

**TARSUS KIYI AKİFERİNDE (MERSİN) TUZLANMAYA
NEDEN OLAN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ONUR GÜVEN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
TEMMUZ-2021**

**TARSUS KIYI AKİFERİNDE (MERSİN) TUZLANMAYA
NEDEN OLAN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ONUR GÜVEN

ORCID ID: 0000-0001-5608-7633

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

Danışman

Prof. Dr. CÜNEYT GÜLER

ORCID ID: 0000-0001-8821-6532

**MERSİN
TEMmuz-2021**

ÖZET

TARSUS KIYI AKİFERİNDE (MERSİN) TUZLANMAYA NEDEN OLAN FAKTÖRLERİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada, Türkiye'nin Akdeniz bölgesinde yer alan Mersin ilinin doğusundaki Tarsus Kıyı Akiferinde tuzlanmaya neden olan faktörler araştırılmıştır. Çalışma ile tuzluluğun boyutları, tuzlanmanın alansal dağılımı ve risk durumu belirlenmiştir.

Eylül 2020'de yapılan arazi çalışmasında 87 farklı noktadan alınan yeraltı suyu ve bir adet deniz suyu (Akdeniz) örneği üzerinde fiziksel (sıcaklık (°C), elektriksel iletkenlik (EC), pH, tuzluluk, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli (ORP), çözünmüş oksijen (%O₂) ve toplam çözünmüş madde (TDS)) ve kimyasal parametrelerin (Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, CO₃⁻², Cl⁻, SO₄⁻², NO₃⁻, NO₂⁻, B, Br, Sr ve Li) ölçümü ve analizi yapılmıştır. Ölçüm ve analizler sonucunda fiziko-kimyasal parametrelerin coğrafi bilgi sistemi (CBS) ortamında dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Elde edilen veriler kullanılarak çeşitli diyagramlar ve grafikler oluşturulmuş, iyon oranları ve indeks hesaplamaları yapılmıştır. Piper diyagramı ile suların fasiyesi belirlenmiştir. HFE-Diyagramı oluşturularak deniz suyu girişim ve tazelenme evreleri görselleştirilmiştir. Farklı tuzlanma kaynaklarının (antropojenik ve doğal) tanımlanması amacıyla çeşitli iyon oranları (Na⁺/Cl⁻, Mg⁺²/Ca⁺², Cl⁻/Br, Cl⁻/HCO₃⁻, Ca⁺²/SO₄⁻², NO₃⁻/Cl⁻, Sr/Ca⁺² ve B/Li) hesaplanmış olup bu oranlar ile birlikte fiziko-kimyasal parametreler kullanılarak iki değişkenli grafikler çizilmiştir. Hidrokimyasal süreçlerin değerlendirilmesi amacıyla deniz suyu fraksiyonu (f_{deniz}) ve iyonik delta (Δ_i) hesaplamaları yapılmıştır. Deniz suyu etkisinin sayısal olarak ifade edilmesine yönelik Deniz Suyu Karışım İndeksi (SMI) hesaplanmıştır.

Tarsus Kıyı Akiferinde tuzlanmaya neden olan üç temel etkenin; deniz suyu girişi, evaporitlerin (halit ve jips) çözünmesi ve antropojenik faaliyetler (tarımsal faaliyetler ve evsel atıklar) olduğu tespit edilmiştir. Evaporitlerin lokal alanlarda etkisi görülürken, deniz suyu girişi daha geniş alanlara yayılmıştır. Çalışma alanındaki tuzlanmada evsel ve endüstriyel atıkların diğer etkenlere göre daha az etkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kıyı Akiferi, Tuzlanma, Hidrojeokimya, CBS, Tarsus.

Danışman: Prof. Dr. Cüneyt GÜLER, Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE FACTORS CAUSING SALINIZATION IN THE TARSUS COASTAL AQUIFER (MERSİN)

In this study, the factors causing salinization investigated in the Tarsus coastal aquifer in the east of Mersin province in the Mediterranean region of Turkey. In this study, extension and areal distribution of salinity, as well as salinization risk have been evaluated.

Physical (temperature (°C), electrical conductivity (EC), pH, salinity, oxidation-reduction potential (ORP), dissolved oxygen (O₂%) and total dissolved solids (TDS)) and chemical parameters (Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, CO₃⁻², Cl⁻, SO₄⁻², NO₃⁻, NO₂⁻, B, Br, Sr and Li) measured and analyzed in 87 groundwater and one seawater (Mediterranean) samples obtained from a field study conducted in September 2020. Distribution maps of the measured and analyzed physico-chemical parameters created in the geographic information system (GIS) environment.

Various diagrams and graphs created with data obtained and ion ratios and index values calculated. The facies of the waters determined by Piper diagram. Seawater intrusion and freshening phases visualized by creating the HFE-Diagram. Various ion ratios (Na⁺/Cl⁻, Mg⁺²/Ca⁺², Cl⁻/Br, Cl⁻/HCO₃⁻, Ca⁺²/SO₄⁻², NO₃⁻/Cl⁻, Sr/Ca⁺² and B/Li) calculated in order to define different salinization sources (anthropogenic and natural) and bivariate graphs drawn using these ratios and physicochemical parameters. Seawater fraction (f_{sea}) and ionic delta (Δ_i) calculations were made in order to evaluate the hydrochemical processes. The Seawater Mixing Index (SMI) was calculated numerically express the effect of seawater intrusion.

Three main factors that cause salinization in the Tarsus coastal aquifer was determined as seawater intrusion, dissolution of evaporites (halite and gypsum) and anthropogenic activities (agricultural activity and domestic wastes). While the effect of evaporites seen in local areas, seawater intrusion is spread over a much wider area. It was determined that domestic and industrial wastes have a smaller amount effect in salinization in the study area than other factors.

Keywords: Coastal Aquifer, Salinization, Hydrogeochemistry, GIS, Tarsus.

Advisor: Prof. Cüneyt GÜLER, Department of Geological Engineering, Mersin University, Mersin.

TEŞEKKÜR

Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada değerlendirmeleri, eleştirileri ve yönlendirmeleriyle tezin şekillenmesinde çok önemli katkıları olan danışman hocam sayın Prof. Dr. Cüneyt GÜLER'e teşekkür ederim. Saha ve laboratuvar çalışmalarının bilimsel hazırlık ve uygulamalarında çok şey öğrendiğim, tez çalışmamda emeği olan Doç. Dr. Mehmet Ali KURT'a teşekkür ederim. Lisans eğitimimden itibaren destekleri için ve özellikle yüksek lisans tez çalışmam sırasında verilerin bilgisayar ortamında işlenerek çıktıların oluşturulmasında tecrübelerinden yararlandığım Dr. Öğr. Üyesi Ümit YILDIRIM'a teşekkür ederim. Yapmış olduğum bu çalışmaya "118Y366" no'lu "Kıyusal Akdeniz Bölgelerinde Kritik Yeraltı Suyu Rezervlerinin Tuzlanması: Bütünleşik Modelleme ve Akıllı Bilgi İletişim Teknolojisi Araçlarının Kullanımı ile Tanımlama, Risk Değerlendirmesi ve Sürdürülebilir Yönetim (MEDSAL)" başlıklı proje kapsamında maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkür ederim. Son olarak, eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi olarak bana en büyük desteği sağlayan sevgili aileme teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	ii
ONAY	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR ve SİMGELER	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Çalışmanın Kapsamı	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	4
2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması	4
2.1.1. Coğrafi Konum	4
2.1.2. Morfoloji	4
2.1.3. İklim ve Bitki Örtüsü	5
2.1.4. Arazi Kullanımı	5
2.1.5. Nüfus, Yerleşim ve Ekonomi	6
2.2. Genel Jeoloji	9
2.2.1. Temel Birimler	9
2.2.2. Tersiyer Birimleri	9
2.2.3. Kuvaterner Birimleri	10
2.3. Hidroloji	11
2.3.1. Yağış ve Sıcaklık	11
2.3.2. Buharlaşma ve Terleme (Evapotranspirasyon)	14
2.3.3. Akarsular ve Akış	15
2.4. Hidrojeoloji	17
2.4.1. Tarsus Kıyı Akiferi	17
2.4.2. Yeraltı Suyu Beslenimi ve Boşalımı	18
2.5. Akiferlerde Tuzlanmanın Nedenleri	18
2.5.1. Deniz Suyu Girişimi	18
2.5.2. Jeojenik Süreçler	19
2.5.3. İklim Değişikliği	20
2.5.4. İnsan Aktiviteleri	21
2.6. Hidrojeokimya	23
2.6.1. Fiziksel Parametreler	23
2.6.1.1. Sıcaklık (°C)	23
2.6.1.2. Hidrojen iyonu derişimi (pH)	23
2.6.1.3. Elektriksel iletkenlik (EC)	24
2.6.1.4. Çözünmüş oksijen (ÇO)	24
2.6.2. Kimyasal Parametreler	25
2.6.2.1. Kalsiyum (Ca ²⁺) ve Magnezyum (Mg ²⁺)	25
2.6.2.2. Sodyum (Na ⁺) ve Potasyum (K ⁺)	25
2.6.2.3. Karbonat (CO ₃ ²⁻) ve Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	26
2.6.2.4. Klorür (Cl ⁻)	27
2.6.2.5. Sülfat (SO ₄ ²⁻)	28
2.6.2.6. Nitrat (NO ₃ ⁻) ve Nitrit (NO ₂ ⁻)	28
2.6.2.7. Brom (Br)	28

	Sayfa
2.6.2.8. Stronsiyum (Sr)	29
2.6.2.9. Bor (B)	29
2.6.2.10. Lityum (Li)	30
2.7. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)	30
2.8. Önceki Çalışmalar	31
3. MATERYAL ve YÖNTEM	38
3.1. Yeraltı Su Seviyesinin Ölçülmesi ve Su Örneklemeleri	38
3.2. Fiziksel Parametrelerin Ölçümü	40
3.3. Kimyasal Parametrelerin Analizi	40
3.3.1. Anyon-Katyon ve İz Element Analizleri	40
3.4. Hidrojeokimyasal Sınıflandırma	41
3.4.1 Piper Diyagramı	41
3.4.2. Hidrokimyasal Fasiyes Evrim Diyagramı (HFE-D)	42
3.5. Tuzlanmanın Hidrojeokimyasal Ölçütleri	44
3.5.1. Majör-Minör İyonlar ve İyon Oranları	44
3.5.2. Deniz Suyu Fraksiyonu ve İyonik Delta	45
3.5.3. Deniz Suyu Karışım İndeksi (SMI)	45
3.6. Coğrafi Bilgi Sistemi Veri Tabanı	46
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	48
4.1. Suların Fiziksel Parametreleri	48
4.2. Suların Kimyasal Parametreleri	52
4.3. Hidrojeokimyasal Sınıflandırma	66
4.3.1. Piper Diyagramı	66
4.3.2. Hidrokimyasal Fasiyes Evrim Diyagramı (HFE-D)	67
4.4. Tuzlanmanın Hidrojeokimyasal Ölçütleri	69
4.4.1. Majör-Minör İyonlar ve İyon Oranları	69
4.4.2. Deniz Suyu Fraksiyonu ve İyonik Delta	75
4.4.3. Deniz Suyu Karışım İndeksi (SMI)	77
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	88

TABLÖLER DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Çalışma alanının 2007-2020 yılları arası toplam nüfus verileri	7
Tablo 2.2. Çalışma alanındaki Kuvaterner birimleri	11
Tablo 2.3. Mersin ve Tarsus istasyonlarında ölçülen (1955-2018) aylara göre ortalama yağış miktarları ve hava sıcaklığı değerleri	11
Tablo 2.4. Mersin'in ve Tarsus'un (1955-2018) Thornthwaite yöntemiyle hesaplanan yıllık su bilançosu	14
Tablo 2.5. Suların elektriksel iletkenlik değerlerine göre sınıflandırılması	24
Tablo 2.6. Sodyum Adsorbsiyon Oranına göre sulama suyu sınıflaması	26
Tablo 2.7. Karbonat türlerinin (20°C'de) pH değerine göre dağılımı	27
Tablo 3.1. Majör anyonların analizinde kullanılan yöntemler	40
Tablo 3.2. HFE-Diyagramında yer alan fasiyesler ve açıklamalar	43
Tablo 4.1. Yeraltı sularının fiziksel parametrelerinin tanımlayıcı istatistikleri	48
Tablo 4.2. Yeraltı sularının kimyasal parametrelerinin tanımlayıcı istatistikleri	53
Tablo 4.3. 2008 ve 2020 yılı örneklemelerindeki (12 kuyu) nitrat derişimleri ve artış miktarları	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası	4
Şekil 2.2. Çalışma alanının arazi kullanım haritası	6
Şekil 2.3. Çalışma alanının 2007-2020 yılları arası toplam nüfus dağılım grafiği	8
Şekil 2.4. Mersin (1955-2018) meteoroloji istasyonuna ait yıllık toplam yağış ve eklenik sapmanın zamana bağlı olarak değişimi	12
Şekil 2.5. Tarsus (1955-2018) meteoroloji istasyonuna ait yıllık toplam yağış ve eklenik sapmanın zamana bağlı olarak değişimi	13
Şekil 2.6. Mersin ve Tarsus istasyonlarında ölçülen (1955-2018) aylara göre ortalama yağış miktarları ve hava sıcaklıkları	14
Şekil 2.7. Mersin'in ve Tarsus'un (1955-2018) yağış (P), potansiyel buharlaşma (ET_p) ve gerçek buharlaşma (ET_r) miktarlarının aylık olarak değişimi	15
Şekil 2.8. Tarsus (Berdan) Çayı'nın 2011 (a) ve 2020 (b) yıllarına ait uydu görüntüleri	16
Şekil 2.9. Tarsus Kıyı Akiferindeki litoloji değişimini gösteren Fence diyagramı	17
Şekil 2.10. Deniz suyu girişiminin kavramsal modeli	19
Şekil 2.11. 1993-2020 yılları arası deniz yüksekliği değişim grafiği	21
Şekil 2.12. CBS'de veri temalarının şematik gösterimi	31
Şekil 3.1. Tarsus Kıyı Akiferindeki su örnekleme noktaları	39
Şekil 3.2. Çalışma alanında yapılan su örneklemleri ve yeraltı su seviyesi ölçümü	39
Şekil 3.3. Su kimyası sınıflamasında kullanılan Piper diyagramı	42
Şekil 3.4. Deniz suyu girişimi ve tazelenme evrelerindeki ana süreçleri gösteren HFE-Diyagramı	43
Şekil 3.5. İyonların bölgesel sınır değerini (T) belirlemek amacıyla kullanılan kümülatif olasılık grafiği	46
Şekil 4.1. Yeraltı suyu örneklerinin sıcaklık dağılım haritası	49
Şekil 4.2. Yeraltı suyu örneklerinin pH dağılım haritası	49
Şekil 4.3. Yeraltı suyu örneklerinin elektriksel iletkenlik dağılım haritası	50
Şekil 4.4. Yeraltı suyu örneklerinin çözünmüş oksijen dağılım haritası	51
Şekil 4.5. Yeraltı suyu örneklerinin toplam çözünmüş madde (TDS) dağılım haritası	52
Şekil 4.6. Yeraltı suyu örneklerinin toplam çözünmüş madde (TDS)-denize uzaklık grafiği	52
Şekil 4.7. Yeraltı suyu örneklerinin kalsiyum dağılım haritası	54
Şekil 4.8. Yeraltı suyu örneklerinin magnezyum dağılım haritası	55
Şekil 4.9. Yeraltı suyu örneklerinin sodyum dağılım haritası	56
Şekil 4.10. Yeraltı suyu örneklerinin potasyum dağılım haritası	57
Şekil 4.11. Yeraltı suyu örneklerinin karbonat dağılım haritası	58
Şekil 4.12. Yeraltı suyu örneklerinin bikarbonat dağılım haritası	58
Şekil 4.13. Yeraltı suyu örneklerinin klorür dağılım haritası	59
Şekil 4.14. Yeraltı suyu örneklerinin sülfat dağılım haritası	60
Şekil 4.15. Yeraltı suyu örneklerinin nitrat dağılım haritası	61
Şekil 4.16. Yeraltı suyu örneklerinin nitrit dağılım haritası	62
Şekil 4.17. Yeraltı suyu örneklerinin brom dağılım haritası	63
Şekil 4.18. Yeraltı suyu örneklerinin stronsiyum dağılım haritası	64
Şekil 4.19. Yeraltı suyu örneklerinin bor dağılım haritası	65
Şekil 4.20. Yeraltı suyu örneklerinin lityum dağılım haritası	66
Şekil 4.21. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin Piper diyagramında gösterimi	67
Şekil 4.22. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin HFE-Diyagramında gösterimi	68
Şekil 4.23. Yeraltı suyu örneklerinin HFE-Diyagramına göre dağılımı	68
Şekil 4.24. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin $Na^+ - Cl^-$ ve $Na^+/Cl^- - Cl^-$ grafikleri	69
Şekil 4.25. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin $Mg^{+2} - Cl^-$ ve $Mg^{+2}/Ca^{+2} - Cl^-$ grafikleri	70

	Sayfa
Şekil 4.26. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin Cl^- - Br ve $\text{Cl}^-/\text{Br} - \text{Na}^+/\text{Br}$ grafikleri	71
Şekil 4.27. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ - Cl^- ve $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ - denize uzaklık grafikleri	72
Şekil 4.28. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin SO_4^{2-} - Cl^- ve $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{2-}$ - tuzluluk grafikleri	72
Şekil 4.29. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ - Cl^- ve NO_3^- - tuzluluk grafikleri	73
Şekil 4.30. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin Sr - Cl^- ve Sr/ Ca^{+2} - Cl^- grafikleri	74
Şekil 4.31. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin B - Cl^- , Li - Cl^- ve B/Li - tuzluluk grafikleri	75
Şekil 4.32. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin deniz suyu fraksiyonu - denize uzaklık grafikleri	76
Şekil 4.33. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin iyonik delta - deniz suyu fraksiyonu grafikleri	77
Şekil 4.34. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin Na^+ , Mg^{+2} , Cl^- ve SO_4^{2-} - kümülatif olasılık grafikleri	78
Şekil 4.35. Yeraltı suyu örnekleri için hesaplanan deniz suyu karışım indeksinin dağılım haritası	79

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simgesi	Tanım
ADNKS	Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
Akt	Akdeniz Kırmızı Toprağı
Al	Alüvyon
As	Akarsu Seki Konglomeraları
Ayç	Alüvyon Yelpazesi Çökelleri
B	Bor
Br	Brom
°C	Santigrat Derece
Ca ⁺²	Kalsiyum
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
Cl ⁻	Klorür
CO ₃ ⁻²	Karbonat
ÇO	Çözünmüş Oksijen
Dç	Delta Çökelleri
DSİ	Devlet Su İşleri
EC	Elektriksel İletkenlik
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EPA	Çevre Koruma Ajansı
ET _p	Potansiyel Buharlaşma
ET _r	Gerçek Buharlaşma
FAO	Gıda ve Tarım Örgütü
Fdç	Fan-Delta Çökelleri
f _{sea}	Deniz Suyu Fraksiyonu
Gkt	Grimsi Kahverengi Topraklar
GPS	Küresel Konumlandırma Sistemi
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
HFE-D	Hidrokimyasal Fasiyes Evrim Diyagramı
K ⁺	Potasyum
Kç	Kıyı Çökelleri
Ku	Kumullar
Kt	Kahverengi Topraklar
km	Kilometre
Li	Lityum
meq/L	Miliekivalen/Litre
Mg ⁺²	Magnezyum
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Mom	Mersin Ofiyolitik Melanjı
MPCA	Minnesota Kirlilik Kontrol Ajansı
Na ⁺	Sodyum
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NGWA	Ulusal Yeraltı Suyu Derneği
NO ₂ ⁻	Nitrit
NO ₃ ⁻	Nitrat
ORP	Yükseltgenme-İndirgenme Potansiyeli
P	Yağış
pH	Hidrojen İyonu Derişimi
Pk	Paleosolik Kalış
Pka	Karahamzaşağı Formasyonu
SAR	Sodyum Adsorbsiyon Oranı

Kısaltma/Simge	Tanım
Sk	Sert Kalış
SMI	Deniz Suyu Karışım İndeksi
SO ₄ ⁻²	Sülfat
Sr	Stronsiyum
TDS	Toplam Çözünmüş Madde
Tgü	Güvenç Formasyonu
Tha	Handere Formasyonu
Tka	Karaisalı Formasyonu
Tku	Kuzgun Formasyonu
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
USGS	Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu
Ym	Yamaç Molozu
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
Δ _i	İyonik Delta

1. GİRİŞ

Yaşamın temeli ve Dünya nüfusunun %40'nın geçim kaynağı olan su, biyoçeşitliliğin de temel kaynağını oluşturmaktadır [1]. Her insan hayatta kalmak için doğrudan tatlı suya ihtiyaç duymaktadır. Kıyı bölgelerinde 1,2 milyardan fazla insan tatlı su kaynağı olarak yeraltı suyuna bağımlı durumdadır [1]. Yeraltı suları, Dünya'daki toplam su miktarının yaklaşık %1,6'sını ve tatlı su miktarının %30'unu oluşturmaktadır [2]. Dünya'daki tüm içme suyunun neredeyse yarısını karşılayan yeraltı suyu, tarım için gereken suyun yaklaşık %40'ının ve sanayi için gerekli olan su ihtiyacının yaklaşık 1/3'ünün kaynağıdır [3].

Yeraltı suları, akifer adı verilen yüksek permeabiliteye sahip geçirimli (iletken) jeolojik birimler içerisinde bulunmakta olup içme-kullanma-sulama gibi amaçlarla günümüzde yoğun olarak yararlanılan önemli su kaynaklarıdır. Özellikle yerleşim, sanayi ve tarım gibi insan faaliyetlerinin yoğun olarak görüldüğü denizel kıyı bölgelerinde, bu tür insan faaliyetleri için gerekli olan tatlı su ihtiyacı önemli ölçüde kıyı akiferlerinden karşılanmaya çalışılmaktadır. Ancak, kıyı akiferlerinden yapılan aşırı ve plansız su çekimi (pompaj) sonucu, deniz suyu, kara içine doğru ilerleyerek (deniz suyu girişi) bu tatlı su kaynaklarının tuzlanmasına yol açabilmekte ve yeraltı suyunun kalitesini bozarak farklı amaçlar için kullanımını sınırlayabilmektedir.

Bu tez çalışmasının yürütüldüğü Tarsus Kıyı Akiferinde, yoğun tarımsal faaliyetler ve endüstriyel üretim için gerekli olan tatlı su ihtiyacı, kıyı akiferinde açılan kuyulardan yapılan (çoğunlukla aşırı ve düzensiz) su çekimi yoluyla sağlanmaktadır. Önceki yıllarda bölgede yapılan çalışmalarda belirtildiği üzere; Tarsus Kıyı Akiferinin bazı kesimleri büyük oranda tuzlanma süreci etkisi altındadır [4-9]. Ancak, bu tuzlanmanın sadece deniz suyu girişi sonucu oluşmadığı, bölgenin kendine has jeolojik, topoğrafik ve iklimsel özelliklerinden dolayı farklı süreçlerin veya birden çok mekanizmanın bölgedeki yeraltı su kaynaklarının tuzlanmasına neden olduğu düşünülmektedir [8]. Literatürde, kıyı akiferlerinin tuzlanması üzerinde önemli rol oynayan birçok farklı süreç ve mekanizma bulunmaktadır [10]. Bunlar:

- i. Yeraltı su seviyesinin aşırı pompaj nedeniyle düşmesi ve/veya deniz suyu seviyesinin yükselmesi sonucunda, kıyı akiferine yanal yönde deniz suyu girişi ile oluşan tuzlanma,
- ii. Tuzlu suların, tatlı su-tuzlu su ara yüzeyi boyunca yükselmesi sonucu oluşan tuzlanma ve suya doymuş topraklarda, suyun kapiler yükselimi ve yükselen bu suyun buharlaşması sonucu oluşan tuzlanma (burada yüzeyde biriken tuzlar yağmur veya sulama suyu tarafından çözülerek akifere geri dönmektedir),
- iii. Yeraltı sularının aşırı kullanımı nedeniyle, denize doğru yeraltı suyu akışının kesilmesi ve çözünmüş madde taşınımının kesintiye uğraması sonucunda sistemde meydana gelen içsel tuzlanma (bu durumda kıyı akiferi çözünmüş madde kapanı haline gelir),

- iv. Gübreleme ve toprak iyileştirme faaliyetlerinde kullanılan kimyasallar, geri dönen sulama suları ve diğer kirlilik üreten kaynaklar (evsel, tarımsal ve endüstriyel) nedeniyle meydana gelen tuzlanma,
- v. Evaporitler ve/veya ana kayanın çözünmesi/ayrışması ve derinde hapsolmuş tuzlu suların (örneğin fosil deniz suları) tektonik yapılar yoluyla serbest kalması sonucu oluşan tuzlanmadır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Mersin ilinin doğusunda bulunan Tarsus Kıyı Akiferinde, yeraltı ve deniz suyunun fiziksel (sıcaklık (°C), elektriksel iletkenlik (EC), pH, tuzluluk, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli (ORP), çözünmüş oksijen (%O₂) ve toplam çözünmüş madde (TDS)) ve kimyasal parametre (majör anyonlar/katyonlar ve iz elementler) derişimlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda, yeraltı suyu ile deniz suyu etkileşimi, mevcut tuzluluğun boyutları, tuzlanmanın alansal dağılımı ve tuzlanmanın nedenleri ortaya konulmuştur.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışma kapsamında, Mersin ilinin doğusunda bulunan Tarsus kıyı ovasının yeraltı ve deniz suyu kalitesiyle birlikte, kıyı akiferinde tuzlanmaya neden olan faktörler araştırılmıştır. Bu doğrultuda:

- Çalışma alanının jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ve bu özelliklerin zamana bağlı değişimleri belirlenmiş, kuyulardan ve deniz suyundan örnekler alınmıştır. Alınan su örneklerinin, fiziksel parametreleri (sıcaklık (°C), elektriksel iletkenlik (EC), pH, tuzluluk, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli (ORP), çözünmüş oksijen (%O₂) ve toplam çözünmüş madde (TDS)) arazide belirlenmiştir.
- Alınan su örneklerinin majör anyon analizleri Mersin Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarında, majör katyon ve iz element analizleri Bayburt Üniversitesi Merkezi laboratuvarında yapılmıştır.
- Elde edilen fiziksel ve kimyasal parametreler kullanılarak; suların sınıflandırılması amacıyla çeşitli diyagramlar oluşturulmuştur.
- Tuzluluk göstergesi olan parametreler kullanılarak çeşitli grafikler oluşturulmuş, indeks ve farklı iyon oranları hesaplamaları yapılarak tuzlanma kaynakları belirlenmeye çalışılmıştır.

- Bu çalışma kapsamında, tuzluluk göstergesi olan parametreler, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) veri tabanına aktararak çeşitli harita, şekil ve grafikler oluşturulmuş ve parametrelerin alansal değişimleri incelenmiştir.
- Elde edilen tüm veriler değerlendirilerek, bölgedeki tuzlanmaya neden olan faktörler açıklanmaya çalışılmıştır.

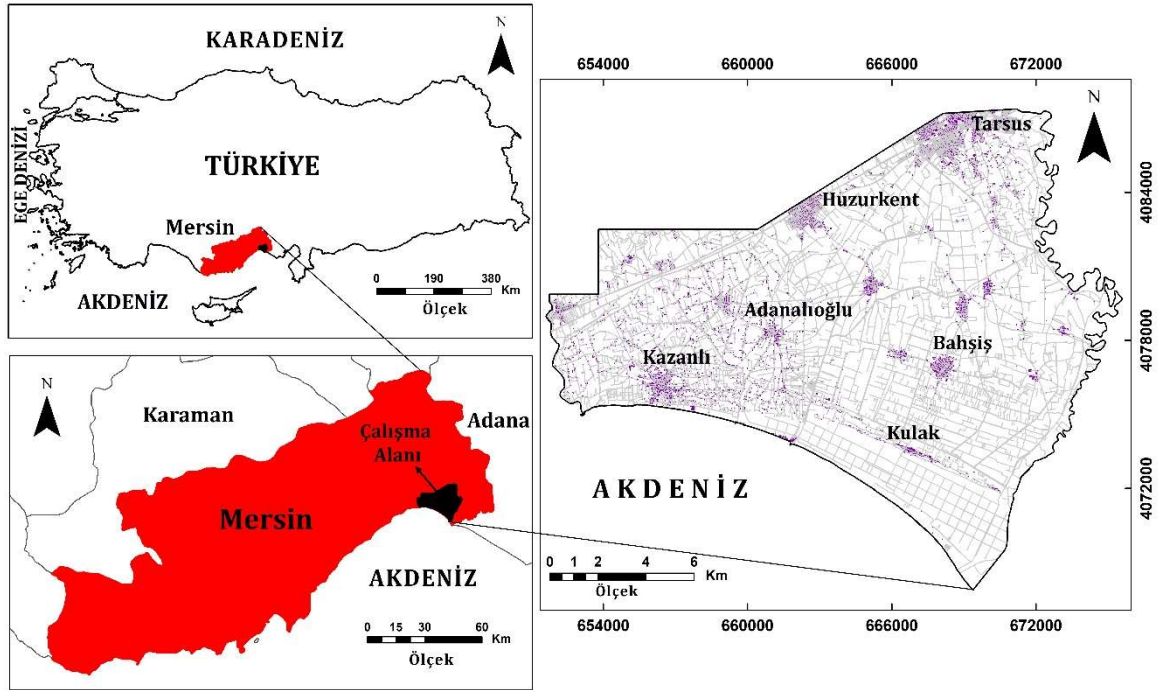


2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Çalışma Alanının Tanıtılması

2.1.1. Coğrafi Konum

Çalışma alanı, 1/25.000 ölçekli 033-a3, 033-b1, 033-b2, 033-b3 ve 033-b4 paftaları içerisinde yer almakta olup yaklaşık 234 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanı 36°44'30"-36°55'2" kuzey enlemleri ile 34°42'2"-34°58'10" doğu boylamları arasında bulunmakta olup batısında Deliçay, doğusunda Tarsus (Berdan) Çayı, kuzeyinde Mersin-Tarsus (D-400) karayolu ve güneyinde Akdeniz ile sınırlanmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

2.1.2. Morfoloji

Çalışma alanı karakteristik olarak geniş bir kıyı düzlüğünü (delta ortamı) temsil etmektedir. Eğimin oldukça düşük (0-10 derece) olduğu çalışma alanında yükseklikler deniz seviyesinden itibaren 0-30 m arasında değişmektedir. Topoğrafik yükseklik kuzeye doğru gidildikçe artmakta, çalışma alanının kuzeybatısında yer alan Bolkar Dağları'nda 3000 m'yi aşmaktadır. Kıyı boyunca kumul birikimleri nedeniyle dalgalı bir topoğrafya

gözlemlenmektedir. Delta ortamını temsil eden Tarsus kıyı ovasında kumul setleri ve küçük çaplı su kütleleri de gözlenmektedir.

2.1.3. İklim ve Bitki Örtüsü

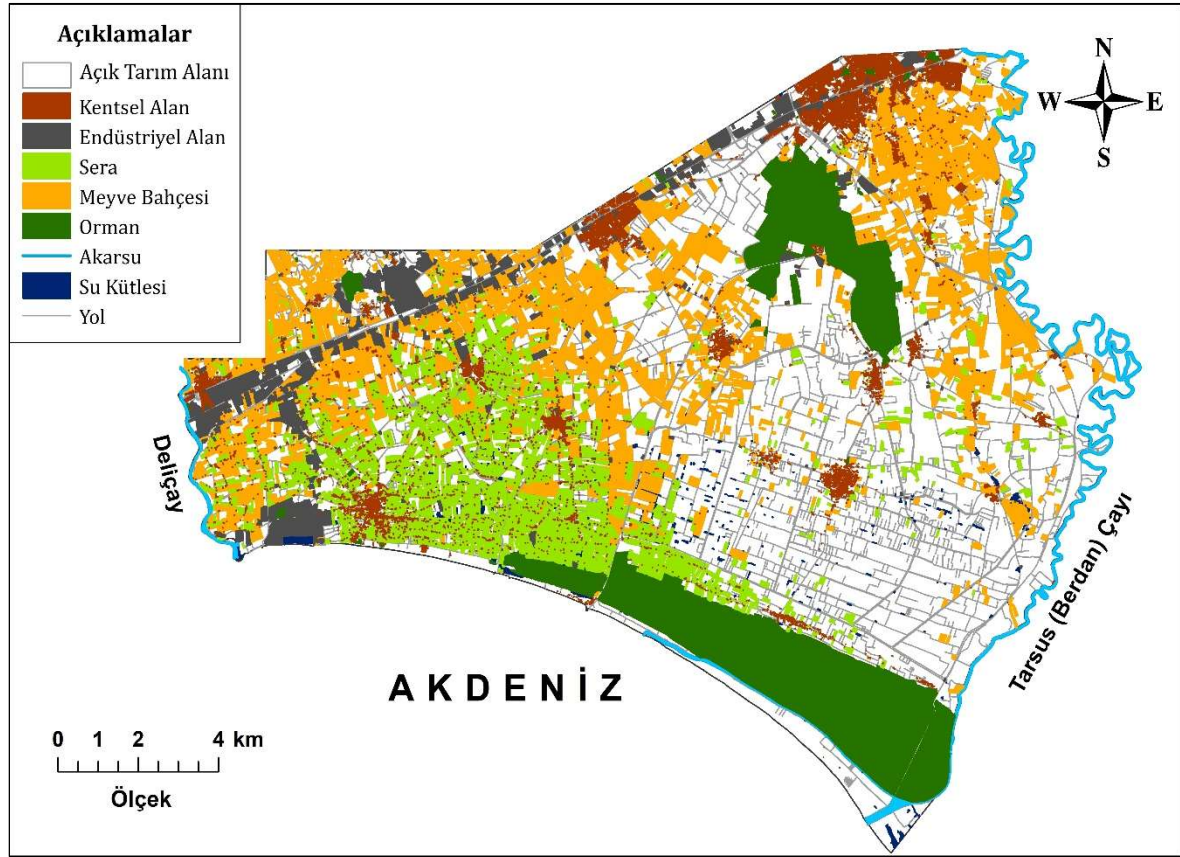
Türkiye'nin güneyindeki kıyı bölgesinde yer alan çalışma alanı, delta özelliğinden dolayı denizden gelen hava kütlelerine açıktır [11]. Bu nedenle, yazları sıcak ve kurak, kışları yağışlı ve ılıman karakter sergileyen Akdeniz iklim kuşağında yer almaktadır. Yıllık hâkim rüzgâr yönü kuzey-güney yönlüdür. Yazları tropikal ve karasal kökenli rüzgârlar ortalama sıcaklığı arttırmakta, kışları ise kuzeyden esen rüzgâr, akarsuların Toros Dağları'nda açmış olduğu vadilerden geçerek Tarsus kıyısının ortalama sıcaklığını düşürmektedir [11].

Karasal kökenli ve nem miktarı az olan havanın, Akdeniz'den kuzeye doğru ilerlerken nem miktarı artmaktadır. Toros Dağları tarafından geçişi engellenen hava, kış aylarında orografik yağışlara neden olmaktadır [11].

Çalışma alanının kuzey bölümlerinde genellikle okaliptüs (*Eucalyptus camaldulensis*) ve narenciye ağaçları bulunmakta, orta kesimlerde ise tarımsal faaliyetlerin yıl boyunca yürütülmesine olanak sağlayan seralar yer almaktadır. Çalışma alanının güney bölümünde okaliptüs ağaçları ile beraber çam ve keçiboynuzu ağaçları bulunmaktadır. Okaliptüs ağaçları geçmişte Karabucak bataklığını kurutmak amacıyla kullanılmıştır [7].

2.1.4. Arazi Kullanımı

Çalışma alanına ait arazi kullanım sınıflaması, uydu görüntüsü temel alınarak CBS ortamında yapılmıştır. Oluşturulan arazi kullanım haritasına göre (Şekil 2.2), çalışma alanındaki en büyük payı ekili alanlar oluşturmaktadır. Çalışma alanının %56,7'sini açık tarım alanları kaplarken, %16,9'unu meyve bahçeleri (çoğunlukla turuncgiller) oluşturmaktadır. Ormanlık alanlar çalışma alanının %11,4'ünü, seralar ise %9,2'sini kaplamaktadır. Seraların kapladığı alan daha önce yapılan bir çalışmaya göre [8] %4,3 azalmıştır. Büyük sanayi kuruluşlarının (Soda-Krom Sanayi, Çimsa, Şişecam gibi) bulunduğu çalışma alanının %3,5'ini endüstriyel alanlar oluşturmaktadır. Endüstriyel kuruluşlar Mersin-Tarsus (D-400) karayoluna paralel olarak yoğunluk göstermektedir. Bununla birlikte, çalışma alanındaki en büyük (alansal olarak) sanayi kuruluşu olan 'Soda-Krom Sanayi' Kazanlı mahallesinin güneybatısındaki kıyı bölgesinde bulunmaktadır. Çalışma alanının hemen hemen her bölgesine dağılmış şekilde bulunan mahalle düzeyindeki yerleşim yerleri toplam alanın %1,9'unu oluşturmaktadır.



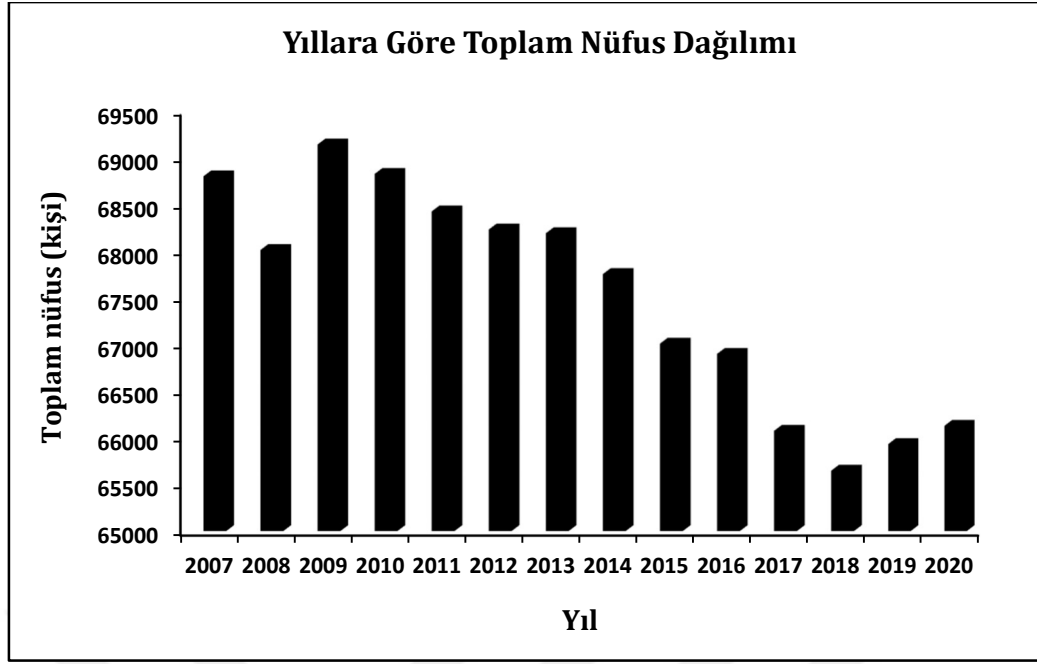
Şekil 2.2. Çalışma alanının arazi kullanım haritası.

2.1.5. Nüfus, Yerleşim ve Ekonomi

Çalışma alanında, 2020 yılı adrese dayalı nüfus kayıt sistemi (ADNKS) veri tabanından alınan verilere göre 66,122 kişi yaşamaktadır [12]. 2009 yılında pik yapan nüfus, bu yıldan itibaren azalma eğilimi göstermektedir. Çalışma alanının (mahalle düzeyinde) 2007-2020 yılları arası toplam nüfus verileri Tablo 2.1'de [12], toplam nüfus dağılım grafiği ise Şekil 2.3'te sunulmuştur.

Tablo 2.1. Çalışma alanının 2007-2020 yılları arası toplam nüfus verileri [12].

İlçe Adı	Mahalle Adı	Yıllara Göre Toplam Nüfus													
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
AKDENİZ	A. Şahutoğlu	889	800	809	738	721	706	662	673	636	603	607	613	591	561
	Adanalıoğlu	4328	3691	3716	3522	3343	3264	3416	3324	3252	3329	3386	3332	3333	3346
	A. Menderes	2707	2653	2724	2601	2654	2662	2691	2707	2649	2690	2660	2642	2948	2942
	Anadolu	3422	3720	3790	3545	3631	3574	3614	3479	3562	3579	3466	3430	3319	3402
	Bahşiş	1847	1735	1745	1690	1659	1684	1642	1658	1647	1672	1679	1669	1644	1569
	Evcı	1178	1079	987	934	867	856	859	883	893	916	867	917	897	871
	Karacailyas	2516	2498	2591	2572	2570	2588	2660	2686	2669	2739	2717	2665	2676	2647
	Kazanlı	2321	2317	2309	2222	2208	2222	2206	2113	2141	2099	2090	2049	1989	2000
	Köselerli	3278	3082	3172	3029	3055	3052	2949	2964	2934	2911	2871	2751	2689	2714
	Kulak	647	649	668	690	686	674	687	676	666	674	650	663	647	608
TARSUS	Aliağa	736	794	769	736	708	637	608	574	534	513	481	578	529	481
	Aliefendioğlu	972	984	1011	1039	1055	1052	1039	1008	983	1026	1006	1062	983	993
	Atalar	2151	1957	1978	1976	1792	1747	1746	1759	1667	1605	1624	1619	1598	1617
	Bahçe	3729	3765	4090	4213	4365	4369	4497	4640	4619	4588	4619	4778	4809	4910
	Bahşiş	2445	2746	2482	2432	2364	2343	2397	2353	2361	2372	2383	2371	2347	2421
	Barbaros	12417	12295	12510	12649	12392	12560	12337	12104	11854	11722	11396	11197	11120	11066
	Girne	5208	5120	5204	5197	5050	4985	4904	4777	4774	4665	4566	4334	4380	4228
	Hasanağa	111	147	150	121	150	152	168	171	172	159	151	202	185	185
	Köselerli	185	182	183	195	207	200	217	190	183	168	185	235	249	256
	Kulak	747	895	949	914	918	901	953	1001	1008	1033	1002	995	997	1005
	Mantaş	302	318	313	316	307	314	312	349	360	356	337	345	342	338
	Şahin	7161	7206	7583	7906	8180	8350	8351	8411	8303	8370	8210	8259	8736	9013
	Yeşil	2945	2921	2935	3051	2946	2826	2819	2816	2774	2763	2752	2678	2635	2642
	Yeşilevler	1589	1644	1677	1747	1775	1754	1787	1812	1785	1771	1793	1811	1801	1793
	Yeşiltepe	2652	2461	2369	2328	2327	2242	2205	2202	2199	2222	2166	2117	2126	2152
	Yunusemre	2314	2348	2424	2459	2491	2512	2460	2419	2378	2348	2405	2332	2357	2362
Toplam		68797	68007	69138	68822	68421	68226	68186	67749	67003	66893	66069	65644	65927	66122



Şekil 2.3. Çalışma alanının 2007-2020 yılları arası toplam nüfus dağılım grafiği [12].

Çalışma alanında nüfusun yoğun bulunduğu yerler Kazanlı, Adanalıoğlu, Hamurlu, Atalar, Yeşiltepe, Yeşilkuyu, Bahşiş, Hasanağa, Aliefendioğlu, Mantaş, Kulak, Yeşilevler ve Aliaga mahalleleridir. Bölgede tarım ve ekili alanların geniş yer kaplamasından dolayı yerleşim dağınık ve düzensizdir [7].

Tarsus kıyı ovasının geniş ve düz olması, iklim şartlarının uygunluğu ve kıyı bölgesinde bulunması gibi nedenlerden dolayı tarımsal ürün çeşitliliği çok fazladır [11]. Ürün çeşitliliğini ve verimliliğini etkileyen diğer faktörler ise tarımın modern yöntemlerle yapılması, gübreleme faaliyetleri ve sulama olanağının olmasıdır [11].

Tarımsal ürün çeşitliliği ve kıyı bölgesindeki endüstriyel faaliyetler, Tarsus kıyı ovasının sosyo-ekonomik durumunu belirleyen ana faktörlerdir [8]. Çalışma alanında üretilen tarımsal ürünler gerek yurtiçi, gerekse yurtdışı piyasasında büyük talep görmektedir [7]. Tarsus kıyı ovasında yetiştirilen tarımsal ürünler dört ana başlıkta toplanmaktadır [11]. Bunlar;

- i. Tarla Bitkileri: buğday, arpa, mısır, pamuk, ayçiçeği ve fasulye.
- ii. Meyveler: elma, kiraz, şeftali, üzüm ve incir.
- iii. Sebzeler: domates, biber ve patlıcan.
- iv. Turunçgiller: portakal, mandalina, limon ve turunç.

Tarımsal faaliyetlerin yoğunlaşması ve üretimin artması, bölgedeki endüstrileşme sürecini de hızlandırmıştır. Yaş sebze-meyve, bakliyat paketleme fabrikaları, un ve makarna fabrikaları bunlara örnek verilebilir. Bunlara ek olarak ATAŞ petrol rafinerisi, petrol dolum tesisleri, Soda-Krom Sanayi, tekstil, mermer, cam ve çimento fabrikaları, maden depolama

alanları ve organize sanayi bölgesi çalışma alanı ve yakınındaki önemli sanayi kuruluşlarıdır. Çalışma alanının kuzeyinde yer alan Mersin-Tarsus (D-400) karayolu ve demiryolu ile ulaşım ve taşımacılığın rahatlıkla sağlanabilmesi sanayi tesislerinin gelişiminde önemli rol oynamıştır [8].

2.2. Genel Jeoloji

Bu bölümde, Şenol [13] tarafından yapılan çalışmaya bağlı kalınarak çalışma alanının genel jeolojisi açıklanmaya çalışılmış, farklı araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalardan ayrıca yararlanılmıştır.

Doğu Toroslar'ın batı bölümünün (Bolkar Dağı) eteklerinde bulunan ve flüviyal-delta çökelleri ile karakterize edilen [9] çalışma alanında birçok farklı birim yer almaktadır. Çalışma alanı ve çevresinin jeolojisi üç ana başlık altında incelenmektedir. Bunlar; Temel Birimler, Tersiyer Birimleri ve Kuvaterner Birimleri'dir [13].

2.2.1. Temel Birimler

- i. Karahamzauşağı Formasyonu (Pka): Adını Ünlügenç'ten [14] alan formasyon, metamorfik kireçtaşları, mermer, şist ve kuvarsit türü kayalardan oluşmaktadır. Permo-karbonifer yaşlı Karahamzauşağı Formasyonu, Kuzgun Formasyonu tarafından diskordan olarak örtülmüştür. Laminallı ince tabakalı yapı gösteren kristalize kireçtaşı birimi ve laminallı şist ara katkılı kuvarsitlerin bulunuşu formasyonun derin-sığ deniz ortamında çökeldiğini göstermektedir [13].
- ii. Mersin Ofiyolitik Melanjı (Mom): Üst Kretase yaşlı ofiyolitik birim, çalışma alanının kuzeyinde yer alan derin vadiler içinde görülmektedir. Serpantinleşmenin hâkim olduğu ofiyolitler içerisinde, gabro, harzburgit, verlit, dünit, klinopiroksenit, verzolit, diyabaz, radyolarit gibi kayalar ve derin deniz sedimanları bulunmaktadır. Mersin Ofiyolitik Melanjı, Oligosen-Miyosen yaşlı Gildirli Formasyonu tarafından diskordan olarak üzerlenmektedir [13].

2.2.2. Tersiyer Birimleri

- i. Gildirli Formasyonu: Schmidt [15] tarafından adlandırılan formasyon, konglomera-kumtaşı, silttaşı-kiltaşı ve killi kireçtaşı-marn birimlerinden oluşmaktadır [13]. Fasiyes özellikleri dikkate alındığında, Oligosen-Miyosen zamanında Gildirli Formasyonu'nu oluşturan konglomera-kumtaşı, silttaşı-kiltaşı, killi kireçtaşı ve marn birimlerinin akarsu, taşkın ovası, göl, sığ deniz, lagün gibi ortamlarda çökeldikleri söylenebilir [13].

- ii. Karaisalı Formasyonu (Tka): Alt-Orta Miyosen yaşlı Karaisalı Formasyonu, beyaz, açık gri, bej renklerde, yer yer bol algli, mercanlı, gastropod ve lamelli kavkılı, killi, yumrulu, erime boşluklu, yer yer iyi katmanlı resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Fasiyes özelliklerine göre Karaisalı Formasyonu'nun karbonatlı kıyı (resif) ortamında çökeldiği söylenebilir [13].
- iii. Güvenç Formasyonu (Tgü): Schmidt [15] tarafından adlandırılan formasyon, Alt-Orta Miyosen zamanında bölgede oluşan resif önü sığ-derin deniz ortamlarında çökelen killi kireçtaşı-marn ve kilaşı-silttaşı birimlerini içermektedir [13].
- iv. Kuzgun Formasyonu (Tku): Schmidt [15] tarafından adlandırılan formasyon, Orta-Üst Miyosen zamanında transgresyon ve regresyona bağlı olarak oluşan kıyı, lagün, gelgit ve resif ortamlarında çökelmiştir. Kuzgun Formasyonu'na ait kumtaşı-konglomera, resifal kireçtaşı, tüfit ve kilaşı-marn-silttaşı olmak üzere dört birim bulunmaktadır. Bu formasyonun fasiyes özellikleri dikkate alındığında çökeltme ortamının kıyı-sığ ve derin deniz ortamı olduğu söylenebilir [13].
- v. Handere Formasyonu (Tha): Schmidt [15] tarafından adlandırılan formasyon, kilaşı-marn-silttaşı, fosilli oolitik kireçtaşı, jips ve kumtaşı-konglomera birimlerinden oluşmaktadır. Üst Miyosen (Mesiniyen) zamanında bölgede uzun bir süre hâkim olan kuraklık (Mesiniyen Tuzluluk Krizi) nedeni ile denizel çökellerin yanı sıra jips, anhidrit ve halit (tuz) gibi evaporitik birimler oluşmuştur. Handere Formasyonu'nun fasiyes özellikleri dikkate alındığında, kurak-sıcak iklim ve sık sık değişen küçük ölçekte transgresyon-regresyonlar sonucu oluşan sığ deniz, geçiş (kıyı, lagün, delta, gelgit) ve akarsu ortamlarında çökeldiği söylenebilir [13].

2.2.3. Kuvaterner Birimleri

Karasal ve geçiş ortamı şartlarının hâkim olduğu Kuvaterner zamanında farklı fasiyes özelliği gösteren birçok birim oluşmuştur. Bu birimler, farklı fasiyes özelliği gösterdiğinden dolayı araştırmacılar tarafından iki bölümde incelenmiştir [13]. Bölgede görülen Kuvaterner birimlerine ait detaylar Tablo 2.2'de sunulmuştur.

Tablo 2.2. Çalışma alanındaki Kuvaterner birimleri.

Kalabriyen-Siciliyen Birimleri	Tirreniyen-Güncel Birimler
Alüvyon Yelpazesi Çökelleri/Yüksek Seki Konglomeraları (Ayç)	Yamaç Molozları (Ym1, Ym2, Ym3)
Fan-Delta Çökelleri (Fdç)	Akarsu Seki Konglomeraları (As1, As2, As3)
Kıyı Çökelleri (Kç)	Delta Çökelleri (Dç1, Dç2, Dç3)
Pedolojik Oluşuklar	Kıyı Çökelleri (Kç1, Kç2, Kç3)
Paleosolik Kalış/Kolon Horizonu (Pk)	Kumullar (Ku)
Akdeniz Kırmızı Toprağı/Terra Rosa (Akt)	Pedolojik Oluşuklar/Kahverengi Topraklar (Kt), Grimsi Kahverengi Topraklar (Gkt), Alüvyal Topraklar (Al)
Sert Kalış (Sk)	

2.3. Hidroloji

2.3.1. Yağış ve Sıcaklık

Hidrolojik döngünün en önemli elemanlarından biri olan yağış, akiferlerin beslenme ve boşalım miktarları ile yeraltı su seviyelerinde meydana gelen değişimlerin değerlendirilmesi açısından önemli bir parametredir. Bu doğrultuda, çalışma alanının ortalama yağış ve sıcaklık değerlerini belirlemek amacıyla Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne [16] bağlı Mersin ve Tarsus istasyonlarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu iki istasyona ait günlük veriler ile belirtilen yıllar arasında aylara göre maksimum, minimum ve ortalama yağış-sıcaklık değerleri hesaplanıp Tablo 2.3'te sunulmuştur.

Tablo 2.3. Mersin ve Tarsus istasyonlarında ölçülen (1955-2018) aylara göre ortalama yağış miktarları ve hava sıcaklığı değerleri [16].

		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
MERSİN	Ortalama Sıcaklık (°C)	10,55	11,24	14,01	17,58	21,15	24,87	27,78	28,19	25,78	21,63	16,17	12,03
	Aylık Toplam Yağış Ort. (mm)	114,38	80,59	57,50	34,13	23,31	8,35	7,68	4,99	8,47	37,36	75,00	145,42
TARSUS	Ortalama Sıcaklık (°C)	9,14	10,45	13,54	17,40	21,02	24,77	27,51	28,19	25,53	20,91	14,76	10,67
	Aylık Toplam Yağış Ort. (mm)	116,72	83,66	61,33	37,92	33,28	15,68	3,98	4,52	17,11	30,63	66,71	154,17

Yağışlı ve kurak dönemleri belirlemek ve zaman içinde gerçekleşen değişimleri ifade etmek amacıyla eklenik (kümülatif) sapma analizleri yapılmış, Mersin ve Tarsus istasyonlarına ait eklenik (kümülatif) sapma eğrileri, yıllık toplam yağış miktarları ile beraber grafiklerde sunulmuştur (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5). Bu eğrilerin oluşturulması için sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir.

- Yağış istasyonlarına ait yıllık toplam yağışın aritmetik ortalaması alınmıştır (Denklem 1),
- Her yıl için ayrı olmak üzere, gözlem süresi boyunca yıllık yağışların yıllık ortalama yağış miktarından olan sapmaları hesaplanmıştır.
- Hesaplanan sapma değerlerinin yıllara göre eklenik toplamından eklenik sapma değerleri hesaplanmıştır (Denklem 2).

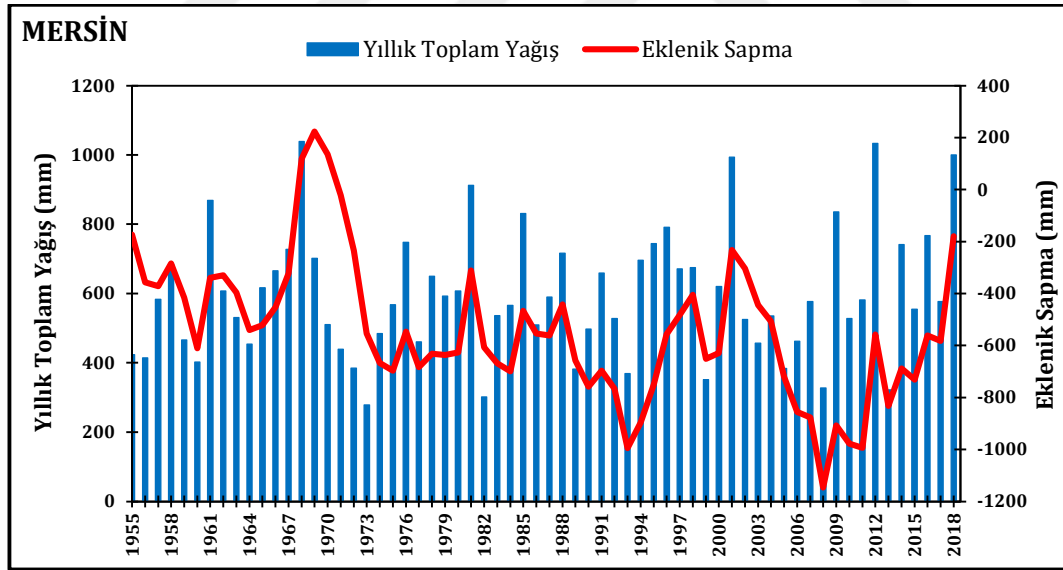
$$\Delta P_i = P_i - P_{ort} \quad (1)$$

$$\Delta P_{i,eklenik} = \Delta P_{i-1,eklenik} + \Delta P_{i-1} \quad (2)$$

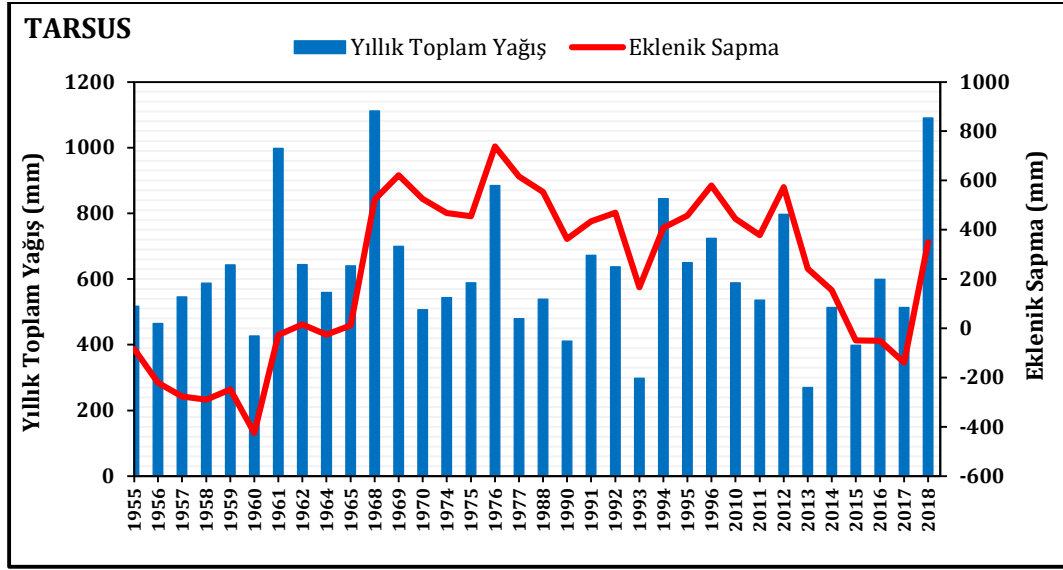
ΔP_i : gözlem yılının yıllık ortalama yağıştan sapma miktarı (mm)

P_i : gözlem yılının toplam yağış miktarı (mm)

$\Delta P_{i,eklenik}$: belirli bir yıla (i) kadar olan eklenik (kümülatif) sapma miktarı (mm)



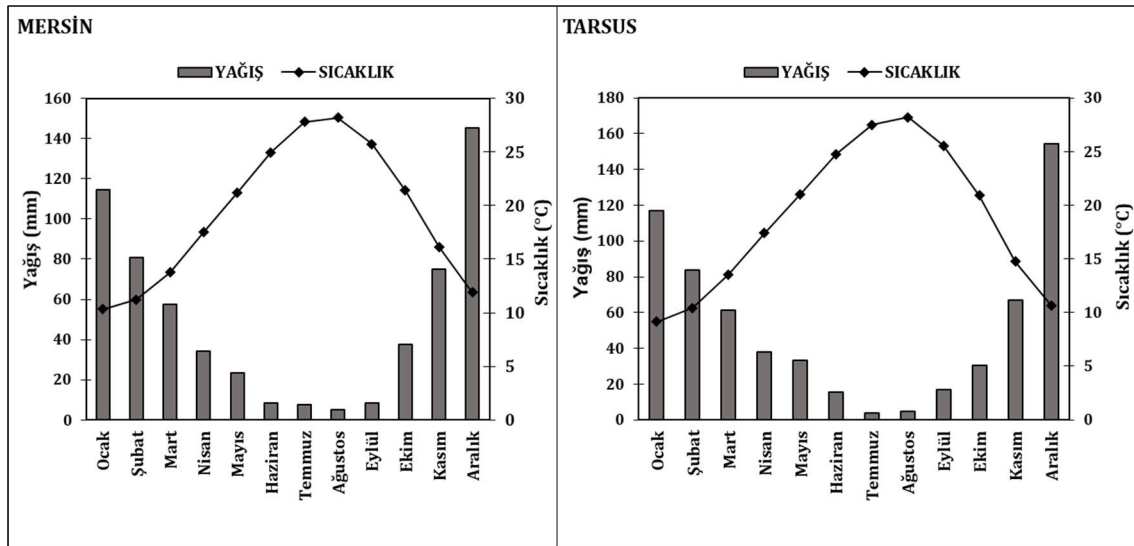
Şekil 2.4. Mersin (1955-2018) meteoroloji istasyonuna ait yıllık toplam yağış ve eklenik sapmanın zamana bağlı olarak değişimi.



Şekil 2.5. Tarsus (1955-2018) meteoroloji istasyonuna ait yıllık toplam yağış ve eklenik sapmanın zamana bağlı olarak değişimi.

Mersin istasyonu için oluşturulan eklenik sapma grafiğine göre, 1968 yılına kadar birbirini takip eden yağışlı ve kurak dönemler gözlenirken, 1970'li yılların başı ve özellikle 2000 yılından itibaren kurak dönemlerin hüküm sürdüğü net olarak görülmektedir (Şekil 2.4). Tarsus istasyonu için oluşturulan eklenik sapma grafiğine bakıldığında (Şekil 2.5) 1955-1960 yılları arasında kuraklık hâkim iken, 1961 yılından 1978 yılına kadar yağışlı dönemin hâkim olduğu gözlenmektedir. 1988-2012 yılları arası birbirini takip eden kurak ve yağışlı dönemler gözlenirken, 2012 yılından sonra kurak dönem hâkim olmuştur.

Mersin ili için belirtilen yıllık ortalama sıcaklık 19,2 °C, yıllık ortalama yağış miktarı ise 598,4 mm'dir [16]. En çok yağışın Aralık ayında görüldüğü Mersin'de, en kurak ay Ağustos'tur (Tablo 2.3). En yüksek sıcaklık Ağustos ayında gözlenirken en düşük sıcaklık Ocak ayında gözlenmektedir (Tablo 2.3). Mersin iline ait aylara göre ortalama yağış miktarları ve hava sıcaklıkları grafiği Şekil 2.6'da sunulmuştur. Tarsus ilçesi için 1988-2010 yılları arasındaki sıcaklık verileri kullanılarak [16], belirtilen yıllara göre değerlendirmeler yapıp grafikler çizilmiştir. Tarsus ilçesinin yıllık ortalama sıcaklık değeri 18,7 °C'dir. Yağış verileri incelendiğinde 1955-2018 yılları arası ortalama yağış miktarı 625,7 mm'dir. Tarsus ilçesinde en yüksek toplam yağış miktarı Aralık ayında gözlenirken, yağış miktarının en düşük olduğu ay ise Temmuz'dur (Tablo 2.3). Tarsus ilçesinin aylık ortalama sıcaklık değerlerine göre; en sıcak ay Ağustos, en soğuk ay ise Ocak'tır.



Şekil 2.6. Mersin ve Tarsus istasyonlarında ölçülen (1955-2018) aylara göre ortalama yağış miktarları ve hava sıcaklıkları [16].

2.3.2. Buharlaşma ve Terleme (Evapotranspirasyon)

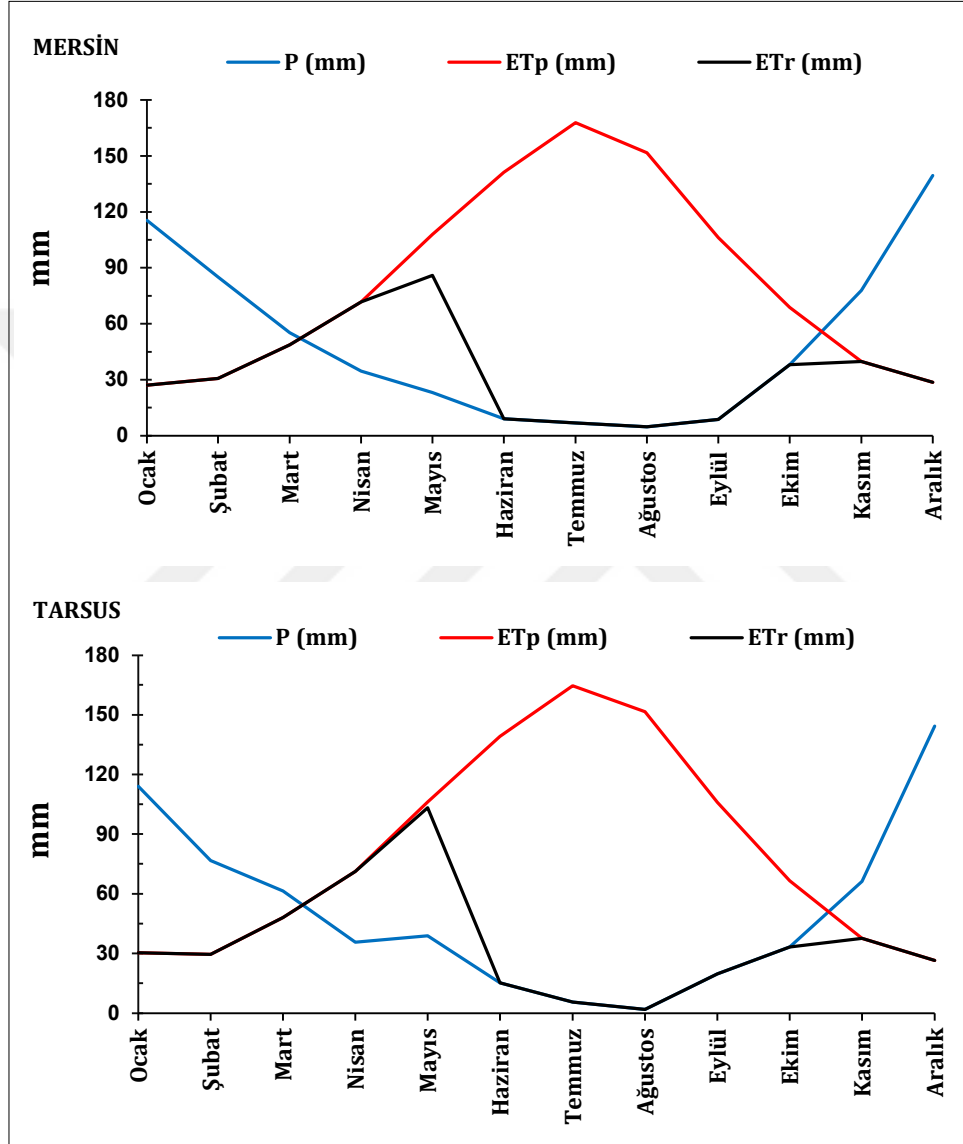
Hidrolojik döngünün önemli elemanlarından biri olan buharlaşma-terleme hesaplamalarına yönelik literatürde birçok yöntem bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında meteorolojik parametrelerin temel alındığı Thornthwaite yöntemi [17] kullanılarak potansiyel (ET_p) ve gerçek (ET_r) buharlaşma miktarları hesaplanmıştır. Mersin ve Tarsus (1955-2018) meteoroloji istasyonlarından alınan aylık ortalama sıcaklık ($^{\circ}C$) ve aylık toplam yağış (mm) değerleri “Thornthwaite Aylık Su Dengesi” yazılımı [18] kullanılarak potansiyel buharlaşma (ET_p) değerleri hesaplanmıştır. Girdi parametreleri olarak; direkt akış faktörü %5, faydalı rezerv 100 mm, yağmur suyu sıcaklığı sınırı $3,3^{\circ}C$, kar sıcaklığı sınırı $-10^{\circ}C$, maksimum kar erime hızı %50 kabul edilmiş olup enlem düzeltmesi 36° ’ye göre yapılmıştır.

Mersin ve Tarsus (1955-2018) istasyonlarından alınan veriler ile hesaplanan toplam potansiyel (ET_p) ve gerçek (ET_r) buharlaşma miktarları Tablo 2.4’te, hesaplama sonuçları ise Şekil 2.7’de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, Nisan ayına kadar buharlaşma sadece yağıştan gerçekleşmektedir. Mayıs ayında, azalan yağış miktarı ile birlikte rezervin tamamı buharlaşmış olup Kasım ayına kadar ise yağış miktarı kadar buharlaşma gerçekleşmiştir. Kasım ayından itibaren yağış miktarının artmasıyla birlikte Nisan ayına kadar potansiyel ve gerçek buharlaşma eşit miktarda gerçekleşmiştir.

Tablo 2.4. Mersin’in ve Tarsus’un (1955-2018) Thornthwaite yöntemiyle hesaplanan yıllık su bilançosu.

	P (mm)	ET_p (mm)	Faydalı Rezerv (mm)	ET_r (mm)	Su Fazlası (mm)	Su Eksiği (mm)
Mersin	598,39	992,72	500,66	401,65	196,74	591,07
Tarsus	612,62	976,88	493,12	421,67	190,95	555,20

Mersin istasyonu için hesaplanan yıllık su bilançosuna göre; toplam yıllık ortalama yağış miktarı (P) 598,39 mm, potansiyel buharlaşma (ET_p) 992,72 mm ve gerçek buharlaşma (ET_r) 401,65 mm'dir (Tablo 2.4). Tarsus istasyonu için hesaplanan yıllık su bilançosuna göre; toplam yıllık ortalama yağış miktarı (P) 612,62 mm, potansiyel buharlaşma (ET_p) 976,88 mm ve gerçek buharlaşma (ET_r) 421,67 mm'dir (Tablo 2.4).

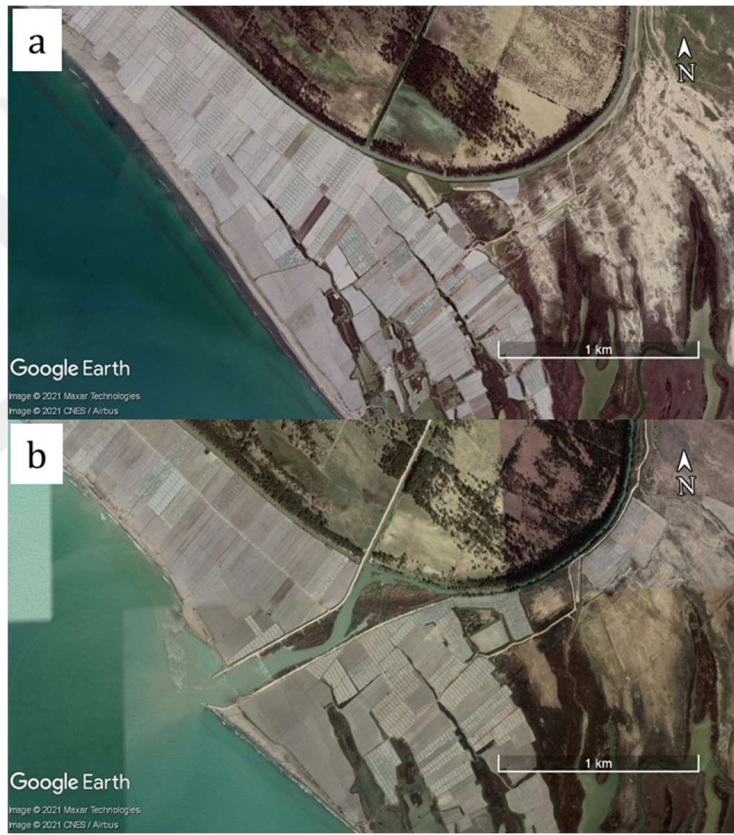


Şekil 2.7. Mersin'in ve Tarsus'un (1955-2018) yağış (P), potansiyel buharlaşma (ET_p) ve gerçek buharlaşma (ET_r) miktarlarının aylık değişimi.

2.3.3. Akarsular ve Akış

Tarihteki ismi *Cydnus* (Kidnos) olan ve suyunun soğuk olması nedeniyle Arapça kökenli 'Berdan' ismi verilen Tarsus Çayı [19] çalışma alanının doğu sınırını oluşturmaktadır. Yaklaşık 2000 km²'lik bir alanın sularını bünyesine alan Tarsus (Berdan) Çayı, Orta Toroslar'da bulunan

Bolkar Dağları'nın güneyinde yer alan Namrun Yaylası'nın 30 km kuzeydoğusundan kaynaklanmaktadır [20]. Kadıncık ve Cehennem derelerinin birleşmesi sonucu oluşan Tarsus (Berdan) Çayı, tüm havza içinde %48'lik bir oran ile en büyük drenaj alanına sahip akarsudur [21]. Uzunluğu yaklaşık olarak 142 km olan Tarsus (Berdan) Çayı kuzeyden itibaren kıyıya doğru eğimin azalmasıyla beraber ova içerisinde menderes yaparak akmaktadır. Denize yaklaştığında yönünü batıya çevirerek (Şekil 2.8a) Kulak mahallesi yakınlarında denize boşalan Tarsus (Berdan) Çayı'nın batıya doğru kıvrıldığı bölümünde DSİ tarafından bir kanal açılmıştır (2013 yılı sonrası). Bu kanalın açılması ile Tarsus Çayı, çalışma alanının doğu sınırına yakın bir kesimden denize boşalmaktadır (Şekil 2.8b).



Şekil 2.8. Tarsus (Berdan) Çayı'nın 2011 (a) ve 2020 (b) yıllarına ait uydu görüntüleri.

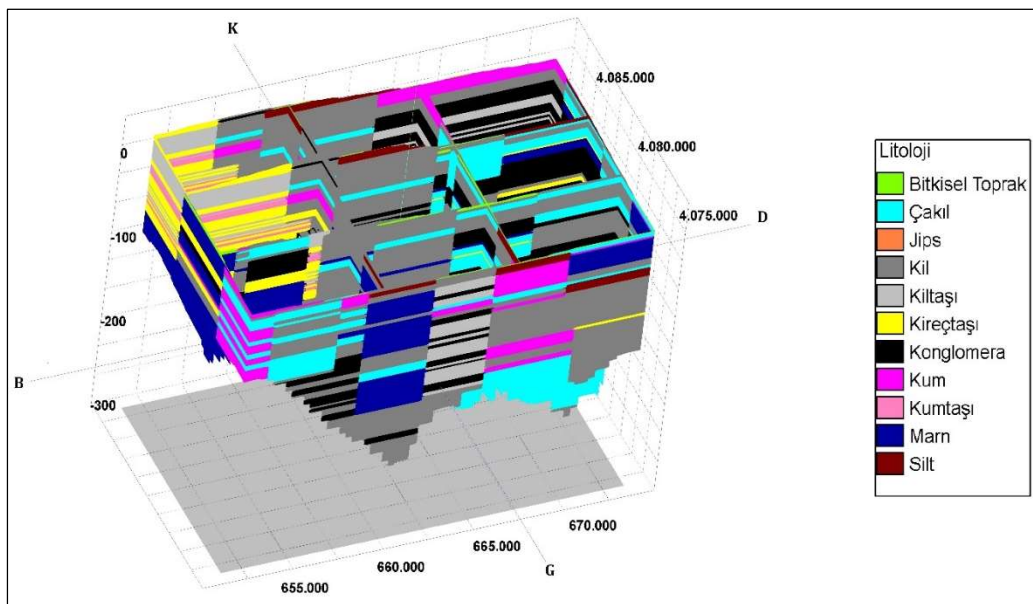
Tarsus (Berdan) Çayı'nı oluşturan kollardan Pamukdere üzerinde bulunan DSİ'ye ait Keşbükü akım istasyonundan alınan günlük verilere (1960-2015) göre; ortalama akış miktarı $12,438 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir [22]. Belirtilen tarihler arasında en yüksek akış miktarı $62,633 \text{ m}^3/\text{s}$ ile Nisan ayında, en düşük akış miktarı $0,976 \text{ m}^3/\text{s}$ ile Ekim ayında gözlenmiştir. Tarsus (Berdan) Çayı üzerinde bulunan EİE'ye ait Muhat Köprüsü akım istasyonundan alınan günlük verilere (1954-1993) göre; ortalama akış miktarı $38,790 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir [22]. Belirtilen tarihler arasında en yüksek akış miktarı $172,516 \text{ m}^3/\text{s}$ ile Mayıs ayında, en düşük akış miktarı $2,60 \text{ m}^3/\text{s}$ ile Aralık ayında gözlenmiştir.

Bölgedeki en önemli akarsulardan biri olan ve çalışma alanının batı sınırını oluşturan 55 km uzunluğundaki [23] Deliçay, genel olarak kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı olup Toros Dağları'ndan beslenmektedir [24]. Yaklaşık 440 km²'lik bir alanın [23] sularını toplayan Deliçay, çalışma alanının batı sınırını oluşturan Kazanlı-Karaduvar mahalleleri arasından denize boşalmaktadır. Deliçay üzerinde DSI'ye ait iki adet akım ölçüm istasyonu bulunmaktadır. Değirmendere istasyonundan alınan günlük verilere (1988-2003) göre; ortalama akış miktarı 0,378 m³/s, Puğkaraağaç istasyonu verilerine (2000-2015) göre; ortalama akış miktarı 1,287 m³/s'dir [22].

2.4. Hidrojeoloji

2.4.1. Tarsus Kıyı Akiferi

Bu çalışma kapsamında incelenen Tarsus Kıyı Akiferi, kaynağını Bolkar Dağları'ndan alan Tarsus (Berdan) Çayı ve Deliçay'ın getirmiş olduğu alüvyonlar ile oluşmuş bir kıyı ovasıdır. Çalışma alanındaki bu alüvyonların oluşturduğu akifer, yüksek verimliliğe sahip bir kıyı akiferidir [7]. Tarsus Kıyı Akiferi, bir delta ortamını temsil ettiğinden dolayı, litolojisi heterojen karaktere sahiptir [21]. Çalışma alanında kuzeyden güneye doğru kalınlıkları 30 ile 300 m arasında değişen kil, silt, kum ve çakıl birimleri (Şekil 2.9) yayılım göstermektedir [8]. Kıyı ovasında görülen kalın kil ve silt tabakalarından dolayı, bölgede basınçlı ve yarı-basınçlı akiferler mevcuttur [8]. Akifer kalınlığının kuzeybatıdan güneydoğuya doğru arttığı çalışma alanında, killi çakıl ve çakıl birimleri bünyelerinde yüksek miktarda su bulundurmaktadır [4].



Şekil 2.9. Tarsus Kıyı Akiferindeki litoloji değişimini gösteren Fence diyagramı.

2.4.2. Yeraltı Suyu Beslenimi ve Boşalımı

Tarsus Kıyı Akiferinin yeraltı suyu beslenimi doğal ve yapay olmak üzere iki farklı yolla gerçekleşmektedir. İfade edilen beslenme mekanizmaları aşağıda sıralanmıştır:

- a. Yağıştan (yağmur), tarımsal sulamadan ve atıksu deşarjlarından süzülen sular,
- b. Akarsu yataklarından (Deliçay ve Tarsus Çayı) veya yapay sulama kanal sistemlerinden sızıntılar,
- c. Çalışma alanını çevreleyen dağlık alandan ve Akdeniz'den (deniz suyu girişi) yeraltı suyu içeri akışı.

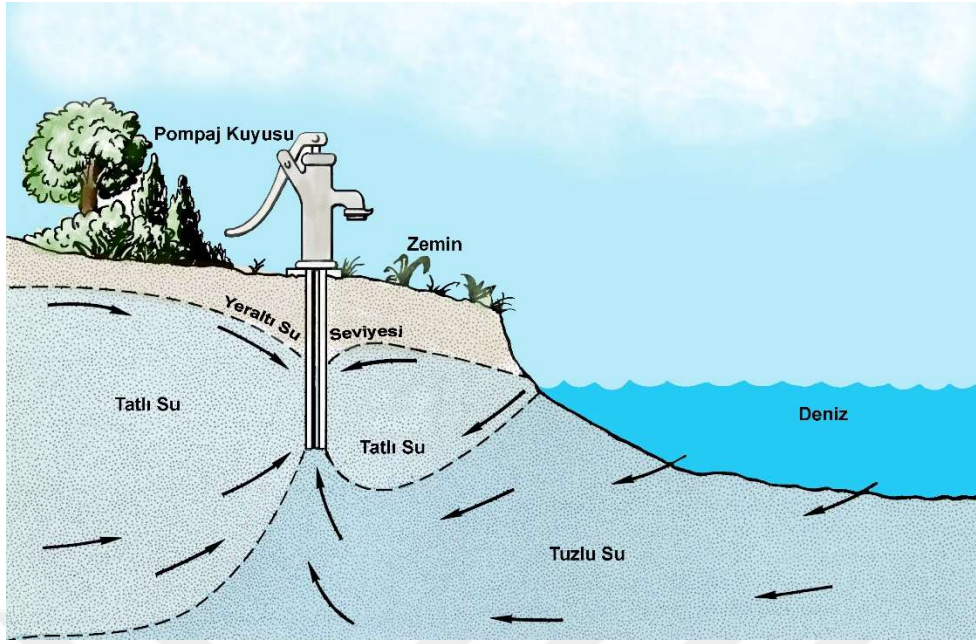
Bölgedeki yeraltı suyu akış yönleri, aşırı yeraltı suyu çekimi sebebiyle oldukça değişkenlik sergilemektedir [8]. Sığ yeraltı sularının buharlaşması, bitkilerden terleme, Akdeniz'e doğru yeraltı suyu akışı, akarsulardan yüzey akışı, kuyulardan pompaj ve açık drenaj kanallarından denize deşarj sistemleri Tarsus Kıyı Akiferinin boşalım mekanizmalarıdır. Mersin ili 2018 yılı çevre durum raporuna göre Tarsus kıyı ovasında 1315 resmi kayıtlı kuyu bulunmakta olup bu kuyulardan yılda 72.018.428 m³ su çekimi gerçekleşmektedir [20].

2.5. Akiferlerde Tuzlanmanın Nedenleri

2.5.1. Deniz Suyu Girişimi

Akdeniz'e kıyısı olan ülkelerde yaygın ve kritik bir sorun olan deniz suyu girişi, su kalitesini (içme-kullanma amaçlı) düşüren ve kıyı akiferlerinin geleceğini tehlikeli boyutta etkileyen faktörler arasında gösterilmektedir [10]. Kıyı akiferlerinde deniz suyu ile tatlı yeraltı suyu arasında yoğunluk farkına bağlı olarak bir girişim yüzeyi (tuzlu su kaması) oluşmaktadır [25].

Kıyı akiferlerinde düzensiz ve bilinçsiz bir şekilde yapılan pompaj nedeniyle tatlı suların miktarı hızlıca azalmakta, tatlı suların azalmasına bağlı olarak girişim yüzeyi arasındaki denge durumu bozulmaktadır. Aşırı pompajla birlikte, yeraltı sularının beslenme miktarı da tuzlanmayı etkileyen önemli bir faktör oluşturmaktadır. Pompaj ile çekilen su miktarının beslenme miktarından daha fazla olduğu kıyı akiferlerinde su tablasında düşüm konileri (Şekil 2.10) oluşmaktadır [26]. Girişim yüzeyinde tuzlu-tatlı su dengesi bozulduğundan dolayı deniz suyu tatlı su ile tekrardan dengeye ulaşana kadar kara içine doğru olan hareketini sürdürmektedir [27].



Şekil 2.10. Deniz suyu girişiminin kavramsal modeli [28].

Deniz suyunun yeraltı suyuna %1 oranında karışması ile tatlı yeraltı suyunun tuzluluğu yaklaşık olarak üç katına kadar çıkabilmektedir [29]. Deniz suyunun sprej etkisi ile karaya ulaşması ve buharlaşmaya bağlı olarak biriken tuz parçacıklarının yağışlar aracılığıyla yeraltı suyuna karışması da akiferde tuzlanmaya neden olmaktadır. Yukarıda tanımlanan güncel deniz suyu girişiminden ayrı olarak fosil deniz suları da tuzlanma açısından bir kaynak oluşturabilmektedir. Jeolojik tarih boyunca meydana gelen deniz seviyesindeki yükselmeler (transgresyon) nedeniyle kıyı ovaları su altında kalmıştır. Kıyı akiferlerinde uzun yıllar boyunca kalan deniz suyu, fosil deniz suyu olarak adlandırılmaktadır [10]. Akiferin yıkanmamış kısımlarında hapsolan bu sular, tatlı yeraltı sularını etkilemektedir. Fosil deniz suyunu tanımlamak için çeşitli yaşlandırma teknikleri kullanılmaktadır [29].

2.5.2. Jeojenik Süreçler

Akdeniz'in bazı kıyı akiferlerine has bir özellik olarak ifade edilen jeojenik süreçler (evaporitlerin çözünmesi ve katyon değişimi) çalışma alanı olan Tarsus Kıyı Akiferinde de tanımlanmıştır [8]. Miyosen'in son katı olan Mesiniyen'de (7,2-5,3 milyon yılları arası) tektonik ve iklim koşullarına bağlı olarak yaklaşık 6 milyon yıl önce Akdeniz kurumaya başlamış ve çok büyük bir tuz havzasına dönüşmüştür [30]. Hsü vd. [31]'nin yaptığı çalışmalar sonucunda, Akdeniz havzasında yaklaşık olarak 3000 m kalınlığa ulaşan tuz çökellerinin olduğu saptanmıştır. Mesiniyen Tuzluluk Krizi olarak adlandırılan bu olay sonucunda jips, anhidrit ve halitten oluşan evaporit çökelişi gerçekleşmiştir [32]. Yeraltı suyu ile temas halinde olan

evaporitler çözünerek, suyun tuzlu bir karakter almasına neden olmaktadır. Evaporitlerin çözünmesinden kaynaklanan tuzlanma, yeraltı suyunda ciddi seviyelere ulaşmaktadır ve bazı durumlarda kuyuların terk edilmesine yol açmaktadır [33].

Kil boyutundaki ($<2 \mu\text{m}$) taneler geniş spesifik yüzey alanına sahip olduklarından dolayı diğer tanelere göre daha tutucu olmaktadır [34]. Tuzlu su, tatlı su akiferine girdiğinde katyon değişimi gerçekleşmektedir [34]. Bu süreçle ilişkili olarak, sodyum, kalsiyumun yerini almakta ve yüksek tuzluluk oranı tipik olarak yüksek sodyum içeriği ile ilişkilendirilmektedir [10]. Kıyı akiferlerinde yeraltı suyunun bileşiminde genellikle kalsit çözünmesinden kaynaklanan kalsiyum ve bikarbonat iyonları hâkimdir [34]. Deniz suyunun baskın iyonu klorür sabit kalmakta ve deniz suyunun tatlı yeraltı suyu ile karıştığı bölgede katyon değişiminden dolayı baskın iyonlar kalsiyum ve klorür olmaktadır [34].

2.5.3. İklim Değişikliği

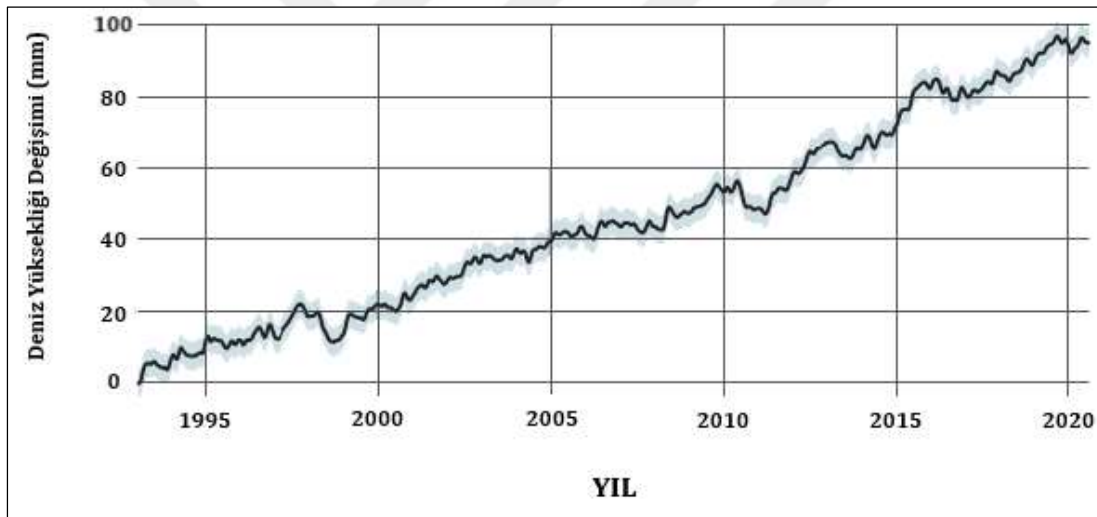
İklim değişikliği ve küresel ısınma, birbirini tamamlayan fakat tamamen aynı şey olmayan iki olgudur ve yıllardır alarm veren küresel sorunlar olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Çevre Koruma Ajansı (EPA) iklim değişikliğini, on yıllar veya daha uzun süren iklim ölçütlerinde (sıcaklık ve yağış gibi) meydana gelen kalıcı değişiklikler olarak tanımlamaktadır [35]. Küresel ısınma ise Dünya yüzeyinin yakınındaki atmosferin sıcaklığındaki ortalama artış olarak ifade edilmektedir [35].

1700'lerin başından itibaren Sanayi Devrimi'nin başlamasıyla birlikte üretim elemanları ve alanları genişlemekte, insan faaliyetleri (fosil yakıtların kullanımı, ormanlık alanların azaltılması gibi) sonucu olarak atmosferde bulunan sera gazlarının miktarı artmaktadır [35]. Isı tutma özelliğine sahip bu gazların artmasıyla 2019 yılına ait ortalama sıcaklık, Sanayi Devrimi öncesine göre $1,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ artmıştır [36]. Bu artışın özellikle hidrolojik döngü üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Sıcaklık artışıyla beraber havanın su tutma kapasitesi yükseldiğinden dolayı potansiyel buharlaşma miktarı artmaktadır [37]. Küresel ısınmadan dolayı aşırı buharlaşma, yağış azlığı, hızlı tüketim ve kirlilik nedeniyle temiz su kaynakları hızlı bir şekilde azalmaktadır [38]. Yağışlardaki düzensizlik ve buharlaşma miktarının artmasıyla beraber akiferlerin beslenme oranları büyük oranda değişmektedir [39]. Yeraltı suyu beslenme miktarının azalmasından dolayı kıyı akiferlerinde tuzlanma meydana gelmektedir [39]. Kıyı akiferinin beslenme miktarı azaldığında yeraltı suyunun denize doğru akış hızı ve gücü azalmaktadır. Bu durum girişim yüzeyindeki dengenin değişmesine neden olmakta ve deniz suyunun kıyı akiferinin daha iç noktalarına ilerlemesini kolaylaştırmaktadır.

Deniz seviyesinin yükselmesi, iklim değişikliğinin bir sonucu olup kıyı akiferlerinin tuzlanması önemli bir rol oynamaktadır. Sıcaklık artışı ile deniz seviyesi arasında iki farklı ilişki söz konusudur [35];

1. Buzullar ve buz tabakalarındaki erimelere bağlı olarak denizlerin su hacminin artması,
2. Suyun ısınmasıyla denizlerin bütün derinliği boyunca kümülatif olarak genişmesi.

Küresel sıcaklık artışı, atmosfer basıncını da etkilemekte olup atmosfer basıncının 1 milibar azalması deniz seviyesinin 10 mm yükselmesine neden olmaktadır [29]. Ghyben-Herzberg bağıntısına göre; deniz seviyesinde meydana gelen 1 m'lik bir artış tatlı su seviyesinde 40 m'lik bir azalmaya neden olmaktadır [29]. Küresel olarak deniz seviyesi yılda ortalama 3,3 mm yükselmektedir (Şekil 2.11) [40]. Akdeniz havzasında yapılan gelgit ölçümlerinden elde edilen verilere göre, deniz seviyesi yılda 1,8 mm yükselmektedir [41]. Yapılan modellemeler ile Akdeniz havzasında, buzulların erimesi ve termal genişlemeye bağlı olarak 2100 yılındaki deniz seviyesinin bugünkünden 500-1400 mm daha yüksek olabileceği belirtilmektedir [41].



Şekil 2.11. 1993-2020 yılları arası deniz yüksekliği değişim grafiği [40].

2.5.4. İnsan Aktiviteleri

Antropojenik kirleticiler, akifer sistemine girmekte ve yeraltı suyu tuzluluğunun artmasına neden olabilmektedir [42]. İnsan kaynaklı kirleticilerin tipik örnekleri; gübreler, evsel, endüstriyel ve tarımsal atıksular, petrol ve petrol türevi atıksular ve tuz giderme tesislerinden deşarj edilen tuzlu sulardır (salamura) [42].

Tarımsal sulama, Dünya'daki su kaynaklarının temel kullanım alanını oluşturmaktadır [33]. Küresel olarak yeraltı suları, içme suyunun yaklaşık %50'sini, tüm tarımsal sulamanın %43'ünü sağlamaktadır [43]. Mersin ilinin toplam tarım alanı 3296,7 km² [44] olup bu da ilin yüzölçümünün yaklaşık 1/5'ini oluşturmaktadır. Tarımsal sulamadan geri dönen suların

tuzluluk derecesini; ana sulama suyunun bileşimi, kimyasal katkı maddeleri ve sulanan toprağın yapısı belirlemektedir [10]. Yeraltı suyu ile beslenen sulama sistemlerinde, sulama suyu ile çözünen maddelerin geri çevrimi akiferlerin tuzlanmasına katkıda bulunmaktadır [33]. Bunun nedeni ise bitkilerin büyük ölçüde saf suyu bünyelerine almaları ve suda çözünmüş maddeleri dışarıda bırakmalarıdır [42]. Tarımdan geri dönen suların tuzluluğu, toprak tuzluluğunun bir fonksiyonu olup kurak ve yarı kurak bölgelerde toprağın doğal tuzluluğunun fazla olduğu belirtilmektedir [10]. Bu bölgelerde yağış miktarının az, buharlaşma miktarının fazla olması ciddi problemler oluşturmaktadır [33], buharlaşma ve terleme miktarı beslenme miktarını aştığında tuz miktarı da artmaktadır [10].

Tarımsal faaliyetlerde ürün verimliliğini arttırmak için azot, fosfor, potasyum, klorür, kalsiyum, magnezyum ve kükürt bileşimli gübreler genellikle sulama suyuna eklenmektedir. [33]. KCl tuzlarının gübre olarak kullanılması yeraltı suyunda klorür miktarının artmasına neden olmaktadır [10]. Tarımsal faaliyetlerle ilişkilendirilen bir diğer tuzluluk kaynağı da hayvansal atıklardır [10]. Yüksek derişimlerde klorür, sodyum ve potasyum içeren hayvansal atıkların uzun süreli gübre olarak kullanımı yeraltı sularında tuzluluk miktarını arttırmaktadır [10].

Genel olarak, yeraltı sularında düşük miktarda potasyum bulunmaktadır ve potasyumun kil minerallerine tutunmasından dolayı yeraltı sularındaki düşük K^+/Cl^- oranları tarımsal sulamayla ilişkilendirilmektedir [45]. Aşırı sulama, tuzlu akiferlerin su seviyesini yükselterek tuzlu yeraltı suyunun su yollarına sızmasına ve diğer tatlı su akiferlerinin tuzlanmasına neden olmaktadır [46].

Kıyı bölgelerindeki nüfus yoğunluğu ve kentsel atıkların da sınırlı alanlarda yeraltı suyunun tuzlanmasında önemli bir kaynak oluşturduğu bilinmektedir. Evsel atık sularda bulunan tuzların kaynağını deterjanlar, temizlik tozları ve bulaşık yıkamada kullanılan çeşitli kimyasallar oluşturmaktadır [10]. Beyazlatma maddesi olarak sodyum-borat kullanımından dolayı evsel atıksularda yüksek derişimlerde bor bulunmaktadır [10]. Yumuşatılan ve geri yıkama olarak kullanılan sularda klorür miktarı 10000 mg/L ve sodyum miktarı 6000 mg/L'ye kadar ulaşabilmektedir [47]. Kanalizasyon sistemlerinde gerçekleştirilen arıtma işlemleri sonucunda, sularda yalnızca bulanıklık, organik bileşenler ve besin yükleri azalmaktadır [10]. Atıksu arıtma tesislerinde, ek olarak tuz ayırma işlemi yapılmadığı sürece bu sularda çözünmüş inorganik tuzların miktarlarında bir azalma meydana gelmemektedir [10]. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde atık suların tarımsal sulama amaçlı kullanılması yaygınlaşmaktadır [10]. Bu sularda tuzların varlığı uzun yıllar gerçekleşecek olan sulama faaliyetleri sonucunda akiferin tuzlanması bakımından önemli bir risk oluşturmaktadır [10].

2.6. Hidrojeokimya

Yeraltı suları, çeşitli bileşime sahip kayalarla etkileşime girerek bu kayalardaki elementleri bünyelerine almaktadırlar [7]. Ayrıca, farklı kaynaklardan gelen kimyasal maddeler de yeraltı sularında bulunmaktadır [7]. Yeraltı sularının içme, kullanma ve tarımsal sulama amaçlı kullanılabilirliğini belirlemek için bazı özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bununla beraber, yeraltı suyu örneklemesi ve kimyasal analizleri oldukça maliyetli olabilmektedir [34]. Bu nedenle, belirli bir soruna odaklı yapılan çalışmalar için hangi verilerin gerekli olduğunu önceden değerlendirmek kritik bir öneme sahiptir [34]. Standart bir yeraltı suyu kimyasal analizinde; çoğu zaman çeşitli fiziksel (sıcaklık, pH, Eh, elektriksel iletkenlik ve çözünmüş oksijen) ve kimyasal parametrelerin (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Cl^- , CO_3^{-2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} , NO_3^- , NO_2^-) ölçüm ve analizleri yapılmaktadır [34]. Bu parametrelerle birlikte akiferlerin tuzluluk mekanizmalarını ortaya koymak amacıyla yapılan çalışmalarda brom (Br), stronsiyum (Sr), bor (B) ve lityum (Li) gibi elementler de gösterge olarak kullanılmaktadır [29]. İzleyen bölümlerde, bu parametreler detaylı olarak açıklanmıştır.

2.6.1. Fiziksel Parametreler

2.6.1.1. Sıcaklık (°C)

Yüzey sularına göre daha düşük olan yeraltı suyu sıcaklığı, yeraltı su seviyesine, coğrafi konuma ve çevresel faktörlere göre değişkenlik göstermektedir [48]. Genellikle kara yüzeyinin ortalama hava sıcaklığına eşit olan yeraltı suyu sıcaklığı, yıl içinde dar bir aralıkta değişmektedir [49]. Yeraltı suyu sıcaklığı, yeraltı suyu akış izleyicisi ve ortamdaki kırılabilirliğin bir göstergesi olarak kullanılabilir [50]. Yeraltı suyu sıcaklık artışının olduğu bölgelerde beslenmenin olmadığı ve buralarda tuzlu su miktarının arttığı belirtilmektedir [50].

2.6.1.2. Hidrojen iyonu derişimi (pH)

Hidrojen iyonu aktivitesi anlamına gelen "pH" [27] 0 ile 14 arasında değişmekte olup suların asit-baz özelliğini belirlemek için kullanılmaktadır [51]. Sudaki H^+ iyonu derişiminin artmasıyla 7'nin altına düşen pH değeri, suyun asidik özellik kazanmasına, sudaki H^+ iyonu derişiminin azalmasıyla da 7'nin üzerine çıkarak, suyun bazik özellik kazanmasına neden olmaktadır [51]. Sıcaklık ile ilişkili olan pH değeri [52], suların etkileşim halinde olduğu kayaların bileşimine göre değişiklik göstermektedir. Yağmur suyunun pH değeri 5,6 civarındayken [27], yeraltı sularının pH değeri genellikle 6,0-8,5 arasında değişmektedir [27].

2.6.1.3. Elektriksel iletkenlik (EC)

Elektriksel iletkenlik değeri, suyun etkileşimde olduğu kayacın/kayaçların cinsine, iyon türü ve miktarına, sıcaklığa ve yağış miktarına göre değişkenlik göstermekte olup birimi $\mu\text{Siemens/cm}$ ($\mu\text{S/cm}$) ile ifade edilmektedir [53]. Elektriksel iletkenlik bir akiferin tuzluluğunu gösteren önemli bir parametredir. Deniz suyunun EC değeri ortalama 51000 $\mu\text{S/cm}$ 'dir [54]. Yüksek EC değerlerinin ($>1000 \mu\text{S/cm}$) tuzlu su girişi olayını gösterdiği kabul edilmektedir [55]. Elektriksel iletkenlik, sulama suyu kullanımıyla ilişkili tuzluluk tehlikesi için bir ölçüt (Tablo 2.5) olarak kabul edilmektedir [56].

Tablo 2.5. Suların elektriksel iletkenlik değerlerine göre sınıflandırılması [53, 56].

Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	Su Sınıfı	Tuzluluk Değeri
<250	Çok iyi	Düşük derecede tuzluluk seviyesi
250-750	İyi	Orta derecede tuzluluk seviyesi
750-2250	İzin verilebilir	Yüksek derecede tuzluluk seviyesi
>2250	Kullanılmaz	Çok yüksek derecede tuzluluk seviyesi

2.6.1.4. Çözünmüş oksijen (ÇO)

Çözünmüş oksijen, suyun içinde serbest halde bulunan oksijen (O_2) seviyesi olarak tanımlanmaktadır. Sucul organizmaların hayatta kalması ve gelişmesi için gerekli olan çözünmüş oksijen, iz elementlerin değerlik durumunu düzenleyerek yeraltı ve yüzey suyu kalitesi değerlendirmelerinde gösterge olarak kullanılmaktadır [57, 58]. Oksijen, herhangi bir geçirimsiz birimle sınırlandırılmamış atmosferle temas halinde olan akiferlerde, vadoz (doymamış) bölgeden ve akiferin yüzey suyu ile etkileşim halinde olduğu bölgelerden yeraltı suyuna girmektedir [59].

Su analizlerinde, çözünmüş oksijen mg/L veya yüzde (%) cinsinden ifade edilmektedir [27]. Sudaki çözünmüş oksijen derişimi, ortam sıcaklığı, atmosferik basınç ve iyon aktivitesi gibi birçok faktörden etkilenmektedir [57]. Çözünmüş oksijen sıcaklık ile ters orantılıdır. Soğuk su, sıcak suya göre daha fazla çözünmüş oksijen derişimine sahiptir [27, 57]. Tuz iyonlarının varlığı suyun oksijeni çözme yeteneğini kısıtlamaktadır [60]. Akiferlerin tuzluluğu arttıkça yeraltı suyunun çözünmüş oksijen miktarı düşmektedir [60]. Genellikle 3 mg/L ve altındaki çözünmüş oksijen seviyeleri kritiktir ve 1 mg/L'nin altındaki sularda oksijen eksikliğinden bahsedilmektedir [61].

2.6.2. Kimyasal Parametreler

2.6.2.1. Kalsiyum (Ca^{+2}) ve Magnezyum (Mg^{+2})

Kalsiyum, %3,85 oranla [62] yer kabuğunda en çok bulunan beşinci element olup toprak alkali metalleri arasında da en yaygın bulunan elementtir [27]. Birçok magmatik kayaç mineralinin ana bileşeni olan kalsiyum, metamorfik kayaçlarda da bulunmaktadır [27]. Bu kayaçlar ile temas eden sular bünyesine kalsiyumu alırken, yeraltı sularındaki kalsiyumun ana kaynağını kalsit (CaCO_3), aragonit (CaCO_3), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), anhidrit (CaSO_4) ve jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) gibi karbonat ve sülfat içeren mineraller oluşturmaktadır [48]. Deniz suyu girişiminin olduğu kıyı akiferlerinde iyon değişiminden dolayı sodyum ile kalsiyum yer değiştirmektedir [63]. Karışım bölgesindeki suların kalsiyum miktarı artmakta, bu suların tipi kalsiyum-klorür (CaCl) olmaktadır [63]. Deniz suyunda yaklaşık 411 mg/L kalsiyum bulunmaktadır [64].

Magnezyum (Mg^{+2}), magmatik kayaçlardaki ferromagnezyen minerallerin önemli bir bileşeni olup yeraltı sularındaki ana kaynağı dolomittir ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) [27, 48, 52]. Yeraltı sularında kalsiyumdan sonra en yaygın bulunan katyon olan magnezyum [47], deniz suyunun da önemli bir bileşenidir (1290 mg/L) [64]. Deniz suyunun buharlaşması, sülfatın indirgenmesi, HCO_3^- oluşumuna bağlı CaCO_3 'ün çökmesi ve karbonat iyonlarının sudan uzaklaşması gibi birkaç jeokimyasal sürece neden olmaktadır [63]. Bu aktiviteler $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ oranında artışa yol açmakta ve bir dolomitleşme süreci görülebilmektedir [63]. $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ oranının artmasına neden olan bir diğer süreç ise jipsin çökmesi sonucu kalsiyum miktarındaki azalmadır [63].

2.6.2.2. Sodyum (Na^+) ve Potasyum (K^+)

Magmatik kayaçlarda potasyumdan daha fazla bulunmasına rağmen, sodyum en fazla evaporitlerde ve deniz suyunda bulunmaktadır [27]. Deniz suyundaki sodyum miktarı ortalama 10800 mg/L'dir [64]. Yüksek katyon değişim kapasitesine sahip killerin yüzeylerinde tutulan sodyum, bu mineraller ile etkileşime giren suların bünyesine katılmaktadır [27]. Özellikle evaporitlerle ilişkili yeraltı sularındaki sodyum derişimi yüksektir [27]. Kıyı bölgelerindeki akiferlerde, deniz suyu girişimi sonucu ve tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübrelerin etkisi ile yeraltı sularında sodyum derişimi artmaktadır [52].

Sulama amaçlı kullanılan suların kalitesi değerlendirildiğinde, değiştirilebilir sodyum miktarı belirleyici rol oynamakta olup yüksek sodyum içeriği su kullanımını sınırlamaktadır (Tablo 2.6). Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR), sodyum tehlikesi için aşağıda verilen denklemle

(3) hesaplanmakta olup değiştirilebilir sodyum miktarının göstergesidir [56]. SAR değeri 15'ten yüksek olan sular, tuzlu su olarak kabul edilmektedir [65].

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (3)$$

Tablo 2.6. Sodyum Adsorbsiyon Oranına göre sulama suyu sınıflaması [53, 56].

SAR	Su Sınıfı	Sodyum Riski
<10	Çok iyi	Düşük sodyumlu su; bütün topraklarda kullanılabilir.
10-18	İyi	Orta sodyumlu su; yüksek kation değişim kapasitesine sahip topraklarda tehlikeli olabilir.
18-26	İzin verilebilir	Yüksek sodyumlu su; çoğu toprak için risklidir. Özel şartlar, iyi drenaj ve organik madde ilavesi gereklidir.
>26	Uygun değil	Çok yüksek sodyumlu su; sulama amaçlı kullanımı önerilmemektedir.

Potasyum (K⁺), alkali metallerin bir üyesidir. Silikat kayaçlarını oluşturan minerallerin yapısında bulunmasına rağmen tortul kayaçlardaki potasyum miktarı daha fazladır [27]. Özellikle K-feldispatlar ve diğer minerallerin yapısından ayrılması zor olan potasyumun, doğal sulardaki miktarı sodyuma göre daha düşük seviyelerdedir [27]. Sodyum ve potasyum genellikle klorür ve bromür ile ilişkilidir ve bu formlarda daha kolay çözünmektedir. Evaporitler ve potasyum tuzu yatakları, tuzlu sulardaki yüksek potasyum derişimleri için önemli bir kaynak oluşturmaktadırlar [27]. Deniz suyundaki potasyum miktarı ortalama 392 mg/L'dir [63]. Yoğun olarak kullanılan potasyumlu gübreler yeraltı sularındaki potasyum derişimini arttıran önemli bir faktördür.

2.6.2.3. Karbonat (CO₃⁻²) ve Bikarbonat (HCO₃⁻)

Karbonat akiferlerinin beslenme alanlarında ve üst akış yolları boyunca, yeraltı suyunun anyon içeriğine öncelikle HCO₃⁻ hâkim olmaktadır [63]. Yeraltı sularındaki karbonat ve bikarbonatın kaynağını karbonat kayaçları, atmosfer ve topraktaki karbondioksit oluşturmaktadır [7, 48, 52]. Sulardaki karbonat ve bikarbonat miktarı suyun pH değerine (Tablo 2.7), sıcaklığına ve karbondioksit miktarına bağlıdır [7, 48, 52]. Atmosfer kökenli karbondioksite açık ve kalsitle dengede olan bir suyun pH'ı 8,3'tür [66]. Doğal sulardaki bikarbonat, genellikle karbonat dengesinin etkisi nedeniyle aşırı yüksek miktarlara ulaşmamaktadır [27].

Tablo 2.7. Karbonat türlerinin (20°C'de) pH değerine göre dağılımı [66].

pH	Karbonik Asit (%)	Bikarbonat (%)	Karbonat (%)
2,00	99,99	0,01	
3,00	99,96	0,04	
4,00	99,60	0,40	
5,00	96,00	4,00	
6,00	70,60	29,40	
6,38	50,00	50,00	
7,00	5,20	94,80	
8,00	2,30	97,70	
9,00		96,00	4,00
10,00		70,60	29,40
10,38		50,00	50,00
11,00		5,20	94,80
12,00		2,30	97,70
13,00		0,20	99,80

2.6.2.4. Klorür (Cl⁻)

Klorür (Cl⁻), doğal suların çoğunda yaygın olarak bulunan ve çoğunlukla Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺, Sr ve Ba gibi elementlerle tuz bileşiği oluşturan bir elementtir [48]. Yüksek miktarda tortul kayalardan, özellikle de evaporitlerden suya geçen klorürün magmatik kayalardaki miktarı azdır [52]. Akiferlerde eriyebilen tuzların çözünmesinin bir sonucu olarak klorür derişimi akiferin akış yolu boyunca boşalım alanına doğru artmaktadır [63]. Yeraltı suyundaki klorür hem doğal hem de insan kaynaklı olabilmektedir. İnsan kaynaklı klorüre, buz çözücü tuzlar, inorganik gübrelerin kullanımı, düzenli depolama sahalarındaki sızıntılar, evsel atıksular, hayvan yemleri, endüstriyel atıksular ve tarımsal sulamadan geri dönen sular örnek verilebilir. Kıyı bölgelerinde deniz suyu girişimi, denizin sprej etkisi ve deniz seviyesindeki yükselimler yeraltı sularındaki klorür miktarlarını kritik seviyelere çıkarmaktadır. Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimini değerlendirmek amacıyla konservatif bir izleyici olan klorür, Appelo ve Postma'nın [34] önerdiği deniz suyu fraksiyonunu (f_{sea}) hesaplamak için kullanılmaktadır. Klorür bütün doğal sularda bulunmakta olup çoğunlukla derişimi düşüktür [27]. Yağmur suyundaki miktarı yaklaşık 1 mg/L olan klorür [7], yüzey ve yeraltı sularında 1-100 mg/L arasında bulunmaktadır. Deniz suyundaki klorür miktarı ortalama 19400 mg/L'dir [64].

2.6.2.5. Sülfat (SO_4^{-2})

Bir anyon (SO_4^{-2}) olan sülfat, saf sülfür, sülfür mineralleri ve organik sülfürün oksidasyonu sonucu oluşmaktadır [67]. Sülfat, havada, toprakta ve suda yaygın olarak bulunan bir kimyasal maddedir [68]. Kolayca çözünebilir olduğundan birçok yeraltı suyu ve yüzey suyunda yüksek derişimlerde bulunmaktadır. Yeraltı sularındaki sülfatın yaklaşık %30'u atmosferik kaynaklı olup geri kalanı ise jeolojik ve biyolojik süreçlerle ilişkilidir [67]. Jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), birçok akiferde yüksek sülfat derişimine neden olmaktadır [68]. Sodyum, potasyum, magnezyum, kalsiyum ve baryum sülfat tuzları doğada yaygın olarak bulunmakta ve bunlar çoğu zaman suda kolayca çözünbilmektedir [67]. Endüstriyel atıklar ve sülfatlı gübrelerin kullanılması da yeraltı sularında sülfat derişimini artırmaktadır. Tatlı sularda sülfat miktarı genellikle 3-30 mg/L arasında değişmekte olup bazı bölgelerde daha yüksek seviyelere de rastlanılmıştır [67]. Deniz suyundaki sülfat miktarı ortalama 2700 mg/L'dir [67].

2.6.2.6. Nitrat (NO_3^-) ve Nitrit (NO_2^-)

Atmosferde en çok bulunan element olan azot (N) çeşitli oksidasyon durumlarında nitrat (NO_3^-) ve nitrit (NO_2^-) olarak bulunmaktadır [27]. Nitrit, nitrata göre daha kararsızdır ve indirgenme ortamı dışında genellikle derişimi düşüktür. Nitrifikasyon sonucu nitrit miktarı 0,2-1,5 mg/L arasındaki değerlere yükselebilmektedir [27]. Nitrit, kanalizasyon veya organik atıkların deşarjı sonucu oluşan kirliliğin göstergesi olarak kabul edilmektedir [27]. Yeraltı sularının çözünmüş oksijen miktarı yüksek olduğunda kararlı olan nitrat, bu durumda daha yaygın olarak görülmektedir [69]. Azotlu organik bileşiklerin oksidasyonu, hayvansal gübreler ve aşırı gübre kullanımı, septik tanklar ve kanalizasyon deşarjları ile sanayi atıkları yeraltı suyundaki nitratın kaynaklarını oluşturmaktadır [34, 69].

2.6.2.7. Brom (Br)

Doğal suların bir iz bileşeni olan brom [70], yaygın olarak Br^- formunda bulunur [27]. Yeraltı sularındaki bromürün doğal kaynakları yağışlar, deniz suyu ve evaporitlerin çözünmesidir [70]. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan metilbromür ve diğer organik bromürler yeraltı suyundaki brom miktarını arttırmaktadır [71]. Tatlı sulardaki derişimi, tuzlu sulara göre oldukça düşük olan brom, klorür gibi konservatif özellik sergilemektedir [63] ve buharlaşma süreçleri sırasında konservatif davranarak geride kalan tuzlu suda yoğunlaşmaktadır [72]. Brom, yağmur ve kar suyunda 5-150 $\mu\text{g/L}$ arasında [27], tatlı sularda 0,5-1,0 mg/L arasında

[73] bulunurken, deniz suyundaki miktarı ortalama 67,3 mg/L'dir [64]. Deniz suyu girişiminden etkilenen bölgelerde Cl⁻/Br oranı deniz suyuna benzer bir oran sergilemektedir [71]. Deniz suyu girişiminden farklı tuzlanma mekanizmalarının belirlenmesi amacıyla (evaporitlerin çözünmesi ve antropojenik) Cl⁻/Br oranı kullanılmaktadır. [55, 71].

2.6.2.8. Stronsiyum (Sr)

Kimyasal olarak kalsiyum ile benzerlik gösteren stronsiyum [27], çoğu kaya türünde ölçülebilecek miktarlarda bulunmaktadır [55]. Akiferleri oluşturan birçok litolojik birim, suda çözünmüş olarak bulunan stronsiyumun ana kaynağını oluşturmaktadır [55]. Yeraltı sularındaki stronsiyum derişiminde meydana gelen artışlar, suyun akiferde kalma süresi ile paralellik gösterdiğinden dolayı çevresel izleyici olarak tercih edilen bir iyondur [74]. Deniz suyundaki derişimi ortalama 8,1 mg/L [64] olan stronsiyumun yeraltı sularındaki derişimindeki artış klorür ile doğru orantılı olup kaynağını büyük ölçüde deniz suyu oluşturmaktadır [75]. Bununla birlikte, stronsiyum derişimi teorik tatlı su-deniz suyu karışımının üstünde artabilmekte, bu da farklı süreçlerin etkili olduğunu göstermektedir [75]. Stronsiyum yeraltı sularının farklı tuzlanma mekanizmalarını açıklamak için klorür, sodyum ve sülfat iyonlarının tamamlayıcısı olarak kullanılmaktadır [76]. Yeraltı sularında bulunan sülfat ve stronsiyum miktarlarında görülen artışlar, evaporitler ile ilişkili olup yüksek değerler deniz suyu girişiminden ayrı olarak evaporitlerin çözünmesine işaret etmektedir [77].

2.6.2.9. Bor (B)

Bor, deniz suyunda, tortul kayalarda, kömürde, şeylde ve bazı topraklarda doğal olarak bulunan bir elementtir [77]. Volkanik kayalar, jeotermal kaynaklar ve evaporitlerin bulunduğu tuzlu ortamlar gibi farklı jeolojik alanlarda bulunabilmektedir [71]. Bor elementinin yer kabuğundaki ortalama miktarı 10 mg/kg [77] olup deniz suyundaki derişimi ise ortalama 4,45 mg/L'dir [64]. Yeraltı sularındaki bor miktarı drenaj alanının jeokimyasal özelliklerine, akiferin denize olan uzaklığına, evsel ve endüstriyel atıkların miktarı gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [78]. Yeraltı sularındaki bor miktarı 0,3-100 mg/L arasında değişmektedir [79]. Bor, deniz suyunda yüksek miktarda bulunduğundan dolayı, kıyı akiferlerinde deniz suyu girişiminin göstergesi olarak kullanılmaktadır [71]. Literatürde yeraltı suyunun tuzlanma mekanizmasını açıklamak amacıyla klorür ve lityum gibi iyonlarla beraber bor da kullanılmaktadır. Tuzlu suların olduğu alanlarda bor derişimi artmakta olup çeşitli iyon oranlarına göre evaporitlerden kaynaklanan tuzlanma ayırt edilebilmektedir [71].

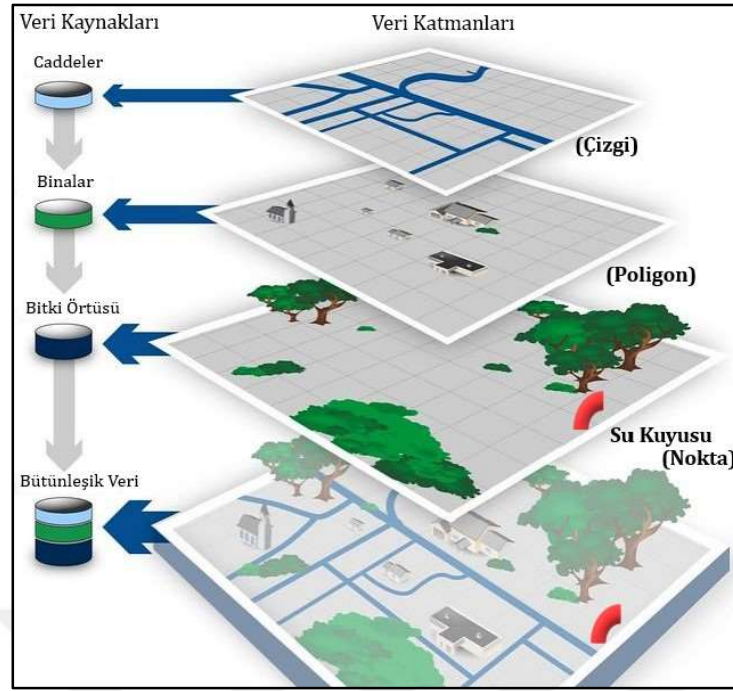
2.6.2.10. Lityum (Li)

Sudaki lityum derişimi su-kayaç etkileşim süresine bağlı olup [71] bu etkileşim sırasında yeraltı suyuna geçme eğilimi olan bir elementtir [80]. Lityumun deniz suyundaki derişimi yaklaşık olarak 0,17 mg/L'dir [64]. Lityumun yeraltı suyundaki derişimi, deniz suyu girişiminin görüldüğü bölgelerde, deniz suyunun akiferde kalma süresinin bir göstergesi olarak kullanılabilmektedir [81]. Deniz suyu girişiminden etkilenen kıyı akiferlerinde lityum ve klorür arasında (başka su girişi olmadığı varsayılarak) doğrusal bir ilişki bulunmaktadır [55]. Ayrıca, yeraltı sularının yüksek lityum derişimine sahip olması evaporitlerle de (jips ve anhidrit) ilişkilendirilebilmektedir [71].

2.7. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)

Coğrafi bilgi sistemi (CBS), mekânsal referanslı verilerin üretimi, depolanması, kontrolü, bütünleştirilmesi, işlenmesi, görüntülenmesi ve analizi için kullanılan özel bir bilgi sistemi çeşididir [82]. CBS'nin sayısal haritalara ve diğer mekânsal verilere dönüşüm için bir giriş alt sistemi, depolama ve erişim alt sistemi, analiz alt sistemi ve haritalar, tablolar ile coğrafi sorgulara yanıt üretmek için çıktı alt sistemi olmak üzere dört bileşeni vardır [83]. CBS'de vektör ve raster veri olmak üzere iki veri yapısı kullanılmaktadır [84]. Belirli bir koordinata (x, y) sahip olan vektör veriler, çizgi, poligon (alan) ve nokta olmak üzere üçe ayrılmaktadır [84]. Birbirine komşu grid yapıdaki hücrelerin (piksel) bir araya gelmesi ile raster veri yapısı oluşmaktadır [84].

Haritada sokaklar, binalar ve bitki örtüsü gibi birçok farklı türde veri gösterilebilmektedir (Şekil 2.12). CBS teknolojisi, kaynak veya orijinal formatı ne olursa olsun, tüm bu farklı bilgi türlerinin tek bir harita üzerinde üst üste bindirilmesini sağlamaktadır (Şekil 2.12). Böylelikle şekillerin ve aralarındaki ilişkilerin daha kolay görülmesi, analiz edilmesi ve anlamlandırılması sağlanabilmektedir. CBS yardımıyla kirlilik üreten mekanizmalar ile yeraltı ve yüzey suları gibi kirliliğe karşı hassas sistemler harita üzerinde görselleştirilmektedir. Böylelikle su kaynaklarının en fazla risk altında olduğu yerler daha net olarak belirlenebilmektedir.



Şekil 2.12. CBS'de veri temalarının şematik gösterimi [85].

2.8. Önceki Çalışmalar

Ternek [86], Adana Havzasının genel jeolojisi ve Mersin-Tarsus kuzey batısındaki Alt Miyosen formasyonları üzerine bir araştırma yaparak, bu bölgenin petrol olanaklarını araştırmıştır.

Şenol vd. [13], 1/100.000 ölçekli Mersin O33 paftasının kapsadığı alanda detaylı bir jeolojik çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, Kuvaterner öncesi birimlerle birlikte, bölgenin jeolojisi ve jeomorfolojisi detaylı olarak incelenmiş ve diğer çalışmalara temel teşkil edecek haritalar hazırlanmıştır.

Alan vd. [87], Orta Toroslar'ın doğu kesiminde bulunan Ereğli (Konya), Ulukışla (Niğde), Karsantı (Adana) ve Namrun (İçel) ilçeleri arasında kalan bölgenin jeodinamik evrimine yönelik bir araştırma yapmışlardır. Bölgede stratigrafi, metamorfizma ve yapısal özelliklerine göre beş farklı yapısal birim ile bunları örten Tersiyer yaşlı çökeller ayırt edilmiştir.

Özer [88], Berdan Çayı üzerindeki sekiz farklı noktadan su örnekleri alarak kirlilik yaratan kaynakları belirlemek amacıyla suların fiziksel ve kimyasal parametrelerini analiz etmiştir. Analiz sonuçları, su kalite kriterleri ve sulama suyu standartları ile karşılaştırılmış, yersel ve uydu verileri kullanılarak çalışma alanına ait çok amaçlı bir CBS veri tabanı oluşturulmuştur.

Demirel [4], Mersin-Kazanlı bölgesinde bulunan yeraltı sularının tuzluluk geçmişini ortaya koymak ve mevcut tuzluluk durumunu tanımlamak amacıyla bir çalışma yapmıştır.

Araştırmacı tarafından kuyulardan klorür (Cl^-) analizi için belirli aralıklarla su örnekleri alınmış ve yerinde elektriksel iletkenlik (EC) ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışma ile bölgedeki yeraltı suyu tuzluluğunun kaynağının, akiferden aşırı su çekimi nedeniyle gerçekleşen deniz suyu girişimine bağlı olduğu ve tuzlu su girişiminin 1980 yılında başladığı belirlenmiştir.

Hatipoğlu [21], doktora tez çalışması kapsamında Mersin-Tarsus arasındaki kıyı ve yamaç akiferlerinin hidrojeokimyasal özelliklerinin ve yeraltı suyu kalitesi ile kirlilik düzeyinin belirlenmesine yönelik bir çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında su kimyası, hidroloji ve izotop verileri değerlendirilmiş olup bu veriler CBS ortamına aktarılmıştır. Bu çalışmada, Kazanlı ve çevresindeki tarım ve sanayi amaçlı kullanılan kuyuların yoğunluğuna bağlı yeraltı su seviyesi düşümleri meydana geldiği belirtilmiş, klorür (Cl^-) kullanılarak yeraltı suyundaki deniz suyu katkı oranlarını tespit edilmiştir.

Güler vd. [24], Mersin şehir merkezi doğusunda bulunan Karaduvar bölgesindeki yeraltı suları ve toprakların kalitesini etkileyen doğal ve antropojenik kökenli faktörleri ortaya koymak amacıyla geniş kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar çeşitli istatistik-jeostatistik yöntemler kullanılarak yorumlanmış olup oluşturulan CBS veri tabanı yardımıyla çeşitli kirlilik haritaları hazırlanmıştır. Oluşturulan hidrojeokimyasal modeller (PHREEQCI yazılımı ile) yardımıyla, bölgedeki yeraltı suyu kimyasını etkileyen doğal ve insan kaynaklı bileşenler ortaya konulmuştur.

Güler [6], petrol türevleriyle kirlenmiş Karaduvar kıyı akiferinde çeşitli gösterge parametrelerini kullanarak çalışma alanını karakterize etmiştir. Bu çalışma ile toplam 55 örnekleme noktasında, yeraltı suyu fiziko-kimyasal parametreleri bir yıl boyunca takip edilmiş, çözünmüş oksijen, nitrat, mangan (IV), demir (III) ve sülfat parametrelerinin biyolojik bozunmayı gösterdiği belirtilmiştir. Bununla birlikte, aşırı su çekimi, dikkatsiz arazi kullanımı, kasıtlı atıksu deşarjları ve deniz suyu girişi sonucu yeraltı suyunun kalitesinin ve miktarının önemli ölçüde bozulduğu tespit edilmiştir.

Korkut [69], Deliçay-Tarsus Çayı (Mersin) arasındaki bölgedeki yeraltı sularında nitrat ve nitrit kirliliğinin araştırılması konulu bir yüksek lisans tez çalışması yapmıştır. Yeraltı suyu örneklerin yerinde fiziksel parametreleri ölçülmüş ve örneklerin nitrat ve nitrit miktarları spektrofotometrik yöntemlerle tespit edilmiştir. CBS yardımıyla yeraltı suyu fiziksel parametrelerinin değişimi, nitrat ve nitrit kirliliklerinin miktarı ve alansal yayılımları belirlenmiştir.

Kurt [7], doktora tezi kapsamında Deliçay-Tarsus Çayı (Mersin) arasında yer alan bölgenin toprak profillerinin mineralojisini belirlemiştir. Bu çalışma kapsamında, hidrolik iletkenlik ölçümlerinin yanı sıra, toprak ve yeraltı suyu örneklerine ait çeşitli fiziko-kimyasal parametreler analiz edilmiştir. Çalışmada, fiziksel ve kimyasal parametrelerin sonuçları içme ve sulama suyu standartları ile karşılaştırılmıştır. Tarım topraklarının ve yeraltı sularının kirlilik

düzeyleri belirlenmiş ve bunların alansal dağılımları ile kökenleri CBS kullanılarak tespit edilmiştir.

Güler vd. [8] tarafından Tarsus kıyı ovasında (Mersin) insan faaliyetlerinin yeraltı suyu hidrolojisi ve kimyası üzerindeki etkisini ve bölgede gerçekleşen hidrojeokimyasal süreçleri tanımlamaya yönelik bir çalışma yürütülmüştür. Elde edilen veriler, bulanık kümeleme, çok değişkenli istatistik ve CBS teknikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda; su-kayaç etkileşimi ve nitrat kirliliği, deniz suyu girişi ve evaporit çözünmesi ile tuzlanma, jeojenik/antropojenik Cr, Fe ve Mn ve insan kaynaklı Zn kirliliği olmak üzere dört ana bileşen tanımlanmıştır.

Kurt vd. [89], Deliçay-Tarsus Çayı (Mersin) arasındaki toprak ve yeraltı sularının nitrat ve nitrit miktarlarını belirlemeye, potansiyel kirlilik kaynaklarını tanımlamaya ve CBS aracılığıyla mekânsal dağılımlarını oluşturmaya yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda yerleşim yerlerinin ve sanayinin yoğun olduğu bölgelerde nitrat ve nitrit değerlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Güler vd. [9], kirlilik ve akiferden aşırı su çekimine bağlı tuzlu su girişi nedeniyle ciddi bir tehdit altında olan Tarsus kıyı ovasında (Mersin) yeraltı suyunun kirlenmeye karşı hassasiyetini CBS tekniği ile değerlendirmişlerdir. DRASTIC modelinin kullanıldığı bu çalışmada, 'orta derecede yüksek' ve 'yüksek' hassasiyete sahip alanların tuzlu su girişiminin yoğunlaştığı bölgeler olduğu belirlenmiştir.

Deliçay ile Tarsus Çayı (Mersin) arasındaki bölgede yer alan Kuvaterner çökellerinin mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışma yapan Kurt vd. [89] tarafından elde edilen veriler CBS veri tabanına aktararak çeşitli dağılım haritaları oluşturulmuştur. Deliçay ve Tarsus Çayı'nın farklı kaynaklardan getirdikleri jeolojik malzemeye göre çalışma alanı doğu-batı olmak üzere iki farklı alana ayrılmıştır.

Yıldırım vd. [23], çalışma alanının batı sınırını oluşturan Deliçay'ın 11 farklı noktasında akarsu debisini ve akarsuyun akış yolu boyunca fiziko-kimyasal parametrelerin değişimlerini belirlemişlerdir. Bu çalışma ile Deliçay'ın kimyasını etkileyen en önemli kaynakların kirlilik oluşturan evsel, endüstriyel ve tarımsal atıklar olduğu tespit edilmiştir.

Yalçinkaya [91] tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında, Adana Ovası'nda yeraltı suyu kullanımının artması ve deniz suyu seviyesi değişimlerinin etkileri iklim değişikliği başlığı altında incelenmiştir. Çalışmada MODFLOW ve SEAWAT-2000 programları kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, beslenmenin azalması, yeraltı suyu çekiminin artması ve deniz suyu seviyesinin yükselmesinin tatlı su rezervinde azalmaya neden olduğu ve deniz suyu girişimine bağlı olarak yeraltı suyu kalitesinin bozulacağı ortaya konulmuştur.

Akbulut [47], Aşağı Seyhan Ovası'nın (Adana) yeraltı ve yüzey suyu kaynaklarının hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası üzerine doktora tezi çalışması yapmıştır. Çalışma alanındaki

kuyulardan ve yüzey sularından toplamda 173 örnek alınmıştır. Örneklerin fiziksel ve kimyasal parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler, Dünya’da (EEC, WHO) ve Türkiye’de (TS 266, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Teknik Usuller Tebliği) kabul edilen içme ve sulama suyu kriterleriyle karşılaştırılmıştır. Araştırmacı, su örneklerinin hidrojeokimyasal sınıflandırmasını yapmış ve analiz sonuçlarını grafik yöntemler kullanarak değerlendirmiştir. Bölgedeki en önemli kirletici kaynakların, evsel ve endüstriyel atıklar ile tarımsal faaliyetler olduğu tespit edilmiştir.

Yıldırım [52], doktora tezi kapsamında Tarsus Çayı ile Göksu Nehri (Mersin) arasında bulunan 17 akarsuyun bütünleşik bir su yönetiminin oluşturulması amacıyla hidrolojik ve hidrokimyasal özellikleri ile bu akarsuların su toplama havzalarının morfometrik özelliklerini ayrıntılı olarak incelemiştir. Bu çalışma ile doğuda bulunan havzaların taşkın ve erozyon durumları açısından batıdaki havzalara göre daha hassas olduğu, akarsular için kirletici kaynakların başında endüstriyel ve evsel atıklar ile tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübreler olduğu belirlenmiştir.

Çobaner [92], doktora tez çalışmasında, Göksu Deltası’nda (Mersin) deniz suyu girişiminin kontrolü ve önlenmesi amacıyla model geliştirmeye çalışmıştır. Yeraltı suyu akımı SEAWAT yazılımı kullanılarak simüle edilmiş, yeraltı su seviyesi, elektriksel iletkenlik, toplam çözünmüş madde ve klorür değerleri hakkında değerlendirmelerde bulunulmuştur. İklim değişikliğinin etkilerinin önlenmesi amacıyla muhtemel üç senaryo için simülasyonlar yapılmış olup Göksu Deltası’nın yeraltı suyunun aşırı kullanıma karşı hassasiyeti belirlenmiştir.

Çobaner vd. [93], Göksu Deltası’nda yapmış oldukları çalışmada, kuyulardan aldıkları su örneklerinin elektriksel iletkenlik, toplam çözünmüş madde ve klorür değerlerini probabilistik ve jeostatistik yöntemlerle değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, deltadaki kuyuların %40’nın kullanılmasının riskli olduğu belirlenmiştir.

Karakuş [94], yüksek lisans tezi çalışmasında Tarsus (Mersin) bölgesinde yüzeyleyen evaporitik birimlerin sedimentolojik özelliklerini incelemiştir. Örnekler üzerinde yapılan XRD analiz sonuçlarına göre ana mineralin jips olduğunu tespit edilmiştir.

Özmürüt [95], yüksek lisans tezi kapsamında Küçükköy (Ayvalık) bölgesinde yapmış olduğu hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmada, deniz suyu girişimini araştırmıştır. Bu çalışma sonucunda, bölgede çok sayıda su kuyusu açıldığı belirtilmiş ve bu kuyulardan aşırı su çekimi yapıldığı vurgulanmıştır. Akiferin beslenme miktarının boşalım miktarından daha az olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, deniz suyu girişiminin artarak devam ettiği ifade edilmiştir.

Somay ve Gemici [55], Selçuk Ovası’nda (İzmir) yeraltı suyunun tuzlanma sürecini ortaya koymak amacıyla hidrojeokimyasal parametreleri ve CBS’yi kullanarak bir çalışma yapmışlardır. Klorür (Cl⁻) ve brom (Br⁻), bor (B), lityum (Li) ve stronsiyum (Sr) elementleri

arasındaki yüksek korelasyonun deniz suyu girişiminden kaynaklandığı belirtilmiştir. İyon oranları, elektriksel iletkenlik değerleri, karışım oranları ve sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) kullanılarak, tuzlanmanın görüldüğü bölgeye ait çeşitli tematik haritalar oluşturulmuştur. Tuzlanma bölgesinin denize yaklaşık 8-10 km uzaklıkta olduğu tespit edilmiştir.

Arslan ve Demir [96] tarafından deniz suyu girişiminin yeraltı suyu kalitesi üzerine olan etkilerinin incelenmesi amacıyla Bafra Ovası'nda bir çalışma yapılmıştır. Kuyulardan aldıkları su örnekleri üzerinde elektriksel iletkenlik (EC) ile pH ölçümü, majör katyon ve anyon analizleri yapılmıştır. Deniz suyu karışım oranını belirlemek için klorür (Cl⁻) değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada EC ve SAR değerlerine bağlı olarak yeraltı sularının sulama suyu olarak kullanılamayacak derecede kalitesiz olduğu belirlenmiştir.

Mansour vd. [97], Türkiye'nin batısında yer alan Karaburun kıyı akiferlerinde kavramsal ve sayısal bir model geliştirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, kıyı akiferindeki yoğunluğa bağlı akış alanını ve deniz suyu girişimini modellemek için SEAWAT yazılımı kullanılmıştır. Su örneklerinin yüksek elektriksel iletkenlik ve klorür değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Uygulamış oldukları model ile deniz suyu girişiminin gelecek 10 yıl içinde yaklaşık 420 m kara içine doğru ilerleyeceğini belirlemişlerdir.

Vengosh ve Rosenthal [63], İsrail'de yapmış oldukları bir çalışmada, tuzlu yeraltı sularını ve çeşitli akiferlerde meydana gelen farklı tuzlanma mekanizmalarını açıklamışlardır. Araştırmacılar tarafından deniz suyunun kıyı akiferine doğrudan girişi, deniz suyunun buharlaşması, diyajenetik süreçler, eriyebilen tuzların çözünmesi ve su-kayaç etkileşimi olmak üzere tuzlu su oluşumu için beş doğal süreç tanımlanmıştır.

Fanta [98], yüksek lisans tezi kapsamında Güzelyurt (Kıbrıs) akiferinin kavramsal modelini ortaya koymak amacıyla bir çalışma yapmıştır. Model, çalışma alanının mevcut jeolojik ve hidrolojik verilerine dayanarak CBS ve Yeraltı Suyu Modelleme Sistemi (YMS) ortamında geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda akiferin üç boyutlu hidrojeolojik yapısı, alansal ve derinliğe bağlı dağılımı ve sınır koşulları tanımlanmıştır. Akiferin aşırı su çekiminden ve deniz suyu girişiminden olumsuz etkilenen kısımları belirlenmiştir.

Abu Al Naeem vd. [99], Gazze kıyı akiferinde (Filistin) tuzlanma mekanizmalarını ortaya koymak amacıyla hidrojeokimyasal süreçleri değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada Stata/SE 12, ArcGIS 10.4 ve Surfer 16 yazılımları kullanılmış ve jeostatistiksel teknikler ile bütünleşik bir model oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda, tuzlanmaya katkı sağlayan üç ana faktör tespit edilmiştir. Bunlar; deniz suyu girişi, atıksular (kanalizasyon) ve karbonatlı birimlerin çözünmesidir.

Mondal vd. [100], Tuticorin kıyı akiferinin (Hindistan) hidrokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Yeraltı suyu kimyasında meydana gelen değişiklikleri açıklamak için deniz suyu girişi indeksi, iyon değişimi, grafiksel ve

jeostatistiksel yöntemler bütün olarak ele alınmıştır. Bu çalışmanın sonucunda insan aktivitelerinden kaynaklı tuzlanma ve deniz suyu girişiminden dolayı yeraltı suyunun kalitesinin önemli derecede bozulduğu tespit edilmiştir.

Pulido-Leboeuf [101], Castell de Ferro kıyı akiferinde (İspanya) hidrojeokimyasal süreçleri belirlemek için yaptığı çalışmada doygunluk indeksi (SI), iyonik delta (Δ_i) ve iyon oranlarını kullanmıştır. Akiferde katyon değişimi, dolomitleşme ve kalsit çözünmesinin gerçekleştiği tespit edilmiştir. Mevsimsel değişimlere bağlı olarak tuzlanmanın arttığı ve azaldığı açıklanmıştır.

Sanchez-Martos vd. [71], İspanya'nın Alt Andarax bölgesinde yeraltı suyunun tuzlanma mekanizmasını araştırmıştır. Bu tür araştırmalarda jeokimyasal önemi olan bor (B), lityum (Li) ve brom (Br) iyonları ve bu iyonların sülfat (SO_4^{2-}), sodyum (Na^+) ve klorür (Cl^-) ile olan ilişkileri incelenmiştir. Tuzlanma mekanizmalarının deniz suyu girişimi, evaporit minerallerinin çözünmesi ve jeotermal sular olduğu tespit edilmiştir.

Telahigue vd. [102], Jerba adası (Tunus) kıyı akiferinin tuzlanması ve deniz suyu girişimini değerlendirmek amacıyla yaptıkları çalışmada, su örneklerinde çeşitli fiziksel ve kimyasal parametreleri analiz etmişlerdir. Yeraltı suyu mineralizasyon modelini oluşturmak için çeşitli diyagramlardan yararlanılmış ve deniz suyu fraksiyonunu hesaplamak için klorür (Cl^-) değerleri kullanılmıştır. İstatistiksel analiz teknikleri ile tuzlanmanın deniz suyu girişimi, jips ve karbonat minerallerinin çözünmesinden kaynaklandığı belirlenmiştir.

Pulido-Bosch vd. [33] tarafından tarımsal sulama uygulamalarının yeraltı suyu tuzluluğuna etkileri araştırılmıştır. Birkaç farklı bölgede yürütülen bu çalışmada, tarımsal sulamadan dolayı, özellikle kurak ve yarı kurak kıyı alanlarının tuzlanmaya eğilimli bölgeler olduğu vurgulanmıştır. Bu bölgelerdeki tuzluluk kaynakları; sulama suyu olarak yeraltı sularını kullanan sistemlerde sulamadan geri dönen akışlar, derin akiferlerde açılan kuyuların aşırı kullanımına bağlı olarak deniz suyu girişimi, arıtma tesislerinden gelen suların tarımda kullanılması ve aşırı gübre kullanımı olarak sıralanmıştır.

Alcala ve Custodio [103], yeraltı suyu tuzluluğunun kökenini tanımlamak için Cl^-/Br molar oranının uygulanabilirliği üzerine İspanya ve Portekiz'deki farklı akiferlerde bir çalışma yapmışlardır. Değişkenliği geniş olmadığı için Cl^-/Br oranının yeraltı suyuna, atmosferik olmayan klorürün katkılarını ayırt etmek için iyi bir izleyici olduğu sonucuna varılmıştır.

Kıyı akiferine etki eden ana süreçleri tanımlamak, deniz suyu girişimi ve/veya tazelenme aşamalarının hidrokimyasal evriminin yorumlanması amacıyla Gimenez-Forcada [104] tarafından yeni bir diyagram (HFE-D) geliştirilmiştir. Majör anyon ve katyonların kullanıldığı Hidrokimyasal Fasiyes Evrim Diyagramı (HFE-D) ile suları fasiyeslerine göre sınıflarına ayırarak bu suların hangi evrede oldukları (girişim veya tazelenme) tespit edilebilmektedir.

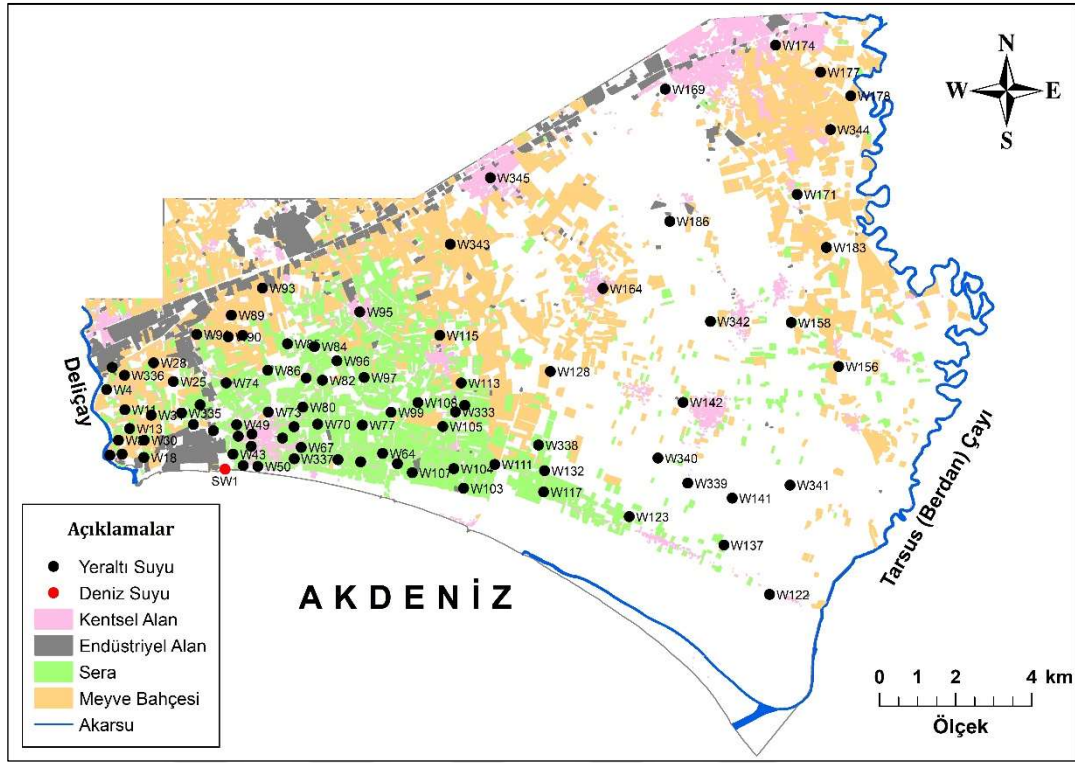
Park vd. [105] tarafından önerilmiş olan 'Deniz Suyu Karışım İndeksi (SMI)' ile deniz suyu girişimi sayısal olarak ifade edilebilmektedir. Bu indekste, deniz suyunun önemli bileşenlerini oluşturan klorür, sodyum, magnezyum ve sülfat değerleri kullanılmıştır. İndeks sonucu 1'den büyük olan suların deniz suyu girişiminin etkisi altında olduğu vurgulanmıştır.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Yeraltı Su Seviyesinin Ölçülmesi ve Su Örneklemeleri

Yapılan saha çalışmalarıyla sınırları belirlenen kıyı akiferinde bulunan kuyuların konumları (Şekil 3.1) GPS (küresel konum belirleme sistemi) yardımıyla belirlenmiştir. Yapılan arazi çalışmaları sırasında, 87 farklı noktadan yeraltı suyu (Şekil 3.2a) ve bir adet deniz suyu (Akdeniz) (Şekil 3.2b) örneği alınmıştır. Su örneklemelerinde her örnek için ikişer adet 250 mL'lik HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) plastik şişeler kullanılmıştır. Kuyularda su örnekleme yapılmadan önce, kuyu hacminin üç katı kadar su çekilmiş, örnek kapları alınacak su örneğiyle üç defa çalkalanmıştır. Çalkalama işlemi aynı şekilde Akdeniz'den alınan deniz suyu örneğine de uygulanmış ve daha sonra örnek kabı kıyıda 1 m uzaklıkta su yüzeyinin ~30 cm altına daldırılarak su örnekleme tamamlanmıştır. Su örneği alınan şişelerden birine katyonların şişenin yüzeyine adsorbe olmasını ve/veya çökmesini engellemek amacıyla yaklaşık 2 mL nitrik asit ($\text{pH} < 2$ olacak şekilde) eklenmiştir. Anyon analizi için alınan diğer şişeye asit eklenmemiştir. Kamu kurumlarına ve şahıslara ait olan kuyularda su seviyesi ölçümü yapmak amacıyla milimetrik bölümlü hassas kuyumetre (150 m'lik) kullanılmış olup 60 kuyuda su seviyesi ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.2c). Kuyuda ölçülen su seviyesi ile zemin arasındaki mesafe topoğrafik yükseklik değerinden çıkarılarak her bir kuyunun yeraltı su seviyesi (deniz seviyesine göre) hesaplanmıştır. Alınan su örnekleri, sıcaklık nedeniyle meydana gelebilecek buharlaşmaya karşı, içinde jel buz kalıpları bulunan termoslarla laboratuvara taşınmış ve analizlerin yapılacağı zamana kadar $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de saklanmıştır.



Şekil 3.1. Tarsus Kıyı Akiferindeki su örnekleme noktaları.



Şekil 3.2. Çalışma alanında yapılan su örneklemleri ve yeraltı su seviyesi ölçümü. a) Yeraltı suyu örnek alımı; b) Akdeniz'den örnek alımı; c) Yeraltı su seviyesi ölçümü; d) Basıncılı akiferde açılan artezyen kuyusu (Eylül, 2020).

3.2. Fiziksel Parametrelerin Ölçümü

Yeraltı suyu örneklerinin fiziksel parametreleri (sıcaklık (°C), elektriksel iletkenlik, pH, tuzluluk, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli (ORP), çözülmüş oksijen (%O₂) ve toplam çözülmüş madde (TDS)) YSI marka PRODSS model multiparametre ölçüm cihazı ile yerinde ölçülmüştür.

3.3. Kimyasal Parametrelerin Analizi

3.3.1. Anyon-Katyon ve İz Element Analizleri

Yeraltı ve yüzey sularından alınan su örneklerinde, dört majör anyon (Cl⁻, SO₄⁻², NO₃⁻ ve NO₂⁻) Mersin Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde bulunan Hach Lange DR 3900 model Spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Su örneklerinin karbonat (CO₃⁻²) ve bikarbonat (HCO₃⁻) analizleri ise dijital büret kullanılarak titrasyon yöntemiyle yapılmıştır. Majör anyonların ölçülmesinde kullanılan yöntemler Tablo 3.1’de belirtilmiştir. Yeraltı ve yüzey sularından alınan su örneklerinde dört majör katyon (Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ ve K⁺) ve dört iz elementin (B, Br, Sr ve Li) derişimleri Bayburt Üniversitesi Merkezi laboratuvarında bulunan Agilent 7800 model ICP-MS (Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry) cihazı ile ölçülmüştür.

Tablo 3.1. Majör anyonların analizinde kullanılan yöntemler.

Parametre	Birim	Analitik Yöntem	Ölçüm Aralığı
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	LCK 311 Küvet testi (Demir (III)-Tiyosiyanat)	1-70 mg/L
			70-1000 mg/L
Sülfat (SO ₄ ⁻²)	mg/L	SulfaVer 4 Toz Reaktif (Türbidimetrik)	2-70 mg/L
		LCK 153 Küvet testi (Baryum Sülfat)	40-150 mg/L
		LCK 353 Küvet testi (Baryum Sülfat)	150-900 mg/L
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mg/L	NitraVer 5 Toz Reaktif (Kadmiyum İndirgemesi)	0,1-10 mg/L (NO ₃ ⁻ -N)
			0,3-30 mg/L (NO ₃ ⁻ -N)
		LCK 340 Küvet testi (2,6 Dimetilfenol)	5-35 mg/L (NO ₃ ⁻ -N)
			22-155 mg/L (NO ₃ ⁻)
Nitrit (NO ₂ ⁻)	mg/L	NitriVer 3 Toz Reaktif (Diazotizasyon)	0,002-0,300 mg/L (NO ₂ ⁻ -N)
Karbonat (CO ₃ ⁻²)	mg/L	Titrasyon (Fenol Ftalein ve asit)	
Bikarbonat (HCO ₃ ⁻)	mg/L	Titrasyon (Metil Oranj ve asit)	

3.4. Hidrojeokimyasal Sınıflandırma

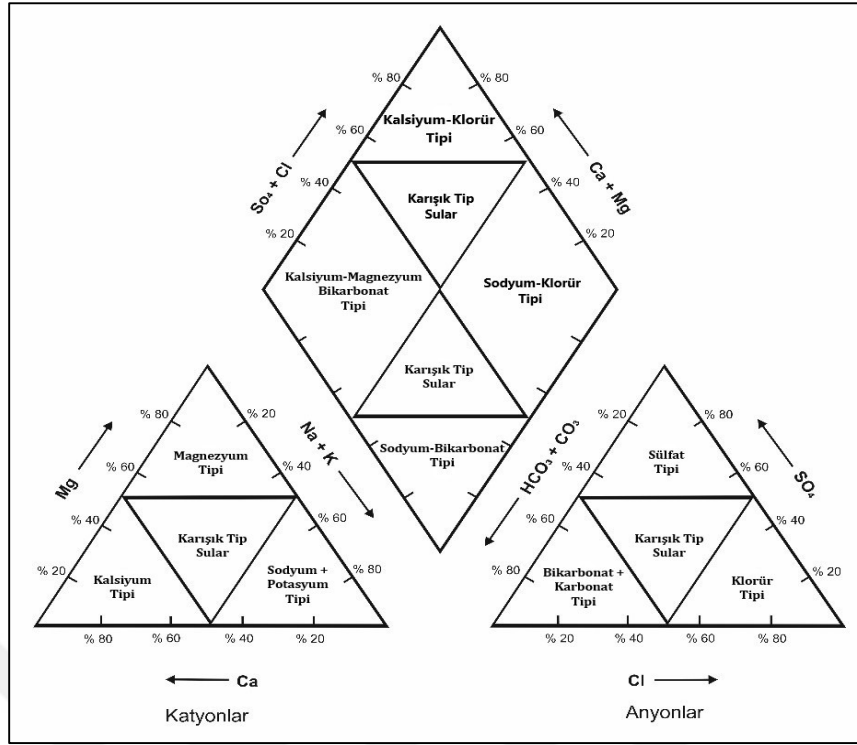
Analiz sonuçlarının gösterilmesi, karşılaştırılması, farklı karakterdeki suların karışım mekanizmalarının tespit edilmesi ve hidrojeokimyasal süreçlerin tanımlanması amacıyla çeşitli diyagramlar geliştirilmiştir [27]. Su kimyası örneklerinin homojen gruplara ayrılması ve iyi bir sınıflandırma yapılması, hidrojeolojik sistemlerin anlamlı karakterizasyonu için önemli bir araç olmaktadır [106]. Hidrojeokimyasal sınıflandırma yapılmadan önce analizin doğruluğunun kontrol edilmesi gerekmekte [48, 52] ve bu bağlamda katyon-anyon dengesi ele alınmaktadır [66]. Katyon-anyon dengesinde iyon derişimlerinin tümü meq/L birimine çevrilmektedir [66]. Elektriksel yük dengesi hatası aşağıdaki gibi (Denklem 4) hesaplanmaktadır [107].

$$\text{Yük dengesi hatası (\%)} = \frac{\text{Toplan katyon} - \text{Toplam Anyon}}{\text{Toplan katyon} + \text{Toplam Anyon}} \times 100 \quad (4)$$

Yük dengesinde %2'lik hata beklenmekte olup %5'in üzerindeki hatalarda örnekleme ve laboratuvar çalışmalarının gözden geçirilmesi gerekmektedir [34].

3.4.1. Piper Diyagramı

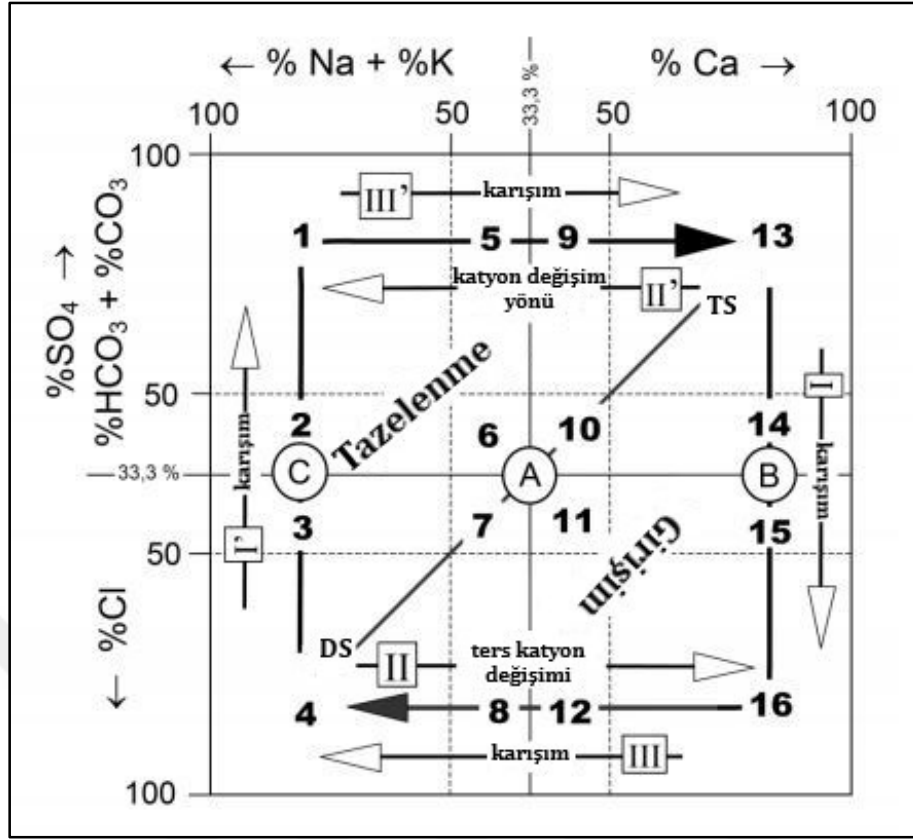
Piper diyagramı [108], hidrojeokimyasal sınıflandırmada sıkça kullanılan yöntem olup %meq/L ile ifade edilen katyon ve anyon oranlarını göstermek için iki ayrı üçgen grafik içermektedir. Katyon ve anyonların gösterildiği iki ayrı üçgenin birleştirilmesiyle oluşturulan eşkenar dörtgende bütün iyonlar gösterilmektedir (Şekil 3.3). Piper diyagramı suların genel kimyasal karakterinin ve fasiyes tiplerinin anlaşılması, hidrojeokimyasal evrimin yorumlanması amacıyla kullanılmaktadır [106].



Şekil 3.3. Su kimyası sınıflamasında kullanılan Piper diyagramı [107].

3.4.2. Hidrokimyasal Fasiyes Evrim Diyagramı (HFE-D)

Hidrokimyasal Fasiyes Evrim Diyagramı (HFE-D), deniz suyu girişim süreçlerinin görselleştirilmesini ve hidrokimyasal fasiyeslerin evrimini inceleyerek deniz suyunun ilerleme ve geri çekilme evrelerinin tanınmasına olanak sağlayan bir diyagramdır [104]. HFE-D, deniz suyu girişiminin ve tazelenme evrelerinin teorik ve deneysel simülasyonlarında tanımlanan fasiyeslerin sırasını ve süreçlerini ifade etmektedir [104]. X ve Y eksenlerinin bulunduğu kare şekilli bir diyagram olan HFE-Diyagramında (Şekil 3.4) X ekseninde majör katyonlar (Ca^{+2} , Mg^{+2} ve $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$), Y ekseninde ise majör anyonlar (Cl^{-} , SO_4^{-2} ve $\text{HCO}_3^{-}+\text{CO}_3^{-2}$) bulunmaktadır. İyonlar %meq/L cinsinden gösterilmektedir. Klorür yüzdesi deniz suyunu, bikarbonat veya sülfat beslenme suyunu temsil etmekte olup bu durum yüzdesi yüksek olan (>%50) anyona göre değişmektedir [104].



Şekil 3.4. Deniz suyu girişi ve tazelenme evrelerindeki ana süreçleri gösteren HFE-Diyagramı (DS: deniz suyu, TS: tatlı su) [104].

HFE-D'nin her duruma göre değiştirilebilir ve uyarlanabilir olması avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte bir iyonun davranışının diğerinin davranışıyla bağlantılı olmasının gerekliliği yoktur [104]. HFE-D, iyon yüzdesi %50'den büyük olması şartıyla dört ana fasies tanımlamaktadır. Bunlar; $\text{Ca}^{+2}\text{-HCO}_3^-$ (tatlı su), $\text{Ca}^{+2}\text{-Cl}^-$ (ters kation değişim reaksiyonlarını belirten tuzlu su), $\text{Na}^+\text{-HCO}_3^-$ (doğrudan kation değişimi ile tuzlu su) ve $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ (deniz suyu) şeklindedir. Bu dört ana fasiese ek olarak, iyon yüzdesinin %50'den az olduğu durumlarda 'karışım (mix)' olduğu belirtilerek alt evreler kategorize edilmektedir. Diyagramda yer alan bölgelerin fasiesleri ve açıklamaları Tablo 3.2'de sunulmuştur.

Tablo 3.2. HFE-Diyagramında yer alan fasiesler ve açıklamalar.

Bölge	Fasies	Bölge	Fasies
1	$\text{Na-HCO}_3/\text{SO}_4$	12	MixCa-Cl
2	$\text{Na-MixHCO}_3/\text{MixSO}_4$	13	$\text{Ca-HCO}_3/\text{SO}_4$
3	Na-MixCl	14	$\text{Ca-MixHCO}_3/\text{MixSO}_4$
4	Na-Cl	15	Ca-MixCl
5	$\text{MixNa-HCO}_3/\text{SO}_4$	16	Ca-Cl

Tablo 3.2'in devamı.

Bölge	Fasiyes	Bölge	Fasiyes
6	MixNa-MixHCO ₃ /MixSO ₄	A	Tatlı su-deniz suyu karışımı
7	MixNa-MixCl	B	Girişim sürecinde HFE gelişimi
8	MixNa-Cl	C	Tazelenme sürecinde HFE gelişimi
9	MixCa-HCO ₃ /SO ₄	I ve I'	Girişim ve tazelenme aşamalarındaki ilk karışım işlemi
10	MixCa-MixHCO ₃ /MixSO ₄	II ve II'	Ters ve direkt katyon değişim reaksiyonları
11	MixCa-MixCl	III ve III'	Baskın akışın kimyasal fasiyesleri ile dengeye ulaşana kadar her işlemin sonraki aşamalarındaki karışım

3.5. Tuzlanmanın Hidrojeokimyasal Ölçütleri

3.5.1. Majör-Minör İyonlar ve İyon Oranları

Çalışma alanını oluşturan Tarsus Kıyı Akiferinde yapılan önceki çalışmalarda [4-9] ortaya konulduğu üzere, yeraltı suyu çeşitli tuzlanma süreçleri etkisi altındadır ve tuzlanma bazı bölgelerde kritik seviyededir. Arazi çalışmaları sonucunda elde edilen veriler, literatüre bağlı olarak farklı tuzlanma mekanizmalarını ortaya koymak amacıyla değerlendirilmiş olup çeşitli iyon oranları hesaplanmıştır. Hesaplanan iyon oranları çeşitli grafikler kullanılarak görselleştirilmiş ve doğal ve antropojenik kaynaklı faktörler açıklanmaya çalışılmıştır.

Bu bölümde, majör anyonlar (Cl⁻, SO₄⁻², HCO₃⁻ ve CO₃⁻²) ve katyonlar (Ca⁺², Mg⁺², Na⁺ ve K⁺) ile beraber minör iyonlar da (B, Br, Sr ve Li) kullanılmıştır. Bu minör iyonların deniz suyundaki derişimi normal olarak tatlı yeraltı suyundakinden daha yüksek olduğu için deniz suyu girişiminin güvenilir izleyicileri olarak değerlendirilmektedirler [74]. Bununla birlikte yeraltı sularının tuzluluk kaynaklarının incelenmesi amacıyla hem doğal hem de antropojenik süreçlerle ilişkilendirilen bor, brom ve lityum kullanılmaktadır [71]. Bu doğrultuda deniz suyunu temsil eden klorür ile birlikte diğer iyonların deniz suyu karışım oranları çeşitli grafik yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, farklı tuzlanma mekanizmalarına ait Na⁺/Cl⁻ (meq/L), Mg⁺²/Ca⁺² (meq/L), Cl⁻/Br (meq/L), Cl⁻/HCO₃⁻ (meq/L), Ca⁺²/SO₄⁻² (meq/L), NO₃⁻/Cl⁻ (meq/L), Sr/Ca⁺² (mmol/L) ve B/Li (mmol/L) iyon oranları kullanılmıştır.

3.5.2. Deniz Suyu Fraksiyonu ve İyonik Delta

İyonik delta (Δ_i), majör iyon derişimlerinin ve teorik karışım bileşiminin karşılaştırılması yoluyla yeraltı suyundaki hidrokimyasal süreçlerin tanımlanmasında kullanılmaktadır [109]. İyonik delta, tuzlu su karışımı dışındaki hidrojeokimyasal süreçlerin tükenmeye veya zenginleşmeye katkıda bulunup bulunmadığını ortaya çıkarmakla birlikte [110] kıyı akiferlerinde katı ve sıvı faz arasındaki jeokimyasal reaksiyonlar için önemli bir göstergedir [110]. En yalın şekilde ifade etmek gerekirse tatlı su ve deniz suyu karıştığında ölçülen iyon derişimi (i_{numune}) ile teorik derişim ($i_{karışım}$) arasındaki farkı tanımlamaktadır [34]. İyonik delta (Δ_i) hesabının ilk adımı olarak Appelo ve Postma'nın [34] önerdiği deniz suyu fraksiyonu (f_{deniz}) (Denklem 5) hesaplanmıştır.

$$f_{deniz} = \frac{Cl^-_{numune} - Cl^-_{tatlı}}{Cl^-_{deniz} - Cl^-_{tatlı}} \quad (5)$$

Denklemden Cl^-_{numune} her bir örneğin mmol/L cinsinden ölçülen klorür derişimidir. Hesaplama $Cl^-_{tatlı}$ 29 adet yeraltı suyu örneğinin ortalaması, Cl^-_{deniz} ise Akdeniz'den alınan deniz suyu örneği olup hesaplamalarda kullanılan farklı iyonlar için aynı yöntem izlenmiştir. İkinci adımda ise her bir iyonun (i) karışım derişimi aşağıdaki gibi (Denklem 6) hesaplanmıştır [34].

$$i_{karışım} = f_{deniz} \times i_{deniz} + (1 - f_{deniz}) \times i_{tatlı} \quad (6)$$

Son olarak her bir iyon (i) için iyonik delta (Δ_i), karışımın derişiminden ($i_{karışım}$) her bir numune için ölçülen derişim (i_{numune}) çıkarılarak (Denklem 7) elde edilmektedir [34].

$$\Delta_i = i_{numune} - i_{karışım} \quad (7)$$

Δ_i değerinin pozitif olması iyonun yeraltı suyunda zenginleştiğini, negatif olması ise iyonun yeraltı suyunda tükendiğini göstermektedir [109].

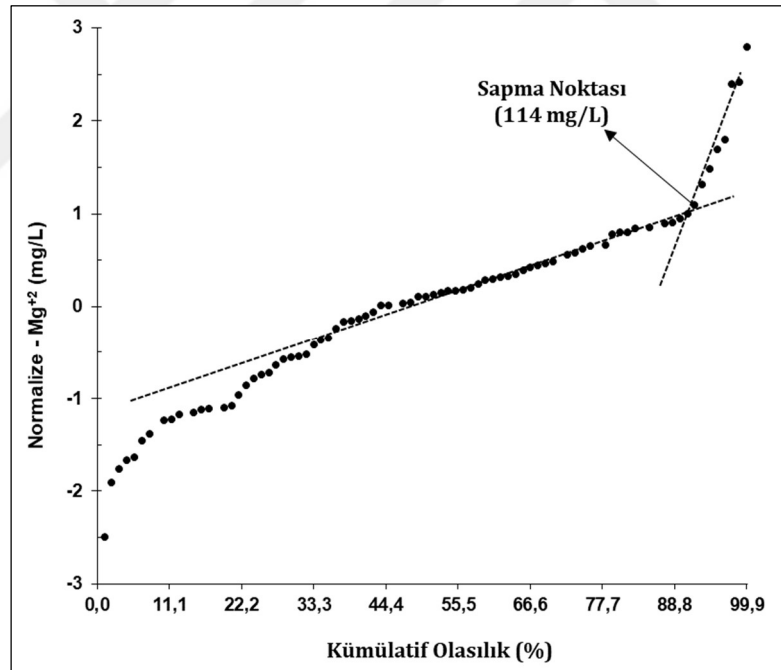
3.5.3. Deniz Suyu Karışım İndeksi (SMI)

Deniz suyu girişimi, kıyı akiferlerinde tuzlanmaya neden olan en yaygın mekanizma olarak karşımıza çıkmaktadır. Deniz suyunun etkisini değerlendirmek amacıyla birçok yöntem geliştirilmiş olup bu tez kapsamında deniz suyu karışım indeksi kullanılarak deniz suyu etkisi

sayısal olarak değerlendirilmiştir. Park vd. [105] tarafından geliştirilen deniz suyu karışım indeksinde (SMI) (Denklemler 8), deniz suyunda bulunan dört ana iyon Na^+ , Cl^- , Mg^{+2} ve SO_4^{-2} kullanılmıştır. İndeks sonucunun 1'den büyük olması deniz suyu karışımının varlığını göstermektedir.

$$SMI = a \times \frac{C_{Na}}{T_{Na}} + b \times \frac{C_{Mg}}{T_{Mg}} + c \times \frac{C_{Cl}}{T_{Cl}} + d \times \frac{C_{SO_4}}{T_{SO_4}} \quad (8)$$

Denklemlerde (8) a, b, c ve d sabit sayılar olup deniz suyundaki Na^+ , Mg^{+2} , Cl^- ve SO_4^{-2} iyonları için nispi derişim oranlarını ($a=0,31$; $b=0,04$; $c=0,57$; $d=0,08$) temsil etmektedir. “C” iyonların mg/L cinsinden ölçülen derişimini, “T” ise iyonların bölgesel sınır (sapma noktası) değerlerini (mg/L) ifade etmekte olup kümülatif olasılık grafiklerinden (Şekil 3.5) tespit edilmektedir [105]. Kümülatif olasılık grafiklerindeki sapma noktaları deniz suyu karışımının etkisi ile yeraltı suyu örneklerinin ayırt edilmesi için bölgesel sınır değerleri olarak ifade edilmektedir [105].



Şekil 3.5. İyonların bölgesel sınır değerini (T) belirlemek amacıyla kullanılan kümülatif olasılık grafiği [111].

3.6. Coğrafi Bilgi Sistemi Veri Tabanı

Bu tez çalışması kapsamında, Tarsus Kıyı Akiferinin tuzluluğu araştırılmış olup tuzlanmayı etkileyen faktörler ortaya konulmuştur. Bu kapsamda elde edilen hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal parametrelerin tek bir yerde toplanması, birleştirilmesi,

haritalanması ve bütünleşik olarak kullanılabilmesi amacıyla bir CBS veri tabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan CBS veri tabanında WGS84 projeksiyon sistemi kullanılmıştır. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri bu projeksiyon sisteminde koordinatlandırılmış olup uydu görüntülerinden sayısal arazi kullanım haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışmada sayısallaştırma tekniği kullanılmış olup nokta, çizgi ve poligon olarak vektör veri formatında yollar, kentsel alanlar, su kütleleri, akarsular, açık tarım alanları, meyve bahçeleri ve endüstriyel alanlar çizilmiştir. Arazi çalışması ile belirlenen kuyulara ait koordinatlar CBS veri tabanına aktararak çeşitli (örnekleme noktaları, fiziksel ve kimyasal parametre sonuçları) dağılım haritaları oluşturulmuştur. CBS veri tabanının oluşturulması ile tuzlanmanın doğal (deniz suyu girişi, evaporitler, su kayaç etkileşimi) ve antropojenik (tarım, aşırı pompaj) nedenleri daha iyi anlaşılmış, tuzluluğun alansal dağılımı görselleştirilmiştir.



4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Suların Fiziksel Parametreleri

Çalışma alanından alınan 87 adet yeraltı suyu ve bir adet deniz suyu örneğinin arazide ölçülen sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, elektriksel iletkenlik, toplam çözünmüş madde ve tuzluluk parametreleri değerlendirilmiştir. Bu parametrelerin dağılım haritaları oluşturulmuş ve tuzlanmaya neden olan mekanizmaların belirlenmesi amacıyla oluşturulan çeşitli grafiklerde bu parametrelerden yararlanılmıştır.

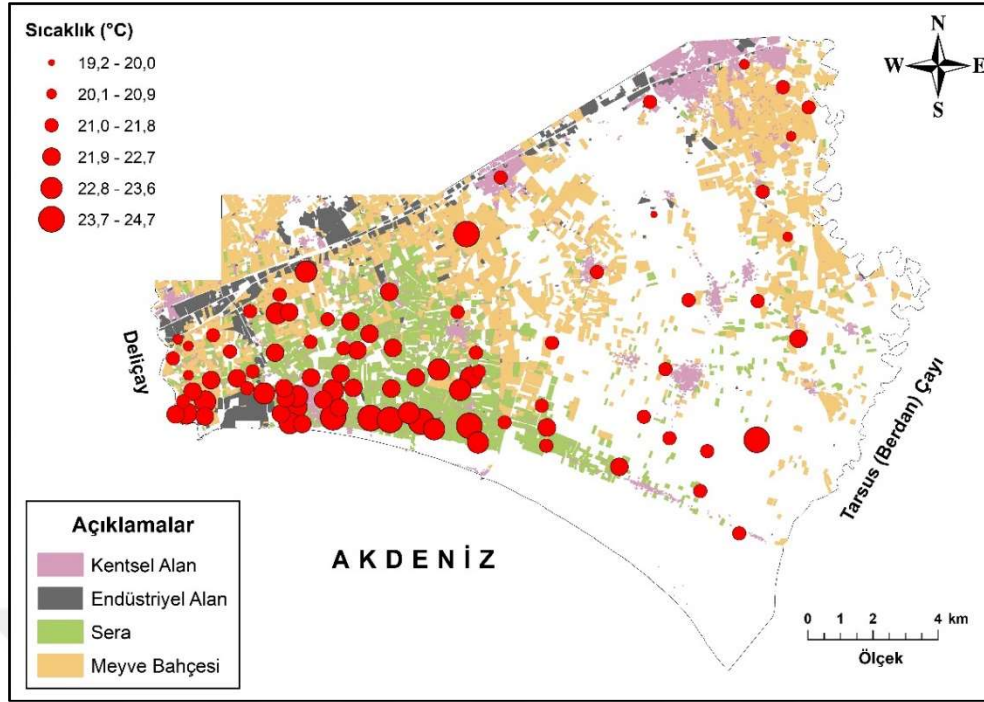
Bu bölümde, yeraltı suyu örneklerine ait fiziksel parametreler, 2008 yılında yapılan bir çalışmaya [7] ait 74 örneğin sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve parametrelerin olası kaynaklarına ve tuzlulukla ilişkilerine değinilmiştir. Çalışma alanına ait fiziksel parametrelerin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 4.1’de sunulmuştur.

Tablo 4.1. Yeraltı sularının fiziksel parametrelerinin tanımlayıcı istatistikleri.

	Yeraltı Suyu (n=87)						Deniz Suyu
Parametre	Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	Aralık	Standart Sapma	
pH	7,73	7,68	7,25	8,26	1,01	0,24	8,15
ÇO* (mg/L)	3,25	3,17	0,82	6,80	5,98	1,63	5,91
EC* (µS/cm)	1558	1083	514	16490	15976	2209	56444
Sıcaklık (°C)	22,1	22,0	19,2	24,7	5,5	1,0	29,0
TDS* (mg/L)	1013	703	334	10720	10386	1436	36690
Tuzluluk (ppt)	0,81	0,54	0,25	9,67	9,42	1,29	37,41

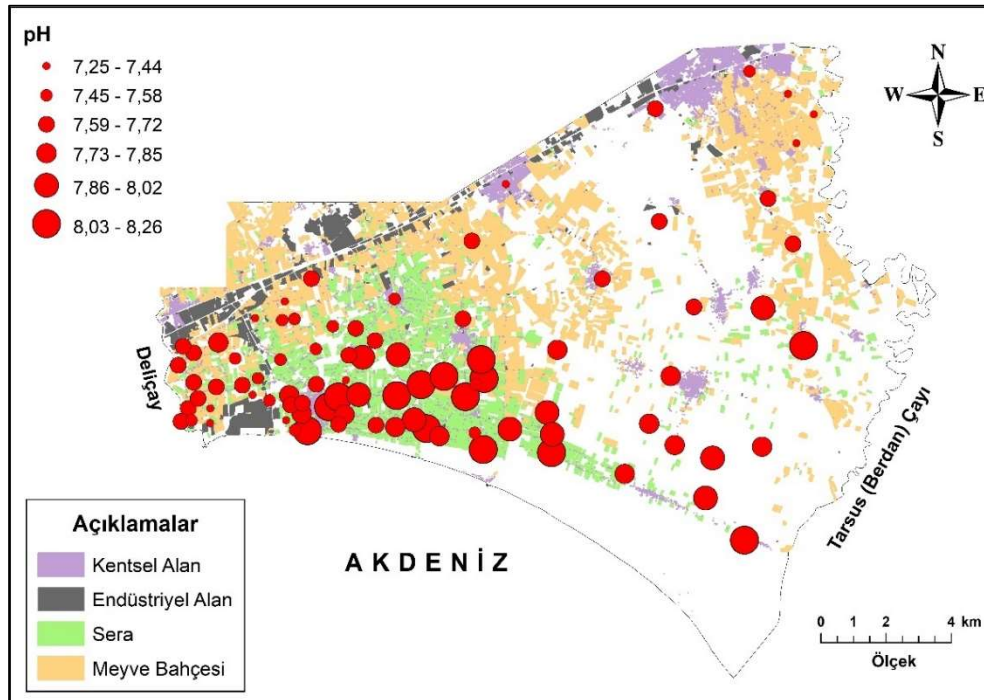
* ÇO: Çözünmüş oksijen, EC: Elektriksel iletkenlik, TDS: Toplam çözünmüş madde.

Çalışma alanından alınan yeraltı suyu örneklerinin sıcaklık değerleri 19,2 ile 24,7 °C arasında değişmektedir (Şekil 4.1). Bu bağlamda, Tarsus Kıyı Akiferi az ılık sular sınıfına ait yeraltı sularını barındıran bir akifer olma özelliğindedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen ortalama sıcaklık değerlerinin, 2008 yılı sıcaklık değerlerine [7] göre 0,2 °C daha düşük olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanının yeraltı suyu sıcaklık dağılımı (Şekil 4.1) incelendiğinde kıyıya yakın bölgelerde sıcaklık değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Kıyı akiferlerinin beslenme miktarının az olduğu bölgeler kirlenmeye karşı daha hassas bölgeler olmakla birlikte, bu bölgelerdeki suların sıcaklığı beslenme miktarının fazla olduğu bölgelere göre daha yüksek olmaktadır [50].



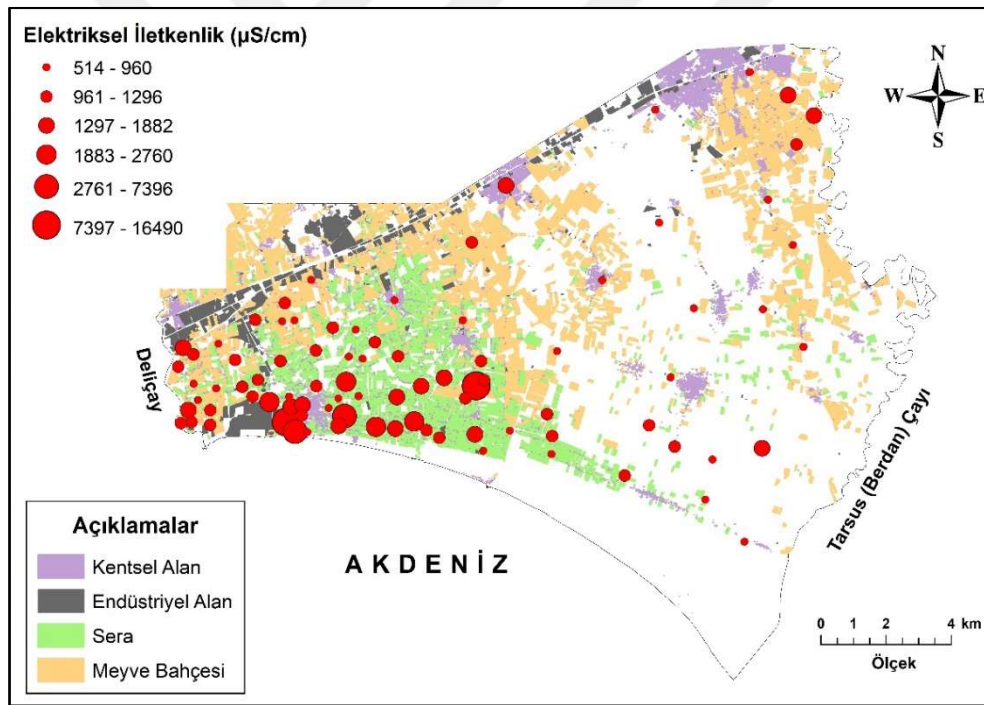
Şekil 4.1. Yeraltı suyu örneklerinin sıcaklık dağılım haritası.

Çalışma alanından alınan yeraltı suyu örneklerinin pH değerleri 7,25 ile 8,26 arasında değişmektedir. Bu çalışma kapsamında hesaplanan ortalama pH değerinin, 2008 yılı ortalama pH değerinden [7] yüksek olduğu belirlenmiştir. Bazı karakterli olan yeraltı sularının pH dağılım haritası Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Yeraltı suyu örneklerinin pH dağılım haritası.

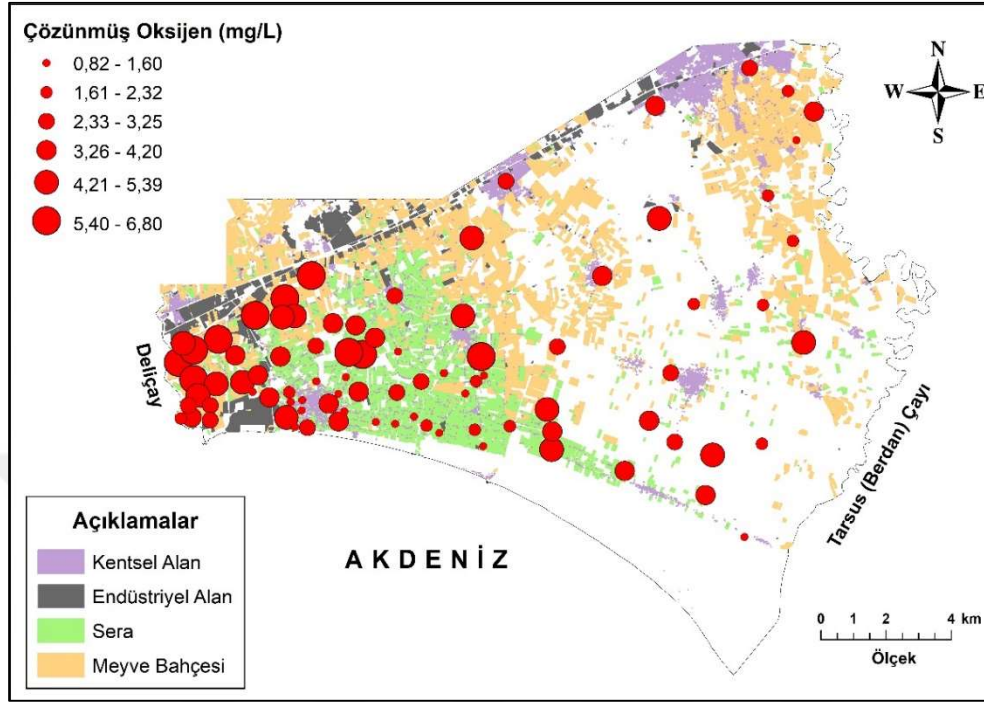
Çalışma alanından alınan yeraltı sularının elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 514 ile 16490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir (Şekil 4.3). Bu çalışma kapsamında elde edilen EC değerleri ile 2008 yılındaki EC değerleri karşılaştırıldığında, 48 adet örnekte artış olduğu görülmüştür. Elektriksel iletkenlik ile tuzluluk arasındaki korelasyon katsayısı $r=1,00$ olup iki parametre arasında pozitif doğrusal bir ilişki vardır. Elektriksel iletkenlik değerlerinin 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den yüksek olması tuzlu su girişiminin göstergesi olarak kabul edilmektedir [55]. Yeraltı suyu örneklerinin ($n=87$) %57'sinin EC değerleri 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den büyüktür. Bu değerler, yüksek oranda tuzlanma potansiyeli olan Tarsus Kıyı Akiferinin güneybatı bölümünde kıyıya yakın alanlarda yoğunlaşmıştır (Şekil 4.3). Genel olarak değerlendirildiğinde, bu örneklerin deniz suyu girişiminin belirteci olan klorür (Cl^-) değerleri 205 ile 5250 mg/L (deniz suyu= 19903 mg/L) arasında değişmektedir. Bu örneklerin bazılarının denize olan uzaklıkları (2-15 km arası) dikkate alındığında, deniz suyu girişiminden farklı tuzlanma mekanizmalarının da etkili olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 4.3. Yeraltı suyu örneklerinin elektriksel iletkenlik dağılım haritası.

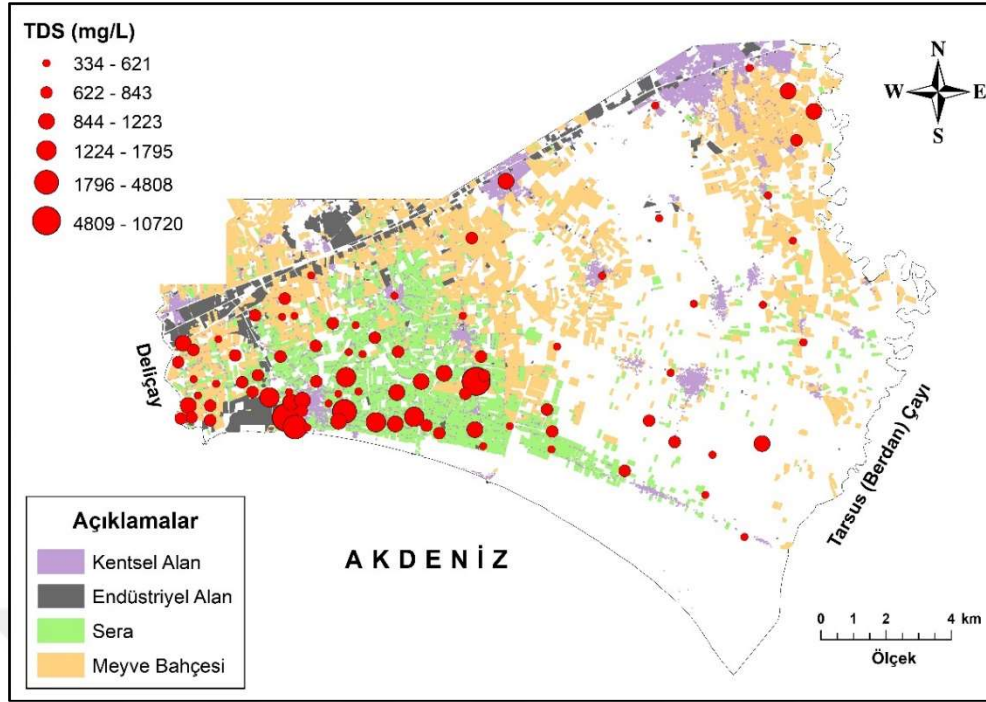
Çalışma alanı yeraltı sularının çözünmüş oksijen (ÇO) değerleri 0,82 ile 6,98 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4.4). Çözünmüş oksijen değerleri, 2008 yılı [7] çözünmüş oksijen değerleri ile karşılaştırıldığında 59 adet örnekte artış olduğu belirlenmiştir. Yeraltı sularındaki yüksek çözünmüş oksijen değerleri Tarsus Kıyı Akiferinin batı bölümünde yoğunlaşmaktadır (Şekil 4.4). Oksijen, beslenme yoluyla veya atmosferle temas halinde olan vadoz (doymamış)

bölgeden, akiferin yüzey suyu ile etkileşim halinde olduğu bölgelerden yeraltı suyuna girmektedir [27, 59].

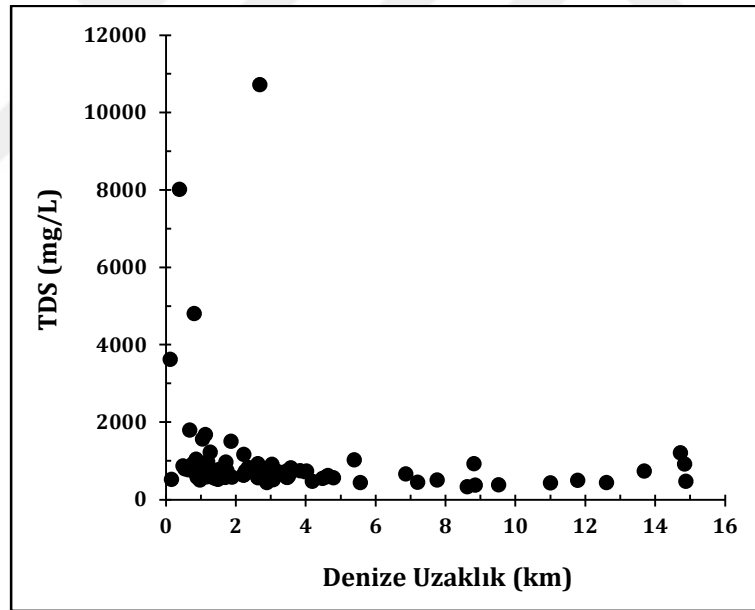


Şekil 4.4. Yeraltı suyu örneklerinin çözünmüş oksijen dağılım haritası.

Çalışma alanı yeraltı sularının toplam çözünmüş madde (TDS) değerleri 334 ile 10720 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4.5). Örneklerin 32 tanesinde 2008 yılı [7] TDS değerlerine göre artış söz konusudur. Bu artışlar beş adet örnekte yüksek değerlerde olup TDS değerlerindeki artış 806, 7285, 3022, 4158 ve 1000 mg/L'dir. Tarsus Kıyı Akiferinin güneybatı bölümünde kıyıya yakın alanlarda bulunan bu kuyuların (Şekil 4.5) klorür (Cl⁻) değerlerinde sırasıyla 588, 3793, 1914, 2422 ve 457 mg/L artış gözlenmiştir. TDS değerleri denize yakın mesafelerde yüksek olup örneklerin denize olan mesafesi arttıkça düşük TDS değerleri gözlenmektedir [Şekil 4.6]. Çalışma alanı ve yakın çevresinde yapılan daha önceki çalışmalarda [4-9] deniz suyu girişiminin varlığı vurgulanmıştır. Yukarıda belirtilen kuyulara ait örneklerin TDS ve klorür değerlerindeki artışları dikkate alındığında deniz suyu girişiminin kritik seviyede olduğu değerlendirilebilir. Freeze ve Cherry [107] tarafından yapılan TDS sınıflamasına göre, yeraltı suyu örneklerinin 74 tanesi tatlı su (0-1000 mg/L), 12 tanesi acı su (1000-10000 mg/L) ve bir tane örnek ise tuzlu su (10000-100000 mg/L) sınıfına girmektedir.



Şekil 4.5. Yeraltı suyu örneklerinin toplam çözünmüş madde (TDS) dağılım haritası.



Şekil 4.6. Yeraltı suyu örneklerinin toplam çözünmüş madde (TDS)-denize uzaklık grafiği.

4.2. Suların Kimyasal Parametreleri

Bu çalışma kapsamında alınan 87 adet yeraltı suyu ve bir adet deniz suyu örneğinde analiz edilen dört majör katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+), altı majör anyon (Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{-2} , SO_4^{-2} , NO_3^- , NO_2^-) ve dört iz element (B, Br, Sr ve Li) izleyen bölümde değerlendirilmiştir. Bu parametrelerin dağılım haritaları oluşturularak tuzlanmaya neden olan mekanizmaların

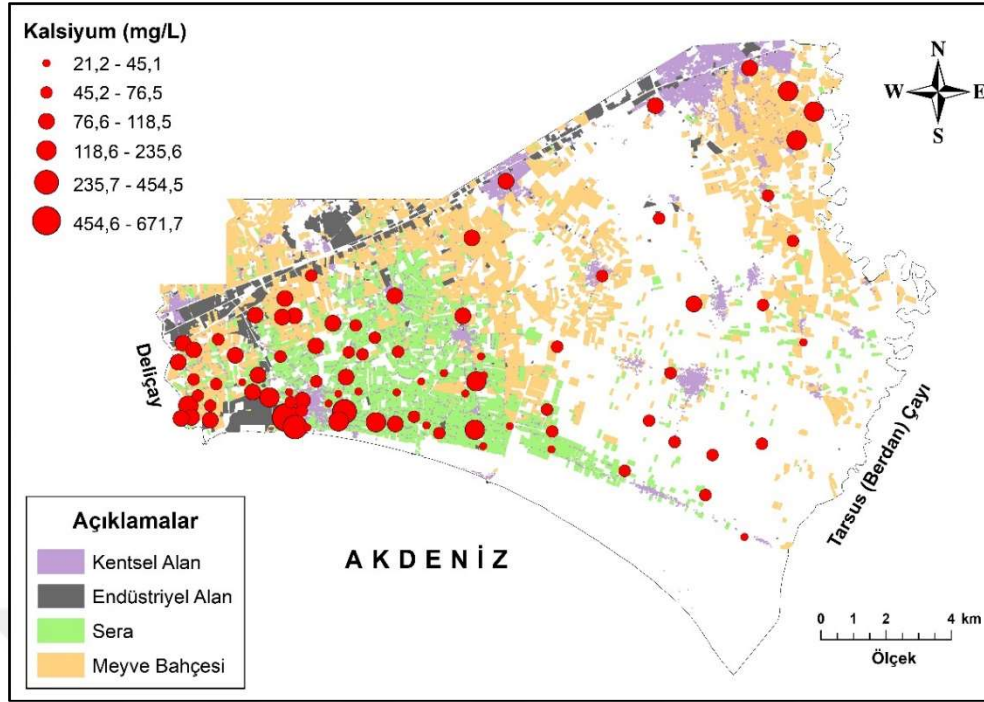
belirlenmesi amacıyla çeşitli hesaplamalar (iyon oranları), grafikler, diyagramlar ve indekslerle ilgili çeşitli yorumlamalar yapılmıştır.

Bu bölümde, yeraltı suyu örneklerine ait kimyasal parametreler, 2008 yılında yapılan çalışmaya [7] ait sonuçlarla karşılaştırılmış ve parametrelerin olası kaynaklarıyla ilgili çeşitli yorumlamalar yapılmıştır. Bu tez kapsamında elde edilen yeraltı suyu kimyasal parametrelerine ait tanımlayıcı istatistikler Tablo 4.2’de sunulmuştur.

Tablo 4.2. Yeraltı sularının kimyasal parametrelerinin tanımlayıcı istatistikleri.

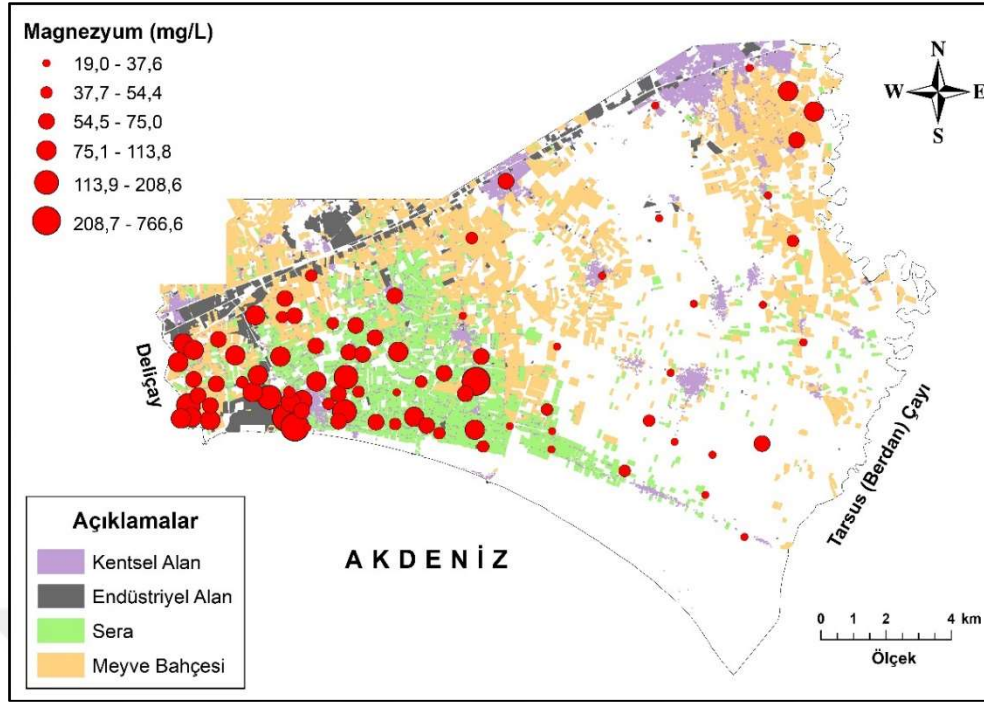
Parametre	Birim	Yeraltı Suyu (n=87)						Deniz Suyu
		Ortalama	Medyan	Minimum	Maksimum	Aralık	Standart Sapma	
Ca ⁺²	mg/L	89,9	70,1	21,1	671,7	650,5	87,1	471,3
Mg ⁺²	mg/L	80,0	59,8	19,0	766,6	747,6	97,8	1418,4
Na ⁺	mg/L	122,1	51,3	10,0	2867,0	2857,0	318,1	10934,1
K ⁺	mg/L	7,0	2,9	1,0	78,6	77,6	12,1	482,9
Cl ⁻	mg/L	276,5	77,4	15,7	5250,0	5234,3	752,2	19903,0
HCO ₃ ⁻	mg/L	282,2	267,0	104,1	649,5	545,4	100,0	65,1
CO ₃ ⁻²	mg/L	1,1	0,9	0,3	3,0	2,7	0,6	1,0
SO ₄ ⁻²	mg/L	99,0	81,3	1,0	510,0	509,0	74,0	2892,0
NO ₃ ⁻	mg/L	47,5	26,5	1,1	214,7	213,5	52,2	224,1
NO ₂ ⁻	mg/L	0,06	0,01	0,00	1,97	1,97	0,24	0,02
B	µg/L	155,8	110,7	36,2	2041,9	2005,6	219,1	3895,2
Br	µg/L	470,0	187,6	41,1	15117,7	15076,6	1633,9	71836,6
Li	µg/L	12,5	10,2	2,5	47,5	44,9	7,8	46,8
Sr	µg/L	1856,5	1272,8	350,3	12590,9	12240,5	1766,2	9593,5

Tarsus Kıyı Akiferi yeraltı suyu örneklerinin kalsiyum (Ca⁺²) değerleri 21,1 ile 671,7 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4.7). Bu çalışma kapsamında elde edilen kalsiyum değerleri ile 2008 yılında [7] elde edilen kalsiyum değerleri karşılaştırıldığında, özellikle kıyıya yakın bölgelerde bulunan dört adet örnekte yüksek artışlar (261, 603, 185 ve 514 mg/L) gözlenmiştir. Deniz suyunun tatlı su ile karışımının bir sonucu olan katyon değişimi ile birlikte, kalsiyum suda zenginleşirken, sodyum katı faz (kil) tarafından tutulmaktadır [10, 34]. Tarsus Kıyı Akiferinin litolojisi heterojen bir karaktere sahip olup kıyı bölgesinde kalınlığı 20-100 m arasında değişen kil-silt tabakalarının ve mercceklerinin varlığı söz konusudur [8]. Bu bağlamda özellikle bu kuyularda deniz suyu girişiminden bahsedilebilmektedir. Çalışma alanındaki tarımsal faaliyetlerde kalsiyum içeren çeşitli maddeler (vermikülit gibi) kullanılmaktadır. Yoğun tarımsal faaliyetler dikkate alındığında, bu tür kimyasal maddelerin kullanımının da yeraltı suyundaki kalsiyum derişiminde artışa neden olabileceği düşünülmektedir.



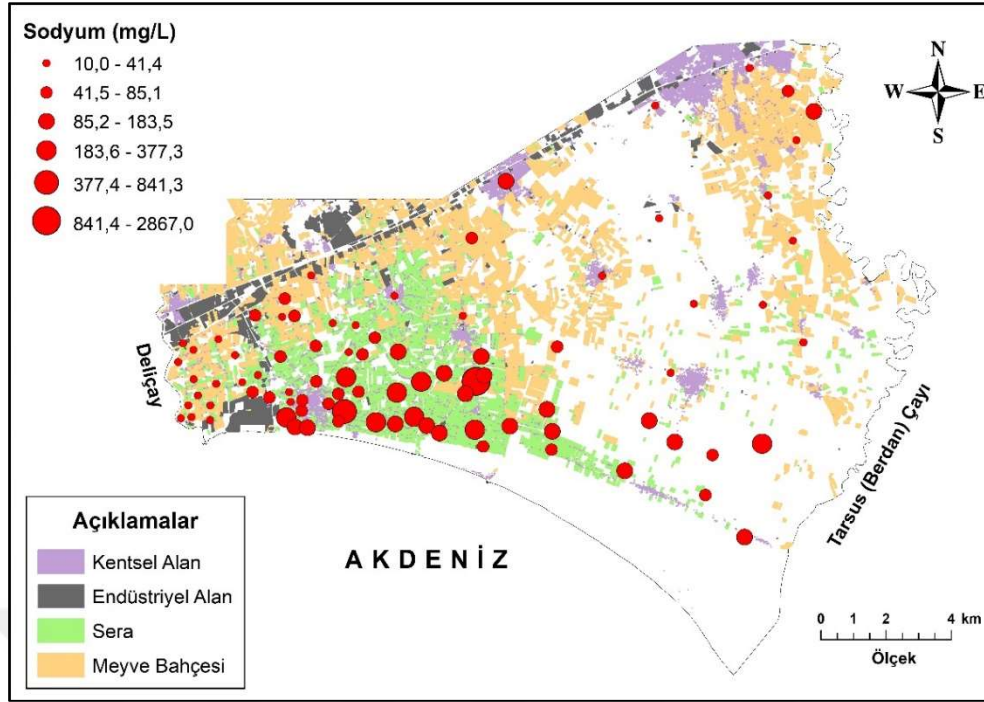
Şekil 4.7. Yeraltı suyu örneklerinin kalsiyum dağılım haritası.

Çalışma alanı yeraltı sularının magnezyum (Mg^{+2}) değerleri 19,0 ile 766,6 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4.8). Bu değerler 2008 yılında yapılan çalışmadaki [7] magnezyum değerleri ile karşılaştırıldığında, kuyuların %78'inde artış olduğu görülür. Kıyıya yakın bölgelerde bulunan üç adet örnekte bu artışlar (376, 701 ve 174 mg/L) yüksek değerlerdedir. Kıyı kesimlerinde deniz suyu girişi sonucu kalsiyum zenginleşmesine ek olarak, deniz suyunda önemli miktarda bulunan magnezyumda da önemli bir artış meydana gelmektedir [29]. Çalışma alanında, magnezyum içeren kimyasallar da tarımsal faaliyetlerde kullanılmakta olup yeraltı suyunda magnezyum derişimi artışına neden olabileceği düşünülmektedir.



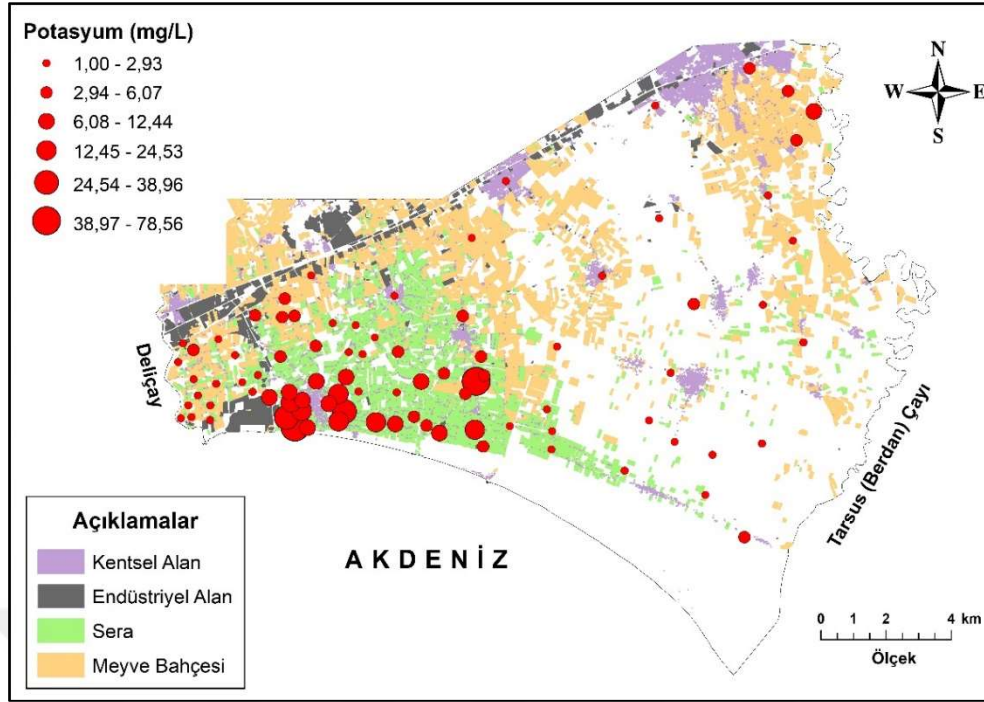
Şekil 4.8. Yeraltı suyu örneklerinin magnezyum dağılım haritası.

Çalışma alanında, yeraltı sularının sodyum (Na^+) değerleri 10,0 ile 2867,0 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4.9). Bu sodyum değerleri 2008 yılı sodyum değerleri [7] ile karşılaştırıldığında, örneklerin yaklaşık %50'sinde artış olduğu belirlenmiştir. Beş adet örnekteki artış (135, 204, 279, 282 ve 735 mg/L) oldukça kritik seviyelerdedir. Çalışma alanında deniz suyu girişiyle beraber farklı süreçlerin (antropojenik ve jeojenik) yüksek sodyum değerleri üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Çalışma alanındaki tarımsal faaliyetlerde sodyum içeren bitki koruyucu kimyasallar (nemasol gibi) yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu kimyasalların yeraltı sularının sodyum derişimindeki artışta etkili olduğu düşünülmektedir. Tezin sonraki bölümlerinde bu mekanizmaların ayrıntılı olarak açıklanması amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmıştır.



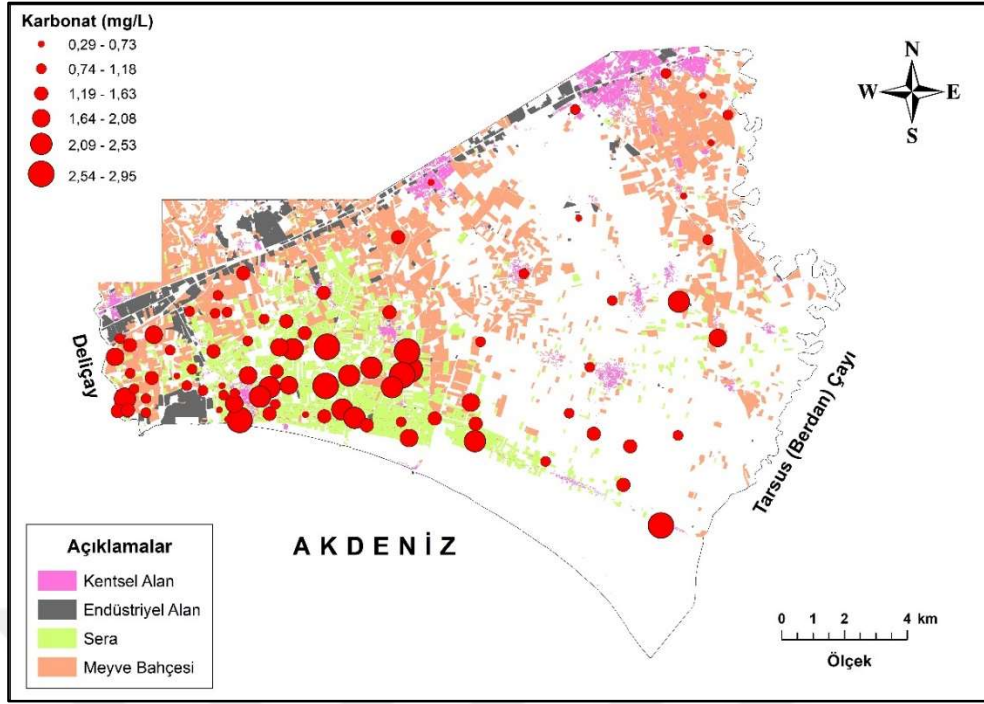
Şekil 4.9. Yeraltı suyu örneklerinin sodyum dağılım haritası.

Çalışma alanında, yeraltı sularının potasyum (K^+) değerleri 1,00 ile 78,56 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4.10). Bu potasyum değerleri 2008 yılı potasyum değerleri [7] ile karşılaştırıldığında, kuyuların %82'sinde artış olduğu görülür. Özellikle dört adet örnekte yüksek artışlar (18, 20, 36 ve 42 mg/L) gözlenmiştir. Çalışma alanındaki yoğun tarımsal faaliyetlerle (potasyum içeren gübrelerin kullanımı) birlikte endüstriyel alanların yoğunluğu göz önünde bulundurulduğunda, yeraltı sularındaki K^+ derişimi birçok farklı süreçten etkilenmektedir. Çalışma alanındaki tarımsal faaliyetlerde kullanılan mika mineralleri (özellikle vermikülit), yeraltı sularındaki potasyumun başlıca kaynağıdır. Bununla beraber potasyum içeren bitki koruyucu kimyasallar (tamifume gibi) potasyum derişiminin artışında etkili olmaktadır.

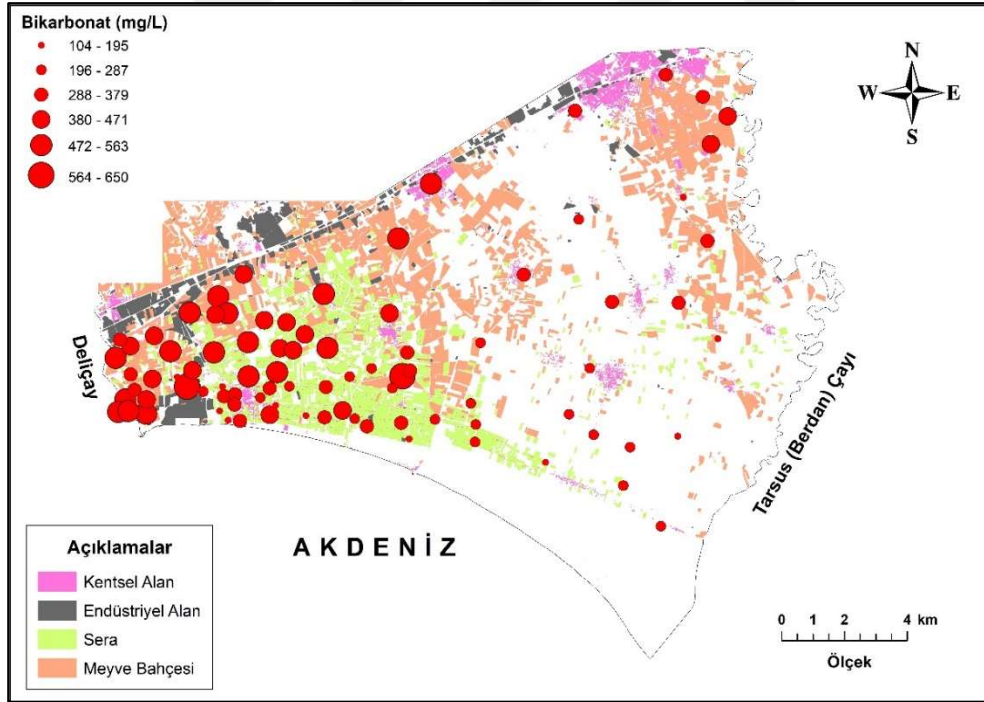


Şekil 4.10. Yeraltı suyu örneklerinin potasyum dağılım haritası.

Çalışma alanındaki yeraltı sularının karbonat (CO_3^{2-}) değerleri 0,29 ile 2,95 mg/L arasında (Şekil 4.11), bikarbonat (HCO_3^-) değerleri ise 104 ile 650 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4.12). 2008 yılı sonuçlarıyla [7] karşılaştırıldığında, karbonat bakımından örneklerin %59'unda, bikarbonat bakımından ise örneklerin %30'unda bir artış gerçekleşmiştir. Yüksek karbonat değerleri çalışma alanının denize yakın orta bölümünde (Şekil 4.11), yüksek bikarbonat değerleri çalışma alanının batı sınırını oluşturan Delicay'ın yakın çevresinde yayılım göstermektedir (Şekil 4.12). Yüksek karbonat değerlerinin görüldüğü bölgelerde yüksek pH değerleri görülmektedir. Akiferin besleniminin olduğu alanlarda bikarbonat değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir.



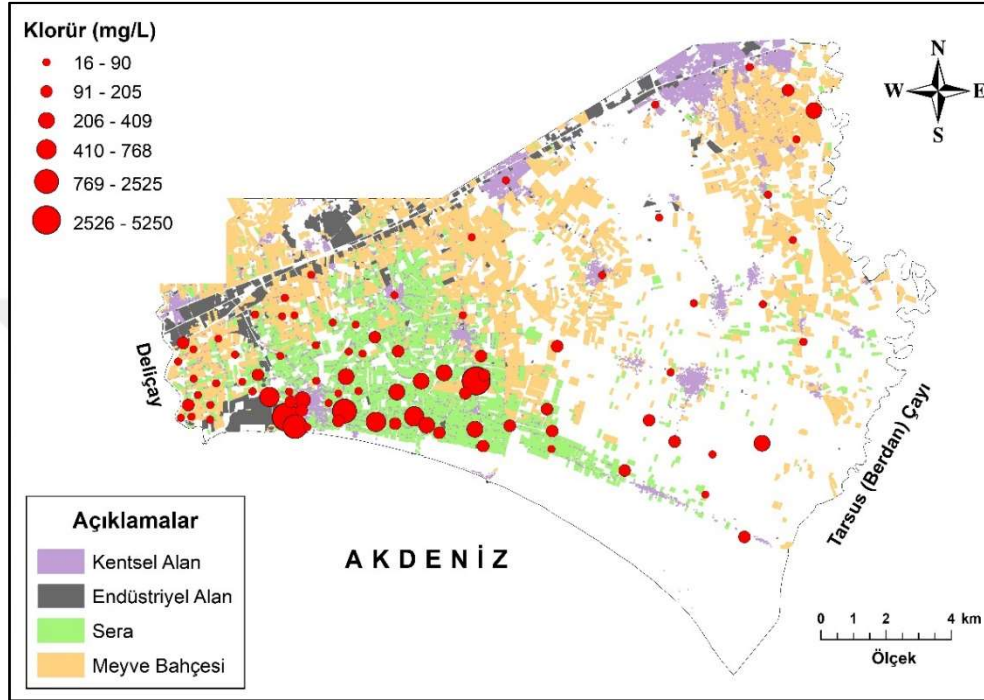
Şekil 4.11. Yeraltı suyu örneklerinin karbonat dağılım haritası.



Şekil 4.12. Yeraltı suyu örneklerinin bikarbonat dağılım haritası.

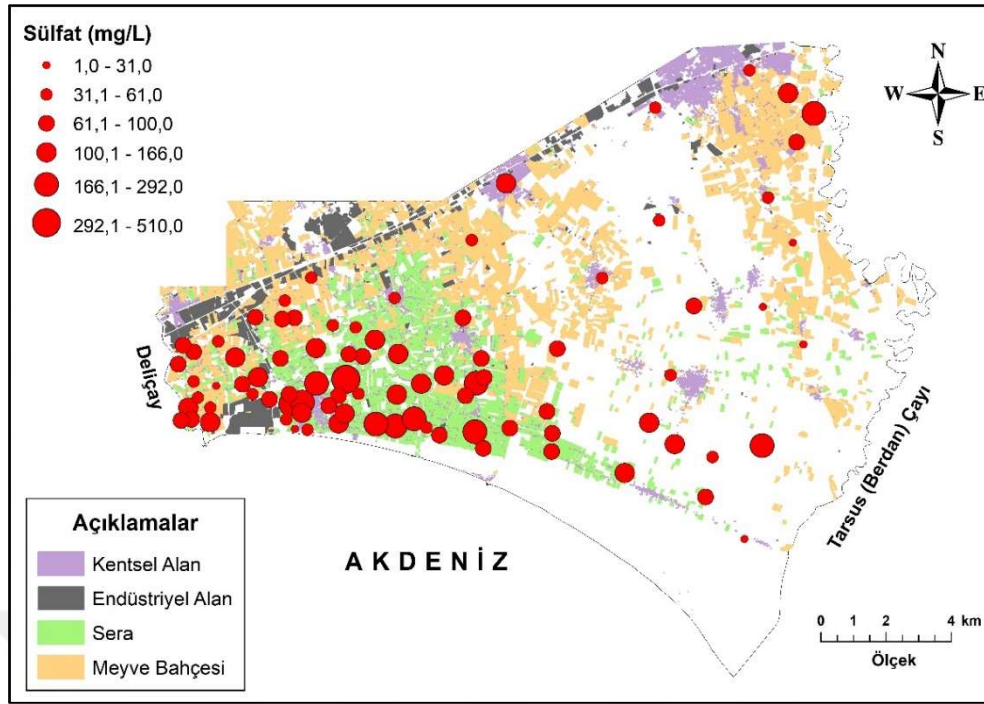
Bu çalışma kapsamında yapılan örneklemede, yeraltı sularının klorür (Cl^-) değerlerinin 16 ile 5250 mg/L arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 4.13). Bu değerler 2008 yılı Cl^- değerleri [7] ile karşılaştırıldığında, kuyuların %65'inde artış olduğu belirlenmiştir. Klorür değerlerindeki bu artışlar özellikle altı örnekte (457, 573, 588, 1914, 2422 ve 3745 mg/L)

yüksek seviyededir. Bu kuyular denize yakın (<1,2 km) bölgelerde bulunmaktadır. Klorür, deniz suyu girişiminin değerlendirilmesi amacıyla izleyici olarak kullanılmaktadır. En yüksek klorür değeri (5250 mg/L), kıyıya 2,68 km uzaklıkta bulunan bir örnekte ölçülmüştür. Bu örnekte, farklı faktörlerin (antropojenik ve jeojenik) yüksek klorür derişimine neden olduğu düşünülmektedir.



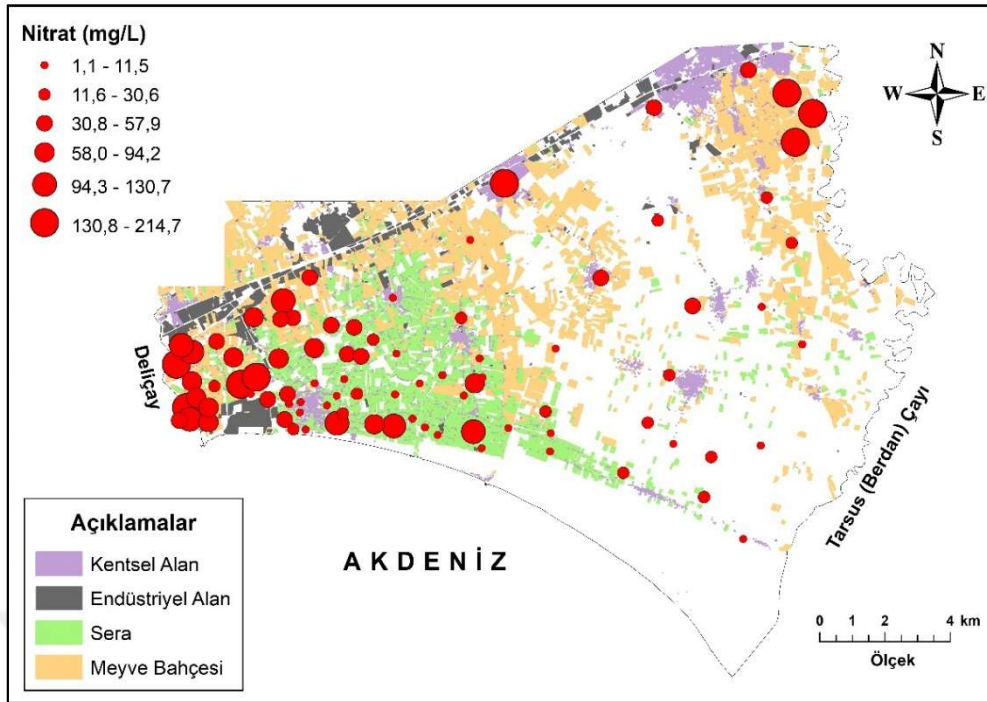
Şekil 4.13. Yeraltı suyu örneklerinin klorür dağılım haritası.

Çalışma alanından alınan yeraltı suyu örneklerinin sülfat (SO_4^{2-}) değerleri 1,0 ile 510,0 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4.14). Bu değerler 2008 yılı değerleriyle [7] karşılaştırıldığında, örneklerin %50'sinde sülfatın arttığı görülmektedir. Deniz suyu girişiminden etkilenen akiferlerde, organik maddelerin varlığı, indirgenme koşulları ve jips çökelişi gibi nedenlere bağlı olarak sülfat tükenmesi görülebilmektedir [112, 113]. Ancak çalışma alanında, yerel olarak kalın jips tabakalarının bulunması, bu bölgelerde jips çözünmesine bağlı olarak yeraltı sularının sülfat derişiminde artışlara sebep olmaktadır [8]. Bu durum da, deniz suyu girişimiyle ilişkili gerçekleşen sülfat derişimlerindeki azalma etkisini yok etmektedir. Yeraltı sularındaki sülfatın diğer kaynaklarını da endüstriyel ve tarımsal faaliyetler ile birlikte evsel atıklar oluşturmaktadır. Yüksek sülfat değerleri çalışma alanının güneybatı kısmında yoğunluk göstermekte olup lokal olarak kuzey ve doğu bölümünde de yüksek değerler gözlenmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Yeraltı suyu örneklerinin sülfat dağılım haritası.

Çalışma alanı yeraltı suyu örneklerinin nitrat (NO_3^-) değerleri 1,0 ile 214,7 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4.15). Bu çalışma kapsamında belirlenen nitrat derişimleri ile 2008 yılı nitrat derişimleri [7] karşılaştırıldığında, örneklerin %78'inde artış olduğu tespit edilmiştir. Nitrat derişimlerinde önemli miktarlarda artış mevcut olup çalışma alanının batı sınırını oluşturan Deliçay'ın yakın çevresinde ve çalışma alanının kuzeyinde yer alan (Şekil 4.15) kuyulara ait örneklerdeki bu artışlar Tablo 4.3'te sunulmuştur. Yeraltı sularındaki nitratın ana kaynağını aşırı gübre kullanımı (doğal ve suni gübreler), septik tanklar ve kanalizasyon deşarjları ile sanayi atıkları oluşturmaktadır [34, 69]. Çalışma alanı sınırları içerisinde yapılan önceki çalışmalarda da nitratın oluşturduğu kirlilik vurgulanmıştır [7, 8, 69]. Bu alanda yüksek nitrat derişimlerinin olası kaynaklarının aşırı gübre kullanımı ve evsel atıklar olduğu ifade edilmiştir [8].



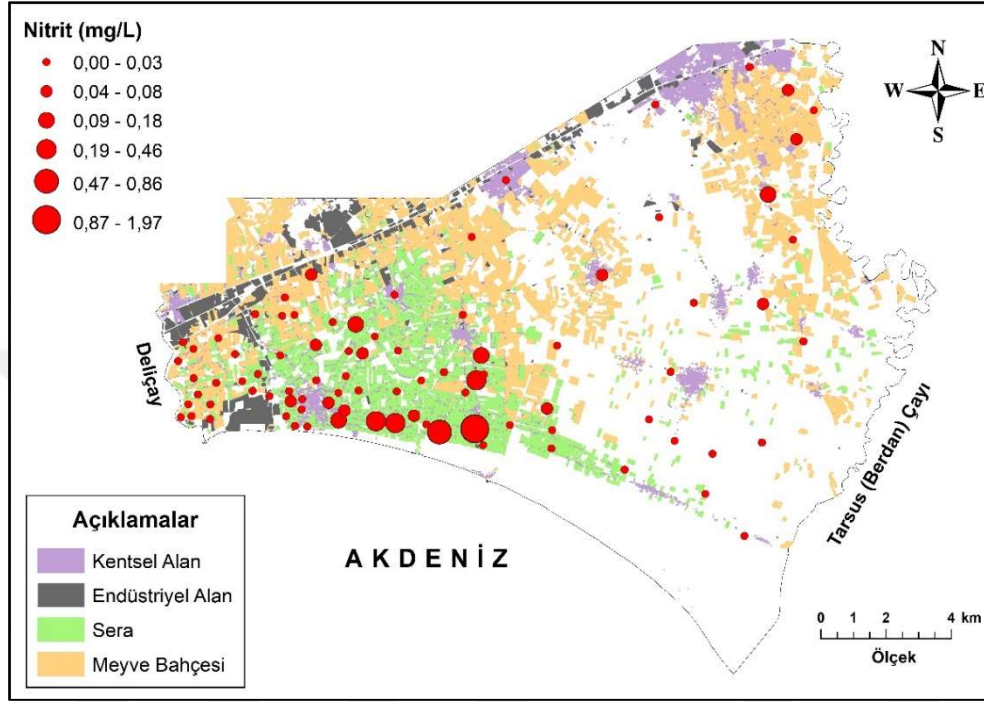
Şekil 4.15. Yeraltı suyu örneklerinin nitrat dağılım haritası.

Tablo 4.3. 2008 ve 2020 yılı örneklemelemlerindeki (12 kuyu) nitrat derişimleri ve artış miktarları.

Örnek No	NO ₃ ⁻ (2008) (mg/L)	NO ₃ ⁻ (2020) (mg/L)	Artış Miktarı (mg/L)
W177	22	215	193
W8	9	164	155
W178	27	145	118
W63	3	105	102
W16	23	112	92
W13	2	92	84
W62	4	85	81
W4	69	147	78
W89	34	110	76
W18	19	94	73
W3	33	103	70
W91	27	94	67

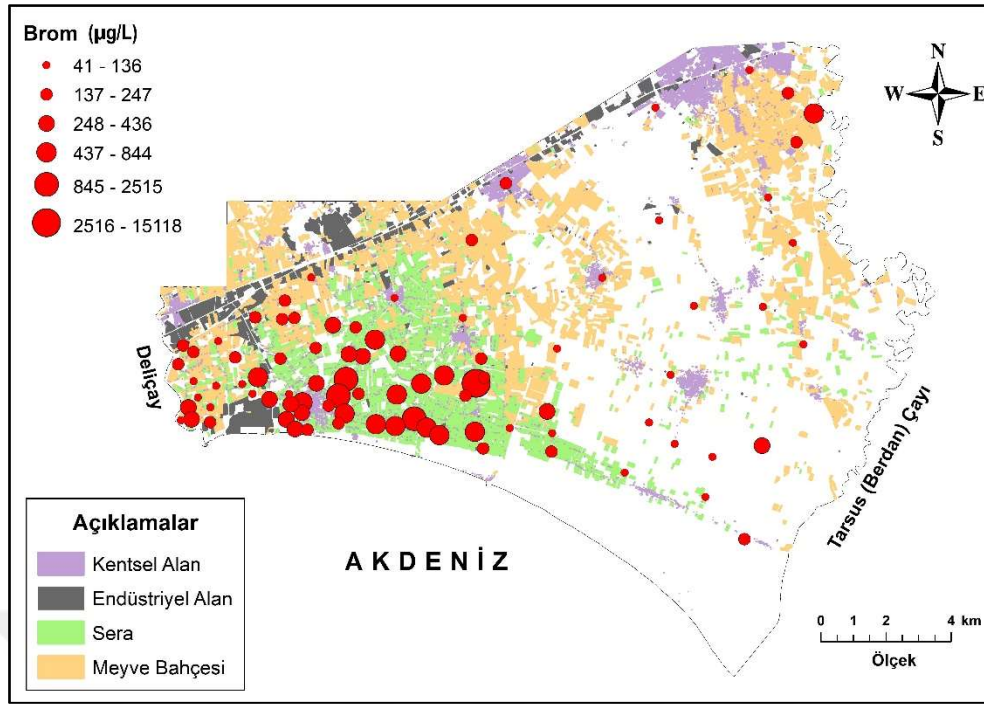
Çalışma alanından alınan yeraltı sularının nitrit (NO₂⁻) değerleri 0 ile 1,97 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 4.16). Örnekleme noktaları baz alındığında, 2008'den 2020 yılına kadar geçen sürede bölgedeki yeraltı sularının %76'sında nitrit derişimlerinde artış meydana geldiği söylenebilir. Genel olarak nitrit derişimlerindeki artışlar göz ardı edilecek seviyede olmakla birlikte, üç adet örnekte yüksek (0,86, 0,59 ve 0,43 mg/L) artışlar gözlenmiştir. Tarımsal gübre

ve ilaçlar, organik atıkların bozunması, endüstriyel ve evsel atıklar yeraltı sularında nitritin kaynaklarını oluşturmaktadır [27, 47]. Yüksek nitrit derişimleri çalışma alanının güneyinde yoğun sera tarımının yapıldığı alanlarda yoğunlaşmış olup lokal olarak çalışma alanının kuzeyinde ve güneyinde yüksek nitrit derişimleri tespit edilmiştir (Şekil 4.16).



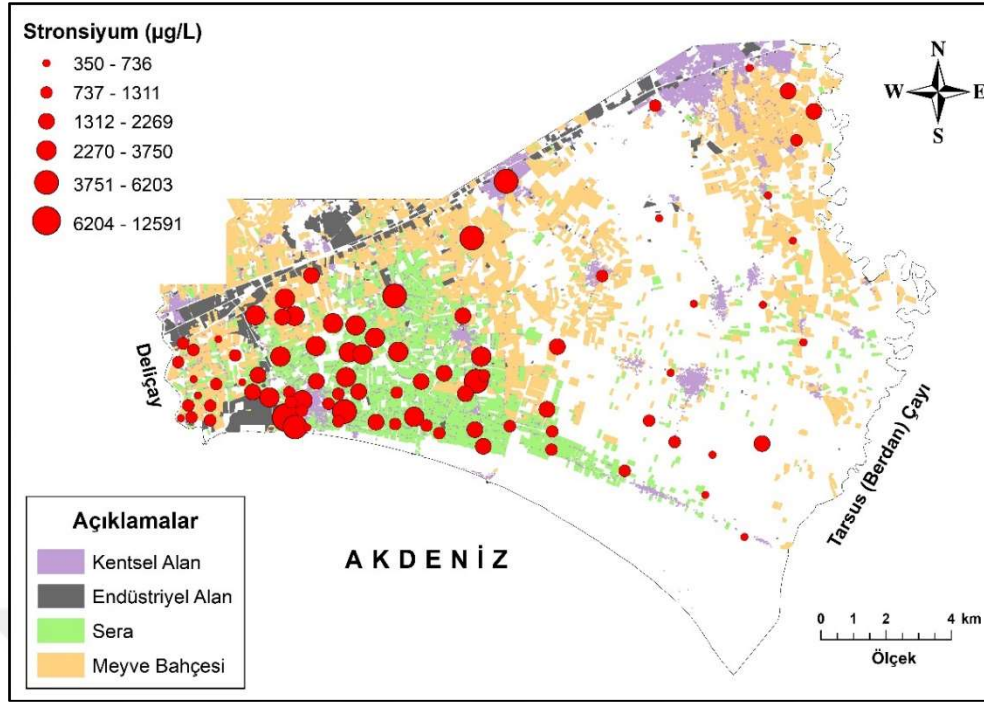
Şekil 4.16. Yeraltı suyu örneklerinin nitrit dağılım haritası.

Çalışma alanı yeraltı suyu örneklerinin brom (Br) değerleri 40 ile 15118 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmektedir (Şekil 4.17). Bu değerler, 2008 yılı brom değerleri [7] ile karşılaştırılmış ve örneklerin %42'sinde brom derişiminin arttığı gözlenmiştir. Çalışma alanının güneyinde denize yakın ve sera tarımının yoğun yapıldığı alanlarda (Şekil 4.17) bulunan bazı kuyulara ait yeraltı suyu örneklerinde yüksek brom artışları gözlenmiştir. Bu artışlar beş adet örnekte 1763, 1617, 1440, 539 ve 335 $\mu\text{g/L}$ 'dir. Aynı bölgede bulunan ve denize mesafesi 2,68 km olan örnekte en yüksek (15118 $\mu\text{g/L}$) brom derişimi tespit edilmiştir. Diğer iz elementlere göre deniz suyunun (Akdeniz'de: 71837 $\mu\text{g/L}$) önemli bir bileşeni olan brom, klorür gibi konservatif özellik sergilediğinden dolayı deniz suyu girişiminin etkisi altında olan akiferlerde yüksek derişimlerde bulunmaktadır [63]. Deniz suyu girişi ile birlikte antropojenik ve doğal (evaporitler) kaynaklı brom derişimlerinin değerlendirilmesi amacıyla çeşitli iyon oranları ve grafikler kullanılmıştır.



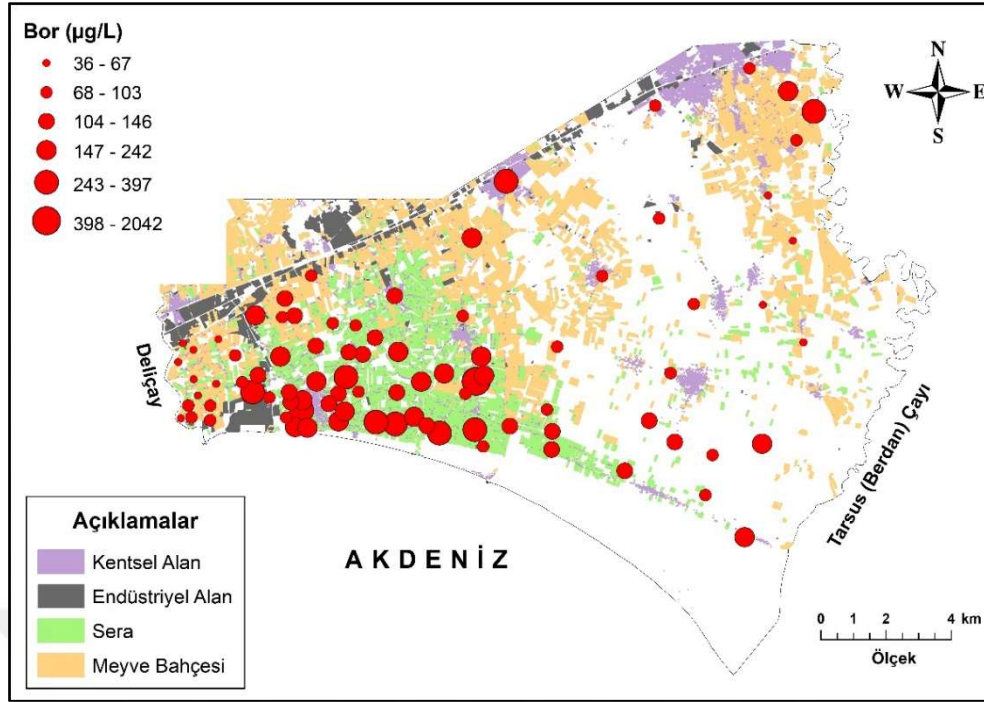
Şekil 4.17. Yeraltı suyu örneklerinin brom dağılım haritası.

Çalışma alanından alınan yeraltı suyu örneklerinin stronsiyum (Sr) derişimleri 350 ile 12591 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmektedir (Şekil 4.18). Bu çalışma kapsamında belirlenen stronsiyum değerleri 2008 yılı değerleri [7] ile karşılaştırıldığında, örneklerin %89'unda artış olduğu tespit edilmiştir. Yüksek stronsiyum değerleri genellikle, çalışma alanının güneybatısında ve batısında gözlenmektedir (Şekil 4.18). Denize uzaklığı 370 m olan örnekte en yüksek stronsiyum derişimi (12590 $\mu\text{g/L}$) tespit edilmiş olup bu değer deniz suyundaki stronsiyum derişiminden (Akdeniz'de: 9594 $\mu\text{g/L}$) oldukça fazladır. Stronsiyum, yeraltı suyunun tuzluluk mekanizmalarını açıklamak için klorür, sodyum ve sülfat parametrelerinin tamamlayıcısı olarak kullanılmaktadır [76]. Yüksek stronsiyum derişimleri (>5000 $\mu\text{g/L}$) deniz suyu girişiminin göstergesi kabul edilmekte [55] olup evaporitlerle temasta olan yeraltı sularında da yüksek stronsiyum derişimleri görülebilmektedir [114]. Bu nedenle, bu parametrelerin değerlendirilmesi amacıyla çeşitli grafiksel yöntemler tezin sonraki bölümlerinde kullanılmıştır.



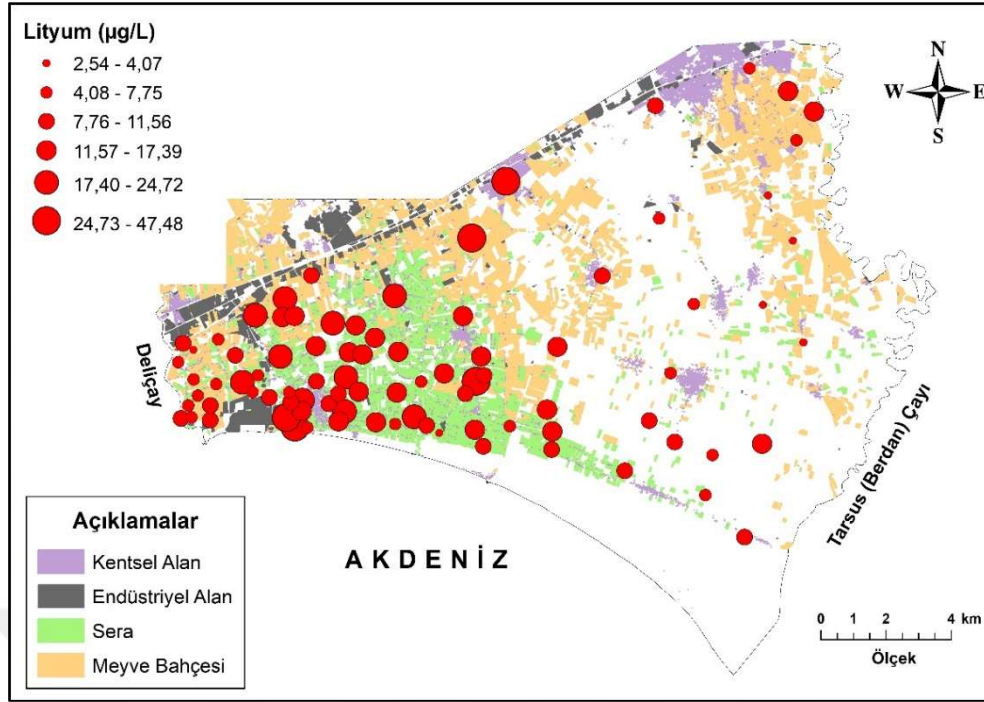
Şekil 4.18. Yeraltı suyu örneklerinin stronsiyum dağılım haritası.

Çalışma alanından alınan yeraltı suyu örneklerinin bor (B) değerleri 36 ile 2042 $\mu\text{g/L}$ arasında değişmektedir (Şekil 4.19). Bu çalışma kapsamında belirlenen bor derişimlerinin 2008 yılı derişimlerine [7] göre %23 arttığı gözlenmiştir. Çalışma alanının güney-güneybatısında ve lokal olarak batı ve kuzey bölgelerinde (Şekil 4.19) yüksek bor değerleri gözlenmiştir. Yüksek bor değerlerinin görüldüğü kuyular tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerin yoğun olduğu, ayrıca denize yakın alanlarda bulunmaktadır. En yüksek bor derişimi (2042 $\mu\text{g/L}$), denize uzaklığı 2,68 km olan örnekte tespit edilmiştir. Deniz suyunun (Akdeniz'de: 3896 $\mu\text{g/L}$) brom ve stronsiyumdan sonra önemli bir bileşeni olan bor, kıyı akiferlerinde deniz suyu girişiminin göstergesi olarak kabul edilmektedir [71]. Bununla birlikte, evsel/endüstriyel atıklar, tarımda kullanılan ilaçlar/gübreler ve evaporitlerin çözünmesi sonucu yeraltı sularında bor derişimi artmaktadır [71].



Şekil 4.19. Yeraltı suyu örneklerinin bor dağılım haritası.

Çalışma alanından alınan yeraltı suyu örneklerinin lityum (Li) değerleri 2,54 ile 47,48 µg/L arasında değişmektedir (Şekil 4.20). Deniz suyunun (Akdeniz) lityum derişimi 46,77 µg/L'dir. Başka bir tuzluluk kaynağı olmadığı durumlarda lityum ile klorür arasında deniz suyu girişimine bağlı olarak doğrusal bir ilişki bulunmaktadır [55]. Yüksek lityum değerleri çalışma alanının çeşitli yerlerinde dağılım göstermektedir (Şekil 4.20). Bir adet örnekte lityum derişimi (47,48 µg/L) deniz suyuna göre daha yüksektir. Yüksek lityum derişimine sahip yeraltı suları evaporitler ile ilişkilendirilmekte olup yüksek Li değerlerinin bölgede lokal olarak görülen jipsli birimlerle ilişkili olduğu düşünülmektedir [71].

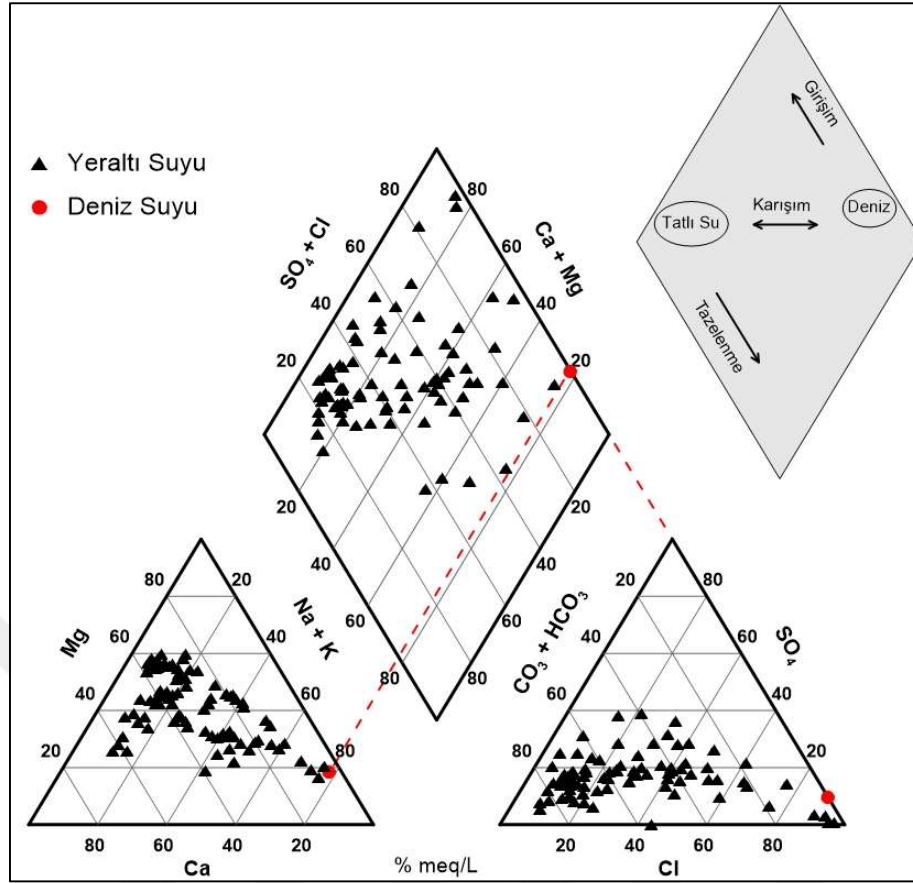


Şekil 4.20. Yeraltı suyu örneklerinin lityum dağılım haritası.

4.3. Hidrojeokimyasal Sınıflandırma

4.3.1. Piper Diyagramı

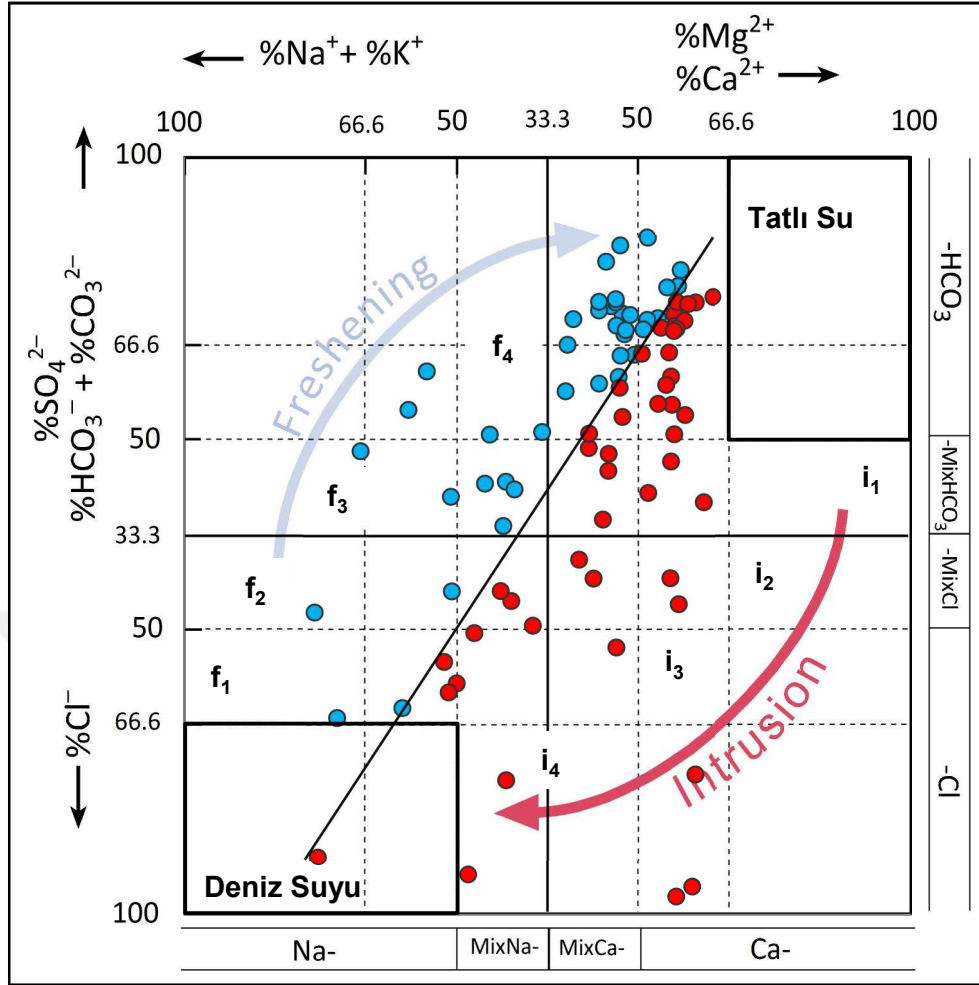
Mevcut çalışma kapsamında alınan yeraltı suyu örneklerini hidrojeokimyasal olarak sınıflandırmak ve fasiyeslerini belirlemek amacıyla Piper diyagramı [108] kullanılmıştır. Buna göre, katyon üçgeni ele alındığında örneklerin yarısından fazlası “karışık tip sular” sınıfında iken anyon üçgeni ele alındığında örneklerin çoğu “bikarbonat+karbonat tipi” sular sınıfına girmektedir (Şekil 4.21). Katyon ve anyon üçgeninin bileşimini yansıtan paralelkenar şekli incelendiğinde, 10 adet örneğin sodyum-klorür su tipinin baskın olduğu ve yeraltı suları ile deniz suyunun etkileşimde olduğuna işaret eden 7. bölgede yer aldığı belirlenmiştir. Örneklerin yarısından fazlası tatlı su ile karakterize edilen “kalsiyum-magnezyum-bikarbonat” tipi suların olduğu 5. bölgede bulunmaktadır. Beş adet örnek “kalsiyum-klorür tipi” suların temsil edildiği 6. bölgede bulunmakta olup bu bölgedeki örneklerde deniz suyu girişiminin etkisi olduğu söylenebilir. Kıyı bölgesindeki yeraltı suyu örneklerinde, konservatif karışıma göre kalsiyum fazlalığı deniz suyu girişimine işaret ederken, sodyum fazlalığı akiferin tazelendiğini göstermektedir [34].



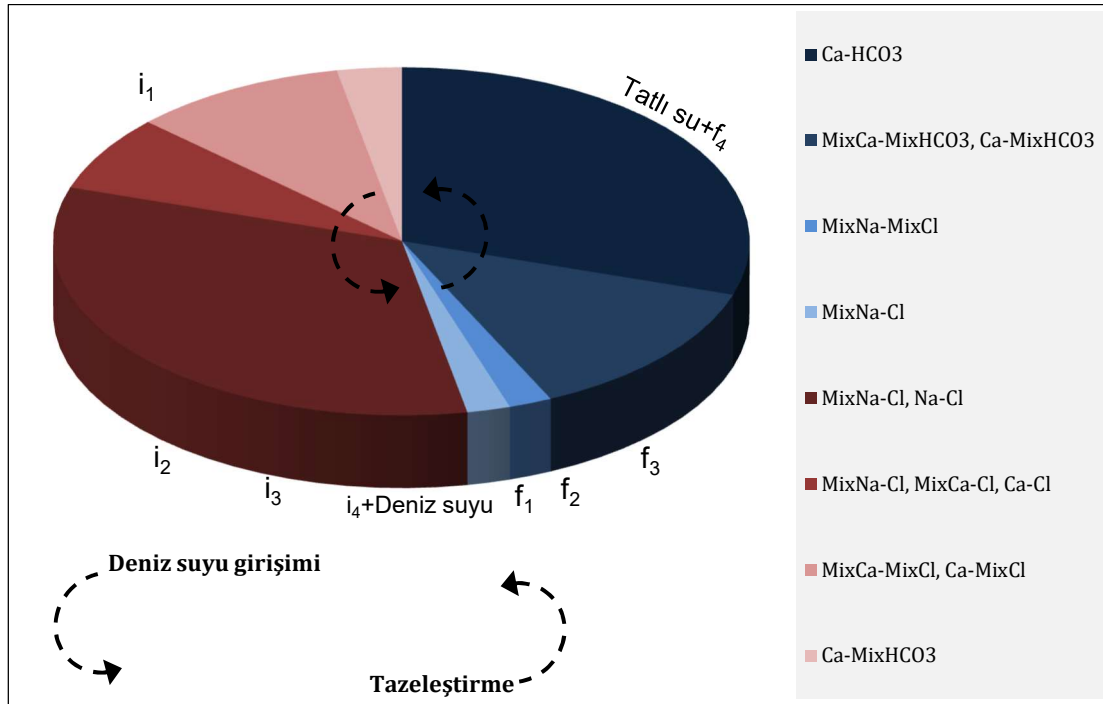
Şekil 4.21. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin Piper diyagramında gösterimi.

4.3.2. Hidrokimyasal Fasiyes Evrim Diyagramı (HFE-D)

Hidrokimyasal fasiyes evrim diyagramı (HFE-D) [104], deniz suyu girişimini değerlendirmek ve kıyı akiferindeki tazelenme-tuzlanma süreçlerini belirlemek için kullanılan bir diyagramdır. Bu doğrultuda çalışma alanını oluşturan Tarsus Kıyı Akiferine deniz suyu etkisinin değerlendirilmesi amacıyla HFE-Diyagramı kullanılmıştır (Şekil 4.22). Bu diyagrama göre; tatlı su ve deniz suyu arasında sekiz alt evre bulunmaktadır. Yeraltı suyu örneklerinin fasiyes dağılım grafiği Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Buna göre tazelenme sürecindeki 40 örneğin ikisi f_1 (MixNa-Cl), ikisi f_2 (MixNa-MixCl), altısı f_3 (MixCa-MixHCO₃) ve 30'u tatlı su+ f_4 (Ca-HCO₃) fasiyesindedir. Deniz suyu girişiminin etkisindeki 47 örneğin 29'u i_1 (Ca-MixHCO₃), yedisi i_2 (MixCa-MixCl), beşi i_3 (MixNa-Cl, Ca-Cl) ve altısı i_4 +deniz suyu (MixNa-Cl, Na-Cl) fasiyesindedir.



Şekil 4.22. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin HFE-Diyagramında gösterimi.

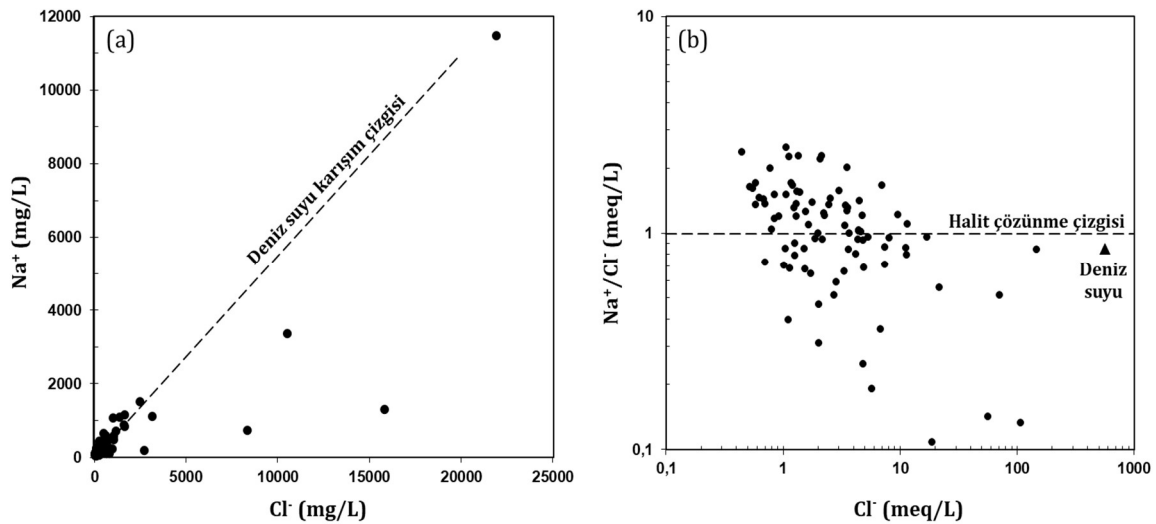


Şekil 4.23. Yeraltı suyu örneklerinin HFE-Diyagramına göre dağılımı.

4.4. Tuzlanmanın Hidrojeokimyasal Ölçütleri

4.4.1. Majör-Minör İyonlar ve İyon Oranları

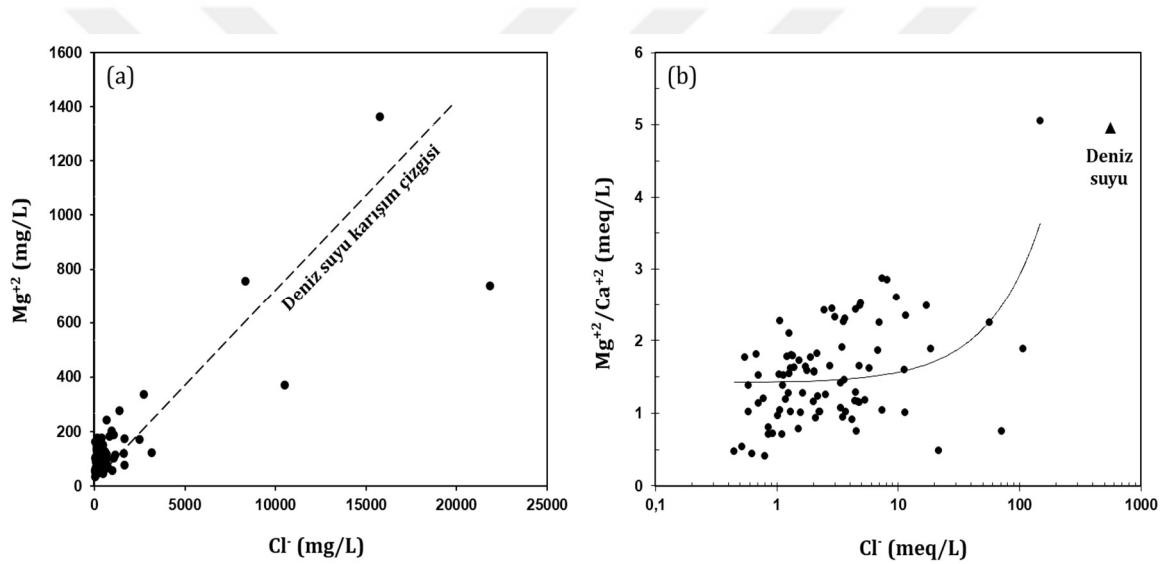
Deniz suyu, ana bileşenlerinin uzun kalma süreleri nedeniyle $0,86$ 'lık Na^+/Cl^- molar oranına sahip üniform bir kimyaya sahiptir [10]. Deniz suyu girişiminin gerçekleştiği akiferlerde kation değişimine ($\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$) bağlı olarak Na^+/Cl^- molar oranı $0,86$ 'dan daha düşük olmaktadır [29]. Na^+/Cl^- molar oranının 1 'e eşit olduğu yeraltı sularında, bu iyonların ana kaynağının halitin çözünmesine bağlı olduğu söylenebilmektedir [63]. Bununla beraber 1 'den büyük Na^+/Cl^- molar oranları antropojenik kaynaklarla ilişkilendirilmektedir [29]. Çalışma alanına ait deniz suyu (Akdeniz) örneğinin Na^+/Cl^- oranı $0,85$ 'tir. Tuzlanma kaynaklarının değerlendirilmesi amacıyla bu iyonlar kullanılarak Na^+-Cl^- (mg/L) ve $\text{Na}^+/\text{Cl}^- - \text{Cl}^-$ (meq/L) grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.24a ve Şekil 4.24b). Genel olarak değerlendirildiğinde, örneklerin sodyum derişimlerinin, deniz suyu karışım çizgisine paralellik gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.24a). Örneklerin %35'nin Na^+/Cl^- oranı deniz suyu girişimine bağlı olarak $0,85$ 'ten daha düşüktür. Özellikle altı adet örnek, deniz suyu Na^+/Cl^- oranıyla aynı ve/veya çok yakın değerlere sahiptir. Grafikte de görüldüğü üzere (Şekil 4.24b) halit çözünme oranına sahip dört adet örnek bulunmaktadır. Örneklerin geri kalan kısmında bu oran 1 'den yüksek değerlere sahip olup sodyum değerlerinin atıksularla (evsel) ilişkili olabileceği düşünülmektedir [115].



Şekil 4.24. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin Na^+-Cl^- ve $\text{Na}^+/\text{Cl}^- - \text{Cl}^-$ grafikleri.

Tatlı yeraltı sularının $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ oranı (meq/L) 1 'den az olmakta ve deniz suyu ($\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}=4,5-5,2$ meq/L) karışımının bir sonucu olarak $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ oranı artmaktadır [10]. Kıyı

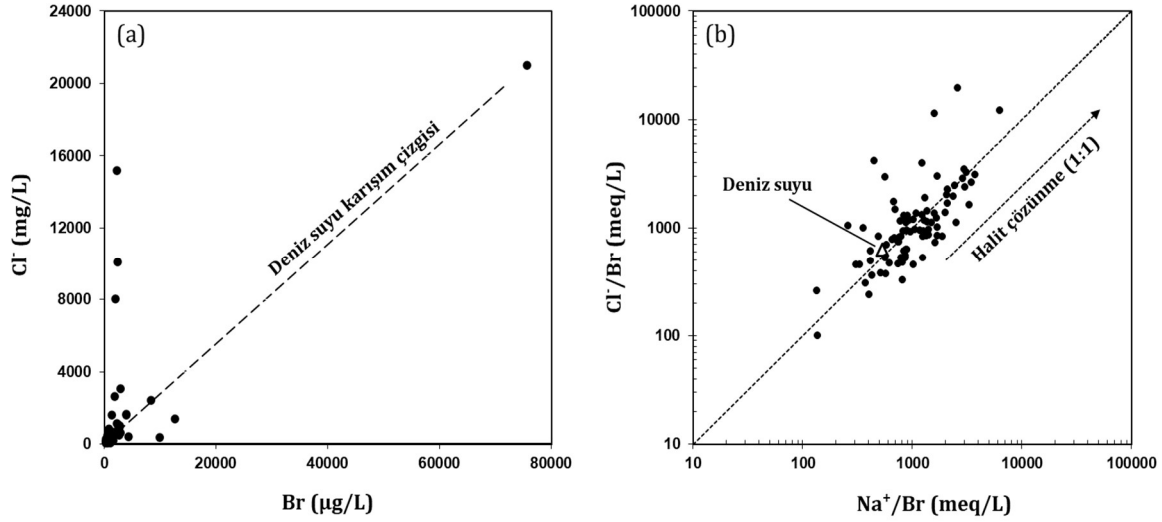
akiferlerinde görülen yüksek Mg^{+2}/Ca^{+2} oranları (>5) deniz suyu girişiminin doğrudan göstergesi olup [55], deniz suyu girişiminden etkilenen yeraltı sularında bu oran genel olarak 1'den büyük değerlere sahiptir [102]. Düşük Mg^{+2}/Ca^{+2} değerleri ($<0,5$) $CaCO_3$ veya jips minerallerinin çözünmesinden kaynaklanmaktadır [63]. Yüksek Mg^{+2}/Ca^{+2} değerleri, jips çökmesi sonucu azalan Ca^{+2} değerlerine bağlı olarak deniz suyunun buharlaşması ile karakterize edilmektedir [63]. Çalışma alanına ait deniz suyu (Akdeniz) örneğinin Mg^{+2}/Ca^{+2} oranı 4,96'dır. Bazı örneklerin $Mg^{+2}-Cl^-$ deniz suyu karışım çizgisinden (Şekil 4.25a) saptığı görülmektedir. Bu örneklerdeki magnezyumun farklı kaynaklardan yeraltı sularına geçtiği söylenebilir. Örneklerin yarısından fazlası 1'den büyük Mg^{+2}/Ca^{+2} oranına sahiptir (Şekil 4.25b). Dört adet örnekte bu oran 0,5'ten küçük olup bu yeraltı suyu örneklerinin evaporitler ile temas halinde oldukları düşünülmektedir.



Şekil 4.25. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin $Mg^{+2}-Cl^-$ ve $Mg^{+2}/Ca^{+2}-Cl^-$ grafikleri.

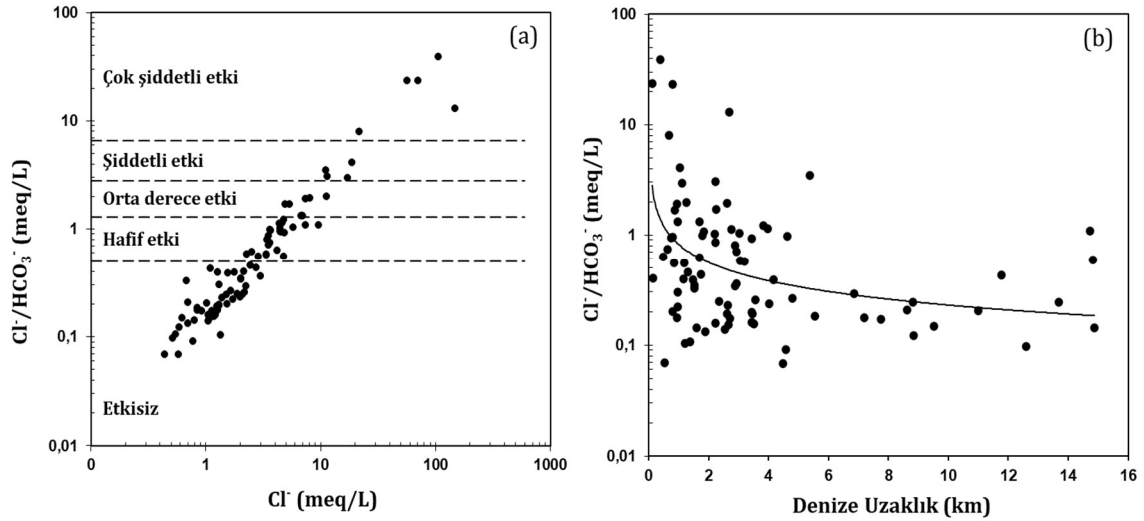
Cl^- ve Br kayaçlarla ikincil reaksiyonlara girmeyen konservatif elementler olduklarından dolayı, Cl^-/Br (meq/L) oranı tuzlanma kaynaklarının tanımlanması açısından sıklıkla kullanılan parametrelerdir [63]. Deniz suyu Cl^-/Br (meq/L) oranı yaklaşık olarak 655'tir [103]. Cl^-/Br oranı ayrıca antropojenik faaliyetlere bağlı yeraltı suyu kirliliği kaynaklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır [102]. Br bazlı pestisitlerin kullanılması, hayvansal ve septik atıkların yeraltı suyuna karışmasıyla Cl^-/Br oranı 300 ile 600 arasında değerler sergilemektedir [103, 116]. Doğal $NaCl$ (halit) veya endüstriyel $NaCl$ 'nin çözünmesi-süzülmesi süreçleri sonucunda Cl^-/Br oranını 1000 ile 10000 arasında değişen değerlere çıkabilmektedir [103, 116]. Çalışma alanına ait deniz suyu (Akdeniz) örneğinin Cl^-/Br oranı 624'tür. Oluşturulan Cl^- - Br grafiğine (Şekil 4.26a) göre; deniz suyundan farklı olarak Tarsus Kıyı Akiferinin tuzlanmasına neden olan birçok

faktörün olduğu söylenebilir. Elde edilen sonuçlara göre; insan kaynaklı etki, deniz suyu girişi ve evaporit çözünmesine bağlı tuzlanmaya göre daha düşüktür. Cl^-/Br ve Na^+/Br oranları dikkate alındığında [117] örneklerin çoğunda halit çözünmesine bağlı olarak tuzlanmanın etkili olduğu söylenebilir (Şekil 4.26b).



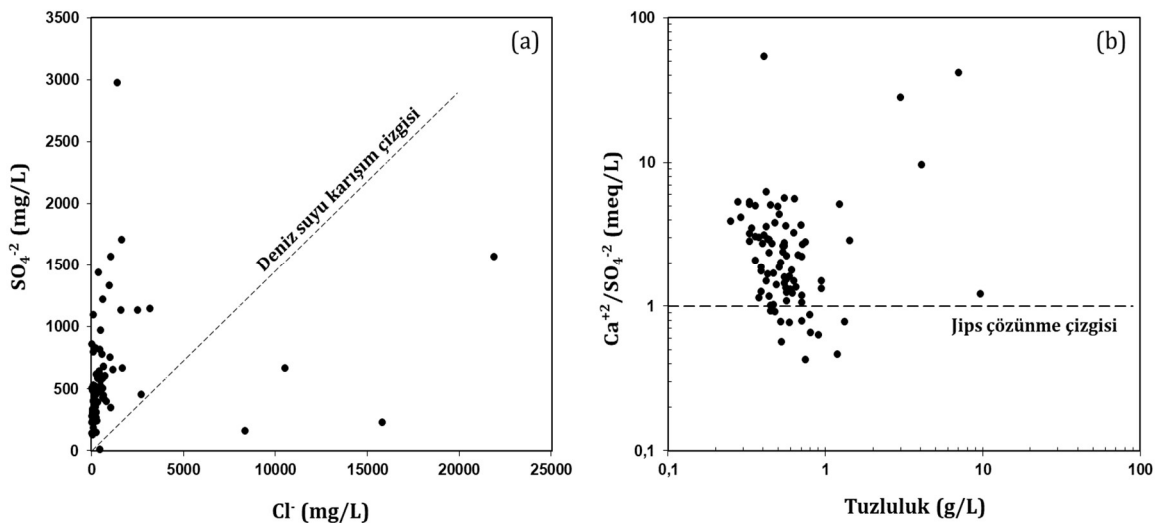
Şekil 4.26. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin Cl^- -Br ve Cl^-/Br - Na^+/Br grafikleri.

Deniz suyunun, Tarsus Kıyı Akiferine olan etkisini değerlendirmek amacıyla $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ (meq/L) oranı kullanılmıştır (Şekil 4.27a). Buna orana göre; yeraltı suyu örneklerinin ($n=87$) 48'inde deniz suyunun etkisi ($<0,5$) yok denecek kadar azdır. Örneklerin 23'ünde hafif etkili ($0,5-1,3$) olan deniz suyunun, yedi tane örnek üzerinde orta derece ($1,3-2,8$) etkisi vardır. Beş adet örnekte deniz suyu şiddetli derecede ($2,8-6,6$) etkili olup beş adet örnekte çok şiddetli derecede ($>6,6$) etkilidir. Deniz suyunun şiddetli ve çok şiddetli derecede etkilediği örneklerin denize olan uzaklıkları 0,11-2,68 km arasında değişmektedir (Şekil 4.27b).



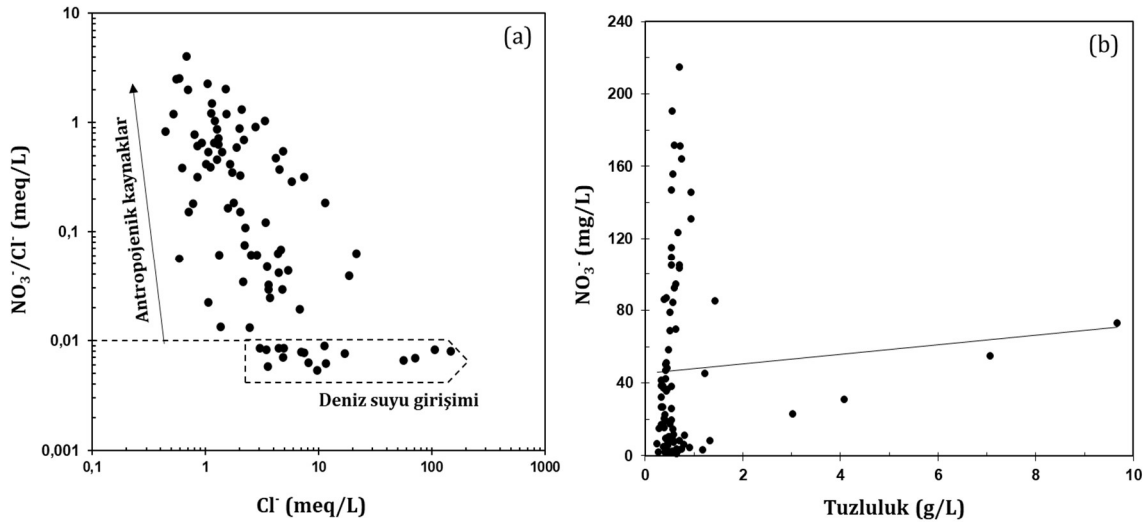
Şekil 4.27. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ - Cl^- ve $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ -deniz uzaklık grafikleri.

Yüksek SO_4^{2-} değerleri yeraltı suyunun jipsli kayalarla temas halinde olduğunu göstermekte olup [71, 75] yeraltı sularının $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{2-}$ oranının (meq/L) 1'e yakın olması [63] bu teoriyi desteklemektedir. Yüksek sülfat derişimi ile birlikte nitratin varlığı farklı kaynakların varlığına da (gübre, kanalizasyon ve hayvan atıkları gibi) işaret etmektedir [118]. Örneklerin büyük çoğunluğu, deniz suyu karışımından daha fazla SO_4^{2-} derişimine sahiptir (Şekil 4.28a). Çalışma alanındaki yoğun tarımsal faaliyetler dikkate alındığında, sülfatlı gübrelerin (amonyum sülfat gibi) kullanımının yeraltı sularının tuzlanması önemli bir rol oynadığı söylenebilir. Örneklerin çoğunluğunda $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{2-}$ oranı yüksek değerlere sahiptir (Şekil 4.28b). Ca^{+2} fazlalığı deniz suyu girişimine bağlı olarak gelişen katyon derişimi ve/veya karbonat çözünmesi ile ilişkilendirilmektedir [119]. $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{2-}$ oranının 1'e yakın değerler sergilediği bölgelerde jips mineralinin çözünmesiyle ilgili süreçlerin etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.28. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin SO_4^{2-} - Cl^- ve $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{2-}$ -tuzluluk grafikleri.

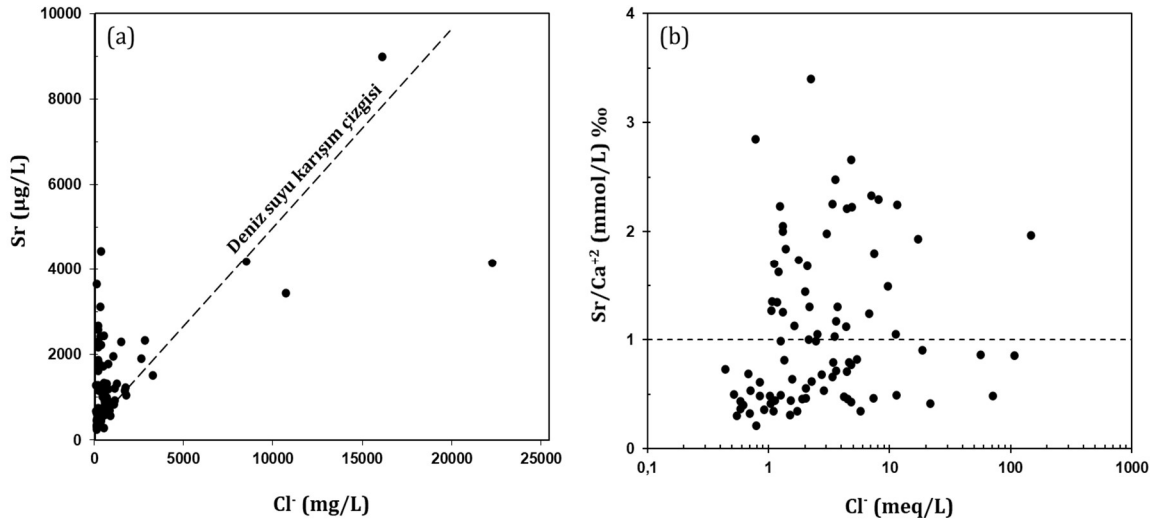
Klorür (Cl^-), deniz suyu girişiminin önemli bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, antropojenik kirliliğin en önemli göstergesi, genellikle tarımda kullanılan çeşitli doğal ve suni gübrelerle ilişkilendirilen nitrattır (NO_3^-) [10, 105]. Çalışma alanında nitratlı gübrelerin serbestçe uygulandığı bilinmektedir ve bu alanların tarımsal kirletici maddelere karşı hassas olduğu önceki çalışmalarda vurgulanmıştır [8]. Bu bağlamda, deniz suyu karışımını ve tarımsal kirliliği tanımlamak için $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ ve Cl^- grafiği [105, 118] kullanılmıştır (Şekil 4.29a). Nitratin klorüre göre daha düşük derişimlere sahip olması nedeniyle deniz suyu girişimi sürecini yansıtan $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ oranı 0'a yakın olmaktadır [118]. Deniz suyu girişimini yansıtan örneklerin $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ grafiği Şekil 2.29a'da gösterilmiştir. Yüksek $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ değerleri antropojenik kirlilik göstergesi olarak değerlendirilmektedir [118]. Ayrıca, yüksek NO_3^- derişimine sahip örneklerde yaklaşık 1 olan $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ oranı hayvansal ve insan kaynaklı atıkların önemli bir kirlilik kaynağı oluşturduğunu göstermektedir [120]. Örneklerin büyük çoğunluğunda, nitratin kaynağını tarımsal faaliyetlerde kullanılan çeşitli gübrelerle, hayvansal ve insan kaynaklı atıklar oluşturmaktadır. Çalışma alanında nitrat ile tuzluluk arasında düşük bir korelasyon ($r=0,12$) gözlenmiştir (Şekil 4.29b).



Şekil 4.29. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$ - Cl^- ve NO_3^- -tuzluluk grafikleri.

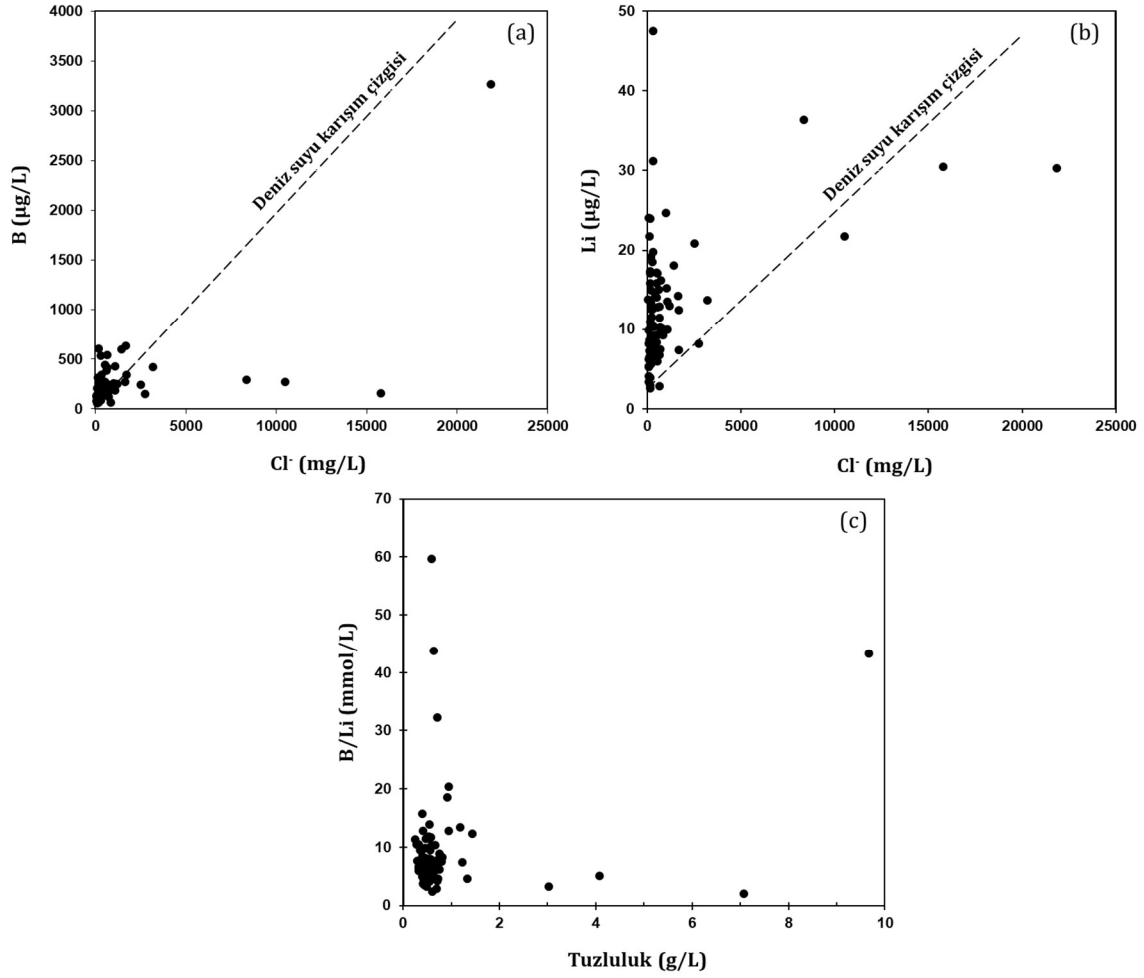
Sr, B ve Li gibi minör iyonların deniz suyundaki derişimleri, tatlı yeraltı suyundaki derişimlerden daha yüksek olduğu için deniz suyu girişiminin göstergesi olarak kullanılmaktadır [74]. Bununla birlikte, bu iyonlar farklı tuzlanma süreçlerinin tanımlanmasında iyi bir gösterge olarak kabul edilmektedirler [74]. Örneklerin yaklaşık yarısında stronsiyum, klorür ile temsil edilen deniz suyu karışım oranına yakın eğilim göstermiştir (Şekil 4.30a). Bununla birlikte deniz suyu etkisinden farklı olarak bazı örneklerde

yüksek stronsiyum derişimleri gözlenmiştir (Şekil 4.30a). Sr/Ca^{+2} molar oranı evaporitlerin yeraltı suyuna etkisini göstermek amacıyla kullanılmakta olup bu oran evaporitlerin etkisi ile ≥ 1 olmaktadır [76]. Örneklerin %44'ünde Sr/Ca^{+2} oranı ≥ 1 'dir (Şekil 4.30b). Özellikle 12 adet örnekte Sr/Ca^{+2} oranı yüksek değerlere (2,0-3,4) sahiptir ve bunlar çalışma alanının orta ve güneybatı bölümleri arasında dağılım göstermektedir.



Şekil 4.30. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin $\text{Sr}-\text{Cl}^-$ ve $\text{Sr}/\text{Ca}^{+2}-\text{Cl}^-$ grafikleri.

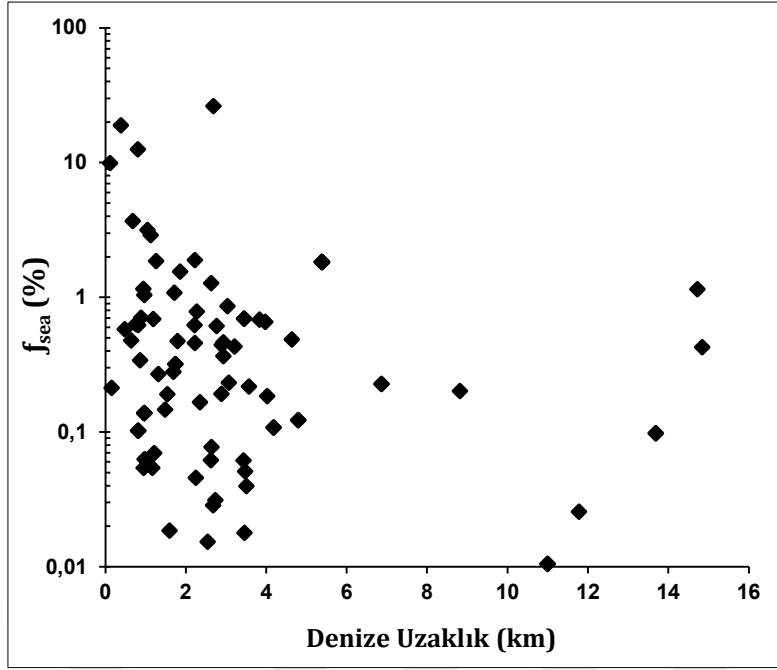
Genel olarak bor derişimleri, klorür ile temsil edilen deniz suyu karışım çizgisine yakın bir eğilim göstermektedir (Şekil 4.31a). Birkaç örnekte gözlenen yüksek bor derişimleri nedeniyle deniz suyu karışım çizgisinden sapmalar gözlenmiştir. Yüksek bor derişimlerine, kentsel atık sularla ilişkili antropojenik kaynaklar neden olabilmektedir [63]. $\text{Li}-\text{Cl}^-$ grafiğine göre; lityumun kaynağı deniz suyu girişiminden farklı bir süreç tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 4.31b). Suların daha tuzlu olduğu bölgelerde bor derişimi artmakta olup yüksek B/Li oranları (Şekil 4.31c) genellikle evaporitlerin varlığıyla ilişkilendirilebilir [71].



Şekil 4.31. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin B-Cl⁻, Li-Cl⁻ ve B/Li-tuzluluk grafikleri.

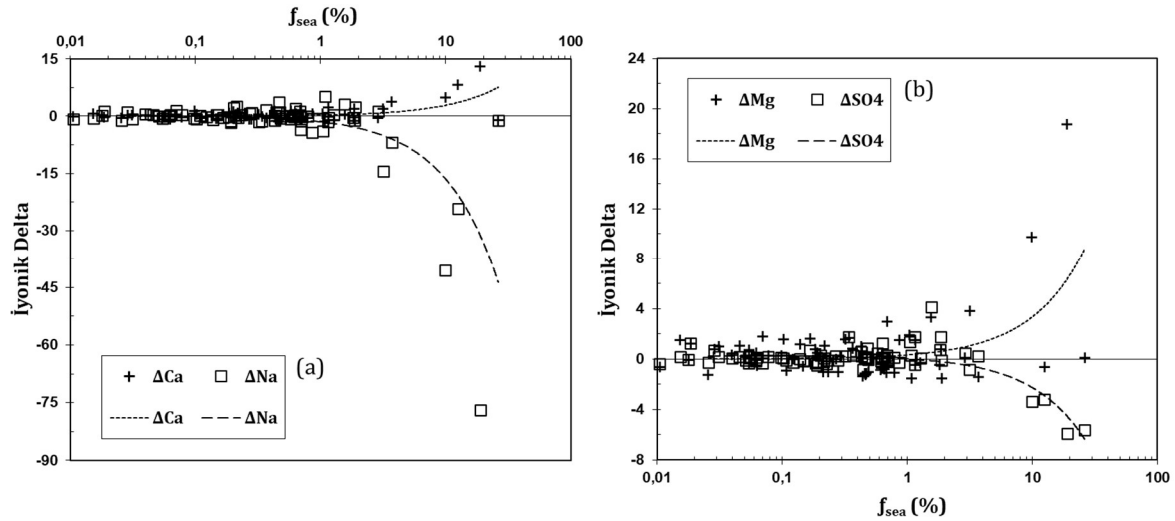
4.4.2. Deniz Suyu Fraksiyonu ve İyonik Delta

Tarsus Kıyı Akiferindeki tuzlanmayı deniz suyu girişi açısından değerlendirmek amacıyla her bir yeraltı suyu örneğinin deniz suyu fraksiyonu (f_{deniz}) hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken Cl⁻ temel alınmıştır. Örneklerin %84'ünün deniz suyundan etkilendiği tespit edilmiş olup f_{deniz} değerleri %0,01-%26,25 arasında değişmektedir. Beş adet örnekte deniz suyu etkisi yüksek seviyededir. Bazı yeraltı suyu örneklerinin denizin spray etkisi ile tuzlandığı düşünülmektedir. Genel olarak, örneklerin denize olan mesafesi arttığında, deniz suyu fraksiyonunun düşük değerler sergilediği gözlenmiştir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin deniz suyu fraksiyonu–denize uzaklık grafiği.

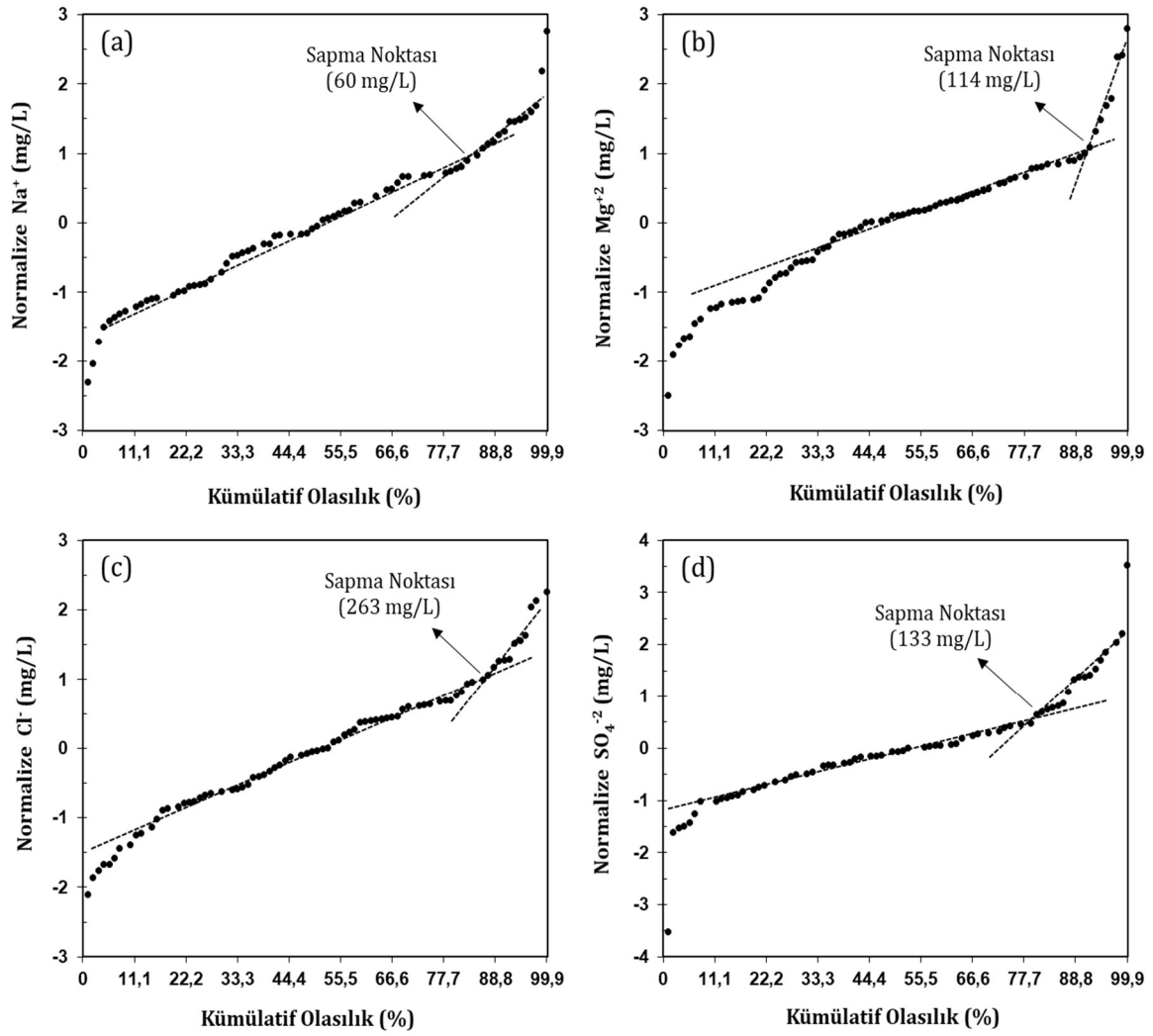
Deniz suyunun akifere girmesi ile katyon değişimi meydana gelmekte ve bunun sonucunda yeraltı suyunun iyon derişimi değişmektedir [109]. Bu değişimin ana mekanizması Ca^{+2} ve Mg^{+2} 'nin yeraltı suyuna salınması ile Na^+ ve K^+ 'nın katı yüzeylere adsorbe olmasıdır [109]. Bu süreci yansıtan iyonik delta (Δ_i) her bir iyon için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Deniz suyu girişimi gözlemlenen yeraltı sularında, Ca^{+2} ile Mg^{+2} artmakta Na^+ ile K^+ benzer davranış göstererek azalmaktadır (Şekil 4.33). Bununla birlikte, deniz suyu girişiminden etkilenen akiferlerde yaygın olarak SO_4^{-2} tükenmesi görülmekte olup [112, 113] örneklerin %49'unda sülfat ($-\Delta\text{SO}_4^{-2}$) tükenmesi gözlenmiştir. Ca^{+2} ve Mg^{+2} 'nin zenginleşmesi özellikle kıyıya yakın örneklerde yüksek seviyelerdedir. Bu örneklerde, iki iyonun zenginleşmesine paralel olarak Na^+ ve SO_4^{-2} tükenmesi gözlenmiştir.



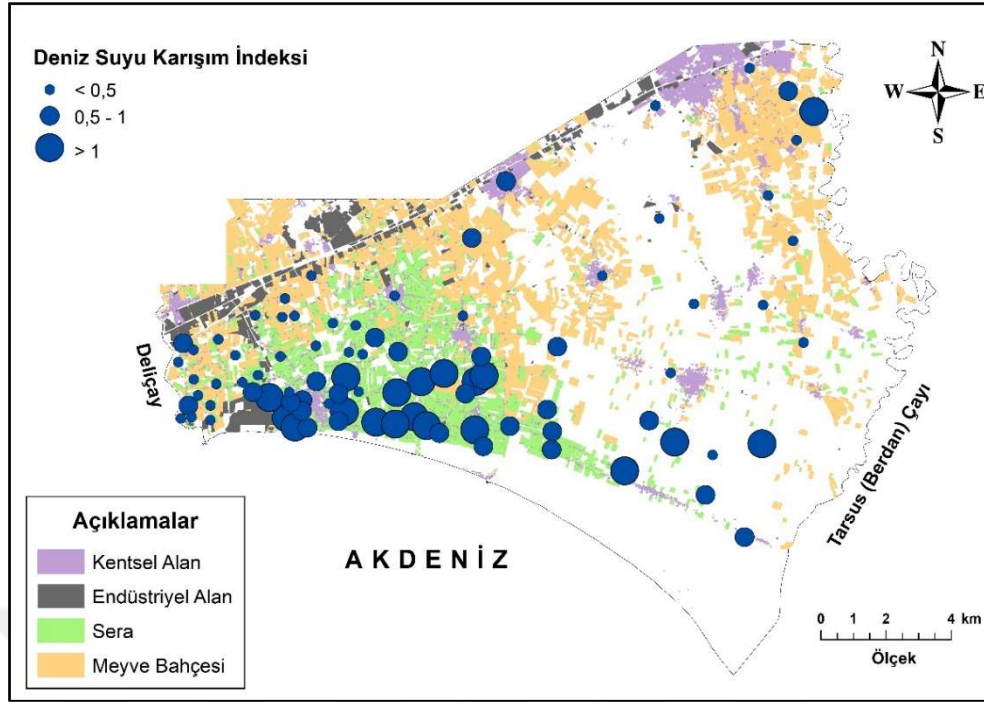
Şekil 4.33. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin iyonik delta-deniz suyu fraksiyonu grafikleri.

4.4.3. Deniz Suyu Karışım İndeksi (SMI)

Deniz suyu karışım indeksinde (SMI) yer alan 4 majör iyonun (Na^+ , Mg^{+2} , Cl^- ve SO_4^{-2}) bölgesel sınır değerlerinin (T) belirlenmesi amacıyla kümülatif olasılık grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 4.34). Grafikten tespit edilen “ T ” değerleri Na^+ için 60 mg/L (Şekil 4.34a), Mg^{+2} için 114 mg/L (Şekil 4.34b), Cl^- için 263 mg/L (Şekil 4.34c) ve SO_4^{-2} için 133 mg/L’dir (Şekil 4.34d). Hesaplanan indeks değerlerine göre 19 adet örnekte deniz suyu girişiminin varlığından ($\text{SMI} > 1$) bahsetmek mümkün olup bu değerler 1,1-26,5 arasında değişmektedir. Yüksek indeks değerleri, genel olarak çalışma alanının güneyinde tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yapıldığı bölgelerde yayılım göstermiştir (Şekil 4.35). Bu bölgelerde, yeraltı suyunun aşırı kullanımı deniz suyu girişiminin temel nedenini oluşturmaktadır. Çalışma alanının kuzeydoğusunda bulunan bir örneğe ait indeks değerinin 1’den büyük olduğu görülmektedir (Şekil 4.35). Bu örneğin denize olan mesafesi düşünüldüğünde, tuzluluk oluşturan farklı mekanizmaların (evaporitlerin çözünmesi/antropojenik) etkili olduğu düşünülmektedir. Düşük indeks değerleri ($< 0,5$), çalışma alanının batısında ve orta bölümlerinde görülmektedir (Şekil 4.35). Bu bölgelerde ki yeraltı sularının beslenme miktarının fazla olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 4.34. Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin Na^+ , Mg^{+2} , Cl^- ve SO_4^{-2} -kümülatif olasılık grafikleri.



Şekil 4.35. Yeraltı suyu örnekleri için hesaplanan deniz suyu karışım indeksinin dağılım haritası.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tarsus Kıyı Akiferi yeraltı sularındaki tuzlanmanın kökeni, bölgenin yarı kurak iklimi, denize yakınlığı, evaporitlerin varlığı ve çeşitli antropojenik kaynakların (tarımsal, endüstriyel ve evsel) etkisi göz önüne alındığında oldukça karmaşıktır. Bu çalışmada, tuzlanma mekanizmalarını belirlemek ve etkilerini değerlendirmek amacıyla çeşitli diyagramlar, grafikler, iyon oranları ve indeksler kullanılmıştır. Yeraltı sularının fasiyeslerini belirlemek için Piper diyagramı ve deniz suyu girişim ve tazelenme süreçlerini açıklamak içinse HFE-D diyagramı oluşturulmuştur. Bunlarla birlikte, çalışma alanındaki tuzluluk kaynaklarının tespit edilmesi amacıyla majör iyonlar, majör iyon oranları, minör iyonlar ve minör iyon oranlarının iki değişkenli grafikleri çizilmiştir. Deniz suyunun Tarsus Kıyı Akiferine olan etkisini değerlendirmek için deniz suyu fraksiyonu (f_{deniz}), iyonik delta (Δ_i) ve deniz suyu karışım indeksi (SMI) hesaplamaları yapılmıştır.

Tarsus Kıyı Akiferine ait su örneklerinin fiziksel parametrelerinin en düşük ve en yüksek değerleri şu şekildedir: sıcaklık 19,2-24,7 °C; pH 7,25-8,26; EC 514-16490 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ÇO 0,82-6,98 mg/L; TDS 334-10720 mg/L ve tuzluluk 0,25-9,67 g/L'dir. Kimyasal parametrelerin en düşük ve en yüksek değerleri ise şu şekildedir: Ca^{+2} 21,1-671,7 mg/L; Mg^{+2} 19,0-766,6 mg/L; Na^+ 10-2867 mg/L; K^+ 1,00-78,56 mg/L; CO_3^{-2} 0,29-95 mg/L; HCO_3^- 104-650 mg/L; Cl^- 16-5250 mg/L; SO_4^{-2} 1-510 mg/L; NO_3^- 1,0-214,7 mg/L; NO_2^- 0,0-1,97 mg/L; Br 40-15118 $\mu\text{g}/\text{L}$; Sr 350-12591 $\mu\text{g}/\text{L}$; B 26-2042 $\mu\text{g}/\text{L}$ ve Li 2,54-47,48 $\mu\text{g}/\text{L}$ 'dir.

Piper diyagramına göre; Tarsus Kıyı Akiferi örneklerinin ($n=87$) 10 tanesi deniz suyunun etkisi ile "sodyum-klorür" su tipindedir. Örneklerin yarısından çoğu "kalsiyum-magnezyum-bikarbonat" su tipindedir. Örneklerin beşi "kalsiyum-klorür tipi" sular olup bu tip sular deniz suyu girişim süreci etkisindedirler.

Hidrokimyasal fasiyes evrim diyagramına (HFE-D) göre tazelenme sürecindeki 40 örneğin ikisi f_1 (MixNa-Cl), ikisi f_2 (MixNa-MixCl), altısı f_3 (MixCa-MixHCO₃) ve 30'u tatlı su+ f_4 (Ca-HCO₃) fasiyesindedir. Deniz suyu girişiminin etkisindeki 47 örneğin 29'u i_1 (Ca-MixHCO₃), yedisi i_2 (MixCa-MixCl), beşi i_3 (MixNa-Cl, Ca-Cl) ve altısı i_4 +deniz suyu (MixNa-Cl, Na-Cl) fasiyesindedir.

Majör iyonlar ve iyon oranları ile oluşturulan iki değişkenli grafiklere göre çalışma alanında tuzlanmaya neden olan üç temel etkenin deniz suyu girişi, evaporitlerin (halit ve jips) çözünmesi ve antropojenik etkiler (tarımsal faaliyetler, evsel atıklar) olduğu tespit edilmiştir. Tarımsal kirliliğin göstergesi olan nitratın tuzluluk üzerinde çok fazla etkisi olmadığı saptanmıştır. Bununla birlikte kullanılan sülfatlı gübrelerin (amonyum sülfat gübresi) tuzluluk üzerinde etkisi mevcuttur. $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ (meq/L) oranı değerlerine göre 48 adet örnekte deniz suyunun etkisi (<0,5) yoktur. Deniz suyu 23 adet örnekte hafif etkili (0,5-1,3) olup yedi adet

örnek üzerinde orta derece etkilidir (1,3-2,8). Deniz suyunun dört adet örnek üzerinde şiddetli derecede etkisi olup beş adet örnekte ise çok şiddetli etkisi vardır.

Tarsus Kıyı Akiferine ait örneklerde deniz suyu fraksiyonu ve iyonik delta hesaplamaları yapılmıştır. Deniz suyu fraksiyonu %0,01-26,25 arasında değişmektedir. İyonik delta değerlerine göre; deniz suyu girişiminden etkilenen örneklerde tipik Ca^{+2} ve Mg^{+2} zenginleşmesi gözlenmiştir. Ca^{+2} ve Mg^{+2} zenginleşmesi gözlenen örneklerde katyon değişimine ve farklı süreçlere bağlı olarak Na^{+} ve SO_4^{-2} tükenmeleri gözlenmiştir.

Deniz suyu karışım indeksi (SMI) değerlerine göre; 19 adet örnekte deniz suyu girişiminin varlığı ($SMI > 1$) net olarak belirlenmiş olup değerler 1,1-26,5 arasında değişmektedir. Yüksek indeks değerleri, genel olarak çalışma alanının güneyinde tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yapıldığı bölgelerde yayılım göstermiştir. Bu bölgelerde, yeraltı suyunun aşırı kullanımı deniz suyu girişiminin temel nedenini oluşturmaktadır. Düşük indeks değerleri ($< 0,5$), çalışma alanının batısında ve orta bölümlerinde görülmektedir.

Bu çalışma ile Tarsus Kıyı Akiferinin su kimyası değerlendirilerek, yarı kurak kıyı bölgesinde etkin olan tuzluluk kaynaklarını ayırt etmek için tamamlayıcı araç ve yaklaşımlar uygulanmaya çalışılmıştır. Mevcut sonuçlar bölgedeki su yönetimi için büyük önem taşımakta olup tuzlanma konusunda, akifer sistemi ve kullanım potansiyeli ile ilgili önemli noktalar açıklığa kavuşturulmuştur.

Sürdürülebilir kıyı akifer yönetimi için gelecekte düzenli aralıklarla deniz suyu girişi ve diğer tuzluluk oluşturan kaynaklara yönelik araştırmalar yapılmalıdır. Bununla birlikte deniz suyu girişimine büyük etkisi olan yeraltı suyunun aşırı ve düzensiz kullanımı (aşırı pompaj) kontrol altına alınmalıdır. Özellikle ruhsatsız kuyuların tespit çalışmalarına ivedi olarak başlanmalı, su kullanıcıları vahşi sulamaya karşı bilinçlendirilmelidir. Çalışma alanında bilinçsiz gübre kullanımına yönelik düzenlemeler yapılmalı ve evsel-endüstriyel atıkların bertarafının takibi için hızlı yönetim kararları alınması gerekmektedir.

Tarsus Çayı'nın batıya doğru (Kulak mahallesine doğru) yön değiştirdiği yerde denize doğru açılan kanalın kapatılması gerekmektedir. Bu kanal Tarsus Çayı'nın denize paralel olarak yaklaşık 7 km uzandığı kısmındaki su miktarını azaltmaktadır. Tarsus Çayı'nın bu kısmı yeraltı suyu beslenimi için önemli olmakla birlikte deniz suyu girişimine karşı bir bariyer görevi görmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Wetzelhuetter, C. (2015). *Groundwater in the Coastal Zones of Asia-Pacific*. Netherlands: Springer.
- [2]. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) (2014). *Toprak ve su kaynakları*. 04 Şubat 2019 tarihinde <https://www.dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari> adresinden erişildi.
- [3]. United Nations Water (UN Water) (2018). *Groundwater overview making the invisible visible*. Netherlands: IGRAC.
- [4]. Demirel, Z. (2004). The history and evaluation of saltwater intrusion into a coastal aquifer in Mersin, Turkey. *Journal of Environmental Management*, 70, 275-282.
- [5]. Hatipoğlu, Z., Bayarı S. (2005). Mersin-Tarsus kıyı ve yamaç akiferlerinin hidrojeokimyası. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 48 (2), 59-72.
- [6]. Güler, C. (2009). Site characterization and monitoring of natural attenuation indicator parameters in a fuel contaminated coastal aquifer: Karaduvar (Mersin, SE Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 59 (3), 631-643.
- [7]. Kurt, M. A. (2010). *Deliçay ve Tarsus Çayı (Mersin) arasında kalan alandaki toprak profillerinin mineralojisi, toprak ve su kirliliğinin araştırılması*. Yayınlanmamış doktora tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- [8]. Güler, C., Kurt, M. A., Alpaslan, M., Akbulut, C. (2012). Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus Coastal Plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques. *Journal of Hydrology*, 414-415, 435- 451.
- [9]. Güler, C., Kurt, M. A., Korkut, R. N. (2013). Assessment of groundwater vulnerability to nonpoint source pollution in a Mediterranean Coastal Zone (Mersin, Turkey) under conflicting land use practices. *Ocean & Coastal Management*, 71, 141-152.
- [10]. Vengosh, A. (2014). Salinization and Saline Environments. Holland ve Turekian (Ed.) *Treatise on Geochemistry Second Edition* (ss. 325-378). USA: Elsevier.
- [11]. Kafalı Yılmaz, F. (2008). *Adana Ovaları'nda iklim-tarım ilişkisi ve tarım politikalarının yansımaları*. Afyonkarahisar: A.K.Ü. Yayınları.
- [12]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2021). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları*. 13 Şubat 2021 tarihinde <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> adresinden erişildi.
- [13]. Şenol, M., Şahin Ş., Duman, T. Y. (1998). *Adana-Mersin dolayının jeoloji etüd raporu*. MTA: Ankara.
- [14]. Ünlügenç, U. C. (1986). *Kızıldağ Yayla (Adana) dolayının jeoloji incelemesi*. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [15]. Schmidt, G. (1961). VII. Adana Petrol Bölgesinin Stratigrafik Nomenklatürü. *Petrol Dergisi*, 6, 47-63.
- [16]. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) (2018). *Resmi istatistikler*. 04 Mayıs 2019 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MERSIN> adresinden erişildi.
- [17]. Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38, 55-94.
- [18]. McCabe, G. J., Markstrom, S. L. (2007). *A monthly water-balance model driven by a graphical user interface* (Report No. 2007-1088). Virginia: U.S. Geological Survey.
- [19]. Ulutaş, S. (2013). Tarsus'ta tarımsal coğrafya ve üretim (1830-1856). *International Journal of Social Science*, 6 (1), 1473-1493.
- [20]. Mersin Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü (2019). *Mersin ili 2018 yılı çevre durum raporu*. Mersin.
- [21]. Hatipoğlu, Z. (2004). *Mersin-Tarsus Kıyı Akiferinin hidrojeokimyası*. Yayınlanmamış doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- [22]. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) (2018). *2015 Akım Gözlem Yıllığı*. Ankara: DSİ Teknoloji Dairesi Başkanlığı.

- [23]. Yıldırım, Ü., Güler, C., Kurt, M.A., Güven, O. (2020). Kaynağından Akdeniz'e Deliçay'ın (Mersin) debisi ve su kalitesinin değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 10 (4), 1121-1135.
- [24]. Güler, C., Alpaslan, M., Temel, A., Gizir, M., Sangün, K. (2007). *Karaduvar (Mersin) kıyı akiferinde yeraltı suyu kimyasını etkileyen kirletici kaynakların araştırılması ve jeokimyasal modellemesi* (Rapor No. 104Y268). MERSİN: TÜBİTAK-ÇAYDAG.
- [25]. Sargın, A. H. (2010). *Yeraltısuları*. Ankara: Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı.
- [26]. Yıldırım, M., Gökaşan, E. (2013). *Mühendisler için Jeoloji Bilgileri*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Doğa Bilimleri Araştırma Merkezi.
- [27]. Hem, J. D. (1985). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. Virginia: U. S. Geological Survey Water Supply Paper 2254.
- [28]. Swenson, H. A., Baldwin, H. L. (1965). *A Primer on Water Quality*. Washington: U. S. Government Printing Office.
- [29]. Jones, B. F., Vengosh, A., Rosenthal, E., Yechieli, Y. (1999). Geochemical investigations. Bear (Ed.), *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers-Concepts, Methods and Practices* (ss. 51-69). Israel: Springer Science+Business Media.
- [30]. Ilgar, A. (2015). Messiniyen Tuzluluk Krizi Akdeniz'in kurumasına ilişkin bir derleme. *Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 20, 73-80.
- [31]. Hsü, K. J., Montadert, L., Bernoulli, D., Cita, M. B., Erickson, A., Garrison, R. E. ve diğerleri (1997). History of the Mediterranean salinity crisis. *Nature*, 267, 399-403.
- [32]. Öğrünç, G., Gürbüz, K., Nazik, A. (2000). Adana Baseni Üst Miyosen-Pliyosen istifinde "Messiniyen Tuzluluk Krizine" ait bulgular. *Yerbilimleri*, 22, 183-192.
- [33]. Pulido-Bosch, A., Rigol-Sanchez, J. P., Vallejos, A., Andreu, J. M., Ceron, J. C., Molina-Sanchez, L. ve diğerleri (2018). Impacts of agricultural irrigation on groundwater salinity. *Environmental Earth Sciences*, 77, 197-210.
- [34]. Appelo, C. A. J., Postma, D. (2005). *Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2nd edition*. Amsterdam: A. A. Balkema Publishers.
- [35]. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2016). *Climate Change Indicators in the United States 2016* (Fourth Edition). Washington.
- [36]. World Meteorological Organization (WMO) (2020). *WMO confirms 2019 as second hottest year on record*. 19 Nisan 2020 tarihinde <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-2019-second-hottest-year-record> adresinden erişildi.
- [37]. Şen, Z. (2005). İklim değişikliği ve su kaynaklarına etkisi. *22 Mart Dünya Su Günü, İklim Değişikliğinin Su ve Enerji Kaynaklarımıza Etkisi Paneli bildiriler kitabı* içinde (ss. 1-27). İstanbul: Su Vakfı.
- [38]. World Meteorological Organization (WMO) (1992). *International Conference on Water and the Environment*. Dublin.
- [39]. Ranjan, P., Kazama, S., Sawamoto, M. (2006). Effects of climate change on coastal fresh groundwater resources. *Global Environmental Change*, 16, 388-399.
- [40]. National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2020). *Sea Level*. 20 Nisan 2020 tarihinde <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/> adresinden erişildi.
- [41]. Antonioli, F., De Falco, G., Lo Presti, V., Moretti, L., Scardino, G., Anzidei, M. ve diğerleri. (2020). Relative sea-level rise and potential submersion risk for 2100 on 16 Coastal Plains of the Mediterranean Sea. *Water*, 12 (8), 2173-2198.
- [42]. Van Weert, F., Van der Gun, J., Reckman, J. (2009). *Global overview of saline groundwater occurrence and genesis* (Report No. GP 2009-1). Utrecht: IGRAC.
- [43]. Food and Agriculture Organization (FAO) (2020). *Water*. 25 Nisan 2020 tarihinde <https://fao.org/water/en/> adresinden erişildi.
- [44]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2020). *İllere göre tarım alanları*. 19 Şubat 2021 tarihinde <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2020-33737> adresinden erişildi.
- [45]. Böhlke, J. K. (2002). Groundwater recharge and agricultural contamination. *Hydrogeology Journal*, 10, 153-179.

- [46]. Burke, J., Mateo-Sagasta, J. (2010). *Agriculture and water quality interactions: a global overview* (SOLAW Background Thematic Report-TR08). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [47]. Gross, M., Bounds, T. (2007). Water softener backwash brine stresses household septic tanks and treatment systems. *Small Flows Magazine*, 8, 8-10.
- [48]. Akbulut, C. (2016). *Aşağı Seyhan Ovası (Adana) yeraltı ve yüzey suyu kaynaklarının hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası*. Yayımlanmamış doktora tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- [49]. National Ground Water Association (NGWA) (1999). *Groundwater temperature's measurement and significance*. 1 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.ngwa.org/what-is-groundwater/About-groundwater/groundwater-temperature's-measurement-and-significance> adresinden erişildi.
- [50]. Fidelibus, M. D., Pulido-Bosch, A. (2018). Groundwater temperature as an indicator of the vulnerability of karst coastal aquifers. *Geosciences*, 9 (1), 2-22.
- [51]. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *pH, CADDIS volume 2*. 3 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.epa.gov/caddis-vol2/caddis-volume-2-sources-stressors-responses-ph> adresinden erişildi.
- [52]. Yıldırım, Ü. (2018). *Göksu Nehri ve Tarsus Çayı (Mersin) arasında yer alan akarsuların morfometrik, hidrolojik ve hidrokimyasal özelliklerinin araştırılması*. Yayımlanmamış doktora tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- [53]. Balachandar, D., Sundararaj, P., Rutharvel, M. K., Kumaraswamy K. (2010). An investigation of groundwater quality and its suitability to irrigated agriculture in Coimbatore District, Tamil Nadu, India—A GIS approach. *International Journal of Environmental Sciences*, 1 (2), 176-190.
- [54]. Sudaryanto., Naily, W. (2018). Ratio of major ions in groundwater to determine saltwater intrusion in coastal areas. Mukti, M.M (Ed.), *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 118 bildirileri içinde*. Bandung: LIPI.
- [55]. Somay, M. A., Gemici, Ü. (2009). Assessment of the salinization process at the coastal area with hydrogeochemical tools and Geographical Information Systems (GIS): Selçuk Plain, Izmir, Turkey. *Water, Air, & Soil Pollution*, 201 (1), 55-74.
- [56]. Wilcox, L. V. (1955). *Classification and Use of Irrigation Waters* (Report No. 969). Washington: USDA.
- [57]. Rounds, S.A., Wilde, F.D., Ritz, G.F. (2013). National field manual for the collection of water-quality data. *Dissolved oxygen* (ss. 1-55). Virginia: U.S. Geological Survey.
- [58]. Rose, S., Long, A. (1988). Monitoring dissolved oxygen in ground water: some basic considerations. *Groundwater Monitoring & Remediation*, 8 (1), 93-97.
- [59]. Menz, C. (2016). *Oxygen delivering processes in groundwater and their relevance for iron-related well clogging processes—a case study on the Quaternary aquifers of Berlin*. Doktora tezi, Freien Üniversitesi, Berlin.
- [60]. Kielmas, M. (2018). *How does salinity affect the solubility of oxygen in water?* 6 Mayıs 2020 tarihinde <https://sciencing.com/info-10024026-salinity-affect-solubility-oxygen-water.html> adresinden erişildi.
- [61]. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *Indicators: Dissolved Oxygen*. 6 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys/indicators-dissolved-oxygen> adresinden erişildi.
- [62]. Wedepohl, K. H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59 (7), 1217-1232.
- [63]. Vengosh, A., Rosenthal E. (1994). Saline groundwater in Israel: its bearing on the water crisis in the country. *Journal of Hydrology*, 156 (1-4), 389-430.
- [64]. Turekian, K. (1968). *Oceans*. New Jersey: Prentice-Hall.
- [65]. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (1986). *Quality criteria for water* (Report No. 440/5-86-001). Washington: U.S. EPA.
- [66]. Fetter, C. W. (2001). *Uygulamalı Hidrojeoloji* (M. Avşin ve K. Kayabalı, Çev.) Ankara: Gazi.
- [67]. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2003). *Drinking Water Advisory: Consumer Acceptability Advice and Health Effects Analysis on Sulfate* (Report No. 822-R-03-007). Washington: U.S. EPA.

- [68]. Minnesota Pollution Control Agency (MPCA) (1999). *Sulfate in Minnesota's Ground Water*. 16 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/sulfate7.pdf> adresinden erişildi.
- [69]. Korkut, R. N. (2009). *Deliçay-Tarsus Çayı (Mersin) arasındaki bölgedeki yeraltı sularında nitrat ve nitrit kirliliğinin araştırılması*. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- [70]. D'Alessandro, W., Bellomo, S., Parello, F., Brusca, L., Longo, M. (2008). Survey on fluoride, bromide and chloride contents in public drinking water supplies in Sicily (Italy). *Environmental Monitoring and Assessment*, 145, 303-313.
- [71]. Sanchez-Martos, F., Pulido-Bosch, A., Molina-Sanchez, L., Vallejos-Izquierdo, A. (2002). Identification of the origin of salinization in groundwater using minor ions (Lower Andarax, Southeast Spain). *The Science of the Total Environment*, 297 (1-3), 43-58.
- [72]. Nogueira, G., Stigter, T. Y., Zhou, Y., Mussa, F., Juizo, D. (2019). Understanding groundwater salinization mechanisms to secure freshwater resources in the water-scarce city of Maputo, Mozambique. *Science of the Total Environment*, 661, 723-736.
- [73]. World Health Organization (WHO) (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth edition incorporating the first addendum*. Geneva: WHO Publications.
- [74]. Giménez, E., Morell, I. (1997). Hydrogeochemical analysis of salinization processes in the coastal aquifer of Oropesa (Castellón, Spain). *Environmental Geology*, 29 (1), 118-131.
- [75]. Pulido-Leboeuf, P., Pulido-Bosch, A., Calvache, M. L., Vallejos, A., Andreu, J. M. (2003). Strontium, $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ and $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ ratios as tracers for the evolution of seawater into coastal aquifers: the example of Castell de Ferro aquifer (SE Spain). *Comptes Rendus Geoscience*, 335 (14), 1039-1048.
- [76]. Lebid, H., Errih, M., Boudjemline, D. (2016). Contribution of strontium to the study of groundwater salinity. Case of the alluvial plain of Sidi Bel Abbes (Northwestern Algeria). *Environmental Earth Sciences*, 75:947.
- [77]. Yazbeck, C., Kloppmann, W., Cottier, R., Sahuquillo, J., Debotte, G., Huel, G. (2005). Health impact evaluation of boron in drinking water: a geographical risk assessment in Northern France. *Environmental Geochemistry and Health*, 27 (5-6), 419-427.
- [78]. Butterwick, L., de Oude, N., Raymond, K. (1989). Safety assessment of boron in aquatic and terrestrial environments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 17 (3), 339-371.
- [79]. World Health Organization (WHO) (1996). *Guidelines for Drinking-water Quality: Second edition Health criteria and other supporting information*. Geneva: WHO Publications.
- [80]. Souid, F., Agoubi, B., Telahigue, F., Chahlaoui, A., Kharroubi, A. (2018). Groundwater salinization and seawater intrusion tracing based on lithium concentration in the shallow aquifer of Jerba Island, southeastern Tunisia. *Journal of African Earth Sciences*, 138, 233-246.
- [81]. Santucci, L., Carol, E., Kruse, E. (2016). Identification of palaeo-seawater intrusion in groundwater using minor ions in a semi-confined aquifer of the Río de la Plata littoral (Argentina). *Science of the Total Environment*, 566-567, 1640-1648.
- [82]. Johnston, R. (2020). *Geography*. 20 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.britannica.com/science/geography/Geographic-information-systems> adresinden erişildi.
- [83]. DeMers, M. N. (2020). *GIS*. 20 Mayıs 2020 tarihinde <https://www.britannica.com/technology/GIS> adresinden erişildi.
- [84]. Töreay, G., Özdemir, İ., Kurt, T. (2010). *ArcGIS 10 Desktop Uygulama Dökümanı*. Ankara: İŞLEM.
- [85]. U.S. Government Accountability Office (GAO) (2015). *Geospatial data: Progress needed on identifying expenditures, building and utilizing a data infrastructure, and reducing duplicative efforts* (Report No. GAO-5-193). Washington: GAO.
- [86]. Ternek, Z. (1957). Adana Havzasının Alt Miyosen (Burdigaliyen) Formasyonları, bunların diğer formasyonlarla olan münasebetleri ve petrol imkanları. *MTA Dergisi*, 49, 50-78.

- [87]. Alan, İ., Şahin, S., Keskin, İ., Bakırhan, B., Balvı, V., Böke, N. ve diğerleri (2007). *Orta Torosların Jeodinamik Evrimi Ereğli (Konya)-Ulukışla (Niğde)-Karsantı (Adana)-Namrun (İçel) Yöresi*. Ankara: M.T.A.
- [88]. Özer, Z. (2001). *Berdan Çayının kirlilik durumunun araştırılması ve coğrafi bilgi sistemi (CBS)'nin oluşturulmasına yönelik kriterlerin belirlenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- [89]. Kurt, M. A., Güler, C., Alpaslan, M., Akbulut, C. (2012). Determination of nitrate and nitrite origins in the soils and ground waters of the area between Mersin-Tarsus (Turkey) using Geographic Information Systems. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7 (4), 181-188.
- [90]. Kurt, M. A., Alpaslan, M., Temel, A., Güler, C. (2014). Deliçay ile Tarsus (Berdan) Çayı arasındaki bölgede yer alan Kuvaterner sedimanlarının mineralojik ve jeokimyasal özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 57 (1), 1-17.
- [91]. Yalçinkaya, S. O. (2005). *İklim değişimlerinin Adana Ovasında yeraltı suyu seviyesi ve deniz suyu girişi üzerine etkisi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- [92]. Çobaner, M. (2009). *Kıyı akiferlerinde tuzlu su girişiminin üç boyutlu simülasyonu: Göksu Deltası örneği*. Yayınlanmamış doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [93]. Çobaner, M., Çakar, A., Çetin, M., Yurtal, R. (2011). Göksu Deltasında bazı yeraltı suyu kalite öğelerinin probabilistik ve jeostatistik yöntemlerle irdelenmesi. *İMO Teknik Dergi* 22 (106), 5259-5283.
- [94]. Karakuş, E. (2011). *Tarsus (Mersin) Yöresi Messiniyen (Üst Miyosen) evaporitlerinin sedimentolojisi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [95]. Özmürüt, Y. (2008). *Küçükköy (Ayvalık) Ovası'nın hidrojeolojisi ve deniz suyu girişi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [96]. Arslan, H., Demir, Y. (2011). Bafra Ovası'nda deniz suyu girişiminin yeraltı suyu kalitesi üzerine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 26 (2), 136-144.
- [97]. Mansour, A. Y. S., Baba, A., Gündüz, O., Şimşek, C., Elçi, A., Murathan, A. ve Sözbilir H. (2017). Modeling of seawater intrusion in a coastal aquifer of Karaburun Peninsula, western Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 76 (22), 1-14.
- [98]. Fanta, D. B. (2015). *Conceptual model development for Güzelyurt Aquifer, North Cyprus*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- [99]. Abu Al Naeem, M. F., Yusoff, I., Ng, T. F., Maity, J. P., Alias, Y., May, R., Alborsh, H. (2019). A study on the impact of anthropogenic and geogenic factors on groundwater salinization and seawater intrusion in Gaza coastal aquifer, Palestine: An integrated multi-techniques approach. *Journal of African Earth Sciences*, 156 (3-4), 75-93.
- [100]. Mondal, N. C., Singh, V. P., Singh, S., Singh, V. S. (2011). Hydrochemical characteristic of coastal aquifer from Tuticorin, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 175 (1-4), 531-550.
- [101]. Pulido-Leboeuf, P. (2004). Seawater intrusion and associated processes in a small coastal complex aquifer (Castell de Ferro, Spain). *Applied Geochemistry*, 19 (10), 1517-1527.
- [102]. Telahigue, F., Agoubi, B., Souid, F., Kharroubi, A. (2018). Assessment of seawater intrusion in an arid coastal aquifer, south-eastern Tunisia, using multivariate statistical analysis and chloride mass balance. *Physics and Chemistry of the Earth*, 106, 37-46.
- [103]. Alcalá, F. J., Custodio E. (2008). Using the Cl/Br ratio as a tracer to identify the origin of salinity in aquifers in Spain and Portugal. *Journal of Hydrology*, 359 (1), 189-207.
- [104]. Giménez-Forcada, E. (2010). Dynamic of seawater interface using Hydrochemical Facies Evolution Diagram. *Ground Water*, 48 (2), 212-216.
- [105]. Park, S. C., Yun, S. T., Chaea, G. T., Yoo, I. S., Shin, K. S., Heoa, C. H. ve diğerleri (2005). Regional hydrochemical study on salinization of coastal aquifers, western coastal area of South Korea. *Journal of Hydrology*. 313 (3-4), 182-194.
- [106]. Güler, C., Thyne, G., McCray, J., Turner, A. (2002). Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeology Journal*, 10 (4), 455-474.
- [107]. Freeze, R. A., Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall: New Jersey.

- [108]. Piper, A. M. (1944). A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. *Transactions, American Geophysical Union*, 25 (6), 914-928.
- [109]. Najib, S., Fadili, A., Mehdi, K., Riss, J., Makan, A., Guessir, H. (2016). Salinization process and coastal groundwater quality in Chaouia, Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 115, 17-31.
- [110]. Khadra, W. M., Stuyfzand, P. J., Breukelen van, B. M. (2017). Hydrochemical effects of saltwater intrusion in a limestone and dolomitic limestone aquifer in Lebanon. *Applied Geochemistry*, 79, 36-51.
- [111]. Sinclair, A. J. (1974). Selection of thresholds in geochemical data using probability graphs. *Journal of Geochemical Exploration*, 3 (2), 129-149.
- [112]. De Montety, V., Radakovitch, O., Vallet-Coulomb, C., Blavoux, B., Hermitte, D., Valles, V. (2008). Origin of groundwater salinity and hydrogeochemical processes in a confined coastal aquifer: Case of the Rhône delta (Southern France). *Applied Geochemistry*, 23 (8), 2337-2349.
- [113]. Wang, Y., Jiao, J. J. (2012). Origin of groundwater salinity and hydrogeochemical processes in the confined Quaternary aquifer of the Pearl River Delta, China. *Journal of Hydrology*, 438-439, 112-124.
- [114]. Horst, A., Mählknecht, J., Lopez-Zavala, M. A., Mayer, B. (2011). The origin of salinity and sulphate contamination of groundwater in the Colima State, Mexico, constrained by stable isotopes. *Environmental Earth Sciences*, 64 (7), 1931-1941.
- [115]. Vengosh, A., Spivack, A. J., Artzi, Y., Ayalon, A. (1999) Geochemical and Boron, Strontium, and Oxygen isotopic constraints on the origin of the salinity in groundwater from the Mediterranean coast of Israel. *Water Resources Research*, 35 (6), 1877-1894.
- [116]. Davis, S. N., Whittemore, D. O., Fabryka-Martin, J. (1998). Use of chloride/bromide ratios in studies of potable water. *Ground Water* 36 (2), 338-350.
- [117]. Liu, J., Chen, Z., Wang, L., Zhang, Y., Li, Z., Xu, J., Peng, Y. (2016). Chemical and isotopic constrains on the origin of brine and saline groundwater in Hetao plain, Inner Mongolia. *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (15), 15003-15014.
- [118]. Zghibi, A., Tarhouni J., Zouhri, L. (2013). Assessment of seawater intrusion and nitrate contamination on the groundwater quality in the Korba coastal plain of Cap-Bon (North-east of Tunisia). *Journal of African Earth Sciences*, 87, 1-12.
- [119]. Abu Al Naeem, M. F., Yusoff, I., Fatt Ng, T., Alias, Y., Raksmey, M. (2018). Assessment of groundwater salinity and quality in Gaza coastal aquifer, Gaza Strip, Palestine: An integrated statistical, geostatistical and hydrogeochemical approaches study. *Science of the Total Environment*, 615, 972-989.
- [120]. Akpataku, K. V., Gnazou, M. D. T., Djanéyé-Boundjou, G., Bawa, L. V., Faye, S. (2020). Role of natural and anthropogenic influence on the salinization of groundwater from Basement Aquifers in the Middle Part of Mono River Basin, Togo. *Journal of Environmental Protection*, 11 (12), 1030-1051.