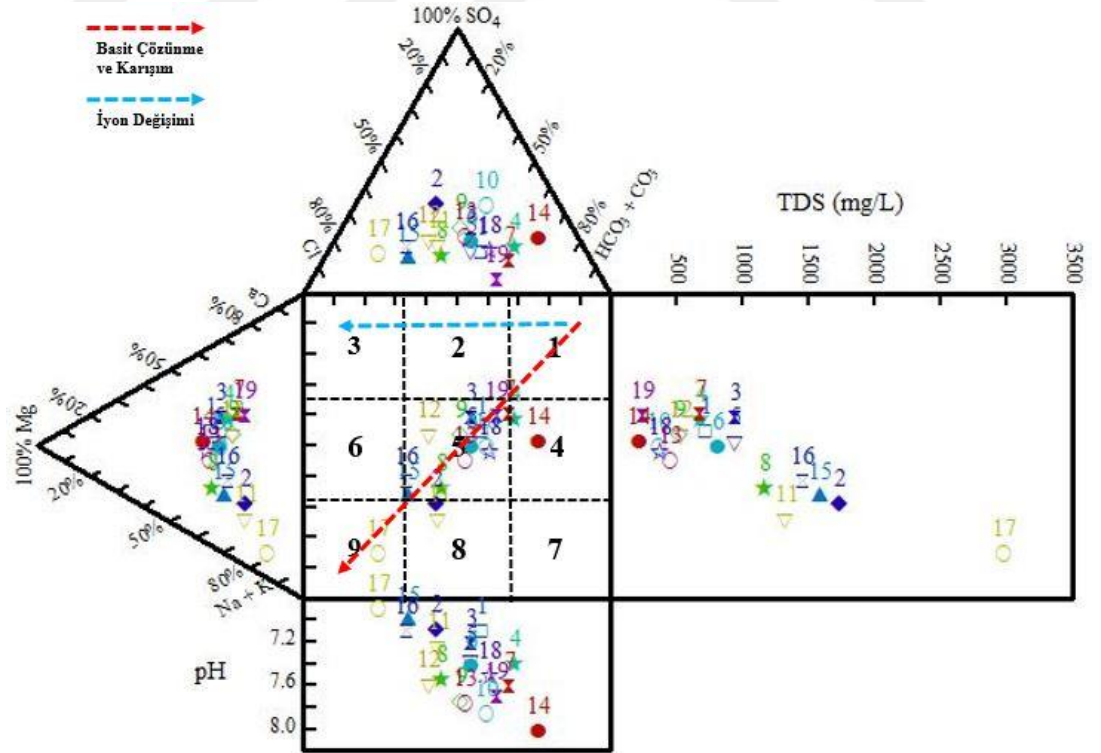
7. bölge; Na^{+} ve Cl^{-} iyonları baskın sulardır. Çimento kirliliği olmadığı sürece sıklıkla karşılaşılabılır. Aksi durumda suların ters iyon değişimine uğradığından söz edilebilir.

8. bölge; Na^{+} baskın katyon ve Cl^{-} baskın anyondur. Yeraltı suları ile Na-Cl tipi sular arasında ters iyon değişimi olduğunu gösterir.

9. bölge; Na^{+} ve Cl^{-} iyonları baskın sulardır. Genellikle çözünme yolu ile Na-Cl miktarı artmış düşük eğimli suları gösterir (Davraz ve Batur, 2021; Lloyd ve Heathcote, 1985).



Şekil 3.71 Çalışma alanındaki örneklerin Durov diyagramı (Mayıs 2019)



Şekil 3.72 Çalışma alanındaki örneklerin Durov diyagramı (Mayıs 2020)

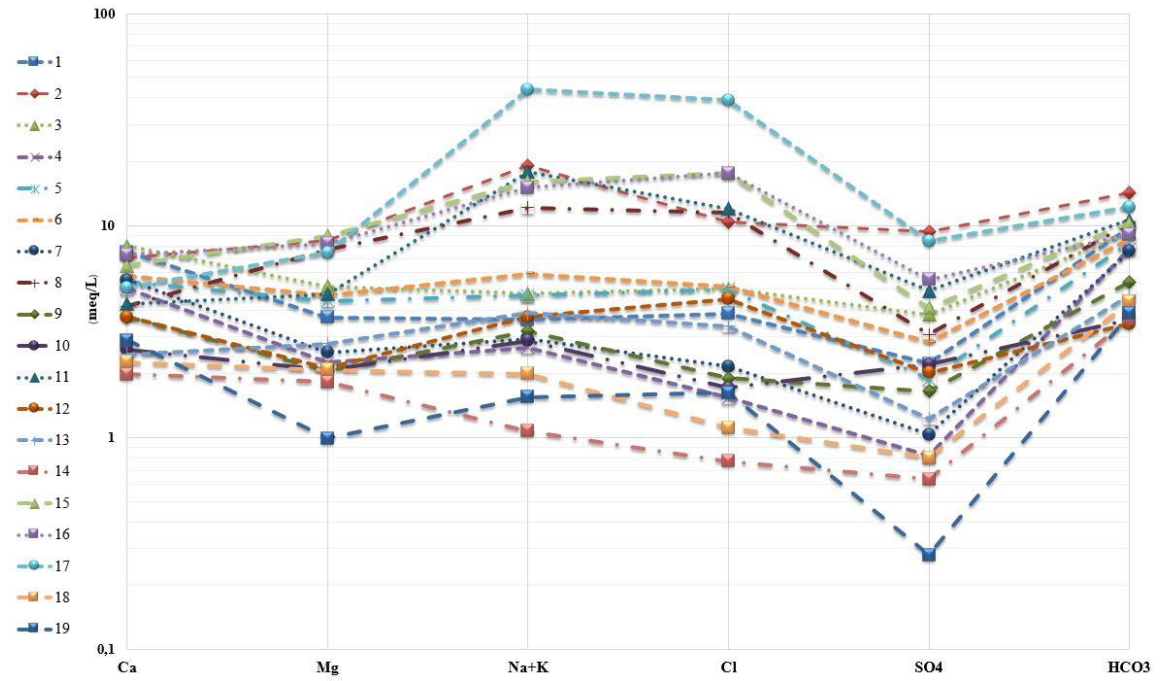
İnceleme alanında elde ettiğimiz Mayıs 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerine ait verilerle Durov diyagramı oluşturulmuştur. Diyagramlar incelendiğinde her iki dönemde de sular 5. bölge de yoğunlaştığı görülmektedir. Durov diyagramının da 4. Bölgeye düşen 4, 7, 14, 18, 19 numaralı sular Ca^{+2} ve SO_4^{-2} baskın sulardır sınıfında yer almıştır. Genellikle lav ve jipsli birimlerle temas içerisinde olan basit çözünme gösteren karışık sulardır. Örneklerin alındığı bölgelerin jeolojik özelliklerini yansıtmaktadır. İnceleme alanının güney-batı bölümünde Hamidiye-Taşpınar arasında elde edilen 14, 18, 19 numaralı numuneler Hasandağı volkaniklerinin bulunduğu bölgede yer almaktadır. Bu örneklerle paralel olarak alanın en güney kesiminde kalan 4 ve 7 numaralı örneklerle bakıldığında Miyo-Pliyosen kireçtaşları içerisinde jipsli birimler ile temasta bulunduğunu anlaşılmaktadır. Mayıs 2019 döneminde 4, 7, 18, 19 numaralı örnekler 4. ve 5. bölge sınırında yer almaktadır. Mayıs 2020 dönemi ile karşılaştırıldığında bu örnekler 5. Bölge sınırları içerisine kaymıştır. Sadece 14 numaralı örnek bu dönemde 4. Bölgede yer almaya devam etmiştir. Basit çözünme gösteren karışım suları özelliği gösterdiği için dönemsel değişikliklerde SO_4^{-2} iyon içeriğinde değişimler sonucu 5. Bölgeye hareket ettiği düşünülmektedir.

Durov diyagramına göre her iki örnekleme döneminde 8. Bölgeye düşen sular 2 ve 11 numaralı örneklerdir. Bu sularda Na^+ ve Cl^- iyon miktarı baskın karakterdedir. Bu suların farklı yeraltı suları ile ters iyon değişimi olduğunu gösterir. Diyagramda her iki dönemde 9. bölgeye düşen tek numune 17 numaralı örnektir. Bu suların Na^+ ve Cl^- iyon miktarı baskın karakterdedir. Bu bölge genellikle çözünme yolu ile Na-Cl miktarı artmış düşük eğimli suları gösterir. Diğer tüm örnekler her iki örnekleme döneminde 5. bölge sınırları içerisinde kalmıştır. Bu sularda karakterize edilecek nitelikte baskın anyon ve katyon miktarı yoktur.

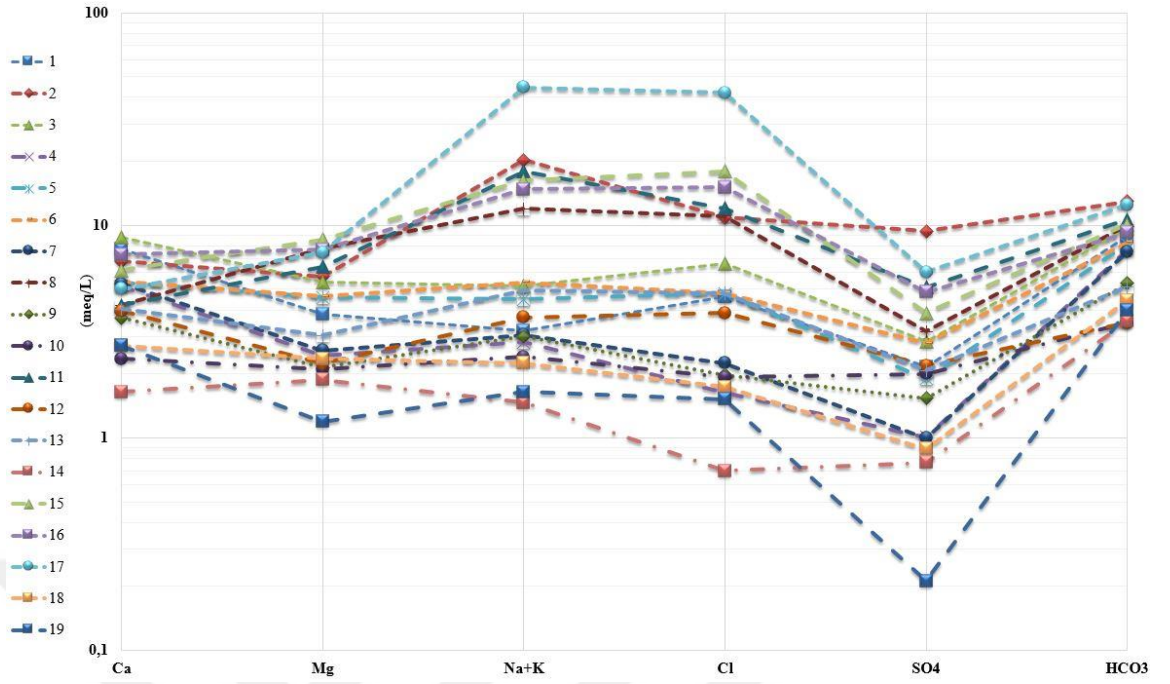
Durov diyagramında örnekler her iki dönemde basit çözünme ve karışım hattı boyunca yer almıştır. Örneklerin %80'i 5. bölgede toplanmış geriye kalan %20'lik kısmı ise 4, 8 ve 9. bölgelerde dağılım göstermiştir.

3.4.3.3 Yarı-Logaritmik (Schoeller) diyagramı

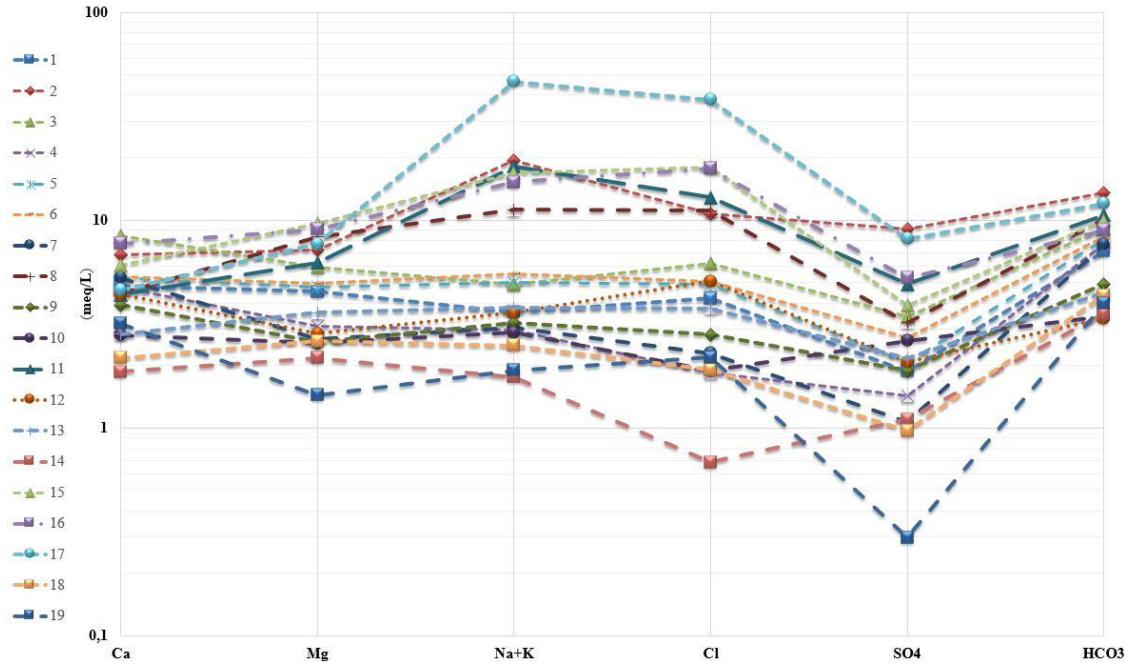
Yarı logaritmik (Schoeller) diyagramı; düşey ekseni logaritmik yatay ekseni aritmetik ölçekte oluşturulmuş, yatay eksen sıralanmış anyon ve katyonların düşey ekseninde meq/L. değerlerinin işaretlendiği diyagramdır. Yeraltı sularının iyon içeriklerini kolayca ayırt etmemizi sağlayan sade ve kullanışlı bir yapıdadır. Her iyonun değeri ayrı ayrı görülebildiği gibi birbirleri ile oranları da ilk görüşte ayırt edilebilir niteliktedir. Yarı logaritmik (Schoeller) diyagramı sayesinde benzer özellik gösteren suların birbirleri ile oluşturduğu paralellik açıkça ayırt edilebilmektedir. Ayrıca kimyasal içerikleri ve kökenleri farklı olan suların bir arada gösterilmesi sayesinde birbirine oranlarını çok rahat ayırt edebilmemizi sağlamaktadır. Yatay eksen iyonlar sıralanırken katyonlar ve anyonlar şeklinde sıralama yapılır.



Şekil 3.73 Çalışma alanındaki örneklerin Yarı logaritmik (Schoeller) diyagramı (Mayıs 2019)



Şekil 3.74 Çalışma alanındaki örneklerin Yarı logaritmik (Schoeller) diyagramı (Ekim 2019)



Şekil 3.75 Çalışma alanındaki örneklerin Yarı logaritmik (Schoeller) diyagramı (Mayıs 2020)

Çalışma alanında elde ettiğimiz verilerin Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerine ait yarı logaritmik (Schoeller) diyagramları oluşturulmuştur. İyon dizilimlerine incelediğimizde 3 farklı dizilim grubu olduğu anlaşılmıştır. Örneklerin

1. grup (1, 3, 4, 7, 9, 10, 12, 13, 19), 2. Grup (5, 6, 13, 14, 18) ve 3. Grup (2, 8, 11, 15, 16, 17) şeklinde iyon dizilimleri benzerlik göstermektedir. 1. ve 2. Grupların iyon dizilimleri ve iyon miktarları yakın özellik göstermesine rağmen 2. Grupta hâkim iyon konumuna geçen Mg^{+2} iyonu su tipini değiştirdiği için farklı bir grup olarak değerlendirilmiştir. 1. ve 2. grup sular benzer kökenli sulardır fakat 2. Grupta hâkim iyon değişimi olduğu gözlenmiştir. 3. Grup suların iyon dizilimleri tamamen ve iyon miktarları diğer gruplardan fazla olduğu için diyagramın üst kısmında yer almışlardır. Bu grup suların iyon miktarlarının fazla olmasından dolayı dolaşım süresi ve su kayaç etkileşiminin diğer grupta yer alan sulardan daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Diyagramın alt bölgesinde iyon dizilimine sahip sular yapısında daha az iyon bulundurduğu için beslenme alanına yakın ve daha sık bir dolaşıma sahip olduğu anlaşılmaktadır.

3.grup suların iyon içeriğine baktığımızda Na^+ ve Cl^- iyon miktarlarının yüksek olduğu görülmektedir. Bu örnek noktaları Tuz Gölü'ne mesafe olarak yakın olduğu için tuz girişiminden etkilenebileceği veya tam tersi yönde beslenme alanına uzaklığı, diğer noktalara göre fazla olduğu için dolaşım süresince temasta olduğu birimlerden fazlaca Na^+ ve Cl^- iyonu çözdüğü sonucuna varılmaktadır. Fakat tam anlamı ile tuz girişiminden bahsedebilmek için girişim mekanizmasının anlaşılması ve girişim eksenini belirleyici farklı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

3.4.3.4 Suların doygunluk indisi hesapları

Yeraltı sularının ihtiva ettiği minerallere doygunluk miktarı, suların geçirdiği hidrojeokimyasal süreçler hakkında yorum yapabilmemiz için önemlidir. Suların doygunluk miktarlarını hesaplayabilmek için su içindeki iyonların Gibbs serbest enerjileri ile iyon etkinlik miktarının ilişkisinin bilinmesi gerekmektedir.

Minerallerin doygunluk indislerinin hesaplanması ve yorumlanması, suların iletim ve kullanım aşamasında oluşabilecek çökelimin öngörülmesi ve zarara uğratmadan önlem alınması açısından önem arz etmektedir. Doygunluk indisi; $SI \log(Q/K)$ şeklinde gösterilen logaritmik bir kavramdır. Termodinamik yöntemler vasıtasıyla

hesaplanan doygunluk indisi sonuçları aşağıda verildiği şekilde yorumlanır (Tarcan, 2002).;

$SI \log(Q/K) = 0$ durumunda ilgili mineral ile yeraltı suyu dengededir.

$SI \log(Q/K) > 0$ durumunda ilgili mineral ile yeraltı suyu aşırı doygunudur.

$SI \log(Q/K) < 0$ durumunda ilgili mineral ile yeraltı suyu doygun değildir.

Çalışma alanındaki yeraltı sularının Aragonit, Anhidrit, Kalsit, Dolomit, Jips, Halit minerallerine doygunluk miktarları PHREEQC v3.0 programı ile hesaplanmıştır (Parkhurst ve Appelo, 2013). Minerallerin doygunluk indisleri örnek noktaları bazında tablo ve grafik haline getirilip yorumlanmıştır.

Mineral doygunluk indisi hesabında sıcaklıkla minerallerin çözünürlükleri farklılık gösterdiği için örnekleme sırasında ölçülen sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Sıcaklık değişimlerinin mineral doygunluklarına etkisinin de anlaşılabilmesi için Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerine ait doygunluk indisleri ayrı ayrı tablo ve grafik haline getirilmiştir.

Çalışma alanında Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinin tümünde ve örnekleme yapılan tüm noktalarda Halit, Jips ve Anhidrit minerallerine doygunluk miktarının düşük olduğu ve yeraltı sularının bu mineralleri çözme özelliğine sahip olduğu anlaşılmıştır. Örnek noktalarından 17 ve 18 numaralı örneklerde tüm dönemler boyunca Halit, Jips, Anhidrit minerallerine ek olarak Kalsit ve Aragonit minerallerinin doygunluk miktarı düşüktür.

Tablo 3.23 Çalışma alanındaki örneklerle ait doygunluk indisi sonuçları (Mayıs 2019)

Numune No	Kalsit	Dolomit	Aragonit	Jips	Anhidrit	Halit	log p CO2
Mayıs 2019							
1	0,27	0,32	0,13	-1,42	-1,80	-6,57	-1,31
2	0,24	0,66	0,10	-1,01	-1,38	-5,43	-1,50
3	0,58	1,07	0,44	-1,21	-1,59	-6,35	-1,67
4	0,33	0,41	0,19	-1,94	-2,31	-7,03	-1,68
5	0,26	0,52	0,12	-1,62	-2,01	-6,33	-1,51
6	0,82	1,65	0,68	-1,44	-1,83	-6,22	-2,03
7	0,70	1,18	0,56	-1,81	-2,17	-6,88	-2,02
8	0,69	1,73	0,54	-1,64	-1,98	-5,56	-1,88
9	0,74	1,33	0,60	-1,74	-2,07	-6,90	-2,44
10	0,44	0,88	0,29	-1,73	-2,09	-6,98	-2,54
11	0,24	0,62	0,10	-1,42	-1,80	-5,39	-1,33
12	0,41	0,69	0,27	-1,67	-2,02	-6,47	-2,30
13	0,36	0,88	0,21	-2,04	-2,38	-6,56	-2,11
14	0,44	0,96	0,30	-2,31	-2,67	-7,74	-2,74
15	0,31	0,86	0,17	-1,38	-1,76	-5,28	-1,28
16	0,33	0,82	0,19	-1,19	-1,58	-5,31	-1,52
17	-0,06	0,14	-0,20	-1,29	-1,66	-4,53	-0,91
18	-0,01	0,05	-0,15	-2,19	-2,53	-7,34	-2,12
19	-0,09	-0,18	-0,05	-2,50	-2,87	-7,30	-2,16

Mayıs 2019 dönemine ait örneklerin doygunluk indisi değerlerini incelediğimizde tüm örneklerin Jips, Anhidrit ve Halit minerallerine doygun olmadığını ve bu mineralleri çözebileceği anlaşılmıştır. Örneklemeye dönemi içerisinde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 numaralı örneklerin Kalsit, Dolomit ve Aragonit minerallerine doygunluk miktarı yüksek ve bu mineralleri çökeltebileceği anlaşılmıştır.

Mayıs 2019 örneklemeye döneminde 17, 18 numaralı örneklerin Jips, Anhidrit, Halit mineralleri ile birlikte Kalsit ve Aragonit minerallerine de doygunluğu düşüktür. Sadece Dolomit mineralinin doygunluğu yüksektir. 19 numaralı örnekte ise tüm minerallerin doygunluk miktarı düşüktür ve tüm incelediğimiz mineralleri çözebilme özelliğine sahiptir. 19 numaralı örnek noktasının mineral doygunluğunun düşük olması ve çözücü özelliğinin yüksek olması beslenme alanına yakınlığı ile ilişkilendirilebilir. Dolaşım süresinin kısa olduğu ve yağışlı dönem içerisinde olduğu

için mineralleri çözerek doygunluğa ulaşacak temas süresine sahip olmadığı anlaşılmıştır

Tablo 3.24 Çalışma alanındaki örneklere ait doygunluk indisi sonuçları (Ekim 2019)

Numune No	Kalsit	Dolomit	Aragonit	Jips	Anhidrit	Halit	log p CO2
Ekim 2019							
1	0,15	0,05	0,00	-1,39	-1,87	-6,53	-1,47
2	0,12	0,25	-0,02	-0,97	-1,42	-5,37	-1,59
3	0,38	0,63	0,23	-1,28	-1,73	-6,16	-1,60
4	0,12	-0,02	-0,03	-1,79	-2,28	-7,01	-1,76
5	0,13	0,27	-0,01	-1,59	-2,04	-6,36	-1,66
6	0,33	0,67	0,18	-1,44	-1,88	-6,28	-1,76
7	0,17	0,09	0,02	-1,79	-2,29	-6,83	-1,78
8	0,10	0,54	-0,05	-1,56	-2,02	-5,58	-1,88
9	-0,05	-0,27	-0,20	-1,71	-2,20	-6,90	-2,28
10	0,11	0,26	-0,03	-1,78	-2,21	-6,99	-2,52
11	0,12	0,50	-0,03	-1,40	-1,83	-5,39	-1,51
12	0,20	0,24	0,05	-1,59	-1,97	-6,54	-2,35
13	0,25	0,46	0,11	-1,63	-2,05	-6,30	-2,10
14	0,26	0,69	0,12	-2,30	-2,68	-7,66	-2,70
15	0,03	0,30	-0,12	-1,40	-1,79	-5,26	-1,35
16	0,11	0,32	-0,04	-1,21	-1,65	-5,38	-1,57
17	-0,06	0,15	-0,20	-1,40	-1,85	-4,49	-1,07
18	-0,15	-0,29	-0,30	-2,06	-2,50	-7,08	-2,17
19	0,08	0,11	-0,06	-2,63	-3,07	-7,29	-2,30

Ekim 2019 dönemine ait örneklerin doygunluk indisi değerlerini inceledi mizde tüm örneklerin Jips, Anhidrit ve Halit minerallerine doygun olmadığını ve bu mineralleri çözebileceği anlaşılmıştır. Örnekleme dönemi içerisinde 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 numaralı örneklerin Kalsit, Dolomit minerallerine doygunluk miktarı yüksek ve bu mineralleri çökeltme özelliğine sahipken Aragonit mineralinin doygunluk miktarının Mayıs 2019 dönemine göre az da olsa düştüğü gözlenmiştir.

Ekim 2019 örnekleme döneminde 17 numaralı örneklerin Jips, Anhidrit, Halit mineralleri ile birlikte Kalsit ve Aragonit minerallerine de doygunluğu düşüktür. Sadece Dolomit mineralinin doygunluğu yüksektir. 9, 18 numaralı örnekte ise tüm minerallerin doygunluk miktarı düşüktür ve tüm incelediğimiz mineralleri çözebilme özelliğine sahiptir. 19 numaralı örnekte Jips, Anhidrit, Halit ve Aragonit minerallerinin

doygunluk miktarının düşük, Kalsit ve Dolomit minerallerinin doygunluk miktarları yüksektir. Mayıs 2019 dönemi ile kıyaslandığında Kalsit ve Dolomit minerallerinin doygunluk miktarının arttığı anlaşılmıştır.

Tablo 3.25 Çalışma alanındaki örneklere ait doygunluk indisi sonuçları (Mayıs 2020)

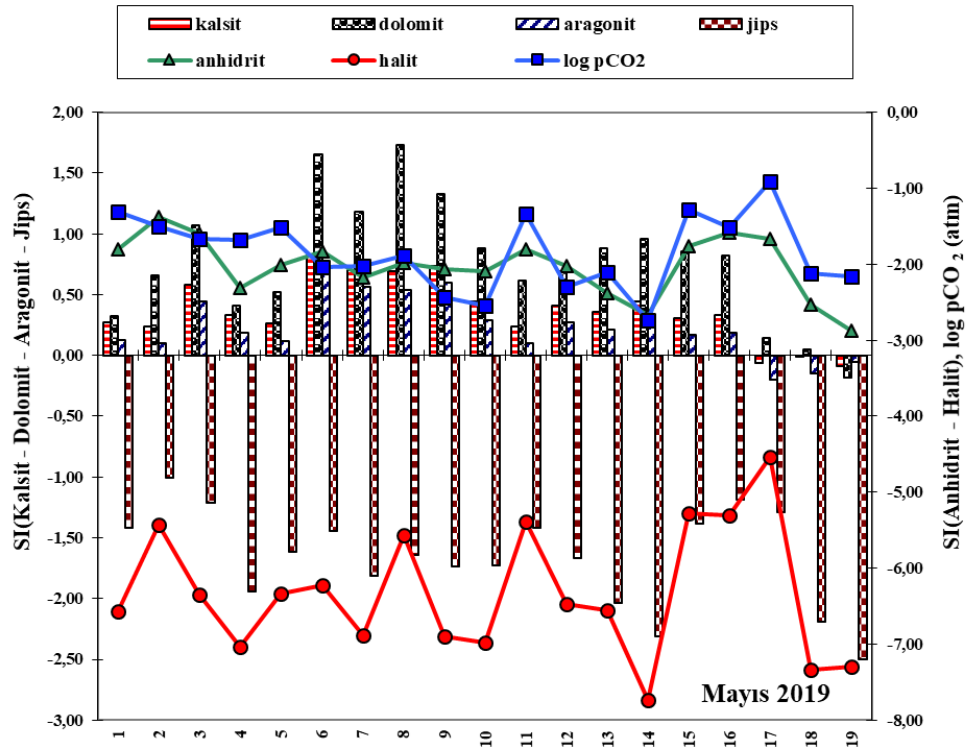
Numune No	Kalsit	Dolomit	Aragonit	Jips	Anhidrit	Halit	log p CO2
Mayıs 2020							
1	0,13	0,35	-0,01	-1,66	-1,99	-6,52	-1,52
2	0,14	0,39	-0,01	-1,02	-1,38	-5,41	-1,48
3	0,48	0,92	0,34	-1,26	-1,59	-6,23	-1,59
4	0,27	0,44	0,12	-1,71	-2,09	-6,94	-1,96
5	0,33	0,72	0,19	-1,58	-1,96	-6,30	-1,86
6	0,37	0,80	0,23	-1,47	-1,86	-6,26	-1,89
7	0,57	0,96	0,43	-1,81	-2,15	-6,84	-2,14
8	0,55	1,49	0,41	-1,59	-1,93	-5,62	-1,88
9	0,35	0,64	0,21	-1,66	-2,00	-6,73	-2,52
10	0,39	0,84	0,24	-1,65	-1,97	-6,94	-2,57
11	0,25	0,75	0,11	-1,42	-1,78	-5,36	-1,51
12	0,13	0,15	-0,01	-1,57	-2,02	-6,43	-2,39
13	0,37	0,97	0,23	-1,77	-2,10	-6,52	-2,38
14	0,38	0,92	0,23	-2,12	-2,48	-7,60	-2,73
15	0,14	0,58	-0,01	-1,44	-1,79	-5,25	-1,31
16	0,25	0,68	0,11	-1,20	-1,58	-5,32	-1,47
17	-0,14	0,05	-0,28	-1,33	-1,71	-4,52	-1,15
18	-0,06	0,06	-0,21	-2,14	-2,48	-7,00	-2,23
19	0,35	0,46	0,20	-2,47	-2,82	-7,08	-2,36

Mayıs 2020 dönemine ait örneklerin doygunluk indisi değerlerini inceledi mizde ise tüm örneklerin Jips, Anhidrit ve Halit minerallerine doygun olmadığını ve bu mineralleri çözebileceği anlaşılmıştır. Örnekleme dönemi içerisinde 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 19 numaralı örneklerin Kalsit, Dolomit ve Aragonit minerallerine doygunluk miktarı yüksek ve bu mineralleri çökeltme özelliğine sahiptir. 1, 2, 12, 15 numaralı örneklerin Kalsit ve Dolomit minerallerine doygunluk miktarı yüksek iken Aragonit mineraline doygunluk miktarı dengededir.

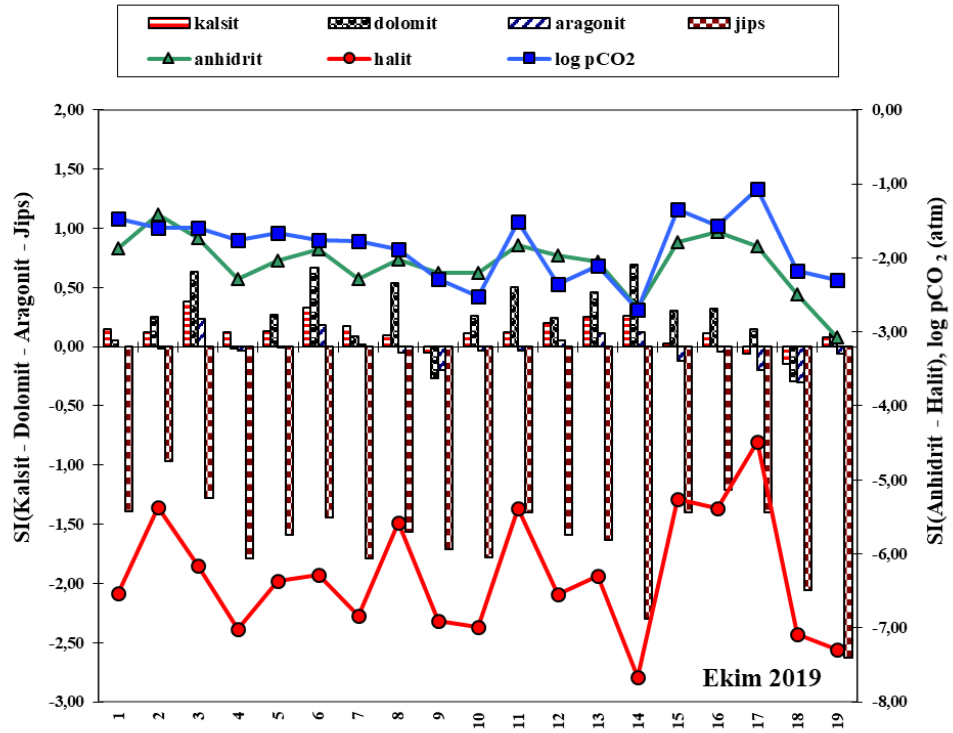
Mayıs 2020 döneminde 17 ve 18 numaralı örneklerin Mayıs 2019 döneminde olduğu gibi Jips, Anhidrit, Halit mineralleri ile birlikte Kalsit ve Aragonit minerallerine de

doygunluğu düşüktür. 19 numaralı örneğin 3 dönem sonunda Kalsit, Dolomit ve Aragonit minerallerini çözerek doygunluk miktarını artırdığı gözlenmiştir.

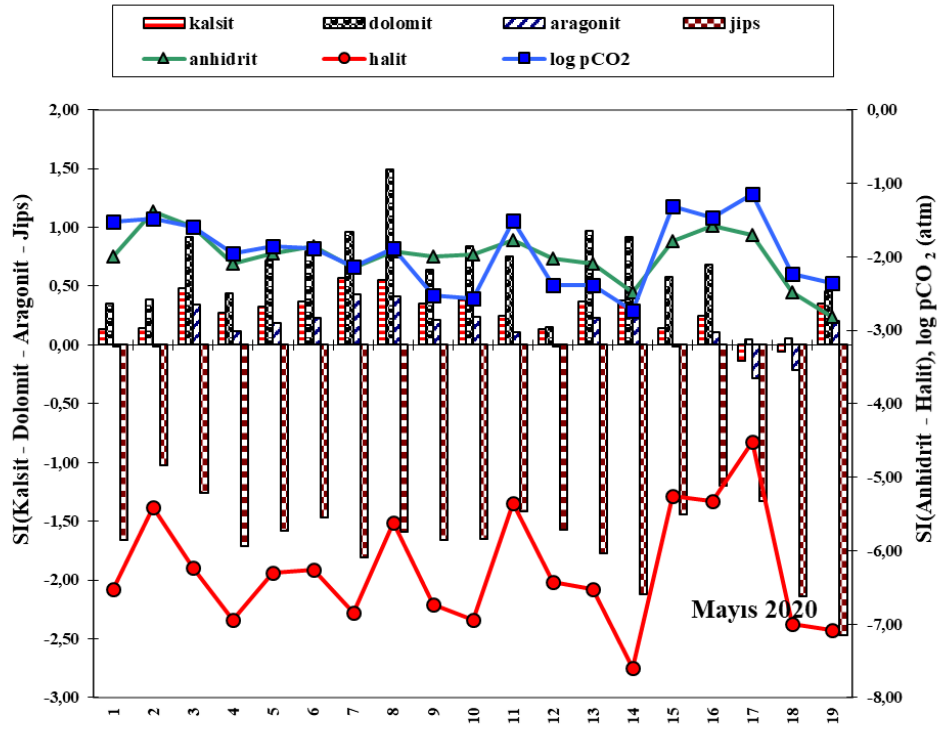
Örnekleme yapılan dönemlerin yağış miktarına ve yeraltı suyu kullanımına bağlı olarak yeraltı su seviyelerindeki değişim su kayaç etkileşimindeki temas süreleri göz önünde bulundurulduğunda dönemsel olarak doygunluk indislerinde değişimler meydana gelmiştir. Yeraltı sularının süzülme ve dolaşım esnasında değişen mekânsal ve zamansal değişimler minerallerin doygunluk miktarında değişimlere sebep olmuş olabilir.



Şekil 3.76 Çalışma alanına ait örneklerin doygunluk indisi değerleri (Mayıs 2019)



Şekil 3.77 Çalışma alanına ait örneklerin doygunluk indisi değerleri (Ekim 2019)



Şekil 3.78 Çalışma alanına ait örneklerin doygunluk indisi değerleri (Mayıs 2020)

3.4.4 Ağır metal ve iz element parametrelerinin değerlendirilmesi

Yeraltı sularında ağır metaller, iz elementler minör olarak değerlendirmeye alınmaktadır. Bu elementler çoğu zaman eser miktarda bulunsa da yeraltı sularına; tarımsal faaliyetler, atıklar, antropojenik etkenler, su kayaç etkileşimine bağlı etkenlerle dâhil olmaktadır. Yeraltı sularında ağır metal ve iz elementleri düşük miktarda bulunsa dahi insan ve çevre sağlığı açısından problemlere neden olabilir. Ağır metal ve iz elementler yeraltı sularının etkileşimde olduğu hidrojeokimyasal ortamların değerlendirmesi noktasında önemli veriler sağlarken, insan ve çevre sağlığı için standartlar ile belirlenmiş limit değerlerin üzerinde olması durumunda tehlike oluşturabilmektedir. Hidrojeolojik araştırmalarda majör elementlerin yanı sıra ağır metal ve iz elementlerin (minör elementlerin) analizinin yapıp değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

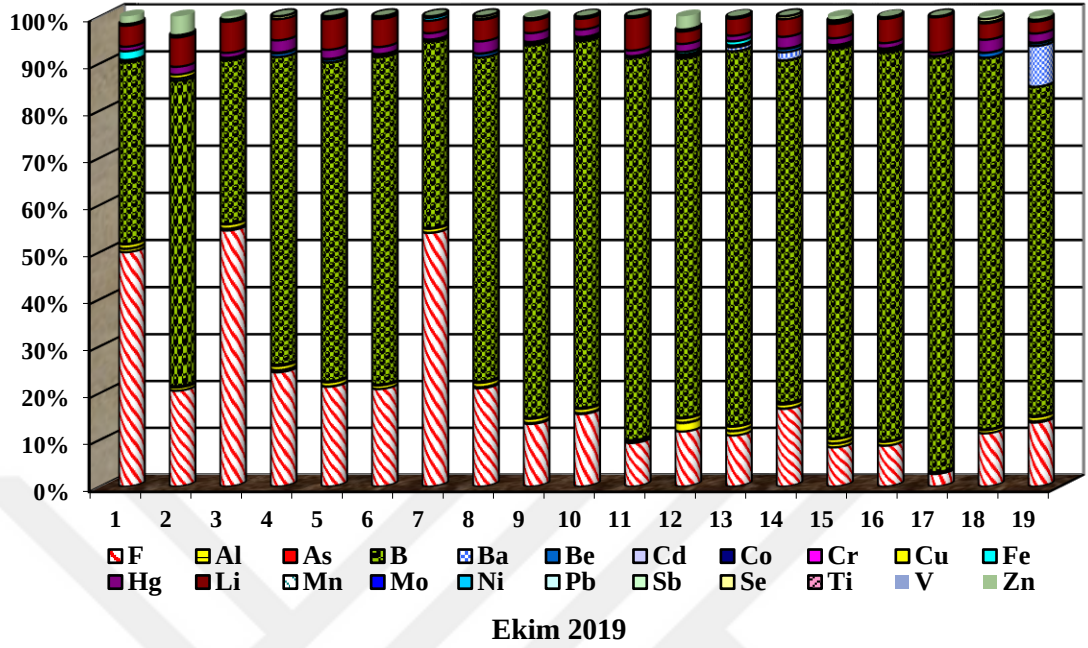
Çalışma kapsamında inceleme alanındaki suların kullanım ve kalite özelliklerinin belirlenmesi ve geleceğe yönelik değerlendirme yapabilmemiz için örnekleme yaptığımız noktalarda ağır metal ve iz element içeriklerinin analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında ağır metal ve iz element parametrelerinden Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, P, Pb, Se, Ti, V, Zn elementlerinin analizi yapılmış ve TS-266, 2005 ve WHO, 2011 standartları ile kıyaslanmıştır.

Tablo 3.26 Çalışma alanındaki örnek noktalarına ait ağır metal ve iz element analizi sonuçları (Ekim 2019)

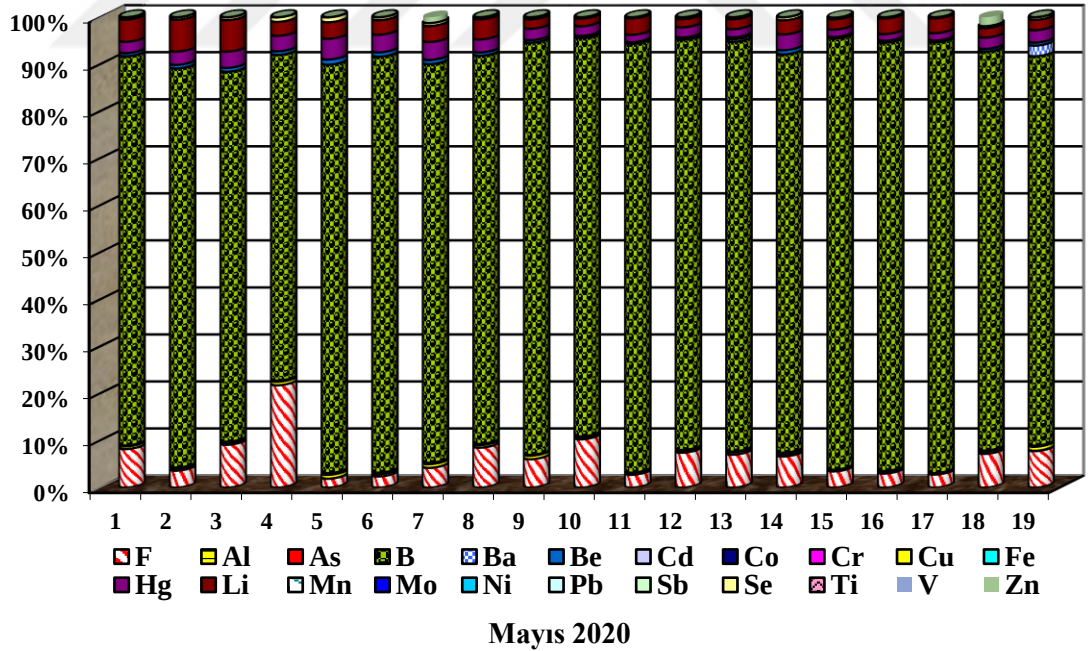
Parametreler	Al	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Se	Ti	V	Zn
Ekim 2019 dönemi																					
1	0,08	0,01	1,94	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,09	0,05	0,22	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,08
2	0,04	0,02	3,82	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,10	0,37	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,24
3	0,12	0,01	3,21	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,10	0,61	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,06
4	0,03	0,01	1,40	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,06	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
5	0,03	0,01	1,85	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,05	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
6	0,03	0,01	2,46	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,05	0,21	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
7	0,03	0,01	1,56	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,05	0,10	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
8	0,03	0,01	1,57	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,06	0,10	<0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
9	0,04	0,01	2,71	<0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,06	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
10	0,04	0,01	2,96	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,06	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
11	0,06	0,02	11,22	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,16	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
12	0,11	0,01	2,95	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,02	0,07	0,10	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,11
13	0,09	0,01	3,82	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,04	0,06	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
14	0,02	0,01	1,68	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,06	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
15	0,14	0,01	6,79	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,03	0,12	0,25	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,07
16	0,09	0,02	8,42	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,12	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02
17	0,14	0,04	38,69	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,30	3,29	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01
18	0,02	0,01	2,43	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,08	0,11	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02
19	0,03	0,01	2,01	0,25	0,02	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
TS-266, 2005	0,02	0,05	1,00	0,3	-	0,005	-	0,05	2	0,2	0,01	-	0,05	-	0,02	0,4-5	0,05	0,01	-	-	5
WHO, 2011	0,02	0,05	2,00	0,7	-	0,003	-	0,05	2	0,3	0,01	-	0,05	-	0,02	0,4-5	0,015	0,01	-	-	5

Tablo 3.27 Çalışma alanındaki örnek noktalarına ait ağır metal ve iz element analizi sonuçları (Mayıs 2020)

Parametreler	Al	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Li	Mn	Mo	Ni	P	Pb	Se	Ti	V	Zn
mg/L																					
Mayıs 2020 dönemi																					
1	0,03	0,01	3,94	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,11	0,22	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,0	0,02	0,00	0,00	0,00
2	0,04	0,02	8,64	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,05	0,00	0,00	0,00
3	0,03	0,03	7,45	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,06	0,00	0,00	0,00
4	0,03	0,01	2,86	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,04	0,00	0,00	0,00
5	0,06	0,03	6,18	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,08	0,00	0,00	0,00
6	0,04	0,03	7,69	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,05	0,00	0,00	0,00
7	0,03	0,01	3,05	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,14	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,02	0,00	0,00	0,04
8	0,06	0,03	9,15	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,47	<0,01	0,00	0,00	0,00	0,0	0,05	0,00	0,00	0,00
9	0,04	0,01	4,87	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,13	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,02	0,00	0,00	0,00
10	0,03	0,01	5,49	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,02	0,00	0,00	0,00
11	0,07	0,03	19,56	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,05	0,00	0,00	0,00
12	0,03	0,01	5,58	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,11	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,0	0,03	0,00	0,00	0,00
13	0,04	0,01	6,24	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,03	0,00	0,00	0,00
14	0,02	0,01	3,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,02	0,00	0,00	0,00
15	0,05	0,03	19,86	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,07	0,00	0,00	0,02
16	0,09	0,03	19,28	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,30	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,05	0,00	0,00	0,00
17	0,07	0,06	39,78	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,09	0,00	0,00	0,00
18	0,03	0,01	4,65	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,13	0,11	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,0	0,02	0,00	0,00	0,10
19	0,05	0,01	4,04	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,03	0,00	0,00	0,00
20	0,14	0,57	59,65	0,79	0,00	0,00	0,04	<50	0,08	<1000	0,00	0,00	0,04	0,02	0,07	0,00	<10	<50	0,00	0,02	0,71
21	0,11	0,10	7,91	0,00	0,00	0,00	0,00	<50	0,02	<1000	0,00	0,00	0,06	0,00	<0,01	0,00	<10	<50	0,00	0,00	0,52
TS-266, 2005	0,02	0,05	1,00	0,3	-	0,005	-	0,05	2	0,2	0,01	-	0,05	-	0,02	0,4-5	0,05	0,01	-	-	5
WHO, 2011	0,02	0,05	2,00	0,7	-	0,003	-	0,05	2	0,3	0,01	-	0,05	-	0,02	0,4-5	0,015	0,01	-	-	5



Şekil 3.79 Çalışma alanındaki örneklere ait ağır metal ve iz element dağılım grafiği (Ekim 2019).



Şekil 3.80 Çalışma alanındaki örneklere ait ağır metal ve iz element dağılım grafiği (Mayıs 2020).

Örnekleme yapılan Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde 21 farklı ağır metal ve iz element parametresi değerlendirmeye alınmıştır. İlgili parametrelerden Al, As, B, Ba,

Hg, Li, Se haricinde kalanlar TS-266 ve WHO standart değerlerine uyum göstermektedir.

Al miktarı Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde sırası ile 0,02-0,12 ve 0,03-0,14 mg/L aralığında değişim göstermiştir. Yer kabuğunda kayaçların yapısında çok fazla bulunan Al elementi doğal sularda nadiren rastlanır. Feldispat, Feldispatoid, Mika gibi bazı mineral kayaların bileşiminde Al vardır. Al bileşikleri suda     nmezler (Doğan, 1981). Her iki dönemde de 0,02 mg/L olan standart değeri aşımış olduğu görülmektedir. Al miktarı 0,02 mg/L standart değerinin üzerinde sularda renk değişikliği olarak görülebilir.

As miktarı Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde sırası ile 0,01-0,04 ve 0,01-0,06 mg/L aralığında değişim göstermiştir. Doğal sularda As ender olarak bulunur. Yeraltı suyunun dolaşımı sırasında temas ettiği kayaçlardan veya sanayi, pestisit kaynaklı kirlilik olarak da suyun yapısına katılmış olabilir.

B miktarı Ekim 2019 döneminde 1,40-38,69 mg/L, Mayıs 2020 döneminde ise 2,86-39,78 mg/L aralığında değişim göstermiştir. İki  rnek döneminde de tüm örnek noktalarında standartların üzerinde  kmıştır. Analiz edilen elementler içerisinde en yüksek miktara sahip element durumundadır. B element halde doğada bulunma miktarı düşüktür. Genellikle bileşiklerinin suda     n rl ğ  yüksek olduğu için     nm ş halde bulunurluğu yüksek miktardadır (Kavurmacı, 2010). Ülkemizdeki Borat yataklarına bakıldığında genellikle volkanizma etkisinde kuraklığın fazla olduğu kapalı havzalarda olduğu gözlenir. B miktarının fazla oluşu çalışma alanının kapalı havza içerisinde, kuraklığın yüksek ve Hasandağı volkanizmasının etkisinin görülmesine bağlı olabilir. Ayrıca son yıllarda önemli kullanıma sahip boraks katkılı tarımsal gübre kullanımı B miktarındaki yüksekliğin sebebi olabilir.

Ba miktarı Ekim 2019 döneminde 0,00-0,04 mg/L, Mayıs 2020 döneminde ise 0,00-0,11 mg/L aralığında değişim göstermiştir. Ba doğada BaSO₄ (Barit) ve BaCO₃ (witherit) bileşikleri olarak bulunur (Güler ve  obanoğlu, 1997). Ayrıca magmatik ve sedimanter kayaçlarda eser miktarda bulunur. Çalışma alanında tüm örneklerde her iki dönemde de standart değerlere uygun olarak bulunmaktadır.

Hg miktarı Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde sırası ile 0,05-0,12 ve 0,11-0,68 mg/L aralığında değişim göstermiştir. Hg elementi suların içeriğine genellikle volkanik ve antropojenik süreçlerin etkisi ile dâhil olmaktadır. Endüstriyel atık olarak da suların yapısına dâhil olabilmektedir. Çalışma alanında Hg miktarı standartların üzerinde çıkmıştır. Yeraltı sularındaki Hg miktarı endüstriyel veya volkanik kökenli kayaçların etkisi altında artmış olabilir.

Li miktarı Ekim 2019 döneminde 0,07-3,29 mg/L, Mayıs 2020 döneminde ise 0,00-1,37 mg/L aralığında değişim göstermiştir. Doğal sularda Li miktarı 10 mg/L altında değerler almaktadır. Tuzlu ve termal özellikteki yeraltı sularında Li miktarı fazladır (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Dünya’da Li üretimi tuzlu su rezervuarları, sedimanter kayaçlar ve pegmatitlerden gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde bazı göllerde yapılan Li ölçümlerinde 40 mg/L değerini aşmadığı, Tuz Gölü’nde ise 325 mg/L değerine ulaşan tespitler yapılmıştır (Akgök ve Şahiner, 2017). Çalışma alanında ölçülen değerler 10 mg/L’nin altındadır. Li miktarının temeli ise çalışma alanının Tuz Gölü havzasında yer alması ve tuzlu suların Li artışında etkisi olduğu söylenebilir.

Se miktarı Ekim 2019 döneminde 0,01-0,05 mg/L, Mayıs 2020 döneminde ise 0,02-0,09 mg/L aralığında değişim göstermektedir. Se; ağır metal elementlerinden olup doğal veya insan kaynaklı faaliyetler sonucu doğada bulunmaktadır. Doğal suların içeriğinde düşük konsantrasyonda bulunur veya hiç bulunmaz. Yüksek miktarda Se ihtiva eden sular endüstriyel kaynaklı kirliliğe uğramış sulardır (Güler ve Çobanoğlu, 1997). Se elementi karbonatlı kayaçlarda 0,08 mg/L, kumtaşlarında 0,05 mg/L, şeyllerde 0,06 mg/L ve zemin üstü topraklarda 0,02 mg/L değerine ulaşacak kadar bulunmaktadır (Şahinci, 1991). Çalışma alanındaki örneklerin Se miktarları standartların limit değerini aşmıştır. Fakat çalışma alanının jeolojik özelliklerini yansıtabilecek nitelikte karbonatlı kayaçlarda bulunması gereken sınır değeri aşmadığı anlaşılmıştır.

Çalışma kapsamında inceleme alanındaki yeraltı sularının Ağır metal ve iz elementlerin analizleri gerçekleştirilmiş ve TS-266, 2005 ve WHO, 2011 standartlarının limit değerleri dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. İlerleyen bölümlerde yeraltı sularının içme ve kullanım suyu bakımında özelliklerinin analizi

kısımında ağır metal ve iz element parametreleri kullanılarak detaylı su kalite değerlendirmesi ve sınıflandırılması yapılmıştır.

3.4.5 Su kalitesi ve kullanım özelliklerinin değerlendirilmesi

Yeraltı suları; geçmiş zamanlardan günümüze dek içme suyu, evsel kullanım, hayvancılık ve tarımda sulama amacı ile kullanılmıştır. Teknolojinin ilerlemesi ile yeraltı sularının kolayca işletilebilmesi için birçok teknik geliştirilmiş ve bu durum yeraltı suyu tüketimini artırmıştır. Fakat kullanım sırasında yeraltı sularının tatlı su çevrimindeki süreci ve sınırlılığı göz ardı edilmektedir. Hem kullanım sonucu sınırlı yeraltı sularının azalması hem de dış kaynaklı yeraltı sularının kirletilmesi kullanımı da sınırlamakta hatta ortadan kaldırmaktadır.

Dünya üzerinde dönüşümlü olarak dengede bulunan suların kullanım şekli, sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özelliklere göre değişiklik göstermektedir. Suların fiziksel ve kimyasal özellikleri bulunduğu veya temas ettiği ortama göre değişiklik göstermektedir. Sınırlı kaynağa sahip suların doğru ve faydalı kullanımının sağlanabilmesi için özelliklerinin doğru analiz edilip kullanım alanlarına göre sınıflandırılması önem arz etmektedir. Suların fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilgili birçok standart mevcuttur. Genellikle ülkeler kendi kaynaklarına ve kullanım şekillerine göre kendi standartlarını belirleme yoluna gitmiştir. Ülkemizde Türk Standartları Enstitüsü (TSE) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenmiş olan TS-266 ve WHO su kalite standartlarının karşılaştırmalı kullanımı mevcuttur.

Çalışma kapsamında inceleme alanında yer alan suların kullanım özellikleri TS-266 ve WHO standartları, Schoeller, Wilcox ve A.B.D. tuzluluk laboratuvarı diyagramları ile değerlendirilmiştir.

3.4.5.1 İçme amaçlı kullanılan sularının özellikleri

Çalışma alanında içme amacı ile kullanılan sular yeraltı sularından ve çalışma alanı dışında Aksaray ilinin farklı bölgelerinde yer alan su kaynaklarından aktarımla sağlanmaktadır. İçme sularının uygunluğunu test edebilmek için birçok farklı diyagram kullanılmaktadır. Çalışma alanındaki yeraltı sularından içme suyu olarak

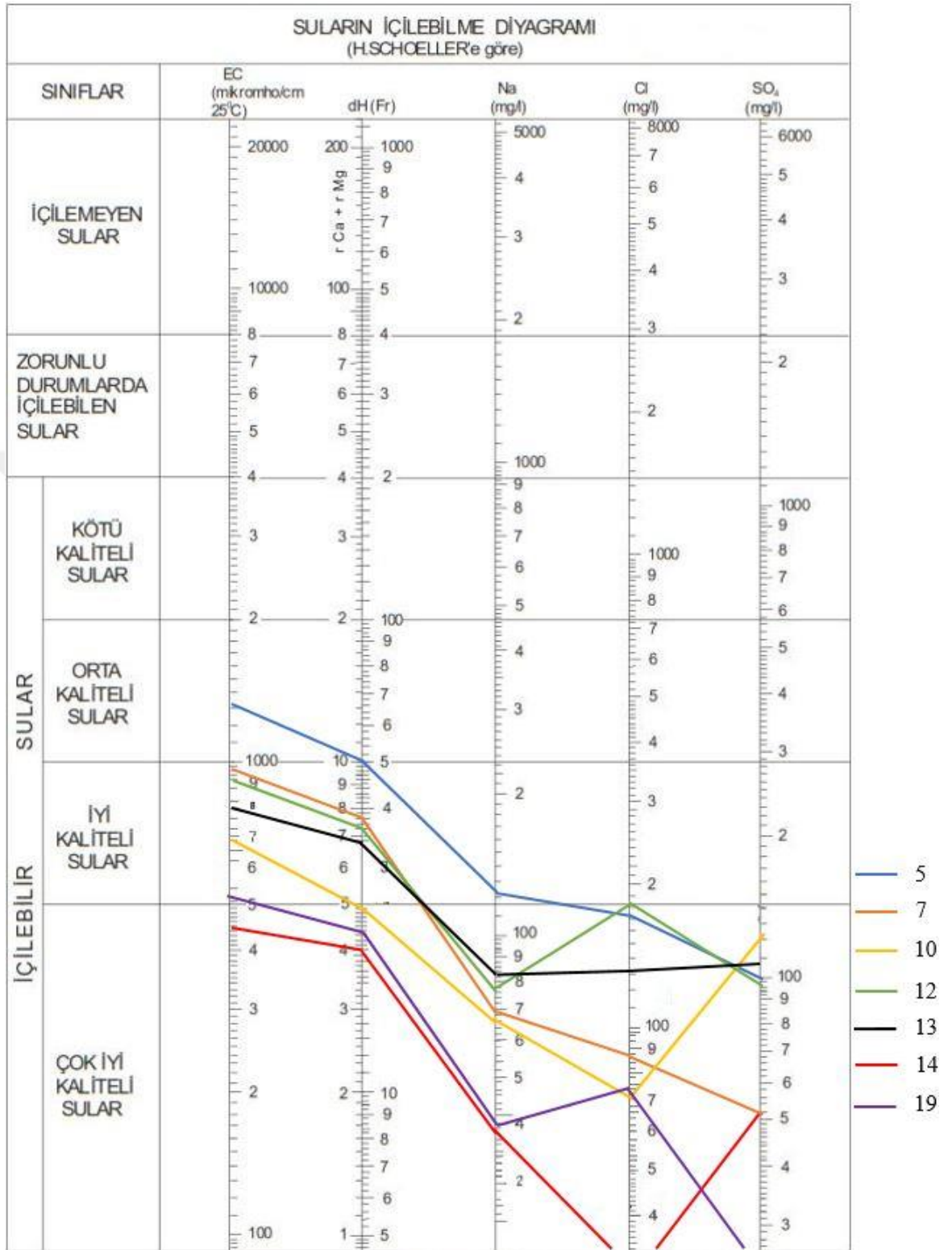
kullanılan suların içilebilir özelliklerini değerlendirmek için Schoeller içilebilirlik diyagramı oluşturulmuştur. Ayrıca ülkemizde içme suyu standartlarını belirleyen Türkiye İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (TS-266, 2005) ve Dünya sağlık örgütü (WHO, 2011) standartlarında müsaade edilen sınır değerleri ile karşılaştırma yapılmıştır.

Schoeller içilebilirlik diyagramı; yeraltı sularının kimyasal özelliklerinden yararlanarak içilebilir olup olmadığını tek bir diyagram üzerinde göstermeye yarayan bir diyagramdır. Schoeller; suların içerisinde çözülmüş halde bulunan Na^+ , Cl^- ve SO_4^{2-} iyon miktarları, Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyon miktarları ile hesaplanan Fransız sertliği (F°) değerleri ve Elektriksel iletkenlik (EC) değerlerini tek bir gösterge çizelgesi üzerinde birleştirerek suları içilebilirlik yönünden sınıflamaya yarayan diyagramı geliştirmiştir.

Schoeller içilebilirlik diyagramı suları “İçilemeyen sular”, “Zorunlu durumlarda içilebilen sular”, “İçilebilir sular” şeklin 3 ana başlıkta sınıflamıştır. İçilebilir suları ise kendi içerisinde kalitesine göre “kötü, orta, iyi ve çok iyi kaliteli sular” şeklinde sınıflandırmıştır.

Çalışma alanında örnekleme yapılan noktalardan içme suyu olarak 5, 7, 10, 12, 13, 14, 19 numaralı kuyular kullanılmaktadır. Çalışma alanında yıllar önce 5 adet su kaynağı bulunmaktaymış. Fakat zaman içerisinde yeraltı sularının aşırı kullanımı sonucu yok olan yeraltı suyunu yerine koyacak beslenmenin olmaması ve yeraltı su seviyesinde yaşanan düşüşler sebebi ile kaynaklar kurumuştur. Kuruyan kaynakların yerine bölgede yaşayan nüfusun ihtiyacını karşılamak için kuyular vasıtasıyla yeraltı suları kullanılmaya başlamıştır. Bu kuyular genel olarak çalışma alanının güney bölümünde yer almaktadır.

Schoeller içilebilirlik diyagramı verileri değerlendirildiğinde; 5 numaralı örnek noktasının “orta kaliteli sular”, 7, 10, 12, 13 numaralı örneklerin “iyi kaliteli sular”, 14 ve 19 numaralı suların ise “çok iyi kaliteli sular” sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.



Şekil 3.81 Schoeller içilebilirlik diyagramı (Schoeller, 1962)

Tablo 3.28 Çalışma alanında içme amaçlı kullanılan suların fiziksel ve kimyasal parametrelerinin kalite değerlendirme tablosu

Parametreler	T	pH	EC	TÇKM	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₂	NO ₃	SAR	% Na	MH	Fr.
	°C		µS/cm														
Mayıs 2019 dönemi																	
5	16,6	7,83	1327	927	108,5	53,05	104,45	5,73	505,63	90,56	177,6383	0,006	24,687	2,05	40,55	44,90	49,23
7	19,9	7,62	970	671	110,6	30,308	65,64	2,928	461,8	49,63	77,05	-	6,151	1,42	32,73	31,35	40,28
10	20,1	8,18	690	435	51,99	24,942	64,26	3,024	220,36	106,3124	60,8212	-	80,436	1,83	46,66	44,43	23,39
12	20,5	8,41	874	550	74,24	25,628	81,12	6,964	210,52	96,959	159,734	-	78,343	2,06	46,87	36,52	29,24
13	21,8	7,95	825	502	49,44	33,364	87,04	3,328	287,1	59,1029	119,174	-	12,683	2,34	52,18	52,94	26,26
14	19,8	8,24	460	297	39,8	21,94	23,52	2,066	222	30,6264	27,4394	1,210	59,392	0,74	29,30	47,88	19,09
19	19,7	8,19	472	318	57,7	11,902	31,28	7,48	234,4	13,3904	57,7785	0,304	26,757	0,98	35,77	25,58	19,38
TS-266, 2005	-	6,5-9,5	2500	2000	200	150	175	12	-	250	250	0,5	50				
WHO, 2011	-	6,5-9,5	2500	-	200	150	200	-	-	250	250	0,5	50				
Ekim 2019 dönemi																	
5	11,7	7,44	1346	933	107,56	55,00	99,68	5,49	499,56	91,25	169,63	-	-	1,94	39,28	46,01	49,81
7	8,5	7,29	969	685	106,34	30,93	68,36	3,25	459,63	47,85	79,69	-	-	1,50	34,28	32,65	39,47
10	14,6	7,67	645	498	47,19	25,21	53,82	2,84	212,50	96,26	68,57	-	-	1,57	43,90	47,10	22,30
12	15,8	7,71	839	607	79,25	26,81	79,56	9,38	212,40	105,21	137,66	-	-	1,97	45,61	36,05	30,98
13	14,5	7,52	960	700	80,73	36,45	111,33	3,83	313,40	99,63	170,71	-	-	2,57	49,57	42,94	35,37
14	18,3	7,73	438	302	32,90	22,50	31,16	4,33	215,40	36,74	24,88	-	-	1,02	39,05	53,27	17,60
19	13	7,6	511	345	54,255093	14,285712	33,581627	7,375509	243,1	10,2099	54,0364	-	-	1,05	37,40	30,50	19,52
TS-266, 2005	-	6,5-9,5	2500	2000	200	150	175	12	-	250	250	0,5	50				
WHO, 2011	-	6,5-9,5	2500	-	200	-	200	-	-	250	250	0,5	50				
Mayıs 2020 dönemi																	
5	18,3	7,77	1201	760	106,25	57,25	111,25	6,61	490,68	99,25	175,44	-	12,7818	2,15	41,89	47,31	50,42
7	21,5	7,61	875	568	105,56	32,26	68,26	3,38	466,69	51,25	81,29	-	3,5583	1,49	34,20	33,75	39,83
10	23,5	8,01	691	357	56,24	30,80	64,28	3,48	211,40	126,35	67,48	-	76,637	1,70	43,77	47,72	26,89
12	21,5	8	891	529	87,64	34,12	78,16	7,464	205,4	99,56	180,3169	-	71,5863	1,79	41,29	39,35	36,13
13	22,6	7,77	790	457	56,7	43,18	85,4	3,092	273	103,84	133,9292	-	17,2671	2,07	46,98	55,93	32,17
14	20,1	8,06	445	223	37,44	26,08	37,4	5,178	217,2	52,87	24,378	-	21,3289	1,14	40,13	53,72	20,23
19	20,6	7,7	525	238	63,58	17,336	38,64	8,63	242,8	14,25	77,713	-	23,3819	1,10	36,88	31,25	23,12
TS-266, 2005	-	6,5-9,5	2500	2000	200	150	175	12	-	250	250	0,5	50				
WHO, 2011	-	6,5-9,5	2500	-	200	-	200	-	-	250	250	0,5	50				

Tablo 3.29 Çalışma alanında içme amaçlı kullanılan suların iz ve ağır metal parametrelerinin kalite değerlendirme tablosu

Parametreler	Al	As	B	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	P	Pb	Se	Zn
mg/L															
Mayıs 2020 dönemi															
5	0,06	0,03	6,18	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,08	0,00
7	0,03	0,01	3,05	0,00	0,03	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,02	0,04
10	0,03	0,01	5,49	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,02	0,00
12	0,03	0,01	5,58	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<0,01	0,00	0,0	0,03	0,00
13	0,04	0,01	6,24	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,03	0,00
14	0,02	0,01	3,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,02	0,00
19	0,05	0,01	4,04	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,03	0,00
TS-266, 2005	0,02	0,05	1,00	0,3	-	0,005	0,05	2	0,2	0,05	0,02	0,4-5	0,05	0,01	5
WHO, 2011	0,02	0,05	2,00	0,7	-	0,003	0,05	2	0,3	0,05	0,02	0,4-5	0,015	0,01	5

Çalışma alanında içme suyu olarak kullanılan yeraltı sularının TS-266, 2005 ve WHO, 2011 içme suyu standartlarının sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 28. ve Tablo 29.). İçme suyu olarak kullanılan tüm noktaların fiziksel ve kimyasal parametreleri standartlara uygundur. Fakat Mayıs 2019 dönemine ait kirlilik parametreleri karşılaştırıldığında NO₂ (Nitrit) yönünden 14 numaralı içme suyu kuyusu ve NO₃ (Nitrat) yönünden 10, 12 ve 14 numaralı kuyularda standart değerini aştığı görülmüştür. Mayıs 2020 döneminde NO₃ (Nitrat) yönünden 10 ve 12 numaralı kuyular standart değerin üstünde kalırken, 14 numaralı kuyunun değeri kabul edilebilir seviye düşmüş durumdadır. Özellikle bu kuyuların bulunduğu bölgede tarım ve hayvancılık odaklı yerleşimin fazlaca olması kirliliğin sebebini açıklayabilir. İz ve ağır metal parametrelerine bakıldığında ise özellikle tüm içme suyu kuyularında B (Bor) değerinin standartların üzerinde olduğu tespit edilmiştir. B (Bor), bir bileşik dâhilinde olmadan yer kabuğunda az rastlanan bir element olup genellikle Ca, Mg ve Na tuzları şeklinde ve ekonomik olarak da borun oksijenle bir araya gelerek oluşturduğu borat bileşikleri halinde bulunur (Doğan, 1981; Gündoğan ve Helvacı, 1996). Alanın Tuz Gölü havzasında yer almasından dolayı ortamın tuzluluğu ile bor miktarı arasında bağlantı kurulabilir. Ayrıca yeraltı sularında tarımsal faaliyetlerden kaynaklı boraks katkılı gübre kullanımı bor miktarındaki artışın sebebi olabilir.

3.4.5.2 Sulama amaçlı kullanılan suların özellikleri

Yeraltı sularının sulama suyu olarak kullanılması için hidrokimyasal özelliklerinin o bölgede ki toprak ve bitkilerin mineral bileşenlerine uygun sınırlar içerisinde olması gerekmektedir. Özellikle yetişen bitkilerin yetiştirme şartları içerisindeki verimliliğini etkileyen en önemli faktörlerden birisi sulama suyunun özellikleridir.

Çalışma alanı ve çevresinde bulunana yeraltı sularının büyük çoğunluğu tarım ve hayvancılık faaliyetlerinde sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Bölgede hayati önem taşıyan yeraltı suları burada yaşayan insanların geçimini sağlayabilmeleri için önemli bir parametredir. Yeraltı sularının sulama suyu açısından değerlendirilmesi ve ayrıştırılması yarı kurak iklim özelliği gösterilen ve geniş tarım alanlarına sahip bölgede ekonomik açıdan önem arz etmektedir.

Sulama amaçlı suların kullanıma uygunluğunu değerlendirirken birçok sınıflandırma kullanılmaktadır. Bu çalışmada alanın özellikleri göz önünde bulundurularak yeraltı sularının sulama kalitesini etkileyecek değerlendirme kriterleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yeraltı sularının sulama amaçlı kullanımını değerlendirirken Elektriksel İletkenlik (EC), Sodyum Yüzdesi (%Na), Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) ve Magnezyum Tehlikesi (MH) orantısal grafikleri ve bu değerler ile oluşturulmuş ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı ve Wilcox diyagramı kullanılmıştır.

3.4.5.2.1 ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı

Yeraltı sularının sulama amaçlı kullanımını değerlendirmek için ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramının yaygın olarak kullanılmaktadır. Diyagram sulama sularını kullanılabilirlik açısından SAR ve EC değerlerinin oranına göre 16 sınıfa ayırmaktadır. Diyagram yerleşimine bakıldığında yeraltı sularının dikey ekseninde yer alan SAR değerlerini sodyum tehlikesi açısından S_1, S_2, S_3, S_4 şeklinde 4, yatay ekseninde yer alan EC değerlerini tuzluluk tehlikesi açısından C_1, C_2, C_3, C_4 şeklinde 4 sınıfta inceleme imkânı sunmaktadır.

ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramında geçen tuzluluk ve sodyum sınıflamasında kullanılan kısaltmaların anlamları aşağıdaki gibidir.

EC değerine göre;

C_1 (EC = 250'den az); Az tuzlu sulardır. Birçok toprak birleşiminde her türlü bitkinin yer aldığı alanların sulanmasında kullanılabilir.

C_2 (EC = 250 - 750 arasında); Orta derecede tuzlu sulardır. Orta derecede bir yıkama mevcutsa, tuzluluk kontrolüne gerek kalmaksızın tuzluluğa orta derecede dayanıklı bitkilerin sulanmasında kullanılabilir.

C_3 (EC = 750 - 2250 arasında); Tuzlu sulardır. Drenaj durumu kötü olan topraklarda ve tuza dayanımı düşük bitkilerde kullanılmamalıdır. Tuza dayanımı yüksek bitkilerde kontrollü olarak kullanılabilir.

C₄ (EC = 2250 – 5000 arasında); Çok tuzlu sulardır. Normal şartlarda sulamaya uygun değildir. Çok iyi derecede drenaj, yıkamayı tam olarak sağlayacak bol sulama ve tuza dayanımı yüksek bitki seçilerek özel durumlarda kullanılabilir.

SAR değerine göre;

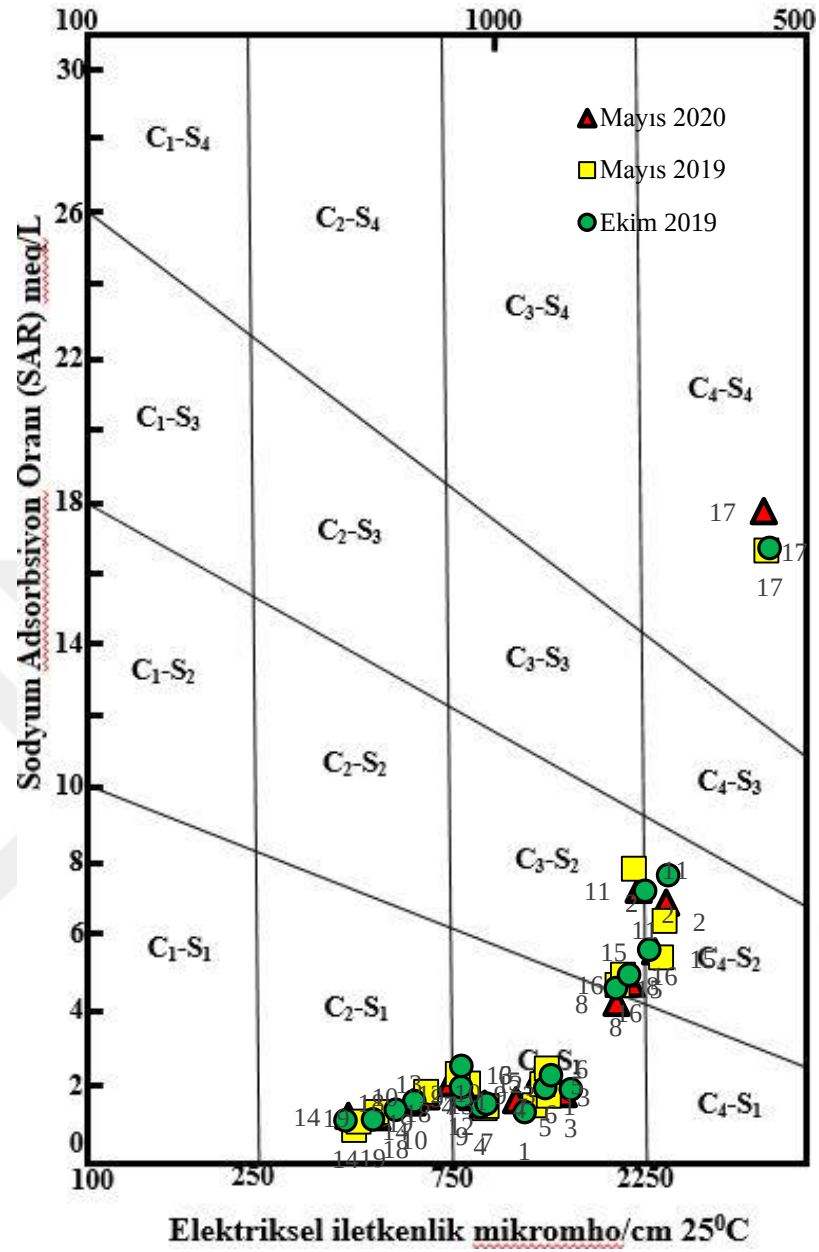
S₁; Az sodyum miktarına sahip sulardır. Bu tip sular sodyum tehlikesi olmaksızın kullanılabilir.

S₂; Orta sodyum miktarına sahip sulardır. Değişken sodyum miktarına sahip sulardır. İnce taneli topraklarda, özellikle jips yönünden zengin olmayan topraklarda sodyum tehlikesi görülebilir. Jipsli ve geçirgenliği yüksek bölgelerde kullanılabilir.

S₃; Yüksek sodyum miktarına sahip sulardır. Birçok toprakta sodyum tehlikesi yaratabilir. Sodikleşmeye yol açabilir. Jips miktarı ve geçirgenliği yüksek topraklarda yüksek yıkama ile sodyum tehlikesi önlenabilir.

S₄; Çok yüksek sodyum miktarına sahip sulardır. Sulama amacıyla kullanımı uygun değildir. Ancak tuzluluğun düşük olduğu ve jipslerle birlikte çok özel durumlarda kullanılabilir.

Çalışma kapsamında inceleme alanındaki örnek noktalarından alınan numunelerin SAR ve EC değerleri ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına yerleştirilmiş ve sınıflandırma tablosu oluşturulmuştur (Şekil 3.76., Tablo 3.30.).



Şekil 3.82 Çalışma alanındaki yeraltı sularının ABD tuzluluk diyagramı (Mayıs 2019, Ekim 2019, Mayıs 2020)

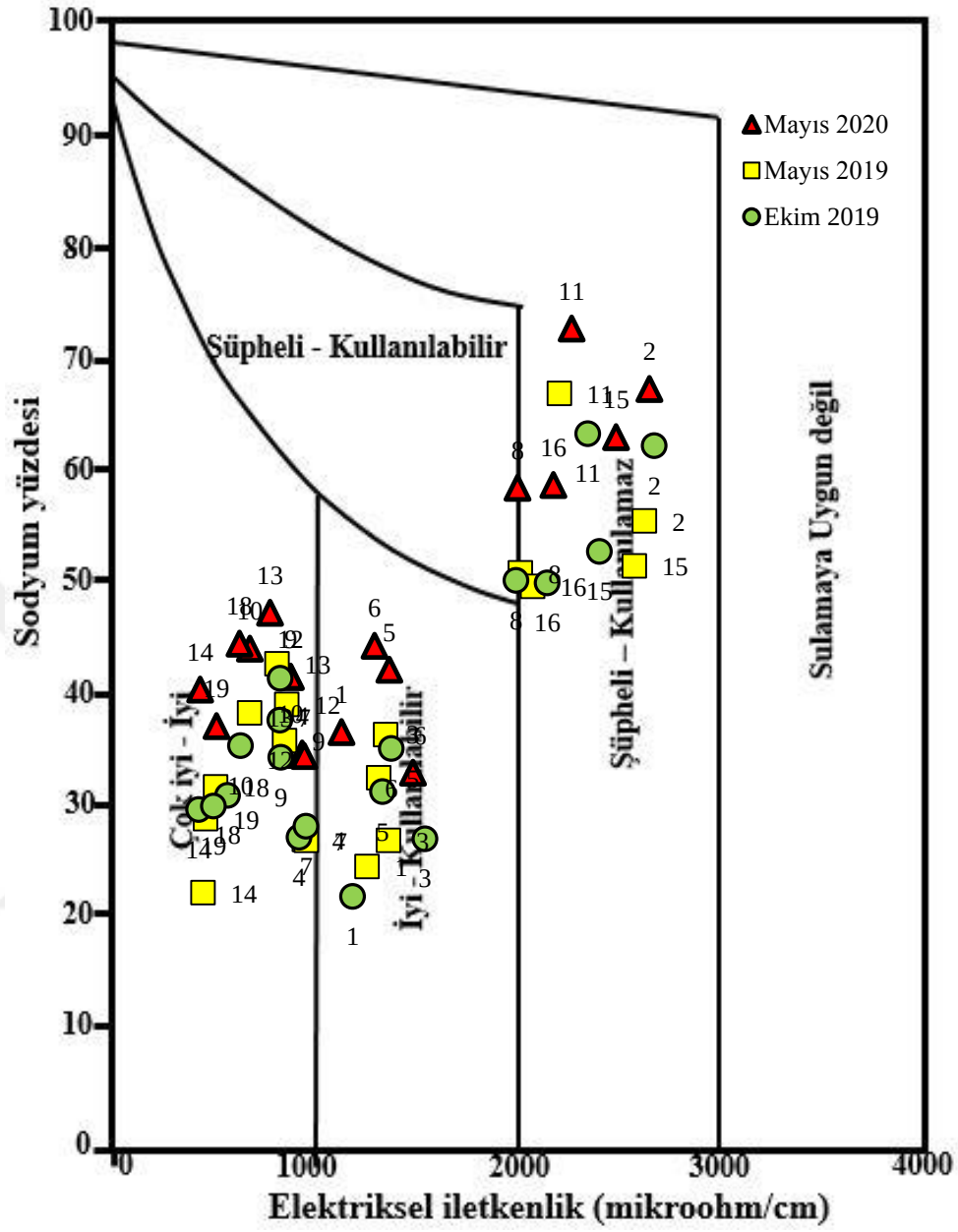
Tablo 3.30 Örnek noktalarının ABD laboratuvarı tuzluluk diyagramına göre sınıflandırması

Sınıf Kodu	Örnek No	Açıklama
C ₂ S ₁	10, 14, 18, 19	Orta Tuzlu, Az sodyumlu sular
C ₃ S ₁	1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 13	Tuzlu, Az sodyumlu sular
C ₃ S ₂	8, 16	Tuzlu, Orta sodyumlu sular
C ₄ S ₂	2, 11, 15	Çok tuzlu, Orta sodyumlu sular
C ₄ S ₄	17	Çok tuzlu, Çok yüksek sodyumlu sular

Çalışma alanındaki yeraltı sularının ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre %47'si C_3S_1 alanına, %22'si C_2S_1 alanına, %15'i C_3S_2 alanına, %11'i C_4S_2 alanına, %5'i ise C_4S_4 alanına yerleşmiştir. Çalışma kapsamında inceleme alanında sulama amaçlı kullanılan suların %47'si Tuzlu ve az sodyumlu sular olarak çıkmıştır. Bölgede bu tip suların sulama amaçlı kullanımında drenaj durumu göz önünde bulundurularak tuza dayanımı yüksek olan bitkilerde kontrollü kullanılması verim açısından önemlidir. Yeraltı sularının % 16'lık kısmı ise çok tuzlu ve sodyum oranı orta ve yüksek olarak değişim göstermektedir. Bu tip suların sulama amaçlı kullanımı uygun değildir. Bu grupta yer alan 2, 11, 15, 17, numaralı kuyular eskiden sulama amaçlı kullanılmış fakat yakın dönemde ekilen bitkilerin bu sular ile sulanması sonucu kuruduğu belirtilmiştir.

3.4.5.2.2 Wilcox diyagramı

Yeraltı sularının sulama ve kullanım amaçlı sınıflandırmasında birçok akademik çalışma ve raporda geniş kullanıma sahip sistem Wilcox diyagramıdır. Wilcox diyagramı yeraltı sularını kullanılabilirlik açısından sınıflarken suların sodyum içeriği (%Na) ve Elektriksel iletkenlik (EC) parametrelerini kullanmaktadır. Dikey ekseninde %Na, yatay ekseninde ise EC değerinin oransal dağılımını kullanarak sınıflandırma yapmamızı sağlamaktadır. Wilcox diyagramını oluşturan sistem scotfield sisteminin değiştirilmiş, keskin sodyum sınırlamalarının parabolik eksenler ile yumuşatılmış halidir. Yeraltı sularını “çok iyi - iyi”, “İyi-kullanılabilir”, “Şüpheli – kullanılabilir”, “Şüpheli - kullanılamaz”, “Kullanılamaz” şeklinde 5 sınıfta ayırt etmektedir. Çalışma kapsamında inceleme alanındaki örnek noktalarından alınan numunelerin %Na ve EC değerleri ile Wilcox diyagramına yerleştirilmiş ve sınıflandırma tablosu oluşturulmuştur (Şekil 3.77., Tablo 3.31.).



Şekil 3.83 Çalışma alanındaki yeraltı sularının Wilcox diyagramı (Mayıs 2019, Ekim 2019, Mayıs 2020)

Tablo 3.31 Örnek noktalarının Wilcox diyagramına göre sınıflandırması

Örnek No	Açıklama
4, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 18, 19	Çok iyi - İyi
1, 3, 5, 6,	İyi - Kullanılabilir
-	Şüpheli - Kullanılabilir
2, 8, 11, 15, 16,	Şüpheli - Kullanılamaz
17	Sulamaya Uygun Değildir

Çalışma kapsamında inceleme alanındaki yeraltı sularının Wilcox diyagramına göre kullanılabilirlik özellikleri sınıflandırılmıştır.

Wilcox diyagramı sınıflandırmasına göre yeraltı sularının %47'si çok iyi - iyi, %22'si iyi - kullanılabilir, %26'sı şüpheli - kullanılamaz, %5'i ise sulamaya uygun değildir şeklinde sınıflanmıştır. Çalışma alanındaki sulama ve kullanım amaçlı suların % 69'u kullanılabilir sınıfta yer alırken %31'i kullanılamaz sınıfta yer almıştır.

3.4.5.2.3 Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR)

Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR); sulama ve kullanım amaçlı suların sodyum yönünden zararlılığının bir göstergesi olarak suların kullanılabilirliğinin anlaşılmasında önemli bir parametredir. SAR değeri sodyum iyonunun, iyon değişim reaksiyonlarındaki aktifliğinin ifade ediliş biçimi olup sodikleşme tehlikesi bakımından suları sınıflandırırken kullanılan genel bir parametredir (Doğan, 1981; Şahinci, 1991). Sodyum konsantrasyonu yüksek suların toprağın yapısındaki magnezyum ve kalsiyum ile iyon değişimine uğraması sonucu toprağın yapısını değiştirerek permeabilitesini azaltıcı etki gösterir (Akkaya, ve diğ., 2011).

Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) değeri matematiksel olarak aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}} \quad (3.16.)$$

SAR değeri hesabında kullanılan iyonlar meq/L cinsinden ifade edilmesi gerekmektedir. Sulama amaçlı kullanılan suların SAR değerine göre sınıflandırılması Tablo 3.32.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.32 SAR değerine göre suların sınıflandırma kriteri

SAR (meq/L)	Su Kalitesi
SAR<10	Çok iyi
10<SAR<18	İyi
18<SAR<26	Şüpheli
SAR>26	Uygun değil

Çalışma kapsamında inceleme alanındaki yeraltı sularından alınan örneklerin Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerine ait SAR değerleri önceki bölümlerde (Tablo 18., Tablo 19., Tablo 20.) hesaplanmıştır. Mayıs 2019 döneminde SAR değeri; kapatılan 12-1 numaralı kuyu hariç 0,74-17,24 aralığında, Ekim 2019 döneminde; 1,02-17,03 aralığında, Mayıs 2020 döneminde ise; 1,10-18,37 aralığında değişim göstermiştir. Tüm dönemlerde hesaplanan SAR değeri 10 meq/L değerinden düşük olduğu için “Çok iyi” sınıfta yer almıştır. Sadece 17 numaralı örnek noktası 3 örnek döneminde de en yüksek değeri oluşturmuştur. Bu yüzden Mayıs 2019 ve Ekim 2019 dönemlerinde SAR değerine göre su kalitesi “İyi” sınıfta, Mayıs 2020 döneminde ise “Şüpheli” sınıfta yer almıştır.

3.4.5.2.4 Sodyum yüzdesi (%Na)

Yeraltı sularının sulamaya uygunluğunu değerlendirmesinde kullanılan sodyum yüzdesi (%Na) tarımsal amaçlı kullanılan suların değerlendirilmesinde önemli bir parametredir. Sulama amacı ile kullanılan yüksek sodyum miktarına sahip sular zamanla toprağın permeabilitesini azaltarak bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyebilir. Sodyum yüzdesi (%Na) değeri suyun ihtiva ettiği toplam katyon miktarı içerisindeki yüzde cinsinden sodyum miktarını ifade etmektedir.

Sodyum yüzdesi (%Na) matematiksel olarak aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

$$\%Na = \frac{Na^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2}} * 100 \quad (3.17.)$$

Suların içerisinde bulunan ana katyon elementleri Na, K, Ca, Mg olduğu için hesaplamada katyonların toplamı olarak bu elementlerin dikkate alınmıştır diğer katyonlar eser miktarda bulunduğu için ihmal edilmiştir (Doğan, 1981).

Sodyum yüzdesi (%Na) bakımından sulama ve kullanım amaçlı sular değerlendirilirken Wilcox diyagramında kullanıldığı gibi yüzde değeri 50'den küçük olan sular “kullanıma uygun”, yüksek olanlar ise “kullanıma uygun değil” şeklinde kabul edilmiştir.

Çalışma kapsamında inceleme alanındaki yeraltı sularından alınan örneklerin Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerine ait %Na değerleri önceki bölümlerde (Tablo 18., Tablo 19., Tablo 20.) hesaplanmıştır. Mayıs 2019 döneminde %Na değeri; kapatılan 12-1 numaralı kuyu hariç 21,98-77,84 aralığında, Ekim 2019 döneminde; 21,65-78,15 aralığında, Mayıs 2020 döneminde ise; 25,53-79,13 aralığında değişim göstermiştir. Tüm dönemlerde hesaplanan %Na değeri; 2, 11, 15, 17 numaralı örnekler %50 üzerinde değere sahip olduğu için “kullanıma uygun değil” sınıfında yer almıştır. Diğer örnek noktaları %50 altında değere sahip olduğu için “Kullanıma uygun” sınıfında yer almıştır.

3.4.5.2.5 Magnezyum tehlikesi (MH)

Magnezyum Tehlikesi (MH); yeraltı sularındaki magnezyum (Mg) miktarı hem toprağın hem de yetiştirilen bitkileri etkilediği için sulama ve kullanım sularının sınıflandırılmasında parametre olarak dikkate alınmaktadır. Mg ve Ca elementleri toprak ve bitkiler için faydalı olmasına rağmen bu iyonların yüksek miktarda bulunması yapısal bozukluklara yol açabilmektedir. Magnezyum tehlikesi (MH); değeri suların ihtiva ettiği Mg iyonunun, Mg ve Ca iyonlarının toplamına oranının yüzde cinsinden ifadesi olarak hesaplanmaktadır.

Magnezyum tehlikesi (MH) matematiksel olarak aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

$$MH = \frac{Mg^{+2}}{Ca^{+2} + Mg^{+2}} * 100 \quad (3.18.)$$

Magnezyum tehlikesi (MH) değeri sulama amaçlı kullanılan sulara değerlendirmeye alınırken MH değeri %50'den küçük olan sular “sulama için uygun” olarak kabul edilirken, %50'den büyük değere sahip sular “ sulama için uygun değildir” olarak kabul edilmektedir (Szabolcs ve Darab, 1964).

Çalışma kapsamında inceleme alanındaki yeraltı sularından alınan örneklerin Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerine ait MH değerleri önceki bölümlerde (Tablo 18., Tablo 19., Tablo 20.) hesaplanmıştır. Mayıs 2019 döneminde MH değeri; kapatılan 12-1 numaralı kuyu hariç 30,58 – 64,97 aralığında, Ekim 2019 döneminde; 30,50 - 64,95 aralığında, Mayıs 2020 döneminde ise; 31,27 – 65,07 aralığında değişim göstermiştir. Tüm dönemlerde hesaplanan MH değeri; 2, 8, 11, 13, 14, 15,16, 17 numaralı örnekler %50 üzerinde değere sahip olduğu için “sulama için uygun değildir” sınıfında yer almıştır. Diğer örnek noktaları %50 altında değere sahip olduğu için “sulama için uygun” sınıfında yer almıştır.

3.5 Bölgenin İzotop Hidrolojisi

3.5.1 Hidrolojide izotop değerlerinin kullanımı

İzotop elementler; kütle numarası aynı kalmak koşulu ile farklı atom numarasına sahip olan elementlerdir. İzotop elementlerin çekirdeğinde ki eşitsizlikten dolayı atom ağırlıklarında farklılıklar meydana gelmektedir. Doğada bulunuş şekillerine göre kararlı ve kararsız (Radyoaktif) izotoplar elementler şeklinde gruplandırılır. Kararsız izotop elementler; değişken çekirdek yapısına sahip olduğu için çekirdek yapıları bozunarak farklı türde atom çekirdeklerine dönüşebilir. Kararlı izotop elementler ise değişmeyen çekirdek yapısına sahip olduğu için atomik yapısında değişiklik gözlenmez(Çifter ve Sayın, 2002; Clark ve Fritz, 1997).

İzotop elementlerin hidrojeolojide kullanımı; hidrolojik dönüşüm sürecini açıklayan bağımlı değişkenlerin değişim mekanizmasına bağlı olarak izotopların zamansal ve mekânsal değişim göstermesi ve bu değişimin izotop elementlerin özelliklerine bağlı olarak ortaya konması şeklinde açıklanmaktadır. İzotop elementlerinin kullanımı özellikle 60'lı yıllardan günümüze kadar geçen sürede hidrolojik dönüşüm süreçlerinin açıklanmasında önemli bir araç olarak kullanılmıştır(Tezcan, 2002). Günümüzde birçok farklı hidrolojik sistemin gelişim mekanizmasının anlaşılması ve farklı problemlerin çözümünde izotop elementleri kullanılmaktadır.

Hidrolojik dönüşüm mekanizmasına katılan izotopların radyoaktif özellikleri de göz önünde bulundurulduğunda farklı sıcaklık ve zamanlarda su içindeki bulunma yüzdeleri değişim göstermektedir. İzotopların bulunma yüzdeleri ve radyoaktivite, sıcaklık ve zamansal değişimleri takip edilerek hidrolojik dönüşüm mekanizmasının hareket süreçleri hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Özellikle yeraltı sularının ihtiva ettiği izotopların hidrolojik dönüşüm mekanizmasında ki davranışlarının incelenmesi; suların kökeni, birleşimini etkileyen fiziksel ve kimyasal süreçleri, dolaşım sırasındaki hızı, dolaşım süresi, karışım özellikleri, su kayaç etkileşim şartları gibi durumların anlaşılmasını sağlamaktadır.

Günümüzde izotoplara dayalı araştırma metotlarının uygulanması, yeraltı suyu kalitesi ve yönetim planlarının tamamlayıcı parçası haline gelmiştir. Yeraltı sularında yapılan

araştırmalarda birçok farklı izotop elementi ve farklı süreçlere göre kullanım alanları mevcuttur. İzotopların kullanım alanları ile ilgili tablo aşağıda verilmiştir (Tablo 3.33.).

Tablo 3.33 İzotop elementler ve kullanım alanları (Tezcan, 2002)

Hidrolojik Süreç	δD	$\delta^{13}C$	$\delta^{15}N$	$\delta^{18}O$	$\delta^{87}Sr$	^3H	^{14}C	^{36}Cl	^{39}Ar	^{85}Kr
Beslenme ve Akım hesabı	X					X		X		
Yüzey - Yeraltı suları ilişkisi	X			X		X	X			
Ortalama yeraltısuyu hızı										
5 yıldan genç sistemler	X			X		X				
5 - 30 yaş arası sistemler						X	X	X		
Yeraltısuyunun kökeni										
30 yıldan genç yerel sistemler	X			X		X	X	X		
Bölgesel sistemler	X	X		X			X	X		
Beslenme Bölgesi ya da Köken suyun belirlenmesi										
Yerel sistemler	X	X		X	X	X	X	X		
Bölgesel sistemler	X	X		X	X			X		
Akiferler arası sızma	X			X						
Karstik Sistemler	X			X		X				
Çatlaklı Kayaçlar	X			X		X	X			
Yeraltısuyu Akım ve Depolama Özelliklerinin Belirlenmesi						X				
Dispersivite çalışmaları	X			X		X		X		
Yeraltısuyu ve Yüzey suyu akım bileşenlerinin belirlenmesi	X			X		X				
Çözülü maddelerin kökeni	X		X	X	X	X		X		
Jeokimyasal reaksiyon modeli		X								
Yeraltısuyu Yaşının Belirlenmesi										
5 yıldan genç sistemler	X	X		X		X				X
5 - 50 yıl						X	X	X		X
50 - 1000 yıl									X	
1000-40000 yıl	X			X			X			
60000-1200000 yıl								X		

Hidrolojik çalışmalarda genel olarak geniş kullanıma sahip izotoplar, suyun kimyasal bileşimini oluşturan hidrojen ve oksijen elementlerinin izotoplarıdır. Genel ifade ile izotoplar Kararlı ve Kararsız(Radyoaktif) olarak sınıflandırılmıştır. İzotoplardan Kararlı grupta yer alan Oksijen-18 ($\delta^{18}O$) ve Döteryum (δD veya δ^2H) izotopları yeraltı sularının kökensel ve niteliksel özelliklerinin anlaşılmasında, Kararsız (Radyoaktif) grupta yer alan Trityum (^3H) izotopu ise yeraltı suyu hareket süresi ve yaşının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Çifter ve Sayın, 2002; Clark ve Fritz, 1997; Tezcan, 2002).

Tablo 3.35 Çalışma alanına ait izotop analizi sonuçları(Mayıs 2020)

Mayıs 2020 dönemi		Kordinat		R	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	^3H	EC	Cl	d
Örnek No.	Bölge	x	y	(m)	$\delta(\%)$	$\delta(\%)$	(TU)	($\mu\text{S/cm}$)	(meq/L)	
2	Böget	539794	4241521	947	-10,72	-74,35	0,72	2664	10,77	11,41
14	Armutlu	579120	4227170	1044	-9,89	-75,94	1,51	445	0,69	3,18
K.N	Hasandağı(Kar)	596483	4223129	1460	-	-	-	-	-	-
8	Eskioba	554164	4234939	922	-10,77	-75,56	1,49	2013	11,12	10,6
17	Ataköy	579505	4244910	945	-9,52	-68,38	2,75	4610	37,98	7,78
15	Yeşiltepe	567200	4257953	919	-9,59	-67,78	2,15	2500	18,09	8,94
9	Taşpınar	587784	4230909	1010	-8,35	-64,48	6,51	525	2,19	2,32

$\delta^{18}\text{O}$: Oksijen-18 değeri, $\delta^2\text{H}$: Döteryum değeri, ^3H :Tritiyum değeri

R: Deniz seviyesinden yükseklik, EC: Elektriksel iletkenlik, Cl: Klorür iyonu konsantrasyonu, d: Döteryum fazlası

3.5.2 Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) - Döteryum ($\delta^2\text{H}$) değerlendirmesi

Kararlı izotoplar grubunda yer alan Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum ($\delta^2\text{H}$) izotopları hidrolojik çalışmalarda önemli bir izleyici statüsünde kullanılmaktadır. Oksijen ve hidrojen izotop varyasyonlarının analiz edilmesi, doğal su dönüşümü ve suyun hareketi hakkında bilgi sahibi olmak için sıklıkla kullanılır. Özellikle yeraltı sularının hareket özelliklerinin anlaşılmasında hassas izleyici olarak kullanılır.

Yeraltı sularının ihtiva ettiği izotopların varlığı $^2\text{H}/^1\text{H}$ veya $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ oranı şeklinde izotopik bolluk oranı ile verilir(Çifter ve Sayın, 2002). Bolluk oranı değişimleri kütle spektrometresi ile ölçülebilir. Sulardaki izotop bolluk oranları $\delta(\%)$ şeklinde ifade edilmektedir.

Su döngüsünde yer yüzeyine düşen yağış içerisindeki $\delta^{18}\text{O}$ 'in çeşitliliği çok geniş yelpazede gözlenir. Atmosferik koşullar altındaki su buharının yağmura dönüşümü yerel ve iklimsel şartlara bağlıdır. Temel olarak yağmur ekvatora yakın bölgelerdeki buharlaşmanın ana kaynağından ne kadar uzaklaşırsa $\delta^{18}\text{O}$ değeri o kadar negatif değere yönelir(Mook, 2001).

Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) 1960'lı yıllardan günümüze dünya genelinde belirlemiş oldukları istasyonlardan aldıkları yağış verilerinin çevresel izotop özelliklerini incelemektedir. Craig (1961)'de dünya üzerindeki farklı bölgelerde yeryüzüne düşen yağışlardan elde edilen verilerden

yola çıkarak Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum ($\delta^2\text{H}$) arasındaki ilişkiyi aşağıdaki eşitlik ile belirlemiştir (Craig, 1961).

$$\delta^2\text{H} = a * \delta^{18}\text{O} + d \quad (3.18.)$$

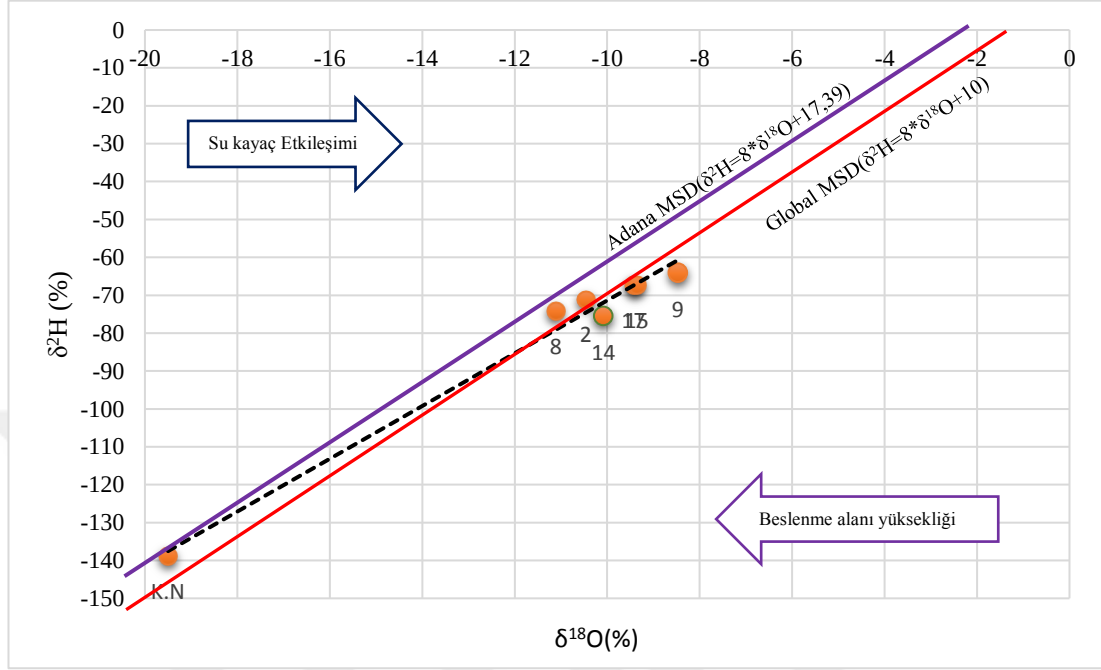
Bu eşitlikte “d” değeri döteryum fazlası olarak ifade edilmektedir. Ayrıca d değeri yağışı oluşturan deniz suyunun buharlaşma miktarının bir göstergesidir. Küresel ölçekte Global Meteorik Su Doğrusu (GMSD) $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 10$ şeklinde oluşturulmuştur (Craig, 1961). Bu doğru buharlaşmanın etkili olmadığı sular için kullanılmaktadır. GMSD çizgisi üzerine düşen sular atmosferik kökenli olduğu ve diğer izotopik süreçlerden etkilenmediği varsayımı yapılır. Bu çizgide gelişen sapmalar izotop bolluğunu etkileyen başka süreçlerin etkili olduğuna işaret eder.

Yerel ölçekte kullanılırken $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ çeşitliliği bölgesel iklim ve topografya koşullarına göre değişim göstereceği için bölgesel olarak oluşturulmuş meteorik su çizgileri kullanılmaktadır. Yerel meteorik su çizgileri ve Global Meteorik Su Doğrusu ile birlikte kullanılarak izotop içeriklerini etkileyen süreçler hakkında çıkarımlar yapılır.

Çalışma kapsamında Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde inceleme alanından toplanan su ve kar örneklerinde izotop analizleri gerçekleştirilmiştir. İzotop analizi için örnek alınan noktaların yer buldu haritası Şekil 3.78.’de, izotop analizi sonuçları ise Tablo 3.34. ve Tablo 3.35.’de verilmiştir. İzotop analizi sonuçlarına göre $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri Ekim 2019 döneminde su numunelerinde -8,47 ile -11,11, kar numunesinin $\delta^{18}\text{O}$ değeri -19,50 olarak ölçülmüştür. Aynı dönemde $\delta^2\text{H}$ içerikleri su numunelerinde -64,12 ile -75,49, kar numunesinin $\delta^2\text{H}$ değeri -138,81 olarak ölçülmüştür. Mayıs 2020 dönemine ait $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri; -8,35 ile -10,77, $\delta^2\text{H}$ içerikleri ise -64,48 ile -75,94 arasında değişim göstermiştir. Ölçülen izotop içeriklerini değerlendirmek için $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisi grafiği oluşturulmuştur (Şekil 3.79., Şekil 3.80.).

Çalışma kapsamında izotop analizleri için incelemeye alınan örneklerin Ekim 2019 dönemine ait $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği oluşturulmuştur. İzotopik süreçler hakkında karşılaştırma ve yorum yapabilmek için referans olarak Global Meteorik Su Doğrusu

(GMSD) ve Adana Meteorik Su Doğrusu (AMSD) kullanılmıştır (Dilaver, Aydın, Özyurt, ve Bayarı, 2018).

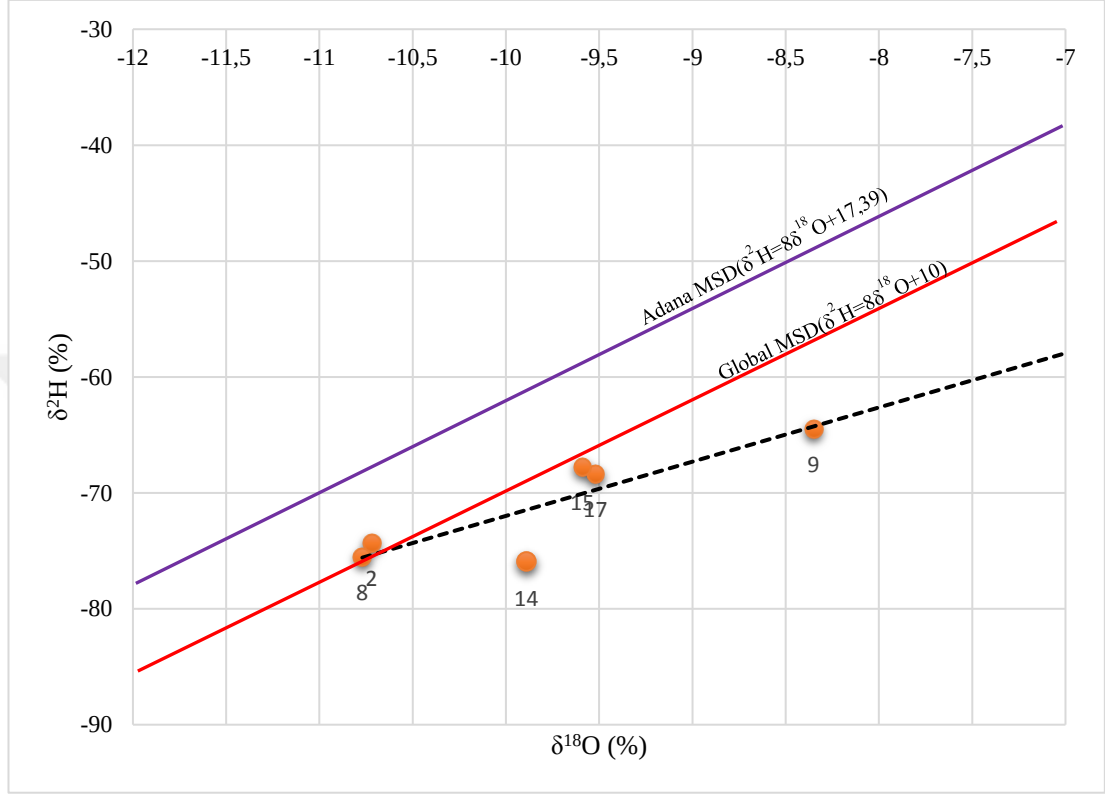


Şekil 3.85 Çalışma alanına ait $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisi dağılım grafiği (Ekim 2019)

Ekim 2019 döneminde örneklerin hepsi AMSD çizgisinin altında, 9,14, 15, 17 numaralı örnekler ise hem AMSD hem de GMSD çizgisinin altında kalmışlardır. İki meteorik su çizgisinin altında kalan örneklerin meteorik kökene sahip kıtasal yağışlardan beslendiği anlaşılmaktadır. Kar numunesi (K.N), 2 ve 8 numaralı örnekler ise AMSD ve GMSD çizgisinin arasında kalmıştır. K.N, 2, 8 numaralı örneklerin AMSD'ye olan sapma uzaklıkları farklıdır. GMSD çizgisinden sapma görülmesinin sebebi beslenme kotlarının farklılığı, buharlaşma miktarındaki değişim veya su kayaç etkileşimi olabilir.

Mayıs 2020 döneminde örneklerin hepsi AMSD çizgisinin altında, 9,14, 15, 17 numaralı örnekler ise hem AMSD hem de GMSD çizgisinin altında kalmışlardır. 2ve 8 numaralı örnekler ise AMSD ve GMSD çizgisinin arasında kalmıştır.

Yeraltı sularının grafikteki yerleşimine bakıldığında K.N hariç diğer örneklerin yakın $\delta^{18}\text{O}$ içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Bu suların yakın kot yüksekliklerinden beslendiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.86 Çalışma alanına ait $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisi dağılım grafiği (Mayıs 2020)

İnceleme alanında örnek alınan noktalara ait $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ verileri kullanılarak oluşturulan buharlaşma doğrusunun denklemi hesaplanmıştır. Denklemin korelasyon katsayısı 0,985 olarak bulunmuştur. $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ arasındaki ilişkinin gösteren formül aşağıdaki gibidir.

$$\delta^2\text{H} = 6,963 * \delta^{18}\text{O} + 1,75 \quad (3.19.)$$

Döteryum fazlası değeri(d); Global Meteorik Su Doğrusunu oluştururken kullanılan $d = \delta^2\text{H} - (8 * \delta^{18}\text{O})$ formülü ile hesaplanmaktadır (Craig, 1961; Dansgaard, 1964). İnceleme alanında d değerleri bu formül ile hesaplanmıştır (Tablo 3.34., Tablo 3.35.). GMSD ye ait d değeri 10 olduğu için bu değer referans alınarak değerlendirme yapıldığında K.N, 2 ve 8 numaralı örnekler 10 değerinin üzerinde, diğer örnekler ise

10'un altında olduğu görülmektedir. Bu durum döteryum fazlası değeri 10'un üzerinde olan suların hızlı buharlaşma etkisi ile oluşan atmosferik yağışlardan, 10'un altında olan suların ise buharlaşma hızı düşük atmosferik yağışlardan beslenen yeraltı suları olduğunu gösterir (Craig, 1961; Kavurmacı, 2010). Ayrıca her iki örnek döneminde de 9, 14, 15, 17 numaralı örneklerde meydana gelen sapma yeraltı sularının GMSD ve AMSD doğrusu dışında farklı bir eğimde buharlaşma doğrusuna yakın çıkması, inceleme yapılan bölgede buharlaşmanın, meteorik kökenli suların beslemeye katkısından daha fazla olduğunu göstergesidir. Çalışma alanı için önceki bölümlerde yapılan yağış buharlaşma analizleri ile doğru orantılıdır.

Her iki örnekleme döneminde elde edilen analiz sonuçları karşılaştırıldığında izotop içeriklerindeki farklılığın çok düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi beslenme bölgesinden yüzeysel süzülmenin bir veya birkaç yılı aştığını göstermektedir.

3.5.3 Tritiyum (^3H) - Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) değerlendirmesi

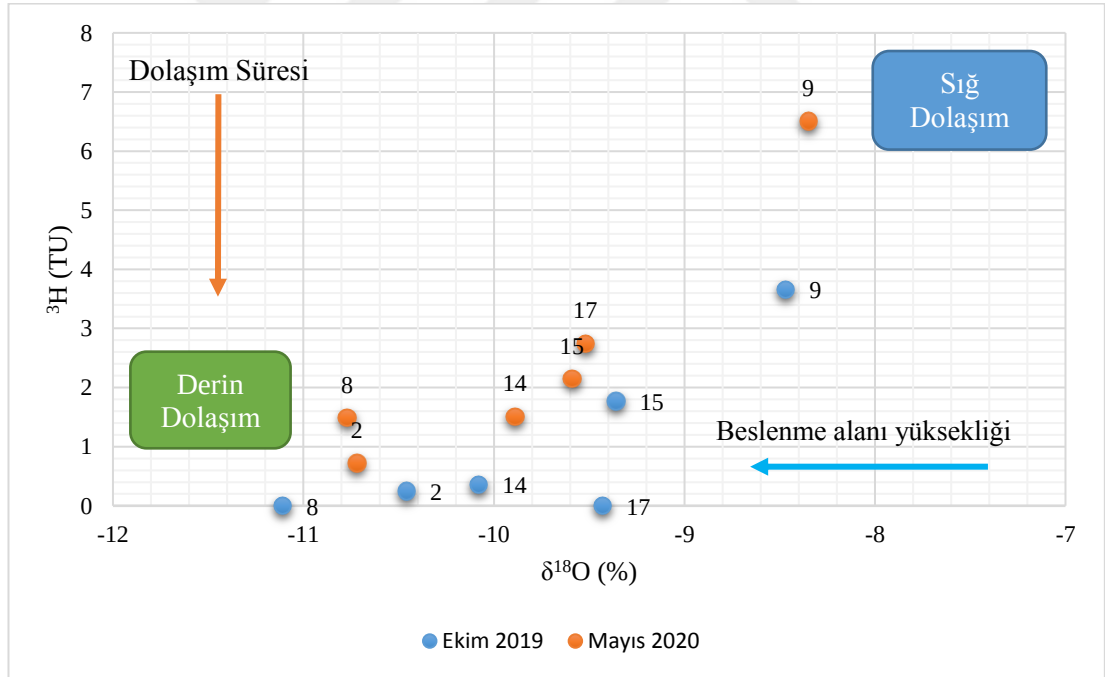
Tritiyum (^3H) izotopu; hidrolojik çalışmalarda en yaygın kullanıma sahip radyoaktif izotop elementidir. Yapısal olarak hidrojenin kısa ömürlü olan izotopudur. Beta bozunması veren ve yarılanma ömrü 12,32 yıl (4500 ± 8 gün) olan bu radyoaktif izotop, atmosferin üst kısımlarında kozmik nötron ışınları ile azot atomlarının etkileşimi sonucu doğal yollarla oluştuğu gibi termonükleer bombaların 1950'li yıllarda test edilmesi sonucu varlığını artırmıştır. Tritiyum izotopunun su içerisindeki miktarı TU olarak ifade edilmektedir. Geniş anlamda 10^{18} hidrojen atomuna karşılık 1 tritiyum atomunun varlığına "1 Tritiyum birimi (TU)" şeklinde ifade edilir.

Hidrolojik ve hidrojeolojik araştırmalarda Tritiyum radyoaktif izotopunun sürekli bozunma özelliğinden faydalanılmaktadır. Hidrolojik çalışmalarda kullanılan diğer radyoaktif izotop elementlerine göre kısa yarılanma ömrüne sahiptir. Özellikle tritiyumun radyoaktif özelliği sayesinde uğradığı zamana bağlı değişim, yeraltı sularının yaşının belirlenmesinde, akiferde depolanmış suların yenilenme sürelerinin tahmin edilmesinde ve yeraltı suyu hızının belirlenmesinde çok nemli bir parametre olarak kullanılmaktadır (Craig, 1961; Çifter ve Sayın, 2002; Tezcan, 2002).

Çalışma kapsamında inceleme alanında belirlenen noktalardan Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde Trityum analizi için örnekler toplanmıştır. Toplanan örneklerin analiz edilmiş ve tablo haline getirilmiştir (Tablo 3.34., Tablo 3.35.).

Analiz sonuçları incelendiğinde Ekim 2019 döneminde Trityum değeri; 0,00 ile 11,21 TU arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerlendirmeye K.N ile gösterilen kar numunesi de dâhildir. Ekim 2019 döneminin en yüksek TU değeri K.N numunesi aittir. Mayıs 2020 döneminde ise Trityum değeri; 0,72 ile 6,51 TU arasında değişim göstermiştir. Mayıs 2020 döneminde en yüksek TU değeri; 9 numaralı numuneye, en düşük değer ise 2 numaralı numuneye aittir.

Örnek alınmış yeraltı sularının akifer ortamında kalış süresi hakkında inceleme yapabilmek için Trityum (^3H) - Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) dağılım grafiği oluşturulmuştur (Şekil 3. 85.).



Şekil 3.87 Çalışma alanına ait ^3H - $\delta^{18}\text{O}$ dağılım grafiği

Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemine ait Trityum (^3H) - Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) dağılım grafiği yeraltı sularının beslenme alanı yüksekliği ve akifer ortamında kalış süreleri arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadır. K.N numaralı örnek kar numunesi olduğu için TU

değeri 11,42 olarak ölçülmüştür. Bu değer referans alınarak Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemi ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Ekim 2019 döneminde en yüksek TU değeri 3,66 ile 9 numaralı numune, en düşük ise 0,00 ile 0,25 arasında değişim gösteren 2, 8 ve 17 numaralı numunelerdir. 14,15 numaralı numunelerin TU değeri 0,00 ile 2,00 TU arasında değişim göstermektedir.

Mayıs 2020 döneminde en yüksek TU değeri 6,51 ile 9 numaralı numune, en düşük ise 0,72 ile 2 numaralı numunedir. 2, 8, 14 numaralı örneklerin TU değeri 0,00 ile 2,00 arasında, 15, 17 numaralı örneklerin TU değeri 2,00 ile 4,00 arasında, 9 numaralı numunenin ise TU değeri 4,00'dan büyüktür.

Her iki dönemde de 2,8 ve 14 numaralı örneklerin TU değeri 2,00 değerinin altındadır. Bu suların akifer ortamında kalış süreleri daha uzun ve derin dolaşımli sulardır. 15 ve 17 numaralı örneklerin TU değeri 3,00 değerinin altındadır. Bu sular da derin dolaşımli ve akifer ortamında kalış süresi uzun sulardır. Fakat bu suların TU değerleri dönemsel farklılık göstermiştir. Dolaşım süreleri ve akiferde kalış süreleri uzun olmasına rağmen bu sulara bir karışım söz konusudur. 9 numaralı örneğin ise Ekim 2019 döneminde TU değeri 3,66 iken, Mayıs 2020 döneminde 6,51 olarak ölçülmüştür. Yeraltında dolaşım süresi ve akifer ortamında kalış süresi diğer tüm örneklerle oranlar kısadır. Ayrıca bulunduğu yer bakımından beslenme kotlarına yakın ve sık dolaşımli yeraltı suyudur.

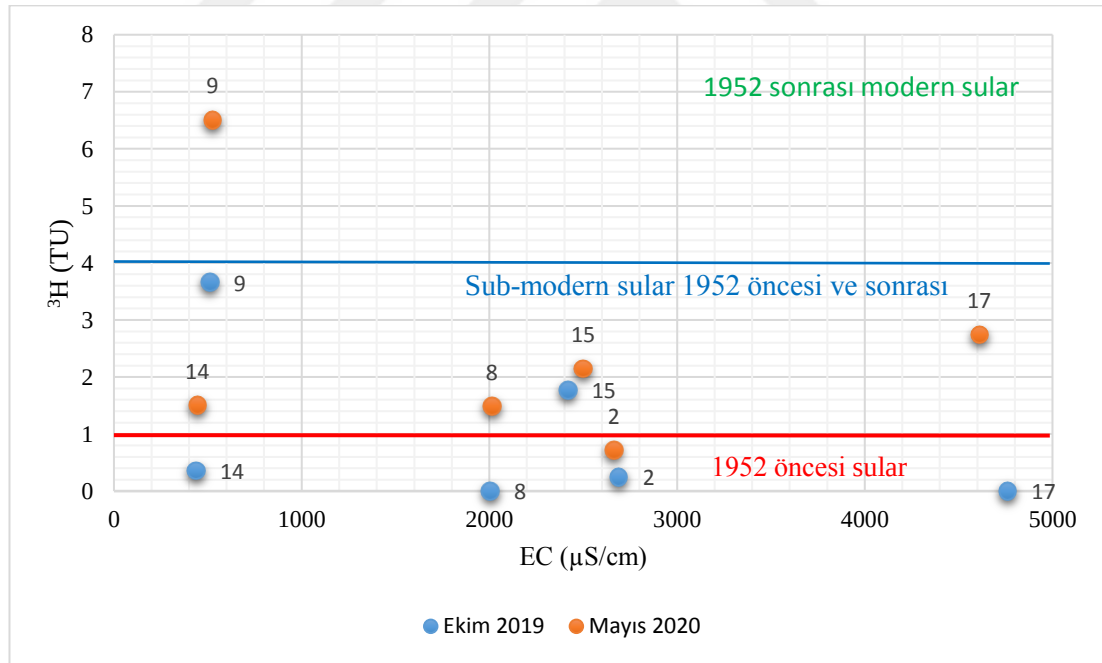
Derin dolaşımli ve yaşlı suların fazla olması beslenme miktarının düşük, Genç suların fazla olması ise beslenme miktarının yüksek olduğuna işaret eder. Çalışma alanında kullanılan yeraltı sularının büyük çoğunluğu yaşlı ve derin dolaşımli sulardan oluştuğu bu sebepten dolayı yeraltı sularının beslenme miktarının zayıf olduğu ortaya çıkmaktadır.

3.5.4 Tritiyum (^3H) - EC, Tritiyum (^3H) - CL değerlendirmesi

Radyoaktif izotop elementlerden Tritiyum ile yeraltı suyunun dolaşım süreci ve çözünürlük özelliklerinin ortaya konulması için Tritiyum (^3H) – EC ve Tritiyum (^3H) – Cl arasındaki ilişkinin incelenmesi yapılmıştır.

Radyoaktif özelliği ve zamana bağlı düşük yarılanma süresine sahip olması nedeni ile trityum değeri suların yaşı ve akiferde depolanma süresi hakkında bilgi verir. 1950’li yıllarda gerçekleştirilen termonükleer denemelerden sonra Trityumun doğada bulunma miktarları değiştiği için birçok çalışmada sularda bulunan Trityum içeriğini değerlendirirken 1950 öncesi ve sonrası olarak değerlendirmeye alınmıştır. Genel olarak kıtasal bölgelerde Trityum içeriğine sular 3 gruba ayrılmıştır. Bu gruplar; Trityum içeriği 0,00 ile 0,80 TU arasında değişiyorsa 1950 öncesi yağışların etkisi altındaki yaşlı sular. Trityum içeriği 0,80 ile 4 TU arasında ise 1950 öncesi ve sonrası yağışların etkisinde kalmış sub-modern karışım suları, 4TU ve üzerindeki sular ise 1950 sonrası güncel yağışların etkisi altındaki genç dolaşimli sular şeklinde sınıflandırılmaktadır(Clarke vd., 1976; Clark ve Fritz, 1997).

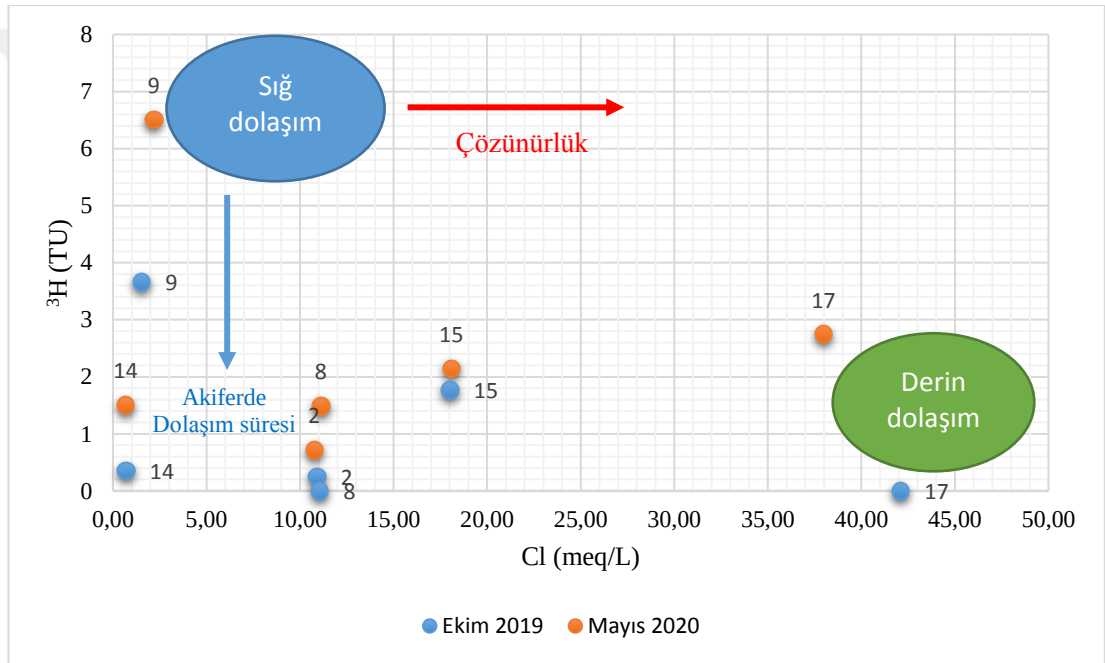
Çalışma alanındaki yeraltı sularının Trityum (^3H) - EC ve Trityum (^3H) - Cl arasındaki ilişkileri gösteren dağılım grafikleri oluşturulmuştur(Şekil 3.82., Şekil 3.83.).



Şekil 3.88 Çalışma alanına ait ^3H - EC dağılım grafiği

Çalışma alanına ait ^3H - EC dağılım grafiğine bakıldığında 2, 8, 14, 17 numaralı suların 1950 öncesi sular grubunda, 15 numaralı sular 1950 öncesi ve sonrası yağışların etkisinde sub-modern sular (karışım) grubunda, K.N ve 9 numaralı sular ise 1950 sonrası yağışların etkisindeki güncel genç sular grubunda yer almaktadır.

EC değeri; yeraltı sularının dolaşım süresi ve akifer ortamında kalma süresi ile doğru orantılı olarak artar. Çünkü dolaşım süresince veya akifer ortamında depolandığı süre boyunca su kayaç etkileşimi sonucu yapısındaki iyon miktarını artırdığı için EC değeri de artacaktır. ^3H - EC arasında bağlantı kurmak gerekirse TU değeri yüksek EC değeri düşük sular; yeraltında kalış süresi kısa ve güncel yağışların etkisindeki sular, TU değeri düşük EC değeri yüksek sular da ise yeraltında kalış süresi uzun ve su kayaç etkileşiminin yüksek olduğu derin dolaşım sular şeklinde değerlendirme yapılabilir. Çalışma alanındaki 9 numaralı örnek TU değeri yüksek, EC değeri düşük bölgede, 2, 15, 17 numaralı örnek ise TU değeri düşük, EC değeri yüksek bölgede yer almıştır.

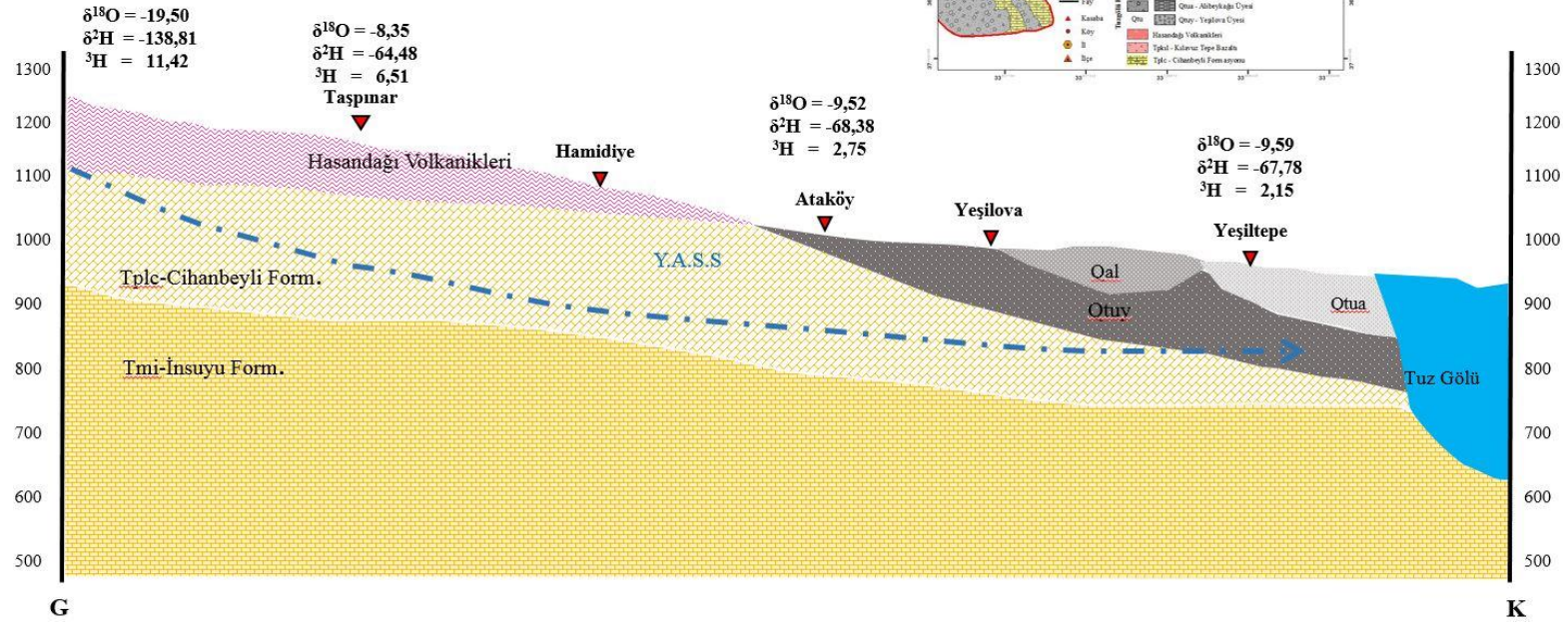
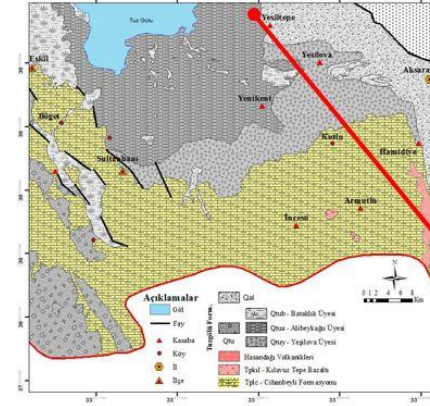
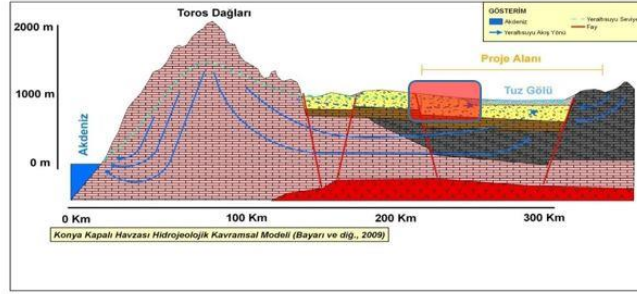


Şekil 3.89 Çalışma alanına ait ^3H - Cl dağılım grafiği

Çalışma alanına ait ^3H - Cl dağılım grafiğine bakıldığında yeraltı suları 3 farklı şekilde dağılım göstermiştir. 2,8,15,17 numaralı örneklerin TU değeri 3'ün altında ve Cl değeri 10 meq/L'den yüksek olduğu için derin dolaşım, düşük Cl çözünürlüğüne sahip ve akiferde kalış süresi yüksek yaşlı sulardır. 14 numaralı örneğin TU değeri 3'ün altında ve Cl değeri 10 meq/L'den olduğu için derin dolaşım, düşük Cl çözünürlüğüne sahip ve akiferde kalış süresi yüksektir yaşlı sulardır. 9 numaralı örneğin ise TU değeri 3'ün üstünde Cl değeri 10 meq/L'den düşük olduğu için sıg dolaşım, düşük Cl çözünürlüğüne sahip ve akiferde kalış süresi kısa genç sulardır.

Çalışma alanında gerçekleştirdiğimiz hidrojeolojik, hidrokimyasal ve izotopik incelemelerin sonucunda kavramsal model oluşturulmuştur. Kavramsal model; beslenme alanından boşalım alanına doğru ve izotop analizlerinin yapıldığı hat boyunca oluşturulmuştur.





Şekil 3.90 G-K hattı boyunca oluşturulmuş kavramsal model

3.6 Bölgenin Jeoistatistiksel Özelliklerinin değerlendirilmesi

Jeoistatistik; yerbilimleri araştırmalarında sıklıkla karşılaşılan kestirim problemlerini sonuca ulaştırmada kullanılan istatistiğin bir dalıdır. Jeoistatistik yöntemler genel anlamda; aralarında ilişki bulunan 2 veya 3 boyutlu eksende dağılmış örnekler arasındaki dağılım yapısını inceleyip aralarındaki ilişkiyi bularak, örnekleme yapılan alan içerisindeki bilinmeyen noktalara tahmin yapabilme esası olarak özetlenebilir. Bilinmeyen noktaların tahmini yapılırken mekânsal sayısal veriler ile istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır.

Sınırlandırılmış alanlarda gerçekleştirilen hidrojeolojik araştırmalarda birbiri ile bağımsız verilerin fazlalığı, alan içerisindeki jeolojik ortam değişimleri, yeraltı sularının fiziksel ve kimyasal parametrelerinin örnek konumuna bağlı değişimleri, mekânsal yorum yapabilme imkânını güçleştirmektedir. Araştırma kapsamında elde edilen verilerin jeoistatistik yöntemler yardımı ile modellenmesi, mekânsal değişimlerinin ortaya konması, hidrojeolojik özelliklerin topluca değerlendirilmesi ve yorumlanmasında önemli bir araçtır.

Çalışma kapsamında inceleme alanının hidrojeolojik özelliklerinin doğru yorumlanabilmesi için yeraltı sularından Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde topladığımız örneklerin fiziksel ve kimyasal parametrelerine ait veriler ölçülmüştür. Hidrojeolojik değerlendirme sonucunda belirlediğimiz parametrelerin konumsal verilerine ait değişkenler (yarıvariogram) modellenmiş ve bilinen değişkenlerin verileri ile bilinmeyen verilerin ara tahmini (Kriging) yapılarak görselleştirilmiştir.

3.6.1 Jeoistatistik yöntem ve analiz

Jeoistatistik yöntemler kullanılarak yapılan çalışmalar; araştırma sırasında elde edilen verilerin deneysel değişim yapısının belirlenip (variogram ve yarıvariogram), bu değişim yapısına teorik model üretilmesine (fit edilmesi) dayanmaktadır. Bir nokta veya belirli bir alandan alınan örneklerden elde edilen ölçüm değerleri sadece bulunduğu yeri temsil eder. Örnekleme yapılarak elde edilmiş ölçümler yardımı ile

ölçüm yapılmayan değişkenin dağılım değerinin belirlenebilmesi için hesaplama yapılması gerekmektedir. Bu hesaplama işlemi ara değer tahmini (kestirim) olarak ifade edilmektedir. Jeostatistik yöntemler vasıtası ile örneklerin konumu ve örnekler arası korelasyon değerleri temel alınarak minimum değişkenli (varyanslı) ve yansız kestirimler yapılmaktadır(Çetin, 1996; Sarac ve Tercan, 1996; Yeşilkanat, 2016).

Jeostatistiksel yöntemler kullanılarak yapılan analizler genel olarak 3 temel aşamada gerçekleşmektedir(Çetin, 1996; I. Clark, 1979; I. Clark ve Harper, 2000).

- Tanımlayıcı istatistiksel analiz; özet istatistik, veri dağılım grafikleri (Q-Q grafiği), histogram grafikleri oluşturularak değerlendirilir.
- Yarıvariogram analizi ile model oluşturma ve model testleri; trend analizleri, yarıvariogramlar oluşturularak değişkenlerde mesafe değişimi sonucu meydana gelen farklılıklar incelenir.
- Kestirimler ve simülasyon; Bilinen değişkenler ve mekânsal özellikler temel alınarak tahmin hesaplamaları yapılarak sayısal sonuçlar elde edilir. Sayısal sonuçlar topluca simüle edilip görsel haritalar elde edilir.

Çalışma kapsamında inceleme alanında tanımlayıcı istatistik analizleri gerçekleştirilmiştir. Özet istatistik tabloları oluşturularak dönemsel olarak ölçülmüş parametrelerin minimum, maksimum ve ortalama değerleri, standart sapmaları, çarpıklık ve basıklık değerleri hesaplanmıştır. Parametrelerin dağılımı, yönelimi ve aralarındaki ilişkiyi değerlendirmek için verilere ait trend analizi yapıp histogramlar oluşturulmuştur.

Sonraki aşamada yarıvariogram modelleri oluşturularak bilinen bölgesel değişkenlerin aralarındaki mesafeye bağlı değişimler ve farklılıklar incelenmiştir.

Son aşamada ise bilinen değişkenlerin konumları ve birbiri ile olan ilişkileri temel alınarak bilinmeyen değişkenlerin tahmin edilmesi için hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen matematiksel sonuçlar simüle edilmiş ve tematik haritaların oluşturulmasında kullanılmıştır.

3.6.2 Tanımlayıcı istatistiksel analizler

Tanımlayıcı istatistiksel analizler başlığı altında çalışma kapsamında inceleme alanından elde ettiğimiz verilerin minimum-maksimum değerleri, ortalama değerleri, standart sapma değerleri, basıklık (Kurtosis) ve çarpıklık (Skewness) değerleri hesaplanmıştır. Verilerin dağılımlarını incelemek için histogram, Q-Q grafikleri oluşturulmuş ve incelenmiştir. Jeostatistiksel hesaplamalarda verilerin normal dağılım göstermesi önemlidir. Normal dağılım olmadan yapılan jeostatistiksel modellemelerde yarıvariogramın yapısını bozarak kestirim ağırlıklarının yanlış hesaplanmasına yol açabilir (Tercan ve Saraç, 1998). Bu sebepten dolayı normal dağılım göstermeyen verilerin normal dağılıma uydurulması için logaritmik dönüşümü (log-normal) yapılarak histogramlar oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında inceleme alanında örneklediğimiz noktaların ana iyon kimyasını oluşturan hidrokimyasal parametrelerin birbiri ile ilişkilerini ortaya koymak adına korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizi; Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 örnekleme dönemlerinde ölçülen hidrokimyasal parametreler üzerinde yapılmıştır. Korelasyon analizi yapılırken normal dağılıma uygunluk göstermeyen parametrelerde bulunduğu için Spearman Korelasyon analizi uygulanmıştır. Çalışma alanında yeraltı sularının hidrokimyasal özelliklerini değiştirerek normal dağılımdan uzaklaştıran faktörler mevcuttur. Bu yüzden dağılımı normal dağılım göstermeyen iyonların birbiri ile ilişkilerini ortaya koymak modelleme çalışmalarında hatalı sonuçların önüne geçecektir.

Tablo 3.36 Mayıs 2019 dönemine ait Korelasyon analizi sonuçları

Mayıs 2019									
	EC	T.Ç.K.M	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl
EC	1								
T.Ç.K.M	0,996	1							
Ca	0,458	0,468	1						
Mg	0,815	0,797	0,638	1					
Na	0,976	0,971	0,288	0,712	1				
K	0,864	0,830	0,486	0,771	0,863	1			
HCO3	0,813	0,813	0,753	0,842	0,699	0,681	1		
SO4	0,880	0,875	0,530	0,817	0,855	0,849	0,816	1	
Cl	0,957	0,948	0,326	0,735	0,968	0,883	0,637	0,780	1

Tablo 3.37 Ekim 2019 dönemine ait Korelasyon analizi sonuçları

Ekim 2019									
	EC	T.Ç.K.M	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl
EC	1								
T.Ç.K.M	0,989	1							
Ca	0,415	0,394	1						
Mg	0,806	0,779	0,592	1					
Na	0,977	0,971	0,245	0,715	1				
K	0,876	0,876	0,135	0,592	0,922	1			
HCO3	0,849	0,806	0,699	0,837	0,740	0,553	1		
SO4	0,801	0,736	0,456	0,807	0,772	0,581	0,795	1	
Cl	0,956	0,975	0,279	0,704	0,969	0,933	0,683	0,647	1

Tablo 3.38 Mayıs 2020 dönemine ait Korelasyon analizi sonuçları

Mayıs 2020									
	EC	T.Ç.K.M	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl
EC	1								
T.Ç.K.M	0,996	1							
Ca	0,460	0,496	1						
Mg	0,804	0,799	0,659	1					
Na	0,972	0,963	0,276	0,675	1				
K	0,812	0,810	0,410	0,715	0,817	1			
HCO3	0,839	0,847	0,685	0,821	0,721	0,562	1		
SO4	0,882	0,878	0,506	0,734	0,849	0,697	0,810	1	
Cl	0,959	0,952	0,349	0,752	0,967	0,891	0,675	0,780	1

Korelasyon analizinde korelasyon değerleri $r = +1$ ile $r = -1$ arasında değer alarak değişkenlerin birbiri ile ilişki derecelerini ortaya koyar. Pozitif değerli korelasyon iki değişken arasındaki doğru orantıyı, negatif değerli korelasyon ise ters orantıyı temsil eder. İki değişken arasındaki korelasyon değeri 0'a yakın ise değişkenlerin arasında ilişki olmadığını gösterir. Doğru ve ters orantının derecesi ise +1 ve -1 değerlerine göre yakınlığı ile ölçülür. İki değişken arasındaki korelasyon değeri $r > 0,70$ ise doğru orantılı kuvvetli korelasyon, $0,50 < r < 0,70$ arasında ise doğru orantılı orta derecede korelasyon, $r < 0,5$ doğru orantılı düşük dereceli korelasyon olarak sınıflandırılmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan korelasyon analizi sonuçlarına bakıldığında (Tablo 3.36., Tablo 3.37., Tablo 3.38.); Örnekleme yapılan tüm dönemlerde EC değeri ile Ca iyonu haricinde tüm iyonlar kuvvetli korelasyon göstermiştir. Fakat en yüksek korelasyon

değeri EC-Na ($r = 0,972-0,976$), EC-Cl ($r = 0,956-0,959$) ve EC-T.Ç.K.M ($r = 0,989-0,996$) değişkenleri arasında gözlenmiştir. İyonların birbiri ile ilişkilerine bakıldığında ise $Mg-HCO_3$ ($r = 0,821-0,842$), Na-Cl ($r = 0,967-0,969$) değişken çiftlerinin değerleri doğru orantılı kuvvetli korelasyon vermiştir. $Ca-HCO_3$ ($r = 0,685-0,753$) değişken çifti ise doğru orantılı orta derecede korelasyon vermiştir. Na-Cl iyonlarının korelasyon değerlerinin yüksekliği tuzluluk miktarının yüksekliğini işaret etmektedir. Yeraltı sularının iyon bileşenleri suların çözücülüğü sayesinde birçok hidrokimyasal süreçten (ayırışma, çökeltme, buharlaşma, iyon değişimi) etkilendiği için yapısına kattığı iyon miktarı arttıkça EC ve T.Ç.K.M değeri de artmaktadır.

Çalışma alanında yeraltı sularının su tiplerini belirleyen ve korelasyon analizi sonucunda yüksek korelasyon gösteren hidrokimyasal parametreler seçilerek modelleme ve tematik haritalama çalışmalarında kullanılmıştır. Seçilen parametrelerin tanımlayıcı istatistiksel yöntemler kapsamında özet istatistiksel verileri hesaplanmıştır. Özet istatistiksel veriler; seçilen parametrelerin numune sayıları ve ölçülen değerleri göz önünde bulundurularak en yüksek değeri, en düşük değeri, ortalamaları, medyan değeri, standart sapma değeri, çarpıklık ve basıklık değerlerini hesaplama işlemi olarak tanımlanabilir.

Çalışma kapsamında inceleme alanında 3 örnekleme dönemi boyunca ölçümleri yapılmış hidrokimyasal parametrelerden hidrokimyasal değerlendirme ve korelasyon analizi sonucu seçilmiş olan iyonların özet istatistiksel değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 3.39.).

Tablo 3.39 Yeraltı sularının hidrokimyasal parametrelerinin

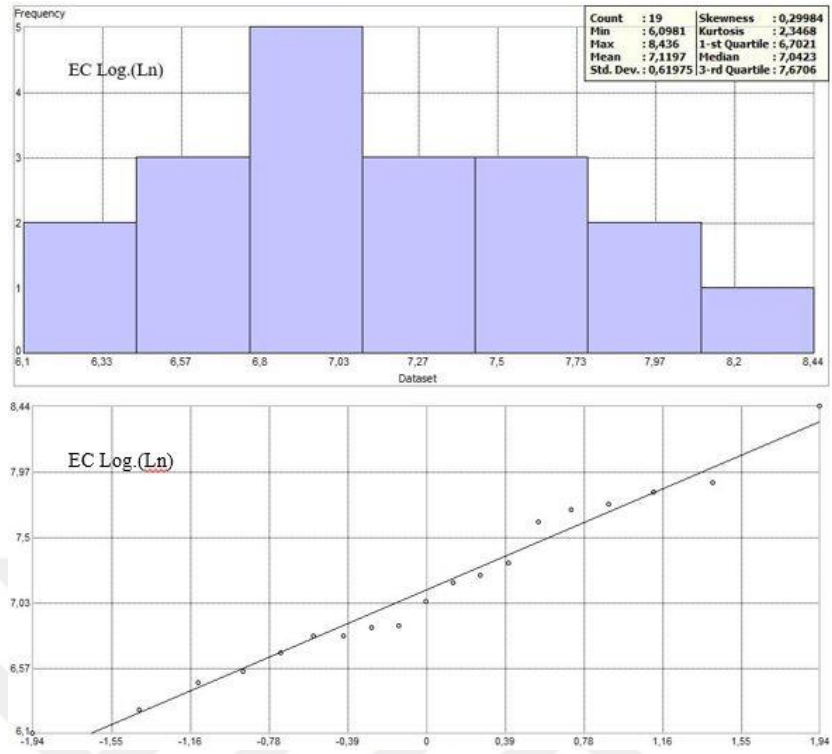
Mayıs 2020	EC		T.Ç.K.M		Ca		Mg		HCO3		Na		Cl		SAR		%Na	
	µS/cm		mg/L															
	Nor.	Log.	Nor.	Log.	Nor.	Log.	Nor.	Log.	Nor.	Log.	Nor.	Log.	Nor.	Log.	Nor.	Log.	Nor.	Log.
Veri sayısı	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
Min.	445,00	6,10	223,00	5,41	37,40	3,62	17,30	2,85	205,40	5,33	37,40	3,62	24,40	3,19	1,10	0,09	32,70	3,48
Max.	4610,00	8,44	2980,00	8,00	168,60	5,13	115,70	4,75	825,30	6,72	1047,00	6,95	1348,30	7,21	18,37	2,91	85,52	4,44
Ort.	1492,80	7,12	933,73	6,62	93,96	4,47	58,11	3,92	453,60	6,03	201,56	4,83	283,28	5,17	3,68	0,96	48,53	3,85
Medyan	1144,00	7,04	720,00	6,58	92,20	4,52	54,40	4,00	466,70	6,15	85,40	4,45	175,40	5,17	1,79	0,58	43,77	3,78
S.sapma	1023,40	0,62	671,81	0,69	35,06	0,40	30,60	0,55	188,87	0,45	244,42	0,94	319,66	1,00	4,11	0,77	14,70	0,28
Varyans	1047347,6	0,38	451328,7	0,5	1229,48	0,16	936,24	0,30	35671,88	0,21	59741,1	0,88	102182,5	1,00	16,89	0,59	216,00	0,08
Çarpıklık	1,57	0,30	1,55	0,01	0,40	-0,47	0,52	-0,08	0,19	-0,29	2,36	0,73	2,14	0,18	2,60	1,06	1,04	0,65
Basıklık	5,44	2,35	5,48	2,40	2,72	2,68	1,95	1,92	2,00	1,69	8,56	2,48	7,50	2,51	9,69	3,18	3,17	2,35
Shapiro-Wilk	0,06	0,86	0,07	0,98	0,63	-	0,08	-	0,22	-	0,00	0,06	0,00	0,83	0,00	0,09	0,01	0,11

Özet istatistiksel değerlere hesaplaması yapılırken logaritmik dönüşümleri yapılarak normal değerleri ile birlikte verilmiştir. Birçok değişken ham veri durumundayken ölçüm veya alan koşullarından kaynaklı normal dağılım göstermez. Jeostatistiksel analizlerde hesaplanan verilerin normal dağılım göstermesi beklenir. Özellikle tahmin haritaları ve modeller oluştururken bu durum önem arz etmektedir. Ham veriler normal dağılım gösteriyorsa olduğu gibi kullanılır fakat normal dağılım göstermiyorsa normal dağılım dönüşüm işlemleri uygulanır (Sarma, 2009; Tercan ve Saraç, 1998; Yünsel, 2007).

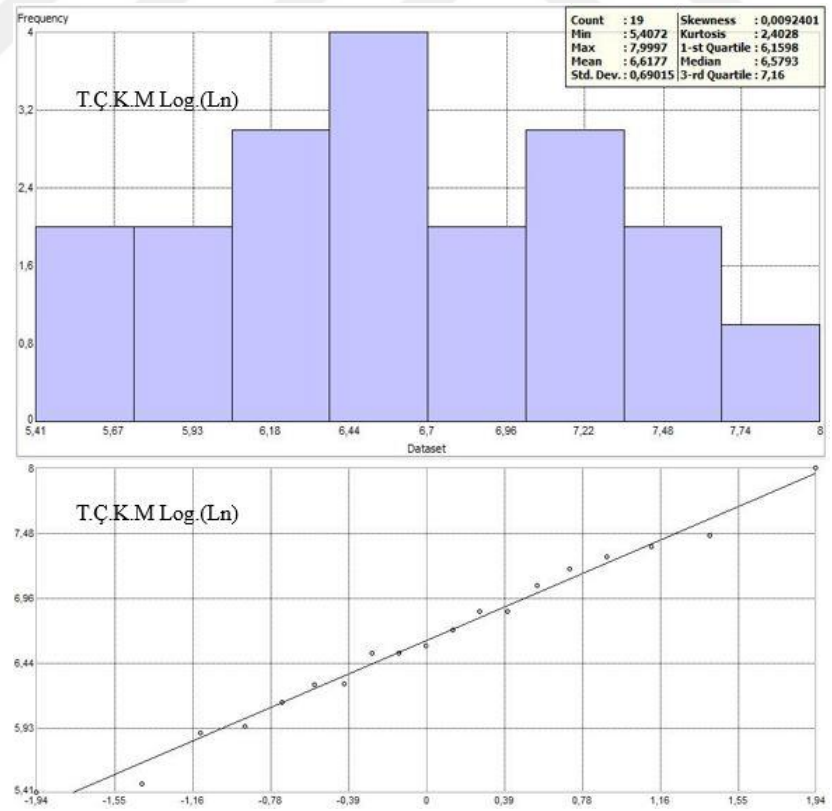
Çalışma alanının jeolojik, hidrojeolojik özellikleri ve noktasal karışım kaynakları sebebi ile hidrokimyasal parametrelerin bazıları normal dağılım göstermemiştir. Sonraki aşamada yarıvariogram modelinin doğru oluşturulabilmesi için normal dağılım göstermeyen iyonların normal dağılıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Jeostatistiksel analizlerin doğruluğu için normal dağılım göstermeyen verileri dönüştürebilmek için ham değerlere logaritmik dönüşümü uygulanmıştır.

Özet istatistiksel değerlendirmeleri yapılan parametrelere ait Q-Q grafiği ve histogram grafikleri oluşturulmuştur. Histogram grafiklerinde normal dağılım dönüşümleri yapılmış olan parametreler belirtilmiştir.

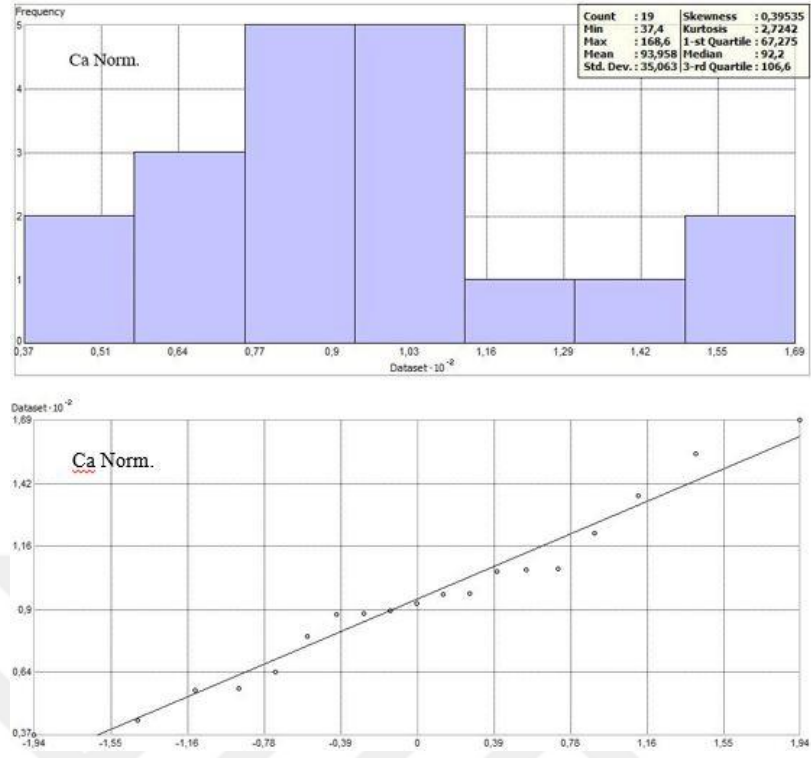
Özet istatistiksel değerlendirmeleri yapılan hidrokimyasal parametrelerin dağılım özelliklerini değerlendirirken basıklık ve çarpıklık değerleri ve Shapiro-Wilk normallik testi göz önünde bulundurulmuştur. Verilerin normal dağılım göstermesi için basıklık ve çarpıklık değerinin 0 veya 0'a yakın, Shapiro-Wilk normallik testine göre ise aldığı değerin 0,005 değerinden yüksek değerler alması gerekmektedir. Genel olarak basıklık ve çarpıklık değer +3 ve -3'den yüksek olduğu durumlarda normal dağılımın bozulduğunu gösterir. Çarpıklık ve basıklık değeri ± 3 değer üzerinde ve Shapiro-Wilk normallik test değeri 0,005'den küçük olan parametrelerin logaritmik dönüşüm yapılmış normal dağılıma dönüştürülmüş hali kullanılmıştır.



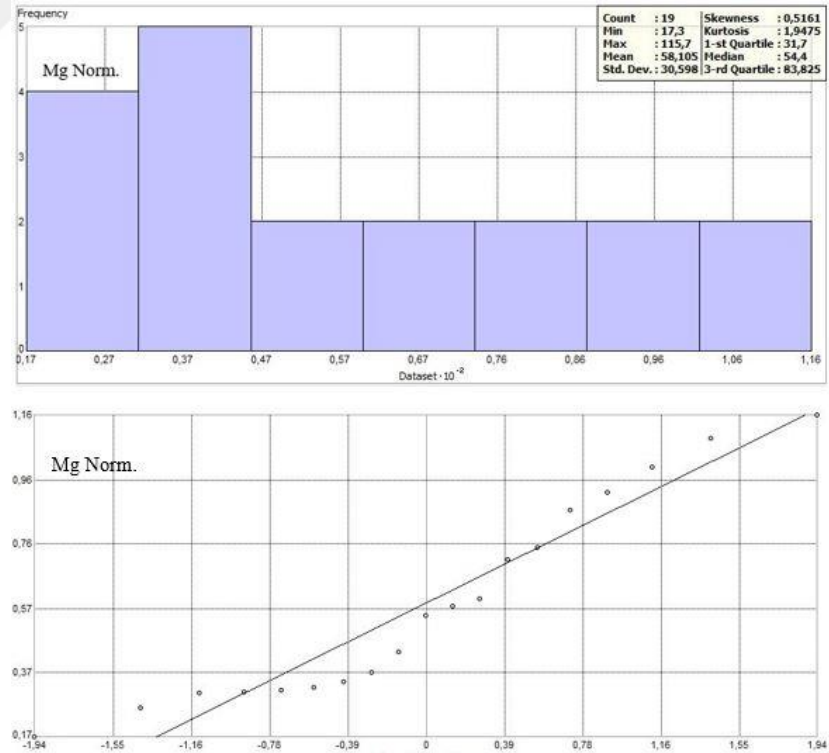
Şekil 3.92 EC değerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri



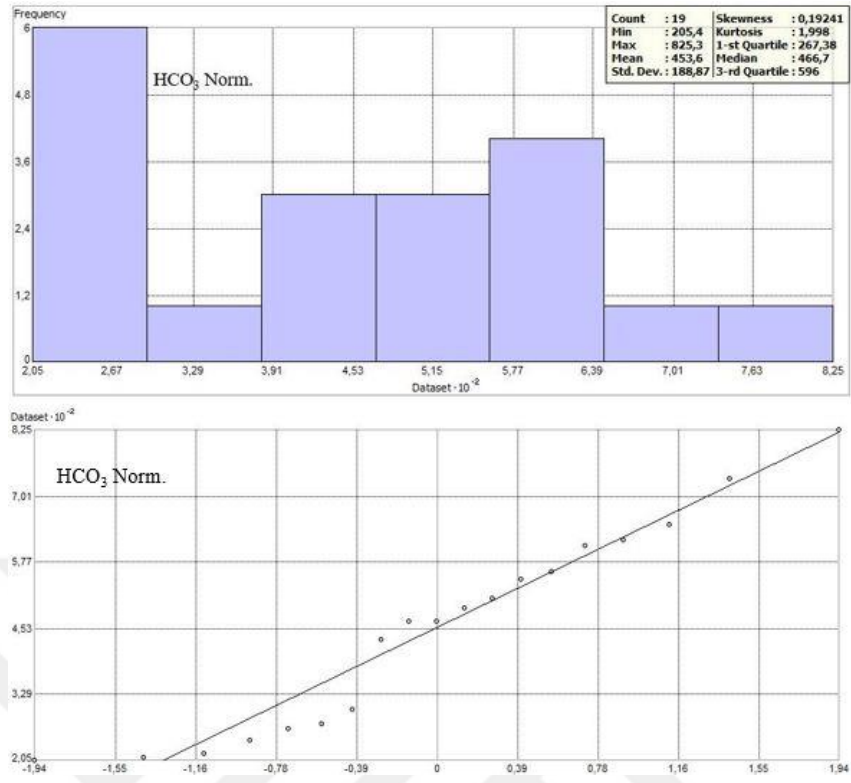
Şekil 3.93 T.Ç.K.M değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri



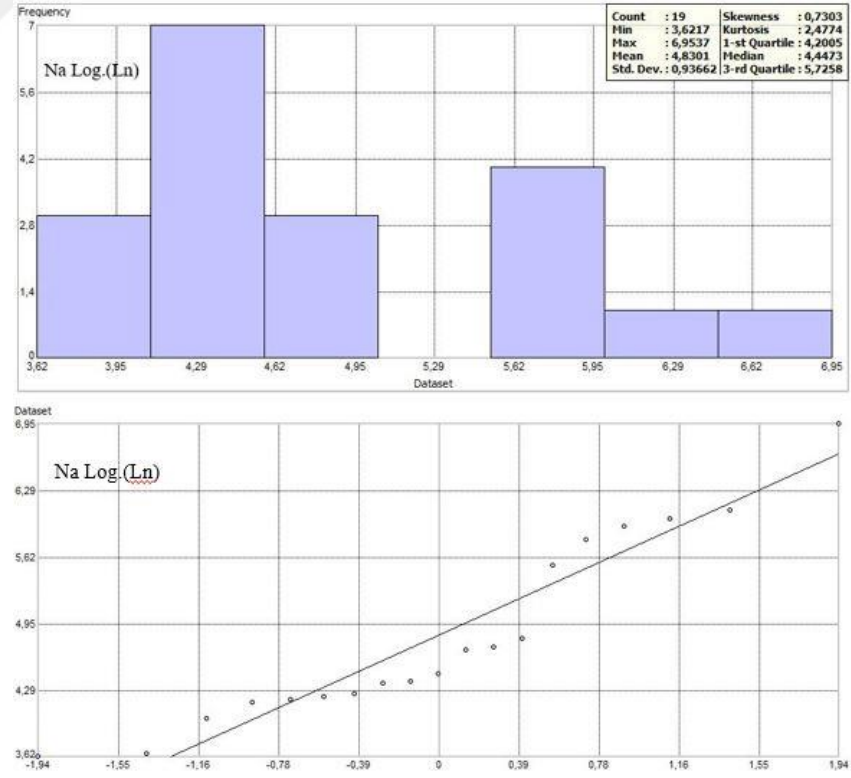
Şekil 3.94 Ca değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri



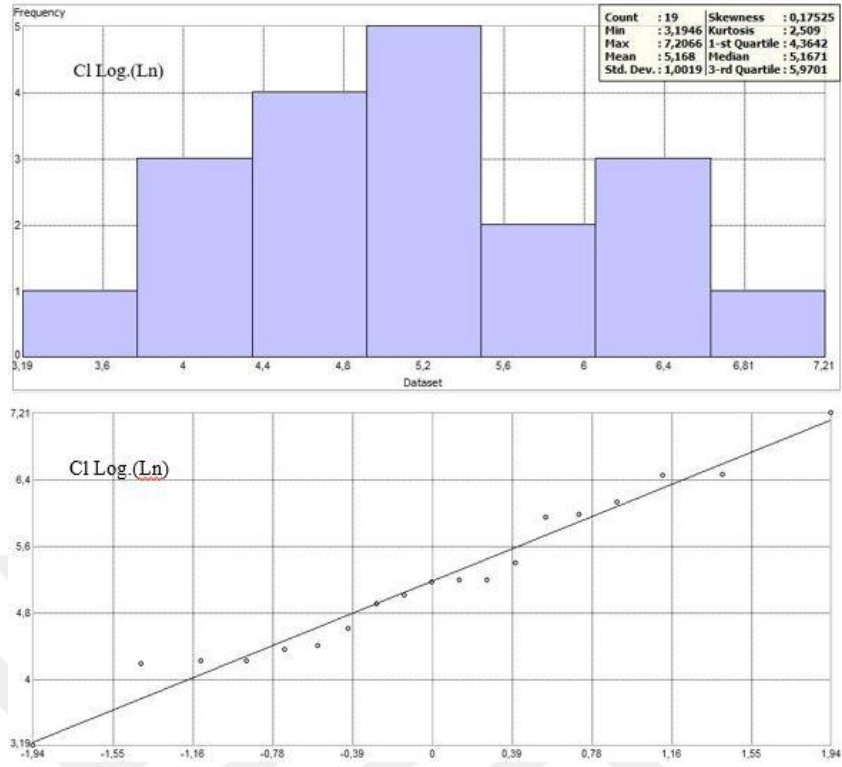
Şekil 3.95 Mg değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri



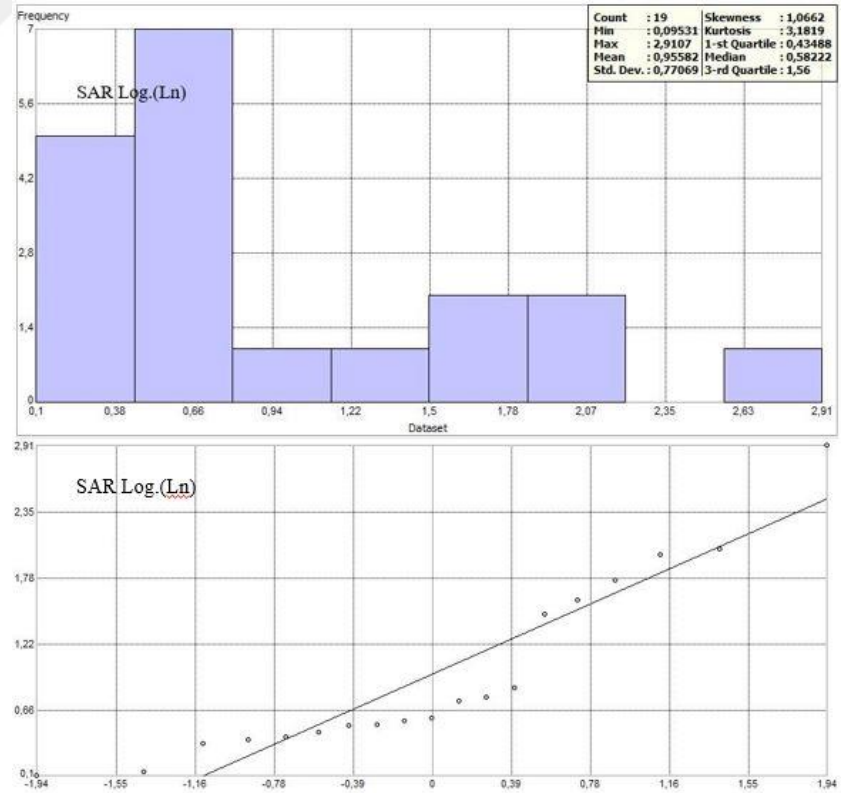
Şekil 3.96 HCO₃ değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri



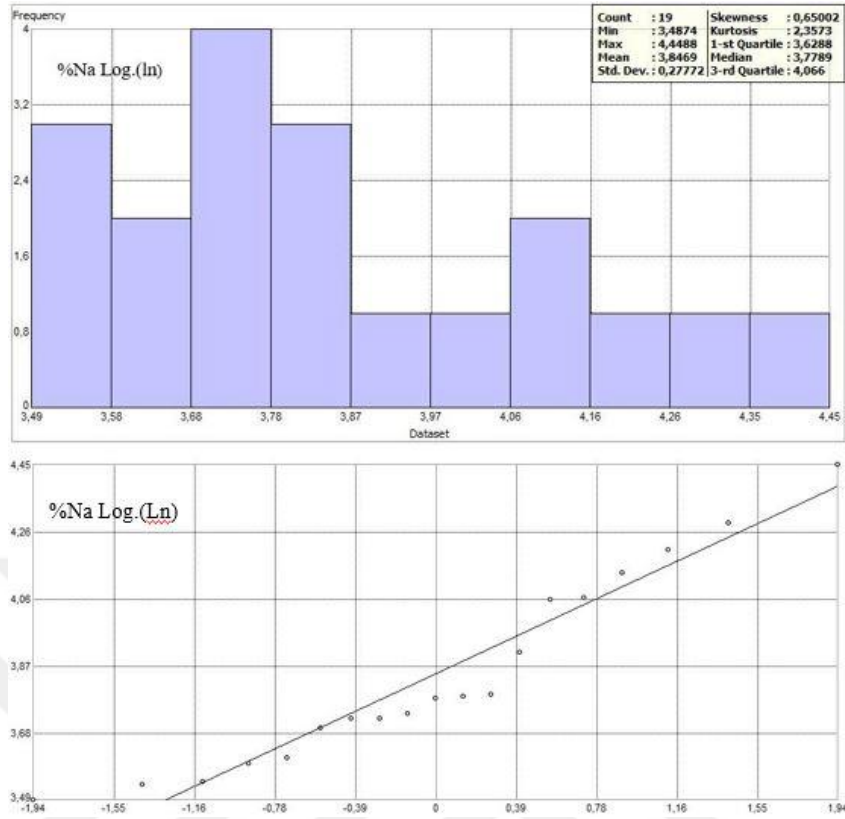
Şekil 3.97 Na değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri



Şekil 3.98 CI değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri



Şekil 3.99 SAR değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri



Şekil 3.100 %Na değerlerinin histogram ve Q-Q dağılım grafikleri

Histogram grafiklerine bakıldığında Ca, Mg, ve HCO_3 parametreleri normal dağılım göstermektedir. EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR ve %Na parametreleri ham veri halinde normal dağılım göstermediği için logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Parametrelerin çarpıklık değerleri incelendiğinde pozitif değer aldığı görülmektedir. Pozitif çarpıklık katsayısı sağa çarpık dağılıma işaret etmektedir.

Parametrelerin normal dağılım gösterip göstermediğini anlamının bir diğer yolu ise ortalama değerleri ve medyan değerlerinin birbirine eşit veya yakın çıkması gerekmektedir. Normal dağılım gösteren ve normal dağılıma dönüştürülmüş verilerin ortalama değerleri ve medyan değerleri birbirine çok yakındır.

3.6.3 Yarivariogram modelleri

Jeoistatistiksel analizlerin temelini oluşturan konumsal (bölgesel) değişkenler teorisi Matheron (1963) ortaya atılmış ve süreç içerisinde birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. Konumsal (bölgesel) değişken; belirli bir yere özgü olan ve en az bir

koordinatla ayırt edilebilen değişkenler olarak ifade edilebilir. Konumsal değişkenlerin sahip olduğu sayısal değerler; alan içerisinde örnek alınıp ölçüldüğü noktalarda belirlidir. Bilinmeyen değişkenler, örnek noktalarında ölçülmüş bilinen değişkenler vasıtası ile hesaplanır. Örnekleme ile konumsal olarak ölçülmüş değerler arasındaki fark, iki örnek noktası arasındaki uzaklığa bağlı bir fonksiyon olarak yazılabilir (Matheron, 1970; Sarma, 2009; Yeşilkanat, 2016).

Hidrojeolojik incelemelerde mevcut olan değişkenler mesafeye ve yöne göre değişim gösterebilir. Özellikle suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişimi yeraltı suyunun hareket yönüne bağlı korelasyon gösterebilir. Konumsal olarak ölçülen iki nokta arasındaki değişkenin uzaklığa bağlı fonksiyonu temel olarak aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[(Z_{(x_i)} - Z_{(x_i+h)})]^2 \quad (3.21.)$$

Formüle bakıldığında;

$\gamma(h)$: Belirli “h” uzaklığında hesaplanana yarıvariogram

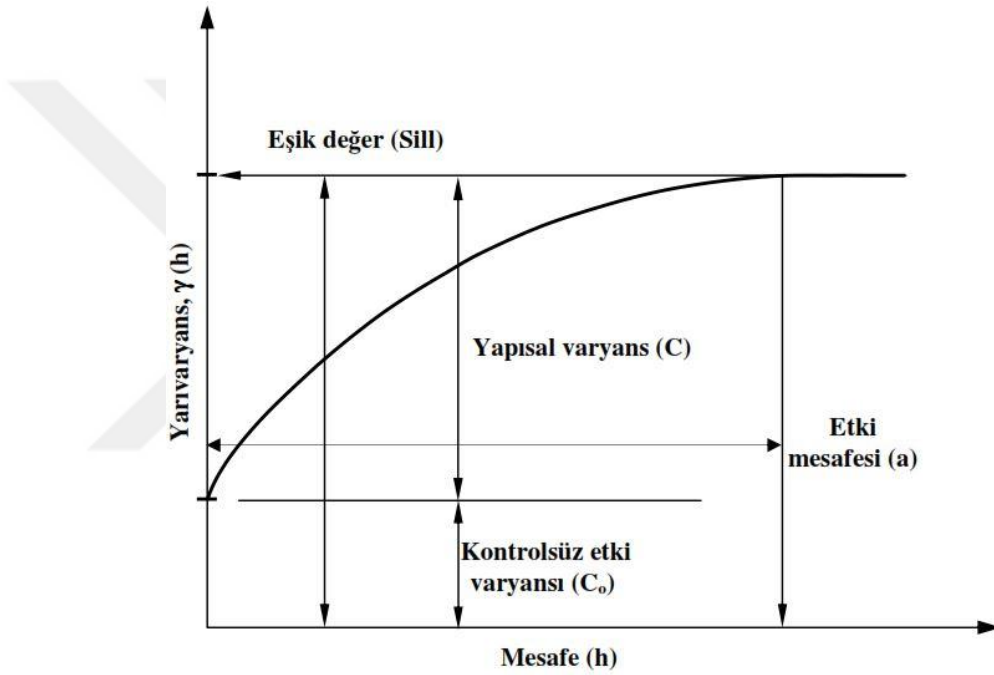
$Z_{(x_i)}$: Seçilmiş “i” noktasındaki ölçülmüş değişken değeri

$Z_{(x_i+h)}$: “i” noktasında ölçülmüş değişkene “h” mesafe uzaklıktaki değişkenin değeri

Burada fonksiyon formülü doğrusal bir orantı içerdiği için değişken arasındaki mesafenin artması ile değişkenlerin farkları ve varyans değerleri artacaktır. Başka bir ifade ile değişkenlerin birbirine olan uzaklığı arttıkça benzerliklerinin azalması beklenecektir.

Yarıvariogram fonksiyonu oluşturulduğunda değerlendirilen değişkenlerin izotrop-anizotropluğu, homojenliği ve etki mesafesi sayısal olarak belirlenebilir (Tercan ve Saraç, 1998).

Yarıvარიogram analizi değişken dağılımının yöne ve mesafeye göre değişiminin uzaysal yapısını belirlemek için kullanılan üç boyutlu modellerin davranışında önemli role sahip yöntemdir. (Yünsel, 2007). Bu yöntem sayesinde değişkenlerin dağılım yapısına uygun olarak veriler modellenerek deneysel yarıvარიogram model parametreleri bulunur. Deneysel yarıvარიogram modeli; örnek noktaları arasındaki uzaklık değerine karşılık gelen yarıvaryans değerinin grafiği olarak ifade edilebilir. Genel olarak kullanılan ideal bir yarıvარიogram modelinin grafiği Şekil 3.88.'de verilmiştir.



Şekil 3.101 İdeal Yarıvარიogram Modeli Özellikleri

İdeal olarak kullanılan yarıvარიogram modeline bakıldığında; yarıvარიogram eğrisinin dikey eksenini kestiği nokta ile yata eksen arasındaki fark Kontrolsüz etki varyansı (C_0) veya külçe etkisi olarak adlandırılır. Bu değer inceleme alanının homojenliği, verilerin birbirini ile uyumu hakkında bilgi verir.

Yarıvaryans ($\gamma(h)$) değerinin maksimum olduğu nokta (C_0+C) Eşik değeri (Sill) olarak veya Tepe varyansı olarak ifade edilir.

Eşik değeri (Sill) ile Kontrolsüz etki varyansının (C_0) farkı Yapısal varyans (C) olarak değerlendirilir. Etki mesafesi (a) yarıvariogramın etki mesafesini ifade eder. Bu mesafe değerinden sonra konumsal bağıllık ortadan kalkar ve varyans değeri sabit devam eder. Kestirim aşamasında kestirim yapılacak nokta etrafında bulunan örneklerin hangi mesafeye kadar ne kadar etkili olacağının belirlenmesinde önemli bir parametredir.

Deneysel yarıvariogram modelinde yarıvaryans değerleri yalnızca ölçüm yapılan örnek noktaları için belirlenebilir. Ölçüm yapılmayan alanların uzaklık değerinde yarıvaryans değeri hesaplanmadığı için mevcut olan deneysel yarıvariogram modeline uygun bir ideal teorik küresel modelin fit edilmesi gerekmektedir. Literatürde deneysel yarıvariogram modeli ile fit edilmek üzere kullanılan teorik küresel yarıvariogram model fonksiyonları mevcuttur. (Baltacı, 2007; Tercan ve Saraç, 1998; Yeşilkanat, 2016; Yünsel, 2007).

Küresel (Spherical) yarıvariogram model fonksiyonu;

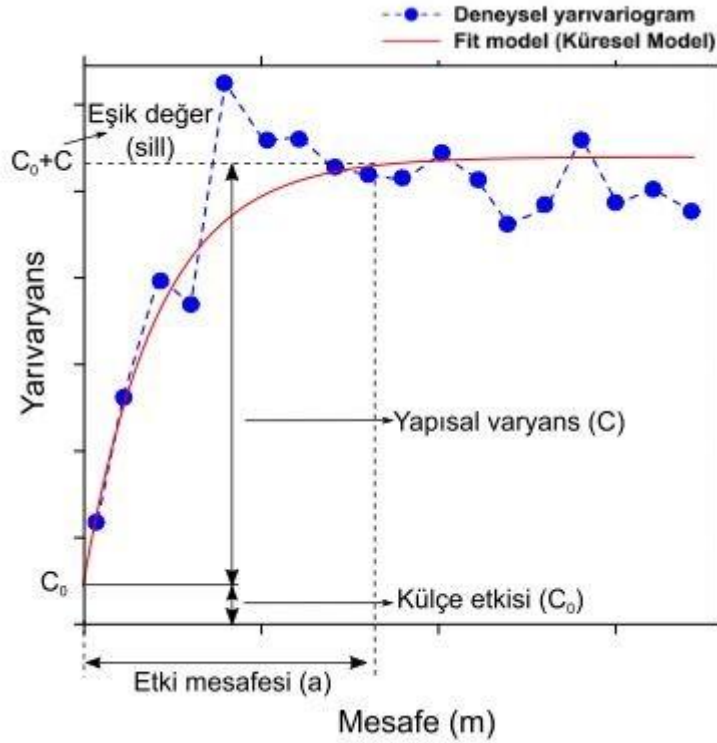
$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , h = 0 \\ C_0 + C \left(\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right) & , h \leq a \\ C_0 + C & , h > a \end{cases} \quad (3.22.)$$

Üssel (Exponential) yarıvariogram model fonksiyonu;

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , h = 0 \\ C_0 + C \left(1 - \exp \left(-\frac{h}{a} \right) \right) & , h < a \\ C_0 + C & , h \geq a \end{cases} \quad (3.23.)$$

Gauss (Gaussian) yarıvariogram model fonksiyonu;

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & , h = 0 \\ C_0 + C \left(1 - \exp \left(-\frac{h^2}{a^2} \right) \right) & , h < a \\ C_0 + C & , h \geq a \end{cases} \quad (3.24)$$



Şekil 3.102 Deneyel ve Teorik (Küresel) yarıvariogram modellerinin yapısal durumu

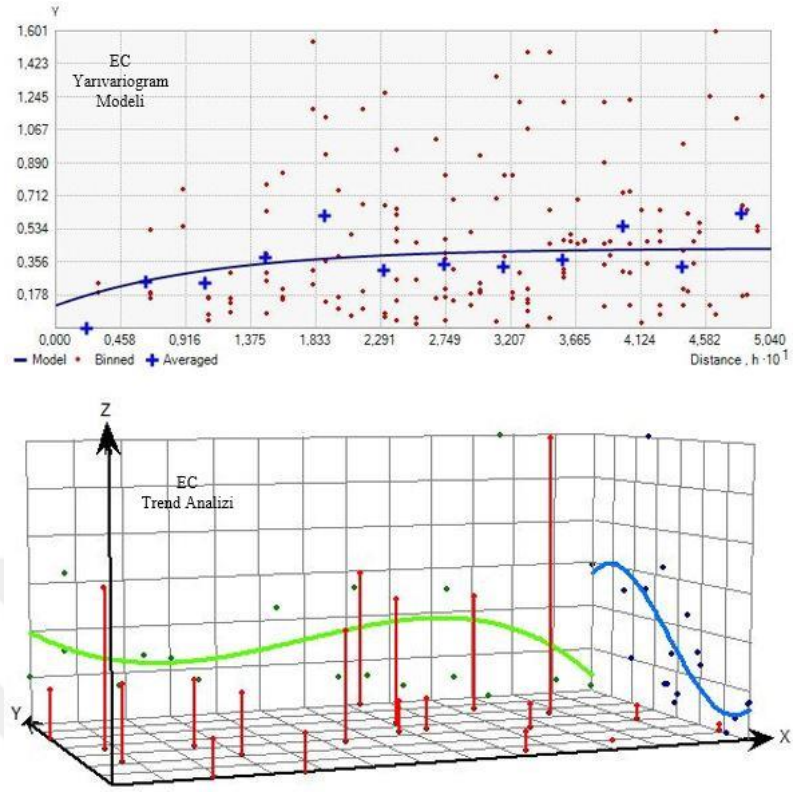
Yarıvariogram modelleri; örnek hatalarını, izotropi-anizotropi özelliklerini, hidrojeolojik yönelim, örneklerdeki kontrolsüz etki gibi hidrojeolojik bilgilerin yorumlanmasını sağlayacaktır. Ayrıca kriging yöntemi ve tematik haritaların temelini oluşturan kriterleri ortaya koymamızı sağlayacaktır.

Yarıvariogram modeli neredeyse tüm jeoistatistiksel modelleme ve haritalama fonksiyonlarını kullandığı için bilinmeyen değişkenlerin tahmini üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır.

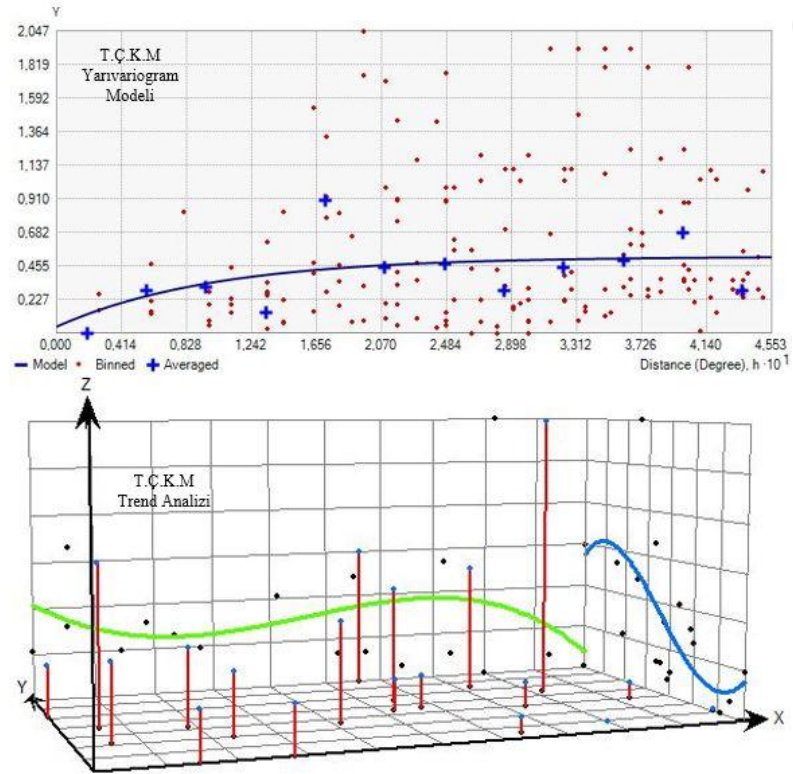
Çalışma alanında seçilen hidrokimyasal parametrelerin tanımlayıcı istatistiksel çalışmaları yapılmıştır. Tanımlayıcı istatistiksel çalışmalar aşamasında normal dağılım göstermeyen parametrelerin normal dağılım dönüşümleri yapılmıştır. Yarıvariogram analizlerinde deneyel model oluşturulurken parametrelerin normal dağılım göstermesi sonuçların doğruluğu açısından önemlidir.

Normal dağılıma dönüştürülmüş ve ham hali ile normal dağılım gösteren verilerin deneysel yarıvariogram modelleri oluşturulmuştur. Deneysel yarıvariogram modeli; en çok kullanılan Küresel, Üssel ve Gauss yarıvariogram modelleri ile fit edilerek en uygun küresel model seçimi yapılmıştır. Küresel yarıvariogram modeli seçiminde çapraz doğrulama işleminde de kullanılan RMSE (Root Means Squared Error; Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü) değeri temel alınarak en uygun model küresel yarıvariogram modeli seçilmiştir. RMSE değeri farklı yarıvariogram değerleri ve veri dönüşümleri arasında karşılaştırma yapma için kullanılmaktadır (Marko, Al-Amri, ve Elfeki, 2014). RMSE değeri 0'dan sonsuza kadar değerler alabilir. Model uygunluğu bakımından karşılaştırma yapılırken en düşük RMSE değerine sahip olan model en uygun olarak kabul edilmektedir (Marko vd., 2014).

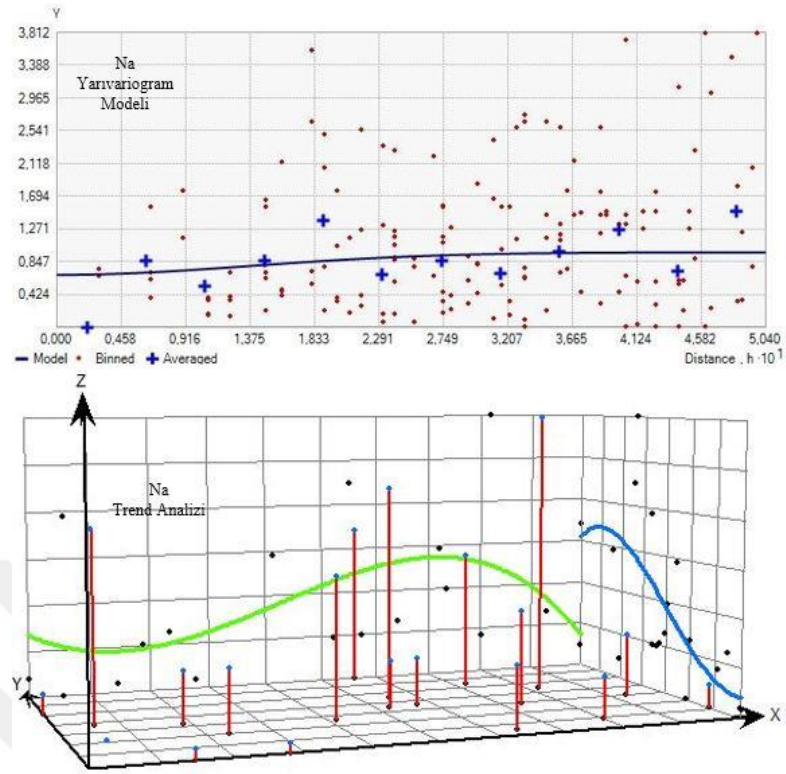
Çalışma kapsamında EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR, %Na, Ca, Mg, HCO₃, hidrokimyasal parametrelerine ait deneysel yarıvariogram modelleri oluşturulmuştur. Deneysel yarıvariogram modellerine en uygun küresel yarıvariogram modelini bulmak için en düşük RMSE değerine sahip küresel model kullanılmıştır. Deneysel ve küresel yarıvariogram model fonksiyonları fit edilerek grafik haline getirilip yarıvariogram modeli oluşturulmuştur.



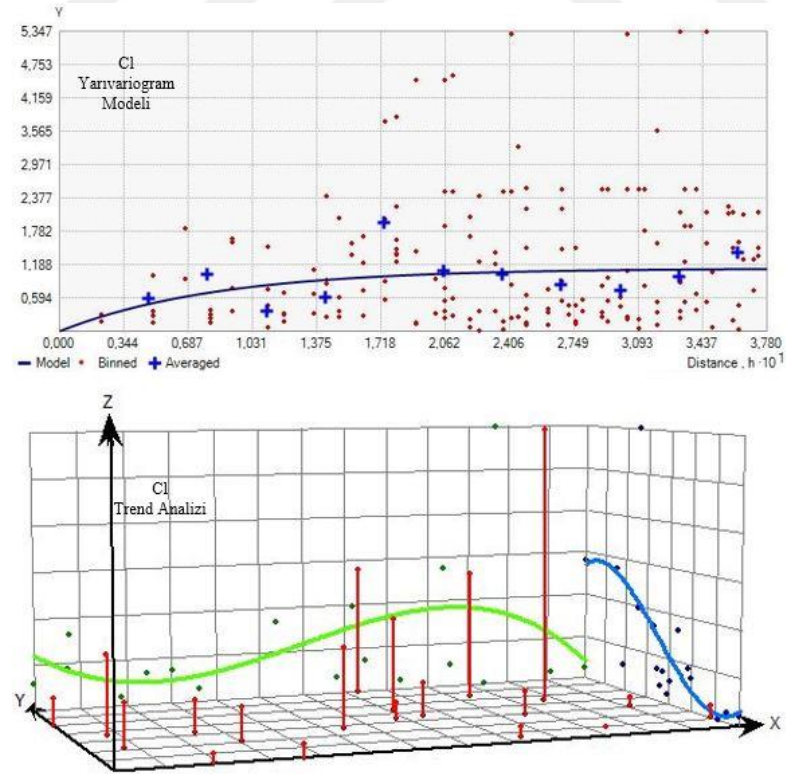
Şekil 3.103 EC değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları



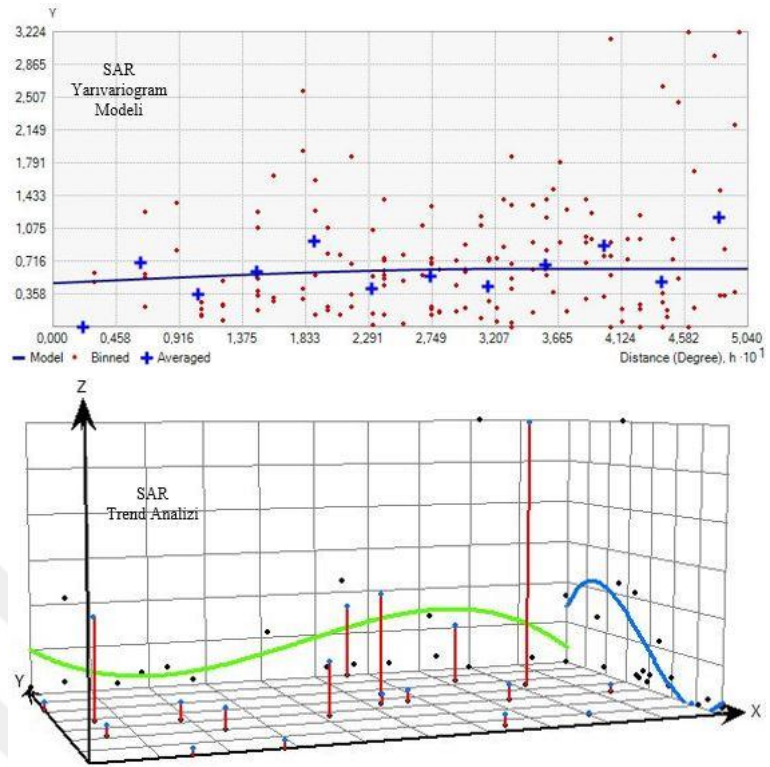
Şekil 3.104 T.Ç.K.M değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları



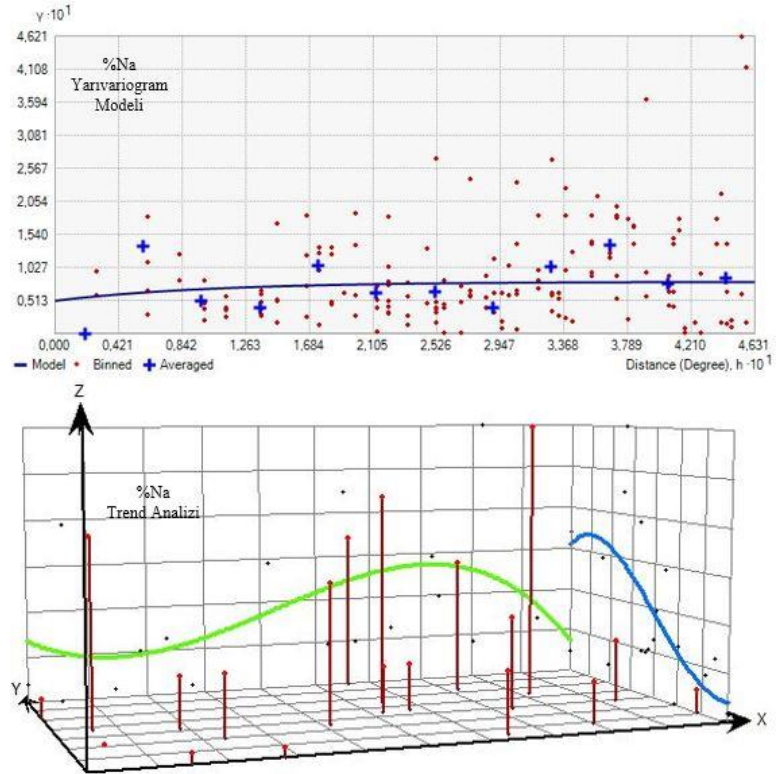
Şekil 3.105 Na değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları



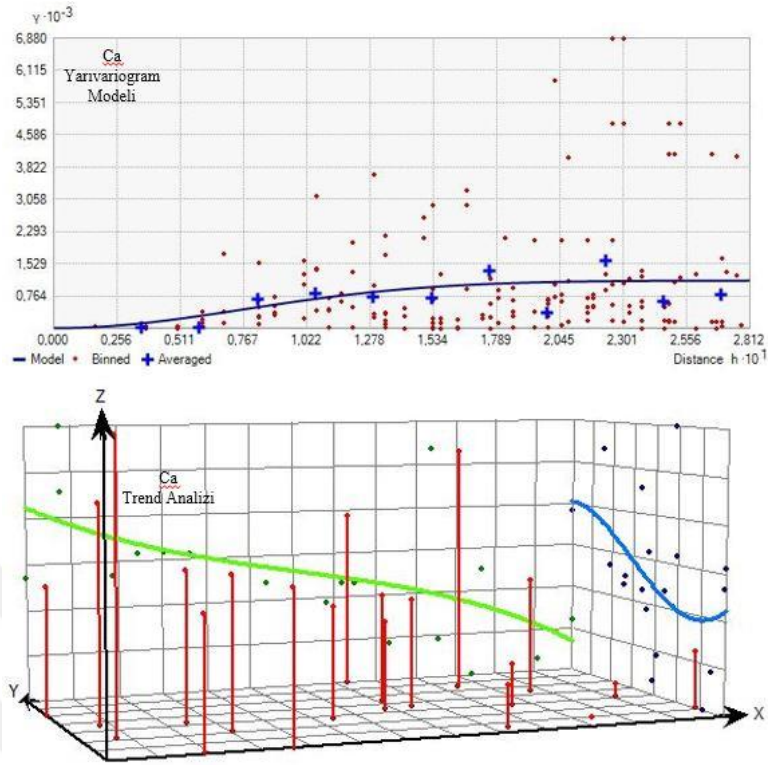
Şekil 3.106 Cl değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları



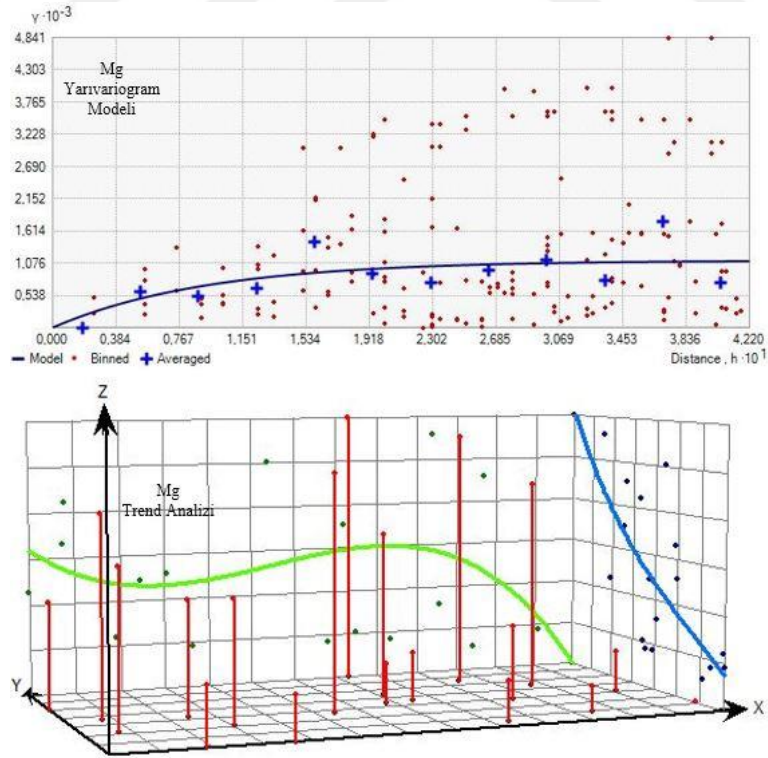
Şekil 3.107 SAR değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları



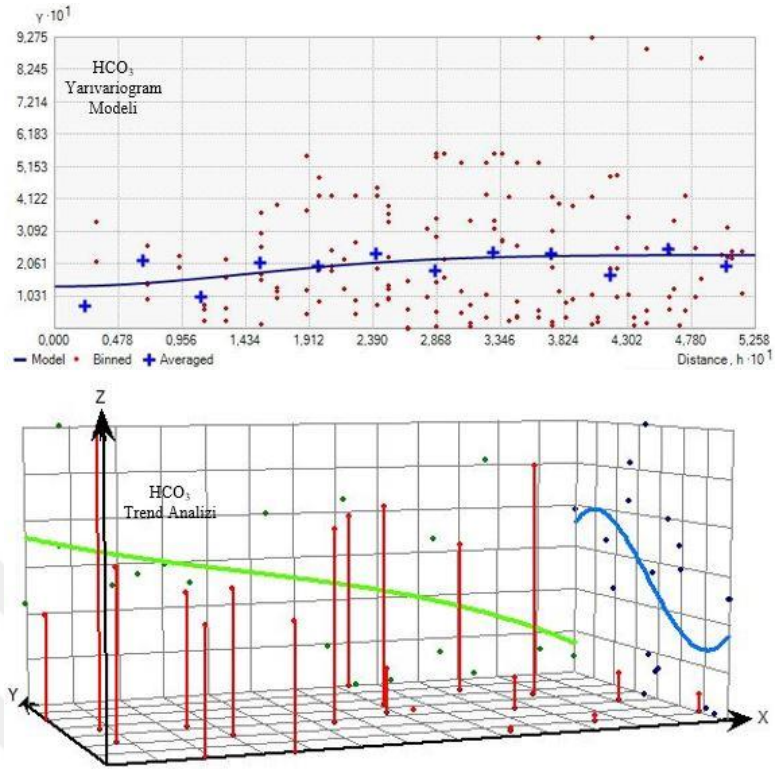
Şekil 3.108 %Na değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları



Şekil 3.109 Ca değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları



Şekil 3.110 Mg değerlerinin yarıvariogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları



Şekil 3.111 HCO₃ değerlerinin yarıvaryogram modeli ve trend (eğilim) analizi diyagramları

Tablo 3.40 Uygulanan yarıvaryogram modellerinin parametrik özellikleri

Parametre	Veri tipi	Veri sayısı	Model	Nugget (Co)	Partial Sill (C)	Sill (C+Co)	Mesafe (Range)	Nugget/Sill (Co/C+Co)	Mekansal Bağlılık
EC	Log.(ln)	19	Üssel	0,12	0,31	0,43	0,34	0,28	Yüksek
T.Ç.K.M	Log.(ln)	19	Üssel	0,04	0,47	0,52	0,30	0,08	Yüksek
Na	Log.(ln)	19	Üssel	0,49	0,46	0,96	0,34	0,52	Orta
Cl	Log.(ln)	19	Üssel	0	1,12	1,12	0,25	0,00	Yüksek
SAR	Log.(ln)	19	Küresel	0,48	0,16	0,63	0,34	0,75	Orta
%Na	Log.(ln)	19	Üssel	0,05	0,03	0,08	0,31	0,63	Orta
Ca	Normal	19	Gauss	1,13	1128,90	1130,03	0,19	0,00	Yüksek
Mg	Normal	19	Üssel	0,00	1120,82	1120,82	0,28	0,00	Yüksek
HCO ₃	Normal	19	Gauss	0,13	0,10	0,23	0,35	0,57	Orta

Yarıvaryogram modelleri incelendiğinde; EC, T.Ç.K.M, Na, Cl ve %Na değerleri için logaritmik dönüşümlü veri tipinde Üssel (Exponential) yarıvaryogram modeli, SAR

değerleri için logaritmik dönüşümlü Küresel (Spherical) yarıvariogram modeli, Mg için normal veri tipinde Üssel (Exponential) yarıvariogram modeli uygulanmıştır. Ca ve HCO_3 değerleri için normal veri tipinde Gauss (Gaussian) yarıvariogram modeli, modeli uygulanmıştır. Diyagramlar incelendiğinde fit edilen yarıvariogram model çizgisi etrafında dağılan deneysel yarıvariogram noktalarının uyumlu olduğu görülmektedir.

Yeraltı sularının hidrokimyasal parametrelerinin mekânsal bağımlılığını oluşturulan model ile ortaya koymak mümkündür (Marko vd., 2014; Mehrjardi, Jahromi, ve Heidari, 2008). Mekansal bağımlılığa ilişkin yorum yaparken yarıvariogram modelinde hesaplanan Külçe etkisinin (Nugget, C_0) yapısal varyansa (Sill, $C+C_0$) oranı kullanılır. Bu bağlamda temel olarak kullanılan 3 sınıflandırma mevcuttur. Külçe etkisinin (Nugget, C_0) yapısal varyansa (Sill, $C+C_0$) oranı %25'in altında ise güçlü mekânsal bağımlılık, %25-%75 arasında ise orta düzey mekânsal bağımlılık, %75'den fazla ise düşük mekânsal bağımlılık şeklinde sınıflandırılmaktadır (Demer ve Hepdeniz, 2018; Marko vd., 2014; Mehrjardi vd., 2008). Mekânsal bağımlılığın yüksek olması, örnek noktaları arasındaki mekânsal korelasyonun da yüksek olduğuna işaret eder. Çalışma kapsamında oluşturduğumuz yarıvariogram model parametrelerine göre; EC, T.Ç.K.M Cl, Ca, ve Mg değerlerinin mekânsal bağımlılığı yüksek, Na, SAR, %Na ve HCO_3 değerleri için mekânsal bağımlılığı orta düzey olduğu bulunmuştur (Tablo 3.40.).

Çalışma kapsamında seçilen hidrokimyasal parametrelerin çalışma alanındaki dağılımını mekânsal olarak değerlendirmek için Trend (Eğilim) analizi yapılmıştır (Şekil 3. 102-110). Trend analizi diyagramı; çalışma alanını güney bölgesinden Tuz Gölü'ne doğru gösterir biçimde oluşturulmuştur. Trend analizi diyagramına bakıldığında; EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR ve %Na değerleri çalışma alanının güney bölgesinden (Güneşli-İncesu-Taşpınar) Tuz Gölü'ne yakın olan kuzey batı kısmına (Yeşiltepe-Yeşilova-Ataköy) bölgesine doğru artış göstermektedir. Özellikle Yeşilova-Yeşiltepe-Ataköy bölgesinde en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Tuz Gölüne yakın olan bu bölgede EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR ve %Na değerlerinin normalin dışında aşırı artış göstermesi yeraltı sularına su-kayaç etkileşimi haricinde tuzluluğu artıran bir etken olduğunun kuvvetli işaretidir. Ca, Mg, HCO_3 değerleri çalışma alanı

genelinde diğer parametrelere oranla yüksek olmasına rağmen çalışma alanının batı (Eskil-Eşmekaya-Güneşli) bölgesinden doğusuna (Yeşiltepe-Yeşilova-Ataköy) bölgesine doğru azalma eğilimi göstermektedir.

3.6.4 Çapraz Doğrulama

Yarıvariogram modelleri yardımı ile kriging ağırlıkları bulunması sonucu hesaplanan tahmin değerinin doğruluğunu test etmek için çapraz doğrulama (cross-validation) işlemi yapılır. Çapraz doğrulama işlemi için deneysel yarıvariogram fonksiyonunu oluşturan bir model ve bu modeli oluşturan parametreler seçilir. Modelleme işlemi sırasında kullanılan ve değeri bilinen bir nokta hesaplama dışında tutulur. Değeri bilinen diğer noktalar kullanılarak hesaplama dışında bırakılan noktanın değeri tahmin edilir. Sonraki aşamada elde edilen tahmin değeri ile noktadaki gerçek değer arasındaki fark (tahmin hatası) hesaplanır. Her bir örnek noktası için aynı işlem tekrarlanır. Tüm örnek noktalarına ait tahmin hatalarına aşağıdaki istatistiksel işlemler uygulanır ve ifade edilen kriterler göz önünde bulundurularak değerlendirilir (Clark ve Harper, 2000; Ersoy ve Yünsel, 2008; Tercan ve Saraç, 1998).

Ortalama hata (Mean Error, ME); model ile hesaplanan tahmin değeri ile gerçek değer arasındaki ortalama hatayı ifade eder. Kring metodu yansız tahminler hesapladığı için ME değeri 0'a yakın olmalıdır. Kring yöntemi yarıvariogram hatalarında duyarsız olduğu için hesaplanan ME zayıf tanımlayıcı statüsündedir (Johnston vd., 2001; Webster ve Oliver, 2007; Yeşilkanat, 2016).

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Z}(X_i) - Z(X_i)) \quad (3.25.)$$

Ortalama Standart hata (Mean Standartized Error, MSE); Standartlaştırılmış hataların ortalamasını ifade eder. Model performansını ölçmek için kullanılan matematiksel işlemdir. Her zaman pozitif değer alması beklenmez. Modelin tahmin performansı; MSE değerinin sıfıra yakın olan modelin performansı yüksektir yorumu yapılır (Baltacı, 2007; Johnston vd., 2001; Webster ve Oliver, 2007).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(\hat{Z}(X_i) - Z(X_i))^2}{\sigma(X_i)} \quad (3.26.)$$

Hata karelerinin ortalamasının karekökü (Root Means Squared Error, RMSE); Tahmin hatalarının standart sapması olarak ifade edilir. Oluşturulan modelin ölçülen değerleri ne kadar yakından tahmin ettiğini gösterir. RMSE değeri 0 - sonsuz aralığında değer alabilir. Bu değer ne kadar düşükse o kadar iyi performans gösterir (Johnston vd., 2001). Küresel model fonksiyonu seçiminde en düşük RMSE değeri alan model fonksiyonu kullanılarak deneysel yarıvariogram modeli ile fit edilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{Z}(X_i) - Z(X_i))^2} \quad (3.27.)$$

Kök Ortalama Kare Standardize Hata (Root Mean Square Standardized Error, RMSSE); Tahmin edilen değer hata payı geçerli miktarda ise bu değer 1'e yakın olması beklenir (Johnston vd., 2001).

$$RMSSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\hat{Z}(X_i) - Z(X_i)}{\sigma(X_i)} \right)^2} \quad (3.28.)$$

Tablo 3.41 Çapraz doğrulama sonuçları

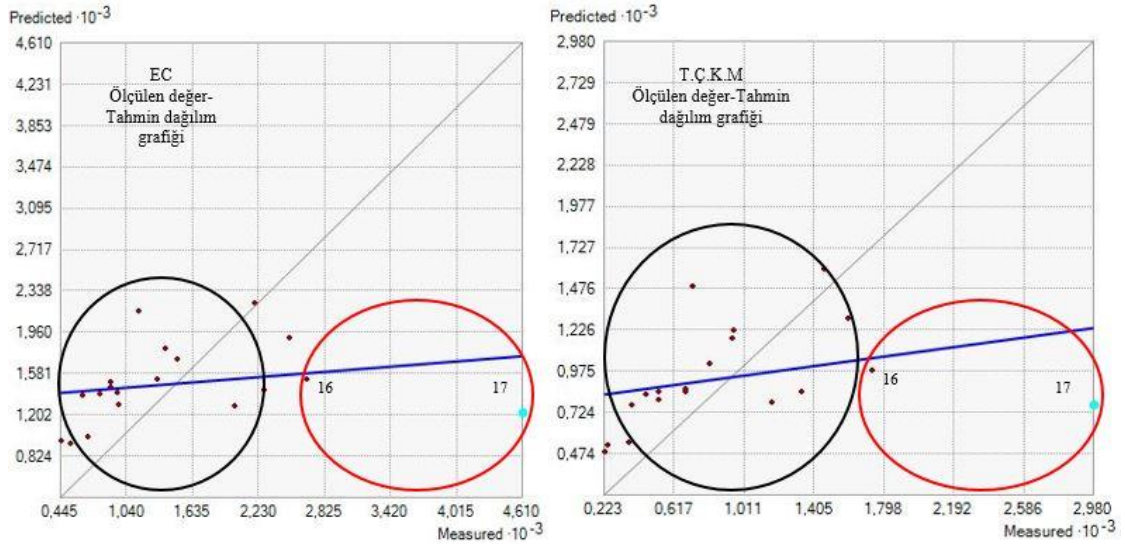
Parametre	Veri tipi	Veri sayısı	Model	MSE	RMSE	RMSSE
EC	Log.(ln)	19	Üssel	0,030	97,61	1,17
T.Ç.K.M	Log.(ln)	19	Üssel	0,018	62,54	1,04
Na	Log.(ln)	19	Üssel	0,085	24,07	1,15
Cl	Log.(ln)	19	Üssel	0,013	27,17	0,99
SAR	Log.(ln)	19	Küresel	0,095	4,07	1,03
%Na	Log.(ln)	19	Üssel	0,018	13,79	1,00
Ca	Normal	19	Gauss	0,031	18,89	0,98
Mg	Normal	19	Üssel	0,012	23,02	1,01
HCO3	Normal	19	Gauss	0,009	65,19	1,02

Yarıvariogram modellerini temel alarak kriging ağırlıkları hesaplanmış ve tahmin haritaları oluşturulmuştur. Tahmin haritalarının çapraz doğrulama test sonuçları Tablo 3. 41.'de verilmiştir. Model yardımı ile hesaplanan gerçek değer ile tahmin değeri

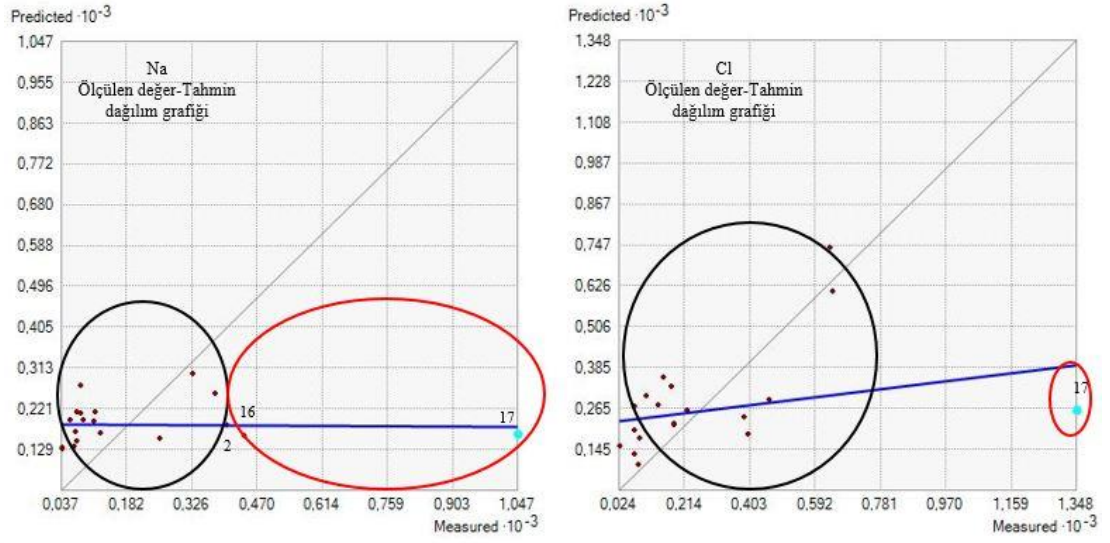
arasındaki ortalama ME değeri ile ifade edilir. Fakat kriging metodu, yarıvariogram hatalarında duyarsızlığı yüksek olduğu için hesaplanan ME değerleri 0'a yakın olmasına rağmen zayıf tanımlayıcı statüsündedir. Bu yüzden MSE, RMSE ve RMSSE değerleri dikkate alınarak yorumlanacaktır.

MSE değeri model performansını değerlendirmek için önemli bir parametredir. MSE değerlerine bakıldığında bütün değerler 0'a yakın olduğu için model performansının yüksek olduğu söylenebilir. RMSE değerleri 0'dan sonsuza kadar değer almaktadır. RMSE değeri küresel model seçiminde kullanılmıştır. En düşük RMSE değeri kullanılmıştır. RMSSE değeri tahmin edilen değerlerin hata payının geçerli olup olmadığı ölçmek için kullanılan önemli bir parametredir. Tahmin edilen değerlerin hata payının geçerli olması için RMSSE değerinin 1' e yakın değer alması gerekmektedir. RMSSE değerlerine bakıldığında hepsi 1'e yakın değerler almıştır. Çapraz doğrulama testlerine bakıldığında yarıvariogram modellerinin performansı ve modeller ile yapılan tahminler geçerli sınırlar içerisinde.

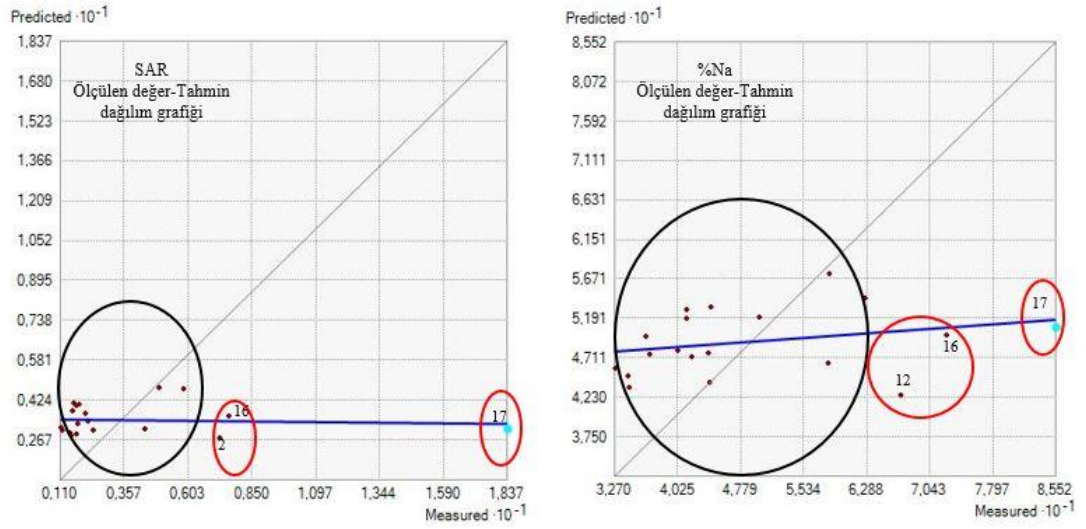
Kriging metodu ile sayısal olarak tahmin edilen değerler ile sahada ölçülen değerlerin karşılaştırılması için Ölçülen değer-Tahmin dağılım grafiği oluşturulmuştur.



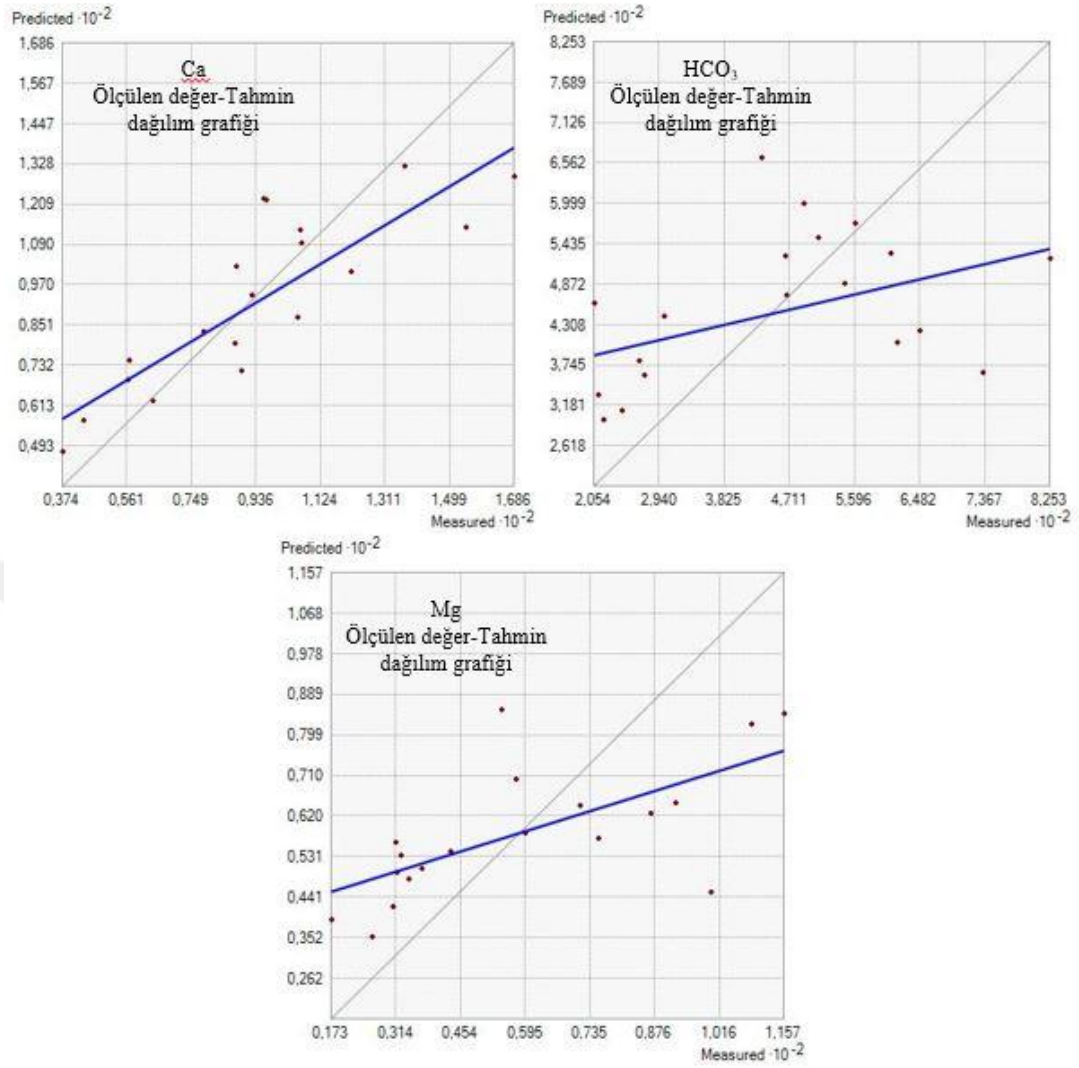
Şekil 3.112 EC-T.Ç.K.M Ölçülen değer-Tahmin dağılım grafiği



Şekil 3.113 Na-Cl Ölçülen değer-Tahmin dağılım grafiği



Şekil 3.114 SAR-%Na Ölçülen değer-Tahmin dağılım grafiği



Şekil 3.115 Ca-HCO₃-Mg Ölçülen değer-Tahmin dağılım grafiği

Kriging metodu; ölçüm değeri ile ölçüm noktalarının birbirine uzaklığını temel alarak tahmin gerçekleştirdiği için tahmin değeri ile gerçek değer 1:1 doğrusuna yakın olması beklenir. Ölçülen değer ile tahmin değeri arasında 1:1 doğrusundaki sapmalar değerlendirilerek yeraltı sularının kimyasal yapısını değiştiren durumlar hakkında yorumlar yapılabilir.

Çalışma alanındaki yeraltı sularının tuzluluğunu değerlendirmek ve tuzlanmayı etkileyecek farklı faktörlerin anlaşılabilmesi için EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR ve %Na değerlerinin sahada ölçülen değerleri ile tahmin edilen değerlerin dağılım grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 3. 111-113.).

Grafiklere bakıldığında Ölçülen değer-Tahmin değerlerinin EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR ve %Na için benzer şekilde 1:1 doğrusundan sapma yaptığı gözlenmektedir. Bu sapmaya sebep olan ölçüm noktaları kırmızı daire içerisinde gösterilmiştir. Sapma yapan 2(Böget), 15(Yeşiltepe), 16(Yeşilova), 17(Ataköy) örnek kuyularıdır. EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR ve %Na değerleri yeraltı sularında tuzluluğun değerlendirilmesinde ve suların kullanım şeklinin incelenmesinde en önemli parametrelerdir. Bu değerlerin sapma göstermesi 2 şekilde değerlendirilebilir.

İlk olarak örnek noktalarının çalışma alanındaki konumuna bakıldığında Tuz Gölü'ne en yakın olan bölgelerdir. Yeraltı su seviye eğrileri haritasına bakıldığında (Şekil 3. 34-35) Tuz Gölü ile 2(Böget), 15(Yeşiltepe), 16(Yeşilova), 17(Ataköy) numaralı örnek noktalarının yer aldığı bölgenin kotları çok yakın seviyededir. Bölgede aşırı yeraltı suyu çekiminden kaynaklı düşen yeraltı su seviyesi neticesinde Tuz Gölü'nden yeraltı sularına tuzlu su girişi yapıldığı söylenebilir.

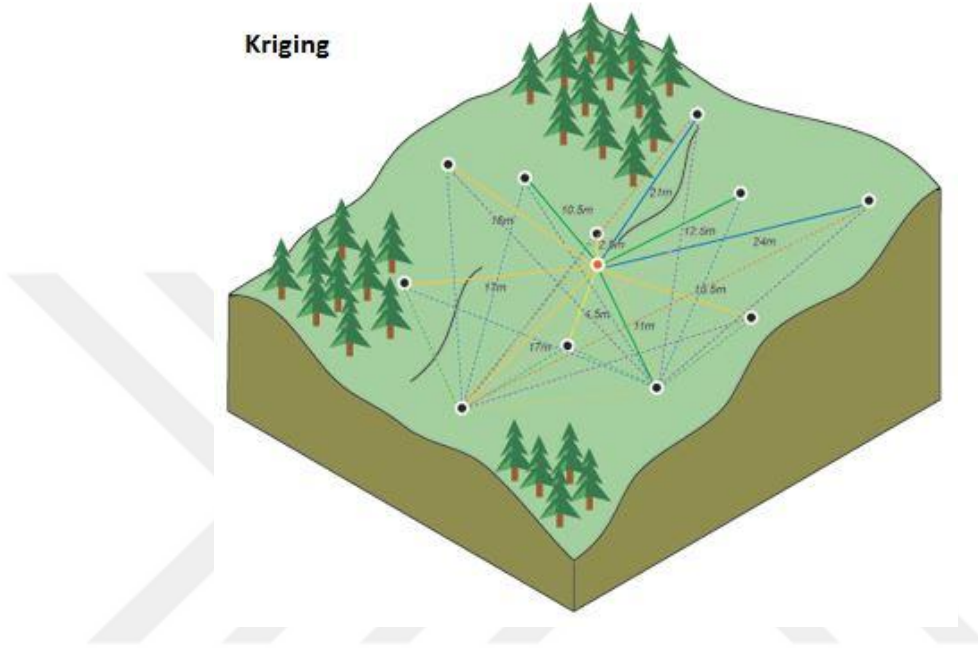
İkinci olarak ise Tuzgölü havzasının gelişimini şekillendiren tektonik rejimin etkisi ile oluşmuş Tuz Gölü fayı 15(Yeşiltepe), 16(Yeşilova), 17(Ataköy) numaralı örneklerle, Eskişehir-Sultanhanı fayı ise 2 numaraları örneğe çok yakındır. Sultanhanı ve çevresinde gözlenen Tuz domları ve Tuz Gölü fayına yakın bölgelerde tuzlu su çıkışları Oligo-Miyosen birimlerin etkisi ile geliştiği önceki çalışmalarda ortaya konmuştur. Ölçülen değer-Tahmin değeri arasındaki sapma 2, 15, 16, 17 numaralı örneklerin olduğu bölgede Tuz Gölü fayı ve Eskişehir-Sultanhanı fayının etkisi ile Oligo-Miyosen birimlerden gelen tuzluluğa işaret olabilir.

Ca-HCO₃-Mg parametrelerine ait Ölçülen değer-Tahmin değerleri dağılım grafiğine bakıldığında birbirine uyum göstermektedir. Grafik 1:1 doğrusundan sapma mevcuttu fakat birbirleri ile orantılı çıkmıştır. Yeraltı sularında Mg ve HCO₃ ölçümlerindeki sapmaya sebep olan durum her iki parametre içinde ortak olduğu anlaşılmaktadır.

3.6.5 Kriging interpolasyon yöntemi

Kriging; Jeostatistiksel tahminlerde yanlışlığı ortadan kaldırmak için Daniel Krige tarafından bulunmuştur. Matheron tarafından geliştirilip jeostatistiğe kazandırılmış

olan bu yöntem en iyi yansız tahmin edici olarak kullanılmaktadır (Matheron, 1970; Tercan ve Saraç, 1998). Kriging yöntemi; örnekleme yapılmış noktadaki değeri, yakınındaki örnek değerlerinin doğrusal kombinasyonu olarak hesaplayıp tahmin edebilen matematiksel metottur (Clark ve Harper, 2000; Sarma, 2009; Yünsel, 2007).



Şekil 3.116 Kriging interpolasyon yöntemi ile tahmin modeli

Kriging yöntemi; tahmin hatasını en az olması şartı ile ağırlık oranlarının belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntem bilinmeyen bir ara değişken değerini, etrafında yer alan bilinen değişkenlerin yakınlık ve uzaklığı ile ilişkili olacak şekilde bir ağırlık çarpanı ile tahmin etmeye çalışır. Ağırlık oranları; en küçük varyans kriterleri göz önünde bulundurularak oluşturulan doğrusal denklem çözümlemesinden elde edilir (I. Clark, 1979; I. Clark ve Harper, 2000; Olea, 1999). Buradaki doğrusal denklem katsayılar ise yarıvariogram fonksiyonu değerlerinden elde edilir.

Kriging yönteminin genel denklemi;

$$\hat{Z}(X_0) = \sum_{i=1}^n w_i Z(X_i) \quad (3.29.)$$

$\hat{Z}(X_0)$: Bilinmeyen X_0 noktasında tahmin edilen değer,

$Z(X_i)$: X_0 tahmin edilmesinde kullanılan deneysel veriler,

w_i : $\hat{Z}(X_0)$ 'ın tahmin edilmesinde kullanılan her bir $Z(X_i)$ değeri için farklı değeriğe sahip ağırlık değerleri;

n : $\hat{Z}(X_0)$ tahmininde kullanılan konumsal örnek sayısı,

şeklinde ifade edilmektedir. Formül daha basit hali ile yazılacak olursa;

$$X = \sum_{i=1}^n w_i X_i = w_1 X_1 + w_2 X_2 + w_3 X_3 + \dots w_n X_n \quad (3.30.)$$

X : Hesaplanacak noktadaki numune değeri,

X_i : Bilinmeyen noktanın çevresinde yer alan bilinen örnek değerleri şeklinde ifade edilebilir.

Kriging yönteminde ağırlıkların hesabı yarıvariogram fonksiyonu ile yapılmaktadır. Tahmin hatalarının varyansının düşük olması; varyansın, her bir “h” mesafede hesaplanan değeri için farklı “w” ağırlık değerinin atanması gerekmektedir.

$\hat{Z}(X_0)$ noktasının tahmin değerinin minimum hata, en düşük varyans ile hesaplanabilmesi için değerleri bilinen noktalara atanan ağırlık değerlerinin toplamının ise 1'e eşit olması gerekmektedir (Clark ve Harper, 2000; Olea, 1999).

$$\sum_{i=1}^n w_i = w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + \dots w_n = 1 \quad (3.31.)$$

Bilinmeyen noktanın değeri hesaplandıktan sonra kriging varyansı hesaplanır. Kriging varyasını hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır.

$$\sigma_k^2 = \sum_{i=1}^n \tau_i \gamma_{ix} + m \quad (3.32.)$$

Bu işlemde;

σ^2 : Kriging varyansı,

τ : Yarıvariogram model ekseninde mesafeye karşı okunan değer,

γ : Tahmin edilen değer

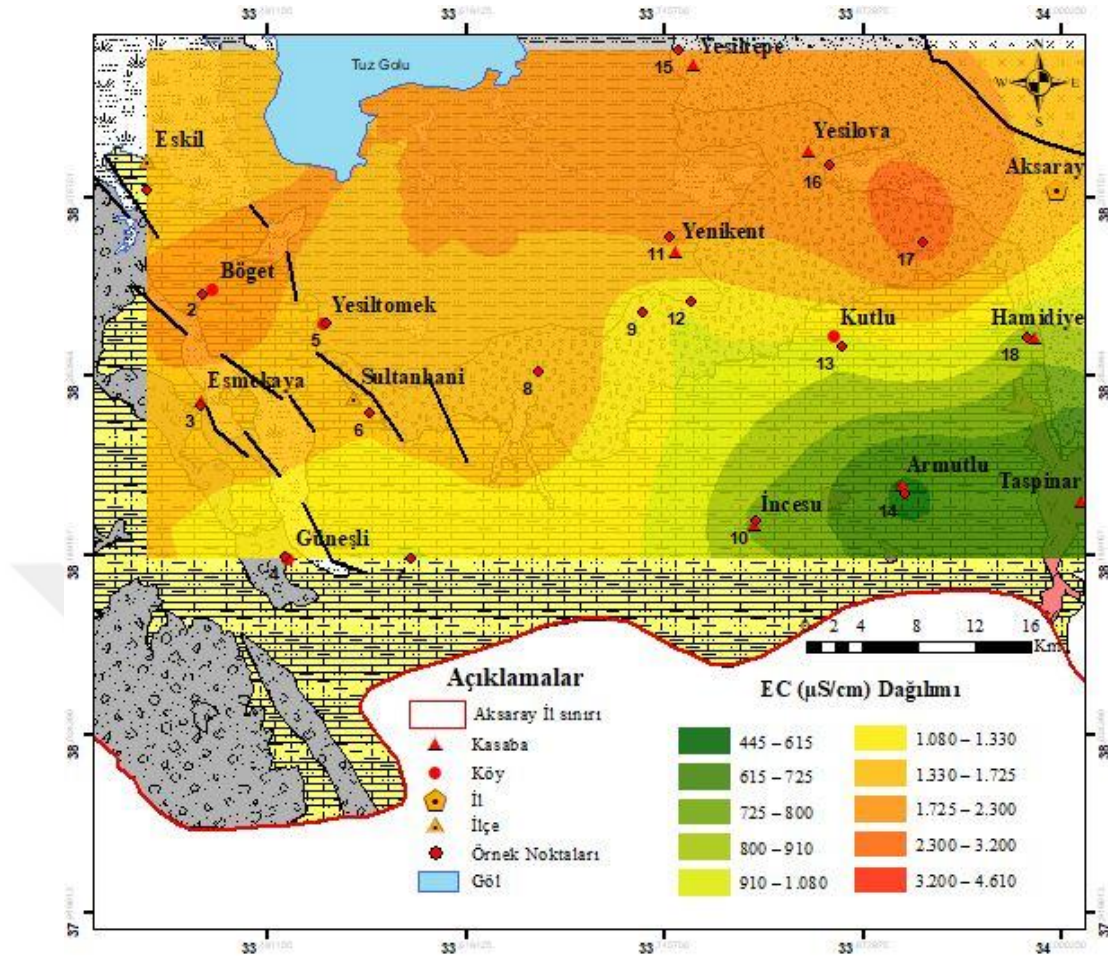
m : Langrange sabiti.

Kriging yönteminin diğer tahmin yöntemlerine göre en önemli üstünlüğü esnek oluşudur. Bilinen değerlerin ağırlık oranları rastgele belirlenmemektedir. Bilinen değerler sistematik olarak analiz edilerek yarivariogram fonksiyonları belirlenir. Sonraki aşamada yarivariogram fonksiyonu ağırlık oranlarının belirlenmesinde kullanılır. Kriging yönteminin başka bir özelliği ise tahmin hatası büyüklüğünün değerlendirilmesine imkn sunmasıdır (Tercan ve Saraç, 1998).

Kriging yöntemi; veri dağılımları ve verilerin izotropik özelliklerine dayalı “Sıradan kriging (Ordinary kriging)”, “Evrensel kriging (Universal kriging)”, “Blok kriging (Block kriging)” gibi çeşitli şekillerde uygulanmaktadır. Çalışma kapsamında bu yöntemlerden en çok kullanımı olan “Sıradan kriging (Ordinary kriging)” yöntemi kullanılmıştır.

Çalışma alanında örnekleme yapılan yeraltı su noktaları inceleme alanında düzensiz dağıldığı için ölçüm değerlerinin mekânsal değişimini tahmin etmede klasik yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle ölçüm alınmayan noktaların değerleri tahmin edilirken; ağırlıkları, modellenen yarivariograma bağlı tahmin sunan kriging interpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

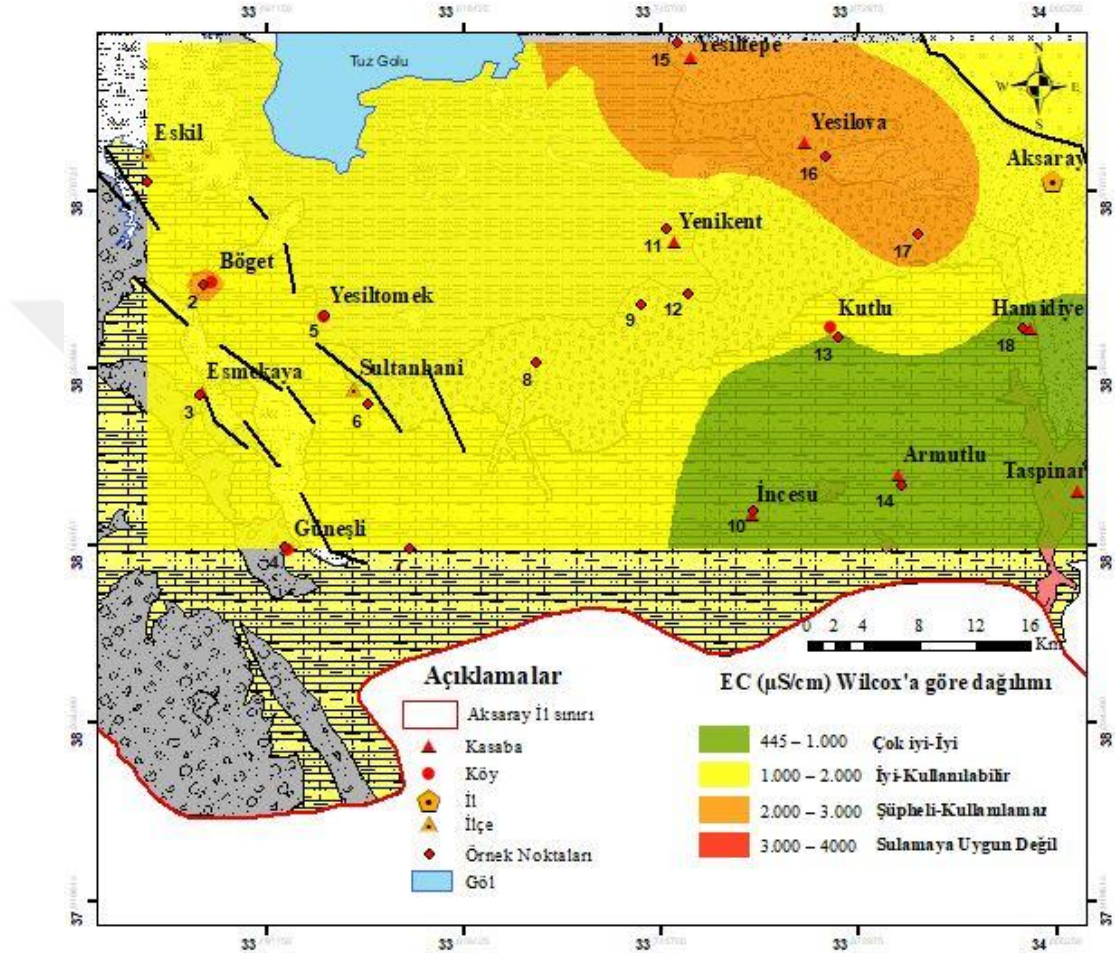
Çalışma kapsamında yarivariogram modelleri oluşturulan hidrokimyasal parametrelerin model fonksiyonları temel alınarak kriging interpolasyon yöntemi uygulanmış ve haritaları oluşturulmuştur. Çalışma alanına ait hidrokimyasal parametrelerin histogram grafikleri, trend analizleri, yarivariogram modelleri ve kriging interpolasyon yöntemi ile haritalarının oluşturulması için ArcGIS 10.5 yazılımının “Geoistatistik analist (Geostatistical Analyst)” ve “Mekânsal analiz (Spatial analysis)” modülleri kullanılmıştır.



Şekil 3.117 Çalışma alanına ait kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş EC dağılım haritası

Çalışma alanında kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş EC dağılım haritası incelendiğinde EC değerlerinin 485-4810 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Tuz Gölü'ne yaklaştıkça ve topografik yükseklik azaldıkça EC değerinde artış gözlenmektedir. Sultanhanı-Aksaray arasındaki hattın kuzeyi ile Tuz Gölü'nün güney sınırı ve güney doğu bölgelerinde EC değerinin yüksek olduğu görülmektedir. Dağılım haritası, yarıvariogram modelleri ile birlikte oluşturulmuş trend analizleri (Şekil 3. 102-110.) ile uyum göstermektedir. EC değeri yeraltı sularının yapısındaki iyon içeriği ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Önceki bölümlerde gerçekleştirdiğimiz su kimyası değerlendirmeleri göz önünde bulundurularak EC değerinin; Tuz Gölü sularının yeraltı sularına karışım yaptığı bölgelerde yükseldiği sonucuna ulaşabiliriz. Tuz Gölü'nün oluşum mekanizmasına bağlı olarak tuz içeriği yüksek jeolojik birimler çalışma alanında mevcuttur. Yeraltı sularının bu jeolojik

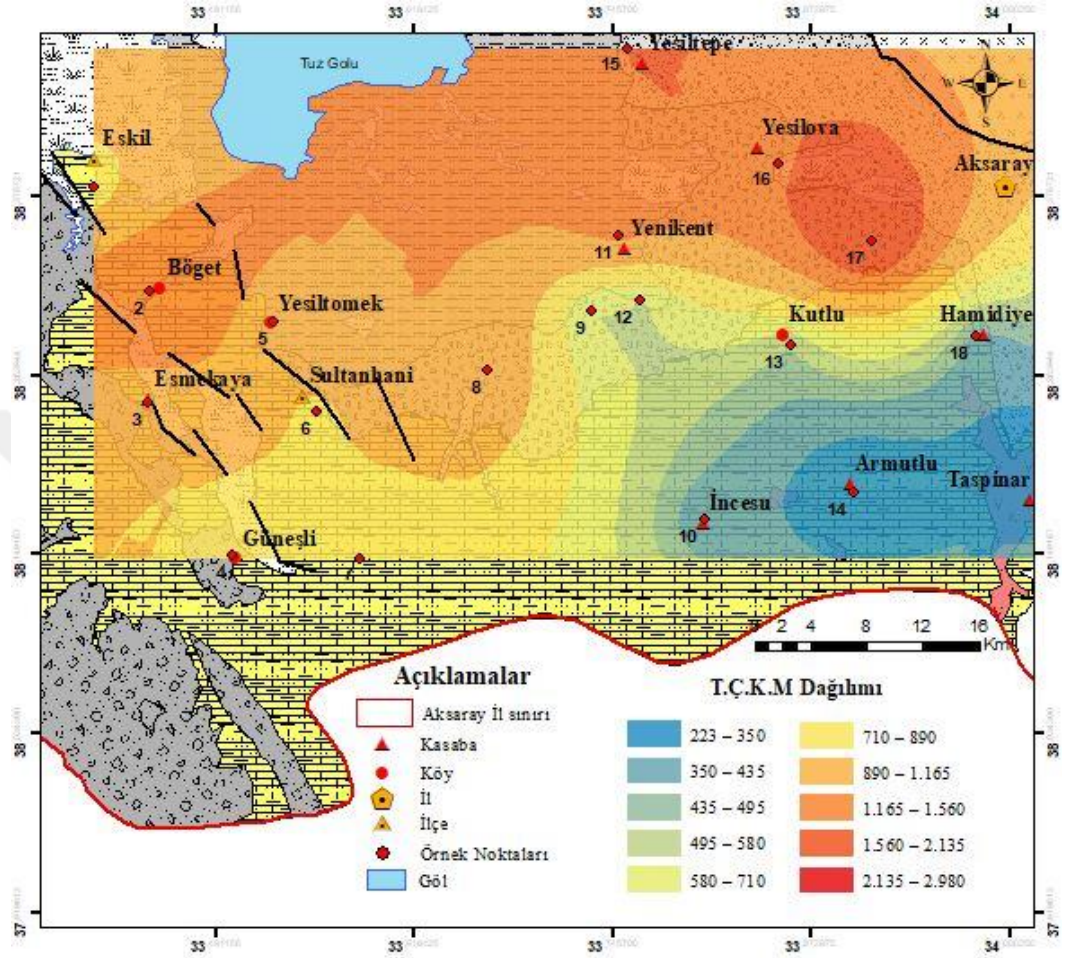
birimlerle teması sonucu tuzluluğunun artması muhtemeldir. Fakat aynı jeolojik birimlerde Sultanhanı-Aksaray hattının güneyinde EC değerinin düşüp kuzey hattında yükselmesi ayrıca Tuz Gölü'nün güney doğu bölgesinde yoğunlaşması birimlerden gelen tuzluluğun haricinde Tuz Gölü'nün karışım etkisinin göstergesidir.



Şekil 3.118 Wilcox'a göre suların EC sınıflandırma haritası

Çalışma alanında kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş EC dağılım haritası Wilcox'un sulamaya suyu sınıflandırmasında kullandığı sınır değerler kullanılarak yeniden sınıflandırılmıştır. Alanın güney doğusunda yer alan İncesu, Kutlu, Hamidiye ve Taşpınar bölgelerinde yeraltı suları sulama için “Çok iyi-İyi” aralığında uygundur. Sultanhanı ve çevresinden Aksaray bölgesine kadar olan geniş bir alanda EC değerine göre sulama suyu olarak kullanılabilir fakat sınır seviyededir. Tuz Gölü'ne yakın olan

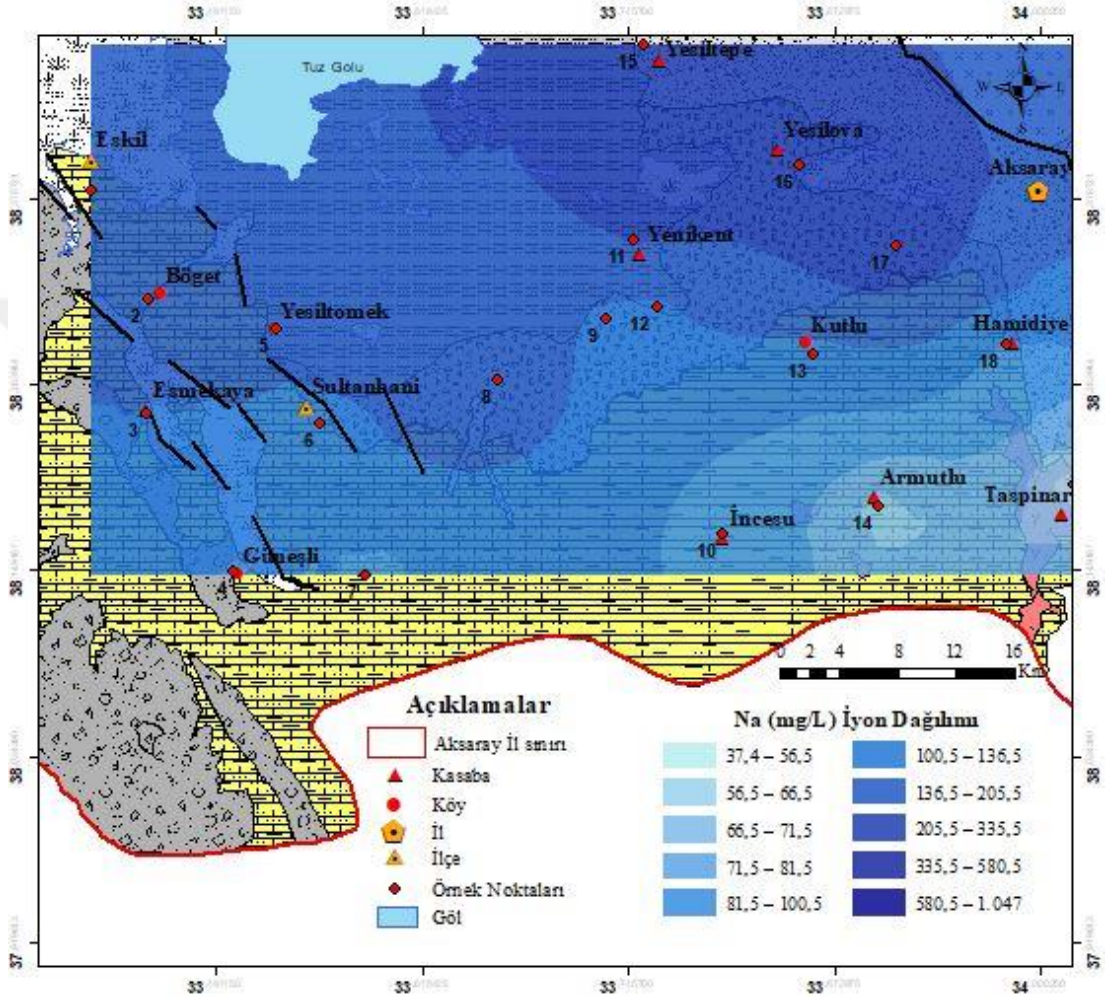
Yeşiltepe-Yeşilova-Ataköy çevresinde yeraltı sularının sulama suyu olarak kullanılamaz ve uygun değildir.



Şekil 3.119 Çalışma alanına ait kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş T.Ç.K.M dağılım haritası

Çalışma alanında kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş T.Ç.K.M dağılım haritası incelendiğinde T.Ç.K.M değerlerinin 223-2980 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Tuz Gölü'ne yaklaştıkça ve topografik yükseklik azaldıkça EC ile orantılı olarak T.Ç.K.M değerinde artış gözlenmektedir. Sultanhanı-Aksaray arasındaki hattın kuzeyi ile Tuz Gölü'nün güney sınırı ve güney doğu ve güney batı bölgelerinde T.Ç.K.M değerinin yüksek olduğu görülmektedir. T.Ç.K.M değeri yeraltı sularının çözdüğü madde miktarı arttıkça artış eğilimindedir. T.Ç.K.M değeri EC ile orantılı olarak karışım miktarının yükseldiği bölgelerde yükselmiştir. Çalışma alanının güney doğu bölgesinde yer alan İncesu-Kutlu-Armutlu-Hamidiye ve Taşpınar

bölgesinde yeraltı sularının beslenme alanına yaklaştıkça T.Ç.K.M değerleri düşüş göstermektedir. Sultanhanı-Aksaray düzleminin kuzeyine gidildikçe değer yükselme eğilimindedir. Yeşiltepe-Yeşilova-Ataköy bölgesinde T.Ç.K.M değeri EC değerinde olduğu gibi en yüksek değerine ulaşmaktadır.

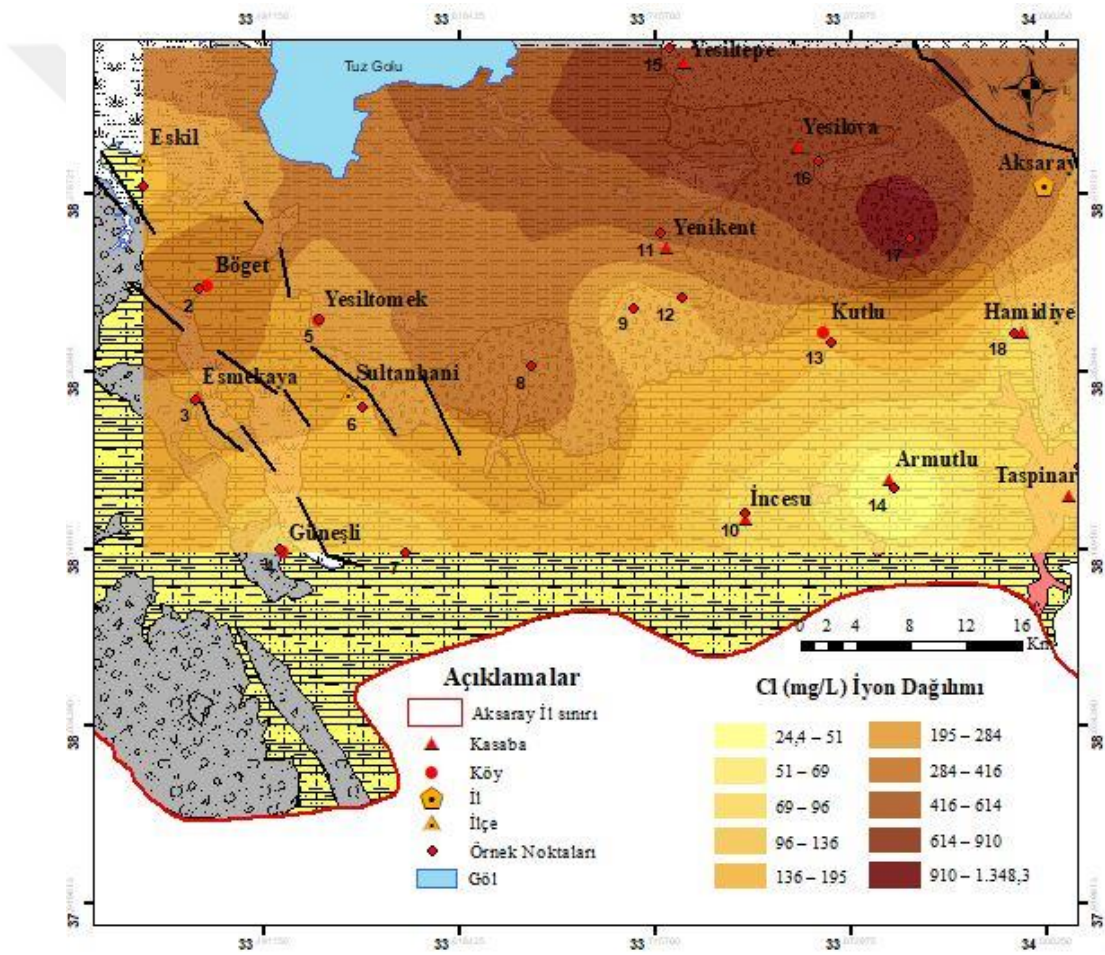


Şekil 3.120 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş Na iyonu dağılım haritası

Çalışma alanına ait yeraltı sularının Na iyon dağılım haritası incelendiğinde; Na iyon değerinin 37,4-1047 mg/L aralığında değişim gösterdiği görülmektedir. Bütün yeraltı sularının yapısında çözünürlüğünün yüksek olması sebebi ile az veya çok miktarlarda Na iyonu bulunur. Yeraltı sularının tuzluluğunu değerlendirmek için önemli bir parametredir. Sulama sularını sınıflandırırken doğrudan veya dolaylı olarak Na iyon miktarı kullanılır. Çalışma alanında Tuz Gölü'ne yaklaştıkça Na miktarı yükselirken uzaklaştıkça azalma eğilimi göstermiştir. Kireçtaşı birimlerinden alınan yeraltı

sularında Na miktarı genelde düşüktür. Bu yeraltı sularında Na iyonu genelde NaCl veya NaCO_3 şeklinde bulunur. Sultanhanı-Aksaray hattının güneyinde yer alan bölgenin jeolojik yapısı Cihanbeyli formasyonuna ait kireçtaşlarından oluştuğu için Na iyon miktarı düşükken, hattın kuzeyinde Tuz Gölü'ne yaklaştıkça yükselmektedir.

Özellikle Eski(1)-Böget(2)-Yenikent(11)-Ataköy(17)-Yeşilova(16)-Yeşiltepe(15) bölgelerinde yeraltı sularının hâkim katyonu durumundadır. Bölgesel olarak yeraltı suyu akım yönünü takiben Tuz Gölü'ne yaklaştıkça Na miktarında, diğer iyonlara oranla büyük artış gözlenmektedir.



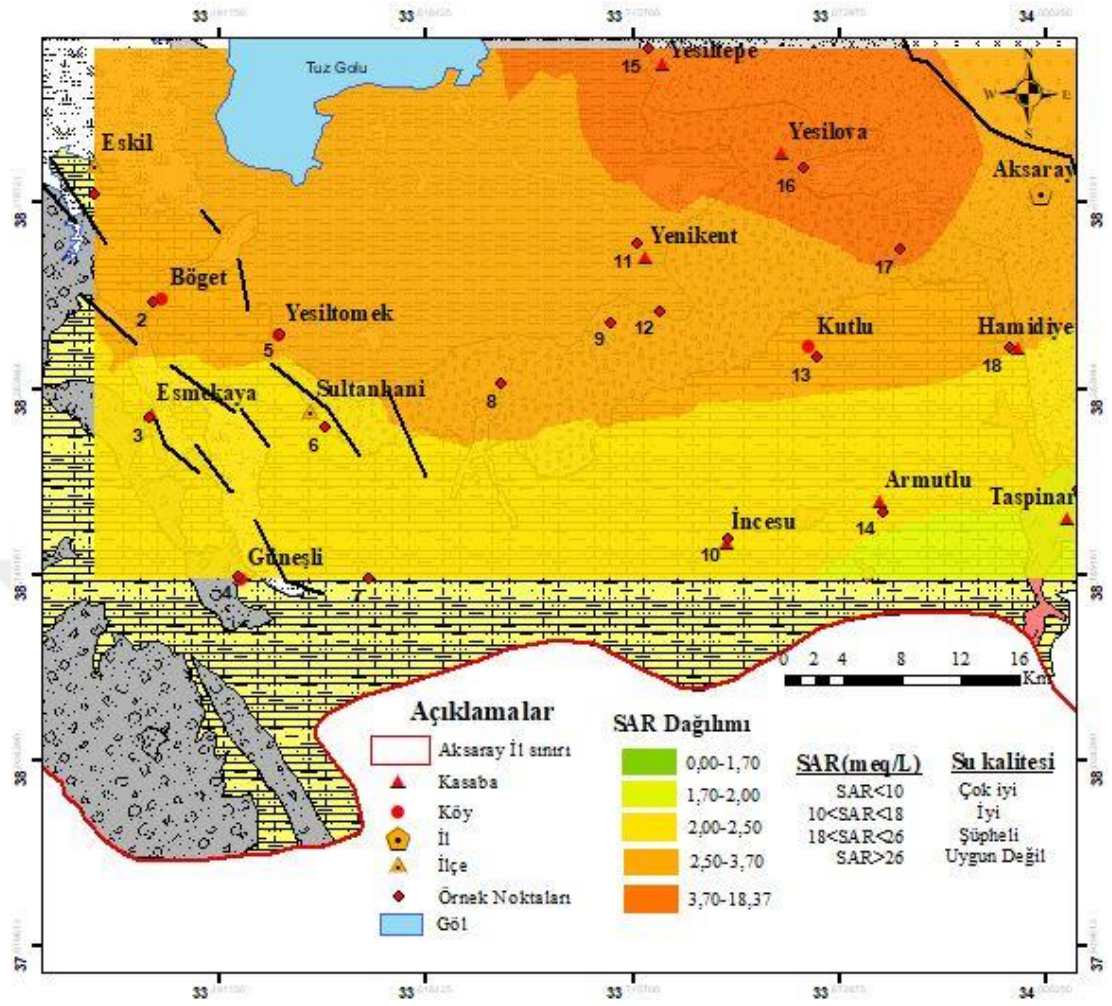
Şekil 3.121 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş Cl iyonu dağılım haritası

Çalışma alanına ait yeraltı sularının Cl iyon dağılım haritası incelendiğinde; Cl iyon değerinin 24,4-1348 mg/L aralığında değişim gösterdiği görülmektedir. Doğal kökenli suların içeriğinde en az bulunan iyon Cl iyonudur. Yeraltı sularındaki Cl iyonunun en

önemli kaynağı jeolojik birimlerin içindeki tuz bileşikleri ve tuz içeriği yüksek başka bir suyun Cl iyon miktarıdır. Cl içeren tuzlar suda en kolay çözünebilen tuzlardır. Bu nedenle özellikle yağış miktarı yüksek bölgelerde süzülme ve yıkama ile yüzeydeki ve birim içerisindeki Cl çözünerek taşınırlar. Kireçtaşı birimlerinde kalker içerisinde Cl iyonu verebilecek mineral içeriği olmadığı için Cl miktarında çok az artış gözlemlenir (Doğan, 1981). Cl iyon miktarı yüksek olan sularda Na iyon miktarı da fazladır. Cl iyonu veren en önemli bileşik NaCl bileşiğidir.

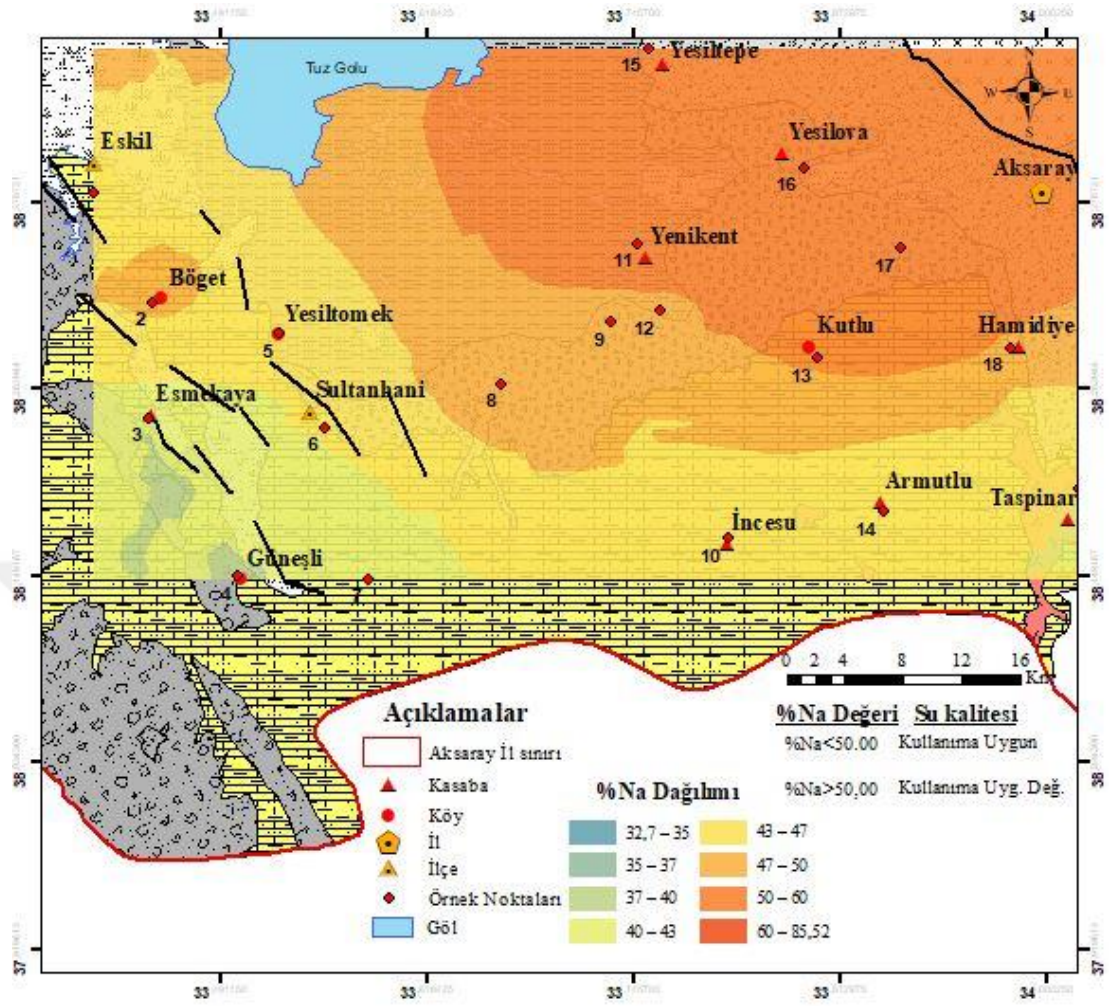
Yeraltı sularında bulunan diğer iyonların büyük çoğunluğu yeraltı sularının akışı hareketi boyunca artış veya azalış göstermesine karşılık Cl iyonu sadece artış gösterir. Yeraltı suları yapısındaki Cl iyonlarını uzaklaştıramadıkları için hareket ettikçe zenginleşme eğilimindedir. Bu özelliğinden dolayı Cl iyon konsantrasyonunun zamana bağlı değişimleri izlenerek beslenme alanı ile olan uzaklık ve karışım noktalarının anlaşılmasında önemli bir parametredir.

Çalışma alanında oluşturulmuş Cl iyonu dağılım haritasını incelediğimizde; Cl iyon miktarının çok yüksek bir aralıkta değişim gösterdiğini görmekteyiz. Özellikle Tuz Gölü'nün güney ve güney doğu bölgesinde Cl iyon miktarı yüksek seviyelerde görülmektedir. Çalışma alanının güney, güney-batı ve güney doğu bölgelerinde yer alan Güneşli(4), Sultanhanı güneyi(7), İncesu(10), Armutlu(14), Taşpınar(19) kesiminde Cl iyon miktarı 24,5-200 mg/L aralığında değişiklik göstermiştir. Diğer taraftan Yenikent(11), Kutlu(13), Ataköy(17), Yeşilova(16), Yeşiltepe(15) kesiminde 300-1348 mg/L aralığında değişim göstermiştir. Değişim miktarı ve mesafe göz önünde bulundurulduğunda kısa mesafede ciddi artışların gözlenmektedir. Tuz Gölü'nden bu bölgeye Cl iyon miktarını artıracak nitelikte tuz miktarı yüksek suların girişim yaptığının önemli göstergesi durumundadır.



Şekil 3.122 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş SAR dağılım haritası

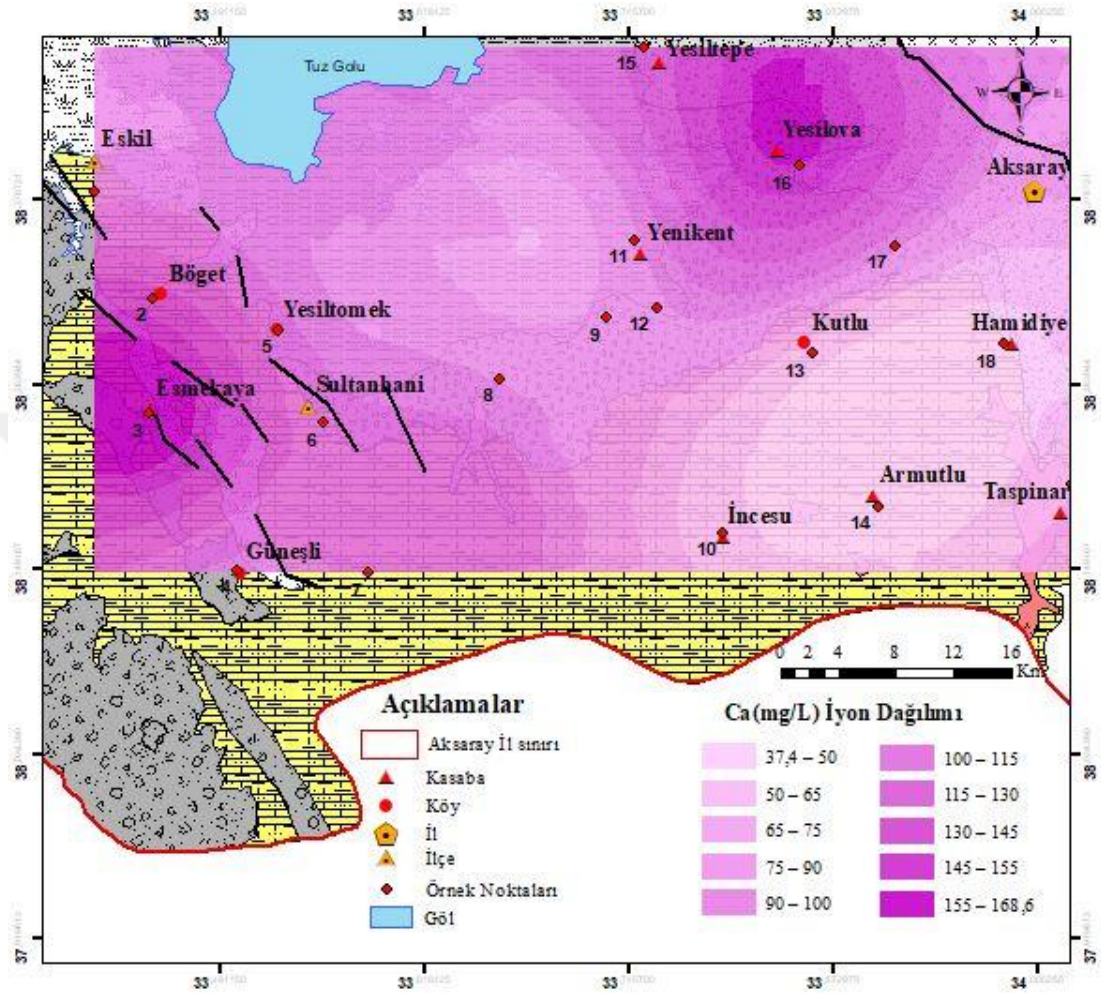
Çalışma alanına ait yeraltı sularının SAR değerleri göre kullanım özellikleri sınıflandırılmış ve kriging interpolasyon tekniğiyle dağılım haritası oluşturulmuştur. Harita oluşturulurken SAR değerlerinde küçük değişimleri inceleyebilmek için sınıf aralığı düşük tutulmuştur. Harita incelendiğinde; SAR değerine göre yeraltı sularının kalitesi güneyden kuzeye gidildikçe değişmektedir. Fakat SAR sınıflandırmasına göre çalışma alanının büyük bölümünde SAR değeri 10'un altında olduğu için su kalitesi "Çok iyi" sınıfta yer almaktadır. Çalışma alanında en yüksek SAR değeri 3,70-18,37 aralığında EC, T.Ç.K.M, Na ve Cl değerlerinin de yüksek olduğu Yeşiltepe-Yeşilova-Ataköy bölgesinde gözlenmiştir. SAR değeri tuzluluğun artış gösterdiği bölgelerde yükselme eğilimi göstermiştir. En düşük ise Armutlu-Taşpınar bölgesinde gözlenmiştir.



Şekil 3.123 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş %Na dağılım haritası

Çalışma alanına ait yeraltı sularının %Na değerlerine göre kullanım özellikleri sınıflandırılmış ve kriging interpolasyon tekniğiyle dağılım haritası oluşturulmuştur. %Na değerine göre sınıflandırma kriteri 2 sınıfa ayrılmaktadır. %Na değeri 50'nin altında ise "Kullanıma uygun", 50'nin üzerinde ise "Kullanıma uygun değil" şeklinde sınıflandırılmaktadır. Harita oluşturulurken SAR dağılımı haritasında olduğu gibi %Na değerlerinde de küçük değişimleri inceleyebilmek için sınıf aralığı düşük tutulmuştur. Çalışma alanına ait yeraltı sularının %Na değeri dağılımı incelendiğinde; %Na değerinin 32,7-85,52 aralığında değişim gösterdiği görülmektedir. Çalışma alanında ki yeraltı suları %Na değerine göre sınıflandırıldığında Eskişehir-Sultanhanı-İncesu-Armutlu-Taşpınar hattı ve çevresinde yeraltı suları kullanıma uygundur. Yeşiltepe-Yeşilova-Ataköy-Aksaray sınırları içerisinde kalan bölgede yeraltı suları

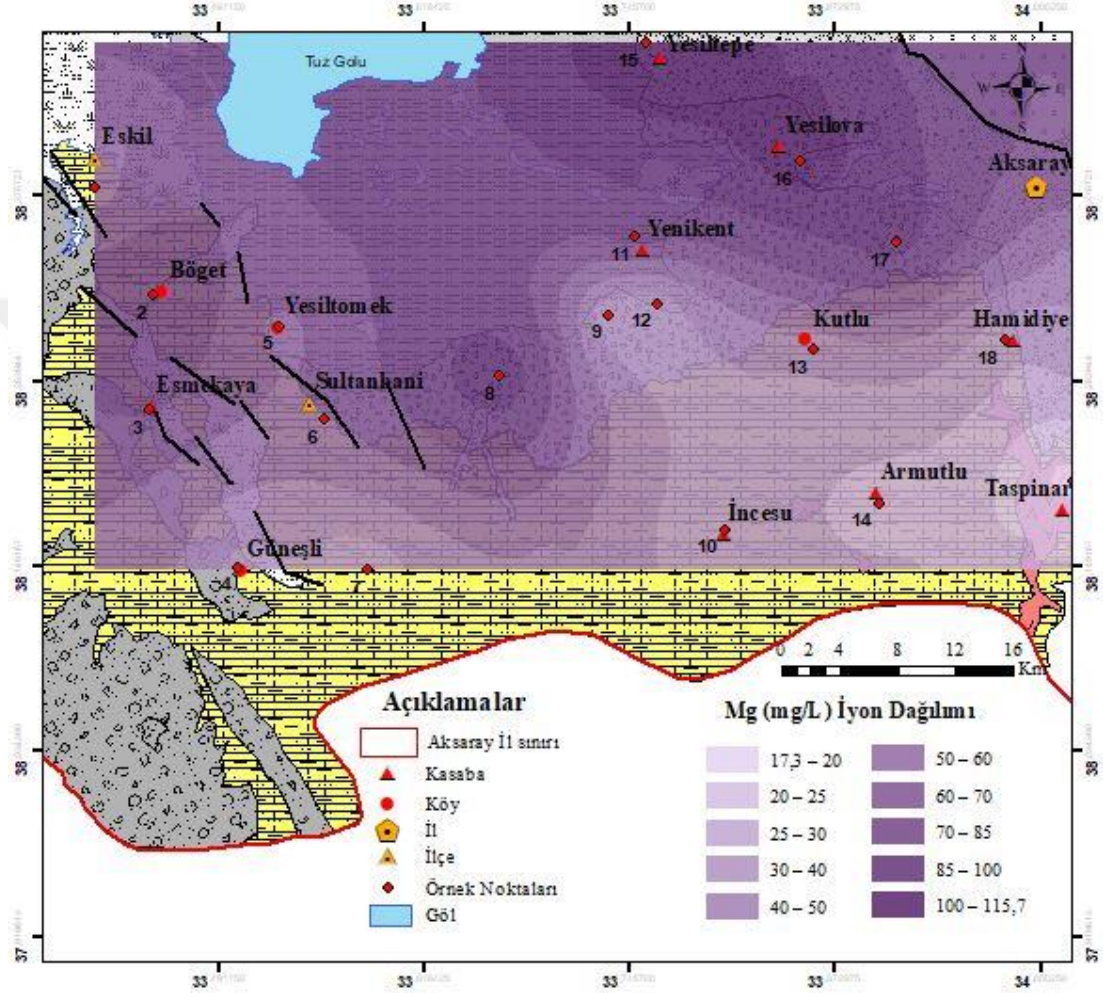
%Na değerine göre kullanıma uygun değil olarak sınıflanmaktadır. Sultanhanı-Hamidiye arasında kalan bölgede 47-50 arasında sınır değerler gözlenmiştir.



Şekil 3.124 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş Ca iyonu dağılım haritası

Yeraltı sularının Ca iyonu dağılım haritası incelendiğinde; Ca iyon değeri 37,4-165,6 mg/L aralığında değişim göstermektedir. Çalışma alanının batı, güney batı bölgesinde hâkim iyon konumundadır. Ca iyonunun özellikle Cihanbeyli formasyonuna ait kireçtaşı birimlerinin geniş yayılım gösterdiği bölgelerde yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Tuz Gölü'nün güney batı bölgesinde yeraltı sularında bulunma miktarı yüksek olsa da su tipini belirleyici hâkim iyon konumunda değildir. Bu bölge; yeraltı sularının hareket yönünde en düşük topografik yüksekliğe sahip olduğu için yeraltı sularının hareketi sırasında çözerek yapısına kattığı Ca iyonu miktarı yüksektir.

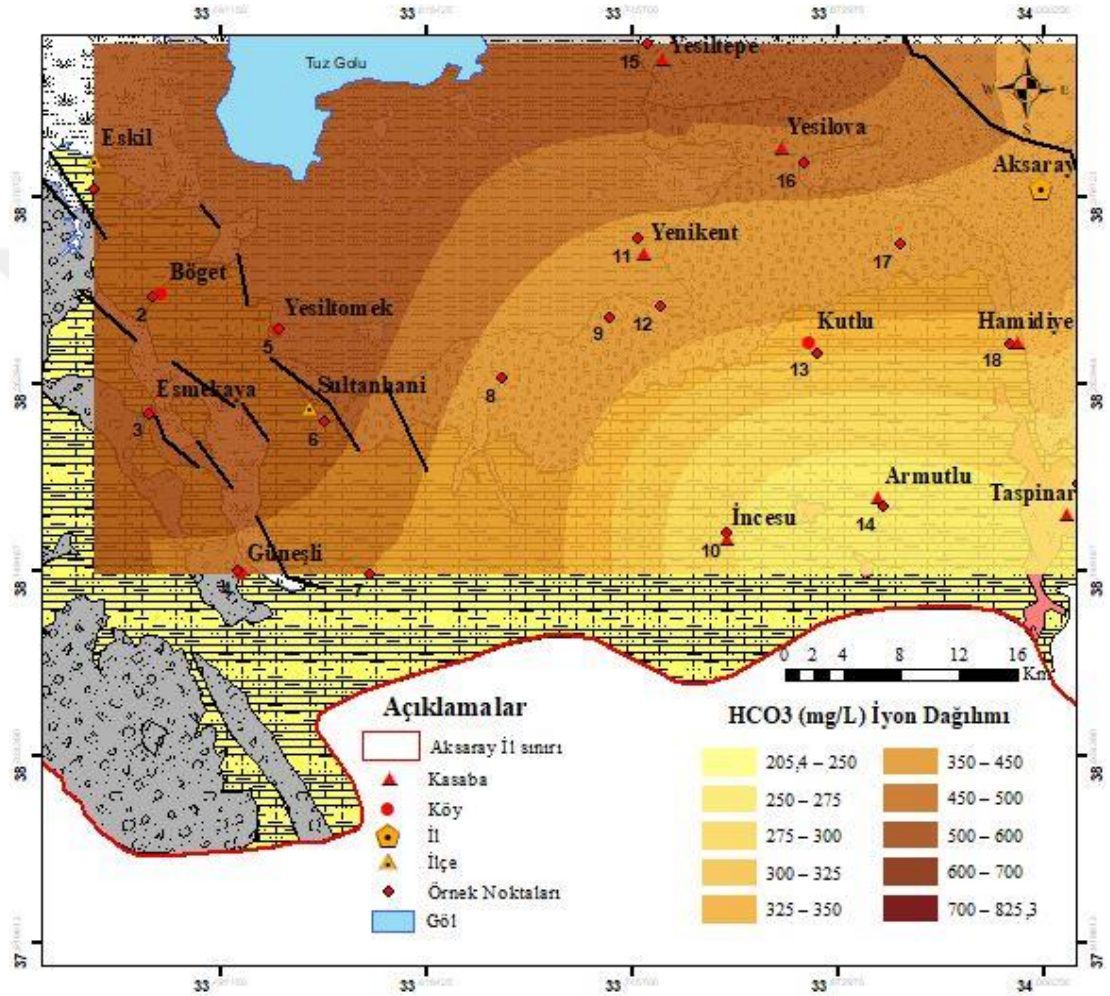
Çalışma alanının güneyinde yer alan Taşpınar-Armutlu-İncesu bölgelerinde Ca iyon miktarı düşük olmasına rağmen bu bölgede su tipini belirleyen iyon konumundadır. Ca iyon miktarının bu bölgede düşük olması; bölgenin beslenme alanına yakınlığından dolayı suların yeraltında kalış süresinin kısa olması ile ilişkilidir.



Şekil 3.125 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş Mg iyonu dağılım haritası

Yeraltı sularının Mg iyonu dağılım haritası incelendiğinde; Mg iyon değeri; 17,3-115,7 mg/L arasında değişim göstermiştir. Çalışma alanında Ca iyonuna benzer bir dağılım göstermiştir. Ca/Mg katyon oranlarına göre detaylı değerlendirme hidrokimyasal analiz kısmında yapılmıştır. Hidrokimyasal analiz göz önünde bulundurularak çalışma alanında koyu renkli bölgelerde Mg oranının yüksek oluşu, kireçtaşlarının dolomit içeriklerine ve Mg tuzlarının çözünme miktarının fazla oluşuna bağlanmaktadır. Özellikle Yeşiltepe-Yenikent-Böget yerleşkelerinin bulunduğu

bölgenin konumu itibari ile Tuz Gölü'ne yakınlığı ve jeolojik yapısı birimlerden çözünen Mg iyon miktarını açıklamaktadır. Mg iyon miktarının düşük olduğu bölgelerde ise fasiyes özelliğini belirleyecek miktarda bulunma oranına sahiptir. 10-14-19 numaralı örneklerin yer aldığı Taşpınar-Armutlu-İncesu bölgesinde Ca iyonu ile birlikte hâkim iyon konumundadır.



Şekil 3.126 Çalışma alanına ait Kriging interpolasyon yöntemi ile oluşturulmuş HCO₃ iyonu dağılım haritası

Çalışma alanına ait yeraltı sularının HCO₃ iyon dağılım haritası incelendiğinde; HCO₃ iyon değerinin 205,4-825,3 mg/L aralığında değişim gösterdiği görülmektedir. Yeraltı sularına alkalilik kazandıran HCO₃ anyonu bütün doğal sularda bulunmaktadır. Kalsit ve dolomit içerikli karbonatlı kayaçlarla temas eden yeraltı suları, doygunluğa erişene kadar HCO₃ çözme eğilimindedir. HCO₃ kireçtaşı birimlerinden sağlanan yeraltı sularının başlıca anyonudur. Çalışma alanının güney-güney doğu-güney batı kısmında

Tuz Gölü’nden uzak bölgelerde yer alan yeraltı sularında hâkim katyon durumundadır. Yeraltı sularının akım yönü boyunca artış eğilimi göstermiştir. Fakat güney bölgelerde az miktarda bulunmasına rağmen hâkim katyon durumunda iken yeraltı sularının akım yönü boyunca bulunma miktarı artsa dahi hâkim katyon özelliğini kaybetmektedir.

Yeraltı sularının tuzluluğunun değerlendirilmesi, suların tuzluluk kaynaklı kullanım şeklinin incelenmesi ve tuzlanmayı etkileyecek faktörlerin anlaşılabilmesi için EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR ve %Na değerleri kullanılmaktadır. Tahmin haritaları incelendiğinde EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR ve %Na için benzer şekilde dağılım gösterdiği görülmektedir. EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR ve %Na değerleri çalışma alanının güneyinden Tuz-Gölü’ne doğru artış göstermektedir. Özellikle Böget, Yeşiltepe, Yeşilova, Ataköy çevresinde aşırı yükseliş gösterdiği anlaşılmıştır. Bu durumun sebebi 2 şekilde açıklanabilir.

İlk olarak Böget, Yeşiltepe, Yeşilova, Ataköy Tuz Gölü’ne en yakın konumda yer almaktadır. Yeraltı su seviye eğrileri haritasına bakıldığında (Şekil 3. 34-35) ise Tuz Gölü ile Böget, Yeşiltepe, Yeşilova, Ataköy’ün yerleşim kotları birbirine çok yakın seviyededir. Bölgede aşırı yeraltı suyu çekiminden kaynaklı düşen yeraltı su seviyesi neticesinde Tuz Gölü’nden yeraltı sularına tuzlu su girişi yapıldığı söylenebilir.

İkinci olarak ise Tuzgölü havzasının gelişimini şekillendiren tektonik rejimin etkisi ile oluşmuş Tuz Gölü fayı Yeşiltepe, Yeşilova, Ataköy’ bulunduğu bölgeye çok yakındır. Eskişehir-Sultanhanı fayı ise Eski-Böget-Sultanhanı hattı boyunca yer almaktadır. Sultanhanı ve çevresinde gözlenen Tuz domları ile Tuz Gölü fayının yer aldığı bölgelerde tuzlu su çıkışları Oligo-Miyosen birimlerin etkisi ile geliştiği önceki çalışmalarda ortaya konmuştur. EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR ve %Na değerlerinin Böget, Yeşiltepe, Yeşilova, Ataköy ve çevresindeki birbirine paralel aşırı değişimi; Tuz Gölü fayı ve Eskişehir-Sultanhanı fayının etkisi ile Oligo-Miyosen birimlerden gelen tuzluluk artışı ile açıklanabilir.

4 TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Sultanhanı (Aksaray) ovası ve çevresindeki yeraltı sularının hidrojeolojik, hidrokimyasal ve izotopik özellikleri araştırılmıştır. Tuz Gölü'nün güney sınırı ile komşu olan çalışma alanında Kuvaterner, Pliyo-Kuvaterner birimler, Miyo-Pliyosen yaşlı birimler yüzey vermektedir. Alanın doğu ve güney doğu bölümleri Paleozoik-Mesozoik yaşlı birimler, ofiyolit karmaşıkları ve Hasandağı volkanizması etkisi ile oluşmuş magmatik birimler yer almaktadır.

Çalışma kapsamında inceleme alanını temsil eden 5 adet M.G.İ. yağış istasyonundan alınan 1970-2021 yılları arasındaki 51 yıllık veriler değerlendirilmiştir. Bölgede yıllık ortalama yağış miktarı 323,98 mm, yıllık ortalama sıcaklık ise 11,7 °C olarak hesaplanmıştır. Thornthwaite ve Penman yöntemleri kullanılarak su bilançoları oluşturulmuştur. Bölgede gerçekleşen potansiyel ve gerçek buharlaşma-terleme miktarları hesaplanmıştır. Çalışma alanında Penman yöntemine göre yıllık ortalama potansiyel buharlaşma-terleme miktarı (E_t) 889,50 mm, yıllık ortalama gerçek buharlaşma-terleme miktarı (E_g) 371,37 mm olarak hesaplanmıştır. Aylık ortalama en yüksek gerçek buharlaşma değeri 88,14 mm ile Nisan ayında, en düşük ise 6,37 mm ile Ağustos ayında meydana gelmiştir. Yıllık ortalama gerçek buharlaşma-terleme (ET_g) 298,10 mm olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanının yıllık rezerv su miktarı 324,35 mm iken yıllık dönemde eksik su miktarı 518,22 mm, fazla su miktarı ise 16,28 mm olarak hesaplanmıştır. Rezerv su miktarının sıfır değere ulaşması, aylık ortalama gerçek buharlaşma değerinin en fazla olduğu Mayıs ayında gerçekleşmiştir. Yıllık yeraltı suyuna akış ortalama değeri 16,27 mm ve yeraltı suyuna en çok akış 8,14 mm değeri ile Ocak ayında gerçekleşmiştir.

Çalışma alanı incelendiğinde beslenme süreci temel olarak yağışlardan süzülen sularla, sistemden çıkan su miktarının ise buharlaşma-terleme ve yeraltı suyundan tarımsal ve kullanım suyu ile bağlantılı olduğu anlaşılmıştır. Çalışma alanı ve çevresinde sisteme giren su miktarı; $89,28 \times 10^6$ ve sistemden çıkan su miktarı; $280,06 \times 10^6$ olarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanında içme, sulama ve kullanım amaçlı kullanın yeraltı sularının sağlandığı akifer birimleri; Miyo-Pliyosen yaşlı kireçtaşları ve Kuvaterner, Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimlerdir. Bölgenin stratigrafik birimlerinin akifer özellikleri incelenerek geçirimli, geçirimsiz birimler sınıflandırılmıştır. Çalışma alanındaki yeraltı sularının seviye değişimleri ve akım sistemi değerlendirilmiştir. Yeraltı sularının; çalışma alanının güney, güney batı, güney doğu kesiminde yer alan yüksek kotlardan Tuz Gölü'ne doğru hareket ettiği anlaşılmıştır.

Çalışma alanını temsil edecek nitelikte ki noktalardan elde ettiğimiz veriler ışığında 2000-2020 yılları arasında aylık dönemlerde ölçülmüş olan statik yeraltı su seviyeleri grafik haline getirilmiştir. Grafikler incelendiğinde 20 yıllık süreçte statik yeraltı su seviyesinde düzenli bir düşüş gözlenmiştir. 20 yıllık süreçteki düşüm seviyesi 20-25m aralığında değiştiği anlaşılmıştır.

Mayıs 2019, Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde arazi ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Fiziksel özellik dönemsel ortalama parametreleri; Sıcaklık (T): 12,84-20,66 °C, pH: 7,35-7,44, Elektriksel İletkenlik (EC): 1485-1499 μ S/cm, Toplam çözülmüş katı madde (T.Ç.K.M):933,74-1048,11 mg/L, Sertlik (S): 431,69-443,94 CaCO₃ aralığında ölçülmüştür.

Yeraltı sularının fasiyes özelliklerini belirlemek ve sınıflandırmak için kimyasal parametreleri kullanılarak Piper, Durov ve Yarı logaritmik (Schoeller) diyagramları oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki yeraltı sularının Na-Cl, Na-HCO₃, Ca-HCO₃, Mg-HCO₃ fasiyes özelliği gösterdiği belirlenmiştir.

Çalışma alanı verileri Gibbs diyagramında incelenmiş ve alanın güneyinden Tuz Gölü'ne doğru yaklaştıkça, özellikle Tuzgölü formasyonu ve Alüvyon birimlerinden alınan örnekler “buharlaşma ve kristalizasyon baskın”, Tuz Gölü'nün tersi yönde alanın güney kısmına yaklaştıkça Cihanbeyli formasyonuna ait örneklerde ise “Kayaç-su etkileşimi baskın” alanında yer aldığı gözlenmiştir.

Çalışma alanındaki yeraltı sularının geçirdiği hidrojeokimyasal süreçler hakkında yorum yapabilmemiz doygunluk indisleri hesaplanmıştır. Alan içerisindeki yeraltı

sularının Aragonit, Kalsit ve Dolomit minerallerine doygunluk miktarı yüksek, Jips, Anhidrit ve Halit minerallerine doygunluk miktarı düşüktür.

Çalışma alanındaki yeraltı sularından içme suyu olarak kullanılan suların içilebilir özelliklerini değerlendirmek için Schoeller içilebilirlik diyagramı oluşturulmuştur. Schoeller içilebilirlik diyagramı verileri değerlendirildiğinde; 5 numaralı örnek noktasının “orta kaliteli sular”, 7, 10, 12, 13 numaralı örneklerin “iyi kaliteli sular”, 14 ve 19 numaralı suların ise “çok iyi kaliteli sular” sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Çalışma alanında içme suyu olarak kullanılan yeraltı sularının fizikokimyasal parametreleri ülkemizde içme suyu standartlarını belirleyen Türkiye İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (TS-266, 2005) ve Dünya sağlık örgütü (WHO, 2011) standartlarında müsaade edilen sınır değerleri ile karşılaştırma yapılmıştır. İçme suyu olarak kullanılan tüm noktaların fiziksel ve kimyasal parametreleri standartlara uygundur. Fakat Mayıs 2019 dönemine ait kirlilik parametreleri karşılaştırıldığında NO₂ (Nitrit) yönünden 14 numaralı içme suyu kuyusu ve NO₃ (Nitrat) yönünden 10, 12 ve 14 numaralı kuyularda standart değerini aştığı görülmüştür.

Çalışma kapsamında yeraltı sularının sulama amaçlı kullanımını değerlendirirken ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı ve Wilcox diyagramı kullanılmıştır. Çalışma alanındaki yeraltı sularının ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre %47’si C₃S₁ alanına, %22’si C₂S₁ alanına, %15’i C₃S₂ alanına, %11’i C₄S₂ alanına, %5’i ise C₄S₄ alanına yerleşmiştir. Alan içerisinde sulama amaçlı kullanılan suların %47’si Tuzlu ve az sodyumlu sular olarak çıkmıştır. Wilcox diyagramı sınıflandırmasına göre yeraltı sularının %47’si çok iyi - iyi, %22’si iyi - kullanılabilir, %26’sı şüpheli - kullanılamaz, %5’i ise sulamaya uygun değildir şeklinde sınıflanmıştır. Çalışma alanındaki sulama ve kullanım amaçlı suların % 69’u kullanılabilir sınıfta yer alırken %31’i kullanılamaz sınıfta yer almıştır.

Çalışma kapsamında yeraltı sularında izotop analizleri ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ^3H) gerçekleştirilmiştir. Bölgeden Ekim 2019 ve Mayıs 2020 dönemlerinde inceleme alanından toplanan su ve kar örneklerinde izotop analizleri gerçekleştirilmiştir. İzotop analizi sonuçlarına göre $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri Ekim 2019 döneminde su numunelerinde -8,47

ile -11,11, kar numunesinin $\delta^{18}\text{O}$ değeri -19,50 olarak ölçülmüştür. Aynı dönemde $\delta^2\text{H}$ içerikleri su numunelerinde -64,12 ile -75,49, kar numunesinin $\delta^2\text{H}$ değeri -138,81 olarak ölçülmüştür. Mayıs 2020 dönemine ait $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri; -8,35 ile -10,77, $\delta^2\text{H}$ içerikleri ise -64,48 ile -75,94 arasında değişim göstermiştir.

Bölgede örnekleme yapılan yeraltı suları Global Meteorik Su Doğrusu (GMSD) ve Adana Meteorik Su Doğrusu (AMSD) arasında dağılım göstermiştir. Çalışma alanına ait ^3H - EC dağılım grafiği oluşturulmuştur. 2, 8, 14, 17 numaralı suların 1950 öncesi sular grubunda, 15 numaralı sular 1950 öncesi ve sonrası yağışların etkisinde sub-modern sular (karışım) grubunda, K.N ve 9 numaralı sular ise 1950 sonrası yağışların etkisindeki güncel genç sular grubunda yer almaktadır.

Çalışma alanına ait ^3H - $\delta^{18}\text{O}$ dağılım grafiği oluşturulmuştur. Her iki örnek döneminde de 2,8 ve 14 numaralı örneklerin TU değeri 2,00 değerinin altındadır. Bu suların akifer ortamında kalış süreleri daha uzun ve derin dolaşımli sulardır. 15 ve 17 numaralı örneklerin TU değeri 3,00 değerinin altındadır. Bu sular da derin dolaşımli ve akifer ortamında kalış süresi uzun sulardır. Fakat bu suların TU değerleri dönemsel farklılık göstermiştir. Dolaşım süreleri ve akiferde kalış süreleri uzun olmasına rağmen bu sulara bir karışım söz konusudur. 9 numaralı örneğin ise Ekim 2019 döneminde TU değeri 3,66 iken, Mayıs 2020 döneminde 6,51 olarak ölçülmüştür. Yeraltında dolaşım süresi ve akifer ortamında kalış süresi diğer tüm örneklerle oranlar kısadır. Ayrıca bulunduğu yer bakımından beslenme kotlarına yakın ve sık dolaşımli yeraltı suyudur. Derin dolaşımli ve yaşlı suların fazla olması beslenme miktarının düşük, Genç suların fazla olması ise beslenme miktarının yüksek olduğuna işaret eder. Çalışma alanında kullanılan yeraltı sularının büyük çoğunluğu yaşlı ve derin dolaşımli sulardan oluştuğu bu sebepten dolayı yeraltı sularının beslenme miktarının zayıf olduğu ortaya çıkmaktadır.

Çalışma kapsamında inceleme alanında örneklediğimiz noktaların ana iyon kimyasını oluşturan hidrokimyasal parametrelerin birbiri ile ilişkilerini ortaya koymak adına korelasyon analizi yapılmıştır. Örnekleme yapılan tüm dönemlerde EC değeri ile Ca iyonu haricinde tüm iyonlar kuvvetli korelasyon göstermiştir. Fakat en yüksek korelasyon değeri EC-Na ($r = 0,972-0,976$), EC-Cl ($r = 0,956-0,959$) ve EC-T.Ç.K.M

($r = 0,989-0,996$) değişkenleri arasında gözlenmiştir. İyonların birbiri ile ilişkilerine bakıldığında ise $Mg-HCO_3$ ($r = 0,821-0,842$), $Na-Cl$ ($r = 0,967-0,969$) değişken çiftlerinin değerleri doğru orantılı kuvvetli korelasyon vermiştir. $Ca-HCO_3$ ($r = 0,685-0,753$) değişken çifti ise doğru orantılı orta derecede korelasyon vermiştir. $Na-Cl$ iyonlarının korelasyon değerlerinin yüksekliği tuzluluk miktarının yüksekliğini işaret etmektedir. Yeraltı sularının iyon bileşenleri suların çözücülüğü sayesinde birçok hidrokimyasal süreçten (ayırışma, çökeltme, buharlaşma, iyon değişimi) etkilendiği için yapısına kattığı iyon miktarı arttıkça EC ve T.Ç.K.M değeri de artmaktadır.

Hidrojeolojik değerlendirme ve tanımlayıcı istatistiksel değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda belirlediğimiz parametrelerin konumsal verilerine ait değişkenlerin yarıvariogram modelleri oluşturulmuş ve Trend analizleri yapılmıştır.

Çalışma kapsamında seçilen hidrokimyasal parametrelerin çalışma alanındaki dağılımını mekânsal olarak değerlendirmek için Trend (Eğilim) analizi yapılmıştır. Trend analizi diyagramı; çalışma alanını güney bölgesinden Tuz Gölü'ne doğru gösterir biçimde oluşturulmuştur. Trend analizi diyagramına bakıldığında; EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR ve % Na değerleri çalışma alanının güney bölgesinden (Güneşli-İncesu-Taşpınar) Tuz Gölü'ne yakın olan kuzey batı (Yeşiltepe-Yeşilova-Ataköy) bölgesine doğru artış göstermektedir. Özellikle Yeşilova-Yeşiltepe-Ataköy bölgesinde en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Ca, HCO_3 değerleri çalışma alanı genelinde diğer parametrelere oranla yüksek olmasına rağmen çalışma alanının batı (Eskil-Eşmekaya-Güneşli) bölgesinden doğusuna (Yeşiltepe-Yeşilova-Ataköy) bölgesine doğru azalma eğilimi göstermektedir.

Çalışma kapsamında oluşturulmuş Yarıvariogram modelleri incelendiğinde; EC, T.Ç.K.M, Na, Cl ve %Na değerleri için logaritmik dönüşümlü veri tipinde Üssel (Exponential) yarıvariogram modeli, SAR değerleri için logaritmik dönüşümlü Küresel (Spherical) yarıvariogram modeli, Mg için normal veri tipinde Üssel (Exponential) yarıvariogram modeli uygulanmıştır. Ca ve HCO_3 değerleri için normal veri tipinde Gauss (Gaussian) yarıvariogram modeli, modeli uygulanmıştır. Diyagramlar incelendiğinde küresel yarıvariogram model çizgisi etrafında dağılan deneysel yarıvariogram noktalarının uyumlu olduğu görülmüştür.

Çalışma kapsamında yarıvariogram modelleri oluşturulan hidrokimyasal parametrelerin model fonksiyonları temel alınarak kriging interpolasyon yöntemi uygulanmış ve haritaları oluşturulmuştur. Tahmin haritaları incelendiğinde EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR ve %Na için benzer şekilde dağılım gösterdiği görülmektedir. EC, T.Ç.K.M, Na, Cl, SAR ve %Na değerleri çalışma alanının güneyinden Tuz-Gölü'ne doğru artış göstermektedir. Özellikle Böget, Yeşiltepe, Yeşilova, Ataköy çevresinde aşırı yükseliş gösterdiği anlaşılmıştır.

Çalışma kapsamında inceleme alanındaki yıllar içerisinde giderek azalan ve hayati önem taşıyan yeraltı sularının hidrojeolojik, hidrokimyasal ve izotopik özellikleri tüm yönleri ile incelenmiş, modellenmiş ve haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışma Tuz Gölü'nün güney alt havzasında ileriye dönük gerçekleştirilmesi düşünülen yeraltı sularının kullanım politikalarına ışık tutacaktır.

5 KAYNAKÇA

- Agalede, H. (1954). Tuz Gölü'nün batı ve güneybatı kenarlarının jeolojik etüdü: MTA Raporu Derleme no. 2371 (Yayınlanmamış)
- Akgök, Y. Z., ve Şahiner, M. (2017). Dünyada ve Türkiye'de Lityum. MTA Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı Raporu.
- Akıl, B. (2008). İnönü-Eskişehir Fay Sistemi'nin Günyüzü (Eskişehir)-Yeniceoba (Konya-Türkiye) Arasındaki Bölümünün Yapısal Evrimi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Akkaya, E., Demir, A., ve Varank, G. (2011). Investigation of Threatened Leachate Reusing. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 149–155.
- Akmandor, N., ve Arıman, İ. (1953). Şereflikoçhisar Peçenek sulama suyunun artırılması hakkında rapor. D.S.İ. rapor no. 06/68 (Yayınlanmamış)
- Arıkan, Y. (1975). Tuzgölü havzasının jeolojisi ve petrol imkanları. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 85,1, 17–38.
- Arnold, T., ve Stephens, W. (1990). Hydrologic Characteristics of the Great Salt Lake, Utah, Report, 1847-1986. Washington, D.C.
- Arslan, V., ve Göçmez, G. (2007). Tuz Gölü Havzası'nda yeraltı suyunun yok oluşu (Eşmekaya-Sultan Hanı örneği). *Selçuk Üni. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 22, 1–2.
- Atabey, E., Tarhan, N., Akarsu, B., ve Taşkiran, A. (1987). Şereflikoçhisar, Panlı (Ankara) Acıpınar (Niğde) Yöresinin Jeolojisi. Rapor no. 81555, Ankara.
- Aydemir, A., ve Ates, A. (2006). Interpretation of Suluklu-Cihanbeyli-Goloren Magnetic Anomaly, Central Anatolia, Turkey: An integration of geophysical data. *Earth, Planet and Science*, 58,951-961
- Ayhan, A., Güzel, A., Küçükhöyük, M., ve Göçmez, G. (1993). Konya kapalı havzasında ve Tuz Gölü'nde kirliliğin tesbiti ve giderilmesi. Çevre Bakanlığı Projesi Ankara.
- Baltacı, A. G. (2007). Jeostatistiksel Kestirimde Lokal Belirsizliğin Değerlendirilmesinde Alternatif Yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Bayarı, C. S., Ozyurt, N. N., ve Kilani, S. (2009). Radiocarbon age distribution of groundwater in the Konya Closed Basin, central Anatolia, Turkey. *Hydrogeology Journal*, 17,2, 347–365.
- Bayarı, S., Özyurt, N., ve Kilani, S. (2005). Konya Kapalı Havzası Yeraltısuyunda Karbon-14 yaş dağılımı. II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, 147–168.
- Beekman, P. H. (1966). Hasandağı- Melendiz Dağı Bölgesindeki Pliosen ve Kuvaterner Volkanizma Faaliyetleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 66, 88–104.
- Bozdağ, A. (2010). Cihanbeyli (Konya) ve Çevresinin Hidrojeolojik, Hidrokimyasal ve İzotopik Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Canik, B. (2003). Hidrojeoloji Yeraltısularının Aranması, İşletilmesi, Kimyası. Ertem Yayınevi, Ankara.
- Canik, B., Afşin, M., ve Çelik, M. (2004). Cihanbeyli-Bolluk Gölü-Yapalı Hamamı ve Dolayındaki Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Hidrokimyasal ve İzotopik Açından İncelenmesi. Tübitak Proje no. 101Y026. Ankara.

- Çemen, İ., Güncüoğlu, C., ve Dirik, K. (1999). Structural evolution of the Tuzgölü basin in Central Anatolia. *The Journal of Geology*, 107,6, 693–706.
- Çetin, M. (1996). Jeostatistiksel Yöntem ile Nokta ve Alansal Yağışların Saptanması ve Stokastik Olarak Modellenmesi Örnek Havza Uygulamaları. Doktora Tezi Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Çifter, C., ve Sayın, M. (2002). İzotopların Hidrojeolojide Kullanımı. 1. İzotop Teknikleri Kullanılması Sempozyumu, Adana, 1-14.
- Clark, I. (1979). *Practical Geostatistics*. London, Britain, Trans-Atlantic Publications.
- Clark, I. D., ve Fritz, P. (1997). *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Environmental Isotopes in Hydrogeology 1 st edition, Boca Raton.
- Clark, I., ve Harper, A. W. (2000). *Practical Geostatistics (Geostokos)*. Scotland: Ecosse North America, LLC, Columbus, Ohio USA.
- Clarke, W. B., Jenkins, W. J., ve Top, Z. (1976). Determination of tritium by mass spectrometric measurement of ^3He . *The International Journal Of Applied Radiation And Isotopes*, 27,9,515-522
- Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133,3465, 1702-1703.
- Dansgaard, W. (1964). Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, (16), 436–467.
- Datta, P. S., ve Tyagi, S. K. (1996). Major ion chemistry of groundwater in Delhi area: Chemical weathering processes and groundwater flow regime. *Journal of the Geological Society of India*, 47,2,179-188.
- Davraz, A., ve Batur, B. (2021). Hydrogeochemistry characteristics of groundwater and health risk assessment in Yalvaç-Gelendost basin (Turkey). *Applied Water Science*, 11,67.
- Demir, S., ve Hepdeniz, K. (2018). Isparta İl Merkezi Yeraltısuyu Kalitesinin Jeostatistiksel Yöntemler Kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Haritalanması. *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 7,2, 757-771.
- Derman, A. S., Güney, H., ve Özkan, R. (2003). Orta Anadolu Baseni'nin evrimi ve petrol potansiyeli. Rapor no. 4463, Ankara.
- Derman, A. S., Rojay, B., Güney, H., ve Yıldız, M. (2000). Fay, Şereflikoçhisar - Aksaray Veriler, Zonunun Evrimi Hakkında Yeni Sedimentolojik Veriler. Haymana-Tuzgölü-Ulukışla Basenleri Uygulamalı Çalışma (Workshop), TPJD Bülteni, Özel Sayı, 5, 55–78.
- Dilaver, T. A., Aydın, B., Özyurt, N., ve Bayarı, S. (2018). Türkiye Yağışlarının İzotop İçerikleri(2012-2016). Ankara.
- Dirik, K., ve Erol, O. (2000). Tuzgölü ve Civarının Tektonomorfolojik Evrimi Orta Anadolu - Türkiye. Haymana-Tuzgölü-Ulukışla Basenleri Uygulamalı Çalışması, TPJD Bülteni, Özel Sayı, 5, 27–46.
- Dirik, K., ve Erol, O. (2003). Tectonomorphologic evolution of Tuzgolu and surrounding area, Central Anatolia-Turkey. *Turkish Association of Petroleum Geologists Special Publication*, 5, 27–46.
- Dirik, K., ve Güncüoğlu, C. (1996). Neotectonic Characteristics of Central Anatolia. *International Geology Review*, 38,9, 807-817.
- Doğan, L. (1981). Hidrojeolojide Su Kimyası. D.S.İ Yayınları, Ankara.
- Ekerin, S. (2007). Uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri entegrasyonu ile Tuz Gölü ve yakın çevresinin zamana bağlı değişim analiz. Doktora Tezi İstanbul

- Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İstanbul.
- Erol, O. (1969). Tuzgölü Havzasının Jeolojisi ve Jeomorfolojisi. M.T.A Jeoloji Etütleri Daire Başkanlığı, Rapor no. 4220, Ankara.
- Ersoy, A., ve Yünel, Y. T. (2008). Maden Rezerv Hesapları Klasik ve Jeostatistik Yöntemler. Nobel Kitapevi, Ankara.
- Gibbs, R. J. (1970). Mechanisms controlling world water chemistry. Science, 170,3692,1088-1090
- Göçmez, G., Kara, İ., Nalbantçılar, M. T., ve Güzel, A. (2005). Konya'daki Sıcak ve Mineralli Suların Hidrokimyasal Özellikleri. II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, 2, 121-132.
- Göncüoğlu, M. C. (1986). Orta Anadolu masifinin güney ucundan jeokronolojik yaş bulguları. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 105, 111-114.
- Göncüoğlu, M. C. (2011). Kütahya-Bolkardağ kuşağının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 142, 227-282.
- Göncüoğlu, M. C., Dirik, K., Erler, A., Yalınız, K., Özgül, L., ve Çemen, İ. (1996). Tuzgölü havzası batı kısmının temel jeolojik sorunları. T.P.A.O Rapor no: 3753, (Yayınlanmamış)
- Göncüoğlu, M. C., Erler, A., Toprak, G. M. V., Yalınız, K., Olgun, E., ve Rojay, B. (1992). Orta Anadolu Masifi'nin Batı Bölümünün Jeolojisi, Bölüm 2: Orta Kesim T.P.A.O Rapor no: 3535, (Yayınlanmamış).
- Göncüoğlu, M. C., Toprak, G. M. V., Kuşçu, I., Erler, A., ve Olgun, E. (1991). Orta Anadolu Masifinin Batı Bölümünün Jeolojisi, Bölüm 1: Güney Kesim T.P.A.O Rapor no: 2909, (Yayınlanmamış).
- Görür, N. (1981). Tuzgölü-Haymana havzasının stratigrafik analizi. İç Anadolu'nun Jeolojisi Sempozyumu, T.J.K. 35. Bilimsel ve Teknik Kurultayı Bildiriler Kitabı, 1,1, 60-65.
- Görür, N., Tüysüz, O., ve Şengör, A. M. C. (1998). Tectonic evolution of the central anatolian basins. International Geology Review, 40,9,831-850
- Güler, C., Thyne, G. D., McCray, J. E., ve Turner, A. K. (2002). Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. Hydrogeology Journal, 10, 455-474
- Gündoğan, İ., ve Helvacı, C. (1996). Geology hydrochemistry, mineralogy and economic potential of the Bolluk Lake (Cihanbeyli-Konya) and the Adjacent Area. Journal of Earth Sciences, 5, 91-104.
- Güner, İ. N. (2009). Yukarı Sakarya Havzasında yeraltı suyu yaş dağılımının çevresel izleyiciler ile incelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gürbüz, A. (2012). Tuz Gölü Havzası'nın Pliyo-kuvaterner'deki Tektono-Sedimanter Evrimi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gürbüz, A., ve Kazancı, N. (2014). Tuzgölü Havzası Kuvaterner Tortullarının Fasiyes Özellikleri ve Denetim Mekanizmaları. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 149, 1-18.
- Han, D., Liang, X., Jin, M., Currell, M. J., Han, Y., ve Song, X. (2009). Hydrogeochemical indicators of groundwater flow systems in the yangwu river alluvial fan, Xinzhou Basin, Shanxi, China. Environmental Management, 44, 243-255.
- Innocenti, F., Mazzuoli, G., Pasquare, F., Radicati di Brozola, F., ve Villiar, L. (1975).

- The Neogene calc-alkaline volcanism of Central Anatolia: Geo-chronological data on Kayseri-Niğde area. *Geological Magazine*, 112, 4, 349–360.
- Jankowski, J., ve Ian Acworth, R. (1997). Impact of debris-flow deposits on hydrogeochemical processes and the development of dryland salinity in the Yass River Catchment, New South Wales, Australia. *Hydrogeology Journal*, 5, 71-80.
- Johnston, K., Hoef, V. M. J., Krivoruchko, K., ve Lucas, N. (2001). Using Geostatistical Analyst. St. Charles, ESRI. URL adres, http://downloads2.esri.com/support/documentation/ao_/Using_ArcGIS_Geostatistical_Analyst.pdf Erişim tarihi: 21.10.2020.
- Jones, B. F., ve Deocampo, D. M. (2003). Geochemistry of saline lakes. In: Drever JJ, Holland HD, Turekian KK (eds) *Freshwater geochemistry, weathering and soils. Treatise on Geochemistry*, 5,13, 393–424.
- Jones, Blair F., Naftz, D. L., Spencer, R. J., ve Oviatt, C. G. (2009). Geochemical evolution of Great Salt Lake, Utah, USA. *Aquatic Geochemistry*, 15,95-121.
- Kavurmacı, M. (2013). Şereflikoçhisar Havzası Yeraltı Sularının Hidrojeolojik ve Hidrokimyasal Açidan İncelemesi ve Bölgedeki Tuzlusu Girişiminin Çevresel Etkilerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Kavurmacı, M. (2016). Evaluation of groundwater quality using a GIS-MCDA-based model: a case study in Aksaray, Turkey. *Environ Earth Science*, 75, 1258.
- Kavurmacı, M., Altaş, L., Kurmaç, Y., Işık, M., ve Elhatip, H. (2010). Tuz Gölü'nün Aksaray İli Yeraltı Sularına Etkisinin Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Değerlendirilmesi. *Ekoloji*, 19,77, 29-34.
- Kılıç, O., ve Kılıç, A. M. (2010). Salt crust mineralogy and geochemical evolution of the Salt Lake (Tuz Gölü). *Scientific Research and Essays*, 5,11, 1317-1324.
- Koçyiğit, A. (1991). Changing Stress Orientation in Progressive Intracontinental Deformation as Indicated by the Neotectonics of the Ankara Region. *TPJD Bülteni*, 3,1, 48-55.
- Kuldip-Singh, Hundal, H. S., ve Dhanwinder-Singh. (2011). Geochemistry and assessment of hydrogeochemical processes in groundwater in the southern part of Bathinda district of Punjab, northwest India. *Environmental Earth Sciences*, 64,1823-1833.
- Kürçer, A. (2012). Tuz Gölü Fay Zonu'nun Neotektonik Özellikleri ve Paleosismolojisi, Orta Anadolu, Türkiye. Doktora Tezi Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kürçer, A., Gökten, E. Y., ve Yeleser, L. (2012). Tuz Gölü Fay Zonu'nun Paleosismolojisi, Orta Anadolu. İçinde 65.Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara. 6–7.
- Lloyd, J. W., ve Heathcote, J. A. (1985). *Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater: an introduction*. Oxford, Clarendon Press, New York.
- Marko, K., Al-Amri, N. S., ve Elfeki, A. M. M. (2014). Geostatistical analysis using GIS for mapping groundwater quality: case study in the recharge area of Wadi Usfan, western Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 5239-5252.
- Matheron, G. (1970). *Random Structures and Mathematical Geology*. Review of The International Statistical Institute, 38,1, 1-11.
- Mayo, A. L., ve Loucks, M. D. (1995). Solute and isotopic geochemistry and ground water flow in the central Wasatch Range, Utah. *Journal of Hydrology*, 172,4, 31-

- Mehrdadi, R. T., Jahromi, M. Z., ve Heidari, A. (2008). Spatial Distribution of Groundwater Quality with Geostatistics. *World Applied Sciences Journal*, 4,1, 9-17.
- Meybeck, M. (1987). Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads. *American Journal of Science*, 287, 401-487
- Mook, W. G. (2001). Environmental isotopes in the hydrological cycle: Principles and applications, Volume I: Introduction: Theory, Methods, Review. *International Hydrological Programme IHP-V*.
- Ö.Ç.K.K.B. (2010). Tuz Gölü Özel Çevre Koruma Bölgesi Su Kaynakları Yönetim Planı Sonuç Raporu. Ankara.
- Okay, A. I., ve Tüysüz, O. (1999). Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society*, 156,1, 475-515.
- Oktay, F. Y., ve Delaloğlu, A. A. (1987). Tuz Gölü havzası (Orta Anadolu) stratigrafisi üzerine yeni görüşler. Ankara, 312-321
- Olea, R. A. (1999). *Geostatistics for Engineers and Earth Scientists* (1. baskı). Kluwer Academic Publishers, Springer, Boston, MA.
- Özsayın, E., ve Dirik, K. (2007). Quaternary activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba fault zones: İnönü-Eskişehir fault system, Central Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 471-492.
- Özsayın, E., ve Dirik, K. (2011). The Role of Oroclinal Bending in the Structural Evolution of the Central Anatolian Plateau: Evidence of a Regional Changeover from Shortening to Extension. *Geologica Carpathica*, 62, 4, 345-359.
- Parkhurst, D. L., ve Appelo, C. A. J. (2013). Description of input and examples for PHREEQC Version 3-A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. *U.S. Geological Survey Techniques and Methods*.
- Patterson, A. R. (1999). Practical Measurements of Water Quality as it Affects Irrigation. in *Proceedings of 1999 Production and Environmental Monitoring Workshop*, Paper no. PEM004 University of New England Armidale.
- Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25,6, 914-928.
- Power, J. F., ve Schepers, J. S. (1989). Nitrate contamination of groundwater in North America. *Agriculture, Ecosystems ve Environment*, 26,3-4, 165-187.
- Rigo de Righi, M., ve Cortesini, A. (1960). Regional studies of the central anatolian basin progress report. *Petrol işleri rapor no: 11*. (Yayınlanmamış)
- Şahinci, A. (1991). *Doğal Suların Jeokimyası*. Reform Matbaası, İzmir.
- Sarac, C., ve Tercan, A. E. (1996). Grade and reserve estimation of the tulovasi borate deposit by block kriging. *International Geology Review*, 38,9, 832-837.
- Sarma, D. D. (2009). *Geostatistics with Applications in Earth Sciences*. Springer 2. baskı, Springer, Dordrecht, New York.
- Sengor, A. M. C., Gorur, N., ve Saroglu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *strike-slip formation and sedimentation. Soc. Economic Paleontologist and Mineralogists*, 0,37, 227-265.
- Sengör, A. M. C., ve Yilmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 3-4, 181-241.

- Szabolcs, I., ve Darab, C. (1964). The Influence of Irrigation Water of High Sodium Carbonate Content on Soils. İçinde Proceedings of 8th international congress soil science sodics soils research institute of soil science and agricultural chemistry, 802-812.
- Tarcan, G. (2002). Jeotermal Su Kimyası Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar. Dokuz Eylül Üniversitesi, Yaz Okulu Ders Kitabı, İzmir.
- Tercan, A. E., ve Saraç, C. (1998). Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Yöntemler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları. Ankara.
- Tezcan, L. (2002). Hidrojeolojik Çalışmalarda Kullanılan Yeni İzotoplar ve Kullanım Alanları. İçinde 1. Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Kullanılması Sempozyumu, 15-24, D.S.İ. T.A.K.K Dairesi Başkanlığı, Adana.
- Thorntwaite, W. C. (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, 30, 1, 55-94.
- Uçar, L. (2008). Hanobası-Karapınar (KB Aksaray) Alanının Stratigrafik İncelenmesi. Geosound, 5, 52, 185-212.
- Uğurtaş, G. (1975). Tuz Gölü havzasının bir bölümünün jeofizik yorumu. Maden Tetkik ve Arama Bülteni, 85, 38-57.
- Ulu, Ü., Bulduk, A. K., Saçlı, L., Ekmekçi, E., Taşkiran, M. A., Karakaş, M., ... Öcal, H., Sözeri, Ş., Arbaş, A., Karabıyıkoglu, M. (1994). İnlice-Akkise ve Cihanbeyli-Karapınar alanının jeolojisi. M.T.A. Genel Müdürlüğü Rapor no. 9720, Ankara.
- Ünalan, G., Yüksel, V., Tekeli, T., Gönenç, O., Seyirt, Z., ve Hüseyin, S. (1976). Haymana Polatlı Yöresinin (GB-Ankara) Üst Kretase-Alt Tersiyer Stratigrafisi ve Paleocoğrafik Evrimi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19, 159-176.
- Üstün, A., Tuşat, E., ve Abbak, R. A. (2007). Konya Kapalı Havzasında Yeraltı suyu Çekilmesi ve Olası Sonuçlarının Jeodezik Yöntemler ile İzlenmesi. 3. Mühendislik Bilimleri Sempozyumu, 1, 1, 53-61.
- Uygun, A. (1981). Tuz Gölü havzasının jeolojisi, evaporit oluşumları ve hidrokarbon olanakları. İçinde İç Anadolu'nun Jeolojisi Sempozyumu, 66-71.
- Uygun, A., ve Şen, E. (1978). Tuz Gölü Havzası ve Doğal Kaynakları I: Tuz Gölü Suyunun Jeokimyası. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 21, 2, 113-120.
- Webster, R., ve Oliver, M. A. (2007). Geostatistics for Environmental Scientists: Second Edition. Geostatistics for Environmental Scientists: Second Edition. Hoboken, NJ: John Wiley ve Sons.
- Yeşilkanat, Ç. M. (2016). Jeostatistik Analiz, Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Yaklaşımları Kullanarak Çevresel Radyoaktivitenin Aradeğerleme Modellemesi ve Haritalandırılması. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yünsel, Y. T. (2007). Maden Yataklarının Jeostatistiksel Yöntemlerle Analizi ve Modellenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Yusuf Gökhan DURSUN

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
2007-2011

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 2011-2014

Doktora : Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 2016-2022

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. 2011-2012 / Underground Gas Storage Area (UGS) Project , Geology Engineer (Tienchen China Corporation-Doğa Mühendislik)/ Tuz Gölü Yeraltı Gaz Depolama tesisi Projesi, Saha mühendisi
2. 2012-2014 / İksa Mühendislik/Jeoloji Mühendisi/Şantiye Şefi/
3. 2014-Devam Ediyor / Aksaray Üniversitesi Sosyal Bilimler M.Y.O, İş sağlığı ve güvenliği programı, Öğr. Gör.