

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KARASU (SAKARYA) KIYI ALÜVYON AKİFERİNDE
YERALTISUYU KALİTESİNİN HİDROJEOKİMYASAL
DEĞERLENDİRMESİ**

MERVE YARIMBAŞ

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARASU (SAKARYA) KIYI ALÜVYON AKİFERİNDE
YERALTISUYU KALİTESİNİN HİDROJEOKİMYASAL
DEĞERLENDİRMESİ

MERVE YARIMBAŞ

Prof. Dr. İrfan YOLCUBAL
Danışman, Kocaeli Üniv.
Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL
Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniv.
Dr. Öğretim Üyesi Ercan SANĞU
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.
Arş. Gör. Dr. Özge Can GÜNDÜZ
Eş Danışman, Kocaeli Üniv.


Enstitü Yönetim Kurulunun
06.03.2019 tarih ve 2019/10 nolu
toplantısında II. tez danışmanı
olarak atanmıştır.

Tezin Savunulduğu Tarih: 16.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde başta danışman hocam Prof. Dr. İrfan YOLCUBAL'a tezin başından sonuna kadar her aşamasında göstermiş olduğu sabır, vermiş olduğu destek ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarındaki diyagramların hazırlanmasında, yorumlanmasında, haritaların çizilmesinde ve çalışmanın her aşamasında bana yardımcı olan eş danışmanım Arş. Gör. Dr. Özge Can GÜNDÜZ'e teşekkür borçluyum.

Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Analitik Jeokimya Laboratuvarı'nda su analizlerinin yapılması ve arazi çalışmalarım sırasında yardımlarını benden esirgemeyen Arş. Gör. Ahmet ŞENER'e teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarında Kuyumculu bölgesindeki içme suyu kuyularından numune alınması sırasında sağlamış oldukları katkılardan dolayı SASKİ (Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi) Genel Müdürlüğü'ne ve Jeoloji Mühendisi Murat ALTINATA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ve son olarak tezimi; beni yetiştiren, her zaman bana destek olan; maddi ve manevi hiç bir fedakârlıktan kaçınmayan, aileme ithaf ediyorum.

Ocak-2019

Merve YARIMBAŞ

KARASU (SAKARYA) KIYI ALÜVYON AKİFERİNDE YERALTISUYU KALİTESİNİN HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, Sakarya iline bağlı olan Karasu kıyı alüvyon akiferinin hidrojeokimyasal özelliklerinin ortaya konması, deniz suyu girişiminin ve diğer antropojenik kaynakların yeraltısuyu kalitesi üzerindeki olası etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yeraltısuyu kalitesini ve deniz suyu girişiminin olası etkisini belirlemek amacıyla alınan yeraltısuyu örneklerinin fiziko-kimyasal özellikleri, majör iyon ve iz element kimyaları ortaya konmuştur. Çalışma alanındaki suların genel olarak CaHCO_3 , Na-Cl , Ca-Cl , Na-HCO_3 tipi sular olduğu görülmektedir. Elektriksel İletkenlik (EC) değerleri $296,5\text{-}4657\ \mu\text{S/cm}$ gibi geniş bir aralıkta seyretmektedir. Su örneklerinin klorür (Cl^-) içerikleri ise $9\text{ ile }1267\text{ mg/l}$ arasında değişmektedir. Yüksek EC ve Cl^- değerleri sergileyen bazı kuyularda ise kanalizasyon karışımını işaret eden belirgin bir koku tespit edilmiştir. Yeraltı sularında ölçülen nitrat seviyeleri ise $<0,5\text{ ile }128\text{ mg/l}$ arasında değişmekte olup yerleşim alanlarından kaynaklı kirlenmenin etkisini işaret etmektedir. Yeraltısuyu örneklerinde Cl-Br iyon çifti arasında gözlenen kuvvetli pozitif korelasyon ($R^2=0,93$), $P<0,01$), kıyı akiferinde tuzluluğun baskın olarak tek ve benzer bir kaynaktan geldiğini göstermektedir. Örneklerin Cl/Br oranlarının NO_3^- içerikleriyle birlikte değerlendirilmesi kıyı akiferine deniz suyu girişiminin etkisinin sınırlı düzeyde görüldüğü tespit edilmiştir. Yeraltısularının %90'ında deniz suyu karışım oranları %0,5'in altında kalmıştır. 7 kuyuda ise %1-7,6 oranında deniz suyu karışım oranı gözlenmektedir. Bununla birlikte kentsel yüzey akışının, evsel ve fosseptik atık sularının yeraltısularına karışması yeraltısuyu tuzlanmasına katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma aynı zamanda diğer kirlenici göstergeler ile kullanıldığında, düşük deniz suyu karışım oranları sergileyen kıyı alüvyon akiferi yeraltısularında, kirlenme ve tuzlanma kaynaklarını sınıflandırmak için Cl/Br kütle oranının etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Ağır metal analiz sonuçlarına göre yeraltısuyu örneklerinin önemli bir bölümünde içme suları için izin verilen sınır değerlerin üzerinde Mn ve bir kısmında da As zenginleşmesi söz konusu olup kökenlerinin jeojenik olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arsenik, Karasu Kıyı Akiferi, Mangan Kontaminasyonu, Tuzluluk, Yeraltısuyu Kalitesi.

HYDROGEOCHEMICAL ASSESSMENT OF GROUNDWATER QUALITY IN KARASU (SAKARYA) COASTAL ALLUVIAL AQUIFER

ABSTRACT

Within the scope of this study, it was aimed to determine hydrogeochemical characteristics of coastal alluvial aquifer (Karasu, Sakarya) and the effect of seawater intrusion and anthropogenic contaminant sources on groundwater quality. Groundwater sampling was conducted to determine physicochemical properties, major ion and trace element contents of the coastal groundwater. In the study area, it is seen that the groundwaters generally exhibit Ca-HCO₃, Na-Cl, Ca-Cl, Na-HCO₃ water facies. Electrical conductivity (EC) values of the coastal groundwater varied in a wide range from 296.5-4657 μ S/cm. Chloride contents of the groundwater samples also ranged between 9 and 1267 mg/l. Some well samples exhibiting high EC and Cl values were distinct with its smell, suggesting sewage contamination. Nitrate levels measured in the coastal groundwater were found between <0.5 and 128 mg/l, suggesting residential areas for potential source of contamination. Cl-Br ion couple in groundwater samples exhibited a significant positive correlation with a r squared value of 0.93 ($p < 0.01$), suggesting that salinity of the coastal aquifer was controlled dominantly by single source. Evaluation of the Cl/Br ratios of the samples together with the nitrate contents showed that seawater intrusion into the coastal aquifer has occurred to the limited extend. In 90% of groundwater samples, seawater mixing ratios remained below 0.5%. In seven wells, seawater mixing ratios of 1-7.6% were observed. In addition, the seepage of urban surface runoff and domestic and septic tank wastewater into groundwater contributed to the groundwater salinization. This study also showed when employed with the other pollutant indicators, Cl/Br mass ratio could be used effectively to delineate the sources of contamination and salinization in coastal alluvial aquifer groundwater exhibiting low seawater mixing ratios. Heavy metal analysis of the groundwater samples showed that a significant portion of the samples exhibited Mn enrichment while As enrichment above drinking water standart value was observed in limited number of samples. Source of Mn and As enrichments are thought to be geogenic origin.

Keywords: Arsenic, Karasu Coastal Aquifer, Manganese Contamination, Salinity, Groundwater Quality.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
GİRİŞ	1
1. İNCELEME ALANINDA YAPILAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2. GENEL BİLGİLER	6
2.1. Çalışmanın Amacı	6
2.2. Coğrafi Konum.....	7
2.3. Ulaşım	8
2.4. İklim	8
2.5. Su Kaynakları	8
2.5.1. Akarsular.....	8
2.5.2. Göller	10
2.5.3. Sığ ve derin kuyular	10
3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLojİSİ	12
4. ÇALIŞMA ALANININ HİDROJEOLojİSİ.....	14
5. MATERYEL VE METOT	20
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	25
6.1. Yeraltısularının Genel Fiziko-Kimyasal Özellikleri	25
6.2. Yeraltısuyu Kimyasını Etkileyen Jeokimyasal Süreçler	35
6.2.1. Major iyon jeokimyasının değerlendirilmesi.....	35
6.2.2. Minör iyon jeokimyasının değerlendirilmesi.....	40
6.3. Kıyı Akiferinin Yeraltısuyu Kalitesinin Değerlendirilmesi	44
6.3.1. Yeraltısularının sulama suyu kalitesi.....	49
6.4. Kavramsal Model	50
6.5. Sonuçlar.....	51
KAYNAKLAR	53
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	57
ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	İnceleme alanına ait yer bulduru haritası	7
Şekil 2.2.	Sakarya Nehri'nin Karadeniz ile birleştiği yer	9
Şekil 2.3.	Maden Deresi üzerinde kurulan DSİ'ye ait Akım Gözlem İstasyonu	9
Şekil 2.4.	Küçük Boğaz Gölü (Google Earth Görüntüsü).....	10
Şekil 2.5.	Çalışma kapsamında incelenen kuyulardan bazı görüntüler a) SK- 55 numaralı kuyu, b) SK-84 numaralı tulumbalı kuyu.....	11
Şekil 2.6.	Maden Deresi boyunca açılmış SASKİ kuyularından bir görünüm	11
Şekil 3.1.	İnceleme alanının Jeoloji Haritası (Timur ve Aksay 2002'den revize edilerek çizilmiştir.).....	13
Şekil 3.2.	Kumul tepelerinden bir görünüm (X:30.8496 Y:41.0732)	13
Şekil 4.1.	DSİ'nin 1965-1993 yılları arasında inceleme alanında açmış olduğu kuyulara ait (a) lokasyon bilgileri (b) kuyu logları	16
Şekil 4.2.	Çalışma kapsamında incelenen su kuyularının lokasyonları	18
Şekil 4.3.	İnceleme alanına ait yeraltı su seviyesi haritası (Oklar yeraltısuyunun akış yönünü göstermektedir.)	19
Şekil 5.1.	Arazide kuyu başında yapılan yeraltısuyu örneklemesi.....	23
Şekil 5.2.	Arazide kuyu başında yapılan fizikokimyasal ölçümler	23
Şekil 5.3.	Arazide KLL tipi kuyu düdüğü ile yeraltısı seviye ölçümü.....	23
Şekil 5.4.	KOÜ Analitik Jeokimya Laboratuvarı'nda filtreleme işlemi	24
Şekil 6.1.	İncelenen yeraltısuyu örneklerinin pH değerlerinin noktasal dağılım haritası.....	25
Şekil 6.2.	İncelenen yeraltısuyu örneklerinin (a) EC değerlerinin noktasal dağılım haritası (b) Na konsantrasyonlarının değerlerinin noktasal dağılım haritası (c) Cl konsantrasyonlarının değerlerinin noktasal dağılım haritası	26
Şekil 6.3.	Hiyerarşik kümelenme analizinden elde edilen dendogram	34
Şekil 6.4.	Karasu kıyı alüvyon akiferine ait su numunelerinin Piper Diyagramı.....	37
Şekil 6.5.	İncelenen yeraltısuyu örneklerinin doygunluk indeksi (SI) grafiği	39
Şekil 6.6.	İncelenen yeraltısularının (a) Cl/Br kütle oranının Cl'a karşı grafiği; (b) Cl/Br kütle oranının nitrat'a göre grafiği.....	41
Şekil 6.7.	Yeraltısuyu örneklerinin Cl-Br değişim grafiği.....	44
Şekil 6.8.	Yeraltısuyu örneklerinin Na-Cl değişim grafiği	44
Şekil 6.9.	İncelenen yeraltısuyu örneklerinin NO ₃ ⁻ konsantrasyonlarının noktasal dağılım haritası.....	46
Şekil 6.10.	İncelenen yeraltısuyu örneklerinin Mn konsantrasyonlarının noktasal dağılım haritası.....	47
Şekil 6.11.	İncelenen örneklerin As konsantrasyonlarının noktasal dağılım haritası	48
Şekil 6.11.	İncelenen numunelerin ABD Tuzluluk Diyagramı.....	49
Şekil 6.12.	Karasu Kıyı Ovası'nın Kavramsal Modeli	51

TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1. Çalışma kapsamında alüvyon içinde açılan kuyulara ait bilgiler	16
Tablo 6.1. İncelenen yeraltısularının fiziksel ve majör iyon kimyası analiz sonuçları.	27
Tablo 6.2. İncelenen yeraltısularının iz element kimyası analiz sonuçları	30
Tablo 6.3. Yeraltısuyu örneklerinin fiziko-kimyasal özelliklerinin istatistiksel değerlendirmesi	33
Tablo 6.4. Kimyasal parametreler arasındaki Pearson Korelasyon Analizi (n=64).....	33
Tablo 6.5. İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin su fasiyesleri	36
Tablo 6.6. İncelenen numunelerin Br değerine göre hesaplanan deniz suyu karışım oranları	38
Tablo 6.7. TSE 266'da belirtilen bazı parametrelerin sınır değerleri.	45
Tablo 6.8. EC, %Na ve SAR değerlerine göre sulama suyu sınıfları	49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\mu\text{S/cm}$	: Mikrosiemens/santimetre
mg/l	: Miligram/litre
$\mu\text{g/l}$	: Mikrogram/litre
μM	: Mikrometre
mM	: Milimolar
Ca^{+2}	: Kalsiyum
Cl^-	: Klorür
CO_3^-	: Karbonat
EC	: Elektriksel iletkenlik
HCO_3^-	: Bikarbonat
K^+	: Potasyum
Mg^{+2}	: Magnezyum
Na^+	: Sodyum
SO_4^{2-}	: Sülfat
Mn	: Mangan
As	: Arsenik
NO_3^-	: Nitrat
Br^-	: Bromür

Kısaltmalar

AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
DO	: Çözünmüş Oksijen
DSİ	: Devlet Su İşleri
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü
SAR	: Sodyum Adsorbsiyon Oranı
SASKİ	: Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi
TDS	: Toplam Çözünmüş Madde

GİRİŞ

İnsanoğlu yerleşik hayata geçmeye başladıktan sonra yaşamlarını devam ettirebilmek için yerleşim yeri olarak iklimi uygun olan verimli araziler, akarsu boyları, göl ve deniz kıyı alanlarını seçmişlerdir.

Kıyılar oluşumları itibariyle düz ve düze yakın alanlar olması, kara ve denizin imkânlarından birlikte yararlanılması, ulaşım şartlarının avantajı, iklim şartlarının uygun olması, turizm potansiyelinin olması gibi özellikleriyle nüfusun bu alanlarda yoğunlaşmasına neden olur. Bu alanlarda nüfusun hızlı ve kontrolsüz olarak gelişmesi, altyapı ve denetim eksikliği sebebiyle tatlı su kaynaklarının tuzlanması, kıyı karakterinin bozulması, deniz ve akarsuların kirlenmesi, bitki örtüsünün yok edilmesi, kıyıların beton binalara boğulması gibi çevresel sorunları ortaya çıkarmaktadır. Kıyı alanları gibi turizm nedeniyle iç bölgelere göre içme ve kullanma suyu ihtiyacının yüksek olduğu kesimlerde tatlı su kaynaklarının doğru bir şekilde yönetilmesi, akiferlerin sürekli kullanılabilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Yeraltısularının tuzlanması, dünyadaki kıyı akiferlerinin aşırı kullanımına bağlı olarak kıyı bölgelerinde görülen yaygın sorunlardan biridir [1]. Yeraltısuyunun tuzlanmasında çeşitli etkenler ve süreçler rol oynamaktadır. Derin akiferlerden paleo (eski) veya formasyon suların çekilmesi, ortamda evaporit veya farklı tuz bileşenlerinin oluşturduğu yatakların bulunması, yollardaki buzlanmayı önleyici tuzların kullanımı veya antropojenik kökenli kirleticiler tuzlanmayı oluşturan sebeplerdir [2-16]. Bunun dışında kıyı akiferlerinde aşırı su çekiminin yol açtığı deniz suyu girişi, çoğunlukla yeraltısuyu tuzlanmasının temel kaynağı olarak kabul edilmektedir. Denize kıyısı olan akifer sistemlerinde gözlenen tuzluluğun kökeninin ve mekanizmasının anlaşılması getirilecek çözüm önerilerinin belirlenmesi aşamasında önem arz etmektedir. Buna ek olarak kıyı akiferlerinde kontrolsüz kentleşmeye bağlı olarak gelişen çevresel sorunlar sınırlı su kaynaklarını su kalitesinde bozunmaya neden olmaktadır. Bu kaynakların korunması ve sürdürülebilir yönetimi açısından yeraltısuyu kaynakları üzerindeki potansiyel baskı unsurların ve etkilerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

İnceleme Sahası, Marmara bölgesinde, Sakarya ilinin sınırları içinde kalan Sakarya Nehri'nin denize döküldüğü yerden başlayarak, Karasu-Kocaali kıyı şeridini kapsamaktadır. Doğusunda Akçakoca ilçesi, güneyinde Adapazarı, Hendek, Ferizli ilçeleri, batısında Kaynarca ilçesi ve kuzeyinde de Karadeniz yer almaktadır. Bölgenin en önemli turizm noktalarından birisi olması sebebiyle çok sayıda yazlık site içeren Karasu'nun kış aylarında elli üç bin olan nüfusu yaz aylarında beş yüz binlere kadar ulaşmaktadır. Artan nüfusa bağlı olarak bölgede su ihtiyacı doğmaktadır. İnceleme alanında içme, kullanma, endüstriyel ve sulama amaçlı su ihtiyacının tamamına yakını yeraltısuyundan karşılanmaktadır. Her geçen gün önemi artan yeraltısuyu kaynaklarının iyi yönetilmesi, kalitesinin ve potansiyelinin ortaya konmasını gerekli kılmaktadır. Karasu Kıyı Ovası'nda, düzenli yeraltısuyu kalitesi izlemesi yapılan gözlem kuyusu bulunmamaktadır. DSİ (Devlet Su İşleri) kuyularının açıldığı tarihteki (1965) yeraltısuyu kimyası analizleri mevcuttur. Bu verilere göre Karasu Kıyı Ovası'nda ki bazı kuyulardan elde edilen yüksek elektriksel iletkenlik değerleri (4750-7400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) kıyı ovasının deniz suyu girişimi etkisinde kaldığını işaret etmektedir. Ancak bu çalışmalar güncel durum hakkında bilgi sunmamaktadır.

Bu çalışmada, Karasu-Kocaali kıyısı boyunca uzanan alüvyon akiferinin yeraltısuyu kalitesi, yeraltısuyu çekiminin ve diğer potansiyel kirletici faktörlerin, yeraltısuyu kalitesine olası etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1. İNCELEME ALANINDA YAPILAN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnceleme alanı ve çevresindeki su kaynakları üzerindeki çalışmalar 1966 yıllarına dayanmaktadır. 1966 yılında T.C. Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yeraltı suları Dairesi İşleri tarafından "Aşağı Sakarya Havzası Yeraltı suyu Rezerv Raporu" yayımlanmıştır [17]. Bu çalışmada DSİ tarafından açılan 93 adet su kuyusu kullanılarak havzanın yeraltı suyu potansiyelinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Sondaj loglarından elde edilen bilgiler detaylı bir şekilde irdelenerek, su tutan birimlerin özellikleri, akiferlerin birbiri ile olan ilişkileri, sahanın beslenme ve boşalma ilişkileri, Sakarya Nehri ile olan ilişkisi irdelenmiştir. Daha sonrasında Ekim 2015 tarihinde Devlet Su İşleri 3. Bölge Müdürlüğü (Eskişehir) tarafından "Aşağı Sakarya Alt Havzası Hidrojeoloji Raporu" yayımlanmıştır [18]. Bu rapor ise Aşağı Sakarya Havzası ile ilgili mevcut bulunan hidrolojik, hidrojeolojik ve meteorolojik verilerin derlenmesi ile oluşturulmuştur. Seneler içinde DSİ bünyesinde toplanan veriler bu rapor ile derlenip sunulmuştur.

Her iki raporda da bahsi geçen hesaplar ve bulgular birtakım varsayımlara dayandırılmış olduğundan o günkü gerçek durumu yansıtmamaktadır. Sahanın yeraltı suyu bütçesi ve kalitesi hakkında günümüz modern teknikleri ve yaklaşımları kullanılarak herhangi bir çalışma henüz üretilmemiş olup mevcut veriler güncelliğini yitirmiştir. Bu çalışmaların dışında çalışma sahasını ve yakın çevresini kapsayan alanda çeşitli bilim dalları üzerine yapılmış doktora ve yüksek lisans tezleri bulunmaktadır.

Baltaoğlu (1990), "Sakarya Nehri Havzasında Su Kalitesi Yönetimi [19]" isimli doktora tezi çalışmasında; Sakarya Nehri ve yan kollarında gerçekleştirilen su kalitesi izleme çalışmalarını değerlendirerek kara kökenli kirletici kaynakları belirlenmiş, gerekli teknik ve ekonomik önlemleri yansıtan senaryolar hazırlanmıştır.

Tuncer (2004), "Sakarya Nehri–Göynük Çayı–Çatak Çayı Arasındaki Sahanın Karst Jeomorfolojisi [20]" isimli doktora çalışmasında bölgenin jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri açıklanarak, karstlaşmayı etkileyen etkenler irdelenmiş, sahanın karst

sınıflanması yapılmıştır. Yüzey ve yeraltısularının fiziko-kimyasal özelliklerinin karstlaşmaya olan etkileri araştırılmış, ova kenarında bulunan 15 kaynaktan 13'ünün karstik kaynak olduğu tespit edilmiştir.

Kurucu (2008), “Sakarya Havzasındaki Bazı Akarsularda Debi Eğilimlerinin Belirlenmesi [21]” isimli yüksek lisans çalışmasında; Sakarya Nehrinin kolları üzerinde bulunan 12 akım gözlem istasyonunda ölçülen debilerden aylık ortalama, yıllık maksimum ve yıllık minimum verilerini kullanarak bu verilere Mann-Kendall eğilim testleri uygulamış, zamana göre değişimleri grafik halinde göstermiştir. Uygulanan bu test sonucunda 1203, 1223, 1224 numaralı gözlem istasyonlarında azalan yönde eğilim görülmüş, 1219, 1249 numaralı gözlem istasyonlarında ise artan veya azalan eğilim görülmemiştir.

Güner (2009), “Yukarı Sakarya Havzası’nda Yeraltısuyu Yaş Dağılımının Çevresel İzleyiciler ile İncelenmesi [22]” adlı yüksek lisans çalışmasında; 15,366 km²’lik drenaj alana sahip olan Yukarı Sakarya Havzası’nda yeraltısuyu yaş dağılımının belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışmada ortalama yıllık boşalım 21,1m³/s, ortalama sıcaklık 10,8°C, alansal ortalama yağış 396 mm/yıl, alansal ortalama buharlaşma-terleme kaybı Turc ve Coutagne yöntemlerine göre sırasıyla 348 mm/yıl ve 328 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. ³H ve ¹⁴C model yaşları incelenen örnekler genç ve yaşlı suların karışımından oluşmuştur, bu da havzanın karmaşık jeolojik-hidrojeolojik yapısından kaynaklandığını düşündürmüştür. ³H model yaşları birkaç yüzyıl, ¹⁴C model yaşları 5-10 bin yıl arasında değişen değerlere sahiptir. Yaşlı sular Sakarya Nehri boyunca yer alan kaynaklardan boşalmaktayken, genç boşalımlar ise Sakarya nehri akış yukarısında yer almaktadır. NETPATH yazılımı ile jeokimyasal model hesabı; genç yeraltısuyunda kalsit dolomit ve jips çözünmesinin, yaşlı yeraltısuyunda ise dolomit ve jips çözünmesine eşlik eden kalsit çökeliminin hâkim reaksiyonlar olduğunu göstermiştir.

Koç (2011), “Karasu (Sakarya) Yerleşim Alanı Zeminlerinin Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi [23]” konulu yüksek lisans tezinde; Karasu’da 1300 hektarlık alan içerisinde yapılan çalışmaları derleyerek eksik görülen yerlerde yeni çalışmalar yaparak bölgenin mühendislik özelliklerini ortaya koymayı amaçlamıştır. Çalışma kapsamında derinlikleri 5-20 m arasında olan 16 zemin araştırma sondajı ve 2 adet araştırma çukuru incelenmiş ve bölgede iki birim ayırt edilmiştir.

Sahil kesiminde Pliyo-Kuvaterner yaşı kumlar daha iç kısımlarda ise Eosen yaşı kilaşı, silttaşı, kumtaşı, marn aralanmasından oluşan filişler (Örencik Formasyonu) yer almaktadır.

Ören (2011), “Karasu Çayı (Sakarya Nehri’nin Bir Kolu) Havzasının Jeomorfolojisi [24]” adlı yüksek lisans çalışmasında; Karadeniz Bölgesi’nin Batı Karadeniz Bölümü ile Marmara Bölgesi’nin Güney Marmara bölümleri üzerinde yer alan “Karasu Çayı Havzasının” jeomorfolojik özelliklerinin incelenmesini amaçlamıştır. İnceleme sahasının şekillenmesini tektonik hareketler meydana getirmiş olup bu tektonik hareketler hâlen faaliyetini sürdürmektedir. Bu alanda flüvyal koşullarında etkili olması monojenik bir topoğrafya olduğunu göstermiştir. İnceleme sahası akarsular ve kolları tarafından parçalanmış olarak gözlenmiştir. Çalışmada jeomorfolojik CBS ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak bulgular ve değerlendirmeler harita, grafik, fotoğraf ve yazı ile ortaya konulmuştur.

Türk Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği (2012), “Karasu Kıyı Alanı Kıyı Daralması Raporu [25]” adlı raporunda Karasu limanının yapılmasının Sakarya Nehir ağzının akış yönünü değiştirdiğini ve dalga şiddetini artırdığını ortaya koymuştur.

Yurdusever (2014), “Karasu’da (Sakarya Nehri–Karasu Deresi Arası) Arazi Kullanımı [26]” adlı yüksek lisans tezi çalışmasında; Coğrafi yöntemler kullanarak Sakarya’nın Karasu ilçesinde 2003–2012 yılları arasında özellikle Karasu Limanı’nın inşasından sonra dalga aşındırmasından kaynaklanan kıyı gerilemesinin arazi kullanımına olan etkilerini ortaya koymayı amaçlamıştır. Sonuç olarak ta limanın etkilerini ortadan kaldırmak için iki yol olduğunu ileri sürmüştür. Birincisi limanın kaldırılması iken ikincisi ise kıyıda dalgaların etkisini azaltmak için yapılan mahmuzların sayısının artırılıp dalga şiddetine uygun olarak sağlamlaştırılmasıdır.

Yukarıda kısaca açıklanan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere inceleme alanında proje konusuyla ilgili güncel bir çalışma bulunmamaktadır. Mevcut çalışmalar ağırlıklı olarak havzadaki yüzey su kütleleri üzerine yoğunlaşmıştır. Proje sahasında, denize kıyısı olan alüvyon akiferin yeraltısuyu kalitesinin ve deniz suyu girişiminin mevcut durumunun tespitine yönelik yürütülecek bu çalışma ile bölgedeki bu husustaki bilgi ve veri eksikliği büyük ölçüde giderilmesi hedeflenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Çalışmanın Amacı

Çalışma alanı olan Karasu kıyı alüvyon akiferini de içine alan Aşağı Sakarya Havzası yeraltısuyu durumunu ortaya koyan en son çalışma DSİ tarafından hazırlanan ve 1966 yılında yayımlanan Aşağı Sakarya Havzası Yeraltısuyu Rezerv Raporu'dur. 1966 yılında yayımlanan bu rapordan sonra 1983 ve 2015 yıllarında yayımlanan Aşağı Sakarya Alt Havzası Hidrojeoloji Raporları, mevcut raporlardaki veriler derlenerek oluşturulmuştur. 1966 yılında yapılan ilk hidrojeolojik çalışmadan sonra elde edilen verilerde güncelliğini yitirmiştir. Sonuç olarak bu durum çalışma alanını oluşturan Karasu kıyı alüvyon akiferinin mevcut durumunu ortaya koyacak güncel bir hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmanın yapılmasını zorunlu kılmıştır.

Karasu kıyı alüvyon akiferinde DSİ tarafından açılmış kuyularda yeraltısuyu kalitesine yönelik güncel veriler bulunmamaktadır. Bölgedeki kuyulara ait yeraltısuyu analiz verileri kuyuların açıldığı tarihlere (1965-1993) dayanmaktadır. 1960'lı yıllardaki yeraltısuyu analiz raporlarına göre Karasu kıyı alüvyon akiferinde bazı kuyularda yüksek elektriksel iletkenlik (EC) değerleri tespit edilmiştir. Bu veriler kıyı akiferinde deniz suyu girişimi etkisinin var olduğunu işaret etmektedir. Aradan geçen 50 yıllık süreçte, kentleşme baskısı altında bulunan Karasu kıyı alüvyon akiferinde antropojenik baskı unsurlarının ve aşırı su çekimine bağlı gelişen, tuzlu su girişiminin yeraltısuyu kalitesi üzerindeki olası etkisinin ne düzeyde olduğu bilinmemektedir.

Proje kapsamında elde edilen çıktılar ile önemli düzeyde yeraltısuyu potansiyeline sahip Karasu kıyı alüvyon akifer sisteminin yeraltısuyu kalitesi, su kalitesi üzerindeki potansiyel baskı unsurları ve kökenleri belirlenecektir.

2.2. Coğrafi Konum

Karasu-Kocaali kıyı kesimini kapsayan tez sahası, $41^{\circ} 7' 32''$ - $41^{\circ} 4' 27''$ kuzey enlemleri ile $30^{\circ} 38' 54''$ - $30^{\circ} 52' 2''$ doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 2.1). Çalışma alanını, Aşağı Sakarya Alt Havzası'ndaki 8 ovadandır biri olan Karasu Ovası'nın 50 km^2 'lik yüzey alanına sahip kıyı kesimi oluşturmaktadır. İnceleme alanı Sakarya Nehri'nin Karadeniz'e döküldüğü yerden başlayıp doğuya doğru 30 kilometrelik, Karadeniz'den başlayarak güneye doğru 4 kilometrelik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanı 1/100.000'lik topoğrafik haritada F25 (Ereğli) paftası içinde yer almaktadır.



Şekil 2.1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası.

2.3. Ulaşım

Sakarya ili ülke ulaşım ağına şehir merkezinden geçen, Ankara-İstanbul D-100 (E5) ve Tem otoyolu ile bağlanmakta olup ilçeye giden D-650 numaralı duble yol ile D-014 Numaralı Karasu-Kaynarca karayolu birleşmektedir. Karasu, Sakarya il merkezine 50 km mesafededir.

2.4. İklim

Marmara ve Karadeniz bölgesinin iklim özelliklerini taşıyan Sakarya ili yağışlı, nemli ve ılıman bir iklime sahiptir. Kışları bol yağışlı ve ılık, yazlar ise sıcaktır. Kış mevsiminde yağış türü genellikle yağmur şeklindedir. Aşağı Sakarya Alt Havzası içinde 15 adet meteoroloji gözlem istasyonu bulunmaktadır. Karasu Havzası içindeki Karasu Meteoroloji Gözlem İstasyonunun 29 yıllık (1958-1987) yağış ortalaması 1028 mm'dir. Sakarya ili Karasu Meteoroloji Gözlem İstasyonu'na ait 2007-2013 dönemi ortalaması potansiyel ve gerçek buharlaşma-terleme değerleri, Thornthwaite [27] yöntemi kullanılarak 41. enlem için yıllık potansiyel buharlaşma-terleme 675,93 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme ise 379,23 mm hesaplanmıştır. Bol miktarda yağış alması sebebiyle ormanların oluşturduğu yeşil bitki örtüsüne hâkim olup ormanlar 12.465 hektarlık alanı kaplamaktadır.

2.5. Su Kaynakları

Ülkemiz DSİ tarafından yapılan çalışmalar neticesinde 26 akarsu havzasına bölünmüştür. Bunlarada 12.si Sakarya Havzası'dır. Yüksek Lisans tez kapsamında incelenen çalışma sahası, Sakarya il sınırları içinde olup, ülkemizin önemli nehir havzalarından biri olan ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından çalışılması gereken öncelikli havzalar arasında yer alan Aşağı Sakarya Havzası Karasu alt havzası sınırları içinde yer almaktadır. Karasu alt havzası içinde bulunan ve yaklaşık 50 km²'lik bir yüzey alanına sahip Karasu (Sakarya) Kıyı Ovası, çalışma alanının odak alanını oluşturmaktadır.

2.5.1. Akarsular

Sakarya Nehri

Sakarya Nehri ülkenin en büyük üç nehrinden biridir. Afyon ve Eskişehir illerinden doğup Adapazarı Ovası'nda Çark Suyu ile birleşerek Sakarya'nın Karasu ilçesinin Yenimahalle semtinden Karadeniz'e dökülür (Şekil 2.2). Sakarya Nehri'nin uzunluğu 824 km'dir. Debinin en yüksek olduğu aylar mart, nisan ve mayıs aylar olup, ortalama debisi 193 m³/s'dir [28].



Şekil 2.2. Sakarya Nehri'nin Karadeniz ile birleştiği yer

Karasu Deresi

Kabalak Deresi adıyla Hendek yakınlarından doğup Yayla Deresi'yle birleştikten sonra Karasu adını alır. Daha sonra Maden Deresi adını alarak Kocaali ilçesinden geçerek Karadeniz'e dökülür. Debisi $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir [29]. Maden Deresi üzerinde Devlet Su İşlerine ait Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) bulunmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Maden Deresi üzerinde kurulan DSİ'ye ait Akım Gözlem İstasyonu

2.5.2. G ller

K     Boğaz G   

Karasu ilçesinin doğusunda bir lagün g   d r ( ekil 2.4). Kış aylarında artan g   sularının fazlası, halkın açtığı oluklar sayesinde denize akıtılmakta ve g  le deniz birleşmektedir.  evresi mesire alanı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.4. K     Boğaz G    (Google Earth Görüntüsü)

2.5.3. Sığ ve Derin Kuyular

Karasu kıyı alüvyon akiferinde derin ve sığ sondaj kuyuları mevcuttur. Sığ kuyular yöre halkının bahçe sulama amacı ile açmış olduğu, derinliği 8-15 m (SK-55 hariç) arasında değişen kuyulardır. Melodi Tatil Sitesi'nde bahçe sulama amacıyla açılmış en derin kuyu olan SK-55 numaralı kuyunun derinliği ise 50 metredir ( ekil 2.5a). Çalışma kapsamında sadece bir adet tulumbalı kuyu incelenmiş olup derinliği 7 m'dir ( ekil 2.5b).

Derin kuyular ise Karasu ve civarındaki köylere içme ve kullanma suyu temini için çalışma alanı içerisinde kalan Maden Deresi boyunca SASK  (Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi) tarafından açılmıştır ( ekil 2.6). Tamamı alüvyonda açılmış olan bu kuyuların derinlikleri 40-65 m arasında değişmektedir. Bu kuyuların verimleri 10 ile 40 lt/s arasında değişmektedir.



Şekil 2.5. Çalışma kapsamında incelenen kuyulardan bazı görüntüler a) SK-55 numaralı kuyu, b) SK-84 numaralı tulumbalı kuyu



Şekil 2.6. Maden Deresi boyunca açılmış SASKİ kuyularından bir görünüm

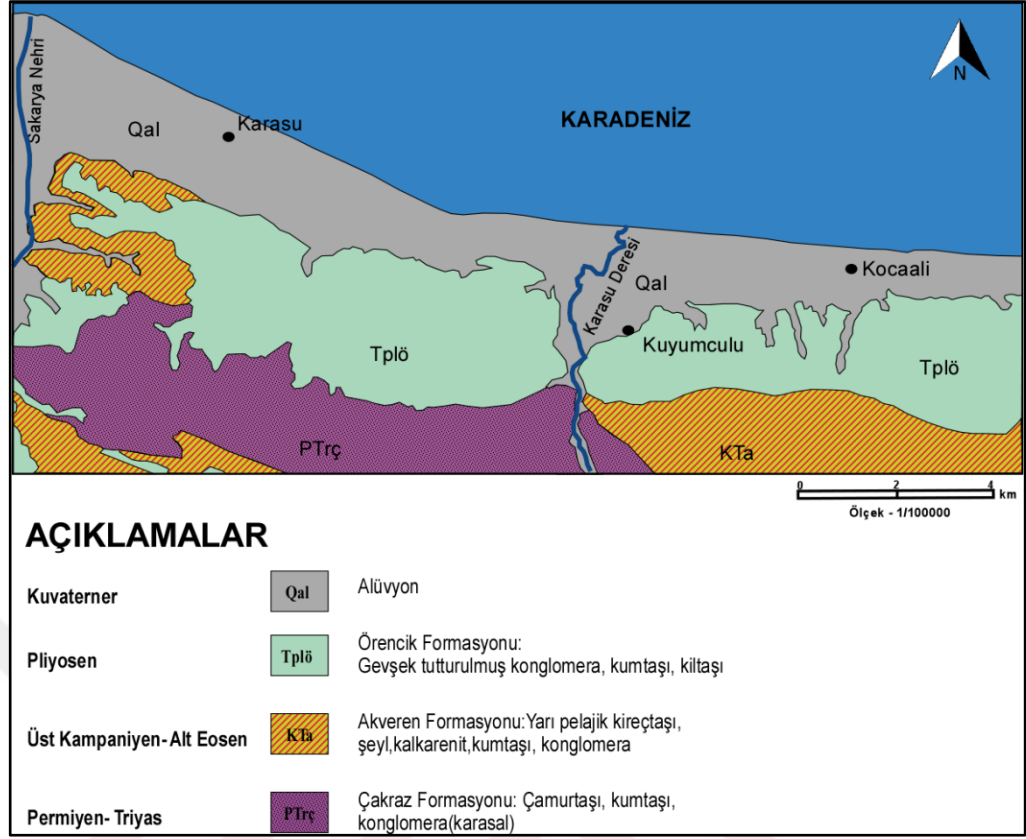
3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLojİSİ

İnceleme alanının Jeoloji haritası, Maden Tetkik Arama Enstitüsü'nün 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları Ereğli Paftası'ndan revize edilerek oluşturulmuştur [30]. Aşağı Sakarya Havzası'nın 12-63 numaralı alt havzası olan Karasu Havzası'nda, Paleozoyik yaşlı kayaçlardan Kuvaterner'e kadar değişen süreçteki farklı formasyonlara ait birimler yer almaktadır (Şekil 3.1).

Çalışma alanının en yaşlı birimi olan Permien-Triyas yaşlı Çakraz Formasyonu çakıltası, kumtaşı ve konglomeradan oluşur. Çakraz Formasyonunun (PTrç) üzerinde Akveren Formasyonu uyumsuzlukla yer alır. Üst Kampaniyen–Alt Eosen yaşlı Akveren Formasyonu (Kta) sarı renkli kumtaşı, çakıltası, kırıntılı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Akveren Formasyonu çalışma alanının güney kesiminde mostra vermektedir. Bu formasyonunun üzerine uyumsuz olarak kırmızı, sarımsı kırmızı, kahverengi renklerde gevşek tutturulmuş çakıltası ve kumtaşları ile kiltası ve çamurtaşlarından oluşan Pliyosen yaşlı Örencik Formasyonu (Tplö) yer almaktadır. İnceleme alanının kuzeyinde en üstte Kuvaterner yaşlı alüvyonlar kendinden yaşlı birimler üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır.

Bölgedeki en genç birimi, Karasu ilçesinin kuzeyinde kıyıya paralel bir hat üzerinde doğu-batı yönünde yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı alüvyonlar oluşturmaktadır. Kuvaterner çökelleri, kıyılarda kumullar ve iç kesimlere doğru silt, kil, kum ve çakıldan oluşmaktadır. Alüvyonlar Sakarya Nehri'nin taşımış olduğu sedimanlardan oluşmaktadır. Sakarya Nehri ve Karasu Deresi yatakları civarında alüvyon kum ve çakılları 70 metreye ulaşırken yayılım alanı yaklaşık olarak 50 km²'dir [18].

Kuvaterner yaşlı kumullar ise Karadeniz'in kıyıya sürüklediği, daha sonra rüzgârlarla kara içlerine doğru taşınmasıyla oluşmaktadır. Kumullar, ince kum ve silt boyutlarındaki malzemelerden meydana gelmektedir. İnceleme alanında başlıca kuvars kumu ve karasal Gastropod (karındanbacaklı deniz canlısı) kabuklarından oluşan yüksekliği 2 ila 4 metreyi geçen kumul tepeleri tipiktir (Şekil 3.2) [25].



Şekil 3.1. İnceleme alanının Jeoloji Haritası (Timur ve Aksay 2002’den revize edilerek çizilmiştir.)



Şekil 3.2. Kumul tepelerinden bir görünüm (X:30.8496 Y:41.0732)

4. ÇALIŞMA ALANININ HİDROJEOLOJİSİ

Sakarya Ovası, faylanmaya bağlı gelişen çöküntü alanlarının Sakarya Nehri ve kollarının taşıdığı alüvyonlarla dolması sonucu oluşmuştur. Karasu kıyı şeridinde yayılım gösteren alüvyonlar akifer olma özelliği göstermekte olup kum ve çakıldan oluşmaktadır. Akveren Formasyonu'na ait Kretase yaşlı kireçtaşları kırık ve çatlakları boyunca sınırlı yeraltısuyu taşımaktadır [18]. Örencik Formasyonu'na ait gevşek tutturulmuş konglomera ve kumtaşı seviyeleri de yeraltısuyu taşımakta olup, yerel öneme sahip taneli akifer özelliği göstermektedir.

Karasu Kıyı Ovası, Sakarya Nehri ve Karasu Deresi'nin taşıdığı sedimanlar ile oluşmuştur. Alüvyon kum ve çakılları 50 km²'lik bir alana yayılmıştır. Karasu Kıyı Ovası'nda alüvyonun kalınlığı ortalama 50 m iken, Karasu Deresi ve Sakarya Nehri yatakları civarında 70 m'ye kadar ulaşmaktadır. Alüvyonun genel özelliklerine bakarsak üstte kalın kumlu kaba taneli birimler, daha derinlerde ise geçirimsiz silt ve kil gibi malzemeler bulunmaktadır. Serbest akifer özelliği gösteren alüvyonun üst kısımlarının kalın ve kaba taneli geçirimli malzemelerden oluşması, birimin yağıştan hızlı beslenimini kolaylaştırmaktadır. Yeraltısı seviyesinin yüzeye çok yakın olduğu alanlarda alüvyon içerisinde sazlık-bataklık alanlar oluşmaktadır.

1965-1993 yılları arasında Karasu Kıyı Ovası'nda DSİ tarafından 9 adet kuyu açılmış ancak bu kuyulardan 3 tanesi daha sonraki yıllarda kapatılmıştır. Bu kuyulara ait lokasyon bilgileri ve kuyu logları Şekil 4.1' de verilmektedir. Ovadaki en derin 2 kuyu olan 6669A (69 m) ve 6670A (79 m) numaralı kuyular, 45 m derinlikte Kretase yaşlı kireçtaşlarını kesmiştir. Bu kuyulara ait yeraltısuları kireçtaşı akiferinden sağlanmaktadır. Ovadaki diğer 7 kuyunun derinliği ise 27 m ile 60 m arasında değişmektedir. Bu kuyulara ait sular alüvyon içindeki çakıllı kumlu seviyelerden sağlanmaktadır.

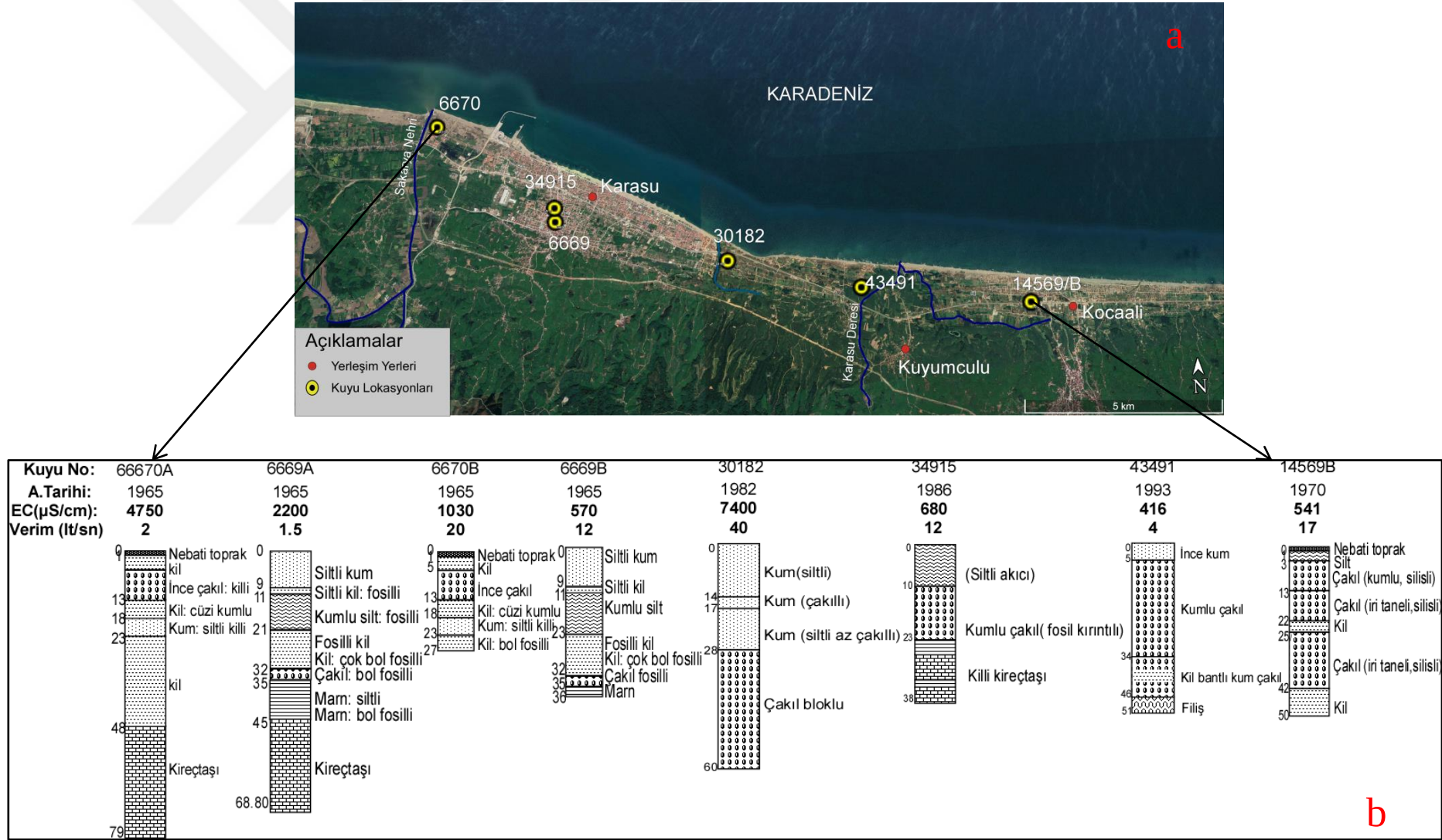
2015 yılı Aşağı Sakarya Alt Havzası Hidrojeoloji Raporuna göre Karasu Havzası yeraltısuyunun yağıştan beslenimi 27 milyon m³/yıl, akıştan beslenimi 7 milyon m³/yıl olarak hesaplanmıştır [17]. Devlet Su İşleri 3. Bölge Müdürlüğü Sakarya

Havzası Master Plan Raporu'na göre Karasu Havzası için toplam yeraltısuyu rezervi $33,4 \times 10^6$ m³/yıl, emniyetli yeraltısuyu rezervi ise 20×10^6 m³/yıl olarak belirlenmiştir [18]. Bu rapordan elde edilen veriler kullanılarak Karasu Kıyı Ovası'nın toplam yeraltısuyu rezervi $10,4 \times 10^6$ m³/yıl, emniyetli yeraltısuyu rezervi ise $6,25 \times 10^6$ m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

Karasu sahilde DSİ'nin 1964'te yapmış olduğu çalışmada 6670A ve 30182 nolu kuyularda EC değerleri sırasıyla, 4750 ve 7400 micromhos/cm bulunmuştur. 6670A kuyusu 79 m olup alüvyon kapatılarak kireçtaşı denenmiştir. Hemen yanında açılan 6670B kuyusu 27 m olup alüvyonda kalmıştır. 6670A ve 6670B kuyularında sırasıyla verimler 2 l/s ve 20 l/s, EC değerleri ise 4750 ve 1030 micromhos/cm bulunmuştur (DSİ, 1964). Böylece alüvyonda açılan sığ kuyuda bir problem yokken derinde açılan kireçtaşlarının denendiği kuyuda deniz suyu girişim etkisi olduğu gözlenmiştir.

Karasu Havzası'nda DSİ tarafından daha önceden yapılmış sondaj kuyuları verilerine göre, akifer özgül verimleri 2–40 l/ s/m arasında değişmektedir. Ovadaki kuyu verimleri ise 2 lt/s ile 30 lt/s arasında değişmektedir.

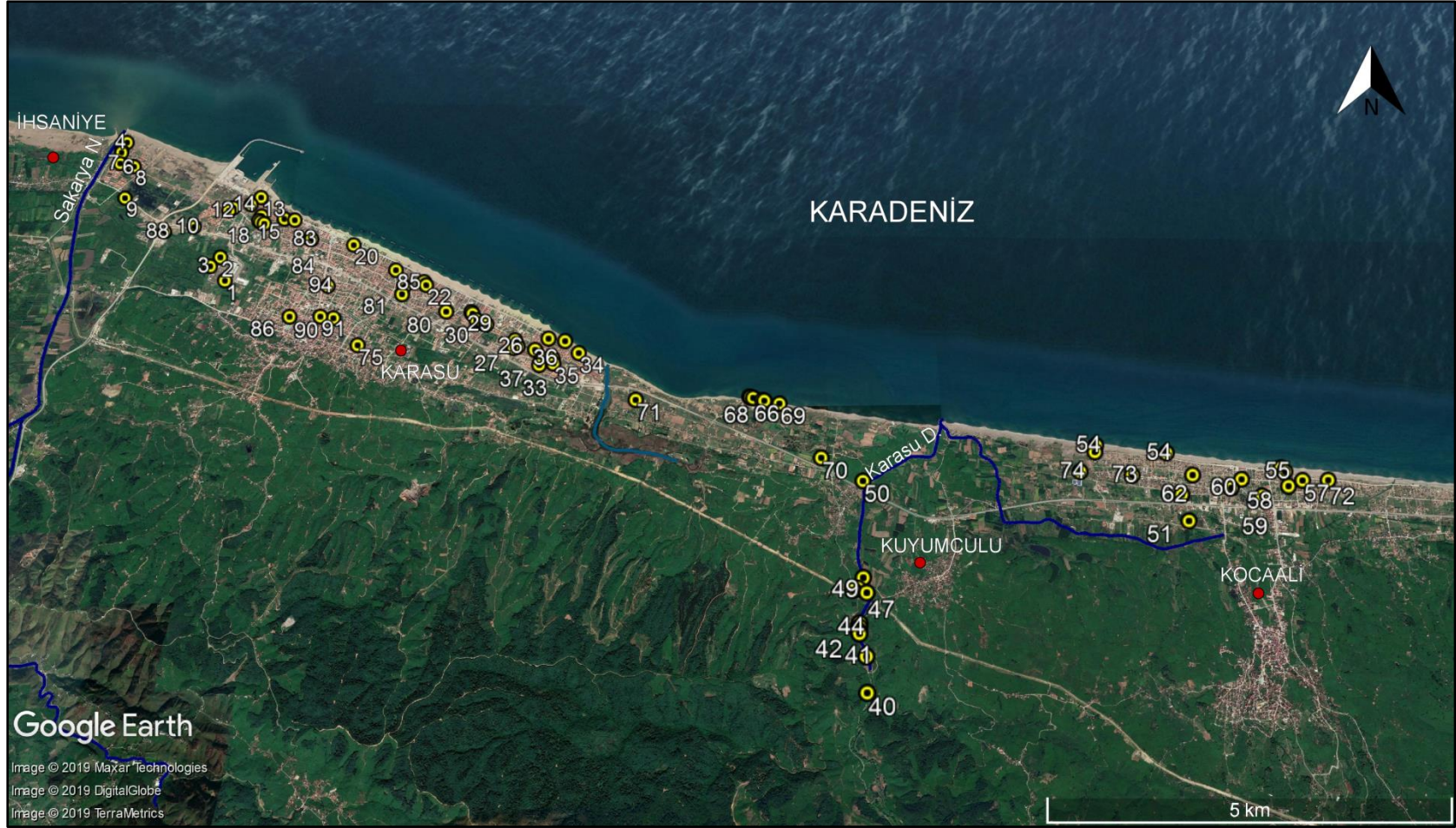
Çalışma kapsamında, Karasu-Kocaali kıyı alüvyon akiferinde yazlık sitelerde bahçe sulama amacıyla açılmış 8-15 m derinlikte 81, SASKİ'nin içme suyu amacıyla Maden Deresi boyunca açmış olduğu 40-65 m derinlikte 13 olmak üzere toplam 94 kuyu incelenmiştir (Tablo 4.1, Şekil 4.2). Çalışma sırasında 94 kuyunun teknik nedenler sebebiyle 51 tanesinden statik seviye ölçümleri yapılmıştır. Karasu kıyı alüvyon akiferinde açılan kuyularda yeraltısuyu seviyeleri 0,5-6 m (2018 Aralık) arasında değişmektedir (Şekil 4.3). Maden Deresi boyunca açılmış SASKİ'ye ait kuyuların yeraltısı seviye değerleri ise 4-13 m arasında değişmektedir.



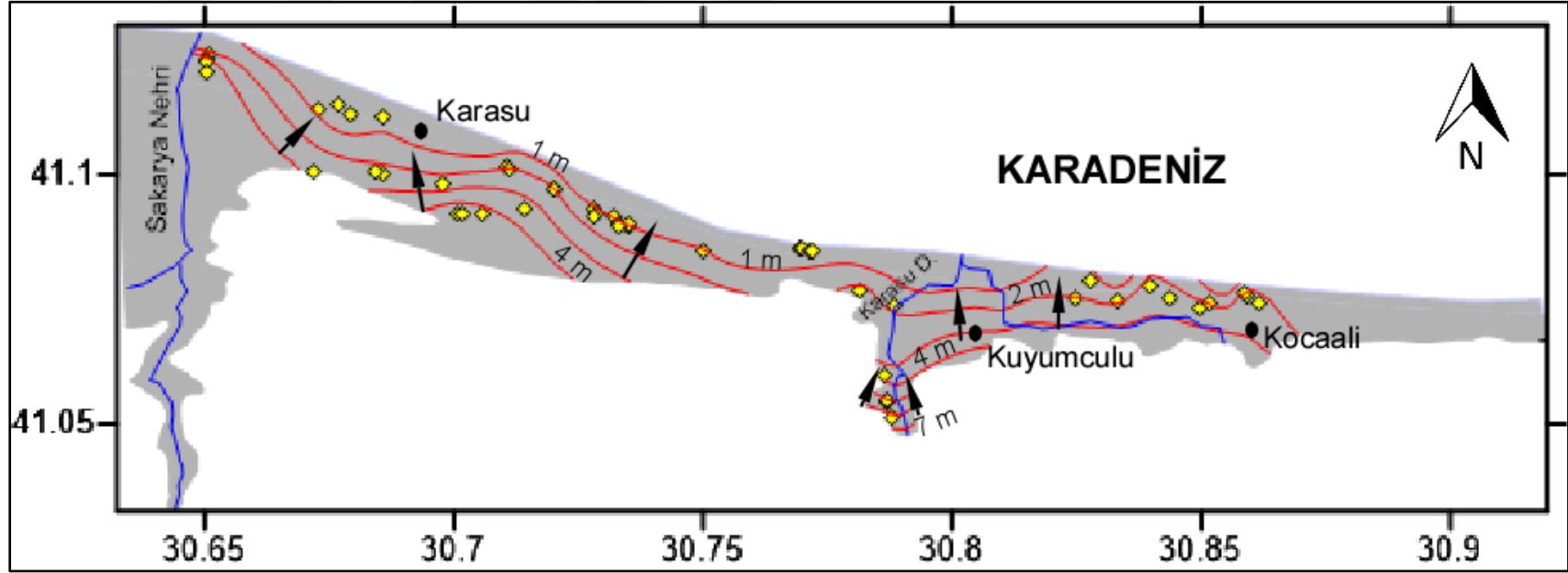
Şekil 4.1. DSI'nin 1965-1993 yılları arasında inceleme alanında açmış olduğu kuyulara ait (a) lokasyon bilgileri (b) kuyu logları

Tablo 4.1. Çalışma kapsamında alüvyon içinde açılan kuyulara ait bilgiler.

K. No	Kuyu Sahibi	X	Y	Kot(m)	Derinlik (m)	S,Seviye (m)	Amaç	K. No	Kuyu Sahibi	X	Y	Kot (m)	Derinlik (m)	S,Seviye (m)	Amaç
SK-4	Şahıs	30.650837	41.124333	4		2,0	Sulama	SK-52	Şahıs	30.827700	41.077910	9	8		Sulama
SK-5	Şahıs	30.650245	41.122897	6		2,0	Sulama	SK-53	Şahıs	30.827990	41.078830	6		4,5	Sulama
SK-6	Şahıs	30.650306	41.122547	4		0,6	Sulama	SK-54	Şahıs	30.839710	41.077880	8		5,7	Sulama
SK-7	Şahıs	30.650575	41.120679	4	12	3,4	Sulama	SK-55	Şahıs	30.859060	41.075500	7	52	4,8	Sulama
SK-8	Şahıs	30.653381	41.120151	4			Sulama	SK-56	Şahıs	30.858560	41.076060	6		3,1	Sulama
SK-9	Şahıs	30.653189	41.114842	3			Sulama	SK-57	Şahıs	30.861730	41.074330	8	12	5,5	Sulama
SK-10	Şahıs	30.667299	41.110202	3			Sulama	SK-58	Şahıs	30.859210	41.073540	9			Sulama
SK-11	Şahıs	30.673784	41.113387	4			Sulama	SK-59	Şahıs	30.854550	41.072200	5			Sulama
SK-12	Şahıs	30.673039	41.112912	1		2,1	Sulama	SK-60	Şahıs	30.849610	41.073210	8	8,5	2,8	Sulama
SK-13	Şahıs	30.676884	41.113963	5			Sulama	SK-61	Şahıs	30.851610	41.074400	3		1,0	Sulama
SK-14	Şahıs	30.676884	41.113963	6		2,2	Sulama	SK-62	Şahıs	30.841260	41.072260	4			Sulama
SK-15	Şahıs	30.685571	41.111462	4		3,3	Sulama	SK-63	Şahıs	30.843570	41.074920	3	6	1,8	Sulama
SK-16	Şahıs	30.679355	41.111094	3			Sulama	SK-64	Şahıs	30.769498	41.085136	7		2,0	Sulama
SK-17	Şahıs	30.679286	41.112065	3		2,8	Sulama	SK-65	Şahıs	30.769733	41.085071	7		2,0	Sulama
SK-21	Şahıs	30.710905	41.101782	6		2,0	Sulama	SK-66	Şahıs	30.770161	41.084975	8		2,4	Sulama
SK-22	Şahıs	30.711387	41.101278	7		4,9	Sulama	SK-67	Şahıs	30.771727	41.084681	4		2,7	Sulama
SK-23	Şahıs	30.720041	41.097216	6	13	4,0	Sulama	SK-68	Şahıs	30.772063	41.084594	6		2,6	Sulama
SK-24	Şahıs	30.720300	41.096951	6		3,5	Sulama	SK-69	Şahıs	30.774644	41.084211	6	11		Sulama
SK-25	Şahıs	30.728293	41.093038	5	8	1,9	Sulama	SK-70	Şahıs	30.781625	41.076706	5	10	2,9	Sulama
SK-26	Şahıs	30.728826	41.092094	4		3,5	Sulama	SK-71	Şahıs	30.749970	41.084525	2	11	0,9	Sulama
SK-27	Şahıs	30.728190	41.091883	3		3,3	Sulama	SK-72	Şahıs	30.866019	41.074412	7			Sulama
SK-28	Şahıs	30.731949	41.091633	6		1,8	Sulama	SK-73	Şahıs	30.833443	41.074766	8	12	3,9	Sulama
SK-29	Şahıs	30.722950	41.095373	4			Sulama	SK-74	Şahıs	30.824848	41.075220	4		2,0	Sulama
SK-30	Şahıs	30.722456	41.095535	4			Sulama	SK-75	Şahıs	30.700780	41.092040	6	12		Sulama
SK-32	Şahıs	30.734141	41.093333	7	15		Sulama	SK-76	Şahıs	30.700570	41.092210	6		1,0	Sulama
SK-33	Şahıs	30.733258	41.090271	7		4,2	Sulama	SK-77	Şahıs	30.701490	41.092270	6		1,3	Sulama
SK-34	Şahıs	30.739630	41.091234	9			Sulama	SK-78	Şahıs	30.705570	41.092120	3		1,0	Sulama
SK-35	Şahıs	30.735315	41.089654	7		4,4	Sulama	SK-79	Şahıs	30.714050	41.093340	3		1,1	Sulama
SK-36	Şahıs	30.735111	41.090389	8		3,9	Sulama	SK-80	Şahıs	30.715560	41.097250	5			Sulama
SK-37	Şahıs	30.732906	41.089418	3		1,9	Sulama	SK-81	Şahıs	30.707290	41.099830	6			Sulama
SK-40	Saski	41.047100	30.788000	17	40		İçme	SK-82	Şahıs	30.707450	41.101030	5			Sulama
SK-41	Saski	41.051400	30.788000	16		5,3	İçme	SK-83	Şahıs	30.689300	41.108390	6	12		Sulama
SK-42	Saski	41.054100	30.787100	14		8,6	İçme	SK-84	Şahıs	30.689000	41.108510	5	7		Sulama
SK-43	Saski	41.054500	30.786900	14		9,1	İçme	SK-85	Şahıs	30.705562	41.103598	9			Sulama
SK-44	Saski	41.054900	30.787100	13		9,1	İçme	SK-86	Şahıs	30.687910	41.096210	4			Sulama
SK-45	Saski	41.055400	30.787100	13			İçme	SK-87	Şahıs	30.671900	41.100390	2		2,9	Sulama
SK-46	Saski	41.061000	30.788000	13			İçme	SK-88	Şahıs	30.697580	41.098310	3			Sulama
SK-47	Saski	41.059200	30.788500	13	55		İçme	SK-89	Şahıs	30.697580	41.098310	3		1,0	Sulama
SK-48	Saski	41.059700	30.787100	13			İçme	SK-90	Şahıs	30.695730	41.096070	3			Sulama
SK-49	Saski	41.059500	30.786200	15	44	12,3	İçme	SK-91	Şahıs	30.685600	41.100228	1			Sulama
SK-50	Saski	41.073600	30.788500	5	65	3,7	Faal Değil	SK-92	Şahıs	30.684100	41.100550	2		1,0	Sulama



Şekil 4.2. Çalışma kapsamında incelenen su kuyularının lokasyonları



Şekil 4.3. İnceleme alanına ait yeraltı su seviyesi haritası (Oklar yeraltısuyunun akış yönünü göstermektedir.)

5. MATARYEL VE METOT

Karasu Kıyı Ovası'nı da içine alan Aşağı Sakarya Alt Havzası için, çeşitli kurum (DSİ, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, TÜBİTAK, MTA vb.) ve kuruluşlar tarafından gerçekleştirilmiş jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar derlenmiştir. Çalışma kapsamında resmi kurum ve kuruluşlar ile bağlantıya geçilerek Karasu Kıyı Ovası'na ait mevcut yeraltısuyu ile ilgili tüm veriler temin edilmiştir.

Çalışmanın amacının ortaya konması ve yorumlanması aşamasında, Aralık (2018) ayı boyunca Karasu Kıyı Ovası'nı jeolojik ve hidrojeolojik açıdan temsil edecek kuyu yerleri belirlenerek GPS ile koordinatlama çalışması yapılmıştır. Hidrojeokimyasal değerlendirme amacıyla bölgesel olarak seçilen 64 kuyudan yeraltısuyu örnekleme yapılmıştır (Şekil 5.1). Ayrıca çalışmanın amacı doğrultusunda deniz suyu ve yağmur suyu örnekleme de yapılmıştır. Sahada, kuyu başında pH, elektriksel iletkenlik (EC), çözünmüş oksijen (DO), sıcaklık (T) ve toplam çözünmüş madde (TDS) değerleri YSI (YSI PRO PLUS) marka portatif multiparametre kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 5.2). Kuyu başında statik ve dinamik seviye ölçümleri için KLL tipi kuyu metre kullanılmıştır.

Arazi çalışmaları sırasında öncelikle DSİ'nin çalışma alanında açmış olduğu kuyular kontrol edilmiş olup kapalı oldukları tespit edilmiştir. Daha sonra arazide yöre halkının kendi imkânlarıyla açmış olduğu sondaj kuyuları belirlenmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda Karasu-Kocaali kıyı ovası boyunca yazlık siteler içinde açılmış derinliği 8-15 m arasında değişen 81, SASKİ' nin içme suyu amacıyla açmış olduğu derinliği 40-65 m değişen 13 olmak üzere toplam 94 kuyu incelenmiştir. 94 ayrı lokasyondaki su kuyularının teknik sebeplerden dolayı sadece 51'inden yeraltı su seviye ölçümleri yapılmıştır (Şekil 5.3).

Her örnekleme noktasında anyon/katyon analizleri için 500 ml'lik polietilen şişeler kullanılmıştır. Alınan numunelerin filtreleme işlemi 0.45µm selüloz asetat şırınga

filtre kullanılarak Kocaeli Üniversitesi Analitik Jeokimya Laboratuvarı'nda yapılmıştır (Şekil 5.4).Katyon ve metal analizlerine tabi tutulacak filtrelenen örneklerle derişik suprapur nitrik asit (HNO₃) ilave edilerek pH'larının 2'nin altında olması sağlanmış, örnekler analiz edilinceye kadar 4°C'de buzdolabında muhafaza edilmişlerdir.

Çalışma sahasından alınan yeraltısuyu numunelerine ait element (Ca, Mg, Na, K, Br, Ag, As, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Ni, Sb, Se, Zn, Ti, V, Al, Fe, Mn, Ba, Rb, Sr, U, Pb) analizleri Kocaeli Üniversitesi Analitik Jeokimya Laboratuvarında Perkin Elmer Elan DRC-e ICP-MS cihazı kullanılarak yapılmıştır. Filtrelenmiş numunelerin anyon analizleri (Cl⁻, SO₄⁻², NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻, F⁻) ise İyon Kromatografi cihazı (Dionex ICS 1100) kullanılarak, Alkalinite analizleri Hanna marka Toplam Alkalinite (Hanna Instrument 84531 Total Alkalinity) cihazı kullanılarak ölçülmüş, HCO₃ ise Toplam Alkanite'den hesaplanarak belirlenmiştir. Yeraltısularının baskın su fasiyesini belirlemek amacıyla su örneklerinin Piper Diyagramı The Geochemistworkbench yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Yeraltısularının doygunluk indeksleri ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı AquaChem, kimyasal parametrelerinin yeraltısuyu dağılım haritaları ise Surfer11 yazılımları kullanılarak yapılmıştır.

İzleme çalışması sonucunda elde edilen veriler “Yeraltısularının Kirlenmeye ve Bozulmaya Karşı Korunması Hakkında Yönetmelik” kapsamında değerlendirilerek yeraltısularının izlenen parametreler açısından kimyasal durumu belirlenmiştir. Yeraltısularının kimyasal açıdan uygunluk durumu (iyi, zayıf) ilgili yönetmelik ve 17.02.2005 tarihli 25730 sayılı resmî gazetede yayınlanan “İnsani Tüketim Amaçlı Sular” için hazırlanmış yönetmelikte belirtilen limit değerler dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Karasu Kıyı Ovası'nda yeraltısuyuna deniz suyu karışım oranının belirlenmesi amacıyla yağış, deniz suyu ve ilgili su numunelerine ait Br (Bromür) konsantrasyon değerlerinden faydalanılmıştır. Deniz suyu karışım oranı denklem 5.1 kullanılarak hesaplanmıştır[31];

$$f_{\text{denizsu}} = \frac{C_{\text{Br-örnek}} - C_{\text{Br-arkaplan}}}{C_{\text{Br-denizsu}} - C_{\text{Br-arkaplan}}} \quad (5.1)$$

Bu denklemde $C_{Br-örnek}$ numunedeki Br konsantrasyonunu (mg/l), $C_{Br-denizsuu}$ yerel deniz suyu örneğindeki Br konsantrasyonu (37,9 mg/l), $C_{Br-arkaplan}$ ise kıyı akiferindeki yeraltısularının arka planını temsil eden Br konsantrasyonudur. Bu çalışmada tatlı suların Br içeriği 0,033 mg/l'dir.

Çalışma kapsamında kıyı alüvyon akiferdeki ana ve iz elementlerin arka plan konsantrasyonlarını temsil amacıyla, Cl ve EC değeri en düşük olan örneklerin analiz sonuçlarının aritmetik ortalaması seçilmiştir.

Muhtemel kirletici kaynaklarını ve kimyasal parametreler arasındaki ilişkinin derecesini belirlemek için IBM SPSS Statistics 22 yazılımını kullanarak Pearson korelasyon testi ve Hiyerarşik küme analizleri de yapılmıştır. Yeraltısularının kimyasal verilerinin kümelenme analizlerinde Ward'ın bağlantı kümeleme yöntemi ve benzerliklerin bir ölçüsü olarak Öklid mesafesi kullanılmıştır [32]. Her değişken, değişken için her değeri, değerlerin standart sapmasına bölünerek standartlaştırılmıştır.



Şekil 5.1. Arazide kuyu başında yapılan yeraltısuyu örnekleme



Şekil 5.2. Arazide kuyu başında yapılan fizikokimyasal ölçümler



Şekil 5.3. Arazide KLL tipi kuyu düdüğü ile yeraltı su seviye ölçümü

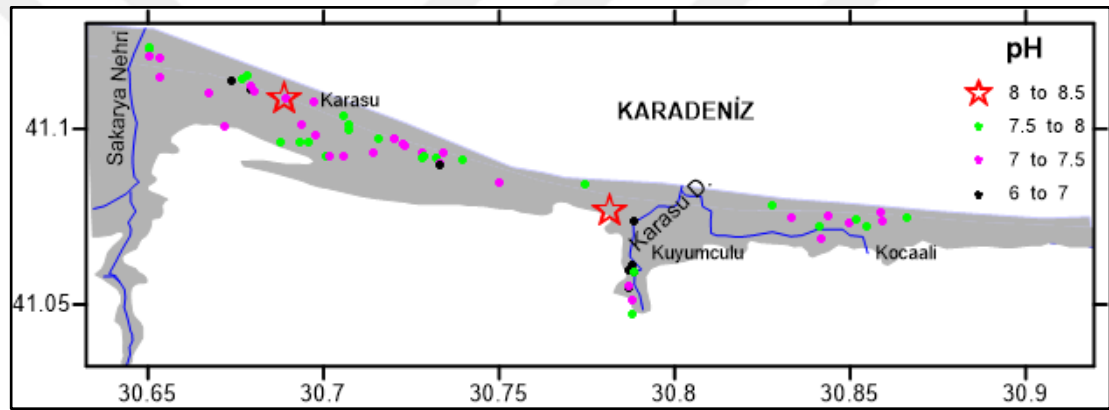


Şekil 5.4. KOÜ Analitik Jeokimya Laboratuvarı'nda filtreleme işlemi

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Yeraltısularının Genel Fiziko-Kimyasal Özellikleri

İncelenen numunelerin fiziksel ve majör iyon analiz sonuçları Tablo 6.1’de, iz element analiz sonuçları ise Tablo 6.2’de verilmiştir. Kıyı alüvyon akiferi yeraltısularının pH değerleri 6 ile 8,13 arasında değişmektedir (Şekil 6.1). Alüvyon akiferi yeraltısuları, nötr-zayıf alkali bir pH ($7,4 \pm 0,4$) değeri sergilemektedir.

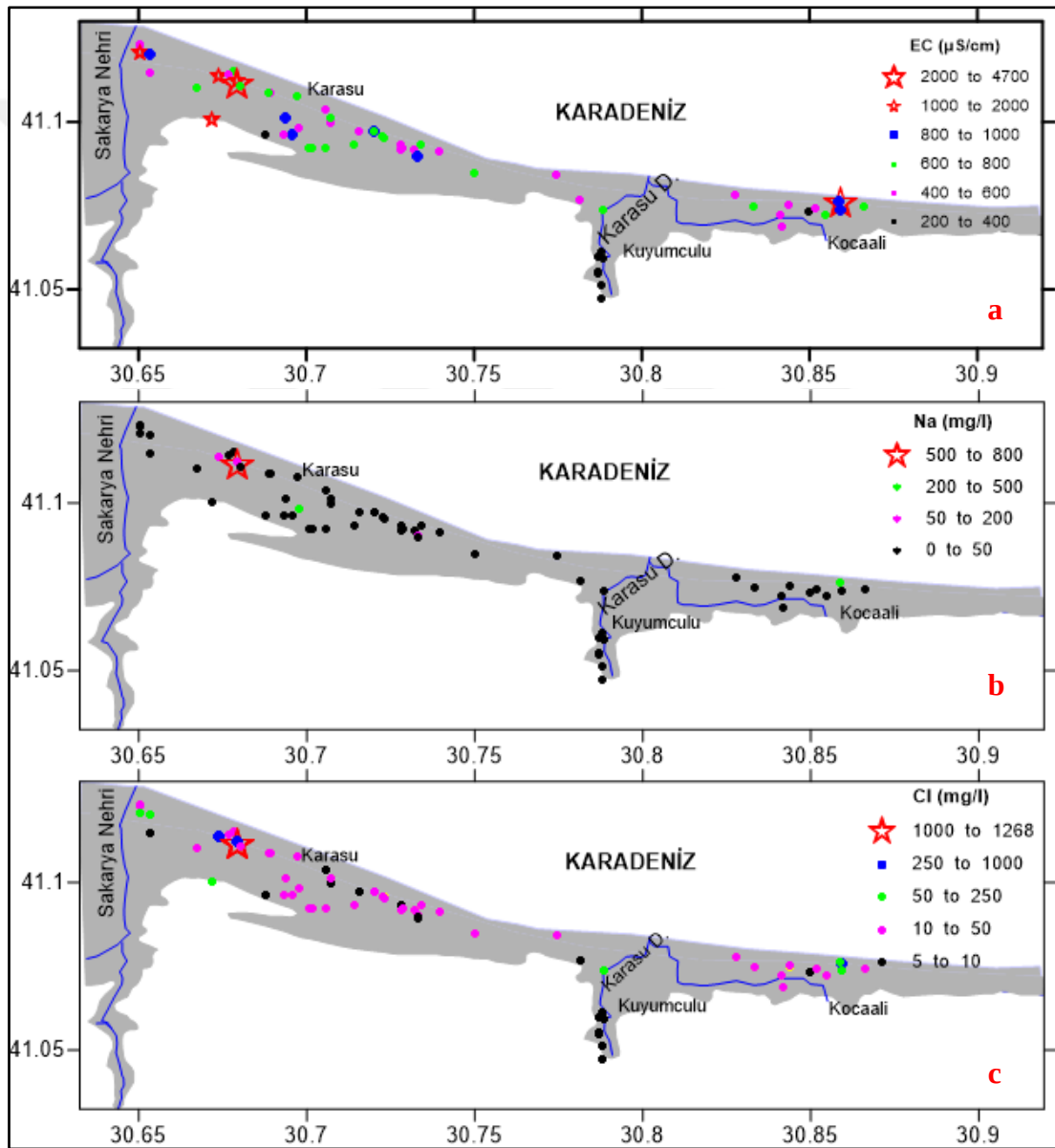


Şekil 6.1. İncelenen yeraltısuyu örneklerinin pH değerlerinin noktasal dağılım haritası

Kıyı alüvyon akiferindeki yeraltısularının elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 296 ile 4657 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir (Şekil 6.2a). İncelenen yeraltısularının ortalama EC değeri ise $750,17 \pm 652$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ dir (Tablo 6.3). İncelenen yeraltısularının Na değerleri 4,8 ile 751 mg/l, Cl değerleri ise 5 ila 1268 mg/l arasında değişmektedir (Şekil 6.2b ve Şekil 6.2c). EC değerleri yüksek olan kuyular ayrıca yüksek Na (158-751 mg/l) ve Cl (185-1268 mg/l) içeriği ile de tanımlanmıştır (Şekil 6.2 a, b, c).

Alüvyon kıyı akiferindeki en yüksek EC değeri, SK-16 numaralı kuyuda 4657 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür. Bu kuyu, kıyı akiferdeki en yüksek Na (751 mg/l) ve Cl (1268 mg/l) konsantrasyonuna sahiptir. Kuyunun NO_3 içeriği 0,4 mg/l, SO_4 içeriği ise 178,1 mg/l’dir. Ayrıca arazi çalışmaları sırasında bu kuyuda kanalizasyon karışımını işaret eden belirgin bir koku tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, SK-16 numaralı kuyunun, foseptik kirlenmesi etkisi altında kaldığını göstermektedir.

Yeraltısıyu analizlerinin istatistiksel değerlendirmesine göre, EC, Cl ($r = 0,97$), Na ($r = 0,95$) ve Br ($r = 0,95$) ile iyi bir korelasyon sergilemektedir (Tablo 6.4). Hiyerarşik küme analizi, Na, Cl ve Br iyonlarının Mg, Ca, SO_4 ve Sr'dan ayrı olarak kümelendiğini göstermektedir (Şekil 6.3). Bu da kıyı akiferinin tuzluluğunun baskın olarak tek bir kaynak tarafından kontrol edildiğini göstermektedir. Cl'nin Na ve Br ile yüksek korelasyon göstermesi yeraltısıyunda gözlenen klorür ve bromürün tek bir kaynaktan ve kuvvetle muhtemel denizel kökenli tuzların çözünmesinden kaynaklandığı göstermektedir.



Şekil 6.2. İncelenen yeraltısıyu örneklerinin (a) EC değerlerinin noktasal dağılım haritası (b) Na konsantrasyonlarının değerlerinin noktasal dağılım haritası (c) Cl konsantrasyonlarının değerlerinin noktasal dağılım haritası

Tablo 6.1. İncelenen yeraltısularının fiziksel ve majör iyon kimyası analiz sonuçları.

Örnek No	X	Y	T	pH	EC	DO	HCO ₃ ⁻	Toplam Alkalinite	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Br ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
			°C		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l CaCO ₃	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
SK-5	30,650245	41,122897	17,6	7,75	557	9,6	227	186	61	16,8	21,0	11,0	0,08	29,1	<0,35	1,8	<0,5	40,0
SK-6	30,650306	41,122547	17,3	7,55	586	10	264	217	71	17,7	22,5	6,3	0,07	20,2	<0,35	1,6	<0,5	41,7
SK-7	30,650575	41,120679	16,3	7,08	1255	9,05	417	342	163	32,9	49,0	11,3	0,36	97,0	<0,35	0,6	<0,5	144,1
SK-8	30,653381	41,120151	17,1	7,25	856	10,2	329	269	115	23,3	13,9	3,5	0,22	66,3	<0,35	3,9	<0,5	51,9
SK-9	30,653189	41,114842	15,3	7,36	415	11,51	218	178	51	8,3	12,6	2,0	0,02	5,2	<0,35	<0,1	<0,5	4,9
SK-10	30,667299	41,110202	16,2	7,29	676	17,3	275	225	90	15,8	18,0	2,7	0,07	23,7	<0,35	18,3	<0,5	78,8
SK-11	30,673784	41,113387	13,7	6,79	1915	3,36	551	452	167	31,4	172,2	6,0	0,85	324	<0,35	<0,1	<0,5	61,4
SK-13	30,678510	41,115148	15,1	7,53	613	3,4	305	250	70	15,9	20,1	5,2	0,06	21,7	<0,35	9,1	<0,5	34,1
SK-14	30,676884	41,113963	17	7,85	509	7,6	200	164	63	12,8	12,5	2,8	0,05	21,3	<0,35	8,9	<0,5	62,4
SK-16	30,679355	41,111094	16,8	6,99	4657	2,55	405	332	255	37,3	751,0	18,5	2,92	1268	<0,35	0,4	<0,5	178,1
SK-17	30,679286	41,112065	15,5	7,27	1546	4,1	345	283	166	30,9	158,1	8,3	0,79	328	<0,35	15,5	<0,5	124,5
SK-18	30,680067	41,110838	15,4	7,07	793	2,3	366	300	117	17,0	13,7	4,2	0,19	26,9	<0,35	1,5	<0,5	77,2
SK-20	30,697190	41,107507	16,2	7,37	692	4,33	300	246	92	18,5	14,2	6,8	0,04	12,2	<0,35	48,1	<0,5	64,1
SK-23	30,720041	41,097216	16,6	7,26	882	2,83	301	247	150	23,7	18,2	2,2	0,13	39,3	<0,35	30,7	<0,5	190,2
SK-24	30,720300	41,096951	17,5	7,31	606	2,63	309	254	82	14,4	13,3	1,5	0,04	15,1	<0,35	15,6	<0,5	35,3
SK-25	30,728293	41,093038	17	7,44	444	5,21	235	193	52	8,8	25,7	2,6	0,03	8,6	<0,35	11,0	<0,5	28,4
SK-26	30,728826	41,092094	16,2	7,62	442	6,36	206	169	54	9,9	12,2	1,3	0,02	10,7	<0,35	19,9	<0,5	26,8
SK-27	30,728190	41,091883	15,2	7,65	459	7,5	166	136	59	11,0	7,0	1,6	0,04	11,7	<0,35	27,7	<0,5	44,1
SK-28	30,731949	41,091633	14,7	7,83	422	8,82	208	171	52	9,5	7,9	1,6	0,03	13,8	<0,35	16,8	<0,5	18,6
SK-29	30,722950	41,095373	11,3	7,29	633	2,13	315	258	85	12,2	17,0	2,6	0,07	24,7	<0,35	9,7	<0,5	39,4
SK-30	30,722456	41,095535	15,3	7,3	702	2,31	377	309	84	20,1	23,1	7,3	0,21	36,2	<0,35	0,2	<0,5	29,4
SK-32	30,734141	41,093333	14,9	7,46	601	6,12	278	228	82	13,6	9,0	2,4	0,06	14,7	<0,35	27,4	<0,5	44,6
SK-33	30,733258	41,090271	16,9	7,4	679	7,4	334	273	66	8,6	56,4	8,6	0,03	17,3	<0,35	34,1	<0,5	36,1
SK-34	30,739630	41,091234	15,6	7,68	496	9,21	236	194	63	10,3	9,3	1,8	0,05	10,1	<0,35	19,7	<0,5	29,4
SK-37	30,732906	41,089418	15,3	6,92	882	6,76	600	492	123	21,7	14,3	3,7	0,28	9,6	<0,35	9,5	<0,5	55,9

Tablo 6.1. (Devam) İncelenen yeraltısularının fiziksel ve majör iyon kimyası analiz sonuçları

Örnek No	X	Y	T	pH	EC	DO	HCO ₃ ⁻	Toplam Alkalinite	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Br ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
			°C		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l CaCO ₃	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
SK-40	30,787970	41,047120	14,3	7,59	345	10,45	171	140	43	6,6	6,1	1,2	0,03	6,5	<0,35	7,8	<0,5	17,6
SK-41	30,788050	41,051410	9,8	7,42	346	11,28	181	148	44	6,6	6,1	1,2	0,03	6,6	<0,35	6,6	<0,5	17,4
SK-43	30,786880	41,054480	15,6	6,79	358	5,04	178	146	45	7,2	6,5	1,2	0,03	6,7	<0,35	5,9	<0,5	19,6
SK-45	30,787144	41,055384	14,8	7,21	331	7,12	170	140	41	6,3	6,2	1,1	0,03	6,6	<0,35	6,0	<0,5	13,8
SK-46	30,787980	41,061040	13,5	6,92	296	5,60	159	131	36	5,7	5,2	1,2	0,03	6,1	<0,35	6,7	<0,5	12,7
SK-47	30,788470	41,059160	14,8	6,69	358	5,36	186	153	46	6,7	6,1	1,4	0,03	6,8	<0,35	7,4	<0,5	15,4
SK-48	30,787090	41,059680	14,1	6,76	387	5,9	207	169	51	7,9	6,9	1,1	0,04	8,0	<0,35	5,3	<0,5	18,0
SK-50	30,788490	41,073620	16,7	6,03	715	2	242	199	62	31,8	43,1	6,2	0,23	55,9	<0,35	29,7	<0,5	70,9
SK-51	30,841800	41,068800	15	7,24	427	4,18	228	187	54	5,0	21,1	1,2	0,09	19,3	<0,35	0,8	<0,5	1,5
SK-52	30,827700	41,077910	15,3	7,79	553	5	277	227	77	11,0	15,3	1,9	0,07	15,5	<0,35	18,6	<0,5	24,3
SK-55	30,859060	41,075500	14,8	7,20	2889	5	290	238	216	34,6	278,7	4,5	2,76	690	<0,35	0,3	<0,5	68,9
SK-56	30,858560	41,076060	10	7,25	939	3	290	304	128	18,9	15,8	2,3	0,11	83,8	<0,35	19,3	<0,5	33,5
SK-58	30,859210	41,073540	14,6	7,64	813	4	371	260	113	15,9	12,2	2,6	0,12	53,7	<0,35	3,0	<0,5	77,2
SK-59	30,854550	41,072200	17,5	7,17	739	7	317	322	110	15,0	18,8	1,5	0,11	19,7	<0,35	23,3	<0,5	32,0
SK-60	30,849610	41,073210	16,6	7,74	371	5	392	169	56	5,4	7,6	0,8	0,04	6,5	<0,35	3,4	<0,5	13,5
SK-61	30,851610	41,074400	15,7	7,51	477	4	206	202	69	8,4	8,8	1,1	0,04	13,7	<0,35	7,9	<0,5	23,0
SK-62	30,841260	41,072260	16,1	7,36	480	4	247	209	71	6,8	10,4	1,6	0,04	18,1	<0,35	0,4	<0,5	21,2
SK-63	30,843570	41,074920	17,3	7,59	402	7	255	146	54	6,9	8,7	1,5	0,02	10,0	<0,35	12,5	<0,5	29,0
SK-69	30,774644	41,084211	15,4	8,03	463	3	178	180	60	9,8	10,9	2,9	0,06	16,5	<0,35	0,4	<0,5	22,2
SK-70	30,781625	41,076706	17	7,42	593	4	220	227	78	11,5	8,6	0,7	0,05	8,3	<0,35	3,1	<0,5	17,1
SK-71	30,749970	41,084525	15,2	7,57	768	4	277	169	88	15,8	20,6	17,7	0,09	43,1	0,8	128	<0,5	30,5
SK-72	30,866019	41,074412	16,4	7,43	660	6	207	232	96	10,2	13,6	2,0	0,05	22,4	<0,35	17	<0,5	51,3
SK-73	30,833443	41,074766	16,2	7,56	797	5	284	152	116	12,7	15,3	3,7	0,05	20,5	<0,35	93	<0,5	120
SK-75	30,700780	41,092040	15,7	7,47	723	5	185	270	96	10,2	18,8	14,9	0,06	16,6	<0,35	11,8	<0,5	39,5
SK-77	30,701490	41,092270	15,4	7,36	682	3	330	248	88	10,4	17,6	9,9	0,06	16,2	<0,35	19,0	<0,5	28,8

Tablo 6.1. (Devam) İncelenen yeraltısularının fiziksel ve majör iyon kimyası analiz sonuçları

Örnek No	X	Y	T	pH	EC	DO	HCO ₃ ⁻	Toplam Alkalinite	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Br ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
			°C		µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l CaCO ₃	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
SK-78	30,705570	41,092120	15,4	7,44	770		303	229	92	11,1	15,1	23,3	0,05	22,3	<0,35	68,6	<0,5	38,3
SK-79	30,714050	41,093340	15,4	7,55	661	5	279	242	92	12,8	10,8	3,2	0,12	13,2	<0,35	2,6	<0,5	58,4
SK-80	30,715560	41,097250	16	7,94	493	6	296	97	63	11,0	9,3	2,3	0,03	7,4	<0,35	12,5	<0,5	102,3
SK-81	30,707290	41,099830	15,8	7,74	486	6	118	159	61	10,9	7,3	3,2	0,04	8,8	<0,35	21,6	<0,5	26,1
SK-82	30,707450	41,101030	11,6	7,45	782	4	194	251	99	19,1	13,3	5,2	0,14	31,4	<0,35	7,2	<0,5	52,2
SK-83	30,689300	41,108390	17,2	8,17	593	4	306	222	73	13,8	13,1	2,4	0,05	14,9	<0,35	0,2	<0,5	27,5
SK-84	30,689000	41,108510	15,3	7,84	671	6	271	210	71	14,9	28,2	5,4	0,05	18,7	<0,35	37,3	<0,5	46,6
SK-85	30,705562	41,103598	12,2	7,85	555	8	256	168	70	12,0	14,7	3,0	0,06	9,9	<0,35	35,9	<0,5	49,1
SK-86	30,687910	41,096210	6,2	7,17	359	8	205	131	44	6,6	4,8	1,0	0,05	6,3	<0,35	7,0	<0,5	13,7
SK-87	30,671900	41,100390	15,6	7,28	1601	4	159	391	85	15,4	239,5	1,8	0,75	185	<0,35	0,2	<0,5	87,9
SK-89	30,697580	41,098310	15,7	7,55	490	5	476	226	55	15,2	25,6	9,7	0,10	24,1	<0,35	<0,1	<0,5	9,9
SK-90	30,695730	41,096070	7,1	7,58	840	14	276	330	117	13,6	28,4	4,3	0,10	15,2	<0,35	0,7	<0,5	72,9
SK-91	30,693390	41,096280	16,9	7,47	556	10	403	213	68	11,0	16,8	5,3	0,05	18,0	<0,35	<0,1	<0,5	18,0
SK-94	30,693760	41,101010	11,5	7,62	923	11	259	219	113	22,4	44,2	5,4	0,09	10,5	<0,35	45,9	<0,5	167,2
Yağmur suyu	30,678536	41,114871					0		0,8	1,0	8,2	0,3	0,05	13,4	<0,35	1,2	<0,5	2,6
Karadeniz deniz suyu	30,693308	41,111007	9,5	8,32	29146	10	178	146	262	700	4830	216	37,9	9099				1292

Tablo 6.2. İncelenen yeraltısularının iz element kimyası analiz sonuçları

Örnek No	Si	Sr	Li	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Se	As	Cd	Rb	Mo	Ba	Ag	Sn	Sb	Tl	U	Hg	Pb
	mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
SK-5	13,0	0,23	5,5	3,5	0,9	2,4	6,7	84	<5	0,30	2,2	0,26	<1	0,53	10,8	<0,01	3,2	1,16	76,7	<0,01	0,04	0,24	0,002	0,81	<0,01	0,11
SK-6	13,4	0,27	6,3	5,7	1,1	4,1	9,3	164	<5	0,27	3,4	1,10	2,1	0,17	7,9	0,01	2,2	1,34	54,1	<0,01	0,18	0,44	0,001	1,14	<0,01	<0,01
SK-7	10,2	0,54	5,8	6,0	3,8	1,9	8,9	501	<5	0,62	8,4	1,22	18,7	1,37	1,4	0,01	5,5	0,93	82,6	<0,01	0,05	0,16	0,005	5,57	<0,01	0,02
SK-8	13,9	0,30	3,8	2,3	1,4	3,5	8,2	56	<5	0,38	4,3	0,46	6,1	1,05	3,2	0,01	3,8	0,41	33,9	<0,01	0,10	0,13	0,005	1,40	<0,01	<0,01
SK-9	13,1	0,14	2,5	<0,1	0,1	0,3	6,9	115	<5	0,10	1,3	<0,01	<1	0,03	1,2	0,01	1,8	1,14	35,5	<0,01	0,27	0,13	<0,001	0,13	<0,01	<0,01
SK-10	9,9	0,23	2,2	2,4	2,0	1,8	7,2	27	<5	0,22	3,1	1,27	3,1	0,41	1,3	0,01	2,7	0,21	164	<0,01	0,05	0,08	0,006	0,88	<0,01	<0,01
SK-11	16,1	0,50	6,0	2,0	1,8	3,5	16,9	1355	<5	2,12	11,3	1,32	7,9	3,26	3,5	0,02	4,4	0,21	138	<0,01	0,04	0,06	0,006	1,16	<0,01	<0,01
SK-13	17,0	0,20	4,8	2,1	0,8	1,4	8,2	92	<5	0,21	2,6	0,42	195	0,23	7,0	0,02	2,4	2,25	23,1	<0,01	0,03	0,39	0,002	0,35	<0,01	0,12
SK-14	11,7	0,16	3,8	3,8	1,5	2,5	6,3	19	<5	0,15	1,9	0,55	1,9	0,21	3,6	0,01	2,7	0,35	24,4	<0,01	0,03	0,10	0,002	0,98	<0,01	0,15
SK-16	16,0	0,80	12,3	1,9	5,9	17,0	13,1	116	<5	0,75	9,9	4,32	3,4	11,51	17,8	0,02	9,6	0,22	287	0,012	0,30	0,14	0,009	1,09	<0,01	<0,01
SK-17	14,6	0,47	9,3	1,0	3,6	5,5	10,5	192	<5	0,34	6,1	0,84	1,2	3,08	4,3	<0,01	5,1	0,32	63,9	<0,01	0,29	0,20	0,003	1,19	<0,01	<0,01
SK-18	13,9	0,26	4,0	2,4	2,1	3,8	9,8	49	<5	0,28	4,8	0,55	7,4	0,94	6,0	<0,01	2,7	0,29	47,4	<0,01	0,31	0,15	0,004	0,89	<0,01	0,02
SK-20	11,5	0,28	3,3	1,4	1,8	3,1	9,8	0,5	<5	0,21	3,6	0,30	<1	0,22	3,2	<0,01	5,9	0,48	14,8	<0,01	0,08	0,14	0,008	0,96	<0,01	0,06
SK-23	11,3	0,35	3,4	5,1	5,3	2,0	6,3	1,1	<5	0,53	5,6	1,90	31,1	0,55	1,4	0,01	2,8	0,09	11,8	<0,01	0,21	0,08	0,002	1,25	<0,01	0,12
SK-24	10,0	0,19	4,5	13,4	1,0	1,6	4,6	5,6	<5	0,60	3,4	1,86	3,2	0,20	1,2	0,12	1,7	0,08	6,07	<0,01	0,37	0,08	0,002	0,52	<0,01	1,48
SK-25	11,2	0,15	2,9	2,7	1,0	2,2	7,3	0,6	<5	0,10	1,9	13,40	110	0,07	2,2	0,02	3,2	0,88	2,49	<0,01	0,25	0,10	0,002	0,43	<0,01	0,03
SK-26	10,1	0,14	2,3	4,9	0,7	2,3	6,7	0,5	<5	0,13	1,8	2,72	8,5	0,24	2,1	0,01	2,1	0,43	5,77	<0,01	0,03	0,10	0,001	0,52	<0,01	<0,01
SK-27	11,8	0,15	2,0	3,1	1,1	2,0	6,4	0,8	<5	0,12	2,3	1,32	5,3	0,79	2,3	<0,01	2,1	0,34	2,09	<0,01	0,61	0,07	0,001	0,67	<0,01	<0,01
SK-28	10,3	0,14	1,6	4,0	0,5	2,1	6,9	0,2	<5	0,10	2,4	3,10	4,2	0,42	2,2	<0,01	2,2	0,27	2,36	<0,01	0,26	0,10	0,001	0,51	<0,01	<0,01
SK-29	13,4	0,20	3,1	3,4	1,2	1,2	7,4	55	<5	0,23	3,6	1,29	2,5	0,21	5,1	0,02	2,1	0,23	2,07	<0,01	0,03	0,05	0,003	0,67	<0,01	0,03
SK-30	18,3	0,27	5,1	1,9	0,8	1,2	8,9	196	20	0,27	3,5	0,35	8,3	0,71	2,5	0,03	4,0	0,30	18,2	<0,01	0,03	0,05	0,003	0,24	<0,01	<0,01
SK-32	13,4	0,18	2,4	2,9	1,2	1,5	8,4	36	<5	0,20	3,6	0,25	5,3	0,43	3,6	<0,01	2,2	0,42	3,98	<0,01	0,03	0,08	0,003	0,81	<0,01	<0,01

Tablo 6.2. (Devam) İncelenen yeraltısularının iz element kimyası analiz sonuçları

Örnek No	Si	Sr	Li	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Se	As	Cd	Rb	Mo	Ba	Ag	Sn	Sb	Tl	U	Hg	Pb
	mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
SK-33	12,8	0,27	4,3	11,4	1,2	2,1	9,90	1,5	<5	0,24	2,9	14,35	29,0	0,15	2,3	0,02	4,8	0,48	12	<0,01	0,12	0,15	0,004	0,25	<0,01	0,13
SK-34	9,5	0,15	1,7	12,1	0,8	1,3	23,6	6,1	<5	0,15	2,2	0,65	30,8	0,31	1,5	0,02	1,8	0,20	3,4	<0,01	0,04	0,07	0,001	0,49	<0,01	<0,01
SK-37	16,5	0,33	3,7	2,6	1,5	1,9	12,5	25,2	<5	0,37	9,2	18,24	25,3	1,24	2,6	0,07	3,5	0,19	11,4	<0,01	0,08	0,49	0,009	1,26	<0,01	0,60
SK-40	5,6	0,48	6,0	2,7	0,4	0,5	4,5	0,5	<5	0,08	1,7	7,21	7,9	0,26	0,5	0,01	0,5	0,10	108	<0,01	0,02	0,07	<0,001	0,16	<0,01	0,29
SK-41	5,6	0,48	24,2	2,3	0,5	0,4	3,9	1,9	<5	0,08	1,4	5,17	10,4	0,36	0,4	0,02	0,5	0,07	108	<0,01	0,09	0,06	0,001	0,16	<0,01	<0,01
SK-43	6,3	0,41	4,2	0,4	0,5	0,4	4,7	1,2	<5	0,08	1,9	6,19	13,5	0,22	0,4	0,02	0,5	0,07	133	<0,01	0,05	0,06	<0,001	0,11	<0,01	0,38
SK-45	5,9	0,41	4,8	10,4	0,5	0,4	3,8	1,5	<5	0,08	2,7	0,11	22,1	0,19	0,4	0,01	0,4	0,09	126	<0,01	0,18	0,05	<0,001	0,14	<0,01	1,21
SK-46	5,1	0,27	2,3	0,6	0,4	0,4	2,6	0,8	<5	0,11	2,1	1,50	20,4	0,30	0,3	0,10	0,4	0,10	103	0,019	0,04	0,08	0,001	0,09	<0,01	1,20
SK-47	5,7	0,33	2,4	2,7	0,3	0,4	4,6	1,7	<5	0,09	3,4	0,37	12,4	0,35	0,5	0,01	0,5	0,06	126	<0,01	0,03	0,07	0,001	0,14	<0,01	<0,01
SK-48	6,8	0,44	4,9	1,3	0,5	0,4	4,2	0,4	10	0,09	2,6	0,07	3,9	0,18	0,4	0,01	0,4	0,16	151	<0,01	0,02	0,06	<0,001	0,14	<0,01	0,05
SK-50	13,1	0,39	10,5	8,9	2,2	1,2	3,8	1245	<5	2,91	16,0	2,02	24,7	1,85	1,1	0,35	1,5	0,27	160	<0,01	0,06	0,18	0,007	0,431	0,189	1,59
SK-51	17,3	0,27	5,0	8,4	<0,1	2,4	2,1	224	<5	0,38	3,2	1,66	32,7	0,72	12,5	0,08	0,1	0,13	22,2	<0,01	0,13	0,08	0,001	0,071	0,045	<0,01
SK-52	8,2	0,27	1,4	6,0	0,8	0,7	2,5	0,2	<5	0,17	3,1	1,09	30,4	0,53	1,3	0,02	1,8	0,14	4,73	<0,01	<0,01	0,07	0,001	0,506	0,027	0,04
SK-55	11,2	1,62	20,9	24,3	3,1	8,1	2,6	291	<5	0,44	17,8	2,41	15,0	12,73	8,3	<0,01	1,1	0,28	265	0,011	0,04	0,04	0,001	0,038	0,016	<0,01
SK-56	7,6	0,45	1,4	2,0	1,2	1,8	3,6	13,4	<5	0,27	6,6	2,31	19,4	0,75	3,2	<0,01	2,3	0,10	5,68	<0,01	0,01	0,05	0,001	0,349	0,026	0,06
SK-58	7,8	0,52	3,4	2,1	2,4	1,0	2,7	509	<5	0,30	4,5	0,68	6,3	0,81	1,0	<0,01	3,1	0,40	3,92	<0,01	<0,01	0,08	<0,001	1,068	0,008	<0,01
SK-59	8,9	0,51	1,3	15,5	1,0	0,6	2,4	18,7	<5	0,52	5,0	0,90	5,0	0,87	0,6	<0,01	2,5	0,08	12,2	<0,01	<0,01	0,06	0,004	0,419	<0,01	<0,01
SK-60	6,5	0,21	0,6	33,0	0,4	0,4	1,1	101	<5	0,15	2,7	1,00	7,0	0,46	4,1	<0,01	1,7	0,18	4,15	<0,01	0,04	0,04	0,005	0,152	<0,01	0,03
SK-61	7,7	0,28	1,3	7,3	0,7	0,5	3,7	10,2	<5	0,19	3,1	5,56	38,6	0,57	0,5	<0,01	1,3	0,09	8,25	0,027	0,01	0,07	0,001	0,331	<0,01	<0,01
SK-62	6,6	0,28	1,1	4,0	0,7	0,3	1,5	294	<5	0,15	2,6	<0,1	3,0	0,28	3,3	<0,01	2,5	0,15	5,24	0,016	<0,01	0,03	0,001	0,123	<0,01	<0,01
SK-63	7,6	0,22	1,2	2,7	0,8	0,6	3,4	1,1	<5	0,11	2,2	1,48	9,3	0,27	2,0	<0,01	1,4	0,13	0,84	<0,01	0,30	0,08	0,002	0,248	<0,01	<0,01
SK-69	8,9	0,20	1,0	3,9	0,7	0,2	1,4	135	<5	0,18	2,2	<0,1	1,0	0,24	6,0	<0,01	3,0	0,42	3,93	<0,01	0,29	0,05	0,001	0,787	<0,01	0,09

Tablo 6.2. (Devam) İncelenen yeraltısularının iz element kimyası analiz sonuçları

Örnek No	Si	Sr	Li	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Se	As	Cd	Rb	Mo	Ba	Ag	Sn	Sb	Tl	U	Hg	Pb
	mg/l	mg/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l
SK-70	9,7	0,41	22,8	11,2	1,5	0,4	4,0	234	<5	0,31	3,3	2,10	6,2	0,29	1,5	<0,01	0,7	0,06	8,96	<0,01	0,08	0,06	0,098	0,098	0,011	<0,01
SK-71	12,9	0,45	2,7	23,2	0,8	2,3	3,2	46	<5	0,35	3,9	2,59	8,1	0,66	4,1	<0,01	5,7	0,28	10,1	<0,01	<0,01	0,11	0,365	0,365	0,013	0,02
SK-72	8,3	0,44	16,4	5,6	2,4	0,4	2,9	299	<5	0,27	4,4	1,22	8,4	0,29	1,1	<0,01	2,3	0,34	2,67	<0,01	0,05	0,08	0,750	0,750	<0,01	0,08
SK-73	6,9	0,45	1,3	5,8	4,1	0,4	2,7	2,2	<5	0,29	4,4	2,81	12,7	0,45	4,9	<0,01	3,3	0,12	6,04	<0,01	0,14	0,10	0,189	0,189	<0,01	<0,01
SK-75	7,8	0,39	1,1	4,1	1,5	0,4	3,8	1,8	<5	0,24	4,1	2,61	66,0	1,09	0,7	<0,01	0,7	0,05	109	<0,01	<0,01	0,08	0,264	0,264	0,021	0,13
SK-77	8,5	0,37	1,1	3,6	1,0	0,4	3,1	1,4	<5	0,27	4,1	0,26	6,7	0,30	0,5	<0,01	0,3	0,03	89,8	<0,01	<0,01	0,07	0,165	0,165	<0,01	0,01
SK-78	7,2	0,55	1,9	4,6	1,4	0,9	1,2	2,6	<5	0,37	4,6	0,75	7,0	0,39	1,4	<0,01	3,3	0,19	127	<0,01	<0,01	0,13	0,463	0,463	<0,01	0,02
SK-79	12,2	0,28	1,6	11,3	2,4	10,1	4,7	100	<5	0,52	5,2	2,99	17,4	0,58	4,1	0,01	3,1	0,17	23	<0,01	0,15	0,15	1,471	1,471	<0,01	0,18
SK-80	10,7	0,17	1,6	7,0	3,6	1,6	7,3	5,1	<5	0,16	5,2	1,64	38,0	0,94	4,5	<0,01	2,8	0,31	3,8	<0,01	0,14	0,12	0,617	0,617	<0,01	0,10
SK-81	13,6	0,17	2,1	3,4	0,9	2,1	7,1	0,4	<5	0,13	2,6	<0,1	41,0	0,65	3,6	0,01	3,6	0,25	7,19	<0,01	<0,01	0,13	0,786	0,786	<0,01	0,14
SK-82	14,6	0,31	3,7	10,6	2,0	0,7	5,1	276	<5	0,32	4,5	0,82	451,1	0,77	4,0	0,01	4,3	1,11	35,2	<0,01	0,08	0,11	1,969	1,969	<0,01	0,32
SK-83	11,2	0,21	2,6	3,6	0,9	0,3	3,4	213	<5	0,30	3,3	0,29	1,6	0,34	4,2	<0,01	3,8	0,28	25,9	<0,01	0,07	0,22	2,324	2,324	0,018	<0,01
SK-84	8,2	0,26	1,9	8,3	1,7	1,7	3,9	1,1	<5	0,25	3,7	0,95	71,5	0,36	1,6	<0,01	2,4	0,27	73,7	<0,01	<0,01	0,14	0,791	0,791	<0,01	0,07
SK-85	11,0	0,21	2,2	2,0	1,6	2,1	8,1	0,2	<5	0,17	3,4	0,57	5,3	1,53	2,6	<0,01	2,4	0,29	9,83	<0,01	<0,01	0,11	0,958	0,958	<0,01	<0,01
SK-86	4,7	0,30	1,9	8,5	0,5	0,2	1,5	0,9	<5	0,09	2,1	1,72	66,4	0,52	0,3	<0,01	0,5	0,13	96,8	0,020	<0,01	0,05	0,076	0,076	0,037	0,07
SK-87	10,1	0,47	1,9	3,9	3,3	3,5	7,1	428	<5	1,35	5,5	2,21	8,6	3,56	3,7	0,02	0,9	0,36	61,5	<0,01	0,08	0,29	0,764	0,764	<0,01	0,13
SK-89	14,2	0,30	4,8	10,9	0,6	1,3	2,4	327	<5	0,51	5,5	0,36	7,3	0,58	12,6	<0,01	4,1	0,43	55,4	<0,01	7,74	0,51	0,362	0,362	<0,01	<0,01
SK-90	13,6	0,47	3,2	17,8	2,8	1,3	4,0	132	<5	0,69	7,9	1,52	12,5	0,58	1,9	0,02	3,3	0,37	11,3	<0,01	8,75	0,39	1,358	1,358	<0,01	0,64
SK-91	10,5	0,37	1,6	24,1	0,8	0,9	2,0	111	<5	1,40	4,7	103,9	13,2	0,24	1,0	0,03	4,1	0,69	10,6	<0,01	0,06	0,25	0,631	0,631	<0,01	0,13
SK-94	16,0	0,36	5,4	7,2	6,2	2,1	3,0	80	<5	0,43	10,5	9,90	121,5	0,67	1,4	<0,01	6,1	0,69	41,3	<0,01	0,05	0,34	2,288	2,288	<0,01	<0,01

Tablo 6.3. Yeraltısuyu örneklerinin fiziko-kimyasal özelliklerinin istatistiksel değerlendirmesi

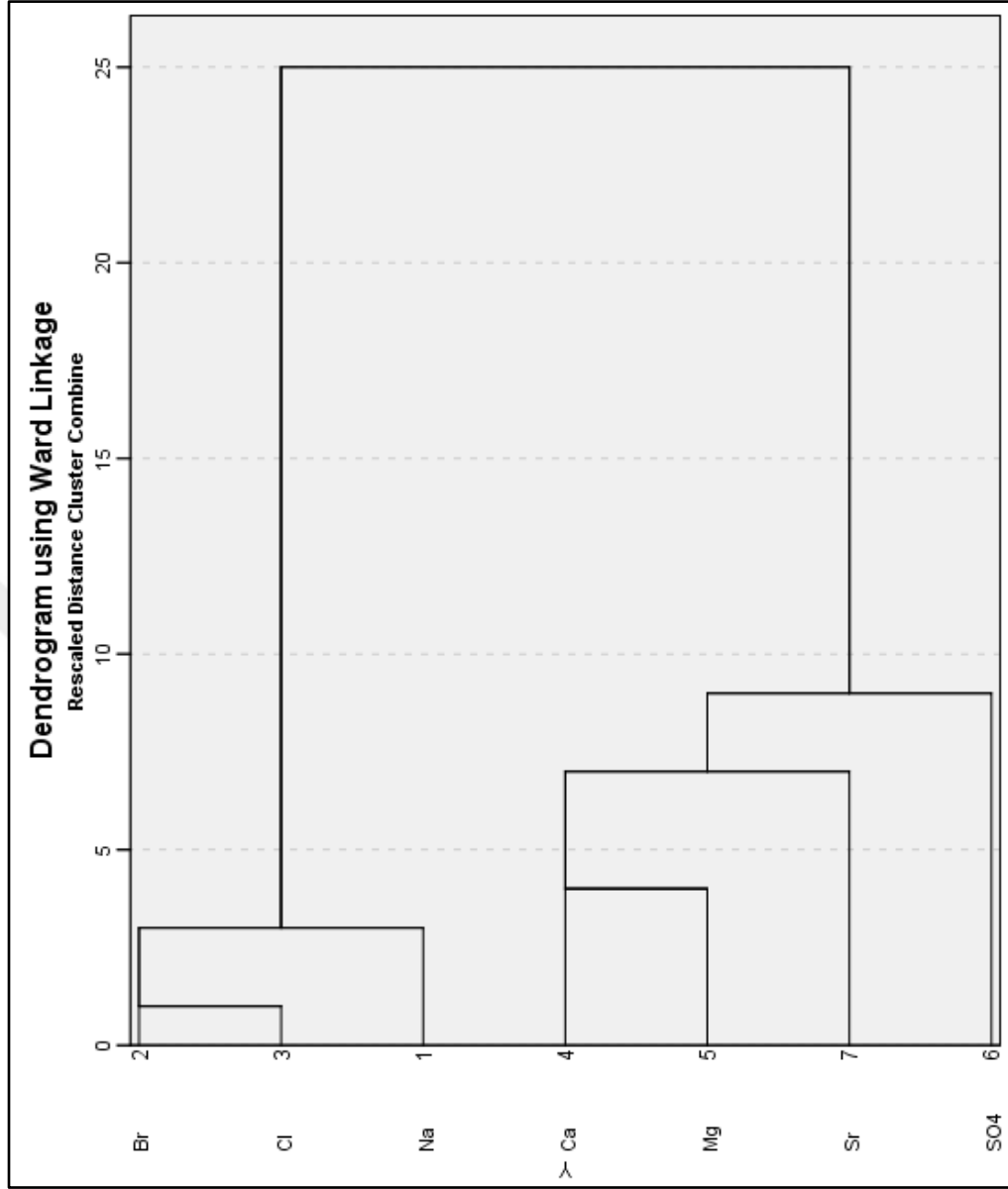
N=64	T °C	pH	EC (µS/cm)	Toplam Alkalinite (CaCO ₃ mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca ⁺ (mg/l)	Mg ⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Br ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)	Mn (µg/l)	Fe (µg/l)	As (µg/l)
Minimum	6,2	6,0	296	96,6	117,9	36,0	5,0	4,8	0,7	0,0	5,2	0,2	1,5	0,2	<0,5	0,3
Maksimum	17,5	8,2	4657	492,0	600,2	255,3	37,3	751,0	23,3	2,9	1268	127,9	190,2	1355	20,2	17,8
Ortalama	15,0	7,4	750	225,6	275,3	85,3	14,3	40,2	4,5	0,2	64,3	16,3	47,5	129,3	15,0	3,3
Standart Sapma	2,5	0,4	652	76,2	93,0	41,9	7,7	105,1	4,7	0,5	186,3	22,5	38,7	251,2	7,3	3,3

Tablo 6.4. Kimyasal parametreler arasındaki Pearson Korelasyon Analizi (n=64)

N=64	EC	Ca	Mg	Na	K	Br	Cl	SO ₄	HCO ₃	Sr	Mn	Fe	As
EC	1												
Ca	,874**	1											
Mg	,752**	,839**	1										
Na	,952**	,704**	,593**	1									
K	,441**	,411**	,414**	,392**	1								
Br	,947**	,776**	,673**	,910**	,317*	1							
Cl	,967**	,768**	,648**	,971**	,381**	,961**	1						
SO ₄	,592**	,722**	,692**	,492**	,280*	,439**	,471**	1					
HCO ₃	,503**	,648**	,600**	,366**	,269*	,353**	,329**	,349**	1				
Sr	,681**	,665**	,523**	,553**	,286*	,772**	,652**	,300*	,271*	1			
Mn	,288*	,279*	,527**	0,218	0,097	,250*	0,221	0,168	,399**	,252*	1		
Fe	-0,03	-0,04	0,06	-0,03	0,05	-0,01	-0,03	-0,09	0,11	-0,02	0,01	1	
As	,541**	,372**	,361**	,582**	,345**	,543**	,583**	0,21	0,14	0,197	0,10	-0,058	1

**. Korelasyon 0,01 düzeyinde anlamlı (2-tailed).

*. Korelasyon 0,05 düzeyinde anlamlı (2-tailed).



Şekil 6.3. Hiyerarşik kümelenme analizinden elde edilen dendrogram

6.2. Yeraltısuyu Kimyasını Etkileyen Jeokimyasal Süreçler

Karasu kıyı alüvyon akiferinin hidrojeokimyasal su fasiyeslerinde gözlenen değişimi kontrol eden mineral çözünmesi ve çökmesi, iyon değişimi, tuzlu su girişi ve yeraltısuyu kirlenici kaynaklarını belirlemek amacıyla Cl/Br kütle oranları, deniz suyu karışım oranları, mineral doygunluk indeksleri hesaplanmış ve kimyasal parametreler arasındaki ilişkiyi belirlemek için pearson korelasyon analizleri yapılmıştır.

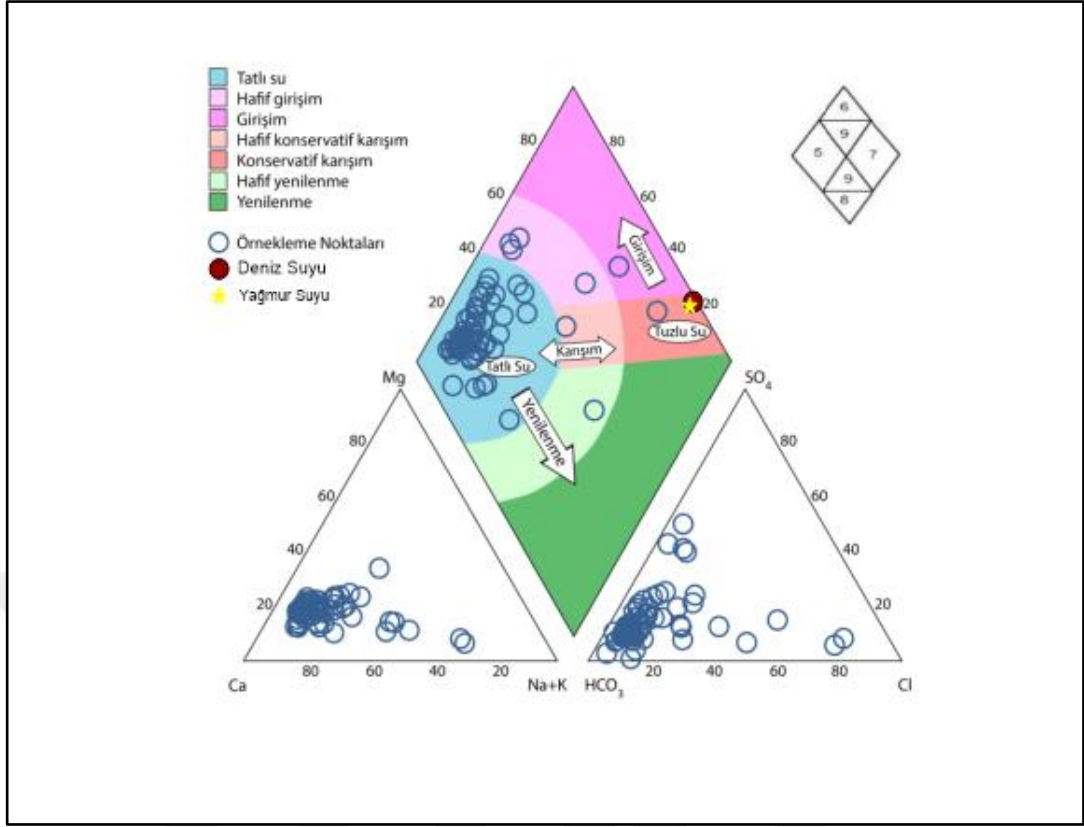
6.2.1. Major iyon jeokimyasının değerlendirilmesi

Yeraltısuyu örneklerinin major iyon kimyaları, kıyı alüvyon akiferinde hidrojeokimyasal açıdan dört farklı su fasiyesinin oluştuğunu göstermektedir (Tablo 6.5). Kıyı alüvyon akiferinde baskın hidrojeokimyasal fasiyes, Ca-HCO₃'lı sular olmakla birlikte; bunları sırasıyla Na-Cl, Na-HCO₃, Ca-Cl'lu sular izlemektedir. Karasu kıyı alüvyon akiferinde yeraltısuları baskın katyon ve anyon tipleri genellikle Ca' dan Na' a, HCO₃' tan Cl' a doğru bir değişim göstermektedir. Piper Diyagramı, yeraltısuyu örneklerinin çoğunun tatlı su fasiyesinde olduğunu göstermektedir (Şekil 6.4). Genel olarak Ca-HCO₃ fasiyesindeki sular tatlı sular ile Na-Cl fasiyesindeki sular deniz suyu ile ilişkilidir. Na-HCO₃ fasiyesi tuzlanmış yeraltısuyunun tatlı su ile yıkanması sonucu gelişirken Ca-Cl fasiyesi ise ilerleyen bir tuzlanmayı işaret etmektedir.

Çalışma alanındaki sular Piper Diyagramına göre 5,7 ve 9 numaralı bölgelerde toplanmıştır (Şekil 6.4). 5 numaralı bölgede kalan sular Ca-HCO₃'lı sulardır. 9 numaralı bölgede kalan sular, iyonlarının hiçbirini %50'yi geçmeyen karışık bileşimli sular sınıfına girmektedir. 7 numaralı bölgede kalan sular ise; karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular olup, deniz suyu ve çok acı sular sınıfındadır, dolayısıyla bu bölgede kalan sular için deniz suyu girişiminin olabileceği söylenebilir. Ayrıca diyagram incelendiğinde bölgeden alınan yağmur suyunun deniz suyuna benzer olduğu görülmektedir. Yağmur suyunun deniz suyuna benzer çıkması çalışma alanının kıyıya çok yakın olması ve yağışın denizel kökenli olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 6.5. İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin su fasiyesleri

ÖRNEK NO	X	Y	SU SINIFI	ÖRNEK NO	X	Y	SU SINIFI
SK-5	30,65025	41,1229	Ca-HCO ₃	SK-50	30,78849	41,07362	Ca-HCO ₃
SK-6	30,65031	41,12255	Ca-HCO ₃	SK-51	30,8418	41,0688	Ca-HCO ₃
SK-7	30,65058	41,12068	Ca-HCO ₃	SK-52	30,8277	41,07791	Ca-HCO ₃
SK-8	30,65338	41,12015	Ca-HCO ₃	SK-55	30,85906	41,0755	Na-Cl
SK-9	30,65319	41,11484	Ca-HCO ₃	SK-56	30,85856	41,07606	Ca-HCO ₃
SK-10	30,6673	41,1102	Ca-HCO ₃	SK-58	30,85921	41,07354	Ca-HCO ₃
SK-11	30,67378	41,11339	Na-Cl	SK-59	30,85455	41,0722	Ca-HCO ₃
SK-13	30,67851	41,11515	Ca-HCO ₃	SK-60	30,84961	41,07321	Ca-HCO ₃
SK-14	30,67688	41,11396	Ca-HCO ₃	SK-61	30,85161	41,0744	Ca-HCO ₃
SK-16	30,67936	41,11109	Na-Cl	SK-62	30,84126	41,07226	Ca-HCO ₃
SK-17	30,67929	41,11207	Ca-Cl	SK-63	30,84357	41,07492	Ca-HCO ₃
SK-20	30,68007	41,11084	Ca-HCO ₃	SK-69	30,77464	41,08421	Ca-HCO ₃
SK-18	30,69719	41,10751	Ca-HCO ₃	SK-70	30,78163	41,07671	Ca-HCO ₃
SK-23	30,72004	41,09722	Ca-HCO ₃	SK-71	30,74997	41,08453	Ca-HCO ₃
SK-24	30,7203	41,09695	Ca-HCO ₃	SK-72	30,86602	41,07441	Ca-HCO ₃
SK-25	30,72829	41,09304	Ca-HCO ₃	SK-73	30,83344	41,07477	Ca-HCO ₃
SK-26	30,72883	41,09209	Ca-HCO ₃	SK-75	30,70078	41,09204	Ca-HCO ₃
SK-27	30,72819	41,09188	Ca-HCO ₃	SK-77	30,70149	41,09227	Ca-HCO ₃
SK-28	30,73195	41,09163	Ca-HCO ₃	SK-78	30,70557	41,09212	Ca-HCO ₃
SK-29	30,72295	41,09537	Ca-HCO ₃	SK-79	30,71405	41,09334	Ca-HCO ₃
SK-30	30,72246	41,09554	Ca-HCO ₃	SK-80	30,71556	41,09725	Ca-HCO ₃
SK-32	30,73414	41,09333	Ca-HCO ₃	SK-81	30,70729	41,09983	Ca-HCO ₃
SK-33	30,73326	41,09027	Ca-HCO ₃	SK-82	30,70745	41,10103	Ca-HCO ₃
SK-34	30,73963	41,09123	Ca-HCO ₃	SK-83	30,6893	41,10839	Ca-HCO ₃
SK-37	30,73291	41,08942	Ca-HCO ₃	SK-84	30,689	41,10851	Ca-HCO ₃
SK-40	30,78797	41,04712	Ca-HCO ₃	SK-85	30,70556	41,1036	Ca-HCO ₃
SK-41	30,78805	41,05141	Ca-HCO ₃	SK-86	30,68791	41,09621	Ca-HCO ₃
SK-43	30,78688	41,05448	Ca-HCO ₃	SK-87	30,6719	41,10039	Na-HCO₃
SK-45	30,78714	41,05538	Ca-HCO ₃	SK-89	30,69758	41,09831	Ca-HCO ₃
SK-46	30,78798	41,06104	Ca-HCO ₃	SK-90	30,69573	41,09607	Ca-HCO ₃
SK-47	30,78847	41,05916	Ca-HCO ₃	SK-91	30,69339	41,09628	Ca-HCO ₃
SK-48	30,78709	41,05968	Ca-HCO ₃	SK-94	30,69376	41,10101	Ca-HCO ₃



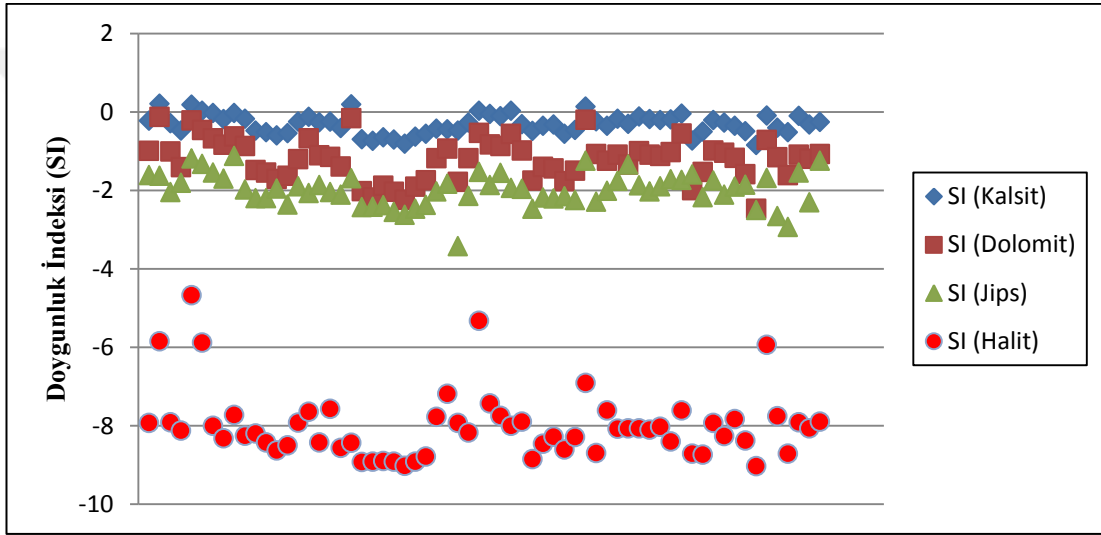
Şekil 6.4. Karasu kıyı alüvyon akiferine ait su numunelerinin Piper Diyagramı

Çalışma kapsamında incelenen numunelerin deniz suyu karışım oranlarının hesaplanmasında yeraltısularının Br konsantrasyonu kullanılmıştır. Yerel deniz suyu ve akifer arkaplan Br konsantrasyonu sırasıyla 37,9 ve 0,033 mg/l'dir. Hesaplanan deniz suyu karışım oranları Tablo 6.6' da verilmiştir. SK-11, SK-17, SK-37, SK-50, SK-87 numaralı kuyular için hesaplanan karışım oranları ise %1-2,1 arasında değişmektedir. SK-16 (%7,6) ve SK-55 (%7,21) numaralı kuyularda ise en yüksek karışım oranları hesaplanmıştır. İncelenen diğer numunelerin karışım oranlarının ise % 0,5'in altında kaldığı belirlenmiştir. Hesaplanan karışım oranlarıyla birlikte numunelerin Cl/Br kütle ve Na/Cl molar oranları da incelendiğinde SK-7, SK-11, SK-16, SK-50, SK-55, SK-87 numaralı kuyuların deniz suyu girişiminden etkilendiği görülmektedir. %7,6'lık deniz suyu karışım oranına sahip SK-16 ve %2'lik bir karışım oranına sahip SK-17 numaralı kuyularda Na/Cl molar oranları (sırasıyla 0,91, 0,74) deniz suyuna yakın olmasına rağmen Cl/Br kütle oranlarının deniz suyundan daha yüksek olması bu kuyularda Cl derişimini ek kaynakların kontrol ettiğini göstermiştir.

Tablo 6.6. İncelenen numunelerin Br değerine göre hesaplanan deniz suyu karışım oranları

Örnek No	Deniz suyu karışım oranı (%)	Örnek No	Deniz suyu karışım oranı (%)
SK-5	0,13	SK-50	0,52
SK-6	0,10	SK-51	0,15
SK-7	0,86	SK-52	0,09
SK-8	0,48	SK-55	7,20
SK-9	0,03	SK-56	0,21
SK-10	0,11	SK-58	0,22
SK-11	2,15	SK-59	0,21
SK-13	0,07	SK-60	0,03
SK-14	0,05	SK-61	0,02
SK-16	7,63	SK-62	0,02
SK-17	1,99	SK-63	0,03
SK-18	0,41	SK-69	0,08
SK-20	0,01	SK-70	0,03
SK-23	0,26	SK-71	0,15
SK-24	0,02	SK-72	0,04
SK-25	0,00	SK-73	0,04
SK-26	0,03	SK-75	0,07
SK-27	0,01	SK-77	0,07
SK-28	0,01	SK-78	0,06
SK-29	0,11	SK-79	0,24
SK-30	0,46	SK-80	0,00
SK-32	0,06	SK-81	0,01
SK-33	0,01	SK-82	0,28
SK-34	0,05	SK-83	0,05
SK-37	0,66	SK-84	0,04
SK-40	0,01	SK-85	0,06
SK-41	0,01	SK-86	0,04
SK-43	0,01	SK-87	1,90
SK-45	0,01	SK-89	0,18
SK-46	0,02	SK-90	0,18
SK-47	0,01	SK-91	0,04
SK-48	0,01	SK-94	0,14

Karasu kıyı alüvyon akiferindeki yeraltısularının mineral (kalsit, dolomit, jips ve halit) doygunluk indeksleri hesaplanmıştır. İncelenen yeraltısularının tamamı özellikle halit minerali ile jips ve dolomit minerallerine doygun değildir (Şekil 6.5). Yani alüvyon akiferindeki yeraltısuları bu mineralleri çözdürücü özelliktedir. İncelenen yeraltısularındaki doygunluk indeks değerleri halit minerali için -4 ile -9, jips mineralleri için -1,0 ile -4,0 değerleri arasında yer almaktadır. Mineral Doygunluk İndeksi (SI) hesaplamaları, yeraltısularının %91'inin doygunluk değerinin altında, yani kalsit mineralini çözdürücü özellikte, %9'unun ise kalsit mineraline doygun olduğunu göstermektedir.

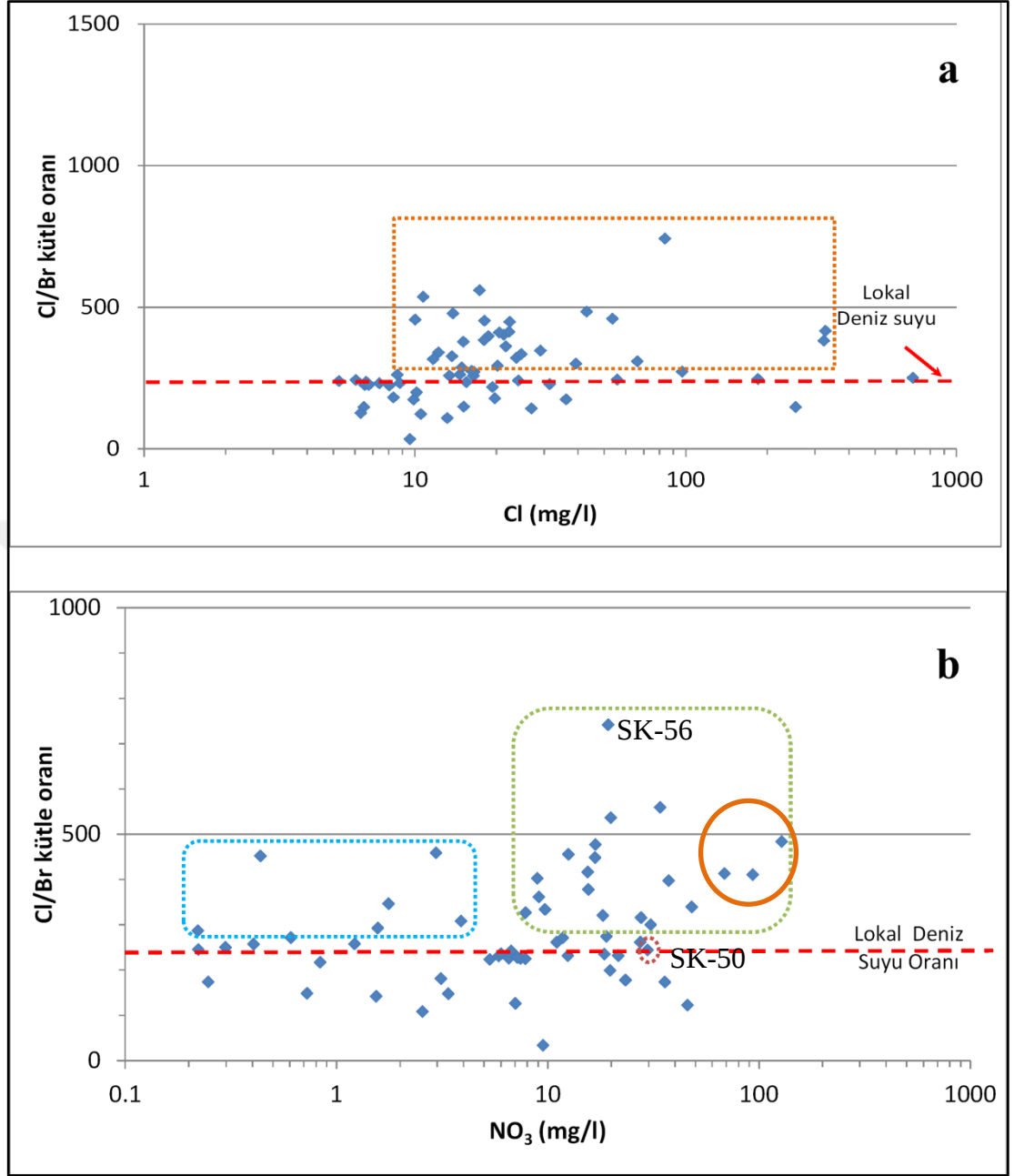


Şekil 6.5. İncelenen yeraltısuyu örneklerinin doygunluk indeks (SI) grafiği

6.2.2. Minör iyon jeokimyasının değerlendirilmesi

Bromür yeraltısularında sadece Br^- olarak bulunur. Bromür, sadece deniz suyu girişimi olan ya da denizden beslenen sistemlerde ve evaporitik serilerden gelen sularda ölçülebilecek seviyede olduğu için Cl/Br kütle oranı yeraltısularında tuzluluk kaynağının ayırt edilebilmesi için kullanılan bir parametredir [33]. Çalışma alanındaki sularda yapılan analizlerde Bromür iyon konsantrasyonu 0,02-2,92 mg/l aralığında değişmektedir.

Modern deniz suyu Cl/Br kütle oranı 273-292 aralığında yer almaktadır [34-37]. Bu çalışmada Karasu Kıyı Ovası'ndan alınan deniz suyu örneğinin Cl/Br kütle oranı (240) ise literatür değerinin biraz altında yer almıştır. Atmosferik çökelimler üzerinde yapılan çalışmalar, kıyıya yakın yerlerde meydana gelen yağışların Cl/Br kütle oranının deniz suyu oranına yakın ya da altında yer aldığını (130-180, [36]) göstermiştir[35]. Karayolu tuzu ve halit mineralinin yüksek Cl/Br oranı, potansiyel tuzluluk kaynaklarından farklılaşmıştır (10^4 - 10^5 , [38]). Evsel ve fosseptik atık sularının Cl/Br kütle oranı atık suyuna, tuz girdisine ve antropojenik kaynaklara bağlı olarak geniş bir aralıkta (400-1100) değişim göstermektedir [38]. Cl/Br kütle oranları, diğer tuzluluk kaynakları ile örtüşme göstermiştir. Bu nedenle, Cl/Br oranının azot türleri (NO_3^- , NO_2^-) gibi ortak kaynak göstergeleri ile birlikte kullanılması kıyı yeraltısularındaki potansiyel tuzlanma kaynaklarını sınıflandırmak için faydalı olmaktadır [39]. İnceleme alanından alınan yeraltısularının Cl/Br kütle oranı 34-742 arasında değişmektedir. Tuzluluk kaynaklarını ayırt edebilmek amacıyla Cl/Br'un Cl'a göre grafiği çizilmiştir. Bu grafikte, yeraltısuyu numunelerinin küçük bir kısmının, yerel deniz suyu hattına yakın bir bölgeye düştüğünü göstermiştir. Yeraltısuyu numunelerinin yaklaşık %58'i yerel deniz suyu örneğinden daha fazla Cl/Br oranına sahiptir (293-742) (Şekil 6.6a turuncu dikdörtgen). Bu amaçla, yeraltısularında seyreltilmiş deniz suyuna göre fazla klorürün kaynağının belirlenmesi için Cl/Br kütle oranının NO_3^- 'a göre grafiği çizilmiştir (Şekil 6.6b).



Şekil 6.6. İncelenen yeraltısularının (a) Cl/Br kütle oranının Cl'a karşı grafiği; (b) Cl/Br kütle oranının nitrat'a göre grafiği

Sonuçlar, numunelerin yaklaşık %32'sinin diğerlerinden farklılaştığını ve nitrat içeriğinin 10 ila 128 mg/l arasında olduğunu göstermiştir (Şekil 6.6b, yeşil dikdörtgen). Bu numunelerin Cl/Br kütle oranları da 300 ila 742 arasında geniş bir aralıkta değişkenlik göstermiştir (Şekil 6.6b). Bu yeraltısuyu kuyularındaki nitrat seviyeleri insan kaynaklı kirlenmenin varlığını işaret etse de, kuyuların üçü haricinde hiçbirinde içme suyu standartlarında izin verilen maksimum nitrat konsantrasyonu sınır değerini (50 mg/l) aşmamıştır. Sınır değeri aşan kuyular SK-71, SK-73, SK78'dir ve bu kuyuların NO_3^- değerleri sırasıyla 128, 94, 69 mg/l'dir. Bu kuyulardaki nitrat kirliliği, kuyunun çevresindeki tarım arazilerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 6.6b, turuncu daire). En yüksek Cl/Br kütle oranına sahip SK-56 numaralı kuyu nispeten yüksek nitrat (19,3 mg/l) içeriğine sahiptir. Bu da arazi çalışmaları sırasında yapılan gözlem sonucu bu kuyunun yaklaşık 3 metre yakınında bulunan fosseptik atık suyunun, kuyu suyuna karışımını işaret etmektedir. Klorür ve nitrat bakımından zengin numunelerde gözlenen yüksek Cl/Br kütle oranları ise büyük olasılıkla bu kuyuların çevresinde tarımsal faaliyet bulunmaması nedeniyle evsel ve fosseptik atık sularından kaynaklanmaktadır.

Bazı yeraltısuyu örnekleri de yüksek Cl/Br kütle oranları (272-459), fakat düşük Cl^- (20-97 mg/l), Br (0,08-0,36 mg/l) ve nitrat içerikleri (1,8-4 mg/l) ile karakterize edilmektedir (Şekil 6.6b-mavi dikdörtgen). Antropojenik kirlenmenin olmaması ve bu örneklerde seyreltilmiş deniz suyuna göre Cl zenginleşmesinin varlığı, kentsel yüzey akışından kaynaklı suların yeraltısularına karışımını işaret etmektedir.

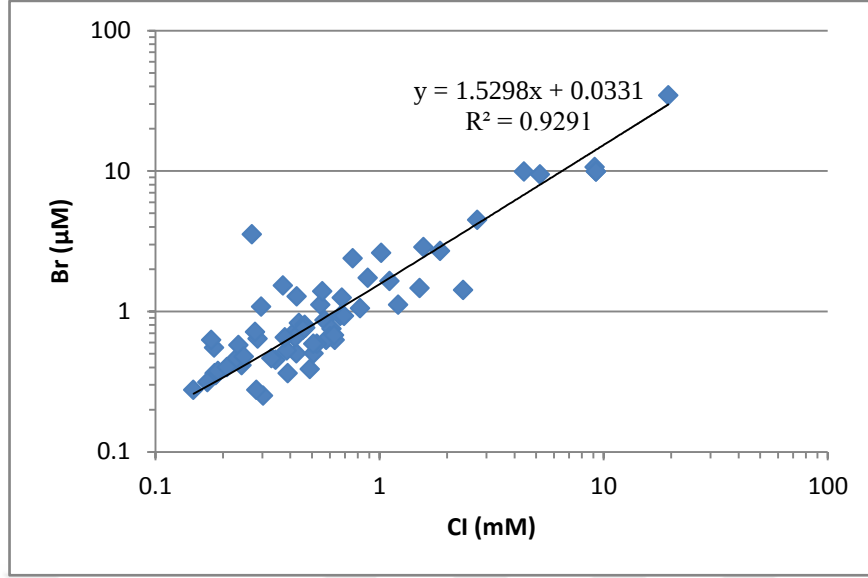
Hem deniz suyu karışımının hem de atık su kirliliğinin belirtileri de, SASKİ'nin Maden Deresi'ne 16 m, deniz kıyısına 1 km mesafede açmış olduğu şu anda aktif olmayan, terk edilmiş (SK-50) 65 m derinliğindeki bir kuyusunda gözlenmiştir (Şekil 6.6b kırmızı daire). Kuyu nispeten yüksek Cl^- (55,9 mg/l) ve NO_3^- (29,7 mg/l) ile karakterize edilmiştir. Bu kuyudaki nitrat kirliliği, kuyunun bulunduğu alanın tarım arazileri ile çevrili olmasından kaynaklanmaktadır. Antropojenik kirlenmenin etkisine rağmen, numunenin Cl/Br kütle oranı (244) ve Na/Cl (1,19) molar oranları yerel deniz suyuna benzer kalmıştır. Ek olarak, bu kuyu kıyı akiferinin arkaplan değerinden nispeten daha yüksek Br içeriğine (0,23 mg/l) sahiptir (0,033 mg/l).

Yukarıda gösterildiği gibi, diğer kirletici göstergeler ile birlikte kullanıldığında, kıyı akiferinde kirlenme ve tuzlanma kaynağını tanımlamak için Cl/Br kütle oranı etkili bir şekilde kullanılabilir.

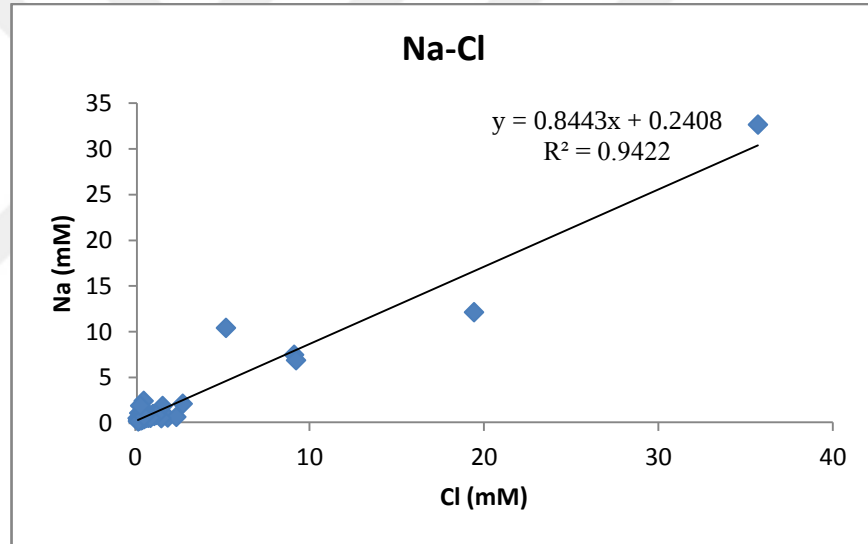
Yeraltısuyu örneklerinde Cl ve Br iyonları ile Na ve Cl iyonları arasındaki korelasyon değerlendirilmiştir (Şekil 6.7 ve 6.8). Sonuçlar, Cl-Br iyon çiftinin 0,93 ve Na-Cl iyon çiftinin 0,94 r kare değerinde anlamlı bir korelasyon sergilediğini göstermiştir. Cl-Br ve Na-Cl elementleri arasındaki yüksek korelasyon, yeraltı suyunda gözlenen klorür ve bromürün tek bir kaynaktan ve kuvvetle muhtemel denizel kökenli tuzların çözünmesinden kaynaklandığını işaret etmektedir.

Düşük klorürlü yeraltısuyu numuneleri için, bazı numunelerde ölçülen düşük Cl/Br kütle oranları (34-199), kıyıda meydana gelen yağışı temsil etmektedir. Davis ve diğerleri (1998), iç bölgelerde 200'den daha az olan Cl/Br kütle oranlarının, atmosferdeki deniz tuzundan etkileneceğini ve bu durumun yağıştaki Cl/Br oranını değiştirdiğini belirtmiştir [36].

Çalışma alanının kıyı şeridi olması, örnekleme yapılan dönemin (Aralık 2018) yağışlı olması ve aşırı çekimin olmaması sebebiyle Karasu kıyı alüvyon akiferinde belirgin bir şekilde deniz suyu girişiminin etkisi gözlenmemiştir. Yeraltısularına deniz suyu girişim etkisi sadece derin 2 kuyuda ve sık birkaç kuyuda gözlenmiştir. Karasu Kıyı Ovası'nda yağmur suyu Cl/Br oranı (258) yerel deniz suyu Cl/Br (240) kütle oranına benzemektedir. Dolayısıyla nispeten düşük klorür içeriğine sahip sık kuyularda ki klorür ve bromürün kaynağı deniz suyu saçılımından (sea spray) dolayı yağmur suyuna geçen ve rüzgârla kara içlerine doğru taşınan denizel kökenli tuzlardır.



Şekil 6.7. Yeraltısuyu örneklerinin Cl-Br değişim grafiği



Şekil 6.8. Yeraltısuyu örneklerinin Na-Cl değişim grafiği

6.3. Kıyı Akiferinin Yeraltısuyu Kalitesinin Değerlendirilmesi

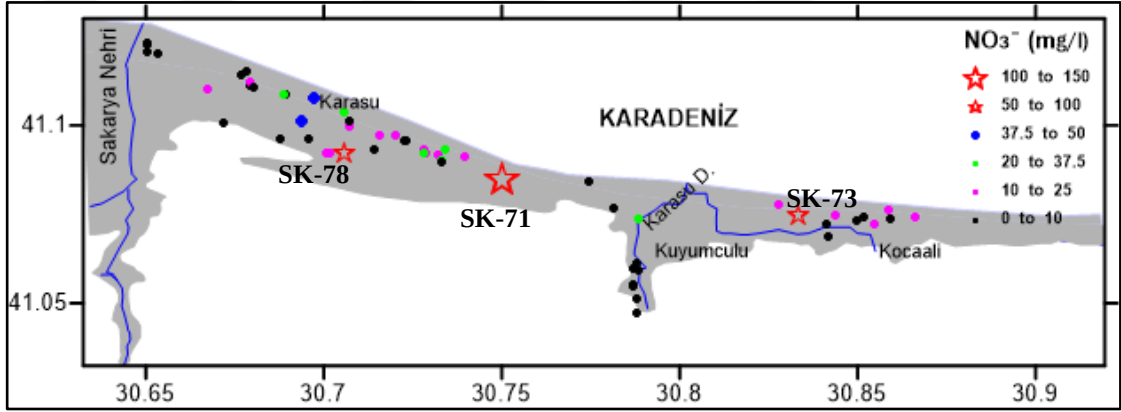
İnceleme alanına ait yeraltısularının kalitesi değerlendirildiğinde kuyuların çoğunluğunda İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliğinde belirtilen kimyasal parametreler açısından bir kirlenme mevcut değildir [42]. Bazı kuyularda TSE (Türk Standartları Enstitüsü) 266'ya (Tablo 6.7) göre sınır değeri aşan parametreler NO_3^- , NO_2^- , Mn ve As' dir (Tablo 6.1 ve 6.2). TSE 266'ya göre sınır değeri aşan parametrelerin noktasal dağılım haritaları Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de verilmektedir.

Tablo 6.7. TSE 266’da belirtilen bazı parametrelerin sınır değerleri

Parametre	TSE 266 (2005)
Alüminyum (µg/l)	200
Amonyum (mg/l)	0,5
Antimon (µg/l)	5
Arsenik (µg/l)	10
Bakır (µg/l)	2000
Bor (mg/l)	1,0
Çinko (mg/l)	-
Civa (µg/l)	1
Demir (µg/l)	200
Florür (mg/l)	1,5
Gümüş (µg/l)	-
Kadmiyum (µg/l)	5
Klorür (mg/l)	250
Krom (µg/l)	50
Kurşun (µg/l)	10
Mangan (µg/l)	50
Nikel (µg/l)	20
Nitrat (mg/l)	50
Nitrit (mg/l)	0,5
Selenyum (µg/l)	10
Siyanür (µg/l)	50
Sülfat (mg/l)	250
Renk	20
pH	6,5-9,5
Sodyum (mg/l)	200
İletkenlik (µS/cm)	2500

Yeraltısularında kirliliğe neden olan parametrelerin en başında gelen çözünmüş azot bileşikleri yeraltısularında nitrat, amonyum (NH_4^+), nitrit (NO_2^-), ve organik azot şeklinde bulunmaktadır. Aerobik ortamdaki amonyak nitrit’e veya nitrat’a dönüşebilmektedir. Nitrit ise oksijenin bulunduğu ortamlarda yükseltgenerek nitrat’a dönüşür. Sulardaki Nitrat çoğunlukla organik veya antropojenik kaynaklıdır. Çürümüş bitkiler ve hayvan dışkıları, endüstriyel atık sular, tarımda kullanılan gübreler, sulamadan dönen sular, atmosferik azotun yağışlarla yıkanması, yüzey ve yeraltısularındaki NO_3^- ’ı oluşturan başlıca kaynaklardır [35]. İncelenen kuyuların NO_3^- içeriği 0,2-128 mg/l ($16,8 \pm 22,5$ mg/l) arasında değişmektedir. Yeraltısularının %52,5’i 10 mg/l’nin altında nitrat konsantrasyonu içermektedir.

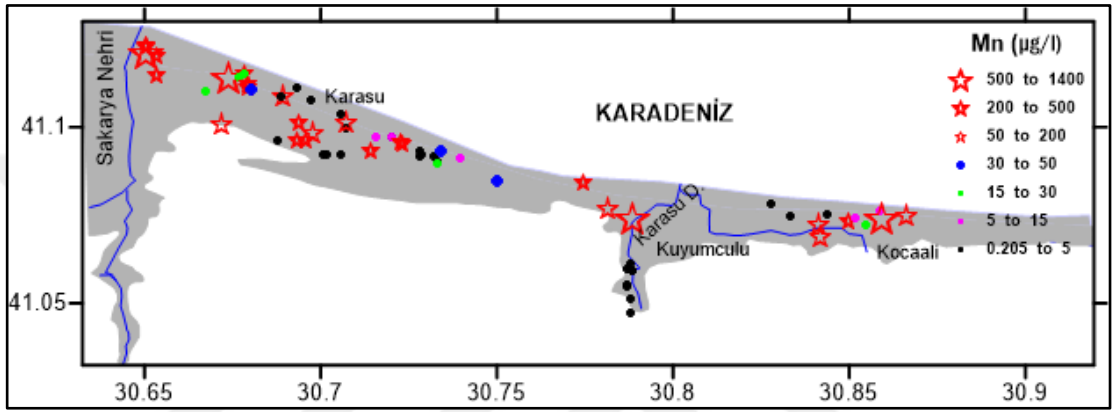
10-50 mg/l arasında nitrat içeren kuyular ise tüm kuyuların %32,4'üdür. Yeraltısularının nitrat konsantrasyonu noktasal dağılım haritası Şekil 6.9' da verilmiştir. Yakın çevresinde tarım yapılan SK-71 numaralı kuyu, sınır değerinin yaklaşık 3 kat (128 mg/l) üzerinde ölçülmüştür. Bölgede önemli ölçekte tarımsal faaliyet bulunmamasından dolayı yeraltısularında arka plan seviyelerinin üzerinde izlenen ve bazı noktalarda içme suları için müsaade edilen limit değerini (50 mg/l) aşan yüksek nitrat konsantrasyonları, Cl/Br kütle oranları da değerlendirildiğinde evsel ve foseptik kökenli nitrat kirlenmesini işaret etmektedir. İncelenen suların NO_2^- içerikleri 0,35 mg/l'ın altında olup standartlarda belirtilen 0,5 mg/l değerindeki üst limitin altında olduğundan suların NO_2^- açısından herhangi bir kirlilik göstermediği belirlenmiştir. Sadece SK-71 numaralı kuyu bu limit değerini aşmıştır (0,8 mg/l).



Şekil 6.9. İncelenen yeraltısuyu örneklerinin NO_3^- konsantrasyonlarının noktasal dağılım haritası

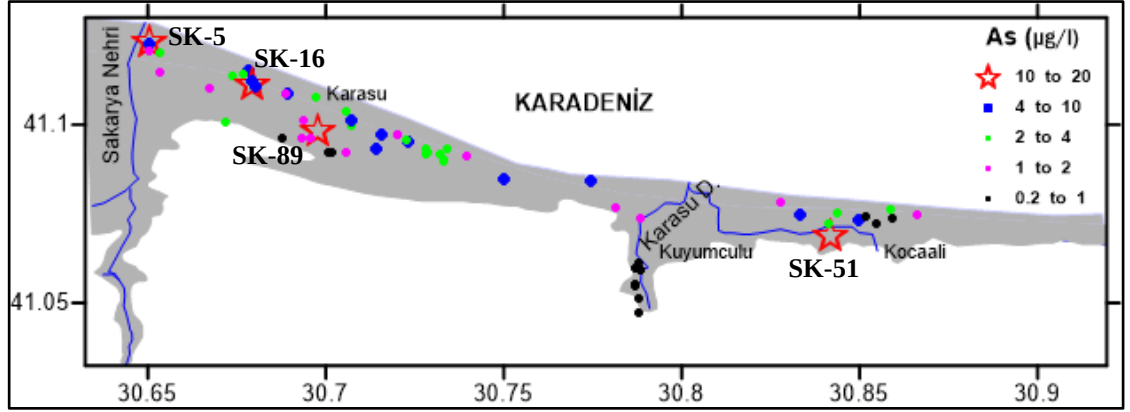
Yeraltısularında Fe ve Mn iyonlarının aletsel ölçüm limitlerinin altında kalması çözünmüş oksijen içeriğinin yüksek olmasından bir başka deyişle akifer ortamının yükseltgen olmasından kaynaklanmaktadır. Organik kirleticilerin yeraltısularına sızması yeraltısularının çözünmüş oksijen içeriğinin tüketilmesine ve indirgen ortam koşullarının akifer içerisinde gelişmesine neden olmaktadır. Bu durum yeraltısularında Fe (II) ve Mn (II) iyonlarının konsantrasyonlarının yükselmesine neden olmaktadır. Yeraltısularında Mn (II) bulunması durumunda NO_3^- iyonlarının bir kısmı indirgenirken, Fe (II) iyonlarının varlığında nitratın tamamı indirgenir, dolayısıyla yeraltısularında nitrata rastlanmayabilir. Karasu kıyı alüvyon akiferinde gözlenen jeojenik kökenli Mn zenginleşmesi dikkat çekicidir. Mn konsantrasyonu noktasal dağılım haritası Şekil 6.10' de verilmiştir. Çalışma alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin Mn içeriği 0,2-1355 mg/l (128 ± 247 mg/l) arasında

değişmektedir. Yeraltısuyu örneklerinin önemli bir bölümünün (%41) Mn konsantrasyonları, içme suyu için müsaade edilen limit değerin üzerinde seyretmektedir ($>50 \mu\text{g/l}$). Kuyu örneklerinin demir konsantrasyonu çoğunlukla aletsel ölçüm limitinin ($<5 \mu\text{g/l}$) altında kalmaktadır. Pearson korelasyon analizi Fe ve Mn arasında anlamlı bir korelasyon olmadığını göstermiştir. Tüm bunlar Karasu kıyı alüvyon akiferinde hem oksik hemde Mn indirgeyen redoks koşullarının hakim olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.10. İncelenen yeraltısuyu örneklerin Mn konsantrasyonlarının noktasal dağılım haritası

Periyodik tablonun VA grubunda yer alan arsenik, metal olmayan ya da metaloid olarak adlandırılmaktadır [40]. İnsan sağlığı ve diğer organizmalar üzerinde toksik ve kanserojen bir etkisi olmasına rağmen tarımda, eczacılıkta ve bazı endüstri dallarında hammadde olarak kullanılmaktadır [40]. İçme sularında müsaade edilen maksimum arsenik konsantrasyonu İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği ile $0,01 \text{ mg/l}$ olarak belirlenmiştir. Yeraltısularında arsenik doğal ya da antropojenik kaynaklı olarak bulunabilmektedir. Yeraltısularının içerisinden geçtiği kayaçları çözmesi sonucu ortaya çıkar [41]. Doğada en önemli kaynağı sülfür mineralleri ve arsenik içeren demir oksitlerdir. Tarım ilaçlarının kullanımı, madencilik, kozmetik, eczacılık gibi sektörler arseniğin antropojenik kaynaklarıdır [41]. İncelenen kuyu örneklerinde As konsantrasyonu $0,26 - 17,8 \mu\text{g/l}$ arasında değişmekte olup ortalaması $3,23 \pm 3 \mu\text{g/l}$ 'dir. İncelenen kuyuların %94'ü limit değerin altında ($<10 \mu\text{g/l}$) arsenik içermektedir. As zenginleşmesi gözlenen kuyular SK-5, SK-16, SK-51, SK-89'dur ve konsantrasyonları sırasıyla $11 \mu\text{g/l}$, $18 \mu\text{g/l}$, $13 \mu\text{g/l}$, $13 \mu\text{g/l}$ 'dir (Şekil 6.11). Karasu kıyı alüvyon akiferi yeraltısularında rastlanan As iyonları jeojenik kökenlidir.



Şekil 6.11. İncelenen örneklerin As konsantrasyonlarının noktasal dağılım haritası

6.3.1. Yeraltısularının sulama suyu kalitesi

Karasu kıyı alüvyon akiferi yeraltısularının sulama suyu olarak kullanılıp kullanılamayacağını belirlemek için %Na, SAR, EC değerleri kullanılmıştır (Tablo 6.8).

Çalışma alanında incelenen suların analiz sonuçlarından hesaplanan Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) değeri 0,9-62 arasında değişmektedir. SAR sınıflamasına göre incelenen suların %92'si çok iyi, %3'ü iyi, %2'si kullanılabilir, %3'ü ihtiyatla kullanılabilir sulama suyu sınıfındadır.

Çalışma alanına ait yeraltısularının %81,2' i çok iyi (<20 %Na), %9,3 'ü iyi (20-40 %Na), %6,2' si kullanılabilir(40-60 %Na), %3,1' i şüpheli (60-80 %Na) sulama suyu sınıfında yer almaktadır. Yüksek sodyum yüzdesi oranıyla öne çıkan kuyular ise SK-16 ve SK-87 olup değerleri sırasıyla %70,7 ve %70'dir.

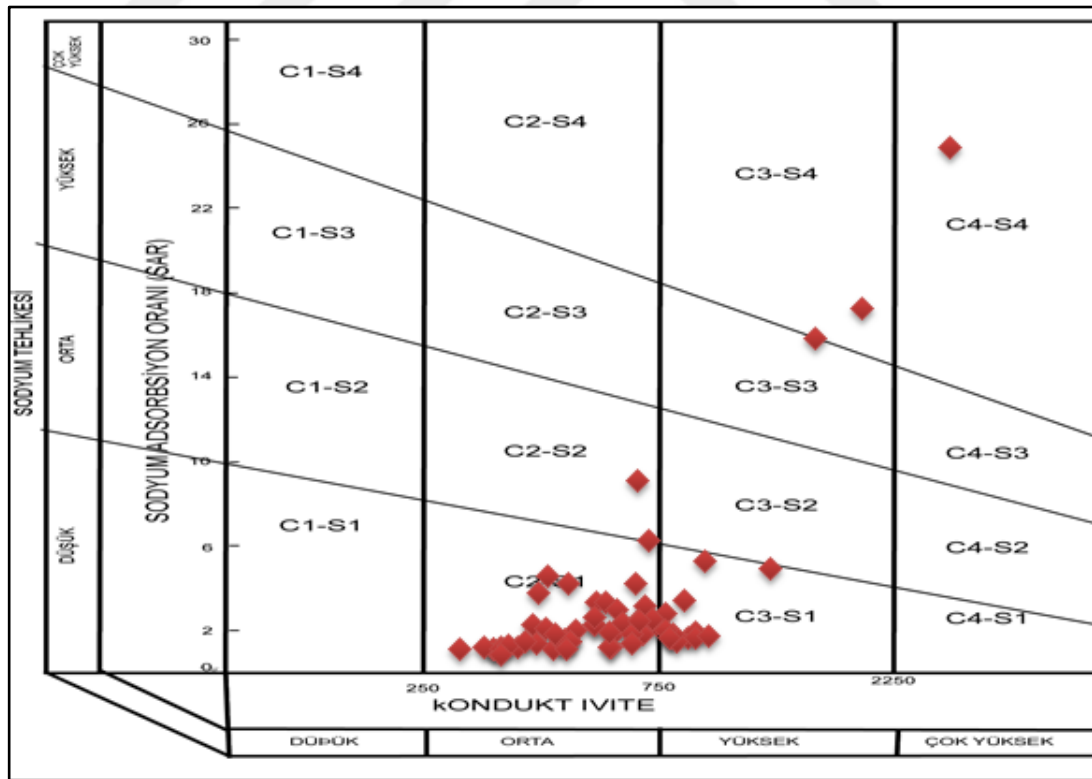
Tablo 6.8. EC, %Na ve SAR değerlerine göre sulama suyu sınıfları [43]

Sulama Suyu Sınıfı Kalite Kriterleri	1.Sınıf Su (Çok İyi)	2.Sınıf Su (İyi)	3.Sınıf Su (Kullanılabilir)	4.Sınıf Su (İhtiyatla Kullanılabilir)	5.Sınıf Su (Zararlı, Uygun değil)
EC _{25°C} (µS/cm)	0-250	250-750	750-2000	2000-3000	>3000
%Na	<20	20-40	40-60	60-80	>80
SAR	<10	10-18	18-26	>26	

Karasu kıyı alüvyon akiferinden alınan numunelerin sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı kullanılmıştır. Diyagramın yatay ekseninde 25°C derecedeki elektriksel iletkenlik (EC), dikey ekseninde ise Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) değerleri bulunur. Karasu Kıyı Ovası'ndan alınarak incelenen suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramındaki yerleri Şekil 6.11 'de gösterilmiştir.

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'na göre yapılan sınıflamada su örneklerine ait SAR ve elektriksel iletkenlik değerleri kullanılmıştır. İncelenen yeraltısularının büyük bir çoğunluğu orta tuzlu-az sodyumlu C2S1, orta tuzlu-orta sodyumlu C2S2, ve tuzlu-az sodyumlu C3S1 sınıfına girmektedir. SK-11, SK-17 numaralı kuyular C3S4, SK-16, SK-87 ve SK-55 numaralı kuyular C4S4 sınıfına girmektedir.

İnceleme alanında bulunan C3S1, C2S1 ve C2S2 sınıfında yer alan sular sulama için uygun olduğu fakat C4S4 sınıfındaki suların ise sulamada kullanılamayacağı söylenebilir. C3S4 sınıfına ait sular ise bazı özel şartlarda kullanılabilir.



Şekil 6.11. İncelenen numunelerin ABD Tuzluluk Diyagramı

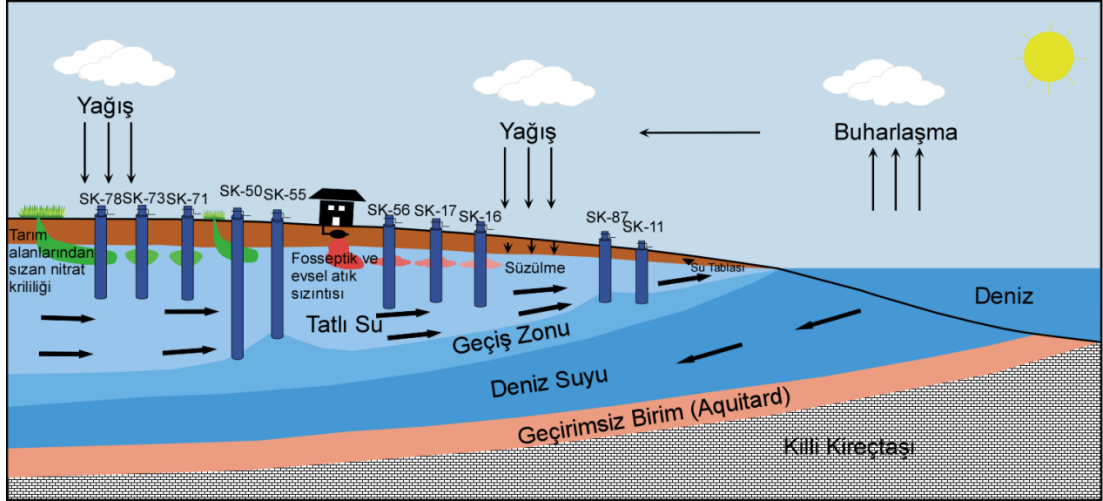
6.4. Kavramsal Model

Çalışma alanını oluşturan Karasu Kıyı Ovası'nın akifer olma özelliği gösteren birimi Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır. Alüvyonun genel özelliklerine bakarsak üstte kalın kumlu kaba taneli birimler, daha derinlerde ise geçirimsiz silt ve kil gibi malzemeler bulunmaktadır. Serbest akifer özelliği gösteren alüvyonun üst kısımlarının kalın ve kaba taneli geçirimli malzemelerden oluşması, birimin yağıştan hızlı beslenimini kolaylaştırmaktadır. Karasu'da evlerdeki atık sular fosseptiklere verilmektedir. Bu fosseptiklerden kaynaklanan sızmalar alüvyon akifer için tehlike arz etmektedir. Karasu Kıyı Ovası'nda sızmalar ve kötü koku vb. gibi fosseptik kaynaklı sorunların giderimi için kanalizasyon altyapı çalışmaları hali hazırda devam etmektedir.

Karasu Kıyı Ovası'nda yeraltısularına deniz suyu girişim etkisi sadece derin 2 kuyuda (SK-50 ve SK-55) ve sığ birkaç kuyuda gözlenmektedir. Çalışma alanının kıyıya çok yakın olması ve yağışın denizel kökenli olması sığ kuyulardan alınan yeraltısuyu örneklerinde gözlenen nispeten yüksek deniz suyu karışım oranlarının aşırı çekime bağlı tuzlu su girişimi sonucu oluşmadığını deniz suyu saçılımından (sea spray) dolayı yağmur suyuna geçen ve rüzgârla kara içlerine doğru taşınan denizel kökenli tuzlardan kaynaklandığını göstermektedir.

Karasu Kıyı Ovası'nda sığ yeraltısularında arka plan seviyelerin üzerinde izlenen yüksek nitrat konsantrasyonları evsel ve fosseptik kökenli nitrat kirlenmesini işaret etmektedir. Çalışma kapsamında yeraltısularında içme suyu standartlarında izin verilen maksimum nitrat konsantrasyonu sınır değerini aşan 3 kuyu bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla SK-71, SK-73 ve SK78'dir. Hem deniz suyu karışımının hem de nitrat kirliliğinin belirtileri de, SASKİ'nin deniz kıyısına 1 km mesafede açmış olduğu şu anda aktif olmayan, terk edilmiş (SK-50) 65 m derinliğindeki bir kuyusunda gözlenmiştir. Bu kuyulardaki nitrat kirliliği ise, kuyuların bulunduğu alanın tarım arazileri ile çevrili olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu değerlendirmelerin sonunda hazırlanan hidrojeolojik kavramsal model Şekil 6.12'de gösterilmiştir.



Şekil 6.12. Karasu Kıyı Ovası'nın Kavramsal Modeli

6.5. Sonuçlar

Yeraltısuyu kalitesini ve deniz suyu girişiminin olası etkisini belirlemek amacıyla alınan yeraltısuyu örneklerinin fiziko-kimyasal özellikleri, majör iyon ve iz element kimyaları ortaya konmuştur. Alüvyon akiferi yeraltısuları, nötr-zayıf alkali bir pH ($7,4 \pm 0,4$) değeri sergilemektedir. Elektriksel İletkenlik (EC) değerleri ise $296,5-4657 \mu\text{S/cm}$ gibi geniş bir aralıkta seyretmektedir. Su örneklerinin klorür (Cl^-) içerikleri ise 9 ile 1267 mg/l arasında değişmektedir. İncelenen suların Piper Diyagramında elde sonuçlara göre çoğunlukla Ca-HCO_3 sınıfındadır. Bunun yanı sıra Ca-Cl , Na-Cl , Na-HCO_3 tipinde sular da tespit edilmiştir.

İnceleme alanına ait yeraltısularının kalitesi değerlendirildiğinde kuyuların çoğunluğunda İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nde belirtilen kimyasal parametreler açısından bir kirlenme mevcut değildir. TSE 266'ya göre sınır değeri aşan parametreler NO_3^- , Mn ve As'tir. Yeraltısuyu örneklerinin önemli bir bölümünde jeojenik kökenli (%41) Mn konsantrasyonları içme suları için müsaade edilen limit değerin üzerinde seyretmiştir. Alüvyon akiferde oksik ve Mn indirgeyen redoks koşulları izlenmektedir. Ayrıca 4 kuyuda jeojenik kökenli As zenginleşmesi mevcuttur. İncelenen kuyuların NO_3^- içeriği $0,2-128 \text{ mg/l}$ ($16,8 \pm 22,5 \text{ mg/l}$) arasında değişmektedir. Sığ yeraltısularında arka plan seviyelerin üzerinde izlenen ve bazı noktalarda içme suları için müsaade edilen limit değeri (50 mg/l) aşan yüksek nitrat konsantrasyonları evsel ve fosseptik kökenli, kısmen de tarımsal kaynaklı nitrat kirlenmesini işaret etmektedir.

Karasu’da evlerdeki atık sular fosseptiklere verilmektedir. İnceleme alanındaki sığ kuyularda (<15 m) ölçülen yüksek Cl/Br kütle oranları (400-800) evsel ve fosseptik atık suların sığ yeraltısuyu kalitesini etkilediğini göstermektedir. Bu fosseptiklerden kaynaklanan sızmalar alüvyon akifer için tehlike arz etmektedir. Sızmalar ve kötü koku vb. gibi fosseptik kaynaklı sorunların giderimi için kanalizasyon altyapı çalışmaları yapılmış ve şuanda hane bağlantıları yapılmaya devam edilmektedir.

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına göre yapılan sınıflamada SK-17 ve SK-55 numaralı kuyuların kesinlikle kullanılamayacağı, SK-11 ve SK-18’in ise bazı özel şartlarda kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Deniz suyu karışım oranlarını belirlemek amacıyla Cl^- ’ün farklı kaynaklardan gelebileceği düşünülerek karışım oranları Br’a göre hesaplanmıştır. Bu çalışma, diğer kirletici göstergeler ile kullanıldığında, Cl/Br kütle oranının, düşük deniz suyu karışım oranları sergileyen kıyı alüvyon akiferinde kirlenme ve tuzlanma kaynağını belirlemek için etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

Tuzlu su girişiminin su kalitesi üzerindeki etkisi alüvyon içinde açılan iki derin kuyuda ve birkaç sığ kuyuda izlenmiştir. Bunun dışında bölge genelinde tuzlu su girişim etkisi gözlenmemiştir. Sebebi ise incelenen kuyuların sığ olması, örnekleme yapılan dönemin yağışlı olması ve kuyulardan aşırı çekim yapılmamasıdır. Dolayısıyla çekimin fazla olduğu kurak dönemde yapılacak örnekleme ile sığ kuyularda deniz suyu girişiminin etkisinin var olup olmadığının teyit edilmesi gerekmektedir.

Çalışma kapsamında SASKİ’ye ait içme suyu amaçlı kullanılan kuyularda incelenmiştir. İncelenen yeraltısuyu örnekleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yöntemeliği’ nde belirtilen ve çalışma kapsamında belirlenen kimyasal parametreler açısından değerlendirildiğinde bir kirlenme tespit edilememiştir. Ayrıca bu kuyulardan alınan yeraltısuyu örnekleri %0 deniz suyu karışım oranına sahip olmasına rağmen yerel deniz suyuna benzer Na/Cl (0,82) molar ve Cl/Br (240) kütle oranına yakın değerler sergilemektedir. Sonuçlar bu kuyuların denizel kökenli yağmur sularının etkisi altında kaldığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ghassemi F, Jakeman AJ, Nix HA (1995) Salinization of Land and Water Resources. Human Causes, Extent, Management and Case Studies. *CAB International*, Wallingford, p 526.
- [2] Bear J, Cheng AH, Sorek S, Ouazar D, Herrers I (1999) Seawater Intrusion in Coastal Aquifer Concepts, Methods, and Practices. *Kluwer Academic Publishers*, London.
- [3] Barbecot F, Marlin C, Gibert E, Dever L (2000) Hydrochemical and Isotopic Characterization of the Bathonian and Bajocian Coastal Aquifer of the Caen Area (northern France). *Appl Geochem* 15:791–805.
- [4] Fakir Y, Mernissi ME, Kreuser T, Berjami B (2002) Natural Tracer Approach to Characterize Groundwater in the Coastal Sahel of Oualidia (Morocco). *Environ Geol* 43:197–202.
- [5] 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). *Sci Total Environ* 297:43–58.
- [6] Cartwright I, Weaver TR, Fulton S, Nichol C, Reid M, Cheng X (2004) Hydrogeochemical and Isotopic Constrains on the Origins of Dryland Salinity, Murray basin, Victoria, Australia. *Appl Geochem* 19:1233–1254.
- [7] Ghabayen SMS, McKee M, Kemblowski M (2006) Ionic and Isotopic Ratios for Identification of Salinity Sources and Missing Data in the Gaza Aquifer. *J Hydrol* 318 (1–4):360–373.
- [8] Walraevens K, Cardenal J, Van Camp M (2007) Reaction Transport Modelling of a Freshening Aquifer (Tertiary Ledo-Paniselian Aquifer, Flanders-Belgium). *Appl Geochem* 22:289–305
- [9] Akouvi A, Dray M, Violette S, De Marsily G, Zuppi GM (2008) The Sedimentary Coastal Basin of Togo: Example of a Multilayered Aquifer Still Influenced by a Paleo-Seawater Intrusion. *Hydrogeol J* 16:419–436.
- [10] 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 Rhone Delta (Southern France). *Appl Geochem* 23 (8):2337–2349.

- [11] Somay MA, Gemici U (2009) Assessment of the Salinization Process at the Coastal Area with Hydrogeochemical Tools And Geographical Information Systems (GIS): Selcuk Plain, Izmir, Turkey. *Water Air Soil Pollut* **201** (1–4):55–74.
- [12] Wang Y, Jiao JJ (2012) Origin of Groundwater Salinity and Hydrogeo-Chemical Processes in the Confined Quaternary Aquifer of the Pearl River Delta, China. *J Hydrol* 438–439:112–124.
- [13] Khaska M, La Salle CL, Lancelot J, Aster team, Mohammad A, Verdoux P, Noret A, Simler R (2013) Origin of Groundwater Salinity (current seawater vs. saline deep water) in Coastal Karst Aquifer Based on Sr and Cl Isotopes. Case Study of the La Clape Massif (southern France). *Appl Geochem* 37:212–227.
- [14] Anders R, Mendez GO, Futa K, Danskin WR (2014) A Geochemical Approach to Determine Sources and Movement of Saline Groundwater in a Coastal Aquifer. *Ground Water* 52 (5):756–768.
- [15] Farid I, Zouari K, Rigane A, Beji R (2015) Origin of the Groundwater Salinity and Geochemical Processes in Detrital and Carbonate Aquifers: Case of Chougafiya Basin (Central Tunisia). *J Hydrol* 508–532.
- [16] Abdalla F (2016) Ionic Ratios as Tracers to Assess Seawater Intrusion and to Identify Salinity Sources in Jazan Coastal Aquifer, Saudi Arabia. *Arab J Geosci* 9:40. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2065-3>.
- [17] Aşağı Sakarya Havzası Yeraltısuyu Rezerv Raporu, T.C Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Yeraltısuları Daire Başkanlığı, Ankara 1966.
- [18] Aşağı Sakarya Alt Havzası Hidrojeoloji Raporu, T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Müdürlüğü, 3. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir, 2015.
- [19] Baltaoğlu S.E. (1990), Sakarya Nehri Havzasında Su Kalitesi Yönetimi, İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] Tuncer K. (2004), Sakarya Nehri – Göynük Çayı – Çatak Çayı Arasındaki Sahanın Karst Jeomorfolojisi, İstanbul Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [21] Kurucu P.S (2008), Sakarya Havzasının Debi Eğilimlerinin Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [22] Güner İ.N (2009), Yukarı Sakarya Havzasında Yeraltısuyu Yaş Dağılımının Çevresel İzleyiciler İle İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [23] Koç, P., (2008). Karasu (Sakarya) Yerleşim Alanı Zeminlerinin Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi Süleyman Demirel Üniv. Fen Bilimleri Enst. Jeoloji Mühendisliği, Isparta.
- [24] Ören, A. (2011), Karasu Çayının (Sakarya Nehrinin Bir Kolu) Havzasının Jeomorfolojisi, İstanbul Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [25] Türk Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği, (2012), Karasu Kıyı Alanı Kıyı Daralması Raporu, Mattek Basım, Ankara.
- [26] Yurdusever, F. (2014), Karasu’da (Sakarya Nehri– Karasu Deresi Arası) Arazi Kullanımı, Uşak Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uşak.
- [27] C. W. Thornthwaite-An Approach Toward a Rational Classification of Climate.
- [28] https://tr.wikipedia-on-ipfs.org/wiki/Sakarya_nehri.html, (Ziyaret Tarihi: 12 Haziran 2019).
- [29] http://www.esrefatabey.com.tr/upload/tibbi_jeoloji_dosya330.pdf, (Ziyaret Tarihi:12 Haziran 2019).
- [30] Timur, E ve Aksay, A., 2002. 1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Ereğli Paftası, No.26, Ankara, Maden Tetkik Arama Enstitüsü.
- [31] Appelo CAJ, Postma D (1993) Geochemistry, Groundwater and Pollution. A. A. Balkema, Rotterdam, 536 pp.
- [32] Walter J, Chesnaux R, Cloutier V, Gaboury D (2017) The influence of water/rock-water/clay interactions and mixing in the salinization processes of groundwater. *J Hydrol* 13:168–188.
- [33] Eroğlu, A ve Aksoy, N., 2003. Jeotermal suların kimyasal analizi, VI. Ulusal Tesisat Kongresi, *Jeotermal Enerji Semineri Kitapçığı*, 149-183.
- [34] Krauskopf, K.B., 1979. Introduction to Geochemistry. *McGraw-Hill*, New York. 721p.
- [35] Hem, J.D., 1992, Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural water, third ed. US Geological Survey Water Supply Paper 2254, 263pp.
- [36] Davis, S.N., Whittemore, D.O., and Fabryka-Martin, June, 1998, Uses of chloride/bromide ratios in studies of potable water: *Water Resources Research*, v. 36, no. 2, p. 338-350.
- [37] Panno, S.V., Hackley, K.C., Hwang, H.H., Greenberg, S.E., Krapac, I.G., Landsberger, S., and O’Kelly, D.J. 2006. Characterization and Identification of Na-Cl Sourcesin Ground Water. *Ground water*, Vol. 44 (2), p. 176–187.

- [38] Katz, B.G., Eberts, S. M., Kauffman, L.J. 2011. Using Cl/Br ratios and other indicators to assess potential impacts on groundwater quality from septic systems: A review and examples from principal aquifers in the United States. *Journal of Hydrology*, **397**:151–166.
- [39] Yolcubal, İ., Gündüz, Ö., C., Kurtuluş, N., Origin of salinization and pollution sources and geochemical processes in urban coastal aquifer (Kocaeli, NW Turkey), *Environmental Earth Sciences*, DOI: 10.1007/s12665- 019-8181.
- [40] Başkan, M., Pala, A., İçme Sularında Arsenik Kirliliği : Ülkemiz Açısından Bir Değerlendirme, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **15** (1) 69-79.
- [41] U.S. EPA. 2002. Arsenic treatment technologies for soil, waste, and water, U.S. EPA/National Service Center for Environmental Publications, Cincinnati.
- [42] TSE 266, (2005). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Kakkında Yönetmelik, Türk Standartları, Ankara.
- [43] Yolcubal, İ. Hidrojeolji. Basılmamış Ders Notları, Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] Yarımbaş M. , Gündüz Ö. , Şener A. , Yolcubal İ., 2019. KARASU (SAKARYA) Kıyı Akiferinde Deniz Suyu Girişim Etkisinin Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi. 72. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*.



ÖZGEÇMİŞ

1994 Yılında Sakarya'nın Akyazı İlçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Akyazı'da tamamladı. 2008 yılında Akyazı Ahi Evran Mesleki ve Anadolu Lisesi'ne başladı. 2012 yılında Bilişim Teknolojileri Alanından birincilik derecesiyle mezun oldu. 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji mühendisliği bölümünü kazandı ve 2016 yılında üçüncülük derecesiyle mezun oldu. Aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek lisans eğitimine başladı ve halen eğitimi sürmektedir.

