T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YENİCEKENT (DENİZLİ)- ATÇA (AYDIN) ARASINDAKİ YÜZEY VE YERALTI SUYU KİRLİLİĞİNİN VE TAŞINIMININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUFAN TUĞRUL

DENİZLİ, EKİM - 2019

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YENİCEKENT (DENİZLİ)- ATÇA (AYDIN) ARASINDAKİ YÜZEY VE YERALTI SUYU KİRLİLİĞİNİN VE TAŞINIMININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUFAN TUĞRUL

DENİZLİ, EKİM - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

TUFAN TUĞRUL tarafından hazırlanan "**YENİCEKENT (DENİZLİ)- ATÇA (AYDIN) ARASINDAKİ YÜZEY VE YERALTI SUYU KİRLİLİĞİNİN VE TAŞINIMININ İNCELENMESİ**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 15.10.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	İmza
Danışman DOÇ. DR. ALİ BÜLBÜL	.....
Üye DOÇ. DR. ALİ GÖKGÖZ	.....
Üye DOÇ. DR. NİHAT HAKAN AKYOL	.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20/11/2019 tarih ve ...46-09 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tez çalışması PAÜ BAP tarafından 2017FEBE056 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

TUFAN TUĞRUL



ÖZET

YENİCEKENT (DENİZLİ)- ATÇA (AYDIN) ARASINDAKİ YÜZEY VE YERALTI SUYU KİRLİLİĞİNİN VE TAŞINIMININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TUFAN TUĞRUL

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. ALİ BÜLBÜL)

DENİZLİ, EKİM - 2019

Yenicekent – Atça bölgeleri tarımsal potansiyel açısından Türkiye'nin önemli alanlarındandır. Oysaki bu alanlar günümüzde gelişmekte olan endüstriyel ve jeotermal kullanım etkisiyle kirlilik tehdidi altındadır. Bu alanlarda tarımsal sulama Menderes sağ sahil sulama birliği ve sulama kuyularıyla yapılmaktadır. Dolayısıyla sulama suyunun kalitesinin araştırılması ve sulama suyunu tehdit eden unsurların belirlenmesi büyük önem arz eder. Yenicekent ve çevre bölgelerinde DSİ tarafından açılan kooperatif kuyuları ile vatandaşlar tarafından açılan bir çok şahıs kuyusu mevcuttur. Çalışmada bazı kuyular ile Menderes Nehri arasındaki hidrojeokimyasal- dinamik ilişkisi, su kimyası ve yeraltı suyu akım verileri ile ortaya konmuştur. Çalışma alanında jeolojik formasyon olarak en üst kısımdaki Kuvaterner alüvyon akifer, Menderes Nehri tarafından beslenmektedir. Menderes Nehri bölgedeki endüstriyel atıklara, foseptik kirliliğine ve jeotermal kullanımdan kaynaklanan kirliliğe maruz kalmaktadır. Dolayısıyla çalışma alanındaki Kuvaterner alüvyon akiferdeki sulama kuyuları Menderes Nehrinden beslendikleri için bu kirliliklere maruz kalmaktadır. Bu çalışmada; çalışma alanındaki bazı sulama kuyularından su örnekleri alınmak suretiyle kimyasal analizleri yaptırılarak kirlilik parametreleri belirlenmiş, kuyu başlarında bazı ölçümler yapılarak yeraltı ve yüzey suyu akım yönü, beslenme- boşalma ilişkileri ortaya konmuştur. Daha sonra kirlilik parametresi olarak belirlenen bileşenlerin SURFER 13 programında Krigging yaklaşımı ile izohidrohipsler oluşturulmak suretiyle GLOBAL MAPPER 13 programındaki oluşturulan sayısal yükseklik jeoloji modeline aktarılmıştır. Böylelikle kirlilik parametresi olarak belirlenen bileşenlerin derişimlerinin arttığı ve azaldığı yerler tespit edilmiştir. Bu verilerden bazıları baz alınarak, kaynaktan farklı mesafelerde ve gelecek farklı zaman periyotları için tek boyutta kirlilik modellemesi yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Kirlilik Taşınımı, Yeraltı Suyu Kirliliği, Büyük Menderes.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF SURFACE WATER AND GROUND WATER RELATIONSHIP, WATER QUALITY AND CONTAMINANT TRANSPORT BETWEEN BUHARKENT- YENICE REGULATOR

MSC THESIS

TUFAN TUĞRUL

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

GEOLOGICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. ALİ BÜLBÜL)

DENİZLİ, OCTOBER 2019

Yenicekent and Atça regions are important areas of Turkey in terms of agricultural potential. However, these regions are under the threat of pollution due to the developing industrial and geothermal usage effect. In these areas, agricultural irrigation is carried out by Menderes right bank and irrigation wells. Therefore, it is very important to investigate the quality of irrigation water and to identify the elements that threaten irrigation water. There are cooperative wells drilled by the State Hydraulic Works (DSI) and many wells drilled by citizens in Yenicekent and its surrounding regions. In the study, the hydrogeochemical-dynamic relationship between some wells and the Menderes River was demonstrated by water chemistry and groundwater flow data. In the study area, the quaternary alluvial aquifer at the top is fed by the Menderes River. Menderes River is exposed to industrial wastes, septic pollution and geothermal pollution in the region. Therefore, the irrigation wells in the quaternary alluvial aquifer in the study area are exposed to these pollutants as they are fed from the Menderes River. In this study, water samples were taken from some irrigation wells in the study area, chemical analyzes were performed and pollution parameters were determined, some measurements were made at the wells then the ground and surface water flow direction and feeding-discharge relationships were revealed. Thus, isohydrohips were created by using Krigging approach in SURFER 13 program for the components determined as pollution parameters and they were transferred to the numerical elevation geology model in GLOBAL MAPPER 13 program. Hereby, the zones where the concentration of the components determined as pollution parameters increased and decreased were determined. On the basis of some of these data, one- dimensional pollution modeling was performed at different distances from the source and for different time periods.

KEYWORDS: Contaminant Transport, Ground Water Contamination, Menderes River.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **v**
TABLO LİSTESİ ..... **vii**
SEMBOL LİSTESİ ..... **viii**
ÖNSÖZ ..... **ix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Çalışmanın Amacı 1
1.2 Önceki Çalışmalar 1
1.3 Çalışma Alanları 2
1.4 Uygulanan Yöntemler 3
2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLOJİSİ **5**
2.1 Jeoloji Tarihçe 5
2.2 Bölgesel Jeoloji 5
2.3 Stratigrafi 6
2.3.1 İğdecik Formasyonu (Menderes Masifi Metamorfikleri) 7
2.3.2 Kızılburun Formasyonu 8
2.3.3 Sazak Formasyonu 9
2.3.4 Kolonkaya Formasyonu 9
2.3.5 Tosunlar Formasyonu 10
2.3.6 Alüvyon 11
2.3.7 Traverten 12
2.4 Yapısal Jeoloji 12
3. HİDROJEOLOJİ **14**
3.1 Su Kimyası 14
3.1.1 Yeraltı Sularının Anyon, Katyonları ve Genel Kimyasal Özellikleri 14
3.1.1.1 Sudaki Anyon ve Katyonlar 14
3.1.1.1.1 Sodyum (Na^{+}) ve Potasyum (K^{+}) 14
3.1.1.1.2 Kalsiyum (Ca^{+2}) 14
3.1.1.1.3 Magnezyum (Mg^{+2}) 15
3.1.1.1.4 Sülfat (SO_4^{-2}) 15
3.1.1.1.5 Karbonat ve Bikarbonat (CO_3^{-2} ve HCO_3^{-}) 15
3.1.1.1.6 Klorür (Cl^{-}) 15
3.1.1.2 Diğer Kimyasal Özellikler 15
3.1.1.3 Çalışmada Kullanılan Numunelere Ait Analiz Sonuçları 16
3.1.2 Yeraltı Sularının Kimyasal Sınıflaması 21
3.1.2.1 Piper (1944)'e Göre Kimyasal Sınıflama 21
3.1.2.2 Schoeller (1955)' e Göre Suların Sınıflanması 22
3.1.3 Suların İçilebilirlik Özellikleri 25
3.1.4 Suların Kullanılabilirlik Özellikleri 26
3.1.4.1 Wilcox Diyagramı 27
3.2 Su Kalitesi ve Yeraltı Suyu Kirlenmesi 28

3.2.1 Yeraltı Suyunun Gözlemlenmesi 29
3.2.2 Yeraltı Sularında Kirlilik Taşınımı 29
3.2.2.1 Yeraltı Suyu Kirlilik Taşınımı Mekanizmaları 30
3.2.2.1.1 Difüzyon 30
3.2.2.1.2 Adveksiyon 31
3.2.2.1.3 Dispersiyon 31
3.2.2.2 Zemin Parametrelerinin Hesaplanması 35
3.2.2.3 Kirlilik Taşınımı Şeması 36
4. YAPILAN ÇALIŞMALAR 37
4.1 Arazi Çalışmaları 37
4.2 Laboratuvar Çalışmaları 39
4.3 Kirlilik Taşınımı Analizleri 41
4.3.1 Birinci Bölge 41
4.3.2 İkinci Bölge 49
4.3.3 Birinci ve İkinci Bölgenin Yeraltı Suyu Kirliliği Bakımından Birlikte Yorumlanması 58
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 61
6. KAYNAKLAR 63
7. ÖZGEÇMİŞ 66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Birinci ve ikinci bölgenin yer bulduru haritası…….….2
Şekil 2.1: Çalışma alanının basitleştirilmiş sütun kesiti (UKAM 1994, after Şimşek 1984)……..……..6
Şekil 2.2: Yenicekent mevkiindeki Menderes masifine ait şistlerin görünümü.. ….7
Şekil 2.3: Menderes masifinin Yenicekent'ten görünümü……...…8
Şekil 2.4: Yenicekent Kanalyolu mevkiinde Kızılburun formasyonuna ait görünüm……....9
Şekil 2.5: Kolonkaya ve Sazak formasyonlarının Gölemezli mevkiinden görünümü (Şengün 2011)……....10
Şekil 2.6: Ahmetli Köyü ve Tosunlar Köyü arasında Tosunlar Formasyonuna ait görünüm……..……11
Şekil 2.7: Buldan ve çevresi jeoloji haritası (Yalçın ve diğ. Şimşek 1982'den değiştirerek yayımlamıştır 2016)……...…….13
Şekil 3.1: Piper diyagramına göre suların sınıflandırılması (Back, 1961)…...…...21
Şekil 3.2: Çalışmada kullanılan su örneklerinin Piper'e göre kimyasal sınıflaması……...……22
Şekil 3.3: Çalışmada kullanılan su örneklerinin Schoeller'e göre kimyasal sınıflaması……...24
Şekil 3.4: Çalışmada kullanılan su örneklerinin Wilcox diyagramı ile sulama suyu sınıflaması...……...27
Şekil 3.5: Sürekli ve noktasal girdi şekilleri (Fetter 2018)……30
Şekil 3.6: Darcy yasası şematik gösterimi……..……..31
Şekil 3.7: Adveksiyon ve dispersiyonun gösterimi (Fetter 2018)……...…..32
Şekil 3.8: Dispersiyonun gösterimi……32
Şekil 3.9: Boyuna dispersiyon modelleri (Fetter 2018)…….33
Şekil 3.10: Yeraltı suyunun enine ve boyuna dispersiyonu……...33
Şekil 3.11: Tek boyutta sürekli kirlilik girdi şeması……..36
Şekil 4.1: Numune alınan kuyuların harita üzerinde gösterimleri…….38
Şekil 4.2: pH ölçüm cihazı ile arazide ölçüm yapılması (Höyüktepe Mevkii)…..38
Şekil 4.3: TGRL 11 kuyusuna ait fotoğraf (Höyüktepe Mevkii)……...39
Şekil 4.4: TGRL 2 kuyusuna ait fotoğraf (Karlıtepe Mevkii)……...……....39
Şekil 4.5: Örneklerin filtrelenmesi işlemine ait fotoğraf……...40
Şekil 4.6: Örneklerin nitrik asit katılarak pH değerlerinin düşürülmesi işlemine ait fotoğraf……...40
Şekil 4.7: Birinci bölgedeki kuyuların M.T.A haritasına işlenmesi (http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx, 01.07.2019)……41
Şekil 4.8: KYC 9, KYC 8, 60048 ve 60051 nolu kuyularda kirlilik taşınımı hattı (http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx, 01.07.2019)……..…..42
Şekil 4.9: Kuyu düşüm verileri ile hazırlanan grafik…….44
Şekil 4.10: Farklı zamanlarda ve mesafelerde hesaplanan klorür derişimleri ve gerçek klorür derişimleri grafiği (1.bölge için)……...49
Şekil 4.11: F noktası, 62620, TGRL3, TGRL 2 VE 62618 nolu kuyularda kirlilik taşınımı hattı (ASTER uydu verisi, Harita Genel Müdürlüğü)……...51
Şekil 4.12: İkinci bölgedeki kuyuların topografik haritaya işlenmesi (ASTER uydu verisi, Harita Genel Müdürlüğü)……...52
Şekil 4.13: Kuyu düşüm verileri ile hazırlanan grafik……...53

Şekil 4.14: Farklı zamanlarda ve mesafelerde hesaplanan klorür derişimleri ve gerçek klorür derişimleri grafiği (2.bölge için)……...58

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Numunelere ait su kodu, statik seviye, dinamik seviye, kuyu derinliği ve pompa derinliği değerleri……...17
Tablo 3.2: Numunelere ait pH, debi, Eh, sıcaklık ve EC değerleri……...18
Tablo 3.3: Numunelere ait Ca,Mg, Na, Cl, K, SO4 ve HCO_3 konsantrasyonları.19
Tablo 3.4: Numunelere ait As, B, Li, P, Sb, Sr ve SiO_2 konsantrasyonları……..20
Tablo 3.5: Schoeller (1955) klorür, sülfat ve karbonat miktarlarına göre suların sınıflaması……...23
Tablo 3.6: TSE-266 ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) İçme suyu standartlarının tavsiye edilen ve maksimum izin verilen değerleri…….26
Tablo 4.1: Zemin parametreleri hesap tablosu (1. bölge için)……..……...43
Tablo 4.2: 100 gün ve 500 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (1. bölge için)……..45
Tablo 4.3: 1000 gün ve 2000 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (1. bölge için)……...46
Tablo 4.4: 3000 gün ve 5000 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (1. bölge için)……...47
Tablo 4.5: 10000 gün ve 15000 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (1. bölge için)……...48
Tablo 4.6: KYC 9, KYC 8, 60048 ve 60051 nolu kuyuların mesafe ve klorür derişimleri……48
Tablo 4.7: Zemin parametreleri hesap tablosu (2. bölge için)…….....50
Tablo 4.8: 100 gün ve 500 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (2. bölge için)……..54
Tablo 4.9: 1000 gün ve 2000 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (2. bölge için)……...55
Tablo 4.10: 3000 gün ve 5000 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (2. bölge için)……...56
Tablo 4.11: 10000 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (2. bölge için)……57
Tablo 4.12: F noktası, 62620, TGRL 3, TGRL 2 ve 62618 nolu kuyuların mesafeleri ve klorür derişimleri……..57
Tablo 4.13: 1. bölgeye ait kuyuların kirlilik uç bileşen derişimleri ve aritmetik ortalamaları……..59
Tablo 4.14: 2. bölgeye ait kuyuların kirlilik uç bileşen derişimleri ve aritmetik ortalamaları……..……....60

SEMBOL LİSTESİ

a_L	:	Dinamik Dispersivite (m)
b	:	Akifer Kalınlığı (m)
C	:	Çözünenin Konsantrasyonu (Kütle/Hacim)
C_0	:	Çözünenin Başlangıçtaki Konsantrasyonu (mg/l)
$C_{(x,t)}$	:	Çözünenin Mesafeye ve Zamana Bağlı Konsantrasyonu (mg/l)
D	:	Difüzyon Katsayısı (Alan/Zaman)
dc/dh	:	Konsantrasyon Gradyanı
dc/dx	:	Konsantrasyon Gradyanı (Kütle/ Hacim/ Mesafe)
dh/dl	:	Hidrolik Eğim
D_L	:	Boyuna Hidrodinamik Katsayısı (m^2/s)
D^*	:	Etkin Moleküler Difüzyon Katsayısı
F_x	:	Birim Zamanda Birim Zamandan Geçen Kirlilik Kütlesi
i	:	Hidrolik Eğim
K	:	Hidrolik İletkenlik (m/dk)
L	:	Akış Yolu Uzunluğu (m)
n_e	:	Etkin Gözeneklilik
Q	:	Debi (m^3/dk)
r	:	Kuyu Yarıçapı (m)
T	:	İletimlilik (m^2/dk)
t	:	Kirliliğin Başlamasından İtibaren Geçen Zaman (Gün)
t_0	:	Kuyu Düşüm Testi Logaritmik Eğrisinden Elde Edilen Zaman (dk)
V_x	:	x Yönündeki Ortalama Doğrusal Yeraltı Suyu Hızı **(**m/Gün**)**
Δs	:	Düşüm (m)

ÖNSÖZ

Bu tezin ortaya çıkmasında desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Ali Bülbül'e teşekkürlerimi sunarım. Destekleri için kardeşim İnşaat Yüksek Mühendisi Ayşe Tuba Tuğrul'a ve aileme çok teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi BAP tarafından 2017-FEBE-056 nolu proje ile desteklenmiş ve P.A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Projenin amacı, Buharkent - Yenice regülatörü arası ve Buharkent - Atça arası bölgelerde yüzey ve yeraltı suyu ilişkisinin tespiti, su kalitesi ve kirlilik taşınımının araştırılması, yeraltı suyu akım yönü ve hızının belirlenmesi ve beslenme ilişkilerinin ortaya çıkarılıp, kirlilik taşınımının kavramsal olarak gösterilmesidir. Bir diğer amacı ise hali hazır durumdaki kirlilik değerlerinin ortaya çıkarılması ve tek boyutta, farklı varsayımlarla kaynaktan farklı mesafeler için, önümüzdeki yıllarda meydana gelebilecek kirlilik risklerinin tahmin edilmesidir.

1.2 Önceki Çalışmalar

Elçi ve diğ. (2009), havza koruma alanlarının yeraltı suyu kirleticilerin taşınımı bakımından değerlendirilmesi konusunda çalışma yapmışlardır. Çalışma İzmir il merkezinin 40 km güneyinde yer alan Tahtalı çayı havzası için yapılmıştır. Çalışmanın amacı, bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımı ile kısa sürede ve kolay elde edilebilecek verilerle bir içme suyu havzasındaki yeraltı suyu kirliliğinin herhangi bir alıcı ortama ulaşma sürelerinin karmaşık matematiksel modellere başvurmadan da elde edilebileceğini göstermektir.

Şimşek (1984) ve Alçiçek ve diğ. (2007)' de bölgedeki birimleri, alttan üste doğru, İğdecik Formasyonu (Paleozoyik Menderes Masifi Metamorfikleri), Kızılburun Formasyonu (Erken-Geç Myosen örgülü nehir çökelleri), Sazak Formasyonu (Orta-Üst Myosen), Kolonkaya Formasyonu (Üst Myosen- Alt Pleyistosen kiltaşı, çamurtaşı), Tosunlar Formasyonu (Pleyistosen Çamurtaşı, Kumtaşı), geçişli Kuvaterner Traverten ve Kuvaterner Alüvyon olarak tanımlanmıştır.

Bedient ve diğ. (1994)'te yeraltı suyu hidroliği, kuyulara yeraltı suyu akışı, yeraltı suyu kirletici tipleri, kirlilik taşınım mekanizması, kirlilik süreçleri, kirlilik taşınımının nümerik modellenmesi irdelenmiştir.

Fetter (2018)'de yeraltı suyu akış ilkeleri, bölgesel yeraltı suyu akışı, su kalitesi ve yeraltı suyu kirlenmesi irdelenmiştir.

1.3 Çalışma Alanları

Çalışma alanı olarak seçilen birinci bölge Aydın İli, Buharkent İlçesi ile Atça İlçesi arasında Büyük Menderes Nehrinin sağ sahil tarafında kalan ve nehre paralel olarak devam eden bölgedir.

Çalışma alanı olarak seçilen ikinci bölge Cindere Barajının çıkışından itibaren Büyük Menderes Nehrinin akım yönü boyunca Yenice Regülatörüne kadar devam eden ve oradan nehir boyunca Denizli İli, Sarayköy İlçesi, Ahmetli Mahallesine kadar uzanan bölgedir. Birinci ve ikinci bölgenin yer bulduru haritası Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1: Birinci ve ikinci bölgenin yer bulduru haritası.

1.4 Uygulanan Yöntemler

Çalışma; ofis, arazi, laboratuvar olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Ofis çalışmaları kapsamında su kuyuları ve arazi hakkında bilgi toplanmış, örnek toplama noktaları belirlenmiştir.

Öncelikle kirlilik taşınımının irdelenebileceği çalışma alanı tespit edilmiştir. Bunun için birkaç bölge belirlenmiş ve bu bölgelerde yoğunlaşılmıştır. Belirlenen bu bölgelerde arazi çalışmaları yapılmıştır. Bölgelerin jeolojisi, stratigrafisi incelenerek hidrojeolojisi ortaya konmuştur. Çalışma alanı olarak belirlenebilecek bölge için seçenek ikiye düşürülüp bu iki bölgedeki kuyu ve kaynak lokasyonları belirlenerek bazı ölçümler yapılmıştır. Öncelikle kimyasal analiz için örnekleme yapacağımız noktaların GPS cihazı yardımıyla koordinatları kaydedilmiştir. Sonra yüzey ve yeraltı sularında, kaynak başında bazı cihazlarla EC, tuzluluk, sıcaklık, pH ve Eh ölçümleri yapılmıştır. Aynı zamanda kuyularda seviye ölçer ve GPS cihazları ile yeraltı ve yerüstü su kotları ölçülerek kaydedilmiştir. DSİ 21. Bölge tarafından ölçülen bazı kuyuların statik dinamik seviye verileri, kuyu logları ve pompaj düşüm testleri kısmen değerlendirilmiştir. Son olarak da kirlilik uç bileşenlerini modelleyebilmek amacıyla da kaynak, kuyu ve nehir lokasyonundan örnekleme yapılmıştır.

Alınan bu su örnekleri laboratuvarda 0.45 mikrometrelik filtre ile filtrelenmiş, katyonların çökelmesini önlemek ve pH değerlerinin 2'nin altına düşürülmesi amacıyla nitrik asit katılarak şişelenmiş ve Bureau Veritas Laboratuvarına SO200 (full cathions) analiz için gönderilmiştir.

Daha sonra gelen analiz sonuçlarına göre kirlilik uç bileşenlerinin nerelerde fazla ya da az olduğu ve yeraltı suyu akım yönüne göre nasıl şekillendiği incelenmiş ve seçilen iki farklı çalışma alanında yorumlanmıştır. Çalışma alanı olarak belirlenen bu bölgelerdeki Kuvaterner alüvyon serbest akifer özelliği göstermektedir ve Büyük Menderes Nehri ile beslenme ilişkisi halindedir.

Çalışma alanı olarak seçilen birinci bölgede Kuvaterner alüvyonda bulunan kuyular Büyük Menderes Nehrini beslemektedir. Ayrıca bu bölgedeki faylardan, Basınçlı Sazak Formasyonunun ve Paleozoyik Menderes Masifi Metamorfiklerinin oluşturduğu akifer sistemlerinden gelen mineralli ve sıcak sulardan başka jeotermal

reenjeksiyon uygulamlarından dolayı Büyük Menderes Nehri yüksek oranda jeotermal kirliliğe maruz kalmakta ve buna bağlı olarak Kuvaterner Alüvyon akifer sistemindeki su kalitesi düşmektedir. Bununla birlikte havzadaki endüstriyel faaliyetler ve foseptik kirliliğinden dolayı yeraltı suyu, kirlilik etkisindedir. Kısaca çalışma alanı olarak seçtiğimiz bölgedeki soğuk su akiferlerinde hem jeotermale bağlı kirlilik, hem de endüstriyel ve insani atık su kaynaklı kirlilik görülmektedir.

Çalışma alanı olarak seçilen ikinci bölgede ise aynı şekilde çalışılan kuyular Kuvaterner Alüvyon üzerinde olup Büyük Menderes Nehri tarafından beslenen kuyulardır. Bu bölgede kuyular, nehirden beslendiği için nehirdeki kirliliğin taşınımını kuyulardan yapılan ölçümlerle tespit etmek mümkün olmuştur.

Elde edilen hidrolik kot verilerinden GIS tabanlı programlarda (SURFER-13, GLOBAL MAPPER-13) Krigging yaklaşımı ile yeraltı suyu izohidrohipsleri ve yeraltı suyu akım yönleri belirlenmiştir. Su kimyası ve dinamiği verileri birlikte yorumlanarak kirlilik- kirlilik taşınımı ve riskli alanlar incelenerek, harita üzerinde farklı doğrultular belirlenerek tek boyutta sürekli girdi için kirlilik taşınımı denklemi çözülmüştür. Tek boyutta klorür için sürekli girdi durumunda kirlilik taşınımı modellenmiştir. Sonra tek boyutlu olarak önümüzdeki yıllarda meydana gelebilecek kirlilik riskleri ve mevcuttaki kirliliğin ne zamandan beri ve nereden geldiği tahmin edilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLOJİSİ

2.1 Jeoloji Tarihçe

Şengör ve Yılmaz (1981)'de Anadolu Levhasının Doğu ve Kuzey Anadolu fayları boyunca batıya itilmesinin sebebini neotektonik dönemde Anadolu ve Arap levhalarının çarpışması olarak açıklanmıştır. Bu itilmeyi yunan makaslama zonunun engellediği, bu yüzden Batı Anadolu'da D- B yönlü bir sıkışma rejiminin geliştiği belirtilmiştir. Çalışmada yazarlar Levant okyanus kabuğunun Anadolu levhası altına girmesinin, Menderes masifi altında bir anateksi zonunun oluşmasına ve asit intrüzyonlarının gelişmesine ve masifin yükselmesine neden olduğunu öne sürmüşlerdir. Yılmaz (2000)'de Batı Anadolu'daki aktif gerilmenin yılda 3-4 cm ile ilerlediğini ve litosferin incelmesi sonucu bölgede jeotermal enerji potansiyelinin arttığını ve bu artışın sismik aktivitelerle desteklendiği savunulmuştur.

2.2 Bölgesel Jeoloji

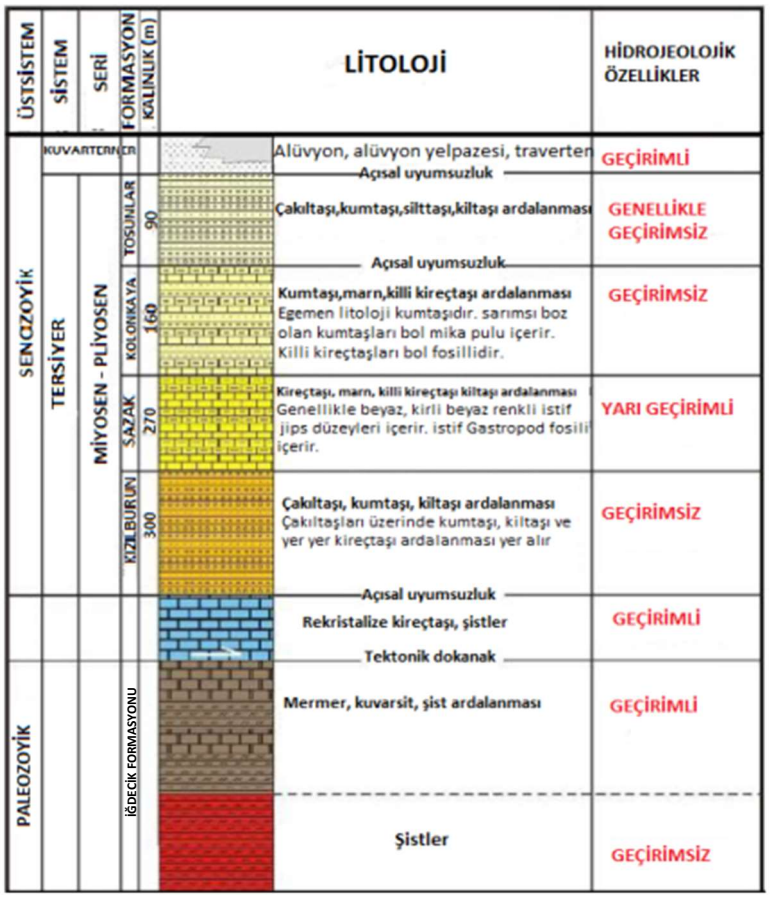
Menderes Masifi, Batı Anadolu'da binlerce km^2 alanı kaplamaktadır. Bu masif, KD-GB uzanımlı, yumurta biçimli bir görünüm sunar. Yaklaşık D-B uzanımlı Büyük Menderes, Küçük Menderes, Gediz ve Simav grabenleri, Masifi dört asmasife bölerler (Dora 1975). Masifin KB kenarı İzmir - Ankara Zonunun ofiyolitik kaya topluluğuyla, güney kenarı ise Toros kuşağı ile sınırlanır. Batı uzantısı Ege Denizi'ndeki Kiklad adalarında gözlenirken, doğuda parçalanarak kalın Neojen örtünün altında kaybolur (Brinkmann 1966).

Gözlü gnays, granitik gnays, bantlı gnays ve migmatitten yapılı gnays birimi bu masifin temelini oluşturur. Hiçbir yerde gnaysın tabanını görmek olası değildir. Görünür kalınlığı 2-3 km' yi bulmaktadır. Gnays biriminin üzerinde uyumlu olarak metavolkanitler yer alır. Son yıllarda gnays birimi ile metavolkanit birimi arasında yer alan, 5 - 300 m kalınlığında bir mavi gözlü gnays düzeyi tespit edilmiştir (Kun ve diğ. 1988). Tespit edilen bu mavi gözlü gnays düzeyinde, fazla miktarda gnayslaşamamış leptit kalıntılarının gözlenmesi, bunların ilkel kayacın leptitler gibi volkanik kökenli olduğunu göstermektedir (Kun ve Candan 1987a). Gri açık pembe renkli olan

metavolkanitler, kötü yapraklanmış, boynuztaşı benzeri kayalardan yapılıdır ve kısmen porfirik doku sunarlar. Bu nedenle kayaların ilksel volkanik karakterleri günümüzde de tanınabilmektedir. Andezitten riyolite kadar değişen bir kimyasal bileşim sunarlar (Kun ve Candan 1987b).

2.3 Stratigrafi

Çalışma alanının basitleştirilmiş sütun kesiti Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1: Çalışma alanının basitleştirilmiş sütun kesiti (UKAM 1994, after Şimşek 1984).

Şimşek (1984)'te bu bölgede alttan üste doğru sırasıyla; Paleozoik yaşlı İğdecik Formasyonu, Kızılburun Formasyonu, Sazak Formasyonu, Kolonkaya Formasyonu, Tosunlar Formasyonu, Kuvaterner Alüvyon-Traverten Birimleri yer aldığını belirtilmiştir. Ayrıca Kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu eğim atımlı normal faylar etkisinde horst-graben tektoniği geliştiğini öne sürülmüştür. Çalışma alanında

Sazak Formasyonu ve Menderes Masifi Metamorfikleri (İğdecik Formasyonu) jeotermal suların rezervuar özelliğini gösterirken, alüvyon soğuk suların haznesini oluşturur. Menderes Masifine ait şistler, Kolonkaya, Kızılburun ve Tosunlar Formasyonları geçirimsiz taban kayacı ve örtü kayacı rolü üstlendiğini belirtilmiştir. (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Yenicekent mevkiindeki Menderes Masifine ait şistlerin görünümü.

2.3.1 İğdecik Formasyonu (Menderes Masifi Metamorfikleri)

Şimşek (1984)'te paleozoyik yaşlı olan bu formasyonun gnays, kuvarsit, kalkşist, klorit ve muskovitşistlerden oluştuğu ve bu formasyonun Çubukdağ, Kabaağaç, Gökdere Kışevleri, Orta Mahalle ve Meskan Bağları dolaylarında görüldüğü tespit edilmiştir.

Şengün (2011)'de Neojenden daha eski temel kayaların, Çürüksu vadisini kuzeyden ve güneyden çevreleyen dağlık alanlarda yüzeyi kapladığını, bu dağlık alanlar horst alanları olduğunu, Çürüksu havzasında şist, mermer ve örtü birimlerinin yaygın olduğunu belirtilmiştir.

Menderes Masifinin Yenicekent'ten bir görünümü Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3: Menderes Masifinin Yenicekent'ten görünümü.

2.3.2 Kızılburun Formasyonu

Şimşek (1984)'te bu birimin Alt Pliyosen yaşlı olduğu tespit edilmiştir. Menderes Masifi üzerine diskordansla gelen, tabanda çakıltaşı, üste doğru kumtaşı-kiltaşı ardalanmasından oluştuğu, yer yer killi kireçtaşı ve marnlarla birlikte kömür mercekleri içerdiği ve Buldan Horstu üzerinde, Bostan yeri, Orta Mahalle, Kızılburun, İğdecik, Bölmekaya ve Aktepe dolaylarında mostra verdiğini ileri sürülmüştür.

Göktaş (1990)'da Kızılburun Formasyonunun üstlerinde tane boyu incelmekle birlikte karbonat miktarının arttığını belirtilmiştir.

Ayrıca Gürel (1997)' de formasyonun kalınlığının 250- 300 metre arasında olduğunu belirtilmiştir.

Çalışma alanında Kızılburun Formasyonuna ait görünüm Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4: Yenicekent Kanalyolu mevkiinde Kızılburun Formasyonuna ait görünüm.

2.3.3 Sazak Formasyonu

Şimşek (1984)'e göre, Alt Pliyosen yaşlı, başlıca kireçtaşı, marn, silttaşı, kiltaşı ve diyatomitten oluşan Sazak Formasyonu, alttaki Kızılburun Formasyonu ile düşey geçişlidir. Bu istif Sazak, Aktepe, Kızıldere jeotermal alanında, İntepe, Kayalıburun, Bozalan, Taşlı Tepe ve Narlıdere dolaylarında mostra vermektedir.

Özler (1996)'da bu formasyon en altta kiltaşı, kumtaşı ve konglomera ardalanması, silisifiye marn, sarımsı marn ve gölsel kireçtaşlarından oluştuğu belirtilmiştir.

Taner (1974)'te bu formasyonun karbonat çökellerinin fazla olduğu bir göl ortamında çökeldiğini öne sürülmüştür.

2.3.4 Kolonkaya Formasyonu

Şimşek (1984)' e göre, genellikle kumtaşı-marn ardalanmasından oluşan birim, alttaki Sazak Formasyonu ile dereceli geçişli olup, geçiş zonunda kılavuz katman niteliğinde killi kireçtaşı ve kireçtaşı düzeyleri görülür. İstifte yer yer jipsli düzeyler de bulunur. Alt Pliyosen yaşlı bu birim Kızıldere jeotermal alanında, Kolonkaya, Halayık Gölü, Tekke Hamamı ve Örenli Mevkii dolaylarında ayrıca Gediz Grabeninde geniş alanlar kaplar.

Topal (2006)'da bu formasyonun marn, silttaşı, çakıllı kum ve zayıf tutturulmuş kumlardan oluştuğu, Kolonkaya Formasyonun tipik olarak fan delta özelliklerini yansıttığı, özellikle orta taneli kumlar, silttaşları ve marnlar içerisinde çok sayıda yumuşak- çökel deformasyon yapısına rastlandığı ileri sürülmüştür.

Şengün (2011)' de ise Kolonkaya Formasyonunun Yenicekent'te Kale Tepe çevresinde yayılım gösterdiğini belirtilmiştir.

Kolonkaya ve Sazak Formasyonlarının Gölemezli mevkiinden bir görünümü Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5: Kolonkaya ve Sazak Formasyonlarının Gölemezli mevkiinden görünümü (Şengün 2011).

2.3.5 Tosunlar Formasyonu

Şimşek (1984)'e göre, Kuvaterner yaşlı bu birim, alacalı kırmızı ve sarımsı çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı ve kireçtaşından oluşmuştur. Kendinden yaşlı tüm birimleri açısal uyumsuzlukla örter. Graben ve horstları oluşturan büyük atımlı faylarla birlikte gelişmiştir. İstif, Buldan jeotermal alanının güneydoğusunda, Tosunlar köyü kuzeybatısında, İmamdağı, Softalar köyü dolaylarında mostra verir.

Şengün (2011)' e göre, çakıl taşının bileşenleri şist, kuvarsit, gnays, mermer, mesozoyik kireç taşları ve Kızılburun, Sazak ve Kolonkaya Formasyonlarına ait çakıllar ve bloklardır.

Gökgöz (1998)'de bu birimin belli başlı özelliklerinin, düşük kotlarda bulunması, az pekişmiş ve dayanımsız olması, belirsiz katmanlanma sunması olduğu ve katmanların çoğunlukla yatay durumda olup kalınlıkların 90 cm civarında olduğu belirtilmiştir.

Şimşek (1984)' e göre bu formasyon horst ve grabenlerin oluşmasına neden olan büyük atımlı faylarla birlikte gelişmiştir. Tosunlar Formasyonunu oluşturan katmanlarda bulunan iri blok ve çakıllar, eski topoğrafyadan havzaya çok yakın yükseklikten taşınmış olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanından Tosunlar Formasyonuna ait görünüm Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6: Ahmetli Köyü ve Tosunlar Köyü arasında Tosunlar Formasyonuna ait görünüm.

2.3.6 Alüvyon

Şimşek (1984)' e göre Kuvaterner yaşlı, tutturulmamış, çakıl, kum, silt ve kilden oluşan alüvyon, Büyük Menderes, Gediz, Çürüksu ve Buldan çayları boyunca geniş alanlar kaplar. Derelerin grabenlerdeki düzlüklere açıldığı yerlerde geniş alüvyon yelpazeleri gelişmiştir. Bölgedeki yüksekliklerden ve fay şevlerinden aşındırılan gereçler yamaçlarda kısmen birikmiştir. Kuvaterner yaşlı bu yamaç

molozları, genellikle gevşek tutturulmuş, çok iri bloklu, çakıllı, kumlu, siltli ve killi gereçlerden oluşmuştur.

Çalışma alanında yani Yenicekent civarında Büyük Menderes Nehri'nin her iki tarafında da bulunmaktadır ve değişik kalınlıklardadır. Alüvyonun kalınlığı yaklaşık 100- 150 m civarındadır.

2.3.7 Traverten

Şimşek (1984)'e göre Kuvaterner yaşlı, başlıca $CaCO_3$ bileşimli olan travertenler en yaygın olarak Yenice, Tekkehamam ve Kızıldere sıcak su kaynakları dolaylarında görülür. Yenice dolayında Kamara ve Yenice ılıcaları çevresindeki travertenlerde çok ince demiroksit ve silisyumdioksit bantları görülür. Kısıkkaya Mevkiinde tarihsel dönemlerde çıkartılan travertenler, antik Tripolis kentinin tüm yapılarında yapı taşı olarak kullanılmıştır. Travertenler bugün de yapı taşı olarak kullanılmaktadır.

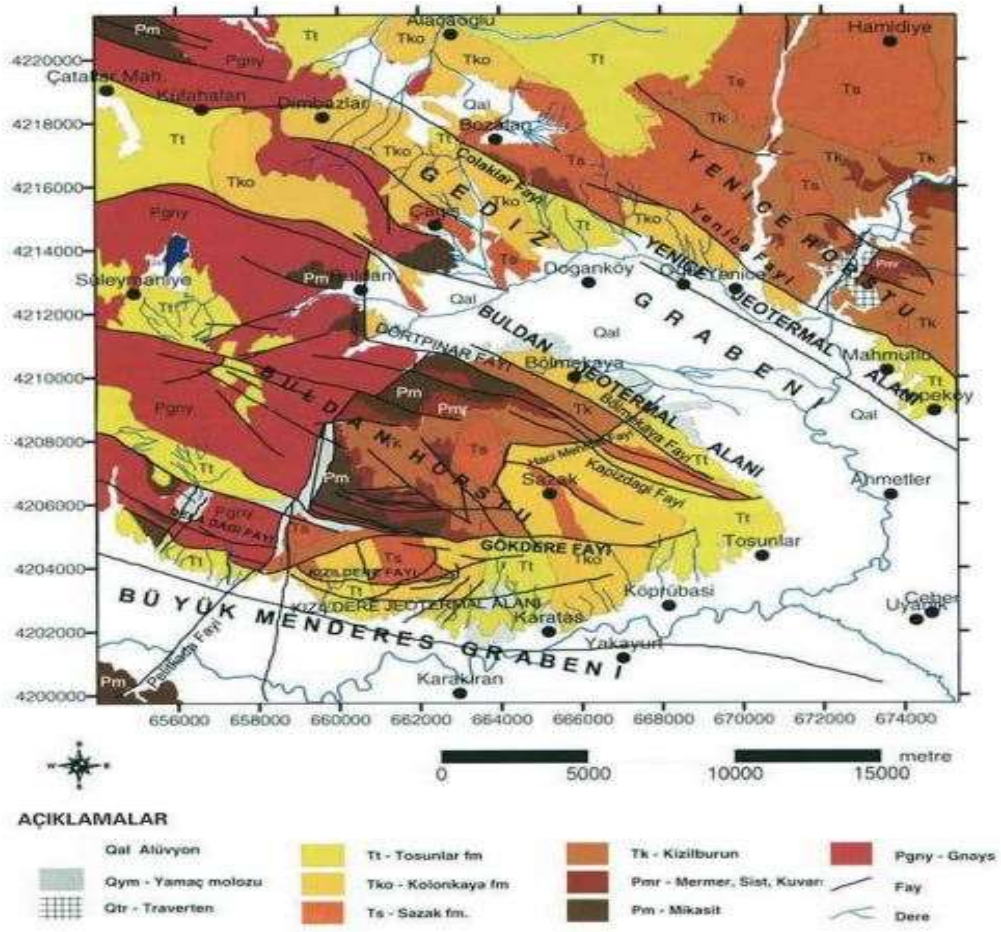
2.4 Yapısal Jeoloji

Bölgede güneyden kuzeye doğru; Babadağ Horstu, Büyük Menderes Grabeni, Buldan Horstu, Gediz Grabeni ve Yenice horstu sıralanır.

Şimşek (1984)'te şu sonuçları elde edilmiştir; Bölgede en genç ve en önemli faylar, Pliyosen ve sonraki dönemlerde yöreyi etkileyen tansiyon kuvvetlerinin neden olduğu horst ve grabenleri sınırlayan ve aktif olan faylardır. Bu faylar ve oluşturdukları Büyük Menderes ve Gediz Grabenleri ile Buldan ve Yenice Horstlarıdır. Büyük Menderes Grabeni, Denizli'den başlayıp Ege Denizi'ne kadar uzanır. Yaklaşık 200 km uzunluğa ve 10- 30 km genişliğe sahiptir. Kuzeyden Buldan Horstu ve güneyden Babadağ Horstu ile sınırlandırılmıştır. Kuzey sınırı Dela Dağı, Kızıldere ve Gökdere Faylarından oluşan bir kırık sistemi tarafından kontrol edilen graben, Pliyosen ve Kuvaterner çökelleri tarafından doldurulmuştur. Gediz Grabeni, Kemalpaşa, Turgutlu, Salihli, Alaşehir doğrultusunda doğuya doğru uzanır. Bir kolu Sarıgöl üzerinden bir kolu Buldan'a geçer. Güneyde Bölmekaya Fayı, kuzeyde İse Yenice Fayı tarafından

sınırlanmıştır. Yaklaşık 7 km genişliğindeki Gediz Grabeninde korunan Pliyosen yaşlı istif doğuya doğru kalınlaşır. Buldan Horstu, büyük atımlı fayların Kuvaternerde oluşturduğu D-B ve KKB- GGD uzanımlı yükseltidir. Buldan horstunda bölgedeki en yüksek tepeler mevcuttur. Bölgede Buldan Horstunun güneyinde D-B doğrultulu faylar, Büyük Menderes Grabenine doğru Kızıldere, Gökdere ve Dela Fayları, Buldan Horstunun kuzeyinde ise KB-GD doğrultulu Kapızdağı, Bölmekaya, Dörtpınar Fayları ve bunlara paralel birçok ikincil faylar saptanmıştır. Ayrıca ana faya dik olarak gelişmiş Hacımehmet ve Buldan Fayları mevcuttur. Yenice Horstu, Gediz Grabeninin kuzeyinde BKB-DGD doğrultulu eski temele ait kaya türlerinin görüldüğü yükseklikliklerdir. Yenice Horstunda sıcak su kaynakları ve travertenler oluşmuştur. Çolaklar ve Yenice Fayları horstu uzun mesafeler boyunca güneyden çevreler.

Buldan ve çevresi jeoloji haritası Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7: Buldan ve çevresi jeoloji haritası (Yalçın ve diğ. Şimşek 1982'den değiştirerek yayımlamıştır 2016).

3. HİDROJEOLOJİ

3.1 Su Kimyası

Yeraltı suları geçtiği bölgelerin mineralojik ve kimyasal özelliklerini bünyesinde taşır. Yeraltına süzülen sular geçtiği bölgelerdeki kayaç ve mineralleri çözmeye başlar ve bu çözünme, minerallerin su içinde denge konsantrasyonlarına erişinceye veya tükeninceye kadar devam eder.

3.1.1 Yeraltı Sularının Anyon, Katyonları ve Genel Kimyasal Özellikleri

3.1.1.1 Sudaki Anyon ve Katyonlar

3.1.1.1.1 Sodyum (Na^+) ve Potasyum (K^+)

Sodyum klorür suda kolay çözülür ve doğada bol miktarda bulunur. Bu yüzden yeraltı sularında Na^{+2} görülmektedir. Sodyum iyonunun insanlar üzerinde negatif bir etkisi yoktur fakat yüksek tansiyon hastalığı olan kişilerin fazla sodyum iyonu içeren suları içmemesi önerilir (Soyaslan 2004).

K^+, doğada feldispatlarda, killerde ve mikalarda bulunur. İçme ve kullanma sularında 0,3 ile 2,8 ppm değerleri arasındadır.

3.1.1.1.2 Kalsiyum (Ca^{+2})

Yeraltı sularında kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, albit, amfibol, piroksen gibi minerallerin bozulmasıyla ortaya çıkar. Yeraltı sularında 1 ile 1000 ppm'e kadar değişik oranlarda bulunabilir.

3.1.1.1.3 Magnezyum (Mg^{+2})

Yeraltı sularındaki Mg^{+2}'nin en büyük kaynağı dolomitlerdir. Magmatik ve metamorfik kayaçlarda talk, serpantin, amfibol, mika, olivin gibi mineraller magnezyum kaynaklarıdır (Erguvanlı ve Yüzer 1987).

3.1.1.1.4 Sülfat (SO_4^{-2})

Jips ve anhidrit, yeraltı sularındaki sülfatın en büyük kaynağıdır. Sudaki sülfat tarımsal arazilerdeki toprağın tozunu arttırır. İçme sularındaki sülfat değeri maksimum 250 ppm olmalıdır. Sulama sularında ise 250 ppm' e kadar olması bitkiler için faydalıdır (Erguvanlı ve Yüzer 1987).

3.1.1.1.5 Karbonat ve Bikarbonat (CO_3^{-2} ve HCO_3^{-})

Yeraltı sularında bulunan karbonat ve bikarbonatlar, karbonatlı kayaçların çözünmesinden, topraktaki ve havadaki karbondioksitten meydana gelmektedir. Bikarbonat iyonu sulama suları için yararlıdır fakat fazla olursa kirece neden olur (Erguvanlı ve Yüzer 1987).

3.1.1.1.6 Klorür (Cl^{-})

Yeraltı sularındaki klorürün kaynağı çok çeşitlidir. Atmosferden gelebileceği gibi deniz ve yağmur sularından da gelebilir. 700 ppm değerine kadar içme sularında bir zarar teşkil etmez.

3.1.1.2 Diğer Kimyasal Özellikler

pH: Sudaki hidrojen iyonu konsantrasyonunun 10 tabanına göre negatif logaritmasıdır. pH değeri 7 olan sular nötr olarak tanımlanır. Genellikle yeraltı

sularının pH değeri 7'nin altında ve asit özelliği olan sulardır. Yüzey sularının ise pH değeri genellikle 8 ve üzeri değerler almakla birlikte bazik özellikteki sulardır.

Sertlik: Suda çözünmüş olarak bulunan Ca ve Mg bileşiklerinden kaynaklanan bir özelliktir. Kalsiyum ve magnezyum bikarbonatları, suya geçici sertlik verir. Klorür, nitrat, sülfat, fosfat ve silikatların bikarbonatları ise suya kalıcı sertlik verir.

EC (Elektriksel iletkenlik): + 25 C^0'deki 1 cm^3 suyun iletkenliği olarak ifade edilir. Suyun iletkenliği; iyonların cinsine, toplam derişimine, hareketliliğine ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. Sudaki iyonların derişimi arttıkça elektriksel iletkenliği de artar.

Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR): Bu parametre sulama suları için önemlidir. Sudaki sodyum miktarı toprağın geçirgenliğini azaltır ve sulamadan sonra toprak üzerinde kaymak şeklinde tabakanın oluşmasına neden olur. Bundan dolayı bitkiler için zehirli bir ortam oluşur (Şahinci 1991). SAR değeri 3.1 eşitliği ile hesaplanır (Richard 1954).

$$SAR = Na/\sqrt{\frac{Ca+M}{2}} \qquad (3.1)$$

Sodyum iyon yüzdesi (% Na): Bu parametre de sulama suları için önemli bir parametredir. Sudaki sodyum oranındaki artış, topraktaki kalsiyum ve magnezyum baz değişimine neden olur. Sodyum iyon yüzdesi 3.2 eşitliği ile hesaplanır.

$$\% \text{ Na} = [(Na^+)/(Na^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^+)] \text{ x } 100 \qquad (3.2)$$

3.1.1.3 Çalışmada Kullanılan Numunelere Ait Analiz Sonuçları

Numunelere ait su kodu, statik seviye, dinamik seviye, kuyu derinliği ve pompa derinliği değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Numunelere ait su kodu, statik seviye, dinamik seviye, kuyu derinliği ve pompa derinliği değerleri.

NUMUNE	Su Kodu (m)	Statik. Sev (m)	Din. Sev. (m)	Kuyu der.(m)	Pompa Der. (m)
TGRL-1	202,00	34,00	56,00	100	100
TGRL-2	144,00	2,00	8,00	60	14
TGRL-3	146,00	25,00	40,00	105	55
TGRL-4	164,00	1,00	3,00	14	14
TGRL-5	168,00	2,00	5,00	15	15
TGRL-6	163,00	2,00	5,00	15	15
TGRL-7	167,45	2,00	6,00	20	18
TGRL-8	323,00	10,00	18,00	36	34
TGRL-9	162,55				
TGRL-10	163,00	5,00	12,00	20	18
TGRL-11	164,50	3,00	11,00	40	37
TGRL-12	165,00	5,00	13,00	50	47
KYC-1	87,20	23,80	30,00	100	60
KYC-2	84,03	11,97	27,00	110	50
KYC-3/60181	80,12	0,80	17,10	136	40
KYC-4	79,55	32,45		120	60
KYC-5	84,00	18,00	24,00	132	55
KYC-6/60038	76,20	30,80	47,12	100	68
KYC-7/60039	75,50	12,50	24,00	110	40
KYC-8					
KYC-9	57,40	2,60			3
KYC-10					
KYC-11					
KYC-12					
KYC-13					
KYC-14					
49316	170,00	28,00	41,00	60	50
62622	131,84	6,16	22,38	100	40
62620	159,00	12,50	21,40	90	45
62618	144,73	4,27	18,00	100	
62861	137,83	11,17	25,40	180	
42188-ARTEZYEN		0,30	41,60	100	
62621	295,00	50,00	62,00	220	100
62619	140,70	11,00	18,00	120	51
41592	143,40	4,05	5,45	100	80
DESKİ KUYUSU	158,50	21,00	30,00	120	50
55054	89,00	26,00	32,92	100	80
60044-ARTEZYEN		25,00		100	
60041	82,70	31,30	36,50	100	70
60048	49,30	46,70	55,30	100	80
60051	46,70	45,30	59,15	148	100
60179	83,37	10,63	13,90	100	70
60180	87,48	20,52	63,92	100	60

Numunelere ait pH, debi, Eh, sıcaklık ve EC değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Numunelere ait pH, debi, Eh, sıcaklık ve EC değerleri.

NUMUNE	pH	DEBİ(lt/sn)	Eh (mV)	SICAKLIK (C°)	EC (µS/cm)
TGRL-1	6,48	12,00	20	20,6	1109
TGRL-2	6,95	14,00	-2	20,5	1438
TGRL-3	7,11	20,40	-2	20,9	1225
TGRL-4	7,45	24,47	-20	17,3	990
TGRL-5	7,18	11,45	-25	18,0	1045
TGRL-6	7,44	16,45	-20	19,5	1128
TGRL-7	7,30	14,01	-15	18,6	1143
TGRL-8	7,50	22,00	-18	19,1	1023
TGRL-9	7,82		-42	15,6	938
TGRL-10	7,49	15,70	-26	19,7	1188
TGRL-11	7,83	18,40	-33	20,8	853
TGRL-12	7,68	11,78	-40	22,0	715
KYC-1	6,50				1140
KYC-2	6,70				955
KYC-3/60181	7,70	40,00			850
KYC-4	7,02				1077
KYC-5	7,12				1110
KYC-6/60038	6,95				990
KYC-7/60039	6,86				1280
KYC-8	6,80				947
KYC-9	6,70				1200
KYC-10					319
KYC-11					322
KYC-12					5800
KYC-13					991
KYC-14					988
49316	7,30	12,66		20,1	1050
62622		1,00			
62620	7,05	6,00			1105
62618	7,40	5,00		19,0	4110
62861	7,40	12,00		20,0	832
42188-ARTEZYEN	7,10	2,00			
62621	7,40	3,00		23,0	1252
62619	8,00	13,00		22,0	2400
41592	7,20	50,08		19,0	1155
DESKİ YENİCEKENT	7,10	20,00			
55054	7,40	60,35			990
60044-ARTEZYEN	7,78	50,00			960
60041	7,39	57,00			1311
60048					1210
60051					1117
60179		64,00			1000
60180	7,30	10,00			1563
TSE 266 (Tavsiye Edilen-Maks. İzin Verilen)	6,5-8,5			12-25	400-2000

Numunelere ait Ca, Mg, Na, Cl, K, SO_4 ve HCO_3 konsantrasyonları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: Numunelere ait Ca,Mg, Na, Cl, K, SO_4 ve HCO_3 konsantrasyonları.

	Ca	Mg	Na	Cl	K	SO4	HCO3
	kalsiyum	magnezyum	sodyum	klorür	potasyum	sülfat	bikarbonat
NUMUNE	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
TGRL-1	129,4	59,2	33,5	28	14	219	951,1
TGRL-2	151,6	101,3	32,6	27	11,5	192	512,3
TGRL-3	155,5	65,5	29	34	10,6	129	333,5
TGRL-4	124,9	44,9	66,2	49	6,0	162	437,0
TGRL-5	116,2	47,1	84,1	63	7,1	174	622,2
TGRL-6	126,2	51,2	94,9	65	8,1	234	397,6
TGRL-7	133,5	49	84,2	58	7	201	660,6
TGRL-8	113,9	63,2	37,2	35	8,3	123	670,2
TGRL-9	84,7	38,4	81,3	58	8,6	147	1442,1
TGRL-10	146,0	54,7	73	50	6,6	237	190,2
TGRL-11	103,9	38,8	53,4	39	4,3	123	183,9
TGRL-12	77,2	28,4	49,8	35	3,9	105	2968,7
KYC-1	307,3	91,4	178,1	132	25,7	579	388,2
KYC-2	175,1	47	98,9	59	11	345	383,5
KYC-3/60181	69,4	54,9	50,6	18	9,2	216	479,4
KYC-4	96,5	75,6	55,4	45	13,5	261	791,1
KYC-5	166,3	113,3	179,2	119	19,8	600	678,3
KYC-6/60038	88,1	51,6	33,5	19	8,2	159	503,7
KYC-7/60039	197,1	113,7	166,7	119	11,6	609	498,5
KYC-8	180,0	99,7	176,3	133	12,8	507	499,8
KYC-9	238,0	153	227,3	177	142,1	456	535,6
KYC-10	49,4	13,3	6,6	4	2,2	33	563,5
KYC-11	48,5	12,7	6,4	4	2,2	33	396,1
KYC-12	4,7	<1	1268		111	186	540,0
KYC-13	104,7	66,5	17,9	13	14,3	249	439,0
KYC-14	103,1	67,6	17,3	13	14,4	252	324,3
49316				14,2			
62622				24,4			
62620				38			
62618				3,1			
62861				0,46			
42188-ARTEZYEN							
62621				0,65			
62619				2,42			
41592				60,3			
DESKİ YENİCEKENT				40,1			
55054				42			
60044-ARTEZYEN				31,9			
60041				53,2			
60048				120			
60051				92			
60179				55			
60180				71			
TSE 266 (Tavsiye Edilen-Maks. İzin Verilen)	100-200	30-50	20-175	25-600	10-12	25-250	

Numunelere ait As, B, Li, P, Sb, Sr ve SiO_2 konsantrasyonları Tablo 3.4'te verilmiştir.

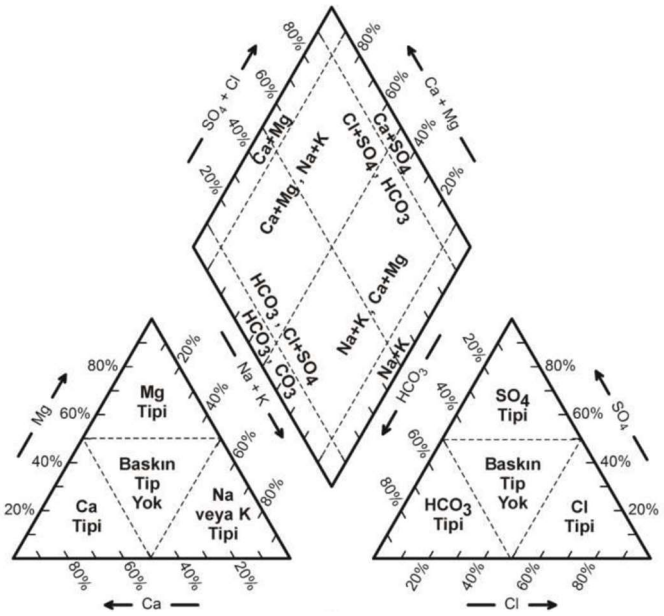
Tablo 3.4: Numunelere ait As, B, Li, P, Sb, Sr ve SiO_2 konsantrasyonları.

	As	B	Li	P	Sb	Sr	SiO2
	arsenik	bor	lityum	fosfor	antimon	strontiyu	silisyum
NUMUNE	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
TGRL-1	0,0049	0,14	0,027	0,019	0,00009	2,9	26,835
TGRL-2	0,0024	0,04	0,030	0,013	0,00022	2.9	37,723
TGRL-3	0,0006	0,05	0,020	0,012	0,00008	1,8	30,82
TGRL-4	0,0024	0,19	0,026	0,02	0,00028	1,2	26,09
TGRL-5	0,0033	0,24	0,032	0,025	0,00041	1,2	20,76
TGRL-6	0,0050	0,26	0,034	0,032	0,00037	1,4	25,17
TGRL-7	0,0017	0,26	0,035	0,019	0,0005	1,4	22,96
TGRL-8	0,0091	0,15	0,041	0,031	0,00011	2,6	55,82
TGRL-9	0,0219	0,22	0,034	0,235	0,00066	1,2	17,60
TGRL-10	0,0038	0,22	0,031	0,044	0,0002	1,5	32,56
TGRL-11	0,0021	0,15	0,020	0,0280	0,00032	0,9	19,49
TGRL-12	0,0020	0,14	0,018	0,044	0,00031	0,7	19,35
KYC-1	0,0012	0,75	0,020	0,064	0,00017	0,8	25,30
KYC-2	<0,0005	0,46	0,006	0,028	0,0001	0,3	19,46
KYC-3/60181	0,0129	0,18	0,018	0,119	0,00012	0,6	34,71
KYC-4	0,0010	0,11	0,013	0,037	<0,00005	0,3	17,55
KYC-5	0,0012	0,63	0,028	0,039	0,00005	0,6	20,88
KYC-6/60038	0,0018	0,04	0,012	0,0064	0,0001	0,4	26,84
KYC-7/60039	0,0016	0,71	0,023	0,074	0,00013	0,6	27,17
KYC-8	0,0023	0,73	0,053	0,093	0,00013	1	29,84
KYC-9	0,0068	1,41	0,053	0,163	0,0022	2,7	35,65
KYC-10	<0,0005	0,01	0,002	0,049	0,00011	0,2	15,90
KYC-11	0,0006	0,02	0,002	0,511	0,0001	0,2	15,45
KYC-12	<0,3	40,59	5,742	<4000	<2	352	
KYC-13	0,0009	0,03	0,016	0,019	0,00009	0,6	13,63
KYC-14	0,0005	0,03	0,014	0,038	0,00005	0,6	13,84
49316							
62622							
62620							
62618							
62861							
42188-ARTEZYEN							
62621							
62619							
41592		0,800					
DESKİ YENİCEKENT							
55054							
60044-ARTEZYEN							
60041							
60048							
60051							
60179							
60180							
TSE 266 (Tavsiye Edilen-Maks. İzin Verilen)		1-2		0,4-5			

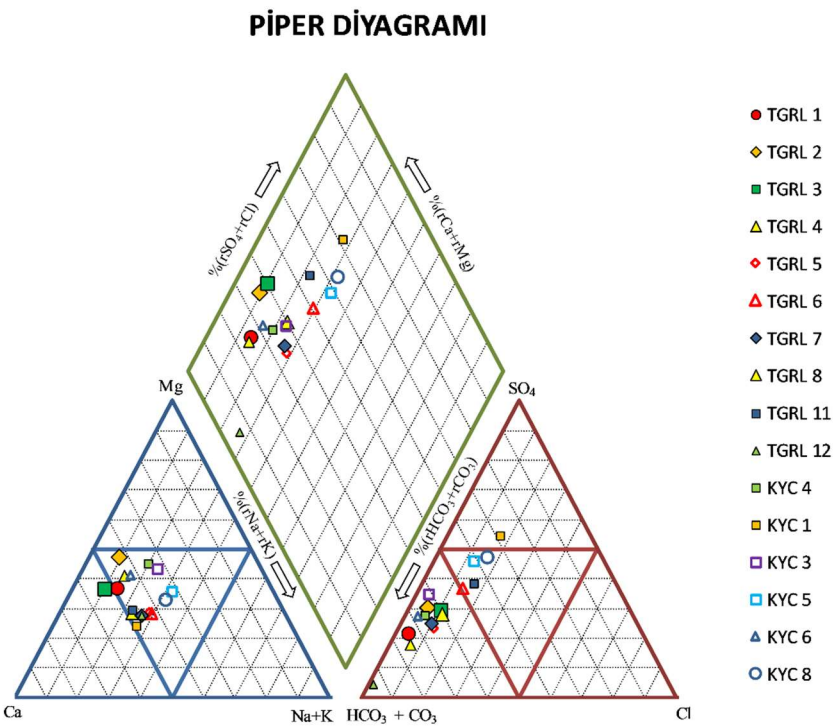
3.1.2 Yeraltı Sularının Kimyasal Sınıflaması

3.1.2.1 Piper (1944)'e Göre Kimyasal Sınıflama

Piper diyagramı, anyonlar için bir eşkenar üçgen, katyonlar için bir eşkenar üçgen ve bunlarla birlikte bir paralel kenardan oluşmaktadır. Anyon ve katyon değerleri meq/l cinsine çevrilerek ayrı ayrı üçgen diyagramına işaretlenir. Her iki üçgendeki değerler paralel kenar üzerinde kesiştirilerek suların Piper diyagramına göre sınıflaması yapılır.



Şekil 3.1: Piper Diyagramına göre suların sınıflandırılması (Back 1961).



Şekil 3.2: Çalışmada kullanılan su örneklerinin Piper'e göre kimyasal sınıflaması.

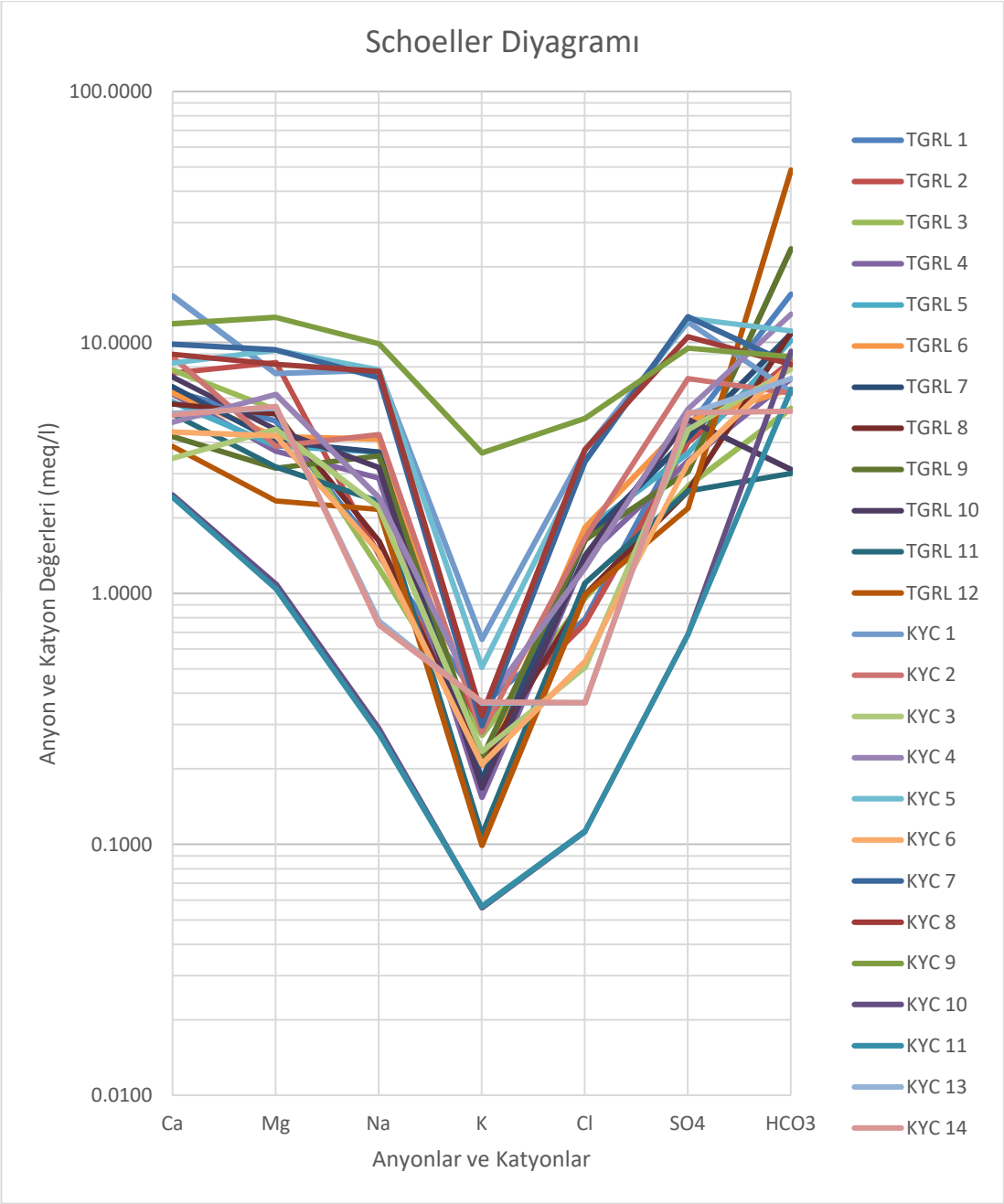
Piper diyagramında görüldüğü üzere sular, baskın tip olmamakla birlikte Ca+Mg-HCO3'lü sular sınıfında yer almaktadır. Yani suların kimyasal bileşiminde karbonatlı kayaçların etkili olduğu söylenebilir.

3.1.2.2 Schoeller (1955)' e Göre Suların Sınıflanması

Schoeller suları, klorür, sülfat, karbonat, kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyum oranlarına göre sınıflama yapmıştır. Piper'de olduğu gibi her bir iyonun meq/l cinsinden değeri hesaplanır ve Piper'den farklı olarak yarı logaritmik kağıtta işaretlenir.

Tablo 3.5: Schoeller (1955) klorür, sülfat ve karbonat miktarlarına göre suların sınıflaması.

	Klorür Miktarı		Sülfat Miktarı		Karbonat Miktarı
Hiperklorlu Sular	>700 mek/l	Hiposülfatlı Sular	>58 mek/l	Hiperkarbonatlı Sular	<7 mek/l
Klorotalastik Sular	420-700 mek/l	Sülfatlı Sular	24-58 mek/l	Normal Karbonatlı Sular	2-7 mek/l
Klorürce Zengin Sular	140-420 mek/l	OligoSülfatlı Sular	6-24 mek/l	HipoKarbonatlı Sular	<2 mek/l
Orta Klorürlü Sular	40-140 mek/l	Normal Sülfatlı Sular	<6 mek/l		
Oligoklorürlü Sular	15-40 mek/l				
Normal Klorürlü Sular	<15 mek/l				



Şekil 3.3: Çalışmada kullanılan su örneklerinin Schoeller'e göre kimyasal sınıflaması.

Schoeller'e göre yapılan sınıflamada, çalışma alanlarındaki sular; klorür derişimine göre ‘‘normal klorürlü sular’’, sülfat miktarına göre ‘‘oligo sülfatlı sular’’ sınıfında yer almaktadır. Karbonat ve bikarbonat derişimi olarak ise ‘‘hiperkarbonatlı sular’’ sınıfında yer almaktadır.

3.1.3 Suların İçilebilirlik Özellikleri

İçme suyu olarak kullanılabilecek suların bazı kriterlerinin olması gerekmektedir. Türkiye'de TSE tarafından belirlenen içme suyu standartları ve WHO tarafından da geliştirilen içme suyu standartları Tablo 3.6'da verilmiştir. Buna göre çalışma alanlarında incelenen sulardaki değerler TSE-266 ve WHO' nun içme suyu standartları ile karşılaştırıldığında KYC-7 ve KYC-9 numuneleri hariç müsaade edilir değerlerin altında kalarak ''içilebilir sular'' sınıfına girdiği görülmektedir.

Tablo 3.6: TSE-266 ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) İçme suyu standartlarının tavsiye edilen ve maksimum izin verilen değerleri.

PARAMETRE	BİRİM	TSE-(266)		WHO	Alınan Örneklerin Min-Max Değerleri
		Tavsiye Edilen	Maksimum İzin verilen		
FİZİKOKİMYASAL ÖZELLİKLER					
Sıcaklık	^{0}C	12	25	-	15,6-23
pH		6,5	8,5	-	6,48-8
İLETKENLİK	µs/cm	400	2000	-	319-4110
KLORÜR	mg/l	25	600	250	0,46-177
SÜLFAT	mg/l	25	250	250	33-609
KALSİYUM	mg/l	100	200	-	4,7-307,28
MAGNEZYUM	mg/l	30	50	-	12,71-113,7
SODYUM	mg/l	20	175	200	6,36-227,29
POTASYUM	mg/l	10	12	-	2,19-142,11
SAĞLIĞA ve/veya İÇİLEBİLME ÖZELLİĞİNE ETKİ EDEN MADDELER					
AMONYAK	mg/l	0,05	0,5	1,5	---
NİTRAT	mg/l	25	50	50	---
NİTRİT	mg/l	-	0,1	0,2	---
ALÜMİNYUM	µg/l	50	200	200	1-170
BOR	µg/l	1000	2000	500	11-1405
MANGAN	µg/l	50	200	50	0,4-2990
BAKIR	µg/l	100	3000	2000	1-8-26,2
ÇİNKO	µg/l	100	5000	3000	7-52
FOSFOR	µg/l	400	5000	-	6,4-511
FLORÜR	µg/l	-	1500	1500	---
BARYUM	µg/l	100	300	700	26-137
ZEHİRLİ TOKSİK MADDELER					
KADMİYUM	µg/l	-	5	3	0,01-0,28
KROM	µg/l	-	50	50	0,4-6,6
NİKEL	µg/l	-	50	20	0,7-48,6
KURŞUN	µg/l	-	10	10	0,1-1,2
RADYOAKTİF BİLEŞENLER					
Alfa Aktivitesi	Bq/l	0,037	0,037	0,1	-
Beta Aktivitesi	Bq/l	0,37	0,037	1	-
Alfa Aktivitesi	Bq/l	0,037	0,037	0,1	-

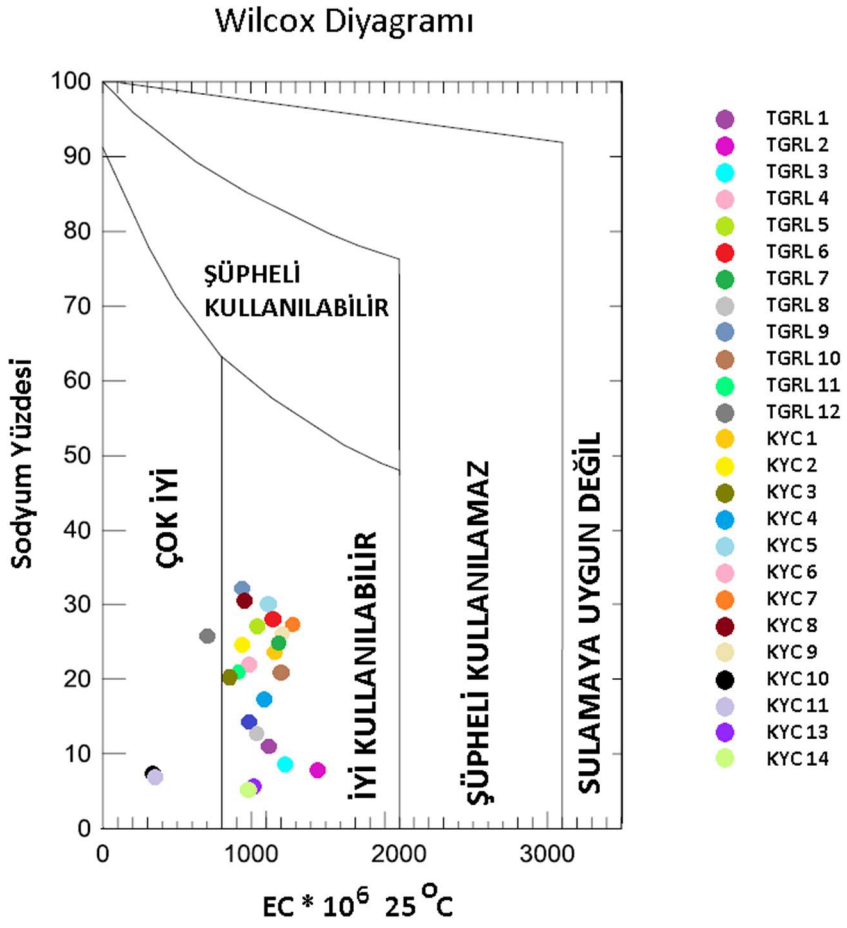
3.1.4 Suların Kullanılabilirlik Özellikleri

Tarımsal amaçlı sulamada kullanılan suların içindeki çözünmüş fazla miktardaki iyonlar, bitkilere ve toprağa zarar verebilir. Bunun için tarımsal amaçlı olarak kullanılan suyun bazı kriterlerinin olması gerekir. Çalışma alanlarındaki örnek

aldığımız suların tarımsal sulamaya uygun olup olmadığını belirlemek amacıyla Wilcox diyagramları metoduyla sınıflandırma yapılmıştır.

3.1.4.1 Wilcox Diyagramı

Wilcox diyagramında tarımsal sulama suları, çok iyi, iyi kullanılabilir, şüpheli kullanılabilir, şüpheli kullanılamaz ve sulamaya uygun olmayan sular olarak sınıflandırılır. Diyagramda kullanılan parametreler yüzde sodyum oranı ve elektriksel iletkenliktir.



Şekil 3.4: Çalışmada kullanılan su örneklerinin Wilcox diyagramı ile sulama suyu sınıflaması.

Yukarıdaki diyagramda görüldüğü gibi çalışma alanlarından alınan su numuneleri sulama suyu olarak ‘‘iyi kullanılabilir’’ sınıftadır.

3.2 Su Kalitesi ve Yeraltı Suyu Kirlenmesi

İçtiğimiz ve evlerimizde kullandığımız suyun kalitesi ne kadar önemliyse nehirler ve denizlerdeki suyun kalitesi de o kadar önemlidir. Suyun kalitesi terimi suyun kullanım alanına göre belirlenir. Örneğin içme suyu olarak kullanılacak suyun aşırı kireçli olması istenmezken şeker fabrikalarında şekerin üretimi esnasında kullanılacak suyun aksine kireçli olması istenir. Suyun bünyesinde çözünmüş olarak bulunan çözünenler ve suyun içinde çözünmeden bulunan maddeler suyun kalitesini belirler. Doğada ister yüzey suyu olsun isterse yeraltı suyu olsun su, geçtiği yerlerin minerallerini bünyesinde taşır. Bu olaya suyun "Akım Yollu Evrimi" denir. Bunun dışında yani suyun doğal fiziksel ve kimyasal etkileşiminin yanı sıra, insani faaliyetler sonucu da suyun kalitesi değişmektedir. Normal şartlarda, doğal olarak kullanım amacına göre kaliteli olan bir su, insani faaliyetlerin neticesinde kalitesizleşmişse bu suyun kirletilmiş olduğu ifade edilebilir.

Su majör katyonlar olarak; sodyum, potasyum, kalsiyum ve magnezyum bulundurur. Majör anyon olarak; karbonat, bikarbonat, klorür ve sülfat bulundurur. Bu majör anyon ve majör katyonlar suyun toplam çözünmüş mineralleri olarak büyük bir kısmını oluşturur. Manganez, nitrat, bor, flor, stronsiyum gibi elementler içeren bileşenlerde suda minör bileşenler olarak bulunabilir. Arsenik, kadminyum, krom ve kurşun suda birkaç ppm seviyesinde bulunsa bile suyun kalitesi bakımından çok önemlidir. Yukarıda belirttiğimiz elementlerin haricinde suda çözünmüş gazlarda bulunabilmektedir. İster yeraltı suyu olsun isterse yüzey suyu olsun her ikisinde çözünmüş gazlar mevcut olabilir. Sularda genellikle majör gaz olarak oksijen ve karbondioksit bulunabilir. Minör gazlar olarak hidrojen sülfit ve metan bulunabilir.

Kazayla dökülmeler, atık depolama sahaları, atık birikintileri, yeraltı depolama tankları, boru hatları, enjeksiyon kuyuları, tarımsal gübre ve kimyasalların toprakta uygulamaları foseptik tankları ve çukurları, radyo aktif atık dökülmeleri, maden sahaları gibi bir çok insani faaliyetler yüzey sularını ve yeraltı sularını kirletmektedir ve suyun kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir.

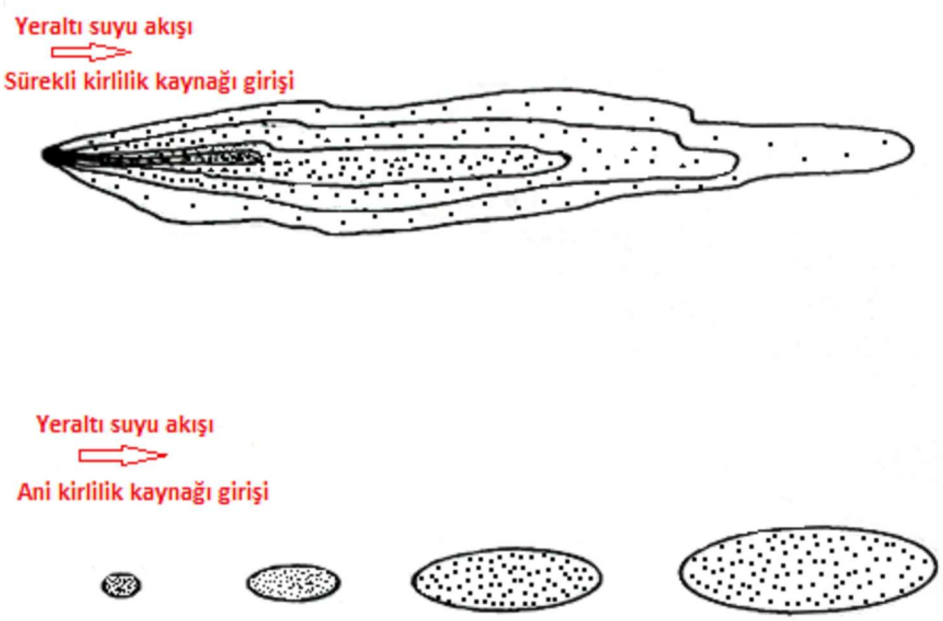
3.2.1 Yeraltı Suyunun Gözlemlenmesi

Bir bölgenin su kalitesini belirlemek, su kimyasını yorumlamak, içme suyu veya sulama suyu sağlama amaçlı açılan kuyuların su kimyasını ve kalitesini belirlemek, bilinen bir kirlilik kaynağından yola çıkılarak yeraltı suyunun kirliliğini araştırmak, yeraltı suyundaki kirliliğin nereden geldiğini yani kaynağını tespit etmek ve ileriki zamanlarda bu kirliliğin yayılımını yorumlamak gibi birçok konu için yeraltı sularının gözlemlenmeye çalışılması önemlidir.

3.2.2 Yeraltı Sularında Kirlilik Taşınımı

Yeraltı suyu kirlilik taşınımını araştırırken yeraltı suyu akım yönü, akım hızı, akiferin özellikleri gibi birçok faktöründe irdelenmesi gerekir. Yerin altını tam olarak bilemesek de elimizdeki veriler ışığında ve bazı varsayımlara dayanarak yeraltı suyu kirlilik taşınımı ile ilgili fikir edinebiliriz. Mevcuttaki teorik denklemleri çözebilmek için gerekli olan arazi verilerini nasıl elde edebileceğimiz konusu zor olsa da bu süreçler matematiksel olarak izah edilebilir.

Yeraltı suyuna kirlilik girişi noktasal bir kirlilik kaynağından sürekli bir giriş ya da ani ve tek seferlik bir kirlilik girişi olmak üzere iki şekilde olabilir (Şekil 3.5). Noktasal bir kirlilik kaynağından sürekli girdi olması durumunda kirliliğin giriş noktasındaki kirlilik konsantrasyonu sabit kalmak şartıyla akım yönünde yol alındıkça kirlilik seyrelerek bulut şeklinde ilerlediği varsayılır. Ani ve tek seferlik kirlilik girişinde ise kirlilik büyüyerek ilerler. Kirlilik bulutunun ortasında konsantrasyon her zaman en fazladır.



Şekil 3.5: Sürekli ve noktasal girdi şekilleri (Fetter 2018).

3.2.2.1 Yeraltı Suyu Kirlilik Taşınımı Mekanizmaları

Yeraltı suyunda çözünen maddeler difüzyon, adveksiyon ve dispersiyon olmak üzere 3 mekanizmayla taşınır.

3.2.2.1.1 Difüzyon

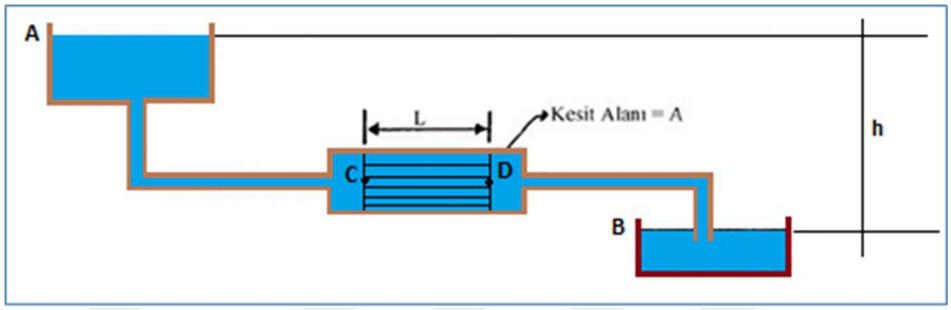
Kirleticinin temiz ortamda giderek seyrelmesidir. Suda çözünmüş maddenin yüksek konsantrasyonlu bölgelerden düşük konsantrasyonlu bölgelere doğru gerçekleştiği bir süreçtir. Suda çözünenin difüzyonu Fick yasalarıyla tanımlanabilir. (3.1) eşitliğindeki (-) negatif işaret yüksek konsantrasyonlardan düşük konsantrasyonlara doğru hareketi göstermektedir (Fetter 2018).

$$F_x = -D.dc/dx \text{ (Fick 1955)} \qquad (3.3)$$

Sudaki majör anyon ve katyonlar için difüzyon katsayısı 10^{-9} m^2/s alınabilir. Gözenekli ortamlarda su hareket etmese bile suda çözünenlerin difüzyon yoluyla hareket etmesi olasıdır. Yani hidrolik eğim sıfır olsa bile çözünen hareket edebilir. Bu yüzden difüzyon sudaki çözünenin taşınımının irdelenmesinde önemli bir konudur.

3.2.2.1.2 Adveksiyon

Kirleticinin akışkan hareketiyle dağılmadan ya da bozulmadan membadan mansaba taşınması olayıdır. Bu olayı raftingle açıklayabiliriz. Adveksiyonla taşınan kirleticiler yeraltı suyunun ortalama doğrusal hızıyla aynı anda hareket ettikleri için adveksiyon kavramı Darcy yasasıyla tanımlanabilir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6: Darcy yasası şematik gösterimi.

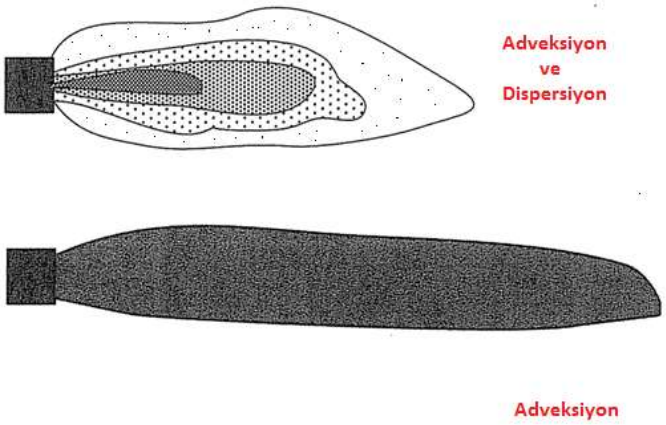
Akan yeraltı suyunun Darcy yasası (3.4) eşitliği ile tanımlanabilir (Darcy 1856):

$$V_x = -\frac{K}{n_e} \cdot \frac{dh}{dl} \tag{3.4}$$

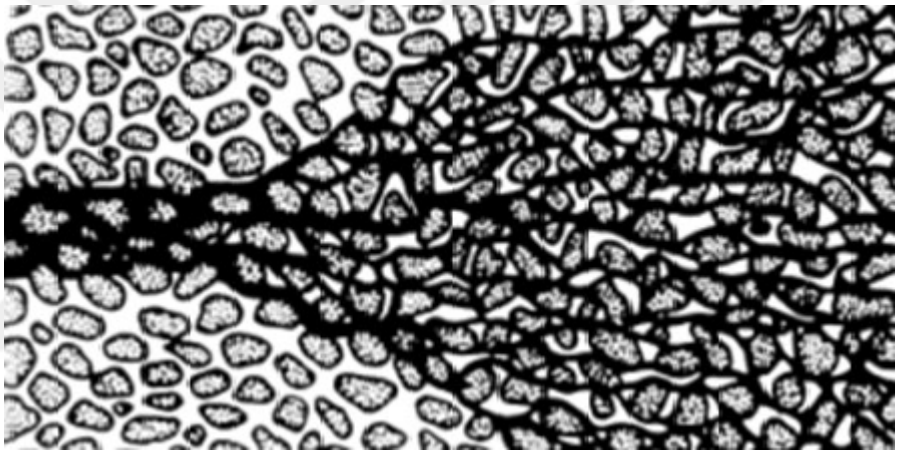
3.2.2.1.3 Dispersiyon

Kirlenmiş bir akışkan gözenekli bir ortamda hareket ederken kirlenmemiş suyla karışacaktır. Sonuç, dispersiyon olarak tanımlanan bir süreçle kirleticinin seyreltilmesi şeklinde olacaktır (Şekil 3.8). Akışkanın akış yolu boyunca gerçekleşen dispersiyona boyuna dispersiyon, akışkanın akış yoluna dik olan dispersiyonuna enine dispersiyon denir (Fetter 2018).

Adveksiyon ve dispersiyonun gösterimi Şekil 3.7'de verilmiştir.

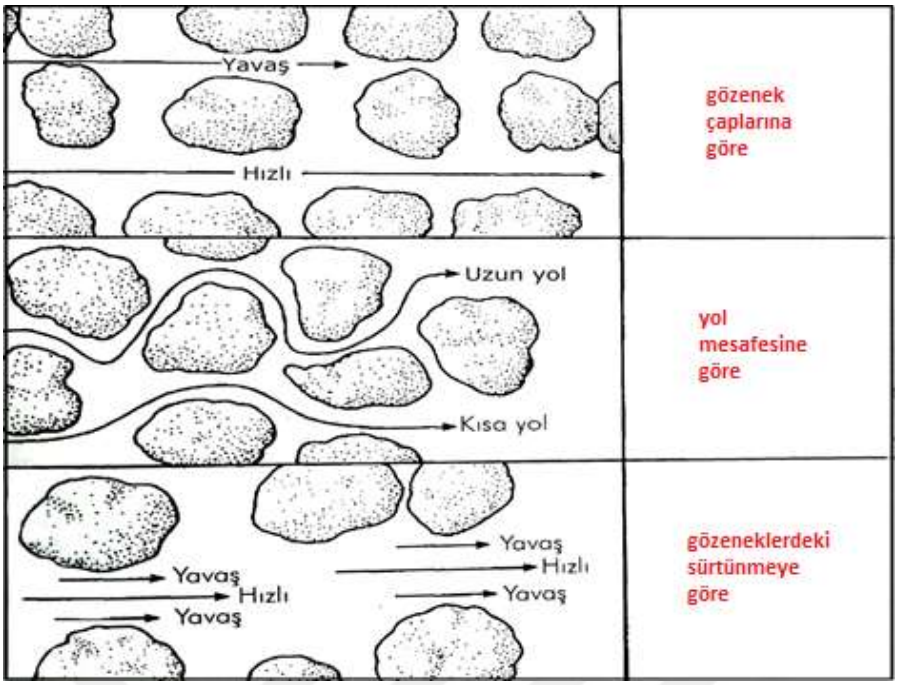


Şekil 3.7: Adveksiyon ve dispersiyonun gösterimi (Fetter 2018).



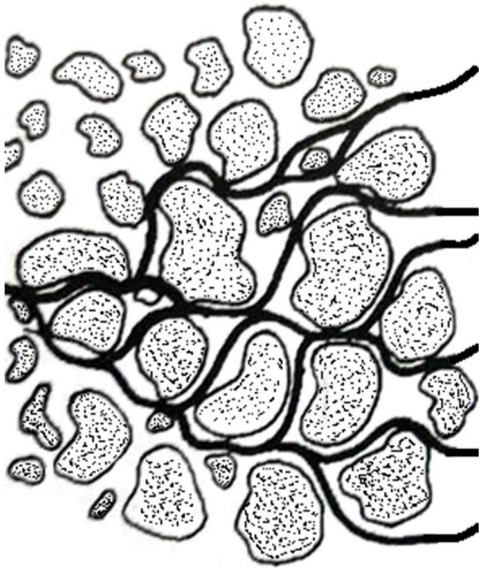
Şekil 3.8: Dispersiyonun gösterimi.

Mekanik Dispersiyon: Gözenek ölçeğindeki boyuna dispersiyonun üç temel sebebi vardır. Akışkan gözeneklerde hareket ederken gözeneğin ortasındaki hızı, gözenek kenarlarına yakın yerlere göre daha fazladır. Akışkanın bir kısmı diğerine göre daha uzun bir akış yolunda hareket eder. Büyük gözenekli ortamdaki akışkan hızı küçük gözenekli ortamdaki akış hızına göre daha fazladır. Şekil 3.9 incelediğinde bu 3 temel sebep anlaşılabilmektedir (Fetter 2018).



Şekil 3.9: Boyuna dispersiyon modelleri (Fetter 2018).

Akışkanın akış yolu bölünür ve çatallanırsa enine dispersiyon oluşur (Şekil 3.10). Enine dispersiyon yeraltı suyu akışında devam eden laminer akış şartlarında dahi oluşur.



Şekil 3.10: Yeraltı suyunun enine ve boyuna dispersiyonu.

Hidrodinamik Dispersiyon: Yeraltı suyundaki moleküler difüzyon ile mekanik dispersiyon süreçlerini ayırmak pek mümkün değildir. Bundan dolayı hidrodinamik dispersiyon katsayısı olarak ifade edilen bir faktör ortaya konmuştur. Bu faktör D_L olarak ifade edilir. Bu faktör mekanik karışımı ve difüzyonu beraber ele almaktadır.

Tek boyutlu bir akışta bu katsayı (3.5) eşitliğinde ifade edilmiştir (Beruch ve Street 1967; Hoopes ve Harleman 1967).

$$D_L = a_L . V_x + D^* \tag{3.5}$$

Hidrodinamik dispersiyona ait tek boyutlu değer (3.6) eşitliği ile belirlenebilir (Beruch ve Street 1967; Hoopes ve Harleman 1967).

$$D_L = \frac{d^2c}{dx^2} - V_x . \frac{dc}{dx} = \frac{dc}{dt} \tag{3.6}$$

C_0 sabit konsantrasyon kaynağından L kadar mesafede t zamanındaki konsantrasyon (3.7) eşitliği ile belirlenebilir (Ogata 1970):

$$C_{(x,t)} = \frac{C_0}{2}\left[erfc\left(\frac{L-v_x t}{2\sqrt{D_L t}}\right) + exp\left(\frac{v_x L}{D_L}\right) erfc\left(\frac{L+v_x t}{2\sqrt{D_L t}}\right)\right] \tag{3.7}$$

Bu formül bazı varsayımlara dayanmaktadır. Bu varsayımlara göre kirlilik, yeraltı suyu ile aynı hızda hareket eder ve kirlilik kütlenin tam ortasında kabul edilir. Kirliliğin tek boyutta hareket ettiği varsayılır. Ayrıca, hidrodinamik dispersiyonun çan şeklinde eğriye uygun istatistiksel olarak normal dağılımını izleyen bir akış yolundaki kütle merkezinin önünde ve ardında çözünenin yayılmasına neden olduğu da varsayılmıştır. Buradaki normal dağılım bazen gauss dağılımı olarak da anılır. Çözünenin cephesi ortalama doğrusal yeraltı suyu hızıyla tahmin edilenden daha büyük hızla hareket etmektedir (Fetter 2018).

Akiferin sedimanter boylanması, tane dağılımı ve tane şekli kadar, akiferin homojen olmaması da mekanik dispersiyonu etkilemektedir. Yeraltı suyu akifer boyunca yol alırken ortalama hidrolik iletkenliğin daha üzerinde ya da daha altında olan bölgelerle de karşılaşacaktır. Doğrusal yeraltı suyunun hızındaki değişim, gözenek ölçeğinden çok daha fazla mekanik dispersiyona yol açar. Dispersivitenin

ölçüm mesafesi arttıkça daha büyük değerler gözlenir. Bu durum ölçek etkisi olarak tanımlanır. Laboratuvarda ölçülen gözenek ölçeğinde dispersiyon santimetre mertebesinde iken, arazide ölçülen dispersiyon seviyesi metre mertebesindedir. Xu ve Eckstein (1995) görünür boyuna dinamik dispersivite ile akış uzunluğu arasındaki ilişkinin istatistiksel çalışmasını yapmışlar ve ilişkiyi en iyi tanımlayan (3.8) eşitliğini bulmuşlardır (Fetter 2018).

$$a_L = 0{,}83(logL)^{2{,}414} \tag{3.8}$$

Kirlilik kaynağından uzaklaşıldıkça hidrodinamik dispersiyon sonucu çözünenin konsantrasyonu azalır. Yeraltı suyu akış yönünde boyuna dispersiyon enine dispersiyondan fazladır. Devamlı bir kaynaktan bir nap oluşurken, bir dökülme olayı neticesinde oluşan kütle yeraltı suyu akış yolunda aşağı doğru devam ederken zamanla büyüyen bir gövde oluşturacaktır. Akiferdeki heterojenlikler, homojen katmanlarda gerçekleşmesi beklenenden farklı olacak şekilde, çözünen hareketinin akış yolunu değiştirebilir. Çünkü akış halindeki yeraltı suyu çok geçirgen akım yolları izler ve en yoğun kirleticilerde bu akış yollarıdır (Fetter 2018).

3.2.2.2 Zemin Parametrelerinin Hesaplanması

(3.7) denklemini çözebilmek için gerekli olan zemin parametreleri (3.9), (3.10), (3.11) ve (3.12) eşitlikleriyle hesaplanmaktadır.

$$i = \frac{dh}{dl} \quad \text{(Darcy 1856)} \tag{3.9}$$

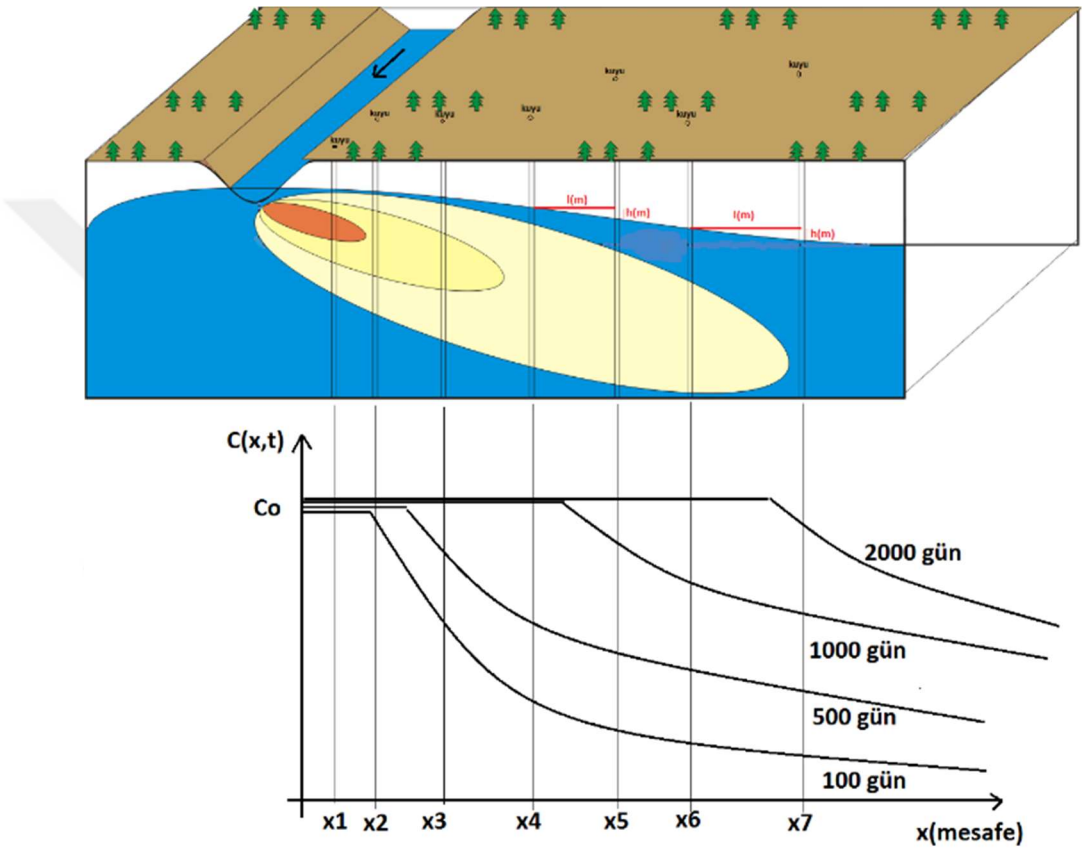
$$K = \frac{T}{b} \quad \text{(Cooper ve Jacob 1946)} \tag{3.10}$$

$$T = \frac{0{,}183\,.Q}{\Delta s} \quad \text{(Cooper ve Jacob 1946)} \tag{3.11}$$

$$n_e = \frac{2{,}25\,.\,T\,.t_0}{r^2} \quad \text{(Cooper ve Jacob 1946)} \tag{3.12}$$

3.2.2.3 Kirlilik Taşınımı Şeması

Şekil 3.11'de, nehirdeki herhangi bir noktadan sürekli kirlilik girdisi olması durumunda yeraltı suyundaki tek boyutta kirlilik taşınımının nasıl gerçekleşeceği gösterilmiştir. Kirliliğin oluştuğu noktada konsantrasyon (C_0), her zaman en yüksek değerdedir ve zamanla kirlilik bulutu yayılarak büyür. Şeklin altındaki grafikte görüldüğü üzere C_0 değeri zaman arttıkça daha uzun mesafelerde görülmektedir.



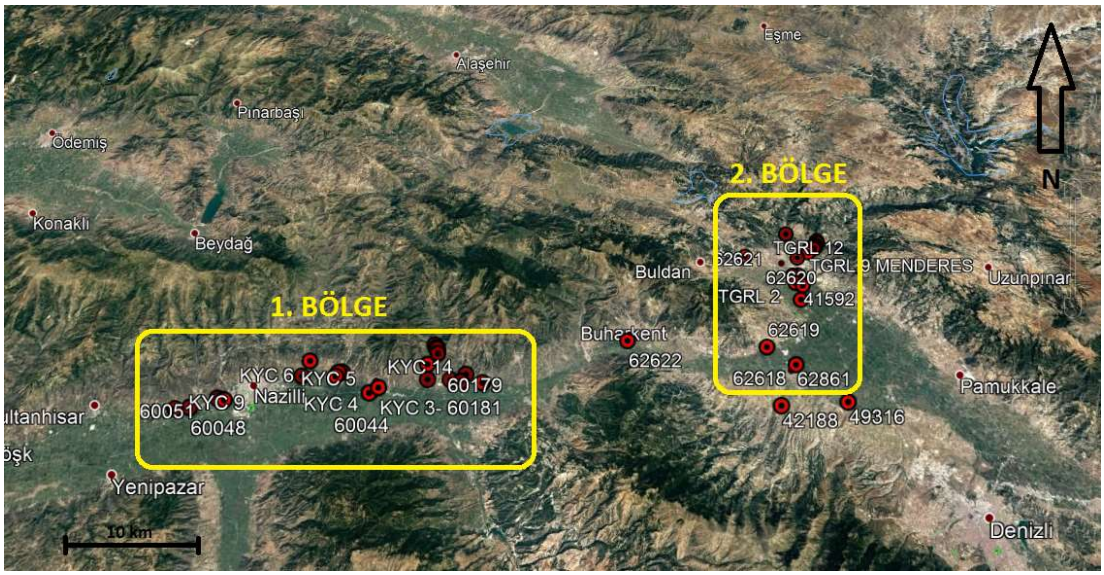
Şekil 3.11: Tek boyutta sürekli kirlilik girdi şeması.

4. YAPILAN ÇALIŞMALAR

4.1 Arazi Çalışmaları

Öncelikle çalışma alanını belirlemek için geniş bir alanda arazi çalışması yapılmıştır. Cindere barajının çıkış noktasından itibaren Büyük Menderes Nehri boyunca ilerlenerek nehre yakın olan ve alüvyon birim üzerinde bulunan su kuyuları tespit edilmiştir. Bu kuyular Denizli İli, Buldan İlçesi, Yenicekent Mahallesi sınırları içinde yer almaktadır. Tespit edilen bu kuyular GPS cihazı ile koordinatları alınmak suretiyle kaydedilmiştir. Daha sonra belirli zamanlarda araziye çıkılarak Sarayköy, Buharkent, Pamukören, Kuyucak, Nazilli, Sultanhisar boyunca Büyük Menderes Nehri takip edilerek alüvyon birim üzerindeki kuyular tespit edilmiş olup aynı şekilde GPS cihazı ile koordinatları kaydedilmiştir.

Bu kuyular hakkında bilgi toplamak için Aydın DSİ 21. Bölge Müdürlüğü'ne ve Nazilli Sağ Sahil Sulama Birliği'ne müracaat edilmiştir. Nazilli Sağ Sahil Sulama Birliği'ne ait olan kuyulardan su numunesi alınmıştır. Aynı zamanda kuyu başlarında EC, pH, tuzluluk, sıcaklık, Eh ve seviye ölçer cihazı ile kuyulardaki su seviyeleri ölçülmüştür. Kayıtsız olan kuyularında sahipleri bulunarak örnek almak için kuyular açtırılarak yukarıda belirtilen ölçümler yapılmıştır. Numune alınan kuyuların haritada gösterimleri Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1: Numune alınan kuyuların harita üzerinde gösterimleri.

Arazi çalışmalarına ait bazı fotoğraflar Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.2: pH ölçüm cihazı ile arazide ölçüm yapılması (Höyüktepe Mevkii).



Şekil 4.3: TGRL 11 kuyusuna ait fotoğraf (Höyüktepe Mevkii).

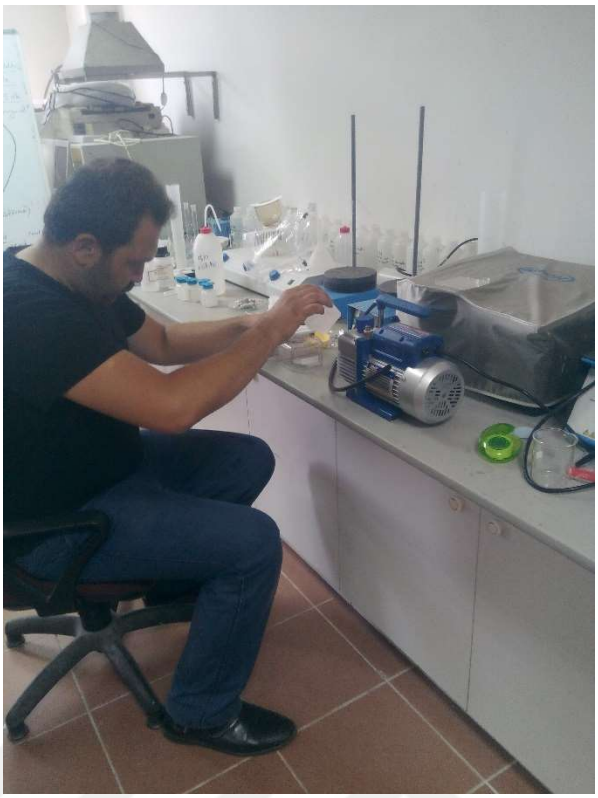


Şekil 4.4: TGRL 2 kuyusuna ait fotoğraf (Karlıtepe Mevkii).

4.2 Laboratuvar Çalışmaları

Kuyulardan toplanan su örnekleri laboratuvarda 0.45 mikrometrelik filtre ile filtrelenmiş, katyonların çökelmesini önlemek ve pH değerlerinin 2'nin altına düşürülmesi amacıyla nitrik asit katılarak şişelenmiş ve Bureau Veritas Laboratuvarına analiz için gönderilmiştir.

Laboratuvar çalışmalarına ait fotoğraflar Şekil 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5: Örneklerin filtrelenmesi işlemine ait fotoğraf.



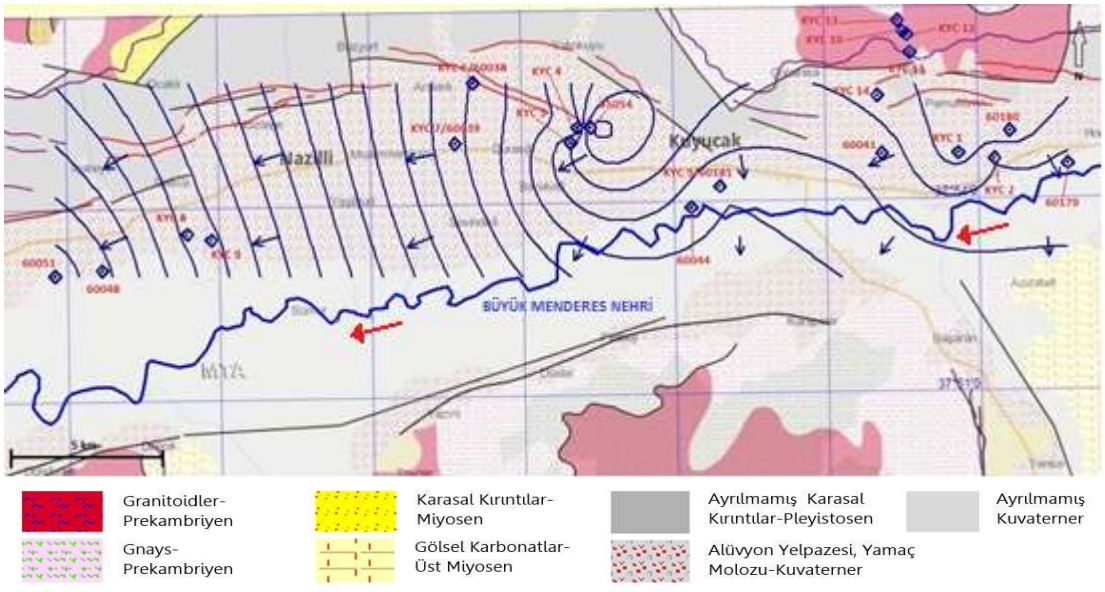
Şekil 4.6: Örneklerin nitrik asit katılarak pH değerlerinin düşürülmesi işlemine ait fotoğraf.

Laboratuvardan gelen sonuçlar, resmi kurumlardan toplanan veriler ve arazide kaydedilen veriler toplanarak bir Excel tablosu hazırlanmıştır (Tablo 3.1, 3.2, 3.3, 3.4).

4.3 Kirlilik Taşınımı Analizleri

4.3.1 Birinci Bölge

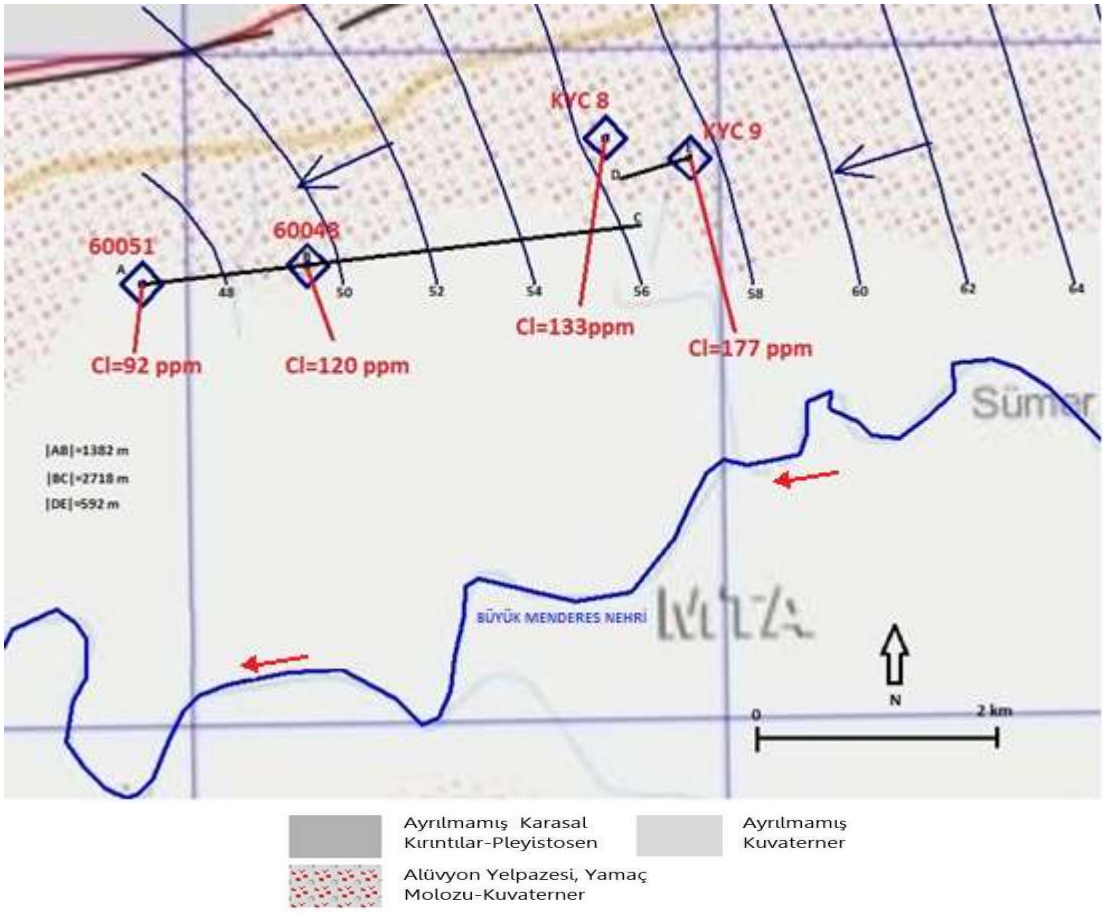
Örnekleme yapılıp kimyasal analiz için laboratuvara gönderilen KYC 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13 ve 14 nolu kuyular ile DSİ 21. Bölge ve Nazilli Sağ Sahil Sulama Birliğinden refere edilen 55054, 60044, 60041, 60048, 60051, 60179 ve 60180 no'lu kuyular birlikte ele alınılarak yorumlanmıştır. Öncelikle bu kuyular GIS tabanlı SURFER 13 programında Krigging yaklaşımı ile yeraltı suyu akım eğrileri çizdirilmiştir. Böylelikle yeraltı suyunun akım yönü belirlenmiştir. Daha sonra GLOBAL MAPPER 13 programında sayısal yükseklik modelinin üzerine M.T.A'dan alınan bölgenin haritası aktarılmıştır. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi kuyu yerleri ve yeraltı suyu akım yönü belirlenmiştir. Çözünenler, tutucu olanlar ve reaktif olanlar şeklinde iki geniş sınıfta ele alınabilir. Tutucu çözünenler zeminle ve/veya yeraltı suyu ile reaksiyona girmezler, biyolojik veya radyoaktif bozunmaya uğramazlar. Klorür, tutucu çözünene iyi bir örnek olduğu için hem 1. bölgede hem de 2. bölgede klorür derişimi için kirlilik taşınımı modellenmiştir.



Şekil 4.7: Birinci bölgedeki kuyuların M.T.A haritasına işlenmesi (http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx, 01.07.2019).

Çalışma alanı olarak belirlenen birinci bölgede, Büyük Menderes Nehri'nin akış yönü doğrultusunda paralel olarak uzanan Nazilli, Dallıca, İsabeyli

istikametindeki kuyulardan KYC-9, KYC-8, 60048 ve 60051 numaralı kuyularda akım yolu boyunca tek boyutta kirlilik taşınımı modellenmesi yapılmaya karar verilmiştir. Bu kuyular nehrin kuzeyinde ve nehrin akış yönüne paralel olarak sıralanmıştır. Burada yeraltı suyu akışı nehre paralel gitmekte olup nehrin kuzey kısmında nehir akışına paralel modelleme yapılmıştır. Burada kirlilik kaynağı nehir değil, bölgenin kuzey kısmındaki faylardan karışan sular ve jeotermal reenjeksiyon sularının karıştığı düşünülen KYC-9 kuyusudur. Şekil 4.8'de oluşturulan kirlilik taşınımı hattı görülmektedir.



Şekil 4.8: KYC 9, KYC 8, 60048 ve 60051 nolu kuyularda kirlilik taşınımı hattı (http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx, 01.07.2019).

Şekil 4.8'de görüldüğü gibi KYC-9 kuyusuna sürekli kirlilik girdisi olduğu varsayılarak yeraltı suyu akım yönü boyunca KYC-8, 60048 VE 60051 nolu kuyuların olduğu hat kirlilik taşınım hattı olarak kabul edilmiştir. Kirlilik taşınımı hattı olarak belirlenen bölgede tek boyutta kirlilik denkleminin çözülebilmesi için bazı zemin parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler hidrolik eğim, hidrolik iletkenlik, etkin gözeneklilik, etkin moleküler difüzyon katsayısı, ortalama doğrusal

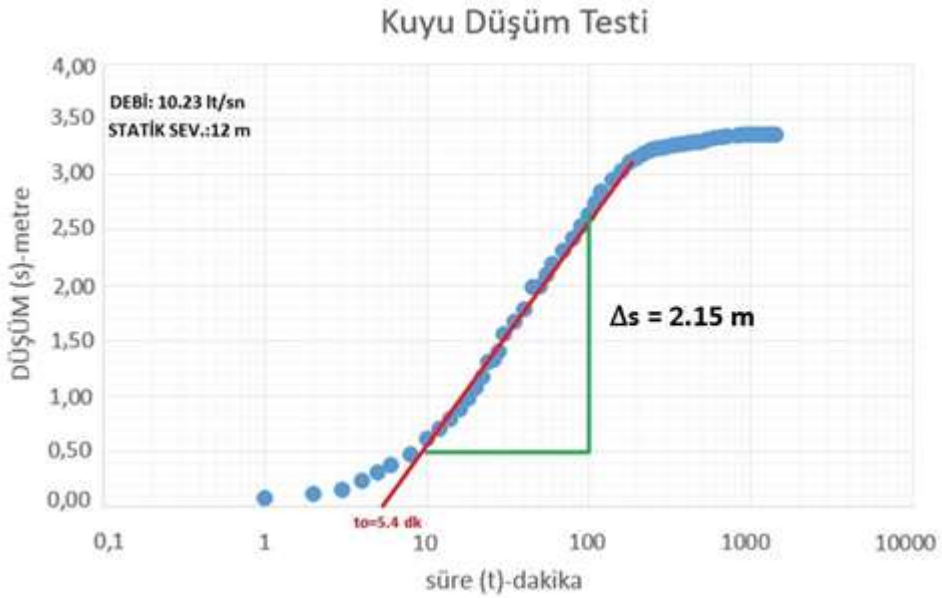
yeraltı suyu akım hızı, görünür boyuna dinamik dispersiyon, boyuna hidrodinamik dispersiyon katsayısı ve akiferin kalınlığıdır. Bu kuyularda statik seviyeler seviye ölçer yardımı ile ölçülmüş, bazı kuyuların statik seviyeleri, ölçme imkanı olmadığı için DSİ'den refere edilmiş, kuyu başında altimetre ile rakım ölçülmüş ve örnekleme yapılarak analizleri yaptırılmıştır. Kuyu logları DSİ 21. Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır. Daha sonra gerekli olan formüller için Tablo 4.1'de bulunan Excel tablosu hazırlanmış ve değerler hesaplanmıştır.

Tablo 4.1: Zemin parametreleri hesap tablosu (1. bölge için).

Δs	Q	to	b	r	dh	dl	dh/dl	T	K	n_e
Düşüm	debi		Ortalama akifer kalınlığı	Gözlem kuyusu uzaklığı	Kuyular arası statik sev. Farkı	Kuyular arası mesafe	Hidrolik eğim	İletimlilik	Hidrolik iletkenlik	Etkin gözeneklilik
m	m^3/dk	dk	m	m	m	m	-	m^2/dk	m/dk	-
2,15	0,6138	5,4	67	20	10,07	4692	0,002146206	0,0522444	0,000779767	0,001586923

Tablodaki değerlerin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler bölüm 3.2.2.2'de verilmiştir.

Şekil 4.9'da kuyu düşüm verileri için Excel tablosu hazırlanarak grafik oluşturulmuş ve Cooper-Jacob yöntemiyle Δs ve t_0 değerleri hesaplanmıştır. Zaman verilerinin son kısmına uyan bir doğru çizilmiştir ve sıfır düşüm eksenine kadar uzatılarak t_0 hesaplanmıştır. Zamanın bir logaritmik devrine karşılık gelen düşüm miktarıda Δs'tir. Birinci bölge için DSİ'den alınan kuyu düşüm testi sonuçları Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9: Kuyu düşüm verileri ile hazırlanan grafik.

Zemin parametreleri belirlendikten sonra tek boyutta sürekli kirlilik girdisine ait 3.7 eşitliğini, farklı zamanlar ve farklı mesafe değerleri ile çözebilmek için Excel programı kullanılmıştır. 100 gün ve 500 gün için elde edilen klorür derişimi değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2: 100 gün ve 500 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (1. bölge için).

C_0	L	D*	t	V_x	a_L	D_L	$C_{(x,t)}$
mg/l	m	m^2/sn	gün	m/sn	m	m^2/sn	mg/l
177	50	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	2,98	$1{,}51x10^{-5}$	72,18
177	100	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	4,42	$2{,}23x10^{-5}$	0,52
177	150	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	5,42	$2{,}74x10^{-5}$	0,00013
177	200	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	6,21	$3{,}13x10^{-5}$	$2{,}61x10^{-9}$
177	250	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	6,86	$3{,}46x10^{-5}$	$4{,}76x10^{-15}$
177	300	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	7,41	$3{,}74x10^{-5}$	$1{,}02x10^{-21}$
177	350	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	7,91	$3{,}99x10^{-5}$	$2{,}96x10^{-29}$
177	400	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	8,35	$4{,}21x10^{-5}$	$1{,}28x10^{-37}$
177	450	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	8,75	$4{,}42x10^{-5}$	$8{,}99x10^{-47}$
177	500	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	9,12	$4{,}60x10^{-5}$	$1{,}09x10^{-56}$
177	750	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	10,62	$5{,}36x10^{-5}$	0
177	1000	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	11,77	$5{,}94x10^{-5}$	0
177	1250	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	12,71	$6{,}41x10^{-5}$	0
177	1500	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	13,51	$6{,}81x10^{-5}$	0
177	2000	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	14,83	$7{,}48x10^{-5}$	0
177	2500	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	15,90	$8{,}02x10^{-5}$	0
177	3000	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	16,81	$8{,}48x10^{-5}$	0
177	5000	10^{-9}	100	$5{,}05x10^{-6}$	19,52	$9{,}85x10^{-5}$	0
177	50	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	2,98	$1{,}51x10^{-5}$	176,99
177	100	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	4,42	$2{,}23x10^{-5}$	176,62
177	150	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	5,42	$2{,}74x10^{-5}$	166,13
177	200	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	6,21	$3{,}13x10^{-5}$	120,66
177	250	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	6,86	$3{,}46x10^{-5}$	56,32
177	300	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	7,41	$3{,}74x10^{-5}$	15,94
177	350	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	7,91	$3{,}99x10^{-5}$	2,76
177	400	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	8,35	$4{,}21x10^{-5}$	0,299
177	450	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	8,75	$4{,}42x10^{-5}$	0,021
177	500	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	9,12	$4{,}60x10^{-5}$	0,00096
177	750	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	10,62	$5{,}36x10^{-5}$	$7{,}53x10^{-13}$
177	1000	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	11,77	$5{,}94x10^{-5}$	$1{,}44x10^{-25}$
177	1250	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	12,71	$6{,}41x10^{-5}$	$1{,}65x10^{-41}$
177	1500	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	13,51	$6{,}82x10^{-5}$	$1{,}96x10^{-60}$
177	2000	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	14,83	$7{,}48x10^{-5}$	0
177	2500	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	15,90	$8{,}02x10^{-5}$	0
177	3000	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	16,81	$8{,}48x10^{-5}$	0
177	5000	10^{-9}	500	$5{,}05x10^{-6}$	19,52	$9{,}85x10^{-5}$	0

1000 gün ve 2000 gün için elde edilen klorür derişimi değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3: 1000 gün ve 2000 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (1. bölge için).

C_0	L	D*	t	V_x	a_L	D_L	$C_{(x,t)}$
mg/l	m	m^2/sn	gün	m/sn	m	m^2/sn	mg/l
177	50	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	2,98	$1{,}51x10^{-5}$	177
177	100	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	4,42	$2{,}23x10^{-5}$	176,99
177	150	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	5,42	$2{,}74x10^{-5}$	176,998
177	200	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	6,20	$3{,}13x10^{-5}$	176,92
177	250	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	6,85	$3{,}46x10^{-5}$	176,009
177	300	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	7,41	$3{,}74x10^{-5}$	170,803
177	350	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	7,91	$3{,}99x10^{-5}$	154,76
177	400	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	8,35	$4{,}21x10^{-5}$	124,01
177	450	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	8,75	$4{,}42x10^{-5}$	84,10
177	500	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	9,12	$4{,}60x10^{-5}$	47,06
177	750	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	10,62	$5{,}36x10^{-5}$	0,126
177	1000	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	11,77	$5{,}94x10^{-5}$	$3{,}24x10^{-6}$
177	1250	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	12,71	$6{,}41x10^{-5}$	$1{,}41x10^{-12}$
177	1500	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	13,51	$6{,}81x10^{-5}$	$1{,}53x10^{-20}$
177	2000	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	14,83	$7{,}48x10^{-5}$	$7{,}21x10^{-41}$
177	2500	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	15,90	$8{,}02x10^{-5}$	$1{,}37x10^{-66}$
177	3000	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	16,81	$8{,}48x10^{-5}$	$2{,}54x10^{-97}$
177	5000	10^{-9}	1000	$5{,}05x10^{-6}$	19,52	$9{,}85x10^{-5}$	0
177	50	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	2,98	$1{,}51x10^{-5}$	177
177	100	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	4,42	$2{,}23x10^{-5}$	177
177	150	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	5,42	$2{,}74x10^{-5}$	177
177	200	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	6,20	$3{,}13x10^{-5}$	177
177	250	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	6,85	$3{,}46x10^{-5}$	176,9999995
177	300	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	7,41	$3{,}74x10^{-5}$	176,9999785
177	350	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	7,91	$3{,}99x10^{-5}$	176,9995689
177	400	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	8,35	$4{,}21x10^{-5}$	176,9950629
177	450	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	8,75	$4{,}42x10^{-5}$	176,963017
177	500	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	9,12	$4{,}60x10^{-5}$	176,8021818
177	750	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	10,62	$5{,}36x10^{-5}$	148,23
177	1000	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	11,77	$5{,}94x10^{-5}$	36,56
177	1250	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	12,71	$6{,}41x10^{-5}$	1,18
177	1500	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	13,51	$6{,}81x10^{-5}$	0,0048
177	2000	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	14,83	$7{,}48x10^{-5}$	$2{,}89x10^{-10}$
177	2500	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	15,90	$8{,}02x10^{-5}$	$1{,}91x10^{-20}$
177	3000	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	16,81	$8{,}48x10^{-5}$	$2{,}59x10^{-33}$
177	5000	10^{-9}	2000	$5{,}05x10^{-6}$	19,52	$9{,}85x10^{-5}$	0

3000 ve 5000 gün için elde edilen klorür derişimi değerleri Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4: 3000 gün ve 5000 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (1. bölge için).

C_0	L	D*	t	V_x	a_L	D_L	$C_{(x,t)}$
mg/l	m	m^2/sn	gün	m/sn	m	m^2/sn	mg/l
177	50	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	2,98	$1{,}51x10^{-5}$	177
177	100	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	4,42	$2{,}23x10^{-5}$	177
177	150	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	5,42	$2{,}74x10^{-5}$	177
177	200	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	6,21	$3{,}13x10^{-5}$	177
177	250	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	6,86	$3{,}46x10^{-5}$	177
177	300	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	7,41	$3{,}74x10^{-5}$	177
177	350	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	7,91	$3{,}99x10^{-5}$	177
177	400	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	8,35	$4{,}21x10^{-5}$	177
177	450	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	8,75	$4{,}42x10^{-5}$	176,9999994
177	500	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	9,12	$4{,}60x10^{-5}$	176,999992
177	750	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	10,62	$5{,}36x10^{-5}$	176,9489524
177	1000	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	11,77	$5{,}94x10^{-5}$	171,147
177	1250	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	12,71	$6{,}41x10^{-5}$	115,432
177	1500	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	13,51	$6{,}81x10^{-5}$	30,0348
177	2000	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	14,83	$7{,}48x10^{-5}$	0,0481
177	2500	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	15,90	$8{,}02x10^{-5}$	$6x10^{-7}$
177	3000	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	16,81	$8{,}48x10^{-5}$	$8{,}94x10^{-14}$
177	5000	10^{-9}	3000	$5{,}05x10^{-6}$	19,52	$9{,}85x10^{-5}$	$7{,}62x10^{-58}$
177	50	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	2,98	$1{,}51x10^{-5}$	177
177	100	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	4,42	$2{,}23x10^{-5}$	177
177	150	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	5,42	$2{,}74x10^{-5}$	177
177	200	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	6,21	$3{,}13x10^{-5}$	177
177	250	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	6,85	$3{,}46x10^{-5}$	177
177	300	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	7,41	$3{,}74x10^{-5}$	177
177	350	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	7,91	$3{,}99x10^{-5}$	177
177	400	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	8,35	$4{,}21x10^{-5}$	177
177	450	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	8,75	$4{,}42x10^{-5}$	177
177	500	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	9,12	$4{,}60x10^{-5}$	177
177	750	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	10,62	$5{,}36x10^{-5}$	177
177	1000	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	11,77	$5{,}94x10^{-5}$	176,9999897
177	1250	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	12,71	$6{,}41x10^{-5}$	176,9950953
177	1500	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	13,51	$6{,}81x10^{-5}$	176,6433955
177	2000	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	14,83	$7{,}48x10^{-5}$	138,019
177	2500	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	15,90	$8{,}02x10^{-5}$	21,797
177	3000	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	16,81	$8{,}48x10^{-5}$	0,256
177	5000	10^{-9}	5000	$5{,}05x10^{-6}$	19,52	$9{,}85x10^{-5}$	$5{,}26x10^{-20}$

10000 gün ve 15000 gün için elde edilen klorür derişimi değerleri Tablo 4.5'te verilmiştir.

Tablo 4.5: 10000 gün ve 15000 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (1. bölge için).

C_0	L	D*	t	V_x	a_L	D_L	$C_{(x,t)}$
mg/l	m	m^2/sn	gün	m/sn	m	m^2/sn	mg/l
177	50	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	2,98	$1{,}51x10^{-5}$	177
177	100	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	4,42	$2{,}23x10^{-5}$	177
177	150	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	5,42	$2{,}74x10^{-5}$	177
177	200	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	6,21	$3{,}13x10^{-5}$	177
177	250	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	6,86	$3{,}46x10^{-5}$	177
177	300	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	7,41	$3{,}74x10^{-5}$	177
177	350	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	7,91	$3{,}99x10^{-5}$	177
177	400	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	8,35	$4{,}21x10^{-5}$	177
177	450	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	8,75	$4{,}42x10^{-5}$	177
177	500	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	9,12	$4{,}60x10^{-5}$	177
177	750	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	10,62	$5{,}36x10^{-5}$	177
177	1000	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	11,77	$5{,}94x10^{-5}$	177
177	1250	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	12,71	$6{,}41x10^{-5}$	177
177	1500	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	13,51	$6{,}81x10^{-5}$	177
177	2000	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	14,83	$7{,}48x10^{-5}$	177
177	2500	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	15,90	$8{,}02x10^{-5}$	176,9999629
177	3000	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	16,81	$8{,}48x10^{-5}$	176,9730335
177	5000	10^{-9}	10000	$5{,}05x10^{-6}$	19,52	$9{,}85x10^{-5}$	11,67256486
177	50	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	2,98	$1{,}51x10^{-5}$	177
177	100	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	4,42	$2{,}23x10^{-5}$	177
177	150	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	5,42	$2{,}74x10^{-5}$	177
177	200	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	6,21	$3{,}13x10^{-5}$	177
177	250	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	6,85	$3{,}46x10^{-5}$	177
177	300	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	7,41	$3{,}74x10^{-5}$	177
177	350	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	7,91	$3{,}99x10^{-5}$	177
177	400	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	8,35	$4{,}21x10^{-5}$	177
177	450	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	8,75	$4{,}42x10^{-5}$	177
177	500	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	9,12	$4{,}60x10^{-5}$	177
177	750	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	10,62	$5{,}36x10^{-5}$	177
177	1000	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	11,77	$5{,}94x10^{-5}$	177
177	1250	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	12,71	$6{,}41x10^{-5}$	177
177	1500	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	13,51	$6{,}81x10^{-5}$	177
177	2000	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	14,83	$7{,}48x10^{-5}$	177
177	2500	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	15,90	$8{,}02x10^{-5}$	177
177	3000	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	16,81	$8{,}48x10^{-5}$	177
177	5000	10^{-9}	15000	$5{,}05x10^{-6}$	19,52	$9{,}85x10^{-5}$	176,8269532

KYC 9, KYC 8, 60048 ve 60051 nolu kuyuların klorür konsantrasyonu değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6: KYC 9, KYC 8, 60048 ve 60051 nolu kuyuların mesafe ve klorür derişimleri.

KUYU ADI	L (MESAFE)	$C_{(x,t)}$
	m	mg/l
KYC 9	50	177
KYC 8	592	133
60048	3310	120
60051	4692	92



Şekil 4.10: Farklı zamanlarda ve mesafelerde hesaplanan klorür derişimleri ve gerçek klorür derişimleri grafiği (1.bölge için).

Şekil 4.10'da görüldüğü üzere gerçek değerler eğrisi 10000 gün eğrisine benzerlik göstermektedir. Yani KYC 9 kuyusuna bir sürekli kirlilik girdisinin olduğunu varsayılarak bu kirliliğin 10000 gün (27.39 yıl) önce başladığı sonucu elde edilmiştir.

KYC 9 kuyusuna, 177 ppm derişimli klorür kirliliğinin sürekli olarak girdiği varsayılarak 15000 gün (41.09 yıl) sonra, yeraltı suyu akım yönü doğrultusunda 5 km mesafeye kadar olan alandaki yeraltı suyunun tek boyutta tüm noktalarında klorür derişiminin 177 ppm olacağı sonucuna varılmıştır.

4.3.2 İkinci Bölge

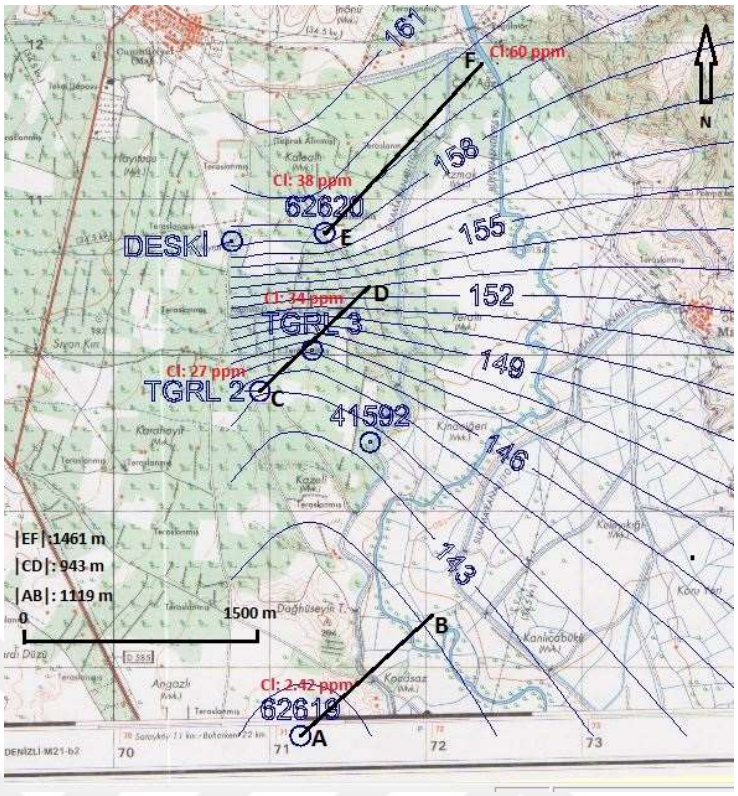
Çalışma alanı olarak belirlenen ikinci bölge, Cindere Barajının çıkış noktasından Büyük Menderes Nehri akım yönü boyunca nehrin sağ sahil tarafında sıralanan kuyuların olduğu bölgedir. Bu kuyular alüvyon üzerinde olup nehre yakın kuyulardır. Yeraltı suyu akım yönüne bakıldığında nehirden beslenen kuyular olduğu anlaşılmıştır. F noktasından itibaren 62620, TGRL-3, TGRL-2 ve 62619 nolu kuyuların bulunduğu hat kirlilik taşınım hattı olarak belirlenmiştir (bkz. Şekil 4.11).

Kirlilik parametresi olarak klorür seçilmiştir. F noktası sürekli kirlilik girişi noktası olarak kabul edilmiştir. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi TGRL-5 ve TGRL-7 kuyuları nehre çok yakın ve Cindere Barajının çıkışında olduğu için iki kuyunun klorür derişiminin ortalaması yani 60 ppm nehrin klorür derişimi olarak kabul edilmiştir. F noktasından nehre sürekli olarak 60 ppm derişimli klorür kirliliğinin girdiği varsayılarak 3.7 eşitliği farklı zamanlar ve farklı mesafeler için çözülmüştür. Kirlilik hattındaki gerçek değerler, yapılan hesaplarla karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Kirlilik taşınımı hattı olarak belirlenen bölgede tek boyutta kirlilik denkleminin çözülebilmesi için bazı zemin parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler hidrolik eğim, hidrolik iletkenlik, etkin gözeneklilik, etkin moleküler difüzyon katsayısı, ortalama doğrusal yeraltı suyu akım hızı, görünür boyuna dinamik dispersiyon, boyuna hidrodinamik dispersiyon katsayısı ve akiferin kalınlığıdır. Bu kuyularda statik seviyeler seviye ölçer yardımı ile ölçülmüş, bazı kuyuların statik seviyeleri, ölçme imkânı olmadığı için DSİ'den refere edilmiş, kuyu başında altimetre ile rakım ölçülmüş ve örnekleme yapılarak analizleri yaptırılmıştır. Kuyu logları DSİ 21. Bölge Müdürlüğü'nden alınmıştır. Daha sonra gerekli olan formüller için Tablo 4.7'de görülen Excel tablosu hazırlanmış ve değerler hesaplanmıştır. Şekil 4.11'de kirlilik taşınım hattı gösterilmiştir.

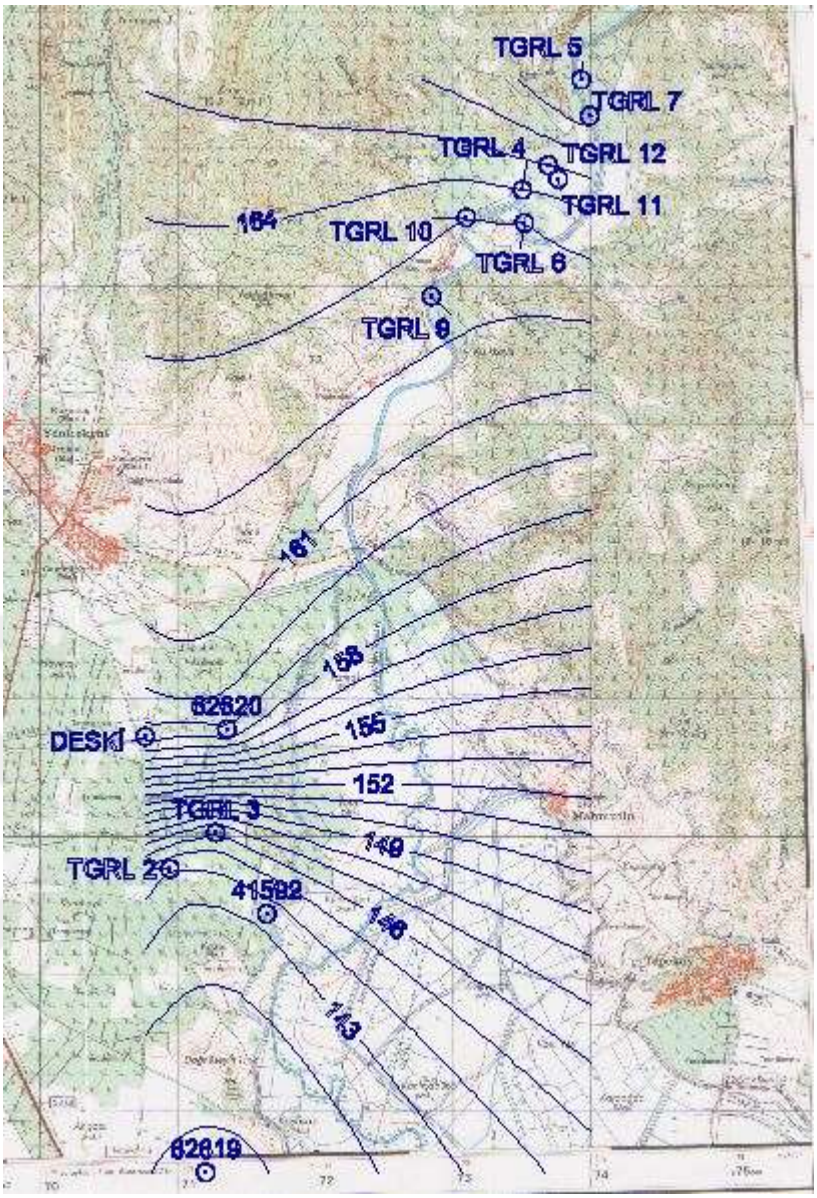
Tablo 4.7: Zemin parametreleri hesap tablosu (2. bölge için).

Δs	Q	to	b	r	dh	dl	dh/dl	T	K	ne
Düşüm	Debi		Ortalama akifer kalınlığı	Gözlem kuyusu uzaklığı	Kuyular arası statik sev. Farkı	Kuyular arası mesafe	Hidrolik eğim	İletimlilik	Hidrolik iletkenlik	Etkin gözeneklilik
m	m3/dk	dk	m	m	m	m	-	m2/dk	m/dk	-
16	0,36	0,18	85	0,2	9	943	0,009544	0,00412	4,8441E-05	0,0416897

Tablodaki değerlerin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler bölüm 3.2.2.2'de verilmiştir.



Şekil 4.11: F noktası, 62620, TGRL3, TGRL 2 VE 62618 nolu kuyularda kirlilik taşınımı hattı (ASTER uydu verisi, Harita Genel Müdürlüğü).



Şekil 4.12: İkinci bölgedeki kuyuların topografik haritaya işlenmesi (ASTER uydu verisi, Harita Genel Müdürlüğü).

Şekil 4.13'te kuyu düşüm verileri için Excel tablosu hazırlanarak grafik oluşturulmuş ve Cooper-Jacob yöntemiyle Δs ve t_0 değerleri hesaplanmıştır. Zaman verilerinin son kısmına uyan bir doğru çizilmiştir ve sıfır düşüm eksenine kadar uzatılarak t_0 hesaplanmıştır. Zamanın bir logaritmik devrine karşılık gelen düşüm miktarı da Δs'tir. İkinci bölge için DSİ'den alınan kuyu düşüm testi sonuçları Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13: Kuyu düşüm verileri ile hazırlanan grafik.

Zemin parametreleri belirlendikten sonra tek boyutta sürekli kirlilik girdisine ait 3.7 eşitliğini, farklı zamanlar ve farklı mesafe değerleri ile çözebilmek için Excel programı kullanılmıştır 100 gün ve 500 gün için elde edilen klorür derişimi değerleri Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8: 100 gün ve 500 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (2. bölge için).

C_0	L	D*	t	V_x	a_L	D_L	$C_{(x,t)}$
mg/l	m	m^2/sn	gün	m/sn	m	m^2/sn	mg/l
60	50	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	2,98	$3{,}31x10^{-5}$	58,9496
60	100	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	4,42	$4{,}91x10^{-5}$	30,019
60	150	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	5,42	$6{,}01x10^{-5}$	3,535
60	200	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	6,21	$6{,}88x10^{-5}$	0,10419
60	250	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	6,86	$7{,}60x10^{-5}$	0,00092
60	300	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	7,41	$8{,}22x10^{-5}$	$2{,}77x10^{-6}$
60	350	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	7,91	$8{,}77x10^{-5}$	$3{,}12x10^{-9}$
60	400	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	8,35	$9{,}26x10^{-5}$	$1{,}38x10^{-12}$
60	450	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	8,75	$9{,}70x10^{-5}$	$2{,}57x10^{-16}$
60	500	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	9,12	0,000101137	$2{,}07x10^{-20}$
60	750	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	10,62	0,000117807	$6{,}53x10^{-46}$
60	1000	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	11,77	0,000130548	$4{,}60x10^{-79}$
60	1250	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	12,71	0,000140961	0
60	1500	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	13,51	0,000149819	0
60	2000	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	14,83	0,000164444	0
60	2500	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	15,90	0,000176341	0
60	3000	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	16,81	0,000186424	0
60	5000	10^{-9}	100	$1{,}109x10^{-5}$	19,52	0,000216443	0
60	50	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	2,98	$3{,}31x10^{-5}$	60
60	100	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	4,42	$4{,}91x10^{-5}$	59,99999994
60	150	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	5,42	$6{,}01x10^{-5}$	59,99993102
60	200	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	6,21	$6{,}88x10^{-5}$	59,99497688
60	250	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	6,86	$7{,}60x10^{-5}$	59,907
60	300	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	7,41	$8{,}22x10^{-5}$	59,259
60	350	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	7,91	$8{,}77x10^{-5}$	56,68
60	400	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	8,35	$9{,}26x10^{-5}$	50,33
60	450	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	8,75	$9{,}70x10^{-5}$	39,69
60	500	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	9,12	0,000101137	26,89
60	750	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	10,62	0,000117807	0,270
60	1000	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	11,77	0,000130548	$3{,}82x10^{-5}$
60	1250	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	12,71	0,000140961	$1{,}23x10^{-10}$
60	1500	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	13,51	0,000149819	$1{,}311x10^{-17}$
60	2000	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	14,83	0,000164444	$1{,}33x10^{-35}$
60	2500	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	15,90	0,000176341	$1{,}51x10^{-58}$
60	3000	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	16,81	0,000186424	$4{,}37x10^{-86}$
60	5000	10^{-9}	500	$1{,}109x10^{-5}$	19,52	0,000216443	0

1000 gün ve 2000 gün için elde edilen klorür derişimi değerleri Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9: 1000 gün ve 2000 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (2. bölge için).

C_0	L	D*	t	V_x	a_L	D_L	$C_{(x,t)}$
mg/l	m	m^2/sn	gün	m/sn	m	m^2/sn	mg/l
60	50	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	2,98	$3{,}31x10^{-5}$	60
60	100	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	4,42	$4{,}91x10^{-5}$	60
60	150	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	5,42	$6{,}01x10^{-5}$	60
60	200	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	6,20	$6{,}88x10^{-5}$	60
60	250	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	6,85	$7{,}60x10^{-5}$	59,99999999
60	300	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	7,41	$8{,}22x10^{-5}$	59,99999953
60	350	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	7,90	$8{,}77x10^{-5}$	59,9999878
60	400	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	8,34	$9{,}26x10^{-5}$	59,99982426
60	450	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	8,75	$9{,}70x10^{-5}$	59,99837652
60	500	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	9,12	0,000101137	59,98943554
60	750	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	10,62	0,000117807	56,346
60	1000	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	11,77	0,000130548	25,170
60	1250	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	12,71	0,000140961	2,137
60	1500	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	13,51	0,000149819	0,028
60	2000	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	14,83	0,000164444	$2{,}6x10^{-8}$
60	2500	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	15,90	0,000176341	$4{,}44x10^{-17}$
60	3000	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	16,81	0,000186424	$2{,}50x10^{-28}$
60	5000	10^{-9}	1000	$1{,}109x10^{-5}$	19,52	0,000216443	$2{,}72x10^{-95}$
60	50	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	2,98	$3{,}31x10^{-5}$	60
60	100	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	4,42	$4{,}91x10^{-5}$	60
60	150	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	5,42	$6{,}01x10^{-5}$	60
60	200	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	6,21	$6{,}88x10^{-5}$	60
60	250	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	6,86	$7{,}60x10^{-5}$	60
60	300	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	7,41	$8{,}22x10^{-5}$	60
60	350	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	7,91	$8{,}77x10^{-5}$	60
60	400	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	8,35	$9{,}26x10^{-5}$	60
60	450	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	8,75	$9{,}70x10^{-5}$	60
60	500	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	9,12	0,000101137	60
60	750	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	10,62	0,000117807	59,99999988
60	1000	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	11,77	0,000130548	59,99967644
60	1250	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	12,71	0,000140961	59,941
60	1500	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	13,51	0,000149819	58,277
60	2000	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	14,83	0,000164444	23,129
60	2500	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	15,90	0,000176341	0,6231
60	3000	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	16,81	0,000186424	0,00072
60	5000	10^{-9}	2000	$1{,}109x10^{-5}$	19,58	0,000216443	$7{,}58x10^{-28}$

3000 gün ve 5000 gün için elde edilen klorür derişimi değerleri Tablo 4.10'de verilmiştir.

Tablo 4.10: 3000 gün ve 5000 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (2. bölge için).

C_0	L	D*	t	V_x	a_L	D_L	$C_{(x,t)}$
mg/l	m	m^2/sn	gün	m/sn	m	m^2/sn	mg/l
60	50	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	2,98	$3{,}31x10^{-5}$	60
60	100	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	4,42	$4{,}91x10^{-5}$	60
60	150	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	5,42	$6{,}01x10^{-5}$	60
60	200	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	6,21	$6{,}88x10^{-5}$	60
60	250	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	6,86	$7{,}60x10^{-5}$	60
60	300	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	7,41	$8{,}22x10^{-5}$	60
60	350	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	7,91	$8{,}77x10^{-5}$	60
60	400	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	8,35	$9{,}26x10^{-5}$	60
60	450	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	8,75	$9{,}70x10^{-5}$	60
60	500	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	9,12	0,000101137	60
60	750	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	10,62	0,000117807	60
60	1000	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	11,77	0,000130548	60
60	1250	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	12,71	0,000140961	59,99999997
60	1500	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	13,51	0,000149819	59,9999835
60	2000	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	14,83	0,000164444	59,93375813
60	2500	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	15,90	0,000176341	54,156
60	3000	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	16,81	0,000186424	21,75
60	5000	10^{-9}	3000	$1{,}109x10^{-5}$	19,52	0,000216443	$8{,}48x10^{-9}$
60	50	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	2,98	$3{,}31x10^{-5}$	60
60	100	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	4,42	$4{,}91x10^{-5}$	60
60	150	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	5,42	$6{,}01x10^{-5}$	60
60	200	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	6,21	$6{,}88x10^{-5}$	60
60	250	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	6,86	$7{,}60x10^{-5}$	60
60	300	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	7,41	$8{,}22x10^{-5}$	60
60	350	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	7,91	$8{,}77x10^{-5}$	60
60	400	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	8,35	$9{,}26x10^{-5}$	60
60	450	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	8,75	$9{,}70x10^{-5}$	60
60	500	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	9,12	0,000101137	60
60	750	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	10,62	0,000117807	60
60	1000	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	11,77	0,000130548	60
60	1250	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	12,71	0,000140961	60
60	1500	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	13,51	0,000149819	60
60	2000	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	14,83	0,000164444	60
60	2500	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	15,90	0,000176341	59,99999991
60	3000	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	16,81	0,000186424	59,99981473
60	5000	10^{-9}	5000	$1{,}109x10^{-5}$	19,52	0,000216443	19,791

10000 gün için elde edilen klorür derişimi değerleri Tablo 4.11'de verilmiştir.

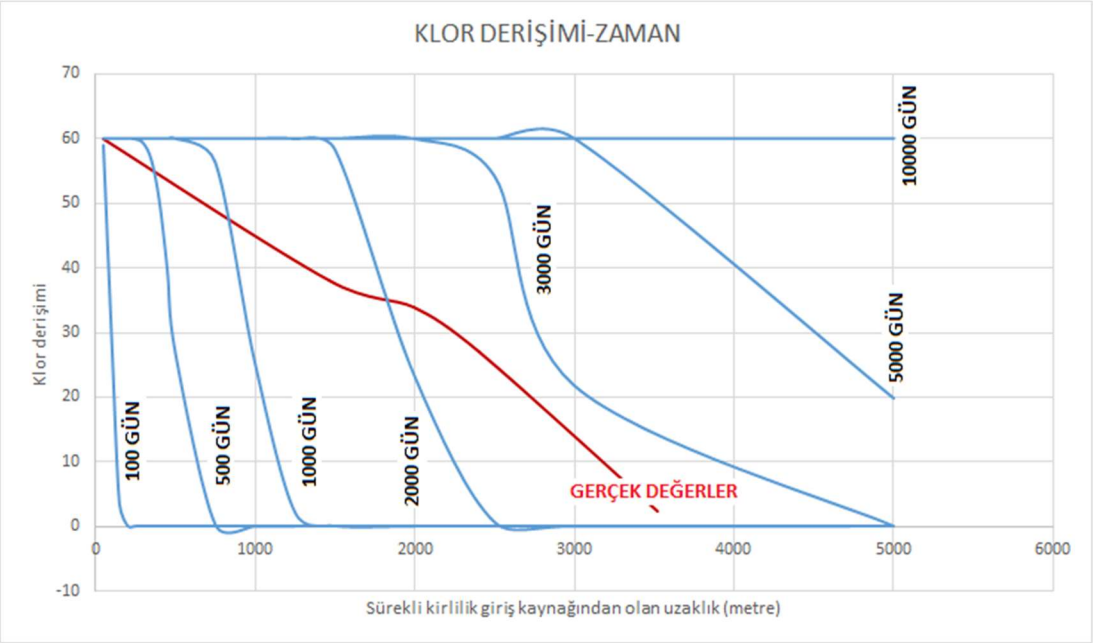
Tablo 4.11: 10000 gün için farklı mesafelerdeki klorür derişim değerleri (2. bölge için).

C_0	L	D*	t	V_x	a_L	D_L	$C_{(x,t)}$
mg/l	m	m^2/sn	gün	m/sn	m	m^2/sn	mg/l
60	50	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	2,98	$3{,}31x10^{-5}$	60
60	100	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	4,42	$4{,}91x10^{-5}$	60
60	150	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	5,42	$6{,}01x10^{-5}$	60
60	200	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	6,21	$6{,}88x10^{-5}$	60
60	250	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	6,86	$7{,}60x10^{-5}$	60
60	300	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	7,41	$8{,}22x10^{-5}$	60
60	350	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	7,91	$8{,}77x10^{-5}$	60
60	400	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	8,35	$9{,}26x10^{-5}$	60
60	450	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	8,75	$9{,}70x10^{-5}$	60
60	500	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	9,12	0,000101137	60
60	750	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	10,62	0,000117807	60
60	1000	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	11,77	0,000130548	60
60	1250	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	12,71	0,000140961	60
60	1500	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	13,51	0,000149819	60
60	2000	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	14,83	0,000164444	60
60	2500	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	15,90	0,000176341	60
60	3000	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	16,81	0,000186424	60
60	5000	10^{-9}	10000	$1{,}109x10^{-5}$	19,52	0,000216443	60

F noktasındaki nehrin klorür konsantrasyonu, 62620, TGRL3, TGRL 2 ve 62618 nolu kuyuları klorür konsantrasyonları Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12: F noktası, 62620, TGRL 3, TGRL 2 ve 62618 nolu kuyuların mesafeleri ve klorür derişimleri.

KUYU ADI	L(MESAFE)	$C_{(x,t)}$
	m	mg/l
F NOKTASI	50	60
62620	1461	38
TGRL 3	1990	34
TGRL 2	2404	27
62618	3523	2,42



Şekil 4.14: Farklı zamanlarda ve mesafelerde hesaplanan klorür derişimleri ve gerçek klorür derişimleri grafiği (2.bölge için).

Şekil 4.14'te görüldüğü üzere gerçek değerler eğrisi 2000 gün eğrisine benzerlik göstermektedir. Yani F noktasından nehre bir sürekli kirlilik girdisinin olduğu varsayılarak bu kirliliğin 2000 gün (5.48 yıl) önce başladığı sonucu elde edilmiştir.

F noktasından nehre, 60 ppm derişimli klorür kirliliğinin sürekli olarak girdiği varsayılarak 10000 gün (27.4 yıl) sonra, yeraltı suyu akım yönü doğrultusunda 5 km mesafeye kadar olan alandaki yeraltı suyunun tek boyutta tüm noktalarında klorür derişiminin 60 ppm olacağı sonucuna varılmıştır.

4.3.3 Birinci ve İkinci Bölgenin Yeraltı Suyu Kirliliği Bakımından Birlikte Yorumlanması

Birinci ve ikinci bölgedeki tüm kuyuların analiz sonuçlarından elde edilen verilerden fosfat, bor, arsenik, klorür, sülfat ve kükürt elementleri kirlilik uç bileşenleri olarak seçilmiştir. Tablo 4.13'te birinci bölgedeki kuyular, Tablo 4.14'te ikinci bölgedeki kuyuların kirlilik uç bileşen derişimleri görülmektedir.

Tablo 4.13: 1. bölgeye ait kuyuların kirlilik uç bileşen derişimleri ve aritmetik ortalamaları.

KUYU ADI	EC	P(ppm)	B(ppm)	As(ppm)	Cl(ppm)	SO4(ppm)	S(ppm)
KYC 1	1140	0,064	0,749	0,0012	132	579	193
KYC 2	955	0,028	0,464	0	59	345	115
KYC 3-60181	850	0,119	0,175	0,0129	18	216	72
KYC 4	1077	0,037	0,113	0,001	45	261	87
KYC 5	1110	0,039	0,633	0,0012	119	600	200
KYC 6-60038	990	0,0064	0,04	0,0018	19	159	53
KYC 7-60039	1280	0,074	0,706	0,0016	119	609	203
KYC 8	947	0,093	0,731	0,0023	133	507	169
KYC 9-TABAN SUYU	1200	0,163	1,405	0,0068	177	456	152
KYC 10	319	0,049	0,011	0	4	33	11
KYC 11	322	0,511	0,017	0,0006	4	33	11
KYC 12	5800		40,592	0		186	62
KYC 13	991	0,019	0,032	0,0009	13	249	83
KYC 14	988	0,038	0,025	0,0005	13	252	84
55054	990				42		
60044-ARTEZYEN	960				31,9		
60041	1311				53,2		
60048	1210				120		
60051	1117				92		
60179	1000				55		
60180	1563				70,9		
A. ORTALAMA	1244	0,095	3,26	0,0022	66	320,36	106,79

Tablo 4.14: 2. bölgeye ait kuyuların kirlilik uç bileşen derişimleri ve aritmetik ortalamaları.

KUYU ADI	EC	P(ppm)	B(ppm)	As(ppm)	Cl(ppm)	SO4(ppm)	S(ppm)
TGRL 1	1109	0,019	0,143	0,0049	28	219	73
TGRL 2	1438	0,013	0,041	0,0024	27	192	64
TGRL 3	1225	0,012	0,046	0,6	34	129	43
TGRL 4	990	0,02	0,19	0,0024	49	162	54
TGRL 5	1045	0,025	0,243	0,0033	63	174	58
TGRL 6	1128	0,032	0,258	0,005	65	234	78
TGRL 7	1143	0,019	0,259	0,0017	58	201	67
TGRL 8	1023	0,031	0,146	0,0091	35	123	41
TGRL 9(MENDERES)	938	0,235	0,222	0,0219	58	147	49
TGRL 10	1188	0,044	0,224	0,0038	50	237	79
TGRL 11	853	0,028	0,154	0,0021	39	123	41
TGRL 12	715	0,044	0,143	0,002	35	105	35
62622					24,4		
62621	1252				0,65		
DESKİ YENİCEKENT					40,1		
62620	1105				38		
41592	1155		0,8		60,3		
62619	2400				2,42		
62618	4110				3,1		
62861	832				0,46		
42188-ARTEZYEN							
49316	1050				14,2		
A. ORTALAMA	1300	0,0435	0,22	0,055	35	171	57

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, birinci bölgedeki kuyuların fosfat derişimleri ortalaması, ikinci bölgedeki kuyularınkinin 2.21 katıdır. Birinci bölgede daha fazla yerleşim yeri olduğu için foseptik kirliliğinden dolayı fosfat miktarının yüksek olduğu söylenebilir. Ayrıca 1. Bölgede tarım alanları 2. Bölgedekine göre daha fazla olduğu için tarımsal gübrelerden kaynaklanan fosfat, nitrat ve amonyak fazlalığından bahsedilebilir.

Birinci bölgedeki kuyuların bor derişimi ortalaması ikinci bölgedeki kuyularınkinin 14.8 katı, klorür derişimi ortalaması 1.88 katı, sülfat ve kükürt derişimi ortalaması 1.87 katı olması birinci bölgedeki faylardan gelen suların bu sulara karışması ve jeotermal bölgelerden gelen akışkanların ve jeotermal reenjeksiyon sularının bu sulara karışmasından kaynaklandığı söylenebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yenicekent (Denizli) – Atça (Aydın) bölgeleri stratigrafik olarak Paleozoik yaşlı Menderes Masifi Metamorfikleri (İğdecik Formasyonu), Neojen yaşlı Kızılburun Formasyonu, Sazak Formasyonu, Kolonkaya Formasyonu ve Tosunlar Formasyonu bulunur. Bunların hepsinin üzerinde ise Alüvyon ve Travertenler yüzlek vermektedir. Çalışma alanında Kuvaterner alüvyon serbest akifer özelliği göstermektedir ve Menderes Nehri ile beslenme/boşalma ilişkisi halindedir. Ayrıca Sazak formasyonu basınçlı akifer özelliği göstermektedir. Bununla birlikte bölgedeki önemli problemlerden birisi en üst kısımdaki Kuvaterner Alüvyon Akifer'in Menderes Nehri tarafından besleniyor olmasıdır. Menderes Nehri ise havzadaki yüksek oranda jeotermal kullanım nedeniyle jeotermal kirliliğe maruz kalmakta, diğer yandan Denizli ve civarı bölgelerdeki endüstriyel faaliyetlerden ve artan nüfusa bağlı foseptik kirliliğinden dolayı su, fosfat kirliliğine maruz kalmaktadır. Basınçlı Akifer özelliği gösteren Sazak Formasyonuna, en altta bulunan İğdecik ve Kızılburun Formasyonlarından, eğim atımlı normal faylar ve bunlara bağlı çatlaklar yoluyla sızan jeotermal akışkan buradaki suyun kalitesini düşürmektedir. Bölgedeki soğuk su akiferlerinde hem jeotermale bağlı kirlilik, hem de endüstriyel ve insani atık su kaynaklı kirlilik görülmektedir.

Yenicekent (Denizli) – Atça (Aydın) bölgeleri arasındaki çalışma alanında alınan su örneklerinde bazı kirlilik parametrelerinin normalden fazla olduğu tespit edilmiştir. B-Cl sıcak sularda ve karışım sularında doğrusal ilişki göstermektedir. Ca-Mg doğrusal ilişki gösterir ve suların genelde beslenmesinin kalsit-dolomit içerikli kireçtaşından olduğunu gösterir. B-SiO2 korelasyonu doğrusal olup, Kuvaterner Alüvyon akiferde eser termal su katkısına bağlı bir eğim olduğunu gösterir.

Piper diyagramında görüldüğü üzere iki bölgedeki sularda, baskın tip olmamakla birlikte Ca+Mg-HCO3'lü sular sınıfında yer almaktadır. Yani suların kimyasal bileşiminde karbonatlı kayaçların etkili olduğu söylenilebilir.

Schoeller'e göre yapılan sınıflamada çalışma alanlarındaki sular; klorür derişimine göre ‘‘normal klorürlü sular’’, sülfat miktarına göre ‘‘oligo sülfatlı sular’’ sınıfında yer almaktadır. Karbonat ve bikarbonat derişimi olarak ise ‘‘hiperkarbonatlı sular’’ sınıfında yer almaktadır.

Çalışma alanlarında incelenen sulardaki değerler TSE-266 ve WHO'nun içme suyu standartları ile karşılaştırıldığında KYC-7 ve KYC-9 numuneleri hariç müsaade edilir değerlerin altında kalarak ''içilebilir sular'' sınıfına girdiği görülmektedir.

Wilcox diyagramı ile yapılan sınıflamada çalışma alanlarından alınan su numunelerinin sulama suyu olarak, ''iyi kullanılabilir'' sınıfta olduğu görülmüştür.

Çalışma alanı olarak seçilen birinci bölgede faylardan gelen suların ve jeotermal reenjeksiyon sularının yeraltı suyuna karışmasından dolayı bor, klorür, sülfat değerleri yüksektir. Ayrıca bu bölgede yerleşim yerlerinin fazla olmasından dolayı foseptik kirliliğinden ve tarımsal gübrelerden kaynaklanan fosfat fazlalığı mevcuttur. Birinci bölge ikinci bölgenin nehrin akım yönü doğrultusunda devamı olmasına rağmen klorür, bor, sülfat değerlerinin yükselmesinin sebebi bu bölgedeki jeotermal kirliliktir.

Birinci bölgede KYC-9, KYC-8, 60048 ve 60051 numaralı kuyularda akım yolu boyunca klorür için tek boyutta kirlilik taşınımı modellenmesi yapılması sonucunda KYC 9 kuyusuna bir sürekli kirlilik girdisinin olduğunu varsayılarak bu kirliliğin 10000 gün (27.39 yıl) önce başladığı sonucu elde edilmiştir.

KYC 9 kuyusuna, 177 ppm derişimli klorür kirliliğinin sürekli olarak girdiği varsayılarak 15000 gün (41.09 yıl) sonra, yeraltı suyu akım yönü doğrultusunda 5 km mesafeye kadar olan alandaki yeraltı suyunun tek boyutta tüm noktalarında klorür derişiminin 177 ppm olacağı sonucuna varılmıştır.

İkinci bölgede F noktasından itibaren 62620, TGRL-3, TGRL-2 ve 62619 nolu kuyuların bulunduğu hat kirlilik taşınım hattı olarak belirlenmiştir. Klorür için tek boyutta kirlilik taşınımı modellenmesi yapılması sonucunda F noktasından nehre bir sürekli kirlilik girdisinin olduğu varsayılarak bu kirliliğin 2000 gün (5.48 yıl) önce başladığı sonucu elde edilmiştir.

F noktasından nehre, 60 ppm derişimli klorür kirliliğinin sürekli olarak girdiği varsayılarak 10000 gün (27.4 yıl) sonra, yeraltı suyu akım yönü doğrultusunda 5 km mesafeye kadar olan alandaki yeraltı suyunun tek boyutta tüm noktalarında klorür derişiminin 60 ppm olacağı sonucuna varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

Alçiçek, H., Varol, B., ve Özkul, M., ‘‘Sedimentary facies, depositional environments and palaeogeographic evolution of the Neogene Denizli Basin, SW Anatolia, Turkey’’, *Sedimentary Geology,* 202(4), 596-637, (2007).

Back, W., ‘‘Techniques for mapping of hydrochemical facies’’, *US Geol Surv Prof Pap* 424-D, 380–382., (1961).

Bedient, Philip B., Hanadi S. Rifai, and Charles J. Newell*., Ground water contamination: transport and remediation.*, Prentice-Hall International, Inc., (1994).

Beruch, J. C., and Street, R. A., ‘’Two-dimensional dispersion’’ *Journal Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers 93*, SA6.-17-39, (1967).

Brinkmann, R., ‘‘Geotektonische gliederung von West Anatolien’’, *M.T.A. Dergisi,* 66, (1966).

Cooper, H. H., JR., Jacob, C. E., ‘‘ A generalized graphical method for evaluation formation constants and summarizing well-field history’’, *Transactions, American Geophysical Union* 27:526-34, (1946).

Darcy, H*., Les fontaines publiques de la ville de dijon.,* Exposition et application des principes à suivre et des formules à employer dans les questions de distribution d'eau, etc. Victor Dalmont’’, (1856).

Dora, O.Ö., ‘‘Menderes masifinde alkali feldispatların yapısal durumları ve bunların petrojenetik yorumlarla kullanılması’’, *18. Türkiye Jeoloji Bülteni*, 111- 126, (1975).

Elçi, A., Karadaş, D. ve Gündüz, O., ‘‘Havza koruma alanlarının yeraltı suyu kirleticilerin taşınımı bakımından değerlendirilmesi’’*, Su Kaynakları*, 2(1), 41-48, (2009).

Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., *Yeraltı suları jeolojisi ,* İ.T.Ü. Maden Fakültesi Yayınları, İstanbul, (1987).

Fetter, C. W., *Applied Hydrogeology*, Waveland Press, (2018).

Fick, A., ‘‘Ueber diffusion’’, *Annalen der Physik*, *170*(1), 59-86. (1855).

Gökgöz, A., ‘‘Geochemistry of the Kızıldere-Tekkehamam- Buldan- Pamukkale Geothermal Fields’’, *Geothermal Training Programme Reports*, Reykjavik, Iceland, (1998).

Göktaş, F., ‘‘Denizli M22-b1, b2, b3 paftalarının jeolojisi’’, *MTA Rap 9114*, (1990).

Gürel, H., ‘‘Kaklık ve dolayının jeolojik incelenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniv. Fen Bil. Enst*.,Denizli, (1997).

Harita Genel Müdürlüğü, L21-C Topografik Haritası ASTER Uydu Verisi, (2019).

Hoopes J. A. and Harleman D. R. F., ‘‘Wastewater recharge and dispersion in porous media’’ *Journal, Hydroulics Division American Society Of Civil Engineers 93*, HY5: 51-71, (1967)

Kun. N., Candan, O. ve Dora, O.Ö., ‘‘Kiraz-Birgi yöresinde (Ödemiş-Menderes Masifi) metavolkanitlerinin (leptitlerin) varlığı’’ ,*Türkiye Jeoloji Bülteni*, 32, (1988).

Kun, N. ve Candan, O., ‘‘Ödemiş Asmasifi’ndeki leptitlerin dağılımı, konumları ve oluşum koşulları’’, *TBAG-688 nolu proje*, 133 s., (1987a).

Kun, N. ve Candan, O. ‘‘Menderes Masifi'ndeki erken paleozoik yaşlı bazik damar kayaları’’, *Hacettepe Üniversitesi Yer Bil Dergisi,* c, 14., (1987b).

M. T. A., Erişim Tarihi: 01.07.2019, http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx, (2019).

Ogata, A., ‘‘Theory of dispersion in a granular medium’’*, US Government Printing Office*, (1970).

Özler, H.M., ‘‘Büyük menderes havzası yukarı çürüksu kesiminin hidrojeoloji incelemesi’’, Doktora Tezi, *İstanbul Üniv., Fen Bil. Enst*., İstanbul,175s, (1996).

Piper, A. M., ‘‘A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses’’ *Transactions, American Geophysical Union 25:914-23,*(1944).

Richard, L. A., ED. ‘‘Diagnosis and improvement of saline and alkali soil.’’, U.S. Department of Agriculture, *Agricultural Handbook 60.,* (1954).

Schoeller, H., *Les eauv souterrailnes*, Mason, Paris, (1962).

Soyaslan, İ., ‘‘Eğirdir Gölü Doğusunun Hidrojeoloji İncelemesi ve Yeraltı suyu Modellemesi’’, Doktora Tezi, *SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü,* Isparta, (2004).

Şahinci, A., *Doğal Suların Jeokimyası*, 3. Bölüm, Dokuz Eylül Üniv. Müh. Mim. Fak. Jeoloji Müh. Böl*.,* Reform Matbaası, İzmir, 46- 57. , (1991).

Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y., ‘‘Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach’’, *Tectonophysics*, 75, 181-241., (1981).

Şengün, R., ‘‘Yenicekent ve Gölemezli çevresinin hidrojeolojisi’’, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, İzmir, (2011).

Şimşek, Ş., ‘‘Geology, geochemistry and geothermal model of the Kızıldere Field’’*, First Turkish Italian seminar on geothermal energy*, vol. 11, Ankara, (1982).

Şimşek, Ş., ‘‘Denizli- Kızıldere- Tekkehamam- Tosunlar- Buldan Yenice alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları’’*, Mineral Res. Expl. Direct. Turkey (MTA)*, (1984).

Taner, G., ‘‘Denizli bölgesi neojeninin paleontolojik ve stratigrafik etüdü’’, *MTA Dergisi*, (1974).

Topal, S., ‘‘Kolonkaya formasyonundaki yumuşak-çökel deformasyon yapıları ve tetikleme mekanizmaları Denizli Havzası’’*, ATAG 10, Poster Sunumu*, (2006).

Türk Standartları Enstitüsü (TS266), ‘‘Sular - İnsanî Tüketim Amaçlı Sular, Standart’’. Ankara, Türkiye, (2005).

WHO, ‘‘International standarts for drinking water’’, 3 rd ed. Geneva, ,(1971).

Wilcox, L. V., ‘‘Classification and use of irrigation waters’’, *U. S. Pept. Agriculture Circular,* (1955).

Xu, M. and Eckstein, Y., ‘‘Use of weighted least- squares method in evoluation of the relationship between dispersivity and field scale’’, *Ground water 33*, no.6: 905-08, (1995).

Yalçın, M. N., Gürpınar, O., Altınok, Y., Özer N., Özler, M., Hoşgörmez, H., ... ve Dalgıç, S., ‘‘Buldan (Denizli) yöresinin temel jeolojik özellikleri ve jeolojik miras envanteri’’, *Kültür Envanteri*, 2, (2016).

Yılmaz, Y., ‘‘Ege Bölgesi’nin aktif tektoniği’’ Batı Anadolu’nun depremselliği Sempozyumu, *BADSEM 2000*, İzmir, (2000).

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	:	Tufan Tuğrul
Doğum Yeri ve Tarihi	:	Denizli - 1979
Lisans Üniversite	:	Pamukkale Üniversitesi
Elektronik posta	:	tugrulmuhendislik@hotmail.com
İletişim Adresi	:	Deliktaş Mahallesi 2001/1 Sokak No: 9 Pamukkale/DENİZLİ