



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

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AKSARAY İL MERKEZİNDEKİ YERALTI SULARININ
KOROZİVİTE POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih SEVİNDİK

DANIŞMAN

Doç. Dr. M. Murat KAVURMACI

AKSARAY, 2022

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 202302002 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Fatih SEVİNDİK tarafından hazırlanan “**AKSARAY İL MERKEZİNDEKİ YERALTI SULARININ KOROZİVİTE POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile Jeoloji Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. M. Murat KAVURMACI

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Prof. Dr. Mustafa AFŞİN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Uğur Erdem DOKUZ

Niğde Ömerhalis Demir Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.....

Tez Savunma Tarihi: 28/Aralık/2022

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

.....
Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

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

İmza

Fatih SEVİNDİK

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında destek ve yardımlarını esirgemeyen sevgili ailem ve Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Fatih SEVİNDİK
AKSARAY, 2022



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	1
1.2 Çalışma Alanının Konumu ve Coğrafi Özellikleri.....	3
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	5
2.1 Literatür Çalışması.....	5
2.1.1 Genel jeoloji çalışmaları.....	6
2.1.2 Zemin ve kaya mekaniği çalışmaları.....	6
2.1.3 Hidrojeoloji çalışmaları.....	7
2.1.4 Korozyon ve korozyon indisleri.....	12
2.2 Büro çalışmaları.....	15
3. BÖLGESEL JEOLojİ.....	17
3.1 Orta Anadolu Metamorfikleri (OAM).....	18
3.2 Orta Anadolu Ofiyolitleri (OAO).....	19
3.3 Orta Anadolu Granitoidleri (OAG).....	19
3.4 Örtü Birimleri.....	20
3.4.1 Kartal Formasyonu.....	23
3.4.2 Mezgit Formasyonu.....	23
3.4.3 Uzunkaya Formasyonu.....	25
3.4.4 Göstük İgnimbriti.....	25
3.4.5 Selime Tüfü.....	25
3.4.6 Kızılkaya İgnimbriti.....	26
3.4.7 Hasandağı Külleri.....	26
3.4.8 Traverten.....	27
3.4.9 Tuzgölü Formasyonu.....	27
3.4.10 Alüvyon.....	28
3.5 Yapısal Jeolojisi.....	28
3.6 İnceleme Alanının Jeolojisi.....	30
4. HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRME.....	31
4.1 Sertlik.....	35
4.2 Hidrojen İyonu Konsantrasyonu (pH).....	36
4.3 Karbondioksit (CO ₂).....	38
4.4 Özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ).....	39
4.5 Toplam Çözünmüş Madde Miktarı (TÇKM).....	41
4.6 Kalsiyum İyonu (Ca ⁺²).....	43
4.7 Magnezyum İyonu (Mg ⁺²).....	44
4.8 Sodyum İyonu (Na ⁺).....	44
4.9 Potasyum İyonu (K ⁺).....	45
4.10 Bikarbonat İyonu (HCO ₃).....	46
4.11 Sülfat İyonu (SO ₄).....	47
4.12 Klorür İyonu (Cl ⁻).....	49

4.13 Amonyum İyonu (SO ₄).....	50
4.14 İyon Dağılımları ve Korelasyon İlişkileri.....	52
4.15 Suların Kimyasal Özelliklerine Göre Sınıflandırılması.....	56
4.15.1 Piper’e Göre Sınıflandırma.....	56
4.15.2 Schoeller’e Göre Sınıflandırma.....	57
4.16 Suların Doygunluk İndisi Hesabı.....	59
5. KOROZYON ve KOROZYON İNDİSLERİ.....	61
5.1 Su Analiz Sonuçlarının TS 3440 Standartına Göre Değerlendirilmesi.....	62
5.2 Korozyon İndisleri.....	64
5.2.1 Langelier Doygunluk İndisi (LSI).....	65
5.2.2 Ryznar Stabilite İndisi (RSI).....	67
5.2.3 Agresiflik İndisi (AI).....	68
5.2.4 Puckorius İndisi (PI).....	70
5.2.5 Larson-Scold İndisi (LI).....	71
5.2.6 Klorit – Sülfat Kütle Oranı (CSMR).....	72
5.3 Korozyon indis sonuçlarının değerlendirilmesi.....	72
6. KOROZYON POTANSİYELİNİN KONUMSAL DAĞILIMI.....	87
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	98
KAYNAKLAR.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	106

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKSARAY İL MERKEZİNDEKİ YERALTI SULARININ KOROZİVİTE POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

Fatih SEVİNDİK

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Anabilim Dalı

Danışman: Doç Dr. M. Murat KAVURMACI

ÖZET

Büyük depremler sonrasında binalar üzerinde yapılan araştırmaların çoğunluğu, korozyonun bina hasarları üzerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Binalarda gözlenen korozyon, yeraltı suyu ile temas halinde bulunan beton ve donatı malzemedeki meydana gelen fiziko-kimyasal çözünmedir. Zararlı iyon etkisi yüksek yeraltı suyu temas ettiği beton ve donatıyı parçalayarak aşındırır. Korozyonun şiddetini artıran en önemli iki etken, betonun kalitesi ve yeraltı suyunun iyon içeriğidir. Tasarım ve planlama aşamasında korozyon riskinin belirlenmesi inşaat sektörü açısından çok önemlidir çünkü bina tamamlandıktan sonra alınacak önlemler önemli ekonomik kayıplara neden olabilir. Bu çalışma kapsamında, Aksaray kent merkezinin korozyon potansiyeli, korozyon riskinin konumsal dağılımı ve yeraltı sularının hidrojeokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Yeraltı sularının iyon içeriklerini incelemek için, 50 farklı kuyudan toplanan su örneklerinin su kimyası analizleri gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanında su örneklerinin % 12'si Ca-SO_4 , % 12'si Mg-HCO_3 , %4'ü Mg-SO_4 ve %72'si Ca-HCO_3 su fasiyes tipine sahiptir. Anyon ve katyon iyon dizilimi $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} + \text{K}^{+} / \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$ şeklinde gelişmiştir. Literatürde yaygın olan Langelier doygunluk, Agresiflik, Larson-Skold, Puckorius ve Ryznar gibi korozyon indisleri ve su analiz sonuçları kullanılarak örnekleme noktalarının korozyon potansiyelleri belirlenmiştir. Konumsal dağılım haritaları için korozyon potansiyeli “yüksek korozif su”, “düşük korozif su” ve “korozif olmayan su” olmak üzere üç farklı grupta sınıflandırılmıştır. Ryznar, Puckorius, Langelier doygunluk, Larson-Skold ve Agresiflik indis sonuçlarına göre sırası ile su örneklerinin %88, 44, 66 ve 24 ve 0'ı yüksek korozif sudur. Korozyon riski açısından en yüksek yüzdeye sahip indis Ryznar indisidir. En yüksek korozyon riskine sahip alanlar daha çok inceleme alanının kuzeybatı ve güneydoğu bölümlerinde konumlanmıştır. Bölgenin korozyon potansiyeli çoğunlukla çözünmüş karbondioksit içeriğine bağlı olarak artış gösterir. Korozyon potansiyeli ve çözünmüş karbondioksit içeriği arasında pozitif lineer bir korelasyon vardır. Yeraltı suları 5.1 mg/L ile 482.3 mg/L arasında değişen miktarlarda çözünmüş karbondioksit değerlerine sahiptir. Tespit edilen yüksek karbondioksit değerlerinin nedeni, Hasandığı volkanizmasına bağlı olarak bölgeye sokulum yapan magmatik intrüzyonlardır.

Anahtar kelimeler: Korozyon Riski, Korozyon İndisi, Konumsal Dağılım, Interpolasyon, Aksaray

Aralık, 2022; 106 sayfa

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF CORROSION POTENTIAL OF GROUNDWATERS IN AKSARAY CITY CENTER

Fatih SEVİNDİK

**Aksaray University
Graduate School Of Natural And Applied Sciences
Department of Geology**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Murat KAVURMACI

ABSTRACT

The majority of research on buildings after major earthquakes reported that corrosion affected building damage. Corrosion observed in buildings is the physicochemical dissolution that occurs in concrete and reinforcement materials in contact with groundwater. Groundwater with a high harmful ion effect corrodes concrete and reinforcement with which it is in contact. The two most important factors that increase the severity of corrosion are the quality of the concrete and the ion content of the groundwater. Determining the corrosion risk at the design and planning stage is very important for the construction industry, because the measures to be taken after the building is completed may cause significant economic losses. In this study, the corrosion potential of Aksaray city center, the spatial distribution of the corrosion risk and the hydrogeochemical properties of groundwater were investigated. To examine the ion contents of groundwater, water chemistry analyzes of water samples collected from 50 different wells were carried out. In the study area, water type is Ca-SO₄ for 12%, Mg-SO₄ for 4%, Mg-HCO₃ for 12%, and Ca-HCO₃ for 72% of the water samples. The order of cations and anions for many water samples are Ca⁺² > Mg⁺² > Na⁺+K⁺ / HCO₃⁻ > SO₄⁻² > Cl⁻. Corrosion potentials of sampling points were determined by using corrosion indices such as the Langelier saturation, the Agresiflik, Larson-Skold, Puckorius, and the Ryznar index, which are widely used in the literature, and water analysis results. For spatial distribution maps, the corrosion potential is classified into three different groups: highly corrosive water, low corrosive water, and non-corrosive water. According to the results of the Ryznar, the Puckorius, Langelier, Larson-Skold, Agresiflik, 88%, 44%, 66%, 24%, and 0% of the water samples are classified as "highly corrosive water", respectively. The index with the highest percentage of corrosion risk is the Ryznar. The areas with the highest corrosion risk are mostly located in the northwest and southeast parts of the study area. The corrosion potential of the region is mostly increased due to the dissolved carbon dioxide content. There is a positive linear correlation between the corrosion potential and the dissolved carbon dioxide content. Groundwater has dissolved carbon dioxide values ranging from 5.1 mg/L to 482.3 mg/L. The reason for the high carbon dioxide values detected is the magmatic intrusions that settled in the region due to the Hasandağı volcanism.

Keywords: Corrosion Risk, Corrosion Index, Spatial Distribution, İnterpolation, Aksaray

December, 2022; 106 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	3
Şekil 1.2. Aksaray ili yükseklik haritası.....	4
Şekil 3.1. Basitleştirilmiş Orta Anadolu Kristalen Karmaşığının jeoloji haritası.....	16
Şekil 3.2. İnceleme alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası	21
Şekil 3.3. Stratigrafik düşey kesiti	22
Şekil 3.4. Mezgit formasyonunun tabanında görülen büyük çakıldaşları.....	24
Şekil 3.5. Mezgit Formasyonu içerisinde gözlemlenen tabaka halindeki jips.....	24
Şekil 3.6. Aksaray ili fay haritası.....	30
Şekil 4.1. Hidrojen iyonu konsantrasyonu konumsal dağılım haritası.....	37
Şekil 4.2. Karbondioksit değerleri konumsal dağılım haritası.....	40
Şekil 4.3. ÖEİ - TÇKM korelasyon grafiği	42
Şekil 4.4. Çözünmüş katı madde miktarı konumsal dağılım grafiği.....	43
Şekil 4.5. Kalsiyum-magnezyum-sodyum iyon dağılımı.....	45
Şekil 4.6. Bikarbonat değerleri konumsal dağılım haritası.....	47
Şekil 4.7. Sülfat iyonu konumsal dağılım haritası.....	49
Şekil 4.8. Amonyum konumsal dağılım haritası.....	50
Şekil 4.9. Örnekleme noktalarına ait iyon miktarları.....	53
Şekil 4.10. Kalsiyum - bikarbonat korelasyon grafiği.....	54
Şekil 4.11. Kalsiyum - sülfat korelasyon grafiği.....	54
Şekil 4.12. Su Örneklerine ait Gibbs Grafiği.....	55
Şekil 4.13. Su Örneklerinin Piper diyagramı üzerinde gösterimi.....	57
Şekil 4.14. Su Örneklerinin Schoeller diyagramı.....	58
Şekil 4.15. Yeraltı sularına ait doyunluk indis değerleri.....	60
Şekil 5.1. Yeraltı sularının neden olduğu korozyon hasarları.....	62
Şekil 5.2. Korozyon indislerine ait değerlendirme sistemleri.....	65
Şekil 5.3. Ryznar indis sınır değerleri.....	68
Şekil 5.4. Agresiflik indisi ile diğer korozyon indislerinin korelasyonu.....	78
Şekil 5.5. Karbondioksit ile korozyon indisleri arasındaki korelasyon.....	79
Şekil 5.6. Bikarbonat ile korozyon indisleri arasındaki.....	80
Şekil 5.7. Larson-Skold indis ile diğer İndisler arası korelasyonu.....	81
Şekil 5.8. Langelier indis ile diğer indisler arası korelasyonu.....	81
Şekil 5.9. Klorür - sülfat kütle oranı ile korozyon indisleri korelasyonu.....	82
Şekil 5.10. (pH) – korelasyon indisleri korelasyon grafikleri.....	83
Şekil 5.11. Sülfat iyonu ile korozyon indisleri korelasyon grafikleri.....	84
Şekil 5.12. TÇKM ve korozyon indisleri arasındaki korelasyon ilişkisi.....	85
Şekil 5.13. Kalsiyum iyonu ile korozyon indislerinin korelasyon ilişkisi.....	85
Şekil 5.14. Korozyon indis sonuçlarına ait kümülatif grafiği.....	86
Şekil 6.1. İnterpolasyon yönteminin gösterimi.....	87
Şekil 6.2. Eşik değer kontrolsüz etki ve mesafesinin variogram diyagramı.....	91
Şekil 6.3. Agresiflik indis sonuçlarına ait konumsal dağılım haritası.....	92
Şekil 6.4. Klorür – sülfat kütle oranına ait konumsal dağılım haritası.....	93
Şekil 6.5. Larson – Skold indisine ait konumsal dağılım haritası.....	94
Şekil 6.6. Langelier doyunluk indisine ait konumsal dağılım haritası.....	95
Şekil 6.7. Puckorius indise ait konumsal dağılım haritası.....	96
Şekil 6.8. Ryznar indisine ait konumsal dağılım haritası.....	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Su örneklerine ait analiz sonuçları	33
Çizelge 4.2. Fiziksel ve kimyasal analizlerin tanımlayıcı istatistiksel özeti.....	35
Çizelge 4.3. Suların sertlik sınıfları tablosu.....	36
Çizelge 4.4. (pH) sınıflama tablosu.....	37
Çizelge 4.5. ÖEİ değerine göre su kalite sınıflaması.....	41
Çizelge 4.6. TÇKM Değerine göre su örneklerinin kalite sınıflaması	42
Çizelge 4.7. Kimyasal parametrelerin agresiflik dereceleri	52
Çizelge 4.8. Su örneklerine ait iyon sıralaması.....	53
Çizelge 4.9. Su örneklerine ait doygunluk indisleri sonuçları.....	59
Çizelge 5.1. Beton temas sularının zararlı etkinlik derecesi sınır değerleri.....	63
Çizelge 5.2. TS 3440'a göre su analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	63
Çizelge 5.3. Ryznar indisine ait değerlendirme ve sınıflama sistemi.....	68
Çizelge 5.4. Su örneklerine ait korozyon indis değerleri.....	73
Çizelge 5.5. En düşük ve en yüksek korozyon indis değerleri.....	73
Çizelge 5.6. Korozyon indislerine ait sınır değerler.....	74
Çizelge 5.7. Örnek noktalarının korozyon indislerine göre sınıflandırılması.....	75
Çizelge 5.8. Korozyon indis sonuçlarının sınıf aralıklarının % dağılımları.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR

AI	Agresiflik İndisi
CSMR	Klor – Sülfat Kütle Oranı
EC	Elektriksel İletkenlik
EPA	ABD Çevre Koruma Ajansı
Fr	Fransız Sertliği
h	Uzaklık
mg	Miligram
meg	Miliekivalen
LSI	Langelier Doygunluk İndisi
LI	Larson – Skold İndisi
OAM	Orta Anadolu Metamorfikleri
OAÖ	Orta Anadolu Ofiyolitleri
OAG	Orta Anadolu Granitoidleri
OAKK	Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı
ÖÇKB	Özel Çevre Koruma Bölgesi
PSI	Puckorius İndisi
RSI	Ryznar İndisi
SI	Doygunluk İndisi
T °C	Sıcaklık
TÇKM	Toplam Çözünmüş Katı Madde
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UD	Örselenmemiş Numune
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
YAS	Yeraltı Su Seviyesi
γ(h)	Semi Variogram Değeri

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Türkiye'de 1999 depreminden sonra İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin 55.000 konut üzerinde yaptığı araştırma sonucunda konutların %64'ünün beton ve donatı korozyonu nedeniyle hasar gördüğü tespit edilmiştir (Naimi ve Özdemir, 2020). Araştırma bulguları, betonarme yapıların taşıyıcı sistemini olumsuz etkileyen en önemli faktörlerden birisinin korozyon olduğunu göstermektedir.

Genel olarak betonarme yapılarda korozyon, fiziksel-kimyasal reaksiyonlar sonucunda beton ve betona gömülü çelik donatının kalite kaybı olarak tanımlanabilir (Tuutti, 1982). Korozyon, beton yüzeylerde başlar ve zamanla azalan oranda betonun içine doğru ilerler ve donatıyı olumsuz etkiler (Broomfield, 2003). Korozyon süreci, beton kalitesi, beton kimyası, sıcaklık, oksijen, boşluk suyunun pH' ı, nem içeriği, elektrik direnci ve temas suyunun iyon içeriği gibi faktörlere bağlıdır (Hunkeler 2005; Belitz vd., 2016).

Korozyon süreci genel olarak dört farklı aşamada gelişmiştir: difüzyon, çözünme, genleşme ve zamanla dayanıklılıkta kademeli azalma. Betonun difüzyon özellikleri fiziksel ve kimyasal bileşimine bağlıdır (Houst ve Wittmann, 1994; Visser, 2014). Korozyon yoğunluğu, esas olarak betonun kalitesine ve gözenekliliğine bağlıdır. Çünkü betondaki su ve gazların taşınması ancak çatlak ve gözenek sistemi ile mümkündür (Hunkeler ve Holtzhauer, 1994; Hunkeler, 2005).

Betonarme yapılarda korozyon şiddetini artıran en etkili faktörlerden bir diğeri, yüzeye yakın konumlanmış yüksek iyon içeriğine sahip yeraltı sularıdır. Korozyon potansiyeli yüksek olan yeraltı suları, suyun temas ettiği kayaları ve betonarme malzemeleri parçalayarak aşındırır (Fendekova vd., 2011). Bu su türü, bakır ve demir gibi metallerden yapılmış boruları deforme etme eğilimi yüksek olduğu için "agresif su" olarak tanımlanır. Binanın tüm yüklerini toprağa aktaran ve yapıyı taşıyan bölümlerin agresif yeraltı suyu ile sürekli etkileşim halinde olması, binanın taşıma kapasitesini etkilemektedir. Agresif yeraltı suyu ile temas halinde olan betonarme yapıların çoğu yüksek dayanıklılık gösterse de korozyon nedeniyle ciddi şekilde hasar görebilir (Bonic vd., 2015).

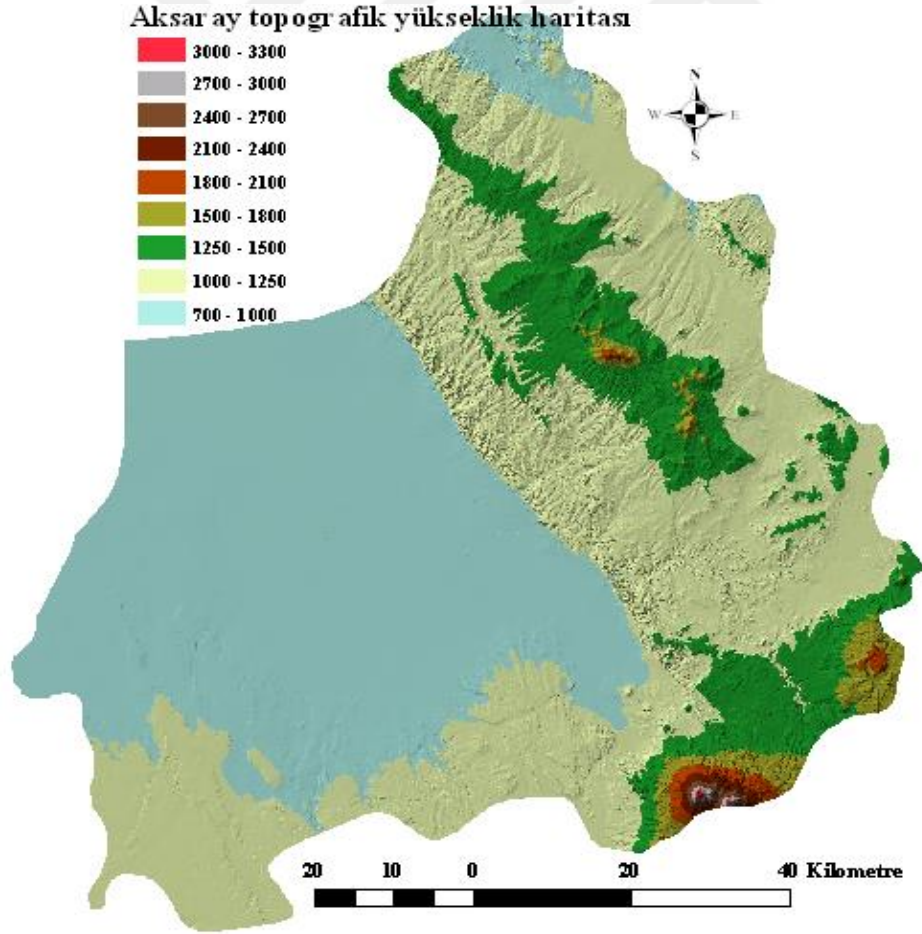
Yeraltı suyunun donatıya zarar vermesi için, yeraltı suyunu betonun içine iten bir kuvvetin ve ilerlemesine izin veren gözenekli bir yapının olması gerekir. Suyun betona yerçekiminin zıt yönde girmesini sağlayan kılcal emme kuvvetleri viskoz kuvvetler ve hidrostatik basınç ile dengelenir ve kılcal yükselme betonda oluşan çatlaklara bağlıdır (Houst ve Wittmann, 1994). Hidrostatik basınç, betondaki gözenekli yapılar ve çatlaklar yoluyla yeraltı suyunu çelik donatıya kolayca yönlendirebilir (Tumidajski ve Chan, 1996; Kavurmacı, 2016). Bu durumda su sadece çelik donatıyı aşındırmakla kalmaz, aynı zamanda binanın taşıyıcı kısımlarına hidrostatik basınç uygular. Penetrasyon direnci, betonun çimento içeriğine gözenekliliğine ve geçirgenliğine bağlıdır (Taylor, 1997).

Korozivite potansiyeli yüksek olan yeraltı suları, kontrol altına alınmadığı takdirde binaların dayanıklılığını olumsuz yönde etkiler ve hizmet süresini kısaltır. Betonarme yapılar inşa edildikten sonra oluşan korozyon zararlarını gidermek oldukça masraflı çözümler gerektirebilir. Korozyon betonarme binalarda sadece betona ve donatıya zarar vermez aynı zamanda bina içerisindeki metalden yapılmış su dağıtım sistemlerinde de hasarlara yol açabilir. Bundan dolayı, kentleşme sisteminde meydana gelebilecek ekonomik zararları ve deprem gibi doğal afetlerde oluşabilecek can kayıplarını önlemek için birçok ülke ve kuruluş, beton ile temas eden sular için zararlı etkinlik derecesini tanımlayan standartlar ve kurallar geliştirmiştir. Günümüze kadar birçok araştırmacı, suyun korozyon potansiyelini ön görebilmek için çok sayıda çalışma yapmış ve hesaplama yöntemleri önermiştir. Önceki çalışmalar, yeraltı suyunun iyon içeriği ile korozyon yoğunluğu arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Suyun yıkıcı iyon içeriği ne kadar yüksek olursa, korozyon oranı o kadar yüksek olacaktır.

Bu tez kapsamında, Aksaray il merkezinde bulunan yeraltı sularının hidrojeokimyasal özellikleri, korozyon potansiyelleri ve korozyon riskinin konumsal dağılımı araştırılmıştır. Tez içeriğinde hazırlanan tematik haritalar sayesinde, çalışma alanı içerisinde yapılacak veya tasarlanacak kentsel faaliyetler için korozyon riskinin nerelerde daha az riskli olduğu ön görülebilecektir. Bu tezin sonuçları, kamu yöneticileri, belediyeler, şehir plancıları, mimarlar, inşaat mühendisleri, su yönetim sistemi çalışanları ve araştırmacılar tarafından kullanılabilir. Bu sayede betonarme yapılarda korozyonun neden olabileceği hasar ve zararlar için önceden

Çalışma alanı; İç Anadolu bölümünün Orta Kızılırmak havzasında yer alır. İlin deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 950-1100 metredir ve batıya doğru yüksek bir plato özelliği gösterir (Şekil 1.2). KB - GD uzantılı birbirlerine paralel gelişen fay hatları düz ovaları birbirinden ayırır. İlin doğu kesimleri düz ovaları çevreleyen yüksek kotlu tepeler ve dağlar ile karakteristiktir. Hasandağı (3268 m), Ekecik Dağı (2033 m) ve Melendiz Dağları (3240 m) gibi volkanik dağlar bölgenin en önemli yükseltileridir. Hasandağı volkanizması ürünü olan lavların oluşturduğu geniş düz platolar güneydoğuda sık görülür. İnceleme alanının batısında yer alan Aksaray ovası, eğimin yaklaşık 0 ile 5 °C arasında değiştiği geniş düzlüklere sahiptir.

Aksaray ilinin iklim durumu kışları soğuk ve yağışlı, yazları sıcak ve kuraktır. Çorak olarak bilinen Aksaray toprakları aslında aşırı yağışlardan dolayı yıkanmadığı için verimlidir. Tuzlu taban suyunun yüksekliği ve geçirimsiz tabakaların çok az olmasından dolayı su tutma kapasitesinin düşük olması toprak verimliliği ve bitki yayılımı üzerinde negatif etkiler oluşturmaktadır.



Şekil 1.2. Aksaray ili yükseklik kot haritası.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar literatür ve büro çalışmaları olmak üzere iki temel aşamada tamamlanmıştır.

Bölgedeki yeraltı suyunun korozyon potansiyelini değerlendirebilmek için, 50 farklı jeoteknik amaçla açılan araştırma kuyusundan özel su örnekleri toplanmış ve alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen hidrojeokimyasal analiz verileri hem hidrojeolojik açıdan hem de literatürde yaygın olarak kullanılan 6 farklı korozyon indisi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Yeraltısuyunun korozyon potansiyeli, daha önce geliştirilen standartlar göz önünde bulundurularak “yüksek korozif su”, “düşük korozif su” ve “korozif olmayan su” olmak üzere 3 farklı grupta sınıflandırılmıştır. Sonuç olarak, korozyon indislerine ait sonuçlar ve Kriging interpolasyon tekniği kullanılarak konumsal dağılım haritaları hazırlanmıştır.

Bu çalışma aynı zamanda, suların korozyon potansiyelini belirlemek için literatürde yaygın olarak kullanılan korozyon indislerinin birbirleri ile karşılaştırılmasına da imkan sağlamıştır.

2.1 Literatür Çalışmaları

İnceleme alanı olarak İç Anadolu bölgesinde Aksaray il merkezi seçilmiştir. Literatür çalışmaları kapsamında ilk olarak, çalışma alanı ve çevresinde tez konusu ile ilgili önceki yıllarda gerçekleştirilen jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar derlenmiştir. İkinci aşamada korozyon ve korozyon indisleri hakkında yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu kapsamda öncelikli olarak, yüksek lisans ve doktora tezleri, Tübitak projeleri, yurtiçi ve yurtdışı bilimsel makaleler, kamu kurum ve kuruluşlar tarafından hazırlanmış raporlar ve özel bürolar tarafından yapılan çalışmalar incelenmiştir. Literatür çalışmaları genel olarak dört ana başlık altında sınıflanarak incelenmiştir; (a) genel jeoloji çalışmaları, (b) zemin ve kaya mekaniği çalışmaları, (c) hidrojeoloji çalışmaları ve (d) korozyon ve korozyon indisleri.

2.1.1 Genel jeoloji alışmaları

Göncüoğlu vd. (1997), bu bölgedeki çalışmasında metamorfik, magmatik, ultramafik kayaları tanımlayarak Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı olduğunu söylemiştir. Orta Anadolu Ofiyolitlerini iki grupta incelemiş ve birinci grubu meta ofiyolitlerden, ikinci grubu ise kümilat, gabro, plajiogranit, levha dayk, diyabazlar, yastık lavlar ve epi ofiyolitik kayalardan oluştuğunu savunmuştur.

Yeşilyurt (1999), Hasandağının batı yakasında bulunan kuvaterner yaşlı volkanik kayalar da yaptığı petrografik çalışmalarında bölgedeki üst volkanik kayaların andezit, bazalitik andezitten oluştuğu, alt birimlerin ise ojit andezit, bazalitik andezitten oluştuğunu söylemiştir.

Işık (2000), alışmalarında Mamasın, Ekecik, Yeşilhisar arasındaki gabro ve granitoid kayaalarını jeokimyasal olarak incelemiş ve ofiyolit kuşağı üzerinde olduğunu savunmuştur.

Güllü (2003), alışmasında Aksaray ın doğusu Mamasın-Sarıkaya arasında felsik mafik kayaların jeokimyasal olarak incelemiş ve metamorfikleri beş kısımda incelemiştir. Bunlar S Tipi Granitoidler, Ultramafik Kayalar, Gabroik Kayalar, H Tipi Granitoidlerdir. Bu beş farklı kaya birimlerinin üst manto alt kıta kabuğundan türemiş mafik mağma ürünleri olduklarını söylemiştir.

2.1.2 Zemin ve kaya mekaniği alışmaları

Teke (2002), alışmasında Aksaray da Bahçeli Kent Toplu Konut Alanı zemininde araştırmalar yapmıştır. Toplamda 10 adet 15 m.'lik derinlikte sondaj kuyuları açılmış, söz konusu kuyularda SPT deneyleri yapılmıştır. Aynı sondaj kuyularından alınan UD-numuneleri alınarak lisanslı laboratuarda incelemesi yapılmıştır.

Er (2002), alışmasında Aksaray Merkezinde mühendislik jeolojisi verileri derlenerek jeoteknik sonuçları ortaya koymuştur. Bu sondajlardan elde edilen sonuçları haritalar üzerine işleyerek bu verileri yorumlamış, bu sahadaki zemin profillerini ve dökümanları haritalandırmıştır.

Özaydın (2004), çalışmasında Aksaray şehrinde katı atık depolama merkezinin yeraltı suyu kirlenmesini jeoelektrik ve hidrokimyasal yöntemleriyle katı atık sahasından yağışlı ve kurak dönemlerde incelemiştir.

Yıldızhan (2007), çalışmasında Aksaray Bölgesi holosen yaşlı sedimanların jeolojik ve jeoteknik olarak incelemiştir. Bu bölgede toplamda 16 adet sondaj kuyusunda araştırmalar yapmıştır.

Özdemir (2007), çalışmasında Aksaray'a bağlı Ihlara Belediyesi çevresini jeolojik, jeofizik ve jeoteknik olarak incelemiştir. Bölgedeki zeminlerin morfolojik ve depremselliğini araştırmıştır.

Yalçın (2008), çalışmasında Aksaray İli Merkezi zemin sıvılaşması bakımından potansiyellerinin Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) tarafından öne atılan Sıvılaşma Şiddeti İndisi LSİ yöntemini kullanarak incelemiş ve haritalandırmıştır.

Taşpınar (2015), Aksaray İlinde Ihlara kanyonu boyunca kaya düşmesi ve oluşturacağı tehlike potansiyelini incelemiştir.

Kavurmacı (2016), çalışmasında Aksaray merkezinde 58 adet zemin örneğinden Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak sıvılaşma potansiyelini incelemiş ve güvenlik katsayısı belirlenmesinde Tokimatsu ve Yoşimi (1983) yöntemi tercih edilmiştir. Çalışmalarında Aksaray daki çeşitli bölgelere ait sıvılaşma potansiyellerini haritalandırmıştır.

Coşkun (2016), çalışmasında Aksaray iline ait zemin özelliklerini hidrojeolojik veriler ışığında ve CBS teknikleri kullanarak derlemiştir.

2.1.3 Hidrojeoloji çalışmaları

Afşin ve Baş (1996), Aksaray il sınırları içerisinde yer alan Koçpınar (Sinasa) ve çevresinde yer alan karbondioksit açısından zengin düşük mineralli su kaynaklarını izotopik ve hidrokimyasal yönden incelemiş; su kaynaklarında gözlenen yüksek karbondioksit içeriğinin kökeninin Hasandağı volkanizması olduğunu belirtmiş, izotop verilerini yorumlayarak suların meteorik kökenli yeraltı suları olduklarını ifade etmişlerdir.

Afşin (2000), Helvadere kaynaklarının içme suyu olarak kalitesinin oldukça iyi ve birçok parametre açısından birinci sınıf su kalitesine sahip meteorik kökenli yeraltı suları olduklarını ortaya koymuştur.

Afşin ve Elhatip (2000), Aksaray il merkezinde yer alan Tuzlu su bölgesinde küçük çatlaklar boyunca farklı noktalardan çıkan mineralli ve sıcak su kaynaklarının kaynaklarının çözünmüş CO₂, toplam çözünmüş madde miktarlarının oldukça yüksek olduğunu ve güncel traverten oluşumlarının günümüzde devam ettiğini jeotermometre hesaplarına göre Tuzlu su kaynağının hazne kaya sıcaklığının 115 °C civarında olduğunu ayrıca kaynağın yüksek tuzluluk ve yüksek kalıcı sertlik değerlerine sahip olduğu için bu suların tarımsal faaliyetler için sulama suyu olarak kullanılmasının sakıncalı olduğunu belirtmişlerdir.

Güllü (2003), Mamasın barajının beslenme şeklini ve Mamasun barajının su kalitesinin barajı besleyen Melendiz ve Karasu derelerinden ne ölçüde etkilendiğini araştırmıştır. Bu çalışma ile Aksaray ilinin içme suyu ihtiyacının yaklaşık % 60'lık bir kısmını karşılayan Mamasun Barajının içme suyu kalitesinin oldukça düşük olduğunu tespit edilmiş ve barajın su kalitesinin organik ve inorganik kirleticiler vasıtasıyla noktasal ve alansal olarak kirletildiğini ortaya konulmuştur. Yazar baraj gölünün su kalitesinin iyileştirilmesine yönelik tavsiye ve önerilerde bulunmuştur.

Özaydın (2004), Aksaray il merkezinde yer alan katı-atık depolama sahası ve çevresinde yer alan yeraltı sularının su kalitesini ve kirlenme potansiyelini çalışmıştır. Yapılan çalışmada yeraltı sularının kirlenme risk potansiyeli jeo-elektrik yöntemler ve hidrojeokimyasal su analiz sonuçları ile belirlemiştir. Yazar, katı atık biriktirme sahası zeminini oluşturan alüvyon birimin bölgenin geçirimsizlik özelliğini artırdığını belirtmiş ve iklimsel değişimlere bağlı olarak yağışların, yeraltı sularının kirlenme potansiyeli üzerinde etkili olabildiğini söylemiştir. Yazar ayrıca düzensiz depolama ve katı atık sahasından yağmur ve kar sularının etkisiyle alt kotlara doğru süzülen ve su kalitesi nispeten daha düşük, kirli olarak tanımlanabilecek suların, geçirimli jeolojik birimler boyunca düşey, yarı-geçirimli ve geçirimsiz birimler boyunca ise yeraltında yatay olarak hareket ederek, yeraltı sularına karıştığı ve yeraltı su kaynaklarını kirlettiğini söylemiştir.

Çil (2004), Mamasun baraj gölünü besleyen en önemli akarsu olan Melendiz ırmağının hidrolik akım yolu üzerinde konumlanan Kızılkaya ve Ilısu arasında yer alan akarsu kesitinde, Melendiz ırmağının su kalitesini incelemiştir. Bir su yılı içerisinde mevsimsel değişimlere bağlı olarak kakim anyon-kasyon ve ağır metal analizleri gerçekleştirmiş ve Melendiz ırmağının su kalitesinin noktasal veya alansal olarak bölgede yer alan yerleşim alanlarından olumsuz olarak etkilendiğini belirlemiştir. Özellikle Melendiz ırmağının su kalitesinin evsel atıklar ve tarımsal faaliyetler sonucunda nitrat, nitrit gibi parametreler açısından düştüğü ve suyun kirlendiğini ifade etmiştir. Bunun yanı sıra Melendiz ırmağının önemli miktarda mangan ve demir gibi ağır metalleri içerdiği ve bu parametrelerin konsantrasyonlarının içme suyu kalitesi sınır değerlerinin üzerinde olduğuna dikkat çekmiştir.

Burçak (2006), Aksaray ilindeki jeo-termal enerji potansiyeli hakkında inceleme yapmış ve sıcaklıkları 44-650 derece arasında değişebilen Acıgöl, Ziga, ve Şahinkalesi sıcak-mineralli su kaynaklarını hidro-jeokimyasal çalışmalarla araştırmış, Cl⁻ entalpi ve silis-entalpi karışım modellerine göre bölgedeki sıcak sulardaki soğuk suya karışım oranının % 70-81 olduğunu ve bölgenin 190 °C sıcaklığına sahip jeotermal enerji potansiyelinin olabileceğini belirtmiştir.

Duru (2006), Ziga, Acıgöl ve Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynaklarının meteorik kökenli olup yüksek miktarlarda çözünmüş karbondioksit içerdiğini ve çözünmüş karbondioksit konsantrasyonun çoğunlukla bölgeye sokulum yapan magmatik sokulumların bir sonucu olarak su kaynaklarında zenginleştiğini ifade etmiştir. Denizel kökenli karbonatlı kayaçların ayrışması sonucu da bir miktar karbondioksitin suların bünyesine katılabileceğini belirtmiştir.

Aslan (2006), Aksaray ili içme suyu kaynaklarının arıtma öncesi ve arıtma sonrası su kalitelerini TSE-266 içme suyu kalite standartını dikkate alarak incelemiştir. Arıtma öncesinde içme suyunun organik ve inorganik kirleticiler tarafından kirlendiğini belirlemiştir. Özellikle su kaynaklarının arsenik açısından önemli bir risk içerdiğini ve arıtma sonrasında yapılan analiz sonuçlarına göre içme suyunun organik ve inorganik kirleticilerden arındırıldığını ve suyun herhangi bir kirleticisi içermediğini belirtmiştir.

Afşin vd. (2007), Aksaray ili ve çevresinde yer alan sıcak ve mineralli su kaynakları ve bu kaynakların etrafında çökelen traverten oluşumlarını jeolojik, hidrojeolojik ve izotopik veriler ile tıbbî ve balneoterapik kullanılabilirliğini suların jeotermal enerji potansiyellerini açıklamışlardır.

Karadavut (2007), Melendiz ırmağının doğduğu yer olan Niğde'nin Çiftlik kasabası ve Aksaray'ın içme suyu barajı olan Mamasun baraj gölü arasında kalan bölgede, Melendiz ırmağının su kalitesinin konumsal değişimini çalışmıştır. Özellikle Melendiz ırmağının akım yolu üzerinde bulunan yerleşim alanlarında yaşayan insanların antropojenik etkileri sonucu Melendiz ırmağının su kalitesinin olumsuz olarak etkilendiğini belirtmiştir. Yazar su kirliliğinin mabdan mansapa doğru konumsal olarak arttığını da çalışmasında ifade etmiştir.

Çiftlik kasabası ve Mamasın baraj gölü arasındaki bölgede Mamasın barajını besleyen Melendiz akarsuyunu su kalitesi açısından incelemiş ve su kalitesinin etkilerle olan değişimlerine dikkat çekmiştir. Melendiz ırmağının yerleşim yerleri boyunca, geçtikçe su kalitesinin düştüğünü ve kirlilik değerlerinin arttığını ifade etmiştir.

Kavurmacı vd. (2008)'nde, Aksaray il sınırları içerisinde 62 farklı su örnekleme noktası baz alınarak, yeraltı sularının içme ve sulama suyu kalite özellikleri su kimyası verileri ve ilgili standartlar kullanılarak incelenmiştir. Su kimyası verilerinin konumsal dağılımları interpolasyon teknikleri kullanılarak haritalanmış ve düşük ve yüksek su kalitesine sahip bölgeler belirlenmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında genel olarak yeraltı sularının su kalitesinin orta derecede tuzluluk ve düşük sodyumluk (C2S1) sulama suyu özelliği gösterdiğini söylemiştir.

Kavurmacı ve Demircioğlu (2009), Aksaray ilinde bulunan önemli yüzeysel su kaynaklarının su kalitesini ve limnolojik özelliklerini su kimyası verilerini kullanarak araştırmışlardır. Aksaray'ın bölgesel olarak ilçe ve kasabalarının içme ve sulama suyu ihtiyacını karşılayan göletler üzerinde yapılan hidrojeokimyasal değerlendirmeye göre, yüzeysel su kaynaklarının sulama suyu açısından birinci ve ikinci kalite sulama suyu sınıfına sahip oldukları ancak içme suyu açısından tamamının organik kirleticiler tarafından kirlatildikleri belirlenmiştir.

Kavurmacı vd. (2009)'nde, Aksaray ilinde yer alan içme ve sulama sularına ait su kimyası analiz sonuçları jeostatistiksel açıdan incelenmiş ve su kalite parametreleri

aralarındaki istatistiksel bağıntılar ile su kaynaklarını olumsuz etkileyen kirletici kaynakları ve kökenleri hakkında değerlendirme yapılabilmüş farklı örnekleme dönemleri için su kalite parametrelerinin zamansal ve konumsal değişimlerini araştırmışlardır. Su kalitesinin bölgede zamansal olarak değişim gösterdiği ve kirlilik potansiyelinin arttığını belirtmişlerdir.

Kavurmacı (2010), kent merkezinde yer alan, yeraltı sularının beton ve beton içerisinde bulunan donatı için zararlı iyon içeriklerini incelemiş, bölgenin batısında ve doğusunda üst ve alt yapıların önemli korozyon riski altında bulunduğunu ifade etmiştir. Özellikle yeraltı sularının çözünmüş karbondioksit ve sülfat içeriği açısından önemli miktarda konsantrasyona sahip oldukları ve korozyon riskini artırdıkları belirtilmiştir.

Kavurmacı (2011), Aksaray il merkezinde yer alan yeraltı suları, beton ve beton içerisinde yer alan donatı açısından incelenmiş ve üst yapıların temelinde meydana gelen korozyona neden olan zararlı iyonlar ve konumsal dağılımları tespit edilmiştir. Zararlı iyon içeriğinin batı bölgelerde daha çok artış gösterdiği ifade edilmiştir.

Eroğlu (2012), Aksaray il merkezinde yer alan tatlı su çeşmeleri ve bazı sulama kuyularından alınan su örneklerinin su kimyası analizleri yapılmış ve su kaynaklarının kalitesi belirlenmeye çalışılmıştır. Eroğlu yaptığı çalışmada, su kaynaklarında olumsuz herhangi bir parametrenin olmadığını ve tüm su kalite parametrelerinin standartlarda belirtilen eşik değerlerin altında olduğunu belirtmiştir.

Zengin (2014), jeotermal açıdan bölgenin en önemli su kaynakları arasında gösterilen Ihlara, Ilısu, Tuzlusu, Ziga ve Narlıgöl gibi sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeolojik ve izotopik özelliklerini araştırmış ve bu su kaynaklarının sırası ile Na-HCO₃, Ca-HCO₃, Ca-HCO₃, Na-HCO₃ ve NaCl su tipi özelliği gösterdiklerini tespit etmiştir. Su kaynaklarının tamamının kökeninin meteorik yağışlara bağlı olduğunu ifade etmiştir.

Kavurmacı ve Üyümez (2015), bölgenin içme suyu ihtiyacını karşılayan Helvadere tatlı su kaynakları, Mamasun baraj gölü ve Bağlıkaya kuyularını örneklemişler ve kaynakların su kalitesini su kimyası verileri yardımı ile incelemişlerdir. Hasandağı'na yakın konumda bulunan Helvadere su kaynaklarının özellikle arsenik içeriği açısından

risk içerdiğini belirlemişler ve arsenik giderimi için belediye arıtma tesisinde kullanılan demir (III) klorürün en etken koagülant madde olduğunu tespit etmişlerdir.

Üyümez (2016), Aksaray ili içme suyu kaynaklarında gözlenen yüksek arsenik içeriğinin giderilmesi için kullanılan Alümüne ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$), demir (III) klorür ($FeCl_3$) ve ferrik sülfat koagülant maddelerinin etkisini araştırmış ve arseniğin sudan uzaklaştırılması açısından bu maddelerin etki oranlarını birbirleri ile körele etmiştir. Özellikle Aksaray ilinde tatlı su çeşmelerinden verilen sularda aylık ölçümler gerçekleştirmiş ve kullanılan parametrelerden demir (III) klorürün en etken koagülant madde olduğunu ifade etmiştir.

Kavurmacı (2016), Tuz Gölü'nün güneyinde bulunan Eski ve çevresinde yer alan sulama suyu kuyularının hidrojeokimyasal özelliklerini araştırmış ve özellikle tuzlanmanın bir göstergesi olan Na, Cl, elektriksel iletkenlik ve toplam çözünmüş katı madde gibi parametrelerin konumsal dağılımlarını jeostatistiksel Kriging interpolasyon yöntemi kullanarak incelemiş ve sonuç olarak Tuz Gölü'nün bölgede tatlı su akiferlerini tuzlu su girişiminin bir sonucu olarak kirlettiğini belirtmiştir.

2.1.4 Korozyon ve korozyon indisleri

Langelier (1936), suyun gerçek pH'ı ile aynı alkalinitedeki ve kalsiyum sertliğindeki suyun katı kalsiyum karbonat ile dengede olduğu pH olan doygunluk pH'ı arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan Langelier doygunluk indisini önermiştir.

Ryznar (1944), suların korozyon potansiyelini hesaplamak için yeni bir yöntem önermiştir. Yazar korozyon potansiyelinin pH, sıcaklık, toplam çözünmüş katı madde içeriği, kalsiyum ve bikarbonat iyon içeriklerine bağlı olarak değiştiğini belirtmiş ve önerdiği indisin hesaplama metodolojisinde bu parametreleri kullanmıştır.

Larson ve Skold (1958), korozyon potansiyelinin belirlenmesine yönelik önerdikleri indisin hesaplama metodolojisinde, diğer indislerden farklı olarak klorür ve sülfat iyon içeriklerinin toplamının bikarbonat ve karbonat iyon içeriklerinin toplamına olan oranını kullanmışlardır.

McCauley (1960), içme suyu dağıtım şebekelerinde kullanılan metal borularda korozif etki ve kabuklaşmanın önlenmesi üzerine araştırmalar yapmıştır. pH ve bikarbonat dengesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Singley (1981), suların korozyon etkisi ve kabuklaşma üzerine araştırmalar yapmış ve su içindeki serbest çözünmüş CO₂'nin suların korozyon potansiyeli üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yazar çalışmasında önceki dönemlerde geliştirilen korozyon indislerin kuvvetli ve zayıf yönleri hakkında değerlendirmeler de yapmıştır.

Barringer vd. (1993), New Jersey bölgesinde yer alan yeraltı sularının korozyon potansiyellerini farklı korozyon indisleri kullanarak belirlemiş ve indislere ait farklılıkları ele almıştır.

Tumidajski ve Chan (1996), beton temas suyundaki klorür, sülfat ve CO₂'in farklı konsantrasyonlarının beton korozyonuna olan etkisini uzun süreler boyunca incelemiş ve sülfat ve CO₂'in beton korozyonunda çok etkili olduğunu vurgulamıştır.

Küçükgül ve Özdağlar (2004), içme ve kullanma sularının agresiflik derecelerinin saptanması ve korozyonun önlenmesi hakkında incelemeler yapmıştır.

Delikanlı ve Karagüler (2001), donatılı betonarme yapılarda suyun neden olduğu korozyon hasarlarını incelemiştir.

Withers (2004), ters ozmos ve termal damıtma yöntemiyle arıtılan suların Langelier doygunluk indisi ve Larson-Skold indisi yardımıyla korozifliğini incelemiştir.

Şimşek ve Akıncıtürk (2006), yeraltı suyunun betona etkisi üzerine incelemelerde bulunmuş ve yeraltı sularının iyon içeriklerinin korozyon potansiyelini ve hasarlarını artırdığını ifade etmişlerdir.

Atasoy ve Yeşilnacar (2009), Harran Ovası yeraltı sularının korozyon potansiyellerini araştırmış ve suyun iyon içeriğinin korozyon üzerinde etkili olduğunu belirtmiştir.

Fendekova vd. (2010), Slovakya Horna Nitra Havzası yeraltı sularının korozyon potansiyelleri üzerine araştırma yapmıştır. Yazar çalışmasında literatürde yaygın olarak kullanılan Langelier doygunluk indisini kullanmış ve bu indisin korozyon çalışmalarında güvenilir sonuçlar ürettiğini ifade etmiştir.

Millard ve L'Hostis (2012), yazarlar yaptıkları çalışmada CO₂ penetrasyonunun çelik borularda gözlenen korozyon üzerindeki etkilerini araştırmış ve korozyonunun betonda neden olduğu etkiler hakkında önerilerde bulunmuştur.

Arkoç (2012), Ergene Havzası doğusundaki suların içme suyu kalitesinin belirlenmesine yönelik çalışmasında korozyon indislerini kullanarak değerlendirmeler yapmıştır.

Lu vd. (2012), soğuk haddelenmiş çeliğin korozyon oranını ve korozyona etki eden parametreleri araştırmıştır.

Visse (2014), sularda bulunan çözünmüş CO₂ konsantrasyonunun beton karbonatlaşması üzerine olan etkisini incelemiştir.

Belitz vd. (2016), yazar yaptığı çalışmada Colombia bölgesinde, yeraltı sularında ve içme suyu dağıtım şebekesinde suların korozyon potansiyellerini korozyon indeksleri kullanarak incelemiştir.

Mirzabeygi vd. (2017), Doğu İran'daki su kaynaklarının korozyon ve CaCO₃ çökelim potansiyellerini korozyon indisleri kullanarak incelemiştir.

Kalyani vd. (2017), Hindistan Pradesh bölgesi yeraltı sularının korozyon potansiyelini korozyon indisleri kullanarak incelemiştir.

Kumar (2019), Güney Hindistan Thanjavur bölgesi yeraltı sularının korozyon ve CaCO₃ çökelim potansiyellerini değerlendirmiş ve korozyon potansiyelinin konumsal dağılımını belirlemiştir.

Aygün (2019), Balçova jeotermal sahalarının kabuklaşma ve korozyon eğilimlerini Ryznar indisine göre sınıflandırmıştır.

Brainard ve Chan (2020), içme suyu dağıtım sisteminde kullanılan borularda, suyun kurşun ve ağır metal çözme yeteneklerini ve borulardaki korozyon etkisini araştırmıştır.

Taylor ve Francis (2021), Güneydoğu Nijerya yeraltı sularının korozyon potansiyellerini ve metalik su hatlarına etkisini incelemiştir.

Egbueri vd. (2021), kullanım sularını fizikokimyasal ve ağır metal kirliliği bakımından incelemiş, korozyon indisleri kullanarak suların zararlı etkinlik derecelerini belirlemeye çalışmıştır.

Alimohammadi vd. (2022), Tahran Kavus bölgesi yeraltı sularının korozyon indisleri kullanarak koroziflik potansiyellerini incelemiştir.

2.2 Büro Çalışmaları

Büro çalışmalarının ilk aşamasında, literatür çalışmalarından faydalanılarak tez konusuna uygun jeolojik ve hidrojeolojik veriler toplanmıştır. Veriler Aksaray Belediyesi'nden, ÖZ-EL ve ÖZDEMİR özel jeoloji büroları tarafından hazırlanan zemin etüt raporlarından temin edilmiştir. Toplanan veriler, ortalama derinlikleri 15 m olan 50 adet jeoteknik etüt amacı ile açılan araştırma kuyularına aittir. Araştırma kuyuları ÖZ-EL ve ÖZDEMİR özel jeoloji büroları tarafından açılmış ve her bir kuyudan alınan yeraltı suyu örnekleri Aksaray Üniversitesi ASÜBTAM Deney ve Ölçüm Laboratuvarı bünyesinde analiz edilmiştir. Su örneklerinin anyon, katyon, alkalinite, çözünmüş karbondioksit, pH ve toplam çözünmüş katı madde gibi su kimyası parametreleri laboratuvarında ölçülmüştür. Sülfat ve klorür değerleri Dionex Ics-1000 ion chromatography tipi cihaz ile katyon ölçümleri ise Perkinelmer Optima 2100 DV ICP-OES- USA (eş zamanlı indüktif eşleşmiş plazma - optik emisyon spektrometresi) kullanılarak TS 3263 ISO10523, TS 9748 EN 27888, TS 3790 EN ISO 9963, TS EN ISO 10304-1, TS EN ISO 14911 standartlarına uygun olarak ölçülmüştür. Su örneklerinin çözünmüş karbondioksit değerleri SM 4500-CO₂ D ve toplam alkalinite değeri SM 2320 B standart methodlarına uygun olarak titrimetrik yöntemlerle analiz edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, toplanan verilerin Excell yazılımı kullanılarak veri girişleri yapılmış ve özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Veriler sınıflandırıldıktan sonra, tezde kullanılan korozyon indislerinin hesaplama yöntemleri Excel yazılımı kullanılarak formüle edilmiş ve korozyon indislerine ait sonuçlar 50 örnekleme noktası için hesaplanmıştır.

Sonraki aşamada, toplanan veriler konumsal ve konumsal olmayan veriler şeklinde sınıflandırılmış ve ArcGIS yazılımının ArcCatalog programı kullanılarak veri tabanı oluşturulmuştur. Uygun veri tabanı formatında düzenlenen verilerin, özellik sınıf

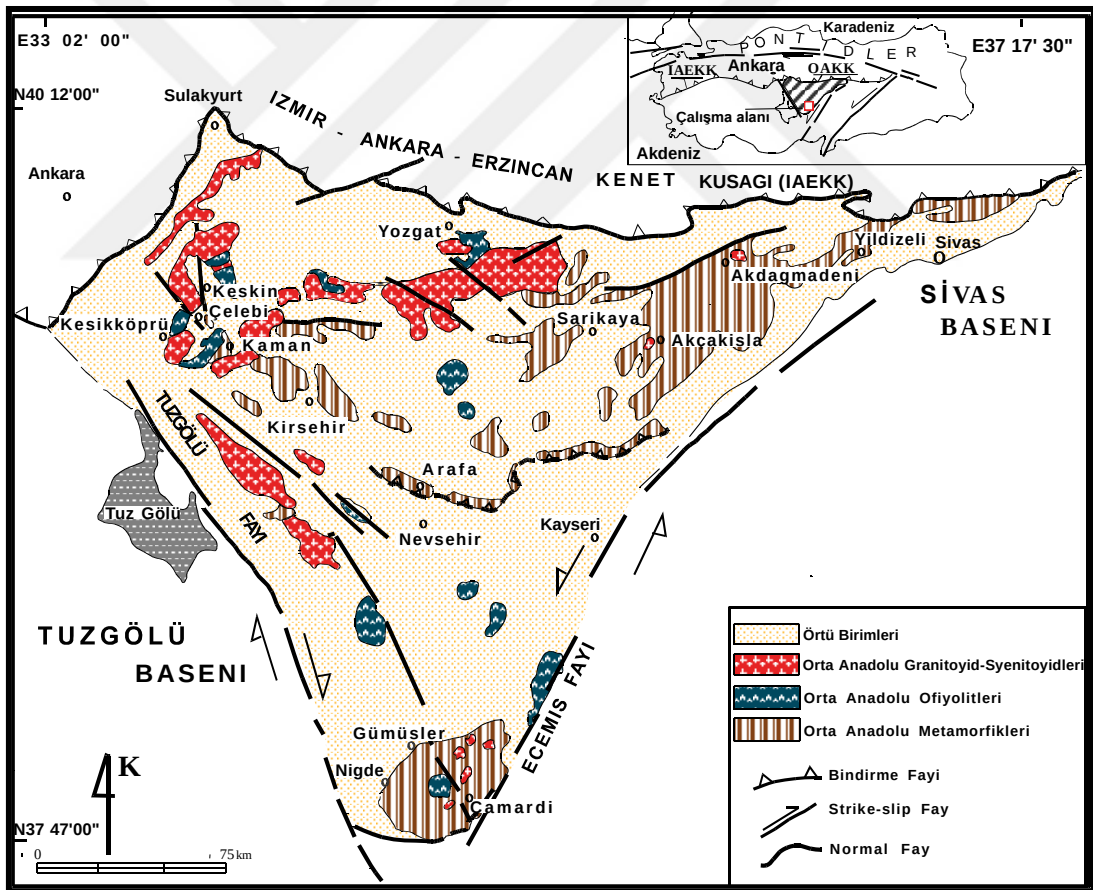
yapısına bağılı olarak veri tabanı içinde oluşturulan alanlara ait uygun veri türü (string, integer, text, vb.) seçimi yapılarak veri girişi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Tüm sayısallaştırma işlemleri Universal Transverse Mercator (UTM), International 1909 Spheroid ve European 1950 Datum projeksiyonunda ArcGIS CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Veri tabanı oluşturulduktan sonra tezin amacına uygun olarak veriler jeostatistiksel açıdan değerlendirilmiş ve Kriging interpolasyon yöntemi ve farklı variogram modelleri kullanılarak konumsal dağılım haritaları üretilmiştir. En uygun variogram model Standart Ortalama Hataların Kare Kökü (SRMR) yöntemine göre belirlenmiştir.



3. BÖLGESEL JEOLojİ

İnceleme alanının temeli Orta Anadolu Kristalen Komplekslerine (OAKK); (Göncüoğlu vd., 1991, 1992, 1993) ait kayaç birimlerinden oluşmaktadır. OAKK, Kırşehir Masifi (Arni, 1939; Seymen, 1982), Kırşehir Bloğu (Görür ve diğ., 1984; Poisson, 1986), Orta Anadolu Masifi (Erkan, 1981), Kırşehir Kıtası (Şengör, 1984), Kırşehir Kompleksi (Lünel, 1985), ve Kırşehir Dilimi (Boztuğ, 1998a) gibi isimlerle anılır. OAKK, kabaca Ankara-Sivas-Ulukışla yerleşim yerleri arasında, kuzeyde İzmir-Ankara-Erzincan kenet zonu, batıda Tuz Gölü Fay Zonu ve doğuda ise Ecemiş Fay Zonu ile sınırlanan kabaca üçgen şeklindeki bir alanda bulunmaktadır (Şekil 3.1). OAKK'nin kayaç birimleri Orta Anadolu Metamorfikleri (OAM), Orta Anadolu Ofiyolitleri (OAO), bu birimleri kesen Orta Anadolu Granitoyitleri (OAG) ve örtü birimlerinden oluşur (Göncüoğlu vd., 1991).



Şekil 3.1. Basitleştirilmiş Orta Anadolu Kristalen Karmaşığının jeoloji haritası (Göncüoğlu vd., 1991).

3.1 Orta Anadolu Metamorfitleri (OAM)

Orta Anadolu Metamorfitleri (OAM), Paleozoyik-Mesozoyik yaşı metamorfik kayalardan oluşan bir topluluk olup, kendi içerisinde düzenli bir istifdir. Bu istif üç ana birim ile temsil olunur: bu birimler, Seymen (1981) tarafından Kalkanlıdağ, Bozçaldağ ve Tamadağ formasyonları olarak; Göncüoğlu (1977) ve Göncüoğlu vd., (1991; 1992) tarafından Gümüşler, Aşıkgediği ve Kaleboynu formasyonları olarak isimlendirilmiştir. Bu birimler farklı isimlerle tanımlansa da birbirlerinin farklı bölgelerde yüzeyleyen eşlenikleridir (Göncüoğlu vd., 1991, 1992). Göncüoğlu vd., (1993)'e göre metamorfitler yaşıdan gence doğru, Gümüşler, Kaleboynu, Aşıkgediği metamorfitleri olarak tanımlanır ve bir metaofiyolitli karışık (Elmadere metaofiyolitli karışığı) tarafından tektonik olarak üzerlendiğini ortaya koymuştur. Yoğun bir deformasyon ve metamorfizmaya uğramış bu birimler ofiyolitler tarafından üzerlenir ve granitoidler tarafından da kesilirler (Göncüoğlu, 1977).

Bu istifin en altında Gümüşler metamorfitleri bulunur. Bu birim Seymen (1981)'in Kalkanlıdağ Formasyonu'na karşılık gelir. Birimde hakim kaya türünü çeşitli tiplerde migmatitik kayalar, granolit, gnays, şist ve kuvarsitler oluşturmaktadır. şistler kalk şist ve mika şist türünde, Gnayslar ise sillimanit-biyotit-muskovit gnays, (Göncüoğlu vd., 1991; Erler ve diğ., 1996). Bununla birlikte bu birim içerisinde farklı boyutlarda, birkaç metreyi aşmayan boyutlarda amfibolitlere ve mermerler de içerebilir. Gümüşler metamorfitleri içinde yer alan amfibolitler, ofiyolit napı içindeki meta-gabrolar ile belirgin benzerlikler göstermektedir (Göncüoğlu vd., 1991).

Bölgede OAM' nin en yaygın yüzlekleri olan Kaleboynu metamorfitleri, Gümüşler metamorfitlerinin üzerinde yer alır. Kaleboynu metamorfitleri mikaşist, kalksilikat mermer, biyotit gnays-kuvarsit ve amfibolşist aralanmasından oluşur ve yer yer mermer bantları içerir. Birimin ismi Kaleboynu Tepe (Niğde) yöresinden gelir ve Kırşehir bölgesindeki Tamadağ Formasyonu'nun karşılığıdır (Seymen, 1981; Göncüoğlu vd., 1991). Birim, kayatürü ve istif özellikleri bakımından Kütahya-Bolkardağı Kuşağı'na benzediği için Göncüoğlu vd., (1991, 1992, 1993), birimin oluşma yaşının Üst Paleozoyik- Alt Mesozoyik olduğunu belirtmektedir (Erler vd., 1996).

OAM'nin en üst kesimi olan Aşıkgediği metamorfitleri, Adını Niğde yöresindeki

Aşığediği Tepeden almaktadır (Göncüoğlu vd., 1993). Birimin alt kesimlerinde orta kalın tabakalı meta-karbonatlar, üst kesimlere doğru meta-çört içeren karbonatlara geçerler (Erler vd., 1996). Birimin en üst bölümünde ise amfibolit mercekli kalk silikat mermerler, meta-serpantinit, amfibolit, meta-gabro blokları içeren, yer yer blok-blok dokanaklı, yer yer gnaysik dokulu meta-kırıntılı hamurlu ve metamorfik ofiyolitli karışığa ait meta-olistostromlar ile temsil edilen birimlere geçerler (Göncüoğlu vd., 1994).

3.2 Orta Anadolu Ofiyolitleri (OAO)

Orta Anadolu Ofiyolitleri (OAO), Orta Anadolu Metamorfikleri (OAM) üzerinde tektonik olarak gözlenen ofiyolitik birimlerdir. Bu birimler, Neo-tetis okyanusunun kuzey koluna (İzmir-Ankara-Erzincan Okyanusu) ait birimler olup (Göncüoğlu vd., 1993) ultramafik kayaçlar, izotropik gabro, diyabaz, plajiyogranit, yastık lavlar ve epi-ofiyolitik çökellerden oluşmaktadır. Bunlar supra-subduction tipte okyanusal kabuk parçalarından ve bunlarla ilişkili ensimatik yay ürünlerinden oluşmaktadır. Ofiyolitik birimlerin bir bölümü ilksel konumda iken büyük kısmı temel birimler ile tektonik dokanaklı olarak görülür (Göncüoğlu vd., 1991; 1993; Erler ve diğ., 1996). Bununla birlikte OAKK'da tanımlanan bazı mafik kayaların bir kısmının ofiyolitik kökenli olmadığı, bunların manto kökenli mafik kütleler olduğu ve Orta Anadolu granitoyileri içerisinde tanımlanması gerektiği bilinmektedir (Kadioğlu ve Güleç, 1995; 1996; Kadioğlu ve Özsan, 1998). OAO'nın yaş verileri, yastık lavlar içinde pembe-kırmızı pelajik kireçtaşlarındaki fosillerden gelmektedir. Bu fosillere göre pembe-kırmızı pelajik kireçtaşlarının yaşı Orta Turoniyen öncesidir (Göncüoğlu vd., 1992; Yalınız vd., 1996).

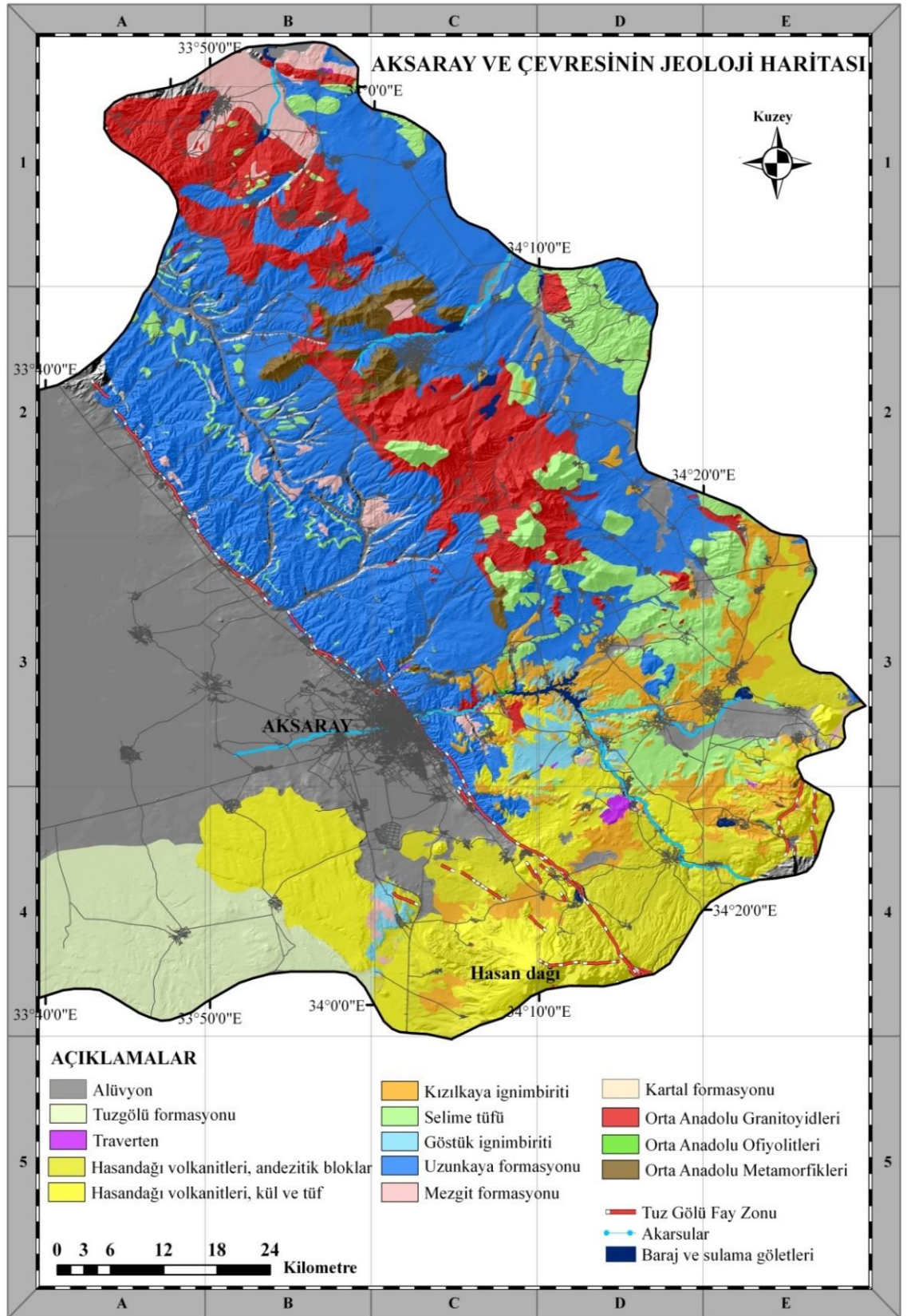
3.3 Orta Anadolu Granitoyidleri (OAG)

OAKK içerisinde bulunan intrüzif kayaçlar Orta Anadolu Granitoyidleri (OAG) olarak tanımlanırlar. Bu kayaçlar, OAM ve OAO'ne ait kayaçları sıcak dokanakla keserler (Göncüoğlu vd., 1991; Erler vd., 1996). Bunlar alkali türde magmatik ürünler tarafından kesilir ve Eosen ve daha genç yaşlı kayaçlar tarafından uyumsuz olarak örtülürler (Erler ve Bayhan, 1995; 1998; Boztuğ, 1998). OAG genel olarak monzogranit, kuvars monzonit ve granodiyorit bileşimlerindedir (Erler ve Bayhan, 1995). Bununla birlikte bu kayaçları genel olarak 2'ye ayırmak mümkündür: granitoyidler ve gabroyidler. OAKK içerisinde gözlenen granitoyidler arazide

tanımlanabilir özelliklerine göre (1) biyotit/hornblend granitler (2) lökograditler, (3) alkali feldispat megakristli granitler, ve (4) aplitik alkali feldispat granitler olarak gruplanırlar (Göncüoğlu vd., 1993; Erler vd., 1996). Bunlar coğrafik dağılımlarına göre (1) Sulakyurt-Kırıkkale, (2) Keskin-Çelebi, (3) Kaman-Çiçekdağı, (4) Ortaköy (Ağaçören-Ekecikdağı), (5) Yozgat, (6) Akdağmadeni (7) Niğde (Üçkapılı) grupları olarak da adlanırlar (Erler vd., 1996). OAG 'ni kesen genellikle çarpışma sonrası alkali kayaçlar Orta Anadolu Siyenitoidleri olarak tanımlanmaktadır. Gabroidler, OAKK daki koyu renkli intrüzif kayalardır. Bunlar çoğunlukla gabro olduğu ve daha az oranda diyabaz –bazalt kayaçların olduğu bilinmektedir. Gabroların Mesozoyik yaşındaki ofiyolit kayalara bağlantılı, Neo-Tetis e ait kalıntı ürünleri olduğu birçok araştırmacı bilim adamı tarafından kabul edilmektedir. Bölgede yapılan bir takım bilimsel çalışmalar da bu kayaçların bir kısmının ofiyolitik türden olmadığı bunların Orta Anadolu'ya girişim yapan manto kökenli mafik kütleler olduğu belirlenmiştir. Gabrolar iki tiptedir: birincisi granitoidlerle sinüsoidal dokanıklı ve geçişli olanlar, ikincisi granitik intruzyonlarla keskin dokanıklı olanlar (Kadıoğlu ve Güleç 1997, Kadıoğlu ve Özsan 1998, Güllü ve Yıldız 2012, Deniz ve Kadıoğlu 2016, Akşit, 2017). OAG, petrolojik, jeolojik ve jeokimyasal özellikleri itibarı ile çarpışma tipi granitoidler olup, çarpışma sırası (syn-COLG) ve çarpışma sonrası (post-COLG) olmak üzere iki gruba ayrılır: Çarpışma sırası (syn-COLG) oluşumları kabuk kalınlaşmasına bağlı olarak kıtasal kabuğun kısmi ergimesi ile oluşur, çarpışma sonrası tipteki granitoidler ise hem üst manto hem de alt kabuğun ortak bir takım jeokimyasal özelliklerini yansıtır (Boztuğ, 1998; Aydın vd., 1998; İlbeyli vd., 2004, Terzi, 2014).

3.4 Örtü Birimleri

OAKK örtü birimleri, Üst Kretase-Tersiyer (Pliosen) arasında çökelmiş olan sedimanter ve volkanik birimler tarafından uyumsuzlukla örtülür. Bu kayaçlar bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. İnceleme alanında temel birimlerinin üzerine gelen örtü çökelleri Üst kampaniyenden Orta Eosene kadar filişli denizel birimler ve Üst Eosenden günümüze kadar da karasal, gölsel ve volkanik çökeller oluşturur (Ünlütürk, 2000). Buradaki mevcut çökel katmanlarının en altında Kartal formasyonu bulunur. Maestrisyen yaşlı formasyonun üstünde ise, Mezgit formasyonu, Uzunkaya formasyonu, Göstük İgnimbriti, Selime Tüfü, Kızılkaya İgnimbriti, Hasandağı Volkanitleri, traverten, Tuz Gölü Formasyonu ve alüvyon bulunmaktadır (Şekil 3.2, 3.3).



Şekil 3.2. İnceleme alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası (ÖÇKB, 2010'dan değiştirilerek çizilmiştir).

ÜST SİSTEM					SİSTEM		SERİ		FORMASYON		SİMGE		LİTOLOJİ		AÇIKLAMA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
SENOZOYİK												TERSİYER		PLİYOSEN		KUVATERNER		Holosen		Qa		Qt		Ohb		Plki		Tst		Tgi		Tu		Tm		Kk		OAKK																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
PALEZOZOYİK / MESOZOYİK												KRETASE		Kartal		Kk		Orta Anadolu Kristalen Karması		OAKK																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

Şekil 3.3. İnceleme alanına ait stratigrafik dikme kesit (Güllü, 2003)' ten değiştirilerek alınmıştır.

3.4.1 Kartal Formasyonu

Temel Birimlerin üzerini örten ve Üst Kampaniyenden günümüze çeşitli zaman aralıklarında çökelmiş karasal, denizel ve gölsel birimler oluşturur. Bu çökellerden birincisi Kartal formasyonudur ve temel birimleri uyumsuz bir biçimde örter.

Kartal formasyonu yüksek seviyeli bölgede bulunan ve geniş görünür sahalar halinde bulunur ve ilk kez Turkish Gulf (1961) tarafından Kartal Formasyonu olarak adlandırmasını yapmıştır (Göncüoğlu vd., 1996). Bu Formasyon Tuz Gölü fayı boyunca yüzeyleme yapmış karasal çökellerden oluşmaktadır. Genel olarak özellikleri kırmızı renkli, kiremit rengine yakın fiziksel olarak oval ve yuvarlak, yumuşak dokulu tabaka kalınlığı yüksektir. Bu birim genelde iri çakıltaşlarından oluşur ve kayaç çeşitliliği gabro, çört ve serpantinden oluşmuştur. Aynı zamanda granit ve metamorfik çakıl çeşitleri mevcuttur (Göncüoğlu vd., 1996). Çakıl büyüklükleri 0,5-20 cm olarak değişebilmektedir. Çakıl boyları alta indikçe büyümektedir (Akıl, 2008).

3.4.2 Mezgit Formasyonu

Bölgenin en geniş alanını kapsamaktadır. Birimler çakıltaşı, kumtaşı, yer yer jips sahaları bulunur. Bu bölüm göl ve akarsu ortamlarında oluşmuştur ve adlandırılması Tromp (1942) tarafından yapılmıştır. Konglomeralar bu birim alt seviyelerini oluşturur ve Dorikini köyünde görülmektedir. Jips tabakaları ise İhlara yolu üzerinde kireçlik denilen alanda mostra verir (Güllü, 2003). Alt seviyelerde görünen granit, gabro ve diyabazlı çakıllardan meydana gelen konglomera yuvarlak oval sağlam çimentolu haldedir (Yıldız vd., 2002).

Ara ve orta seviyelerde bulunan çakıltaşları içerisinde kireçtaşları bulundurulur ve yaşları Eosen yaşlıdır. Tane olarak orta ve iri tanelidir, kötü boyda ve gevşek çimentolu yapıdadır (Şekil 3.4; Güllü, 2003). Birim içinde bulunan kumtaşı, yine aynı kökenli malzemelerden oluşmuştur. Kumtaşları, kaba taneli, kötü çimentolu olarak bulunmaktadır. Ayrıca bu formasyon içinde gözlenen evaporitli seviyeler ise beyaz-yeşilimsi beyaz anhidrit ile ince-orta tabakalı jipslerden oluşmaktadır (Şekil 3.5; Güllü, 2003). Göl ve akarsu ortamında oluşan bu birim içerisinde yaş verecek bir fosil bulgusu yoktur (Yıldız vd., 2002). Ancak Yıldız vd., (2002)'ne göre içerisinde bulunan kireçtaşı çakıllarının Eosen yaşlı olması ve Alt Pliyosen yaşlı Uzunkaya formasyonu tarafından açılı uyumsuz bir şekilde örtülmesi nedeniyle birimin yaşının Oligo-Miyosen olabileceğinden bahsederler.



Şekil 3.4. Mezgit formasyonu tabanında görülen iri ve büyük çakıllı konglomeralar (Dorikini Köyü Güney tarafı) (Güllü, 2003).



Şekil 3.5. Mezgit Formasyonu içerisinde gözlemlenen tabaka halindeki jips görünümleri (Güllü, 2003).

3.4.3 Uzunkaya Formasyonu

Bu Formasyon, yer olarak Hamamboğazı deresindeki iki yamacında ve Dorukini Köyü civarında, Mezgit formasyonunun üzerinde açılı ve uyumsuz olarak görülmektedir (Güllü, 2003). Selime köyü (Aksaray) dolaylarında benzer litolojik ve stratigrafik seviyelerde Alt Pliyosen yaşında omurgalı fosiller tanımlandığından, birimin Alt Pliyosen yaşlı olduğu kabul edilmiştir (Yıldız vd., 2002).

3.4.4 Göstük İgnimbriti

Bu birim en güzel kesiti Göstük yöresinde bulunduğu için ilk kez Beekman (1966) tarafından Göstük İgnimbiriti olarak adlanmıştır. Birim ince ve kaba topluluklar halinde bulunan andezitik bileşimli ignimbiritlerden oluşur. Beyaz, gri, mor ve pembe gibi değişik ton ve renklerin hakim olduğu birimin ayırt edici özelliği içindeki pumislerin varlığı olup, bununla birlikte küçük çaplı peri bacaları oluşumu görülmesidir (Güllü, 2003).

Birim tabanında yaklaşık 1,5-3 m kalınlığında, beyaz renkli, ince taneli, amorf camsı tüf bulunmaktadır. Yukarıya doğru ignimbirit özelliği kazanarak devam eder. Birimin kolay aşınması, kolay kesilip işlenmesi ve yeraltı suları ile temasında çeşitli renkte desenler alması sebebiyle endüstriyel alanlarda inşaat ve yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

3.4.5 Selime Tüfü

İlk defa Beekman (1996) tarafından isimlendirilen bu birim Kızılkaya çevresinden ortaya çıkar, güneye doğru yaygın olarak gözlenir. Nevşehir bölgesinde daha geniş yayılımları bulunur. Bu birimler, Melendiz suyunun batısında beyaz renkli, ince taneli, camsı olarak gözlenirler ve içlerinde küçük ve beyaz renkli pumis (süngertaşı) parçaları bulundurmaktadırlar. Pumis parçaları ortalama 2-3 cm arasında değişen çapta olup ve gaz boşlukları içerirler. Melendiz suyunun doğusunda ise beyazımsı ve pembe renkli olarak görülen Selime tüfü, bu kesimde bazalt, spilit, obsidiyen, tüfit ve andezit parçaları içermektedir. Birim muhtemelen volkanizma sonucu ortaya çıkan piroklastik malzemelerin gölsel bir havza içerisinde çökmesi sonucu oluşmuştur. Birimin kalınlıkları 0.5 m, ile 60 m, arasında değişmektedir. Selime tüfü, üzerinde

bulunan Kızılkaya ignimbiritleri ile birlikte aşınmaya uğradıkları için masa şekilli tepeler meydana gelmiştir.

Petrografik çalışmalar sonucunda vitrik tüf olarak anılan birim mineralojik açıdan plajiyoklaz, biyotit, litik bileşen, pumıs, cam parçaları ve opak oksitlerden oluşmaktadır. Vitrik doku, bu tip kaynaklaşmanın olmadığı tüflerde yaygın olarak bulunmaktadır. Birim, bazaltik ve andezitik kayaç parçalarından oluşmaktadır.

3.4.6 Kızılkaya İgnimbriti

İsmi Kızılkaya bölgesinden alan bu birimler ilk defa Beekman (1966) tarafından isimlendirilmiştir. Selime Tüfleri üzerine uyumsuz olarak gelen bu birim, masa-tepe şekilleri ile karakteristik tipik bir görünüme sahiptir. Genel görünüm olarak pembemsi-kırmızımsı renkte gözlenen birimin yüzeyleri az bozunmuştur. Görünümleri pembemsi-beyazımsı gri renklerde dir. Birimin alt seviyelerinde büyüklükleri 30 cm'ye varan pomza parçaları içerir. Birimin ara seviyeleri açık pembe, gri renkli andezit ve bazalt çakıllı, üst seviyeleri beyaz, açık gri renkli volkanik çakıllı ve orta kısımları sağlam çimentolu, üst kısımları ise zayıf bileşimdedir. Birim içerisinde bulunan kırık ve çatlakların belirli yönde gelişmemesi, kaynağının soğumaya bağlı olduğunun göstergesidir (Yıldız vd., 2002).

Genelde ignimbiritler mineralojik olarak piroksen, plajiyoklaz, biyotit, obsidiyen, opak gibi ana bileşenlerinden oluşmaktadır. Bölgedeki ignimbiritlerin yüksek seviyede silisyumdioksit (SiO_2), Kalsiyum oksit (CaO) içeriği ile düşük seviyede Potasyum oksit (K_2O) içermesi kayaçların sadece atmosferik süreçlerden geçmediği, ayrıca hidrotermal bozulmalara maruz kaldığını göstermektedir (Güllü, 2003). Ayrıca petrografik gözlem sonuçlarına göre bölgedeki ignimbiritler, tüflere göre bu bozunmalardan daha az etkilenmişlerdir. Bunun sebebi ise ignimbiritlerin daha kaynaşmış yapısı ve içerdiği yüksek silikadan dolayıdır.

3.4.7 Hasandağı Külleri

İlk defa Beekman (1966) tarafından adlandırılan bu birim hem andezit hem de bazalt bileşimindeki lavlar ve bunların farklı boyuttaki proklastiklerinden oluşurlar. Piroklastik kayaçlar tüf ve aglomeralardan oluşmaktadır. Birim içinde yer alan kaya

türleri birbirleri ile düşey ve yanal geçişli olabilmektedir. Genellikle topoğrafya ile yatay uyumlu, hem de eğimli bir görüntüde olabilmektedirler.

Hasandağı külleri ve artıkları, gölsel çökeller ve volkanik ürünlerin ardalanmasından oluşmaktadır. Grimsi-beyaz renkli küller ve lapilliden oluşan Hasandağı külleri, beyaz renkli vitrik kül ile karışık, içerisinde kaba kum boyunda 5–6 cm’ye kadar ulaşan obsidiyen, pomza ve az miktarda da lav parçaları içermektedir. Hasandağı külleri ve artıkları, Belisırma ve Ihlara bölgesinde Kızılkaya ignimbiritlerinin üzerinde yer almaktadır.

3.4.8 Traverten

Bu birim, karbondioksit içeriği yüksek sıcak ve mineralli yeraltı sularının basınç ve diğer faktörler altında, geçtikleri bölgelerdeki kayalardan çözdükleri kalsiyum karbonatı (CaCO_3), ince tabakalar halinde çökeltmesi ile oluşur. İnceleme alanındaki genç volkanizmaya bağlı olarak ısınan karbondioksitçe zengin sıcak sular, kayalardaki kırık-çatlak sistemler boyunca yüzeye doğru çıkmakta ve travertenleri oluşturmaktadır. Bölgedeki travertenler genellikle beyazımsı, beyaza yakın, sarı ve açık kahve renkli olmakla birlikte, alterasyon sonucu ortaya çıkan demir zenginleşmesinden dolayı kırmızı renk tonlarında da görülebilmektedir.

3.4.9 Tuzgölü Formasyonu

Tuz Gölü ve çevresinde yüzey topoğrafyasının düzgün olduğu alanlarda çökelim gösteren birimler en altta çakıl, kum, silt ve kil ile başlar, karbonatlı, jipsli, sülfatlı seviyeler içeren çökeller ile devam eder. Bu birimler, Ulu vd. (1994), tarafından Tuzgölü formasyonu olarak adlandırılmış ve Pliyo-Kuvaterner yaş aralığı kabul edilmiştir.

Formasyon gölsel özellikte olmakta, tabanda kötü boylanmış ve iyi bir şekilde yuvarlaklaşmış çakıl-kum birimleri ile başlar. Çakıllar genelde tane desteklidir ve kum matriks içerir (Kavurmacı, 2013). Bunların üzerinde açık ve yeşilimsi-beyaz renkli kil çökellerinden oluşan kum-silt fasiyesi yer almaktadır. Bu killerin, alansal yayılımları yüzlerce metreyi bulan, mercek ve oval şekilli yaygılar halinde jips ara tabakaları da içerir (Ulu vd., 1994). Bunların üzerine ise kireçtaşı-kiltaşı ile birlikte ardalanma şeklinde yatay tabakalı kum-silt fasiyesleri gelmektedir.

Tuz Gölü Formasyonu içerisinde hakim litoloji kil olup, killeri içerisinde heterojen ve kesintili dağılım gösteren karbonatlı kum seviyeleri ve yer yer sarımsı - bej renkli bol kırık çatlaklı ince tabakalı marnlı seviyelerde gözlemlenir (Kavurmacı, 2013).

3.4.10 Alüvyon

Akarsu ve dereler marifetiyle taşınarak çukur ve vadi tabanlarına birikmiş halde bulunan çakıl, kum, silt vb. birimlerden oluşmaktadır. Bu birimler Holosen yaşlı olup, bölgedeki litolojilerle ait kayaç parçaları içerirler.

3.5 Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı herhangi bir hareketlilik olamamakla beraber tektonik olarak oldukça hareketli bir bölgede bulunmaktadır. Alanın tektonik yapısına göz attığımızda, Tuz Gölü havzası ve temelini oluşturan Kırşehir Masifi etkili olmuştur. Şengör ve Yılmaz (1981)'e göre çalışma alanı Anatolid/Torid platformunda yer alır görüşü vardır. Üst Kretase zamanı boyunca bu kuşağın üzerinde bir okyanus bulunmaktadır. Kuzeye Pontitlerin altına dalan ve gittikçe daralan bu okyanusal kesimde deniz gibi yayılma ürünleri olan ofiyolitler, Kampaniyen ve Mestiristiyen döneminde güneye doğru giderek Anatolid/Torid platformunun Juradan beri süregelen karbonat çökelleri üzerine gelmiştir. Tuz Gölü havzasının tabanını oluşturan Kırşehir Masifinin devamı niteliğinde olup, Mamasın Barajı çevresinde bulunan ofiyolit ve ultra-mafitlerle Bozdağlar birliğinde görülen ve Bozkır napları adı verilen aynı türden kayaçlar, altında kalan çökel istifini büyük bir yük altında bırakarak, çökellerde yüksek basınç metamorfizması oluşturmuştur.

Palaosen-Eosen geçiş döneminde kuzeydeki Neotetis, Anatolid/Torid platformu ile pontitlerin çarpışması sonucunda (Şengör ve Yılmaz, 1981) kapanarak kuzeyden güneye hareket etmiştir. Lütesiye döneminde bölge derin deniz suları altında kalmıştır. Mamasın barajının kuzeyinde gözlenen Eosen yaşlı numulites fosili içerikli kireçtaşları bunun kanıtıdır. K-G yönlü bu hareket Eosen ve Oligosen dönemlerinde de devam etmiş, sonuçta Anatolitlerin yukarı yönlü yükselmesine neden olmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981). Bu alanda Maestrihyen-Pliyosen döneminde genellikle K-G gidişli faylar ve kırık sistemleri gelişmiştir. KB-GD ve KD-GB yönlü fay ve kırık hatlarının kesişmesi ile bölgedeki merkezi volkanizmalar aktif hale gelmiş, bunun

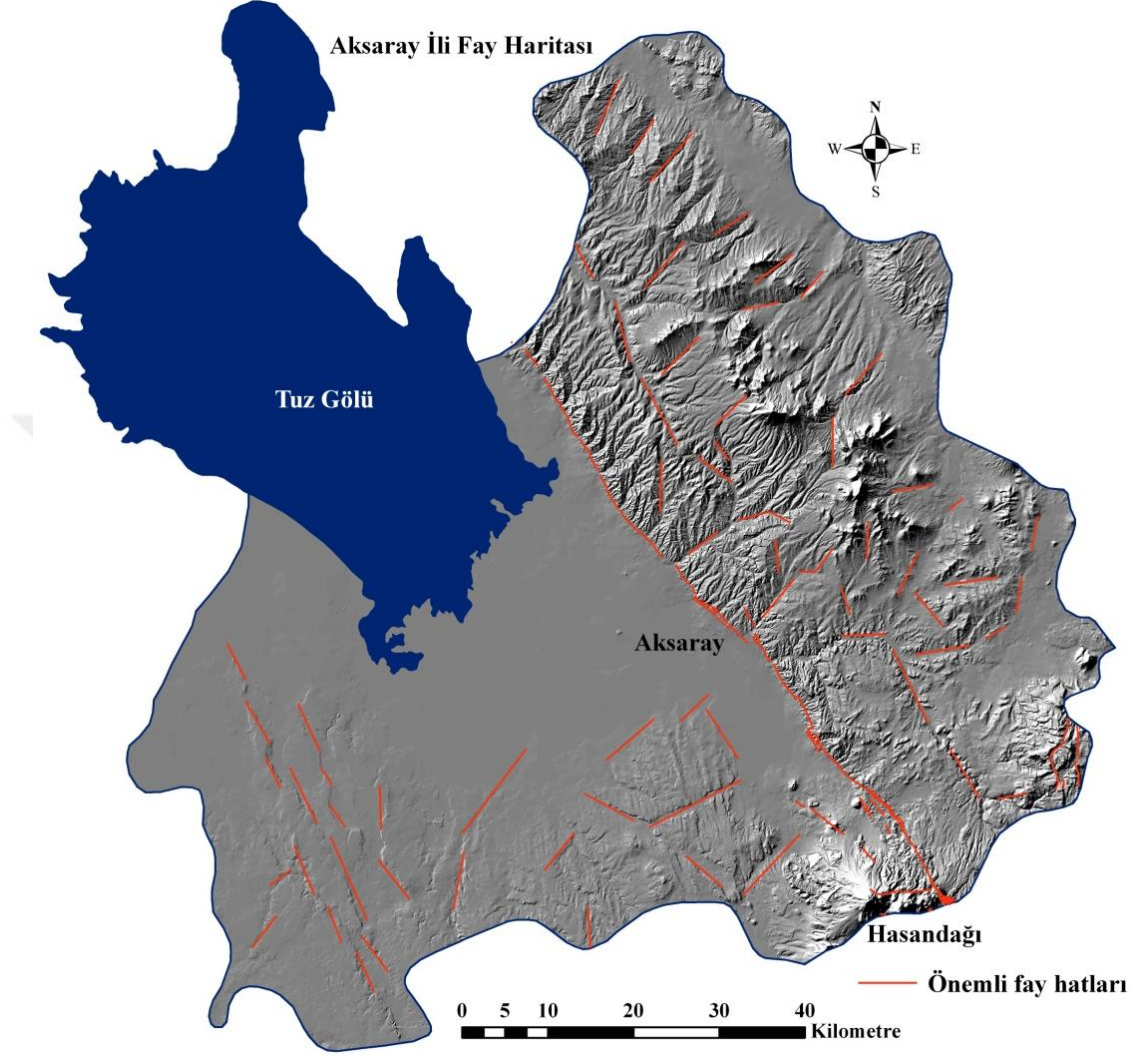
sonucunda da curuf konileri oluşmuştur. Genç birimlerin örtüleme şeklinde bölgeyi kaplamaları tektonik yapılarında örtülmesine neden olmuştur.

Bölgedeki faylar, çoğunlukla KD-GB ve KB-GD yönlüdür. İnceleme alanının en önemli ve göreceli tektonik yapısı eğim atımlı normal fay niteliğindeki KB-GD gidişli Aksaray-Koçhisar fay hattıdır (Şekil 3.4). Farklı araştırmacılar ve ilgililer tarafından Tuz Gölü Fay Zonu olarak da adlandırılan tektonik unsur bazı bilim adamları tarafından doğrultu atımlı sağ yanal fay olarak da değerlendirilmektedir. Şengör vd. (1985) ile Şaroğlu vd. (1987) bu fayın yüksek açılı olmakla beraber ters fay olduğunu ileri sürmüşler, Derman vd. (2000) ise bu fayın önce normal bir fay olarak başladığını Eosen döneminde sol yönlü doğrultulu atımı kazandığını daha sonra da tekrar normal bir faylanma karakteri kazandığını belirtmişlerdir. Toprak ve Göncüoğlu (1993); Dirik ve Göncüoğlu (1996), Çemen vd. (1999) ise fay zonunun neo-tektonik dönemde yüksek açılı normal fay bileşene sahip sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olduğunu ifade etmişlerdir. Kürçer vd. (2012) ise çalışmasında TGFZ'nun K25-60B doğrultulu, 65-85 GB'ya eğimli, çok küçük oranda sağ yanal doğrultu atım bileşenine sahip (yan yatım açısı; 75-85), yüzeyde yüksek açılı normal faylardan oluşan bir fay zonu olduğunu savunmuşlardır. Tuz Gölü'nün kuzeyinden başlayıp Niğde ye bağlı Kemerhisar kazasına kadar devam eden ve TGFZ K25-60B doğrultusunda, yaklaşık 190-200 km. uzunluğunda ve 5-25 km. genişliğe sahiptir (Kürçer vd., 2012).

Basamak şekilli, yarı graben veya horst graben fiziksel morfoloji sunan bu fay zonu birbirine paralel bulunan veya yarı paralel faylardan oluşmaktadır. Ana faydan düşen batı taraflı bloğuna oluşan kalın, yer yer deforme olmuş alüvyon yelpazeleri, fay dikmeleri ve doğu blok üzerinde bükülmüş dere yatakları önemli morfolojik unsurlardır (Dirik ve Göncüoğlu, 1996). Fay hattının güney ucu volkanik aktivite, sıcak su kaynakları, fay zonuna paralel parazitik koni dizilimi, traverten oluşumları, fay kontrollü teras oluşumları ve sağ yanal olarak atılmış lav akıntıları ile karakterize olmuştur (Toprak ve Göncüoğlu, 1993).

İnceleme alanında Tuz gölü Fay Zonuna paralel gelişen KB-GD istikametinde gidişli birbirine paralel doğrultu atımlı fay kırıkları ve ana fayı değişik açılarla kesen D-B yönlü düşey fay sistemleri gelişmiştir. Düşey bileşenli faylar bu alanda graben özellikli bir yer vasfı kazandırmıştır.

Bu bölge sahası ve çevresinde diğer bir önemli morfolojik unsurlardan biride Hasandağı volkanizma ürünlerinden olan Kızılkaya ignimbritlerinin yatay masa şekilli yapılarıdır.



Şekil 3.6. Aksaray ili fay haritası.

3.6 İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanındaki ana birimler Kuvaterner yaşında alüvyon yapıdaki birimleridir. Çalışma kapsamında bölgeyi temsilen 50 adet araştırma sondaj kuyusundan elde edilen kuyu log verileri incelenmiştir.

İncelenen verilere göre, en üstte yer alan (0,5m) derinliğindeki bitkisel topraktan başlayarak bazı bölgelerde 15 m'ye kadar gri ve kahve renkli kumlu-siltli-kil gözlenirken, bazı bölgelerde 5 m'ye kadar kahve renkli kumlu siltli kil, 5 ve 15m

arasında grimsi kahve renkli çakıllı siltli kum gözlenmektedir. Zemin profilinde ilk seviyedeki birim olan toprak, yaklaşık 0,5-1,0 m arasında değişen kalınlıkta bulunmaktadır. Açık renkli organik bir örtünün altında ise killi karışık seviyeler görülmektedir. Zeminde 1 m. Derinlikten sonra başlayan killer genellikle grimsi-kahve renkli, sert, katı, orta kuru dayanım ve orta sıkışabilir özelliktedir. Zemin içinde bulunan kumlar genellikle gri renkli ve düşük kohezyonludur. Sondajların genelinde üstten 7,5 m derinlikten itibaren görülen çakıllar ise nispeten daha koyu gri renkli ve iri köşelidir. Zemin içerisindeki birimler düşey ve yatay kesitte sık değişim gösterir ve zemin heterojen kesintili yapıdadır. Bunun sebebi, yüksek debiye ve turbülanslı akış sistemine sahip akarsuların çökelim havzasına iri taneleri, mevsimsel olarak debilerinin ve su seviyelerinin düştüğü zamanlarda ise daha ince taneleri taşımasıdır.

Sondaj kuyu verilerinden elde edilen zemin sınıflamasında büyük oranda düşük-orta plastisiteli, inorganik killer ve çoğunlukla siltli killer yer almaktadır. Daha düşük oranlarda ise siltli ve killi kumlar, killi siltler, inorganik silt, killi ve siltli çakıl ile çakıl kum karışımlardan ibarettir. Zemin büyük oranda killerden oluşmakla birlikte, diğer birimler içinde de mercekler ve ara bantlar halinde bulunmaktadır. Bu sonuçlar bize çökelim havzasının aynı zamanda gölsel ortam özelliğini göstermektedir.

Çalışma sahasındaki yeraltısuyu seviyesi (YASS) yüzeye yakın olup 2,5–7 m ye kadar değişim gösterebilir. Bu yeraltı suyunun yüzeye yakın olması ve üstyapı ve inşaat temellerinin zemin içerisinde genelde ince taneli kum ve siltli seviyelere denk gelmesi, bölgenin zemin sıvılaşma riskini arttırmaktadır.

4. HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRME

Betonarme yapılarda gözlenen korozyon şiddeti veya oranını etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametreler arasında betonun fiziksel ve kimyasal yapısı diğeri ise temas suyunun hidrojeokimyasal özellikleridir. Yeraltı suları yeraltı dolaşım sistemi boyunca temas ettikleri kayalardan çözdükleri iyonlar sayesinde iyonca zenginleşir. Çözünen iyonların türü ve miktarına bağlı olarak yeraltı suları farklı hidrojeokimyasal özellikler kazanır. Sular genel olarak kazandıkları bu özelliklere göre sınıflandırılır ve değerlendirilir. Her suyun kimyası farklıdır ve zaman içerisinde değişim gösterebilir. Bundan dolayı hidrojeolojik çalışmalarda suların hidrojeokimyasal özelliklerinin bilinmesi ve izlenmesi oldukça önemlidir.

Bu bölümde, çalışma alanında 50 ayrı noktadan alınan su örneklerinin analiz sonuçları değerlendirilmiştir (Çizelge 4.1). Su örneklerinde temel katyonlar (Kalsiyum, Magnezyum, Sodyum, Potasyum), ve anyonlar (Sülfat, Bikarbonat, Klorür), çözülmüş karbondioksit, pH, alkalinite, toplam çözülmüş katı madde içeriği, amonyum, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik gibi su kalite parametreleri ölçülmüştür (Çizelge 4.1).

Su örneklerine ait bazı fiziksel ve kimyasal parametrelerin ortalama değerleri; sıcaklık (T) 15,2 °C, pH; 7,11, elektriksel iletkenlik (ÖEİ); 1205 µS/cm, toplam çözülmüş katı madde içeriği (TÇKM); 903 mg/L, Ca²⁺ sertliği; 342,7 mg/L, çözülmüş karbondioksit (CO₂); 105,4 mg/L, amonyum (NH₄); 0,64 mg/L, Kalsiyum (Ca²⁺); 137 mg/L, Sodyum (Na⁺); 64,86 mg/L, Magnezyum (Mg²⁺); 69,83 mg/L, Potasyum (K⁺); 7,27 mg/L, Sülfat (SO₄²⁻); 268,85 mg/L, Klorür (Cl⁻); 85,89 mg/L ve Bikarbonat (HCO₃⁻); 469,52 mg/L olarak ölçülmüştür.

Aynı parametreler için sırası ile en küçük ve en büyük değerler ise (11,7 °C -19,7 °C), (6,32-7,89), (407,2 µS/cm – 2448 µS/cm), (305,4 mg/L - 1914,2 mg/L), (145,9 mg/L – 724,2 mg/L), (5,06 mg/L – 482,3 mg/L), (0 mg/L – 4,09 mg/L), (58,6 mg/L – 290,8 mg/L), (14,02 mg/L – 167,4 mg/L), (24,3 mg/L – 203 mg/L), (0,35 mg/L – 25,85 mg/L), (70,51 mg/L – 1010 mg/L), (14 mg/L – 324,6 mg/L), (201,39 mg/L – 889,55 mg/L) şeklinde hesaplanmıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1. Su örneklerine ait analiz sonuçları. (Mart 2018 – Mayıs 2019).

ID	x	y	YASS Derinlik (m)	T	pH	EC (µS/cm)	TÇKM (mg/l)	Alkalinite (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	K ⁺ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca ⁺² sertliği (mg/l)	Karbondioksit (CO ₂) (mg/l)	Amonyum (NH ₄) (mg/l)
1	588739	4248208	3,5	18,1	7,74	819,13	594,90	293,81	89,84	67,38	45,80	5,16	224,88	59,90	358,45	223,71	46,00	1,56
2	587075	4248085	4,0	16,7	7,53	644,50	458,40	194,87	79,28	59,46	24,30	7,38	106,05	76,80	237,74	197,42	69,00	1,85
3	590083	4247583	5,2	15,4	7,14	2449,00	1914,20	643,66	205,07	153,80	116,70	14,80	329,35	324,60	785,26	510,63	137,77	2,56
4	590301	4247437	4,2	16,9	6,68	635,41	481,90	214,39	66,21	49,66	37,72	4,43	106,90	96,00	261,55	164,87	344,59	0,06
5	588985	4247616	3,7	12,2	7,04	1457,10	931,10	344,94	121,86	91,39	34,55	8,85	70,51	192,00	420,83	303,42	10,10	0,03
6	590264	4247937	3,2	12,8	6,85	1906,96	1389,40	412,87	223,23	167,42	89,40	10,88	602,28	128,60	503,70	555,85	160,77	1,13
7	588585	4247860	4,7	13,6	7,33	407,20	305,40	165,08	58,61	21,50	25,35	0,36	85,57	17,30	201,39	145,94	57,50	1,05
8	590547	4248540	4,2	16,1	6,50	1285,46	951,00	357,73	129,14	46,85	71,93	0,79	140,77	125,90	436,43	321,55	344,59	0,03
9	588317	4248528	3,7	13,5	7,23	772,82	587,10	271,91	97,14	50,36	48,54	1,93	261,61	27,70	331,73	241,89	12,65	0,06
10	590543	4247541	4,3	14,5	7,37	1949,20	1593,00	574,10	88,55	66,41	203,34	1,98	401,49	132,90	700,40	220,48	23,78	0,03
11	588368	4248330	4,8	12,3	7,06	821,03	627,40	358,28	94,60	70,95	56,44	2,09	203,35	48,30	437,10	235,54	41,49	0,08
12	589392	4247782	3,5	15,6	6,94	1280,43	990,60	484,66	148,29	111,22	74,12	4,67	245,06	160,10	591,29	369,24	24,29	0,20
13	590032	4248088	5,5	15,4	6,72	1261,67	1001,40	434,13	152,21	114,16	76,80	7,84	358,91	106,10	529,64	379,00	78,11	0,06
14	590888	4248177	3,7	14,7	6,81	2421,24	1872,00	530,07	290,85	143,14	144,20	13,98	1010,87	123,80	646,68	724,21	103,39	0,00
15	588745	4248492	5,5	14,7	7,18	1407,59	1087,80	382,24	193,98	45,49	54,17	4,38	216,96	111,20	466,34	483,02	5,06	0,03
16	586726	4247942	3,0	16,8	7,16	1224,07	897,20	485,35	132,72	99,54	75,45	6,31	257,20	107,90	592,12	330,47	24,29	0,10
17	588952	4247133	3,6	14,9	7,75	1230,73	978,40	469,77	140,95	89,96	95,06	4,09	398,51	60,60	573,12	350,97	21,76	0,05
18	588325	4246997	5,0	15,8	7,90	1478,18	1109,30	729,15	254,14	40,61	77,91	2,07	323,58	42,60	889,56	632,81	17,71	0,18
19	588569	4247123	4,0	13,3	7,62	1204,49	938,20	413,03	184,00	33,00	68,22	2,56	351,27	77,40	503,89	458,17	16,70	0,18
20	587997	4249905	3,5	14,0	6,97	1505,73	1157,30	416,16	158,19	66,14	74,90	2,26	268,48	82,00	507,72	393,89	110,06	0,46
21	589041	4249303	4,7	14,6	6,91	1063,23	831,20	414,81	172,55	54,42	55,33	4,84	328,20	30,80	506,06	429,66	114,77	0,54
22	590286	4247769	3,0	13,4	7,35	710,81	520,50	232,01	78,65	58,98	38,30	5,03	186,94	62,10	283,06	195,83	98,67	4,10
23	589838	4246804	3,5	12,5	7,48	1364,57	871,00	319,48	150,30	112,73	46,80	2,19	295,37	110,00	389,77	374,26	87,29	2,04
24	588638	4247587	5,4	11,7	7,22	1370,34	1044,00	418,00	171,36	28,52	64,42	2,03	226,13	44,40	509,96	426,69	12,14	0,17
25	588842	4250114	3,8	15,2	7,48	1290,95	962,00	436,02	122,19	91,64	98,76	3,34	428,27	62,20	531,94	304,26	6,58	0,14

Çizelge 4.1. Su örneklerine ait analiz sonuçları (devam ediyor).

ID	x	y	YASS Derinlik (m)	T	pH	EC (µS/cm)	TÇKM (mg/l)	Alkalinite (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	K ⁺ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca ⁺² sertliği (mg/l)	Karbondioksit (CO ₂) (mg/l)	Amonyum (NH ₄) (mg/l)
26	588507	4247227	4,9	12,6	7,16	1669,98	1136,40	414,94	156,88	42,66	92,87	3,57	281,85	55,60	506,23	390,64	16,19	0,09
27	589278	4248180	5	17	7,33	786,42	582,00	490,76	170,46	52,84	93,10	3,64	253,20	61,40	598,73	424,44	94,19	0,49
28	589202	4247977	5	14	7,12	1352,12	1104,00	336,97	144,03	58,02	86,80	2,53	238,20	166,40	411,11	358,64	80,39	0,32
29	588361	4249065	4,5	16	7,06	999,20	676,00	254,15	89,93	37,45	48,80	3,97	138,10	52,00	310,06	223,92	71,21	0,30
30	588454	4249562	5	17	6,43	1324,35	910,00	448,98	162,38	49,29	78,80	2,90	341,09	54,40	547,76	404,34	213,90	4,04
31	589671	4247495	3,5	15	6,74	1594,90	1116,00	385,43	162,85	122,14	94,00	3,81	546,00	56,80	470,22	405,49	138,00	1,45
32	587663	4248709	3	17	7,26	713,04	477,70	351,14	84,75	41,06	44,00	2,40	108,00	31,80	428,40	211,02	85,10	0,29
33	590608	4247978	3	13	7,32	1268,37	935,00	475,51	181,26	60,94	66,00	21,12	354,00	59,80	580,12	451,33	80,50	1,50
34	590073	4248443	4	15	7,09	1152,03	851,00	547,89	145,38	109,03	68,00	13,09	306,00	28,50	668,42	361,99	121,90	0,32
35	588110	4249321	3,5	18	7,49	773,12	637,70	385,87	111,61	83,71	40,00	25,85	238,00	47,30	470,76	277,90	78,20	0,12
36	588096	4248268	5	20	6,62	706,57	623,00	529,26	122,75	17,06	71,00	2,27	106,00	14,00	645,70	305,64	115,92	0,21
37	588204	4247818	6	17	7,6	935,47	832,10	320,93	120,22	15,16	54,50	2,85	151,90	98,80	391,53	299,34	29,90	0,55
38	587628	4249491	5	17	7,02	1026,21	744,00	253,45	128,43	21,32	45,80	3,20	223,60	16,20	309,20	319,78	95,45	0,77
39	589750	4248233	5	16	7,47	1020,39	810,00	177,63	138,81	29,11	46,00	3,09	249,20	130,50	216,71	345,63	66,70	0,35
40	588758	4249584	8	13	7,47	1062,55	887,00	350,84	118,70	14,03	73,50	2,23	223,80	29,40	428,03	295,57	86,25	1,67
41	588703	4248679	5	14	6,6	1285,99	934,00	188,70	60,77	45,58	121,00	25,68	390,20	86,30	230,21	151,32	209,07	0,11
42	589002	4247348	3,5	18	6,95	632,27	454,00	188,84	72,47	31,85	35,70	20,12	142,00	64,40	230,38	180,45	110,17	0,01
43	590769	4248042	2,5	15	7,1	1634,12	1138,00	351,86	182,89	62,17	51,04	12,56	261,00	152,00	429,28	455,40	123,97	0,20
44	589004	4248376	4,5	19	7,17	933,43	693,00	358,99	99,22	74,42	61,70	11,53	228,50	72,00	437,96	247,06	106,72	0,06
45	589819	4247786	2,5	15	6,9	1223,67	779,00	401,96	128,45	36,34	72,30	15,37	208,00	94,00	490,39	319,84	176,87	2,43
46	587831	4249741	5	17	6,32	1347,76	1075,00	395,27	161,00	45,75	65,30	6,73	240,62	81,00	482,22	400,88	482,31	0,06
47	588790	4249450	5	14	6,88	1463,03	1132,00	351,71	191,73	68,80	45,69	18,87	249,52	148,00	429,09	477,40	204,47	0,00
48	589347	4248669	6	16	6,75	1252,32	950,60	357,21	116,99	65,24	64,20	17,23	174,45	94,00	435,80	291,31	151,57	0,19
49	589764	4247874	5,5	14	6,36	1031,57	700,80	344,47	116,80	42,60	65,20	7,96	222,20	57,00	420,25	290,82	287,27	0,09
50	587942	4247872	4,5	17	7,74	1127,26	912,00	583,59	109,17	81,87	107,90	7,09	138,90	132,00	711,98	271,82	75,90	0,00

Çizelge 4.2. Fiziksel ve kimyasal analizlerin tanımlayıcı istatistiksel özeti.

Tanım/parametre	T	pH	EC	TÇKM	Ca ⁺² sertliği	CO ₂	NH ₄
Ortalama	15,20	7,12	1205,56	903,70	342,72	105,42	0,65
Standart Hata	0,26	0,05	59,33	45,77	17,05	13,65	0,14
Ortanca	15,25	7,13	1227,40	911,00	326,01	85,68	0,19
Standart Sapma	1,85	0,38	419,54	323,61	120,55	96,50	0,98
Basıklık	-0,55	-0,44	1,51	2,22	1,10	4,54	4,67
Çarpıklık	0,15	-0,12	0,86	1,06	0,78	1,92	2,18
En Küçük	11,70	6,32	407,20	305,40	145,94	5,06	0,00
En Büyük	19,70	7,90	2449,00	1914,20	724,21	482,31	4,10
Örnek Sayısı	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Tanım/parametre	Ca ⁺²	Na ⁺	Mg ⁺²	K ⁺	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻
Ortalama	137,64	64,86	69,83	7,28	268,86	85,90	469,53
Standart Hata	6,85	5,06	4,47	0,93	21,70	7,79	20,98
Ortanca	130,93	58,50	65,65	4,40	242,84	74,40	468,28
Standart Sapma	48,41	35,78	31,59	6,58	153,44	55,06	148,33
Basıklık	1,10	0,72	5,63	1,13	10,54	5,95	0,41
Çarpıklık	0,78	1,00	1,82	1,40	2,57	1,83	0,36
En Küçük	58,61	14,03	24,30	0,36	70,51	14,00	201,39
En Büyük	290,85	167,42	203,34	25,85	1010,87	324,60	889,56
Örnek Sayısı	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00

4.1 Sertlik

Suların sertliği genel olarak kalsiyum, magnezyum, demir, mangan, alüminyum gibi parametrelerin toplu etkisini yansıtan bir fiziksel özelliktir. Kalsiyum ve magnezyum bikarbonatlar geçici sertlik veren maddelerdir ve su ısıtıldığında suyun sertlik derecesi azalabilir. Kalıcı sertlik ise genellikle toprak alkali metallerin silikat, klorür, sülfat ve nitratlarından kaynaklanır.

Yeraltı sularının sertlik derecelerini belirlemekte kullanılan Fransız sertlik derecesi (Fr), 1 litre sudaki çözülmüş kalsiyum, magnezyum, bikarbonat veya bunlara eşdeğer sertlik oluşturu bileşiklerin bulunmasından ibarettir (Şahinci, 1991). Fransız sertliği hesabının yapılabilmesi için Ca⁺² ve Mg⁺² parametrelerinin mg/L alınması gerekir.

Suyun Fransız sertliği aşağıda verilen formülle hesaplanabilir (Şahinci, 1991);

$$\text{Toplam Sertlik} = 0,2497 \text{ Ca}^{+2} + 0,4115 \text{ Mg}^{+2}$$

Çizelge 4.3. Suların sertlik sınıfları tablosu (Şahinci, 1991).

Fransız Sertliği (Fr)	Suyun Sınıfı
0-7,2	Çok Yumuşak
7,2-14,5	Yumuşak
14,5-21,5	Az Sert
21,5-32,5	Oldukça Sert
32,5-54,0	Sert
54,0'ten fazla	Çok sert

Su örneklerinin analiz sonuçlarına göre, kalsiyum iyonunun en düşük değeri 60 mg/L, en yüksek değeri ise 290 mg/L olarak ölçülmüştür. Magnezyum iyonunun en düşük değeri 24 mg/L, en yüksek değeri ise 144 mg/L'dir. En yüksek ve en düşük değerler dikkate alındığında, inceleme alanı için en düşük ve en yüksek Fransız sertlik değerleri sırası ile 24,87 ve 155,94 (Fr) olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre su örnekleri “oldukça sert”, “sert” ve “çok sert” olarak sınıflandırılmıştır. Bu sonuç yeraltı sularının karbonat kökenli bir akiferden beslendiklerini gösterebilir.

4.2 Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH)

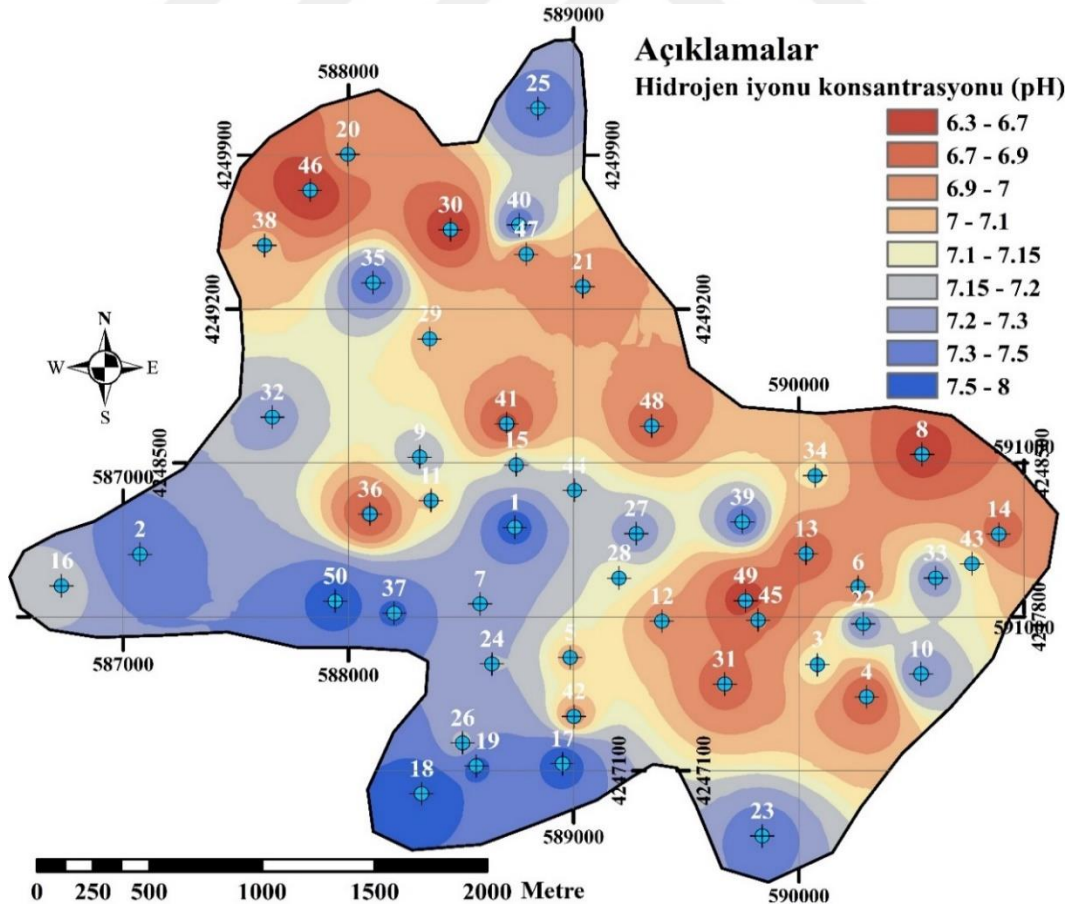
Hidrojen iyon konsantrasyonu, su içerisindeki hidroksil (OH^-) ve hidrojen (H^+) iyonlarının birbirlerine oranla azalıp atmasına bağlı olarak suyun asidikmi yoksa bazikmi olduğunun bir göstergesidir. Su hidrojen arttıkça asidik, azaldıkça bazik özellik kazanır. Normal sularda pH genellikle 7 ile 8,5 arasında bir değer alır (Çizelge 4.4). Yeraltı suyunun pH değerini, genellikle karbondioksit-bikarbonat dengesi belirler (Doğan, 1981). Karbondioksit suda karbonik asit oluşturur ve pH değerini düşürür. Bununla birlikte suyun sıcaklık ve basıncı suyun pH değerini değiştirir (Doğan, 1981). Sıcaklığın artması veya basıncın azalması sonucunda sudaki çözünmüş karbondioksit miktarı azalır ve pH değeri yükselir. Kuyu açıldığında bir miktar karbondioksit açığa çıkar, suyun karbondioksit miktarı düşer ve pH yükselir. Başka bir deyişle, örnek alınan suyun pH değeri ile akiferdeki suyun pH değerleri farklıdır. Akiferdeki suyun pH değeri daha düşüktür. Bundan dolayı çözünmüş karbondioksit ve suyun pH değerlerinin örnekleme zamanı ile eş zamanlı olarak kuyu başında arazide ölçülmesi daha güvenilir sonuçlar sağlayacaktır.

Çizelge 4.4. (pH) sınıflama tablosu.

pH Değeri	Sınıflaması
<7	Asidik
7	Nötr
>7	Bazik

Su örneklerinin pH değerleri incelendiğinde, en düşük değerin 6,32 ve en yüksek değerin ise 7,90 olduğu belirlenmiştir. Su örneklerinin 18 tanesinin 7’den düşük, diğer su örneklerinin pH değerlerinin ise 7’den büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç su örneklerinin % 36’nın asidik, %64’ünün ise nötr ve bazik olduğunu göstermiştir.

İnceleme alanında yeraltı sularının pH değerlerinin konumsal dağılımında KB, K, D ve GD bölgelerinde daha düşük değerler aldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.1). Bu bölgelerde yer alan sular daha asidik, çözücü özelliği ve korozyon etkisi daha kuvvetlidir. Bölgenin G ve GB kesimlerinde ise pH değerleri daha yüksektir. Bu alanlarda yer alan yeraltı suları daha bazik özelliktedir.



Şekil 4.1. Hidrojen iyonu konsantrasyonu konumsal dağılım haritası.

4.3 Karbondioksit (CO₂)

Karbondioksit, renksiz, kokusuz ve normal şartlarda gaz şeklinde bir bileşiktir. Oda sıcaklığında birim hacim suda, birim hacim CO₂ çözünebilir (Doğan, 1981). Canlıların solunumunda yanma ürünü olan karbon dioksit zehirli değildir. Ancak havadaki oranı artınca solunumu güçleştirir. Karbondioksitli sular bağırsak ve mide salgılarını artırır. Midenin boşalma süresini kısaltır ve kana karışmayı çabuklaştırır.

Bilindiği gibi havada % 0,03 oranında CO₂ vardır. Havadaki CO₂ suda çözünerek 18°C de ancak 0,546 mg/L lik bir konsantrasyona ulaşabilir (Doğan, 1981). Yağmur suyunda az miktarda bulunan CO₂'nin kaynağı budur. Yeraltı sularında ise CO₂ miktarı genellikle bu değerin oldukça üzerindedir. Yeraltı sularındaki CO₂ farklı kaynaklardan gelmektedir. Bu kaynakların en önemlileri şunlardır:

- a) Bitki köklerinin solunumu
- b) Mantarlar ve Bakterilerin solunumu
- c) Oksitlenme olayları
- d) Volkanik kökenli gaz içerikleri

Mikroorganizmalar organik karbonu kullanarak CO₂ üretirler. Bu üretilen CO₂ başka algler tarafından kullanılır. Ayrıca zooplankton ve diğer fauna solunumu da, havadan doğrudan çözünen CO₂, sudaki karbondioksit kaynaklarıdır. Karbondioksit molekülünde oksijen atomu kısmi negatif yük ve karbon atomu kısmi pozitif yükü yükler. CO₂ gazı polar olduğu için, su molekülleri CO₂ gazını çeker bu nedenle CO₂ gazı suda çözünür (Ford ve Williams, 1989). CO₂'in en önemli kaynaklarından birisi de üst kottara doğru sokulum yapan magmatik intrüzyonlardır. Mağma bileşiminin bünyesinde önemli miktarlarda CO₂ gazı bulunur. Özellikle jeotermal bölgelerde sıcak ve mineralli su kaynaklarının bünyesinde gözlenen CO₂ gazının kökeni magmatik sokulumlardır.

Sularda yüksek CO₂ bulunması minerallerin çözünürlüğünü artırır, aynı zamanda pH değerini düşürür. CO₂ çözünürlüğü basınçla doğru sıcaklıkla ters orantılıdır. Suyun üzerindeki basınç ve sıcaklık değiştiğinde CO₂ ile HCO₃⁻ arasındaki denge bozulur. Basıncın azalması sonucu CO₂ açığa çıkar. Atmosfere doğru olan CO₂ kaybı yeraltı suyu P_{CO2} ile atmosfer P_{CO2}'si arasında dengeye ulaşmaya kadar devam eder. Akım rejimini değiştiren fiziksel engeller ve suyun turbülanslı akım kazanmasından dolayı

sudaki CO₂ gazı kaybı hızlanır. Yeraltı suyunun kısmi CO₂'si atmosferin kısmi CO₂'sinden 10 ile 100 kat daha büyük olabilir (Herman ve Lorah, 1987).

Doğal sulara, kireçtaşı ve betonun çözünürlüğüne etki eden en önemli asit karbonik asittir (H₂CO₃). Karbonik asit, CO₂'nin yeraltı suyu ile teması sırasındaki reaksiyon sonucu oluşur. Yağış etkisi, atmosfer ve diğer kaynaklardan gelen CO₂, karbonik asit oluşturarak suyun çözücü özelliğini artırır.



Çözücü özelliği artan sular, karbonatlı kayalar ile teması esnasında kayalardan bol miktarda CaCO₃ çözerek bünyesine alır ve Ca(HCO₃)₂'ca doymun duruma geçer (Bögli, 1980).

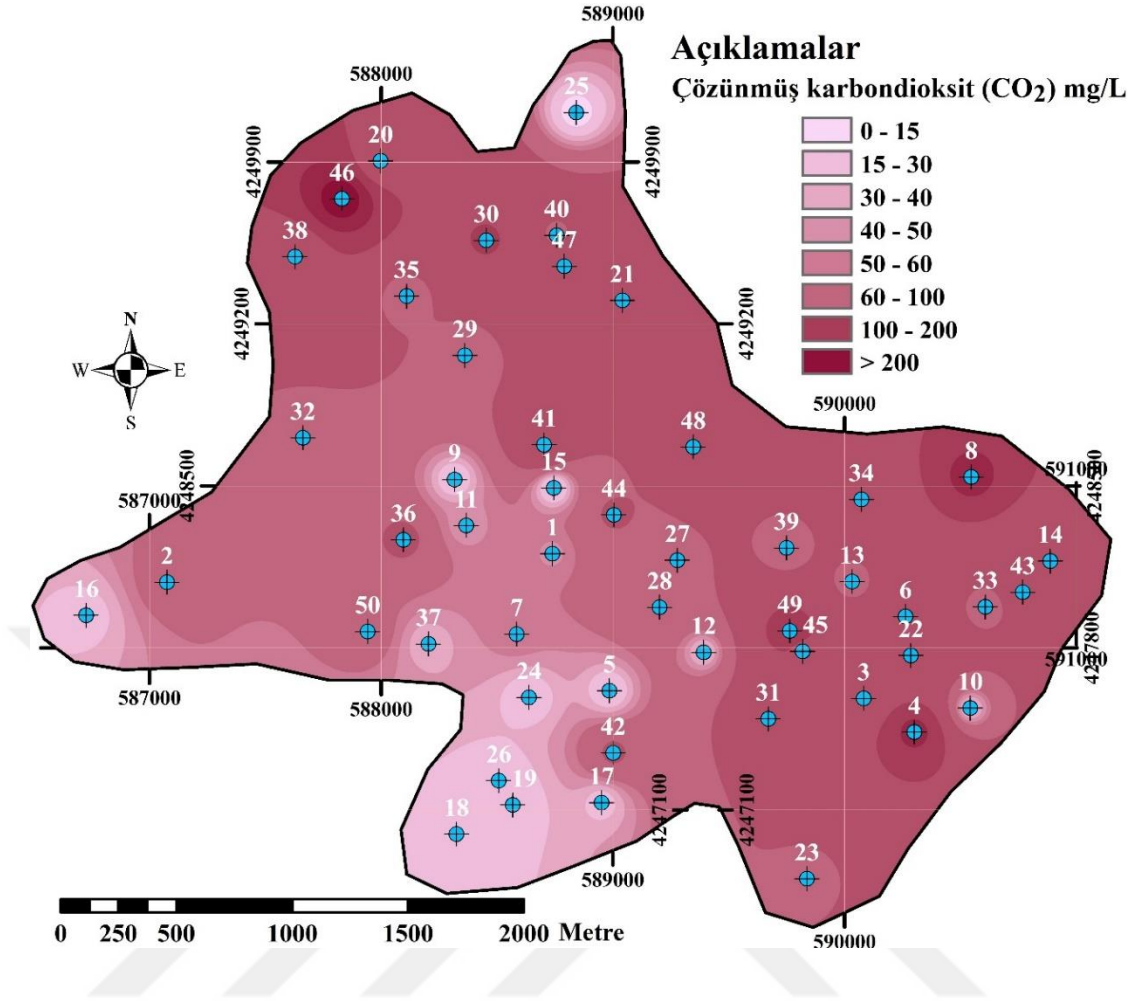


İncelenen su örneklerinin CO₂ miktarları, en düşük değeri 5,06 mg/L ve en yüksek değeri ise 482,3 mg/L' dir. TS 3440'da belirtilen zararlı etkinlik derecelerine göre örneklerin % 28'si zayıf zararlı, %10'nu kuvvetli zararlı ve % 62'si çok kuvvetli zararlı etkinlik derecesine sahiptir.

İnceleme alanında yeraltı sularının çözünmüş CO₂ değerlerinin konumsal dağılımı incelendiğinde, pH dağılımına benzer şekilde bölgenin kuzeybatı, kuzey, doğu ve güneydoğu bölgelerinde CO₂ değerlerinin daha yüksek değerler aldığı gözlenmiştir (Şekil 4.2). Bu bölgelerde yer alan sular korozyon etkisi daha kuvvetli yüksek korozif su olarak tanımlanabilir. Bölgenin güney ve güneybatı kesimlerinde ise CO₂ değerleri daha düşüktür. Bölgede gözlenen yüksek CO₂ değerlerinin ana kaynağı Hasandağı volkanizması olabilir. Bölgede sıcak ve mineralli sular üzerine yapılan önceki çalışmalarda gözlenen yüksek CO₂ değerleri ve bulgular bu görüşü desteklemektedir. Yukarı doğru sokulum yapan genç magmatik bir kütleden ayrılan CO₂ gazı kırık ve çatlak sistemleri boyunca yükselerek yeraltı sularını zenginleştirmiş olabilir.

4.4 Özgöl Elektriksel İletkenlik (ÖEİ)

Tanım olarak özgöl elektriksel iletkenlik (ÖEİ), suyun elektriği iletme potansiyelidir. Her maddenin iletkenliği farklıdır. ÖEİ tanım olarak 1cm³ suyun 25 °C' deki iletkenliği olarak bilinmektedir. Suyun iyon derişimi, derinliği, sıcaklığı ve iyon türü ÖEİ' yi değıştirebilir.



Şekil 4.2. Çözünmüş karbondioksitin konumsal dağılım haritası.

İletkenlik, sudaki iyon miktarı ile pozitif orantılıdır. Suyun iletkenliği sudaki iyonların toplam ve bağıl konsantrasyonuna, değerliklerine, hareketliliğine ve ölçüm sıcaklığına bağlıdır (Hem, 1985). Suyun iletkenliği ölçülerek, sudaki iyon miktarı yaklaşık olarak tayin edilebilir. Yeraltı sularının ÖEİ değeri su kayaç temas süreci ile doğrudan ilişkilidir. Suların yeraltında dolaşım zamanı ne kadar uzun olursa kayaçla temas süresi de o oranda artacaktır. Su kayaç dokanak süresinin uzun olması kayaçtan daha çok iyonun çözünmesine ve suya geçmesine neden olur. İyon içerikleri artan yeraltı suyunun ÖEİ değerlerinin yükselmesi beklenir.

Saf ve içilebilecek suyun ÖEİ değeri sırasıyla 0,5 – 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 30 – 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır (Doğan, 1980). Bu aralıklar içme suyu ve kullanılabilirlik su kalitesini belirlemektedir.

Çizelge 4.5. ÖEİ değerine göre su kalite sınıflaması (Doğan, 1981).

ÖEİ ($\mu\text{S/cm}$)	Sınıflama
< 250	Çok iyi
250 - 750	İyi
750 - 2000	Kullanılabilir
2000 - 3000	Şüpheli
> 3000	Kullanılmaz

İncelenen suların en küçük ÖEİ değeri 407 $\mu\text{S/cm}$ ile 7 numaralı kuyuda ve en yüksek ÖEİ değeri ise 2449 $\mu\text{S/cm}$ ile 3 numaralı kuyu da ölçülmüştür. Su örnekleri içerisinde sadece 3 ve 14 numaralı örneklerin ÖEİ değerleri 2000 $\mu\text{S/cm}$ 'nin üzerinde ölçülmüştür. Bu örnekler şüpheli su kalitesine sahiptir. Örneklerin %82'sinin ÖEİ değerleri 750 $\mu\text{S/cm}$ ile 2000 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmiş olup, bunlar kullanılabilir su kalitesine sahiptir. Diğer su örnekleri ise çok iyi, iyi olarak sınıflandırılmıştır.

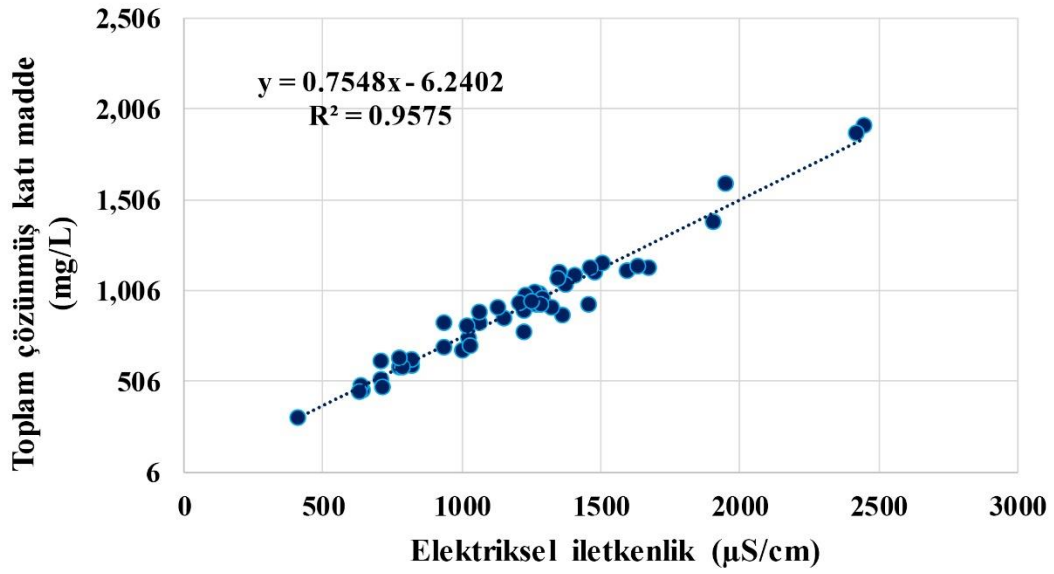
4.5 Toplam Çözünmüş Katı Madde (TÇKM)

Toplam çözünmüş katı madde (TÇKM), suyun mineral ve iyon miktarını gösteren bir parametredir. TÇKM su içerisindeki çökelmiş ve çökelebilen katı maddelerin tamamını kapsar. Suların TÇKM miktarının yüksek veya düşük olması suyun dolaşım süresi hakkında da bilgi verebilir. Suyun TÇKM miktarının düşük olması korozivite potansiyelini arttıran bir özelliktir (Doğan, 1981). TÇKM miktarı ne kadar fazla ise suyun doygunluk derecesi o oranda artış gösterir ve çökeltim miktarı artabilir. Genel olarak suların ÖEİ değerleri ve TÇKM miktarı arasında pozitif doğrusal bir ilişki vardır (Şekil 4.3). TÇKM miktarı ne kadar yüksek ise ÖEİ değerleri de o oranda yüksek olacaktır. Literatürde çok sayıda TÇKM değerlerinin baz alındığı su kalitesi sınıflamaları mevcuttur. En yaygın kullanılan sınıflamalardan birisi Fetter (2018) tarafından önerilmiştir. Bu sınıflamaya göre; 1000 mg/L'den daha düşük TÇKM değerine sahip sular tatlı su 1000-10000 mg/L arasındaki sular acı su, 10000-30000 mg/L arasında TÇKM değeri içeren sular tuzlu su ve 30000 mg/L den daha yüksek TÇKM değerine sahip sular ise çok tuzlu su (brine) olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 4.6. TÇKM Değerine göre su örneklerinin kalite sınıflaması (Fetter, 2018).

TÇKM (mg/L)	Sınıflama
<1000	Tatlı Su
1000 - 10000	Acı Su
10000 - 30000	Tuzlu Su
>30000	Çok Tuzlu Su

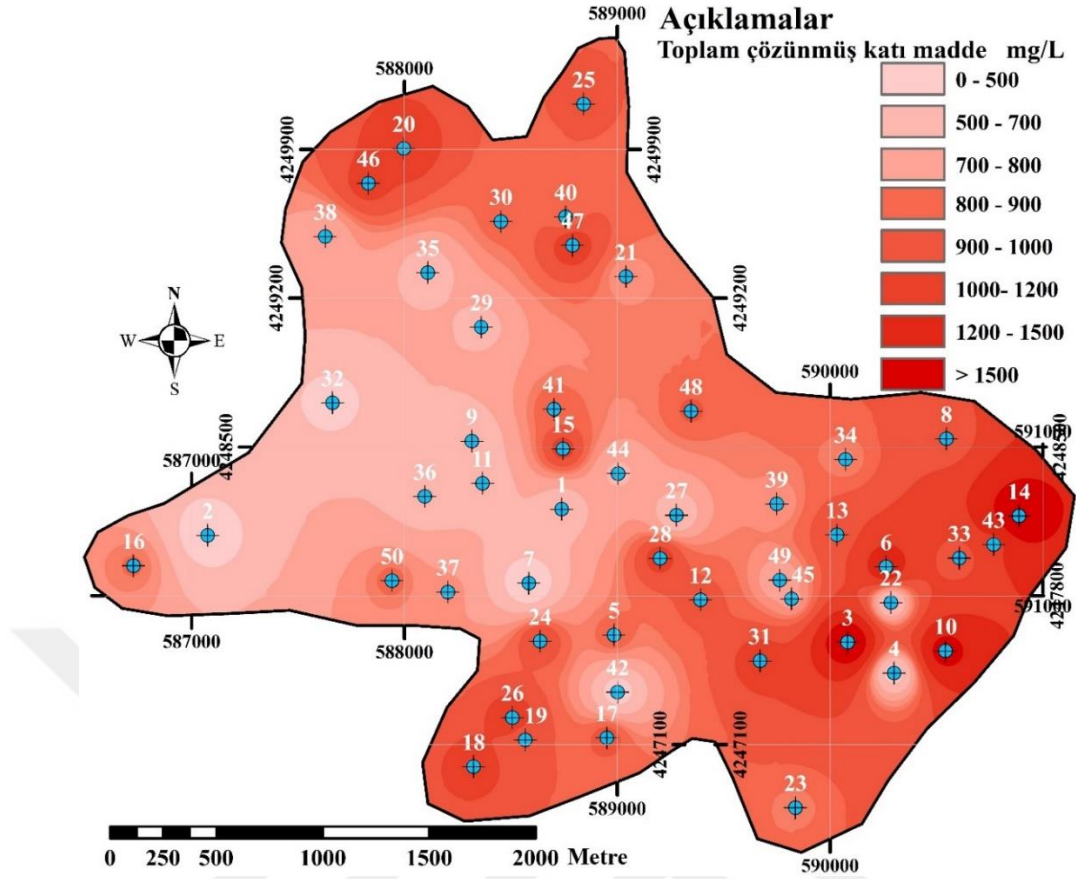
İnceleme alanında su örneklerinin TÇKM değerleri, 305,40 mg/L ile 1914,20 mg/L arasında değişim göstermektedir. Fetter (2018) sınıflamasına göre %30'u acı su, diğerleri ise tatlı su sınıfına girmektedir.



Şekil 4.3. ÖEİ ve TÇKM arasındaki korelasyon grafiği.

İnceleme alanında yeraltı sularının toplam çözünmüş katı madde (TÇKM) değerlerinin konumsal dağılımı incelendiğinde, en yüksek TÇKM değerlerinin bölgenin kuzeybatı, doğu ve güney bölgelerinde yoğunlaştığı gözlenmiştir (Şekil 4.4). Özellikle inceleme alanının merkez ve batı kesimlerinde TÇKM değerleri daha düşüktür. TÇKM değerleri çoğunlukla suyun çözücü özelliği ve yeraltı dolaşım sistemi ile bağlantılıdır. Suyun ne kadar çözücü özelliğe sahip ise TÇKM değerleri o oranda yüksek olabilir. TÇKM'nin konumsal dağılım haritasının pH değerlerinin konumsal dağılım haritası ile uyumlu olduğu görülmektedir.

İncelenen suların ÖEİ ve TÇKM değerleri arasındaki değişimi gösteren Şekil 4.4 incelendiğinde, ÖEİ ve TÇKM değerlerinin benzer dağılım göstermiştir. Bu sonuç ÖEİ ve TÇKM değerlerinin birbirleri ile ilişkili olduğuna işaret eder.



Şekil 4.4. İncelenen suların toplam çözünmüş katı madde miktarının konumsal dağılım haritası.

4.6 Kalsiyum İyonu (Ca^{+2})

Sularda ve kayaçlarda en bol miktarda bulunan başlıca iyonlardan birisi kalsiyum (Ca^{+2}) dur. Sulama suyunda bulunan fazlaca kalsiyum sodyum tehlikesini azaltıcı etki göstermesine rağmen çok büyük konsantrasyonlarda bulunması halinde bitkilerde potasyum alımını azaltabilir (Doğan, 1981). Sudaki kalsiyumun başlıca kaynakları, kalsiyum silikatlar, karbonatlar, aragonit, dolomit, jips, anhidrit ve apatit gibi minerallerdir. Yeraltı sularında genellikle karbonatlı kayaçların çözünmesi sonucu zenginleşir. Sudaki karbondioksit miktarı ile orantılı olarak kalsit çözünürlüğü artar. İncelenen sularda, en düşük kalsiyum miktarının 58,60 mg/L, en yüksek kalsiyum miktarının 290,85 mg/L, ortalama ise 137,62 mg/L olduğu tespit edilmiştir. Ca^{+2} suların sertlik derecesinin sınıflanmasında dikkate alınan en önemli iyonlardan birisi olup korozyon üzerinde doğrudan etkisi bulunmamasına rağmen birçok indisin hesaplama yönteminde kalsiyum sertlik değerine yer verilmiştir.

4.7 Magnezyum İyonu (Mg^{+2})

Magnezyum suya sertlik veren başlıca iyonlardan biridir. Magnezyum miktarı yüksek suların acı bir tadı olabilir. İçme suyunda magnezyum miktarı 125 mg/L'yi geçmemelidir. Olivin, piroksen, amfibol ve koyu renkli mikaların önemli bileşenlerinden birisidir. Magnezyum, silikat mineralleri veya olivinler ile temasta bulunan yeraltı sularında genelde hakim katyondur. Suda genellikle magnezyum karbonat şeklinde çözünür. Magnezyum karbonat ve magnezyum sülfatın sudaki çözünürlüğü kalsiyum kalsiyumun bu tuzlarına göre daha fazladır. Sudaki karbondioksit, magnezyum silikatların ve magnezitin çözünürlüğünü artırır.

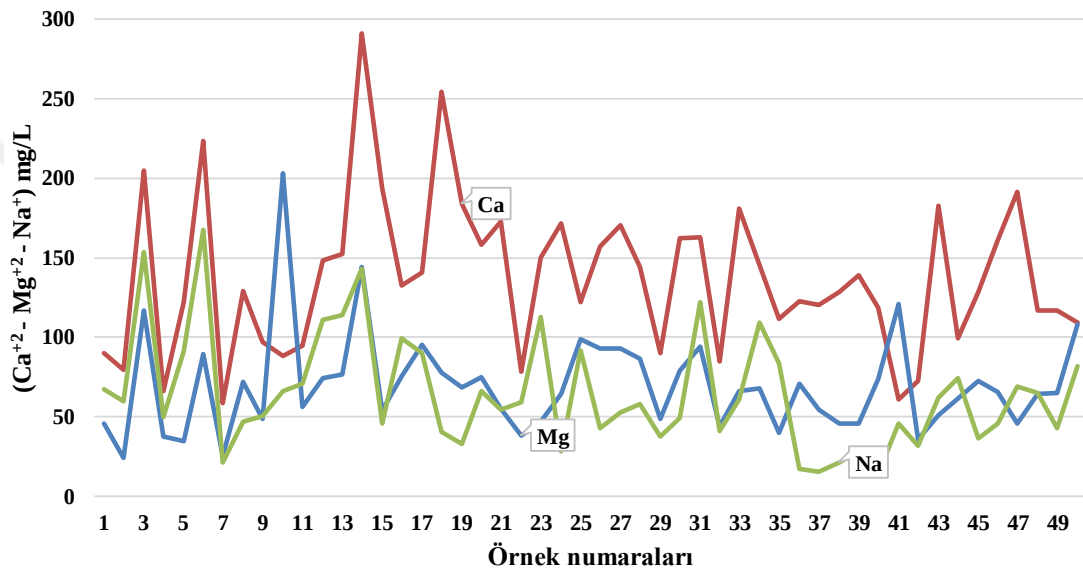
Yeraltı suyunda bulunan betona zararlı olan maddelerin başında magnezyum tuzları gelir. Magnezyum sülfat ($MgSO_4$) ve magnezyum klorür ($MgCl_2$) gibi magnezyum tuzları, sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksit ile ($Ca(OH)_2$) reaksiyona girerek, yumuşak ve jelatinimsi bir madde olan magnezyum hidroksiti oluşturur (TS-3440). TS-3440 standardına göre bünyesinde 100 mg/L ile 300 mg/L magnezyum bulunduran suların betona zararlı etkinlik derecesi zayıf olarak değerlendirilmiştir. Aynı standartta 300 mg/L ile 1500 mg/L arasında magnezyum içeren suların zararlı etkinlik derecesi kuvvetli, 1500 mg/L'nin üzerinde ise çok kuvvetli olarak tanımlanmıştır.

İnceleme alanında su örneklerinin magnezyum içerikleri en düşük 24,30 mg/L en yüksek seviye ise 203,34 mg/L olarak ölçülmüştür. Tüm numunelerin magnezyum ortalaması ise 69,8 mg/L'dir. Bu sonuçlara göre magnezyum iyonu açısından su örneklerinin beton için zararlı etkinlik derecesi bulunmamaktadır veya zayıftır.

4.8 Sodyum (Na^+)

Sodyum iyonu özellikle sulamada kullanılan sular için oldukça önemlidir. Sulama sularında bulunan fazla miktardaki sodyum bitkilere zarar verir. Sulama suyunda sodyum tehlikesi sodyum iyonunun konsantrasyonundan çok toplam katyonlar içindeki nispi sodyum miktarına bağlıdır. Yeraltı sularında gözlenen sodyum iyonunun kaynağı daha çok halit türü evaporitik kayaların çözünmesidir. Tuzlu göl sularının ve denizlerin kıyı boyunca kama şeklinde kara içerisine sokulumları sonucunda da yeraltı suları sodyumca zenginleşebilir.

İnceleme alanındaki yeraltı sularının Na^+ iyonu değerleri 14,03 mg/L - 167,42 mg/L arasında değişim göstermiştir. Ortalama Na^+ değeri 64,86 mg/L'dir (Şekil 4.5). Yeraltı sularının Na^+ iyonu değerlerinin kökeni, inceleme alanında yer alan evaporitik kayaların çözünürlüğünün artması veya yeraltı sularının hidrolik akım yolu çevresinde bulunan granit, tuf, kil ve kumtaşlarıyla temas sırasında Na^+ ile Ca^{+2} arasında gerçekleşen iyon değişimi olabilir (Afşin vd. 2007). Tuzun belirli bir aşındırıcı etkisi olmasına rağmen, sodyum iyonu beton için zararlı iyonlar arasında gösterilmemiştir.



Şekil 4.5. Kalsiyum, magnezyum ve sodyum iyon miktarlarının dağılımı.

4.9 Potasyum İyonu (K^+)

Potasyum katyonu alkali metal grubundan bir metal olup genellikle doğal suların çoğunda sodyuma nazaran daha az miktarlarda bulunur. Sulardaki potasyumun başlıca kaynağı potasyum içerikli feldispatlar ve mikalardır. Sodyumlu feldispatlara nazaran potasyumlu feldispatların suyun çözücü etkisine karşı direnci daha yüksektir olduğundan sulardaki potasyum miktarı sodyuma göre çok azdır.

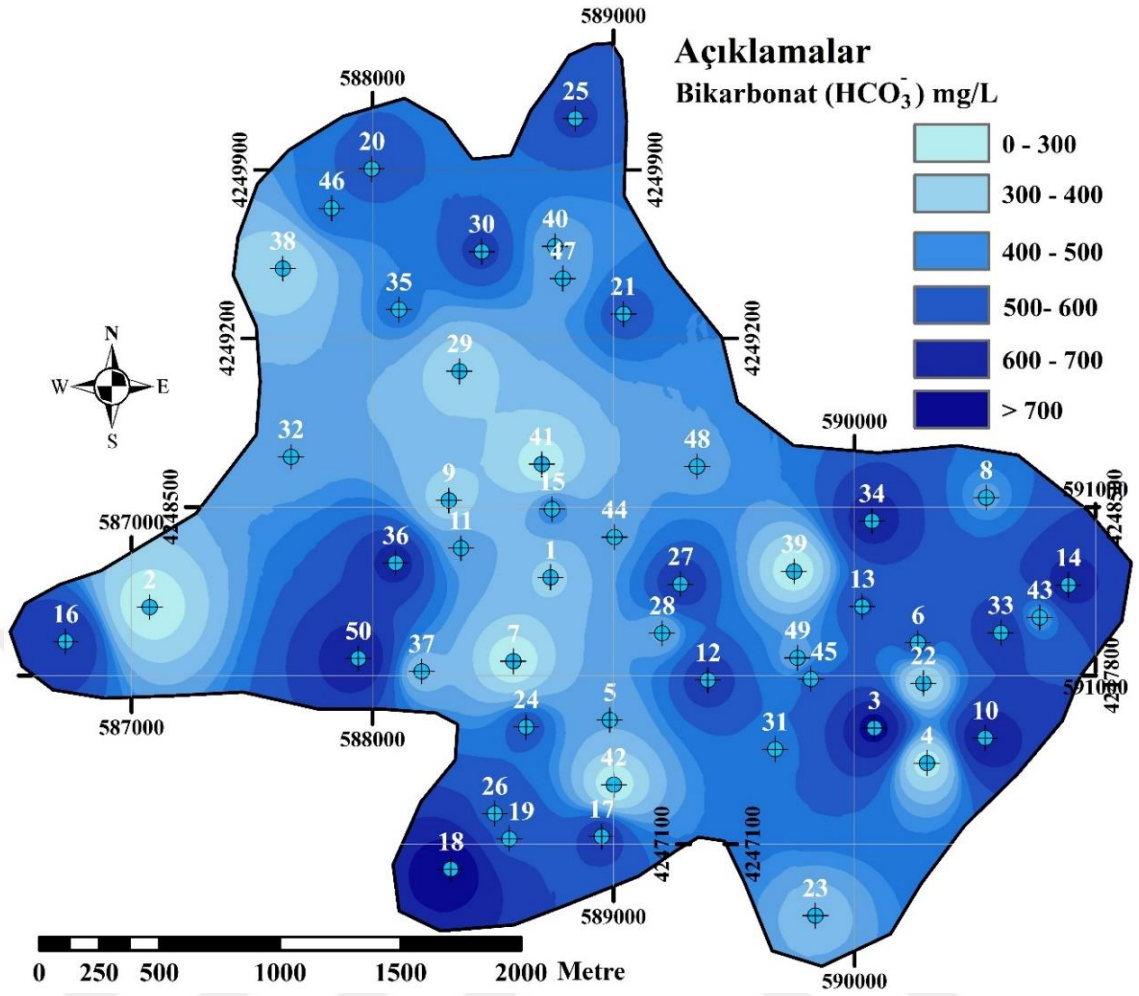
İnceleme kapsamında alınan su örneklerinin potasyum analiz sonuçları incelendiğinde, en düşük değer 0,36 mg/L ile 4 numaralı örnek, en yüksek değer ise 25,85 mg/L ile 36 numaralı örnek için hesaplanmıştır. Tüm örneklerin ortalama değeri ise 7,27 mg/L'dir.

4.10 Bikarbonat İyonu (HCO_3^-)

Suya alkalilik veren iyonlardan özellikle bikarbonat çoğu doğal suların hakim anyonu konumundadır. Karbonat ise ancak yüksek pH değerlerindeki bikarbonatla birlikte görünür. Sudaki bikarbonatların başlıca kaynağı mermer, dolomit, kireçtaşı gibi karbonatlı kayalardır. Sudaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının birbirine oranı suyun pH ve CO_2 değerleri ile ilgili olarak değişir. Sudaki karbonatla birlikte yeterince kalsiyum veya magnezyum varsa pH, CO_2 , sıcaklık ve basınç gibi değişkenlerin belirleyeceği denge şartlarına göre CaCO_3 veya MgCO_3 çökmesi görülebilir. Suyun bikarbonat miktarı aşındırıcı, kabuk bağlayıcı ve agresiflik özelliği ile doğrudan ilişkilidir (Hem, 1985).

İnceleme alanındaki suların HCO_3^- iyonu derişimleri, 201mg/L ile 889 mg/L aralığındadır. Yeraltı sularının dolaşım sistemi içerisindeki hareketine bağlı olarak HCO_3^- iyonlarının kökeni olarak stratigrafik istifin en altında yer alan Bozçaldağ metamorfitlelerine ait mermerler ile ve İnsuyu formasyonuna ait beyaz-sarımsı renkli karstik boşluklu kireçtaşları ile olan su-kayaç etkileşimi gösterilebilir.

İnceleme alanında yeraltı sularının bikarbonat (HCO_3^-) değerlerinin konumsal dağılımı incelendiğinde, en yüksek HCO_3^- değerlerinin bölgenin kuzey, doğu ve güney bölgelerinde yoğunlaştığı gözlenmiştir (Şekil 4.6). Özellikle inceleme alanının merkez ve batı kesimlerinde HCO_3^- değerleri daha düşüktür.



Şekil 4.6. İncelenen suların bikarbonat iyonunun konumsal dağılım haritası.

Bikarbonat (HCO_3) korozyon indislerinin hesaplama metodolojilerinde pH değerinden sonra en sık kullanılan iyonlardan birisidir. Korozyon indisleri suların çözücü korozivite değerlerini hesaplarken aynı zamanda kalsiyum karbonat çökeltme potansiyellerini de belirler. Özellikle suyu iletiminde kullanılan beton, çelik veya metal borularda meydana gelen kalsiyum karbonat çökelimleri, boruların akış kesitlerini azalttıkları için önemli sorunlara neden olabilmektedir.

4.11 Sülfat İyonu (SO_4^{2-})

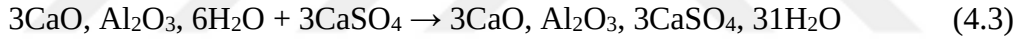
İki değerlikli bir anyon olan sülfat bütün doğal sularda az veya çok bulunur. Yeraltı suyunda bulunan sülfatın başlıca kaynağı jips ve anhidrittir. Ayrıca piritin oksidasyonu sonucunda sülfat oluşabilir (Doğan, 1981). Aynı zamanda kükürt içerikli maden sahalarından da yeraltı suyuna önemli oranlarda sülfat iyonu geçebilir. Jips su içerisinde kolay çözünen bir maddedir. Soğuk suda 2000 mg/l ye kadar çözünebilir.

Bu yüzden sulardaki sülfatın en önemli kaynağı jipstir. Bol miktarda jips çözünmüş sulara kalsiyum miktarı çoğalacağı için karbonat çökmesi görünebilir. Dolayısı ile fazla sülfatlı sulara normalden daha az karbonat bulunur (Doğan, 1981). Sular kalsit ile hızlıca dengeye geldiği ve belli miktardan başka çözmediği halde jips ile kolayca dengeye ulaşamaz ve fazla miktarda sülfat çözebilirler.

Sülfat (SO₄) iyonu suyun korozivite özelliğini artıran agresif iyonlardan birisidir. Suyla tepkimeye girmesi sonucu yüksek miktarlarda sülfirik asit oluşturabilir. Bunun yanı sıra sülfatın betona etkisi, çimento ile sülfat iyonları arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar yolu ile olur. Bu etki genelde iki ayrı şekilde meydana gelir:

1. Etrenjit kristallerinin büyümesi ile ortaya çıkan basınç ve genişleme,
2. Mukavemetin zaman içinde giderek düşmesi ve bu olayla birlikte kütle azalması.

Sudaki çözünürlüğü çok fazla olan jips çimentonun en önemli bileşenlerinden olan trikalsiyum alüminat ile reaksiyona girerek trikalsiyum sülfat alüminat bileşiğini oluşturur (TS-3440).

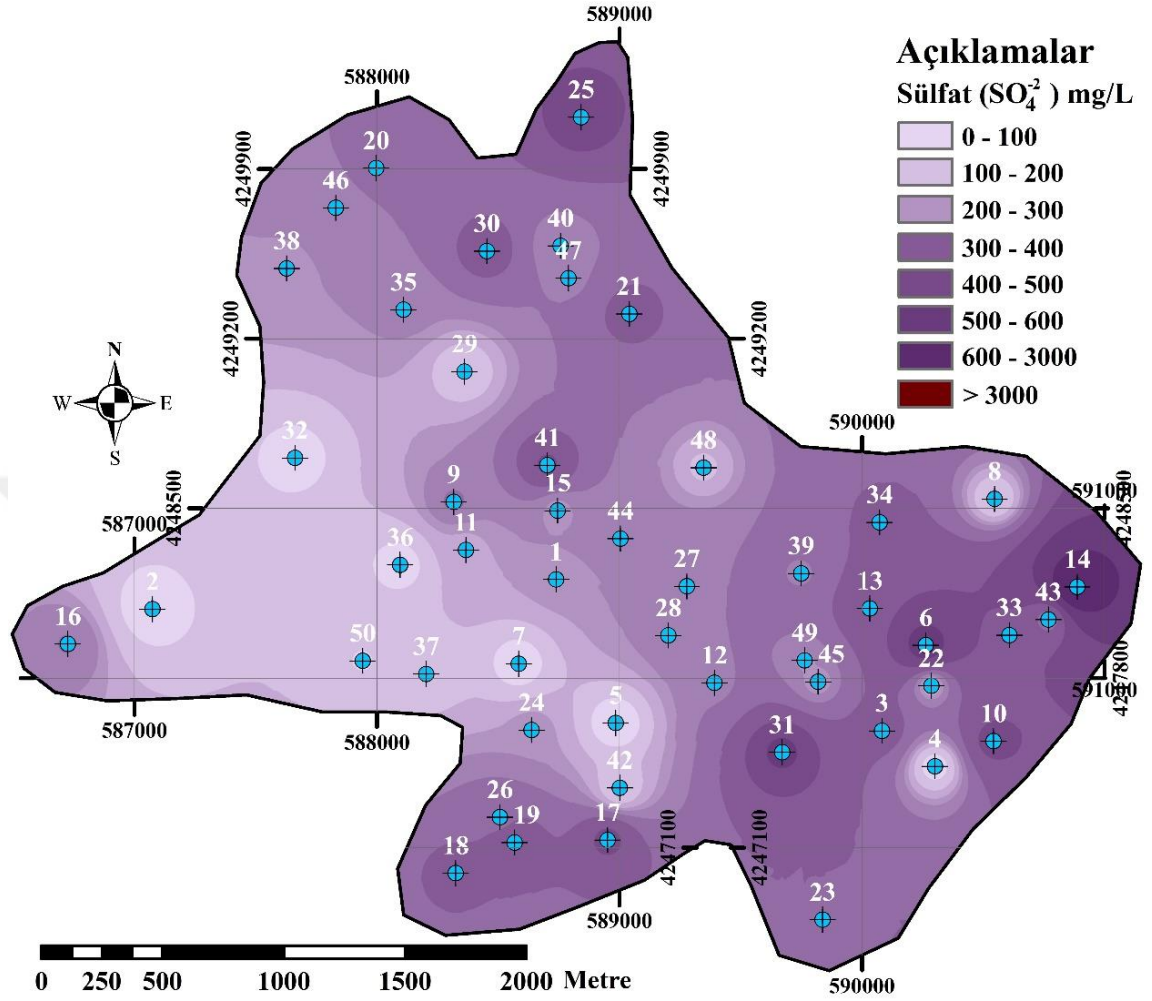


Yeni oluşan bu madde beyaz renkte ve iğne kristallidir. Denklemden görüldüğü gibi 31 mol. kristal suyu içerir. Bu yüzden meydana gelirken çok fazla hacim genişlemesi olur. Dolayısıyla betonda parçalanma ve dökülmelerle beraber sülfat korozyonu meydana gelir. Beton temas suundaki sülfat oldukça tehlikelidir.

İnceleme alanındaki su örneklerinin sülfat içerikleri en düşük 70 mg/L, en yüksek ise 1010,87 mg/L'dir. Tüm örneklerin ortalama sülfat değeri 268,84 mg/L olarak hesaplanmıştır. TS-3440'a göre 3000 mg/L'den fazla sülfat içeriğine sahip sular çok kuvvetli zararlı etkinlik derecesine sahiptir. 6 ve 15 numaralı örnekler haricinde diğer bütün su örnekleri 600 mg/L'den daha az sülfat içerikli olup, zayıf zararlı etkinlik derecesine sahiptir. 6 ve 15 numaralı örnekler ise kuvvetli zararlı etkinlik derecesinde sınıflandırılmıştır.

İnceleme alanında yeraltı sularının SO₄ değerlerinin konumsal dağılımı incelendiğinde, en yüksek SO₄ değerlerinin bölgenin kuzey, doğu ve güney bölgelerinde yoğunlaştığı gözlenmiştir (Şekil 4.7). Özellikle inceleme alanının batı ve

güneybatı kesimlerinde SO_4 değerleri daha düşüktür. Yeraltı sularında gözlenen SO_4 iyonlarının ana kaynağı bölgede yer alan jips türü evaporitik kayalardır.



Şekil 4.7. İncelenen suların sülfat iyonu konumsal dağılım haritası.

4.12 Klorür İyonu (Cl^-)

Halojen grubu elementlerinden olan klorür bütün doğal sularda bulunur. Yağmur suyu 1 mg/L ile 8 mg/L arasında değişen miktarlarda klorür içerebilir ve bu miktar bölgenin jeolojik özelliklerine göre farklılık gösterebilir. Sulardaki klorürün en önemli kaynağı, denizel havzalardaki sedimantasyon esnasında sedimanter birimler içerisinde kalmış deniz suyuna bağlı olarak çökelen tuz yataklardır. Ayrıca volkanik kayalardan feldispatoid sodalit ve apatit sudaki klorürün önemli kaynaklarıdır (Doğan, 1981).

Klorür tuzları suda en kolay çözünen tuzlardır. Yüzey sularındaki klorür miktarı diğer iyonlara göre daha düşüktür. Genellikle klorürce zengin sularda sodyum iyon miktarıda fazladır. Çünkü suya klorür veren başlıca klor bileşiği sodyum klorürdür. Ancak iyon değişimi sonucu sodyumun kalsiyum ile yer değiştirdiği sistemlerde, nadir olarak görülsede Ca-Cl su fasiyeslerine rastlamak mümkündür. Sular taşıdıkları klorür iyonlarını çöktirmediklerinden dolayı dolaşım sistemi boyunca klorür çözmeye ve klorür açısından zenginleşmeye devam ederler.

Klorürler betonu zararlı yönde etkilememekle birlikte donatı çeliğinin korozyonuna neden olabilir. Yeraltı suyunda bulunan NaCl, beton içerisindeki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girerek CaCl_2 'ü oluşturur, doymuş kalsiyum hidroksit çözeltisinde %0,035 gibi çok küçük oranlarda CaCl_2 'nin bulunması koruyucu pasivasyon tabakasının bozulması için yeterlidir (Bentur ve Cohen, 1992; Yılmaz, 2011). Oksidasyon difüzyonunun pek mümkün olmadığı bazı su altı betonlarında klorür iyonlarının varlığı pH'ı düşük değerlere indirgeyerek korozyonu kolaylaştırır (Yılmaz, 2011).

İnceleme alanındaki su örneklerinin klorür içeriği en düşük 14 mg/L, en yüksek 324,6 mg/L olup, ortalama klorür içeriği ise 85,89 mg/L'dir.

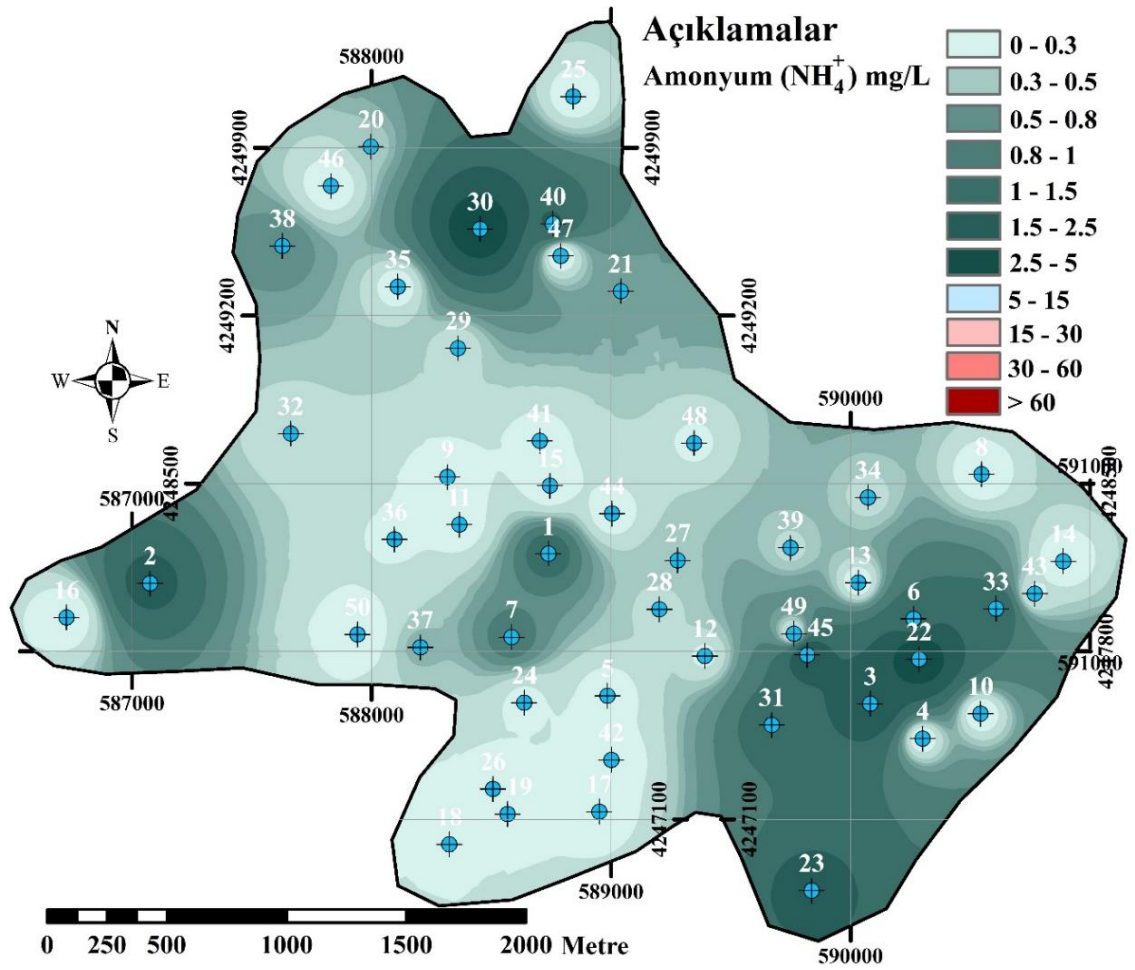
4.13 Amonyum İyonu (NH_4^+)

Amonyum, nitrit ve nitrat azotun bu üç şekli su içerisindeki organik madde miktarının dolaylı ölçümleridir. Bir suda amonyak bulunması genellikle yeni bir kirlenmeyi gösterir. Bu bakımdan düşük miktarlarda bile olsa amonyak bulunan sularda organik kirlenmeden şüphe edilmelidir.

Amonyum karbonat, amonyum oksalat ve amonyum florür dışında kalan amonyum tuzları, başlıca sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksiti etkileyip çözerek ayırır. Bu arada serbest kalan amonyak suda çözünse ise de beton ve çimento üzerinde etkili olmaz. Amonyum yeraltı sularına daha çok tarımsal faaliyetler ve atık sular tarafından geçmektedir. Bu özelliğinden dolayı noktasal kirleticilerin belirleyicisi olabilir. Nitrik asit oluşturması nedeni ile suların çözücü özelliğine katkıda bulunan bir parametredir ve korozyon ile ilgili geliştirilen standartların tamamında tanımlanmıştır. Doğadaki suların beton için zararlı etkinlik derecesinin tanımlandığı TS-3440 ve Fendekova vd., (2010) tarafından önerilen sınıflama sisteminde amonyum (NH_4^+) için sınır değerler belirlenmiştir (Çizelge 4.7). 15 mg/L ile 30 mg/L arasında NH_4^+ içeren sular zayıf

etkinlik derecesine sahipken, bu değerler 30 mg/L ile 60 mg/L arasında ise etkinlik derecesi kuvvetli olarak tanımlanmıştır. 60 mg/L'den büyük konsantrasyonlara sahip suların zararlı etkinlik derecesi ise çok kuvvetli olarak kategorize edilmiştir.

İnceleme alanında yeraltı sularının amonyum (NH_4^+) değerlerinin konumsal dağılımı incelendiğinde, en yüksek NH_4^+ değerlerinin bölgenin K, B ve GD yoğunlaşmıştır (Şekil 4.8). İç ve güney kesimlerde NH_4^+ değerleri yok denecek kadar azdır.



Şekil 4.8. İncelenen suların amonyum konumsal dağılım haritası.

Çizelge 4.7. Kimyasal parametrelerin agresiflik dereceleri (Fendekova vd., 2010).

Kimyasal Karakter	Düşük Agresiflik	Orta Agresiflik	Şiddetli Agresiflik
pH	<6,5 ve >5,5	<5,5 ve >4,5	<4,5 ve >4,0
CO ₂ (mg/L)	>15 ve <40	>40 ve <100	>100
Mg ⁺² (mg/L)	>300 ve <1000	>1000 ve <3000	>3000
NH ₄ ⁺ (mg/L)	>15 ve <30	>30 ve <60	>60 ve <100
SO ₄ ⁻² (mg/L)	>200 ve <600	>600 ve <3000	>3000 ve <6000

4.14 İyon Dağılımları ve Korelasyon İlişkileri

Sular yeraltında dolaşım süreçleri boyunca birçok kayaç ile temasta bulunurlar ve bu kayaçlardan pozitif veya negatif yüklü birçok iyon çözerler. Çözülen bu iyonların su içerisindeki miktarları ve yüzde oranları suyun genel hidrojeolojik karakteristiğini belirler. Yeraltında sürekli hareket halinde bulunan suyun kimyasal özellikleri, içerisinde geçtikleri kayaçların litolojik ve mineralojik özelliklerine göre sürekli değişim gösterebilir. Dolaşım süresinin uzaması yani zaman kavramı suyun kimyasal özelliğine etki eden bir diğer etkidir. Bazen dolaşım sistemi boyunca yeraltı suları bünyelerinde taşıdıkları iyonları çökeltebildikleri gibi, iyonların kendi aralarında değişimleri de mümkündür. Bu değişim literatürde iyon değişimi olarak tanımlanır.

Suların içerdiği iyonlar su analizleri yardımı ile belirlenir. Su kimyasını suyun yapısında bulunan anyon ve katyonlar oluşturur. Negatif (-) elektrik yüklü iyonlar anyon, pozitif elektrik yüklü iyonlar ise katyon (+) olarak ifade edilir. Bu iki yapı iyon açısından bağ yapma şekilleri konusunda farklılık gösterir. Ana katyonlar Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ ve K⁺, ana anyonlar ise HCO₃⁻, SO₄⁻, Cl⁻, ve CO₃⁻’dir.

Anyon ve katyonlar bir su analizinde genellikle litrede miligram olarak ifade edilir. Ancak eriyik haldeki elemanın kimyasal reaksiyon gücü bunların ağırlıkları ile değil, reaksiyona giren ekivalen sayısı ile ilgilidir (Canik, 2003). Miliekevalen değeri, iyonun numunedeki miligram ağırlığının, ekivalen değerine bölünmesi ile hesaplanır. Ekivalen değeri, iyonun atom veya formül ağırlığının değerliğine bölünmesi ile bulunur (Canik, 2003). Sular sınıflandırılırken çözünmüş iyon miktarları yani litrede miliekevalen değeri dikkate alınır.

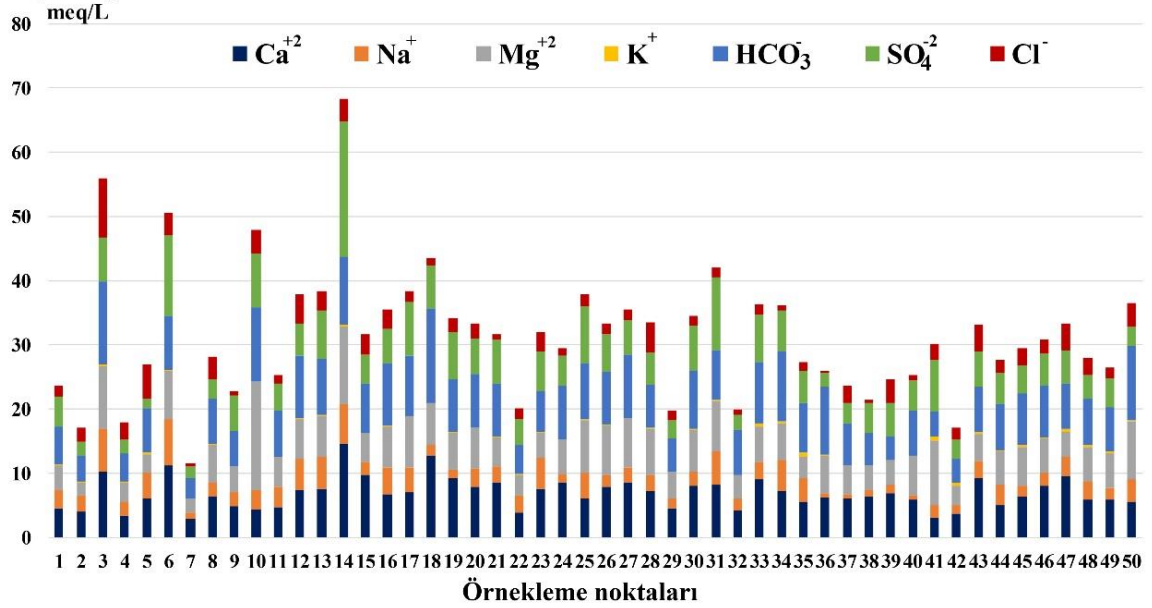
İnceleme alanında yer alan yeraltı suları için dört farklı hidrojeokimyasal fasiyes (su türü) tespit edilmiştir (Çizelge 4.8). Bu fasiyesler Ca-HCO₃; Ca-SO₄; Mg-HCO₃ ve

Mg-SO₄'tır. Yeraltı sularında hakim katyon çoğunlukla Ca²⁺ ve Mg²⁺, hakim anyon ise HCO₃⁻ ve SO₄²⁻'tır (Şekil 4.9).

Çizelge 4.8. İncelenen su örneklerinin iyon bolluk (meq/L) sıralaması.

Hidrojeokimyasal Fasiyes	Katyonlar	Anyonlar	Örnek No
Ca - HCO ₃	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ >K ⁺	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	1-2-3-7-11-12-13-15-16-18-19-20-21-22-23-24-26-27-28-30-32-33-34-35-36-37-38-42-43-45-46-47-48-49
	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ >K ⁺	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ²⁻	4-5-8-34
Ca - SO ₄	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ >K ⁺	SO ₄ ²⁻ >HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻	6-9-14-31
	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ >K ⁺	SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻ >HCO ₃ ⁻	29-39
Mg - HCO ₃	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ >K ⁺	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	10-17-40-44
	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ >K ⁺	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ²⁻	50
Mg - SO ₄	Mg ²⁺ >Ca ²⁺ >Na ⁺ >K ⁺	SO ₄ ²⁻ >HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻	25-41

Toplam iyon miktarı

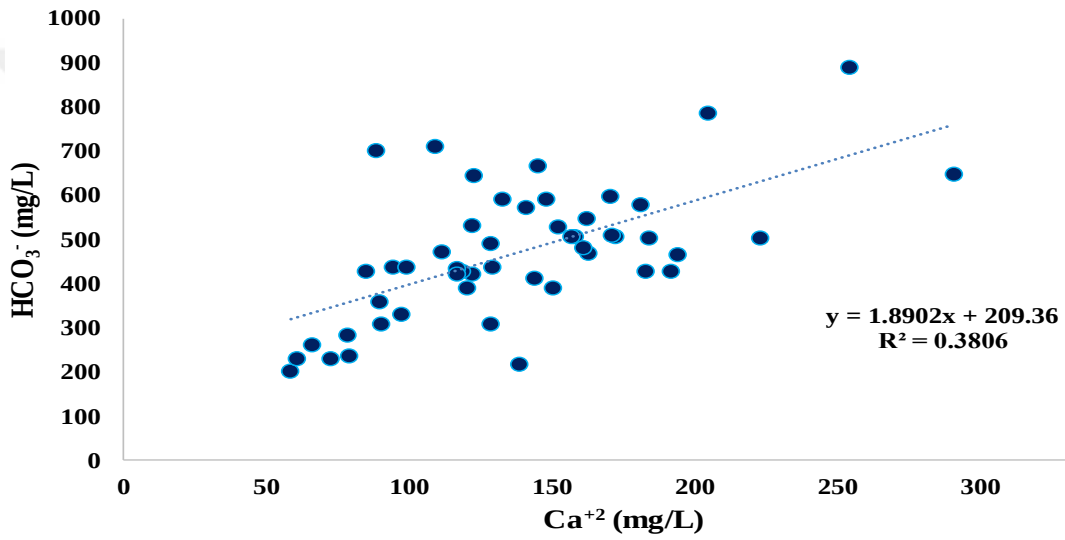


Şekil 4.9. İncelenen suların iyon miktarlarının değişimleri.

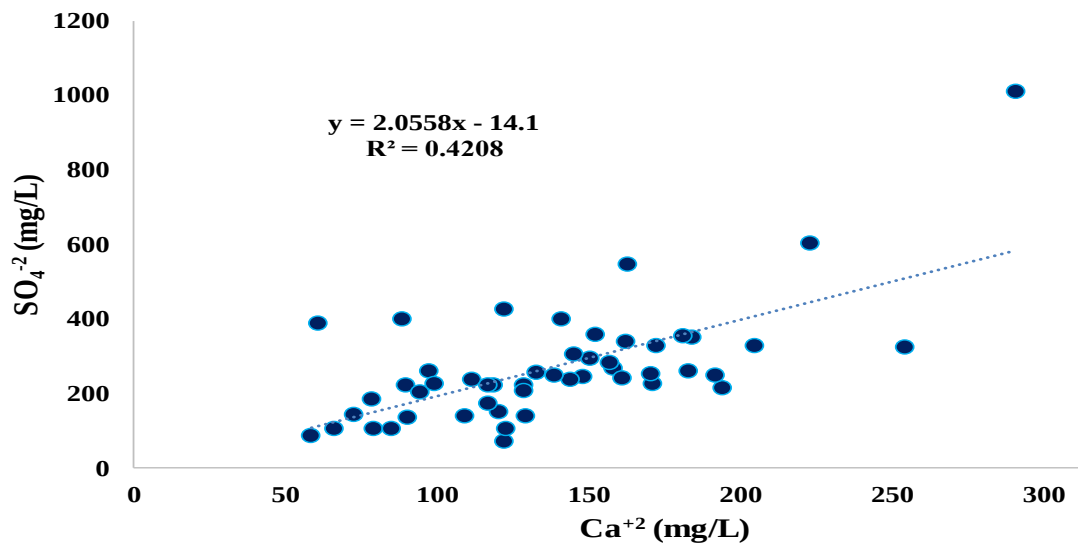
10-17-40-44 ve 50 numaralı örnekler Mg-HCO₃, 25 ve 41 numaralı örnekler, Mg-SO₄ 6-9-14-31-29 ve 39 numaralı su örnekleri Ca-SO₄ ve diğer su örnekleri ise Ca-HCO₃ su fasiyesine sahiptir. Su örneklerinin fasiyeslere göre yüzde dağılımları % 12'si Ca-SO₄, % 12'si Mg-HCO₃, % 4'ü Mg-SO₄ ve % 72'si Ca-HCO₃ şeklinde gelişmiştir. Hakim iyon dizilimi Ca²⁺ > Mg²⁺ > Na+K⁺ / HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > Cl⁻ şeklindedir. Mg²⁺ çoğu örnekte ikinci sırada yer almıştır. Bu sonuç yeraltı sularının çoğunlukla kireçtaşı,

dolomit, mermer gibi karbonatlı ve jips gibi evaporitik kayalardan iyon çözdüğünü göstermektedir.

Kalsiyum-bikarbonat ve kalsiyum-sülfat iyonları arasındaki korelasyon grafiklerinde, kalsiyum iyon miktarlarının bikarbonat iyon miktarları ile % 38 oranında uyum gösterdiği görülmektedir. Kalsiyum ve sülfat iyon miktarları arasındaki korelasyon uyumludur. Kalsiyum ve sülfat iyon miktarları arasındaki korelasyon uyumu ise % 42 olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayıları göstermiştir ki, mermer, kireçtaşı ve jips türü kayalar yeraltı sularının dolaşım süreçleri boyunca etken kayaç gruplarıdır (Şekil 4.10, 4.11).

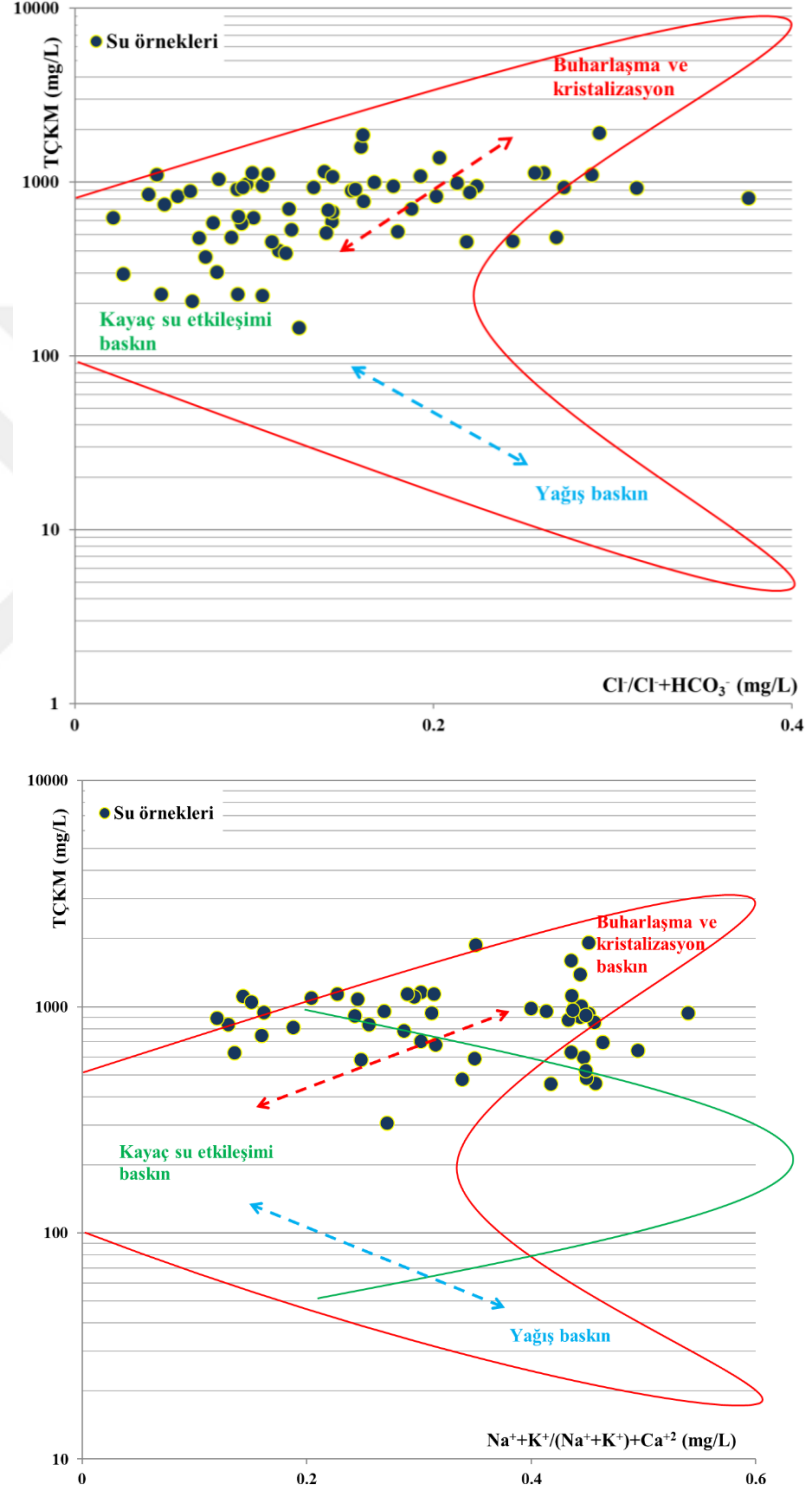


Şekil 4.10. İncelenen suların kalsiyum ve bikarbonat iyonlarının korelasyon grafiği.



Şekil 4.11. İncelenen suların kalsiyum ve sülfat iyonlarının korelasyon grafiği.

Su kimyası ölçülendirme ve değerlendirme çalışmalarında sıklıkla kullanılan Gibbs (1970) diyagramı, yağış, buharlaşma ve kayaç-su etkileşimi arasındaki ilişkiyi yorumlayan bir grafikdir (Şekil 4.12). Gibbs diyagramı daha çok sıg dolaşım sistemine sahip su kaynaklarının değerlendirmesinde toplam çözünmüş katı madde ile iyonların birbirleri içerisindeki oranlarını karşılaştırır.



Şekil 4.12. İncelenen su örneklerine ait Gibbs grafiği.

İncelenen yeraltı sularına ait Gibbs grafiğinde sularda gözlenen anyon ve katyon içeriklerinin daha çok buharlaşma ve kristal etkileşimi ile baskın olarak zenginleştiği ve bu süreçte buharlaşma ve kristalizasyonun etkisinin daha çok olduğu söylenebilir. Örneklerin tamamının buharlaşmanın etkisini gösterdiği alanda konumlandığı gözlenmiştir. Katyonların çözünmesine bağlı olarak su kayaç etkileşimi daha fazladır.

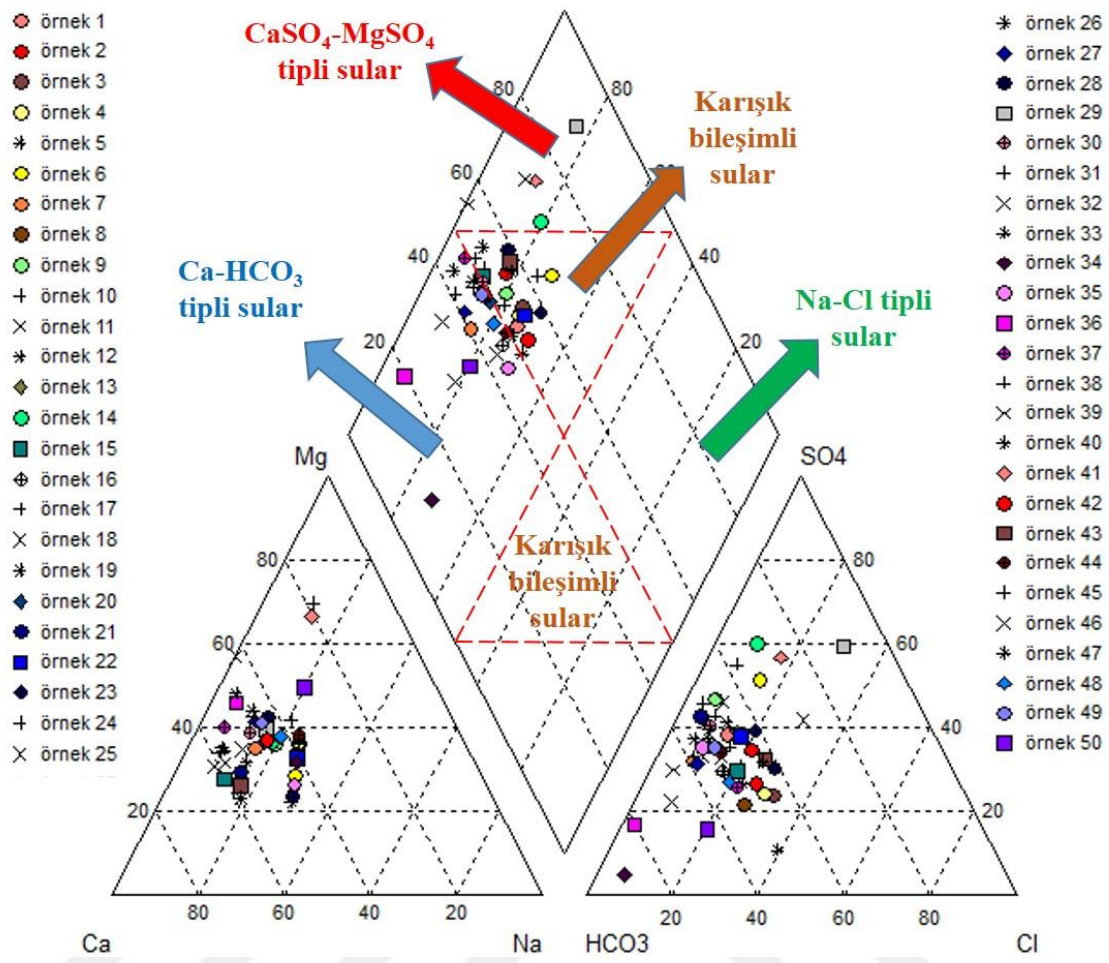
4.15 Suların Kimyasal Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Suların sınıflandırılması, inceleme bölgesindeki suların litolojik ilişkileri ve dolaşım sistemi boyunca meydana gelen hidro-jeokimyasal değişimleri, birden çok analizi aynı grafik üzerinde gösterilmesini sağlayan (Piper üçgen) ve yarı logaritmik (Schoeller) diyagramları kullanılarak incelenmiştir.

4.15.1 Piper Üçgen Diyagramına Göre Sınıflandırma

Suların anyon-katyon yapısını ve bunların birbirleri ile arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için Piper (1944) diyagram kullanılmıştır. Bu sayede suların Piper üçgen diyagram üzerinde sınıflaması yapılır. Piper diyagramının en önemli avantajı; akiferlere farklı fasiyeste suların karışımı kolayca belirlenebilmektedir.

İnceleme alanından alınan su numunelerinin hidrojeokimyasal verileri Piper üçgen diyagramına işlenmiştir (Şekil 4.13). Örneklerin çoğunluğunun Ca-HCO_3 tipli suları temsil eden 5. bölgede gruplandığı gözlenmiştir. Bunların 7-11-15-16-18-20-24-26-27-30-32-34-35-36-37-38-40-44-45-48-49 ve 50 numaralı sulardır. Bu tür sular, daha çok karbonatlı kayalardan beslenen karbonat alkaliliği yüksek sular sınıfına girer. 14-25-29-39 ve 41 numaralı su örnekleri Ca-SO_4 ve Mg-SO_4 suları temsil eden 8. bölgede yer aldıkları belirlenmiştir. Bu tür sular daha çok jips türü evaporitik kayalar ile etkileşim içerisinde. Diğer su örnekleri ise karışım sularıdır ve farklı türde su fasiyeslerinin karışımları ile karakteristiktir.



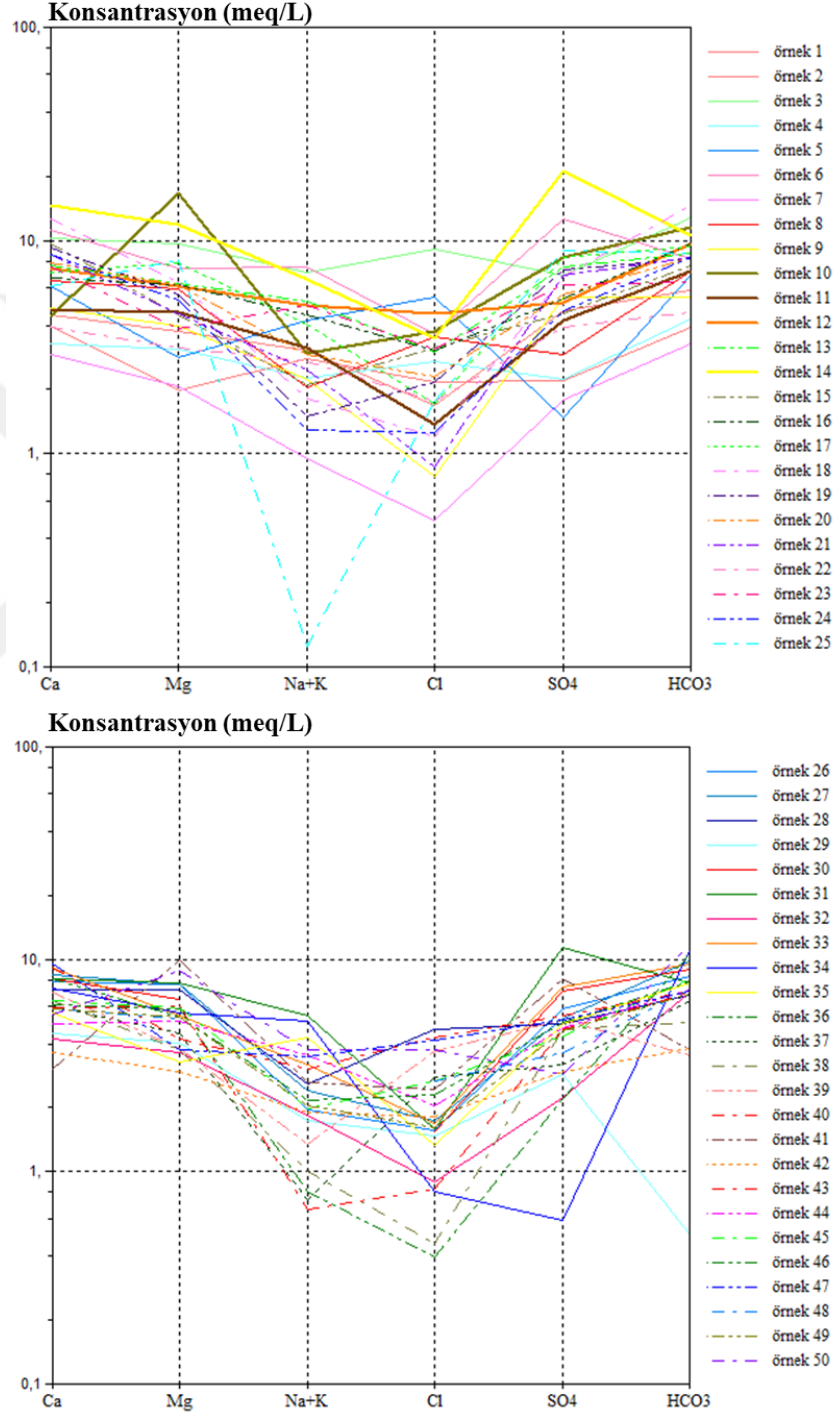
Şekil 4.13. Su örneklerinin Piper diyagramı üzerinde gösterimi.

4.15.2 Schoeller'e Göre Sınıflandırma

Schoeller sınıflaması iyonların su içerisindeki miktarlarını gösterdiği gibi, suların dolaşım sistemleri ve akiferde kalma süreleri ile ilgilide önemli bilgiler verebilir (Schoeller, 1955). Bu sınıflama sistemi sayesinde farklı fasiyes türlerine sahip sular veya aynı akifer sisteminden gelen sular rahatlıkla belirlenebilir. Farklı örnekleme dönemlerine ait suların zamansal su kimyası değişimleri de bu grafik sayesinde kolaylıkla izlenebilir.

İnceleme alanının su numune analiz sonuçlarının hidrojeokimyasal verileri yarı logaritmik Schoeller diyagramına işlenmiştir. Hem Schoeller ve hem de iyon dizilim tablosunda ağırlıklı katyon iyonunun kalsiyum, ağırlıklı anyon iyon ise bikarbonattır. (Şekil 4.14). İncelenen su numunelerinin çoğunlukla Ca-HCO₃ fasiyesine yönelik sular olduğu ve aynı zamanda Ca-SO₄, Mg-SO₄ ve Mg-HCO₃ fasiyeslerinin de nadir olarak bulunduğu görülmüştür. Shoeller diyagramda (11-13-16-22-23-35 ve 44), (15-

43-45-46-47 ve 48), (14-17-21-22-24-26-27-30 ve 49), (28 ve 37) numaralı su örneklerine ait iyon çizgilerinin çoğunun birbirine benzer veya aynı şekilde olması bu suların çoğunun aynı veya benzer akiferden geldiklerini göstermiştir. Su örneklerinin konsantrasyon değerleri incelendiğinde suların kısa dolaşım sistemine sahip oldukları ve su kayaç temas sürelerinin nispeten düşük olduğu söylenebilir.



Şekil 4.14. Su örneklerinin yarılogaritmik Schoeller diyagramı.

4.16 Suların Doygunluk İndisi Hesabı

Suların yeraltındaki dolaşım süreçleri boyunca temas ettikleri kayalardan bünyesine aldıkları minerallerin sistem içerisindeki doygunluk durumlarının araştırılması hidrojeokimyasal çalışmalar için önemlidir. Özellikle suların korozyon potansiyellerinin belirlenmesi çalışmalarında suyun çözme veya çökeltme yeteneğinin bilinmesi sağlıklı yorumlar ve değerlendirmeler yapılabilmesi için gereklidir.

İnceleme alanından temin edilen su örneklerinin doygunluk indisi hesaplamalarında PhreeqC programı kullanılmıştır (Parchurst ve Appelo 1999). Bu çalışma kapsamında, su örnekleri için anhidrit, aragonit, kalsit, dolomit, halit ve jips gibi önemli minerallerin doygunluk özellikleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.9).

Doygunluk İndisi formülasyonu: $SI: \log(Q/K)$

Doygunluk indisi sonuçlarının değerlendirilmesi (Tarcın, 2002).

$SI \log(Q/K) < 0$ ise yeraltı suyu minerale doymun değildir

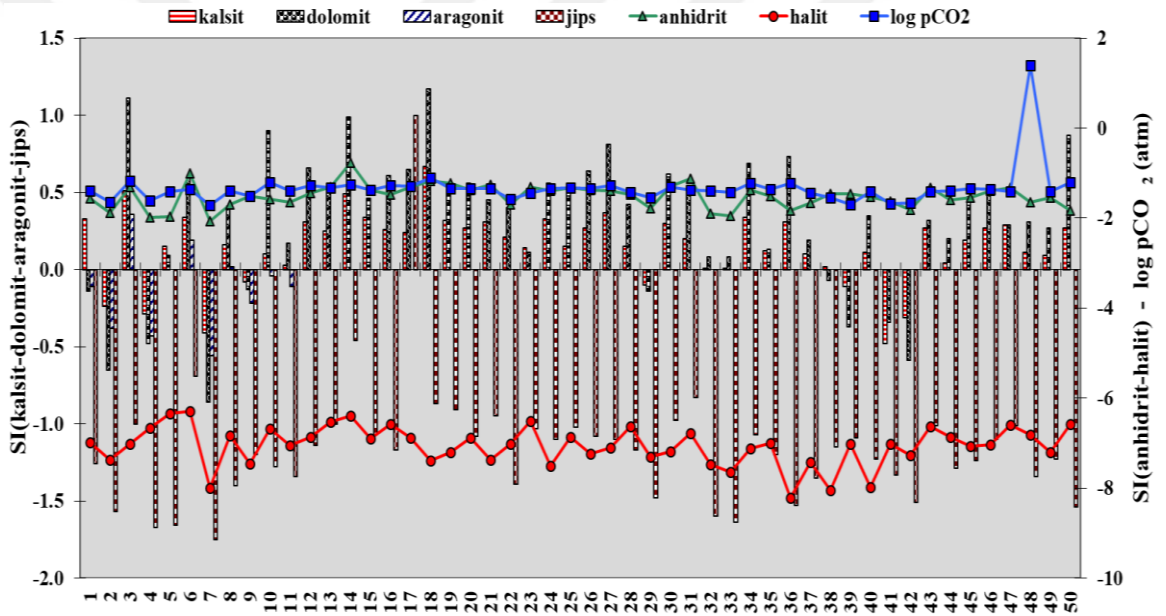
$SI \log(Q/K) = 0$ ise yeraltı suyu minerale dengededir

$SI \log(Q/K) > 0$ ise yeraltı suyu minerale doymundur

Çizelge 4.9. Su örneklerine ait doygunluk indisleri sonuçları.

İd	SI-Kalsit	SI-Dolomit	SI-Aragonit	SI-Jips	SI-Anhidrit	SI-Halit	log pCO ₂	İd	SI-Kalsit	SI-Dolomit	SI-Aragonit	SI-Jips	SI-Anhidrit	SI-Halit	log pCO ₂
1	0.33	-0.14	-0.11	-1.26	-1.56	-6.98	-1.39	26	0.27	0.64	0.12	-1.08	-1.38	-7.24	-1.34
2	-0.24	-0.65	-0.38	-1.57	-1.88	-7.38	-1.65	27	0.37	0.81	0.23	-1.10	-1.40	-7.10	-1.27
3	0.51	1.11	0.36	-1.00	-1.30	-7.02	-1.17	28	0.15	0.42	0.01	-1.17	-1.47	-6.63	-1.43
4	-0.29	-0.48	-0.43	-1.67	-1.98	-6.66	-1.61	29	-0.10	-0.14	-0.25	-1.48	-1.78	-7.30	-1.54
5	0.15	0.09	0.00	-1.66	-1.97	-6.35	-1.41	30	0.30	0.62	0.16	-0.98	-1.29	-7.18	-1.31
6	0.34	0.60	0.19	-0.69	-1.00	-6.30	-1.36	31	0.20	0.48	0.05	-0.83	-1.13	-6.78	-1.38
7	-0.41	-0.86	-0.56	-1.75	-2.06	-8.00	-1.71	32	0.01	0.08	-0.13	-1.60	-1.90	-7.47	-1.40
8	0.16	0.41	0.02	-1.40	-1.70	-6.83	-1.40	33	0.01	0.08	-0.13	-1.64	-1.94	-7.64	-1.43
9	-0.08	-0.13	-0.22	-1.20	-1.51	-7.45	-1.51	34	0.34	0.69	0.20	-1.07	-1.37	-7.12	-1.22
10	0.10	0.90	-0.04	-1.28	-1.58	-6.68	-1.21	35	0.12	0.13	-1.51	-1.20	-1.51	-7.00	-1.36
11	0.03	0.17	-0.11	-1.34	-1.64	-7.06	-1.39	36	0.31	0.73	-1.84	-1.53	-1.84	-8.22	-1.23
12	0.31	0.66	0.17	-1.14	-1.45	-6.86	-1.27	37	0.10	0.19	-1.66	-1.35	-1.66	-7.42	-1.44
13	0.25	0.54	0.11	-1.00	-1.30	-6.53	-1.32	38	0.02	-0.07	-1.46	-1.15	-1.46	-8.05	-1.54
14	0.49	0.99	0.34	-0.46	-0.77	-6.40	-1.26	39	-0.11	-0.37	-1.40	-1.09	-1.46	-7.02	-1.70
15	0.34	0.46	0.19	-1.07	-1.37	-6.90	-1.38	40	0.11	0.35	-1.53	-1.23	-1.53	-7.98	-1.41
16	0.26	0.61	0.12	-1.17	-1.48	-6.58	-1.27	41	-0.48	-0.34	-1.63	-1.33	-1.63	-7.01	-1.68
17	0.24	0.65	0.10	1.00	-1.30	-6.88	-1.29	42	-0.31	-0.59	-1.82	-1.51	-1.82	-7.27	-1.66
18	0.67	1.17	0.53	-0.87	-1.18	-7.39	-1.11	43	0.27	0.32	-1.32	-1.01	-1.32	-6.63	-1.41
19	0.32	0.54	0.18	-0.91	-1.22	-7.21	-1.34	44	0.04	0.20	-1.59	-1.29	-1.59	-6.87	-1.40
20	0.27	0.56	0.13	-1.08	-1.38	-6.88	-1.34	45	0.19	0.47	-1.55	-1.24	-1.55	-7.07	-1.35
21	0.31	0.45	0.16	-0.95	-1.25	-7.38	-1.34	46	0.27	0.49	-1.40	-1.10	-1.40	-7.04	-1.36
22	0.21	0.40	-0.35	-1.39	-1.70	-7.02	-1.58	47	0.29	0.29	-1.32	-1.01	-1.32	-6.60	-1.41
23	0.14	0.11	0.00	-1.03	-1.30	-6.51	-1.45	48	0.11	0.31	-1.64	-1.34	-1.64	-6.81	1.40
24	0.33	0.56	0.18	-1.10	-1.40	-7.50	-1.34	49	0.09	0.27	-1.54	-1.23	-1.54	-7.21	-1.41
25	0.15	0.53	0.01	-1.02	-1.33	-6.86	-1.32	50	0.27	0.87	0.12	-1.54	-1.84	-6.58	-1.20

İnceleme alanı su örneklerine ait doygunluk indislerine göre, kalsit minerali için 2, 4, 7, 9, 29, 39, 41 ve 42 numaralı örneklerin doygun olmayıp kalsiti çözebilme, diğer tüm örneklerde ise kalsit doygunlukları yüksek olup kalsiti çökeltebilme özelliğine sahiptir. Dolomit minerali 1, 2, 4, 7, 9, 29, 39, 41, 42 numaralı örnek noktalarında doygun olmayıp ve bunlar dışındaki sularda yüksek doygunluğa sahiptir. Aragonit mineralinin 32 ile 50 arası su numunelerinde düşük doygunlukta olduğu ve bu örneklerin aragoniti çözebilme, diğer tüm su örneklerinde ise aragonitin yüksek doygunluğa eriştiği ve çökelebile özelliğine sahip oldukları belirlenmiştir. Bunlar dışında kalan jips, anhidrit ve halitin bölgedeki yeraltı sularında düşük doygunlukta oldukları ve yeraltı sularının bu mineralleri çözebilme özelliğine sahip olduğu değerlendirilmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Su örneklerine ait doygunluk indisi değerleri.

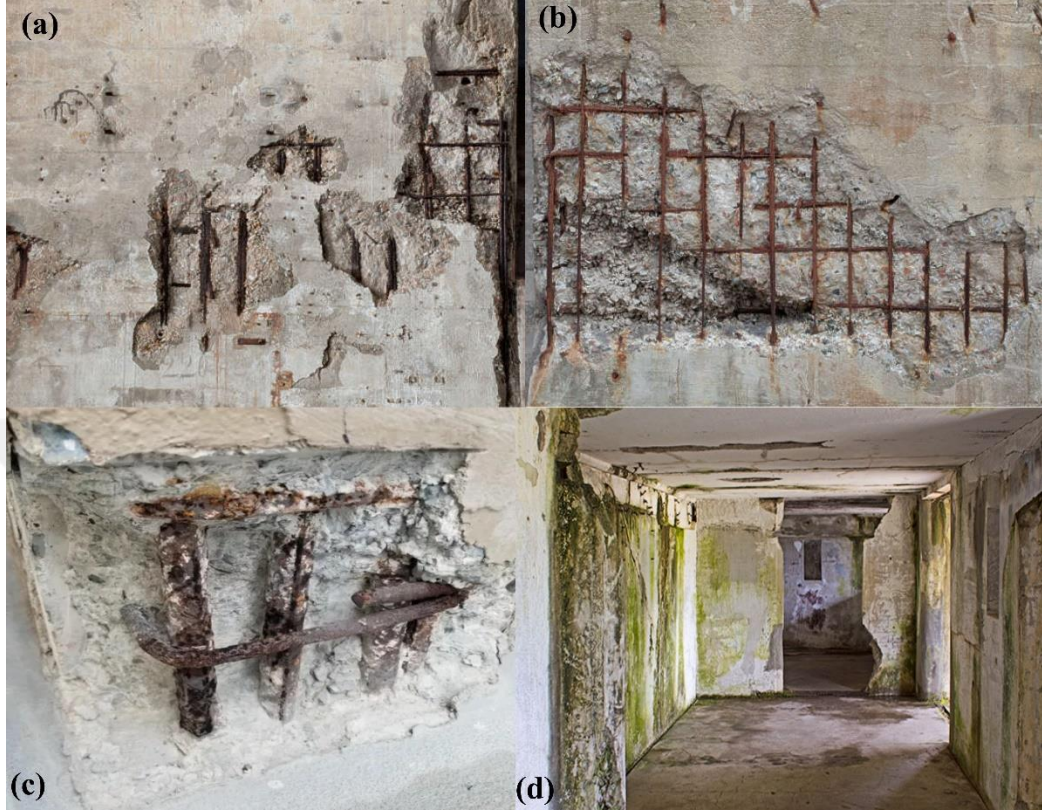
5. KOROZYON ve KOROZYON İNDİSLERİ

Korozyon, genel olarak betonarme yapılarda çimento, çimentonun içerisine gömülü halde bulunan çelik donatı ve suyun iletilmesinde kullanılan metal veya çelik borular da gözlenen parçalanma ve deformasyon olarak tanımlanabilir. Demirin paslanması, alüminyumun oksitlenmesi korozyona örnek olarak verilebilir. Korozyon, yenme, kemirilme aşınma, çürüme, paslanma ve bozulma gibi kavramları tanımlamak için kullanılır. Korozyon süreci ve deformasyon oranı birçok faktöre bağlı olarak gelişebilir. Snoyenik ve Jenkin (1980), korozyon oranının suyun pH, kalsiyum, bikarbonat, karbonat ve çözünmüş oksijen miktarlarına bağlı olduğunu ifade etmiştir. Amerika Birleşik Devletleri (USA) SmartCET korozyon izleme sisteminde, su sıcaklığı 15°C den büyük, pH 6,5 ve karbondioksit miktarı 5 mg/L'den büyük ise bu tip sular agresif su olarak tanımlanmıştır. Tebbut (1997) korozyon hızının, sudaki iyonların miktarları ve suyun akış rejimi ile değişebileceğini, türbülanslı rejimlerde korozyon miktarının artacağını belirtmiştir. En önemli faktörlerden birisi korozyona uğrayan malzemenin temas ettiği suyun kimyasal ve fiziksel özellikleridir. Suyun kimyasal yapısı korozyon şiddetinin boyutlarına doğrudan etki eder.

Betonarme yapılarda korozyon süreci temas yüzeyinde başlar ve zaman içerisinde beton malzemenin içerisine doğru ilerler ve betonun kimyasal ve fiziksel yapısına olumsuz olarak etki eder (Şekil 5.1). Agresif iyon içeriği yüksek yeraltı suları iyon içeriğine bağlı olarak korozyon şiddetini artırır. Agresif yeraltı suları kontrol altına alınmadığı veya korozyon için önlem alınmadığı durumlarda binaların dayanımları zaman içerisinde azalır ve hizmet süreleri kısalmır.

Korozyon süreci, önemli ekonomik kayıplara neden olabildiği gibi aynı zamanda oluşabilecek doğal afetlerde binaların yıkılması ile birlikte can kayıplarına da neden olabilir. Korozyon sürecinin neden olduğu zararları önlemek için birçok araştırmacı suyun koroziv etkisini belirlemeye yönelmiştir. Bu araştırmaların birçoğu suyun pH dengesi ile ilgili deneysel çalışmalara dayanır. Araştırmacıların büyük bölümü korozivite etkisinin pH değerine bağlı olduğunu ifade etmiştir. Suyun pH dengesini gözleyen araştırmacılar, düşük pH değerine sahip suların korozyona neden olabildiği gibi yüksek pH değerinin yükselmesinde borular içerisinde kalsiyum karbonat (CaCO_3) çökelimine neden olduğunu, CaCO_3 çökeliminde suyun boru içerisindeki akış kesitini azalttığını bildirmiştir. Bu nedenlerden dolayı, araştırmacıların çoğu

suyun korozyon potansiyelini tahmin etmeye çalışırken çoğunlukla suyun pH ve bikarbonat içeriği üzerinde durmuşlar, aynı zamanda pH ve karbonat dengesine etki eden parametreleri de incelemiştir.



Şekil 5.1. Yeraltı sularının neden olduğu korozyon hasarları (Şekil a ve b URL-1'den, Şekil c URL-2'den ve Şekil d URL-3'den alınmıştır).

Günümüzde, literatürde suların korozyon potansiyelini belirlemeye yönelik çok sayıda korozyon indisi ve bu indislere ait sınıflama sistemleri bulunmaktadır.

5.1 Su Analiz Sonuçlarının TS 3440 Standartına Göre Değerlendirilmesi

Korozyonun neden olduğu ekonomik ve sosyal zararları azaltabilmek veya engelleyebilmek için birçok ülke ve kuruluş betonarme yapılarla etkileşim halinde bulunacak suların zararlı etkinlik derecelerini tanımlamak için standartlar geliştirmiştir.

Ülkemizde, beton temas sularının zararlı etkinlik derecesinin sınır değerlerini belirlemek amacı ile Türk Standartları Enstitüsü tarafından TS 3440 yönetmeliği yayınlanmıştır (Çizelge 5.1). Bu yönetmelik, yeraltı suyunda pH, CO₂, amonyum, magnezyum ve sülfat parametrelerinin beton üzerindeki etkilerine göre sınır

değerlerini belirler. TS 3440'a göre bu parametrelerin zararlı etkinlik dereceleri zayıf, kuvvetli ve çok kuvvetli olarak konsantrasyon içeriklerine dikkate alınarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 5.1. Beton temas sularının zararlı etkinlik derecesi sınır değerleri (TS 3440).

İncelenen Özellik	Zararlı Etkinlik Derecesi			Standart No
	Zayıf	Kuvvetli	Çok kuvvetli	
1 pH değeri	6,5-5,5	5,5-4,5	4,5'dan küçük	TS-3440
2 Kireç Çözücü (CO ₂) mg /L	15-30	30-60	60'dan büyük	TS-3440
3 Amonyum (NH ₄ ⁺) mg/L	15-30	30-60	60'dan büyük	TS-3440
4 Magnezyum (Mg ⁺²) mg /L	100-300	300-1500	1500'den büyük	TS-3440
5 Sülfat (SO ₄ ⁻²) mg /L	200-600	600-3000	3000'den büyük	TS-3440

Su örneklerinin analiz sonuçları ve TS 3440'a göre, suların tamamı pH, amonyum ve magnezyum içeriği açısından zayıf zararlı etkinlik derecesine sahiptir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. TS 3440'a göre su analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.

ID	pH	(CO ₂) (mg/lt)	(NH ₄ ⁺) (mg/lt)	Mg ⁺² (mg/lt)	SO ₄ ⁻² (mg/lt)	ID	pH	(CO ₂) (mg/lt)	(NH ₄ ⁺) (mg/lt)	Mg ⁺² (mg/lt)	SO ₄ ⁻² (mg/lt)
1	7,74	46,00	1,56	45,80	224,88	26	7,16	16,19	0,09	92,87	281,85
2	7,53	69,00	1,85	24,30	106,05	27	7,33	94,19	0,49	93,10	253,20
3	7,14	137,77	2,56	116,70	329,35	28	7,12	80,39	0,32	86,80	238,20
4	6,68	344,59	0,06	37,72	106,90	29	7,06	71,21	0,30	48,80	138,10
5	7,04	10,10	0,03	34,55	70,51	30	6,43	213,90	4,04	78,80	341,09
6	6,85	160,77	1,13	89,40	602,28	31	6,74	138,00	1,45	94,00	546,00
7	7,33	57,50	1,05	25,35	85,57	32	7,26	85,10	0,29	44,00	108,00
8	6,50	344,59	0,03	71,93	140,77	33	7,32	80,50	1,50	66,00	354,00
9	7,23	12,65	0,06	48,54	261,61	34	7,09	121,90	0,32	68,00	306,00
10	7,37	23,78	0,03	203,34	401,49	35	7,49	78,20	0,12	40,00	238,00
11	7,06	41,49	0,08	56,44	203,35	36	6,62	115,92	0,21	71,00	106,00
12	6,94	24,29	0,20	74,12	245,06	37	7,60	29,90	0,55	54,50	151,90
13	6,72	78,11	0,06	76,80	358,91	38	7,02	95,45	0,77	45,80	223,60
14	6,81	103,39	0,00	144,20	1010,87	39	7,47	66,70	0,35	46,00	249,20
15	7,18	5,06	0,03	54,17	216,96	40	7,47	86,25	1,67	73,50	223,80
16	7,16	24,29	0,10	75,45	257,20	41	6,60	209,07	0,11	121,00	390,20
17	7,75	21,76	0,05	95,06	398,51	42	6,95	110,17	0,01	35,70	142,00
18	7,90	17,71	0,18	77,91	323,58	43	7,10	123,97	0,20	51,04	261,00
19	7,62	16,70	0,18	68,22	351,27	44	7,17	106,72	0,06	61,70	228,50
20	6,97	110,06	0,46	74,90	268,48	45	6,90	176,87	2,43	72,30	208,00
21	6,91	114,77	0,54	55,33	328,20	46	6,32	482,31	0,06	65,30	240,62
22	7,35	98,67	4,10	38,30	186,94	47	6,88	204,47	0,00	45,69	249,52
23	7,48	87,29	2,04	46,80	295,37	48	6,75	151,57	0,19	64,20	174,45
24	7,22	12,14	0,17	64,42	226,13	49	6,36	287,27	0,09	65,20	222,20
25	7,48	6,58	0,14	98,76	428,27	50	7,74	75,90	0,00	107,90	138,90
		Zayıf Zararlı		Kuvvetli Zararlı				Çok Kuvvetli Zararlı			

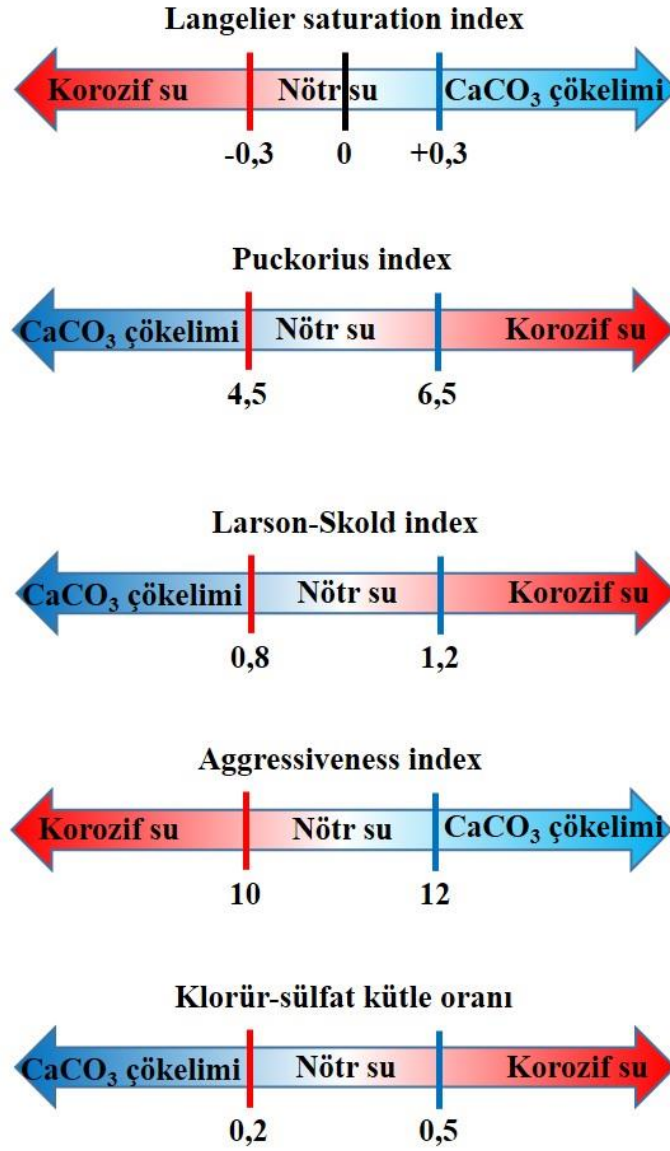
CO₂ içeriği açısından 2-5-9-10-12-15-16-17-18-19-24-25-26 ve 37 numaralı örnekler “zayıf zararlı” etkinlik derecesine, 1-7 ve 11 numaralı örnekler “kuvvetli zararlı” etkinlik, diğer örnekler ise “çok kuvvetli zararlı” etkinlik derecesine sahiptir. Çözünmüş karbondioksit değerleri açısından su örneklerinin % 28’i “zayıf zararlı” etkinlik, % 6’sı “kuvvetli zararlı” etkinlik ve % 66’sı ise “çok kuvvetli zararlı” etkinlik derecesinde sınıflandırılmıştır. Suların sülfat (SO₄⁻²) içeriği açısından 6 ve 14 numaralı örnekler “kuvvetli zararlı” etkinlik, diğer tüm su örnekleri ise “zayıf zararlı” etkinlik derecesi olarak gruplandırılmıştır. Çalışma alanında bulunan yeraltı suları TS 3440 standartında yer alan parametrelerden sadece CO₂ içeriği açısından üst yapıların temelleri için kuvvetli ve çok kuvvetli zararlı etkinlik derecesine sahiptir ve önemli ölçüde risk içermektedir.

5.2 Korozyon İndisleri

Bu çalışma kapsamında su örneklerine ait analiz sonuçları ve Langelier doygunluk, Agresiflik, Larson-Skold, Puckorius, Ryznar ve Klorür-sülfat kütle oranı gibi korozyon indisleri kullanılarak suların korozyon potansiyelleri incelenmiştir.

Önerilen korozyon indislerinin temel farklılıkları, hesaplama yöntemlerinde kullanılan parametrelerden kaynaklanmaktadır. pH değeri genel parametre olarak tercih edilirken, araştırmacıların bir kısmı karbonat dengesine eden faktörleri kullanırken farklı araştırmacılar suyun klorür, sülfat gibi iyon içeriklerine yer vermişlerdir. Korozyon indis çalışmalarında üretilen indislerin önemli bir eksikliği, su içerisinde pH değerine etki eden çözünmüş karbondioksit gibi önemli parametreleri göz ardı etmeleridir. Bunun nedeni deneysel çalışmalarda kullanılan su örneklerinin önemli oranlarda çözünmüş karbondioksit içermemeleri veya bu parametrenin su içerisindeki miktarını belirleyememeleri olabilir.

Korozyon indislerin en önemli farklılıklarından bir diğeri, suyun korozyon potansiyelini değerlendirmek için kullandıkları sınıflama sistemleridir. Korozyon indislerinin değerlendirme sistemleri arasında çok önemli farklılıklar bulunmaktadır (Şekil 5.2). Sınıflama sistemleri arasındaki bu farklılık suların farklı korozyon potansiyellerinde tanımlanmasına yol açabilmektedir. Bu çalışmanın nihai amaçlarından biriside en uygun değerlendirme ve sınıflama sistemini belirlemektir.



Şekil 5.2. Korozyon indislerine ait değerlendirme sistemleri.

5.2.1 Langelier Doygunluk İndisi (LSI)

Suların korozyon potansiyelini belirlemek için literatürde en yaygın olarak kullanılan indis Langelier doygunluk indisidir (LSI). LSI Kalsiyum karbonat doygunluğu ile demir veya galvanizli borunun korozyonu arasındaki ilişkileri değerlendirmek için 1936' da W. F. Langelier tarafından geliştirilmiştir (Ulusal Araştırma Konseyi, 1982). Bir çözeltinin kalsiyum karbonatı çözme veya çökeltme yeteneğinin bir ölçüsü olan Langelier doygunluk indisi, genellikle suyun aşındırıcılığının bir göstergesi olarak kullanılır. İndis, aslında doğrudan korozyonla ilgili değil kalsiyum karbonat çökelişi ile ilgilidir.

LSI'yi geliştirirken Langelier, suyun kalsiyum karbonatla doymuş olduğu pH için bir denklem türetmiştir. Bu denklem, kalsiyum karbonat çözünürlüğü ve bikarbonat ayrışması için denge ifadelerine dayanmaktadır. Gerçek koşullara daha yakından yaklaşmak için, Langelier sıcaklık ve iyonik kuvvetin etkilerini içerecek şekilde pH hesaplamaları geliştirmiştir.

LSI genel olarak toplam çözünmüş katı (TÇKM) konsantrasyonu 10.000 mg/l den az olan su için kullanılır (Roberge, 2007). Bir suyun LSI değerini hesaplamak için gereken değişkenler pH, elektriksel iletkenlik, TÇKM, alkalinite ve toplam sertliktir. Suyun analizi sonucunda ölçülen gerçek pH değeri, suyun kalsiyum karbonat ile doymuş olduğu andaki hesaplanan pH değeri ile karşılaştırılır. pH'lar alkalilik (CaCO_3 olarak litre başına miligram), kalsiyum konsantrasyonu ve su sıcaklığından (santigrat derece) hesaplanır. pH'ların türetilmesi karbonat dengesine, sıcaklığın denge sabitleri üzerindeki etkilerine ve tuzluluğun kimyasal aktiviteler üzerindeki etkilerine dayanır.

LSI değerinin büyüklüğü ve işareti, suyun kireç oluşturma veya çözme ve dolayısıyla korozyonu önleme veya teşvik etme eğilimini gösterir. LSI'nin negatif değerleri, kalsiyum karbonat çökeliminin oluşmasının muhtemel olmadığını ve pozitif değerler, koşulların çökelim oluşumu için uygun olduğunu, sıfıra yakın değerler ise sınırda nötr olarak kabul edilir (Langelier, 1936).

Langelier doymunluk indisi üç temel değerlendirme sınıfına sahiptir. Değerlendirme aralıkları ve ölçütler aşağıda verildiği gibidir;

LSI<0 Su, kalsiyum karbonata göre yetersiz doymundur ve kalsiyum karbonat çözme eğilimindedir. Suyun korozyon eğilimi vardır.

LSI=0 Su nötr olarak kabul edilir. Kalsiyum karbonat çözme ve çöktirme yeteneği eşittir.

LSI>0 Su, kalsiyum karbonata göre yeterince doymundur ve kalsiyum karbonat çöktirme eğilimindedir. Suyun korozyon eğilimi zayıf veya yoktur.

LSI aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir;

$$LSI = pH_{\text{gerçek}} - pH_s \quad (5.1)$$

LSI; Langelier doygunluk indisi, $pH_{\text{gerçek}}$: suyun ölçülen pH değeri, pH_s : $CaCO_3$ 'na doygunluktaki pH değeridir.

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad (5.2)$$

$$A = (\log_{10} T\check{C}KM - 1) / 1 \quad (5.3)$$

$$B = -13,12 \times \log_{10} [C + 273] + 34,55 \quad (5.4)$$

$$C = \log_{10} [Ca \text{ } CaCO_3] \quad (5.5)$$

$$D = \log_{10} [\text{alkanity } CaCO_3] \quad (5.6)$$

5.2.2 Ryznar Korozyon İndisi (RSI)

Ryznar korozyon indisi (RSI), 1944'te John Ryznar tarafından içme suyu borularında korozyon oranları ve kalsiyum karbonat oluşumunu belirlemek için önerilmiştir. RSI, su şebeke sistemlerinde gözlemlenen karbonat çökeliminin boyutlarını belirlemek için deneysel gözlemlere ve su kimyası parametrelerine dayalı bir formülasyon kullanır. LSI gibi RSI de suyun doygunluk seviyesini dikkate alır. RSI kalsiyum karbonat çökeliminin yanı sıra korozyon potansiyeli hakkında da bilgi verir.

Ryznar indisinin hesaplaması Langelier doygunluk indisinin hesaplama yöntemine oldukça benzerdir. Suyun kalsiyum karbonat doygunluğundaki pH değerini hesaplamak için suyun sıcaklık, özgül elektriksel iletkenlik, kalsiyum ve bikarbonat iyon değerini kullanır. Ryznar indisi aşağıdaki formülle hesaplanabilir;

$$RSI = 2 (pH_s) - pH \quad (5.7)$$

RSI; Langelier doygunluk indisi, $pH_{\text{gerçek}}$: suyun ölçülen pH değeri, pH_s : $CaCO_3$ 'na doygunluktaki pH değeridir.

Bir suyun RSI değeri 6,5 ile 7,0 arasındaysa $CaCO_3$ 'ın doyma dengesinde olduğu kabul edilir. 6,5 altında RSI değeri doymuştur ve bir $CaCO_3$ çökelişi olacaktır (Çizelge 5.3, Şekil 5.3). 7,0'dan büyük RSI değerinin $CaCO_3$ doygunluğunun yetersiz olduğu ve suyun $CaCO_3$ 'ı çözerek boruyu ve metal yüzeyleri aşındırıcı etkisinin yüksek olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.3. Ryznar indise ait değerlendirme ve sınıflama sistemi.

Ryznar indeks (RSI)	Sınıflama (Ryznar, 1942)
$RSI < 5,5$	Çok fazla kalsiyum karbonat çökelişi
$5,5 < RSI < 6,2$	Hafif kalsiyum karbonat çökelişi
$6,2 < RSI < 6,8$	Kalsiyum karbonat çökelişi çok az ve korozyon potansiyeli düşük
$6,8 < RSI < 8,5$	Su agresif ve korozyon potansiyeli yüksek
$RSI > 8,5$	Su çok agresif ve korozyon potansiyeli çok yüksek



Şekil 5.3. Ryznar indisi sınır değerleri.

5.2.3 Agresiflik İndisi (AI)

Agresif indisi (AI), daha çok asbestli çimento borularda, beton malzemelerde ve çelik borularda çimento astarı üzerindeki suyun etkisini değerlendirmek ve aşınma seviyesini belirlemek için kullanılır. Agresiflik indisi, Amerika Su İşleri (AWWA) tarafından oluşturulan C-400 standartının bir parçası olarak önerilmiştir. Çoğu zaman suların aşındırıcılık özelliğini belirlemek için Langelier doygunluk indisi yerine de kullanılır. Hesaplama yöntemi, suyun gerçek pH değeri, kalsiyum sertliği ve toplam alkalinite değerini dikkate alır. Uygulanabilir olduğunda, kullanımı LSI'dan daha basit ve daha uygundur. AI, suyun sıcaklık değerini veya çözünmüş katıların etkilerini içermediğinden, analitik bir araç olarak Langelier doygunluk indisiinden daha az doğru sonuçlar üretebilir.

Bu korozyon indisi, suyun pH değerinden (suyun daha asidik mi yoksa daha alkali mi olduğu, suyun kalsiyum sertliği veya suyun ne kadar kalsiyum içerdiği ve suyun alkaliliği) hesaplanan bir formül kullanılır.

Agresiflik İndeksi aşağıda verilen formülle hesaplanabilir;

$$AI = pH + \log [(A)(H)] \quad (5.8)$$

pH; suyun pH değeri, A; Toplam alkalinite mg CaCO₃/L ve H; Kalsiyum sertliği mg Ca⁺² CaCO₃/L

Değerlendirme sınıf aralığı suların korozyon potansiyellerini belirlemek için detay içermez bundan dolayı diğer indis sonuçları ile karşılaştırıldığında hatalı yorumlamalara neden olabilmektedir.

Sular korozyon potansiyeli Agresiflik indis sonuçlarına göre;

AI > 12 ise agresiflik yok

10 > AI < 12 ise orta dereceli agresiflik

AI < 10 ise çok agresif, olarak sınıflandırılabilir.

AI indisi değeri 10'dan düşük çıktığında su, agresif su korozyon potansiyeli var olarak değerlendirilir. AI değeri 10 ile 12 arasında ise suların orta derecede agresif ve düşük korozyon potansiyeline sahip olduğu söylenebilir. AI değeri 12'den büyükse kalsiyum karbonat çökelişi gerçekleşecektir ve suyun korozyon potansiyeli çok zayıf veya yoktur.

Agresiflik indisin en büyük dezavantajı suyun sıcaklık, iyonik güç veya toplam çözünmüş katı madde içeriğini hesaba katmamasıdır. Bu indis daha çok CaCO₃ doygunluğunun belirlenmesine ve çökelişine odaklanmıştır.

5.2.4 Puckorius İndisi (PSI)

Puckorius indisi, elektrik santrallerinin soğutma sularının kondansatörlerinde kalsiyum karbonat çökeltisi oluşturup oluşturmayacağını tahmin etmeleri için bir yöntem olarak Langelier doygunluk indisi (LSI) ve Ryznar indisi'nin (RSI) yerini alması için Puckorius (1983) tarafından önerilmiştir.

Diğer korozyon indisleri, iki kritik parametreyi hesaba katmaz; bunlardan birisi suyun tamponlama kapasitesi diğeri ise suyu dengeye getirirken oluşabilecek maksimum çökelti miktarı. Puckorius indisi (PSI), indise suyun tamponlama kapasitesinin bir tahminini dahil ederek doygunluk durumu ile kireç oluşumu arasındaki ilişkiyi ölçmeye çalışır.

Tamponlama kapasitesi, bir asidik veya alkalın çözeltisi ilave edildiğinde bir çözeltinin dar bir pH aralığını ne kadar iyi koruyabildiği anlamına gelir. Başka bir ifade ile tamponlama kapasitesi pH değişimlerine karşı direnç gösterme kabiliyetidir. Tamponlama kapasitesi tuz ve asit çözeltilerinin artması ile molar konsantrasyon olarak artar. Tamponlama kapasitesi pH'ı bir birim arttırmak için gerekli sodyum hidroksitin molaritesi olarak da ifade edilir.

Kalsiyum oranı yüksek, ancak alkalilik ve tamponlama kapasitesi düşük su, yüksek kalsit doygunluk seviyesine sahip olabilir. Yüksek kalsiyum seviyesi iyon aktivite ürününü artırır. Bu tür su, kireç oluşturma eğilimine sahip olabilir. Ancak oluşan kireç küçük bir miktarda olabilir. Suyun çözücü gücü vardır ancak çökelti maddesi formları olarak pH'ı koruma kapasitesi ve kabiliyeti yoktur. Sudaki karbonat konsantrasyonundaki çok küçük düşüşler bile, çökelmenin başlamasından önce mevcut olan küçük miktar nedeniyle iyon aktivitesi ürününü büyük ölçüde azaltacaktır.

PSI indisi, Ryznar indisine benzer bir şekilde hesaplanır.

Puckorius, tamponlama etkilerini hesaba katmak için gerçek sistem pH'ından ziyade bir denge pH'ı kullanır.

$$PSI = 2(pH_s) - pHeq \quad (5.9)$$

pH_s; kalsit veya kalsiyum karbonatta doygunluk durumundaki pH değeridir.

pHeq ve toplam alkalinite aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanabilir;

$$pHeq: 1,465 \times \log_{10} [\text{Alkalinite}] + 4,54 \quad (5.10)$$

$$[\text{Alkalinite}]: (\text{HCO}_3^-) + 2(\text{CO}_3^{2-}) + (\text{OH}^-) \quad (5.11)$$

Puckorius indisin değerlendirme ölçütü aşağıda verildiği gibidir;

PSI > 6,5 ise kalsiyum karbonat çökmesi olası değil, korozif su,

4,5 < PSI < 6,5 ise su nötr özelliğe sahiptir,

PSI < 4,5 dan küçük ise kalsiyum karbonat çökmesi olası, korozif olmayan su

5.2.5 Larson-Skold İndisi (LI)

Bu indis diğer indeilerden farklı olarak büyük göl sularının taşınmasında kullanılan çelik borularda meydana gelebilecek korozyon miktarını tahmin etmek için Larson ve Skold (1958) tarafından önerilmiştir. Bu indis daha çok göl sularına benzer bileşime sahip suların baskınlığı ve bir soğutma suyunun doğal alkalinitesine ve kireç oluşturma özelliklerine dayanan korozyon önleme programlarının uygulanabilirliğini gözden geçirmek için agresiflik göstergesi olarak kullanılmıştır.

Larson-Skold İndeksi, klorür ve sülfat iyonlarının konsantrasyonunun bikarbonat ve karbonat iyonlarının konsantrasyonuna (mg/L) oranını tanımlar.

Aşağıda verilen formül yardımı ile hesaplanabilir;

$$LI = [\text{mg/L Cl}^- + \text{mg/L SO}_4^{2-}] / [\text{mg/L HCO}_3^- + \text{mg/L CO}_3] \quad (5.12)$$

Larson-Skold indis sonuçları genel olarak üç farklı aralık sınıfında değerlendirilmiştir.

Bu sınıf aralıkları ve değerlendirme sistemi aşağıda verildiği gibidir;

İndeks değeri < 0,8 ise klorür ve sülfat muhtemelen doğal kireç oluşumuna müdahale etmez

0,8 < indis değeri < 1,2 aralığında ise klorürler ve sülfatlar doğal kireç oluşumunu engelleyebilir. Yüksek korozyon oranları beklenebilir.

İndis değeri > 1,2 den büyük ise yüksek korozyon oranlarına yönelik eğilim, indis değer arttıkça beklenmelidir.

5.2.6 Klorür – Sülfat Kütle Oranı (CSMR)

Klorür - sülfat kütle oranı (CSMR), bakır ve pirinç su tesisatı bileşenlerinde Pb-lehimli bağlantıların galvanik korozyonu durumu için geliştirilmiş bir korozyon potansiyeli ölçüsüdür. Bu formülasyonun arkasındaki mantık, Pb çözünürlüğünün, çözünmüş klorürün mevcudiyetiyle büyük ölçüde artması, ancak yükseltilmiş sülfatın, çözünmez bir kurşun sülfat olan anglesit'in çökmesine neden olmasıdır. Bu mineral, çoğu Pb bileşiğinin aksine, asit saldırısına karşı dayanıklıdır, bu nedenle, kireç çözülmesini gerektiren analitik işlemlerde gözden kaçma potansiyeline sahiptir. Gregory (1990), CSMR > 0,5'in bakıra bağlı kurşun lehimin galvanik korozyonunu artırdığını belirlemiştir.

Önceki çalışmalar ve yöntemin temeli incelendiğinde, CSMR'nin beton korozyonu için uygun olmadığı düşünülebilir ancak klorür miktarının sülfat miktarına oranı korozyon için önemli bir parametre olabilir. Bu nedenden dolayı bu çalışma kapsamında su örneklerinin CSMR değerleri de hesaplanmıştır.

CSMR bir su kaynağı için klorür konsantrasyonunun sülfat konsantrasyonuna (mg/L) oranıdır.

$$CSMR = [Cl^- / SO_4^{2-}] \quad (5.13)$$

Klorür-sülfat kütle oranı (CSMR) sonuçlarının değerlendirilebilmesi için aşağıda verilen kurallar dikkate alınır;

CSMR < 0,2 ise korozyon riski düşük

CSMR 0,2 ile 0,5 arası ise korozyon riski önemsiz

CSMR > 0,5 ve alkalinite değeri > 50 ise korozyon riski önemsiz

CSMR > 0,5 ve alkalinite değeri < 50 ise yüksek korozyon riski, vardır.

5.3 Korozyon İndis Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Langelier doygunluk indisi, Agresiflik indisi, Larson-Skold indisi, Puckorius indisi, Ryznar indisi ve Klorür-sülfat kütle oranı için en küçük ve en büyük değerler sırası ile (-1,44; 1,09), (11,05-13,56), 0,20-6,37), (4,88-8,25), (5,71-9,47) ve (0,07-2,72) olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.4-5.5).

Çizelge 5.4. Su örneklerine ait korozyon indis değerleri.

Id	LSI	AI	LaI	PSI	RSI	CSMR	Id	LSI	AI	LaI	PSI	RSI	CSMR
1	0,19	12,55	1,10	6,95	7,37	0,27	26	-0,17	12,37	0,90	6,28	7,49	0,20
2	-0,26	12,11	1,10	7,69	8,05	0,72	27	0,27	12,64	0,70	5,66	6,82	0,27
3	-0,13	12,65	1,20	5,36	6,88	0,99	28	-0,31	12,20	1,40	6,62	7,74	0,70
4	-1,15	11,22	1,20	7,70	8,98	0,90	29	-0,62	11,81	0,90	7,27	7,28	0,38
5	-0,47	12,05	1,00	6,76	7,97	2,72	30	-0,74	11,69	1,00	5,91	7,91	0,16
6	-0,33	12,21	2,00	6,01	7,52	0,21	31	-0,55	11,93	1,70	6,24	7,83	0,10
7	-0,69	11,71	0,70	8,25	8,71	0,20	32	-0,25	12,12	0,40	6,75	7,76	0,29
8	-0,89	11,56	0,90	6,50	8,28	0,89	33	0,14	12,64	1,00	5,89	7,04	0,17
9	-0,41	12,04	1,10	7,18	8,06	0,11	34	-0,08	12,38	0,70	5,77	7,24	0,09
10	-0,06	12,46	1,10	6,27	7,48	0,33	35	0,13	12,51	0,80	6,38	7,23	0,20
11	-0,50	11,98	0,80	6,85	8,07	0,24	36	-0,52	11,82	0,20	5,74	7,65	0,13
12	-0,27	12,19	1,00	5,95	7,48	0,65	37	0,15	12,57	0,90	6,68	7,30	0,65
13	-0,53	11,93	1,20	6,10	7,79	0,30	38	-0,49	11,93	1,00	6,95	7,99	0,07
14	-0,14	12,39	2,30	5,38	7,10	0,12	39	-0,18	12,25	2,50	7,45	7,83	0,52
15	-0,04	12,44	1,00	6,18	7,27	0,51	40	-0,03	12,48	0,80	6,72	7,52	0,13
16	-0,07	12,36	0,90	5,98	7,30	0,42	41	-1,44	11,05	2,80	8,19	9,47	0,22
17	0,49	12,96	1,10	6,07	6,77	0,15	42	-0,87	11,48	1,30	7,75	8,68	0,45
18	1,09	13,56	0,50	4,88	5,71	0,13	43	-0,18	12,30	1,40	6,29	7,46	0,58
19	0,39	12,89	1,10	6,09	6,84	0,22	44	-0,26	12,11	0,90	6,57	7,69	0,32
20	-0,33	12,18	0,90	6,21	7,62	0,31	45	-0,44	12,01	0,90	6,33	7,78	0,45
21	-0,31	12,16	0,90	6,06	7,53	0,09	46	-1,17	11,51	6,37	6,63	8,65	0,34
22	-0,45	12,00	1,20	7,58	8,24	0,33	47	-0,41	12,10	1,30	6,32	7,71	0,59
23	0,04	12,55	1,40	6,67	7,40	0,37	48	-0,69	11,76	0,90	6,61	8,14	0,54
24	-0,08	12,46	0,70	6,21	7,37	0,20	49	-1,11	11,36	0,90	6,68	8,58	0,26
25	0,13	12,60	1,20	6,29	7,22	0,15	50	0,50	12,94	0,60	5,88	6,73	0,95

LSI: Langelier saturation indeks; AI: Aggressiveness indeks; LaI: Larson-Skold indeks; PSI:Pockorius indeks; RSI: Ryznar indeks; CSMR: Klorür-sülfat kütle oranı

Çizelge 5.5. En düşük ve en yüksek korozyon indis değerleri.

Korozyon indeksleri	LSI	AI	LaI	PSI	RSI	CSMR
En düşük değer	-1,44	11,05	0,2	4,88	5,71	0,07
En yüksek değer	1,09	13,56	6,37	8,25	9,47	2,72

Langelier doygunluk, Agresiflik, Larson-Skold, Puckorius, Ryznar indisleri ve Klorür-sülfat kütle oranı sonuçları üç farklı korozyon tanımlama sınıfı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sınıf aralıkları çoğunlukla indislere ait korozyon değerlendirme ölçütleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Ryznar indis sonuçları 7 den büyük ise yüksek korozif su, 6-7 aralığında ise düşük korozif su, 6 dan küçük ise korozif olmayan su olarak tanımlanmıştır. Puckorius indisi sonuçları 6.5 ten büyük yüksek korozif su, 4,5-6,5 arası düşük korozif su, 4,5 ten küçük ise korozif olmayan su olarak kategorize edilmiştir. Langelier Doygunluk indisi sonuçları 0 dan küçük negatif tanımlı değerler yüksek korozif su, 0'a eşit değerler düşük korozif su, 0'dan

büyük değerler ise korozif olmayan su olarak değerlendirilmiştir. Larson-Skold indisi sonuçları 1,2 den büyük olan değerler yüksek korozif su, 0,8-1,2 arası değerler düşük korozif su ve 0,8 den küçük değerler ise korozif olmayan su olarak sınıflandırılmıştır. Klorür-sülfat kütle oranı sonuçları 0,5 ten büyük olan değerler yüksek korozif su, 0,2-0,5 arası değerler düşük korozif su, 0,2 den küçük olan değerler ise korozif olmayan su olarak değerlendirilmiştir. Agresiflik indisi sonuçları 10 dan küçük değerler yüksek korozif su, 10-12 arası değerler düşük korozif su ve 12 den büyük değerler ise korozif olmayan su olarak kategorize edilmiştir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6. Korozyon indislerine ait sınır değerleri.

Korozyon İndeksleri	Yüksek korozif su	Düşük korozif su	Korozif olmayan su
RYZNAR İNDEKS (RSI)	$RSI > 7,0$	$6,0 < RSI < 7,0$	$RSI < 6,0$
PUCKORIUS İNDEKS (PSI)	$PSI > 6,5$	$4,5 < PSI < 6,5$	$PSI < 4,5$
LANGELIER SATURATION İNDEKS (LSI)	$LSI < 0$	$LSI = 0$	$LSI > 0$
LARSON-SKOLD İNDEKS (LaI)	$LaI > 1,2$	$0,8 < LaI < 1,2$	$LaI < 0,8$
KLORÜR-SÜLFAT KÜTLE ORANI (CSMR)	$CSMR > 0,5$	$0,2 < CSMR < 0,5$	$CSMR < 0,2$
AGGRESSIVENESS İNDEKS (AI)	$AI < 10,0$	$10,0 < AI < 12,0$	$AI \geq 12,0$

Korozyon indislerinin analiz sonuçları incelendiğinde, Langelier doygunluk indisi sonuçlarının -1,44 ile 1,09 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. İndis sonuçlarına göre 1-17-18-19-23-25-27-33-35 ve 50 numaralı su örnekleri sıfırdan büyük değerler aldıkları için korozif olmayan sular olarak tanımlanmıştır. 10-15-16-24-34-37 ve 40 numaralı su örnekleri düşük korozif su, diğer su örnekleri ise yüksek korozif su olarak gruplandırılmıştır (Çizelge 5.7).

Ryznar indis sonuçlarına göre 18 numaralı örnek korozif olmayan su, 3-17-19-27 ve 50 numaralı örnekler düşük korozif su, diğer örnekler ise yüksek korozif su olarak tanımlanmıştır. Larson-Skold indis sonuçlarına göre 7-11-18-24-27-32-34-35-40 ve 50 numaralı örnek korozif olmayan su, 6-14-23-28-31-39-41-42-43-46 ve 47 numaralı örnekler yüksek korozif su, diğer örnekler ise düşük korozif su olarak tanımlanmıştır. Puckorius indis sonuçlarına göre örneklerin tamamı ya düşük korozif veya yüksek korozif su sınıfındadır. Korozif olmayan su örneği tespit edilememiştir. Bu sonucun aksine agresiflik indis sonuçlarında ise örneklerin hiçbirisi yüksek korozif su sınıfına girmemiştir. Bu indiste 4-7-8-11-13-29-30-31-36-38-41-42-46-48 ve 49 numaralı su örnekleri düşük korozif su diğer su örnekleri ise korozif olmayan su olarak tanımlanmıştır.

Çizelge 5.7. Örnek noktalarının korozyon indislerine göre sınıflandırılması.

Korozyon İndeksleri	Yüksek korozif su RSI > 7,0	Düşük korozif su 6,0 < RSI < 7,0	Korozif olmayan su RSI < 6,0
RYZNAR İNDEKS (RSI)	1-2-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15- 16-20-21-22-23-24-25-26-28-29-30- 31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41- 42-43-44-45-46-47-48-49-	3-17-19-27-50	18
PUCKORIUS İNDEKS (PSI)	PSI > 6,5	4,5 < PSI < 6,5	PSI < 4,5
	1-2-4-5-7-9-11-22-23-28-29-32-37- 38-39-40-41-42-44-46-48-49	3-6-8-10-12-13-14-15-16-17-18- 19-20-21-22-24-25-26-27-30-31- 33-34-35-36-43-45-47-50	0
LANGELIER SATURATION İNDEKS (LSI)	LSI < 0	LSI = 0	LSI > 0
	2-3-4-5-6-7-8-9-11-12-13-14-20-21- 22-26-28-29-30-31-32-36-38-39-41- 42-43-44-45-46-47-48-49	10-15-16-24-34-37-40-	1-17-18-19-23-25-27-33-35-50
LARSON-SKOLD İNDEKS (Lal)	Lal > 1,2	0,8 < Lal < 1,2	Lal < 0,8
	6-14-23-28-31-39-41-42-43-46-47	1-2-3-4-5-8-9-10-12-13-15-16- 17-19-20-21-22-25-26-29-30-33- 36-37-38-44-45-48-49	7-11-18-24-27-32-34-35-40-50
KLORÜR-SÜLFAT KÜTLE ORANI (CSMR)	CSMR > 0.5	0.2 < CSMR < 0.5	CSMR < 0.2
	2-5-8-12-15-28-37-39-43-47-48-50	1-3-4-6-7-10-11-13-16-19-20- 22-23-24-26-27-29-32-34-35-41- 42-44-45-46-49	9-14-17-18-21-25-30-31-33-36-38- 40-
AGGRESSİVENESS İNDEKS (AI)	10.0 ≥ AI	10.0 < AI < 12.0	AI ≥ 12.0
	0	4-7-8-11-13-29-30-31-36-38-41- 42-46-48-49	1-2-3-5-6-9-10-12-14-15-16-17-18- 19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-32- 33-34-35-37-39-40-43-44-45-47-50

18 numaralı örnek Puckorius indis haricinde diğer tüm indislerde korozif olmayan su olarak sınıflandırılmıştır. 41 numaralı örnek ise klorür-sülfat kütle oranı ve agresiflik indiste düşük korozif su olarak tanımlanırken diğer indislerde yüksek korozif su olarak sınıflandırılmıştır.

Korozyon indis sonuçlarının yüksek korozif su, düşük korozif su ve korozif olmayan su sınıflarına göre dağılım yüzdeleri Çizelge 5.8’de verilmiştir. Buna göre yüksek korozif su yüzdesi Ryznar, Puckorius, Langelier, Larson-Skold, klorür-sülfat kütle oranı ve agresiflik indisleri için sırası ile % 88, % 44, % 66, % 24, % 24 ve % 0 olarak hesaplanmıştır. Korozif olmayan su yüzdeleri ise aynı indisler için sırası ile % 2, % 0, % 20 % 20, % 24 ve % 70’dir. Düşük korozif su yüzdeleri ise sırası ile % 10, % 56, % 14 % 56, % 52 ve % 30’dur.

Çizelge 5.8. Korozyon indis sonuçlarının sınıf aralıklarının yüzde dağılımları.

Korozyon İndeksleri	Yüksek Korozif Su	Düşük Korozif Su	Korozif Olmayan Su
Ryznar İndeks (RSI)	88%	10%	2%
Puckorius İndeks (PSI)	44%	56%	0%
Langelier İndeks (LSI)	66%	14%	20%
Larson-Skold İndeks (LaI)	24%	56%	20%
Klorür-Sülfat Kütle Oranı (CSMR)	24%	52%	24%
Aggressiveness İndeks (AI)	0%	30%	70%

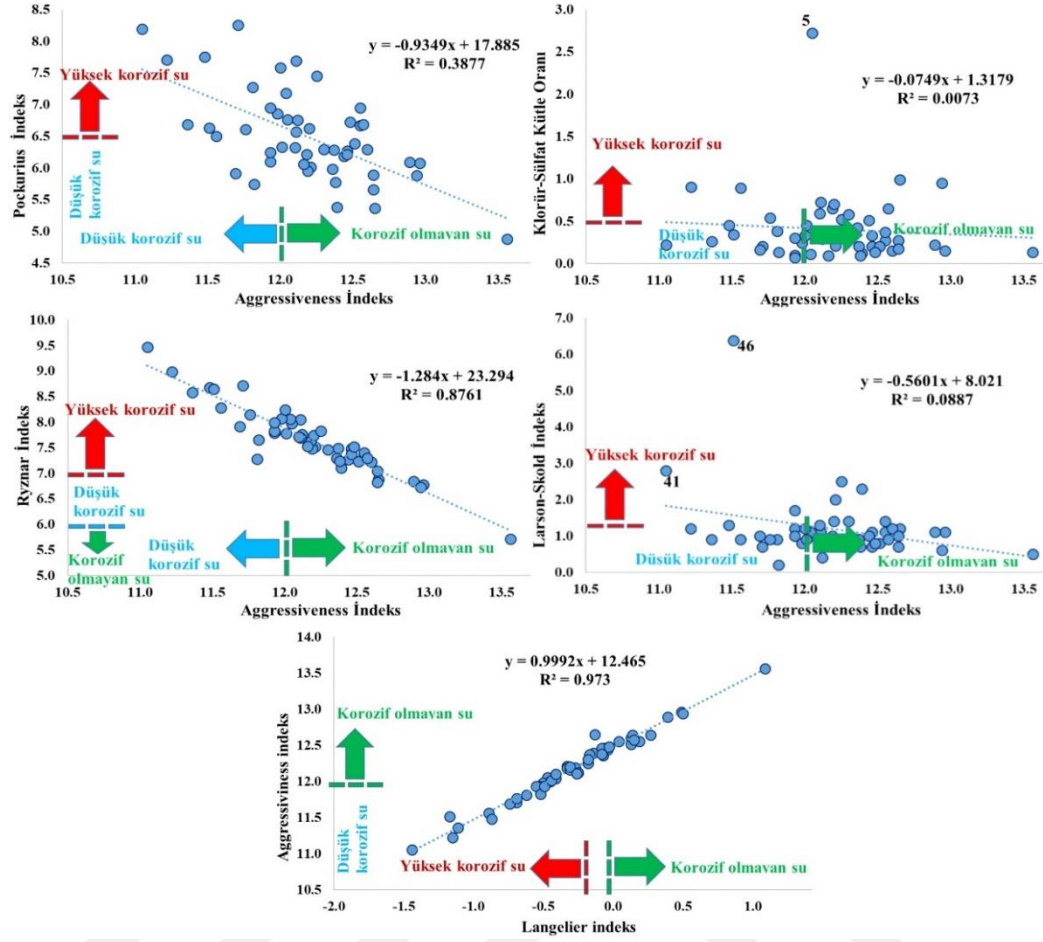
Su örneklerinin korozyon sınıf aralıklarındaki yüzde dağılımları incelendiğinde, Agresiflik indis sonuçlarının diğer indislerden farklı olarak ayrıştığı ve tutarlı sonuçlar içermediği görülmektedir. Bunun en büyük nedeni hesaplama yöntemine ait korozyon değerlendirme sınıflamasının yetersiz olmasıdır. Değerlendirme sınıfları arasındaki sayısal geçişler ve kategori aralığında hata olabilir. Bu sonuç indislerin hesaplama yöntemlerine kadar değerlendirme sınıf aralıklarının belirlenmesinin de oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Belirli bir su örneği, bir indiste korozif değil olarak sınıflandırılabilirken, diğer bir indis için aynı su örneği yüksek korozif olarak tanımlanabilmektedir.

Larson-Skold indis ve klorür-sülfat kütle oranından elde edilen sonuçların, sınıf aralıkları için yüzde dağılımları benzer sonuçlar üretmiştir. Her iki indis için yüksek korozif su yüzdesi % 24 olarak hesaplanmıştır. Bu indisler düşük korozif su yüzdesini de benzer şekilde % 52 ve % 56 olarak birbirlerine oldukça yakın değerlerde hesaplayabilmiştir. Bunun en büyük nedeni her iki indisin hesaplama yönteminde klorür ve sülfat iyon miktarları kullanılmaktadır. Korozyon indislerinin hesaplama yöntemlerinde kullanmış oldukları parametrelerin aynı veya benzer olmaları, korozyon indis sonuçlarına etki etmektedir.

En yüksek korozif su yüzdesi % 88 ile Ryznar indis hesaplamalarından elde edilmiştir. Bu oran diğer indis sonuçları ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek olarak değerlendirilebilir. Bu sonuçtan yola çıkarak, Ryznar indisin korozyon potansiyelini daha yüksek çıkardığı söylenebilir.

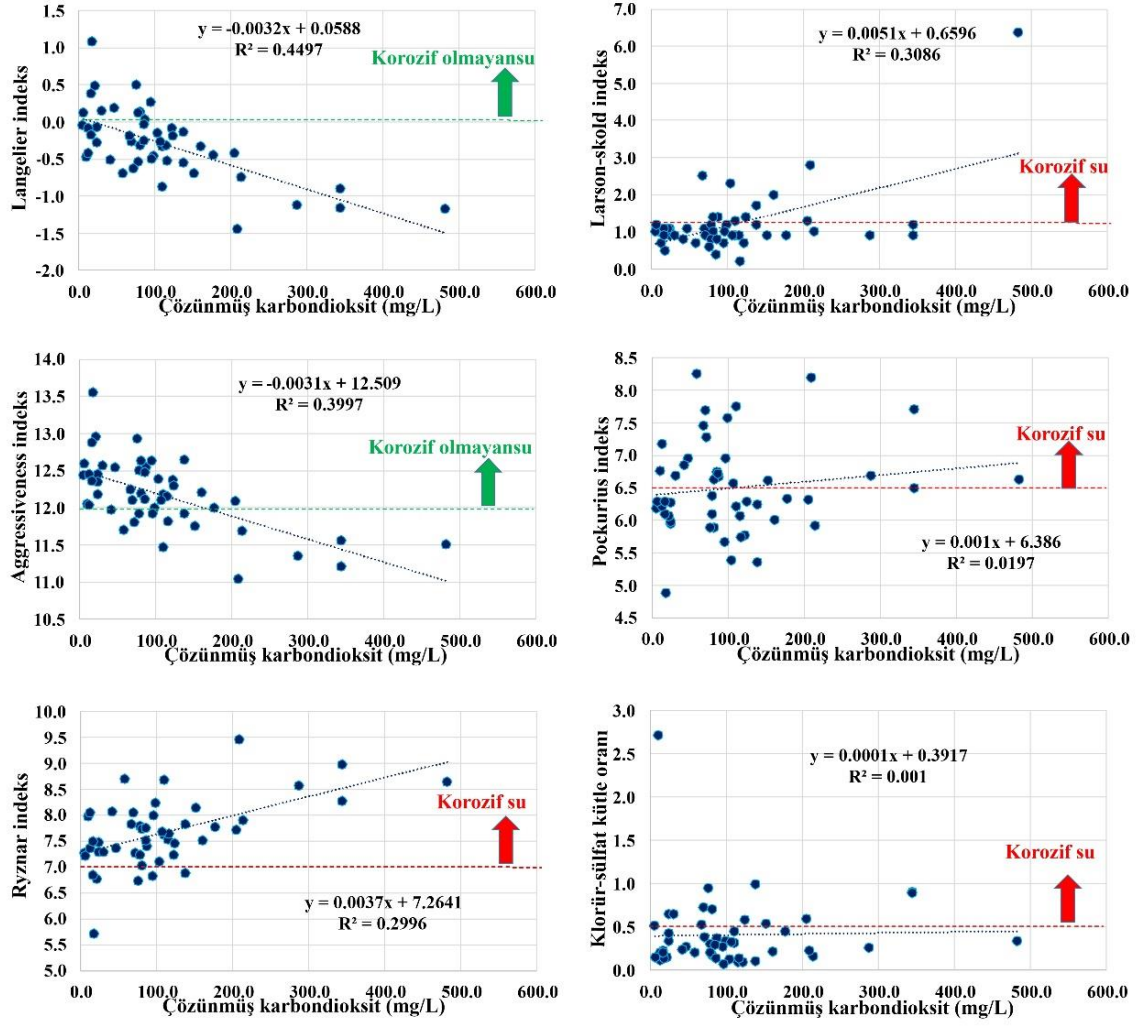
Bu çalışma kapsamında yapılan incelemelerde, çözünmüş karbondioksit değerlerinin genel olarak yüksek olduğu ve bölgedeki korozyon potansiyelini etkilediği tespit edilmiştir. Çözünmüş karbondioksit değerleri, TS-3440 açısından su örneklerinin % 28'i "zayıf zararlı" etkinlik, % 6'sı "kuvvetli zararlı" etkinlik ve % 66'sı ise "çok kuvvetli zararlı" etkinlik derecesinde sınıflandırılmıştır. Bu değerler dikkate alındığında çözünmüş karbondioksit yüzdelere en yakın yüzde dağılımının Langelier doygunluk indisi sonuçlarından elde edildiği görülmektedir. Langelier doygunluk indisi sonuçlarına göre yüksek korozif su yüzdesi % 66'dır. Bu sonuç CO₂ için hesaplanan kuvvetli zararlı etkinlik yüzdesi ile aynıdır. Sonuç olarak, Langelier doygunluk indisi sonuçlarının diğer indis sonuçlarına göre daha güvenilir ve doğru sonuçlar ürettikleri söylenebilir.

Agresiflik indis sonuçları ile diğer indis sonuçlarının korelasyon analiz sonuçlarına göre agresiflik ve Langelier doygunluk indisleri ile %97 oranında doğrusal pozitif korelasyona sahiptir (Şekil 5.4). Benzer şekilde Ryznar indis ile korelasyon katsayısı %87 olarak hesaplanmıştır. Bunun nedeni söz konusu indislerin hesaplama metodolojilerinin benzer parametreler ve formülasyonlar kullanmasıdır. Diğer indisler ile arasında doğrusal anlamlı bir korelasyon tespit edilememiştir.



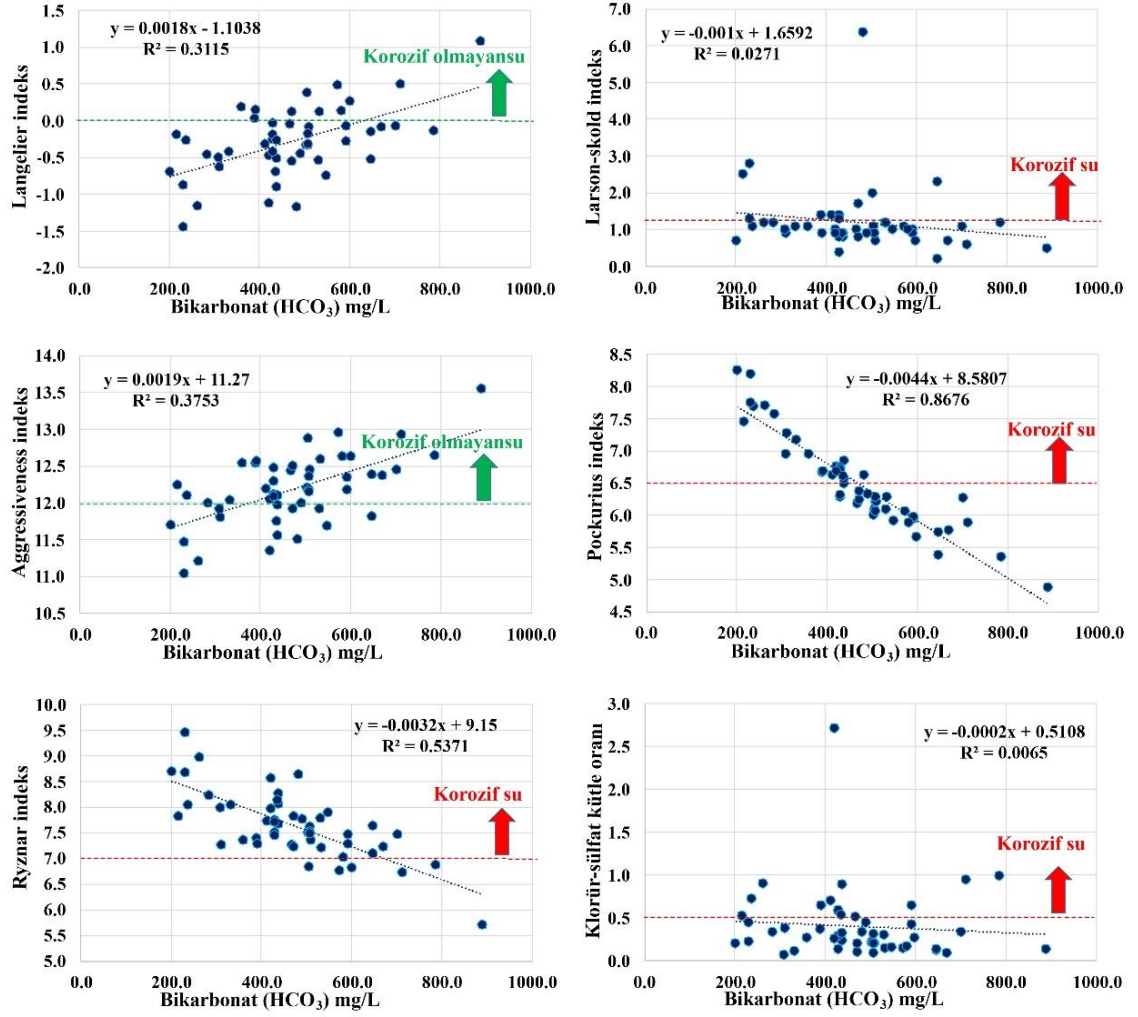
Şekil 5.4. Agresiflik indis ile diğer korozyon indislerinin korelasyonu.

Çözünmüş karbondioksit değerleri ve korozyon indisleri arasındaki korelasyon analizleri incelendiğinde, çözünmüş karbondioksit değerleri ile en yüksek korelasyon oranına Langelier doygunluk indisinin sahip olduğu gözlenmiştir. Korelasyon değeri % 45’dir (Şekil 5.5). Bunun nedeni çözünmüş karbondioksit değeri ve pH değerleri arasındaki doğrusal ilişkidir. Suda çözünmüş karbondioksit değerleri arttıkça suyun pH değerinde bir azalma görülür. Çözünmüş karbondioksit suyla tepkimeye girdiğinde karbonik asit oluşturur.



Şekil 5.5. Karbondioksit ile korozyon indislerinin korelasyon ilişkisi.

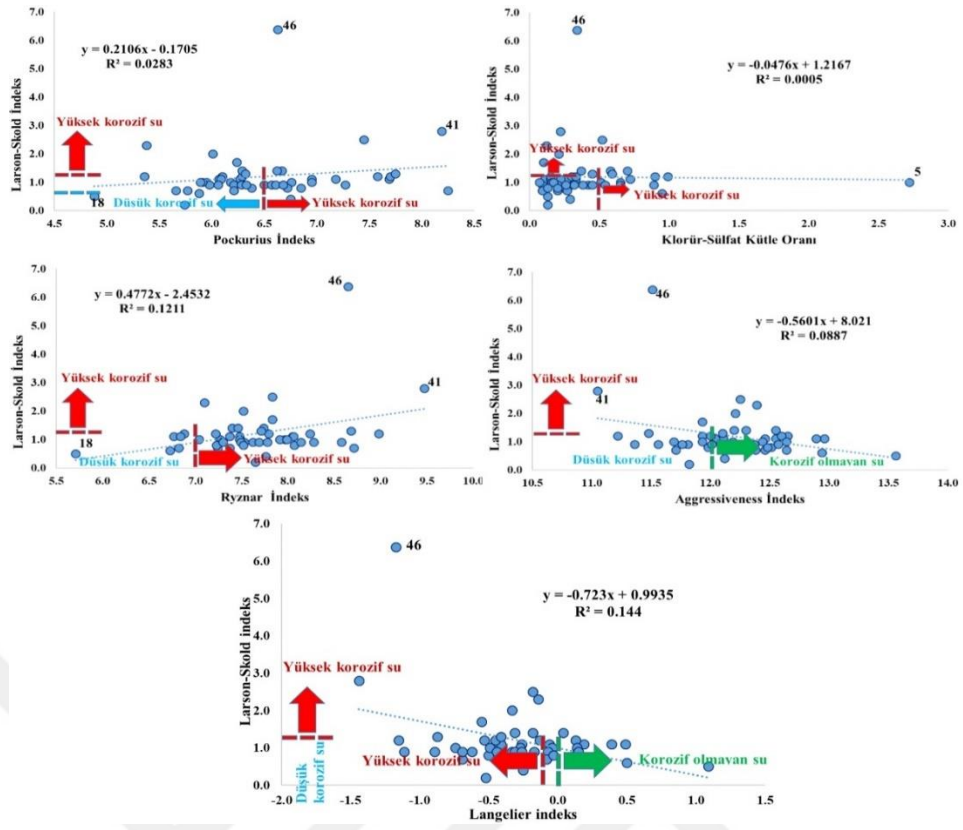
Bikarbonat değerleri ile korozyon indisleri arasındaki korelasyon analizleri incelendiğinde yüzde 86 ile sadece Puckorius indisi arasında pozitif benzerlik görülmüştür (Şekil 5.6). Diğer tüm korozyon indisleri ile herhangi bir bağlantı tespit edilmemiştir.



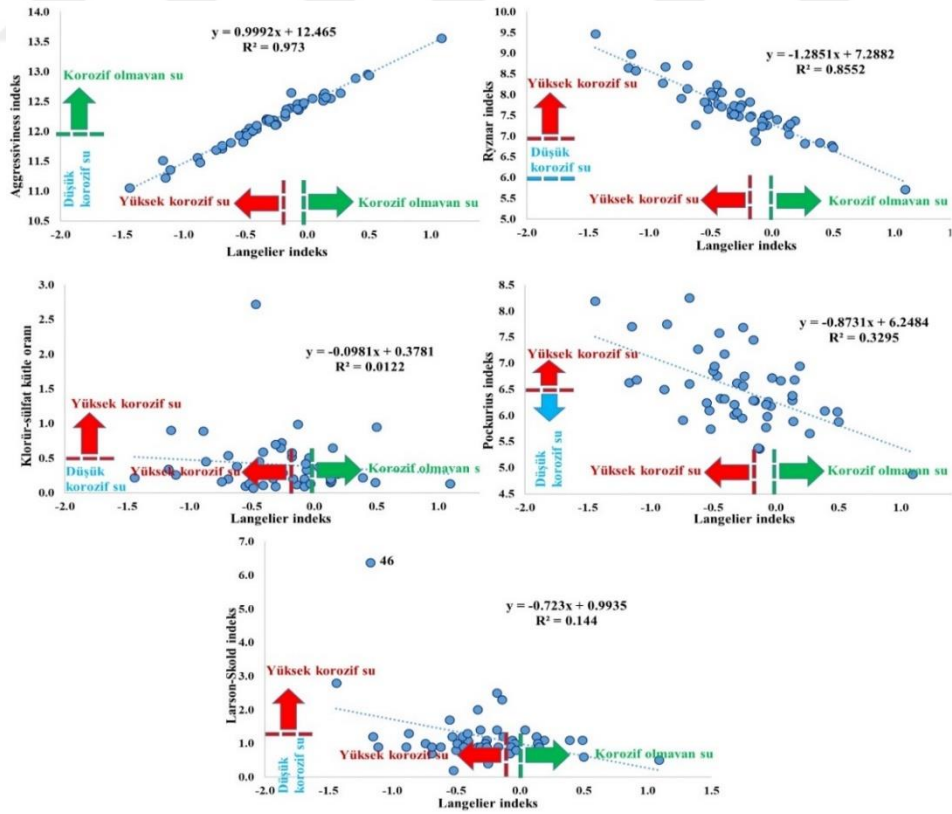
Şekil 5.6. Bikarbonat ile korozyon indislerinin korelasyon ilişkisi.

Larson-Skold indis ve Puckorius indis, klorür-sülfat kütle oranı, Ryznar indis, Agresiflik indis ve Langelier indis arasındaki korelasyon katsayıları sırası ile % 2,8; % 0; % 12; % 8 ve % 14 olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.7). Larson-Skold indis ve diğer indisler arasında anlamlı bir doğrusal ilişki tespit edilememiştir. Bunun nedeni indislerin farklı hesaplama yöntemleri ve farklı parametrelerin kullanılması olabilir.

Langelier korozyon ile diğer Puckorius, agresiflik, klorür-sülfat kütle oranı, Ryznar ve Larson Skold İndisleri arasındaki korelasyon analizleri incelendiğinde sırasıyla korelasyon katsayıları % 32; % 97; % 0,1; % 85; % 14 olarak çıkmaktadır. Langelier indisi ile agresiflik ve Ryznar indisleri arasında yüzdelikleri yüksek derecede benzerlik görülmektedir.

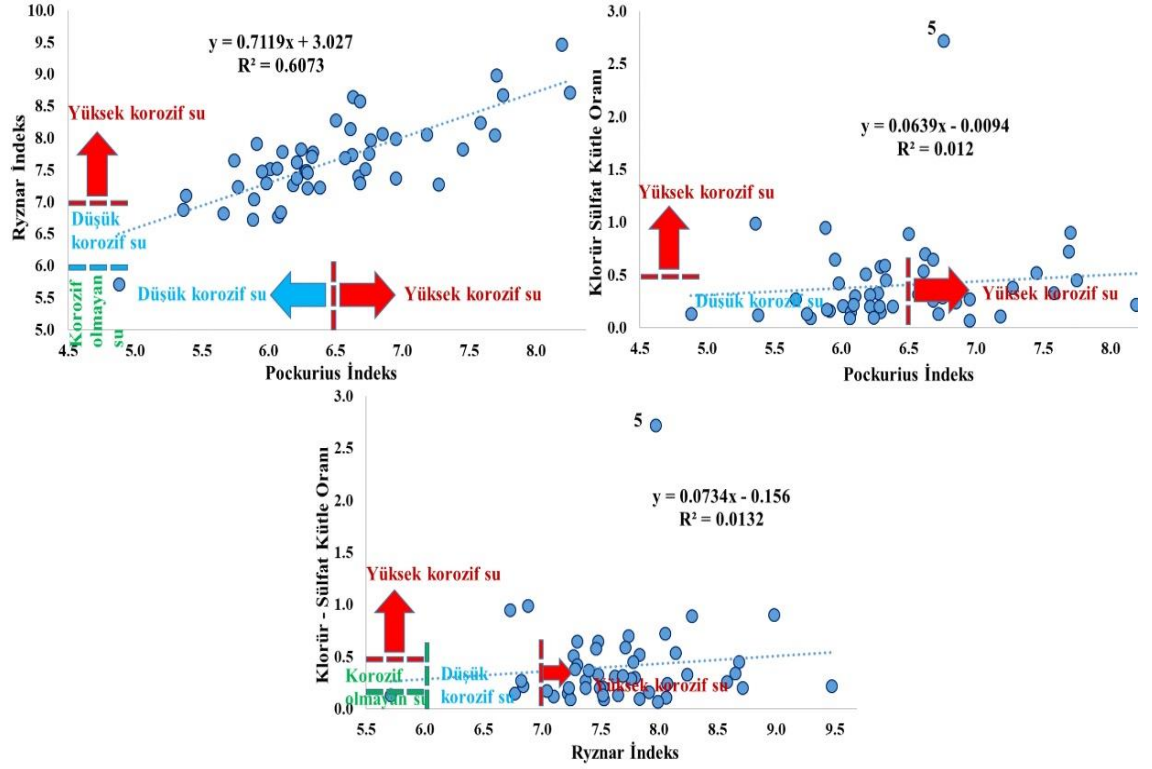


Şekil 5.7. Larson-Skold indis ile diğer indislerin korelasyon ilişkisi.



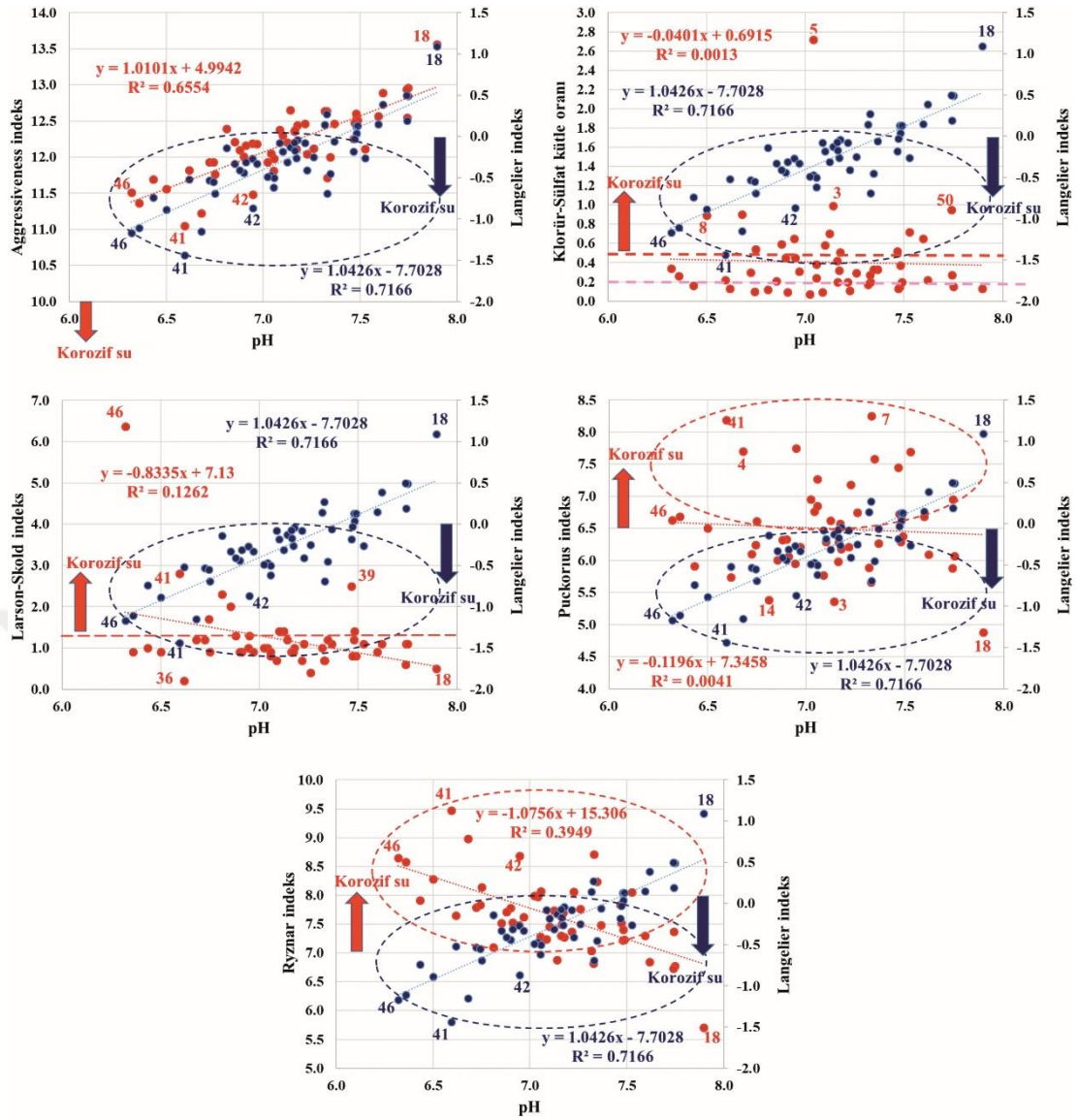
Şekil 5.8. Langelier indis ile diğer indislerin korelasyon ilişkisi.

Puckorius ile Ryznar indisleri ve klorür-sülfat kütle oranı arasındaki korelasyon ilişkisine bakıldığında herhangi bir benzerlik görülmemiştir. Ryznar ve Puckorius indisleri arasında korelasyon oranı % 60, klorür-sülfat kütle oranı ve Puckorius indisi arasında korelasyon oranı % 0,1, klorür-sülfat kütle oranı ve Ryznar indisi arasında korelasyon oranı % 0,1 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.9).



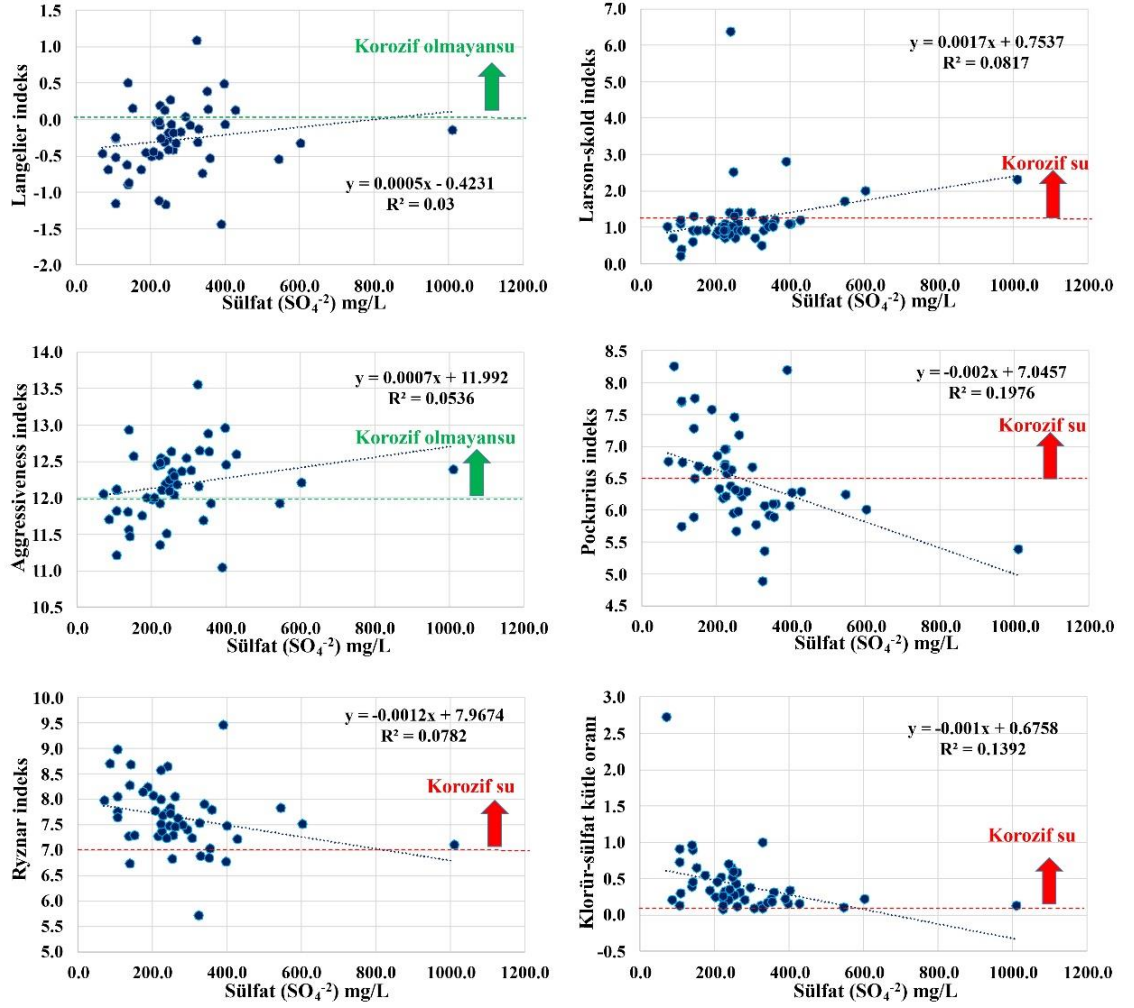
Şekil 5.9. Klorür - sülfat kütle oranı ile diğer indislerin korelasyon ilişkisi.

Hidrojen iyon konsantrasyonu (pH) içeriği ve korozyon indisleri arasındaki bağıntılar incelendiğinde, en yüksek korelasyon katsayısı % 71 ile Langelier indis için, sonraki en büyük korelasyon katsayısı ise % 65 ile agresiflik indis için hesaplanmıştır (Şekil 5.10). Diğer indisler için önemli bir katsayı elde edilememiştir. Bu sonuç pH içeriğinin Langelier ve agresiflik indisleri ile ilişkili olduğunu fakat diğer korozyon indis sonuçlarını etkilemediğini göstermektedir. Bu sonuç, agresiflik ve Langelier indislerinin hesaplanma yöntemlerinde, pH değerlerine bağımlı bir bağıntı kullanmalarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.10. pH ve korozyon indislerinin korelasyon ilişkisi.

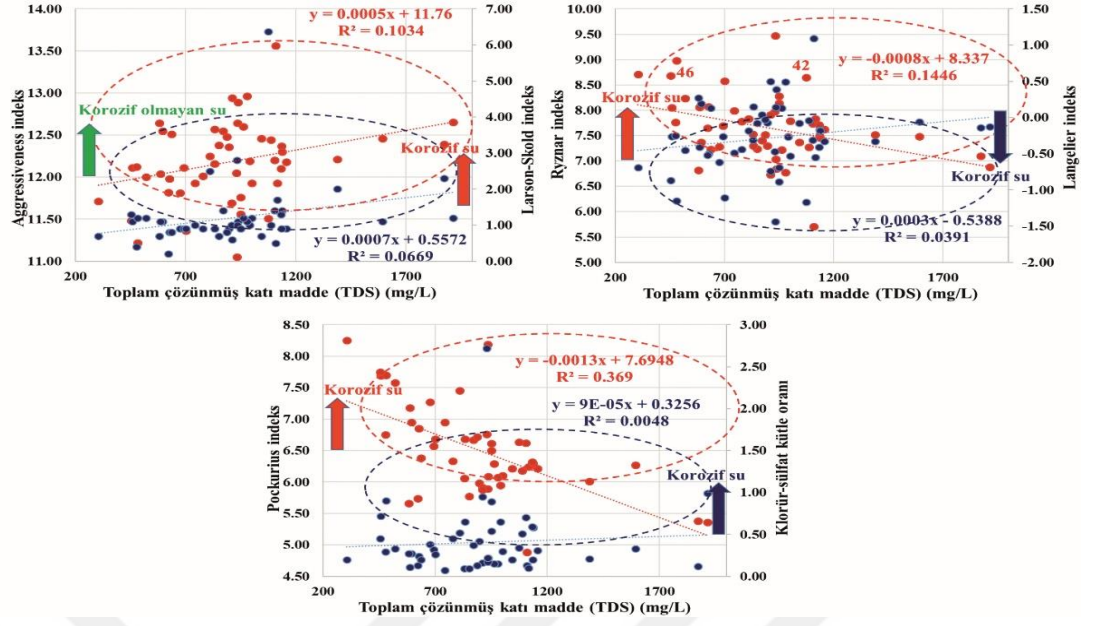
Su örneklerine ait sülfat iyonu ile Langelier, agresiflik, Ryznar, Larson-Skold, Puckorius indisleri ve klorür-sülfat kütle oranı arasındaki korelasyon oranları sırası ile % 0,3; % 0,5; % 0,7; % 0,8; % 1,9; % 1,3 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.11). Bu değerlere göre sülfat iyonu ile diğer korozyon indisleri arasında herhangi bir benzerlik görülmemiştir. Larson-Skold indisi ve klorür-sülfat kütle oranının hesaplama yöntemlerinde sülfat iyon derişimine yer verilmesine rağmen, belirli bir yüzdelik korelasyon yakalanamamasının nedeni, su örneklerinin sülfat iyon içeriklerinin düşük olması olabilir.



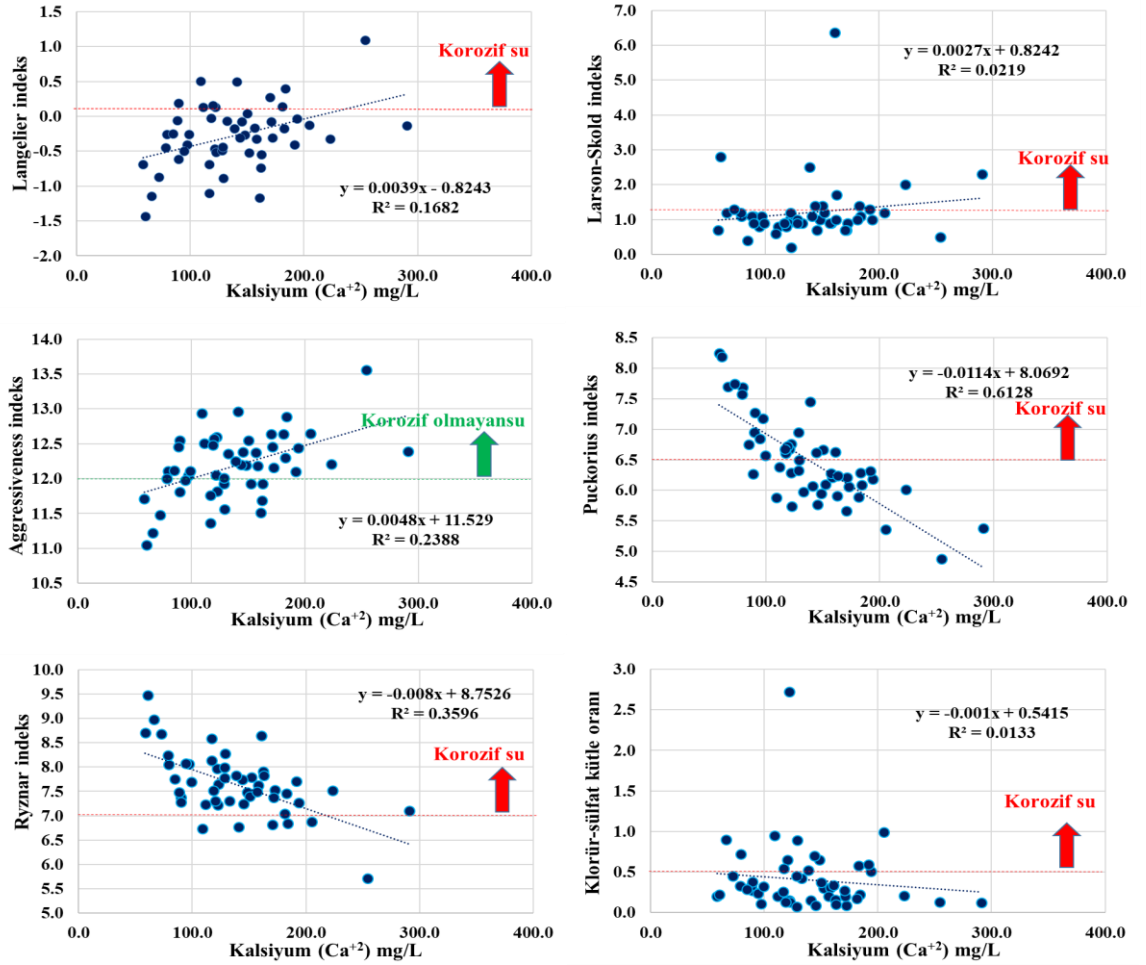
Şekil 5.11. Sülfat iyonu ve korozyon indislerinin korelasyon ilişkisi.

Toplam çözünmüş katı madde içeriği ve korozyon indisleri arasındaki bağıntılar incelendiğinde en yüksek korelasyon katsayısı % 37 ile Puckorius indis için hesaplanmıştır (Şekil 5.12). Diğer indisler için önemli bir katsayı elde edilememiştir. Bu sonuç toplam katı madde içeriğinin korozyon indis sonuçlarını etkilemediğini göstermektedir. Grafikte Ryznar indis ve Langelier indis sonuçlarının kesişmeleri bu indislerin toplam çözünmüş katı madde için benzer sonuçlar üretebileceğini göstermektedir.

Örneklere ait kalsiyum iyonu ile Langelier, agresiflik, Ryznar, Larson-Skold, Puckorius indisleri ile klorür-sülfat kütle oranı arasındaki korelasyon analiz sonuçları sırasıyla % 1,6; % 2,3; % 3,5; % 0,2; % 0,6 ve % 0,1 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.13). Buna göre kalsiyum iyonu ile diğer korozyon indisleri arasında doğrudan bir ilişki tespit edilememiştir.

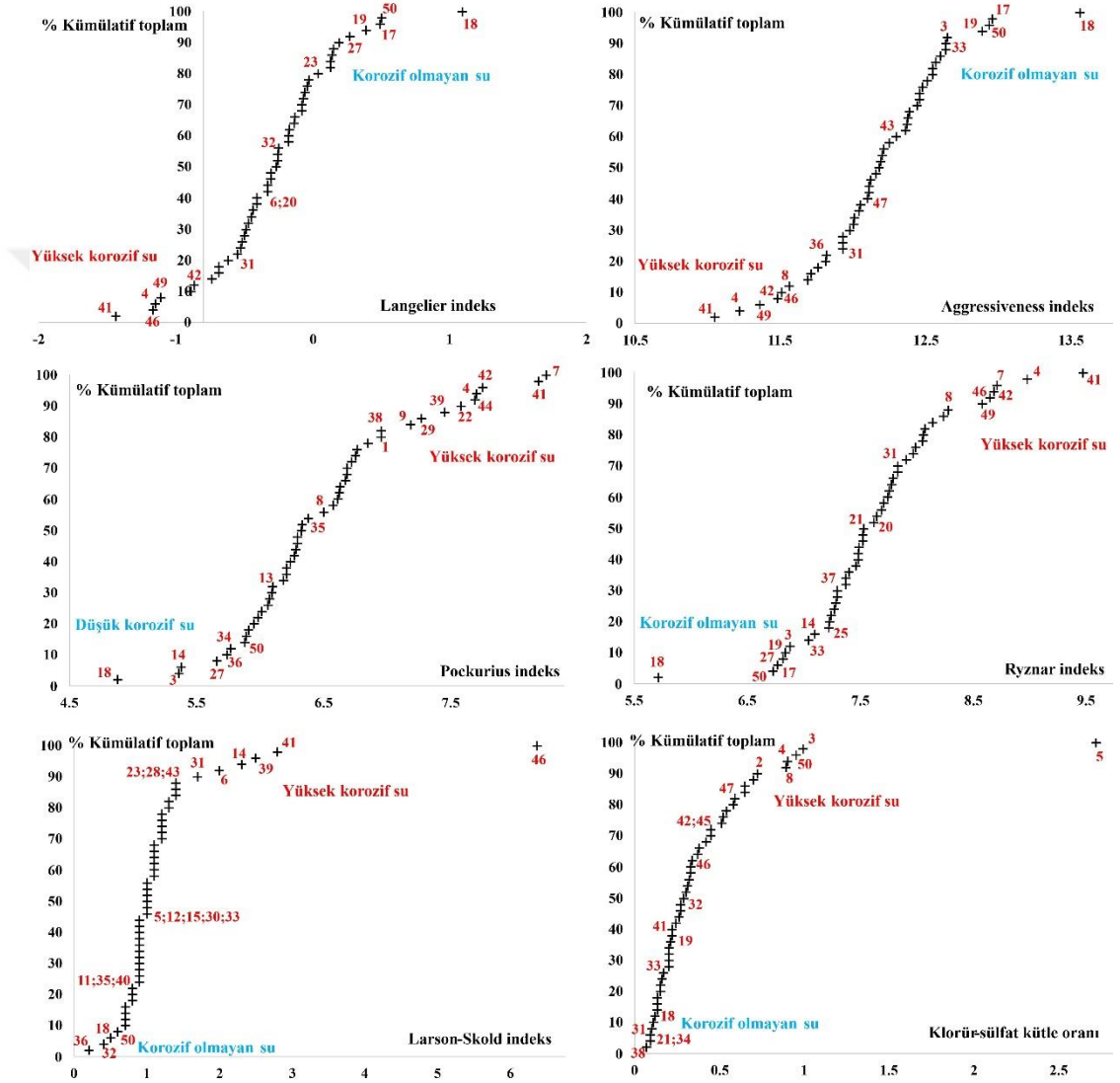


Şekil 5.12. TÇKM ve korozyon indisleri arasındaki korelasyon ilişkisi.



Şekil 5.13. Kalsiyum iyonu ile korozyon indislerinin korelasyon ilişkisi.

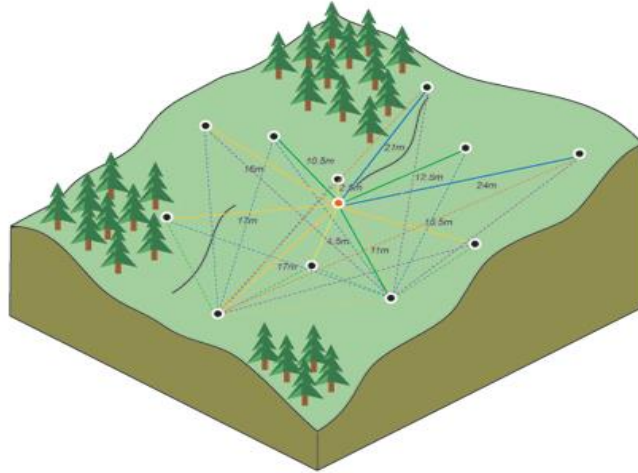
Korozyon indisleri için hazırlanan kümülatif grafiğinde Langelier indis için 18-17-50-19-27 ve 23 numaralı örnekler “korozif olmayan su”, 41-46-4-49 ve 42 numaralı örneklerin ise “yüksek korozif su” olarak konumlanmıştır. 18 numaralı örnek bütün indisler için “korozif olmayan su” olarak tanımlanmıştır. 50 numaralı örnek klorür-sülfat kütle oranı hariç diğer tüm indisler için korozif olmayan su olarak belirlenmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Korozyon indis sonuçlarına ait kümülatif grafiği.

6. KOROZYON POTANSİYELİNİN KONUMSAL DAĞILIMI

Yerbilimleri çalışmalarında araştırmacıları zorlayan iki önemli etkenden birisi örnekleme sayısının çokluğu diğeri ise örnekler arasındaki ilişkilerin ortaya konulmasıdır. Çoğu araştırmacı verilerin konumsal dağılımlarını ve değişimlerini bilmek ister. Yerbilimlerinde konumsal dağılım haritalarının hazırlanmasında başvurulan en etkili yöntem interpolasyon yöntemidir. İnterpolasyon, seçilen bir örnekleme alanının içerisinde kalan farklı konumdaki noktalar arasında yanal ve düşey olarak çok sık değişim gösteren verileri, noktalar arasındaki mesafeye bağlı bir fonksiyon olarak ifade edilebilen yöntemdir (Şekil 6.1). İnterpolasyon, örneklerin birbirleri ile olan ilişkilerinin tespit edilmesinde kolaylıklar sağlayarak, karmaşık problemlerin çözümüne yardımcı olur. İnterpolasyonun başarısı, mekânsal verinin dağılımına, değişkene etki eden faktörlerin anlaşılmasına ve tahmin değerlerini etkileyen hataların bulunmasına bağlıdır (Henley, 1981).



Şekil 6.1 İnterpolasyon yönteminin gösterimi (Esri, 2012).

Tahmin yöntemleri genelde deterministik ve stokastik yöntemlerle yapılır. Deterministik yöntemler genel olarak bir matematiksel fonksiyona bağlı olarak veriler arasındaki ilişkileri mesafeye bağlı olarak tahmin etmeye çalışır. Stokastik yöntemler ise verilerin istatistiksel özelliklerini, konumsal bağımlılıkları ve alansal dağılımlarını dikkate alarak tahmin yapar.

Literatürde yer almış tahmin yöntemlerinin tamamı, bir bölgedeki herhangi bir parametrenin konumsal dağılımını tam olarak tahmin edemez ancak gerçek dağılıma yakın tahmin sonuçları elde eder. Bu yöntemler arasında önemli oranlarda hata

oranları olabilir. Tahmin haritalarının çizimlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli konu en düşük hata oranına sahip olan yöntemi belirlemektir. Çoğu zaman bir tahmin haritasının üretilmesinde farklı yöntemler ve modeller test edilir. Tahmin sonuçlarına etki eden en önemli unsurlar;

- Veri setinin büyüklüğü
- Veri setinin istatistiksel özellikleri
- Veri setinin sayısal özelliği ve farklılıkları
- Örnekleme noktalarının konumsal dağılımıdır.

İki farklı nokta arasında mesafeye bağlı olarak yapacağınız bir interpolasyon tahmini olabileceği gibi, nokta sayısının artması tahmin gücünü ve yeteneğini artıracaktır. Literatürde, bölgesel bir çalışma için kaç örnekleme noktasının olması gerektiği hakkında net bir bilgi bulunmaz ancak ResearcGate gibi akademik platformlarda yapılan tartışmalarda konu ile ilgili görüş bildiren bilim adamları, örnekleme noktası sayısının 25 den az olması durumunda üretilen haritaların yeterli güvenilirlikte olmayacağını vurgulamıştır.

En doğru tahmin haritasını üretmek için veri setinin istatistiksel dağılımını incelemek oldukça önemlidir çünkü interpolasyon yöntemleri arasındaki hata büyüklüğünü tahmin etmemizi sağlar. Yöntemler arasındaki matematiksel hesaplama metodolojileri nedeni ile her veri seti her yöntem için kullanılmayabilir. İstatistiksel açıdan veri setinde dikkat edilmesi gereken en önemli bulgular, veri setinin normal simetrik dağılım gösterip göstermediğidir. Normal dağılım gösteren verinin interpolasyon sonuçları daha iyi çıktılar verir (Hengl, 2009). Özellikle hidrojeolojik çalışmalarda veriler çoğunlukla simetrik dağılım göstermez. Örnekleme noktaları arasındaki uzaklık ile bu noktalarda gözlenen değerler arasındaki olası ilişki, uzaklık azaldıkça değerlerin birbirine benzemesi, arttıkça benzerliğin azalması şeklinde beklenir. Bu nedenden dolayı veri setinin basıklık ve eğrilik katsayılarının belirlenmesi gerekir.

Çarpıklık (skewness) olasılık kuramı ve istatistik bilim dallarında bir reel-değerli rassal değişkenin olasılık dağılımının simetrik olamayışının ölçülmesidir (Spiegel ve Stephens, 1999). Normal dağılım göstermeyen veri setleri pozitif ve negatif çarpıklık

olmak üzere iki tür çarpıklık özelliği gösterebilir. Pozitif çarpıklıkta veri setinin dağılım kütlesi grafiğin sol tarafında yoğun olarak gözlenir. Başka bir ifade ile en yüksek değerler grafiğin sol tarafında yer alır. Negatif çarpıklıkta ise dağılım kütlesi grafiğin sağ tarafında yoğunlaşmıştır. Bu tür veri setlerinin doğrudan interpolasyonun yapılması hatalı sonuçların elde edilmesine olanak sağlayabilir ki, bundan dolayı veri setine çoğunlukla logaritmik dönüşüm uygulanır (Groeneveld ve Meeden, 1984). Logaritmik dönüşüm veri setindeki çarpıklığı azaltabilir ancak tamamı ile gidermeyebilir.

İnterpolasyon yöntemlerinde dikkat edilmesi gereken bir diğer unsur, veri setinin sayısal dağılımıdır. Örnekleme noktalarının farklı büyüklükte veriler içermesi hata oranını artırabilir. Konumsal dağılım haritası çizilecek parametrenin örnekleme noktalarında benzer veya yakın değerler içermesi hata oranını düşürebilir. Başka bir deyişle ölçüm değerlerinin yanal ve düşey yönde büyük farklılıklar göstermesi hata oranını artırabilir.

İnterpolasyonun başarısını etkileyen en önemli parametre, örnekleme noktalarının konumsal dağılımıdır. Örnekleme noktaları arasındaki mesafe arttıkça hata oranı da artabilir. Örnekleme noktalarının dağılımı homojen ve sistematik ise hata oranı daha az olacaktır. Konumsal olarak örnekleme kümesinden daha uzak mesafede bulunan bir veya birkaç örnekleme noktasının varlığı hata oranını artırabilir. Hidrojeoloji alanında yapılan interpolasyon çalışmalarının en büyük zorluklarından birisi, araştırma sahasında bulunan mevcut kuyu, kaynak, gölet vb. örnekleme noktalarının çoğunlukla heterojen bir örnekleme kümesi oluşturmasıdır. Örnekleme noktaları arasındaki mesafeler yüzlerce metre hatta kilometre uzunluğunda olabilir.

Stokastik yöntemlerde bölgesel değişkenlerin uzaklığa bağlı değişimleri, variogram fonksiyonu ile incelenir ve bu fonksiyon birbirinden h kadar uzaktaki iki değişken arasındaki farkın varyansı olarak ifade edilir. Bir başka deyişle, iki nokta arasındaki farkın varyansının büyüklüğü noktalar arasındaki mesafenin büyüklüğüne bağlıdır (Uyar, 2005). Variogram konumsal sürekliliğin yapısını ortaya koyabilir. Variogram modellerde ölçüm değerleri arasındaki mesafe azaldıkça verilerin sayısal değerlerinin yakınlaşması, aradaki fark arttıkça sayısal değerlerin nicel olarak uzaklaşması beklenir. Başka bir ifade ile örnekleme noktaları arasındaki uzaklık ile bu noktalarda

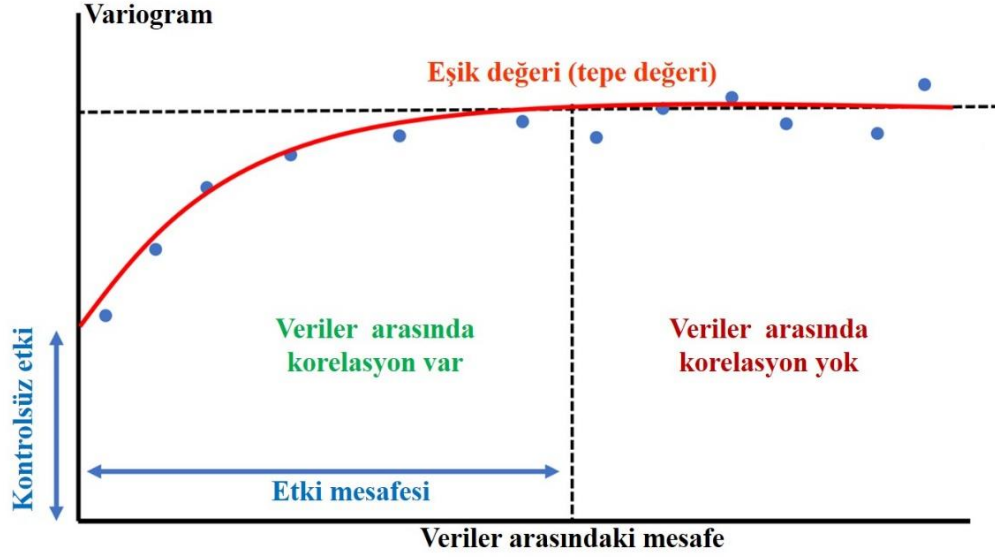
gözlenen değerler arasındaki olası ilişki, uzaklık azaldıkça değerlerin birbirine benzemesi, arttıkça benzerliğin azalması şeklinde olmalıdır.

Örnekleme noktalarının değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri yarıvariogram ile belirlenir. Yarıvariogram, birbirleri arasındaki uzaklığı x olan iki rastgele değişken arasındaki uzaklığa bağlı ilişkiyi karakterize etmek için kullanılır (Bivand, vd., 2008). Diğer bir deyişle variogram $\gamma(h)$, inceleme alanında su kalitesinin uzaklıkla nasıl değiştiğini gösteren bir eğridir ve aşağıdaki eşitlik ile gösterilir (Oliver, 1990);

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (6.1)$$

$\gamma(h)$: semi-variogram değeri, h : noktalar arası uzaklık (lag mesafesi), $Z(x_i)$ ve $Z(x_i+h)$: x noktasındaki değer ve bu noktadan h mesafedeki değer.

Deneysel yarıvariogram ile çevresel değişkenin mekânsal değişimi hakkında önemli bilgiler elde edilebilir. Örneklenmemiş noktalardaki değerlerin tahmin edilmesinde yarıvariogramı bütün uzaklıklarda bilmek gerekir. Bu durum yarıvariogramı modellemeyi yani “teorik yarıvariogram” değerlerine bir fonksiyon uyarlamayı gerektirir (Isaaks ve Srivastava, 1989). Teorik yarıvariogram matematik modeli temel alır ve deneysel yarıvariograma uygulanarak elde edilir. Bir yarıvariogram grafiği “eşik değer veya tepe değeri (sill), etki uzaklığı (range), kontrolsüz etki (nugget)” parametreleri ile tanımlanır (Şekil 6.2). İncelenen parametre geçişli bir yapı gösteriyorsa belirli bir mesafeden sonra artışını durdurur ve yatay konuma geçer. Değişkenin yatay konuma geçtiği bu nokta eşik değer olarak tanımlanır ve variogramın eşik değerine ulaştığı mesafe etki uzaklığıdır. Etki uzaklığından sonra veriler birbirleri ile ilişkili değildir.



Şekil 6.2 Eşik değeri, kontrolsüz etki ve etki mesafesinin variogram diyagramında gösterimi (Esri, 2012).

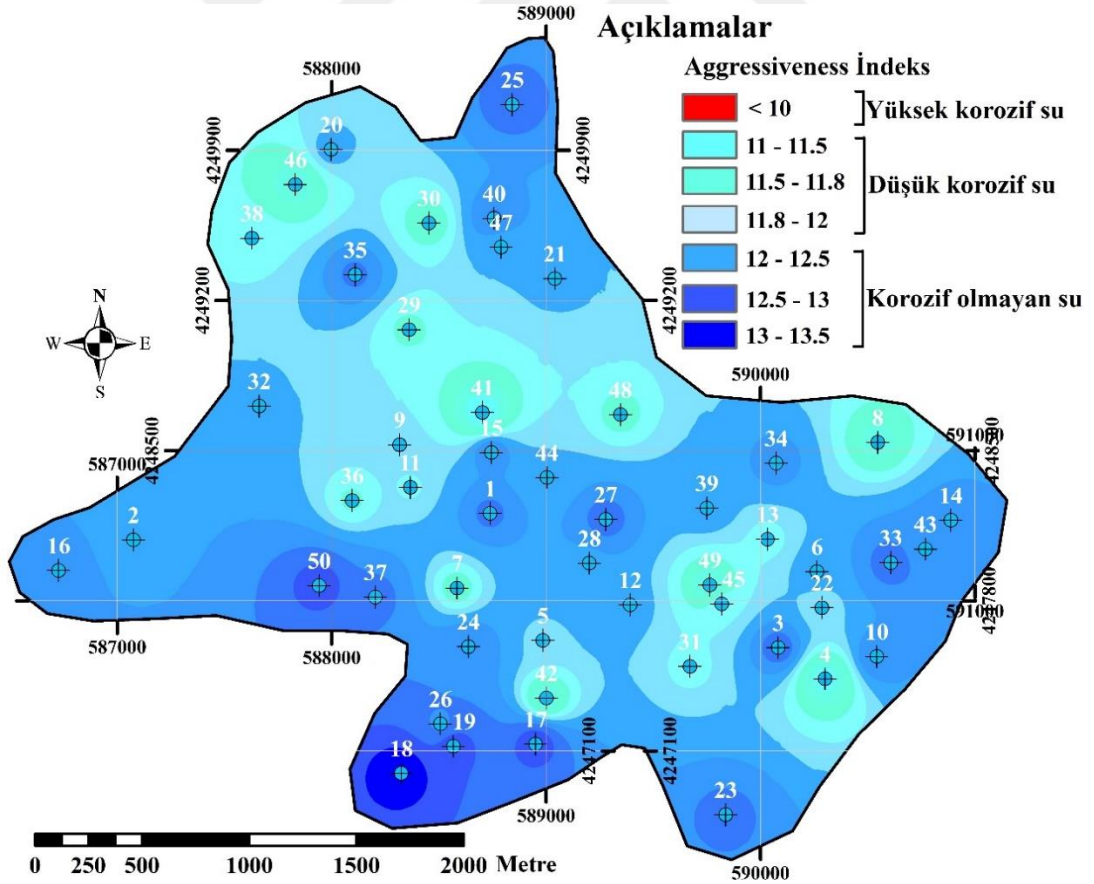
Hidrojeoloji çalışmalarında su kalitesinin izlenmesinde sıklıkla mekansal değişimleri açıklamak için variogramlar kullanılır. Bunun en büyük nedeni, variogramın su kalitesini değerlendirirken, kalite sürekliliği, etki mesafesi ve yönü gibi değişkenleri bir fonksiyon şeklinde ifade etmesidir. Bölgesel değişken, yeraltı suyu kalitesi açısından yoğun ve düşük bölgeler şeklinde geçişli bir yapı sergiliyorsa, variogram belirli bir uzaklıktan sonra artışını durdurur ve belirli bir değerde sabit kalır. Bu değer tepe değeridir, variogramın bu değeri aldığı uzaklıkta etki uzaklığıdır. Bu uzaklık kovaryansın sıfır olduğu ve fiziksel olarak bir örneğin etki zone anlamına gelir. Etki zone dışında örneklerin birbiriyle korelasyonu yoktur ve birbirlerinden bağımsızdırlar (Tercan ve Saraç, 1998). Variogram her zaman pozitif değerler aldığından seçilecek fonksiyonun da pozitif tanımlı bir fonksiyon olması gerekmektedir (Clark, 1979).

Belirli bir konuma sahip örnekleme noktalarının ölçüm verilerinin deneysel variogram yapısının belirlenmesi jeostatistiksel çalışmaların temelini oluşturur. Bundan dolayı variogram modellerin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Literatürde yaygın olarak küresel, üstsel, Gauss, doğrusal ve külçe etki gibi teorik variogram modelleri kullanılır.

Bu çalışmada her bir örnekleme noktası için su analiz sonuçları kullanılarak veri setinin jeostatistiksel analizleri incelenmiş ve ayrı ayrı deneysel variogramlar oluşturulmuştur. Daha sonra deneysel variogramlara uygun teorik modeller

belirlenmiştir. Her bir su kalite haritası için tepe değerli modeller (küresel, model, üstsel model, Gauss modeli ve doğrusal model) test edilmiştir. Üstsel model hataların ortalama karekökü değerine göre su kalite haritası için en uygun model olarak belirlenmiştir. Üstsel model kullanılarak Kriging interpolasyon yöntemi ile inceleme alanı için 3×3 metre aralıklarla noktasal veri değeri tahminleri yapılmış ve korozyon indislerinin ve önemli su kimyası parametrelerinin konumsal dağılım haritaları hazırlanmıştır. Üretilen haritalar kullanım amacına uygun olarak yeniden sınıflandırılmıştır.

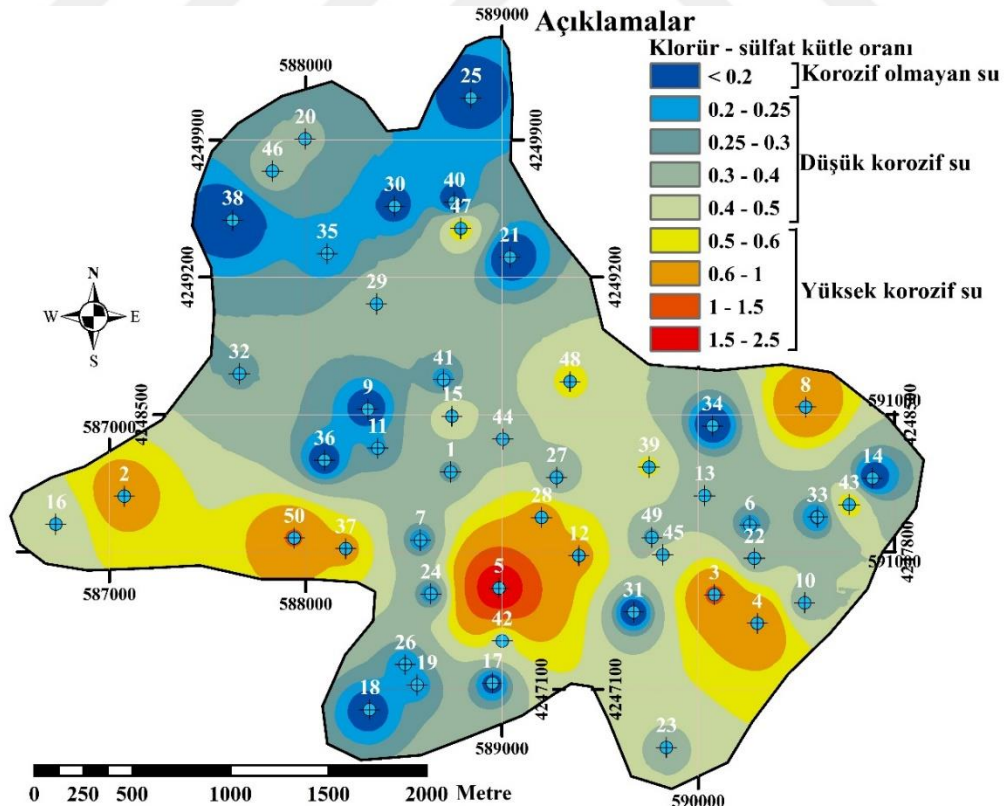
İnceleme alanında Agresiflik indis sonuçlarının konumsal dağılımı incelendiğinde, «yüksek korozif su» olarak tanımlanan yeraltı sularının bölgede yer almadığı görülmektedir. Bölgenin tamamı «düşük korozif su» ve «korozif olmayan su» olarak tanımlanmıştır. «korozif olmayan sular» daha çok bölgenin güney ve güneybatı kesimlerinde anomali verir ve kuzey kesimlere doğru gidildikçe korozifite potansiyeli artma eğilimi gösterir (Şekil 6.3).



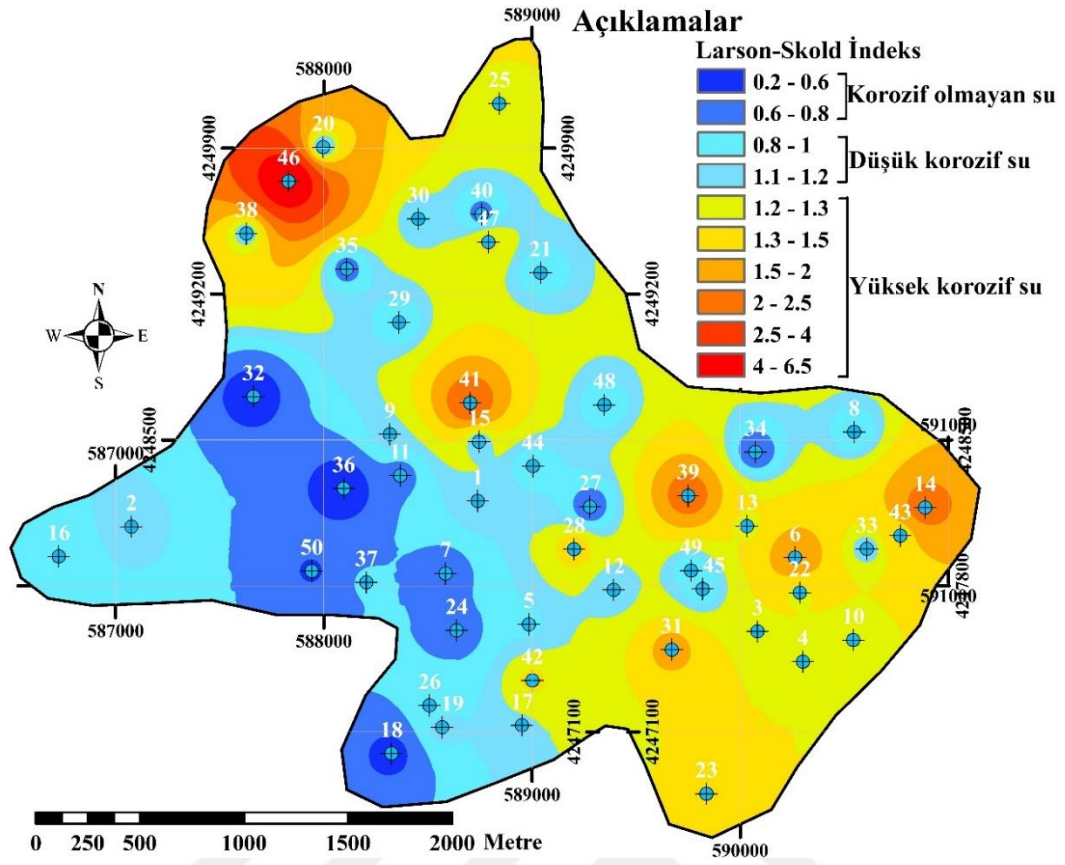
Şekil 6.3. Agresiflik indis sonuçlarına ait konumsal dağılım haritası.

İnceleme alanının su örneklerinin klorür-sülfat kütle oranı konumsal dağılım haritası incelendiğinde, batı, doğu ve arada kalan bölgelerde hem düşük hem de yüksek korozif su özelliği taşıyan örnek noktalarının bulunduğu görülmektedir (Şekil 6.4). Özellikle 5 nolu örnek noktasında belirgin bir yüksek koroziflik fark edilmektedir. 2, 3, 4, 5, 8 ve 50 numaralı örnek noktalarının sülfat iyonu dağılım haritasına bakıldığında sülfat iyonun düşük seviyede olduğu dolayısıyla klorüre karşı oransal çıkış gösteremediği düşünülmektedir.

İnceleme alanında Larson-Skold indis sonuçlarının konumsal dağılımı incelendiğinde, «yüksek korozif su» özelliğine sahip olan yeraltı sularının daha çok bölgenin kuzeybatı, kuzey ve güneydoğu bölgelerinde konumlandığı gözlenmiştir (Şekil 6.5). Bu bölgelerde yer alan sular daha asidik, çözücü özelliği ve korozyon etkisi daha kuvvetli sulardır. «korozif olmayan sular» ise daha çok bölgenin güney ve güneybatı kesimlerinde anomali verir. Konumsal dağılım haritası pH, çözünmüş karbondioksit ve Langelier indise ait haritalar ile uyumlu görülmektedir. Langelier indise göre «yüksek korozif su» özelliğine sahip sular daha az bir bölgede dağılım göstermektedir.

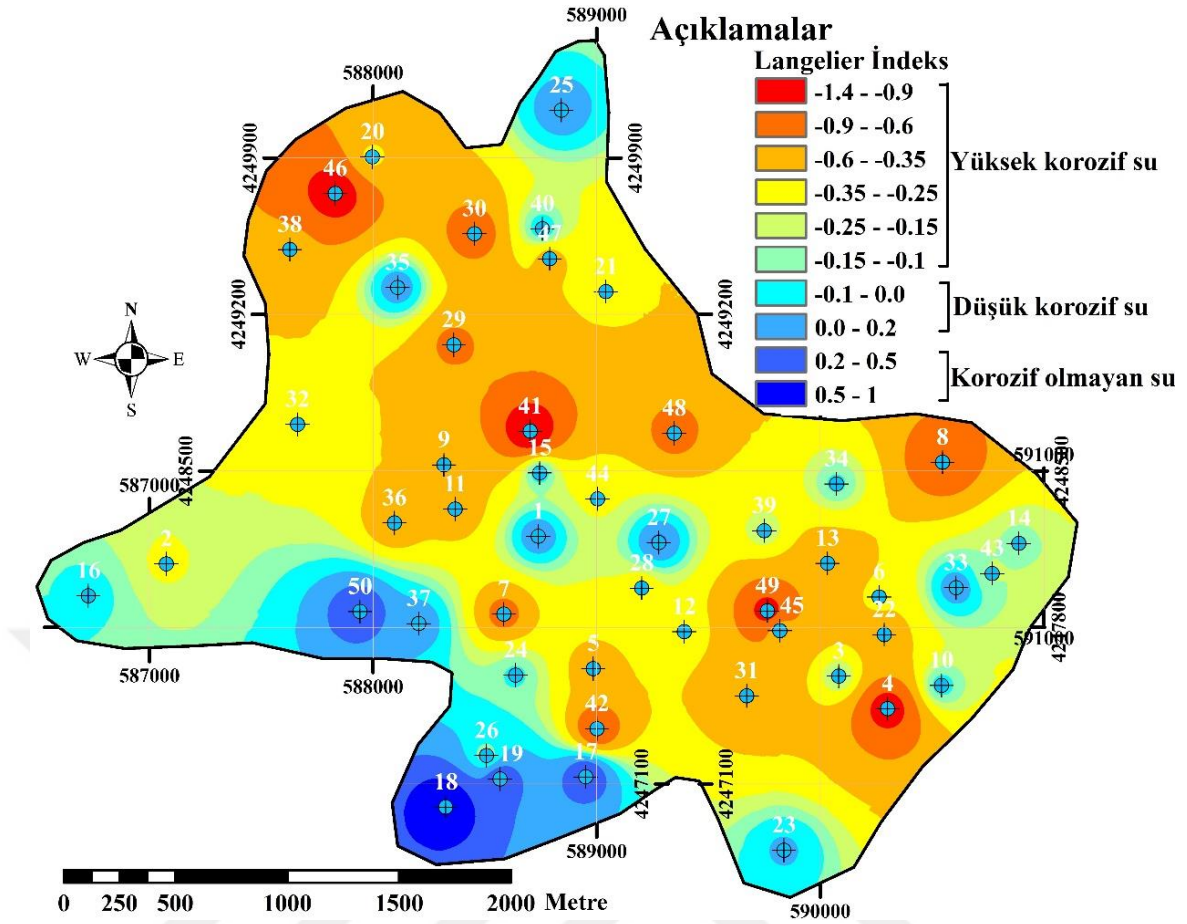


Şekil 6.4. Klorür – sülfat kütle oranına ait konumsal dağılım haritası.



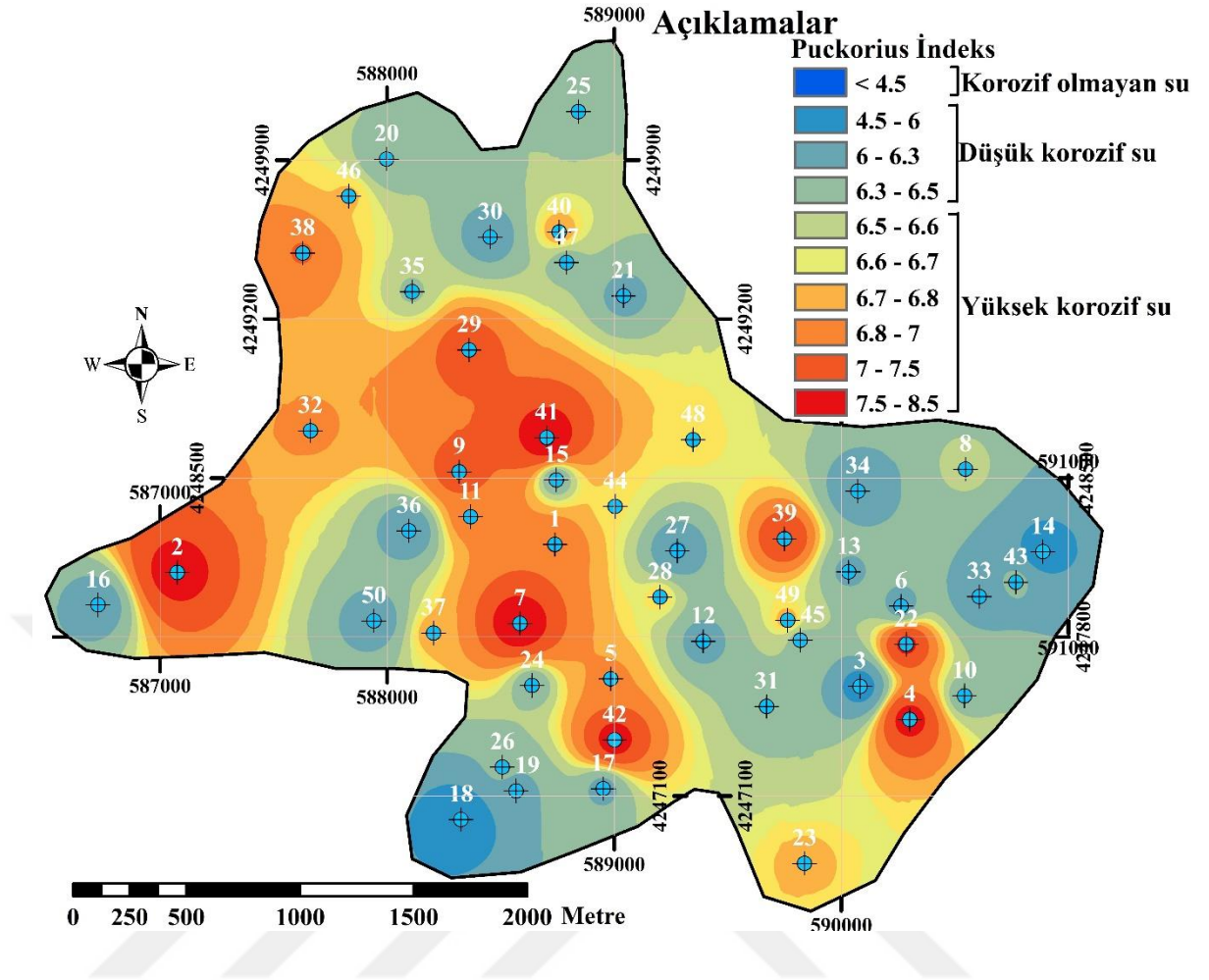
Şekil 6.5. Larson – Skold indisine ait konumsal dağılım haritası.

İnceleme alanında su örneklerinin Langelier doygunluk indisi sonuçlarına ait konumsal dağılım haritası incelendiğinde, yüksek korozif su özelliği K ve KD bölgelerinde yoğunluk göstermektedir (Şekil 6.6). Diğer bölgeler ya düşük korozif yada korozif olmayan su özelliğindedir. Özellikle 46, 41, 49 ve 4 numaralı örnek noktalarındaki sularda yüksek koroziflik vardır. Langelier doygunluk indisine ait konumsal dağılım haritası, agresiflik ve Ryznar indislerine ait konumsal dağılım haritaları ile benzer bir dağılım göstermektedir.



Şekil 6.6. Langelier doygunluk indisine ait konumsal dağılım haritası.

İnceleme alanında Puckorius indis sonuçlarının konumsal dağılımı incelendiğinde, «yüksek korozif su» özelliğine sahip olan yeraltı sularının daha çok bölgenin batı ve iç kesimlerinde konumlandığı gözlenmiştir (Şekil 6.7). Bu bölgelerde yer alan sular daha asidik, çözücü özelliği ve korozyon etkisi daha kuvvetli sulardır. «korozif olmayan sular» ise daha çok bölgenin kuzey ve doğu kesimlerinde anomali verir.

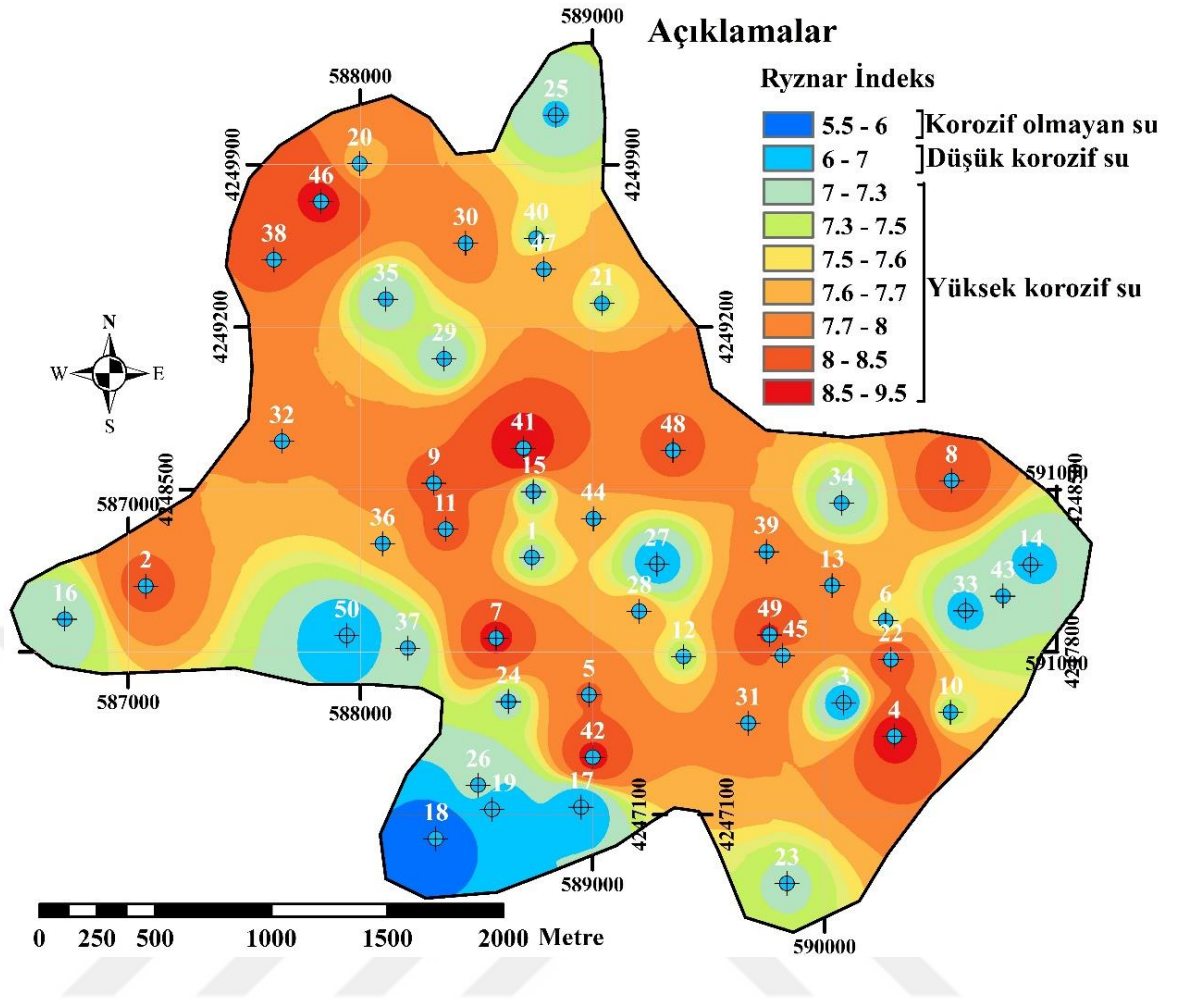


Şekil 6.7. Puckorius indise ait konumsal dağılım haritası.

İnceleme alanında Ryznar indis sonuçlarının konumsal dağılımı incelendiğinde, «yüksek korozif su» özelliğine sahip olan yeraltı sularının neredeyse bölgenin tamamına yakın bir alana yayıldığı görülmektedir (Şekil 6.8). Özellikle KB, merkez ve GD’ daki bulunan yeraltı suları çok daha fazla korozyon riski içermektedir.

Ryznar, Langelier ve Larson-Skold indislerin konumsal dağılım haritalarında «yüksek korozif su» özelliğine sahip olan yeraltı sularının genel olarak KB - GD uzantılı bir dağılım göstermelerinin nedeni, bölgenin en önemli tektonik unsuru olan KB - GD uzantılı Tuz gölü fay zone olabilir.

Bu fay zonuna bağlı kırık sistemler boyunca yukarı doğru yükselen, yüksek çözünmüş karbondioksit içeriğine sahip sular, bölgedeki yeraltı sularını CO₂ açısından zenginleştirmiş ve suların korozivite potansiyelini artırmış olabilir.



Şekil 6.8. Ryznar indisine ait konumsal dağılım haritası.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde Aksaray il merkezindeki yeraltısularının korozivite potansiyeli incelenmiştir. İncelenen sularda korozyon açısından önemli olan çözünmüş karbondioksit, sülfat, pH, amonyum, magnezyum, bikarbonat, kalsiyum ve toplam çözünmüş katı madde gibi parametrelerin ortalama değerleri sırası ile 105,2 mg/L; 268,8 mg/L; 7,1; 0,64 mg/L; 69,8 mg/L; 469,5 mg/L; 137,6 mg/L ve 903,7 mg/L olarak hesaplanmıştır. pH, CO₂, SO₄, NH₄, Mg ve TÇKM için en düşük ve en yüksek değerler sırası ile 6,32 - 7,8; 5,06 - 482 mg/L, 70 – 1010 mg/L; 0 – 4 mg/L; 24 – 203 mg/L ve 305 – 1914 mg/L olarak belirlenmiştir.

İnceleme alanında yer alan yeraltı suları için Ca-HCO₃; Ca-SO₄; Mg-HCO₃ ve Mg-SO₄ biçiminde 4 farklı hidrojeokimyasal fasiyes (su türü) tespit edilmiştir. Yeraltı sularında baskın katyon çoğunlukla Ca⁺² ve Mg⁺², baskın anyon ise HCO₃⁻ ve SO₄⁻² ' tır. Su örneklerinin % 12'si Ca-SO₄, % 12'si Mg-HCO₃, %4'ü Mg-SO₄ ve %72'si Ca-HCO₃ su fasiyesine sahiptir. İyon bolluk dizilimi Ca⁺² > Mg⁺² > Na + K⁺ / HCO₃⁻ > SO₄⁻² > Cl⁻ şeklinde gelişmiştir.

Langelier, agresiflik, Larson-Skold, Puckorius, Ryznar indisleri ve klorür - sülfat kütle oranı için en düşük ve en yüksek değerler sırası ile (-0,26-2,3); (11,05-13,56); (0,2-6,37); (4,88-8,25); (5,71-9,47) ve (0,07-2,72) olarak hesaplanmıştır.

Korozyon indislerinin hesaplama yöntemlerinde kullanmış oldukları parametrelerin aynı veya benzer olmaları, korozyon indis sonuçlarını etkilemektedir.

Langelier, Agresiflik, Larson-Skold, Puckorius, Ryznar indisleri ve klorür - sülfat kütle oranı için «**yüksek korozif su**» olarak tanımlanan örneklerin yüzdeleri sırası ile % 66, % 0, % 24, % 44, % 88 ve % 24 olarak hesaplanmıştır. En yüksek «yüksek korozif su» yüzdesine sahip indis Ryznar indis'tir.

Özellikle su örnekleri arasında 17, 18, 19, 27, 50 numaralı örnekler genel olarak indislerin çoğu için «korozif olmayan su» olarak sınıflandırılırken, 4, 7, 41, 42, 46 ve 49 numaralı örnekler ise «yüksek korozif su» olarak sınıflandırılmıştır.

Kümülatif dağılım grafiğine göre Langelier ve Agresiflik, Ryznar ve Puckorius indislerin kendi aralarında daha uyumlu ve benzer sonuçlar ürettikleri tespit edilmiştir.

Ryznar indis, yeraltı sularının betonarme yapılar için hesaplanan korozyon potansiyelini, olduğundan daha yüksek gösterebilir.

Agresiflik indis ve klorür-sülfat kütle oranı yöntemlerinin, yeraltı sularının korozyon potansiyelinin belirlenmesinde kullanılması hatalı sonuçlara neden olabileceği için uygun olmayabilir.

Langelier doygunluk indisi, yeraltı sularının korozyon potansiyelinin hesaplanmasında diğer indislerden daha güvenilir ve doğru sonuçlar üretebilir.

İnceleme alanında genel olarak «**yüksek koroziv su**» özelliğine sahip olan yeraltı suları bölgenin KB, K ve GD kesimlerinde konumlanmıştır. Bölgenin korozyon potansiyeli çoğunlukla çözünmüş karbondioksit içeriğine bağlı olarak geliştiği için tektonizma kontrollü olabilir.

İnceleme alanının KB, K ve GD kesimlerinde yapılacak üst ve altyapıların proje aşamasında yüksek korozivite etkisi mutlaka göz önünde bulundurulmalı ve inşaat aşamasında korozyona dayanıklı beton tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Afşin, M., Erdoğan, N., Gürdal, H., Gürel, A., Kavurmacı, M., Onak, A. ve Oruç, Ö., 2007. Orta Anadolu'daki sıcak ve mineralli suların ve travertenlerin hidrojeokimyasal ve izotopik incelenmesi ve suların tıbbî ve biyoiklimsel değerlendirilmesi, Tübitak-Çaydag 104Y197, 119.
- 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.
- Aydın, N. S, Göncüoğlu, M.C. ve Erler, A., 1998. Latest Cretaceous magmatism in the Central Anatolian Crystalline Complex: brief review of field, petrographic and geo chemical features. Tr. Journ. Earth Sci, 7/3, 258-268.
- Barringer, J. L., Kish G.R. ve Velnich A.J., 1993. Corrosiveness of groundwater in the Kirkwood-Cohansey aquifer system of the New Jersey coastal plain. Water-Resources investigations Report, 90, 4180.
- Beekman, P. H., 1966. Hasandağı-Melendizdağı Bölgesindeki Pliosen ve Kuvaterner Volkanizma Faaliyetleri, MTA Dergi, Ankara, 66, 88-104.
- Belitz, K., Jurgens B.C. ve Johnson T.D., 2016. Potential corrosivity of untreated groundwater in the United States, US Geological Survey, 2016-5092
- Bentur, A., ve Cohen, M. D., 1992. Microstructure and properties of expansive cement mortar with silica fume, Advances in Cement Research, 4, 14, 47-55.
- Bivand, RS, Pebesma, EJ, Gómez-Rubio, V., ve Pebesma, EJ., 2008. R ile uygulamalı uzamsal veri analizi, New York: Springer, 747248717, 237-268.
- Boztuğ, D. 1998. Post-collisional central Anatolian alkaline plutonism, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 7, 3, 145-166.
- Bonić, Z., Ćurčić G.T., Davidović N. ve Savić J., 2015. Damage of concrete and reinforcement of reinforced-concrete foundations caused by environmental effects. Procedia Engineering, 117, 411-418.
- Broomfield, J. 2003. Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair., Crc Press. London, 296.
- Canik, B., 2003. Hidrojeoloji (Yeraltı sularının Aranması, genişletilmesi, Kimyası), AÜ Fen Fak. Jeoloji Müh. Bölümü, Ankara, 286.
- Clark, R. M., 1979. Water supply regionalization: A critical evaluation. Journal of the Water Resources Planning and Management Division, 105, 2, 279-294.
- Derman, A. S., Rojay, B., Güney, H. ve Yıldız, M. 2000. Koçhisar-Aksaray fay zonu'nun evrimi hakkında yeni veriler. Haymana-Tuzgözü-Ulukışla basenlerinin uygulamalı çalışması. Bildiri Özleri, 1, Aksaray.

- Dirik, K. ve Göncüoğlu, M. C., 1996. Neotectonic characteristics of central Anatolia. *International Geology Review*, 38, 9, 807-817.
- Doğan, L., 1981. Hidrojeolojide su kimyası, DSİ, Ankara, 906, 93.
- Erkan, Y., 1981. Result of the studies on the metamorphism of the Central Anatolian Massif. In *Proceedings of symposium on geology of Central Anatolia*. Türkiye Jeoloji Kurumu, Ankara, 9-11.
- Erler, A. ve Göncüoğlu, M. C., 1996. Geologic and tectonic setting of the Yozgat batholith, northern Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. *International Geology Review*, 38, 8, 714-726.
- Erler, A. ve Bayhan, H., 1995. Orta Anadolu Granitoidleri'nin genel değerlendirilmesi ve sorunları. *Yerbilimleri*, 17, 49-67.
- ESRI (Environmental Systems Resource Institute), 2012. ArcGIS Desktop Software, Release 10. Redlands, CA, USA.
- Fendekova, M., Malik F., Krcmar D., Fendek M. and Rohacikova A. 2011. Groundwater agresiflik assessment according to EN 206-1: data, methods and application on groundwater in the Horna Nitra basin, Slovakia. *Environmental Earth Sciences*, 64, 2, 461-470.
- Fetter, C. W., 2018. *Applied Hydrogeology: Fourth Edition*, Waveland Press, 598.
- Ford, D. C. ve Williams, P. W., 1989. *Karst geomorphology and hydrology*, London: Unwin Hyman, 601.
- Göncüoğlu, M. C., 1977. *Geologie des Westlichen Nigde-Massivs*. Ph. D. Thesis, Bonn Univ.
- Gibbs, R. J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170, 3962, 1088-1090.
- Göncüoğlu, M. C., Toprak, V., Kuşcu, İ., Erler, A. ve Olgun, E., 1991. Orta Anadolu Masifi batı bölümünün jeolojisi, Bölüm 1: Güney Kesim. TPAO Rapor No: 2909.
- Göncüoğlu, M. C., Dirik, K., Erler, A., Yalınız, K., Özgül, L. ve Çemen, İ., 1996. Tuzgölü havzası batı kısmının temel jeolojik sorunları, TPAO Rapor No: 3753
- Gregory, R., 1990. Galvanic corrosion of lead solder in copper pipework. *Water and Environment Journal*, 4, 2, 112-118.
- Groeneveld, R. A. ve Meeden, G., 1984. Measuring skewness and kurtosis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 33, 4, 391-399.
- Güllü, B., 2003. Mamasun Yöresi (Aksaray) Magmatik Kayalarının Jeolojik, Petrografik ve Jeokimyasal İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

- Hem, J. D., 1985. Study and interperation of the chemical characteristics of natural water, USGS Water Supply Paper 2254, U. S. Gov. Print Office, 263.
- Hengl, T., 2009. A practical guide to geostatistical mapping, Technical Research series report published by Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, ISBN; 978-92-79-06904-8
- Herman, JS ve Lorah, M. M., 1987. Falling Spring Creek, Virginia, ABD'de CO2 gazı çıkışı ve kalsit çökmesi. Kimyasal Jeoloji, 62, 3-4, 251-262.
- Henley, S. 1981. Geostatistics. In Nonparametric Geostatistics Springer, Dordrecht, 9-34.
- Hunkeler, F., ve Holtzhauer, K., 1994. Mörtel und Beton–Wassergehalt, Porosität und elektrischer Widerstand. Schweizer Ingenieur und Architekt, 112, 27/28, 534-541.
- Hunkeler, F., 2005. Corrosion in reinforced concrete: processes and mechanisms. Corrosion in reinforced concrete structures, 1-45.
- Houst, Y. F., ve Wittmann, F. H., 1994. Influence of porosity and water content on the diffusivity of CO2 and O2 through hydrated cement paste. Cement and concrete research, 24, 6, 1165-1176.
- Isaaks, E. H., ve Srivastava, R. M., 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford, New York
- İlbeyli, N., Pearce, J.A., Thirwall, M.F. ve Mitchell, J.G., 2004. Petrogenesis of collisionrelated plutonics in central Anatolia, Turkey, Lithos, 72, 163–182.
- Kadioğlu, Y. K. ve Güleç, N., 1997. Ağaçören İntrüzif Takımının Petrolojisi (Aksaray), Çukurova Üniversitesinde Jeoloji Mühendisliği Eğitiminin 20. Yılı Sempozyumu, 30.
- Kavurmaci, M. M., 2013. Şereflikoçhisar havzası yeraltı sularının hidrojeolojik ve hidrokimyasal açıdan incelenmesi ve bölgedeki tuzlusu girişiminin çevresel etkilerinin araştırılması., Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray.
- Kavurmaci, M., 2016. Evaluation of groundwater quality using a GIS-MCDA-based model: a case study in Aksaray, Turkey. Environmental Earth Sciences, 75, 18, 1-17.
- Kürçer, A., Gökten, Y.E., ve Yeleser, L., 2012. Tuz Gölü Fay Zonu'nun paleosismolojisi, Orta Anadolu, Türkiye, 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 4 Nisan 2012, Ankara.
- Langelier, W. F., 1936. The analytical control of anti-corrosion water treatment: Journal of the American Water Works Association, 28, 10,1501-1521.

- Larson, T.E. and Skold R.V., 1958. Laboratory Studies Relating Mineral Quality of Water to Corrosion of Steel and Cast Iron. Illinois State Water Survey, Champaign, ill., ISWS C-71, 43-46.
- McCauley, R.F., 1960. Controlled deposition of protective calcite coatings in water mains. Journal-American Water Works Association, 52, 11, 1386-1396.
- Naimi, S., ve Özdemir, Z., 2020. Yapılarda yer altı suyuna karşı yapılan koruma sistemlerinin uygulanabilirliği ve güvenliğinin incelenmesi. AURUM Journal of Engineering Systems and Architecture, 4, 1, 113-133.
- Oliver, M. A. ve Webster, R., 1990. Kriging: coğrafi bilgi sistemleri için enterpolasyon yöntemi. Uluslararası Coğrafi Bilgi Sistemi Dergisi 4, 3, 313-332.
- Parkhurst, D. L. ve Appelo, C. A. J., 1999. User's guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. Water-resources investigations report, 99, 4259, 312.
- Piper, A. M., 1944. A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses. Trans Am Geophys Union, 25, 914-923.
- Puckorius P. R. ve Brooke J.M., 1991. A new practical index for calcium carbonate scale prediction in cooling tower systems., Corrosion, 47, 4, 280-284.
- Roberge, P. R., 2007. Corrosion inspection and monitoring. John Wiley-Sons.
- Ryznar, J. W., 1944. A new index for determining the amount of calcium carbonate scale formed bywater. J. Amer. Water Works Ass., 36, 472-486.
- Schoeller, H., 1962. Les eaux souterraines, Masson et cie, Paris, 642.
- Seymen, L., 1981. Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir Masifinin stratigrafisi ve metamorfizması, TJK Bült., 24, 2, 101-108.
- Seymen, L., 1982. Kaman dolayında Kırşehir Masifinin Jeolojisi, İTÜ Maden Fak. Doç. Tezi, 64.
- Singley, J. E., 1981. The search for a corrosion index: Journal of the American Water Works Association, 73, 11, 579-582.
- Snoeyink, V. L. ve Jenkins, D., 1980. Water chemistry.
- Spiegel, M. R. ve Stephens, L. J., 1999. Schaum's outline of theory and problems of statistics. Erlangga.
- Şahinci, A., 1991. Doğal suların jeokimyası. Reform Matbaası, İzmir, 548.
- Şaroglu, F., Emre, O. ve Aydoğan, B., 1987. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri, MTA derleme rapor No. 8174, 228-230

- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey : A plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A. C., 1984. The Cimmeride orogenic system and the tectonics of Eurasia.
- Taylor, H. F., 1997. *Cement chemistry*. London: Thomas Telford. ISBN: 0 7277 2592 0, 2, 459.
- Tebbutt, T.H.Y., 1997. *Principles of water quality control*, Elsevier, 288.
- Tercan, A.E. ve Saraç, C., 1998. Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 48. Oxford University Press.
- Terzi, M. H., 2014. Kesikköprü (Bala-Ankara) demir-oksit cevherleşmelerinin mineralojisi, petrografisi ve jeokimyası (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Toprak, V. ve Göncüoğlu, M. C., 1993. Tectonic control on the development of the neogene-quaternary central anatolian volcanic province, Turkey, *Geological Journal*, 28, 3-4, 357-369.
- Tromp, W., 1942. Kayseri – Niğde – Tuzgölü Arasının Jeolojisi (basılmamış). Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Rap. No: 1456.
- Tumidajski, P. J. ve Chan, G. W., 1996. Durability of high performance concrete in magnesium brine, *Cement and concrete research*, 26, 4, 557-565.
- Tuutti, K., 1982. Corrosion of steel in concrete. Doctoral Thesis (monograph), Division of Building Materials. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm.
- Ulu, Ü., Bulduk, A. K., Saçlı, L., Ekmekçi, E., Taşkiran, M. A., Karakaş, M., Adır, M., Öcal, H., Sözeri, Ş., Arbaş, A. ve Karabıyıkoglu, M., 1994. İnlice-Akkise ve Cihanbeyli-Karapınar alanının jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 9720, Ankara.
- Uyar, H., 2005. JEOVAR3: Jeostatistiksel variogram analizleri ve kriging teknikleri bilgisayar yazılımı, Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ünlütürk, H., 2000. Tuz Gölü Haymana Havzası'nın yeniden değerlendirilmesi, TPAO rapor no; 4082, Ankara.
- Visser, J.H.M., 2014. Influence of the carbon dioxide concentration on the resistance to carbonation of concrete. *Construction and Building Materials*, 67, 8-13.
- Yıldız, M., vd., 2002. Aksaray civarının jeolojisi ve Aksaray belediyesi Bahçeli kent toplu konut alanı zemin özelliklerinin jeofizik ve jeoteknik değerlendirmesi, (Yayınlanmamış rapor), Aksaray

Yılmaz, A., 2011. Alüminyum Eloksal çamurunun hazır beton katkı malzemesi olarak değerlendirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

URL-1; <https://www.ampp.org/education/education-resources/courses-by-program/general-corrosion/corrosion-protection-of-concrete-structures-buildings> sitesinden 12 Aralık 2022 tarihinden itibaren ulaşılabilir.

URL-2; <https://connect2local.com/l/281862/c/832410/4-types-of-corrosion-around-your-building> sitesinden 12 Aralık 2022 tarihinden itibaren ulaşılabilir.

URL-3; <https://www.textures.com/download/ConcreteBunkerDamaged0022/47218> sitesinden 12 Aralık 2022 tarihinden itibaren ulaşılabilir.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatih SEVİNDİK

Eğitim Durumu

Lisans : Aksaray Üniversitesi 2016

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi 2022

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. Sevindik, F. ve Kavurmacı, M., 2022. Aksaray il merkezindeki yeraltı sularının korozyon potansiyelinin incelenmesi, III. Uluslararası Kentsel Araştırmalar Kongresi (UKASS), Aksaray, Bildiriler Kitabı, 306-315.
2. Sevindik, F. ve Kavurmacı, M., 2022. İnterpolasyon teknikleri kullanılarak korozyon riskinin konumsal dağılımının incelenmesi, 4. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi (İSARC), İstanbul, Bildiriler Kitabı, Cilt II, 906-916.