

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Esra Deniz GÜNER

**GÖKSU DELTASINDAKİ YERALTI SU KALİTESİ DÜZEYLERİNİN
SAPTANMASI VE DAĞILIMLARININ BELİRLENMESİ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2016

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖKSU DELTASINDAKİ YERALTI SU KALİTESİ DÜZEYLERİNİN
SAPTANMASI VE DAĞILIMLARININ BELİRLENMESİ**

Esra Deniz GÜNER

DOKTORA TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez/....../2016 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Galip SEÇKİN
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Ahmet YÜCEER
ÜYE

.....
Prof. Dr. Mehmet Faik SEVİMLİ
ÜYE

.....
Prof. Dr. Selahattin SERİN
ÜYE

.....
Doç. Dr. Mustafa DOLAZ
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

GÖKSU DELTASINDAKİ YERALTI SU KALİTESİ DÜZEYLERİNİN SAPTANMASI VE DAĞILIMLARININ BELİRLENMESİ

Esra Deniz GÜNER

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof.Dr. Galip SEÇKİN
Yıl: 2016, Sayfa:179
Jüri : Prof.Dr. Galip SEÇKİN
: Prof.Dr. Ahmet YÜCEER
: Prof. Dr. Selahattin SERİN
: Prof. Dr. Mehmet Faik SEVİMLİ
: Prof.Dr. Mustafa DOLAZ

Bu çalışma, Türkiye'nin en büyük sulak alan sistemlerinden olan Göksu – Silifke Delta'sında yürütülmüştür. Yeraltı suyunun (YAS) kalitesini izlemek ve kirlenme potansiyelini tespit etmek amacıyla Mayıs 2012- Nisan 2013 dönemleri arasında bir yıl süreyle incelemeler yapılmıştır. Göksu bölgesinde 13, Silifke bölgesinde 12 adet DSİ'ye ait yeraltı suyu gözlem kuyusu belirlenmiş ve yeraltı su numunelerinin fiziksel ve kimyasal parametre değişimleri aylık periyotlarla izlenmiştir.

Göksu Delta'sında yeraltı suyu pH değeri 7.5-8.19 aralığında olup bazik özelliği göstermektedir. Delta sahip olduğu tuzluluk, Eİ, ÇKM ve Cl⁻ değerleri deniz suyu girişiminin etkisini ortaya koymaktadır. Eİ ve ÇKM parametrelerine göre %60'ı direkt sulama suyu olarak, yaklaşık %30'u ise bazı önlemler almak kaydıyla sulama suyu olarak kullanım kalitesindedir. Yeraltı suları Cl⁻ konsantrasyonuna göre sulama suyu olarak değerlendirildiğinde ise tarım arazilerinin %18,9'unda kullanılması riskli ve sakıncalıdır, %23'ünde ise zararlı-uygun olmayan sulama suyu sınıfındadır. SAR ve RSC durumlarını gösteren değerlerin güven sınırları içinde kaldığı görülmüştür. Sülfat değerinde fazla dalgalanmanın olmaması ve yüksek değerlere ulaşması da, deltanın deniz girişimine maruz kaldığının bir ifadesidir. Nitrat değerinde çok yüksek sonuçlara rastlanmamış, ancak tarımsal etkiyi ifade edebilecek düzeylere ulaştığı görülmüştür. Yapılan katyon analizleri sonucuna göre sığ akifer sularının kalite değişiminde etken mekanizmaların deltadaki antropojenik etkiler ve kayaç çözünmesi olduğu tespit edilmiştir. Su kalitesini gözlemek amacıyla bakılan bütün parametreler ve birbirlerinin arasındaki ilişkiler istatistiki olarak değerlendirilmiştir. Delta içerisinde yeraltı suyu kirliliğindeki değişimler CBS kullanılarak net bir şekilde gözlemlenmiştir. Alüvyon akiferdeki kuyu suları uluslararası ve ulusal sınır değerler ile kıyaslanmıştır. TSE'e göre Na⁺ iyonu dışında hiç bir değerinde sınırlar aşılmamıştır. Yapılan diagram çalışmalarında suların denizden etkilenmiş çok tuzlu su sınıfına girdiği tespit edilmiştir. Ağır metal değerleri ise genelde çok düşük seviyelerde olduğu saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı su kalitesi, Göksu Deltası, deniz suyu girişi, sınıflandırma diagramları, CBS dağılım haritaları

ABSTRACT

PhD THESIS

DETERMINATION OF GROUNDWATER QUALITY AND DISTRIBUTION LEVELS IN GÖKSU DELTA

Esra Deniz GÜNER

**CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

Supervisor : Prof.Dr. Galip SEÇKİN
Year: 2016, Pages: 179
Jury : Prof.Dr. Galip SEÇKİN
: Prof.Dr. Ahmet YÜCEER
: Prof. Dr. Selahattin SERİN
: Prof. Dr. Mehmet Faik SEVİMLİ
: Prof. Dr. Mustafa DOLAZ

This study were carried out in Göksu Delta, one of Turkey's largest, sensitive and risky wetland systems, to monitor the groundwater quality and to determine the potential risk of contamination. The groundwater sampling was managed within May 2012 and April 2013, representative of one year period. The Goksu in 13 wells and Silifke in 12 wells, which are DSI groundwater observation wells, were determined subsequent to physical and chemical parameter changes of groundwater samples were observed at monthly intervals.

pH was examined in the range 7.5-8.19 illustrates alkaline characteristics in Göksu Delta groundwater. The alluvial aquifer in Göksu Delta shows predominance of EC, TDS, Cl⁻ ions concentration. The values of its ions in the coastal zone area due to seawater intrusion and agricultural activities. According to EC and TDS values, 60% of wells can be use of agricultural land irrigation. Also approximately 30% of wells are available for irrigation water as long as the quality is to take some precautions in Göksu Delta. According to the Cl⁻ ion evaluated 18.9% of wells are risky and dangerous, 23% of wells are harmful-unsuitable waters for irrigation class. Showing the SAR and RSC were observed to be within safe limits. The non-fluctuation and high concentration values of SO₄²⁻ can be expression of the seawater intrusion. NO₃⁻ values not seen very high in results however it was seen as having reached the level to express the agricultural impact. The results of the cation analysis indicates anthropogenic effects and insoluble rocks are dominant factors of shallow aquifer waters. In aim to determinate all the parameter trends of water quality are evaluated with eachothers statistically. The geographic information system (GIS) was applied to illustrate the trend of groundwater contamination. The results that obtained were assessed by using a number of national and international standards and classifications. In this evaluation standarts, there had not been exceeded a limit values except for Na⁺ values. The groundwater were classified as groundwater hydrochemical facies type (Piper and Schoeller) and quality of irrigation water (Wilcox and the U.S. salinity diagram). This diagrams showed that influence of the seawater and have been identified as the very salty waters class. The heavy metal values are usually found to be very low.

Keywords: Groundwater water quality, Göksu Delta, seawater intrusion, diagrams, GIS

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü evre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yapılmıştır. Bana bu imkânı sağlayan evre Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Ahmet YÜCEER'e ve aynı zamanda bu çalışmanın yürütülmesini sağlayan ve tezimin her anında yanımda olan DanıŐmanım Prof. Dr. Galip SEÇKİN'e derinden müteŐekkirim.

Tez çalıŐmamda yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren Sayın Yrd.Doç.Turan Yılmaz baŐta olmak üzere tüm bölüm hocalarıma teŐekkürlerimi sunarım. Tüm jüri üyelerine katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Doktora çalıŐmamın her aŐamasında bana yardımlarını bir an bile esirgemeyen, yapıcı ve yönlendirici fikirleri, görüş ve önerileriyle yanımda olan Jeoloji Yük.Müh.Senem TEKİN, Burcu TEKİN, Nazlı TELKIRAN, ArŐ.Grv.Dr.Mahmut ALTINER, ArŐ.Grv.Cansu DAĞSUYU, ArŐ.Grv.Dr. Yusuf KUVVETLİ, ArŐ.Grv. Elçin ERKURT ve tüm mesai arkadaşlarıma teŐekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu çalışmanın yapılabilmesi için bana maddi ve manevi beni her konuda destekleyen ve her zaman yanımda olan bana daima yol gösteren baŐta anneannem Naile ŐAHİN olmak üzere tüm aileme sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	X
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
3. MATERYAL VE METOD	27
3.1. Materyal	27
3.1.1. Çalışma Alanı	27
3.1.2. Topografik Özellikler	30
3.1.3. Jeolojik ve Hidrojeolojik Özellikleri	32
3.1.3.1. Bölgedeki İnsan aktiviteleri	33
3.1.3.2. Arazi Kullanım Özellikleri.....	33
3.1.3.3. Tarım ve Hayvancılık.....	35
3.1.3.4. Koruma ve Yönetim.....	37
3.1.3.5. Deltanın Yeraltı Jeolojisi ve Yeraltı Suyunu Taşıyan Formasyonlar.....	39
3.1.3.7. Göksu Deltasının Hidrojeolojisi ve Yeraltı suyu	40
3.1.3.8. Çalışma Dönemine Ait İklimsel Veriler	42
3.1.3.9. Çalışma İstasyonları	43
3.2. Metod	46
3.2.1. Fiziksel ve Kimyasal Analizler.....	46
3.2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS).....	47
3.2.3. Aqua Chem Programı	47
3.2.4. İstatistiksel Analizi Değerlendirmeleri	48
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	51
4.1. Bulguların standartlar ile karşılaştırılması ve CBS haritalarının gösterilmesi	51

4.2. Yeraltı Sularının Sulama Suyuna Uygunluğunun İncelenmesi.....	85
4.2.1. %Na, RSC ve SAR değerlerinin yorumlanması	85
4.2.2. Sodyumun Diğer Katyonlara Oranı (SAR)	87
4.2.3. Kalıcı Sodyum Karbonat Konsantrasyonu (RSC).....	88
4.2.4. Yüzde Sodyum Değeri (%Na).....	89
4.2.5. Wilcox, Piper, Schoeller ve ABD Tuzluluk Diyagramlarına göre sınıflama	90
4.2.5.1. Wilcox Diyagramı.....	91
4.2.5.2. Schoeller Yarı Logaritmik Diyagramı	93
4.2.5.3. Piper Diyagramı	95
4.2.5.4. ABD Tuzluluk Diyagramı.....	100
4.3. Hidrojeokimyasal Süreçte İyonik Oranların İncelenmesi.....	104
4.4. Sonuçların İstatistiksel Yorumlanması	113
4.5. Benzer Çalışmalar ile Değerlendirme	127
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	135
5.1. Sonuçlar	135
5.2. Öneriler	142
KAYNAKLAR	147
ÖZGEÇMİŞ	167
EKLER.....	168

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. Alandaki Belirli Bazı Habitatların Büyüklükleri (Gürkan ve ark,1999).....	32
Çizelge 3.2. Silifke istasyonuna ait Meteorolojik Veriler (2012-2013)	43
Çizelge 3.3. Numune Alma İstasyonlarının Koordinatları ve Yerleri	44
Çizelge 4.1. Yeraltı sularının kimyasal analiz sonuçları	52
Çizelge 4.2. İnsani tüketim amaçlı sular için ulusal ve uluslararası standartlardaki bazı önemli parametrelerin sınır değerlerinin karşılaştırılması.....	53
Çizelge 4.3. Göksu deltası su kalite parametrelerinin noktasal sonuçları	54
Çizelge 4.4. Suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması.....	55
Çizelge 4.5. Sulama suyunun tuzluluk sınıfı	60
Çizelge 4.6. ICP-OES Ölçüm Limitleri	85
Çizelge 4.7. Su numunelerinin Sodyum Yüzdeleri, RSC ve SAR değerleri	86
Çizelge 4.8. SAR'a göre sulama sularının sınıflandırılması	87
Çizelge 4.9. %Na değerine göre su sınıflandırması.....	90
Çizelge 4.10. Örnekleme noktalarında önemli iyonik oranlar.....	108
Çizelge 4.11. İyonik oranların sınır değerleri.....	111
Çizelge 4.12. KMO ve Barlett's Testi.....	116
Çizelge 4.13. Göksu Delta'sındaki kimyasal parametrelerin korelasyon matrisi	118
Çizelge 4.14. Temel bileşenler varimax rotasyonlu toplam açıklanan varyans miktarları.....	121
Çizelge 4.15. Varimax rotasyonlu temel bileşenler faktör yükleri matrisi.....	123
Çizelge 4.16. Standart ve diğer çalışma sonuçları.....	131
Çizelge 4.17. İz Element sonuçları.....	132

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	Pompaj sonucunda deniz suyu girişiminin şematik görünümü	5
Şekil 3. 1.	Göksu Deltası jeomorfoloji haritası (Keçer, 2001).....	28
Şekil 3.2.	Göksu Deltasında bulunan büyük toprak grupları	31
Şekil 3.3.	Göksu Nehir yatağında meydana gelen değişim (Kaynak:Google Earth)	34
Şekil 3.4.	Göksu Deltasında doğa koruma statüleri ve sınırları.....	38
Şekil 3.5.	Göksu Deltası kayaç dağılımı (Karakoç 2011).....	39
Şekil 3.6.	Göksu Nehri drenaj alanı	41
Şekil 3.7.	Göksu Deltası hidrolojik kesiti (Motz ve ark, 2006)	42
Şekil 3.8.	Çalışma alanına ait uydu görüntüsü ve örnekleme noktaları.....	45
Şekil 3.9.	Faktör Analizinin Şekilsel İfadesi.....	49
Şekil 4.1.	Sıcaklık değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi.....	55
Şekil 4.2.	pH değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi	57
Şekil 4.3.	Eİ değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi	59
Şekil 4.4.	ÇKM değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi.....	61
Şekil 4.5.	Alkalinite değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi	63
Şekil 4.6.	Karbonat değerinin noktasal ve zamansal değişimi.....	64
Şekil 4.7.	Kalsiyum değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi.	66
Şekil 4.8.	Magnezyum değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi.....	68
Şekil 4.9.	Toplam Sertlik değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi.....	69
Şekil 4.10.	Sodyum değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi.....	70
Şekil 4.11.	Potasyum değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi	72
Şekil 4.12.	Klorür değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi	74
Şekil 4.13.	Sülfat değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi	76
Şekil 4.14.	Nitrat değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi.....	79
Şekil 4.15.	Göksu Bölgesinden seçilen 12 adet örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu	92
Şekil 4.16.	Silifke Bölgesinden seçilen 11 adet örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu	93

Şekil 4.17.	Göksu Çalışma Alanına ait yıllık ort. Değerlerin Schoeller Yarı Logaritmik Diyagramı	94
Şekil 4.18.	Silifke Çalışma Alanına ait yıllık ort. Değerlerin Schoeller Yarı Logaritmik Diyagramı	95
Şekil 4.19.	Piper diyagramındaki Bölümler.....	97
Şekil 4.20.	Göksu Çalışma Alanına ait aylık değerlerin Piper Diyagramı	98
Şekil 4.21.	Göksu Çalışma Alanına ait noktasal değerlerin Piper Diyagramı	98
Şekil 4.22.	Silifke Çalışma Alanına ait aylık değerlerin Piper Diyagramı	99
Şekil 4.23.	Silifke Çalışma Alanına ait noktasal değerlerin Piper Diyagramı.....	100
Şekil 4.24.	Göksu Çalışma Alanına ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı... ..	102
Şekil 4.25.	Silifke Çalışma Alanına ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı ..	103
Şekil 4.26.	Hidrokimyasal Oranların Ayrıntılı Grafikleri.....	106
Şekil 4.27.	Önemli iyonik oranların dağılımı	112
Şekil 4.28.	Hidrokimyasal parametrelerin Box-Whisker grafiği	117
Şekil 4.29.	Göksu Deltasındaki hidrokimyasal parametreler için Yamaç Eğim Grafiği	122
Şekil 4.30.	Göksu Delta'sında arazi kullanım haritası.....	124
Şekil 4.31.	Göksu Deltasındaki hidrokimyasal parametreler için Dendrogram grafiği.....	126

1. GİRİŞ

Akarsuların ağız kısmında katı maddelerin toplanması (alüvyon birikimi) sonucu oluşan geniş birikinti depolarına delta ismi verilmiştir. Deltalar verimli toprak yapısı, yeraltı suyunun bolluğu, kısmen düz topografik yapıları ile hem endüstriyel hem de tarımsal faaliyetler için büyük öneme sahiptir. Deltalar sahip oldukları zengin doğal yaşam ile ekolojik dengenin korunmasında son derece önemlidir. Deltalarki alüvyon akiferleri, çoğunlukla killi ya da kil karışmış organik maddelerin etkin oranda bulunduğu, ince taneli silt benzeri malzemelerden oluşur. Bu yapısı ile fazla geçirgenlik özelliği kazandığından deltalar çok daha fazla kırılmalıdır. Bu kırılmalı yapılarından dolayı kimyasal ve biyolojik değişime uğramamaları gerekmektedir.

Yeraltı suyu genel olarak yüzeyden daha aşağıda; su tablasının altındaki doygun zemin veya jeolojik formasyon içinde bulunan su olarak tanımlanır (Freeze ve Cherry 1979). Başka bir deyişle yeraltı suyu, yeraltındaki geçirimli jeolojik ortamın doygun bölgesinde bulunan deniz, göl, akarsu ve kuyu gibi kaynakları besleyen sudur. Yerkürede 1,36 milyar km³ olarak tahmin edilen suyun %0,625'i yeraltı sularıdır. Bu sınırlı miktardaki yeraltı suları her zaman insanlar tarafından içme ve sulama için kullanılan en güvenilir kaynak olmuştur. Yüzey suları ile yeraltı suları kıyaslandığında, mevsimsel olarak biyolojik ve kimyasal özelliklerinin değişmemesi, depolama ihtiyacına gerek duyulmaması nedeni ile yeraltı sularını kullanmak avantajlıdır. Fakat günümüzde gelişen teknoloji ve endüstriyel faaliyetlerle birlikte yeraltı ve yerüstü suları hızla kirlenmeye başlamıştır. Kullanımı artan yeraltı sularının kirlenme sebebi, doğal ve yapay nedenler olmak üzere iki başlık altında toplanabilir (Güler ve ark, 2012). Yeraltı suyunun doğal kirlenmesinin başlıca doğal nedeni jeolojik formasyonlardır. Tuzlu, jipsli, anhidratlı ve borlu kayaçların aşınması yeraltı sularına yüksek miktarda iyon girmesine neden olur. Buda yer altı suyunda istenmeyen minerallerin fazla derişimine sebep olmaktadır. Bu mineraller arasında, yüksek konsantrasyonlarda Ca⁺² ve Mg⁺² elementleri ile Fe ve Mn gibi minerallerin olması su sertliğine yol açmaktadır. Ayrıca jeotermal suların yeraltı sularına karışması sonucu, tarımsal kullanımı olumsuz etkileyen bor kirlenmeside ortaya çıkmaktadır. Gelişen tarım, sanayi ve nüfus artışından

kaynaklanan tatlısu ihtiyacı yeraltı suyu kullanımını artırmaktadır. Yeraltı suyu bulunduran ve koruma alanları belirlenmemiş havzalarda sondaj tekniğine uygun olmayan kuyuların açılması ve işletilmesi yeraltı suyunun kalitesini olumsuz etkiler. Aşırı yeraltı suyu kullanımı, yeraltı su kaynaklarına denizden ve çevredeki diğer akiferlerden su girişimine neden olur. Önemli tatlı su kaynağı olan yeraltı sularına tuzlu deniz suyu girişi yeraltı suyunda tuzluluk miktarını yükseltir. Yeraltı suyuna deniz suyu girişi doğal kirlenmenin diğer sebebidir. Bu da değerli yeraltı sularının sosyo-ekonomik, biyolojik ve hidrolojik açıdan fonksiyonel fayda ve değerini düşürmektedir.

Yeraltı su kirliliğinin yapay nedenleri ise şehir, sanayi ve tarımsal atıklardan kaynaklanan kirleticilerdir. Endüstrinin gelişmesiyle birlikte çeşitli sanayi ve evsel atıkların arıtılmadan kontrolsüzce akarsu ve göl gibi yüzey sularına boşaltımı ile kirlenen bu suların yeraltı suyunu beslemesi halinde kirlilik oluşmaktadır. Yeraltı suyuna septik sistemlerden atık ve kimyasallarının karışması yapay kirlenmeye neden olan en önemli etkidir. Her bir septik sistem tek başına yeraltına nispeten küçük miktarda atık bıraksa da, bu sistemlerin yaygın olarak kullanılması da ciddi bir kirlilik kaynağıdır. Tarımsal alanlarda ülkemizde çok yoğun bir şekilde kullanılan gübreler ve pestisitler, toprak ve yeraltı suyunun kirlenme sebebidir. Tarımsal ilaç ve gübrelerden gelen pestisit, azot bileşikleri gibi kimyasalların yeraltı sularına karışması yapay kirlenmenin diğer sebebidir. Bunun dışında diğer sebepler ise sanayi atıklarından gelen ağır metaller, buzlu yollara atılan tuzlar, suları dezenfekte etmek, sertliğini düşürmek ve bazı çökelmeleri önlemek (veya çökelmeleri sağlamak) için kullanılan sodyumlu bileşikler yeraltı sularına karışmasıdır.

Sulak alanlar yüz binlerce yıllık doğal süreçler sonucu meydana gelmiş ve ortama karakterize olmuş zengin bitki ve hayvan türleri ile yoğun organizma koleksiyonuna sahip yeryüzünün en önemli genetik rezervuarlardır (Çevre Bakanlığı, 2004). Bir alanın sulak alan olmasını belirleyen en önemli özellik, toprak ya da alt tabakanın en azından belli bir süre içerisinde suyla kaplı ya da suya doymuş olmasıdır. Sulak alanlarla ilgili uluslararası alanda yapılan en geniş tanım ise Su Kuşları Yaşama Ortamı Olarak Uluslararası Öneme Sahip Sulak Alanların Korunması Sözleşmesi'ndeki (Ramsar) tanımıdır. Ramsar Sözleşmesi'nin 17 Mayıs 2005 tarih ve

25818 sayılı resmi gazetede yayımlanan tanımına göre sulak alanlar; “doğal veya yapay, devamlı veya geçici, suları durgun veya akıntılı, tatlı, acı veya tuzlu, denizlerin gelgit hareketinin çekilme devresinde altı metreyi geçmeyen derinlikleri kapsayan bütün sular, bataklıklar, sazlıklar ve turbalıklar” olarak tanımlanmıştır. Ramsar Sözleşmesinin amacı; sulak alanların bulunduğu bölgenin su rejimini düzenlemesi, karakteristik bitki ve hayvan topluluklarının, özellikle su kuşlarının barınmasına olanak sağlaması, ekonomik, bilimsel ve rekreasyonel olarak büyük bir kaynak teşkil etmesi, kaybedilmesi halinde bir daha kazanılması mümkün olmaması nedeniyle sulak alan kaybına neden olacak hareketlerin önlenmesidir (Altan ve ark, 2004).

Sulak alan ekosistemleri, birçok kara ve su canlısına barınma ve üreme için doğal ortam sunma, insanların su ihtiyaçlarını karşılama, taşkın ve erozyonu önleme, yerel iklimin düzenlenmesini sağlama, kirliliği alıkoyma gibi sayısız faydalara sahiptirler (Balkaya ve Çelikoba, 2005). Azot ve fosfor gibi besin maddelerini ortamdaki uzaklaştırma, tortu ve zehirli maddeleri alıkoyma ve atık sulardaki organik ve inorganik maddelerin arıtılması sulak alanların işlevleri arasında sayılabilir. Tropik ormanlardan sonra biyolojik çeşitliliğin ve organik madde üretiminin en yüksek olduğu ekosistemlerdir. Sahip olduğu biyolojik çeşitlilik nedeniyle dünyanın doğal zenginlik müzeleri olarak kabul edilirler (Beklioğlu, 2007). Sulak alanların ekolojik yapıları, özellikle su kuşları yönünden çok önemlidir. Derinlikleri altı metreden az olduğu için güneş ışığının dibe kadar ulaşarak fito ve zooplanktonların, su altı ve su üstü bitkilerin, sucul hayvanların gelişmesine imkân veren, çok yeri saz ve kamış gibi kuşların saklanmasına, yuvalanmasına ve barınmasına uygun olan ortamlardır (Balkaya ve Çelikoba, 2005). Koruma altında ve yaşamı tehlikede olan sayısız bitki ve hayvan türleri için temel yaşam alanıdır. Sulak alanlar, aynı zamanda doğal dengenin sürdürülmesinde de önemli bir rol oynamaktadır (Pakalne, 2004).

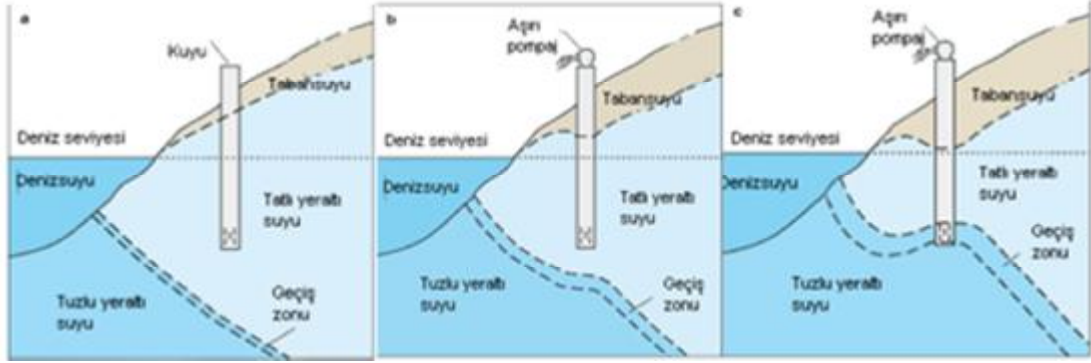
Sulak alanları tehdit eden problemler; Tarım ya da yerleşim amaçlı kurutmalar, içme, kullanma ve sulama suyu temin etmek amacıyla aşırı miktarda su alınması, sulak alanı besleyen suların barajlarda tutulması veya yönlerinin değiştirilmesi, yabancı balık türlerinin göllere aşılması olarak sayabiliriz. Ayrıca sulak alanlardan ve bunları besleyen akarsu yataklarından kum ve çakıl alınması,

kontROLSÜZ SAZ KESİMİ, SAZ YAKILMASI, AŞIRI OTLATMA, ALTYAPU VE TURİZM YATIRIMLARI GİBİ FAALİYETLERDE BU PROBLEMLER ARASINDA YER ALMAKTADIR (Beklioğlu, 2007).

İnsan aktivitelerinin yoğun olduğu kıyı bölgelerinde özellikle deltalarda, yerleşim alanlarının ve tarımsal faaliyetlerin artması, bu alanlarda yeraltı suyu kullanımını arttırmaktadır. Hassas bir doğal dengeye sahip olan deltalarda yeraltı suyunun kullanımındaki artış, tuzlu su ile tatlı su arasındaki dengeyi bozmaktadır.

Deniz ile hidrolik bağlantısı olan sahil akiferlerinin denize doğru açılması ile tuzlu suyun sahil akiferlerine doğru akışı deniz suyu girişimi olarak adlandırılır. Deniz suyu etkisi altında akiferlerde tuzlu su ile tatlı yeraltı suyu arasındaki yoğunluk farkından dolayı bir girişim yüzeyi meydana gelir.

Sahil akiferlerinde denize doğru yeraltı suyu boşalımı olurken denizden de akifere tuzlu deniz suyu girişimi olmaktadır. Tatlı suyun basıncının tuzlu suyun basıncından büyük olduğu durumlarda tatlı-tuzlu su bir ara yüzey boyunca dengede bulunmakta ve tatlı su karadan denize doğru hareket etmektedir. Yoğunlukları farklı olan suların karışımı bu yüzey boyunca yalnızca moleküler difüzyon ile gerçekleşir (JW, 1999). Sahil akiferlerindeki aşırı çekim bu hidrodinamik dengenin bozulmasına sebep olur. Bu hassas hidrodinamik denge deniz suyu lehine doğru bozulur. Böylece tuzlu suyun yoğunluğu yeraltı suyunun yoğunluğundan daha fazla olduğunda yeraltı suyu denize doğru akarken tuzlu suda akifere doğru ilerler. Tuzlu su kütlelerinin üzerinde işletilmekte olan bir akiferde aşırı çekim nedeni ile tatlı su-tuzlu su sınırındaki basınç yüksekliği değişmekte ve tuzlu su yukarı doğru hareket etmekte ve kirliliğe neden olmaktadır. Yeraltı suyunun aşırı pompalama sonucu deniz suyu girişiminin hareketi Ghyben (1888) ve Herzberg (1901) tarafından incelenmiş ve şematik olarak **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Pompaj sonucunda deniz suyu girişiminin şematik görünümü (a) Pompajın başlangıcındaki durum (b) Aşırı pompaja başlandıktan belirli bir süre sonraki durum (c) Aşırı pompaja devam edilmesi durumunda oluşabilecek tatlı su ve tuzlu su dengesi

Bu çalışmada hem Türkiye hemde dünya için değerli alüvyon deltalarından biri olan Göksu-Silifke Delta bölgesindeki yeraltı suyu kalitesi ve kirlilik parametrelerinin düzeyinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Gelişmekte olan endüstri, tarım faaliyetleri ve nüfus artışı sonucunda Göksu-Silifke Delta bölgesi nin olumsuz etkilenip etkilenmediğinin etraflıca araştırılması bölgenin korunması ve geleceği açısından çok önemlidir. Bu sebeple yer altı su kalitesini gösteren parametrelerinin ölçülmesi ve yeraltı su kirliliği varsa bu kirliliğe sebep olan doğal ve yapay kirlilik faktörlerin belirlenmesine ışık tutabilmek için bu çalışma yapılmıştır.

Çalışmanın yürütüldüğü Göksu-Silifke Delta bölgesinde tarımsal faaliyetler yoğun olarak sürdürülmektedir. Sera ürünlerinin sulanmasında ve evsel amaçlı olarak derin kuyu suları kullanılmaktadır. Çalışma sahasında seçilen 24 gözlem kuyusundan Mayıs 2012-Nisan 2013 arasında aylık olarak su kalite parametrelerinin ölçümü yapılmıştır. Bir yıl süre ile yürütülmüş olan bu çalışmada yeraltı suyu örneklerinde elektriksel iletkenlik (EI), sıcaklık (T), pH gibi parametreler yerinde (in-situ); çözülmüş katı madde (ÇKM), Mn, Al, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb, Si, Ba, Cu ve Zn ağır metaller ve Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} alkali metaller ile Cl^{-} , F^{-} , SO_4^{-2} , HCO_3^{-} ve NO_3^{-} gibi anyon ve kationlar laboratuvarında ölçülmüş; toplam sertlik, Sodyum Adsorbsiyon Oranı-Sodium Adsorption Ratio (SAR), Sodyum Yüzdesi (% Na) ve Kalıcı Sodyum Karbonat-Residual Sodium Carbonate (RSC) değerleri de hesaplanarak belirlenmiştir.

Bu analizlerin sonucunda suların kendi içinde gruplandırılması yapılırken hidrokimyasal veriler kullanılmıştır. Akifer sularındaki karışım mekanizmalarının anlaşılması, karışım miktarının değerlendirilmesi ve örnekleme noktaları arasındaki ilişkiyi anlamak için suyun kompozisyonundaki iyonik oranlardan faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ulusal ve uluslararası bir takım standart ve sınıflamalara tabi tutulmuştur. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, TS 266, WHO (Dünya Sağlık Örgütü) ve EU (Avrupa Birliği) normlarına göre karşılaştırılmıştır. Piper ve Schoeller yarı logaritmik diyagramlarına göre suların hidrokimyasal sınıflandırılması yapılmıştır. Wilcox ve ABD Tuzluluk Diyagramları ile sulama suyu açısından yeraltı sularının sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Ölçümü yapılan parametrelerin delta içerisinde alansal dağılımlarını gözlemlemek amacıyla, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak, alansal dağılım haritaları çıkartılmıştır. Elde edilen sonuçların birbirinden farklı olup olmadığı “t” istatistiği ve varyans analizi ile kontrol edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ekolojik ve ekonomik önemi ile hem Türkiye hemde dünya için değerli alüvyon deltalarından biride Göksu Delta'sıdır. Delta bölgesinde, gelişmekte olan nüfus, endüstri ve tarım faaliyetleri sonucunda artan yeraltı suyu kullanımını, artırmakta ve bu doğal kaynağımızın miktar bakımından olduğu kadar kalite yönünden de etraflıca incelenmesini zorunlu kılmaktadır. Yeraltı suyu kalitesinin değişimine etki eden faktörlerin belirlenmesi üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Çalışmalar tarih sırasına göre değil konuya sırasına göre düzenlenmiştir.

Schott (1991), Göksu deltası'nın hidrolojik yapısını belirlemek amacıyla farklı zamanlarda su içinde çeşitli parametreleri ölçmüştür. Çalışma sonucunda bulunan veriler tarımsal üretimin yapıldığı arazilerin yakınlarındaki kuyulardan ve derelerden alınan su örneklerinde özellikle pestisit kirliliğinin yüksek düzeyde olduğunu ortaya koymuştur.

Sanin ve ark (1992), Taşucu deltası ve Göksu nehrinin sedimentlerinde major ve minor elementlerinin dağılımı ve konsantrasyonu incelenmiştir. Araştırma sonunda Na^+ , K^+ , Co ve Ni elementlerinin konsantrasyonlarının denize doğru arttığı belirlenmiştir. Ca^{+2} , Sr ve Cr konsantrasyonlarının ise delta sedimentlerindeki örneklerde daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Göksu nehrin yukarı bölümlerinde Cr konsantrasyonlarının daha yüksek değerlerde ölçülmesinin sebebinin bu alanlardaki maden ocaklarından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir. Cd ve Pb değerleri ise ölçüm limitlerinin aşagısında gözlemlenmişlerdir. Na^+ , K^+ , Ca^{+2} ve Sr gibi baskın deniz elementlerindeki artışın tuzluluğun artışı ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ag ve Fe elemnetlerin yüksek konsantrasyonlarda bulunmasının sebebi ise çökelme ve tortu oluşumu gösterilmiştir.

Başbüyük ve Evliya (1993), Göksu Delta'sında su kirlilik düzeyi ve su kalitesinin belirlenmesi için izleme çalışması yapmışlardır. Çalışmada Göksu Delta'sı lagünlerine tarımsal alanlardan verilen atık suların taşıdığı ve sulak alanlarda oluşturduğu kirlilik ve boyutlarını incelenmiştir. Deltadaki iki büyük su kütesinin drenaj kanalları aracılığı ile yoğun olarak devam eden tarımsal faaliyetlerden olumsuz etkilendikleri saptanmıştır. Tarımsal arazilerden bırakılan sulama sularının

taşıdığı çeşitli kirlilik yükleri özellikle lagünlerde ötrifikasyona neden olduğu ortaya konulmuştur. Alt yapısız ve arıtmasız yerleşim birimlerinin Akgöl su kalitesini tehdit edici boyutlara ulaştığı belirlenmiştir.

ÖÇKKB (1993), tarafından Göksu Delta'sında yapılan bir çalışmada bölgede akarsu, göl ve drenaj kanallarının su kalitesi belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışma sonunda pH 7,06–9,01, ÇO 5,59-9,44 mg/L, KOİ 1,70- 42,6 mg/L, AKM 17,25- 35,50 mg/L, TN 0,14-3,42 mg/L, TP 0,015– 0,289 mg/L, toplam koliform değeri 800-2000 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Everest (1994), Göksu Delta'sındaki bazı bitkilerin çeşitli ekolojik özelliklerini toprakların karbon, azot mineralizasyonu göz önüne alarak araştırmıştır. Genellikle toplam azot ve karbon değerlerinin Haziran ayından Ekim ayına kadar düştüğünü gözlemlemiştir. Ayrıca toprak örneklerinin yaz aylarında buharlaşmanın fazla olmasından dolayı tuzluluk miktarının arttığını ve suyla getirilen iyonların ortamda birikmesinden ötürü EI artışını tespit etmiştir.

Çetinkaya (1996), Göksu Delta'sındaki tarım alanlarında kullanılan tarımsal kimyasalların çeşit ve miktarını belirlemeye çalışmıştır. Yapılan çalışmada deltadaki tarım alanlarında 9.408.918 kg/yıl pestisit kullanıldığı ve pestisitlerin önemli bir miktarını organo fosforlu bileşiklerin oluşturduğu belirtmiştir. Sonuçta deltada tarımsal kimyasalların oluşturduğu çevresel yükün gittikçe arttığı ve ekosistemin olumsuz etkilendiği belirtilmiştir.

Ayaş ve Kolankaya (1996), Göksu Delta'sındaki değişik çevrelerde ve organizmalarda Hg^{+2} , Pb^{+2} , Ni^{+2} , Cd^{+2} , Cr^{+6} birikimi araştırmıştır. Göksu Delta'sındaki su, sediment ve toprak örneklerinde yüksek düzeyde Hg^{+2} ve Pb^{+2} tespit edilmiştir. Ni konsantrasyonu ise su, sediment ve topraklarda yüksek düzeylerde bulunurken, organizmada birikmediği tespit edilmiştir. Yapılan araştırmada Cd^{+2} ve Cr^{+6} saptanmamıştır.

Menengiç (1998), Göksu Delta'sındaki yeraltı suyu kirliliğinin belirlenmesi için yaptığı 1 çalışmada, yaz aylarında BOD5 değerinin ve elektriksel iletkenliğin fazla olduğunu gözlemlemiştir. Drenaj kanallarından elde ettiği yüksek NH_3-N değerlerinin bölgedeki Akgöl'ün ötrofik göl sınıfında olduğunu, Paradeniz gölünde de ötrifikasyon olayının gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Çalışmada değerlendirilen

kuyu sularının kimyasal analiz sonuçları iyon konsantrasyonunun, akım yönünde denize doğru arttığını, elektiriksel iletkenliğin buna uygun bir şekilde iyon konsantrasyonuna paralellik gösterdiğini tespit etmiştir. Bu da deniz suyu girişimini göstermektedir.

Ünlücömert (2003), Göksu Delta'sında tatlı su-tuzlu su girişiminin incelenmesi amacıyla jeofizik etüt çalışması yapmıştır. İnceleme alanının denize yakın olması nedeniyle, deniz suyunun olası girişimini saptamak amacıyla 10 profil hattı boyunca 44 noktadan alınan düşey elektrik sondaj verilerinin değerlendirmesini yapmış ve özdirenç değerlerinin düşük olduğu yerlerde tuzlu su girişimini gösteren kumlu birimlerin varlığını saptamıştır. Denize yakın olan 9 profilde deniz suyu girişimine rastlamıştır

Kumbur ve ark (2004), Göksu Delta'sı Özel Çevre Koruma Bölgesinde akarsu, göl ve drenaj kanallarının su kalitesini belirlemeye çalışılmışlardır. Proje kapsamında pH, çözülmüş oksijen, kimyasal oksijen ihtiyacı, askıda katı madde, iletkenlik, tuzluluk, nitrit azotu, nitrat azotu ve fosfat fosforu, parametreleri analiz edilmiştir. Çalışma sonunda sıcaklık 9,7–32,3 °C, pH 7,18–8,21, ÇO 2,38–7,82 mg/L, tuzluluk %0,0-14,0, Eİ 338-23300 µS/cm, KOİ 10–300 mg/L, AKM 4–763 mg/L, NO₂-N 0,0–16,0 mg/L, NO₃-N 0,4–4,3 mg/L, PO₄-P 0,02–0,52 mg/L arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Yalvaç (2005), Göksu Delta'sında yapılan çalışmada tarım arazilerinde kullanılan pestisitlerin yeraltı su kaynaklarına taşınıp taşınmadığını araştırmıştır. Deltanın tarım alanlarının yazlık konut amaçlı yapılaşmanın baskısı altında olmasına rağmen araştırma sonunda bölgede en çok kullanılan ve organik klorlu pestisit grubunda yer alan α – endosülfan kalıntı derişimini 0,0172 – 0,0217 mg/L, β – endosülfan kalıntı derişimini 0,0003 – 0,0053 mg/L, endosülfan sülfat kalıntı derişimini ise 0,0016 – 0,2724 mg/L arasında bulmuştur. Göksu Delta'sındaki yer altı sularında tarımda kullanılan pestisitlerden kaynaklanan endosülfan derişiminin yıllara göre arttığını da saptamıştır.

Motz ve ark (2006), tarafından yapılan çalışmada, 1999–2002 yılları arasında Göksu deltası'nda yeraltı sularının su kalitesi ile ilgili veriler toplanarak General Algebraic Modelling System (GAMS) programı ile deniz suyu girişimini

modellemiştir.

Özer ve ark (2006), tarafından yapılan çalışmada Göksu nehrinden alınan numunelerde, sıcaklık, pH, AKM, Eİ, tuzluluk, BOİ, ÇO, KOİ, NO₂-N, NO₃-N ve PO₄-P parametreleri incelenmiş ve sonuçlardan yararlanılarak Göksu nehrini WQMCAL modeli ile modellemiştir. Araştırma sonunda BOİ 15- 450 mg/L, KOİ 20-640 mg/L, AKM 95-361 mg/L, NO₂-N 0-3 mg/L, NO₃-N 0,8-1,2 mg/L ve PO₄-P 0,01-0,2 mg/L aralığında saptanmıştır.

Özpinar (2007), Göksu Delta'sında su kalitesini fotometrik yöntemlerle belirlenmeye çalışmıştır. Göksu nehri Silifke'den önce antropojenik etkilerden uzak ve Ca-Mg-HCO₃ karakterinde su taşırken denize döküldüğü yerde Ca-Na-Mg-Cl-HCO₃ karakterine dönüştüğü ifade edilmiştir. KOİ ve ÇO derişimi sırasıyla memba tarafında 22 ve 7,1 mg/L iken denize ulaştığı yerde 137 ve 6,4 mg/L tespit etmiştir. Bazı kuyularda Br⁻, Fe⁺², Mn⁺², Mo⁺², Cu⁺², NH₃⁺, NO₂⁻ ve F⁻ konsantrasyonlarının US-EPA, WHO ve TS-266 standartlarında izin verilen değerleri aştığı ortaya konmuştur. Major iyonlar dikkate alınarak deniz suyu ile yapılan karşılaştırmada kuyu sularının deniz suyu ile büyük benzerlik gösterdiği (Paradeniz) ifade edilmiştir. Deltanın doğu kısmının deniz girişimi etkisi altında olduğu ortaya konulmuştur. Çalışmada tarımsal arazi kullanımı ve yerleşimlerden kaynaklanan kirlilik göstergelerinden NO₃-N, NO₂-N, NH₃-N ve PO₄-P delta akiferinin birçok yerinde rastlanmış, özellikle Altınkum ve kuzey batısında konsantrasyonlarda artış olduğu ifade edilmiştir. Br⁻, F⁻, ve I⁻ yeraltı suyunda çok bulunmayan parametreler olmasına karşın birçok kuyuda tespit edilmiştir.

Özer (2008), Göksu Delta'sında su kalitesinin belirlenmesi ve su kalitesi coğrafi bilgi sisteminin kurulması amacıyla alüvyon ile kireçtaşı akiferlerinden, yeraltı suyu ile deniz suyundan, Akgöl ile Paradeniz göllerinden ve Göksu nehrinin memba ile mansap suyundan numuneler alarak değerlendirmeler yapmıştır. Göksu Delta'sı yeraltı suyu kalitesi değerlendirildiğinde, alüvyon akiferde açılan kuyuların deniz suyundan, tarımsal aktivitelerden, bilinçsiz gübre ve pestisit kullanımından, kireçtaşı akiferine göre daha fazla etkilendiğini tespit etmiştir. Alüvyon akiferdeki kuyu suları içmeye uygun olmamakla birlikte Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği standartları karşılaştırma sonuçlarına göre "II. Sınıf" Su kategorisine girdiğini ifade

etmiştir. Ayrıca yapılan çalışma yüzey sularının da tarımsal aktivitelerden çok fazla etkilendiğini ortaya koymaktadır.

Çobaner (2009), deniz suyu girişim mekanizmasını tanımlayabilmek için üç boyutlu değişken yoğunluklu yeraltı suyu akımının simülasyonunu yapan SEAWAT programını Göksu Delta'sı üzerinde kullanmıştır. İklim değişikliğinin etkilerinin önlenmesi ya da en aza indirilmesi bakımından gelecekteki olması muhtemel üç senaryo için simülasyonlar yapılmış ve Göksu Delta'sı akiferinin özellikle pompaj miktarındaki artışa duyarlı olduğu görülmüştür. Ayrıca 50 yıllık periyot için yapılan simülasyon sonucunda, pompaj miktarının azaltılmasının yeraltı suyu kalitesine bir fayda sağlamadığı görülmüştür. Pompaj miktarındaki azalmaya bağlı olarak yeraltı suyu kalitesindeki iyileşme model kararlı hale gelene kadar devam etmektedir. Simülasyon 300.000 (822 yıl) gün sonunda kararlı hale gelmiş ve deniz suyu girişiminin deltadan denize doğru 500 m gerilediği tespit edilmiştir.

Seçkin ve ark (2010), tarafından yapılan çalışmada Akdeniz kıyılarındaki yeraltı sularının çözülmüş nutrient dağılımını belirlenmeye çalışmışlardır. Toplam organik karbon (TOC), inorganik karbon (DIC), inorganik fosfat (DIP), inorganik nitrojen (DIN) ve toplam alkalinite (Talk) değerleri (DOC için <2,2 mg/L; DIC için <54 mg/L; DIP için <0,06 mg/L; DIN için <1,5 mg/L; Talk için <232 mg/L) düşük miktarlarda ölçülmüş ve bu parametreler açısından herhangi bir tehlikenin olmadığı ifade edilmiştir. DIC ile HCO_3^- arasında kuvvetli bir ilişki ile CaCO_3 çökmesinin olabileceği tespit edilmiştir.

Seçkin ve ark (2010), tarafından yapılan başka bir çalışmada ise Akdeniz kıyılarındaki yeraltı sularının hidrokimyasal özellikleri Aralık 2007-2008 Kasım ayları boyunca bir yıl süre ile izlenmiştir. Çalışmada Eİ (437-3480 $\mu\text{S}/\text{cm}$), pH (7,48-8,84), SAR (0,13-23,1), Cl⁻ (25-1661 mg/L), yanı sıra Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , CO_3^{-2} , HCO_3^- ve SO_4^{-2} parametreleride ölçülmüştür. Deltada içme, kullanma ve yoğun sulama suyu olarak yeraltı sularının kullanılması, deniz suyu girişimine neden olduğunu ifade edilmiştir.

Yılmaz ve ark (2010), tarafından yapılan Akdeniz kıyılarındaki yeraltı sularının iz elementlerin seviyeleri 2007 Aralık-2008 Kasım ayları boyunca ölçülmüştür. B, Ba, Fe, Mg^{+2} , Pb, Zn, toplam krom (TCr), Cd, Cu, Al, ve Ni

ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm yapılan periyot boyunca hiçbir parametrede yüksek değerler ölçülmemiştir. B, Ba ve Fe dışında tüm parametreler 0,005 ppm'den düşük konsantrasyonlar kaydedilmiştir. Yüksek ölçülen bu üç elementin dışında bölgenin sulama ve içme suyu kullanımı açısından oldukça uygun olduğu tespit edilmiştir.

Karakoç ve ark (2011), Göksu Delta'sındaki zamansal değişimlerin belirlenmesi için Uzaktan Algılama Tekniklerini kullanmışlardır. Deltanın arazi örtüsü/arazi kullanımında meydana gelen değişimler uydu görüntüleri kullanarak tespit edilmiştir. Bu tespit için 1984, 1990, 2000 ve 2010 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Yapılan sınıflamalar sonucunda deltadaki doğal alanların 1990-2000 yıllarında artış gösterdiği buna karşın 2000-2010 yılları arasında azalış gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca Göksu deltası kıyı çizgisinin zamansal değişiminin belirlenmesinde araştırmışlardır. Bu çalışma için 1972, 1989, 1999 ve 2009 yıllarına ait Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler kontrolsüz sınıflama yöntemi ile önce 30 sınıfa ayrılmış, daha sonra bu sayı 2'ye (kara ve su) indirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda deltanın doğu kıyılarında ciddi bir kıyı erozyonu olduğu tespit edilmiştir. Son aşamada ise deltada bulunan sulak alanlar ile insanlar arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu incelemede delta ekolojisinde meydana gelen değişimlerin alanda yaşayan insanların kültürel etkinliklerini de doğrudan etkilediği sonucuna varılmıştır.

Helena ve ark (2000), İspanyadaki Pisuerga nehrinden seçilen 32 örnekleme noktasından toplanan su örneklerinde 16 parametre ile su kalitesi değişimini incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar korelasyon ve TBA ile yorumlanmıştır. İzlenen parametrelerde pH, NO_3^- ve iz elementler dışında SO_4^{-2} , Cl^- , Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} ve EI arasında güçlü bir ilişki gözlenmiştir. TBA sonucunda toplam varyansın %71,39 unu açıklayan temel beş faktör tespit edilmiştir. Birinci ve ikinci kümeler "minerallizasyon" etkisi ile diğer faktörler ise kirlilik göstergesi olarak ayrılmıştır. Toprak aşınması ile oluşacak doğal minerallizasyonun dışında çok yüksek seviyelerde ölçülen Na^+ ve Cl^- doğal olmayan (insan faaliyetleri) sebepler ile oluştuğu belirtilmiştir.

Reghunath ve ark (2002), Hindistan'da tropikal bir nehir havzası olan Nethravathi nehir havzasına ait 56 adet yeraltı suyu örneklerinde R-mode ve Q-mode

faktör analizi ve kümeleme analizlerini kullanarak yeraltı suyu kalitesini incelemişlerdir. R-mode analizi ile incelenen değişkenler, Q-mode analizi ile örnekler arasındaki ilişkiler tespit edilmiştir. R-mode analizi ile Eİ ve yeraltı sularının ÇKM, HCO_3^- , Na^+ ve Cl^- ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. R-mode analizi sonucunda yeraltı sularında baskın olarak doğal olmayan bir karışım veya yeraltı sularının farklı kısımlarından bir karışım olduğu belirtilmiştir. Hem Q-mode hemde R-mode kümeleme analizinde nehir suyu ile yeraltı suyu arasında bir etkileşim olduğu gösterilmiştir.

Liu ve ark (2003), Tayvan'daki yeraltı sularının kalitesini ve kirlenmenin sebeplerini araştırmak için 28 kuyudan alınan örneklerde 13 hidrokimyasal parametre için faktör analizi uygulamışlardır. Kuyulardaki toplam kalite değişimi %77,8 ile iki faktör ile açıklanmıştır; Eİ, ÇKM, Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , ve Mg^{+2} deniz suyu etkisi olarak faktör 1, As, alkalinite ve TOC'da faktör 2 olarak kümelendirilmiştir. Bu iki faktör aşırı pompalama ile yeraltı suyunun fazla çıkarılmasıyla ilişkilendirilmiştir. Arazideki çöküntüler ve deniz suyu girişimide aşırı pompalama ile açıklanmıştır. Aşırı yeraltı suyu çekimi fazla çözünmüş oksijene sebep verip, taşınamaz haldeki minerallerin oksitlenmesine, arsenikçe zengin indirgeyici demir oksitlerin çözünmesi ile As konsantrasyonunun artmasına neden olduğu vurgulanmıştır. Kıyı bölgesindeki yeraltı sularındaki tuzluluk ve As kirliliğinin başlıca sebebinin aşırı pompalama ile yeraltından su çekilmesi olduğu belirtilmiştir.

Love ve ark (2004), kanalizasyon veya tarımsal, madencilik faaliyetler ile kirlenmiş yeraltı suları ile kirlenmemiş yeraltı sularının özelliklerini ayırt etmek için faktör analizini uygulamışlardır. Örnekleme noktalarının farklılığı ile değişen hidrokimyasal parametreler arasındaki ilişkiyi maden faaliyetlerine yakın yeraltı suları ile şehir kanalizasyon sularına yakın yeraltı suları incelenmişlerdir. İlk aşamada kirlenmemiş yeraltı sularında Ca^{+2} , Mg^{+2} ve HCO_3^- , tarımsal faaliyetlerde K^+ ve NH_3^+ ve madencilik faaliyetlerinde ise Na^+ , Cl^- ve SO_4^{2-} baskın olduğu gruplar belirgin bir şekilde ayrılmıştır. İkinci aşamadaki faktör analizinde ise NO_3^- ve P kanalizasyon kirliliği ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda R-mode faktör analizi ile birlikte çok sayıdaki değişkenin altında yatan ortak değişkeni bulmak için faktör analizi ile birlikte klasik yöntemlerle de yeraltı su kalitesi

verilerinin incelenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Lambrakis ve ark (2004), hidrojeolojik, hidrokimyasal ve çevresel parametreler üzerinde çok bileşenli istatistiksel yöntemler (faktör, küme ve diskriminant analizi) uygulayarak NO_3 'ün akiferlerde dağılımını incelemiştir. Tarımsal faaliyetlerden kaynaklı (tarımsal gübre) NO_3 ve aynı kökenli SO_4^{-2} hidrojeolojik parametrelerin su kalitesi araştırılmasında önemli rol oynadıkları tespit edilmiştir.

Kim ve ark (2005), iki büyük nehir kolu ile çevrili Kore yarımadasında bulunan Kimje kıyı bölgesindenki 37 kuyudan 53 yeraltı suyu örneğinde hidrokimyasal analizler yapılmıştır. Temel amaçları, fiziko-kimyasal bileşimlerin değişkenli istatistiksel analiz yoluyla yeraltı suyu kalitesini etkileyen önemli faktörleri tespit etmektir. TBA sonuçları çalışma alanındaki yeraltı suyunu dört grup (A, B, C ve D) olarak sınıflandırılmıştır. Faktör analizi yeraltı suyu kompozisyonunun, 17 değişkenin toplam varyansın %81,9 açıklayan başlıca deniz suyu girişimi, mikrobiyal aktivite ve kimyasal gübreler olarak 3 faktörden etkilendiğini göstermişlerdir. Sonuçların, çalışma alanının coğrafi özellikleri ile ilişkili olabileceğini ifade etmişlerdir.

Ouyang (2005), Amerikanın Florida eyaletindeki St.Johns Nehrininden 22 istasyondan alınan su örneklerinde fiziksel, kimyasal ve biyolojik analizler yapılmıştır. Yüzey suyunun su kalitesini korumak ve iyileştirmek için izleme ağı geliştirmekteki önemli parametreyi bulmak için TBA ve faktör analizi uygulamışlardır. Nehir su kalitesinin yıllık değişimlerini değerlendirmede önemli olan istasyonlarda tespit edilmeye çalışılmıştır. Veri setinin yıllık değişiminin açıklanmasında 3 istasyonun daha az önemli olduğu ifade edilmiştir. TOC, DOC, TN, çözülmüş NO_3 ve NO_2 , orta-P, alkalinite, tuzluluk, Mg^{+2} ve Ca^{+2} nehirdeki su kalitesinin değerlendirilmesinde en önemli parametreler olarak ifade edilmiştir. Çalışmada TBA ve faktör analizinin yüzeysel su kalitesinin izlenmesinde, istasyon ve parametrelerin değerlendirilmesinde yararlı olduğu gösterilmiştir.

Abdul-Wahab ve ark (2005), kirletici elementler (CH_4 , CO, CO_2 , NO, NO_2 ve SO_2) ile meteorolojik (rüzgar hızı, sıcaklık, nemlilik ve güneş ışınları) değişkenlerin ozon tabakasına etkisini araştırmak için çoklu regresyon yapmış ve

temel bileşenler analizini (TBA) uygulayarak en çok etkili olan etmenleri ortaya koymuşlardır. Analiz sonunda birinci bileşenin toplam varyasyonun %36'sını, ikinci bileşenin %19'unu, üçüncü bileşenin %9'unu, bu üç bileşenin ise toplam varyasyonun %64'ünü açıkladığını ortaya koymuşlardır. Üç bileşenle çalışılmasını uygun bulmuşlardır. Birinci bileşen en çok katkıyı sağlama elementin ise NO olduğunu tespit etmişlerdir.

Ouyang ve ark (2006), 1998-2001 yıllarında St. Johns nehirin de 22 izleme istasyonlarından toplanan 16 fiziksel ve kimyasal parametreler için yüzey su kalitesi verileri analiz edilmiştir. Nehir su kalitesinin mevsimsel değişimleri değerlendirilmesinde en önemli parametreleri belirlemek için TBA, su kalite parametrelerinin mevsimsel korelasyonu değerlendirmek içinde faktör analizi tekniği kullanılmıştır. Analiz sonucunda DOC ve Eİ hariç bir sezon su kalitesi değişimine katkıda bulunan en önemli bir parametrenin, başka bir sezonun için önemli olmayabileceğini göstermişlerdir. DOC ve Eİ ise dört mevsimde de su kalitesi değişimlerinde daima önemli birer parametre olduğu ifade edilmiştir.

Papatheodorou ve ark (2006), Yunanistanın kuzeyindeki Pamvotis gölünün 4m derinliğinden 10 yıl boyunca toplanan fizikokimyasal parametreler ile su kalitesindeki değişimi istatistiksel olarak incelemişlerdir. R-mode faktör analizi ile göl kalitesinin buharlaşma, doğal girişimler ve antropojenik etkilerle ilişkili 6 ana faktöre bağlı olduğu gösterilmiştir. Ayırma analizi ile de göl sularında hidrokimyasal süreçlerde 4 ana parametre (Toplam fosfat, Na^+ , Mg^{+2} ve Ca^{+2}), %86 doğruluk ile zamansal değişimde etkin olduğu, %96 lık oran ile de NO_3^- 'nin önemli bir etken olduğu belirtilmiştir.

Shrestha ve ark (2007), Japonya'daki Fuji nehri havzasında 7 yıllık süre boyunca, 13 noktada 12 parametre için kümeleme analizi, TBA, faktör analizi ve ayırma analizi gibi çeşitli istatistiksel yöntemler ile su kalitesini incelemişlerdir. Hiyerarşik kümeleme analizi ile az kirli, orta kirli ve çok kirli olmak üzere bu çok değişkenli örnekler 3 gruba ayrılmıştır. Kümeleme analizinde bulunan bu 3 gruba uygulanana faktör analizinde sırası ile toplam varyansın %73,18, %77,61 ve %65,39'unu açıklayan 3 önemli faktör bulunmuştur. Az kirli sularda su kalitesi değişiminde organik kirliliğin noktasal kirlilik kaynağı olan evsel atıksu ve sıcaklık

ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Orta kirli sularda su kalitesi değişiminde nutrient kirliliğinin, noktasal kirlilik kaynağı olan evsel atık sular ve noktasal olmayan kirlilik kaynağı olan tarım ve bahçe atıklarından kaynaklı olduğu belirtilmiştir. Çok kirli sularda ise organik ve nutrient kirlilik kaynağı olarak yine noktasal kirlilik kaynağı olan kanalizasyon suları, evsel ve endüstriyel atık sular sayılmıştır. Sonuçları hem zamansal hemde mekânsal açıdan incelemek için ayırma analizi kullanılmıştır. Buna göre zamansal olarak inceleme yapıldığında %85 doğruluk ile ayırma analizi önemli 6 parametreye (akıntı, T, ÇO, BOİ, Eİ ve NO₃-N) indirgenmiştir. Mekansal incelemede ise %81 doğruluk ile ayırma analizi 7 parametre (akıntı, T, ÇO, BOİ, Eİ ve NO₃-N ve NH₄-N) tespit edilmiştir. Böylece, istatistiksel yöntemlerin çok değişkenli karmaşık verilerin yorumlanmasında, su kalitesi bakımından değerlendirilmesinde, kirlilik kaynaklarının zamansal ve mekânsal olarak etkisini anlamak için yararlı olduğu ifade edilmiştir.

Grassi ve ark (2007), İtalya'daki Cecina bölgesindeki yeraltı akifer sularının B, NO₃ ve deniz suyu girişimden etkilendiğini belirtmişlerdir. Yeraltı suyunun fazla pompalanması ile kıyı şeridi yaklaşık olarak 7 km kadar içeri girmiştir. Ca-Cl tipi sular ve katyon değişim reaksiyonlarının deniz suyu girişimi sebebiyle olduğu ifade edilmiştir. Bu olay çoğunlukla sığ bölgelerde görülmüştür. Bölgedeki tuzluluğunda yükseldiği ifade edilmiştir. B kirliliğinde 3,5 mg/L'den 1 mg/L'ye doğru azalan bir seyir görülsede, nispeten yüksek olan B konsantrasyonu nehir tarafından taşınan endüstriyel atıkların deşarjına bağlanmıştır. Bölgede derinlik ile oldukça düzenli bir şekilde azalan NO₃ konsantrasyonu sığ akiferlerde çökelme ve sulama faaliyetleri ile 300 mg/L ye kadar ulaşmıştır. Deniz suyu girişimi ile bölgede yeraltı suyu için yüksek NO₃ konsantrasyonu yoğun gübre kullanımı ile bağlantılı olduğu vurgulanmıştır.

Psychoyou ve ark (2007), hızlı kentleşmenin ve yoğun tarımsal faaliyetlerin olduğu Atinanın Marathon bölgesindeki 56 gözlem kuyusundan toplanan su örneklerinde yeraltı su kalitesinin değişimini incelemişlerdir. Kurak ve yağışlı dönemde olmak üzere 2 kez toplanan bu örneklerde, özellikle denize yakın noktalarda yüksek tuz yükü nedeniyle su kalitesinde şiddetli bir bozulmanın olduğu

vurgulanmıştır. Yoğun gübre kullanımı olan bölgelerde yüksek NO_3 konsantrasyonları gözlenmiştir.

Shrestha ve ark (2007), yapmış oldukları çalışmalarında, Fuji nehir havzasında 13 farklı bölgeden 12 su parametresini 8 yıl boyunca gözlemlemiştir. Su kalitesini belirlemek amacıyla incelemiş oldukları parametreleri değerlendirmek için kümeleme, TBA, faktör >ve ayırma analizi kullanmışlardır. Araştırmada kümeleme analizi uygulaması sonucunda 13 farklı bölge kirlilik yoğunluğuna bağlı olarak 3 küme içerisinde gruplandırılmıştır. Yapılan faktör ve TBA göre ise incelenen özelliklere ait toplam varyasyonun % 73,2'si ilk bileşen tarafından açıklanmıştır. Ayırma analizi sonucu olarak incelenen özelliklerde 6 tanesi bir grup, 7'si ise diğer grupta yer almış ve gruplara doğru atanma oranı ise % 85 olarak saptanmıştır.

Isen ve ark (2008), Ulubat gölünün yüzey su kalitesini yıl boyunca 12 örnekleme noktasından 20 adet su kalitesi parametresinin sonuçlarını istatistiksel yöntemler kullanarak yorumlamışlardır. Küme analizi fiziksel ve kimyasal özellikleri ile kirlilik seviyelerinde benzer özellik yansıtan iki farklı grup ortaya koymuştur. TBA ile toplam varyansın %77,35'ini açıklayan 3 faktör yapısı sorumlu olarak tanımlanmıştır. Toplam varyansın %32,34'ü 1. faktör olarak adlandırılan mikrobiyolojik faktör, %25,46'sı 2. faktör olarak adlandırılan organik besin faktörü ve %19,54'ü de 3. faktör olarak adlandırılan fizikokimyasal faktörlerdir.

Huang ve ark (2009), 4 büyük asya nehirlerinde suyu kirleten kirleticileri belirlemek için bir yıl süre boyunca kimyasal analizler yapmışlardır. Bu 4 nehirde de Ca^{+2} ve HCO_3^- baskın iyonlar olarak bulunmuştur. Ağır metaller (Cu, Co, Cr, Ni, Cd, Pb ve Hg) ile As ve NH_4^+ genel olarak düşük konsantrasyonlarda olduğu ifade edilmiştir. Analiz sonunda birinci bileşenin toplam varyasyonun %47'sini, ikinci bileşenin %12'ünü açıkladığını ortaya koymuşlar.

Bienfang ve ark (2009), Hawaiian sularında seçilmiş olan iz elementlerin (V, Mn, Ni, Fe, Co, Cu, Zn, Se, As, Mo, Cd, Pb, U) yakın kıyı (50 m), sahil (1,5 km) ve çevredeki kuyularda miktarlarını ve dağılımlarını incelemek için ölçümler yapmışlardır. Sahil sularındaki iz elementlerin konsantrasyonları kıyıdan çok kısa bir mesafe sonra azalmaktadır. Buda iz element kaynağının tarım ve şehirselleşmeyle ilişkilendirilmiştir.

kullanımdan gelen sular olduğunu göstermektedir. Ancak kuyu sularında trace element miktarı üzerinde ayırışmadan daha çok kuyu derinliği, redoks veya tuzluluk koşulları daha etkili olduğu gösterilmiştir.

Altın ve ark (2009), Porsuk çayının yüzeysel su kalitesinin mevsimsel değişimlerini değerlendirmek için 10 yıl boyunca tek bir örnekleme noktasından (Esenkara) toplanan su örneklerinde 29 parametre için faktör analizi ve TBA uygulamışlardır. Faktör analizi sonucunda, kış ve bahar aylarında su kalitesi değişiminden; mineral ve inorganik besinler ile organik ve mikrobiyolojik kirliliğin sorumlu olduğu belirlenmiştir. Yaz aylarında ise mineral kirliliğinin, sonbaharda ise mikrobiyolojik kirliliğin sorumlu olduğunu belirlemiştir. Bu çalışmada yüzey suyu kalitesi hakkında daha iyi bilgi almak, büyük ve karmaşık veri tabanlarının çok değişkenli istatistiksel analizler ile değerlendirmenin yararlılığını sunmuşlardır.

Zhao ve ark (2009), yüzey su kaynaklarının kalitesinin özelliklerini analiz etmek için, kümeleme analizi ve faktör analizi gibi çok değişkenli istatistiksel teknikleri Luan River, Çin yüzey suyu kaynağının verilerine uygulamışlardır. Kümeleme analizi sonucunda yıllık veriler mevsimsel özelliklere sahip 3 gruba ayrılmıştır. Kümeleme analizi Kuzey Çin'deki insan faaliyetlerinin mevsimsel özelliklerini yansıtmıştır. yüzey sularını güvenilir bir şekilde sınıflandırılmasında hiyerarşik kümeleme yönteminin etkili bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Faktör analizi kullanılarak 3 grup elde edilmiştir. 1. Faktör bulanıklığı ve antropojenik faaliyetleri (klorofil); 2. Faktör alkalilik ve yüzey suyunun doğal nitelikleri (sertliği) ve 3. Faktör mineral ve tarımsal faaliyetlerinden (Cl^- ve NO_2-N) oluşmaktadır. Bu 3 faktörün doğa ve beşeri unsurlardan kaynaklanan zamansal (mevsimsel) değişimler ile bağlantılı olduğunu göstermektedir.

Jiang ve ark (2009), tarımsal faaliyetin yoğun olduğu, karstik kayaçların baskın olduğu bir bölgede olan Nandong nehirinden 42 yeraltı suyu örneğinde analizler yapmışlardır. Sosyal ve ekonomik kalkınma, nüfus ve tarımın artması ile yeraltı suyunun kalitesinde bozulma olduğunu belirtmişlerdir. Bölgede antropolojik kirlenmenin artması ile yeraltı suyu kimyasında doğal olan $Ca-HCO_3$ ya da $Ca(Mg)-HCO_3$ 'dan; $Ca-Cl (+NO_3)$ ya da $Ca (Mg)-Cl(+NO_3)$ ve $Ca-Cl(+NO_3+SO_4^{-2})$ ya da $Ca(Mg)-Cl (+NO_3+ SO_4^{-2})$ tipi sulara dönüşmüştür. Bölgede NO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2} , Na^+ ve

K^+ konsantrasyonlarının artması, kanalizasyon atıkları ve gübre kullanımı sonucu kirlenmenin göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada yeraltı sularının kimyasal özelliklerinin araştırılması ve sistemdeki yeraltı suyu kalitesini etkileyen doğal ve antropojenik süreçleri ayırt etmek için R-mode faktör analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda yeraltı suyu kalitesine katkıda bulunan üç temel faktör elde edilmiştir (1- kanalizasyonatıkları, tarımsal gübre kullanımı gibi insan faaliyetlerinden kaynaklanan kirlilik 2- ana kayaçtan kaynaklanan kireçtaşı-dolomit arasındaki etkileşim 3- dolomit-dolomit sisteminden oluşan su-kayaç faktörleridir).

Jang (2010), yılında Tayvan'da hidrokimyasal analiz sonuçları çok değişkenli istatistiksel analizlerinden; faktör analizini ve diskriminant analizini kullanarak jeolojik kökenler arasındaki ilişkiyi karakterize etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmalarında Ca^{+2} konsantrasyonu yüksek ise nötür haldeki SO_4 içeren kayaçlardan ve dolomitleşme sürecindeki kayalardan kaynaklandığı belirtilmiştir. yüksek sıcaklık ile asit-sülfat içeren kayaçlardan gelen suların, yüksek SiO_2 ve düşük pH özelliğinde olduğu belirtilmiştir. Yüksek sıcaklıklar ile tortul kayaçlardan çıkan kaynak sularında ise Cl^- , HCO_3^- ve Na^+ konsantrasyonları düşük seviyelerde gözlemlendiği belirtilmiştir.

Tanrıverdi ve ark (2010), Ceyhan nehrinin yüzeysel su kalitesini değerlendirmek için 31 istasyondan 13 fiziko-kimyasal parametreyi değerlendirmek için toplanan 3 aylık veride çok değişkenli istatistiksel analizler yapmışlardır. TBA ile toplam varyansın %79,14 ünü 3 temel faktör ile açıklamışlardır. 1. Faktör; EI , $Ç.O$, NO_2^- , PO_4^{3-} , Cl^- , SO_4^{-2} , Na^+ , Ca^{+2} ; 2. Faktör; pH, NH_3^- ve Mg^{+2} ; 3. Faktör ise T ve NO_3^- den oluşmaktadır. Hiyerarşik gruplandırma ile de istasyonlar benzer özellik gösteren 3 gruba ayrılmıştır. İlk grupta yer alan istasyonlar, şehrin dışındadır. Bu istasyonların fiziko-kimyasal parametre konsantrasyonları yüksek ve $ÇO$ düşüktür. İkinci grup istasyonlar ise şehre yakındır. Evsel ve endüstriyel atıksu deşarjı ile yüksek kirlilik özelliği gösteren parametreler ortak bulunmuştur. Üçüncü grup ise evsel atıksu ile etkilenen istasyonlardan oluşmuştur. Çalışma sonucunda Ceyhan nehrine deşarj edilmeden atıksuların arıtılmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

Muhammad ve Husam (2011), Gazne şeridinin altındaki yeraltı sularının hidro-jeolojik özelliklerinin tespiti için 44 adet kuyudan 102 adet örneğin katyon ve anyon analizini yapmıştır. Yapılan analizler sonucunda kıyı bölgesindeki akiferlerde

deniz suyu girişimi olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar Anova ve korelasyon istatistiksel analiz metodları ile yorumlandığında, tuzlulukla ilişkili olan Cl^- , Na^+ , Mg^{+2} ve SO_4^{-2} arasında pozitif ve oldukça yüksek bir korelasyon (sırasıyla 0,982; 0,917; 0,683; 0,904) bulunduğu ifade edilmiştir. Anova analizi sonucunda analizi yapılan parametrelerin örnekleme noktaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık elde edildiği vurgulanmıştır ($p=0.05$).

Sherif ve ark (2011), 26 farklı gözlem kuyularından 245 su örneği yeraltı kalitesini değerlendirmek için 1989-2006 dönemi boyunca toplamışlardır. 2000 yılı öncesine kadar Umman Körfezi tuzlu su özelliğinde değilken, deniz suyu girişimi ile akiferlerin tuzluluk oranlarının arttığı belirlenmiştir. Kıyıda 8 km içeriye kadar deniz suyu girişiminin olduğunu tespit etmişlerdir.

Arslan (2011), Bafra Ovasındaki drenaj kanallarının su kalitesini çok değişkenli istatistiksel analizler kullanarak değerlendirmişlerdir. Hiyerarşik kümeleme, faktör analizi ve TBA uygulanmıştır. Aylık ortalama verilerden yararlanılarak yapılan hiyerarşik kümeleme analizinde sulama yapılan dönem ve sulama yapılmayan dönem olmak üzere 2 farklı dönem oluşmuştur. 7 adet drenaj kanalına ait 14 su parametresi ile yapılan hiyerarşik kümeleme analizinde drenaj kanalları tuzluluk seviyelerine göre 2 farklı gruba ayrılmıştır. Faktör analizi ve TBA ise toplam varyansın %90'ından fazlasını 3 temel bileşenle açıklanmıştır.

Chanpiwat ve ark (2011), Mekong Nehrinde, 6 örnekleme noktasında bir yıl boyunca iz element ölçümleri yapılmıştır. Analizlerin %46'sında As (III) (<0,5-278 mg/L) baskın olarak bulunmuştur. B, Ba, Mn, U ve Fe elementlerinde de kalite sınır değerlerini aştığı vurgulanmıştır. Bu kirleticilere TBA uygulanmış ve analiz sonunda birinci bileşenin Eİ, pH, tuzluluk, ÇKM, B ve Sr açıkladığını, ikinci bileşenin ise As (III), As (V) ve Fe açıkladığını saptamış.

Güler ve ark (2012), Mersin'deki Tarsus ve Deliçay kıyı havzasında 193 yeraltı suyunu ve 10 yüzeysel su örneklerini bir yıl boyunca 24 su kalitesi parametresi analizi yaparak incelemişlerdir. Ekonomik, ekolojik açıdan oldukça önemli olan bu verimli arazinin yeraltı sularının fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek, antropojenik aktivitelerin bölgeye etkisini değerlendirmek için TBA yapılmıştır. 4 temel küme ile toplam varyansın %73 açıklanmıştır. Su sınıflarını kimyasal

değişimlerine göre sınıflandırmada en önemli bu dört kümeden 1. küme (%28,8) su-kayaç etkileşimi ile nitrat kirliliği, 2. küme (%24,8) ise deniz suyu girişimi ile tuzlanma ve buharlaşmayla çözünme süreci, 3. küme (%12) jeolojik-antropojenik etkiler ile Cr, Fe ve Mn, 4. küme (%7,7) ise antropojenik Zn kirliliğinden oluştuğu belirtilmiştir.

Yusuf ve ark (2013), Afrika'nın en kalabalık ve yoğun sulak alanlarından olan Lagos şehrinde bulunan Anibire çayının su kalitesini değerlendirmek için çalışma yapmışlardır. Seçilen 7 noktadan toplanan su örneklerine 25 su kalitesi parametresi analizi yapılmıştır. Ölçümü yapılan iz elementlerden Cr > Fe > Mn > Zn > Ag > Cd bulunmuştur. Bölgenin pH 8,8 civarında tespit edilmiş ve yapılan kation ve anyon sonuçları sırası ile Ca^{+2} > K^{+} > Mg^{+2} > Na^{+} ve Cl^{-} > HCO_3^{-} > SO_4^{-2} olarak bulunmuştur. Faktör analizinden su kalitesi değişimlerinden sorumlu parametreler esas olarak toplam varyansın %81,83'ünü açıklayan iz metaller, mineral, inorganik besin ve organik kirlilik olduğu gösterilmiştir. Bu nedenle su kalitesi izleme ve antropojenik atıkların kontrolsüz olarak dereye bırakılmamasına ihtiyaç olduğu vurgulanmıştır.

Seanego ve Moyo (2013), Güney Afrika'daki Sand River'da belirlenen 8 noktadan su kalitesi analizi için su örnekleri toplayıp fiziksel ve kimyasal analizler yapmışlardır. Elde edilen sonuçların yorumlanması için hiyerarşik kümeleme ve TBA uygulamışlardır. Hiyerarşik kümeleme analizi ile 1. ve 2. örnekleme noktaları bir kümeyi diğer 6 örnekleme noktası ise yüksek P ve N konsantrasyonu ile ikinci bir kümeyi oluşturmuştur. Ayrıca uygulanan temel bileşen analizi ile 3 temel bileşen toplam varyansın %85'ini açıklamıştır. 1. Faktör toplam varyansın %54 ünü açıklamıştır. Bu bileşen grubunda atıksuları deşarjı ile yakından ilişkili olan N, P, Eİ, tuzluluk, T ve debi oluşturmaktadır. 2. Faktör grubu ise %20 varyansı açıklama oranı ile O_2 ve pH, 3. Faktör ise toplam varyansın %11'ini açıklama oranı ile derinlik olduğu belirtilmiştir.

Magyar ve ark (2013), Avusturya'daki Neusiedler See gölünde, 2000-2009 yılları boyunca 33 örnekleme noktasından toplanan su örneklerinde 13 kimyasal parametre ölçümü yaparak bölgenin su özelliklerini tespit etmeye çalışmışlardır. Elde edilen sonuçların yorumlanmasında kümeleme ve TBA'dan faydalanmışlardır.

Yapılan TBA toplam varyansın %57,6 ile iki temel bileşen ortaya konmuştur. Birinci bileşen %40,3 açıklayan Ca^{+2} dışında ölçümü yapılan iyonlardan oluşmaktadır. İkinci bileşen ise %17,3 toplam varyansı açıklama oranı ile organik madde oksidasyonu ve humik madde varlığı ile ilişkilendirilmiş pH ve CO_2 'den oluşmaktadır.

Moyo (2013), Zimbabve'de temel içme suyu kaynağı olan kuyulardan bir yıl süresince, 30 kuyudan örnekleme yaparak kimyasal ve mikrobiyolojik açıdan kuyu sularını incelemiştir. Yapılan çalışmada TBA istatistiksel analizi ile $ÇKM$, $Eİ$, Na^{+2} ve HCO_3^{-} , tüm örnekleme noktalarında su kalitesi değişiminde başlıca önemli parametreler olduğu ifade edilmiştir.

Qin ve ark (2013), Çin'de bulunan ekonomik, ekolojik ve endüstriyel açıdan oldukça önemli, alüvyonlu bir havza olan Liaohe Nehir deltasının yakınlarında bu 216 kuyudan bir yıl süre ile 15 su kalitesi parametresi ölçmüşlerdir. Liaohe Nehri deltası karmaşık yeraltı su hidrokimyasını yorumlayarak farklı su tiplerinin altında yatan doğal ve antropojenik süreçleri tanımlamak için TBA ve korelasyon analizi kullanılmıştır. Yapılan korelasyon analizi sonucunda SO_4^{-2} ile K^{+} ; SO_4^{-2} ile Na ; NO_2^{-} ile K^{+} ; SO_4^{-2} ile NO_2^{-} ve NH_4^{+} ile Cl^{-} arasında bulunan kısmen güçlü pozitif ilişki; bölgenin jeolojik formasyonuna, endüstriyel ve tarımsal faaliyetlere, deniz suyu girişimine, buharlaşma ve mineral çökmesi ile açıklanmıştır. Anaizi yapılan su kalitesi parametreleri toplam varyansın %82'si beş temel bileşen tarafından kategorize edilmiştir. Toplam varyansın %33'ünü açıklayan birinci bileşen kümesinde toplam sertlik, $ÇKM$, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^{-} ve Na^{+} deniz suyu girişimi yer almıştır. Toplam varyansın %24 açıklayan ikinci bileşen kümesinde ise $KOİ$, K^{+} , SO_4^{-2} ve NO_2^{-} kısmen sığ olan, iki nehrin yeraltı suyu ile karışıp denize döküldüğü ve gübre kullanımı olan noktalarda; %11 varyansın açıklandığı üçüncü bileşen kümesi pH ve HCO_3^{-} dan oluştuğu belirtilmiştir. Dördüncü bileşen kümesi yağış ve tarımsal gübre kirlenmesi ile toplam varyansın %8 NH_4^{+} ve NO_3^{-} oluşmaktadır. Beşinci bileşen ise anakayaçtan F^{-} zenginleştirmesi ile toplam varyansı %7 açıklama oranına sahip olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma LRP yeraltı suyu hidrokimyasal özelliklerinin varyasyonunun incelenmesinde hem doğal hem de antropojenik süreçlere dikkat gerektiğini göstermektedir.

Xing ve ark (2013), şehircilik, tarım ve sanayi açısından Kuzey Çin'in büyük ovalarından olan 50-600 m arasında değişen kuyulardan toplanan 130 yeraltı suyu analizleri yapmışlardır. Sığ kuyu örneklerinde endüstriyel ve tarımsal faaliyetler nedeniyle yüksek NO_3^- konsantrasyonları ölçülmüştür. Yine sığ kuyularda yeraltı akış yollu boyunca Na^+ ve Cl^- iyonlarında artış tespit edilmiştir. Sığ kuyularda tespit edilen bu üç gruptan birinci grupta, buharlaşma, F^- , halit çözünmesi, kalsit ve dolamittin çökmesi, iyon değişimi baskın mekanizma olarak gösterilmiştir. İkinci grup jeokimyasal prosesler ve üçüncü gruptaki kuyularda ise halit ve jips kayaçlarının çözünmesi, kalsit ve dolomittin çökmesi, buharlaşma, iyon değişimi ve SO_4^{2-} indirgenmesi baskın kimyasal reaksiyon olarak gösterilmiştir. Derin kuyulardan alınan örneklerde ise Ca^{+2} ve Mg^{+2} azalırken, Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- ve ÇKM'de artış olması aşırı yeraltı suyu kullanılması ile açıklanmıştır.

Han ve ark (2013), içme suyu olarak yeraltı suyunu kullanan Yinchuan Plain alanında yaşayanların As elementine mağruziyetlerini azaltmak için araştırmalar yapmışlardır. As'in yeraltı suyunda, kuyu sularında ve sedimentlerde taşınımını ve kaynağını araştırmak için örnekler incelenmiştir. Özellikle alansal olarak As konsantrasyonunun değiştiği gözlenmiştir. Derin yeraltı sularında (40-250 m) As konsantrasyonu 10 mg/L, sığ sularında (4-40 m) ise 1mg/L'den fazla ölçülmüştür. Sedimentlerde As içeriği ortalama 49,8 mg/g ile 3,7 mg/g arasında ve Cu, Fe_2O_3 , Mn, Ba, Zn, F^- ve organik C düzeyleri ile pozitif korelasyona sahip olduğu görülmüştür. Sığ yeraltı sularında konsantrasyonların büyük ölçüde sulama tarafından değişen su seviyeleri ile ilişkilidir olduğunu saptamışlardır.

Moyo (2013), Zimbabwe'de yeraltı sularından bir yıl süre ile kimyasal ve mikrobiyolojik analizler yapmıştır. Örnek alınan üç farklı nokta için ayrı ayrı ölçümü yapılan değişkenler arasında çoklu bağlantı olup olmadığını test etmiş ve çoklu bağlantı olanları ayırt etmiştir. Yapılan tüm analizlerde TBA göstermiştir ki, ÇKM, Eİ , Na^+ ve HCO_3^- yeraltı su kalitesinde büyük öneme sahiptirler. Su sertliğinde Ca^{+2} , Mg^{+2} ve HCO_3^- ile ilişkili olduğu vurgulanmıştır.

Seanego ve Moyo (2013), Güney Afrikadaki Sand nehri deltasında 8 noktada fiziko kimyasal ve biyolojik analizler yapılmıştır. Alınan su numunelerinde sulama suyu amaçlı kullanım için su kalitesinin giderek kötüleştiği tespit edilmiştir.

Hiyerarşik kümeleme analizinde 2 küme gruplandırılmıştır. TBA sonunda birinci bileşenin toplam varyasyonun %54'ünü, ikinci bileşenin %20'sini, üçüncü bileşenin %11'ini, bu üç bileşenin ise toplam varyasyonun %85'ini açıkladığını ortaya koymuşlar ve üç bileşenle çalışılmasını uygun bulmuşlardır. Birinci bileşene en çok katkıyı sağlaya faktörlerin ise TN, TP, Eİ ve tuzluluk olduğunu tespit etmişlerdir.

Magyar ve ark (2013), 33 örnekleme alanından ve 9 yıl boyunca toplanan 13 temel kimyasal ve bazı mikrobiyolojik analizler yapmışlardır. Yapılan hiyerarşik kümeleme analizinde 2 küme ayırt edilmiştir. Bir küme pH ve ÇO ile tüm iyonların oluşturduğu (ort: 0,29) ve ikinci küme ise NO₃-N, NH₄⁺-N, TP ve klorofil-a'nın (ort: 0,55) oluşmaktadır. Ölçülen 13 özellikten hangilerinin toplam varyasyonu daha iyi açıklayacağını tespit etmek için TBA uygulamışlardır. Uygulama sonunda ilk bileşenin toplam varyasyonun %43,8'sinin, ikinci bileşen ise %18,6'sını açıkladığı belirlenmiştir. Böylece ilk bileşen için iyonlar ikinci bileşeni ise TP ve Ca⁺² ve ÇO fazla katkıya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Palma ve ark (2014), Portekizdeki Guadiana nehir havzasında bir yıl boyunca 5 farklı noktadan su sediment örneklerinde pH (6,3-9,6), ÇO (39-253mg/L), Eİ (129-664 µS/cm), Cl⁻ (5,43-130,58 mg/L), TP (<0,003-0,241 mg/L), TN (0,14-3,07 mg/L), NH₄⁺-N(<0,01-0,42 mg/L), NO₃-N(<0,04-12,79 mg/L), NO₂-N(<0,01-0,31 mg/L), KOİ (<1,7-172,8 mg/L), BOİ(1-14,5 mg/L), Fe(<0,013-2,21 mg/L), Mn(<0,001-0,34 mg/L), ve As (<0,0012-0,01 mg/L) analizleri yapmışlardır. Kirliliğin çiftlik ve tarımsal faaliyetler gibi benzer kaynaktan olduğu ve nehirde ötrifikasyon artışı olduğu belirtilmiştir. Yapılan analizlerden elde edilen verilere temel bileşenler analizi ve kümeleme analizini uygulamışlardır. Araştırmacılar, kullandıkları yöntemlere göre tahmin edilen birinci bileşen %30, ikinci bileşen %18, üçüncü bileşen %9 ve dördüncü bileşen %8'i yardımı ile toplam varyansın %59'unu açıklamışlardır. Buna ek olarak, açıklanmış varyansın yüzdelere bağlı olarak gruplar arasındaki homojenliği ortaya koymak için kümeleme analizi uygulamışlardır. Birinci ve ikinci bileşenler yüksek oranda yoğun tarım ve madencilik faaliyetleri gibi insani kaynaklı faaliyetlerinden kaynaklanabileceği tespit edilmiştir.

Xiao ve ark (2014), verimli arazi olan Tarım River Havzasında 21 element

57 nehirde ve 20 kuyu da toplanan örneklerde analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, bu alandaki sular alkali ve yüksek ÇKM içeriğine sahiptir. Kuyu su örneklerin %76'sı tuzludur. Ölçülen elementlerden Sr, B, Al, Li, Fe, Ba ve Mn baskın olarak bulunmuştur (>10 mg/L). Ti, Pb, As, Ni, Cu, Zn, V ve Cr ise 10-0,1 mg/L civarında, Sn, Cd, Tl, Co, Sb ve Ga ise düşük konsantrasyonlarda ölçülmüştür ($<0,1$ mg/L). Nehirin güneyi ve ortasında yüksek iken kuzey kısmında düşük değerler ölçülürken, kuyu numunelerinde daha yüksek iz elementler gözlenmiştir. TBA analizi B, Li, Sr, Co, Cd ve Tl tuzlu kayaçların ayrışmasından, Ni, Cu, Zn, Sn ve Ga ise madencilik faaliyetlerinden kaynaklandığını göstermiştir. WQI göre Tarım River Basenindeki suların %79 çok iyi, iyi veya içmeye uygun su grubuna girmiştir. Ancak, kuyu sularında ve nehir sularında yüksek B, F⁻ ve sertlik içeriği insan sağlığını tehdit edebilir düzeyde bulunmuştur.

Jabeen ve ark (2014), sanayisi gelişmiş olan Pakistan'ın Haripur havzasında yüzeysel ve zemin sularında ağır metal ve iz elementler (Cd, Cr, Cu, Pb, Fe, Ni, Zn, Co, Mn, As ve Hg) ile fiziksel parametreler (pH, ÇKM, El) 98 noktada ölçülmüş ve WHO standartlarına göre içme suyu olarak özellikleri değerlendirmişlerdir. Yüzeysel sularında metal konsantrasyonları sırası ile Fe > Mn > Zn > Ni > Pb > Co > Cr > Cu > Cd > As > Hg olarak ölçülmüştür. Zemin sularında ise Zn > Fe > Pb > Mn > Cr > Cu > Ni > Cd > Co > As > Hg olarak bulunmuştur. Pb dışında WHO nun içme suyu standartlarını tüm metaller sağlamaktadır. Pb kirlenmesinin ve aynı zamanda zemin sularına kıyasla yüzeysel sularında metal konsantrasyonlarının nisbeten daha yüksek çıkmasında sanayiden kaynaklı olduğu gösterilmiştir. TBA analizinde yeraltı sularında dört, yüzeysel sularında beş bileşen tanımlanmıştır. Mn, Cu, Pb, Hg ve Ni arasında önemli derecede korelasyon bulunmuştur. Hem yüzeysel hemde zemin sularında yüksek metal konsantrasyonu insan kaynaklı (anthropojenik) olduğu gösterilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

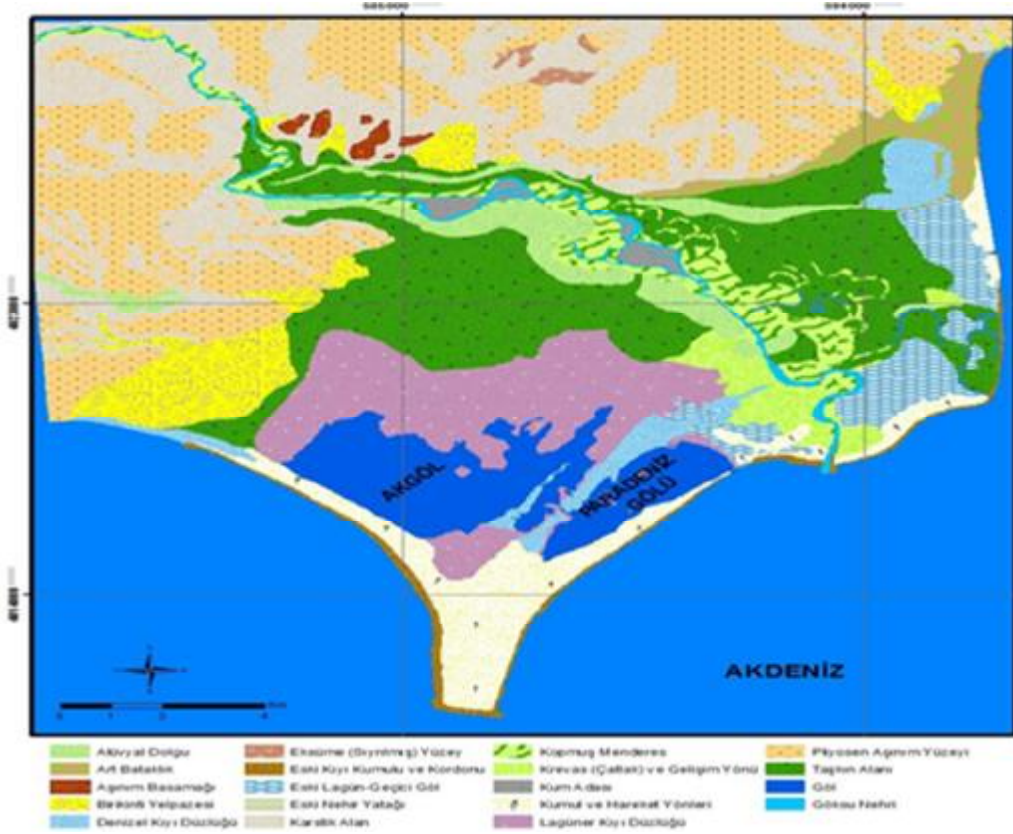
3.1.1. Çalışma Alanı

Göksu Delta'sı, Orta Torosların eteğinde bulunan İçel il merkezinin yaklaşık 85 km batısında, Akdeniz'e dökülen Göksu ırmağının taşıdığı alüvyonların oluşturduğu bir kıyı ovasıdır. Delta, sahip olduğu göller, sazlıklar, tuzlu bataklıklar, kumsallar, önemli kuş türleri ve diğer canlı türleri açısından ve sahip olduğu koruma statüleri nedeniyle de Türkiye için son derece önemlidir. Sulak alanlar, doğal olaylar ve insan etkilerine maruz kalan alanlardır. Deltanın sahip olduğu zengin biyoçeşitlilik ve koruma statüleri ile bu zenginliğin korunması ve kullanılması ya da sürdürülebilir kullanımı için 1999 tarihinde Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi Yönetim Planı hazırlanmıştır (Gürkan ve ark,1999).

Göksu Delta'sı, sahip olduğu doğal, tarihi ve kültürel değerlerinin korunması ve gelecek nesillere aktarılmasının güvence altına alınması amacıyla aşağıda verilmiş olan koruma statülerine sahiptir.

- 1) 1989 yılında Orman Bakanlığı Milli Parklar Av ve Yaban Hayatı Genel Müdürlüğü tarafından Akgöl ve Paradeniz lagünlerini için alan 4.350 ha'lık saha "Yaban Hayatı Koruma Sahası" olarak,
- 2) 2 Mart 1990 tarihinde 236 km²'lik bir bölümü "Özel Çevre Koruma Bölgesi" olarak,
- 3) 1994 tarihinde yürürlüğe giren "Ramsar" (Özellikle Su Kuşları Yaşama Ortamı Olarak Uluslararası Öneme Sahip Sulak Alanların Korunması) Sözleşmesi gereğince alanın 6.850 ha'lık bölümü Ramsar Listesine (Çevre Bakanlığı, 2000) dahil edilmiştir,
- 4) Delta, 12.02.1996 yılında Kültür Bakanlığı Adana Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nun kararı ile alan "I. derece doğal sit" alanı olarak,

- 5) Ayrıca yaban hayatı açısından çok zengin olan Göksu Deltası "Uluslararası Kuşları Koruma Derneği Konseyi" (ICBP) tarafından Avrupa ve Ortadoğu'nun önemli kuş cennetlerinden biri olarak, belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Göksu Deltası jeomorfoloji haritası (Keçer, 2001)

Alanın sahip olduğu en önemli nehir Göksu Nehri olup, Seyhan ve Ceyhan Nehirleri'nden sonra Akdeniz'e dökülen akarsuların en önemlisidir. Nehir, Taşeli Platosundan doğar ve Toros dağları boyunca derin bir kanyondan akar. Taşeli yaylalarından geçerek ve Geyik dağlarının sularıyla beslenerek Akdeniz'e dökülür. Göksu Nehri'nin denize döküldüğü yerin batısında iki büyük göl yer almaktadır. Bunlardan biri denizle irtibatlı ve kum setiyle denizden ayrılan tuzlusu gölü olan, 400 ha'lık Paradeniz Lagünüdür. Diğeri ise daha çok tatlı su gölü karakteri taşıyan 1.200 ha'lık alana sahip Akgöl'dür. Diğeri önemli sürekli göller ise, bir dolgu lagünü olan ve Akgöl ile Paradeniz arasında yer alan Kuşu gölü, Paradeniz'in doğusundaki aşırı tuzlu Arapalanı gölüdür (Çevre Bakanlığı, 1998). Göksu Nehri'nin drenaj alanı

10.400 km²'dir. Uzunluğu 260 km ve ortalama akımı 3671 hm³/yıl'dır. Göksu Nehrine; Hadim İlçesinin kuzey-doğusundan Ilısu, Mut İlçesinin yakınındaki Ermenek Çayı, kuzeyinden Pirinçsuyu ve güneyinden Kurtsuyu kolları katılır. Göksu Nehri, Göksu Delta'sını ikiye bölerek denize ulaşmaktadır. (Çevre Baş Müh.İrfan ARSLANKURT, 2008, DSİ, 6. Bölge Müdürlüğü).

Göksu Deltası biyoçeşitlilik açısından oldukça zengin bir alandır. Deltadaki flora ve fauna son derece önemlidir. Deltadaki farklı habitatlara (Lagünler, tuzcul sulak alanlar, drenaj kanalları vs.) göre bitki örtüsü de değişiklik göstermektedir. Delta faunasına genel olarak bakacak olursak, Türkiye'deki sulak alanlarda bulunan 450 kadar kuş türünün 332'sini içermektedir. Ayrıca Türkiye'deki 140 uluslararası öneme sahip kuş türünün 106'sı; dünya çapında yok olma tehlikesi altındaki 24 kuş türünün de 12'si deltada bulunmaktadır. Akdeniz Foklarının yanı sıra, su samuru, porsuk gibi memeli hayvanlarla, sürüngenler delta'da barınmaktadır. Delta, deniz kaplumbağalarının da üreme alanlarındandır.

Batı Paleartik ve Afrika arasında her yıl hareket eden milyonlarca göçmen kuş türünün üç büyük göç yolundan ikisi Anadolu üzerinden geçmektedir. İkiyüzbinden fazla yırtıcı kuş Doğu Karadeniz Bölgesinden Anadoluya giriş yapar, Çoruh Nehri üzerinden geçerek Doğu Anadolu'daki sulak alanlara yayılırlar. Türkiye'den geçen bu göç Batı Paleartik Bölgesinin en büyük yırtıcı kuş göçüdür. Boğaziçi göç yolu, Türkiye'de Karadeniz'in batısından Trakya'dan başlar ve Boğaziçi üzerinden geçerek kuzeybatıdan güneye doğru Anadolu'yu izler. Bu rota ile 250 binden fazla leylek, 500'lü gruplar halinde dünyanın görülmeye değer en büyük kuş hareketlerinden biri olarak, Anadolu üzerinden geçer. Ülkemiz ağırlıklı olarak yarı kurak bir özellik gösterdiğinden Anadoludaki sulak alanlar bu göçmen kuşların pek çoğu için hayati öneme sahiptir. Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi olduğu için doğal değerler açısından ülkemizdeki önemli sulak alanlar arasında seçkin bir yeri vardır.

Göksu Deltası özellikle Ramsar sözleşmesinin kriterlerinin bir çoğunu kapsadığı için 1994 yılında Ramsar alanı statüsüne sahip olmuştur. Ramsar Sözleşmesine göre, bir defada barındırdığı 25.000'in üzerinde kuş varlığı dikkate alındığında "A" sınıfı sulak alan niteliğindedir. Yüksek koruma önceliğine sahip kuş

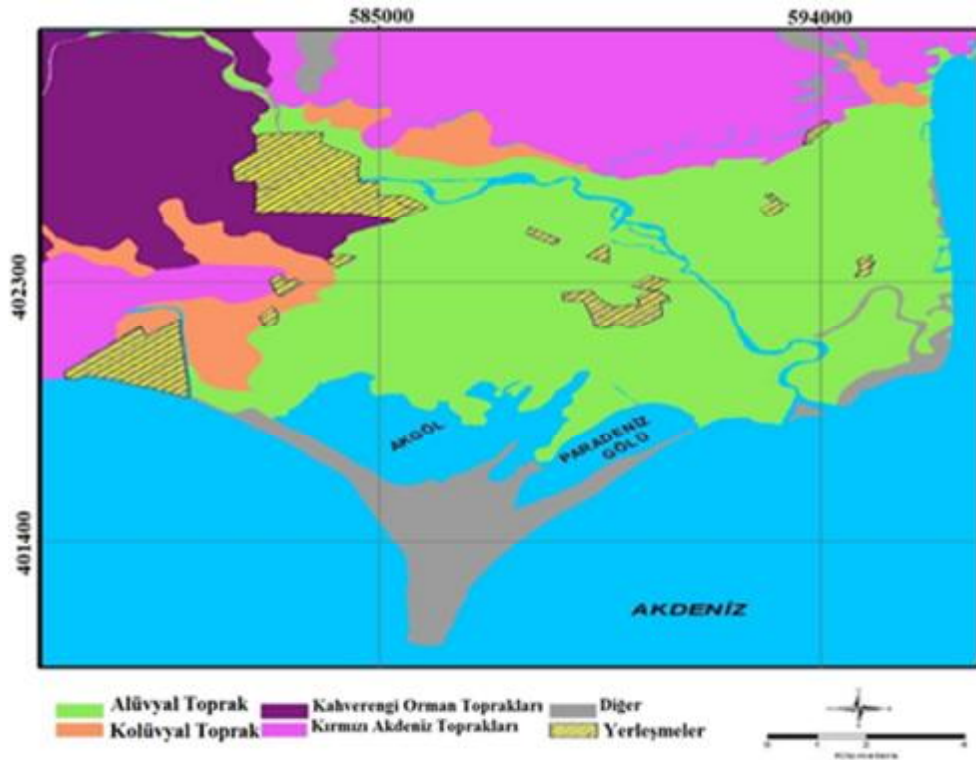
türünün Göksu Deltası'nında, çeşitli şekillerde beslenme, kışlama, üreme gibi amaçlar için kullanıyor olması alanın koruma potansiyelini ve önceliğini vurgulamaktadır. Göksu Deltası ve çevresi, Türkiye genelinde yapılan bilimsel çalışmalar doğrultusunda endemik, nadir, nesli tehlike altında olan türlerin bulunduğu, genetik çeşitliliğin tespit edildiği, bitki açısından önemli türleri barındıran Önemli Bitki Alanı olarak tespit ve ilan edilmiştir. Göksu Deltada'sında 8'i endemik, 32'si nadir ve tehlike altında toplam 442 bitki türü tespit edilmiştir. Deltadaki bitki türlerinin sayısı ve korunmuşluk durumları ile ilgili olarak eldeki bilgiler her geçen gün değişmektedir. Biyoçeşitlilik açısından zengin olan delta 17 deniz kablumbağası için üreme alanından biridir. Türkiye'de görülen 450 kuş türünden 328'i Göksu Deltasında görüldüğü ve bu türlerin birçoğunun hassas ve tehlike altında olan kuş türleri olduğu belirtilmektedir (Mersin İl Çevre Durum Raporu, 2011). Göksu Deltası bu özelliklerinden dolayı doğallığını hala koruyabilmiş Önemli Doğal Alan olarak tespit ve ilan edilmiştir.

3.1.2. Topografik Özellikler

İçel ili Silifke ilçesi sınırları içerisinde, Ortadoğu ve Avrupa'nın en önemli sulak alanı olan Göksu Deltası, Mersin il merkezinin 85 km batısında Mersin iline bağlı Silifke ilçesinin güney kenarında 33° 17' Kuzey, 35° 59' Doğu koordinatları arasında yer almaktadır. Delta, irili ufaklı birçok göl, lagün ve bunların çevresinde yer alan geniş sazlık, çayırılık, step ve tarım alanları ile kumullardan oluşmaktadır. Göksu Deltası toplam 22615 ha'lık bir alanı kapsamaktadır. Bu alanın 15000 ha'ı kara yüzeyi, 7615 ha'ı su yüzeyinden oluşmakta ve deltada yükselti 0-5 m arasında değişmektedir (Çevre Bakanlığı, 1998).

Nehrin su toplama havzasında, kalkerin hakim olmasından dolayı delta toprakları kireç açısından zengindir. %40-50 oranında kireç içeren delta toprakları, siltli, killi-tınlı tekstüre sahiptirler (Özus ve ark, 1991). Toprakların pH derecesi yaklaşık %8-9 arasında değişir. Deltanın kuzey batısındaki yüksek alanlarda kahverengi orman toprakları yoğunlaşmıştır. Bu topraklar tipik orman toprağı özelliğinde olup, kuru tarım ve meyve yetiştiriciliğine uygundur. Kırmızı Akdeniz

toprakları ise deltanın batısında, kuzeyinde, yüksek arazilerde ve kristal kireç taşları üzerlerinde oluşmuştur. Buldukları iklime uyabilen her türlü kültür bitkisinin yetiştirilmesine olanak veren alüvyon topraklar, deltadaki tarımsal faaliyetler için hayati öneme sahiptir (Karagöz, 2007). Çalışma alanının güney ve güney doğusunda kalan ve akdenize kadar devam eden sahalarda görülen toprak çeşidi Hidromorfik Tuzlu Alüvyon topraklardır. Bu tür topraklar bünyesinde sodyum tuzu da ihtiva ettikleri için, tuzluluk oranı %2,75 dir. Geçirgenlikleri ise az veya hiç yoktur. Bu topraklar ziraata fazla elverişli değildir.



Şekil 3.2. Göksu Deltasında bulunan büyük toprak grupları

1994 yılında Göksu Delta'sındaki sahil ve kum tepelerinden alınan toprak örneklerinde yapılan analizlerde, %67,7-%91,4 oranında kum içeren kumlu, kumlu killi tın ve tınlı kum bünyelerine sahip olduğu görülmüştür (Özer, 2008). Alandan alınan toprak örneklerinin genelinde azot miktarları oldukça düşük çıkmıştır. Alan topraklarında tuz miktarının ise yaza doğru arttığı belirtilmiştir.

3.1.3. Jeolojik ve Hidrojeolojik Özellikleri

Toroslardan doğarak Silifke ilçesi'nden Akdeniz'e dökülen Göksu Nehrinin taşıdığı alüvyonlarla oluşan Göksu Deltası, bereketli toprakları, zengin bitki ve hayvan varlığı ile yüz yıllarca birçok medeniyete ev sahipliği yapmış, nesilden nesile var olmuştur. Göksu Havzası, 17 Numaralı "Doğu Akdeniz Hidrojeolojik Havzasında" yer alır. Yaklaşık 10.400 km²'lik drenaj alanına 15000 ha'lık ova alanına sahiptir. Göksu Deltası'nın toprak verimliliğinin, yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının kullanılabilme durumunun sürdürülebilirliğini sağlamak için, bu bilimsel çalışmadaki kalite parametreleri ve sonuçları faydalı olacaktır.

Göksu Havzasının ana akarsuyu Göksu Nehri'nin drenaj alanı 10.400 km²'dir. Nehrin uzunluğu 260 km, yıllık taşıdığı su miktarı 3,671 milyon m³'dür. Bu su miktarının bir bölümü nehir yatağından sızarak deltadaki yeraltı su katmanlarını besler. Buna ilave olarak sulama kanalları 600 milyon m³'lük suyu deltaya taşımaktadır.

Çizelge 3.1. Alandaki Belirli Bazı Habitatların Büyüklükleri (Gürkan ve ark,1999)

Arazi	(ha)
Resmi kayıtlara göre sulanan tarım arazisi	6800
Gayri resmi olarak sulanan tarım arazisi	1350
Kumul ve kumsallar	2000
Geçici tuzlu bataklıklar/çeltik tarlaları	2988
Göksu Nehri ve eski nehir yatakları	300
Akgöl (göl aynası, sazlıklar)	802
Paradeniz Lagünü	602
Turna Gölü ve Cırba'nın bir bölümü	92
Arapalanı Gölü	70
Kuşu Gölü	54
Fiyat Gölü	50
Sazlı göl	80

Göksu Deltası'nıdaki belirli habitatların büyüklükleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Bu genel dağılımdan görülebileceği gibi bölgenin büyük bir kısmının 6800 ha tarım faaliyetleri için ayrıldığı açık bir şekilde sunulmaktadır. Verimli tarım topraklarının yayılım oranının yüksek olduğu deltada, gayri resmi olarak sulanan tarım arazisi yaklaşık 1300 ha alanı kapsamaktadır. Bu oran bölgede kayıt dışı sulama yapıldığını net bir şekilde yansıtmaktadır. Bu da tarım arazilerinin tuzlanma gibi sebepler ile tahribinin önlenmesi için planlanan sürdürülebilir arazi yönetimine gerçekçi olarak yaklaşılmasını zorlaştırmaktadır.

3.1.3.1. Bölgedeki İnsan aktiviteleri

Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi, 2 Mart 1990 tarih ve 20449 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Bakanlar Kurulu Kararı ile tespit ve ilan edilmiştir. İlan edildikten sonra, Delta'da en uygun arazi kullanımını öngören 1/25.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı 17.05.1991 tarihinde onaylanarak yürürlüğe girmiştir. 228 km²'lik Göksu deltası Özel Çevre Koruma Bölgesinde yukarıda bahsedilen plan çerçevesinde kontrollü hassas zon, tarım alanları, imarlı bölgeler, kırsal yerleşim alanları, turizm yerleşme alanları, günübirlik alanlar ve kumsal alanlar tespit edilerek bu bölgenin korunması ile ilgili yasak ve sınırlamalar belirlenmiştir.

3.1.3.2. Arazi Kullanım Özellikleri

Tarımsal faaliyetler için sahip olduğu uygun koşulları nedeniyle Göksu Deltası'nda yoğun tarımsal faaliyet sürmektedir. 1940'lardan önce tuzlu bataklıklar ve meydana gelen taşkınlar nedeniyle tarımsal faaliyetlerin kısıtlı olarak yapılabilmekteydi. Ancak delta alanına 1940'ların başında birtakım müdahalelerde bulunulmuştur (Karaömerlioğlu, 2007). Göksu nehrinin akış yolu değiştirilerek Cırba mevkiinden bugünkü yatağına alınmıştır. Böylece taşkınları engellemek ve tarım arazisi kazanımı gerçekleştirilmiştir (Yıldırım ve ark., 2009). Birçok sulama kanalı açılarak delta arazileri sulanabilir tarım arazilerine dönüştürülmüştür. Ancak sulama

ve drenaj projeleriyle taşkınlar önlenememiştir. 1992 yılında Göksu nehri üzerine kurulan Gezende barajının faaliyete geçmesiyle taşkınlar büyük oranda azalmıştır (Karaömerlioğlu, 2007) (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Göksu Nehir yatağında meydana gelen değişim (Kaynak:Google Earth)

Delta'da en uygun arazi kullanımını öngören 1/25.000 ölçekli Çevre Düzeni Planı 17.05.1991 tarihinde onaylanarak yürürlüğe girmiştir. Bu plan çerçevesinde; kontrollü hassas zon, tarım alanları, imarlı bölgeler, kırsal yerleşim alanları, turizm yerleşme alanları, günübirlik alanlar ve kumsal alanlar tespit edilerek bu bölgenin korunması ile ilgili yasak ve sınırlamalar belirlenmiştir. 1990 yılında Göksu Deltası "Özel Çevre Koruma Bölgesi" olarak ilan edilmiştir. Deltada yer alan Akgöl ve Paradeniz lagünlerini içine alan 4350 ha saha ise "Yaban Hayatı Koruma Sahası" ilan edilerek, kaçak ve usulsüz avcılık kontrol altına alınmıştır. Göksu Deltası Ramsar Alanı, uluslararası öneme sahip 9 sulak alan kriterinden 3'ünü (2, 3, 4) karşılamaktadır. Göksu deltası, uygun iklim koşulları, farklı habitatları ve zengin besin varlığı ile değişik türden çok sayıda su kuşuna üreme, beslenme, kışlama ve konaklama olanağı sağlar.

Deltanın sahip olduğu zengin biyoçeşitlilik ve koruma statüleri ile bu zenginliğin korunması, kullanılması ve sürdürülebilir kullanımı için 1999 tarihinde Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi Yönetim Planı hazırlanmıştır (Gürkan ve

ark, 1999). Yönetim Planı, alanın bir nevi anayasası niteliğinde olup, sulak alanın genel koruma ve kullanım ilkelerini belirlemektedir. Yönetim planı için öngörülen beşer yıllık süre aralığında uygulamada karşılaşılan sorunlar ve bölgeye ilişkin yapılan yeni bilimsel çalışmalar ve elde edilen yeni verilerin değerlendirilmektedir.

Sulak alanların korunması ve akılcı kullanımı ile ilgili en büyük araçlardan biri de stratejidir. Türkiye, sulak alanlar ile ilgili ilk stratejisini 2002 yılında hazırlamış ve 2003 yılında uygulamaya koymuştur. 2009 yılında mevcut strateji gözden geçirilmiş ve ulusal ihtiyaçlar da göz önünde bulundurularak 2011-2015 Ulusal Sulak Alan Stratejisi hazırlanmıştır.

3.1.3.3. Tarım ve Hayvancılık

Göksu Deltası'nda 1972 yılında DSİ tarafından tamamlanan I. Merhale projesi ile 5860 ha'lık alanda sulama ve drenaj sistemlerinin devreye girmesi, deltada ürün deseninin ve üretim şeklinin değişmesine neden olmuştur. I. Merhale projesinden önce bölgede yoğun olarak buğday, arpa, çeltik, susam, yerfıstığı gibi ürünlerin tarımı yapılırken proje sonrası narenciye, çilek, turfanda sebze, bakla, mısır, bostan gibi ürünlerin tarımı yapılmaya başlanmıştır (Yıldırım ve ark, 2009). Tarıma elverişli alanlarda iki tip tarım yapılmaktadır. Bunlar; sebze ve meyve üretiminin yapıldığı alanlar ile pamuk ve buğday tarımının yapıldığı alanlardır. Doğal su kaynakları bakımından oldukça zengin olan yörede sulu tarım oldukça gelişmiştir. Sulu tarımın yapıldığı kıyı şeridinde tahıl ürünleri yanında, yoğun olarak pamuk, çeltik, susam, yerfıstığı, çilek, turunçgiller ve sebze yetiştirilmektedir (Demirel, 2008). Sulanabilen alanlarda ilk ürün olarak buğday hasadından sonra, çeltik, susam ve yerfıstığı dönüşümlü olarak ekilmektedir. Bahçe tarımı içerisinde, yaş ve turfanda sebze üretimi yapılmaktadır. Meyve tarımında, en önemli ürün limon, ikincisi ise çilektir. Ayrıca az da olsa portakal, şeftali ve nar üretimi de yapılmaktadır.

Göksu Deltası'nın iklimi ve toprak yapısının çok çeşitli tarım ürünlerinin yetişmesinde olumlu rol oynamasından dolayı iki yıla yakın bir süre içinde beş ürün alınabilmektedir. Göksu Deltası'nın bu yapısı bir yandan buğday, arpa gibi kara

iklimi bitkilerinin, bir yandan yerfıstığı, çeltik, susam, bakla, zeytin, çilek, böğürtlen, turunçgiller, turfanda sebzeler gibi sıcak iklim bitkilerinin yetişmesine olanak vererek çok zengin tarımsal yapı oluşturur. Delta'da Akdeniz ikliminin bütün ürünleri yetiştirilebilmektedir. Sonyıllarda kazanç oranı yüksek olduğu için çilek birinci tercih konumundadır. Domates en yaygın olarak yetiştirilen ürün olmasına karşın, kazanç oranı çileğe kıyasla daha düşük olduğundan ikinci tercih konumundadır. Delta çilek üretiminde Akdeniz bölgesinde yaklaşık %50, limonda ise yaklaşık %6'lık bir paya sahiptir. Susam, yerfıstığı, çeltik ve mısır ikinci ürün olarak ekilmektedir (Karagöz, 2007). Tarım, deltada yaşayanların %80'den fazlasının gelir kaynağıdır.

Geçmişte Göksu Deltası'nda büyük öneme sahip olan hayvancılık faaliyetleri otlakların, tarım ve yerleşim alanlarına dönüştürülmüş olması ve koruma statülerinin getirdiği kısıtlamalar nedeniyle günümüzde önemini kaybetmiştir. Yaz aylarında bölgeye gelen 10–15 ailelik göçerler hayvancılıkla uğraşmaktaydı. Hayvancılık, yörenin ovalık kesiminde ahır hayvancılığı biçiminde gelişirken, yüksek kesimlerde bunun yerini mera hayvancılığı almaktadır. Yörede en çok yetiştirilen hayvanlar kıl keçisi, koyun ve sığırdır. Kümes hayvancılığında ise birkaç özel çiftlik dışında genellikle aile işletmeciliği yaygın durumdadır. Göksu Deltasındaki su kaynakları gerek balık üretim miktarı bakımından, gerekse yakalanan balıkların kalitesi bakımından oldukça zengindir. Akdeniz'e kıyısı bulunması, ortasından Göksu nehrinin geçmesi ve Akgöl ile Paradeniz gölleri deltayı hem deniz hem de tatlı su balıkçılığı için elverişli yapmaktadır (Demirel, 2008; Özer, 2008). Balıkçılığın yanı sıra yörede mavi yengeç ve karides avcılığı da önemli bir yer tutmaktadır.

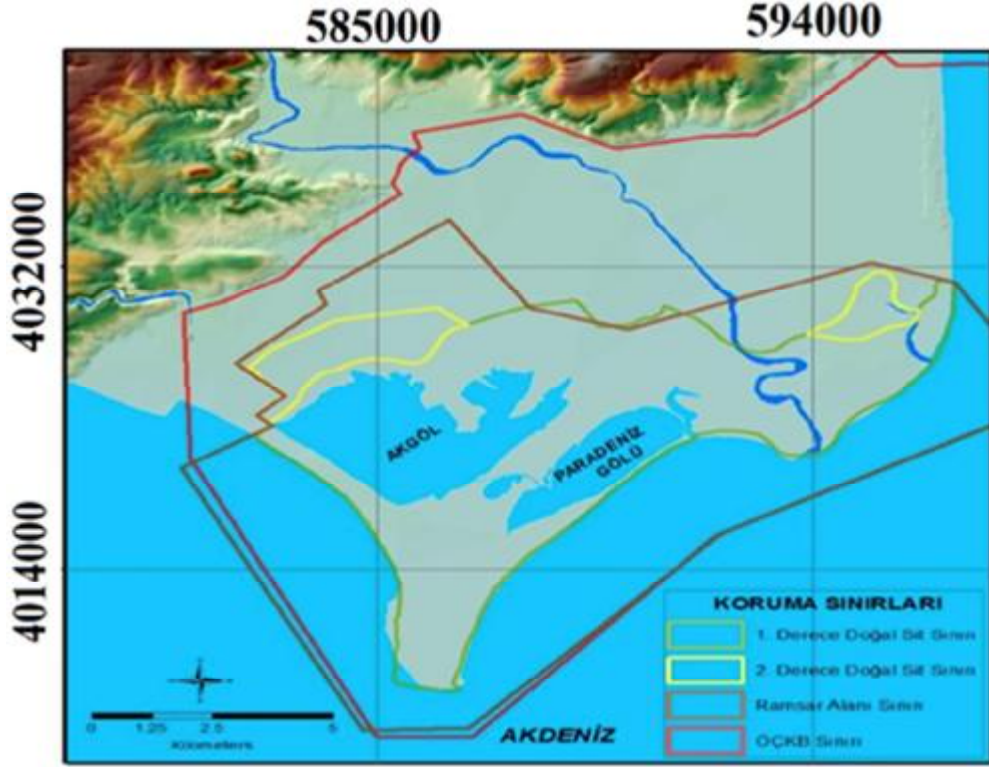
3.1.3.4. Koruma ve Yönetim

Göksu Deltası'nın 1994 yılında 6.850 hektarlık bölümü, Ramsar listesine dâhil edilerek koruma altına alınmıştır. Daha öncede belirtildiği gibi Göksu Deltası Ramsar Alanı, A sınıfı sulak alandır. Göksu Deltası'nın bir kısmı 12.02.1996 tarih ve 2380 sayılı Adana Kültür ve Tabiat Varlıkları Koruma Bölge Kurulu kararı ile I. derece doğal sit alanı ilan edilmiştir. Aynı kurul tarafından I. Derece doğal sit alanı içinde kalan geçmişten bu güne geleneksel tarım ve hayvancılığın yapıldığı alanlar 29.07.2004 tarih ve 5 sayılı karar ile II. derece doğal sit alanı ilan edilmiştir.

I. Derece Doğal (Tabii) Sit: Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu tarafından yeniden düzenlenen Doğal Sitler, Koruma ve Kullanma Koşulları İlke Kararı'na göre, bilimsel muhafaza açısından evrensel değeri olan, ilginç özellik ve güzelliklere sahip olması ve ender bulunması nedeniyle kamu yararı açısından mutlaka korunması gerekli olan, korumaya yönelik bilimsel çalışmalar dışında aynen korunacak alanlardır (Şekil 3.4.).

Bu alanların topografyasını ve bitki örtüsünü bozabilecek hiçbir eylemde bulunulamaz. Ayrıca moloz, toprak, sanayi atığı gibi kirletici etkisi olan atık ve artıklar dökülemez. Bununla birlikte bu alanlardan taş, toprak, kum alınması, taş ve maden ocaklarının açılması yasaktır. Alanda kesin yapı yasağı vardır ancak zorunlu olan koşullarda teknik altyapı hizmetleri uygulamaları kurulun uygun göreceği şekliyle yapılabilir. Bu alanlardaki, koruma önlemleri ilgili kuruluş ve yerel yönetimlerce alınır.

II. Derece Doğal (Tabii) Sit: II. Derece doğal sitler, doğal yapının korunması ve geliştirilmesi yanında kamu yararı göz önüne alınarak kullanıma açılacak alanlardır. Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesinde II. derece doğal sit alanı Akgöl'ün kuzeyindeki sazlık ve bataklık alanlarının üzerinde bulunan kontrollü tarım alanıdır. Bu konuda yapılabilecek her türlü faaliyet Özel Çevre Koruma Bölgesi 1/25.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planında belirlenmiştir (Şekil 3.5.) .

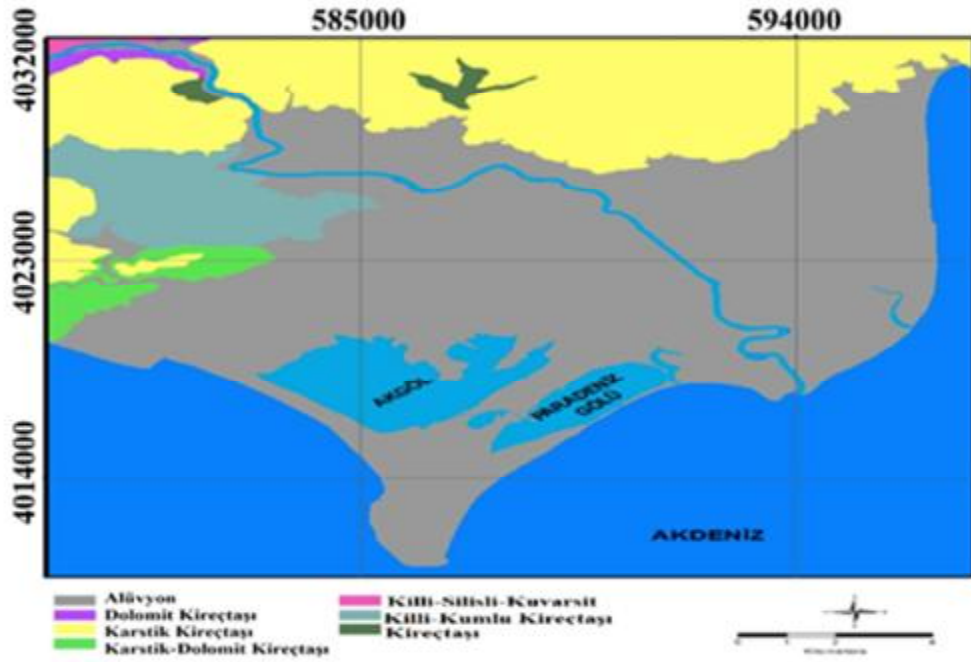


Şekil 3.6. Göksu Deltasında doğa koruma statüleri ve sınırları

1989 yılında Göksu Deltası'nın Paradeniz ve Akgöl'ü içine alan 4350 ha alan Orman Bakanlığı Milli Parklar Av Yaban Hayatı Genel Müdürlüğü tarafından Av ve Yaban Hayatı Koruma Sahası olarak ilan edilmiştir. Yeni Kara Avcılığı Kanunu ile birlikte bu statü değiştirilerek Yaban Hayatı Geliştirme Sahası haline getirilmiştir. Av ve yaban hayvanlarının ve yaban hayatının korunduğu, geliştirildiği, av hayvanlarının yerleştirildiği, yaşama ortamını iyileştirici tedbirlerin alındığı ve gerektiğinde özel avlanma plânı çerçevesinde avlanmanın yapılabildiği alanlar yaban hayatı geliştirme sahalarını ifade eder. Göksu Deltası barındırdığı büyük kuş zenginliği nedeniyle su kuşları açısından yaban hayatı geliştirme sahası kriterlerini sağlamaktadır.

3.1.3.5. Deltanın Yeraltı Jeolojisi ve Yeraltı Suyunu Taşıyan Formasyonlar

Yörede jeolojik evrim içerisinde, yoğun jeolojik olaylardan dolayı kıvrımlı, kırıklı yapılaşmalar, faylanma ve karstlaşmadan doğan erime boşlukları görülmektedir. Yüksek topoğrafyada kaya kopmaları, yol yarmalarında ise toprak kayması ve heyelanlar mevcuttur. Kıvrımlanma ve kırık düzlemleri oldukça yaygındır. Silifke ve Göksu nehrinin akmakta olduğu alanda baskın olarak alüvyon kaplamaktadır. Bu jeolojik birimler kil, kum ve çakıldan oluşmaktadır. Deniz kıyısına yakın kesimler kilin yoğunlaştığı alanlar bataklık özelliğindedir. Bej, açık kahverengi, yumuşak ve kırılğan olup, kolay eriyebilen Traverten yapıda bulunmaktadır. Bunların altında da bol çatlaklı, karstik ve kolay eriyebilme özelliğine sahip miosen kireçtaşı yüzeylerine sahiptir (Şekil 3.7.).



Şekil 3.8. Göksu Deltası kayaç dağılımı (Karakoç 2011)

Bölgede yapılan araştırmalarda toprak serilerinin morfolojik yönden tanımlanmalarında ve toprak profillerinin fiziksel kimyasal ve mineralojik analiz sonuçlarından elde edilen bulgular nehir yatağından uzaklaştıkça sadece toprak yapısının dağılımının değil; organik madde renk, kil mineralojisi, toprak drenajı ve

drenaja bağlı olarak toprak tuzluluğunun değişebileceği tespit edilmiştir. Bu konuda daha kapsamlı bilgi Çukurova niversitesi tarafından yapılan araştırma sonuçlarından elde edilebilir (Özus, 1988).

3.1.3.7. Göksu Deltasının Hidrojeolojisi ve Yeraltı suyu

Yeraltı suyu kirliliği gübreler, tarımsal amaçlı kullanılan zirai ilaçlar ve evsel kaynaklı kirlilik nedeniyle oluşmaktadır. Göksu Deltası'nda kontrolsüz olarak devam eden tarımsal faaliyetler, Göksu Nehri'ni regülatör çıkışından denize döküldüğü alana kadar tehdit etmektedir.

Göksu Deltası, yaklaşık 15000 ha alan kaplayan koordinatları 36⁰15' enlem ve 36⁰25' boylamı arasında kalan Göksu nehrinin taşıdığı alüvyon çökellerinin oluşturduğu bir deltadır (Mutz ve ark, 2006). Göksu deltası ÖKB sınırları içinde yaklaşık 31,5 km ana drenaj kanalı, 13,5 km yedek drenaj kanalı ve 63,5 km de tersiyer drenaj kanalı olmak üzere toplam 108,5 km kanalı mevcuttur.

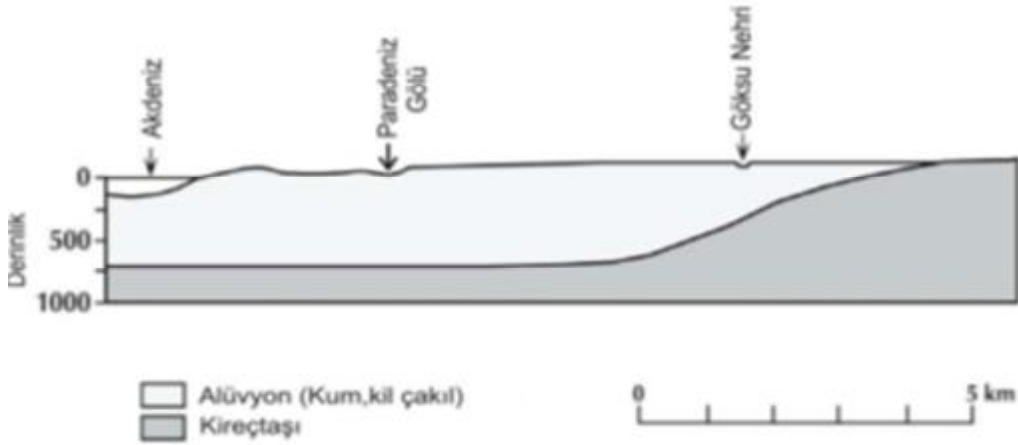
Alüvyon çökelmeleri ile karstik kireçtaşlarının oluşturduğu havza, Göksu ve Ermenek ayı kolu drenaj alanı tarafından derin vadilerle bölünmüştür. Vadilerin yamaçları oldukça dik ve eğimlidir. Birçok aktif heyelan bölgesi ile doludur. Göksu nehri Taşeli platosundan doğar ve Toros dağlarından derin kanyonlarla akar (şekil 3.9.).



Şekil 3.10. Göksu Nehri drenaj alanı

Deltada bulunan alüvyon depositlerinin derinliği maksimum 500-700 m ye kadar uzanmaktadır (Şekil 3.11). Deltanın bazı kesimlerinde, düşük geçirimsizliğe sahip permabiliteli killi birimler yüzeyde yaklaşık 20-30 m kalınlıkta bulunmaktadır. Akifer niteliğindeki iri taneli çakılların oluşturduğu yeraltı suyu taşıyan birim ince kil katmanları ile bölünmektedir. Kavramsal olarak deltadaki akifer sistemine bakılacak olursa su deltanın birçok yerinde derinlerdeki birimlerden artezyen olarak ya da sıkışmış yüzeye daha yakın birimler de su basınçlı olarak bulunmaktadır.

Akiferlerin beslenimi, deltanın üst kodlarında nehirden süzülen yüzey sularının iri taneli birimlerde toplanması, bu birimlerin altında yer alan kireçtaşlarında yağmur ve eriyen kar sularının birikmesi ile gerçekleşmektedir. Akifer sisteminden tespit edilen boşalım ise; yeraltı suyunun Göksu Nehri'ne doğru akışı, göllere doğru akışı ve sulama ve içme suyu temini için pompa ile suyun çekilmesi şeklinde gerçekleşmektedir.



Şekil 3.12. Göksu Deltası hidrolojik kesiti (Motz ve ark, 2006)

3.1.3.8. Çalışma Dönemine Ait İklimsel Veriler

Devlet Meteoroloji İşleri Silifke meteoroloji istasyonundan Mayıs 2012-Nisan 2013 yılına ait değerler alınmıştır. Bölgede yarı-kurak Akdeniz iklimi hakimdir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir. Yıllık ortalama yağış 1,8 mm, en yüksek yağış Aralık ayında 6,8 mm, en düşük yağış Temmuz ayında 0,22 mm olarak kaydedilmiştir. Aralık ayı en yağışlı ay olmak üzere, yağmur mevsimi, Kasım ayından Şubat ayına kadar sürmektedir.

Mayıs 2012-Nisan 2013 dönemi boyunca havanın ortalama nispi nem oranı %46 ile %65 arasında, yıllık ortalama değeride %55,5'olarak hesaplanmıştır. Bu süre içinde en yüksek nem oranı %64,6 Mayıs, en düşük %46,1 Ağustos ayında kaydedilmiştir. Havanın nispi nem oranı, büyük ölçüde rüzgârın yönüne bağlıdır. Bölgedeki hâkim rüzgâr kuzeybatıdan estiğinde karadan kuru havayı getirir ve nem oranı %45-50'lere kadar düşmektedir. Hava durgun olduğunda veya meltemler estiğinde nem oranı yükselir.

Çizelge 3.3. Silifke istasyonuna ait Meteorolojik Veriler (2012-2013)

AYLAR	Sıcaklık °C			Ort. Nispi Nem (%)			Yağış Miktarı (mm)
	En Yüksek	En Düşük	Ort.	En Yüksek	En Düşük	Ort.	Ort.
Mayıs	26,3	19,2	21,7	81,5	34,6	64,6	0,9
Haziran	32	21,5	27,2	71,2	31,4	57,4	0,4
Temmuz	32,2	27,7	30,0	69,2	29,5	55,2	0,2
Ağustos	32,5	27,9	30,7	63,3	19,2	46,1	0,3
Eylül	33,2	22,6	27,8	63,5	28,3	47,9	0,3
Ekim	29	19,4	23,7	83,2	24,8	52,4	1,6
Kasım	22,3	14	17,7	82,4	40	54,4	4,4
Aralık	16,2	8,6	12,8	91,2	32,5	63,8	6,8
Ocak	15	4,2	11,2	84,1	31,3	59,6	2,2
Şubat	16,3	10,5	13,7	82,8	40,9	59,8	2,0
Mart	22,8	11,2	15,7	76,7	23,1	48,1	0,3
Nisan	28,1	14,7	19,3	76,6	25,6	56,5	2,4
Ort. Yıllık	25,4	17,0	21,0	77,1	30,1	55,5	1,8

Yıllık ortalama sıcaklık 21 °C'dir. Haziran ile Ekim sonu arasında sıcaklık yüksek iken (30,7 °C) en düşük ortalama sıcaklık Ocak ayındadır (11,16 °C). Havanın nispi nem oranına sıcaklığın önemli bir etkisi olmasıyla birlikte yüksek nem oranını etkileyen başlıca sebep, nehir ve lagünlardan ziyade denizdir. İklim parametrelerinin çoğu Akdenizin normal sistemine uygunluk göstermektedir. Normal dışı olan özellikler özellikle kışın bölgeyi etkisi altına alan sert rüzgârlar ile yazın yüksek nispi nem değeridir (Çizelge 3.4.).

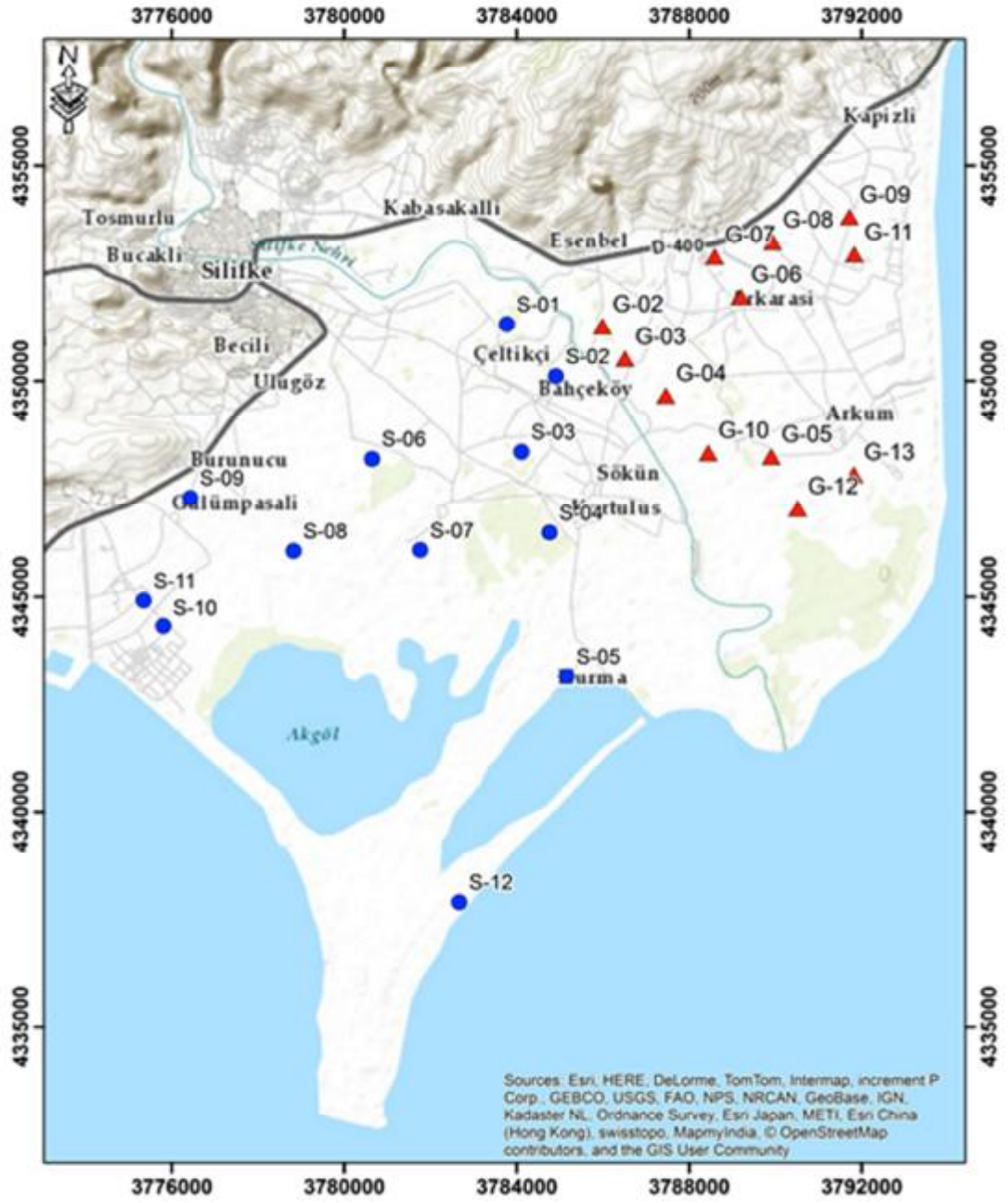
3.1.3.9. Çalışma İstasyonları

Kuyularında izleme çalışmaları Mayıs 2012-Nisan 2013 tarihleri arasında her ay numune alınarak 1 yıl süreyle yürütülmüştür. Göksu-Silifke Deltasında yapılan çalışma istasyonlarının koordinatları 1/25000'lik harita üzerinde alanı en iyi tanımlayacak şekilde belirlenmiştir.

Çizelge 3.5. Numune Alma İstasyonlarının Koordinatları ve Yerleri

Göksu Sulama Birliği	Kuyu derinlik	Kuzey Enlem			Doğu Boylam		
		Derece	Dakika	Saniye	Derece	Dakika	Saniye
G-1	6,0	36	21	41,01	34	1	4,04
G-2	7,0	36	21	10,04	34	1	8,15
G-3	43,0	36	20	59,56	34	1	18,99
G-4	44,0	36	21	1,55	34	1	54,37
G-5	42,0	36	20	32,61	34	2	30,95
G-6	8,0	36	21	48,83	34	2	44,69
G-7	32,0	36	22	13,45	34	2	24,56
G-8	17,5	36	22	15,98	34	2	45,88
G-9	40,0	36	22	22,35	34	2	56,72
G-10	41,0	36	20	44,84	34	1	59,84
G-11	43,0	36	22	18,55	34	2	58,6
G-12	65,0	36	20	11,47	34	3	36,5
G-13	60,0	36	20	11,16	34	3	37,07
Silifke Sulama Birliği	Kuyu derinlik	Kuzey Enlem			Doğu Boylam		
		Derece	Dakika	Saniye	Derece	Dakika	Saniye
S-1	55,0	36	21	50,77	33	59	17,01
S-2	30,0	36	21	50,66	33	59	48,69
S-3	75,0	36	20	17,81	33	59	56,73
S-4	35,0	36	19	49,19	34	0	16,49
S-5	49,0	36	18	25,09	34	0	3,74
S-6	30,0	36	20	53,71	33	57	29,18
S-7	38,0	36	20	31,59	33	57	39,08
S-8	30,0	36	19	59,36	33	56	39,26
S-9	42,0	36	20	9,02	33	55	18,82
S-10	4,0	36	19	1,88	33	55	10,45
S-11	12,5	36	19	13,33	33	54	55,87

Bu doğrultuda çalışma sahasının genelini temsil ettiği düşünülen toplam 24 istasyondan numune alınması kararlaştırılmıştır. Ayrıca Özel Çevre Koruma Alanı içerisinde yer alan Paradeniz gölünden de su örnekleri alınmıştır. Bu kuyuların yerleri GPS (Global Positioning System) yöntemi ile tespit edilmiştir. Çalışma alanı ve istasyonların konumları Şekil 3.13..'de, numune alma istasyonlarının koordinatları ve yerleri Çizelge 3.6.'de verilmiştir. S-12 nolu kuyu Pardeniz'den alınan deniz suyudur. Bu örnek noktası çalışmada seçilen kuyu noktaları için karşılaştırma amaçlı olarak alınmıştır.



Şekil 3.14. Çalışma alanına ait uydu görüntüsü ve örnekleme noktaları

3.2. Metod

3.2.1. Fiziksel ve Kimyasal Analizler

Analizler, hem arazide hemde laboratuvarında yapılmıştır. Numune alımı ayda bir defa yapılmıştır. Her numunede Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , NO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{-2} , Ba, Si, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, toplam sertlik, kalsiyum karbonat sertliği, magnezyum karbonat sertliği, pH, Eİ, sıcaklık, ÇKM, SAR, %Na, değerleri analiz edilmiş ve hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlarda hesaplama, arazide analiz ve laboratuvar ortamında analiz yapılması suretiyle bulunmuştur. Hesaplama ile bulunan değerler: toplam sertlik, SAR, %Na ve RSC parametreleridir.

Eİ, pH ve T değerleri yerinde ölçüm yapılan parametrelerdir. Bu analiz sonuçlarına göre yeraltı su kaynaklarındaki su numunelerinin içerisindeki toplam çözülmüş tuzların miktarı hakkında yorum yapılmıştır. Yerleri tespit edilmiş olan kuyulardan kuyu başında örnek alınmış ve alınan örneklerin T ve pH analizleri kuyu başında 4500-H+-B. Elektrometrik Metod yöntemi ile WTW pH 340 i cihazı ile yapılmıştır. Eİ ise 2510-A İletkenlik Metodu yöntemi ile Orion marka İletkenlik cihazı kullanılarak yapılmıştır (Apha 1998).

Kimyasal analizler için bütün numuneler polietilen şişelerde toplanarak APHA (1998), 1060 C. 'Sample Storage and Preservation Metod'una göre alınan su numuneleri en kısa sürede laboratuvara getirilerek laboratuvar analizleri için +4 °C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir. Analizler Çevre Mühendisliği Çevre Kimyası Laboratuvarında yapılmıştır.

Anyon (SO_4^{-2} , Cl^- , NO_3^-) analizleri Shimadzu iyon kromatografisi (IC) cihazında; Katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) ve ağır metal analizleri (Al, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Si, Ba, Zn, Fe, B) Inductive Coupling Plasma (ICP) Optik Emisyon Spektrometresiyle yaptırılmıştır. Analizlerin doğruluğu ve hassasiyeti için standartlar analiz başlamadan ve analiz aralarında verilmiştir.

Alkalinite analizi (CO_3^{-2} , HCO_3^-) ölçümlerinde dönüm noktası titrasyon yöntemi (Alkalinity (2320) / Titration Method S.2-35 Standart Metod) kullanılarak

titrimetrik olarak yapılmıştır. ÇKM 2540 D, Standart Metod yöntemiyle gravimetrik olarak tayin edilmiştir

Ayrıca yeraltı suyu gözlem kuyularında sulama suyu Aqua Chem kullanarak (Piper, Wilcox ve ABD tuzluluk diyagramı) kalitesi sınıflaması yapılmıştır. Elde edilen veriler CBS kullanılarak dağılım haritaları çıkarılmıştır. Su kalitesi ile elde edilen ölçüm sonuçları arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde ise korelasyon katsayıları, hiyerarşik kümeleme, faktör analizi ve Temel Bileşen Analizi (TBA) kullanılmıştır.

3.2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

CBS, yeryüzü referanslı verileri toplayan, kontrol eden, işleyen, analiz eden ve görüntüleyen bir sistemdir. CBS, bir bölgenin veya kentin yönetimi için veri analizine elverişli planlama veya çevresel verilerin toplanması, plan hazırlama, karar verme ve kararların uygulanmalarını sağlayan bir veritabanı sistemidir (Çelik, 2007). Tüm kuyu koordinatları, bölgeye ait topografik ve jeolojik haritalar üzerinde CBS'de ArcMap'te tüm kuyu kordinatları haritalar üzerine işlenmiştir.

3.2.3. Aqua Chem Programı

AquaChem grafiksel ve sayısal çözümlene ve su ile ilgili jeokimyasal verilerin modellenmesi için belirli bir biçimde geliştirilmiş bir yazılım paketidir. Bu doktora tez çalışmasında Aquachem 3.7.42 versiyonu kullanılmıştır.

Program, jeokimyasal parametrelere tamamen uyarlanabilir bir veri tabanını içerir. Program su ile ilgili jeokimyasal veri haritası çıkarmak ve yorumlamak için genellikle kullanılan analiz araçlarının ve grafiksel teknolojilerinin kapsamlı bir biçimde seçimini sağlar. AquaChem'in analiz araçları, geniş bir aralıktaki hidrokimyasal verileri karşılaştırmak ve yorumlamak için sık sık kullanılan hesaplamaları ve fonksiyonları kapsar.

AquaChem içerdiği mevcut grafik tipleri;

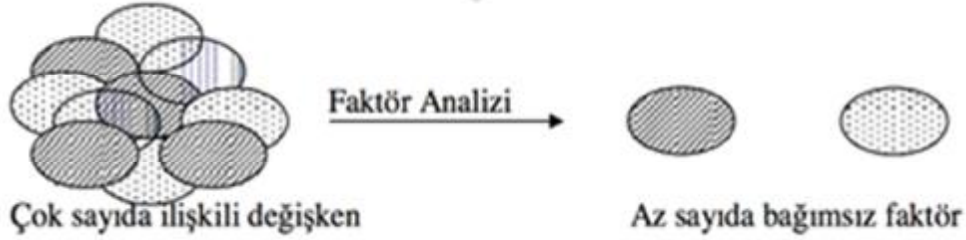
- Piper, Durov, ve Ternary çizimleri,
- Ludwig-Langelier ve Schoeller grafikleri,
- Radial, Stiff ve Pie diagramları,
- X-Y Scatter grafikleri, Frekans Histogramları ve Zaman-Dizisi (frekans dağılımı) grafikleri,
- Jeotermometre çizimleri ve
- Örnek yerlerinin harita çizimleri.

Bu grafik tiplerinin her biri, akifer materyalleri ve yeraltı suyu arasındaki kompleks etkileşimlerin çoğuna eşsiz bir yorum sağlar.

3.2.4. İstatistiksel Analizi Değerlendirmeleri

Faktör analizi, birbirleriyle ilişkili çok sayıdaki karmaşık değişkenleri bir araya getirerek, daha anlamlı, kolay anlaşılır ve özet şeklinde yorumlanmasını sağlayan, birbirinden bağımsız faktör adı verilen yeni değişkenler oluşturan çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemidir. Faktör analizi çok sayıda değişkenden az sayıda faktör elde etme özelliği ile bir boyut indirgeme ve bağımlık yapısını yok etme yöntemidir (Kalaycı, 2006). Kümeleme analiz nesnelere, küme içerisinde çok benzer biçimde, kümeler arasında fark olacak biçimde oluşturulmuştur.

Kümeleme analizi, çok değişkenli veriler ile birimler arasındaki uzaklıkları kullanarak birbirleri ile benzer ya da farklı birimleri bir araya toplayarak ortak özelliklere sahip grup oluşturur. Faktör analizi ise aralarında yüksek korelasyon bulunan değişkenleri bir araya getirerek yeni ve anlamlı faktör yapıları oluşturur.



Şekil 3.15. Faktör Analizinin Şekilsel İfadesi

Birden çok değişkenin aynı bireyden elde edildiği durumlarda araştırmacılar bu değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek ve hatta bu ilişkilerden faydalanıp yeni değişkenler (temel bileşenler) elde etmek yoluna gidebilirler. Bu şekilde çok sayıda değişkenin beraber değerlendirilmesini ve bu değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde çok değişkenli analiz tekniklerinden yararlanılabilir (Qin ve ark, 2013).

Çok değişkenli analiz metodunda deneme materyalinden toplanan birden çok özelliğin, aynı anda ele alınması ve analiz edilmesi, özelliklere ait korelasyon veya varyans-kovaryans matrisinin yapısının analizi ile yapılır (Yazıcıgil ve Ekmekci, 2003).

TBA çok sayıda değişken seti arasındaki ilişkilerden yararlanarak en az bilgi kaybı ile bu değişkenlerden daha az sayıda ve birbirinden bağımsız değişkenlerin elde edilme metodudur. Ayrıca bu metod orijinal değişkenler arasındaki korelasyona bağlı olarak bu değişkenler arasındaki varyansı maksimum açıklayabilecek yeni değişkenlerin oluşturulmasını amaçlar. Burada elde edilebilecek maksimum yeni değişken sayısı orijinal değişken sayısı kadar olur (Qin ve ark, 2013).

TBA orijinal p değişkenin varyans yapısını daha az sayıda ve bu değişkenlerin doğrusal bileşenleri olan yeni değişkenler ile ifade etmeyi amaçlar. Bu metod aralarında korelasyon bulunan p sayıda değişkenin açıkladığı yapıyı aralarında korelasyon bulunmayan ve sayıca orijinal değişken sayısından daha az sayıda original değişken doğrusal bileşenleri olan değişkenler ile açıklama yöntemidir (Kim ve ark, 2005).

TBA analizi ile veri indirgemesi, tahminleme yapmak, ilişkili değişken skorlarını hesaplamak ve değişkenleri bu skora göre sıralamak mümkündür. Bu

analiz ayrıca çeşitli analizler için ara adım niteliğinde data seti oluşturulmasında da kullanılmaktadır (Kim ve ark, 2005).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Bulguların Standartlar ile karşılaştırılması ve CBS haritalarının gösterilmesi

Yeraltı su kaynaklarının kalitesinin belirlenmesine ve değerlendirilmesine yönelik bu çalışmada Göksu Havzası'nın yeraltı kaynaklarının içme ve sulama açısından kalitesinin ve dağılışının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu değerlendirme Çok Kriterli Karar Verme yönteminden yararlanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli olarak gerçekleştirilen analize göre yapılmıştır. Çalışmada, 24 kuyu üzerinde fiziksel ve kimyasal ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Bunun yanında 1/25.000 ölçekli topografya haritalarından temel altlık harita olarak yararlanılmıştır.

Çalışma sahasından seçilen 24 gözlem kuyusunun su kalite parametreleri Mayıs 2012-Nisan 2013 arasında bir yıl süre ile aylık olarak ölçümleri yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar noktasal ve zamansal değişimin anlaşılması için grafiklendirilmiş, görsel olarak daha iyi anlaşılması için yıllık ortalama değerler GIS ile haritalandırılmıştır.

Çizelge 4.1. Yeraltı sularının kimyasal analiz sonuçları (Ortalama, en düşük, en yüksek ve standart sapma)

Parametre	Ortalama	En Yüksek	En Düşük	S.D
T (°C)	21,27	23,13	20,18	0,88
pH	7,82	8,72	7,50	0,20
Eİ (µS/cm)	1471,74	5677,50	265,57	1262,83
ÇKM(mg/L)	807,88	3941,30	156,61	821,98
Ca ⁺² (mg/L)	62,44	136,43	15,83	35,29
Mg ⁺² (mg/L)	39,53	125,64	13,40	26,23
K ⁺ (mg/L)	9,42	34,46	2,41	8,47
Na ⁺ (mg/L)	194,75	880,11	19,51	217,85
Cl ⁻ (mg/L)	284,22	1597,57	72,02	367,50
SO ₄ ⁻² (mg/L)	195,97	321,53	105,61	63,47
NO ₃ ⁻ (mg/L)	12,49	13,34	12,06	0,35
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	256,20	453,72	77,75	71,68
CO ₃ ⁻² (mg/L)	9,54	23,10	2,05	6,73
Ba (mg/L)	0,38	0,94	0,06	0,21
Si (mg/L)	2,55	3,89	0,80	0,71
B (mg/L)	0,81	0,41	1,72	0,29
SAR	5,13	17,41	0,45	4,86
RSC	-1,93	3,26	-13,16	3,65
%Na	47,59	86,27	10,71	24,08

Çizelge 4.2’de 4 farklı kalite standartları verilmiştir. Bunlar; Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SSKY), Türk standartları Enstitüsünün İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Kriteri (TS 266), Avrupa Birliği Kriterleri (EC/98/83) ve Dünya Sağlık Örgütünün (WHO) önerdiği değerlerdir. Çizelge 4.2’de GL; Tavsiye Edilen Değer, MAC ise Maksimum Tavsiye edilen değerdir. Su kalitesi Türk Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine (Anonymous 1988) göre dört sınıfa ayrılmıştır. “Sınıf 1” su kalitesinin temiz; “Sınıf 2” su kalitesi düşük kirlilik; “Sınıf 3” su kalitesi kirli durumuna karşılık gelir ve “Sınıf 4” su kalitesi son derece kirli olarak kabul edilir.

Çizelge 4.2. İnsani tüketim amaçlı sular için ulusal ve uluslararası standartlardaki bazı önemli parametrelerin sınır değerlerinin karşılaştırılması

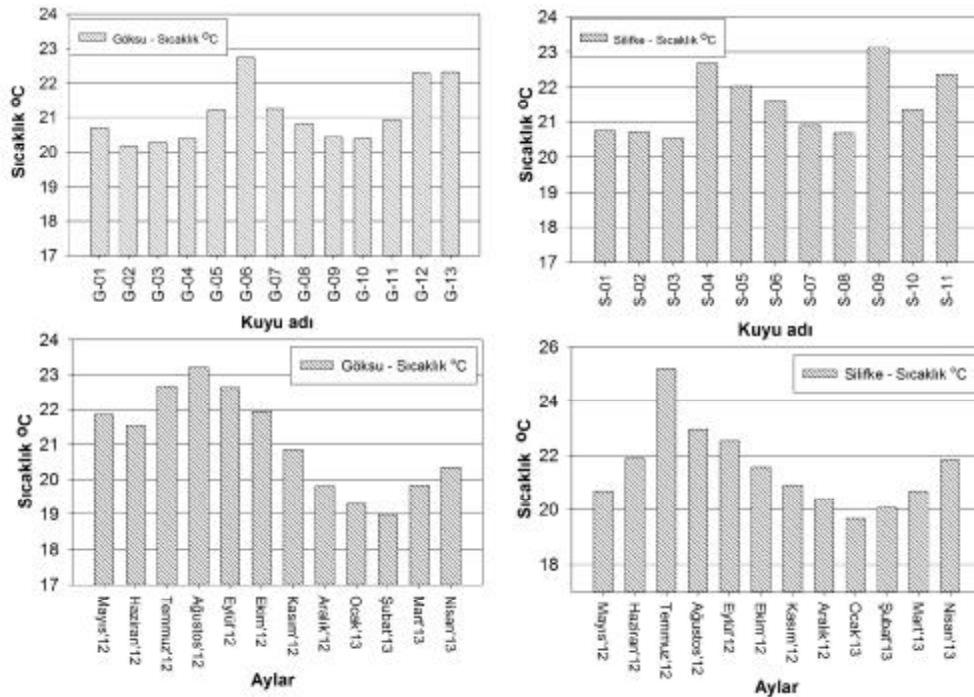
	Su Kirliliği ve Kontrollü Yönetmeliği Kalite Sınıfları (SKKY, 2004)				Türk Standartları Enstitüsü (TSE,266, 2005)		Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO, 1993)	Avrupa Birliği (98/83/EC, 1998)
	I	II	III	IV	GL	MAC	MAC	MAC
Sıcaklık (°C)	25	25	30	> 30	-	-	-	-
pH	6,5- 8,5	6,5- 8,5	6,0- 9,0	6,0-9,0 dışında	6,5 - 9,5	6,5 - 9,5	6,5 - 8,5	6,5 - 9,5
Eİ (µS/cm) @25°C	-	-	-	-	650	2500	2500	2500
ÇKM (mg/L)	500	1500	5000	> 5000	-	-	-	-
Ca ⁺² (mg/L)	-	-	-	-	75	200	-	100
Mg ⁺² (mg/L)	-	-	-	-	50	150	-	-
Na ⁺ (mg/L)	125	125	250	> 250	100	175	200	200
K ⁺ (mg/L)	-	-	-	-	-	12	-	-
Cl ⁻ (mg/L)	25	200	400	> 400	30	250	250	250
SO ₄ ⁻² (mg/L)	200	200	400	> 400	25	250	250	250
NO ₃ ⁻ (mg/L)	5	10	20	> 20	25	50	50	45
Al ⁺³ (mg/L)	0,3	0,3	1	>1	0,2	0,2	0,2	0,3
Fe ⁺³ (µg/L)	300	1000	5000	> 5000	0,3	1	200	300
Hg (µg/L)	0,1	0,5	2	> 2	-	0,001	0,001	0,001
Cd (µg/L)	3	5	10	> 10	-	5	5	3
Toplam Cr (µg/L)	20	50	200	> 200	-	50	50	50
Cu (µg/L)	20	50	200	>200	1000	3000	2000	1000
Mn (µg/L)	100	500	3000	>3000	50	1000	500	50
Ni (µg/L)	20	50	200	>200	0,02	0,02	0,02	0,02
Zn (µg/L)	200	500	2000	>2000	5	1500	5000	5000
B (µg/L)	1000	1000	1000	>1000	-	-	-	-
Ba (µg/L)	1000	2000	2000	> 2000	-	300	-	1000
F ⁻ (µg/L)	1000	1500	2000	>2000	-	1500	1500	1500
T.Sertlik (mgCaCO ₃ /L)	-	-	-	-	-	500	1000	500

Bu çalışmada bilimsel araştırma yöntemlerine bağlı kalınarak tüm örneklerin sıcaklık (T), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), elektriksel iletkenlik (Eİ), toplam çözünmüş katı madde miktarı (TDS), kalsiyum (Ca⁺²), magnezyum (Mg⁺²), potasyum (K⁺), sodyum (Na⁺), klor (Cl⁻), sülfat (SO₄⁻²), nitrat (NO₃⁻), bikarbonat (HCO₃⁻), karbonat (CO₃⁻²), baryum (Ba), silisyum (Si) ve bor (B)'un değerleri ölçülmüş ve ölçüm sonuçları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Göksu deltası su kalite parametrelerinin yıllık ortalama noktasal sonuçları (mg/L)

Örnekleme Noktaları	T	PH	El	ÇKM	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Ba	Si	B
G-01	20,69	7,68	1014	605,15	88,61	51,91	5,05	31,6	94,8	228,78	12,39	347,9	5,93	0,72	2,39	0,78
G-02	20,18	7,66	1324,58	796,88	100,43	48,04	5,69	77,5	127,74	251,29	12,2	381,62	2,58	0,5	2,56	0,89
G-03	20,28	8,00	667,42	574,69	85,52	45,52	4,89	88,2	212,77	169,26	12,13	191,13	17,6	0,19	2,12	0,65
G-04	20,38	7,96	883,67	392,82	78,23	20,56	4,88	108,7	94,02	226,57	12,14	211,25	17,12	0,26	2,37	0,64
G-05	21,2	7,60	1632	817,65	15,83	14,77	7,43	282,03	308,89	171,98	12,36	311,03	5,58	0,23	3,87	0,88
G-06	22,75	7,63	1208,5	728,74	63,66	48,29	14,66	89,34	98,5	253,67	12,21	453,72	2,05	0,46	2,92	0,88
G-07	21,23	8,02	1106,17	555,87	43,61	63,39	11,69	191,67	171,61	321,53	12,12	285,65	11,43	0,23	2,85	0,83
G-08	20,81	8,19	1014	523,32	21,39	20,46	13,59	134,25	136,69	138,67	12,42	240,43	22,42	0,22	3,15	0,88
G-09	20,35	8,02	1171,43	548,93	19,36	21,55	13,85	149,1	154,93	150,99	12,06	251,86	11,78	0,06	3,38	0,8
G-10	20,39	7,99	832,08	405,14	21,55	19,28	6,19	110,4	111,92	124,11	12,1	229,03	14,43	0,25	2,63	0,68
G-11	20,92	8,12	1104,92	551,18	28,07	18,22	11,3	155,93	123,13	245,67	12,51	264,87	21,38	0,2	3,33	0,87
G-12	22,3	7,68	5677,5	3941,3	124,8	125,64	34,46	880,11	1597,57	299,78	12,41	211,58	2,33	0,49	2,26	1,31
G-13	22,33	7,75	4629,17	2695,07	100,82	96,22	31,76	741,76	1279,42	207,76	12,94	233,98	4,98	0,47	2,14	1,72
S-01	20,74	7,75	753,33	322,7	56,28	31,54	3,27	25,72	112,64	105,61	12,56	233,55	9,55	0,4	3,47	0,64
S-02	20,71	7,71	949,75	488,31	136,43	64,44	4,2	42,05	185,13	249,97	12,73	289,22	5,08	0,94	2,24	0,69
S-03	20,53	7,83	1429,33	610,05	44,36	44,39	3,02	169,25	332,06	123,28	13,02	205,2	7,63	0,69	2,61	0,64
S-04	22,68	7,94	1277,58	568,92	37,35	27,65	5,99	149,6	254,34	130,78	13,31	196,45	13,8	0,38	2,58	0,72
S-05	22,04	8,18	3352,5	1517,11	36,68	29,98	20,44	451,96	543,51	223,46	13,34	267,6	23,1	0,37	3,89	1,44
S-06	21,6	7,84	265,57	156,61	31,57	13,4	4,66	411,14	100,51	302,31	12,33	77,75	9,88	0,14	0,8	0,41
S-07	20,91	7,91	601,25	256,4	45,06	25,96	2,41	31,8	72,02	114,17	12,47	203,53	9,97	0,21	2,36	0,55
S-08	20,68	7,57	633,42	308,15	36,86	16,64	2,71	53,44	77,32	115,7	12,54	221,73	2,6	0,7	1,67	0,64
S-09	23,13	7,56	924,75	528,17	96,81	30,69	6,32	19,51	123,47	160,68	12,68	260,67	2,57	0,43	2,03	0,55
S-10	21,34	7,67	2041,58	994,67	74,45	34,29	5,11	255,51	362,65	205,84	12,5	273,57	2,58	0,29	1,99	0,78
S-11	22,37	7,50	827,33	501,29	110,75	35,84	2,51	23,54	145,61	181,38	12,32	305,5	2,48	0,29	1,66	0,58

Sıcaklık (T): Bu tez kapsamında çalışma istasyonlarında su numunelerinin sıcaklık parametresini incelendiğinde, Göksu çalışma alanında en yüksek su sıcaklık değeri Ağustos ayında 23,2 °C; en düşük su sıcaklık değeri ise Şubat ayında 18,9 °C olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.1.). Silifke çalışma alanında ise en yüksek su sıcaklık değeri Temmuz ayında 25,2 °C; en düşük değer ise Ocak ayında 19,7 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. Sıcaklık değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi

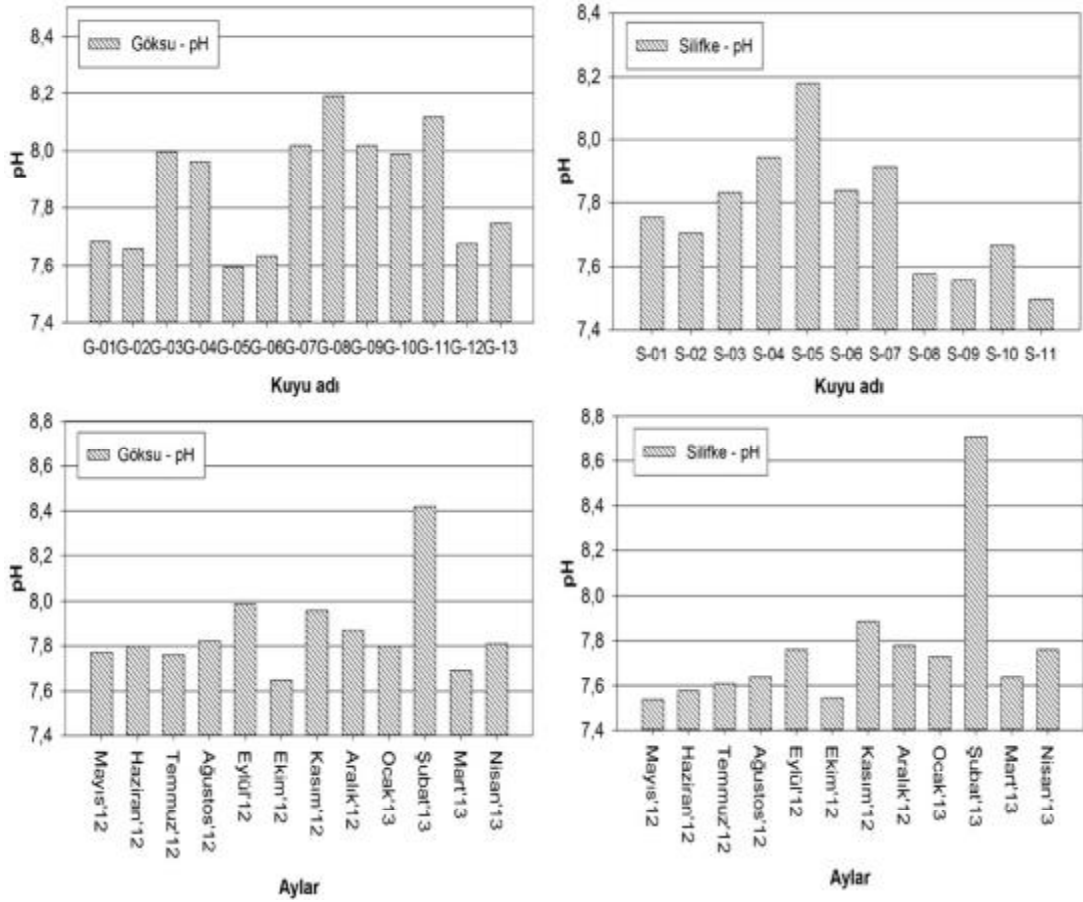
Suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılmasında çalışma alanındaki tüm sular “Az ılık sular” sınıfına girmektedir (Çizelge 4.4). SKKY (2004)’e göre ise (19-25 °C) “Sınıf 1” ve “Sınıf 2” kalitedeki sular kapsamında yer almaktadır.

Çizelge 4.4. Suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması

Sıcaklık	Su Sınıfı
<5 °C	Çok soğuk sular
6-10 °C	Soğuk sular
11-18 °C	Çok az ılık sular
19-25 °C	Az ılık sular
26-37 °C	Ilık sular
>40 °C	Sıcak sular

pH (Hidrojen iyonu derişimi): pH değeri bir çözeltilinin asit veya baz olma özelliğinin şiddetini gösteren bir terim olup çözeltilerde bulunan H⁺ iyonu konsantrasyonunu veya daha kesin bir ifade ile hidrojen iyonu aktivitesini göstermektedir. Çoğu doğal suyun pH'sı karbondioksit - bikarbonat - karbonat denge sistemi tarafından kontrol edilir. CO₂ gazının suda çözünme miktarı, basınç ve sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle kuyulardan yapılan pompajla yeraltı suyundaki pH içeriği değişebilir. pH'daki değişim suda bulunan diğer kimyasal parametrelerin davranışlarında değişikliklere sebep olur. Su kimyasında oluşan bu değişiklik sucul bitki ve hayvanları etkilemektedir. Örneğin NH₃ doğal ya da asidik koşullarda balıklar üzerinde nispeten zararsızdır. Fakat pH değeri arttığı zaman (su bazik özellik kazandığında), amonyak (NH₃), amonyum iyonuna (NH₄⁺) dönüştüğünde oldukça toksik olur. Asidik sularda ağır metaller örneğin Cd, Pb, Cr daha kolay çözünmektedir. Metallerin suda çözünme özellikleri çok önemlidir çünkü bazı ağır metaller suda çözüldüğü zaman toksik olabilmektedir. Örneğin, ağır metal içerikli endüstri atıkları arıtma tesislerinde çoğu kez zor veya suda hiç çözünmeyen hidroksitleri halinde çözünmektedirler. Yağış sularının genelde pH değerleri 7'den küçük olduğu zaman, yağmur suyuna karışan ağır metaller çözünerek yeraltı suyuna karışırlar. Suda zor çözünen Mg(OH)₂, pH 10,5 değerini aştığı zaman çözeltiliye tekrar geçer. Bu tür kimyasal ilişkilerin bilinmesi araştırmalarda önemlidir.

pH değerinin analiz sonuçlarının deltadaki noktasal ve zamansal değişimi Şekil 4.3.'de verilmiştir. Yıllık ortalamalara ait alansal dağılım haritası ise Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.4. pH değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi

Hem Gökusu hem de Silifke çalışma bölgesinde yapılan ölçümlerde yıllık ortalama pH değeri 7,6 ila 8,08 arasında değişmektedir. Çizelge 4.3'de Gökusu ve Silifke bölgesinde en yüksek pH değerleri Şubat ayında (sırasıyla 8,43 ve 8,72), en düşük pH değeri ise Ekim ayında (sırasıyla 7,66 ve 7,55) olarak izlenmiştir. Ekim ayında da Gökusu bölgesinde düşük pH değeri, Noktasal olarak en yüksek G-08 gözlem kuyusunda yıllık ortalama 8,19 ölçülmüştür. G-05 noktasında 7,60 ile en düşük pH değeri kaydedilmiştir. Silifke bölgesinde ise yıllık ortalama en yüksek S-05 gözlem kuyusunda 8,17 ve en düşük S-11 gözlem kuyusunda 7,49 olarak tespit edilmiştir.

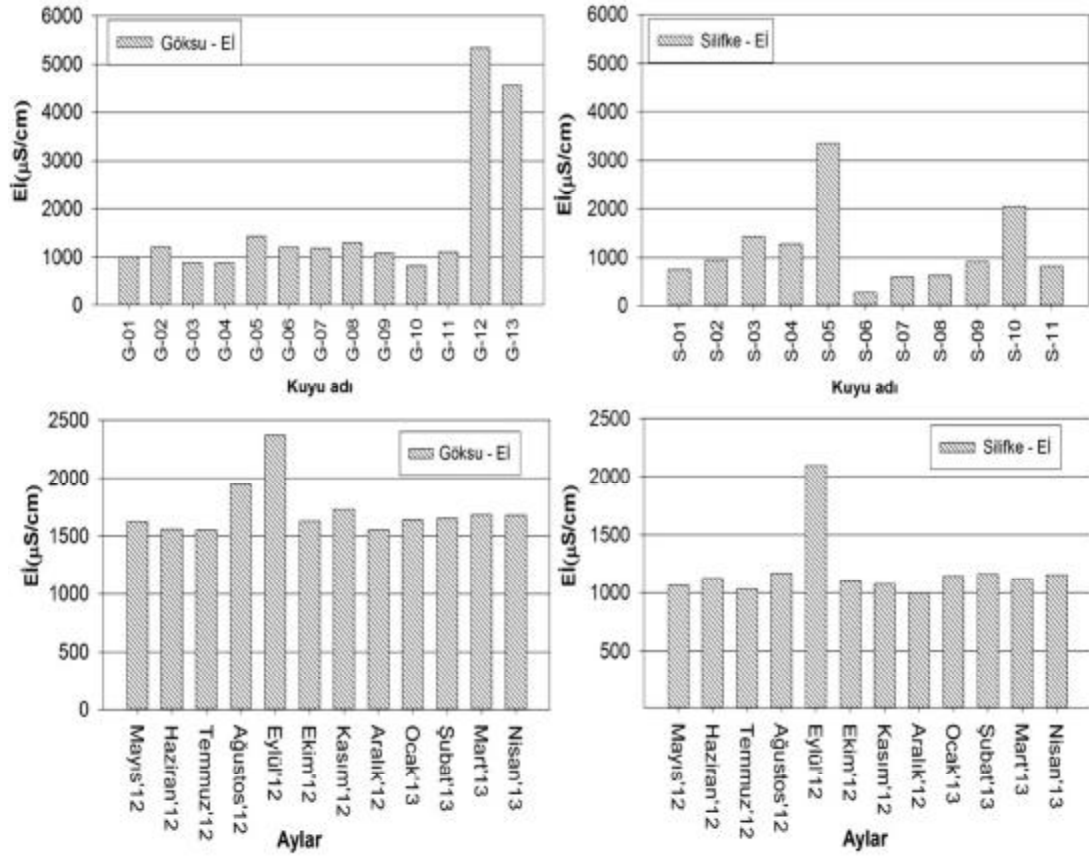
Alansal dağılım haritasına bakılarak bir değerlendirme yapılırsa (Ek 1, Ek 6), kuyuların tamamında pH 7'den büyük olarak ölçülmüştür. Bu tip sularda OH⁻ iyonları daha yoğun olup, bazik özellik sunmaktadırlar. Ancak içme sularında TS-266'ya göre pH 6,5-9,5, EPA ve WHO'ya göre 6,5-8,5 tavsiye edilen değerdir

(Çizelge 4.2). Sonuç olarak hem Göksu bölgesinde hemde Silifke örnekleme noktalarındaki yeraltı suları pH ölçümlerine göre tarımsal sulamada kullanılmasında sakınca yoktur.

Elektriksel İletkenlik (Eİ): Elektriksel İletkenlik (Eİ) çözülmüş olarak bulunan toplam madde konusunda bilgi vermektedir. Eİ, suyun kirlilik değerlerinin tespiti için iyi bir gösterge olarak ele alınabilir. Yüksek Eİ, temiz sığ yeraltı suları ile karşılaştırıldığında genel olarak kimyasal gübre ve deniz suyu girişi dahil olmak üzere bazı antropojenik veya doğal faktörler tarafından yeraltı sularının kirlenmesini belirten önemli bir parametredir (Kim ve ark, 2003; Lee ve Song, 2007). Suların Eİ değeri, iyonların toplam derişimine, hareketliliklerine (çözünürlüğüne) ve sıcaklığa bağlıdır (Sanchez-Pérez ve Trémolières, 2003; Bozdağ, 2013). Sıcaklık ve sudaki iyonların derişimi arttıkça suların Eİ değeri de artmaktadır. Dolayısıyla Eİ ölçümleri sudaki toplam iyon derişimi hakkında iyi bir göstergedir. Eİ değeri niteliksel olarak inorganik kirlilik yükünü de gösterir (Suda bulunan inorganik çözülmüş maddeler tarafından elektrik iletilir. Organik maddeler elektriği yeteri kadar iletmediğinden ölçümde dikkate alınmazlar).

Doğal haldeki yüzey sularının elektriksel iletkenliği 50–1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişir (WHO ve TSE). Tüm örnekleme noktalarına ait yıllık ortalama Eİ değerlerinin alansal dağılım haritaları ise Ek 1 ve Ek 6'da gösterilmiştir.

Bu tez kapsamında, çalışma alanında örnekleme yapılan kuyulardaki Eİ değeri Şekil 4.5.'te görüldüğü gibi Göksu bölgesinde mevsimsel ortalama, kış döneminde en düşük 1615,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sonbahar döneminde ise en yüksek değeri 1914,04 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalamalarında en düşük G-10 nolu kuyuda 832 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en yüksek ise G-12 nolu kuyuda (5677,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve G-13 (4629,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$) tespit edilmiştir. Çalışma alanında örnekleme yapılan kuyulardaki Eİ değerinin sonucunun aylara göre değerlendirilmesi Şekil 4.6.'de verilmiştir. Göksu bölgesinde en düşük Eİ değeri Temmuz ayında (1551,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en yüksek Eİ değeri ise Eylül ayında (2371,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ölçülmüştür.



Şekil 4.7. Eİ değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi

Silifke bölgesinden yapılan örnekleme kuyularındaki Eİ değeri Şekil 4.8.'de görüldüğü gibi mevsimsel ortalama en düşük kış döneminde 1102 µS/cm, en yüksek değeri ise yaz döneminde 4043,5 µS/cm olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalamalarında en düşük S-06 nolu kuyuda 265,5 µS/cm, en yüksek ise S-05 nolu kuyuda 3352,5 µS/cm olarak tespit edilmiştir. Silifke çalışma alanında örnekleme yapılan kuyulardaki Eİ değeri aylara göre, Şekil 4.9.'de değerlendirilmiştir. En düşük Eİ değeri Aralık ayında (1001,5 µS/cm) en yüksek Eİ değeri ise Eylül ayında (2095,9 µS/cm) ölçülmüştür.

Göksu bölgesi ve Silifke bölgesi örnekleme noktalarındaki yeraltı sularının Eİ ölçüm sonuçlarını Çizelge 4.2'de yer alan sınır değerlere göre, G-12, G-13 ve S-05 nolu kuyuların dışındaki diğer kuyularda herhangi bir sorun bulunmadığı bu suların sulamada kullanılmasında bir sakınca olmadığı tespit edilmiştir.

Ancak Göksu bölgesindeki, G-12 (Ort. Eİ= 5667,58 $\mu\text{S/cm}$), G-13 (Ort. Eİ= 4629,2 $\mu\text{S/cm}$) ve Silifke bölgesinde S-05 (Ort. Eİ=3352,5 $\mu\text{S/cm}$) nolu kuyularda ölçülen Eİ değerleri yıl boyunca çok yüksek olarak ölçülmüştür. Bu sular tuzluluk tehlikesi sınıflandırılmasında “Kullanılmaz” sınıfına girmiştir. Ulusal ve uluslararası sınır değerlerinin çok fazla üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.5. Sulama suyunun tuzluluk sınıfı

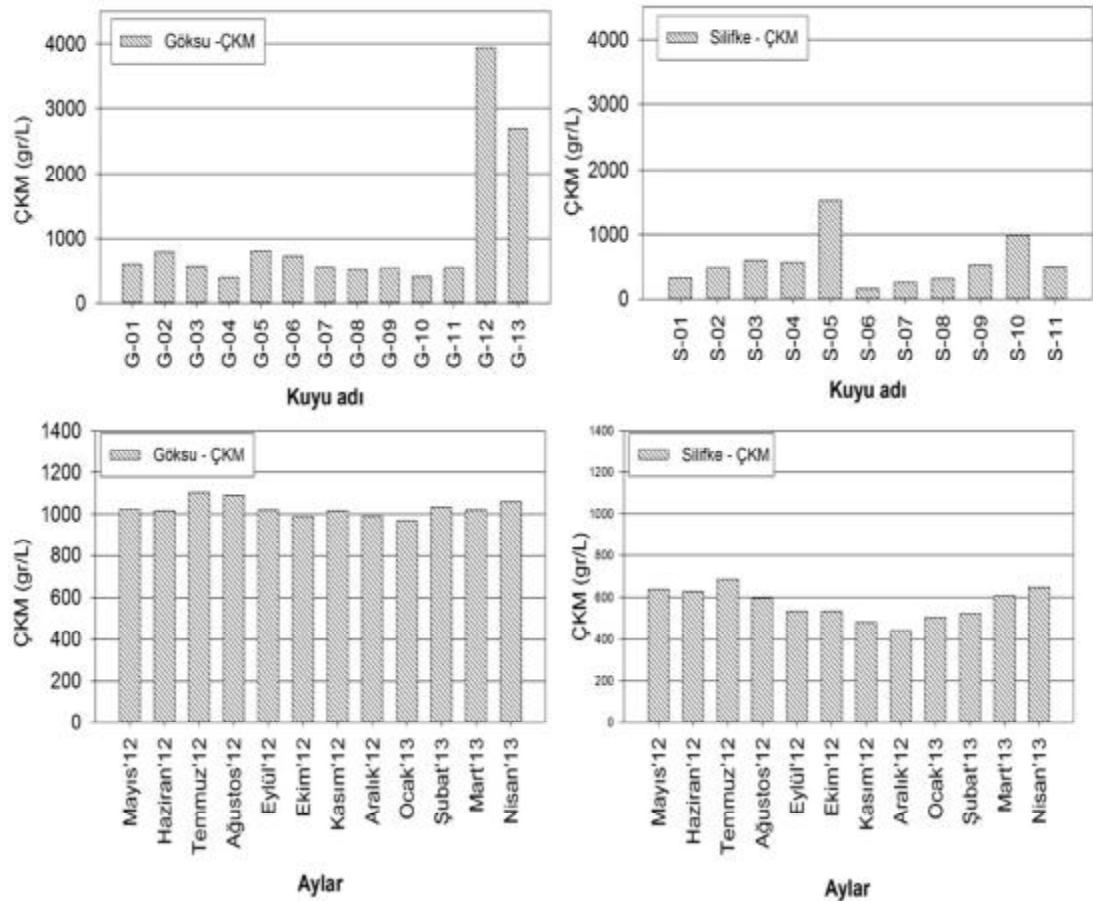
Tuzluluk Tehlikesi	Eİ ($\mu\text{S/cm}$) (25^0C)
Çok İyi	<250
İyi	250 - 750
Kullanılabilir	750-1500
Şüpheli	1500-3000
Kullanılmaz	>3000

Silifke bölgesinde bulunan Paradeniz örnekleme noktasında (S-12) deniz suyunda yapılan ölçümde Eİ yıllık ortalama 28866,7 $\mu\text{S/cm}$, en yüksek değer ise Eylül ayında (Eİ=51400 $\mu\text{S/cm}$) belirlenmiştir (Çizelge 4.6.). Deniz suyu girişimini Eİ’ e bağlı olarak yorumlanırsa ve sınır değeri de 1000 $\mu\text{S/cm}$ olarak düşünüldüğünde çalışma bölgesindeki kuyuları aylara göre değişken olmak şartıyla deniz suyu girişimi açısından tehlike arz etmektedir. Bu durum çizelgelere ve şekillere bakıldığında açık olarak gözlenmektedir (Çizelge 4.7., Çizelge 4.3, Ek 1, Ek 6.).

Çözünmüş Katı Madde (ÇKM): Sulardaki ÇKM, suların mineral ve iyon zenginliğini gösteren önemli parametrelerden birisidir. Sulardaki ÇKM, yeraltı sularının temas ettikleri ana kayanın doğal yapısına bağlı olarak aşınması gibi doğal nedenlerden, evsel ve endüstriyel atıksulardan, tarımsal faaliyetler için kullanılan suların geri yeraltı su akışına katılmasından, gübre, pestisit ve deniz suyu girişiminden kaynaklanır (Kouzana ve ark, 2009; Elewa ve ark, 2013; Zghibi ve ark, 2014). ÇKM miktarına katkıda bulunan başlıca iyonlar CO_3^{-2} , HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{-2} , NO_3^{-} , Na^{+} , K^{+} , Ca^{+2} ve Mg^{+2} dir. İçme sularının ÇKM miktarının 1000 mg/L den az olması önerilmektedir (WHO, 2008). Türkiye’deki içme suyu standartlarında toplam katılar (buharlaştırma kalıntısı) için önerilen miktar 500 mg/L dir ve izin verilen en

yüksek miktar 1500 mg/L dir (TSE, 1997).

Göksu bölgesinde seçilen 13 noktanın ortalama yıllık ÇKM değerleri 392,8 ila 3941,3 mg/L arasında tespit edilmiştir. Temmuz ayında (1103,2 mg/L) diğer dönemlere göre daha yüksek, Ocak ayında (968,8 mg/L) ise daha düşük değerdedir. Yaz mevsiminde daha yüksek ÇKM değeri ölçülmüştür. Göksu bölgesindeki örnekleme noktalarında ÇKM değerleri sınır değerler içerisinde olmasına rağmen G-12 ve G-13 noktalarında diğer noktalara kıyasla standartlarda verilen sınır değerinin oldukça üstünde problem oluşturacak düzeylerde ölçülmüştür.



Şekil 4.10. ÇKM değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi

ÇKM değeri, Şekil 4.11.'de görüldüğü gibi Silifke bölgesinde 11 noktada en yüksek yıllık ortalama değer 1517,1 mg/L, en düşük değer 256,4 mg/L olarak ölçülmüştür. Kış (756,9 mg/L) ve sonbahar (762,2 mg/L) mevsiminde yaz (852,3 mg/L) ve ilkbahar (824,6 mg/L) mevsimlerine oranla daha az ÇKM değeri

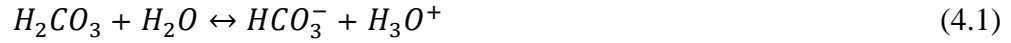
ölçülmüştür. ÇKM'deki bu mevsimsel değişim yaz aylarının kurak geçmesi ve sulamanın artması ile etkilenmiş olabilir. Silifke bölgesinde S-05 noktası dışında tüm noktalarda ÇKM değeri sınır değerlerin oldukça altındadır. S-05 noktası (1517,1 mg/L) diğer kuyulara oranla oldukça yüksek değerdedir. ÇKM değerinin bu kuyuda yüksek değerlerde izlenmesi deniz suyu girişimi sonucu olabilir. Şekil 4.12.'den de görüleceği üzere S-05 noktası Paradenize en yakın olan kuyudur.

Ancak genel itibariyle ÇKM değerleri (Göksu alanında G-12 ve G-13 noktaları ile Silifke alanında S-05 noktaları dışında) yüzey suyu açısından problem oluşturacak düzeylerde değildir. ÇKM açısından bölgedeki kuyular SKYY'e göre "Sınıf 2" kalite sınıfına girmektedir. Deniz suyunun analiz sonuçlarındaki ÇKM değerlerine bakıldığında ise, yıllık ortalama değer 18519,6 mg/L ölçülmüştür. Tüm örnekleme noktalarına ait yıllık ortalama Eİ değişimlerinin alansal dağılım haritaları ise Ek 1 ve Ek 6'da gösterilmiştir.

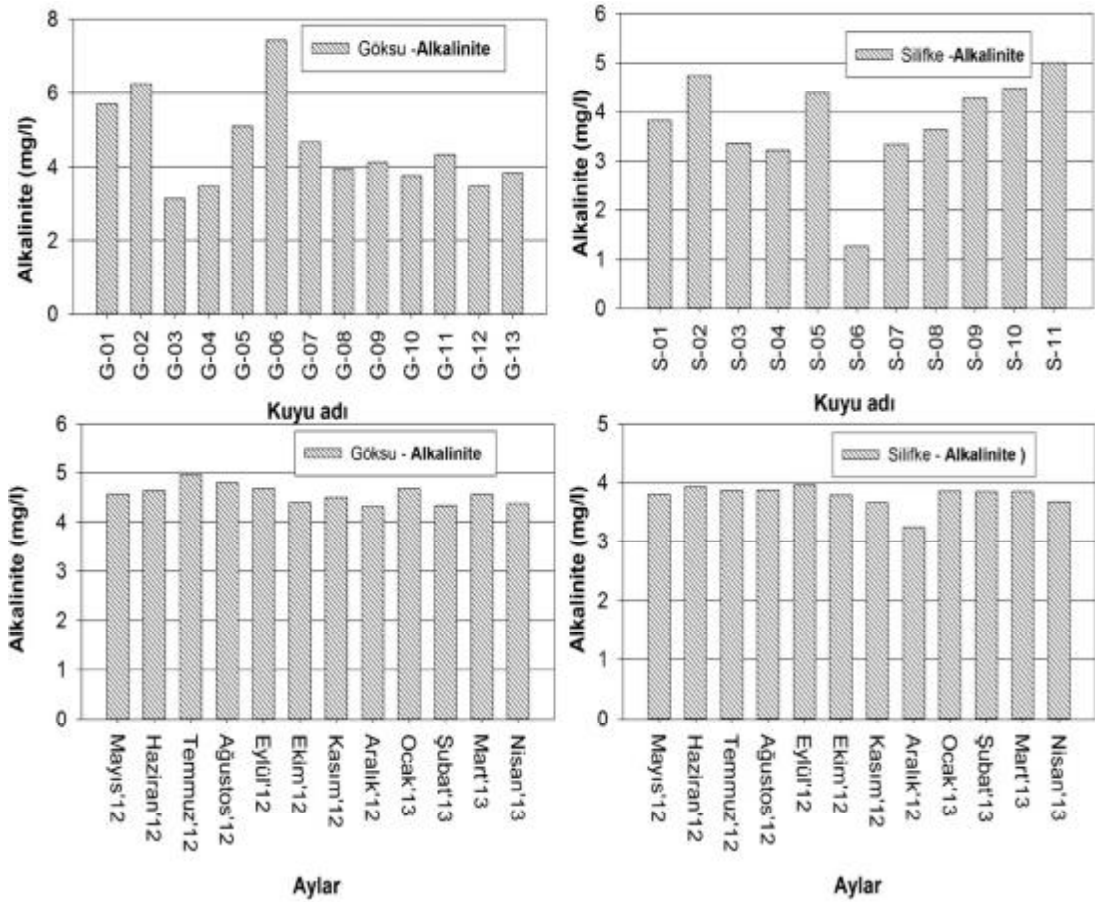
Göksu bölgesinde bulunan G-12, G-13, Silifke bölgesindeki S-05 nolu kuyu sularının Eİ değeri ile ÇKM miktarı yüksek çıkmıştır. Bu sonuçlar deniz suyu girişiminden kaynaklanan bir kirliliğin varlığını ortaya koymaktadır. Yeraltı sularının kirliliği yüzey sularının kirliliğinden daha önemli bir sorundur. Kirlenmiş akiferlerin, doğal süreçlerle temizlenmesi genellikle çok uzun yıllar gerektirmektedir. G-12, G-13 ve S-05 nolu kuyular kıyıya yakın ve derinlik ölçüleri diğer kuyulara göre daha fazla sırası ile 65m / 60m / 49m derinlik de deniz suyu girişiminin artmasını etkilemektedir.

Karbonat ve Bikarbonat Alkalinitesi: Doğal suların alkalinitesi, OH^- , CO_3^{2-} ve HCO_3^- iyonlarından dolayı ortaya çıkmaktadır. Sulama sularında CO_3^{2-} ve HCO_3^- dengesi suyun pH dengesine bağlıdır.

Sulama suları yüksek konsantrasyonlarda HCO_3^- iyonu bulunduruyor ise kalsiyum ve magnezyum karbonat olarak çökelmeye başlar. Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonları azalmaya başlarsa Na^+ nispi olarak artmaya başlar. Dolayısı ile Na^+ iyonları baskın hale geçerek bitkilerde sodyum zararına sebep olur. Na^+ iyonu bitkilerde çok düşük miktarlarda bile zararlı etki yapabilmektedir. CO_3^{2-} konsantrasyonunun ana sebebi sediment/topraktaki organik maddenin çürümesi ile CO_2 açısından zenginleşmiş sularının yeraltı suyuna karışmasıdır (Denklemler 4.1).



Doğal suların alkalinitesi nadir olarak 500 mg CaCO₃/L değerini aşar. Yüksek alkaliniteye sahip sular, genellikle içme suyu olarak istenmez. 30–500 mg CaCO₃/L aralığındaki alkalinite değerleri genellikle kabul edilmektedir. Alkalinitesi çok düşük sular korozyona neden olur. WHO ve TSE içme suyu standartlarında alkalinite için herhangi bir sınır belirtilmemiştir.

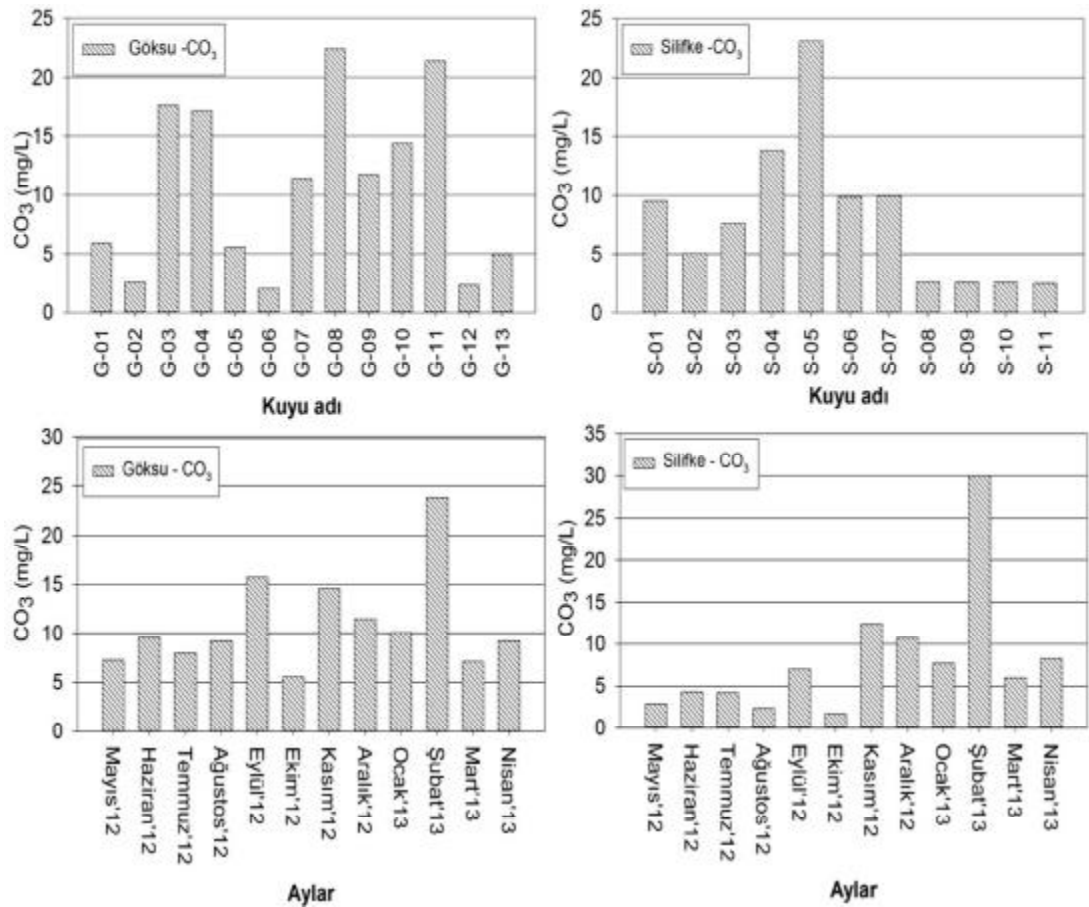


Şekil 4.13. Alkalinite değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi

Göksu bölgesinde ortalama yıllık HCO_3^- değeri, 191,1 ila 453,7 mg CaCO₃/L arasında tespit edilmiştir. En yüksek G-06 noktasında, en düşük G-03 noktasında tespit edilmiştir. Silifke bölgesinde ise ortalama yıllık değer 77,7 ile 305,5 mg CaCO₃/L aralığında ölçülmüştür. En yüksek S-11 noktasında, en düşük ise S-06 noktasında tespit edilmiştir (Çizelge 4.3).

Genel itibariyle alkalinite değeri sınır değerlerin oldukça altındadır. Tüm örnekleme noktalarına ait ortalama yıllık ve zamansal alkalinite değeri Şekil 4.14.'de alansal dağılım haritası ise Ek 2 ve Ek 7'de verilmiştir.

CO_3^{-2} miktarı ise HCO_3^- miktarından oldukça düşüktür. En yüksek değerler kış mevsiminde Göksu bölgesinde 14,9 mg CaCO_3/L , Silifke çalışma alanında ise 16,1 mg CaCO_3/L olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. Karbonat değerinin noktasal ve zamansal değişimi

Göksu alanında en yüksek CO_3^{-2} değeri G-08 noktasında, en düşük değer ise G-06 noktasında; Silifke alanında ise en yüksek S-05 noktasında, en düşük CO_3^{-2} değeri S-11 de ölçülmüştür. Tüm örnekleme noktalarına ait ortalama yıllık ve aylık CO_3^{-2} ile alkalinite değişimi Şekil 4.16.'da alansal dağılım haritası ise Ek 2 ve Ek 7'de verilmiştir.

Kalsiyum (Ca^{+2}): Bir kıyı akifer sisteminde deniz suyu girişi olduğu zaman

tuzluluğun kaynağı ÇKM'nin yanı sıra katyon ve anyon konsantrasyonlarıdır. Yapılan birçok çalışmada, tarım ve hayvancılık faaliyetleri gibi kirlilik kaynaklarının ÇKM değeri ve major iyon konsantrasyon değerinin yükselmesine neden olabileceği ifade edilmektedir. Ancak bu faaliyetlerin dışında yeraltı sularında ölçülen yüksek ÇKM ve major iyon miktarlarının, akiferdeki yer altı sularının deniz suyundan etkilenmiş olabileceğinin bir işaretcisi olduğuna da değinilmiştir (Kreitler, 1993; Mondal ve ark, 2011; Sheikhy ve ark, 2014).

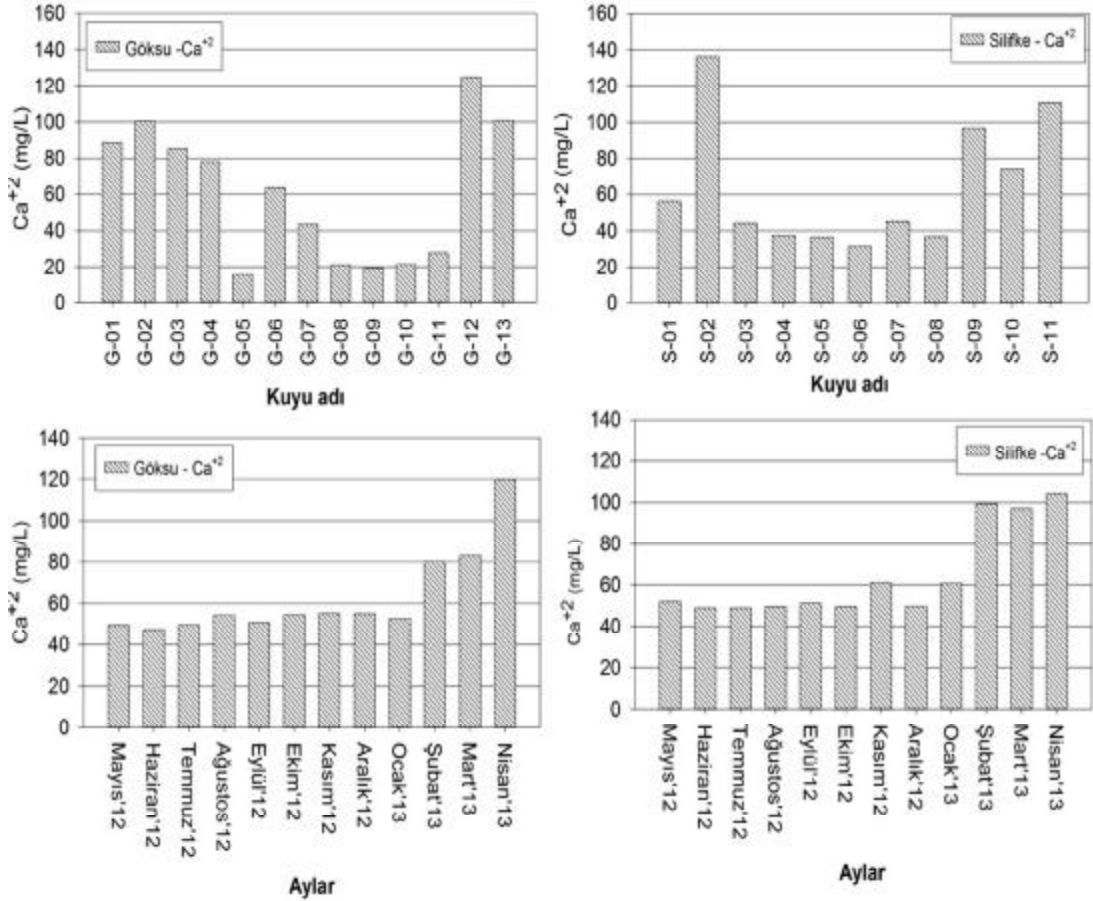
Kıyı bölgelerine yakın yeraltı su sistemlerinde, taze yeraltı suyu ile deniz suyundaki katyon miktarlarının farklılığından katyon değişim reaksiyonları meydana gelmektedir. Bu durum akiferin minerolojik yapısına bağlı olarak değişmekle birlikte genelde deniz suyu ile tatlı su arasındaki iyon tür ve miktarının farklılığından kaynaklanır. Deniz sularında Na^+ ve Mg^{+2} iyonları, taze yeraltı sularında ise Ca^{+2} iyonu baskındır (Appelo ve Postma, 1993; Martínez ve Bocanegra, 2002; Giménez-Forcada ve ark, 2010).

Toprak veya kil mineralleri katyonları tutabilirler. Yağmur suyu, sulama veya doğal kaynaklarının suları ile yıkanması sonucu bu katyonlar yeraltı suyuna karışabilirler. Ayrıca sanayi artıklarından da sulama sularına karışabilirler. Normal konsantrasyonları toprak işlemlerini kolaylaştırdığı gibi bitki gelişmesinde yararlı olmaktadır. Ancak yüksek konsantrasyondaki Ca^{+2} iyonu, oluşan kalsiyum bileşiklerine ve bitki çeşitlerine göre faydası veya zararı değişmektedir. Ca^{+2} ve Mg^{+2} , nin suda fazla bulunması sertliğe yol açarak suyun kalitesini etkiler. Kalsiyum tuzları sularda en fazla bulunan maddeler arasındadır. CaCl_2 tuzlarının bazı koşullarda NaCl tuzlarına göre daha çok zararlı etki yaptığı bilinmektedir. Özellikle meyve ağaçlarının yapraklarında klor birikiminin bitkilere zarar verdiği saptanmıştır.

Ca^{+2} hareketli ve hafif tuzlu sularda genellikle bol miktarda bulunur. Ca^{+2} yeraltısularında sürekli dinamik bir halde olup, atmosfer basıncının ve sıcaklığın artması ile Ca^{+2} konsantrasyonu artar (Bayındır, 2006; Yeşilnacar ve ark, 2007).

Göksu çalışma alanında seçilen noktalarda tespit edilen yıllık ve aylık değerler Şekil 4.7.'de görülmektedir. Yıllık ortalamalarda en yüksek konsantrasyon Nisan ayında (119,9 mg/L) ve mevsimsel ortalamalarda da ilkbahar mevsiminde (83,2 mg/L) ölçülmüştür. En düşük ise Haziran ayında (47,2 mg/L) ölçülmüş olup,

mevsimsel açıdan en düşük değer yaz mevsiminde (50,2 mg/L) tespit edilmiştir. Örnekleme noktaları açısından ise en yüksek değer G-12 ve G-13 noktalarında (sırasıyla 124,8 ve 100,8 mg/L) en düşük değer ise G-05 noktasında (15,8 mg/L) izlenmiştir (Çizelge 4.3).



Şekil 4.17. Kalsiyum değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi.

Silifke çalışma alanında seçilen noktalarda tespit edilen yıllık ve aylık ortalama değerler Şekil 4.7.'de görülmektedir. Nisan ayında en yüksek konsantrasyon (104 mg/L) ve mevsimsel ortalamalarda ilkbahar mevsiminde (84,4 mg/L) ölçülmüştür. En düşük ise Haziran ve Temmuz aylarında (48,8 mg/L) ölçülmüş olup, mevsimsel açıdan en düşük değer yaz mevsiminde (49 mg/L) tespit edilmiştir. Örnekleme noktaları açısından ise en yüksek değer S-02 ve S-11

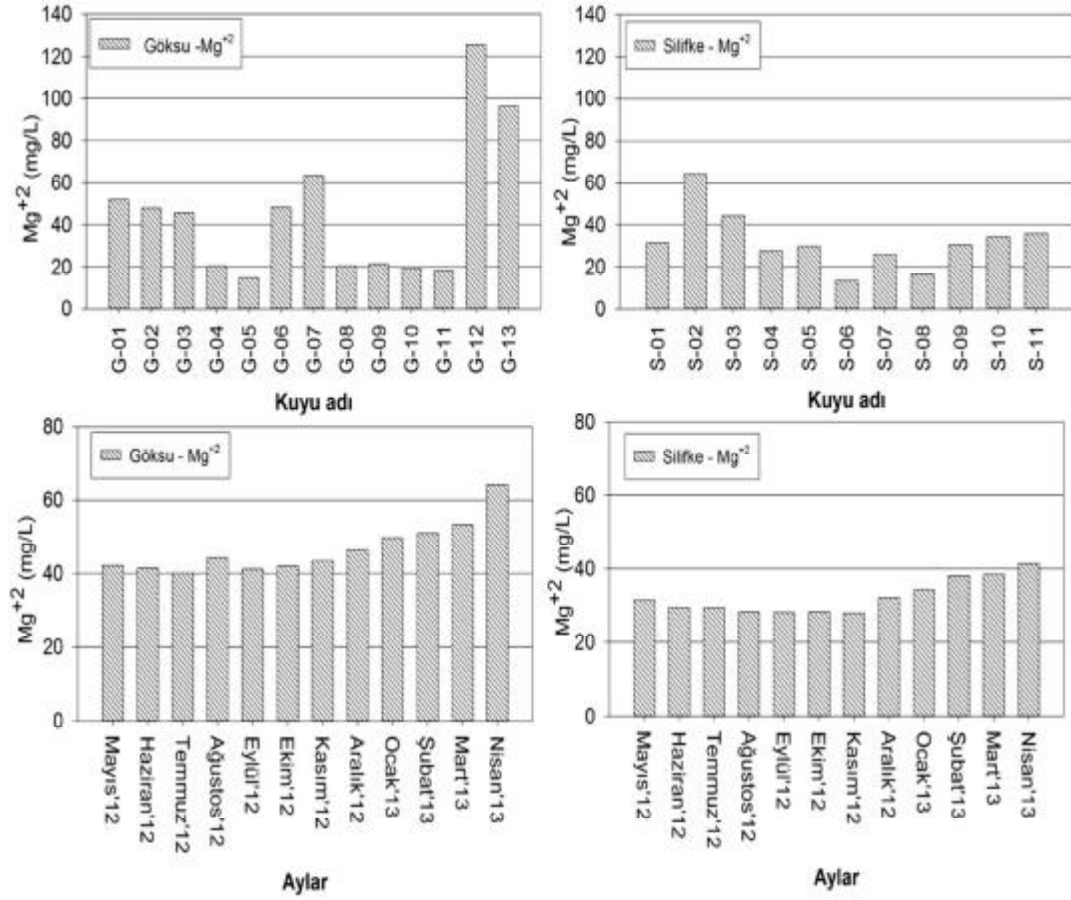
noktalarında (sırasıyla 136,4 ve 110,7 mg/L) en düşük değer ise S-06 noktasında (31,6 mg/L) izlenmiştir (Çizelge 4.3).

Ca⁺² için, tüm örnekleme noktalarına ait yıllık ve aylık alansal dağılım haritaları Ek 3 ve Ek 8'de verilmiştir. WHO ve EPA içme suyu standartlarında Ca⁺² için herhangi bir sınır belirtilmemiştir. Ancak TS266 (2005), en yüksek sınır değer olan 200 mg/L'dir. Bu çalışmada kuyu sularının tamamının analiz sonuçlarına göre Ca⁺² iyon değeri en yüksek sınır değeri aşmadığı tespit edilmiştir.

Magnezyum (Mg⁺²): Yeraltısularında Mg⁺², Ca⁺² iyonundan sonra en fazla rastlanan katyondur. Genellikle magnezyumlu kalker ve dolomit gibi kayaların aşınmasından sulara karışır. Bitki gelişmesi için gerekli element olan Mg⁺² toprağın geçirgenliğini ve işlenebilirliğini olumlu yönde etkilemektedir. Yapılan araştırmalarda Mg⁺² iyonunun 24 mg/L'lik konsantrasyonlara kadar bitki gelişmesini etkilemediği ancak daha yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yaptığı belirlenmiştir.

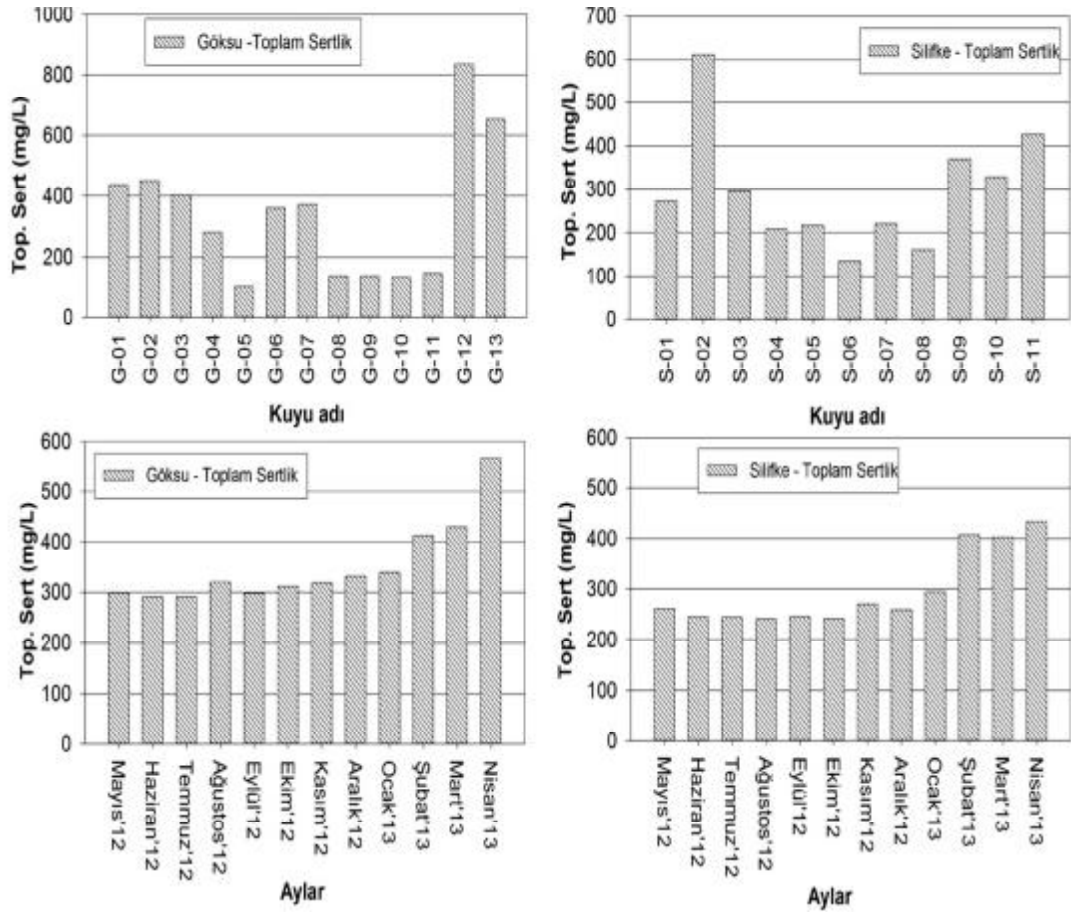
Çalışma alanının geneline bakıldığında Ca⁺² ve Mg⁺², un birbiriyle aynı dağılımı sergilediği görülmektedir. Göksu çalışma alanında seçilen noktalarda tespit edilen yıllık ve aylık ortalama değerler Şekil 4.8.'de görülmektedir. Şekil 4.8.'de görüldüğü üzere yıllık ortalamalarda en yüksek konsantrasyon Nisan ayında (80,7 mg/L) ve mevsimsel ortalamalarda ilkbahar mevsiminde (58,1 mg/L) ölçülmüştür. En düşük ise Temmuz ayında (40,1 mg/L) ölçülmüş olup, mevsimsel açıdan en düşük değer genel olarak benzer konsantrasyonlarda (12,86 mg/L) tespit edilmiştir. Örnekleme noktaları açısından ise en yüksek değer G-12 ve G-13 noktalarında (sırasıyla 134,8 ve 96,2 mg/L) en düşük değer ise G-05 noktasında (14,8 mg/L) izlenmiştir (Çizelge 4.3).

Silifke çalışma alanında seçilen noktalarda tespit edilen yıllık ve aylık ortalama değerler Şekil 4.8.'de görülmektedir. Yıllık ortalamalarda en yüksek konsantrasyon Nisan ayında (41,4 mg/L) ve mevsimsel ortalamalarda ilkbahar mevsiminde (37 mg/L) ölçülmüştür. En düşük ise Ağustos ayında (27,9 mg/L) ölçülmüş olup, mevsimsel açıdan en düşük değer yaz mevsiminde (28,1 mg/L) tespit edilmiştir. Örnekleme noktaları açısından ise en yüksek değer S-02 noktasında (64,4 mg/L) en düşük değer ise S-06 noktasında (13,4 mg/L) izlenmiştir (Çizelge 4.3).



Şekil 4.18. Magnezyum değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi.

Mg⁺² için, tüm örnekleme noktalarına ait yıllık alansal dağılım haritaları Ek 3 ve Ek 8'de verilmiştir. WHO ve EPA içme suyu standartlarında Mg⁺² için herhangi bir sınır belirtilmemiştir. TS266 (2005), en yüksek sınır değer olan 150 mg/L' dir. Bu çalışmada kuyu sularının tamamının analiz sonuçlarına göre Mg⁺² iyon değeri en yüksek sınır değeri aşmadığı tespit edilmiştir. Örnekleme noktalarına ait toplam sertlik parametresinin yıllık ortalama değerlerin ve alansal değişim haritaları, Ek 2 ve Ek 7'de verilmektedir.



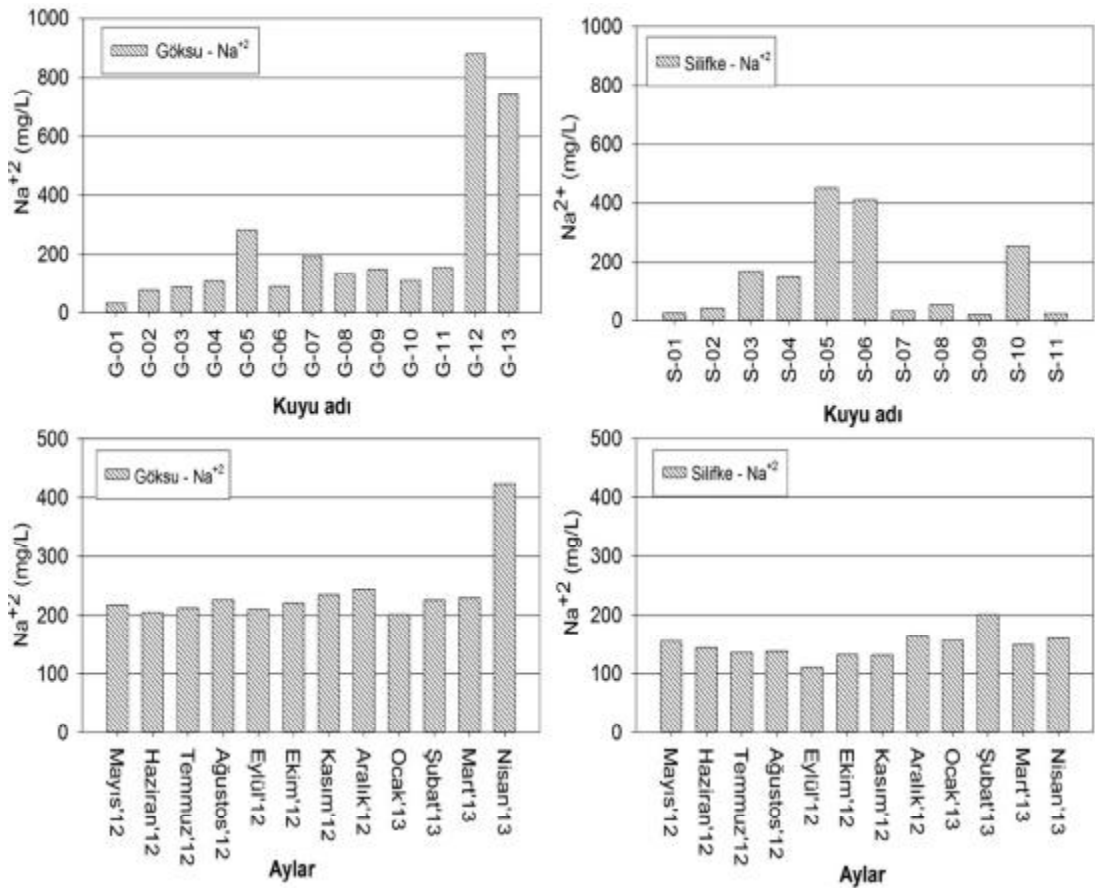
Şekil 4.19. Toplam Sertlik değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi.

Sodyum (Na^+): Cl^- iyonu ile birlikte deniz suyunda en fazla bulunan elementlerden biride Na^+ iyonudur. Yeraltı sularındaki yüksek miktarlardaki Na^+ ve Cl^- iyonları silikat kayaçlarının çözünmesi, buharlaşma ve deniz suyu girişiminden kaynaklanmaktadır (Sheikhy ve ark, 2014).

Doğada kolayca eriyen sodyum tuzları sulama suyuna dolayısıyla toprağa hemen geçmektedir. Genellikle düşük miktarlarda bulunması bitki gelişmesine olumlu etki yaparken, yüksek konsantrasyonlarda toprağın fiziksel yapısını bozarak toprak kümelerinin dağılmasına (dispersiyona) ve toprağın tek tip bir yapı kazanmasına neden olur. Bu durumda toprak kolloidleri şişerek, toprağın gözeneklerini tıkar. Toprağın hava ve su geçirgenliği azalır. Ayrıca sodyum bileşiklerince zengin sulama sularının kullanılmasının bitkilere doğrudan zarar verdiği belirtilmiştir. Pamuk, patates, şeker pancarı, domates, narenciye gibi

bitkilerde tuzluluk seviyelerine ve sulama sıklığına göre Na'un yapraklarda birikerek zararlılara sebep olduğu saptanmıştır.

Göksu çalışma alanında seçilen noktalarda tespit edilen yıllık ve aylık ortalama değerler Şekil 4.10.'da görülmektedir. Şekil 4.10.'da görüldüğü üzere yıllık ortalamalarda en yüksek konsantrasyon Nisan ayında (422,2 mg/L) ve mevsimsel ortalamalarda ilkbahar mevsiminde (286,4 mg/L) ölçülmüştür. En düşük ise Ocak ayında (201,3 mg/L) ölçülmüş olup, mevsimsel açıdan en düşük değer yaz mevsiminde (214,3 mg/L) tespit edilmiştir. Örnekleme noktaları açısından ise en yüksek değer G-12 ve G-13 noktasında (880,1 ve 741,8 mg/L) en düşük değer ise G-01 noktasında (31,6 mg/L) izlenmiştir (Çizelge 4.3).



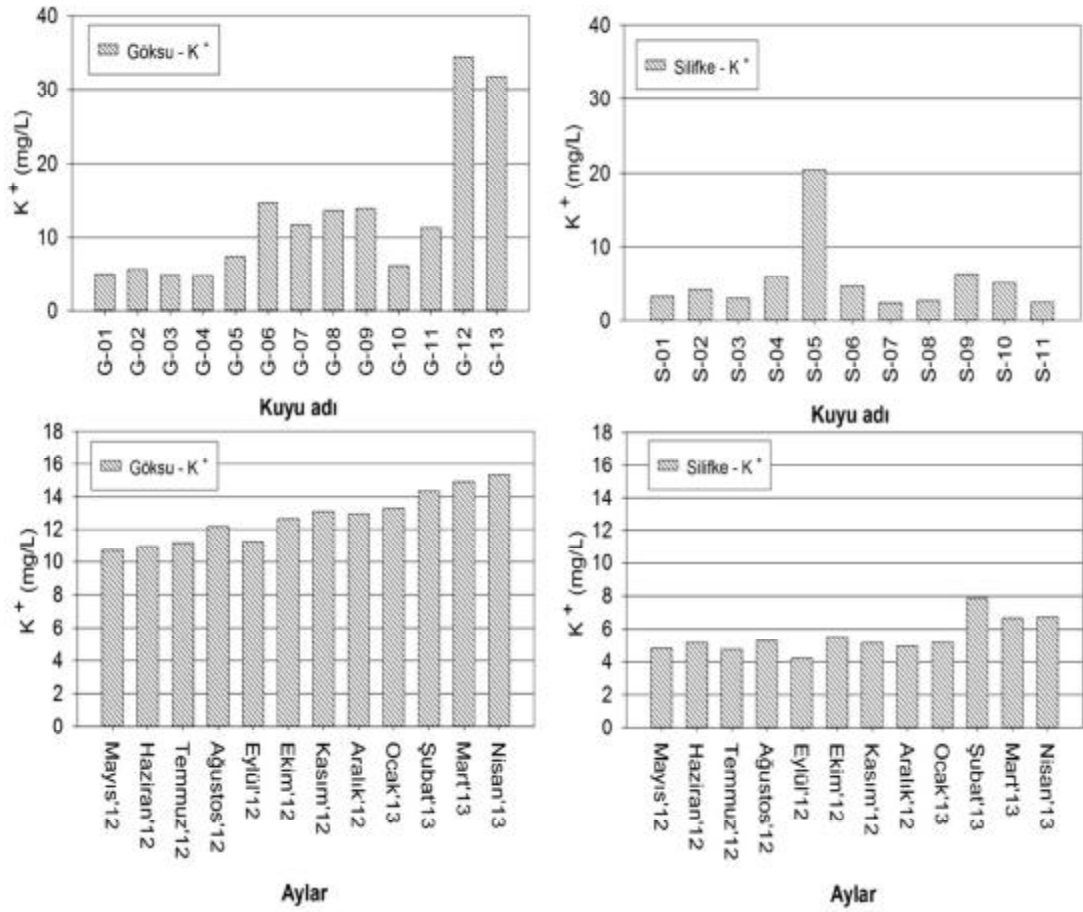
Şekil 4.20. Sodyum değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi

Silifke çalışma alanında seçilen noktalarda tespit edilen Na⁺ iyon konsantrasyonlarının yıllık ve aylık ortalama değerleri Şekil 4.10'da görülmektedir. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere yıllık ortalamalarda en yüksek konsantrasyon Şubat ayında (201 mg/L) ve mevsimsel ortalamalarda kış mevsiminde (173,8 mg/L) ölçülmüştür. En düşük ise Eylül ayında (110 mg/L) ölçülmüş olup, mevsimsel açıdan en düşük değer sonbahar mevsiminde (125 mg/L) tespit edilmiştir. Örneklem noktaları açısından ise en yüksek değer S-05 ve S-06 noktasında (452 ve 411,1 mg/L) en düşük değer ise S-09 noktasında (19,5 mg/L) izlenmiştir (Çizelge 4.3).

Ölçülen Na⁺ konsantrasyonunu ulusal ve uluslararası standartlara göre değerlendirecek olursak; Göksu alanındaki G-05, G-07, G-08, G-09 ile Silifke çalışma sahasındaki S-03, S-04, S-05, S-06 ve S-10 örneklem noktaları SKKY'ye göre "Sınıf 4" sular kapsamında, TS 266'ya göre "Tip 2" sular kapsamındadır. Yine bu noktalarda WHO ve EPA'nın sınır değerlerinin çok üzerinde ölçülmüş olup "Şiddetli" sular kapsamına girmektedir. Alandaki diğer noktalarda ölçülen değerler bu standartlarda verilen sınır değerlerin oldukça altındadır.

Potasyum (K⁺): K⁺ iyonu, doğada oldukça yaygın bulunmasına karşın doğal sularda genellikle birkaç mg/L düzeyinde bulunur. Sulardaki orta derecedeki K⁺ derişimi suyun kullanımını olumsuz yönde etkilemez. İçme suyundaki düşük ve yüksek konsantrasyonların insan sağlığına direk bir etkisi yoktur. K⁺ iyonu bitki ve hayvan yaşamı için ana besinlerden biridir. Toprak zeminini oluşturan ana kayalarda K⁺ miktarı, Na⁺'dan fazla bulunmaktadır. Buna karşın zeminde K⁺ iyonlarının bitkiler ve killi toprak tarafından tutulmasından dolayı, suda Na⁺ iyonları K⁺ iyonlarından fazladır (Sahinci, 1991).

Şekil 4.11'de Göksu alanında yıllık en yüksek ortalama konsantrasyon Nisan ayında (15,3 mg/L), en düşük konsantrasyon değeri ise Mayıs ayında (10,7 mg/L) ölçülmüştür. Mevsimsel ortalamalarda yüksek değerlere kış mevsiminde (13,5 mg/L), düşük değerler ise yaz mevsiminde (11,4 mg/L) tespit edilmiştir. Örneklem noktaları açısından ise en yüksek değer G-12 ve G-13 noktasında (34,4 ve 31,8 mg/L) en düşük değer ise G-03 ve G-04 noktasında (4,9 mg/L) izlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.21. Potasyum değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi

Şekil 4.22'de Silifke alanında yıllık en yüksek ortalama konsantrasyonu Şubat ayında (7,9 mg/L), en düşük ise Eylül ayında (4,2 mg/L) ölçülmüştür. Mevsimsel açıdan düşük değerler yaz mevsiminde (5,0 mg/L), yüksek değerler ise kış mevsiminde (6,0 mg/L) ölçülmüştür. Örnekleme noktaları açısından ise en yüksek değer S-05 noktasında (20,5 mg/L) en düşük değer ise S-07 noktasında (2,4 mg/L) izlenmiştir (Çizelge 4.3).

K⁺ konsantrasyon değeri için ulusal ve uluslararası sınıflandırmalara bakıldığında ise standartlarda belirlenmiş bir limit değeri bulunmamaktadır. Ancak TS266 (2005), en yüksek sınır değeri 12 mg/L olarak belirtilmiştir. Gökusu çalışma alanında G-05, G-06, G-07, G-08, G-09, G-11, G-12, G-13 noktaları ile Silifke çalışma alanında bulunan S-05 dışındaki kuyuların analiz sonuçları uygun iken bu noktaların K⁺ konsantrasyon değeri sınır değerinin oldukça üzerinde ölçülmüştür.

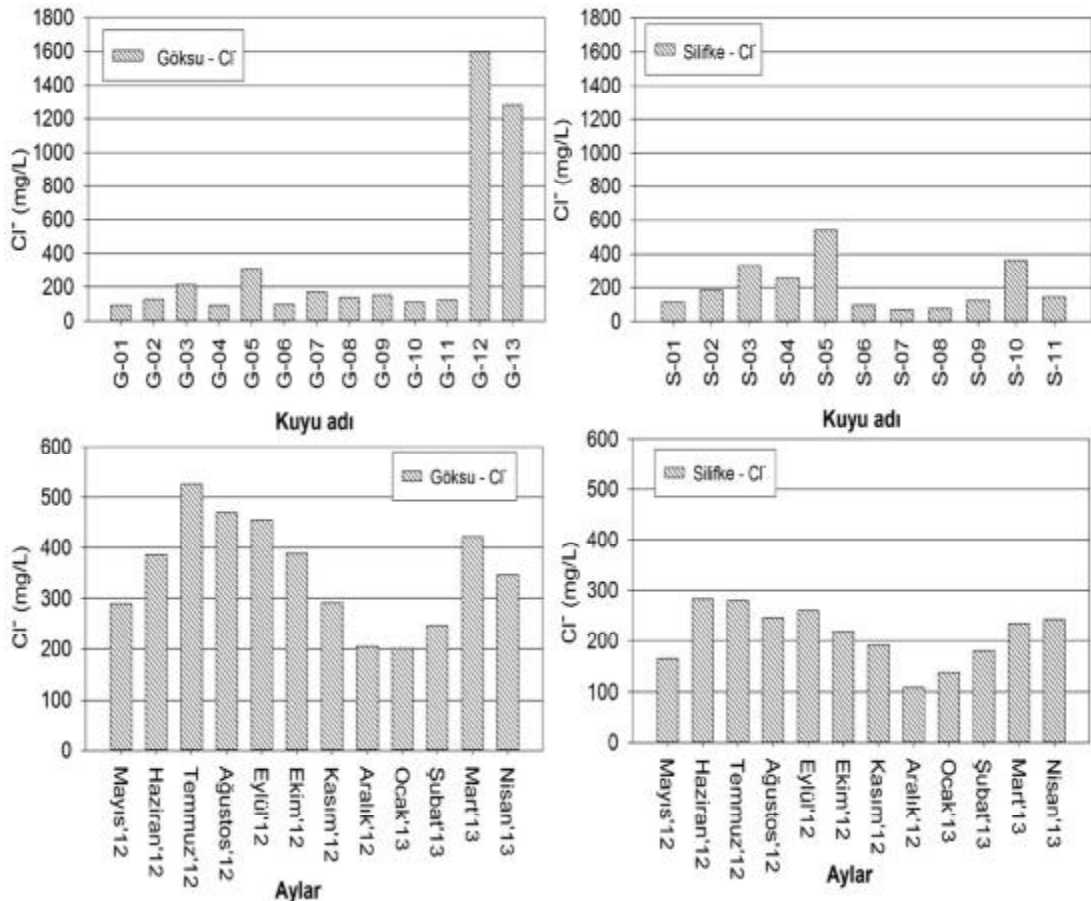
Doğal yeraltı sularında K^+ konsantrasyonu genellikle 5 mg/L'nin altında beklenir (Ltd, 2004). Bu konsantrasyonun üstündeki K^+ miktarı gübre kaynaklı kirliliği işaret eder. K^+ toprakta iyi tutunabilen bir mineral olduğu için yeraltı suyuna karışması oldukça yavaştır. Bu sebepten dolayı tarımsal arazi yakınlarındaki akifer sularında yüksek K^+ konsantrasyonu tarımsal kirlilik göstergesidir. Bu çalışmada ölçülen yıllık ortalama 9,42 mg/L K^+ miktarı bölge yeraltı sularında tarımsal kirliliğin varlığını açıkça göstermektedir. Tüm örnekleme noktalarının yıl boyunca K^+ konsantrasyonunun değişimleri ortalamalarına ait alansal dağılım haritası ise Ek 4 ve Ek 9'da verilmiştir.

Klorür (Cl^-): Cl^- anyonu farklı bölgelerinde su kalite değişkenlerinin hareketini daha iyi anlamaya izin veren önemli bir değişkendir. Cl^- anyonları doğal sulara çeşitli yollarla karışabilir. Suyun çeşitli katı maddeleri iyi çözme özelliği, toprağın üst tabakalarındaki ve daha derin toprak oluşumlarında bulunan Cl^- lerin suya geçmesine yol açar. Yeraltı sularındaki Cl^- , mineral içerikli kayalardan, yağmur ve kar suyundan ya da atmosferden gelebilir (Belkhiri ve ark, 2012).

Bunların dışında yeraltı sularına en fazla Cl^- iyonu veren deniz suyudur (Lee ve Song, 2007). Cl^- miktarı deniz kıyısına yakın yüzey sularında çok yüksektir. Deniz suyunda erimiş halde bulunan tüm elementlerin yarısından fazlasını oluşturur (Özakkoyunlu, 2007). Yağmur suyunda 1 mg/L olan Cl^- , deniz suyunda 20000 mg/L'e çıkabilmektedir. Genel olarak yeraltısularındaki Cl^- miktarı yağışlı bölgelerde az, kurak bölgelerde çoktur. İçerisinde 200-600 mg/L Cl^- bulunan sular içilebilir. Ancak yapılan çalışmalarda yeraltı suyunun Cl^- miktarının 250 mg/L (7 meq/L)'nin üzerinde olduğu durumlarda yeraltı suyunun deniz suyunun etkisi altında olabileceği ve risk altında olduğu sonucuna varılmıştır (Andreasen ve Fleck, 1997; Essink, 2001; Demirel, 2004; Arslan, 2011).

Yapılan araştırmalarda 100 mg/L'nin üzerindeki konsantrasyonlarda çoğu bitkiye toksik etki yaptığı meyvelerde, yonca, pamuk, patates gibi bitkilerde yaprak yanmasına neden olduğu ortaya konmuştur.

Çalışma alanında örnekleme yapılan kuyulardaki Cl^- değeri Şekil 4.23.'de görüldüğü gibi Göksu bölgesinde mevsimsel ortalamada, en düşük Cl^- değeri kış döneminde 216,9 mg/L, en yüksek değer ise yaz döneminde 418,3 mg/L olarak ölçülmüştür. Göksu çalışma alanında ölçümü yapılan 13 örnekleme noktasından yıllık kuyu ortalamalarında en düşük değer G-04 ve G-01 nolu kuyularda (94 mg/L), en yüksek değer ise G-12 nolu kuyuda (1598 mg/L) ve G-13 nolu kuyuda (1279 mg/L) tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki kuyuların Cl^- analiz sonuçlarının aylara göre değerlendirildiği, Şekil 4.24.'e bakıldığında Göksu bölgesinde en düşük Cl^- değeri Ocak ayında (200,5 mg/L) en yüksek Cl^- değeri ise Temmuz ayında (526 mg/L) ölçülmüştür.



Şekil 4.25. Klorür değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi

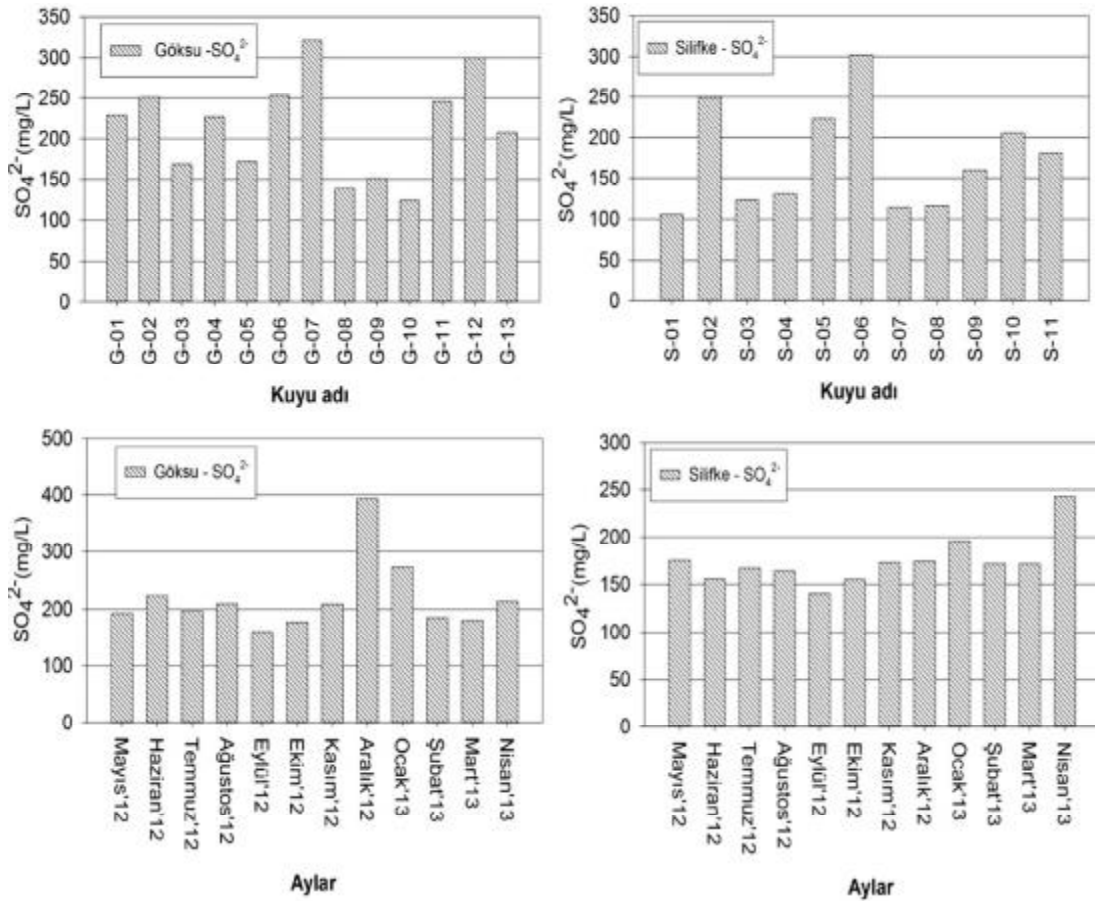
Silifke bölgesindeki kuyuların Cl^- analiz sonuçları Şekil 4.26.'de görüldüğü gibi mevsimsel ortalamada en düşük sonbahar döneminde 214 mg/L en yüksek değeri ise yaz döneminde 269,5 mg/L olarak ölçülmüştür. Yıllık ortalamalarda en düşük S-07 nolu kuyuda, Cl^- değeri 72,02 mg/L, en yüksek ise S-05 nolu kuyuda 543,5 mg/L tespit edilmiştir. Silifke çalışma alanındaki kuyuların Cl^- analiz sonuçlarının aylara göre dağılımına, Şekil 4.27.'den bakıldığında en düşük Cl^- değeri Aralık ayında (108,4 mg/L) en yüksek Cl^- değeri ise Haziran ayında (282,6 mg/L) ölçülmüştür.

Tüm örnekleme noktalarına ait yıllık ortalama Cl^- değişimlerinin alansal dağılım haritaları ise Ek 1 ve Ek 6'da gösterilmiştir. Alansal dağılım haritalarına bakıldığında analizi yapılan ölçüm noktalarında sularındaki Cl^- miktarı Göksu bölgesi için; 94,87 ile 1598 mg/L arasında ve Silifke bölgesinde ise; 72 ile 543,5 mg/L arasında değişmektedir. EPA'ya göre Cl^- miktarı 350 mg/L'dan büyük olan sulama suları “yüksek klor içeren sular” kategorisinde sayılmaktadır. Bu sebeple Cl^- miktarı analiz sonucuna göre Göksu alanında G-12 ve G-13; Silifke alanında ise S-05 ve S-10 noktalarının tarım amaçlı kullanımı bitki ve toprak kalitesini düşüreceğinden dolayı sakıncalıdır. Analiz sonuçlarını TS266'daki Cl^- parametresine göre değerlendirdiğimizde, “Sınıf 4” (zararlı-uygun değil) yeraltı suyu sınıfına girmektedir. Bu suların tarımsal amaçlı olarak kullanılması, tarımın sürdürülebilirliğini tehlikeye sokacağı için sakıncalıdır.

Silifke çalışma sahasında bulunan Paradeniz deniz suyunda yapılan ölçümde yıllık ortalama Cl^- miktarı 7194 mg/L olarak belirlenmiştir. Deniz suyu girişi Cl^- e bağlı olarak alındığında ve sınır değeri de 400 mg/L olarak düşünüldüğünde çalışma bölgesindeki G-12 ve G-13; S-05 ve S-10 nolu kuyuların aylara göre değişken olmak şartıyla deniz suyu girişi olduğunu işaret etmekte ve tehlike arz etmektedir.

Sülfat (SO_4^{-2}): Doğal olarak jips ve diğer minerallerin yıkanmasından, sanayi atıklarından SO_4^{-2} iyonu sulara karışmaktadır. SO_4^{-2} iyonu sulama sularında Cl^- dan daha az toksiktir. Yüksek konsantrasyonlarda SO_4^{-2} iyonları kalsiyumun

çökmesine neden olur ve bitkilerde toksik olabilirler. Sularda yüksek SO_4^{-2} konsantrasyonu bitkilerin topraktan Ca^{+2} alamalarına ve böylece Ca^{+2} yerine topraktan Na^{+} ve K^{+} iyonlarının alımı sonucu toprağın kation dengesini bozmaktadır. Yapılan önceki çalışmalarda kıyı akiferlerinde SO_4^{-2} konsantrasyonları deniz suyuna göre daha düşük konsantrasyonlarda olduğu ifade edilmiştir (Werner ve ark, 2013). Yeraltı suyunda yüksek miktarda SO_4^{-2} bulunması kıyı bölgesindeki yeraltı sularının deniz suyu girişiminin bir işaretçisi olarak değerlendirilir (Wang ve Jiao, 2012; Huang ve ark, 2013).



Şekil 4.28. Sülfat değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi

WHO içme sularında SO_4^{-2} için sınır değer olarak 400 mg/L'yi önermiştir. TSE içme suyu standartlarında ise SO_4^{-2} için önerilen miktar 200 mg/L, izin verilebilen en yüksek değer 400 mg/L'dir.

Çalışma alanında örnekleme yapılan kuyulardaki SO_4^{-2} değeri Şekil 4.29'de görüldüğü gibi Göksu bölgesinde mevsimsel ortalama en düşük sonbahar döneminde 181,1 mg/L, en yüksek değeri ise kış döneminde 283,2 mg/L olarak ölçülmüştür. Göksu çalışma alanında ölçümü yapılan 13 örnekleme noktasının yıllık SO_4^{-2} kuyu ortalamalarında en düşük G-10 nolu kuyularda (124,1 mg/L), en yüksek ise G-07 nolu kuyuda (321,5 mg/L) tespit edilmiştir.

Şekil 4.30'e bakıldığında Göksu bölgesinde en düşük SO_4^{-2} değeri Eylül ayında (160,4 mg/L) en yüksek SO_4^{-2} değeri ise Aralık ayında (393,2 mg/L) ölçülmüştür. Silifke bölgesinden yapılan örnekleme kuyularındaki SO_4^{-2} değeri Şekil 4.31'ten görüldüğü gibi mevsimsel ortalama en düşük sonbahar döneminde 156,4 mg/L en yüksek değeri ise ilkbahar döneminde 196,4 mg/L olarak ölçülmüştür. Yıllık kuyu ortalamalarında en düşük S-01 nolu kuyuda 105,6 mg/L, en yüksek ise S-06 nolu kuyuda 302,3 mg/L tespit edilmiştir. Şekil 4.32'a bakıldığında en düşük SO_4^{-2} değeri Eylül ayında (140,87 mg/L) en yüksek SO_4^{-2} değeri ise Nisan ayında (242,4 mg/L) ölçülmüştür.

Tüm örnekleme noktalarına ait yıllık ortalama SO_4^{-2} değişimlerinin alansal dağılım haritaları ise Ek 2 ve Ek 7'de gösterilmiştir. Alansal dağılım haritalarına bakıldığında analizi yapılan ölçüm noktalarındaki sularında SO_4^{-2} miktarı Göksu bölgesi için; 124,1 ile 321,5 mg/L arasında ve Silifke bölgesinde ise; 105,6 ile 302,3 mg/L arasında değişmektedir.

SO_4^{-2} konsantrasyonunun aylara göre değişimi incelendiğinde; çok fazla dalgalanmanın mevcut olmadığı görülmektedir. İnceleme alanı suları SO_4^{-2} içerikleri açısından EPA'ya göre değerlendirildiğinde Göksu alanında G-02, G-06, G-07, G-12; Silifke alanında ise S-02 ve S-06 noktaları üst limit değer 250 mg/L'yi aştığı için kullanımında sakınca olan sular sınıfındadır. Alüvyonlu toprakları oluşturan malzemelerin kökenleri farklı olabilir. Alüvyon ağırlıklı topraklar çakıl, kum, kil ve siltin bir arada bulunduğu karışık bir yapı gösterirler. Yağışlar ile kendi yüzeylerinden, akarsu ve yakındaki diğer akiferlerin sularından beslenirler. Bu yapılarından dolayı alüvyonlu sular farklı noktalarda kimyasal farklılıklar gösterebilir. Genel olarak SO_4^{-2} iyonlarının yüksek ölçüldüğü noktaların dağınık bir yapı izlemesi bu farklı yapı sebebi ile olabilir. Çalışma alanının alüvyon yapıya sahip

olması sebebiyle değişken malzemeler içerisindeki özel yapılardan da etkilendiği düşünülmektedir.

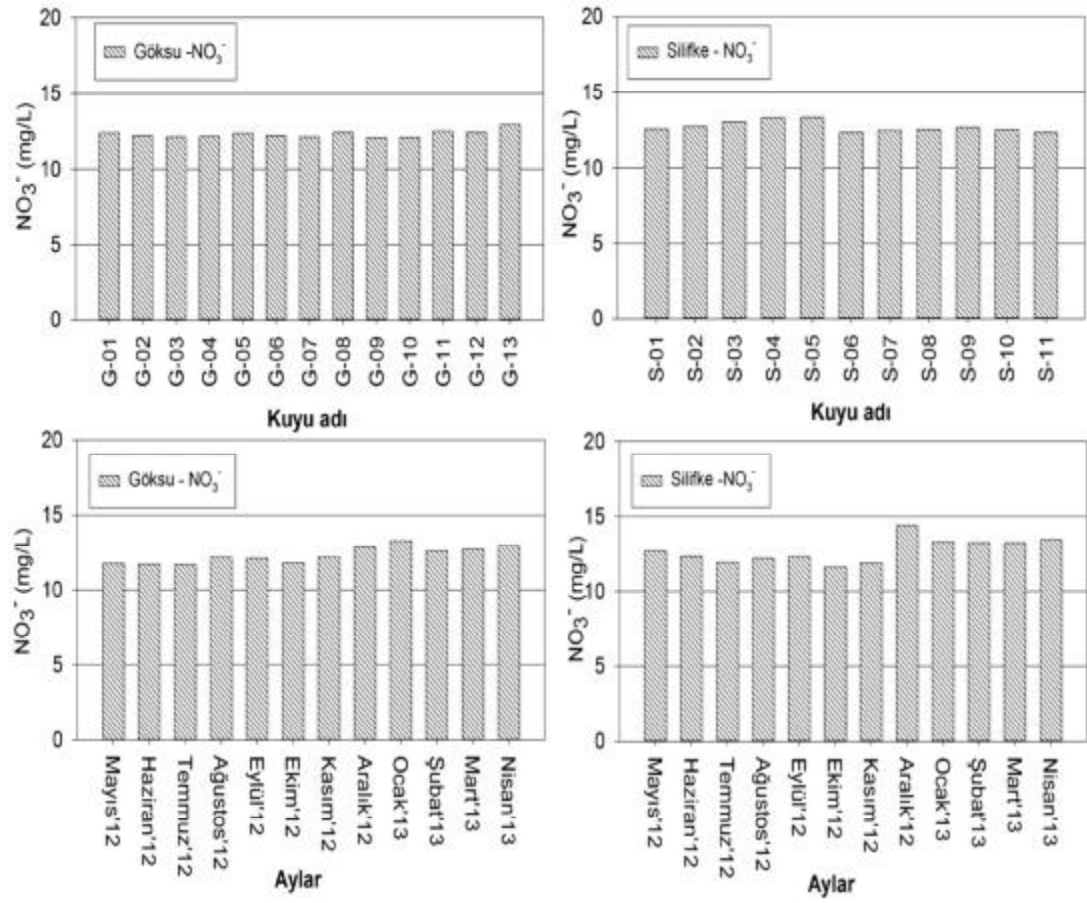
Silifke çalışma sahasında bulunan Paradeniz deniz suyunda yapılan ölçümde yıllık ortalama SO_4^{2-} miktarı 914,8 mg/L olarak belirlenmiştir. Deniz suyu girişimi SO_4^{2-} miktarına bağlı olarak değerlendirilebilir. Sınır değer de 250 mg/L olarak düşünüldüğünde çalışma bölgesindeki G-02, G-06, G-07, G-11 ve G-12; S-02 ve S-06 nolu kuyuların aylara göre değişken olmak şartıyla deniz suyu girişimi olduğunu işaret etmekte ve tehlike arz etmektedir.

Nitrat (NO_3^-): Tarım alanlarında fazla miktarda uygulanan gübrelerden ve sanayi atıklarından NO_3^- sulama sularına karışır (Trabelsi ve ark, 2007). Nitrat temiz olan tatlısulara genellikle iz miktarlarda görülür. Fakat bazı yeraltı sularında yüksek seviyelerde olabilir. Azotun akarsularda görülen en yaygın formudur. Bütün bitkiler NO_3^- 'ı önemli bir besin maddesi olarak kullanır. Ancak yüksek miktarlarda NO_3^- toprak geçirgenliğinin ve su kirliliğinin artmasına sebep olur. Song ve ark (2007), yapmış oldukları çalışmada sığ yeraltı sularında (1,2 m derinlikteki) fazla miktarda HCO_3^- ve NO_3^- ölçmüşlerdir. Nitrifikasyon sürecinde yan ürün olarak H^+ üretilirken, gübre hammaddesi olan NH_4^+ da NO_3^- 'e okside olur (Denklem 4.2) (Zghibi ve ark, 2014). Kimyasal gübre kullanımı ile bu iyonlar bakımından zenginleşmiş yerüstü sularının yağmur suları ile birlikte yeraltına sızması kaynak olarak gösterilmiştir.



Analizi yapılan ölçüm noktalarındaki sulara NO_3^- miktarı yıllık ortalama 12,49 mg/L olarak tespit edilmiştir. EPA ve TSE'ye göre sırası ile üst limit değer 45 - 50 mg/L olarak verilmiştir. Bu değerlere göre inceleme alanı suları NO_3^- içerikleri açısından tehlike arz etmemektedir. Tarım, endüstri veya diğer antropojenik etkenlerden etkilenmemiş yeraltı sularında genellikle NO_3^- miktarının 10 mg/L'den az çıkması beklenir (Scheidleder, 1999). Göksu Deltası'nda yapılan sulu tarımda, tarım arazileri yerden püskürtmeli su ile sulanmaktadır. Bu şekilde hem daha geniş bir alanın su gereksinimi karşılanmakta hem de ürün üzerindeki tozlanmanın önüne

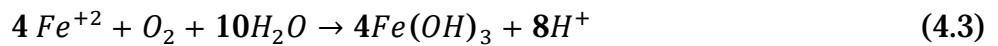
geçilebilmektedir. Kullanılan tarım ilaçlarının toprağın üst tabakasından yıkanarak yer altı sularına karışması mümkündür. Azotlu gübre kullanılan tarım arazilerinde yağışlı dönemlerde toprakların yıkanması nitratın suya geçmesine ve suda nitrat miktarının artmasına neden olur. Bu da bölge yeraltı sularında ölçülen NO_3^- konsantrasyonlarının bir sebebi olabilir.



Şekil 4.33. Nitrat değerinin deltada noktasal ve zamansal değişimi

Yeraltısularında Az Miktarda Bulunan İz Metaller: İz metallerin yeraltı sularındaki hareketliliği (çözünürlüğü) su kalitesini ve değişimini izlemede önemli faktörlerdendir. Özellikle içme suyu standartlarında en yüksek izin verilebilir veya tavsiye edilen sınır değerleri belli olan iz metaller önem taşır. Yeraltısularında yukarıda belirtilen anyon ve katyonların dışında genellikle 1 mg/L'den az fakat sayıca çok fazla olan iz metaller bulunur. Bu iz metaller yeraltı suyunda çok ender durumlarda ÇKM'nin önemli bir kısmını oluşturacak şekilde bulunsa da, bunların konsantrasyonları kaynağa ve hidrokimyasal ortama bağlı olarak içme suyu standartlarında tayin edilmiş sınır değerlerin üzerinde bulunabilir. Bunların bir kısmı zararlı bir kısmı zararsızdır. Yeraltısularında genellikle az miktarda bulunan Mn, Zn, B ve Si gibi önemli olan metallerinin ölçüm sonuçları ve alandaki dağılımları Ek 5 ve Ek 10'da görünmektedir.

Demir (Fe⁺³) ve Mangan (Mn⁺²): Doğada çok bulunmasına rağmen, doğal suların kapsamında az miktarda bulunan demir özellikle yeraltı sularında iki değerlikli çözülmüş halde veya Fe(HCO₃)₂ şeklinde bulunur. Suların 0,3 mg/L'den fazla demir içermesi lezzeti bozar, bazı küçük canlıların oluşumuna ve hızlı çoğalmasına (alg oluşumuna) yol açar. 0,5 mg/L'den fazla olması sondaj kuyularındaki filtrelerin ve su borularının tıkanmasına sebep olur. İki değerlikli demir (ferro) kararlı bir iyon olmayıp ortamda oksijen varsa;

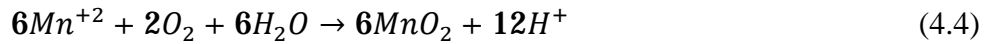


reaksiyonu gereğince demir -3- hidroksit halinde çökerek sudan ayrılır (Oksijen ya da bir başka oksitleyici etkenle karşılaşan çözülmüş demir, çözünmez hale geldiğinden çöker ve suda paslı bir renk alır.). İndirgeyici koşullar altında yukarıdaki reaksiyon tersine dönerek, suda bol miktarda ferro demir bulunabilir. pH değerinin 6-8 değerlikleri arasında üç değerlikli ferri demirin çözünürlüğü sınırlandırılmış olup, çözünürlük çarpımı $4 \cdot 10^{10}$ 'dan $5 \cdot 10^6$ dolayında olur. Daha düşük pH değerlerinde ferri demirin çözünürlüğü artar, çoğunlukla alkali karakterdeki sulara ferri demir, koloidal halde görülür. Havanın etkisi veya klor ilavesiyle demir, ferri (+3) haline yükseltgenir ve hidrolize olarak çözünmeyen demir

3 oksit haline döner. Özel koşullar altında havadan sakınmaksızın toplanan laboratuvar numunelerinin çoğunda demir bu şekilde bulunur. Alkali yüzey sularında demir ender olarak 1 mg/L değerinden daha fazla konsantrasyonlarda bulunur. Diğer taraftan bazı yeraltı suları ve asidik yüzey sularında fazla miktarda Fe⁺³ bulunabilir.

Toprak veya tortul kütlelerdeki mangan atmosferik olayların etkisiyle çözünerek suya geçer. Demiri fazla olan sularda, çok defa mangana rastlanır. Fakat miktarı çok az olup 0,3 mg/L'yi geçmez. Yeraltı sularında bulunan mangan ortamda oksijenin bulunmayışı nedeniyle iki değerliklidir. Yüzeysel sularda, özellikle göl ve baraj gibi rezervuarların dip çökeltisi çamurları içerisinde bulunur ve indirgeyici ortamda çamurdan suya geçer.

Mn'de Fe gibi benzer özelliklere sahip bir elementtir. Reaksiyon ise Denklem 4.4'de gösterilmiştir.



Her iki elementte 0,1 mg/L'de bulunmalıdır. İnceleme alanından alınan numunelerin Fe⁺² ve Mn⁺² miktarı oldukça düşüktür. Göksu bölgesinde G-01, G-02 ve G-06'da Silifke bölgesinde ise S-01 ve S-03 noktalarındaki örnekler Fe⁺³ açısından, G-01 ve S-05, S-08, S-09 numuneleri ise diğer örnekleme noktalarına göre Mn⁺² açısından zengindir. Tüm örnekleme noktalarına ait Fe⁺² ve Mn⁺²'nin yıllık ve aylık ortalama değerlerinin alansal dağılım haritası Ek 5 ve Ek 10'da gösterilmiştir. Alansal dağılım haritalarına bakıldığında ölçüm noktalarında Mn⁺²'nin eser halde olsada bulunduğu görünmektedir. Yeraltı suyunda Mn⁺²'ye rastlanma sebebi toprak yapısı veya Mn⁺² içeren suni gübrelerden ve endüstri, sanayi atıklarından kaynaklanabilir. Çalışma bölgesi, tarım ve sanayi açısından aktif bir bölge olduğu için Mn⁺² değerlerine rastlanması muhtemel sebebi tarımdan kaynaklanmaktadır.

Nikel (Ni): Yeraltı suyundaki nikel kaynakları toprak yapısından ve endüstriyel atıklar olarak bilinmektedir. Nikel tuzlarının pek çoğu suda kolay eriyebilir, bu nedenle Ni'in suya karışması kolay olur. Özellikle Ni içeren bileşiklerin nehirlere atılması bu bulaşmada rol oynar. Ni miktarı WHO'ya göre 0,02 mg/L EPA'ya göre 0,1 mg/L'dir. Çalışma bölgesinde yapılan Ni ölçümlerinde bütün kuyularda

WHO'nun içme suyu standartlarına göre sınır değerin çok altında gözlenmiştir (Çizelge 4.17).

Silis (SiO₂): Silisyum yerkabuğunda en fazla bulunan elementtir. Buna karşı suda çok zor çözünmesi nedeni ile yeraltısularında 20 mg/L'den az bulunur. Göksu Delta'sında yıl boyunca ortalama Si konsantrasyonu 2,55±0,71 mg/L ölçülmüştür (Çizelge 4.1). İnceleme alanındaki örneklerde S-05 noktasında en yüksek 3,89 mg/L, S-06 noktasında ise en az 0,8 mg/L konsantrasyonlarında izlenmiştir (Çizelge 4.3). Yeraltı sularında nispeten yüksek Si konsantrasyonu bölgedeki deniz suyu ile akiferler arasındaki etkileşime bağlı olabilir. Silifke bölgesindeki örnekleme kuyularına kıyasla Göksu bölgesindeki örnekleme kuyularında daha yüksek Si değerleri gözlenmiştir. Bu da Göksu bölgesinde bulunan yeraltı sularında deniz suyu girişiminin daha fazla olduğunu işaret eder.

Baryum (Ba): Baryum, magmatik ve tortul kayalardan atmosferik olayların etkisi ile çözünerek suya geçen bir iz element olarak yeraltı sularında bulunur. Doğada serbest halde bulunmamasına rağmen, BaSO₄ (barite) ve BaCO₃ (witherite) halinde bulunur (Denklem 4.5).



Suların pH değeri azaldıkça, baryum bileşiklerin suda çözünürlüğü artar. Doğal su sistemlerinde SO₄⁻² ve CO₃⁻² gibi metal oksitlerin ve hidroksitlerin Ba iyonlarını adsorpsiyonu ile Ba konsantrasyonu sularda sınırlı seviyelerdedir. Böylece içme suyu ve gıda tüketiminde Ba düşük seviyelerde kalmaktadır. Ba kayaların ve minerallerin ayrışma ile doğal çevreye girer. İnsan eliyle temel olarak endüstriyel işlemler ile doğal ortama girer. Ba bileşikleri endüstriyel uygulamalarda geniş bir çeşitlilik vardır. Plastik, lastik, elektronik ve tekstil sektörlerinde kullanılmaktadır. Ba bileşikleri yağlayıcı katkı maddesi olarak, ilaç, kozmetik, seramik sırrı, cam ve kağıt yapımında ayrıca çeşitli pestisitlerin yapısında bulunur. Ba parçacık biçiminde havada, genellikle mevcuttur. Ağırlıklı olarak endüstriyel emisyonlar, kömür, mazot ve atık yakma ile partikül şeklinde havaya karışarak kuru veya ıslak birikme ile doğal sulara karışabilir. Göksu Delta'sında yıl boyunca ortalama Ba miktarı 0,38±0,21

mg/L (ort±sd) ölçülmüştür (Çizelge 4.1). Delta yakınında endüstriyel işletmenin olmaması Ba seviyesinin düşük tutmaktadır.

Bor (B): Doğada sodyum borat veya kalsiyum borat şeklinde bulunurken, yeraltısularında borik asit (H_3BO_3), Borat (BO_4) ya da tetraborat (B_4O_7) şeklinde ender olarak bulunur. Bitkilerin normal gelişimi için gerekli elementlerden biridir. Ancak 0,5 mg/L üzerinde bitkilere zararlı etki yapmaya başlar. Sulama sularında 0,1-0,2 mg/L olması yararlıdır. Bor miktarına karşı bitkiler farklı düzeylerde dayanım göstermektedir. İçme sularında 30 mg/L'ye kadar bulunması zararlı değildir. İnceleme alanındaki örneklerin tümü Bor için sulama suyu kullanımında tavsiye edilen sınır değerlerin üstünde iken içme suları için belirlenen sınır değerler arasında kalmaktadır. Göksu bölgesinde yıllık ortalama 0,9 mg/L iken en fazla G-13 ve G-12 noktalarında en az ise G-04 noktasında ölçülmüştür. Silifke bölgesinde ise yıllık ortalama 0,69 mg/L iken en fazla S-05 en az ise S-06 noktasında izlenmiştir (Çizelge 4.3).

İz Metaller: Yeraltı sularında eser halde buldukları zaman bile, zehirleyici etkisi olan maddelerdir. Bunlar, Bakır (Cu), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Florür (F), Arsenik (As), Kurşun (Pb), Aliminyum (Al) ve Çinko (Zn)'dur.

Cu ve bileşikleri yüzeysel sularda bulunabilirler. Sudaki bakır, suyun pH'ı ve karbonat konsantrasyonu ve diğer anyonlarla ilgilidir. Bakır kaynakları endüstriyel sanayi atıkları, borular, Cu içeren suni gübreler yani tarım ve formasyondan kaynaklanabilmektedir (Shrestha ve Kazama, 2007; Palma ve ark, 2014). Jeolojik konuma, sanayiye ve gübre kullanımına, yiyeceğe göre topraktan değişik miktarlarda Cu alınır, inorganik esaslı gübrelerde Cu miktarı 0,01-0,05 mg/gr'dır.

Cd doğal sulara endüstri artıklarının karıştırılmasından gelebilir.

Cr, suda 3 ve 6 değerlikli halde bulunurken; 3 değerlikli kroma çok nadir rastlanır. Cr^{+6} tuzları kanserojenik özellikte olduğu için içme sularının Cr kirliliğinden korunması gerekir. pH değeri düşük doğal sularda eser miktarda bulunabilir. Sularda kromat bileşiklerinin bulunuşu ancak suyun kirlenmesi sonucunda olabilir. Cr^{+6} tuzları endüstriyel proseslerde çok miktarda kullanılır.

F⁻, diş sağlığı açısından sağladığı faydalardan ve birçok Őehirde belediye içme sularında katkı maddesi olarak kullanılmasından dolayı geçtiğimiz birkaç yılda üzerinde çok fazla durulmuş bir bileşendir. F⁻, yeraltı suyundaki konsantrasyon aralığı 0,1 mg/L'den daha küçük bir değerden 10-20 mg/L gibi yüksek değer kadar değerren doğal bir bileşendir. F⁻ yeraltı suyundaki doğal konsantrasyonları, yeraltı suyunun akış yolu sırasında karşılaştığı kayalarda ve minerallerde F⁻ olup olmadığına ve bunların znrlğine bağlıdır.

As ağır metal olmasına rağmen suda anyonik haldedir. Doğal suda az miktarda bulunan As ve bileşikleri boya yapımında, böcek ve bitki ilaçlarında, metal alaşımlarda ve kimyasal silah yapımında geniş bir kullanım alanı vardır. Bu kullanım alanlarının çoğunda As yerini günümüzde sentetik organik bileşikler almıştır. Ancak, geçmişteki kullanımı ve maden işletme atıkları ile doğal kaynaklardan dolayı arsenik evre kalitesi açısından halen gündemdedir.

Pb, jeolojik unsurlardan yeraltı sularına karışır, ayrıca endüstriyel atıklar sebebiyle yeraltı sularına karışabilmektedir.

Al yer kabuğunda fazlaca bulunmasının yanında doğal sularda düşük miktarlarda bulunur.

Zn, yerkabuğunda bol miktarda iken, doğal sularda az miktarda bulunup, WHO'ya göre yüzey ve yeraltı sularında 0,01 ve 0,05 mg/L'yi aşmaz. Ancak içme suyu maksatlı kullanımda 3 mg/L'yi, US EPA'ya göre sulama suyu maksatlı kullanımda ise 2 mg/L sınır değerdir. Tüm rneklerde Temmuz, Aralık ve Ocak aylarında oldukça düşük miktarlarda olsada (0,06 µg/L) Zn'ye rastlanmıştır.

Çizelge 4.8. ICP-OES Ölçüm Limitleri

Deney Adı	Deney Metodu	LOD (Tespit Limiti (mg/L))	LOQ (Ölçüm Limiti (mg/L))
Si	ICP	0,23	0,6
Ba	ICP	0,12	1,0
B	ICP	0,28	1,4
Cd	ICP	0,36	1,2
Cr	ICP	0,24	0,8
Cu	ICP	0,36	1,2
Fe	ICP	0,42	1,4
Mn	ICP	0,06	0,2
Ni	ICP	1,14	3,8
Zn	ICP	0,36	1,2

Tespit ve ölçüm limit değerleri hesaplanıp aşağıdaki tabloda verilmiştir. Örnekleme noktalarının hiç birinde tayin sınırının üzerinde bu elementlere rastlanmamıştır. Bu yüzden hem grafiğe dökülmemiş ve hem de dağılım haritaları oluşturulmamıştır.

4.2. Yeraltı Sularının Sulama Suyuna Uygunluğunun İncelenmesi

4.2.1. %Na, RSC ve SAR değerlerinin yorumlanması

İnceleme alanındaki yeraltı sularının sulama suyu olarak uygunluğu incelenirken su örneklerine ait %Na ve RSC, SAR değerleri hesaplanmış Çizelge 4.9'de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Su numunelerinin Sodyum Yüzdeleri, RSC ve SAR değerleri

Numune No	%rNa	RSC (meq/L)	SAR
G-01	13,81	-2,86	0,67
G-02	27,27	-2,68	1,60
G-03	31,92	-4,35	1,91
G-04	45,11	-1,59	2,82
G-05	84,77	3,26	12,37
G-06	33,58	0,30	2,05
G-07	51,79	-2,40	4,32
G-08	65,59	1,91	5,05
G-09	67,73	1,09	5,57
G-10	62,98	1,55	4,19
G-11	67,60	2,13	5,66
G-12	68,87	-13,93	12,87
G-13	70,12	-9,06	12,69
S-01	16,98	-1,30	0,68
S-02	12,99	-7,30	0,74
S-03	51,39	-2,30	4,23
S-04	53,49	-0,49	4,52
S-05	80,74	0,82	13,80
S-06	86,27	-1,09	17,41
S-07	24,16	-0,75	0,94
S-08	42,35	0,49	1,88
S-09	10,71	-3,05	0,45
S-10	62,78	-2,02	6,21
S-11	11,20	-3,44	0,51

4.2.2. Sodyumun Diğer Katyonlara Oranı (SAR)

Sodyum miktarı sulama suyu kalitesinin belirlenmesinde önemli bir kriterdir. Sodyumun etkisi, sodyum ve kalsiyum iyonlarının konsantrasyonuna bağlı olduğundan, sulama sularının sodyum bakımından değerlendirilmesinde direkt sodyum miktarı yerine sodyumun suda bulunan diğer katyonlara oranı dikkate alınır. Sodyumun diğer katyonlara nisbi oranına sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) denir ve aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır. Bu oran Birleşik Amerika Tuzluluk laboratuvarınca geliştirilmiş olan Denklem 4.6 eşitliğine göre hesaplanır (USSL, 1954);

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}} \quad (4.6)$$

Bu eşitlik de Na^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} değerleri meq/L olarak ifade edilmiştir. Sulama amacı ile suyun kullanılması halinde bu suyun meydana getireceği sodyum zararı, bileşiminde bulunan katyonların mutlak ve rölatif konsantrasyonları ile tayin edilmektedir. Sodyumun iki değerli katyonlara oranla fazla bulunması sodyum zararını arttırmakta, az bulunması halinde de sodyum zararını azaltmaktadır. Aşağıdaki şekilde sınıflanır (Raghunath 1987):

Çizelge 4.8. SAR'a göre sulama sularının sınıflandırılması

Kalite Sınıfı	SAR
Çok iyi özellikte sulama suları	10'dan az
İyi özellikte sulama suları	10-18
Orta özellikte sulama suları	18-26
Kötü özellikte sulama suları	26'dan fazla

Çalışma sahasına ait SAR değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir. SAR değerleri incelendiği zaman, Göksu bölgesinde G-05, G-12 ve G-13 örnekleme noktaları dışında diğer noktaların SAR değeri 10'dan küçük olduğu için Çizelge

4.8'deki sınıflandırmaya göre “Çok İyi” sulama suyudur. G-05, G-12 ve G-13 noktalarındaki kuyu sularının SAR sonuç değerleri Çizelge 4.8'de verilen sınıflamaya göre 10'dan büyük olduğu için “İyi Özellikte” ki sular kapsamındadır.

Silifke bölgesindeki, S-05 ve S-06 noktaları dışındaki diğer noktaların SAR sonuç değerleri birbirine yakın değerler olup Çizelge 4.8'de verilen sınıflamada 10'dan küçük olduğu için “Çok İyi” sular sınıfında yer almaktadır. S-05 ve S-06 örnekleme noktaları ise Çizelge 4.8'de verilen sınıflamada 10-18 aralığında olduğu için “İyi” özellikte sulama sular kapsamındadır.

SAR değerleri için kuyular arası karşılaştırma yapıldığında sıralama Göksu bölgesinde G-01 <G-02 <G-03 <G-06 <G-04 <G-10 <G-07 <G-08 <G-09 <G-11 <G-05 <G-13 <G-12; Silifke bölgesinde ise S-09 <S-11 <S-01 <S-02 <S-07 <S-08 <S-03 <S-04 <S-10 <S-05 <S-06 gibidir.

4.2.3. Kalıcı Sodyum Karbonat Konsantrasyonu (RSC)

Sulama suyu kalitesinin belirlenmesinde ve sınıflandırmada dikkate alınan kriterlerden biri de kalıcı sodyum karbonat miktarıdır. HCO_3^- iyonunun yüksek konsantrasyonlarda içeren sularda toprak yapısının daha yoğunlaşması durumunda Ca^{+2} ve Mg^{+2} karbonat halinde çökmesine doğru bir yaklaşım vardır. Bu reaksiyon belli koşullar altında tamamlanmazsa da tamamlandığı hallerde Ca^{+2} ve Mg^{+2} konsantrasyonları azalır ve neticede Na^+ miktarı artar. Bu yaklaşım ile RSC değerinin hesaplanmasında Eaton (1950) tarafından geliştirilen aşağıdaki eşitlik bulunmuştur. Denklem 5.7 eşitliğinde kullanılan bütün iyonlar meq/L olarak ifade edilmiştir.

$$RSC = (CO_3^{-2} + HCO_3^{-}) - (Ca^{+2} + Mg^{+2}) \quad (4.7)$$

Sulama sularının kalıcı sodyum karbonat miktarına göre sınıflandırılmasında RSC değeri;

- Ø 1,25 meq/L'den düşük olan sular sulamada “Güvenli”,
- Ø 1,25-2,5 meq/L aralığında olan sular sulamada “Riskli”,
- Ø 2,5 meq/L'den yüksek olan sular alkalilik oluşturacakları için sulamada “Kullanılamaz”.

RSC değerinin eksi olduğu kuyular, RSC açısından herhangi bir sorun oluşturmadığı için eksi değerde olan kuyuların RSC değeri sıfır olarak kabul edilmiştir (Lloyd ve Heathcote, 1985). Çizelge 4.7 incelendiğinde, RSC'ye göre G-05 “Kullanılmaz”, G-08, G-10 ve G-11 örnek noktalarındaki sular “Riskli” sulama suyu sınıfında yer almaktadır. Diğer örnekleme noktalarının tamamı “Güvenli” sulama suyu sınıfında yer aldığı tespit edilmiştir.

4.2.4. Yüzde Sodyum Değeri (%Na)

%Na değeri, yeraltı sularının tarımsal alanlarda sulama suyu olarak kullanıma uygun olup olmadığını gösteren önemli bir parametredir. %Na değerinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır. Denklem 4.8 eşitliğinde kullanılan bütün iyonlar meq/L olarak ifade edilmiştir.

$$\% Na = \frac{100 \times Na^+}{Na^+ + Ca^{+2} + K^+ + Mg^{+2}} \quad (4.8)$$

Çizelge 4.9. %Na değerine göre su sınıflandırması (Şahinci, 1991)

%Na	Sulama Suyu Sınıfı
<20	En İyi
20-40	İyi
40-60	İzin verilebilir
60-80	Kuşkulu kullanım
>80	Kullanıma uygun değil

Çizelge 4.9’da verilen sınıflamaya göre, Göksu bölgesinde G-05 nolu kuyu suyunda tespit edilen 84,77 %Na değerine göre “Kullanıma Uygun Değil” sulama suyu sınıfına girmektedir. G-08, G-09, G-10, G-11, G-12, G-13 nolu kuyuların %Na değeri 60-80 aralığında ölçüldüğünden “Kuşkulu kullanım” sulama suyu sınıfına girmektedir. G-04, G-07 nolu kuyu suları ise “İzin verilebilir” sulama suyu sınıfına, G-02, G-03 ve G-06 “İyi”, G-01 “En iyi” sulama suyu sınıfına girmektedir.

Yeraltı sularının sulama maksatlı uygunluğunu belirlemede kullanılan %Na değerine göre değerlendirildiğinde Silifke bölgesinde, S-01, S-02, S-09 ve S-11 nolu kuyular “En iyi”, S-07 nolu kuyu “İyi”, S-03, S-04, S-08 nolu kuyular “İzin verilebilir” ve S-10 nolu kuyu “Kuşkulu kullanım”, S-05, S-06 nolu örnekleme noktaları ise “Kullanıma uygun değil” sınıfında yer alırlar.

4.2.5. Wilcox, Piper, Schoeller ve ABD Tuzluluk Diyagramlarına göre Sınıflama

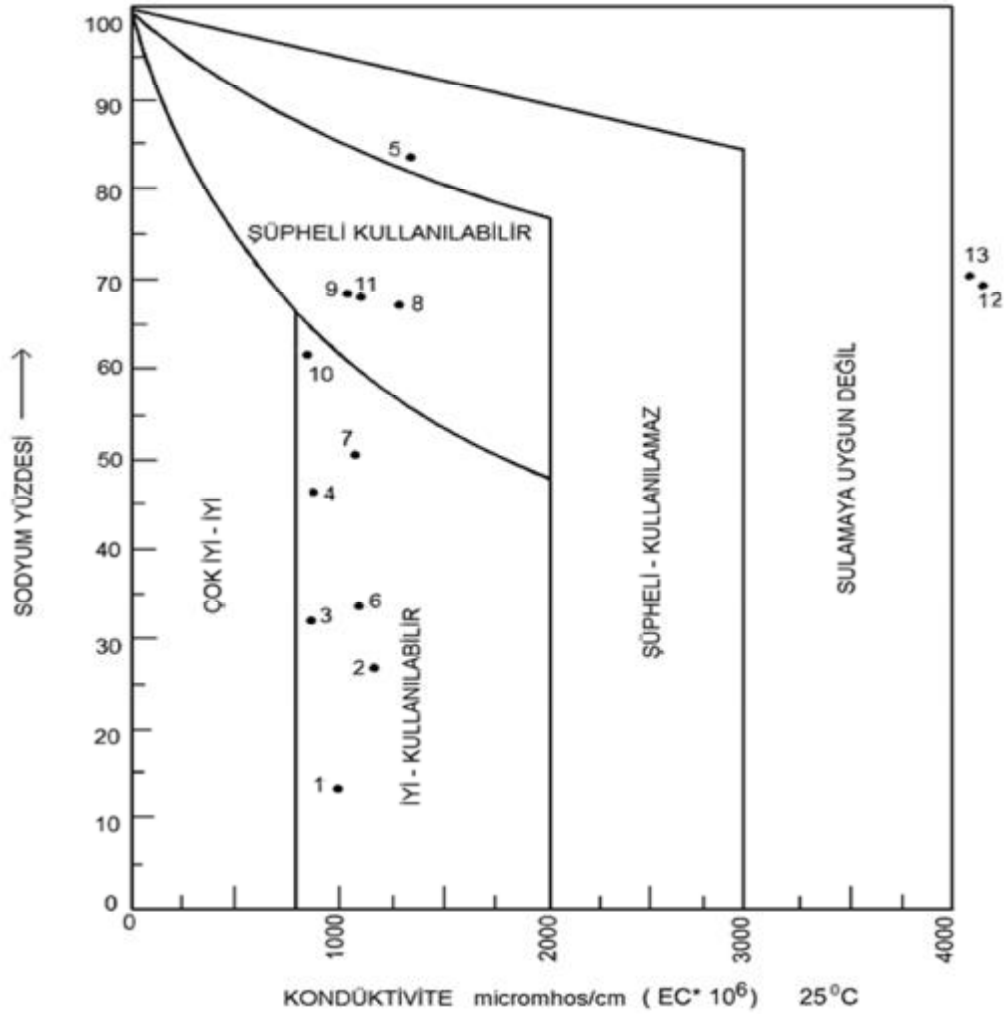
Yeraltı suyu incelenmesinde önemli işlemlerden biri, kimyasal verilerin derlenmesi ve uygun bir şekilde görsel analiz yoluyla sunulmasıdır. Bu amaç için geliştirilmiş bir çok yöntem mevcuttur. Sulama sularının sınıflandırılmasında ve kökensel yorumlama yapılmasında Piper (1944), Schoeller (1967), Wilcox ve Magistad, Thorne ve Thorne, ABD Tuzluluk Laboratuvarı, Doneen, Christiansen ve ark., Rijtema, Soifer, Bezdina gibi araştırmacılar tarafından geliştirilen birçok yöntem kullanılmaktadır.

Bu yöntemler pekçok örneğe ait kation ve anyon bileşenlerini bir grafik üzerinde temsil etme imkânı verir. Bu şekilde veriler temel gruplaşmalar ve eğilimler görsel olarak ayırdedilebilir. Su kalitesi, suyun kullanıldığı toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, ekilen bitkinin toleransı ve iklim koşulları göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir. Bu çalışmada, birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de yaygın olarak kullanılan sulama suyu sınıflandırma sistemlerinden Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramlarına göre sulama ve içme suyu yönünden değerlendirilmiştir. Piper ve Schoeller diyagramlarına göre de yeraltı sularının kökensel yorumları yapılmıştır.

4.2.5.1. Wilcox Diyagramı

Wilcox Grafik Sistemi, EI ($\mu S/cm$) ve %Na değerlerine göre sulama sularının sınıflandırılması için kullanılan bir diyagramdır. Bu diyagram; dikey ekseninde %Na, yatay ekseninde ise EI ($\mu S/cm$) değerini göstermektedir. Çalışma alanındaki numaralandırılan kuyu sularının her biri için hesaplanan %Na değeri dikey eksen üzerine işaretlenir ve bu noktadan yatay eksene bir paralel çizilir. Kimyasal analiz sonucu bulunan EI ($\mu S/cm$) değeri ise yatay eksene işaretlenir. Bu noktadan yatay eksene bir dik çıkılır ve yatay eksene çizilen paralelin kestiği nokta, suyun özelliğini verir.

Göksu çalışma alanında seçilen 12 ve Silifke çalışma alanında seçilen 11 adet örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumları Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

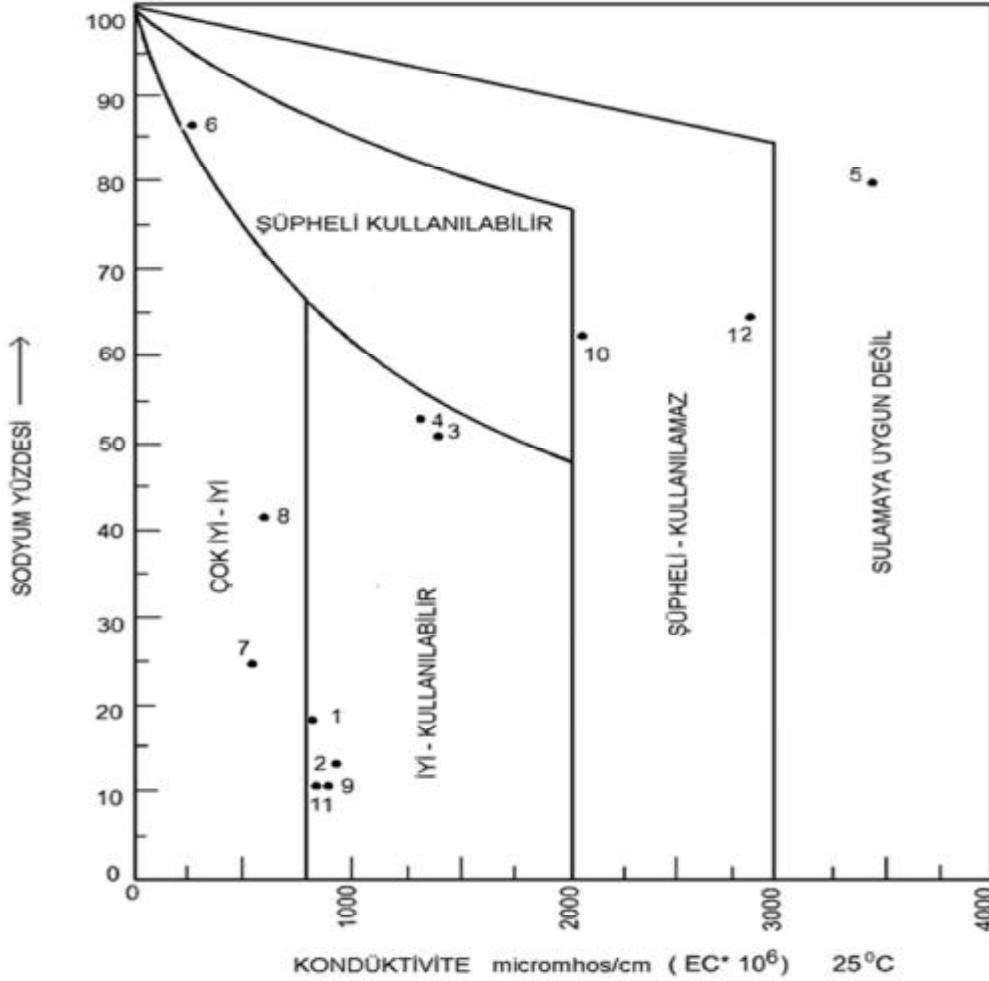


Şekil 4.34. Göksu Bölgesinden seçilen 12 adet örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu

Wilcox diyagramına göre Göksu bölgesindeki G-01, G-02, G-03, G-04, G-06, G-07, G-10 örnekleme noktalarındaki sular “İyi” kaliteye sahip sulardır. G-08, G-09 ve G-11 örnekleme noktalarındaki sular “Şüpheli kullanılabilir” kaliteye sahip sulardır. G-05 noktasındaki kuyu suyu “Şüpheli Kullanılmaz” sınıfına girmektedir. G-12 ve G-13 örnekleme noktalarındaki kuyular ise Wilcox diyagramına göre sulamaya “Uygun Değil” sınıfına girmektedir (Şekil 4.15).

Wilcox diyagramına göre Silifke bölgesindeki örnekleme noktalarındaki S-07 ve S-08 nolu kuyu suyu “Çok İyi - İyi”, S-01, S-02, S-03 ve S-04, S-09 ve S-11 nolu kuyu suyu “İyi - Kullanılabilir”, S-06 nolu kuyu suyu “Şüpheli Kullanılabilir” sınıfına girmektedir. S-10, S-12 nolu kuyu suyu “Şüpheli-Kullanılmaz”, S-05 nolu

kuyu suyu ise “Sulamaya Uygun Değil” sınıfına girmektedir (Şekil 4.16). S-12 nolu örnek deniz suyunu temsil etmektedir.

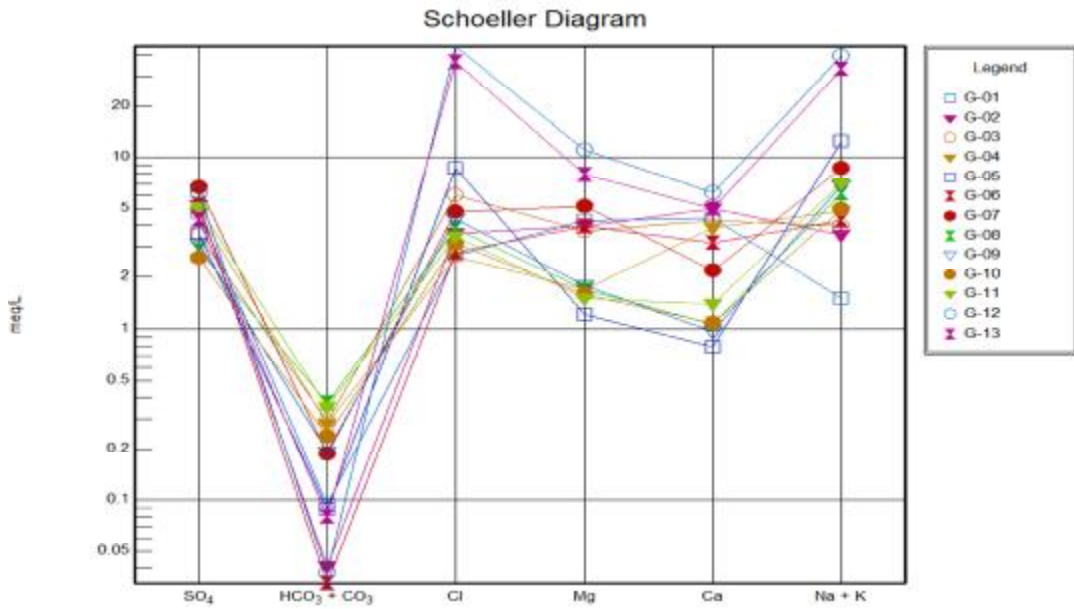


Şekil 4.35. Silifke Bölgesinden seçilen 11 adet örnekleme noktasının Wilcox diyagramındaki konumu

4.2.5.2. Schoeller Yarı Logaritmik Diyagramı

Schoeller yarı logaritmik diyagram gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramdır. Bu diyagramda yatay eksene eşit aralıklar ile rCa^{+2} , rMg^{+2} , $r(Na^{+}+K^{+})$, rCl^{-} , rSO_4^{-2} ve $rHCO_3^{-}$ iyonları sıralanır. Düşey eksende de iyon derişimleri

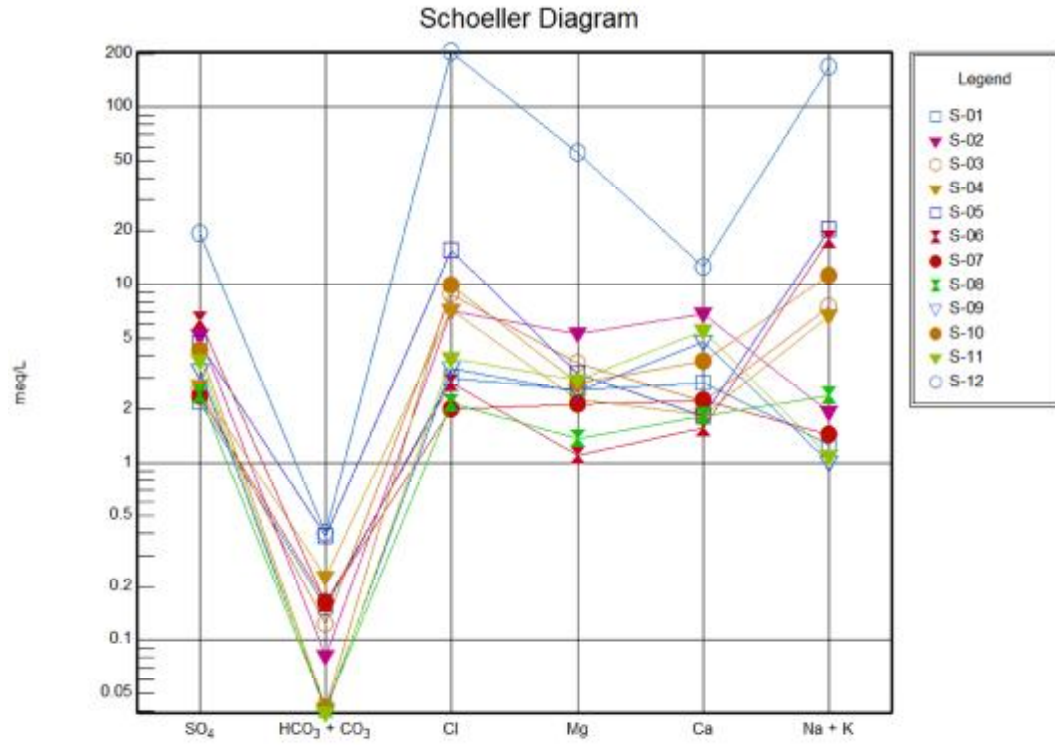
logaritmik olarak yer almaktadır. Bir su örneğinin sonuçları, bu diyagramda gösterilirken her iyonun meq/L (r) değeri, kendine ait logaritmik eksenle işaretlenerek elde edilen noktalar birleştirilir. Böylece bir su numunesi, kırık çizgiler halinde temsil edilmiş olur. Bu diyagramda birden fazla su analiz sonucu bir arada gösterilebilir. Her iyonun değeri tek başına görülebildiği gibi, iyonların birbirine oranları da bir bakışta görülebilir. Yarı logaritmik diyagrama çizilen su analiz sonuçlarında, kırık çizgileri birbirine paralel olan sular aynı tür formasyondan gelen suları gösterir.



Şekil 4.36. Göksu Çalışma Alanına ait yıllık ort. Değerlerin Schoeller Yarı Logaritmik Diyagramı

Su numunelerine ait kimyasal analiz sonuçlarının yarı logaritmik Schoeller diyagramı çizilmiştir (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18). Buna göre, paralel oluşturan su örneklerinin birbirine köken bakımından benzer olduğu, aynı rezervuara ve beslenme alanına sahip oldukları kabul edilmektedir. Bu kabul göz önünde bulundurulduğunda hem Göksu hemde Silifke bölgesindeki sular birbirleri ile uyum gösterdiği görülmüştür. İyonları birleştiren doğrular birbirlerine yakın paralel geçmektedirler. Buradan suların aynı kökenli oldukları ve benzer sistemlerden geldiklerini söyleyebiliriz. Buna göre inceleme alanında bulunan sularda Ca⁺², Mg⁺², (Na+K)

hâkim katyonlar iken Cl^- ve SO_4^{2-} çoğunlukla hâkim anyonlardır. S-12 nolu örnek deniz suyunu temsil etmektedir.



Şekil 4.37. Silifke Çalışma Alanına ait yıllık ort. Değerlerin Schoeller Yarı Logaritmik Diyagramı

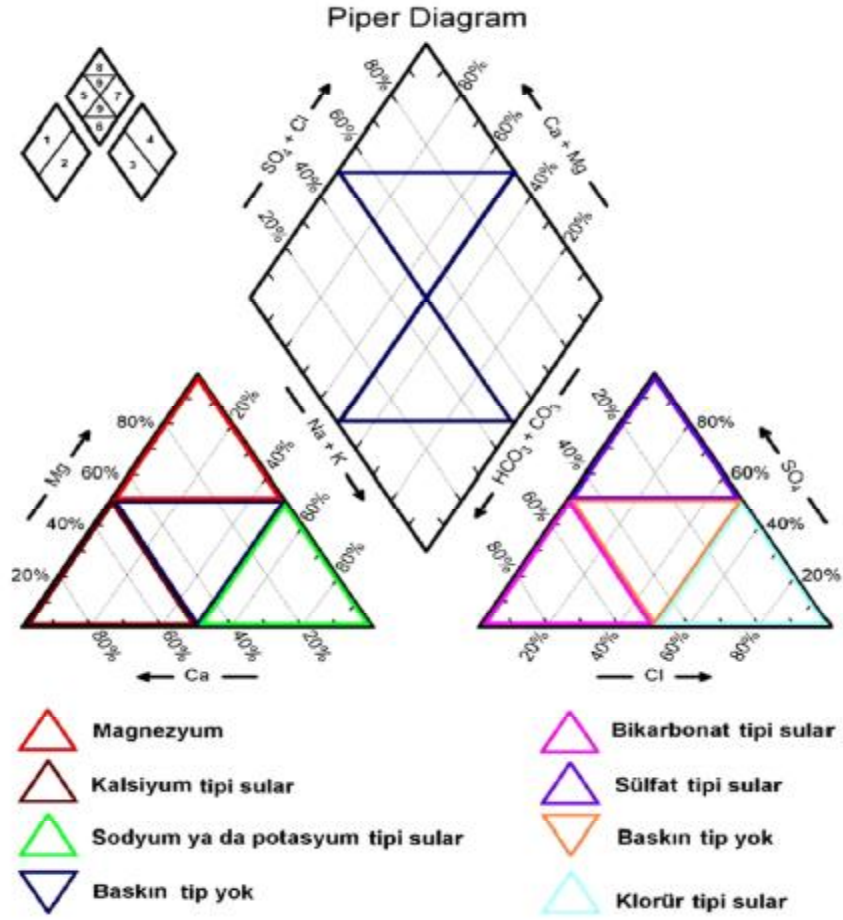
4.2.5.3. Piper Diyagramı

Piper diyagramı farklı iki kaynaktan karışan suların etkisini göstermek açısından oldukça kullanışlıdır. Sadece bir üçgen diyagramda, karışıklığa yol açmadan, çok sayıdaki analiz sonuçlarını göstermek mümkündür. Piper Üçgen diyagramı, anyon ve katyonların (% meq/L cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Eşkenar dörtgende suyu temsil eden noktanın bulunduğu bölge, suyun ana karakterini gösterir.

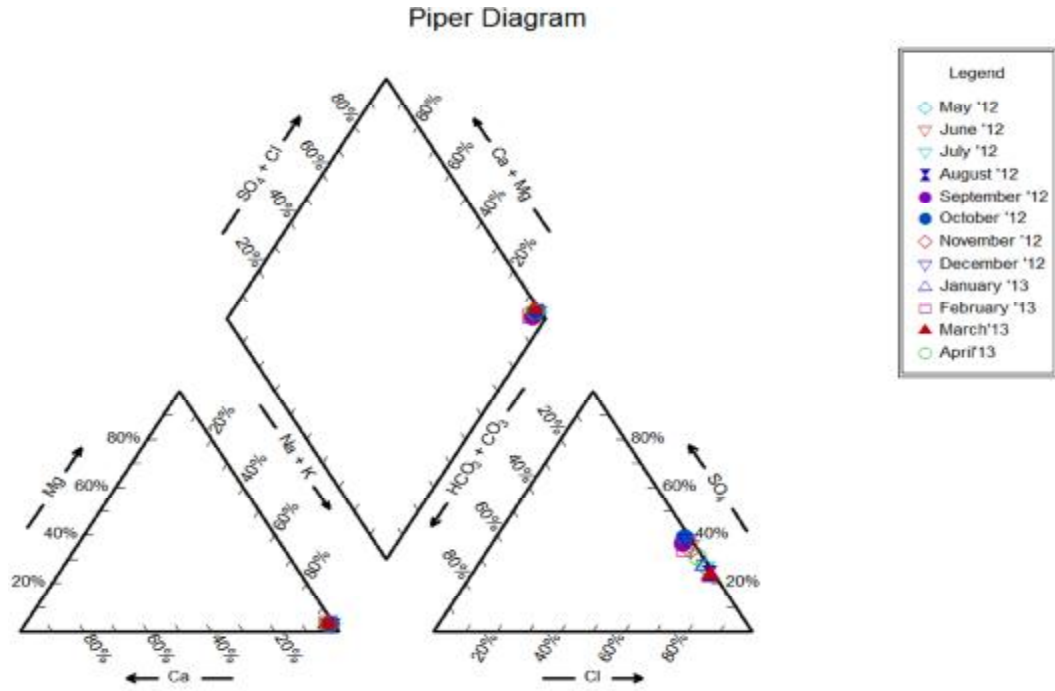
Üçgen diyagramda konsantrasyonlar yüzde olarak temsil edilir. Her analiz sadece bir nokta ile temsil edildiğinden, toplam konsantrasyonları çok farklı olan suların bu diyagramlarda temsili özdeş olabilir. İki farklı suyun karışımı, iki noktayı birleştiren düz bir çizgi üzerine düşecektir.

Bütün sular için noktalar işaretlendiğinde, aynı kökenli sular yaklaşık olarak aynı bölgede toplanır. Böylece üçgen diyagramlar, suların tiplerini belirlemek ve suları gruplandırmakta faydalı olurlar. Bu sınıflamaya göre her bir üçgende anyon ve kationların kimyasal özelliklerini saptamak mümkündür; paralel kenar diyagram dokuz bölüme ayrılmıştır (Şekil 4.19).

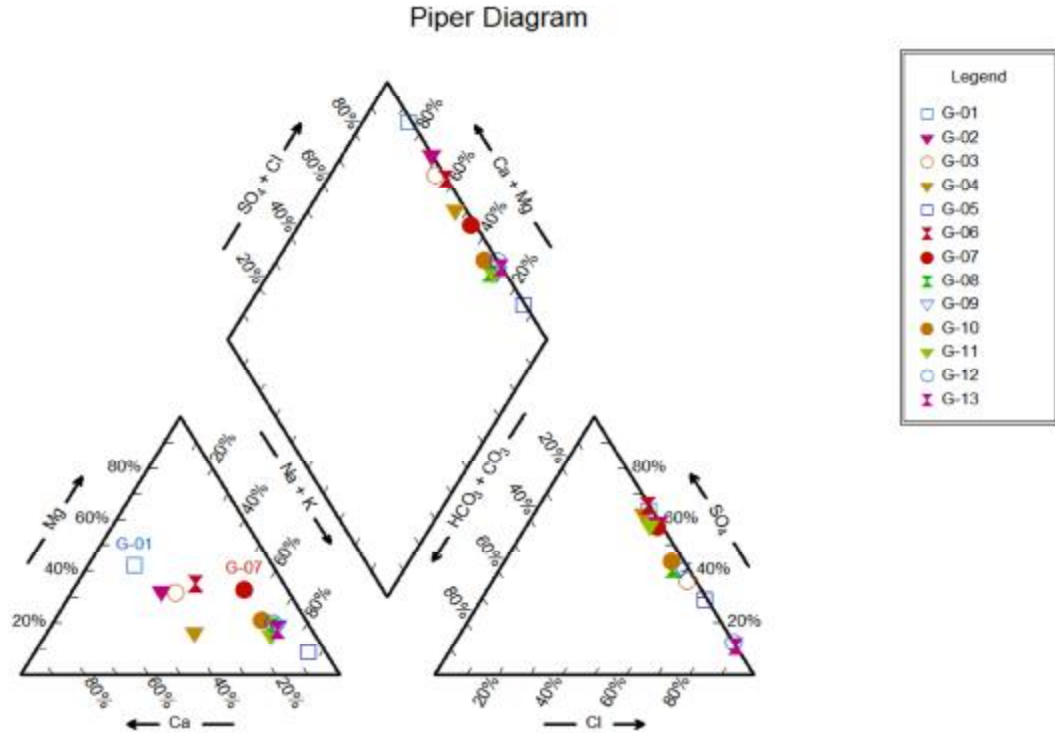
1. nolu alan: Alkali toprak elementler ($Ca^{+2}+Mg^{+2}$) > Alkali elementler ($Na^{+}+K^{+}$)
2. nolu alan: ($Ca^{+2}+Mg^{+2}$) < ($Na^{+}+K^{+}$)
3. nolu alan: Zayıf asit kökleri ($CO_3^{-2}+ HCO_3^{-}$) > Güçlü asit kökleri ($Cl^{-}+ SO_4^{-2}$)
4. nolu alan: ($SO_4^{-2}+ Cl^{-}$) > ($CO_3^{-2}+ HCO_3^{-}$)
5. nolu alan: Karbonat sertliği %50'den fazla olan sular
6. nolu alan: Karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular; $CaSO_4$, $MgSO_4$, $CaCl_2$, $MgCl_2$
7. nolu alan: Karbonat olmayan alkalitesi %50'den fazla olan sular: $NaCl$, KCl , Na_2SO_4 , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır;
8. nolu alan: Karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer.
9. nolu alan: İyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen, karışık sular bu alana girer.



Şekil 4.38. Piper diyagramındaki Bölümler



Şekil 4.39. Göksu Çalışma Alanına ait aylık değerlerin Piper Diyagramı



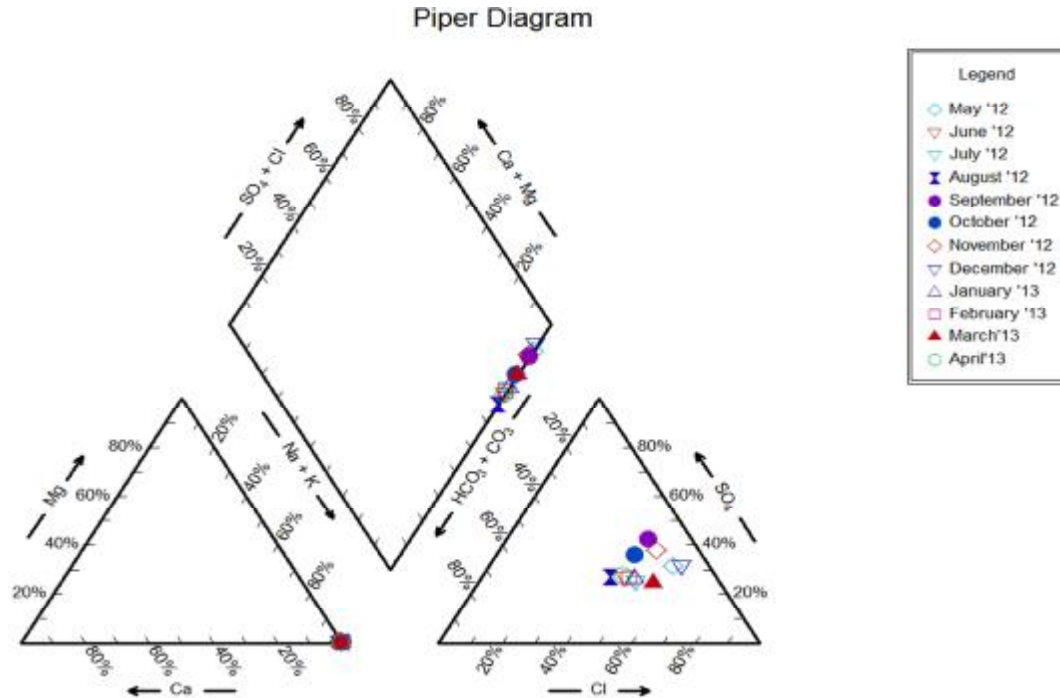
Şekil 4.40. Göksu Çalışma Alanına ait noktasal değerlerin Piper Diyagramı

Suların karışımını belirlemekte ve suları sınıflandırılması için kullanılan piper diyagramları çalışma sahasına ait numunelerin kimyasal analiz sonuçlarına

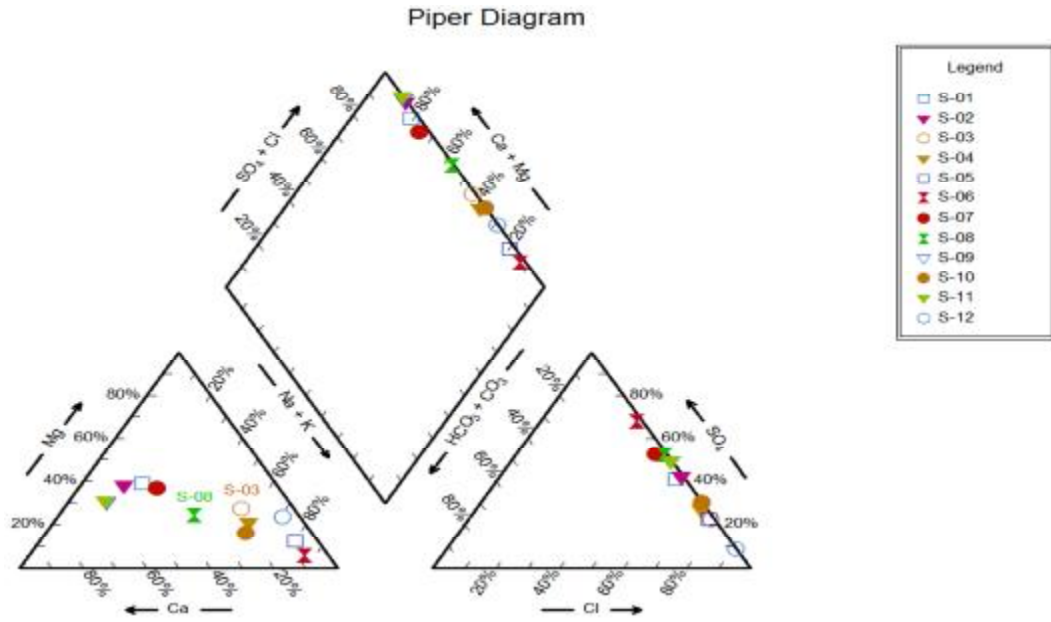
göre çizilmiştir (Şekil 4.20 ve Şekil 4.21). Göksu çalışma alanına ait su numunelerine ait yıllık ve noktasal ortalama değerlerin Piper Diyagramına bakıldığı zaman aylık diyagramda (Şekil 4.20) bölgenin tüm sularının (NaCl , KCl , Na_2SO_4 , alkaliler ve güçlü asitlerin baskın olduğu 7 nolu alana düştüğü görülür. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır. Klorür tipi sular ile sodyum ya da potasyum tipi sulardır (Şekil 4.19).

Ayrıca Şekil 4.21 ile noktasal olarak incelendiğinde; G-05, G-06, G-07, G-08, G-09, G-10, G-11, G-12, G-13 nolu kuyu suları sodyum ya da potasyum tipi sulardır. G-03, G-05, G-08, G-10, G-12, G-13 nolu kuyu suları klorür tipi sulardır. G-01, G-02, G-04, G-06, G-11 nolu kuyu suları sülfat tipi sular olarak tespit edilmiştir.

Suyun ana karakterini gösteren eşkenar dörtgene bakıldığında ise Karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular sınıfındadır. 8 nolu alan da bulunan G-01, G-02, G-03 ve G-06 nolu kuyu suları ise doğada az rastlanan aşırı yumuşak sulardır. ise doğada az rastlanan aşırı yumuşak sulardır. Analizi yapılan diğer kuyu noktaları ise NaCl , KCl , Na_2SO_4 , alkaliler ve güçlü asitlerin baskın olduğu 7 nolu alana düştüğü görülür. Deniz ve çok acı sularda bu alanda yer alır.



Şekil 4.41. Silifke Çalışma Alanına ait aylık değerlerin Piper Diyagramı



Şekil 4.42. Silifke Çalışma Alanına ait noktasal değerlerin Piper Diyagramı

Silifke çalışma alanındaki su numuneleri için piper diyagramı değerlendirilir ise (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23), aylık diyagramda; bölgenin tüm sularının Göksu alanındaki su numunelerine benzer olup NaCl, KCl, Na₂SO₄, alkaliler ve güçlü asitler eĝemen olduğu 7 nolu alana düştüğu görüldü. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır. Klorür tipi sular ile sodyum ya da potasyum tipi sulardır (Şekil 4.19).

Ayrıca Şekil 4.23 ile noktasal olarak Silifke bölgesi değerlendirilir ise; S-03, S-04, S-05, S-06, S-09, S-10 nolu kuyu suları ile S-12 nolu deniz suyu NaCl, KCl, Na₂SO₄, alkaliler ve güçlü asitlerin eĝemen olduğu 7 nolu alanda yer aldığı tespit edilmiştir. 8 nolu alan da bulunan S-01, S-02, S-07, S-08, S-11 nolu kuyu suları ise doğada az rastlanan aşırı yumuşak sulardır. Silifke bölgesindeki suların noktasal değerlerine göre; S-03, S-04, S-05, S-06, S-10 nolu kuyu suları sodyum ya da potasyum tipi sulardır. S-01, S-02, S-03, S-04, S-05, S-10, S-11 nolu kuyu suları klorür tipi sulardır. S-06, S-07, S-08 nolu kuyu suları sülfat tipi olarak tespit edilmiştir.

4.2.5.4.ABD Tuzluluk Diyagramı

Bu sistemde tuz konsantrasyonu $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak muhtemel tuz zararı ve bir de

RSC olarak muhtemel sodyum zararı gözönüne alınarak 16 farklı kategori meydana getirilmiştir. Düşey ekseninde SAR değeri, yatay ekseninde ise Eİ bulunur. Suyun sınıfının saptanması, Wilcox diyagramında olduğu gibidir. Bu diyagramın yorumu şöyledir:

Genel tuzluluk özelliklerine göre sınıflama;

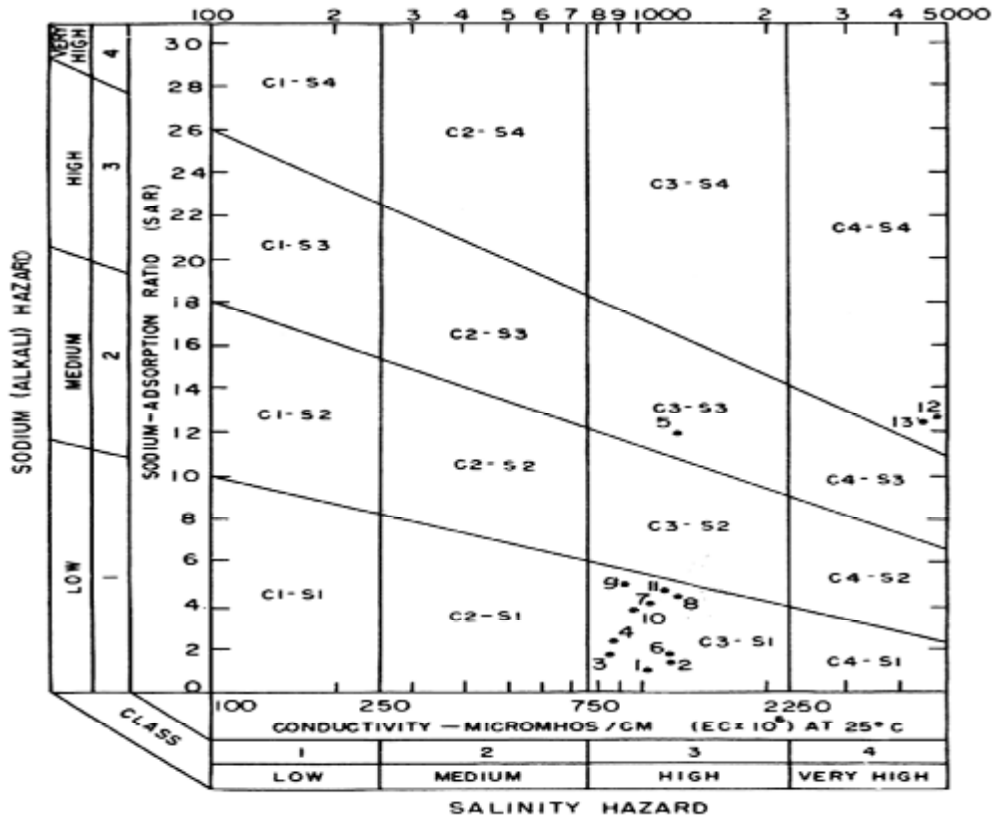
- C1; (Eİ 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den az), az tuzlu sular: her toprakta, tüm bitkilerin sulanmasına uygundur,
- C2; (Eİ 250-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arası), orta tuzlu sular: orta akaçlama özelliğindeki topraklarda, tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir,
- C3; (Eİ 750-2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arası), tuzlu sular: drenajı kötü olan arazilerde, sulamada kullanılamaz. Zemindeki tuz miktarının gözlenmesi gerekebilir. Bu özellikteki sular kullanılacaksa, tuza dayanıklı bitkiler seçilmelidir,
- C4; (Eİ 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den fazla), çok tuzlu sular: Geçirgenliği ve drenajı çok iyi topraklarda, zeminin yıkanmasını sağlamak için bol su verilmelidir ve tuza fazla dayanıklı bitki türleri seçilmelidir.

Genel sodyum tehlikesi özelliklerine göre sınıflama;

- S1: Az sodyumlu sular: hemen tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir,
- S2: Orta sodyumlu sular: geçirgen veya bol jipsli arazilerde kullanılabilir. Yıkama ile toprağın tuzluluğu azaltılıyorsa, özellikle bu tip sular kullanılmalıdır.
- S3: Yüksek sodyumlu sular: birçok toprak cinslerinde sodyum tehlikesi olabilir. Çok iyi geçirgen ve drenajı iyi olan arazilerde bol su kullanarak, belirli sürelerde yapılacak kimyasal analizlerle sodyum tehlikesi denetlenmelidir,
- S4: Çok yüksek sodyumlu sular: genel olarak, sulama için uygun değildir. Ancak suyun toplam tuz miktarı düşük ise, sulamada kullanılabilir olarak belirtilmiştir.

ABD Tuzluluk Diyagramı sulama sularının sınıflandırılmasında sodyum zararının indeksi olan SAR ve tuzluluk zararının indeksi olan Eİ değerleri kullanılarak diyagram çizilmiş ve suların sulama amaçlı sınıflaması yapılmıştır.

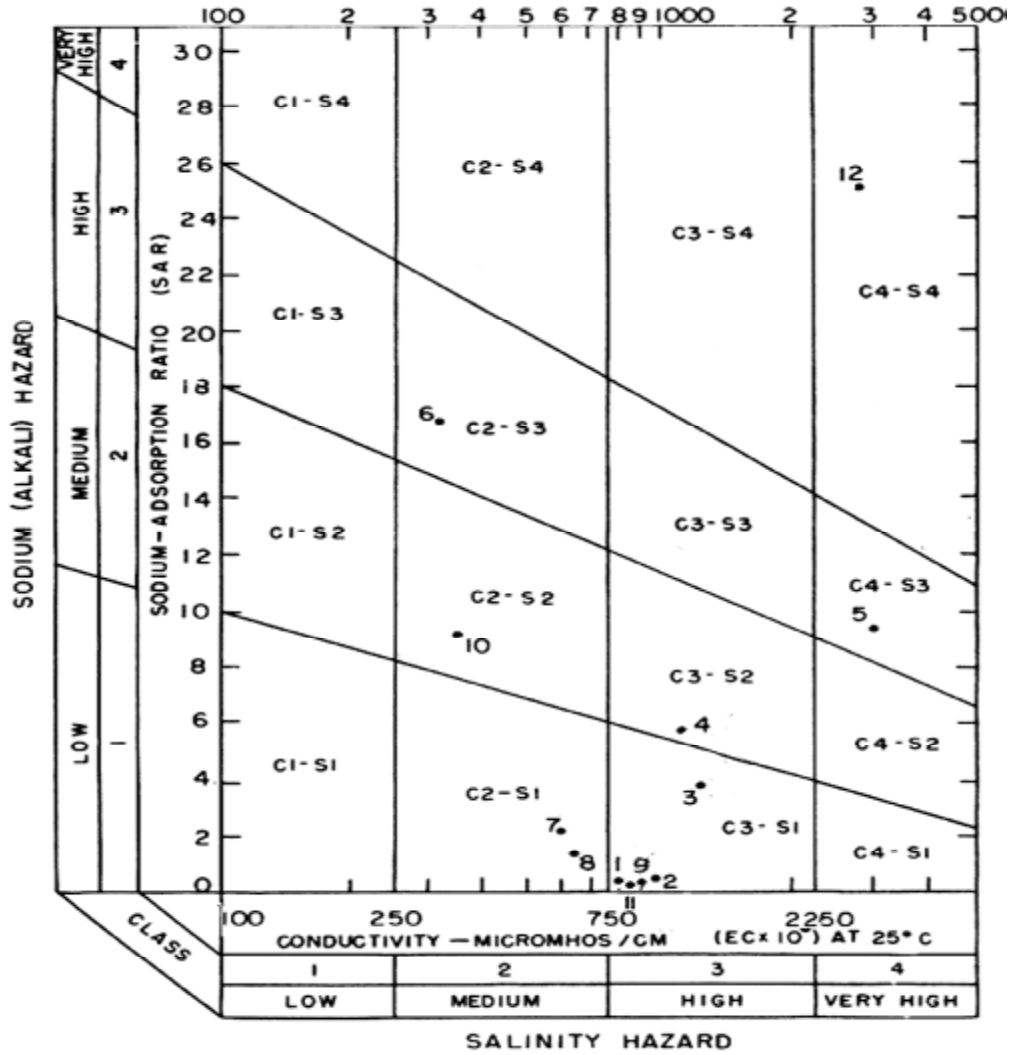
Sulama sularının yalnız sodyum bakımından sınıflandırılması yerine, SAR değeri ile tuzluluğun birlikte değerlendirilmesi daha doğrudur. Böylece, C1S1, C2S1, C3S1 her türlü sulamada, C4S1, C3S2 bazı özel koşullarda kullanılabilir. C4S2, C4S3 ise sulamada kullanılamaz. Ancak, Türkiye gibi yarı-kurak ülkeler, oldukça tuzlu suları sulamada kullanmak zorundadırlar. İnceleme alanındaki tarımsal faaliyetlerde yeraltı suyunun etkisini araştırmak üzere ABD Tuzluluk Diyagramına yerleştirildiğinde Göksu çalışma alanına ait veriler Şekil 4.24'de ve Silifke çalışma alanına ait veriler ise Şekil 4.25'de görülmektedir.



Şekil 4.43. Göksu Çalışma Alanına ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

Göksu çalışma bölgesindeki örnekleri ABD Tuzluluk Diyagramı yönünden tasnif edildiğinde örnekler C3S1 grubunda toplanmıştır. Bu grup sular fazla tuzlu az sodyumlu sular sınıfına girmektedir. Bu tür sular içerdiği tuz miktarı açısından bu tür sular drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz (bazı bitkiler için kullanılabilir). Sodyum miktarı ise daha düşük olduğundan sodyuma karşı duyarlı bitkiler dışında

her türlü tarım için uygun sulardır. Ancak G-05 noktasındaki su örnekleri yüksek tuzlu ve yüksek sodyumlu içeriği ile C3S3, G-12 ve G-13 noktasındaki su örnekleri ise çok yüksek tuzlu ve çok yüksek sodyumlu içeriği ile C4S4 sınıfına ait sulardır.



Şekil 4.44. Silifke Çalışma Alanına ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

Silifke çalışma alanındaki yeraltı sularını ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına göre sınıflandırdığımızda S-01, S-02, S-03, S-09 nolu kuyu suları C3S1 sınıfına girmektedir. S-04 noktasındaki su örnekleri çok tuzlu orta sodyumlu, S-05 noktasındaki su örnekleri çok yüksek tuzlu ve çok yüksek sodyumlu C4S4 sınıfına, S-06 noktasındaki su örnekleri orta tuzlu ve yüksek sodyumlu içeriği ile C2S3 sınıfına, S-07 ve S-08 noktasındaki su örnekleri orta tuzlu ve az sodyum içeriği ile

C2S1 sınıfına, S-10 noktasındaki su örnekleri orta tuzlu ve orta sodyumlu içeriği ile C2S2 sınıfına ait sulardır. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramında deniz suyu olan S-12 noktasının analiz sonucu incelendiğinde; beklendiği gibi çok yüksek tuzlu ve çok yüksek sodyumlu (C4S4) sulama su sınıfında yer aldığı görülmüştür (Şekil 4.25). Silifke çalışma alanına ait S-07, S-08 ve S-10 nolu yeraltı sularını sulama amaçlı sorunsuz kullanılabilir.

4.3.Hidrojeokimyasal Süreçte İyonik Oranların İncelenmesi

Delta alanlarında insan müdahalesi ve toprağın geçirgenliğinin yanı sıra bölgenin jeolojik yapısında su kalitesinin anlaşılması açısından önemlidir. Bazı mineral ve kayalar yüzeyler boyunca ayrılarak akarsuya karışarak su kalitesinde değişime sebep olabilirler. Sert mineraller aşınmaya karşı dayanıklı iken aşınma sırası fazladan aza doğru kil taşı, kum taşı, andezit, kalker, granit ve kuvars olarak sıralanabilir.

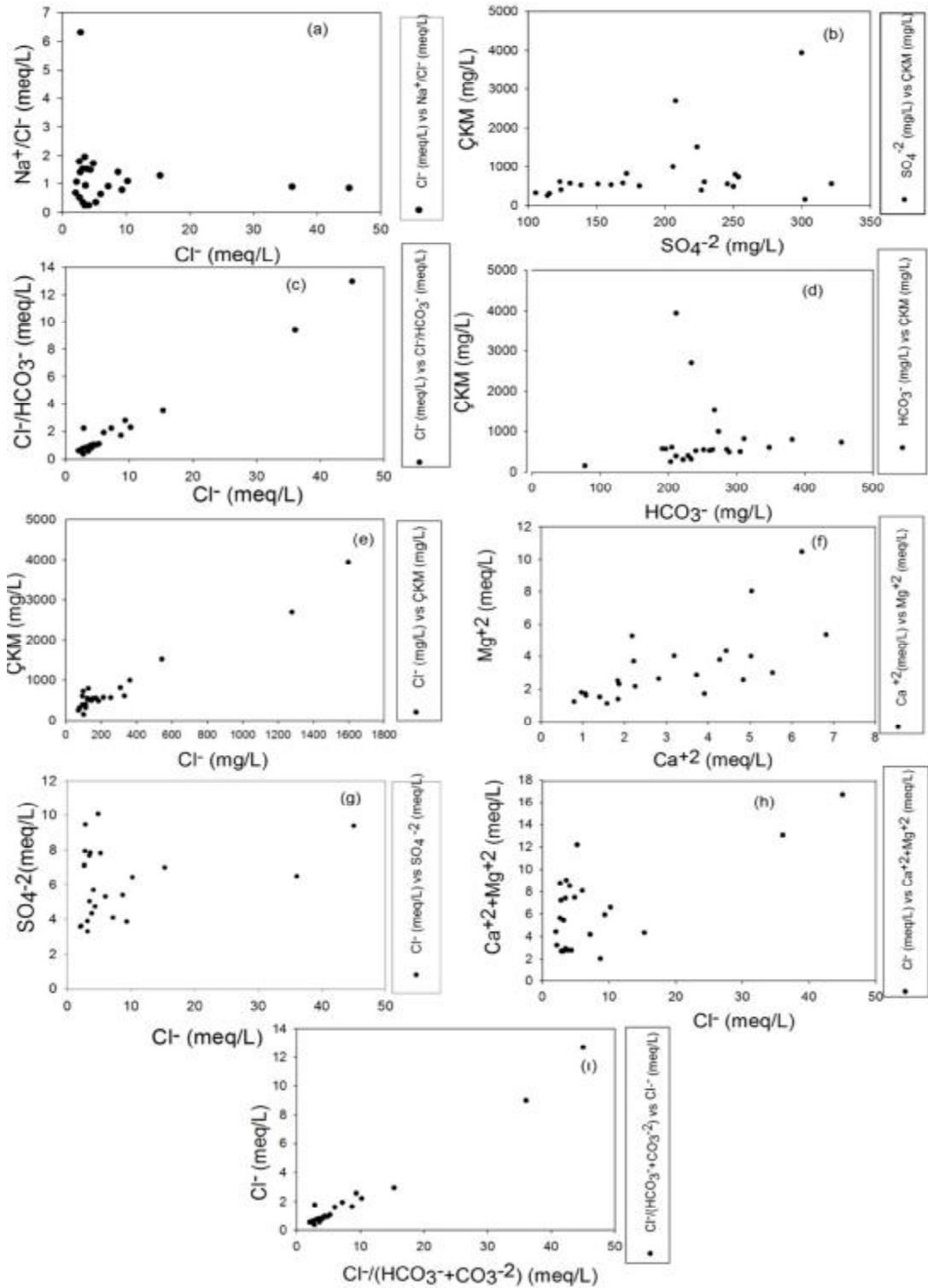
Jeokimyasal değişimleri ve ölçülen iyonların aralarındaki ilişkileri kolayca anlayabilmek için dağılım grafikleri daha önce yapılan pek çok çalışmada kullanılmıştır (Sukhija ve ark, 1996; Dreher, 2003; Kim ve ark, 2003; El Moujabber ve ark, 2006; Lee ve Song 2007; Srivastava ve Ramanathan, 2008; Kouzana ve ark, 2009; Mondal ve ark, 2011; Bozdağ, 2013). Deniz suyu girişimini de belirlemek için bu iyonların birbirleri ile oranları bir fikir verebilir (Fakir ve ark, 2002; Pulido-Leboeuf, 2004; Trabelsi ve ark, 2007; Hamzaoui-Azaza ve ark, 2011).

Taze yeraltı sularında Ca^{+2} ve HCO_3^- deniz sularında ise Na^+ , Mg^{+2} ve Cl^- un baskın iyonlar olduğu bilinir (Paper, 1989). Deniz suyu ile yeraltı suyunun temasının olması halinde yeraltı suyunda Na^+ baskın durumda bulunmalıdır. Somay ve Filiz (2006), tarafından Küçük Menderes Nehri Kıyı Sulak Alanların hidrojeokimyasal olarak değerlendirilmesi çalışmalarında ve yapılan benzer diğer çalışmalarda tuzlanma konusunda Cl^- 'un iyi bir indikatör olduğu tespit edilmiştir (Kreitler, 1993; Somay ve Gemici, 2009; Elewa ve ark, 2013). Bunun nedeninin de bazı iyonların akım yolunda kimyasal değişime uğramasına rağmen Cl^- iyonunun hidrojeokimyasal

olaylardan etkilenmemesi olduğu belirtilmiştir. Buna göre çalışma kapsamında deniz suyu girişiminin belirlenmesi amacıyla Cl^- iyi bir gösterge olması nedeniyle Cl^- ile yeraltı suyu kalite parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Tuzluluk girişimini değerlendirmek için Na^+/Cl^- oranı kullanılmıştır (Dixon ve Chiswell, 1992; Jalali, 2007; Bozdağ, 2013; Sheikhy ve ark, 2014). Kumar ve ark (2006), Srivastava ve Ramanathan (2008), yaptıkları çalışmalara benzer bu çalışmada da örneklerin çoğunda Na^+/Cl^- oranı 1'e yakın veya biraz yukarısında tespit edilmiştir. Bu iyon değişim sürecinin çalışma alanında yaygın olarak olduğunu ifade eder (Denklem 4.10 ve Denklem 4.11) (Lee ve Song 2007; Zghibi ve ark, 2014). Yapılan çalışmada 1 veya 1 den büyük olması Na^+ 'nın Cl^- 'den fazla miktarlarda bulunduğunu gösterir. Deniz suyu girişimi dışında bu oran 1 veya 1 den yukarı ise silikat aşınmasının olduğunu da işaret eder. Silikat aşınması özellikle bikarbonatın baskın olduğu sularda karbonat asiditesinin de kaynağıdır (Denklem 4.9) (Lakshmanan ve ark, 2003).





(a- Na^+/Cl^- vs Cl^- , b-ÇKM vs SO_4^{2-} , c- $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ vs Cl^- , d-ÇKM vs HCO_3^- , e-ÇKM vs Cl^- , f- Mg^{+2} vs Ca^{+2} , g- SO_4^{2-} vs Cl^- , h- ($\text{Mg}^{+2} + \text{Ca}^{+2}$) vs Cl^- , i- (Na^+/Cl^-) vs Cl^- , i- Cl^- vs ($\text{Cl}^-/(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$)

Şekil 4.45. Hidrokimyasal Oranların Ayrıntılı Grafikleri

Yapılan çalışmada, Göksu bölgesinde kuyuların Na^+/Cl^- oranı karşılaştırıldığında G-01, G-02, G-03, G-12, G-13, nolu, kuyuların da bu oran 1'den olduğu görülmüştür. Silifke bölgesinde ise S-01,S-02, S-03, S-04, S-07, S-09, S-11 kuyularında 1'den düşük Na^+/Cl^- oranı tespit edilmiştir (Çizelge 4.10). Bu kuyular için deniz suyu girişiminin etkisinin olabileceğini söyleyebiliriz. G-01, G-02, G-03 ve S-02 kuyuları Göksu nehrine daha yakın olduğu görülür. Diğer noktalar ise nehre yakın olmasalar bile fazla yeraltı suyu kullanımdan kaynaklı olabilir. Diğer örnekleme istasyonları ise Na^+/Cl^- oranı 1'in hafifçe üstünde tespit edilmiştir. S-06'da görüldüğü gibi çok yüksek Na^+/Cl^- oranları tarımsal ve endüstriyel faaliyetler, septik tanklar ve sulama amaçlı tuzlu suyun kullanımından gelen gübre gibi antropojenik kirlilik göstergesi olabilir (Lee ve Song, 2007).

Şekil 4.26'da örnekleme alanına ait Cl^- (mg/L) konsantrasyonuna karşılık Na^+/Cl^- molar oranının dağılım grafiği gösterilmiştir. Deniz suyu ile taze su karışımında doğrusal bir artış göstermesi beklenmektedir. Yeraltı suyunda bu oran değerleri deniz suyu oranından (0,87) daha az ise taze yeraltı suları tuzlu sular ile kontamine olduğunu göstermektedir (Lee ve Song, 2007; Zghibi ve ark, 2014). Şekil 4.26'da görüldüğü gibi bu oran 0,24 ile 6,31 arasında değişmektedir. Örneklerin %41,7 si denizsuyu oranından daha düşük orana sahipken, geri kalan %58,3'ü denizsuyu oranından daha yüksek oranlara sahiptir. Deniz suyu oranına yakın veya düşük değerler bölgenin deniz suyu ile kirlenme tehlikesinde olduğunu veya yakın zamanlı bir karışımı işaret edebilir.

Çizelge 4.10. Örnekleme noktalarında önemli iyonik oranlar

Örnek Noktası	%rNa	RSC (meq/L)	SAR	Na ⁺ /Cl ⁻ (meq/L)	SO ₄ ⁻² /Cl ⁻ (meq/L)	Mg ⁺² /Ca ⁺² (meq/L)	Ca ⁺² /HCO ₃ ⁻ (meq/L)	(Ca ⁺² +Mg ⁺²)/ (HCO ₃ ⁻) (meq/L)
G-01	13,81	-2,86	0,67	0,51	2,68	0,98	0,78	1,54
G-02	27,27	-2,68	1,60	0,94	2,18	0,80	0,80	1,44
G-03	31,92	-4,35	1,91	0,64	0,88	0,89	1,36	2,58
G-04	45,11	-1,59	2,82	1,78	2,67	0,44	1,13	1,62
G-05	84,77	3,26	12,37	1,41	0,62	1,56	0,16	0,40
G-06	33,58	0,30	2,05	1,40	2,86	1,26	0,43	0,97
G-07	51,79	-2,40	4,32	1,72	2,08	2,42	0,47	1,59
G-08	65,59	1,91	5,05	1,52	1,13	1,59	0,27	0,70
G-09	67,73	1,09	5,57	1,49	1,08	1,86	0,23	0,67
G-10	62,98	1,55	4,19	1,52	1,23	1,49	0,29	0,71
G-11	67,60	2,13	5,66	1,95	2,21	1,08	0,32	0,67
G-12	68,87	-13,93	12,87	0,85	0,21	1,68	1,80	4,82
G-13	70,12	-9,06	12,69	0,89	0,18	1,59	1,31	3,40
S-01	16,98	-1,30	0,68	0,35	1,04	0,93	0,73	1,42
S-02	12,99	-7,30	0,74	0,35	1,50	0,79	1,44	2,57
S-03	51,39	-2,30	4,23	0,79	0,41	1,67	0,66	1,76
S-04	53,49	-0,49	4,52	0,91	0,57	1,23	0,58	1,30
S-05	80,74	0,82	13,80	1,28	0,46	1,36	0,42	0,99
S-06	86,27	-1,09	17,41	6,31	3,34	0,71	1,24	2,11
S-07	24,16	-0,75	0,94	0,68	1,76	0,96	0,68	1,32
S-08	42,35	0,49	1,88	1,07	1,66	0,75	0,51	0,89
S-09	10,71	-3,05	0,45	0,24	1,44	0,53	1,13	1,73
S-10	62,78	-2,02	6,21	1,09	0,63	0,77	0,83	1,47
S-11	11,20	-3,44	0,51	0,25	1,38	0,54	1,11	1,70

Yapılan ÇKM (mg/L) analizleri sonuçlarına karşı HCO₃⁻, SO₄⁻² ve Cl⁻ (mg/L) iyon sonuçlarınına bağlı dağılım grafikleri çizilmiştir. ÇKM ile HCO₃⁻ arasında taze sularda görülmesi beklenen doğrusal bir ilişki görülmemiştir. Daha çok tuzlu sularda görülen doğrusal olmayan veya zayıf doğrusal bir ilişkinin varlığından söz edilebilir. HCO₃⁻ artarken ÇKM değerlerinde sınır değer olan 1000 mg/L ye

kadar kısmen zayıf linear bir ilişki göstermiştir. Ancak yeraltı suyu deniz suyundan etkilenmeye başlar başlamaz ($\text{ÇKM} > 1000 \text{ mg/L}$) ÇKM ile HCO_3^- arasında non linear ilişkinin oluşmaya başladığı söylenebilir (Şekil 4.26).

Deniz suyuna bağlı Cl^- miktarındaki artış ÇKM 'nin konsantrasyonunda artırmaktadır. Yüksek konsantrasyonlardaki ÇKM 'nin deniz suyuna bağlı Cl^- miktarındaki artıştan, düşük konsantrasyonlardaki ÇKM miktarlarının ise deniz suyu ile kirlenmenin olmadığı varsayımını yapmamızı sağlar. Mondal ve ark (2010), yaptıkları çalışmada da sınır değeri 2000 mg/L olarak kabul edilmiş ve benzer bir ilişki ifade edilmiştir. Deniz suyu girişim ile artan Cl^- konsantrasyonuna bağlı ÇKM 'nin de arttığı izlenmiştir (Şekil 4.26). ÇKM ile Cl^- arasındaki ilişki doğrusal olarak gözlenmiştir.

Kıyı yeraltı sularında hidrokimyasal prosedürü değerlendirmek ve deniz suyu girişimini anlamak için $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ ile $\text{Ca}^{+2}/\text{Cl}^-$ kullanılan bir diğer oranlardır (Mondal ve ark, 2010; Park ve ark, 2012). Elewa ve ark (2013), Nil Delta'sının yakınında yeraltı suyu akiferlerinde korunma bölgesi haritalarının çıkarılması için yaptıkları çalışmalarında; Lee ve Song (2007), Kore'de bulunan Buan kıyı akiferlerindeki yeraltı suyunun hidrokimyasal özelliklerini belirlemek için yaptıkları çalışmalarında özellikle deniz suyu girişimi yüzünden tuzlanmanın tespiti için $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ oranının çok iyi bir gösterge olduğunu belirtmişlerdir. Bu oranın denize doğru yaklaştıkça Cl^- parametresinin artması ile arttığı belirtmişlerdir. Şekil 4.26'da görüldüğü gibi çalışma alanında $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ oranının Cl^- oranına bakılırsa örnekleme noktalarının çoğunda bu oran 0,5'den büyük olduğu yani suların deniz suyu girişiminden etkilendiği belirtilebilir. $\text{Cl}^-/(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$ oranının Cl^- ile oranının kullanırsak doğrusal bir ilişki göze çarpar. Bu linear ilişki tuzlu su ile yeraltı suyunun karıştığını gösterir. Bu oran 0,5'den küçük ise etkilenmemiş, 0,5-6,6 arasında etkilenmiş ve 6,6'dan büyük ise oldukça etkilenmiş su olarak gruplandırılmıştır (Revelle, 1941; DK, 1959). Bu çalışmada analizi yapılan örneklerde paradenize yakın seçilen G-12, G-13 ve kısmen S-05 noktalarında bu oran çok büyük çıkarken diğer tüm örnekleme noktaları ise 0,5-6,6 aralığında çıkmıştır (Şekil 4.26). Örneklerin %8'i deniz

suyundan etkilenmemiş, %8'i deniz suyundan oldukça etkilenmiş ve %84'ü ise deniz suyundan etkilenmiş grupta yer almıştır.

SO_4^{-2} deniz sularında en çok bulunan ikinci anyon olduğundan dolayı, yapılan analizlerde Cl^- 'e karşı SO_4^{-2} konsantrasyon değerlerinde doğrusal bir artış beklenir (Şekil 4.26). Örnekleme alanında $\text{SO}_4^{-2}/\text{Cl}^-$ oranları 0,21-3,34 aralığında değişmektedir. ÇKM ile SO_4^{-2} ilişkisinde deniz suyu girişiminin olduğu düşünülen noktalarda (G-12, G-13, S-10, S-05) bozulmaya başlamıştır (Şekil 4.26). Ancak örneklerde görülen SO_4^{-2} zenginleşmesi akiferde jips mineralinin ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) çözünmesi sonucu olduğu söylenebilir. Benzer kıyıya yakın yeraltı su kalitesi çalışmalarında SO_4^{-2} en yaygın ve önemli kaynağı olarak jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve anhidrite (CaSO_4) olduğuna değinilmiştir (Belkhiri ve ark, 2012; Zghibi ve ark, 2014). Ayrıca yeraltısularında sülfat topraktaki organik maddelerin parçalanmasından ve alanda yapılan yoğun ekili tarımdan kaynaklı gübreden de geliyor olabilir.

Na^+ ile NO_3^- grafiği çizilirse örnekleme noktalarının çoğunun 1:1 hattının yukarısında kaldığı görülür (Şekil 4.27). Bu durum da çalışma alanında antropogenik kaynaklı kirliliğin de bulunduğu söylenebilir (Rao, 2002; Lee ve ark, 2003; Srivastava ve Ramanathan, 2008; Rao ve ark, 2012).

Deniz suyu girişimini tespit etmek için $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ (meq/L) oranına bakılırsa, ölçümü yapılan kuyularda bu oran ya 1 değerine yakın yada 1'den büyüktür. Deniz suyunda bulunan Mg^{+2} iyonlarının Ca^{+2} iyonlarına göre daha baskın olduğunu gösterir (Şekil 4.26). Örnekleme kuyularında bu oran G-01, G-02, G-03, G-04, S-01, S-02, S-06, S-07, S-08, S-09, S-10 ve S-11 noktalarında 1'den düşük bulunmuştur. Bu orana göre bu kuyularda deniz girişiminin az olduğu söylenebilir. Ancak G-05, G-07, G-08, G-09, G-10, G-11, G-12, G-13, S-03, S-04, S-05 kuyularında $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ oranı 1'den büyük bulunmuştur. Bu kuyularda deniz suyu etkisinden bahsedilebilir. Bu orana bakılarak Göksu tarafının deniz suyu saldırı olasılığının daha fazla olduğu söylenebilir.

Deniz suyu girişimi dışında alandaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} miktarlarının kaynağı kayaç çözünmesinde olabilir. Sularda fazla Ca^{+2} ve Mg^{+2} bulunması, silikat ve karbonattın aşınarak suya geçmesi ile ana kayacın karbonatlı kayaç olduğunu

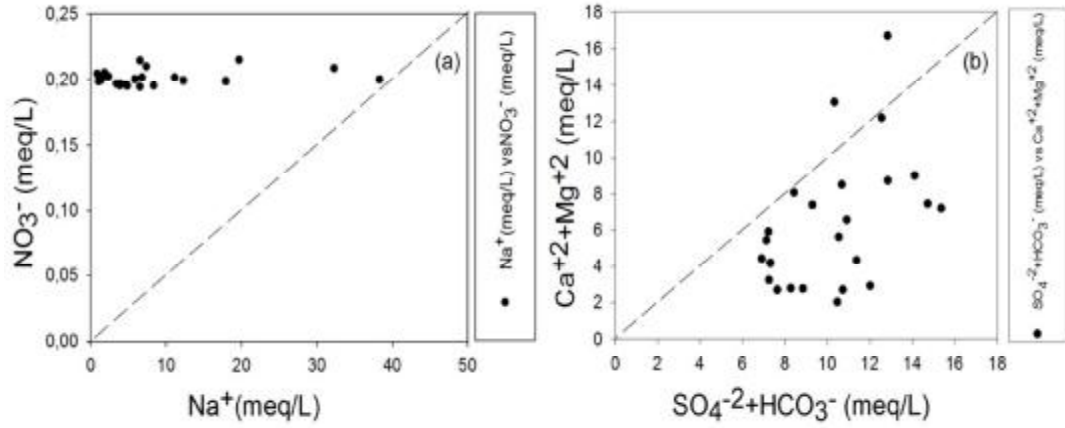
gösterir. $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ oranı 1'den küçük veya 1'e eşitse dolamitli ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) kayacı, 1'den büyükse kalsitli (CaCO_3) kayacı ve 2'den büyükse silikat ($\text{Na}_2(\text{SiO}_2)$) minerallerinin varlığını gösterir (Mayo ve Loucks, 1995; Katz ve ark, 1997; Wen ve ark, 2005, Zghibi ve ark, 2014). Yapılan bu çalışmada $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ 0,5 ile 2 aralığında belirlenmiş olup (Şekil 4.26) bölgenin dolamit ve kalsit yoğunluklu kayalardan oluştuğunu gösterir.

Çizelge 4.11. İyonik oranların sınır değerleri

İyonik Oran	Sınırlar
	= 0,87 deniz suyu
Na^+/Cl^-	<0,87 deniz suyu girişi >1,0 antropogenik kaynak (atıksu gibi)
$\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$	<1,0 deniz suyu girişi <0,5 etkilenmemiş
$\text{Cl}^-/(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-)$	0,5-6,6 deniz suyu girişi 6,6> oldukça etkilenmiş

Karbonat kayaçlarının aşınması aşağıdaki eşitliklerde gösterilmiş olup, iyonların eşdeğer oranı $\text{Ca}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ için 1:2 ve $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ için ise 1:1 değerlerinde olmalıdır. Bu çalışmada ortalama $\text{Ca}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ oranı 0,78, ortalama $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ oranı ise 1,6 bulunmuştur.

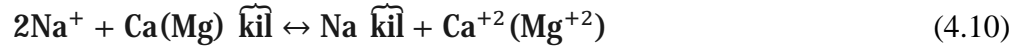
Örnek noktalarını $\text{Ca}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ oranı açısından incelersek. G-06, G-07, S-03, S-04, S-05, S-07 nolu kuyu suları 1:2 oranlarına yakın, $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ oranı açısından incelersek. G-06, S-05, S-08 nolu kuyu suları 1:1 oranlarına oranı yakın olup karbonatlı kayaçlarının aşınarak çözünmesi sonucu yeraltı suyunu etkilemesine bir gösterge olabilir. Ancak düşük seviyelerde görülen $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ oranlarında çalışma alanında silikat çözünmesi gibi başka HCO_3^- kaynaklarının varlığını da göstermektedir. Örneklerin çoğunda yüksek seviyelerdeki $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}/\text{HCO}_3^-$ oranları Cl^- ve SO_4^{2-} ile Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının dengelendiğini işaret etmektedir.



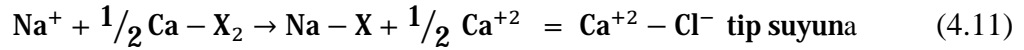
Şekil 4.46. Önemli iyonik oranların dağılımı

Şekil 4.27’de $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ (meq/L) karşı $\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-$ (meq/L) grafiği çizilirse, örneklerin çoğu 1:1 hattının aşağısına düştüğü görülür. Bu oran ile örnekler 1:1 hattının yakınında veya üstünde ise kalsit, dolomit ve jips gibi kayaçların çözünmesinin bölgede baskın bir reaksiyon olduğunu ifade eder (Cerling, 1989; Fisher ve Mullican III, 1997; Kumar ve ark, 2006). Bu kayaçların çözünmesinden, Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- , SO_4^{2-} iyonlarının kaynaklandığı da söylenebilir. Ancak iyon değişim mekanizması baskın ise çizilen grafikte suda fazla $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ olduğu için örnekleme noktaları 1:1 hattının aşağısına düşer. $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ ’e kıyasla $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ fazla durumda ise iyon değişim mekanizması aşağıdaki gibi çalışıp grafikte noktalar 1:1 hattının yukarısında görülür. Buna göre analizi yapılan sahada $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ ’ün $\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ ’e oranı 1:1 hattının altında kalıp sudaki HCO_3^- ve SO_4^{2-} iyon konsantrasyonlarından deniz suyu girişi olduğu ifade edilebilir.

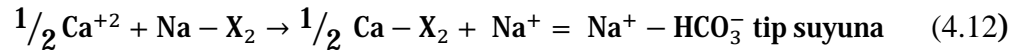
Birçok çalışmada da belirtilği üzere (Appelo ve Postma, 1993; Jeen ve ark, 2001; Petalas ve Lambrakis, 2006; Sheikhy ve ark, 2014) deniz suyu, taze kıyı yeraltı akifer suyuna girişim yaptığı zaman, katyon değişim reaksiyonu oluşur. Böylece Na^+ kil tarafından tutulurken Ca^{+2} serbest kalarak suya geçer. Bu durumda deniz suyu ile yeraltı sularının katyon değişiminin olduğu bölgelerde Ca^{+2} en fazla ölçülen iyon olur ve su kalitesi zengin NaCl ’den zengin CaCl_2 ’ür durumuna geçer (Denklem 4.10 ve Denklem 4.11).



$\text{Ca}^{+2}\text{-HCO}_3^-$ tip tatlı su akiferine deniz suyu ($\text{Na}^+\text{-Cl}^-$) girişimi:



Deniz suyunun gerileyip akiferin tatlı su ile dolması:



dönüşür.

Şekil 4.26 (a ve h) $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$, un Cl^- 'a karşı ve Na^+/Cl^- oranının Cl^- karşı dağılım grafiklerine bakılırsa Na^+/Cl^- oranının azalması ve $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$ artması ile tuzlulukta artış görülmektedir. Deniz suyu girişiminin baskın olduğu ve $\text{Ca}^{+2}\text{-Cl}^-$ tip suyuna doğru bir yönelme olduğunu da belirtir. Buda iyon değişim mekanizmasında olduğunu gösterebilir. Suların doğal yapılarında bulunmalarına ek olarak kıyı akifer sularında fazla miktarda Na^+ ve Cl^- konsantrasyonları deniz suyu girişiminin bir işaretçisi olarak değerlendirilebilir (Lee ve Song, 2007; Mondal ve ark, 2010). HCO_3^- ve Ca^{+2} iyonlarının fazlalığı ise kayaç aşınmasına işaret edebilir (Park ve ark, 2005). Buna göre bu çalışma için hesaplanan hidrojeokimyasal oranlar ve Na^+ ile Cl^- miktarlarındaki yüksek konsantrasyonlar yeraltı sularına deniz suyu girişiminin olduğunu şeklinde yorumlanabilir (Lee ve Song, 2007; Hamzaoui-Azaza ve ark, 2011).

4.4.Sonuçların İstatistiksel Yorumlanması

Özel çevre koruma alanı olan, Göksu Delta'sı, Türkiye'nin tarihi, kültürel ve sosyal değerler açısından önemli bir doğal rezervi olup Akdeniz Bölgesi'nin en önemli doğal sulak alanlarından biridir. Değişkenlerin yapısını anlamak, genel

eğilimleri belirlemek için sürekli ve sistemik olarak değişimlerin ölçülmesi ve izlenmesi gereklidir (Sargaonkar ve Deshpande, 2003; Simeonov ve ark, 2003; Giardino ve ark, 2007). Çok değişkenli istatistiksel analizi, kümeleme analizi, temel bileşenler analizi ve faktör analizleri yeraltı ve yüzey suyu kalitesi, değişikliklerinin belirlenmesi ve kirliliğin nedenlerinin tespiti için yapılan çalışmalarda başarıyla kullanılmıştır (Kim ve ark, 2005; Altın ve ark, 2009; Zhao ve Cui, 2009; Bhuiyan ve ark, 2011; Arslan, 2013; Belkhiri ve Narany, 2015). Yazıcıgil ve Ekmekci (2003), Türkiye'de yeraltı suyu akifer rezervuarlarının aşınmaya karşı dirençsiz, kolay eriyebilen karstlaşmış karbonatlı ve alüvyonlu olduğunu belirtmişlerdir. Kıyı alüvyon akiferlere tuzlu su saldırıları, akiferler de tuzlanmaya neden olur. Tarımsal faaliyetlerde kullanılan bu sular ürün verimliliğinin düşmesine sebep olur. Bölgedeki yeraltı sularının kalitesinin düşmesi, kıyı kuyularından yeraltı sularının aşırı çekilmesine bağlıdır (Vandenbohede ve ark, 2009; Baba ve Tayfur, 2011).

Su kaynaklarının durumunu belirlemek ve ortaya çıkan sorunlara çözümler geliştirmek çok değişkenli istatistiğin kullanımı ile daha kolay olacaktır. Küme analizi kullanarak bir yıl boyunca aylık olarak kuyulardan toplanan su numunelerinin özelliklerindeki değişimine göre çalışma alanındaki su kalitesi değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışma alanındaki kuyularda su kalitesini etkileyen temel parametreleri belirlemek için TBA ve faktör analizinden faydalanılmıştır. Deniz suyu saldırısının olup olmadığını belirlemek için diyagramlar yardımıyla alan özellikleri çıkartılmaya çalışılmıştır.

Bir bağımlı (Y) ve birden fazla bağımsız değişken (X_1, X_2, \dots, X_n) arasındaki fonksiyonel ilişki; bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkinin bulunması halinde temel bileşen analizi ile incelenir. Analiz de birden çok değişkenin aynı değişkene etki ettiği durumlarda değişkeler arasındaki ilişkileri belirlemek ve hatta bu ilişkilerden faydalanıp yeni değişkenler (temel bileşenler) elde etmek yoluna gidilebilirler. Bu şekilde çok sayıda değişkenin beraber değerlendirilmesini ve bu değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde çok değişkenli analiz tekniklerinden yararlanılabilir (Qin ve ark, 2013).

Çok değişkenli analiz metodunda deneme materyalinden toplanan birden çok özelliğin, aynı anda ele alınması ve analiz edilmesi, özelliklere ait korelasyon

veya varyans-kovaryans matrisinin yapısının analizi ile yapılır (Yazıcıgil ve Ekmekci, 2003).

Temel Bileşen Analizi (TBA) çok sayıda değişken seti arasındaki ilişkilerden yararlanarak en az bilgi kaybı ile bu değişkenlerden daha az sayıda ve birbirinden bağımsız değişkenlerin elde edilme metodudur. Ayrıca bu metod orijinal değişkenler arasındaki korelasyona bağlı olarak değişkenler arasındaki varyansı maksimum açıklayabilecek yeni değişkenlerin oluşturulmasını amaçlar. Burada elde edilebilecek maksimum yeni değişken sayısı orijinal değişken sayısı kadar olur (Qin ve ark, 2013). TBA orijinal p sayıdaki değişkenin varyans yapısını daha az sayıda ve bu değişkenlerin doğrusal bileşenleri olan yeni değişkenler ile ifade etmeyi amaçlar. Bu metod aralarında korelasyon bulunan p sayıda değişkenin açıkladığı yapıyı aralarında korelasyon bulunmayan ve sayıca orijinal değişken sayısından daha az sayıda original değişken doğrusal bileşenleri olan değişkenler ile açıklama yöntemidir (Kim ve ark, 2005).

Değişkenler arasındaki korelasyon katsayılarının 1'e yakın olması değişkenler arasında doğrusal çoklu bağlantının olduğunu göstermektedir. Korelasyon katsayılar matrisine bakıldığında en küçük korelasyon baş boyu ile vücut yüksekliği arasında ($r=0.803$) bulunurken diğer değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları genelde 0,90'dan büyük bulunmuştur. Bu da değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı probleminin olduğunu göstermektedir.

Faktör analizi; birbiri ile ilişkili yani aralarında yüksek korelasyon bulunan verileri birbirinden bağımsız daha az sayıda veri ile açıklayarak daha anlamlı değişken elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Faktör analizinde elde edilen faktörler, $f > 0,75$ güçlü, $0,50 < f < 0,75$ orta ve $0,30 < f < 0,50$ zayıf olarak değerlendirilir. Ayrıca bu çalışmada elde edilen önemli faktörler, bağımsızlık, anlamlılık ve yorumlamada açıklık sağlamak için Varimax eksen döndürmesine tabi tutulmuştur.

Birçok istatistik teste dağılım varsayımı olarak normal dağılım bir gerekliliktir. Uygun istatistik testleri yapabilmek için bu çalışmada veri dönüştürme yapılmıştır. Bunu sağlamak için veri değerlerinde logaritmik dönüşüm yapılmıştır. Yeni değişkenimizin Skewness değerine baktığımızda standart sapmasının iki katına

yakındır. Kolmogorov Smirnov ile bakıldığında ise, p değerinin ($\alpha=0.01$) 0.01'den büyük olduğunu, yani normal dağıldığını görüyoruz. Aynı şekilde verinin TBA ve faktör analizi için uygun olup olmadığını değerlendirmek için Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) ve Bartlett's testleri uygulanmıştır.

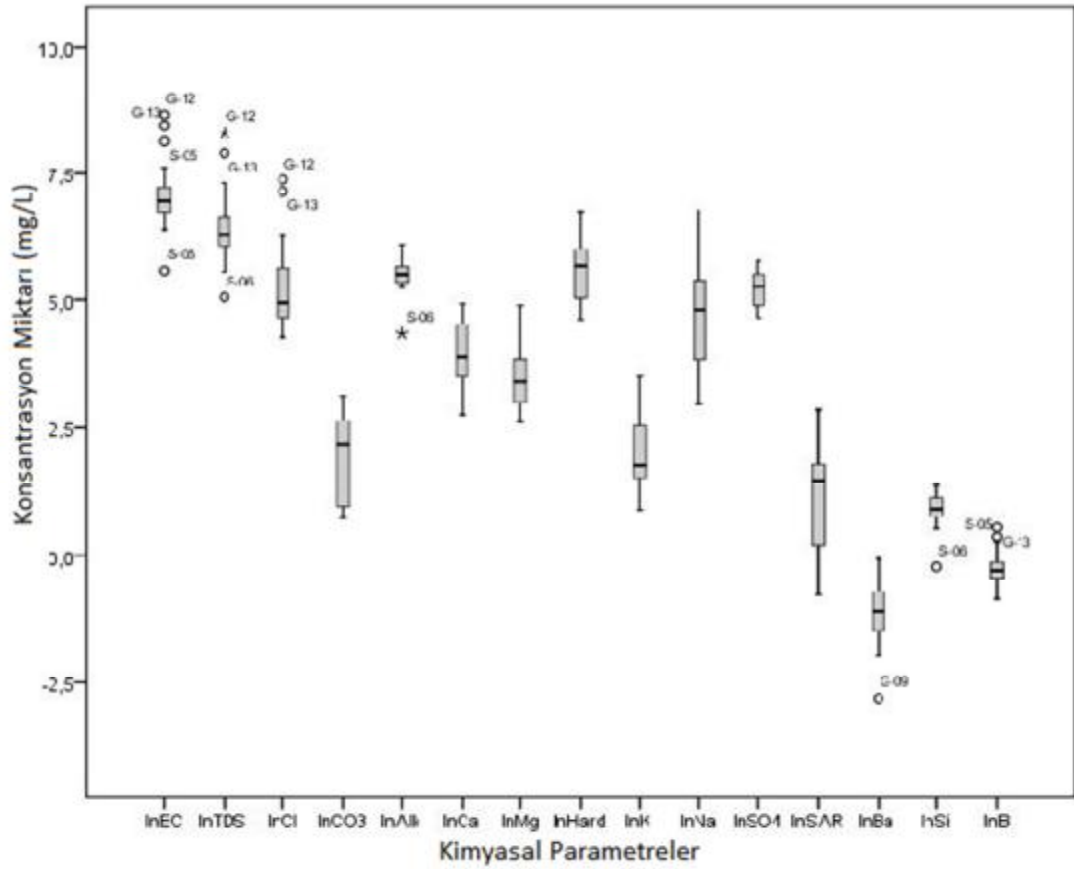
Çizelge 4.12. KMO ve Bartlett's Testi

KMO Uygunluk Ölçüsü		.575	Güvenilirlik Analizi	
Bartlett Küresellik Testi	Yaklaşık Ki-Kare	669.787	Cronbach Alfa	Değişken Sayısı
	df	153	.819	18
	Sig.	.000		

KMO testi örneklem büyüklüğünün uygunluğuyla ilgili olup testin anlamlı olup olmadığını ölçer. KMO test değeri sınır değerlerin (0.7-0.8 iyi, 0.5-0.7 arası orta, en az 0.5 olmalıdır. 0.5'ten küçük ise daha fazla veri toplanmalıdır) dışında ise değişkenler arasında ilişki olmadığı anlamına gelir. Bu çalışmadaki veriler için faktör analizinin sonucu 0.575 bulunmuştur. Bu değer verilerin istatistik açıdan değerlendirilmesi için uygun bir biçimde kullanılabileceğini gösteriyor. Faktör analizine uygunluğu için geliştirilmiş olan Bartlett's Küresellik testinde Ki-kare değeri 669.787 (p değeri <0.000) elde edilmiştir. Ayrıca yapılan güvenilirlik testinde cronbach's alfa katsayısı ($\alpha=0,819$) ise oldukça iyi güvenilirliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Korelasyon Matrisi de bize alakalı hidrokimyasal ilişkileri ayırt etmemizi sağlar. Hesaplanan korelasyon değerlerinin istatistiksel önemini değerlendirmek, doğrusal ilişkinin kuvvet ve yönü hakkında bilgi edinmek için Pearson katsayısı değeri kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan Hiyerarşik kümeleme analizinde Öklid mesafesi ve Ward kümelene algoritması seçilmiş ve veri standartlaştırılması için z skoruna dönüştürülmüştür.

Box-Whisker grafiği yeraltı suyu örneklerinde ölçümü yapılan parametrelerin istatistik özetini göstermek için kullanılmıştır. Merkez kutu üst çeyrekte %75 ile 3. kartil ile alt çeyrekte %25 ile 1. kartil değerlerini temsil eder. Orta çizgi medyanyı ve dikey çizgiler maksimum değerlerden minimum değeri gösterir. Sapan değerler grafiğin dışında gösterilmiştir.



Şekil 4.47. Hidrokimyasal parametrelerin Box-Whisker grafiği

Ölçülen hidrokimyasal parametreler arasındaki ilişkiler korelasyon analizi kullanılarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4.13). Pearson korelasyon katsayıları; 1-0.9; 0.89-0.7; 0.69-0.5; 0.49-0.26 ve 0.25-0 arasında ise iki değişken sırasıyla n çok iyi, iyi, orta, zayıf ve çok zayıf korelasyona sahip olduğunu gösterir.

Genel olarak bu çalışmada, su sıcaklığı ve diğer parametreler arasında zayıf bir korelasyon vardır. Korelasyon katsayısının mutlak değeri genellikle 0.4'den azdır. Yapılan benzer çalışmalarda bulgularımıza benzer şekilde, su sıcaklığı ile Eİ, tuzluluk, TOK, bulanıklık, TKN (toplam Kjeldahl azotu), DOC ve BOİ₅ gibi su kalite parametreleri ile çok zayıf ilişki belirtilmiştir (Ouyang ve ark, 2006; Altın ve ark, 2009; Yusuf ve ark, 2013).

ÇKM, sertlik, Ca⁺² ve Mg⁺² arasında güçlü ve pozitif korelasyon, bölgedeki karbonatlı ve dolomitli kayaç aşınmasını göstermektedir (Aiuppa ve ark, 2003; Jiang ve ark, 2009; Qin ve ark, 2013). Bu çalışmaya benzer olan Qin ve ark (2013), HCO₃⁻,

Ca^{+2} ve Mg^{+2} arasında nispeten zayıf pozitif korelasyonu bulmuşlardır. Bu düşük korelasyonun örnekleme alanı etrafında heterojen dağılım gösteren karbonat ve dolomit kayaçlarının aşınması sonucu bulunduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, ÇKM, Na^{+} ve Cl^{-} arasında kuvvetli pozitif korelasyon deniz suyu girişiminin bir göstergesi olarak yorumlanabilir. Yeraltı su kimyası değerlendirilmesinde önemli bir faktörde minerallerin yağış/buharlaştırma gibi etkenler ile depolanma özellikleridir.

Korelasyon matris analizi Na^{+} ve K^{+} (0.857) arasında çok iyi bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Bu pozitif korelasyon yeraltısularında bu iyonların aynı kaynaklardan geldiğini gösterebilir. Na^{+} ve K^{+} orman ve ekili araziden, tarımsal faaliyetlerden ve yerleşim alanlarından atıksu deşarjı gibi antropojenik nedenleri ile gübre kullanımı nedeniyle yeraltı suyunda bulunabilir.

Çizelge 4.13. Göksu Delta'sındaki kimyasal parametrelerin korelasyon matrisi (N=24)

Parametre	InEİ	InÇKM	InMg	InCl	InB	InK	InNa	InSAR	InT	InpH	InAlk	InCO ₂	InCa	InSertlik	InSO ₄	InBa	InSi	InNO ₃
InEİ	1																	
InÇKM	.969(**)	1																
InMg	.602(**)	.683(**)	1															
InCl	.872(**)	.884(**)	.590(**)	1														
InB	.904(**)	.891(**)	.515(*)	.740(**)	1													
InK	.725(**)	.750(**)	.387	.638(**)	.835(**)	1												
InNa	.591(**)	.582(**)	.157	.732(**)	.607(**)	.702(**)	1											
InSAR	.439(*)	.406(*)	-.099	.579(**)	.488(*)	.620(**)	.964(**)	1										
InT	.348	.376	.258	.375	.230	.370	.168	.093	1									
InpH	.026	-.091	-.251	-.012	.159	.303	.322	.410(*)	-.316	1								
InAlk	.382	.371	.327	-.018	.412(*)	.168	-.298	-.371	.045	-.277	1							
InCO ₂	-.203	-.273	-.403	-.128	-.022	.062	.173	.295	-.382	.923(**)	-.370	1						
InCa	.223	.331	.742(**)	.227	.084	-.064	-.239	-.472(*)	.247	-.512(*)	.220	-.548(**)	1					
InSertlik	.431(*)	.531(**)	.926(**)	.426(*)	.307	.165	-.053	-.314	.271	-.410(*)	.292	-.508(*)	.938(**)	1				
InSO ₄	.251	.350	.402	.255	.309	.466(*)	.415(*)	.292	.219	-.505(*)	.098	-.175	.364	.417(*)	1			
InBa	.273	.270	.502(*)	.174	.180	-.135	-.208	-.348	.171	.171	.338	-.488(*)	.574(**)	.566(**)	.035	1		
InSi	.438(*)	.328	.040	.136	.507(*)	.351	.029	.053	-.163	.526(*)	.612(**)	.325	-.325	-.160	-.204	-.040	1	
InNO ₃	.387	.281	.127	.443(*)	.290	.067	-.184	.152	.427(*)	.727(**)	-.104	.088	.059	.086	-.204	.460(*)	.111	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Eİ değeri su içindeki toplam iyon konsantrasyonunun göstergesidir. Buna göre, Eİ değeri inorganik kirliliğin niteliksel tahminini temsil edebilir. İnorganik çözülmüş katılar, sulardaki Eİ değerini pozitif yönde etkiler. Eİ değeri ile inorganik

çözünmüş katılar (Cl^- , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , ve Ca^{+2} gibi) aynı dağılımı sergilediği görülmektedir. Dolayısı ile inorganik çözünmüş katılar Eİ değerini doğrusal yönde etkilemiştir. Çizelge 4.13’de görüldüğü gibi Eİ parametresi; Cl^- , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , B, Si, SAR, sertlik ve ÇKM parametreleriyle pozitif korelasyona sahiptir. Çalışma alanındaki pozitif korelasyon yeraltı suyu kimyasının çoğunlukla bu parametreler tarafından kontrol edildiği anlamına gelmektedir. Bu ilişki deniz suyu girişimi ve tarımsal faaliyetlerin bir etkisi olarak da kabul edilebilir. Suyun Eİ değeri, mevcut iyonların konsantrasyonu ve hareketliliği su sıcaklığı arttıkça artar. Ancak bu çalışmada, Eİ ve T arasında zayıf bir korelasyon ($r=0.406$) bulunmuştur.

Na^+ ile B arasındaki ($r=0.607$) ve Na^+ ile Cl^- arasında ($r=0.732$) güçlü bir korelasyon vardır. Yüksek konsantrasyonlarda, Na^+ ve Cl^- iyonları ihtiva eden sular tuzlu su, yüksek Ca^{+2} ve HCO_3^- konsantrasyonlarını ihtiva eden sular ise tatlı su olarak karakterize edilir. Na^+ ve Cl^- kıyıya yakın bölgelerde baskın iyonlardır. Na^+ ve Cl^- arasında güçlü korelasyon deniz suyu ile yeraltı suyunun karışımının bir etkisinin göstergesidir. Korelasyon matrisinde görüldüğü gibi, deniz suyunun girişimi ile ilişkili olarak kabul edilen K^+ ile B arasında ($r=0.835$) ve K^+ ile Cl^- arasında ($r=0.638$) pozitif korelasyon vardır. Denklem 4.9, Denklem 4.10 ve Denklem 4.11’de verilen reaksiyonlar da gösterildiği gibi deniz suyu girişimi ile katyon değişim reaksiyonları olmaktadır. Katyon değişim reaksiyonu sonucu Ca^{+2} konsantrasyonu azalırken Na^+ konsantrasyonu artmaktadır. Bu çalışmada yapılan korelasyon matrisi sonucunda Ca^{+2} iyonu ile Na^+ arasında düşüğe olsa bulunan negatif korelasyon ($r=-0.239$) deniz suyu girişimi ile yeraltı suyundaki katyon değişim reaksiyonunun bir işaretidir.

Sudaki ÇKM’nin miktarı ile ilgili bilgiler kirliliğin ve kaynağının tespiti için iyi bir gösterge kabul edilebilir. Yüksek ÇKM değerleri negatif Piezometrik değerlerini, güçlü Cl^- ve Eİ korelasyon değerleri ise deniz suyu girişiminin etkisi olarak değerlendirilebilir (Kouzana ve ark, 2009). Çizelge 4.13’de görüldüğü gibi bu çalışmada ÇKM parametresi; Eİ, Mg^{+2} , Cl^- , B, K^+ , Na^+ , SAR ve sertlik

parametreleriyle pozitif korelasyona sahiptir. Bu ilişkiler deniz suyu ve tarımsal faaliyetler ile yeraltı suyun etkileşiminin işareti olarak yorumlanabilir.

Yüksek sıcaklıklarda HCO_3^- iyonunun çözünürlüğü azalırken, K^+ , Na^+ , Cl^- ve SiO_2 gibi bazı iyonların çözünürlüğü artma eğilimi gösterir (Zhu ve Yu, 1995; Edmunds ve ark, 2006; Sung ve ark, 2012). Ancak bu çalışmada, korelasyon analizi sonucunda T değişkeni, Eİ , K^+ , Mg^{+2} , Na^+ , Cl^- ve Si ile zayıf korelasyon göstermiştir.

Özler (2003) ve Baba ve ark, (2004), yeraltı suyu kimyasının tuzlu su girişi, silikat minerallerinin çözünmesi, katyon değişimi ve antropojenik kirliliği ile de yakından ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, veri kümesi içinde toplam varyansın %83,48'ü üç faktör tarafından açıklanmıştır. Faktör 1 toplam varyansın %35,82 açıklamıştır. Bu faktör atmosferik kontrolleri ve silikat minerallerinin bozuşmasını temsil etmektedir. Faktör 2 toplam varyansın %35,41 açıklamıştır. Asit yağmuru gibi atmosferik kontrolleri ve inorganik karbon iyonları üreten reaksiyonları temsil etmektedir. Faktör 3, toplam varyansın %12,24 açıklamıştır. Yüksek pH sonucu silikat minerallerinin bozuşmasını temsil etmektedir.

NO_3^- iyonu ile Cl^- , T ve Ba arasında zayıf pozitif korelasyon (sırasıyla $r=0.443$, 0.427 , 0.460) izlenmiştir. Göksu bölgesini çevreleyen yoğun tarımsal faaliyetler sonucu meydana gelen kirlilik ile bu pozitif korelasyon ilişkili olabilir. Benzer çalışmalarda tarımsal faaliyetler ile çevrelenen alanlarda tarım atıkları ve arıtılmamış kanalizasyon nedeniyle, NO_3^- ve NaCl yüksek konsantrasyonlarda olduğu yorumlanmıştır (Elhatip ve ark, 2003; Baba ve Ayyıldız, 2006). Bu çalışmada NO_3^- ve alkalinite arasında negatif ve zayıf korelasyon izlenmiştir. NO_3^- iyonlarının güçlü asitliği ile pH değerini azaltmıştır. Bununla zayıf alkaliniteyi arttırdığı kabul edilebilir.

Düşük Cl^- konsantrasyonuna karşın NO_3^- iyonunda yüksek zenginleşme görülen yeraltı su kalitesi çalışmaları bulunmaktadır (Re ve ark, 2013, El Yaouti ve ark, 2009). Bu çalışmadaki örneklerin NO_3^- miktarı, septik atıklar veya gübre girişiminden kaynaklanabilir. Alternatif olarak ölçülmüş olan, yüksek Cl^- ve düşük NO_3^- içeriği akifer alanındaki deniz suyu girişiminden kaynaklanabilir. Göksu

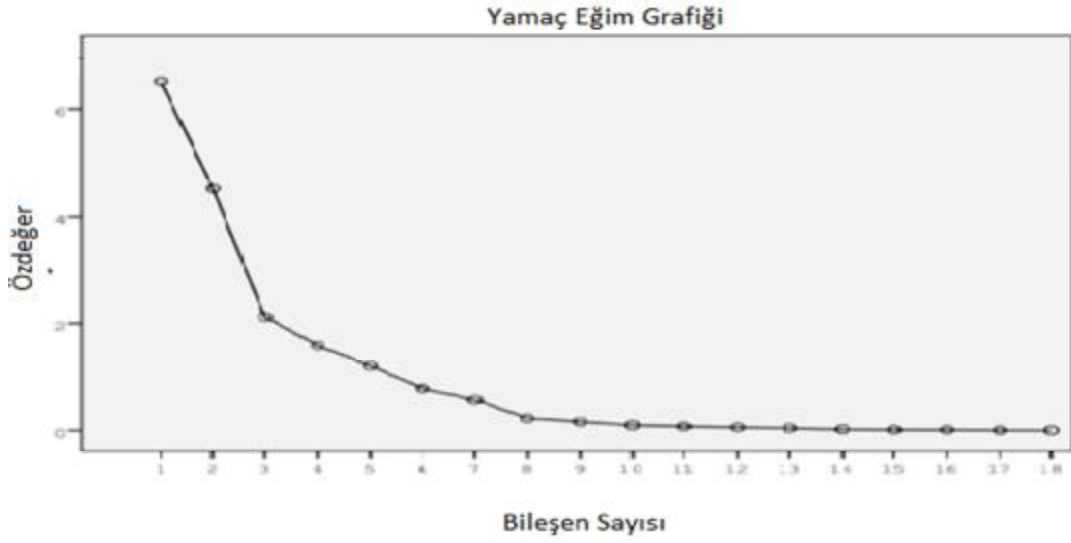
Deltası'nda gerçekleştirilen bu çalışmada yıl boyunca kuyularda ölçülen Cl^- ve NO_3^- içeriklerinin değişimi arasında istatistiksel olarak orta korelasyon ($r=0.44$) olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.14. Temel Bileşenler Varimax Rotasyonlu Toplam Açıklanan Varyans Miktarları

Faktör	Başlangıç Özdeğerler			Faktörleştirme Sonrası			Rotasyon Sonrası		
	Toplam	Varyans %	Birikimli %	Toplam	Varyans %	Birikimli %	Toplam	Varyans %	Birikimli %
1	6.530	36.275	36.275	6.530	36.275	36.275	5.754	31.965	31.965
2	4.527	25.152	61.427	4.527	25.152	61.427	3.783	21.019	52.984
3	2.119	11.774	73.201	2.119	11.774	73.201	2.502	13.901	66.885
4	1.592	8.844	82.045	1.592	8.844	82.045	2.270	12.610	79.496
5	1.202	6.677	88.722	1.202	6.677	88.722	1.661	9.226	88.722

*Extraction Method: Temel Bileşen Analizi.

Bu çalışmada, analizi yapılan 19 su kalite parametrelerinden en az öneme sahip değişkenleri çıkarıp, su kalitesinin değişimine en fazla katkıda bulunan parametreleri tespit etmek için TBA analizi uygulanmıştır. Temel veri yapısını anlamak ve korunması gereken başlıca bileşen sayısını belirlemek için yamaç eğim grafiği (Scree plot) uygulanmıştır. Yamaç eğim grafiği ve özdeğeri 1 veya 1 den daha büyük veri setindeki toplam varyansın %88,72 açıklayan toplam beş faktörün temel bileşen olarak seçilmesinin uygun olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.48. Göksu Deltasındaki hidrokimyasal parametreler için Yamaç Eğim Grafiği

Farklı faktörlerin özdeğerleri, sorumlu oldukları varyans yüzdeleri, toplam varyansı açıklamadaki yüzdeleri ve bileşen yükleri (Varimax döndürülmüş) Çizelge 4.14'te sunulmuştur. Temel bileşenler analizinden elde edilen beş bileşen için, parametre yükleme Çizelge 4.15'te sunulmuş ve güçlü değerler olarak kabul edilenler koyu olarak işaretlenmiştir. Faktör yüklerinde > 0.75 , $0.75-0.5$ ve $0.5-0.3$ sırasıyla güçlü orta ve zayıf terimleri gösterir. Logaritmik dönüşümü yapılan örnekleme verilerinin beş ana bileşen ile tanımlanması yapılmıştır.

Çizelge 4.15. Varimax Rotasyonlu Temel Bileşenler Faktör Yükleri Matrisi

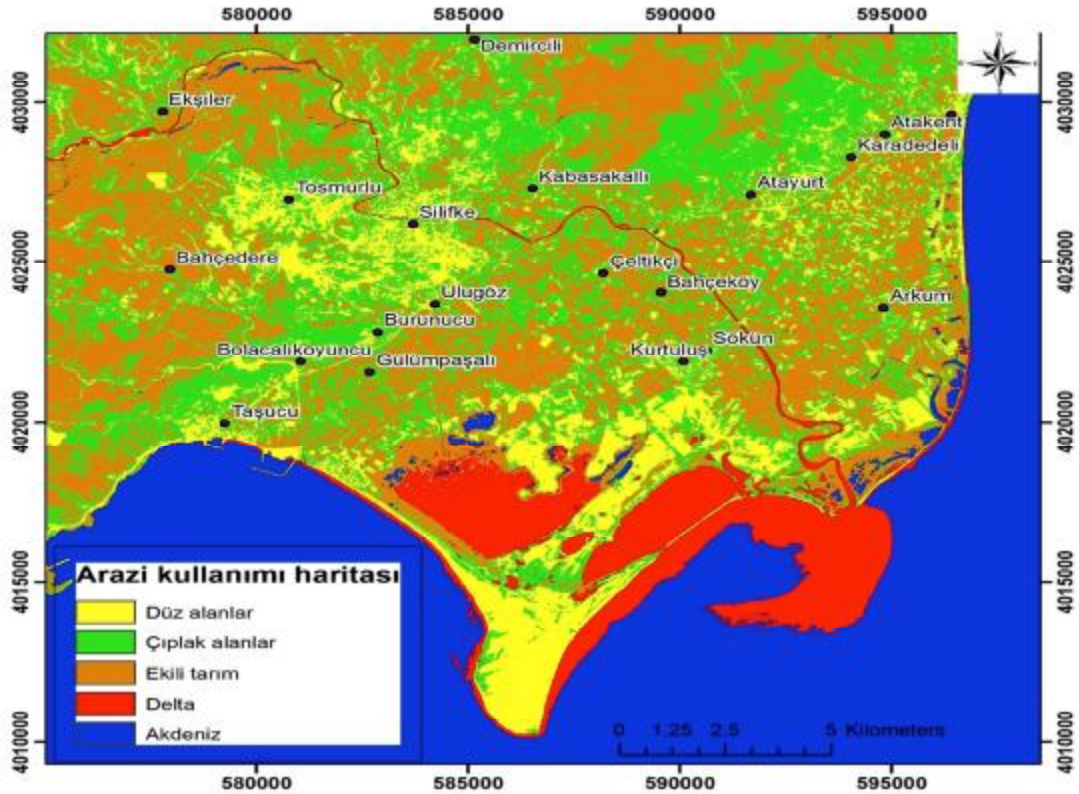
Değişken	Bileşen				
	1	2	3	4	5
lnNa	.907				
lnK	.888				
lnCl	.852				
lnB	.832			.432	
lnÇKM	.827				
lnEİ	.825				
lnSar	.819				
lnT.Sertlik		.954			
lnCa		.922			
lnMg		.858			
lnBa		.593			.475
lnCO ₃			.902		
lnPh			.895		
lnT			-.583		
lnAlk				.896	
lnSi				.854	
lnNO ₃					.909
lnSO ₄	.454				-.559
Extraction Method: Principal Component Analysis.					
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.					

Birinci faktör grubu toplam varyansın %31,96'sını açıklamaktadır. Deniz suyu hareketleri ile ilişkili olan Na⁺, K⁺, Cl⁻, B, ÇKM, Eİ, SAR ve SO₄⁻² değişkenler ile pozitif yönde orta derecede temsil edilmektedir (Çizelge 4.14). Bu değişkenleri aynı kaynağı işaret etmektedir. Birinci faktör grubuna yüksek oranda deniz suyu ile ilişkin değişkenler katılmıştır. Buna ek olarak, birinci faktör grubunun Eİ ve ÇKM miktarının yüksek çıkmasının başlıca nedeni Na⁺, Cl⁻ ve K⁺ olduğunu göstermiştir (Reghunath ve ark, 2002).

İkinci faktör toplam varyansın yaklaşık %21'ini açıklamıştır. İkinci faktör grubu sertlik, Ca⁺², Mg⁺² ve Ba ile güçlü ve pozitif korelasyon sahiptir. Sertlik, Ba, Ca⁺² ve Mg⁺² ile negatif yükleme oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Sertliğin suyun içindeki Ca⁺² ve Mg⁺² iyonları ile ilişkili olduğu çok iyi bilinmektedir (Reghunath ve ark, 2002; Papatheodorou ve ark, 2006). Bu faktörde suyun geçici

sertlik oluşturmaya sebep olan iyonları kapsadığı görülür. Örnekleme alanlarının etrafında karbonat ve dolomit gibi kayaçların varlığı, toprak ve minerallerin çözünmesinden de bu minerallerin kaynaklandığı söylenebilir. Üçüncü faktör toplam varyansın %13,9 sorumlu olduğu görülmüştür. pH ve CO_3^{2-} ile güçlü bir korelasyona sahipken, T negatif yükleme oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Üçüncü faktörde pH ve CO_3^{2-} deltada doğal süreçlerle kontrol edilen iki önemli değişken olduğu belirlenmiştir.

Dördüncü faktör toplam varyansın %12,6 oluşturmaktadır, Alkalinite, Si ve B ile temsil edilmiştir. Beşinci son faktör grubu ise toplam varyansın %9,22 sorumlu olup, NO_3^- ile karakterize edildiği gözlenmiştir. Ayrıca, SO_4^{2-} iyonu bu grupta negatif katılım ile temsil edilmiştir.



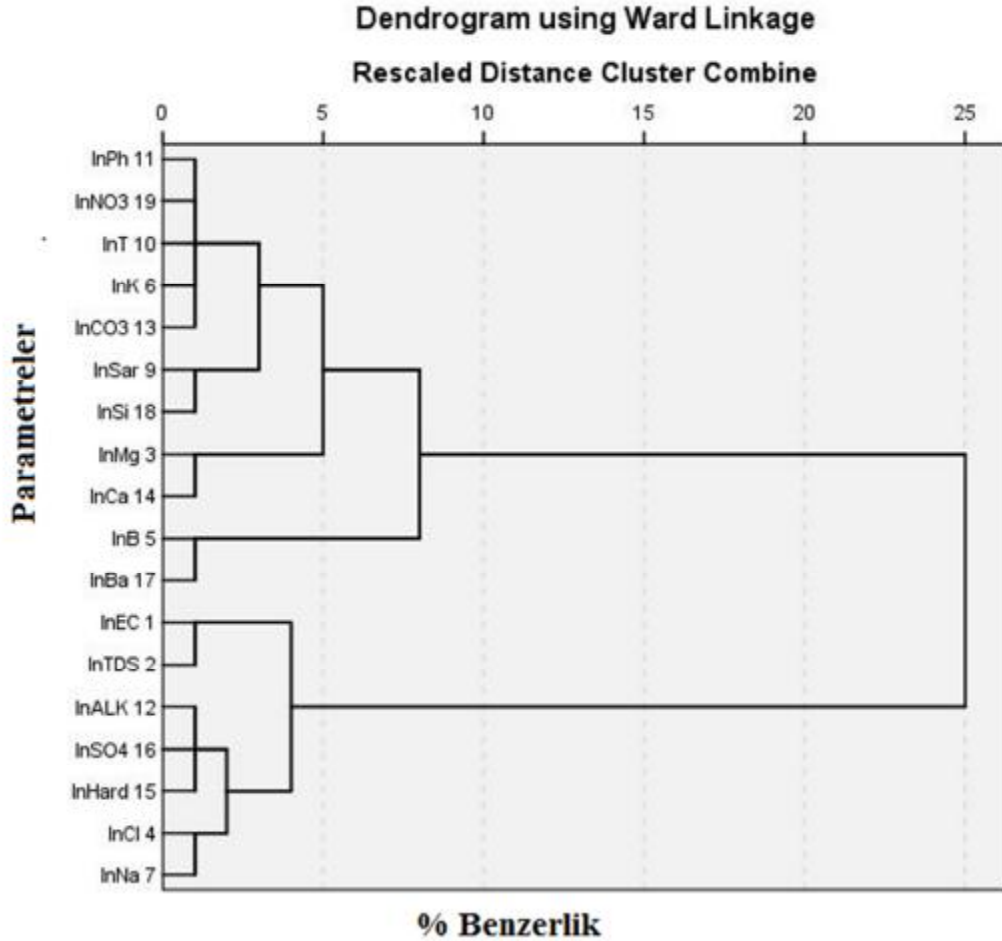
Şekil 4.49. Göksu Delta'sında arazi kullanım haritası

Farklı çalışmalarda NO_3^- kirlilik kaynağının farklı tarım uygulamaları ve bölgenin hidrojeolojik yapısının sonucu olabileceği gösterilmiştir (Kim ve ark, 2005;

Grassi ve ark, 2007; Stigter ve ark, 2008; Zhao ve ark, 2010; Landon ve ark, 2011; Güler ve ark, 2012; Qin ve ark, 2013). Rekha ve ark (2011), farklı yetiştirme uygulamaları altında tarımsal alanlardan sığ yeraltı sularına $\text{NO}_3\text{-N}$ geçtiğini belirtmişlerdir. Şekil 4.30'da görüldüğü üzere çalışma alanında yoğun ve uzun bir süredir uygulanan tarımsal faaliyetler dikkate alınarak 5. faktör grubundaki yüksek NO_3^- katkısı tarımsal gübreler nedeniyle suya karıştığı söylenebilir. Göksu Delta'sına benzer özellikler taşıyan başka bir alanda (yani, deniz ve nehre yakın, yoğun tarımın uygulandığı) gübre ana bileşeni olan NH_4^+ 'ün kolay bir nitrifikasyon işlemi ile NO_3^- halinde oksitlendiğini bildirmiştir. Bu araştırmacılar, toplam varyansın %6,3 oluşturan bölüm öncelikle yüksek pozitif yük ile NO_3^- , ve negatif orta yükler için pH ve HCO_3^- ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir (Kim ve ark, 2005). Sığ yeraltısularındaki nitrat saldırısının birincil sebebin tarım üretkenliğini artırmak için kullanılan gübreyle bağlı olduğu ifade edilmiştir (Krapac ve ark, 2002; Psychoyou ve ark, 2007; Jalali, 2011). Buna göre yüksek miktarda NO_3^- varlığının kaynağı Göksu deltasında yeşil sebze gibi tarımsal verimliliğin artması için kullanılan gübreden olabileceği söylenebilir.

Baryum (Ba) hem magmatik hemde tortul kayaçlar da mevcut olan bir eser element olarak bulunur. Bu element, doğada serbest halde değildir. Doğada en sık barit yani baryum sülfat (BaSO_4) ve daha az miktarda da baryum karbonat olarak (BaCO_3) bileşikleri olarak ortaya çıkar. Doğada denizlerin ya da suların taşınmasıyla veya sedimentlerin aşınmasıyla (tortul, çökme ile) meydana gelmiş olarak bulunur. Asetat, nitrat ve baryum tuzları, suda çözünür, ama karbonat, kromat, florür, oksalat, fosfat ve SO_4^{2-} tuzları, oldukça az çözünürlerdir. pH düştükçe, Ba bileşiklerin çözünürlüğü artar. Doğal su sistemlerinde Ba iyonlarının konsantrasyonu, metal oksit ve hidroksit üzerine, Ba iyonlarının adsorpsiyonuyla veya sülfatlar ve karbonatlar gibi iyonların doğada bulunma miktarlarına göre sınırlıdır. Ba konsantrasyonları sadece suda düşük SO_4^{2-} konsantrasyona sahip ise, toksik olabilir. Çizelge 4.13'de görüldüğü gibi, Ba, CO_3^{2-} ve SO_4^{2-} ile negatif korelasyona sahiptir (Ba- CO_3^{2-} $r=-0.488$ ve Ba- SO_4^{2-} $r=-0.035$). Ayrıca, Ca^{+2} , Mg^{+2} ve sertlik ile Ba pozitif yönlü bir korelasyona sahiptir (sırasıyla, $r=0.502$, 0.574 ve 0.566). Temel faktör analizinde

Çizelge 4.15’de gösterildiği gibi, ikinci faktör grubunda bulunmaktadır. Bu gruba Ba ve Mg^{+2} pozitif katılım sergileyip orta derecede korelasyona sahiptir.



Şekil 4.50. Göksu Deltasındaki hidrokimyasal parametreler için Dendrogram grafiği

Örnekleme alanında yapılan hidrokimyasal parametreler dendrogram grafiği üzerinde gösterilirse, parametrelerin iki büyük küme halinde gruplandığı görülür (Şekil 4.31). Bu analizde küme ölçüsü olarak Öklid uzaklığı ve Ki-Kare ile Ward'ın yöntemi kullanılmıştır.

İlk küme pH, NO_3^- , T, K^+ , CO_3^{2-} , SAR, Si, Mg^{+2} , Ca^{+2} , B ve Ba parametrelerini, ikinci küme ise Eİ, ÇKM, alkalinite, SO_4^{2-} , sertlik, Cl^- ve Na^+ parametrelerini içermektedir.

4.5. Benzer Çalışmalar ile Değerlendirme

Çalışma alanından elde edilen parametreleri daha iyi yorumlamak için özellikle bu çalışmaya benzer kıyı bölgesinde yer alan yeraltı sularında yapılan su kalite çalışmaları ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.16).

Wen ve ark (2005), kıyı bölgesinde yer alan sığ ve derin yeraltı sularında yaptığı çalışmada çok yüksek ölçülen kimyasal parametrelerin bölgedeki suların beslenme alanından boşaltım alanına doğru akış yönünde olmalarını göstermiştir. Göksu bölgesinde akış yönü denize doğrudur. Bölge yağışlarla kendi yüzeyinden beslendiği gibi, akarsu ve diğer akiferler sularını boşalttığı için değişik noktalarda kimyasal farklılıklar göstermiştir. Alüvyon yapılar da bu oldukça sık rastlanan bir durumdur. Omonona (2014), Nijerya'da 0,7-0,9 çapında, 3,5 ila 12,5 m su derinliğine sahip üç yerleşim alanında (19 adet Achara, 8 adet Abakpa, 15 adet Emene alanında olmak üzere toplam 42 adet kuyudan) yaptıkları çalışmada yeraltı su kalitesinin başlıca jeolojik ve antropojenik kaynaklı olarak değiştiğini belirtmiştir. Kouzana (2009), kıyı akiferindeki hidrokimyasal özellikleri belirlemek, deniz girişiminin boyutlarını anlamak ve akifer sistemindeki su kalitesine etki eden esas mekanizmayı anlamak için Korba akifer (Tunus) sistemini incelemiştir. Ölçülen yüksek tuzluluk seviyesi alandaki deniz girişiminin varlığı ile açıklanmıştır. Yüksek TDS ve Cl^- miktarı, ters iyon değişim reaksiyonları ve deniz seviyesine kıyasla düşük piyometrik seviye girişime sebep olarak gösterilmiştir. Sudaki iyon değişimi Ca^{+2} ile Mg^{+2} konsantrasyonları suya karışırken Na^+ 'un adsorbe edilmesi şeklindedir. Göksu bölgesi alüvyonlu ve killi özellik göstermektedir. Killi arazilerde iyon değişimi önemlidir. Sodyumlu killer, suyun Ca^{+2} ve Mg^{+2} ile iyon değişimi yaparak suları Na^+ iyonlarınca zenginleştirir. İnceleme alanına ait 9 adet örneğin Na^+ yönünden zengin olması da bu şekilde açıklanabilir. Farklılık gösteren örneklerde ise su tipi Na^+ ve SO_4^{-2} olarak değişkenlik göstermektedir. Alüvyon yapı olması sebebiyle farklılık gösteren noktaların değişken yapılardan etkilendiği düşünülmektedir. Belkhiri (2012), yaptığı araştırmada çalışma alanındaki sığ yeraltı su kalitesinin, mineral çözünmesine, alandaki kayaç aşınmasına ve iyon değişim reaksiyonlarına bağlı olduğunu ifade etmiştir. Çalışma alanlarındaki su kalitesinin az

tuzlu (ort $Eİ=937$ mS/cm) ve iyon konsantrasyonlarının $Ca^{+2} > Na^{+} > Mg^{+2} > K^{+}$ ve $HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-2} > NO_3^{-}$ iken artan su-kayaç prosesi sonucu tuzluluk artışıyla ($Eİ=1471$ mS/cm) beraber $Cl-HCO_3-Ca$ ve $Cl-Ca-Na$ tip sularının baskın duruma geçtiğini göstermiştir.

Göksu alanında yapılan su sınıflandırılmasında bölge sularında $NaCl$, KCl ve Na_2SO_4 tipi suların baskın olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanının jeolojisinde kil içeren yapılar mevcuttur. Killerin gözenekliliği fazla, geçirgenliği az, daneleri ufak olması nedeniyle suyla uzun temas sürelerine sahiptir. Ayrıca killerin kolloidal yapılarının Cl^{-} , SO_4^{-2} iyonlarını soğurması, bu kayalardan gelen suların tuz iyonları zenginleşeceğini gösterir. Sulardaki sülfat fazlalığı Ca^{+2} , Mg^{+2} 'un; klorürün yükselmesi ise Na^{+} iyonlarının artmasına sebep olmaktadır. Bölge sularından bulunan fazla Na^{+} iyonlarının nedeni olabilir. Zghibi (2014), yeraltı su kimyasını anlamak için Cap-Bon (Tunus) akifer sularında çeşitli hidrokimyasal analizler yapmıştır. Bölgede $Ca-Cl$, $Na-Cl$ ve SO_4 karışımı olmak üzere 3 tip su sınıflanmıştır. Deniz kıyısındaki veya merkezdeki sular çok tuzlu olduğu için hem sulama hemde evsel amaçlı kullanıma uygun olmadığı belirtilmiştir. Tuzluluğun sebebinin bölgedeki jips, dolomit ve halite kayaçlarının çözünmesi ile ilişkilendirilirken, yüksek NO_3^{-} içeriği ise alandaki yoğun tarımsal faaliyetler den kaynaklandığı belirtilmiştir. Bölgede aşırı yeraltı suyu çekimi sonucu deniz suyu girişimine ve bölgedeki $Ca-SO_4$, $Ca-Cl$ tipindeki suların $Na-Cl$ tipine doğru değişim gösterdiği ifade edilmiştir.

Shyam (2012), yeraltı sularının sağlık riskini araştırmak için Sikar şehrinde (Hindistan), seçilen 15 yeraltı suyundan çeşitli fiziko-kimyasal analizler yapmışlardır. Ölçülen parametrelerden $ÇKM$, $Eİ$, NO_3^{-} ve Cl^{-} değerleri WHO sınır değerlerinin oldukça üstünde kaydedilmiştir. Trabelsi (2012), Djeffara havzasındaki (Tunus) sığ kıyı akifer sularında tuzlanma proseslerini araştırmışlardır. Bölgedeki hızlı kentleşme ve endüstrileşme sonucu aşırı ve kontrolsüz yeraltı suyu kullanımına maruz kaldığını ifade etmiştir. Akiferdeki yeraltı sularının yoğun kullanılması, iklimin kurak olması sebebi ile piezometrik seviyedeki azalmaya ve tuzlulukta artışa sebep olduğunu belirtmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak ölçümü yapılan

parametrelerde (Cl^- , SO_4^{-2} , NO_3^- , HCO_3^- , Br^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) bu sonucu desteklenmiştir. Kimyasal oranlarda deniz etkisini kanıtlamıştır. Deniz suyuna benzer oranlarda Na^+/Cl^- (0,86), $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ (1) ve düşük oranlarda $\text{SO}_4^{-2}/\text{Cl}^-$ ve Br^-/Cl^- hesaplanmıştır. Deniz suyu girişimi ile kation-değişim prosesinde gözlenmiştir (Ca^{+2} , Mg^{+2} miktarları artarken, Na^+ , K^+ konsantrasyonlarında azalma). Bu çalışmaların aksine Göksu bölgesinde yoğun bir endüstrileşme bulunmamaktadır. Ancak nüfus artışı, kentleşme ve tarımsal faaliyetlerdeki artış Göksu için bir baskı oluşturmaktadır. Göksu çalışma alanında yapılan ölçümlerde EC, ÇKM, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{-2} değerleri yüksek ölçülmüştür. Sığ akiferler sularının yoğun kullanılması, iklimin kurak olması sebebi ile piezometrik seviyedeki azalmaya ve tuzluluktada artışa sebep olduğu düşünülmektedir. Bölge genelinde Na^+/Cl^- (1,24), $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ (1,16) ve $\text{SO}_4^{-2}/\text{Cl}^-$ (1,42) kimyasal oranlarda deniz etkisi olduğunu göstermektedir.

Elangbam (2013), içme ve sulama amaçlı kullanımı açısından Imphal bölgesinden (Hindistan) seçilen 30 sığ yeraltı suyundan kimyasal ölçümler yapmıştır. SAR ve %Na miktarları bölge sularının sulama amaçlı kullanıma uygun olamadığını göstermiştir. Diğer ölçümü yapılan anyon ve katyonlar bakımından içme suyu olarak kullanılmasında sakınca olmadığı ifade etmiştir.

Han (2013), Yinchuan Havzasında (Çin), mekana ve zamana bağlı olarak sığ (4-40 m) ve derin (40-250 m) yeraltı kuyu sularında kimyasal analizler yapılmıştır. Derin suların sığ sulara göre içerdiği yüksek ORP (oxidation-reduction potansiyeli), daha düşük TDS, Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} içeriği ile daha kaliteli olduğunu göstermiştir. Çalışma alanında seçilen sığ sular alkali pH, negatif ORP (okdiyasyon-reduksiyon potansiyeli) değeri, yüksek KOİ, NH_4^+ ve düşük ÇKM değeri ile karakterize edilmiştir.

Huang (2013), hızlı kentleşmenin, antropojenik ve doğal etkenlerin kıyı alanlarındaki yeraltı sularına etkilerini incelemek için 73 kuyudan 8 kimyasal parametreyi izlemiştir (Dongguan, Çin). Analiz sonuçları çalışma alanında nehir akışının, tarımsal sulama yeraltı sularının karakterini belirleyen en önemli

mekanizmalar olarak yorumlamıştır. Ayrıca deniz suyu girişimi ile sudaki Na^+ iyonunun Ca^{+2} iyonu ile yer değiştirme prosesinin alanın sahip olduğu çatlaklı yapı sebebi ile zayıf olduğu vurgulanmıştır. Fakat 1980-2006 yılları arasındaki kimyasal data alanın yoğun tarımsal gübre gibi antropojenik etkenler, evsel atık sular bu alandaki suları NO_3^- , SO_4^{-2} ve Mg^{+2} açısından zengin yapmakta olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 4.16. Standart ve diğer çalışma sonuçları

Konular	Bu Çalışma	ISE (1997)	WHO (2004)	Wen (2016)	Boşayıcı (2007)	Lee (2007)	Yıldırım (2010)	Mirial (2010)	Serif (2011)	Şayan (2012)	Barışhan (2013)	Ali (2013)	Burçak (2013)	Hisa (2013)	Han (2013)	Harif (2013)	Özdemir (2014)	Gökler (2014)	Bekir (2014)	Zengin (2014)
Ülke	Mısır (Türkiye)		Min. Max.	Ejina Basın (Çin)	Mirialın (Türkiye)	Ban (Nijerya)	Keta Basın (Gana)	Pr-meson (Hafız)	Wad Han (Libya)	Star (Hafız)	Mingur (Hafız)	The North Çin Plain (Çin)	Konya (Türkiye)	Changong (Bangladeş)	Yinchuan Plain (Çin)	South Çin (Çin)	Ahara Layout (Nijerya)	Northern Mersin (Hafız)	Cas of B Etilim (Türkiye)	Konya (Türkiye)
T(°C)	21,27	.	25	.	19,64	.	29,61	.	.	.	23	.	17,37	.	.	.	.	.	11,16	19,62
pH	7,82	6,59-2	7,85-9,2	8,1	7,38	7,2	6,96-7,8	7,6	7,6	7,92	7,69	4,67	7,7	.	7,8	6,2	4,67	7,3	8,13	7,72
EH (dS/cm)	1471,74	180	70-100	.	220	282	198,3-365	900,4	1109	1094	1094	.	2911	232	175	.	.	1516	1491	.
CRN (mg/L)	807,88	.	50-150	3118,89	.	1,901	.	291	.	52	93,73	54,7	186	.	136	36	54,7	98,9	.	576,78
Ca ²⁺ (mg/L)	62,44	20	75	118,84	22,4	99,01	71,74	8	29,33	136,72	61,4	1,01	136,37	45,51	100	91,5	1,01	75,9	141,71	318,6
Mg ²⁺ (mg/L)	39,53	150	30	198,55	49,32	73,22	21,33	44	40,8	17,73	17,69	1,89	114,7	101,7	71	120	1,89	21,1	33,1	207,6
Na ⁺ (mg/L)	194,75	175	50	483,90	201,98	461	177,09	719	841,8	136,51	152,92	5,42	263,2	314,26	253	82	5,42	19,7	106,69	1296,28
K ⁺ (mg/L)	9,42	12	20	21,46	12,87	36,48	29,90	14	3,47	4,66	2,8	0,77	9,23	27,6	.	2,45	0,77	2,2	4,54	33,54
Cl ⁻ (mg/L)	284,22	400	200	537,93	98,17	70	291,32	953	138,5	152,89	132,09	3,2	346,53	291,59	272	122,1	3,2	194,3	291,65	2608,54
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	195,97	280	200	120,49	173,39	183	112,92	285,9	93,11	55,4	27,18	2,67	671,95	163,71	298	398	2,67	46,5	152,98	494,2
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	286,2	.	30	400,04	389,79	290	242,62	181	164,74	312,16	320,8	2,28	261,28	104,47	467	161,2	2,28	45,7	283,2	1511,1
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	9,54	.	.	.	.	.	.	4	.	46,62	.	.	0,3	36,37	.	.	.	31,7	.	.
NO ₃ ⁻ (mg/L)	12,49	50	45	.	747,8	29,54	29,3	74,7	.	35,3	0,89	0,51	55,85	39,5	.	39,2	0,51	8,7	73,9	368,28

Çizelge 4.17. İz Element sonuçları

Parametre	Bu Çalışma		EC (1998)	WHO (2011)	USEPA (2012)	USEPA (2006)	Yılmaz (2010)	Spark (2003)	Buschmann (2008)	Kocar (2008)	Champwat (2011)	Wongssasulak (2014)
	Ort	Range		İçme suyu için Max. değer		Su yaşamının korunması	Range	Range	Range	Range	Range	Range
Kuyu Derinliği (m)												
Ba (µg/L)	0,38	0,88		700			0,043	10-500	1-2900	.	20,47-5174	
TCr (µg/L)	nd	nd	50	50	100	.	nd	<1-5	0,1-0,5	.	0,07-9,59	0,58
Cu (µg/L)	nd	nd	2000	2000	1300	13	nd	100-10000	0,2-480	.	10,91-17050	60,3
Fe (µg/L)	0,08	0,75	200	.	300	1000	0,011	<1-1000	<0,05-56	0-24	3,4-997,4	.
Mn (µg/L)	0,05	0,16	50	400	50	.	nd	<10-50	1-34	0,01-3,2	<0,04-6,25	.
Ni (µg/L)	0,01	0,02	20	70	.	470	nd	<15	0,1-10	.	<0,02-3,6	6,13
Pb (µg/L)	nd	nd	10	10	15	.	nd	.	.	.	.	16,7
Cd (µg/L)	nd	nd	5	3	5	2	nd	.	.	.	.	0,15
Zn (µg/L)	0,06	0,66	100	.	5000	120	nd	.	.	.	.	63,4
Al (µg/L)	nd	nd	.	.	.	.	nd	<5-1000	.	<0,01-0,03	<0,01	.
B (µg/L)	0,81	1,31	.	500	.	.	0,167	20-1000	.	.	.	.
Si (µg/L)	2,55	3,09										

Bölgede ağır metal kirliliği için Ba, T. Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Cd, Zn, Al B ve Si içeren ağır metal konsantrasyon düzeyleri Çizelge 4.17’de özetlenmiştir. Tüm ölçülen elementlerin yıllık ortalama değerleri uluslararası sınır değerlerin oldukça altında izlenmiştir. Göksu Deltasındaki yeraltı sularının ağır metal içerikleri 2003 yılında kirlenmemiş yeraltı sularında yapılan çalışmadaki değerlere göre oldukça altında izlenmiştir (Spark, 2003). Ancak Yılmaz ve ark (2010), aynı noktaları seçerek yaptıkları çalışma sonucuna göre Fe, Mn, Ni, Zn ve B’da belirgin bir artış bulunmaktadır. Çalışma alanında endüstrileşmenin az olması ağır metal miktarlarını düşük seviyelerde bulunmasında etkilidir. Ancak bölgedeki yeraltı sularındaki metal konsantrasyonundaki kısmi artış tarımsal faaliyetlerin yıllar içinde geniş alanlara yayılmasının ve yoğunlaşmasının etkisi olabilir. Yerkabuğunda en fazla bulunan element olan Si, suda çok zor çözünmesi nedeni ile yeraltı sularında 20 mg/L’den az bulunur. İnceleme alanında Si miktarı ortalama 2,55 mg/L ölçülmüştür. Doğada kumda özellikle deniz kumunda çok bulunan Si elementinin deltadaki yer altı sularında bulunma sebebi ise, deniz suyu ile yeraltı suyunun etkileşimi nedeni ile olabilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1.Sonuçlar

Türkiye'nin Akdeniz kıyısında bulunan ve kıyı akifer deltalarından olan Göksu- Silifke çalışma bölgesinde, Mayıs 2012-Nisan 2013 tarihleri arasında bir yıl süre ile, aylık olarak 24 artezyen kuyusundan su örnekleri toplanmıştır. Bölgedeki yeraltı suyunun mevcut durumu, su kalitesi ve kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Önemli katyon ile anyonlar içeren hidrokimyasal verilerin analizi yapıp tanımlayıcı istatistiksel analizler ile bölgenin su kalitesi değerlendirilmiştir. Analizi yapılan 19 değişkenin her biri için su kalite parametrelerinin ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Numuneler noktasal ve mevsimsel olarakta incelenmiştir.

pH değeri açısından kuyular arasında farklı sonuçlar gözlenmemiştir. Çalışma alanındaki su örneklerinin pH değeri 7.82 ± 0.04 (ort \pm sd) olarak ölçülmüştür. Bölgedeki tüm sular her mevsim "hafif alkali" özellik göstermektedir. Çizelge 4.2'de verildiği gibi sulara pH'ın optimum değeri 6.5-9.5 arasındadır. Buna göre numuneler içme ve sulama suyu olarak kullanıma uygundur. pH değişiminin asidite ve alkaliniteye bağlı olarak değiştiği göz önüne alınırsa Şubat ayında, tarımsal faaliyetin daha yoğun olarak yapıldığı Silifke bölgesindeki S-05 nolu kuyuda, Göksu bölgesindeki G-05, G-06, G-07, G-08 ve G-09 nolu kuyuda mevsimsel pH değişimi az da olsa gözlenmiştir. Havanın sıcak olduğu yaz mevsiminde buharlaşmanın daha fazla olduğu düşünülürse, daha fazla yer altı su tüketimi olduğundan akiferlere tatlı su girişi artmıştır. Bu sebeple yaz mevsimindeki pH değerinde düşüş görülmüştür. Ancak kirlenmemiş yağmur ve kar sularının çok az asidik özellik gösterdiği (pH=5-6) bilinmektedir. Bölgede hafif alkali pH deniz suyu girişimine bağlı iyon artışı olabilir.

Deltada ortalama yıllık Ca^{+2} ve Mg^{+2} konsantrasyon değerleri sırasıyla $62,43\pm 7,35$ mg/L ve $39,9\pm 5,73$ mg/L (ort \pm sd) arasında değişmektedir. Ca^{+2} iyon konsantrasyonu kireçtaşı yataklarında yüksek olarak ölçülmüştür. Mg^{+2} iyon konsantrasyonu ise dolomit alanlarında yüksek bulunmuştur. Ca^{+2} ve Mg^{+2}

konsantrasyonları aynı eğilimleri gösterdiği için, çalışma alanında dolomitten daha fazla kireçtaşı olduğu söylenebilir. Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyon değeri sırasıyla TS (2005)'de 200 mg/L, 150 mg/L olan en yüksek sınır değerleri aşmadığı tespit edilmiştir.

Ortalama K^+ iyon konsantrasyonları $9,42 \pm 1,76$ mg/L (ort \pm sd) olarak hesaplanmıştır. Göksu çalışma alanında G-06, G-07, G-08, G-09, G-11, G-12, G-13 noktaları ile silifke çalışma sahasında bulunan S-05 noktası dışındaki diğer noktalardaki analiz sonuçları uygun iken bu noktaların K^+ konsantrasyon değeri sınır değerinin oldukça üzerinde ölçülmüştür. K^+ miktarı çalışma alanında tarımsal kirliliği ortaya koymaktadır. Çalışma bölgesinde yapılan analizlerinde bütün örnekleme noktalarında K^+ a rastlanmıştır. Özellikle Göksu çalışma alanındaki akiferlerde yüksek değerler gözlenmiştir. Buda o bölgelerde tarımsal faaliyetlerin daha yoğun olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanındaki suların Na^+ değeri 19,51 mg/L ile 880,11 mg/L aralığında ölçülmüş olup yıllık ortalama $194 \pm 45,42$ mg/L (ort \pm sd) olarak tespit edilmiştir. Göksu çalışma alanında G-04, G-05, G-07, G-08, G-09, G-10, G-11, G-12, G-13 noktaları ile silifke çalışma sahasında bulunan S-03, S-04, S-05, S-06 ve S-10 örnekleme noktaları tehlike arz etmektedir. Na^+ iyonunun yüksek miktarda olması deniz suyu girişiminin bir sonucudur.

Çalışma alanındaki suların SO_4^{-2} değeri 105,61 mg/L ile 321,53 mg/L aralığında ölçülmüş olup yıllık ortalama $195 \pm 13,23$ mg/L (ort \pm sd) olarak tespit edilmiştir. İnceleme alan suları SO_4^{-2} içerikleri açısından EPA'ya göre değerlendirildiğinde Göksu alanında G-02, G-06, G-07, G-12; Silifke alanında ise S-02 ve S-06 noktaları üst limit değer 250 mg/L yi aştığı için kullanımında sakınca olan sular sınıfındadır. Yeraltı suyunda yüksek miktarda SO_4^{-2} bulunması kıyı bölgesindeki yeraltı sularının deniz girişimine mağruz kaldığının bir işaretçisi olarak değerlendirilir (Wang ve Jiao, 2012; Huang ve ark, 2013).

Toplam sertlik ölçüm yapılan bir yıllık süre boyunca en düşük 101,11 mg $CaCO_3/L$, en yüksek 835,48 mg $CaCO_3/L$, ortalama değer ise $320,93 \pm 181,74$ mg $CaCO_3/L$ (ort \pm sd) olarak tespit edilmiştir.

Delta alanında yıl boyunca belirlenen kuyu sularının ölçülen Cl^- iyon konsantrasyonu en düşük 72,02 mg/L, en yüksek 1597,57 mg/L, ortalama $284,22 \pm 367,5$ mg/L (ort \pm sd) olarak tespit edilmiştir. Deltada tespit edilen analiz sonuçlarını TS-266'daki Cl^- parametresine göre değerlendirdiğimizde, "Sınıf 4" (zararlı-uygun değil) yeraltı suyu sınıfına girmektedir. Bu suların tarımsal amaçlı olarak kullanılması, tarımın sürdürülebilirliğini tehlikeye sokacağı için sakıncalıdır.

Çalışma alanındaki suların Eİ değeri 265,57 ile 5677,5 mS/cm aralığında ölçülmüş olup yıllık ortalama $1471,74 \pm 1262,63$ mS/cm (ort \pm sd) olarak tespit edilmiştir. Çalışma bölgesindeki kuyuların aylara göre değişken olmak şartıyla Eİ değeri sınır değerinin üzerindedir. Deniz suyu girişimine bağlı suyun iyon derişimi artmış olabilir. Eİ açısından Göksu deltası'ndaki yeraltı suları değerlendirildiğinde Göksu bölgesinde bulunan G-05, G-12, G-13; Silifke bölgesindeki S-05 nolu kuyu sularının Eİ değeri 1500 μ S/cm üzerinde olduğu için sulama suyu olarak kullanılması uygun değildir. Sulama sularında Eİ sınır değeri 1000 μ S/cm olduğu için bölgedeki sular sulama için tehlike arz etmektedir. Deniz suyu girişimi sonucu alandaki yeraltı suyunun etkilendiği söylenebilir.

ÇKM değeri ise en düşük 156,61 en yüksek 3941,3 ve yıllık ortalama $807,88 \pm 821,98$ mg/L (ort \pm sd) değerinde ölçülmüştür. Tuzluluk açısından Göksu Deltası'ndaki yeraltı sularının değerlendirilmesinde, ÇKM örnekleme noktalarından alınan su örneklerinde hiçbiri tatlı su (ÇKM < 500 mg/L) olarak sınıflandırılmamış ve tüm noktaları "Acı su" olarak kabul edilmiştir. Kıyı bölgelerinde yeraltı suyundaki tuzluluk artışı tuzlu su saldırısı varlığını ortaya koymaktadır. Bu durum tatlı su akiferlerinin kaliteli sulama suyu açısından kullanımlarını azaltır. Numune alınan kuyulardaki ÇKM değerleri deniz suyu girişiminin yoğun olduğu yaz mevsimi ile birlikte arttığı gözlenmiştir. Özellikle sahile yakın ve tarımsal faaliyetin yoğun olduğu deltanın doğusunda bulunan G-12, G-13 ve S-05 nolu kuyuların ÇKM değeri yağışsız kuru yaz mevsiminde artmıştır. Bu sonuçlar deniz suyu girişiminden kaynaklanan bir kirliliğin varlığını ortaya koymaktadır.

NO_3^- konsantrasyon değerlerinin ölçüm noktalarına göre sabit giden bir değişim izlenmiştir. Bu eğilim bölgede oturmuş bir nitrat konsantrasyon seviyesinin

oluşturduğunu gösterebilir. Tarım, endüstri veya diğer antropojenik etkenlerden etkilenmemiş yeraltı sularında genellikle NO_3^- miktarının 10 mg/L'den az çıkması beklenir (Scheidleder, 1999). Buna sonuca göre azda olsa tarımsal kaynaklı kirliliğin varlığında söz edebiliriz. Delta bölgesinde çok yoğun tarımsal faaliyetlerin olduğu bir gerçektir. Çalışma alanındaki yıllık $12,49 \pm 0,35$ mg/L (ort \pm sd)'lik ortalama NO_3^- konsantrasyonu tarım ve evsel atık su etkisini göstermektedir. Deltada üretilen ürünlerde özellikle çilek, limon, domates ve çeşitli sebzelerin sulanmasında yer altı ve yüzey suları kullanılmaktadır. Sulama sularının yüzey sularına karışması, oradan yeraltı sularına geçmesi, tekrar sulama amacıyla yeraltından artezyenle çıkarılarak kullanılması kendi içerisinde kirlilik derişimini sürekli arttıracak bir döngü oluşturabilir. Delta bölgesinde nitrat konsantrasyonunun atmosferik depolama veya endüstriyel atıklar yoluyla arttıracak yoğun bir endüstri bulunmamaktadır.

Göksu Deltası yeraltı suyu kalitesi elde edilen Na^+ , Cl^- ve NO_3^- değerleri bakımından (yıllık ortalama konsantrasyonlarına dayalı) SKKY (2004)'e göre kirlenmiş suları temsil eden "Sınıf 3" kapsamında yer aldıkları tespit edilmiştir. Cl^- parametresi değerlerine göre değerlendirildiğinde, sulanmakta olan tarım arazilerinin %66,67'si kullanılabilir yeraltı sularına sahip olduğu belirlenmiştir. Geriye kalan %33,33'ü ise bazı önlemler almak kaydıyla "Sınıf 4" ve kullanıma uygun değil "Sınıf 5" yeraltı suyuna sahip olduğu belirlenmiştir. EI parametresi değerleri dikkate alındığında ise tarım arazilerinin %66,66'sı "Sınıf 3" (ihtiyatlı kullanım) ve %16,66'sı ise "Sınıf 4" (uygun değil) de bulunduğu anlaşılmıştır. Bu suların tarımsal amaçlı kullanılması sürdürülebilir tarım için sakıncalıdır. Göksu Delta'sı yeraltı suyu kalitesi elde edilen $ÇKM$ ve SO_4^{2-} değerleri bakımından SKKY (2004)'e göre düşük kirlilik sınıfı olan "Sınıf 2" de yer aldıkları tespit edilmiştir. Ölçümü yapılan diğer kimyasal parametreler açısından temiz su kalitesini temsil eden "Sınıf 1" e dahil oldukları belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

İncelenen yeraltı su örneklerinde, Na^+ , Mg^{+2} , Cl^- ve SO_4^{2-} iyonlarının baskın olduğu ve geniş bir aralıkta dağılımının gösterdikleri fark edilir. Delta yeraltı sularında bu iyonlarının baskın miktarda bulunması, muhtemelen deniz suyu girişimi ile beslenme sonucu şeklinde açıklanabilir. Na^+ , Mg^{+2} , Cl^- ve SO_4^{2-} konsantrasyon

miktarları deniz suyu girişimi ile kıyı akifer sistemlerinde tuzlanmanın potansiyel nedeni olduğunu işaret edebilir. Deltada Eİ ve ÇKM değerleri kısmen yüksek değerlere sahip olduğundan, delta tuzlu olarak tanımlanabilir. Bütün canlıların tuzluluğa karşı toleransı değişik olmakla beraber, artma eğilimi gösteren tuzluluğun, daha az yeraltı suyu kullanımı ile azalacağı ve delta ekosistemini korumaya yardımcı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca HCO_3^- ve Ca^{+2} miktarları da kayaç aşınmasının varlığını işaret etmektedir. Bölgedeki yeraltı suyu yönetimi için deniz suyu saldırısı ile birlikte NO_3^- iyonlarının varlığı da bir sorun teşkil etmektedir. Özellikle 6 ile 75 m arasında değişen derinliklere sahip kuyuların hepsinin NO_3^- konsantrasyonuna sahip olduğu göz önüne alınacak olursa yer altı suların da tarımsal kimyasal kirliliğinin olduğu söylenebilir. Çalışma sahasındaki Nitratlı gübre kullanımına bağlı olabileceği belirlenmiştir.

Bu çalışmada yapılan korelasyon matrisi sonucunda Ca^{+2} iyonu ile Na^+ arasında olan negatif korelasyon ($r=-0.239$) deniz suyu girişimi ile yeraltı suyundaki kation değişim reaksiyonunun bir işaretidir. Kation değişim reaksiyonu sonucu Ca^{+2} konsantrasyonu azalırken Na^+ konsantrasyonu artmaktadır. ÇKM, sertlik, Ca^{+2} ve Mg^{+2} arasında güçlü ve pozitif korelasyon, bölgedeki karbonatlı ve dolomitli kayaç aşınmasını göstermektedir. Ayrıca, ÇKM, Na^+ ve Cl^- arasında kuvvetli pozitif korelasyon deniz suyu girişiminin bir göstergesi olarak yorumlanabilir.

Deniz suyu karışım oranlarının delta genelinde sınır değerlere yakın olduğu görülmüştür. Deniz suyu girişiminin fazla olduğu kuyularda, yeraltı suyunun Eİ ve Na^+ değerlerinin arttığı, sodyuma bağlı olarak SAR değerlerinde de artış olduğu tespit edilmiştir. Deniz suyu girişiminin şiddetine göre yeraltı suyunun kalite parametrelerinin olumsuz yönde etkilendiği ve birçok kuyunun sulamada şüpheli kullanım sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Deniz suyu girişiminin iç kısımlara doğru ilerlemesine ve iyi kalitedeki suların marjinal sular sınıfına girmesine sebep olabilecektir. Bu da ekonomik değeri yüksek olan bahçe bitkileri yetiştirilen alanların daralmasına ve deniz suyu girişiminin olduğu bölgelerde verimin düşmesine sebep olacaktır. Bu bölgelerde yeraltı sularından sağlanan sulama suları hem bitkilere hem de toprağa zarar vererek tarımın sürdürülebilirliğini riske atacaktır.

Tuzluluk etkisi açısından suların sınıflandırılmasında önemli bir referans olan SAR oranı bakımından örneklerin çoğu “Çok İyi” sınıfta yer almaktadır. Örnekleme alanındaki genel eğilimin aksine G-05, G-11, G-12, S-05 ve S-06 kuyuları ciddi fiziksel sorunlar ortaya çıkabilecek ve bitkilerin su emmesinde zorluğa neden olabilecek olan 12 SAR oranının üzerindedir. RSC miktarına göre incelendiğinde ise yalnızca G-05 “Sınıf 2” yani uygun bir toprak düzenlemesi ile sulama suyu için uygun olup diğer örneklerin tamamı “Sınıf 1” sulama suyu olarak değerlendirilmiştir. Yeraltı sularının tarımsal alanlarda sulama suyu olarak kullanıma uygun olup olmadığını gösteren önemli bir parametre olan %Na açısından da toplanan parametreler değerlendirilmeye tabi tutulmuştur. Buna göre Göksu çalışma alanında %Na’un maksimum değeri G-05 örnekleme noktasında tespit edilmiştir ve “kullanıma uygun değil” sınıfında yer almaktadır. Deltadaki diğer örnekleme noktaları ise G-04, G-07, G-08, G-09, G-10, G-11, G-12, G-13, S-03, S-04, S-05, S-08 ve S-10 “şüpheli kullanım”, G-02, G-03, G-06, S-07 “iyi”, G-01, S-01, S-02, S-09 ve S-11 “çok iyi” sınıfında yer almaktadırlar. Çalışmada çok değişkenli istatistiksel analizlerin kullanılmasını sulak alanların yakınındaki kıyı akiferlerdeki tuzlanmayı ve su kalitesinin izlenmesin de yararlı olduğu görülmüştür. TBA ve korelasyon analizi ile 24 istasyondan elde edilen veriler benzer özelliklere sahip üç veya iki küme halinde kimyasal parametrelerin gruplandırılmasına olanak vermiştir. Korelasyon matrisinden elde edilen sonuçlar deniz suyu tanımlayıcıları güçlü bir korelasyon ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. TBA yeraltı su kalitesinin değişiminden sorumlu olan 5 faktör olduğunu ve bu 5 faktörün verilerin toplam varyansının %88,72 temsil ettiğini ortaya koymuştur. Hiyerarşik kümeleme analizinde deniz suyu tuzlanmasını yansıtan iki büyük küme üretmiştir. Kümeleme analizi bölgedeki yeraltı suyunun daha çok deniz suyu ile beslenmeyi yansıtan Na^+ ve Cl^- parametreleri tarafından etkilendiğini göstermiştir. İstatistik analizlerden, faktör analizin sonuçları genellikle akifere deniz suyu girişimi veya yağış-deniz aerosollerinden kaynaklanan $Eİ$, Na^+ , K^+ , Cl^- ve ÇKM en yüksek faktör yükleme oranı ile temsil edilmiştir.

Yeraltı suyunun kökeninin değerlendirilmesi için iyonik oranların değerleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlar bölgedeki su kalitesindeki değişime deniz suyu girişiminin bir sonucu olduğu şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca bu oranlar bölgenin litolojisi açısından yorumlanırsa alınan su örnekleri genel olarak kalsit ve dolomite doygunluk göstermekte olduğu görülmüştür.

Yarı logaritmik Schoeller Diyagramı değerlendirildiğinde, aynı kökenli ve benzer sistemlerden geldikleri görülmüştür. Piper diyagramına göre deniz ve çok acı suların yer aldığı, NaCl, KCl, Na₂SO₄, alkaliler ve güçlü asitlerin egemen olduğu 7 nolu alana düştüğü görülür. Deltadaki analizi yapılan suların klorür tipi sular ile sodyum yada potasyum tipi sular olduğu gözlenmiştir. ABD Tuzluluk Diyagramı'nı esas alarak yapılan değerlendirmeye göre örneklerin çoğu içerdiği tuz miktarı açısından drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz olan C3S1 grubunda toplanmıştır. Su numuneleri için piper diyagramı değerlendirilir ise, aylık diyagramda bölgenin tüm sularının benzer su tipine sahip olduğu görülmüştür. Piper diyagramında NaCl, KCl, Na₂SO₄, alkaliler ve güçlü asitlerin egemen olduğu 7 nolu alana düştüğü görülür. Deniz ve çok acı sularda bu alanda yer alır.

Ayrıca Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak bu parametrelerin delta içerisinde alansal dağılımlarını gözlemek amacıyla, alansal dağılım haritaları çıkartılmıştır. GIS kirlilik dağılım haritalarında denize yakın alanlardaki yeraltı suyuna deniz suyunun etkisinin olduğu örnekleme noktalarını görsel olarak göstermektedir. Bu haritalara göre Göksu nehrinin yeraltı su seviyesinin düşük olduğu kesimlerde ve özellikle Göksu tarafında su kalitesinin daha fazla bozulduğu görülmektedir. Denize yakın iç bölgelerin gelecekte etkilenmemesi için yeraltı suyu kullanımı deltada tamamen durdurulmalıdır.

Standart parametrelerin dışında su örneklerinde yapılan diğer kimyasal analizler iz metallerdir. Çalışmada seçilen 24 noktadaki kuyu sularının Ba, T Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Cd, Zn, Al, B, Si ve Fe eser elementlerinin konsantrasyon düzeyleri aylık olarak ölçülmüştür. Ölçümü yapılan eser elementlerden Ba, Fe, Mn, Ni, Zn, B ve Si'un ICP-OES'in tayin limit değerlerinin üstündeki konsantrasyonları tayin edilmeye çalışılmıştır. Ancak örnekleme noktalarının hiç birinde tayin sınırının

üzerinde konsantrasyonlara rastlanmamıştır. Dolayısı ile analizi yapılan örnekler ağır metal elementler açısından belirtilen sınır değerleri aşmamaktadır.

Elde edilen sonuçlar çalışma sahasının tuzlanması hakkında da bilgi vermiştir. İncelenen yeraltı suları genel olarak orta derecede tuzlu ve düşük sodyum içeriğine sahip su özelliği göstermektedir. Araştırma alanında sulama dönemi Nisan ayında başlayıp Kasım ayına kadar devam etmektedir. Bu durum dikkate alındığında bölgelerdeki yeraltı suyunun Nisan–Kasım ayı arasındaki kalitesi önem kazanmaktadır. Mevsimsel dağılım grafiklerine bakıldığında bu aylarda ölçümü yapılan elementlerde kısmen artış görülmektedir. Eİ, Cl⁻ ve ÇKM değerleri doğal olarak birbirleriyle benzer bir değişim göstermiştir. Mart ayından itibaren Eİ, ÇKM ve Cl⁻ değerlerinde, yağışın yavaş yavaş azalmasına, sıcaklığın ve buharlaşmanın artmasına bağlı olarak artış gözlenmektedir. Bu dönemde sulama amaçlı yeraltı suyu kullanımı ile deniz girişimine bağlı olarak bu değişimin sebebi olarak düşünülebilir. Kasım ayından itibaren bu parametrelerde göze çarpan bir azalma olması gerekirken devam eden sabit ilerleme ise bölgede karakterize olmuş olan tuzlanmanın gerçekleşmesi olarak değerlendirilebilir.

5.2.Öneriler

Yeraltı suyu hidrolojisinin araştırmasında ve uygulanmasında giderek artan bir eğilim mevcuttur. Yeraltı suyunun jeolojik kökenlerinden ve hidrolik uygulamalar ile erken evrelerde kirliliğin tespiti için yapılan çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada çeşitli kanunlar ve uluslararası sözleşmelerle koruma altına alınmış olan Göksu Deltasında deniz suyu girişiminden kaynaklı kirliliğinin olduğu görülmektedir. Yapılan analiz sonuçları dikkatli bir şekilde incelenirse, Cl⁻, SO₄⁻², Na⁺ ve HCO₃⁻'nin bölgede baskın iyonlar olduğu açıkça görülebilir. Bu iyonların baskın olması bölgede tuzlu su girişiminin olduğunun gösterir. Ayrıca Eİ ile ÇKM içeriği taze sulara göre oldukça büyük standart sapma ile geniş bir aralıkta gözlenmiş olması deniz etkisini işaret eder. İncelenen yeraltı su örneklerinde önemli miktarlarda SO₄⁻², Na⁺ ve Cl⁻ ölçülmesi deniz suyunun girişimi; HCO₃⁻ ve Ca⁺²

miktarları da kayaç aşınmasının delta alanında su kalitesini etkileyen önemli mekanizmalar olduğunu göstermektedir. Diyagramlarda da görüleceği gibi deltadaki kuyu suları deniz suyuna benzer pik verdiklerinden deniz suyundan beslenmeyi yansıtırlar. Bu durum deniz suyu saldırısı ile ilgili olabilir.

Çalışmadaki K^+ ve NO_3^- miktarının da yüksek olması delta alanında tarımsal kirliliğin olduğunu işaret ediyor. Deltada tarımsal faaliyetlerini üreten kurumların ilgili kurum tarafından daha sık denetimleri sağlanarak kanal vasıtasıyla taşınan atık su deşarjlarının lagün için çevresel bir tehdit oluşturmaması sağlanabilir. Akiferler yağışlarla yüzeylerinden beslendikleri gibi, akarsu ve diğer akiferlerin sularıyla da beslenebilirler. Böylece, alüvyon suları değişik noktalarda kimyasal farklılıklar gösterebilir. Bundan dolayı bölge genelini tam anlamıyla yansıtmak amacıyla Göksu Delta'sında tarım arazileri içerisinde yer alan derin su kuyularından ve sulama kanallarından da örnekleme yapılmalıdır. Örnekleme noktalarının artırılması istatistiksel yöntemlerin kullanılmasında daha güvenli sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır. Bunun için iyi bir numune toplama programı hazırlanması gerekmektedir. Drenaj kanallarının debisinin belirlenmesi ve yeraltı suyuna drenaj kanallarından giren su miktarlarının belirlenerek su bütçesi hesabının yapılması bölge için ihtiyaçtır.

Yeraltı suyunun akışını tanımlayan fiziksel yasalar, akış sırasındaki kimyasal değişimler ve doğal yeraltı suyu rejimindeki insan etkisinin belirlenmesi için senaryolar geliştirilerek modelleme çalışmaları yapılmalıdır. Kullanılacak paket programlar özellikle yeraltı suyu kullanım oranına karşı hassas bir yapıya sahip olmalıdır.

Delta bölgesinde üretilen ürünlerde özellikle çilek, limon, domates ve çeşitli sebzelerin yetiştirilmesi gibi yoğun tarımsal faaliyetler için sulama suyu olarak yer altı ve yüzey suları kullanılmaktadır. Sulama sularının yüzey sularına karışması, oradan yer altı sularına geçmesi, tekrar sulama amacıyla yeraltından artezyenle çıkarılarak kullanılması kendi içerisinde kirlilik derişimini sürekli arttıracak bir döngü oluşturmaktadır. Göksu Delta'sı sanayi ve tarımdaki potansiyel gelişimi ile ekonomide önemli rol oynamaya artarak devam edecektir. Bu açıdan yeraltı kirlenme tehditlerine karşı korunması gereklidir. Buda havzadaki yeraltı sularının beslenme

alanlarının belirlenmesi, yeraltı sularının beslenme mekanizmalarının anlaşılması ile olacaktır. Bunun için hidroloji ve hidrojeoloji alanında yapılan çalışmalara ek olarak izotop teknikleri ile yeraltı suyunun orijininin belirlenmesi yarar sağlayabilir. Havzada deniz suyunun girişiminin tespit edilmesi için kullanılacak kimyasal analizlerin dışında izotop tekniği ile de izleme çalışmaları yapılmalıdır. Yeraltı suyuna deniz girişiminin tespit edilmesinde kullanılan geleneksel yöntem olan Cl^- miktarının ölçülmesidir. Ancak suyun doğal bileşeni olmaları ile çevresel izotoplardan olan oksijen ve hidrojen iyi bir izleyicidirler. Çevresel izleyici olarak suların Oksijen-18 (^{18}O), Döteryum (D) gibi karalı izotoplar, Tritiyum(3H), Karbon-14(C^{14}) ve ^{36}Cl gibi doğal radyoaktif izotop değerleri ile kimyasal analiz sonuçları arasındaki ilişkinin incelenmesi yapılmalıdır. Kimyasal analizlerde elde edilen Cl^- , Et^- ve SO_4^{2-} değerleri ile izotop değerleri arasındaki ilişki deltadaki deniz suyu girişiminin anlaşılması için büyük katkı sağlayabilir.

Yeraltı suyu kaynaklarının kalite ve deniz suyu etkisinin değerlendirilmesinde beslenme mekanizmalarının belirlenmesi önemlidir. Bu doğrultuda Göksu Deltası'nda var olan sulama ve diğer amaçlı kuyulardan veri toplanmasına ilave olarak deltanın jeolojik en kesitlerinin çıkarılması gereklidir. Jeolojik en kesitlerden ve kimyasal yöntem ile elde edilmiş veriler birlikte yorumlanmalıdır. Böylece kimyasal analizlerde suyun anyon ve katyon miktarları ile bunların birbirine oranları hesaplanarak jeolojik etüvlerden elde edilecek veriler ile yeraltı suyunun orijinlerinin ve taşınma süreçlerinin belirlenmesi daha etkin şekilde yorumlanabilir. Akiferlerin beslenme miktarı, beslenme bölgesinin ayırt edilmesi, çatlaklı kayalardaki beslenme-boşalma ilişkilerini açıklamakta da faydalı olacaktır. Bölgedeki yağmur sularının kimyasal analizi de yeraltı sularını besleyen yüzeysel suların karakterini anlaşılması için önemlidir. Böylece kirletici unsurların taşımını, birikmesi, mevsimsel yağışlar ile ilişkisi, dönemsel tarım ürün çeşitliliği ve yoğunluğu ile ilgili bakış açısı sunabilir.

Ayrıca Göksu Delta'sında yeraltı suyu kullanım miktarı belirlenerek deniz suyu girişimini kontrol altına almak için Göksu nehrinin farklı noktalarında seviye ve su kalite ölçümleri yapılmalıdır. Hidrolik yükseklikler ve kimyasal element

konsantrasyonları düşeydeki değişime bağlı olduğu için gözlem kuyuları, kısa düşey aralıklarla alınarak tatlı su–tuzlu su arasındaki geçiş bölgesi iyi tanımlanmalıdır.

Yeraltı suyunun tuzlanma nedenlerini, değişimini belirlemek ve sonuçların daha güvenilir olabilmesi için, gerekli hidrolik, hidrolojik ve hidrojeolojik verilerin zenginleştirilmesi gereklidir. Bunun için çalışma alanında hidrojeolojik etüdlerin, çevresel izotopların, kimyasal yöntemlerin ve modelleme çalışmalarının desteklenmesi ve bir arada yorumlanması gereklidir.

Drenaj kanalları vasıtasıyla tarımsal ilaç ve gübrelerin yeraltı suyuna karışmasını engellenmesi için, bu kimyasalların kaynağında aşırı olmayan miktarlarında, uygun yöntemler kullanılarak uygulanmasının gerekli olduğu düşünülmektedir. Hem yaban hayat hem de balık açısından bu bölgede tarım yapan çiftçilerin bilgilendirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bölgede eskiden olduğu gibi su kaynaklarının “planlanması” değil, “su yönetimi” yaklaşımına önem verilmelidir. Deltada yönetim planı yapılırken, sadece miktar değil, kalite, toprak, hava ve tüm fiziksel faktörler bir arada düşünülmelidir. Bitki ve canlı çeşitliliğinin korunması, sınırlı bir kaynak olan yeraltı sularının sulama suyu amaçlı olarak kullanılması dolayısıyla deniz girişimi ile tuzlanma tehlikesi gibi kalıcı ve geri dönülemez hasarlar bırakmamak için sürekli takip edilmesini zorunlu kılmaktadır. Hem yaban hayat hem de balık açısından bu bölgede tarım yapan çiftçilerin bilgilendirilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- ABDUL-WAHAB, S. A., BAKHEİT, C. S., and AL-ALAWİ, S. M., 2005. Principal component and multiple regression analysis in modelling of ground-level ozone and factors affecting its concentrations. *Environmental Modelling and Software*, 20(10); 1263-1271.
- AIUPPA, A., BELLOMO, S., BRUSCA, L., D'ALESSANDRO, W., and FEDERICO, C., 2003. Natural and anthropogenic factors affecting groundwater quality of an active volcano (Mt. Etna, Italy). *Applied Geochemistry*, 18(6); 863-882.
- ALTAN, T., ARTAR, M., ATİK, M., and ÇETİNKAYA, M., 2004. Çukurova Deltası Biyosfer Rezervi Planlama Projesi. Çukurova Üniversitesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, 372s. Adana.
- ALTIN, A., FİLİZ, Z., and ISCEN, C. F., 2009. Assessment of seasonal variations of surface water quality characteristics for Porsuk Stream. *Environmental monitoring and assessment*, 158(1-4); 51-65.
- ANDREASEN, D. C., and FLECK, W. B., 1997. Use of bromide: chloride ratios to differentiate potential sources of chloride in a shallow, unconfined aquifer affected by brackish-water intrusion. *Hydrogeology Journal*, 5(2); 17-26.
- ANONYMOUS. 1988. Turkish Water Pollution Control Regulation Official Gazette, 19919.
- APHA, A. 1998. Wpcf. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20.
- APPELO, C., and POSTMA, D., 1993. *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema, Rotterdam, Netherlands: ISBN 90-5410-106-9.
- ARSLAN, H., 2013. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of groundwater quality in seawater intrusion area in Bafra Plain, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 185(3), 2439-2452.

- ARSLAN, H., and DEMİR, Y., 2011. Bafra Ovasında Deniz Suyu Girişiminin Yeraltı Suyu Kalitesi Üzerine Etkisi. *Anadolu Journal Of Agricultural Sciences*, 26(2), 136-144.
- AYAŞ, Z., and KOLANKAYA, D., 1996. Accumulation of some heavy metals in various environments and organisms at Göksu Delta, Türkiye, 1991–1993. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 56(1), 65-72.
- BABA, A., and AYYILDIZ, O., 2006. Urban groundwater pollution in turkey *Urban Groundwater Management and Sustainability* (pp. 93-110): Springer.
- BABA, A., KAVDIR, Y., and DENİZ, O., 2004. The impact of an open waste disposal site on soil and groundwater pollution. *International journal of environment and pollution*, 22(6), 676-687.
- BABA, A., and TAYFUR, G., 2011. Groundwater contamination and its effect on health in Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 183(1-4), 77-94.
- BALKAYA, N., and ÇELİKİBA, İ., 2005. Sulakalanlar ve Kızılırmak Deltası. II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, MBGAK, 17-19.
- BAŞIBÜYÜK, M., and EVLİYA, H., 1993. Göksu Deltası Su Kirlilik Düzeyi ve Su Kalitesinin Belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Adana.
- BAYINDIR, Y., 2006. Harran Ovası Serbest Akiferinin Kirlilik Potansiyelinin Belirlenmesi. Harran Üniversitesi.
- BEKLİOĞLU, M., CERAN, Y., ERDEM, O., ERDOĞAN, S., HEMMAMİ, M., KOOPMANSCHAP, E., MERİÇ, T., ÖZEN, A., DİNÇ-SARISOY, H., 2007. Sulakalan Yönetim Planlaması Rehberi (H, ÖZBEK ed). Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü and Kuş Araştırmaları Derneği Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, (pp. 171).
- BELKHİRİ, L., MOUNİ, L., and BOUDOUKHA, A., 2012. Geochemical evolution of groundwater in an alluvial aquifer: Case of El Eulma aquifer, East Algeria. *Journal of African Earth Sciences*, 66, 46-55.

- BELKHİRİ, L., and NARANY, T. S., 2015. Using Multivariate Statistical Analysis, Geostatistical Techniques and Structural Equation Modeling to Identify Spatial Variability of Groundwater Quality. *Water Resources Management*, 29(6), 2073-2089.
- BHUIYAN, M. A., RAKİB, M., DAMPARE, S., GANYAGLO, S., and SUZUKİ, S., 2011. Surface water quality assessment in the central part of Bangladesh using multivariate analysis. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 15(6); 995-1003.
- BİENFANG, P., DE CARLO, E., CHRISTOPHER, S., DEFELİCE, S., and MOELLER, P.; 2009. Trace element concentrations in Coastal Hawaiian waters. *Marine Chemistry*, 113(3); 164-171.
- BOZDAĞ, A., and GÖÇMEZ, G., 2013. Evaluation of groundwater quality in the Cihanbeyli basin, Konya, Central Anatolia, Turkey. *Environmental earth sciences*, 69(3); 921-937.
- CERLİNG TE, P. B., DAMM KLV S., 1989. Sodium calcium ion- exchange in weathering of shale; implication for global weath- ering. *Budget* (17), 552-554.
- CHANPIWAT, P., STHIANNOPKAO, S., CHO, K. H., KİM, K.-W., SAN, V., SUVANTHONG, B., and VONGTHAVADY, C., 2011. Contamination by arsenic and other trace elements of tube-well water along the Mekong River in Lao PDR. *Environmental Pollution*, 159(2); 567-576.
- CİRİK, S., 1993. Sulak Alanlar. *Ekoloji Dergisi*, 7, 50-51.
- COWARDİN, L. M., CARTER, V., GOLET, F. C., and LAROE, E. T., 1985. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States: US Fish and Wildlife Service.
- ÇETİNKAYA, G., 1996. 'Göksu Deltası Tarım Alanında Kullanılan Tarımsal Kimyasalların Oluşturduğu Çevresel Etkiler. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- ÇEVRE ve ORMAN BAKANLIĞI, 2004. Türkiye Çevre Atlası, Ankara. Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı.

- ÇOBANER, M., 2009. Kıyı Akiferlerinde Tuzlu Su Girişiminin Üç Boyutlu Simülasyonu: Göksu Deltası Örneği. (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Adana.
- DEMİREL, Z., 2004. The history and evaluation of saltwater intrusion into a coastal aquifer in Mersin, Turkey. *Journal of environmental management*, 70(3); 275-282.
- DEMİREL, Z., 2008. Integrated Hydrogeological And Hydrochemical Assessment Of The Groundwater Within The International Protected Göksu Delta, Southern Turkey.
- DIXON, W., and CHISWELL, B., 1992. The use of hydrochemical sections to identify recharge areas and saline intrusions in alluvial aquifers, southeast Queensland, Australia. *Journal of Hydrology*, 135(1); 259-274.
- DK, T. 1959. *Ground water hydrology*. New York: Wiley.
- DREHER, T., 2003. Comment on Güler C, Thyne GD, McCray JE, Turner AK (2002): Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data *Hydrogeology Journal*, 11(5); 605-606.
- EDMUNDS, W., MA, J., AESCHBACH-HERTİG, W., KİPFER, R., and DARBYSHİRE, D., 2006. Groundwater recharge history and hydrogeochemical evolution in the Minqin Basin, North West China. *Applied Geochemistry*, 21(12); 2148-2170.
- EL MOUJABBER, M., SAMRA, B. B., DARWİSH, T., and ATALLAH, T. (2006). Comparison of different indicators for groundwater contamination by seawater intrusion on the Lebanese coast. *Water Resources Management*, 20(2); 161-180.
- EI YAOUTİ, F., EL MANDOUR, A., KHATTACH, D., BENAVENTE, J., AND KAUFMANN, O., 2009. Salinization processes in the unconfined aquifer of Bou-Areg (NE Morocco): a geostatistical, geochemical, and tomographic study. *Applied Geochemistry*, 24(1), 16-31.

- ELEWA, H. H., SHOHAİB, R. E., QADDAH, A. A., and NOUSİR, A. M., 2013. Determining groundwater protection zones for the Quaternary aquifer of northeastern Nile Delta using GIS-based vulnerability mapping. *Environmental earth sciences*, 68(2); 313-331.
- ELHATİP, H., AFŞİN, M., DİRİK, K., KURMAÇ, Y., and KAVURMACI, M., 2003. Influences of human activities and agriculture on groundwater quality of Kayseri-Incesu-Dokuzpınar springs, central Anatolian part of Turkey. *Environmental Geology*, 44(4), 490-494.
- EPA. 2012. Edition of the Drinking Water Standards and Health Washington, DC.
- ERDEM, O., 2004. Sulak Alanlar: Önemi, Temel Sorunları, Türkiye'nin Uluslararası Öneme sahip sulak alanları. *Haber Ekspres: İzmir Gediz Deltası ve Kuşları*.
- ESSİNK, G. H. O., 2001. Improving fresh groundwater supply—problems and solutions. *Ocean and Coastal Management*, 44(5); 429-449.
- EVEREST, A., 1994. Göksu Deltasındaki Bazı bitkilerin Çeşitli Ekolojik Özellikleri Yönünden ncelenmesi ve Toprakların Karbon, Azot Mineralizasyonu. Çukurova Üniverfsitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 167.
- FAKİR, Y., EL MERNİSSİ, M., KREUSER, T., and BERJAMİ, B., 2002. Natural tracer approach to characterize groundwater in the coastal Sahel of Oualidia (Morocco). *Environmental Geology*, 43(1-2); 197-202.
- FİŞHER, R. S., and MULLİCAN III, W. F., 1997. Hydrochemical evolution of sodium-sulfate and sodium-chloride groundwater beneath the Northern Chihuahuan Desert, Trans-Pecos, Texas, USA. *Hydrogeology Journal*, 5(2); 4-16.
- FREEZE, R., and CHERRY, J., 1979. *Groundwater*. Englewood: New Jersey, Prentice-Hall Inc., TIC.
- GIARDİNO, C., BRANDO, V. E., DEKKER, A. G., STRÖMBECK, N., and CANDİANİ, G., 2007. Assessment of water quality in Lake Garda (Italy) using Hyperion. *Remote Sensing of Environment*, 109(2); 183-195.

- GİMÉNEZ-FORCADA, E., BENCİNİ, A., and PRANZİNİ, G., 2010. Hydrogeochemical considerations about the origin of groundwater salinization in some coastal plains of Elba Island (Tuscany, Italy). *Environmental Geochemistry and Health*, 32(3), 243-257.
- GÖRGÜN, E., 2002. Kara Kökenli Kirleticilere İlişkin Ulusal Eylem Planı Hazırlanması Projesi Ulusal Tanı Analizi. TÜBİTAK-MAM-ESÇAE-BM Çevre Programı Akdeniz Eylem Planı Koord. Birimi, (1-49).
- GRASSİ, S., CORTECCİ, G., and SQUARCİ, P., 2007. Groundwater resource degradation in coastal plains: the example of the Cecina area (Tuscany–Central Italy). *Applied geochemistry*, 22(11); 2273-2289.
- GÜLER, C., KURT, M. A., ALPASLAN, M., and AKBULUT, C., 2012. Assessment of the impact of anthropogenic activities on the groundwater hydrology and chemistry in Tarsus coastal plain (Mersin, SE Turkey) using fuzzy clustering, multivariate statistics and GIS techniques. *Journal of Hydrology*, 414, 435-451.
- GÜRKAN, F., ZORLU, F., KAVRUK, S., MENENGİÇ, M., YILDIRIM, N., ERDOĞAN, B., SARIGÜL, B., 1999. Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi Yönetim Planı. TC Çevre Bakanlığı ÖÇKK Başkanlığı, Ankara.
- HAMZAOUİ-AZAZA, F., KETATA, M., BOUHLİLA, R., GUEDDARİ, M., and RİBERİO, L., 2011. Hydrogeochemical characteristics and assessment of drinking water quality in Zeuss–Koutine aquifer, southeastern Tunisia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 174(1-4); 283-298.
- HAN, S., ZHANG, F., ZHANG, H., AN, Y., WANG, Y., WU, X., and WANG, C., 2013. Spatial and temporal patterns of groundwater arsenic in shallow and deep groundwater of Yinchuan Plain, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 135, 71-78.
- HASAN, A., B., KABİR, S., REZA, A.S., ZAMAN, M.N., AHSAN, A., RASHİD, M., 2013. Enrichment factor and geo-accumulation index of trace metals in sediments of the ship breaking area of Sitakund Upazilla (Bhatiary–Kumira), Chittagong, Bangladesh *Journal of Geochemical Exploration* 125:130-137.

- HELENA, B., PARDO, R., VEGA, M., BARRADO, E., FERNANDEZ, J. M., and FERNANDEZ, L., 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water Research*, 34(3); 807-816.
- HUANG, X., SILLANPÄÄ, M., GJESSING, E. T., and VOGT, R. D., 2009. Water quality in the Tibetan Plateau: major ions and trace elements in the headwaters of four major Asian rivers. *Science of the Total Environment*, 407(24); 6242-6254.
- HUANG, G., SUN, J., ZHANG, Y., CHEN Z., LIU F., 2013. Impact of anthropogenic and natural processes on the evolution of groundwater chemistry in a rapidly urbanized coastal area, South China. *Science of the Total Environment* 463: 209-221.
- ISCEN, C. F., EMİROGLU, Ö., ILHAN, S., ARSLAN, N., YILMAZ, V., and AHİSKA, S., 2008. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 144(1-3); 269-276.
- JABEEN, S., SHAH, M., AHMED, I., KHAN, S., and HAYAT, M., 2014. Physico-chemical parameters of surface and ground water and their environmental impact assessment in the Haripur Basin, Pakistan. *Journal of Geochemical Exploration*, 138, 1-7.
- JALALI, M., 2007. Salinization of groundwater in arid and semi-arid zones: an example from Tajarak, western Iran. *Environmental Geology*, 52(6); 1133-1149.
- JALALI, M., 2011. Nitrate pollution of groundwater in Toyserkan, western Iran. *Environmental Earth Sciences*, 62(5); 907-913.
- JANG, C.-S., 2010. Applying scores of multivariate statistical analyses to characterize relationships between hydrochemical properties and geological origins of springs in Taiwan. *Journal of Geochemical Exploration*, 105(1); 11-18.

- JEEN, S.-W., KİM, J.-M., KO, K.-S., YUM, B., and CHANG, H.-W., 2001. Hydrogeochemical characteristics of groundwater in a mid-western coastal aquifer system, Korea. *Geosciences Journal*, 5(4), 339-348.
- JİANG, Y., WU, Y., GROVES, C., YUAN, D., and KAMBESİS, P., 2009. Natural and anthropogenic factors affecting the groundwater quality in the Nandong karst underground river system in Yunan, China. *Journal of contaminant hydrology*, 109(1); 49-61.
- JW., D., 1999. *The Handbook of Groundwater Engineering*. CRC Pres.
- KARA, M., ÇİFTÇİ, N., ŞİMŞEK, H., TOPAK, R., 1992. Konya ovaları projesinde (KOP) su potansiyeli ve ihtiyacı. Paper presented at the IV. Ulusal Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Bildirileri, Erzurum.
- KARAGÖZ, G., 2007. Türkiye’ de Çevre Koruma Alanlarının Yönetimi Ve Bu Alanlarda Tarımın Sürdürülebilirliği: Göksu Deltası Örneği. (Yüksek Lisans), Gazi Üniversitesi Ankara.
- KARAKOÇ, A., 2011. Göksu Deltasında (Silifke-Mersin) Meydana Gelen Değişimlerin Uzaktan Algılama Teknikleri İle İncelenmesi. (Yüksek Lisans), Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- KARAKOÇ, A., KARABULUT, M., and GÜRBÜZ, M., 2011. The Evaluation Of Human-Wetland Interaction In Göksu Delta Natural Environment and Culture in the Mediterranean Region II (Vol. 407, pp. 407-418): Cambridge Scholars Publishing in association with GSE Research.
- KARAÖMERLİOĞLU, D., 2007. Göksu Deltasındaki (Silifke) Doğal Ekosistemlerin Bitki Ekolojisi Yönünden Araştırılması. Doktora Tezi (Basılmamış), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- KATZ, B. G., COPLEN, T. B., BULLEN, T. D., and DAVIS, J. H., 1997. Use of chemical and isotopic tracers to characterize the interactions between ground water and surface water in mantled karst. *Groundwater*, 35(6); 1014-1028.

- KİM, J.-H., YUM, B.-W., KİM, R.-H., KOH, D.-C., CHEONG, T.-J., LEE, J., and CHANG, H.-W., 2003. Application of cluster analysis for the hydrogeochemical factors of saline groundwater in Kimje, Korea. *Geosciences Journal*, 7(4); 313-322.
- KİM, J., KİM, R., LEE, J., and CHANG, H., 2003. Hydrogeochemical characterization of major factors affecting the quality of shallow groundwater in the coastal area at Kimje in South Korea. *Environmental Geology*, 44(4); 478-489.
- KİM, J. H., KİM, R. H., LEE, J., CHEONG, T. J., YUM, B. W., and CHANG, H. W., 2005. Multivariate statistical analysis to identify the major factors governing groundwater quality in the coastal area of Kimje, South Korea. *Hydrological Processes*, 19(6); 1261-1276.
- KOCAR, B. D., POLIZZOTTO, M.L., BENNER, S. G., YING, S. C., UNG, M., OUCH, K., SAMRETH, S., SUY, B., PHAN, K., SAMPSON, M., FENDORF, S., 2008. Integrated biogeochemical and hydrologic processes driving arsenic release from shallow sediments to groundwaters of the Mekong delta *Applied Geochemistry* 23:3059-3071.
- KORKANÇ, S. Y., 2004. Sulak Alanların Havza Sistemi İçindeki Yeri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 6 (6).
- KOUZANA, L., MAMMOU, A. B., and FELFOUL, M. S., 2009. Seawater intrusion and associated processes: case of the Korba aquifer (Cap-Bon, Tunisia). *Comptes Rendus Geoscience*, 341(1); 21-35.
- KRAPAC, I., DEY, W., ROY, W., SMYTH, C., STORMENT, E., SARGENT, S., and STEELE, J., 2002. Impacts of swine manure pits on groundwater quality. *Environmental Pollution*, 120(2); 475-492.
- KREITLER, C. W., 1993. *Geochemical techniques for identifying sources of ground-water salinization*: CRC press.
- KUMAR, M., RAMANATHAN, A., RAO, M., and KUMAR, B., 2006. Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. *Environmental Geology*, 50(7); 1025-1039.

- KUMBUR, H., ÖZER, Z., and ÖZSOY, H., 2004. Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesinde Su Kalitesinin İzlenmesi Projesi. Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü–Silifke Özel Çevre Koruma Müdürlüğü.
- LAKSHMANAN, E., KANNAN, R., and KUMAR, M. S., 2003. Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of ground water in a part of Kancheepuram district, Tamil Nadu, India. *Environmental geosciences*, 10(4); 157-166.
- LAMBRAKİS, N., ANTONAKOS, A., and PANAGOPOULOS, G., 2004. The use of multicomponent statistical analysis in hydrogeological environmental research. *Water Research*, 38(7); 1862-1872.
- LANDON, M. K., GREEN, C. T., BELİTZ, K., SINGLETON, M. J., and ESSER, B. K., 2011. Relations of hydrogeologic factors, groundwater reduction-oxidation conditions, and temporal and spatial distributions of nitrate, Central-Eastside San Joaquin Valley, California, USA. *Hydrogeology Journal*, 19(6); 1203-1224.
- LEE, J.-Y., and SONG, S.-H., 2007a. Evaluation of groundwater quality in coastal areas: implications for sustainable agriculture. *Environmental Geology*, 52(7); 1231-1242.
- LEE, J.-Y., and SONG, S.-H., 2007b. Groundwater chemistry and ionic ratios in a western coastal aquifer of Buan, Korea: implication for seawater intrusion. *Geosciences Journal*, 11(3); 259-270.
- LEE, S., MİN, K., WOO, N., KİM, Y., and AHN, C., 2003. Statistical models for the assessment of nitrate contamination in urban groundwater using GIS. *Environmental Geology*, 44(2); 210-221.
- LİU, C.-W., LİN, K.-H., and KUO, Y.-M., 2003. Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 313(1); 77-89.
- LLOYD, J. W., and HEATHCOTE, J., 1985. Natural inorganic hydrochemistry in relation to ground water.

- LOVE, D., HALLBAUER, D., AMOS, A., and HRANOVA, R., 2004. Factor analysis as a tool in groundwater quality management: two southern African case studies. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 29(15); 1135-1143.
- LTD., H. C., 2004. Clearwater county regional groundwater assessment. , Prepared for Clearwater County in conjunction with Agriculture and Agri-Food Canada. .
- MAGYAR, N., HATVANI, I. G., SZÉKELY, I. K., HERZIG, A., DINKA, M., and KOVÁCS, J., 2013. Application of multivariate statistical methods in determining spatial changes in water quality in the Austrian part of Neusiedler See. *Ecological Engineering*, 55, 82-92.
- MARTÍNEZ, D., and BOCANEGRA, E., 2002. Hydrogeochemistry and cation-exchange processes in the coastal aquifer of Mar Del Plata, Argentina. *Hydrogeology Journal*, 10(3); 393-408.
- MAYO, A. L., and LOUCKS, M. D., 1995. Solute and isotopic geochemistry and ground water flow in the central Wasatch Range, Utah. *Journal of Hydrology*, 172(1); 31-59.
- MENENĞİÇ, M., 1998. Göksu Deltasındaki Yeraltı Suyu Kirliliği. (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi.
- MONDAL, N., SINGH, V., SAXENA, V., and SINGH, V., 2011. Assessment of seawater impact using major hydrochemical ions: a case study from Sadras, Tamilnadu, India. *Environmental monitoring and assessment*, 177(1-4); 315-335.
- MONDAL, N., SINGH, V., SINGH, V., and SAXENA, V., 2010. Determining the interaction between groundwater and saline water through groundwater major ions chemistry. *Journal of Hydrology*, 388(1); 100-111.
- MOTZ, L., YURTAL, R., GÖRDÜ, F., and DOĞAN, A., 2006. 'Optimization of Groundwater Use Subject to Saltwater Intrusion Along the Mediterranean Coast of Turkey. TÜBİTAK–NSF, Proje (9819824).

- MOYO, N., 2013. An analysis of the chemical and microbiological quality of ground water from boreholes and shallow wells in Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 66, 27-32.
- MUHAMMAD, A.-K., and HUSAM, A.-N., 2011. Hydro-geochemical characteristics of groundwater beneath the Gaza Strip. *Journal of Water Resource and Protection*, 2011.
- OMONONA, O., ONWUKA, O., OKOGBUE, C., 2014. Characterization of groundwater quality in three settlement areas of Enugu metropolis, southeastern Nigeria, using multivariate analysis *Environmental monitoring and assessment* 186:651-664.
- OUYANG, Y., 2005. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Water research*, 39(12); 2621-2635.
- OUYANG, Y., NKEDÍ-KÍZZA, P., WU, Q., SHİNDE, D., and HUANG, C., 2006. Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water research*, 40(20); 3800-3810.
- OWOSENİ, J. O., TAMARAUTOBOU, E. U., and ASIWAJU-BELLO, Y. A., 2013. Application of Sequential Analysis and Geographic Information Systems for Hydrochemical Evolution Survey, Shagari Environ, Southwestern Nigeria.
- OZLER, M. H., 2003. Hydrochemistry and salt-water intrusion in the Van aquifer, east Turkey. *Environmental Geology*, 43(7); 759-775.
- ÖÇKKB., 1993. Özel Çevre Koruma Bölgeleri. Ankara: Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı, Yayın(28).
- ÖZAKKOYUNLU, S., 2007. Gölün yazı Gölü'nün (Çorum) Su Kalitesinin Fiziksel ve Kimyasal Yöntemlerle Tespit Edilmesi ve Göl Civarında Yaşayan Bazı Hayvanların Belirlenmesi. (Yüksek Lisans), Gazi Üniversitesi, Ankara.
- ÖZER, O., 2008. Göksu Deltası'nda Su Kalitesinin Belirlenmesi Ve Su Kalitesi Coğrafi Bilgi Sisteminin Kurulması.

- ÖZER, Z., KUMBUR, H., TEKİNŞEN, K., and KUZUCU, C., 2006. Mersin İli Silifke İlçesi Evsel Atıksularının ve Göksu Nehrinin WQM-Cal İle Modellenmesi. Türkiye’de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu V. Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü, 181-187.
- ÖZPINAR, Z., 2007. Göksu Deltası’nda su kalitesinin fotometrik yöntemlerle belirlenmesi.
- ÖZUS, A., 1988. Silifke Ovası topraklarının genesisi, önemli fiziksel, kimyasal, minerolojik özellikleri ve sınıflandırılması üzerine araştırmalar. Doktora Tezi ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, 941-988.
- PAKALNE, M., 2004. Wetland management methods in protected nature areas and their application in LIFE-Nature projects. Baltic Environmental Forum, University of Latvia Department of Botany and Ecology, Latvia. , 31.
- PALMA, P., LEDO, L., SOARES, S., BARBOSA, I., and ALVARENGA, P., 2014. Spatial and temporal variability of the water and sediments quality in the Alqueva reservoir (Guadiana Basin; southern Portugal). Science of the Total Environment, 470, 780-790.
- PAPATHEODOROU, G., DEMOPOULOU, G., and LAMBRAKİS, N., 2006. A long-term study of temporal hydrochemical data in a shallow lake using multivariate statistical techniques. Ecological Modelling, 193(3); 759-776.
- PAPER, H. J., 1989. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water (3rd edn. ed.). USGS, Washington DC.
- PARK, S.-C., YUN, S.-T., CHAE, G.-T., YOO, I.-S., SHİN, K.-S., HEO, C.-H., and LEE, S.-K., 2005. Regional hydrochemical study on salinization of coastal aquifers, western coastal area of South Korea. Journal of Hydrology, 313(3); 182-194.
- PARK, S., YUN, S., CHAE, G., and LEE, S., 2002. Hydrogeochemistry of shallow groundwaters in western coastal area of Korea: a study on seawater mixing in coastal aquifers. J Kor Soc Soil Groundw Environ, 7, 63-77.

- PARK, Y., LEE, J.-Y., KIM, J.-H., and SONG, S.-H., 2012. National scale evaluation of groundwater chemistry in Korea coastal aquifers: evidences of seawater intrusion. *Environmental Earth Sciences*, 66(3); 707-718.
- PETALAS, C., and LAMBRAKIS, N., 2006. Simulation of intense salinization phenomena in coastal aquifers—the case of the coastal aquifers of Thrace. *Journal of Hydrology*, 324(1); 51-64.
- PSYCHOYOU, M., MIMIDES, T., RIZOS, S., and SGOUBOPOULOU, A., 2007. Groundwater hydrochemistry at Balkan coastal plains—the case of Marathon of Attica, Greece. *Desalination*, 213(1); 230-237.
- PULIDO-LEBOEUF, P., 2004. Seawater intrusion and associated processes in a small coastal complex aquifer (Castell de Ferro, Spain). *Applied Geochemistry*, 19(10); 1517-1527.
- QIN, R., WU, Y., XU, Z., XIE, D., and ZHANG, C., 2013. Assessing the impact of natural and anthropogenic activities on groundwater quality in coastal alluvial aquifers of the lower Liaohe River Plain, NE China. *Applied Geochemistry*, 31, 142-158.
- RAGHUNATH, H. M., 1987. *Ground water*: New Age International.
- RAO, N. S., 2002. Geochemistry of groundwater in parts of Guntur district, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology*, 41(5); 552-562.
- RAO, N. S., RAO, P. S., REDDY, G. V., NAGAMANI, M., VIDYASAGAR, G., and SATYANARAYANA, N., 2012. Chemical characteristics of groundwater and assessment of groundwater quality in Varaha River Basin, Visakhapatnam District, Andhra Pradesh, India. *Environmental monitoring and assessment*, 184(8); 5189-5214.
- RE, V., SACCHI, E., MARTIN-BORDES, J., AURELI, A., EL HAMOUTI, N., BOUCHNAN, R., and ZUPPI, G., 2013. Processes affecting groundwater quality in arid zones: the case of the Bou-Areg coastal aquifer (North Morocco). *Applied Geochemistry*, 34, 181-198.
- REGHUNATH, R., MURTHY, T. S., and RAGHAVAN, B., 2002. The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India. *Water research*, 36(10); 2437-2442.

- REKHA, P. N., KANWAR, R., NAYAK, A., HOANG, C., and PEDERSON, C., 2011. Nitrate leaching to shallow groundwater systems from agricultural fields with different management practices. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(9), 2550-2558.
- REVELLE, R., 1941. Criteria for recognition of seawater in groundwater. *Am. Geophy. Union Trans.*, 22, 593–597.
- SAHİNCİ, A., 1991. *Geochemistry of natural waters*. Reform printing office, Izmir, 548.
- SANCHEZ-PÉREZ, J.-M., and TRÉMOLIÈRES, M., 2003. Change in groundwater chemistry as a consequence of suppression of floods: the case of the Rhine floodplain. *Journal of Hydrology*, 270(1); 89-104.
- SANİN, S., TUNCEL, G., GAİNES, A., and BALKAŞ, T., 1992. Concentrations and distributions of some major and minor elements in the sediments of the River Göksu and Taşucu delta, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 24(3); 167-169.
- SARGAONKAR, A., and DESHPANDE, V., 2003. Development of an overall index of pollution for surface water based on a general classification scheme in Indian context. *Environmental monitoring and assessment*, 89(1); 43-67.
- SARGIN, A. H., 2010. Ankara: Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü
- SCHEIDLER, A., GRATH, J., WINKLER, G., STÄRK, U., KOREIMANN, C., GMEINER, C., NIXON, S., CASILLAS, J., GRAVESE, P., LEONARD, J. AND ELVIRA, M., 1999. *Groundwater Quality and Quantity in Europe*. E. E. Agency. Copenhagen.
- SCHOTT, P., P., WASSEN M., J., 1991. Possible Contribution Of The University Of Utrecht To The Göksu Delta Project. In T. U. O. Utrecht (Ed.).
- SCOFIELD, C. S., and HEADLEY, F. B., 1921. *Quality of irrigation water in relation to land reclamation: US Government Printing Office*.

- SEANEGO, K., and MOYO, N., 2013. The effect of sewage effluent on the physico-chemical and biological characteristics of the Sand River, Limpopo, South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 66, 75-82.
- SECKİN, G., YILMAZ, T., SARI, B., and ERSU, C. B., 2010. Groundwater hydrochemistry at the Mediterranean coastal plains—The case of Silifke, Turkey. *Desalination*, 253(1); 164-169.
- SHEIKHY NARANY, T., RAMLI, M. F., ARIS, A. Z., SULAİMAN, W. N. A., JUAHIR, H., and FAKHARIAN, K., 2014. Identification of the Hydrogeochemical Processes in Groundwater Using Classic Integrated Geochemical Methods and Geostatistical Techniques, in Amol-Babol Plain, Iran. *The Scientific World Journal*.
- SHERİF, M., MOHAMED, M., KACİMOV, A., and SHETTY, A., 2011. Assessment of groundwater quality in the northeastern coastal area of UAE as precursor for desalination. *Desalination*, 273(2); 436-446.
- SHRESTHA, S., and KAZAMA, F., 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling and Software*, 22(4); 464-475.
- SHYAM, R., KALWANİA, G., 2012. Health risk assessment of fluoride with other parameters in ground water of Sikar city (India) *Environmental Earth Sciences* 65:1275-1282
- SİMEONOV, V., STRATİS, J., SAMARA, C., ZACHARİADİS, G., VOUTSA, D., ANTHEMİDİS, A., KOUİMTZİS, T., 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water research*, 37(17); 4119-4124.
- SİNGH, E.J., GUPTA, A., SİNGH, N., 2013. Groundwater quality in Imphal West district, Manipur, India, with multivariate statistical analysis of data *Environmental Science and Pollution Research* 20:2421-2434.
- SOMAY, A. M., and FİLİZ, Ş., 2006. Küçük Menderes Nehri Kıyı Sulak Alanının Hidrojeokimyasal Değerlendirmesi. *GeoSound*, 48(1); 113-128.

- SOMAY, M. A., and GEMİCİ, Ü., 2009. Assessment of the salinization process at the coastal area with hydrogeochemical tools and geographical information systems (GIS): Selçuk plain, Izmir, Turkey. *Water, Air, and Soil Pollution*, 201(1-4); 55-74.
- SONG, S.-H., LEE, J.-Y., and PARK, N., 2007. Use of vertical electrical soundings to delineate seawater intrusion in a coastal area of Byunsan, Korea. *Environmental Geology*, 52(6); 1207-1219.
- SRIVASTAVA, S. K., and RAMANATHAN, A., 2008. Geochemical assessment of groundwater quality in vicinity of Bhalswa landfill, Delhi, India, using graphical and multivariate statistical methods. *Environmental Geology*, 53(7); 1509-1528.
- STIGTER, T., RIBEIRO, L., and DILL, A. C., 2008. Building factorial regression models to explain and predict nitrate concentrations in groundwater under agricultural land. *Journal of hydrology*, 357(1); 42-56.
- SUKHİJA, B., VARMA, V., NAGABHUSHANAM, P., and REDDY, D., 1996. Differentiation of palaeomarine and modern seawater intruded salinities in coastal groundwaters (of Karaikal and Tanjavur, India) based on inorganic chemistry, organic biomarker fingerprints and radiocarbon dating. *Journal of Hydrology*, 174(1); 173-201.
- SULAK ALANLARIN KORUNMASI YÖNETMELİĞİ, 1994.
- SUNG, K.-Y., YUN, S.-T., PARK, M.-E., KOH, Y.-K., CHOI, B.-Y., HUTCHEON, I., and KİM, K.-H., 2012. Reaction path modeling of hydrogeochemical evolution of groundwater in granitic bedrocks, South Korea. *Journal of Geochemical Exploration*, 118, 90-97.
- TANRIVERDİ, Ç., ALP, A., DEMİRKIRAN, A. R., and ÜÇKARDEŞ, F., 2010. Assessment of surface water quality of the Ceyhan River basin, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 167(1-4), 175-184.
- TRABELSİ, R., ZAIRİ, M., and DHİA, H. B., 2007. Groundwater salinization of the Sfax superficial aquifer, Tunisia. *Hydrogeology Journal*, 15(7); 1341-1355.

- TSE (Turkish Standard Institute), S. n., 1997. Water intended for human consumption. Ankara (Turkish Standard Institute), Standard no 266.
- ÜNLÜCÖMERT, Ö. B., 2003. Silifke Göksu deltası tatlı su-tuzlu su girişiminin incelenmesi.
- VANDENBOHEDE, A., VAN HOUTTE, E., and LEBBE, L., 2009. Sustainable groundwater extraction in coastal areas: a Belgian example. *Environmental geology*, 57(4); 735-747.
- WANG, Y. and JIAO, J. J., 2012. Origin of groundwater salinity and hydrogeochemical processes in the confined Quaternary aquifer of the Pearl River Delta, China. *Journal of Hydrology* 438: 112-124.
- WEN, X., WU, Y., SU, J., ZHANG, Y., and LIU, F., 2005. Hydrochemical characteristics and salinity of groundwater in the Ejina Basin, Northwestern China. *Environmental Geology*, 48(6); 665-675.
- WERNER, A. D., BAKKER, M., POST, V. E., VandENBOHEDE, A., LU, C., ATAİE-ASHTİANİ, B., BARRY, D. A., 2013. Seawater intrusion processes, investigation and management: recent advances and future challenges. *Advances in Water Resources*, 51, 3-26.
- WHO., 2008. Recommendations (3rd ed.), vol. 1 WHO Press, World Health Organization 20 Avenue Appia, 1211 Geneva 27, Switzerland.
- WONGSASULUK, P., CHOTPANTARAT, S., SİRİWONG, W., ROBSON, M., 2014. Heavy metal contamination and human health risk assessment in drinking water from shallow groundwater wells in an agricultural area in Ubon Ratchathani province, Thailand *Environmental geochemistry and health* 36:169-182.
- XIAO, J., JIN, Z., and WANG, J., 2014. Geochemistry of trace elements and water quality assessment of natural water within the Tarim River Basin in the extreme arid region, NW China. *Journal of Geochemical Exploration*, 136, 118-126.
- XING, L., GUO, H., and ZHAN, Y., 2013. Groundwater hydrochemical characteristics and processes along flow paths in the North China Plain. *Journal of Asian Earth Sciences*, 70, 250-264.

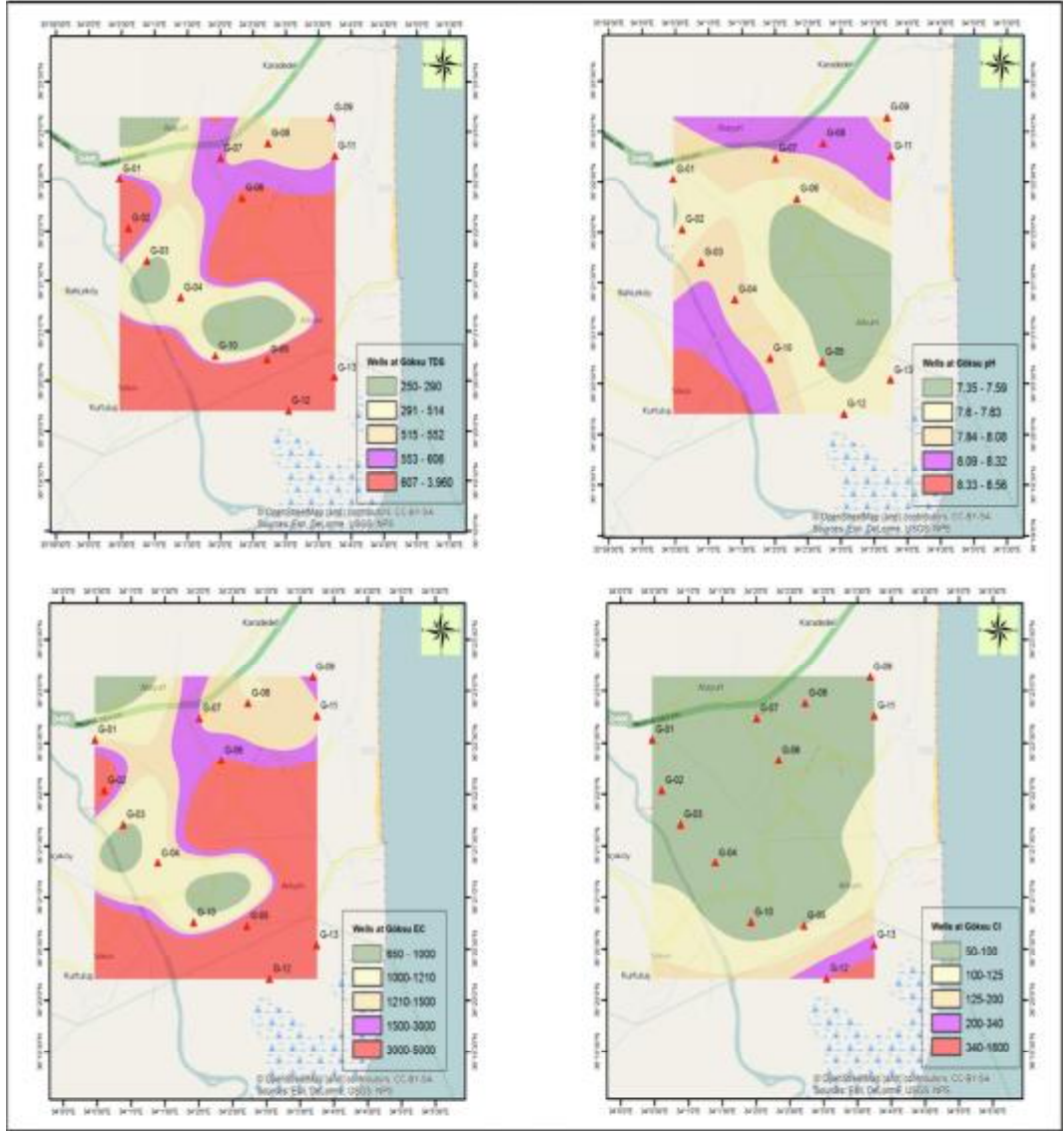
- YALVAÇ, M., 2005. Göksu Deltası sucul ekosisteminde endosülfan ve methamidophos pestisitlerinin kalıntı düzeylerinin araştırılması.
- YAZİCİGİL, H., and EKMEKÇİ, M., 2003. Perspectives on Turkish ground water resources. *Ground water*, 41(3); 290.
- YEŞİLNACAR, M., DEMİR, F., UYANIK, S., YILMAZ, G., and DEMİR, T., 2007. Harran Ovası Yeraltı Suyu Kalitesi ve Kirlenme Potansiyelinin Belirlenmesi. TUBİTAK Proje Kodu: 104Y188 (ÇAYDAG).
- YILDIRIM, N., TOPRAK, A., AKDAĞ, L., KARACA, İ., KAZMAN, E., ÇETİN, Y., and DİREK, Y., 2009. Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi II. Dönem Yönetim Planı, TC Çevre Bakanlığı ÖÇKK Başkanlığı, Ankara.
- YILMAZ, A., YEMENİCİOĞLU, S., TUĞRUL, S., BAŞTÜRK, Ö., SAYDAM, C., SALİHOĞLU İ., 1993. Çevre ve Oşinografisi İle Göksu Deltasının Kuzeydoğu Akdeniz'deki Yeri. Paper presented at the Uluslar arası Göksu Deltası Çevresel Kalkınma Semineri, Silifke.
- YILMAZ, T., SECKİN, G., and SARI, B., 2010. Trace element levels in the groundwater of Mediterranean Coastal Plains–The case of Silifke, Turkey. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 38(3); 221-224.
- YİDANA, S.M., BANOENG-YAKUBO, B., AKABZAA, TM., 2010. Analysis of groundwater quality using multivariate and spatial analyses in the Keta basin, *Ghana Journal of African Earth Sciences* 58:220-234.
- YUSUF, K. A., OLUWOLE, S. O., ABDUSALAM, I. O., and MAJOLAGBE, A. O., 2013. Assessment of Spatial Variation of Surface Water Quality in Lagos, Using Multivariate Statistical Techniques.
- ZGHİBİ, A., MERZOUGUİ, A., ZOUHRİ, L., and TARHOUNİ, J., 2014. Understanding groundwater chemistry using multivariate statistics techniques to the study of contamination in the Korba unconfined aquifer system of Cap-Bon (North-east of Tunisia). *Journal of African Earth Sciences*, 89, 1-15.

- ZHAO, M., ZENG, C., LIU, Z., and WANG, S., 2010. Effect of different land use/land cover on karst hydrogeochemistry: a paired catchment study of Chenqi and Dengzhanhe, Puding, Guizhou, SW China. *Journal of Hydrology*, 388(1); 121-130.
- ZHAO, Z.-W., and CUI, F.-Y., 2009. Multivariate statistical analysis for the surface water quality of the Luan River, China. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 10(1); 142-148.
- ZHU, B., and YU, H., 1995. The use of geochemical indicator elements in the exploration for hot water sources within geothermal fields. *Journal of Geochemical Exploration*, 55(1); 125-136.

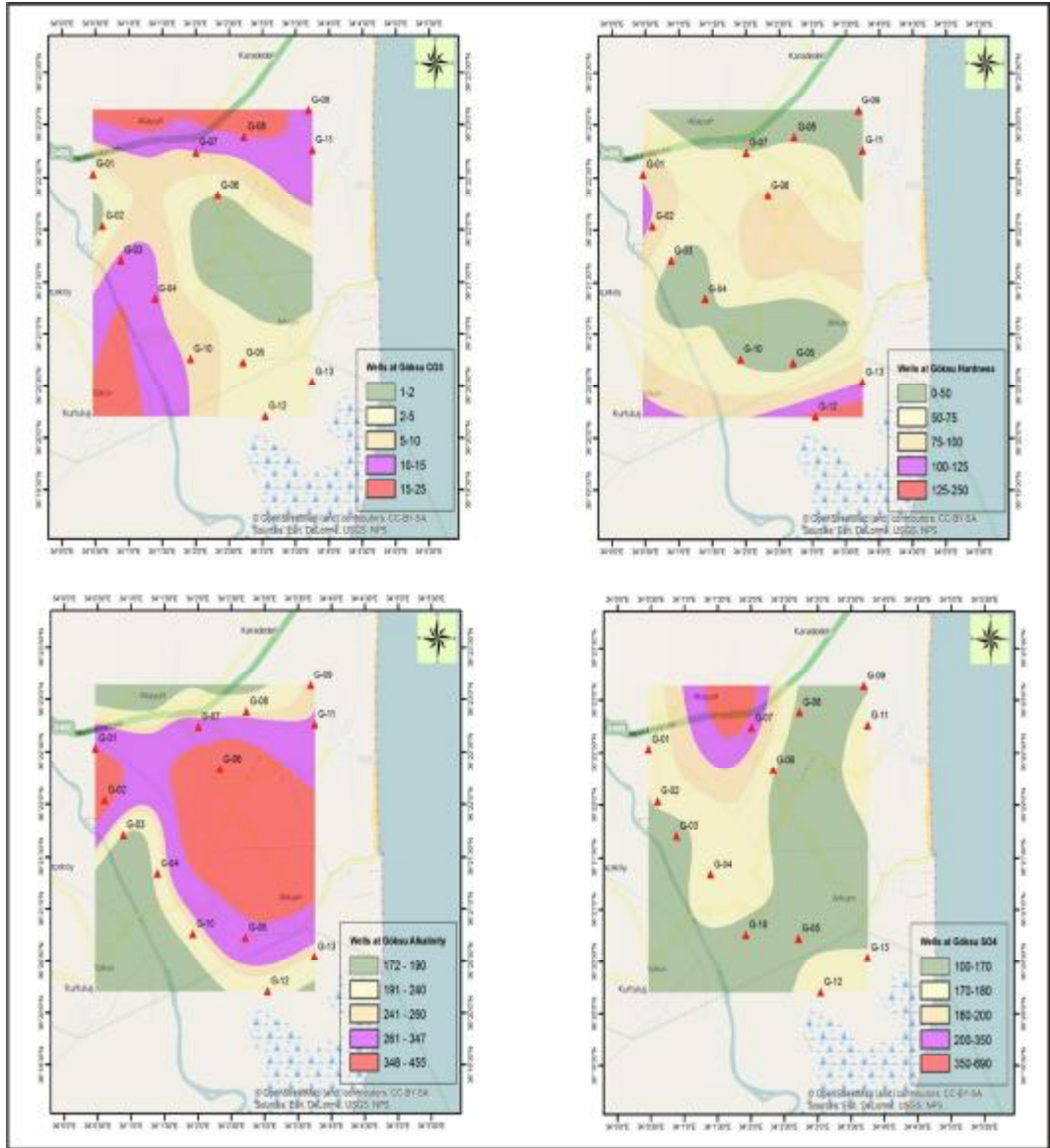
ÖZGEÇMİŞ

Esra Deniz GÜNER, 1983 yılında Ankara'da doğdu. Orta ve lise öğrenimini Ayrancı Lisesinde tamamladı. 2001 yılında Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünde lisans öğrenimine başladı, 2005 yılında mezun oldu. 2007 yılında Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2009 yılında Yüksek lisans öğrenimini Kentsel Hava Kirliliğinin Park ve Bahçelere Etkileri hakkında yaptığı tezi ile mezun oldu. Aynı yıl Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 2012 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Bilimleri Ana Bilim Dalına Araş. Gör. olarak atandı. 2012 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktora eğitimine devam etti.

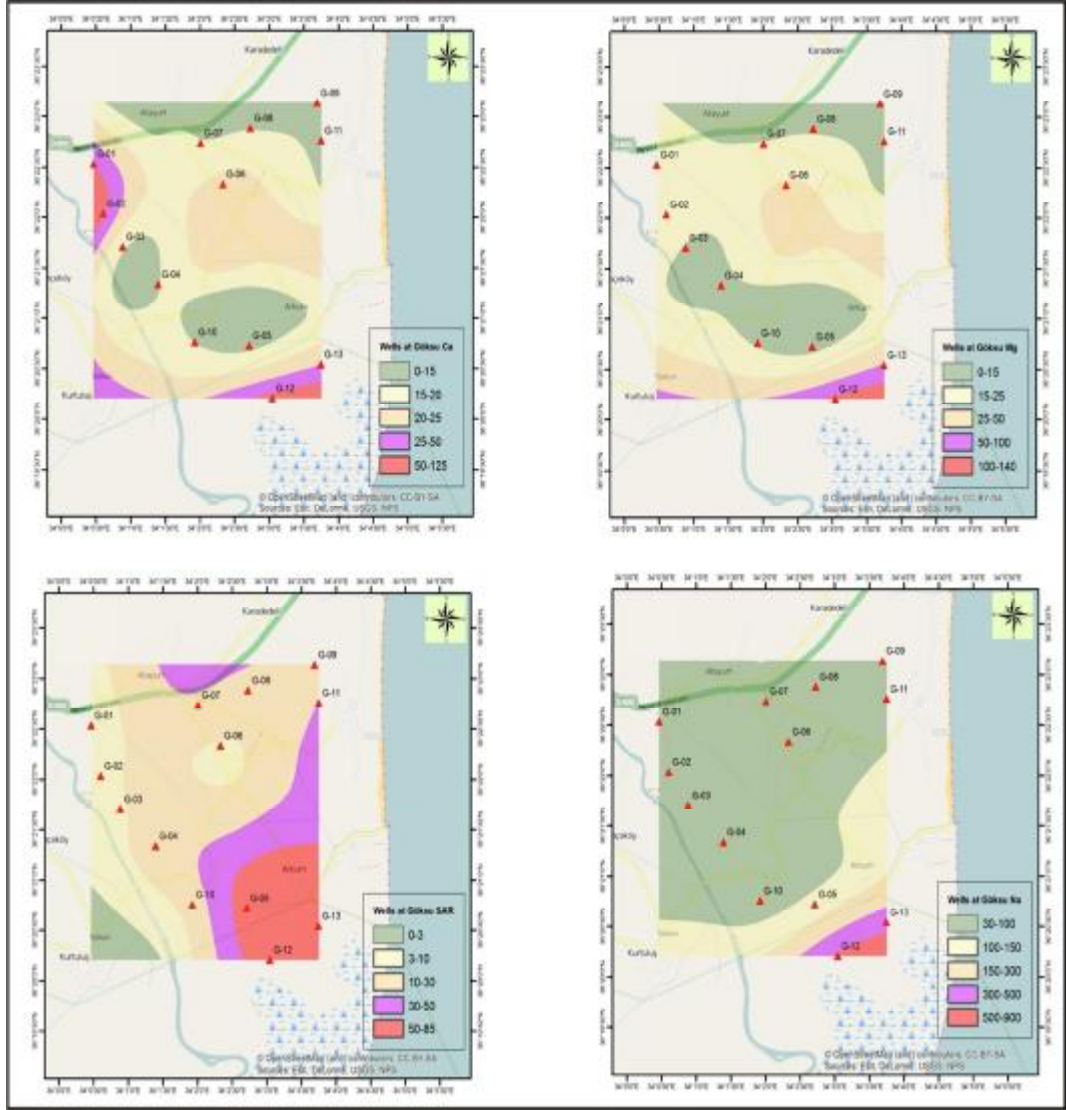
EKLER



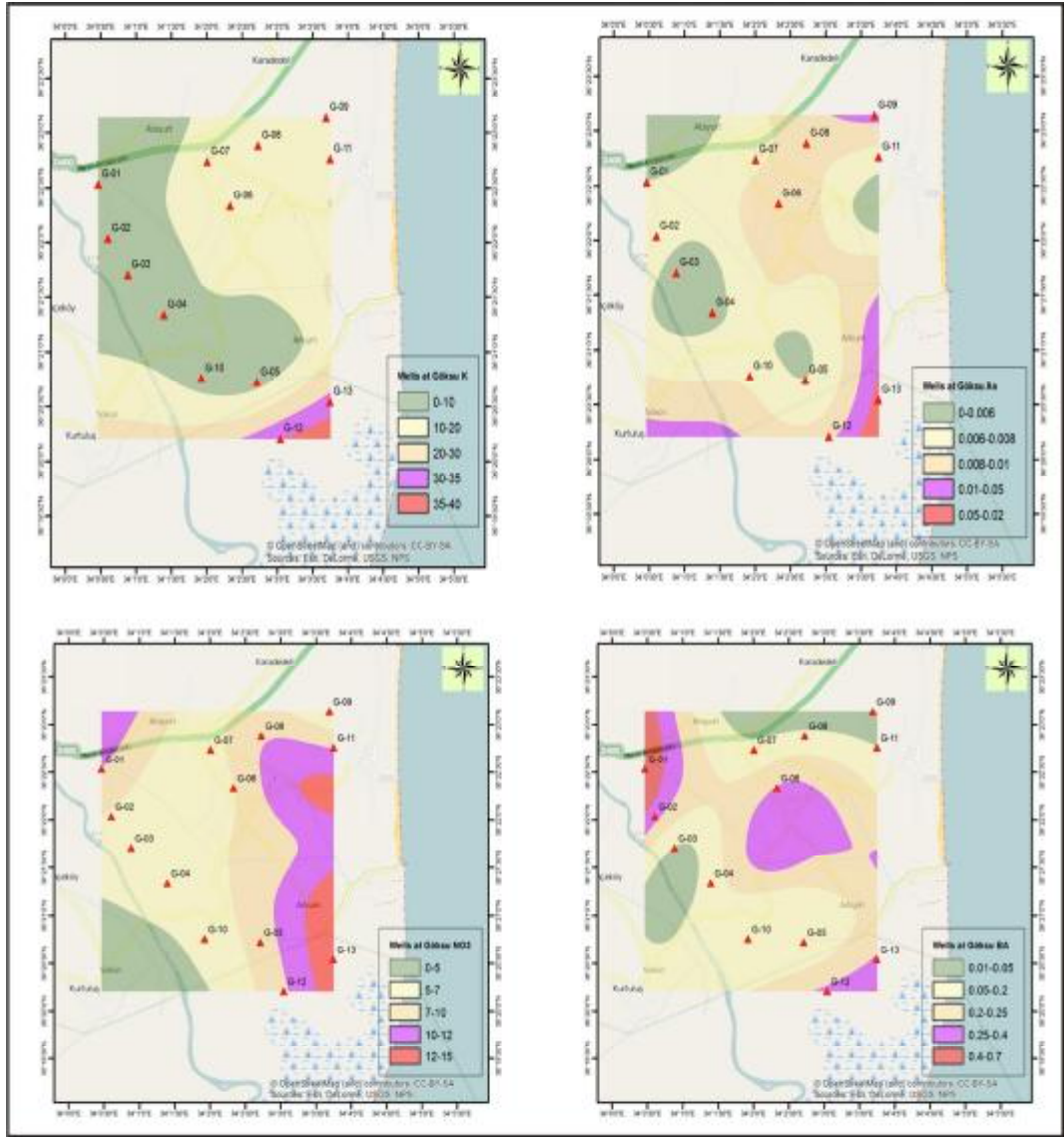
Ek 1. Göksu Bölgesi ÇKM, pH, Eİ, Cl dağılım haritası



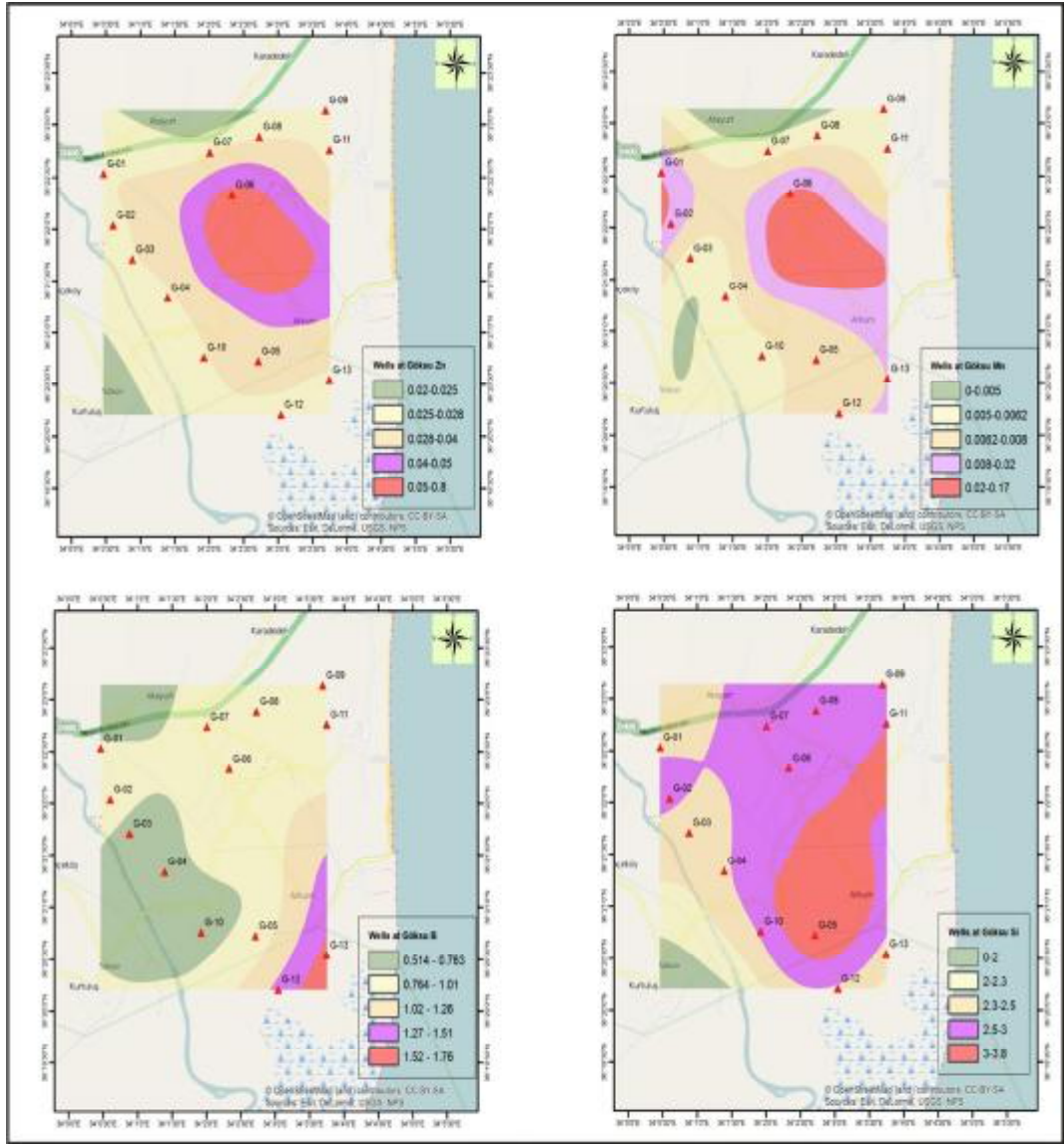
Ek 2. Göksu bölgesi CO_3^- , Toplam Sertlik, Alkalinite, SO_4^{2-} dağılım haritaları



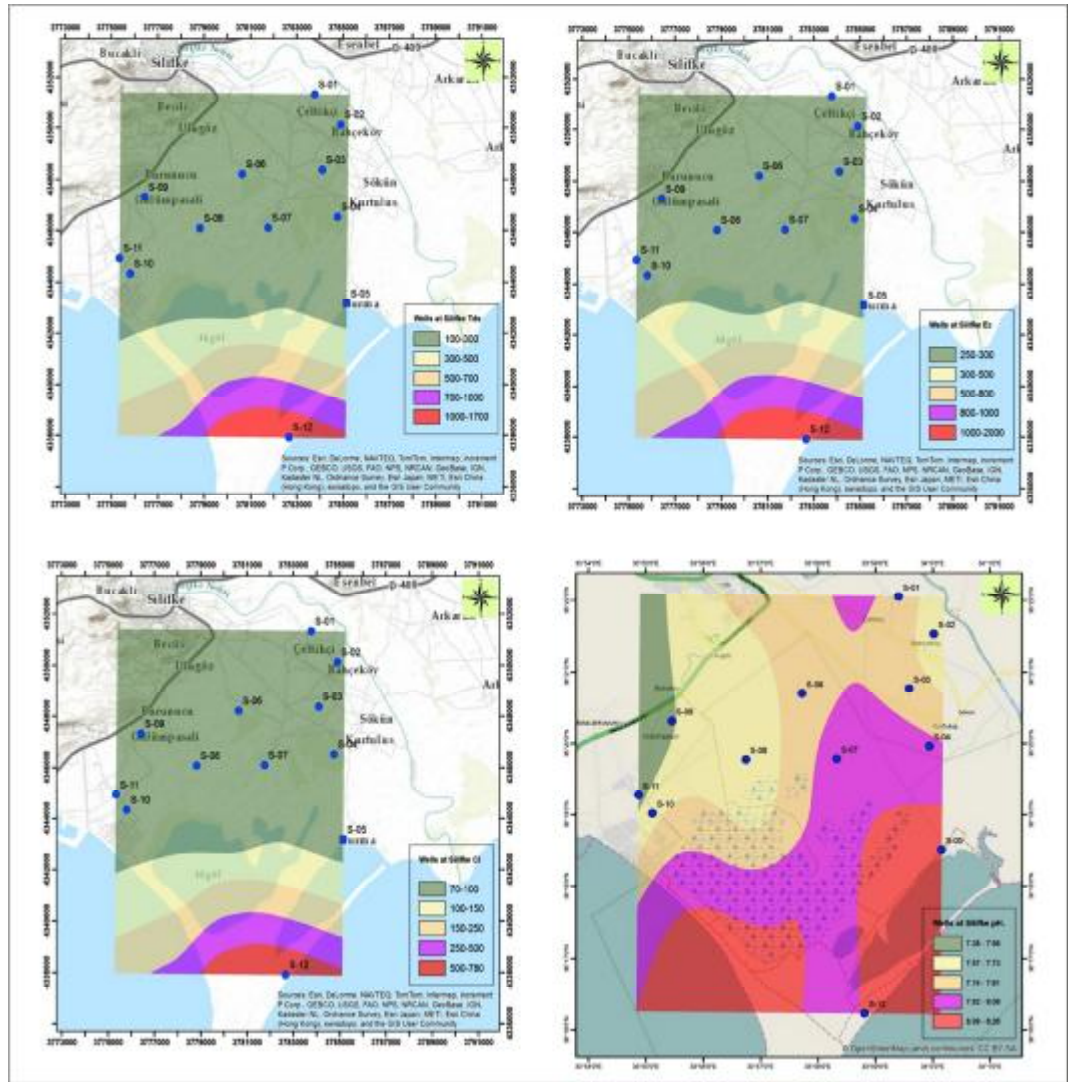
Ek 3. Göksu Bölgesi Ca^{+2} , Mg^{+2} , SAR ve Na^+ dağılım haritaları



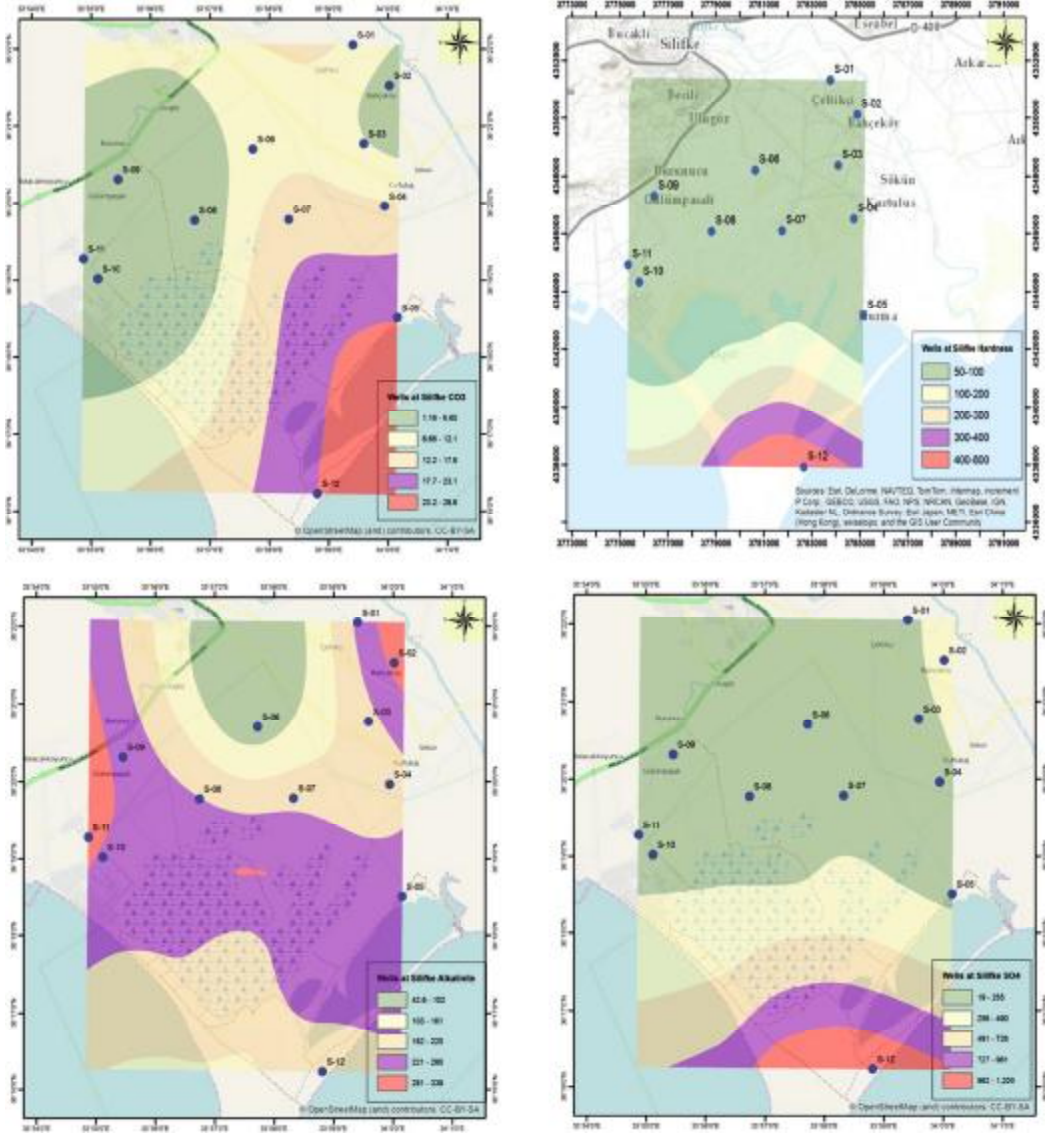
Ek 4. Göksu Bölgesi K⁺, As, NO₃⁻, Ba dağılım haritaları



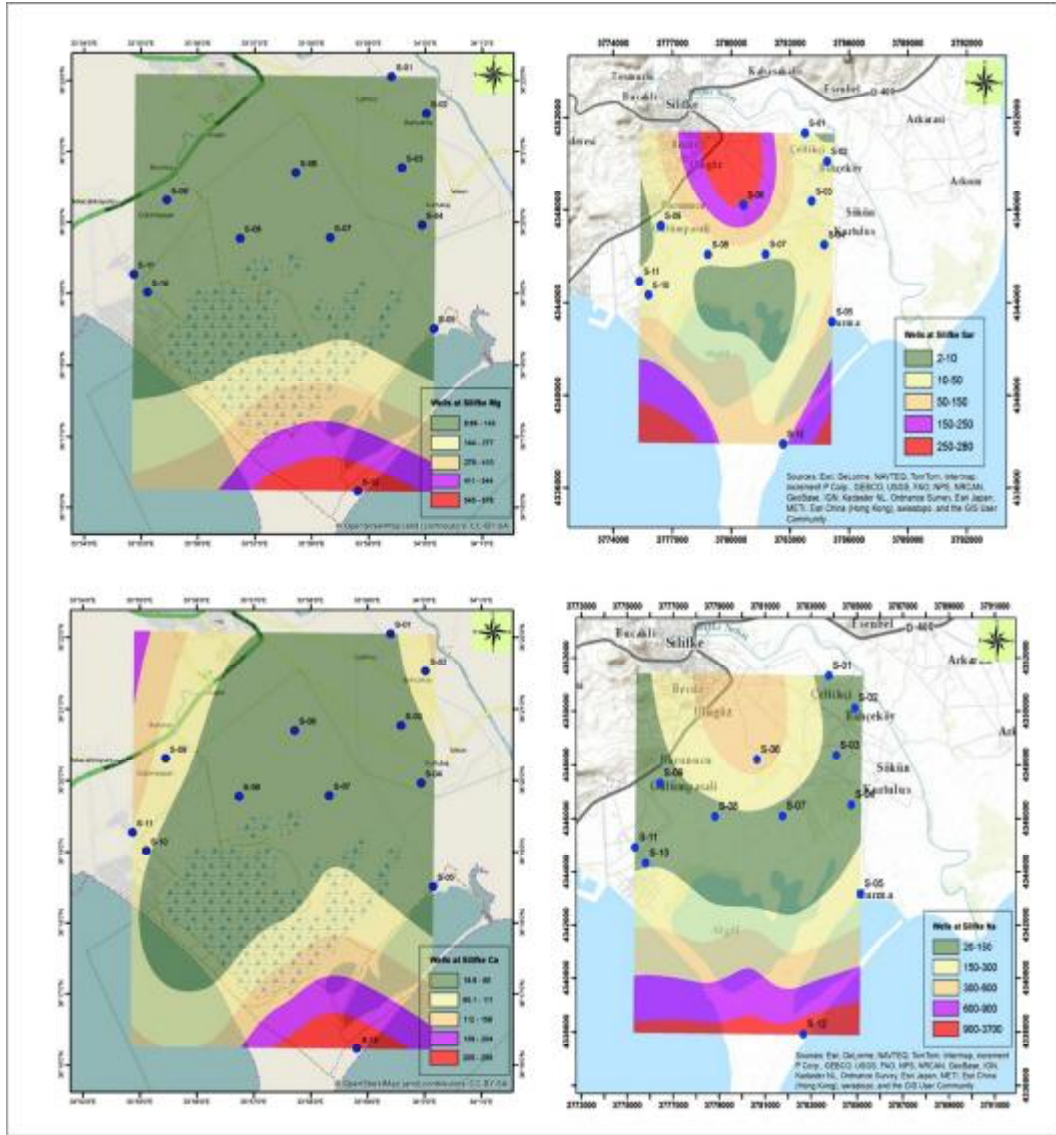
Ek 5. Göksu Bölgesi Zn, Mn, B ve Si dağılım haritaları



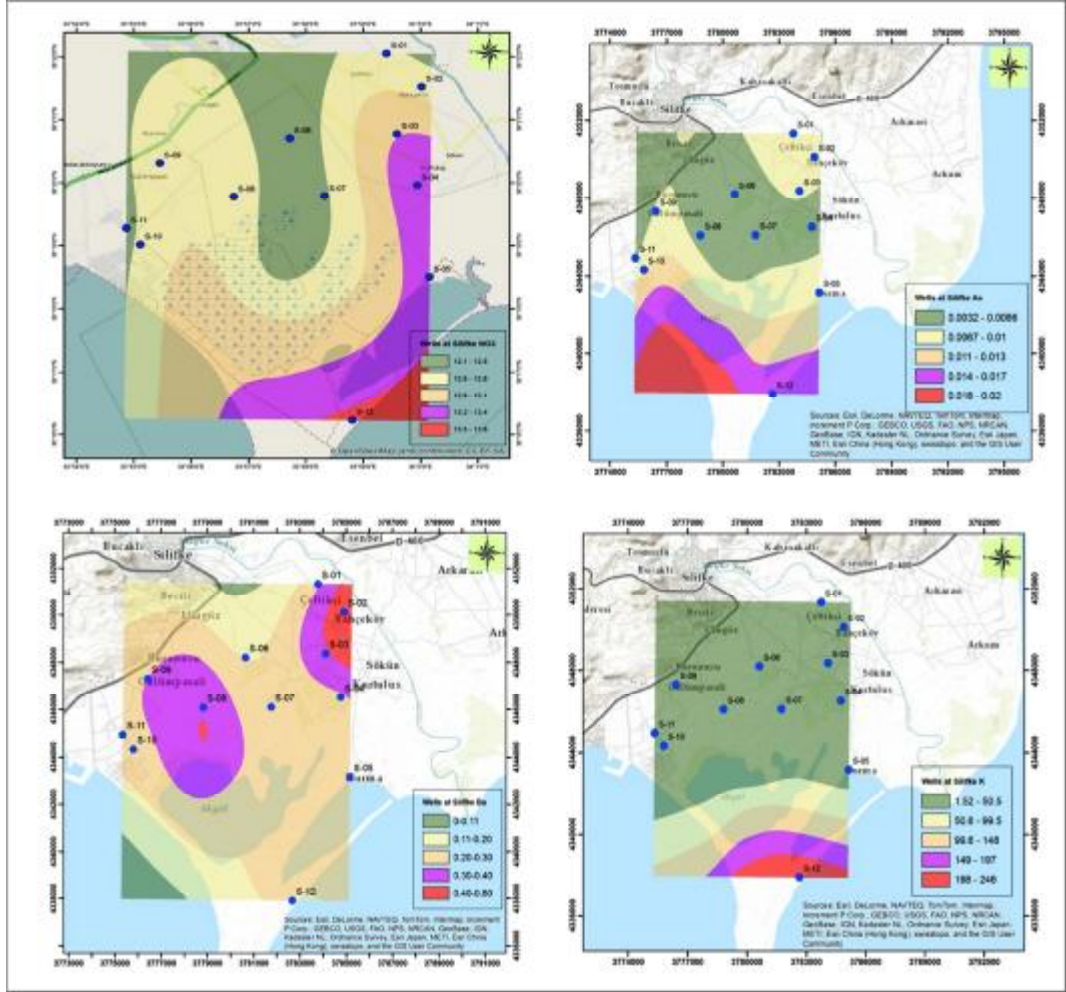
Ek 6. Silifke Bölgesi ÇKM, Cl⁻, Eİ, pH, dağılım haritası



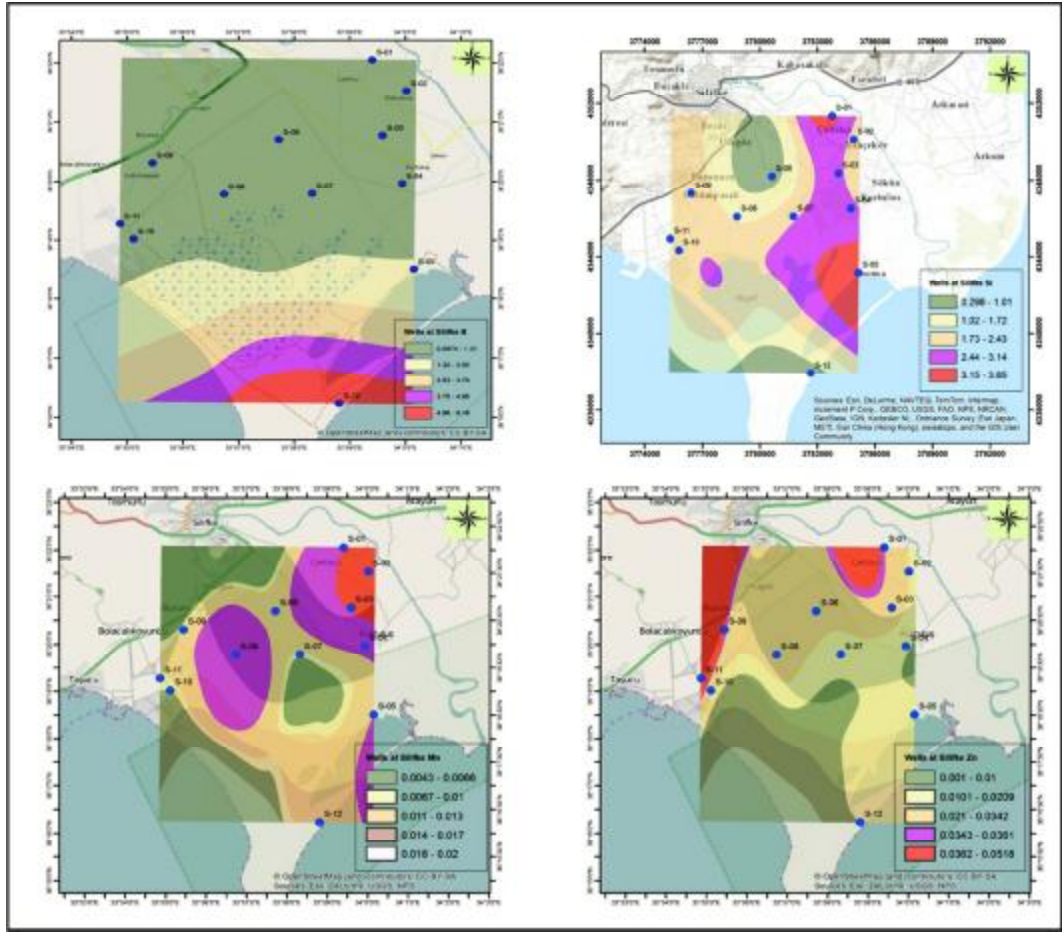
Ek 7. Silifke Bölgesi CO_3^- , Toplam Sertlik, Alkalinite, SO_4^{2-} dağılım haritaları



Ek 8. Silifke Bölgesi Mg^{+2} , SAR, Ca^{+2} ve Na^{+} dağılım haritaları



Ek 9. Silifke Bölgesi NO₃⁻, As, Ba, K⁺ dağılım haritası



Ek 10. Silifke Bölgesi B, Si, Mn ve Zn dağılım haritaları