

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**GÖKSU DELTASI SAĞ YAKASI (MERSİN-SİLİFKE) KIYI AKİFERİ  
YERALTISUYU SİSTEMİNİN MODELLENMESİ**

**Uğur Erdem DOKUZ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2015**

**Her hakkı saklıdır**

## **ETİK**

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

07/09/2015

Uğur Erdem DOKUZ

## ÖZET

Doktora Tezi

### GÖKSU DELTASI SAĞ YAKASI (MERSİN-SİLİFKE) KIYI AKİFERİ YERALTISUYU SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

Uğur Erdem DOKUZ

Ankara Üniversitesi  
Fenbilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Türkiye ve Ortadoğu'nun en önemli sulak alanlardan biri olan Göksu Deltası'nda suya dayalı bir ekosistem gelişmiştir. Deltada doğal hayatın korunması ve sosyo-ekonomik gelişmelerin sağlıklı bir şekilde sürdürülebilmesi herşeyden önce su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ile mümkündür. Göksu Deltası'nda sağlıklı sürdürülebilir su kaynakları yönetim planlarının oluşturulması için bölgede hidrojeolojik kavramsal modelin sağlıklı bir şekilde kurulması gerekmektedir. Göksu Deltası'nda yapılan çalışmalar da bu amaca ulaşamamış bu nedenle deltada hidrojeolojik sistemi sağlıklı bir şekilde tanımlamak mümkün olmamıştır. Tez kapsamında delta ve dolayında jeolojik, hidrojeolojik incelemeler ve sondaj çalışmaları gerçekleştirilerek Göksu Deltası hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmuştur. Göksu Deltası akifer sistemi kuzeyden ve kuzeybatından temel birimlerle sınırlanmış olup, deltanın güney ucunda yaklaşık 250 m kalınlığa ulaşmaktadır. Deltada yeraltısuyu akışı güney, güneybatı yönlü olup Akdeniz'e doğrudur. Hidrojeokimyasal analizler neticesinde deltanın kuzeyden ve kuzeybatından Ca-HCO<sub>3</sub> tipindeki tatlısularla beslendiği, güneyde ise Na-HCO<sub>3</sub> tipinde deniz suyu girişi etkisindeki suların yaygın olduğu anlaşılmıştır. Bu iki su tipi arasında ise iyon değişim bölgesi mevcuttur. Hidrojeokimyasal analizlere göre deltanın orta kesiminde zirai, kuzeyinde ise Göksu Nehri'nden itibaren evsel yeraltısuyu kirliliği söz konusudur. Tez çalışmasında elde edilen tüm veriler Göksu Deltası sağ yakası yeraltısuyu akım modelinin oluşturulması amacıyla değerlendirilmiştir. MODFLOW programı kullanılarak elde edilen yeraltısuyu akım modellemesi sonucunda akifer kararlı akım koşullarında başlıca kireçtaşı akiferinden, kısmen de Göksu Nehri'nden beslenmektedir. Akiferin boşalımı ise yoğun olarak Akdeniz'e, kısmen de güneyde Göksu Nehri'ne doğru gerçekleşmektedir. Modelin 2012 yılı için zamana bağlı olarak yeniden çalıştırılması sonucunda Göksu Deltası sağ yakası yeraltısuyu sisteminin tarımsal sulama amaçlı yeraltısuyu işletimine karşı son derece hassas olduğu anlaşılmıştır.

**Ağustos, 2015, 144 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Göksu Deltası, yeraltısuyu akım modeli, MODFLOW, kavramsal hidrojeolojik model, yeraltısuyu kimyası.

## ABSTRACT

Ph. D. Thesis

### MODELLING OF RIGHT SIDE OF GÖKSU DELTA (MERSİN-SİLİFKE) COASTLA AQUIFER GROUNDWATER SYSTEM

Uğur Erdem DOKUZ

Ankara University  
Graduate School of Natural Sciences  
Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

The water demand ecosystem is developed in Göksu Delta which is one of the most important wetlands of Turkey and Middle East. Protection of wild life and sustainable socioeconomic development in delta is only possible with sustainable usage of water resources. It is necessary to construct conceptual hydrogeological model of delta for an effective sustainable water management plan in Göksu Delta. Recent studies in delta couldn't reach this aim therefore it wasn't possible to define hydrogeological system exactly. A conceptual hydrogeological model is constructed by geological, hydrogeological investigations and drilling studies. According to the conceptual hydrogeological model aquifer system of Göksu Delta restricted by limestones from north and northwest and reaches up to 250 m thickness in southern part. The groundwater flow direction is through south and southeast to Mediterranean. Hydrochemical analyses show that aquifer system of the delta is recharged by Ca-HCO<sub>3</sub> type waters from north and northwest. South part of the delta groundwater type is Na-HCO<sub>3</sub> due to the effect of seawater intrusion. An ion exchange zone is also present between these zones. According to hydrochemical analyses agricultural groundwater pollution is present in central part of the delta while domestic pollution is present northern part through Göksu River. Whole data in thesis are evaluated to construct the hydrogeological flow model for right side of the Göksu Delta. According to result of hydrogeological flow modelling under study state condition by using MODFLOW, it is obtained that alluvium aquifer is primarily recharged by limestone aquifer and partly by the Göksu River. Discharge of aquifer is generally to Akdeniz and partly to the Göksu River in southern part of the delta. The results of model under transient condition for 2012 year indicate that right side of Göksu Delta groundwater system is extremely sensitive for groundwater exploitation for agricultural purposes.

**August, 2015, 144 pages**

**Key Words:** Göksu Delta, groundwater flow modelling, MODFLOW, conceptual hydrogeological model, groundwater chemistry

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

“Göksu Deltası Sağ Yakası (Mersin-Silifke) Kıyı Akiferi Yeraltısuyu Sisteminin Modellenmesi” başlıklı bu çalışma Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalında Prof. Dr. Mehmet ÇELİK (Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü) danışmanlığında “Doktora Tezi” olarak gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmalarım sırasında sonsuz desteğini hissettiğim, mesleki bilgi ve birikimlerini, katkı ve yorumlarını esirgemeyen, değerli zamanını benimle paylaşan ve bana her türlü araştırma imkanını sağlayan danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet ÇELİK’e teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme komitesi üyeleri olarak görüş ve eleştirileriyle tez çalışmasının şekillenmesine katkı vererek mesleki anlamda gelişmeme yaptıkları katkılardan dolayı Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden Sayın Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ’ye ve Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU’na, jüri üyeleri olarak tez çalışmasının şekillenmesine katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Nail ÜNSAL’a ve Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Recep KILIÇ’a,

Arazi çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen Jeoloji Mühendisi Tuncay SOYSAL’a, Jeoloji Mühendisi Ali GÜLEÇYÜZ’e ve Jeoloji Mühendisi Mevlüt Deniz SONGUR’a, laboratuvar ve büro çalışmalarına katkı sağlayan Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğrencileri Eyüp İBİŞ, Burhan BORA ve Yılmaz ÖZENMİŞ’e, değerli arkadaşım Jeoloji Yüksek Mühendisi Berihu Abadi BERHE’ye, tez çalışmam sırasında tecrübelerinden faydalandığım, Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden Dr. Koray ULAMIŞ ve Dr. Şebnem ARSLAN’a,

Sondaj çalışması sırasında verdikleri emeklerden dolayı “Alpaslan Sondaj” çalışanlarına ve arazi çalışmalarında gösterdikleri dostluktan dolayı “Silifke halkına”

Sonsuz teşekkürlerimi ve,

İhtiyacım olduğu her an ve her konuda olduğu gibi doktora tez çalışmalarım sırasında da, arazi çalışmalarının tümünde bana eşlik ederek, laboratuvar ve büro çalışmalarımda yanımda olarak, desteklerini esirgemeyen kardeşim Sn. Sina DOKUZ’a, meslektaşım Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği’nden Sn. Araş. Gör Hilal ENGİN’e ve pek kıymetli Annem’e

Minnetlerimi sunarım...

Uğur Erdem DOKUZ

Ankara, Ağustos 2015

## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT .....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
1.GİRİŞ .....	1
1.1 Tez Sahasının Konumu ve Önemi .....	1
1.2 Tezin Önemi ve Amacı.....	4
2.ÖNCEL ÇALIŞMALAR .....	8
2.1 Tez Sahası ile İlgili Öncel Çalışmalar.....	8
2.2 Yeraltısu Modellemesi ile İlgili Çalışmalar .....	14
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	19
3.1 Literatür Taraması .....	19
3.2 Saha Çalışmaları .....	19
3.3 Laboratuvar ve Büro Çalışmaları .....	20
4. HİDROLOJİ.....	22
4.1 Su Noktaları.....	22
4.1.1 Akarsular .....	22
4.1.2 Sulama ve drenaj kanalları .....	24
4.1.3 Göller .....	25
4.1.4 Sondaj kuyuları.....	27
5. HİDROMETEOROLOJİ .....	30
5.1 Yağış .....	30
5.2 Sıcaklık.....	30
5.3 Buharlaşma-Terleme .....	30
6. TEZ SAHASININ JEOLJİSİ.....	34
6.1 Karakütük Formasyonu .....	34
6.2 Gedik Dağı Formasyonu.....	36
6.3 Taşucu Formasyonu.....	36
6.4 Silifke Formasyonu .....	37
6.4.1 Bozoğlan Üyesi.....	38
6.4.2 Medetsiz Üyesi.....	39
6.4.3 Çamdüzü Üyesi.....	40
6.5 Kuvaterner.....	41
6.5.1 Kumullar .....	43
6.5.2 Lagün kıyı çökelleri .....	44
6.5.3 Plaj çökelleri .....	44
6.5.4 Denizel kıyı düzlüğü çökelleri .....	45
7. TEZ SAHASININ HİDROJEOLJİSİ .....	49
7.1 Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri.....	49
7.1.1 Taşucu Formasyonu.....	49
7.1.2 Silifke Formasyonu .....	50

7.1.3 Kuvaterner .....	51
7.2 Akiferler .....	52
7.2.1 Taşucu kireçtaşı karstik akiferi .....	52
7.2.2 Silifke Formasyonu kireçtaşı akiferi .....	52
7.2.3 Göksu Deltası kıyı akiferi .....	53
7.3 Göksu Deltası Kıyı Akiferi Hidrolik Parametreleri.....	56
7.3.1 Hidrolik iletkenlik .....	58
7.3.2 Depolama katsayısı .....	69
7.3.3 Göksu Deltası kıyı akiferi hidrolik yük dağılımı.....	71
8. HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMELER .....	74
8.1 Hidrojeokimyasal Analiz Sonuçlarının Grafiklerle İncelenmesi.....	76
8.1.1 Piper Diyagramı .....	76
8.1.2 Değişim diyagramları .....	77
8.1.3 İzotopik değerlendirmeler .....	79
9. GÖKSU DELTASI SAĞ YAKASI YERALTISUYU SİSTEMİ AKIM MODELİNİN OLUŞTURULMASI.....	83
9.1 Göksu Deltası Kıyı Akiferi Hidrojeolojik Kavramsal Modeli .....	84
9.2 Göksu Deltası Sağ Yakası Hidrojeolojik Modeli Sınır Koşulları .....	88
9.3 MODFLOW.....	90
9.4 Göksu Deltası Sağ Yakası Sayısal Yeraltısuyu Akım Modeli .....	92
9.4.1 Grid ağının oluşturulması .....	92
9.5 Göksu Deltası Sağ Yakası Sayısal Yeraltısuyu Akım Modeli Sınır Koşulları...94	
9.5.1 Genel seviye sınırı paketi (GHB) .....	94
9.5.2 Akarsu paketi (RIV) .....	95
9.5.3 Beslenme paketi (RCH) .....	95
9.2.4 Evapotranspirasyon (Buharlaşma-Terleme).....	98
9.5.4 Boşalım .....	99
9.6 Modeli Parametreleri.....	100
9.7 Model Kalibrasyonu .....	102
10 SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR .....	112
11 KAYNAKLAR .....	115
EKLER.....	121
EK 1. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarına ait loglar .....	121
EK 2. İncelenen kuyulara ait konum ve seviye bilgileri .....	123
EK 3. Gerçekleştirilen hidrokimyasal ölçüm ve analiz sonuçları.....	125
EK 4. Taneboyu dağılım analizleri sonucunda elde edilen eklenik tane boyu dağılım eğrileri.....	128
EK 5. Göksu Deltası sağ yakası yeraltısuyu akım modeli kalibrasyonu sonucu elde edilen hidrolik iletkenlik değerlerinin farklı katmanlar için alansal dağılımı .....	133
ÖZGEÇMİŞ.....	140



## SİMGELER DİZİNİ

$\delta$	Binde izotopik değer
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
$\text{Ca}^{+2}$	Kalsiyum
CBn	Sınırın iletkenliği
$\text{Cl}^{-}$	Klorür
Cu	Bakır
D	Döteryum
$d_{10}$	Etkili tane çapı
EC	Elektriksel iletkenlik
$\text{F}^{-}$	Florür
Fe	Demir
$h_{i,j,k}$	Model hücrelerinin hidrolik yükü
HBn	Sınırdan model alanına boşalacak suyun miktarı sınırdaki su yükü
K	Hidrolik iletkenlik (cm/s)
L	Filtre uzunluğu (m)
Mn	Mangan
Mo	Molibden
n	Toplam Gözeneklilik
$\text{Na}^{+}$	Sodyum
$\text{NH}_3$	Amonyak
$\text{NO}_2$	Nitrojen Dioksit
$\text{O}^{18}$	Oksijen-18 İzotopu
pH	$\text{H}^{+}$ iyonu değişimi
R	Filtre çapı (m)
r	Kuyunun yarıçapı (m)
t	Yeraltısuyu sıcaklığı
T	Trityum
$T_0$	Slug testin başında oluşturulan yapay seviyenin %37'sine kadar geçen süre (s)

## Kısaltmalar

TU	Tritiyum Birimi
ÇBÖÇKK	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Özel Çevre Koruma Kurumu Müdürlüğü
DHKD	Doğal Hayatı Koruma Derneği
DSİ	Devlet Su İşleri
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
RAMSAR	Su Kuşları Yaşama Ortamı Olarak Uluslararası Öneme Sahip Sulak Alanlar
USGS	Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Merkezi
$\mu\text{S}$	Mikrosimens

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Göksu Deltası yer belirleme haritaları .....	2
Şekil 4.1 Göksu Nehri drenaj havzası .....	23
Şekil 4.2 Göksu Nehri'nin (a. Yağışlı dönem-Nisan), b. Kurak dönem- Eylül) görünümü (Kuzeye bakış) .....	24
Şekil 4.3 DSİ tarafından inşa edilmiş sulama kanalları .....	25
Şekil 4.4 Paradeniz ve Akdeniz'in görünümü (güneye bakış).....	26
Şekil 4.5 Akgöl ve içerisinde oluşan sazlıkların görünümü (kuzeye bakış) .....	26
Şekil 4.6 Devlet Su İşleri tarafından açılan dar çaplı sığ gözlem kuyusu.....	28
Şekil 4.7 Deltanın kuzey kesiminde çiftçiler tarafından açılmış derin sulama kuyusu ..	28
Şekil 4.8 Deltanın güneyinde bulunan artezyen kuyusu .....	29
Şekil 7.1 Taşucu Formasyonu karstlaşmış karbonatlı kayaçlarından bir görünüm .....	50
Şekil 7.2 Silifke Formasyonu, Çamdüzü Üyesindeki karbonatlı kayaçlarda görülen karstik yapılar.....	51
Şekil 7.3 Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sondaj çalışması (Akgöl kuzeyi-AK-1 nolu sondaj).....	56
Şekil 7.4 Slug test yönteminin basınçlı (a) ve serbest akiferler (b) için şematik gösterimi.....	59
Şekil 7.5 Tez kapsamında uygulanan slug testlerinden görünüm (MST4 nolu kuyu).....	60
Şekil 7.6 Slug-test yapılan kuyuların arazideki dağılımları .....	61
Şekil 7.7 Sondaj numunelerinde gerçekleştirilen elek analizleri .....	63
Şekil 7.8 Delikli kutu testlerinden bir görünüm.....	66
Şekil 7.9 Sabit seviyeli permeametre testlerinden bir görünüm .....	67
Şekil 7.10 Düşen seviyeli permeametre testlerinden bir görünüm .....	68
Şekil 7.11 Atterberg kıvam limitleri değerlerinin değerlendirildiği plastisite kartı.....	69
Şekil 7.12 Göksu Deltası sağ yakası kıyı akiferine ait yağışlı dönem yeraltısı seviye haritası.....	72
Şekil 7.13 Göksu Deltası sağ yakası kıyı akiferine ait kurak dönem yeraltısı seviye haritası.....	73
Şekil 8.1 Tez sahasına ait yeraltı sularının Piper diyagramındaki dağılımları.....	76
Şekil 8.2 Çalışma alanına ait örneklerin Na/Cl-Cl ilişkisi diyagramı .....	77
Şekil 8.3 Çalışma alanına ait örneklerin B-Cl değişim diyagramı.....	78
Şekil 8.4 Çalışma alanına ait örneklerin Br/Cl-Cl değişim diyagramı.....	78
Şekil 8.5 Çalışma alanına ait örneklerin Na-Ca değişim diyagramı .....	79
Şekil 8.6 Çalışma alanına ait örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ -Cl değişim diyagramı .....	80
Şekil 8.7 Çalışma alanına ait örneklerin D - $\delta^{18}\text{O}$ diyagramı (Açıklamalar Şekil 8.1'deki gibidir) .....	80
Şekil 8.8 Çalışma alanına ait örneklerin TU- $\delta^{18}\text{O}$ diyagramı .....	81
Şekil 8.9 Çalışma alanının hidrokimyasal zonlanma haritası .....	82
Şekil 9.1 Göksu Deltası üç boyutlu kavramsal hidrojeolojik modeli .....	86
Şekil 9.2 İncelenen 35 adet kuyunun hidrolük yük-derinlik değişim diyagramı .....	87
Şekil 9.3 Göksu Deltası akifer sistemi sınır koşullarını gösteren harita .....	89
Şekil 9.4 MODFLOW sonlu farklar çözümü için ihtiyaç duyulan blok ağı .....	91
Şekil 9.5 Göksu Deltası sağ yakası akifer sistemi grid ağı .....	93
Şekil 9.6 Hücreler arası akışın şematik gösterimi.....	94

Şekil 9.7 Akarsu-yeraltısuyu ilişkisi .....	95
Şekil 9.8 Su tablasına evapotranspirasyon etkisi .....	99
Şekil 9.9 Model kalibrasyonu sonucu elde edilen Kararlı Akım koşullarına ait (Ocak 2012) seviye dağılım haritası .....	104
Şekil 9.10 Model tarafından hesaplanan değerlerin gözlem verileri ile karşılaştırması .....	105
Şekil 9.11 Kalibrasyon hedefi şematik gösterimi .....	105
Şekil 9.12 Kalibrasyon sonuçlarının model üzerindeki dağılımı .....	107
Şekil 9.13 Model alanında pompaj öncesi (Nisan) döneme ait yeraltısuyu seviye dağılım haritası .....	109
Şekil 9.14 Model alanında pompaj yapılan (Ağustos) döneme ait yeraltısuyu seviye dağılım haritası .....	110
Şekil 9.15 Model alanında pompaj sonrası (Kasım) döneme ait yeraltısuyu seviye dağılım haritası .....	111

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 7.1 Slug-test ile elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri .....	62
Çizelge 7.2 DSİ kuyularında elde edilen özgül kapasite değerleri .....	62
Çizelge 7.3 Kırıntılı sondaj numunelerine ait elek analizi sonuçları .....	64
Çizelge 7.4 Allen Hazen (1982) eşitliği ile elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri .....	65
Çizelge 7.5 Taneli numunlerin gözeneklilik değerleri .....	65
Çizelge 7.6 Delikli kutu deneyinden elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri .....	66
Çizelge 7.7 Sabit seviyeli permeametre yöntemi ile elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri.....	67
Çizelge 7.8 Düşen seviyeli permeametre yöntemi kullanılarak elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri.....	68
Çizelge 7.9 Atterberg kıvam limiti sonuçları .....	70
Çizelge 7.10 Bazı litolojilere ait depolama katsayısı aralıkları.....	70
Çizelge 8.1 Hidrokimyasal analizler sonucunda elde edilen su tipleri .....	75
Çizelge 9.1 Limon ekili alanlar için Blaney Criddle nem bilançosu .....	97
Çizelge 9.2 Çilek ekili alanlar için Blaney Criddle nem bilançosu .....	97
Çizelge 9.3 Göksu Deltası sağ yakası akifer sitemine ait kararlı hal (Ocak 2012) su bütçesi .....	108
Çizelge 9.4 Her bir model hücresi için aylık yeraltısuyu işletim debileri.....	108

# 1. GİRİŞ

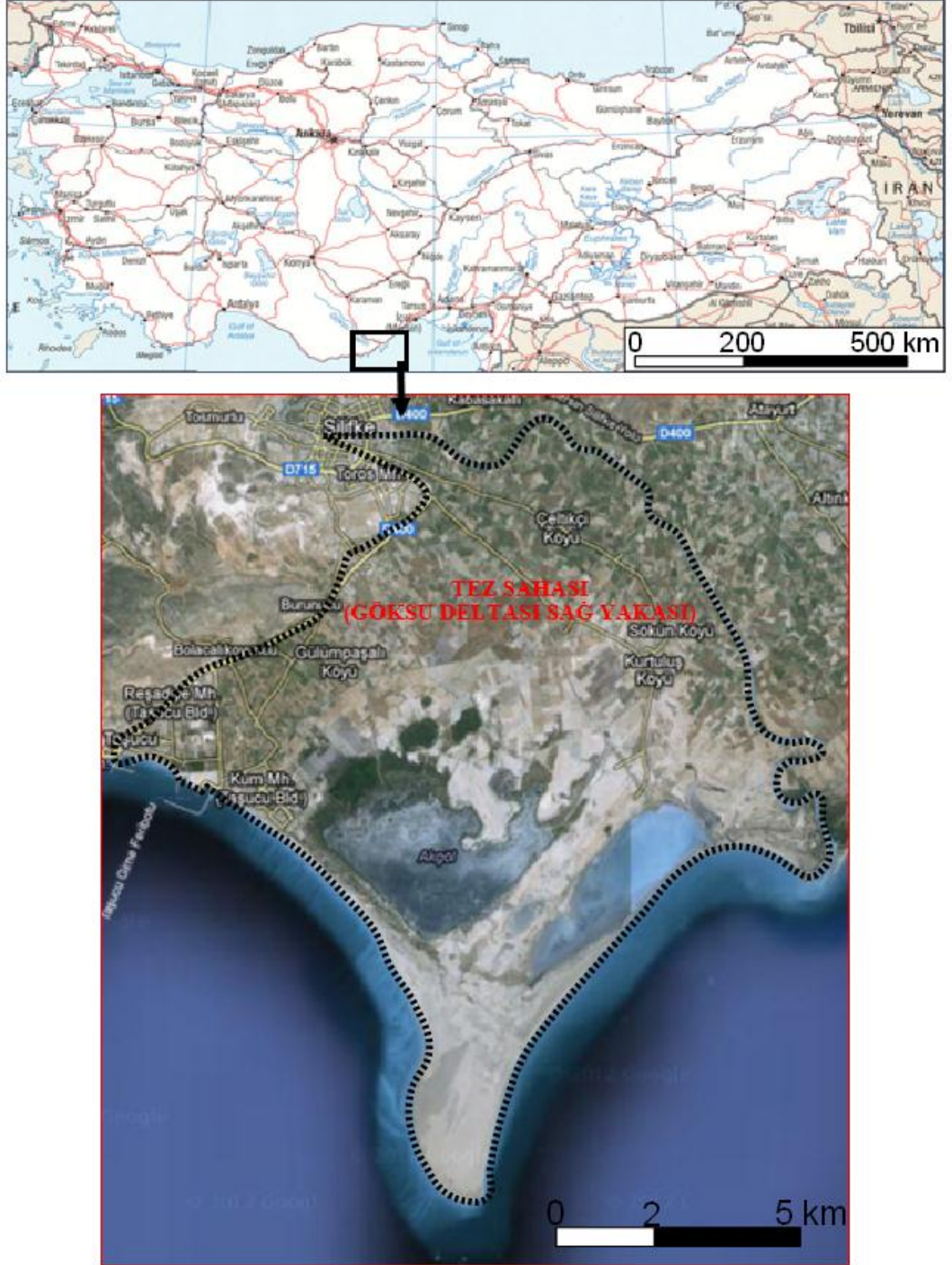
## 1.1 Tez Sahasının Konumu ve Önemi

Çalışma alanı Orta Akdeniz bölgesinin güneyinde bulunan Mersin iline bağlı Silifke ilçesini de içeren Göksu Deltası'nın sağ yakasından oluşmaktadır (Şekil 1.1). Kuzeybatıda Geyik Dağlarından beslenerek, akım yolu boyunca Ermenek Çayı, Afşar Dere, Gökçay, Çalış Dere, Midilliç Dere ve Pirinç Suyu gibi irili ufaklı birçok akarsuyu da bünyesine katarak ilerleyen Göksu Nehri, Batı ve Orta Toroslar arasında güneydoğuya doğru akmakta ve taşıdığı sediman yükü ile oluşturduğu Göksu Deltası'ndan denize boşalmaktadır. Toplam 260 km uzunluğundaki Göksu Nehri, 10.400 km<sup>2</sup>'lik Göksu havzasını drene etmektedir. Yılın her mevsiminde yüksek debide akış gösteren Göksu Nehri, nehir yatağı üzerine kurulmuş Silifke ilçesinde ve delta üzerinde dönem dönem taşkınlara sebep olmaktadır. Bölgede taşkınların önlenmesi, enerji üretimi, çevre ilçelere ve Konya ovasına su sağlanması amacıyla havzanın üst kotlarında Bağbaşı, Bozkır, Mut, Kayraktepe ve Afşar Barajlarının inşaatları devam etmektedir.

Göksu Deltası, Ortadoğu'nun en önemli sulak alanlarından biri olup, Mersin şehir merkezinin 85 km batısında Mersin iline bağlı Silifke İlçesinin güney kenarında 579000 - 597000 Doğu boylamları, 4010000-430000 Kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 1). Doğudan Göksu Nehri ile sınırlanan çalışma alanında iki sığ lagün gölü, Paradeniz ve Akgöl yer almaktadır. Göksu Deltası'ndaki toplam karasal alan 155.34 km<sup>2</sup>'dir. Bu alanın 13.804 hektarlık (ha) kısmı kara yüzeyini 1.730 ha alanı ise su yüzeyini oluşturmakta ve delta yüzeyi boyunca rakım değerleri 0–5 m arasında değişmektedir (ÖÇK 2009). Delta kimi endemik olmak üzere birçok bitki ve hayvan türü için yaşam ortamı oluşturmaktadır.

Çalışma alanı, 1/25000'lik Silifke P31b2, P31b3, P32a1 ve P32a4 paftaları içerisinde yer almakta olup, Delta'ya Karaman ili üzerinden Akdeniz kıyı kuşağı ile İç

Anadolu'yu birbirine bağlayan en önemli güzergâhlardan biri olan Sertavul Geçidi ile veya Mersin şehir merkezinden Mersin-Silifke Karayolu ile ulaşmak mümkündür.



Şekil 1.1 Göksu Deltası yer belirleme haritaları

Göksu Deltası'nın coğrafi, iklimsel özellikleri ve su kaynakları bakımından zenginliği Göksu Deltası'nı doğal yaşam için son derece elverişli bir bölge haline getirmiştir. Su kuşu türlerinin çeşitliliği ve sayılarının fazla oluşu nedeniyle, özellikle Su Kuşları Yaşama Ortamı Olarak Uluslararası Öneme Sahip Sulak Alanlar Hakkındaki Sözleşme (RAMSAR) kriterlerinin birçoğunu kapsadığı için 1994 yılında RAMSAR Alanı Statüsüne sahip olmuştur. Bölge 12.02.1996 tarih ve 2380 sayılı Adana Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulunun kararı ile Birinci Derece Doğal Sit Alanı olarak ilan edilmiştir (ÇŞBÖÇKK 2009).

Göksu Deltası, Akdeniz iklimine özgü çok çeşitli doğal bitki örtüsüne sahiptir. T.C. Çevre Bakanlığı Çevre Koruma Genel Müdürlüğü verilerine göre, bölgede 332 bitki türü belirlenmiştir. Türkiye'de korunmaya ihtiyacı olan dünyanın başka hiçbir yerinde bulunmayan 8 adet tür ile 32 adet nadir türün deltada yaşadığı rapor edilmiştir (ÖÇK 2009).

Söz konusu doğal, tarihi ve kültürel zenginliklerinin korunması ve gelecek nesillere aktarılması amacıyla 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 9. maddesine istinaden, 2 Mart 1990 tarih ve 20449 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan 18.01.1990 tarih, 90/77 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile "Özel Çevre Koruma Bölgesi" olarak da tespit ve ilan edilmiştir (ÇŞBÖÇKK 2009).

Göksu nehri; 260 km uzunluğa, 10.400 km<sup>2</sup> drenaj alanına, yıllık ortalama 110 m<sup>3</sup>/s debiye sahiptir. Göksu Deltası su kaynakları açısından zengin olup yaklaşık 95000 dekarı sulanmaktadır (ÇŞBÖÇKK 2009). DSİ sulama ve drenaj kanalları deltanın merkezinde ve kuzey bölümünde yer almakta, Göksu Nehri'nden alınan sulama sularının bir kısmı drenajla tekrar yüzeysel su sistemine geri dönmektedir. Sulama sonunda araziden toplanan drenaj suyu, deltanın güney bölümünde bulunan Akgöl ve Paradeniz göllerine ve/veya Göksu nehrine deşarj edilmektedir. Akgöl'ün yüzey alanı yaklaşık 800 ha olup, genellikle tatlı ve hafif tuzlusu arası özellikte iken, Paradeniz'in alanı 602 ha olup, genellikle hafif tuzlu ve tuzlu su arası özelliğe sahiptir (Haar ve Heunks 1992). Bu iki göl suni olarak yapılmış bir kanal ile birbirine bağlanmıştır.



Drenaj suyu Akgöl'e sulama sistemine bağlı iki kanaldan ve sulanmayan araziyi kurutan birkaç küçük kanaldan girerek Paradeniz Gölü'ne doğru akmaktadır.

Göksu Deltasının zengin su kaynaklarının yanı sıra uygun iklim koşulları ve verimli alüvyal toprak örtüsü çalışma alanını tarım için son derece elverişli bir bölge haline getirmiş olup, tarımsal üretim bölgenin en önemli geçim kaynağı haline gelmiş, bu durum deltada nüfus artışını tetiklemiştir. Deltada üretilen en önemli ürün olarak çilek göze çarpmakta olup, bunun yanı sıra zeytin, narenciye, buğday, arpa ve çeltik de yoğun olarak üretilen ürünlerdir. Deltanın sahil şeridinde inşa edilen turistik tesisler özellikle yerli turistler tarafından tercih edilmekte olup, deltanın ekonomik potansiyeline katkıda bulunmakta ve yaz döneminde nüfus artışına neden olmaktadır.

## **1.2 Tezin Önemi ve Amacı**

Dünyanın birçok bölgesinde kıyısal alanlar, tarıma elverişli arazileri, doğal yapıları ve özellikle de zengin su kaynakları nedeniyle cazip yerleşim yerleri haline gelmişlerdir. Bu durum kıyı bölgelerinde su kaynakları üzerinde miktar ve kalite bakımından olumsuz etkilere neden olmaktadır. Günümüzde teknoloji ve endüstride gözlenen gelişmeler ve buna bağlı olarak değişen su kaynakları kullanım şekilleri, su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri daha da artırmaktadır. Tüm bunlara ek olarak son yıllarda üzerinde durulan küresel ısınma faktörü, özellikle kıyısal alanlar başta olmak üzere su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını tehdit etmektedir.

Kıyısal alanlar geniş, düz ve verimli tarım arazilerine sahip olup, kıyısal alanların sahip olduğu iklimsel özellikler geniş yelpazede ürün yetiştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ülkemizde halen yaygın olarak kullanılan sulama yöntemleri su kaynaklarının kontrolsüz şekilde kullanılmasına neden olmaktadır. Buna ilave olarak zirai ilaçlama ve gübrelemeden kaynaklanan kirleticiler de yer altı suyuna karışmaktadır. Bu derece verimli tarım arazilerine sahip kıyısal alanlarda yerleşim de buna ve turizme bağlı olarak artmaktadır. Böylece, bölgede su kaynaklarına olan ihtiyaç katlanarak artmaktadır. Tüm bu olumsuz etkilere ilaveten, deniz seviyesi değişimleri nedeniyle (küresel ısınma, gel-git, rüzgar vb. etkilerle) kıyı akiferlerinde deniz suyu girişiminin

etkisi artabilmektedir. Bu nedenle akiferlerin önemli bir bölümü tuzlanmaktadır. Bu tür tuzlanmalar Göksu Deltası kıyı akiferlerinde de gözlenmiştir.

Akdeniz bölgesinde bulunan Mersin ili Silifke ilçesinin bulunduğu Göksu Deltası'nda geniş, tarıma elverişli arazileri nedeniyle yoğun nüfusa sahip olan deltada tarımın yanı sıra turizm ve endüstri de hızla gelişimini sürdürmektedir. Silifke ilçesinde 1985 yılında 86.441 olan yerleşik nüfus 2007 yılında 111.698'e çıkmış ve 2030 yılında ise nüfusun yaklaşık 200.000 olması beklenmektedir. Göksu Deltası ekolojik açıdan da büyük bir öneme sahiptir. Çevre ve Orman Bakanlığı 1990 yılında deltayı Özel Çevre Koruma bölgesi olarak ilan etmiş, ayrıca deltanın güneyinde yer alan, Akgöl ve çevresini kapsayan 4350 ha'lık bölge Yaban Hayatı Koruma alanı kapsamındadır. Deltanın Silifke ilçesi sınırlarında bulunan 8.650 ha'lık kısmı ülkemizin beş büyük RAMSAR alanından birini oluşturmaktadır. Bununla birlikte delta birinci derece sit alanı statüsündedir.

Tüm bu özellikleriyle ülkemizin önemli sulak alanlarından biri olan Göksu Deltası'nda yer altı su kaynakları ve işletilmesi son derece önem taşımaktadır. Göksu Deltası yer altı sularını olumsuz yönde etkileyen başlıca nedenler, bölgede artan nüfus oranına paralel olarak gelişen şehirleşme ve endüstriyel ilerlemelerin neden olduğu kirlilik, tarımsal amaçlı arazi kullanımının neden olduğu kirlenme, başta tarımsal sulama olmak üzere evsel ve endüstriyel amaçlı yer altı suyu kullanımına bağlı su seviyesi değişimleri ve tüm bunların sonucu olarak akifere deniz suyu girişimidir. Bölgede bulunan verimli tarım arazilerinde yoğun olarak sürdürülen tarımsal faaliyetler, deltadaki su tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturmakta ve bu durum deltadaki su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını tehdit etmektedir. Sulamanın önemli kısmının yer altı suyundan karşılandığı 80'li yıllara kadar, deniz suyu girişimi ciddi ölçüde deltanın içine doğru ilerlemiştir. Buna önlem olarak DSİ, sulamanın önemli kısmını karşılamak üzere Göksu Nehri ile bağlantılı olarak inşa ettiği sulama kanallarıyla aşırı tuzlanmanın önüne geçmek istemiş ve yapılan ölçümlere göre kısmen de olsa başarılı olunmuştur. İlerleyen dönemde gelişen tarım teknolojilerinin de etkisiyle Göksu Deltası'nda üretilen ürün deseni çeşitlenmiş ve mevcut kanallar sulama suyu ihtiyacını karşılamakta yetersiz kalmıştır. Ayrıca deltada yaygınlaşan damla sulama sistemi uygulamalarında yüzey

sularının kullanılmasının sakıncaları da görülmüştür. Bu nedenlerle yeniden yeraltı suları kullanılmaya başlanmış, bu durum son derece hassas olan Göksu Deltası yeraltı suyu sistemini olumsuz yönde etkilemiştir. Çalışma alanını söz konusu sosyo-ekonomik konumunun yanı sıra doğal yaşam alanları bakımından da önem arz etmesi bölgedeki su kaynaklarının önemini bir kat daha arttırmaktadır. Bu durum Göksu Deltası'nda sürdürülebilir bir kalkınmanın sağlanabilmesi ve doğal hayatın korunabilmesi için su kaynaklarının güvenliğinin sağlanması gerektiğini göstermektedir.

Günümüzde hidrojeolojik sistemlerin anlaşılması konusunda önemli gelişmeler elde edilmiş olup, ilerleyen teknolojiden gerek arazi gerekse büro çalışmalarında etkin şekilde faydalanılması, hidrojeolojik sistemler hakkında detaylı bilgiler elde edilmesine olanak sağlamıştır. Buna karşın delta ortamlarının birçok sürecin bileşimi neticesinde oluşması, söz konusu sistemleri son derece karmaşık hale getirmektedir. Bu durum delta ortamlarında hidrojeolojik sistemlerin anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Göksu Deltası da Kuvaterner dönemi boyunca maruz kaldığı taşınım ve depolanma süreçlerine bağlı olarak son derece karmaşık bir jeolojik ve jeomorfolojik yapıya sahiptir. Jeolojik yapıdaki bu karmaşıklık hidrojeolojik sistemin anlaşılmasını da güçleştirmektedir. Buna rağmen Göksu Deltası'nda gelişmiş ve gelişmeye devam etmekte olan doğrudan suya dayalı ekolojik sistemin korunması ve geliştirilebilmesi öncelikle hidrojeolojik sistemin doğru şekilde anlaşılabilmesine bağlıdır. Bugüne kadar Devlet Su İşleri, Doğal Hayatı Koruma Derneği ve üniversiteler tarafından Göksu Deltası ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiş olsa da jeolojik ve hidrojeolojik kavramsal model tam olarak ortaya konmamış, bu nedenle söz konusu çalışmalar Göksu Deltası'nın hidrojeolojik sisteminin anlaşılması konusunda oldukça eksik kalmıştır.

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde gerçekleştirilen bu tez kapsamında Göksu Deltası su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımının sağlanması amacıyla hidrojeolojik sistemin anlaşılması ve doğal ya da antropojenik etkilerin Göksu Deltası hidrojeolojik sisteme olası etkilerinin saptanması amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle Göksu Deltası jeolojik ve hidrojeolojik kavramsal modelinin ortaya konması gerekmiş, daha sonra modelleme çalışmaları ile deltadaki hidrojeolojik sistemin aydınlatılması hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında gerçekleştirilecek su

kullanım ve koruma planlarının Göksu Deltası'nda sosyoekonomik yapının ve doğal hayatın sürdürülebilir kalkınmasına hizmet etmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra bu tez kapsamında elde edilecek bulguların ulusal ve küresel ölçekte son derece hassas hidrojeolojik sistemler olan kıyı akiferlerinin doğası hakkında bilgiler sunacaktır.

## 2. ÖNCEL ÇALIŞMALAR

### 2.1 Tez Sahası ile İlgili Öncel Çalışmalar

Çalışma alanı yukarıda belirtilen doğal hayata elverişli yapısının yanı sıra coğrafik ve jeolojik konumu itibariyle de önem taşımaktadır. Çalışma alanı ve dolayının jeolojik ve tektonik özellikleri Avrasya plakası ile Afrika plakaları arasındaki yakınlaşma, Orta ve Doğu Torosların jeolojik, paleocoğrafik ve paleoekolojik kayıtları hakkında bilgiler barındırmasından dolayı araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Bununla birlikte Göksu Deltası'nda yoğun arazi ve kaynak kullanımı deltada yapay etkilerin ortaya çıkmasına neden olmuş ve çalışmalar deltayı etkileyen süreçler ve deltadan sürdürülebilir şekilde faydalanma olanakları üzerine odaklanmıştır.

Blumental (1938), Karaman-Mersin arasında kalan bölgede birimlerin jeolojik, stratigrafik ve tektonik özelliklerini araştırmış, fosil içeriklerini belirlemiştir.

Akarsu (1955), Mut ve civarının jeolojik özelliklerini incelediği çalışmasında bölgenin jeoloji haritasını ve stratigrafik kesitini oluşturmuştur. Yapılan arazi çalışmasında belirlediği yapısal unsurlara da haritasında yer veren araştırmacı, bölgede Alt Kretase ve Alt-Orta Miyosen karbonatlarının petrol bulundurabileceklerini belirtmiştir.

Gökten (1976), Silifke ilçesi ve kuzeyinde yaptığı çalışmada bölgenin temel kaya birimlerini ayrıntılı olarak incelemiş, bölgenin stratigrafik özelliklerini tanımlamış, birimlerin fosil içeriklerini belirlemiş ve bölgenin paleocoğrafik evrimini tartışmıştır. Buna göre çalışma alanında, Üst Burdigaliyen'de başlayan Miyosen transgresyonu, Orta Miyosen'de daha kuzeye doğru ilerlemiştir. Araştırmacı Üst Burdigaliyen için üç, Helvesiyen-Tortoniyen için ise iki biyozunun varlığını tespit etmiştir.

Gedik vd. (1979), Mut-Ermenek-Silifke yöresinin jeolojik haritasını hazırlamışlar, havzada Silüriyen-Miyosen aralığında çökelen istifin kalınlığının 8500 metreye ulaştığını, ofiyolitli melanjin Kretase sonunda kuzeyden güneye doğru yerleştiğini

belirlemişlerdir. Çalışmada, birimlerin petrol potansiyeli de incelenmiş ve Silüriyen-Kretase yaşlı formasyonların batıda, Miyosen yaşlı formasyonların ise güney kesimlerde petrol potansiyeli taşıyabileceklerini belirtmişlerdir.

Sirel (1988), gerçekleştirdiği tez çalışması kapsamında, gün geçtikçe daha yoğun şekilde yapay etkilere maruz kalan Mersin-Silifke kıyı şeridinde arazi kullanım çeşitlerinin doğal yapıya etkisi ve bu etkilere karşı alınacak önlemleri değerlendirmiştir. Araştırmacı, Silifke ilçesi özelinde bölgenin ekonomik olarak cazibe merkezi haline gelmesini takiben ortaya çıkan dış göç ve bölgenin turistik potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla inşa edilen yazlık konutlar nedeniyle özellikle tarım alanlarının ve kıyı şeridinin doğal yapısının olumsuz şekilde etkilendiğini belirtmiştir.

Korkmaz ve Gedik (1990), Mut, Ermenek ve Silifke dolayında yaptıkları organik jeokimya çalışmaları ışığında bölgenin petrol potansiyelini değerlendirmişlerdir. Buna göre bölgede petrol emareleri yalnızca melanj içerisindeki kireçtaşlarında saptanabilmiş, bu durum birimin yerleşim öncesi petrol içeriğine sahip oldukları şeklinde yorumlanmıştır. Çalışmacılar ayrıca Yenimahalle ve Köşedeli Formasyonlarında kömürlü seviyelerin bulunduğunu belirtmişlerdir.

Doğal Hayatı Koruma Derneği (DHKD) (1992), Göksu Delta'sının doğal hayat için önemine dikkat çektiği çalışması sonucu bölgede gerçekleştirilmesi planlanan konut, baraj inşaatları gibi projelerin ve giderek artan tarımsal arazi kullanımının deltayı maruz bırakacağı olası etkileri değerlendirdiği çalışmada bu etkilerin en aza indirilmesi için havza genelinde bütünleşik planların hazırlanması gerektiği belirtilmiştir.

DSİ (1992), Göksu Delta'sında inşası planlanan sulama kanallarının güzergâhlarına yönelik gerçekleştirdiği mühendislik jeoloji çalışmasında deltadaki kumlu siltli bölgelerde yeraltı suyu seviyesinin de yüksek olması nedeniyle kazıya su dolmasının ve şev kayması problemlerinin söz konusu olduğunu belirtmiştir.

Haar ve Heunks (1992), Göksu Deltası'nın hidrolojik ve hidrojeolojik özelliklerini inceledikleri çalışmalarında, özellikle sulama yapılan ve yapılmayan bölgelerde su kalitesi bakımından farklılıklar gözlemlendiğini, yeraltı ve yüzey sularının deniz suyu girişi ve kentsel kirlilik etkisi altında olduklarını belirtmişlerdir. Ayrıca sulama kanallarının Akgöl ve Paradeniz'e boşalmasının bu göllerde siltlenme ve ötrofikasyon gibi sorunlara yol açtığı da belirtilmiştir.

Kolankaya vd. (1993), Göksu Deltası'ndaki kimi kirleticilerden kaynaklanması muhtemel toksik etkileri, biyoindikatör su kuşları yardımıyla araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre deltadaki bazı ortamlar ve organizmalar, cıva-kurşun gibi ağır metaller ve pestisit kalıntıları ile kirletilmiştir. Sonuç olarak su kuşlarının deltadaki kirlilikten fazlaca etkilendikleri ve kirleticilerin su kuşlarının üremesini olumsuz olarak etkileyebilecekleri saptanmıştır.

DSİ (1997), Göksu Deltası'nın hidrojeolojik özelliklerinin ara rapor olarak yer aldığı çalışmalarında, deltada bulunan kuyulardan elde edilen hidrolik iletkenlik gibi verileri sunmalarının yanı sıra çalışma alanında 3 m kotu altında basınçlı, 3 m kotu üzerinde ise serbest akifer koşullarının hâkim olduğunu belirtmişlerdir.

Manley (1997), Göksu Deltası'nda doğal hayatın korunması amacıyla yaptığı incelemelerle, Akgöl Lagününde doğal hayatın risk altında olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı deltada etkin bir yönetim planının hazırlanabilmesi için ölçüm noktalarının, sayısının ve dönemlerinin artırılması gerektiğini vurgulamıştır.

Mauchamp ve Chauvelon (1998), Göksu Deltası'nda bütünlük yönetim planlarının hazırlanması için ön çalışma niteliğindeki araştırmalarında, deltanın hidrolojik özellikleri üzerinde durmuşlar, yüzey sularında incelemeler yapmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre araştırmacılar, etkin yönetim planlarının oluşturulabilmesi için bazı önerilerde bulunmuşlardır.

Menengiç (1998) yaptığı çalışma ile, Göksu Deltası yeraltısuyunun C4S4, C4S3 ve C3S4 sulumu suyu sınıfında olduğunu belirtmiştir.

Keçer (2001)'in MTA bünyesinde gerçekleştirdiği çalışması Göksu Deltası'nın jeolojik jeomorfolojik olarak oluşumu ve gelişimi hakkında yayımlanmış en kapsamlı çalışmadır. Söz konusu çalışma kapsamında Göksu Deltası'nın Kuvaterner çökelleri ayrıntılı şekilde çalışılmış, 1/25.000 ölçekli Kuvaterner Çökel Fasiyes Haritası oluşturulmuştur. Bununla birlikte delta ve çevresinin jeolojik özelliklerinin daha etkin biçimde yorumlanabilmesi ve jeomorfolojik evrimin ve bu evrime etki eden süreçlerin incelenebilmesi amacıyla yine 1/25.000 ölçekli detay Uygulamalı Jeomorfoloji Haritası oluşturulmuştur. Buna göre Göksu Deltası ve dolayında eskiden yeniye ve yüksek kotlardan deltaya doğru Pliyosen Dönemi Aşınım Yüzeyi, Eksüme Yüzey, Aşınım Basamakları ve Yamaçlar olmak üzere dört temel jeomorfolojik birim saptanmıştır. Araştırmacı deltada ortaya çıkan doğal afetlerde yapay etkilerin ve yanlış arazi kullanımının etkisi olduğu sonucuna varmıştır. Buna göre Sökün köyünün kuzeydoğusundan itibaren Göksu Nehri'nin yatağının değiştirilerek doğrusal akışa zorlanması dolayısıyla kıyıda ve eski lagün alanında yapay etkilerin meydana geldiğini belirtmiştir. Kıyıda meydana gelen hareketlerin önlenmesi ve doğal konuma dönülebilmesi için yeni nehir yatağı önerilmiştir. Bazı dönemlerde Göksu Deltası'nı etkileyen taşkın afetlerine önlem olarak deltanın üst kısımlarındaki bitki örtüsünün korunması gerektiğini belirtmişlerdir. Keçer (2001) deltanın yeraltısuyu sisteminin kirliliğe karşı korunması için de üst kotlarda yayılım gösteren ve karstik birimlerin kirleticilere karşı korunması gerektiğini belirtmiştir.

Ünlücömert (2003), yapmış olduğu tez çalışmasında düşey elektrik sondaj yönteminden yararlanmış, kullanmış olduğu 10 profil hattının 9'unda 0-14 m aralığında değişen derinliklerde deniz suyu girişimi saptamıştır.

Şafak vd. (2005), Mut Havzası'nın Senozoyik sonrası çökellerini ve evrimini inceledikleri çalışmalarında, havzanın Orta-Güney Türkiye'nin Senozoyik sonrası jeolojik konumunun anlaşılması için önemine dikkat çekmişlerdir.



Motz vd. (2006), Tübitak destekli olarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında, 500-700 m arasında kalınlığa sahip olduğunu düşündükleri, Göksu Deltası'nın akifer sisteminin 2 boyutlu değişken yoğunluklu bilgisayar modelini oluşturmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlar ışığında farklı yeraltısuyu pompaj miktarlarının akiferde meydana getirebileceği değişiklikleri tahmin etmeye çalışmışlardır. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlarla, çalışma alanının 3 boyutlu olarak modellenmesi ve söz konusu modelleme çalışmalarının başarıya ulaşabilmesi için ilave gözlem noktalarına ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir.

Koç (2007), yapmış olduğu tez çalışmasında deltanın kıyı şeridi boyunca aldıkları sediman örneklerinde gerçekleştirdikleri tane boyu analizleri ile, Göksu Deltası kıyı sedimanlarının daha çok kum-çakıl türünde olduklarını, az miktarda ise kil ve siltten oluştuklarını belirtmiştir. Araştırmacı uydu görüntülerinden ve topoğrafik haritalardan elde ettiği bilgiler ışığında Göksu Deltası'nın 5 m topoğrafik eşyüksekti eğrisi altında kalan kısmın günümüzden 2000-2500 yıl öncesinde gerçekleşen deniz seviyesi yükselimi sırasında oluştuğunu, Göksu Nehri'nin denize boşalım noktasının ise 1890 yılından bu yana doğudan batıya doğru hareket ettiğini belirtmiştir. Yazar deltanın doğusunda kıyı gerilemesi, güneyinde ise kıyı ilerlemesi olduğunu saptamıştır.

Özyurt (2007), iklim değişiminin bir sonucu olarak beklenen deniz seviyesi yükselmelerinin kıyılarda oluşması muhtemel değişikliklere vereceği etkileri değerlendirdiği kırılganlık analizi ile Göksu Deltası'na uygulamıştır. Gerçekleştiren kırılganlık analizi neticesinde olası iklim değişimi nedeniyle gerçekleşecek olan deniz seviyesi yükselmelerinin; deniz ilerlemesi, fırtınalar ve seller, kıyı erozyonu, akarsu ve göllere tuzlu su girişimi, yeraltısuyunun tuzlanması gibi sorunlara yol açabileceğini belirtmiştir.

Keçer ve Duman (2007), yayımladıkları çalışmalarında Göksu Deltası'ndaki farklı jeomorfolojik birimlerin ve çökel ortamlarının tanımlanabilmesi amacıyla farklı tarihlere ait hava fotoğrafları ve topoğrafik haritaları incelemişler, böylece deltanın gelişimine ilişkin yapay ve doğal etkileri belirlemişlerdir. Buna göre Göksu Nehri'nin deltanın doğusuna taşımış olduğu malzeme, güneybatı yönlü deniz akıntıları tarafından işlenerek kıyı setlerini oluşturmuştur. Farklı dönemlerde oluşan bu setler Akgöl, Paradeniz ve

İnceburun'un oluşumuna neden olmuştur. Yazarlar bu durumun son 50 yılda Göksu Nehri yatağında meydana gelen yapay yer değiştirmeler nedeniyle kesintiye uğradığını, deltanın doğusunda kıyı çizgisi 350 m gerilerken, güncel ağız bölgesinde yaklaşık 700 m ilerlediğini belirtmişlerdir. Keçer ve Duman (2007), deltada doğal hayatın sürdürülebilmesi ve tarım alanlarının korunması amacıyla Göksu Nehri'nin doğal yatağından akmasının sağlanması gerektiğini ve kıyı setleri ile kıyı kumullarında kum işletilmemesinin, ekosistemin korunması için önemli olduğunu vurgulamışlardır.

Özpinar (2007), Göksu Deltası'nda su kalitesinin araştırıldığı bir başka çalışmada Göksu Nehri'nin Silifke'den itibaren antropojenik etkilere maruz kaldığı ve kalitesinin değiştiğini belirtmiştir. Araştırmacı yeraltısuyu örneklerinde ise  $Fe^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Mo^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $NH_3^+$ ,  $NO_2^-$  ve  $F^-$  gibi parametrelerin ulusal ve uluslararası standartlarda önerilen değerleri aştığını belirtmiştir.

Özer (2008), Göksu Deltası'nda su kalitesini belirlemek üzere gerçekleştirdiği çalışmada deltada deniz suyu girişi, tarımsal arazi kullanımı ve kentsel atıklar nedeniyle yeraltı ve yerüstü sularının deltayı olumsuz yönde etkilendiğini belirtmiştir.

Çobaner (2009) gerçekleştirmiş olduğu tez çalışmasında Göksu Deltası yeraltısuyu sistemine deniz suyu girişi etkisini belirlemek amacıyla SEAWAT programı yardımıyla değişken yoğunluklu yeraltısuyu akım modeli oluşturmuş, bu model ışığında değişik senaryolar karşısında Göksu Deltası yeraltısuyu sisteminin göstermesi muhtemel tepkileri değerlendirmişler ve pompaj miktarlarındaki artışın tuzlu su girişimini arttıracığını saptamıştır. Çobaner (2009), modele girilen verilerin varsayımlara dayalı olmasının model sonuçlarının güvenilirliğini azalttığını, bu nedenle hidrolik, hidrolojik ve hidrojeolojik verilerin zenginleştirilmesi gerektiğini, bu amaçla ilave kuyulardan veri toplanması, deltanın jeolojik ve hidrojeolojik kavramsal modelinin çıkarılması gerektiğini belirtmiştir.

ÇŞBÖÇKK (2009), Göksu Deltası su kaynakları yönetim planının tartışıldığı çalışmalarında, yapılan rezistivite ölçümleri ile deltada alüvyon kalınlığının en fazla deltanın güneydoğusunda 200 m civarında olduğunu belirtmişlerdir.

Seçkin vd. (2010), deltada yeraltısuyu kalitesini belirlemek amacıyla su kimyası çalışması gerçekleştirmişler ve yeraltısuyu kullanımına bağlı olarak özellikle deltasının kıyı kesimlerde deniz suyu girişiminin söz konusu olduğunu belirtmişlerdir.

Karakoç (2011), Göksu Deltası'nda 1984-2010 yılları arasında uydu verileri kullanarak arazi sınıfı değişimlerini incelemiştir. Araştırmacı 1984-1990 döneminde doğal/yarı doğal alanların tarım alanları lehine azaldığını, 1990-2000 döneminde ise bu değişimin tersine döndüğünü, bu durumun doğa koruma tedbirlerinin bir sonucu olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı 1974, 1989, 1999 ve 2009 yıllarına ait uydu verileri yardımıyla kıyı çizgisi değişimi incelendiğinde, Göksu Nehir yatağına yapılan müdahale nedeniyle deltanın doğu kıyısında yıllık ortalama 7 m'lik kıyı gerilemesinin gerçekleştiğini saptamıştır.

Olgun (2012), uydu görüntüleri ve topoğrafik haritalardan yararlanarak gerçekleştirdiği çalışmasında Göksu Deltası kıyı çizgisi değişimlerini incelemiş ve 1980 yılından 2000 yılına kadar Göksu Nehri kontrolünde deltada regresyonun gerçekleştiğini, 2008 yılından 2010 yılına kadar ise bu etkinin tersine döndüğü ve transgresyonun hakim süreç haline geldiğini belirlemiştir. Araştırmacı söz konusu değişimin, 2009 yılı itibariyle su tutmaya başlayan Ermenek Barajı'nın Göksu Nehri tarafından taşınan sediman miktarını tutması sonucu oluştuğunu belirtmiştir.

## **2.2 Yeraltısuyu Modellemesi ile İlgili Çalışmalar**

Yeraltısuyu modelleme çalışmalarının başlaması 1800'lere kadar dayanmaktadır. Bu dönemlerde kullanılan modellerin en sağlıklı olan matematiksel modeller, hidrojeolojik sistemlerin son derece karmaşık sistemler olmasından dolayı zaman alan yaklaşımlar olarak kalmışlardır. Bilgi işlem teknolojisinin gelişmeye başlaması ile

karmaşık analitik problemlerin daha etkin biçimde çözümlenmesi gündeme gelmiş ve bu imkânın hidrojeolojik sistemlerin çözümlenmesi için de kullanılması söz konusu olmuştur. Bu kapsamda Birleşik Devletler Jeolojik Araştırma Merkezi adına çalışan araştırmacılar (Trescott (1975), Trescott ve Larson (1976), Trescott, vd. (1976)) iki ve üç boyutlu sonlu farklar modelleri üzerine çalışmışlardır. McDonald ve Harbaugh (1984)' un 1981-1983 boyunca süren çalışmaları sonucunda geliştirdikleri MODFLOW (Modüler Üç Boyutlu Sonlu Farklar Yeraltısuyu Akım Modeli) paket programının ilk sürümü bu döneme kadar gerçekleştirilen tüm yaklaşımların tek bir programda toplanmasını sağlamıştır. Bu program ilerleyen yıllarda farklı araştırmacılar tarafından farklı program dillerine uyumlu olacak, daha kolay kullanıma imkan tanıyacak ve daha kapsamlı olacak şekilde güncellenmiş ve yeni paketlerle desteklenmiştir (McDonald ve Harbaugh 1988 (MODFLOW-88), Prudic 1989, Leake ve Prudic (1991), Kuiper 1987, Harbaugh ve McDonald 1996a ve 1996b (MODFLOW-96, Harbaugh vd. 2000 (MODFLOW-2000), Hill vd. 2000, Ahlfeld vd. 2005, Harbaugh vd. 2005 (MODFLOW-2005). Modelleme programları içerisinde en yaygın bilinen ve Bilgi işlem teknolojilerinin ve bilgisayar modellemesi yaklaşımlarının günden güne kazanmış olduğu kullanılabilirlik, hız ve kapsam dolayısıyla yoğun şekilde kullanımını hızlandırmış, buna bağlı olarak hidrojeolojik çalışmalarda bilgisayar modellemelerinin yeri hızla artmıştır.

Notrz vd. (1994), Ohio, Piketon yakınlarında Scioto Nehri Vadisi akiferinde yeraltısuyu pompajı yapılan bölgenin su kaynakları yönetim stratejilerini değerlendirmek amacıyla modelleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Taşınım ve hidrolik yük modellemesi çalışmaları pompaj kuyularından elde edilecek verimin %55-88 kadarının nehirden süzülen suyla karşılandığını ortaya koymuştur.

Gangopadhyay ve Gupta (1995), Bangkok şehri bölgesindeki çok katmanlı yeraltısuyu sisteminin tuzlanmasını ve yeraltısuyu yönetim stratejilerinin değerlendirilmesi amacıyla, üç boyutlu akım ve taşınım modelleri ile incelemiştir. SUTRA model programı kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada özellikle aşırı tuzlu alanlarda başlangıç derişim dağılımlarının tam olarak belirlenmesinin önemi ortaya çıkmıştır.

Yakirevich vd. (1998), aşırı çekim başta olmak üzere birçok etki altında olan Gazze Şeridi kıyı akiferinin deniz suyu girişimini SUTRA programını kullanarak, nüfus artışına bağlı olarak yeraltısuyu kullanımının yıllık %3,8 artması ihtimalini değerlendirmiş ve 1997-2006 yılları arasında 20-45 m/yıl'lık bir deniz suyu girişiminin söz konusu olacağı sonucuna varmışlardır.

Soyaslan (2004), Eğirdir Gölü doğusunu kapsayan alanda gerçekleştirdiği modelleme çalışması ile yeraltısuyu boşalımının serbest akifer koşullarında kireçtaşlarından Eğirdir Gölü'ne doğru yılda  $114 \times 10^6 \text{ m}^3$  olduğunu belirlemiştir.

Qahman ve Larabi (2006), SEAWAT paket programını kullanarak Filistin Gazze akiferine deniz suyu girişimini modellemişlerdir. Yazarlar elde edilen model sonuçlarına göre, mevcut yeraltısuyu kullanımının eniz suyu kalitesinin daha da kötüleşmesine sebep olacağını belirtmişlerdir.

Rodriguez vd. (2006), Arjantin, Patagonya'daki Choele Choel adası sığ alüvyal akiferi için yeraltısuyu-yüzey suyu etkileşimini modellemiştir. Tarımsal sulama amacıyla yoğun şekilde kullanılan akifer için akarsu aracılığıyla drenajın yapay drenajdan fazla olduğu sonucuna varmışlardır. Yazarlar, elde edilen model sonuçlarına göre, sulama sularının geri dönüşünün yeraltısı seviyelerindeki artışa önemli oranda katkı sağladığını belirtmişlerdir.

Werner ve Gallagher (2006), Kuzeydoğu Avustralya'daki Pioneer Vadisi akiferi üç boyutlu deniz suyu girişim modelini oluşturmak üzere MODHMS programından faydalanmışlardır. Deniz suyu girişiminin boyutlarının belirlenmesi ve yeraltısuyu kullanım stratejilerinin belirlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilen çalışma ile bölgede deniz suyu girişiminin henüz dengeye ulaşmadığı ve akiferin tuzlanmaya devam ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

Ersoy (2007), Amasya Gümüşhacıköy Ovasında gerçekleştirdiği modelleme çalışması sonucunda ovada yeraltısu kullanımının yeniden düzenlenmemesi halinde yeraltısu seviyelerindeki azalmaların devam edeceğini belirtmiştir.

Feseker (2007), Kuzeybatı Almanya sahilindeki deniz suyu girişimini sayısal olarak modellemiş, bölgede deniz suyu girişiminin hidrolik özelliklerin dağılımının klima ve insani etkilere bağlı olduğunu belirlemiştir. Gerçekleştirilen iki ve üç boyutlu modelleme çalışmalarında yazar, denizden kazanılan alanda yüzey suyu-yeraltısu etkileşiminin deniz suyu girişimini etkileyen kritik süreç olduğunu saptamıştır.

Rojas ve Dassargues (2007), 1983-2004 yılları arasını kapsayan süreç için geliştirdikleri yeraltısu akım modelini kullanarak beş farklı pompaj senaryosunu değerlendirmişlerdir. Yazarlar elde ettikleri sonuçlarla mevcut pompaj miktarlarının yeraltısu seviyelerindeki düşümlerin devam etmesine neden olacağı, pompaj miktarlarının artması durumunda ise yeraltısu rezervlerinin %12 oranında azalacağını saptamışlardır.

Yağbasan (2007), Ankara'nın güneyinde yer alan Mogan ve Eymir gölleri arasındaki bölge için gerçekleştirmiş olduğu akım ve taşınım modellemesi çalışmasında, inceleme alanının su bütçesini oluşturmuş, olası iklim değişimi senaryolarının göller üzerindeki etkilerini tartışmıştır. Yazar, yapılan modelleme çalışması ile bütçedeki en önemli eksilmenin buharlaşma yoluyla meydana geldiğini belirtmiştir.

Zume ve Tarhule (2008), Oklohama'nın kuzeybatısında gelecek 50 yıl için ihtiyacının %53 oranında artacağı sonucunu veren planlamaların bölgede su kaynaklarına yapacağı etkiyi Visual MODFLOW paket programı yardımıyla tahmin etmişlerdir. Söz konusu su ihtiyacı artışının, akarsularda yaklaşık %47 oranında bir azalmaya neden olacağını belirlemişlerdir.

Jusseret vd. (2009), Vietnam'ın Hanoi şehri Kuvaterner akiferinde gerçekleştirdiği üç boyutlu modelleme çalışmasında 32 kuyudan elde ettikleri verileri değerlendirmişler,

yeraltısuyu-yüzey suyu ilişkisinin akiferin besleniminde önemli rol oynadığını belirtmişlerdir.

Çakmak (2010), Şuhut Ovası'nda (Afyon) gerçekleştirdiği modelleme çalışması neticesinde 2004 yılı için, yeraltısuyu besleniminin  $336.752,83 \text{ m}^3/\text{gün}$ , boşalımının ise  $336.094,93 \text{ m}^3/\text{gün}$  olduğunu saptamış, akiferin iklim değişimi ve pompaj miktarlarındaki değişimlere karşı göstereceği davranışları belirlemek amacıyla model senaryolarını değerlendirmiştir.

Öncel çalışmalar tez sahası özelinde değerlendirildiğinde son yıllarda Göksu Deltası su kaynaklarının artan önemine bağlı olarak modelleme çalışmalarının denendiği görülmektedir. Delta bölgelerinin jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin son derece heterojen oluşunun yanı sıra modelleme çalışmalarının doğası gereği fazla veri gerektirmesi bu çalışmaların başarısını sınırlamıştır. Özellikle Göksu Deltası üzerinde günümüze kadar yapılan jeolojik ve hidrojeolojik amaçlı çalışmaların hiçbirinin jeolojik yapıyı tam olarak ortaya koyamamış olması, söz konusu modelleme çalışmalarının başarıya ulaşmasını engellemiştir. Böylece modelleme amaçlı yapılan çalışmaların hassasiyeti sorgulanır olmuştur. Bu nedenle Göksu Deltası hidrojeolojik özelliklerinin ve yeraltısuyu potansiyelinin ortaya konması amacıyla başlatılan bu tez çalışmasında öncel çalışmalar ışığında ilk hedef bölgenin kavramsal hidrojeolojik modelinin belirlenmesi olmuştur.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

Yapılan öncel çalışmaların ışığında tez konusunun saptanmasının ardından öncelikle bölgede faaliyet gösteren kurum ve kuruluşlarla ön görüşmeler yapılarak bölgedeki sorunlar ve durum tespiti yapılmış, ardından çalışma planı oluşturulmuştur.

#### **3.1 Literatür Taraması**

Tez konusunun belirlenmesi ilr tez sahasında yapılması gereken hakkında ulusal ve uluslar arası ölçekte literatür taraması gerçekleştirilmiş ve benzer çalışmalar incelenmiştir. Tez sahası ile ilgili harita, tez, rapor, makale derlenmiş, bölgede faaliyet gösteren kamu kurumlarınca (Devlet Su İşleri (DSİ), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Özel Çevre Koruma Kurumu (ÇŞBÖÇKK)) üretilen veriler incelenmiştir.

#### **3.2 Saha Çalışmaları**

Literatür çalışmalarından sonra arazi çalışmalarına geçilmiştir. Öncelikle bölgeyi tanıma ve jeolojik yapı hakkında bilgi edinme amaçlı arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş olup, söz konusu çalışmalar sırasında bölge halkının kullanım alışkanlıkları incelenmiştir. Ayrıca DSİ ve ÇŞBÖÇKK tarafından yapılan arazi gözlemleri hakkında da bilgi edinilmiştir. Kurak ve yağışlı dönem olmak üzere iki dönem halinde, hidrokimyasal analizlerde kullanmak üzere örnekleme ve yerinde ölçümler yapmak üzere gerçekleştirilen arazi çalışmaları kapsamında, yeraltı ve yüzey suları çift kapaklı polietilen şişeler kullanılarak örneklendirilmiştir. Önceden saf su ile çalkalanmış numune şişeleri örneklenecek su ile çalkalanarak içerisinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde 0,45 µm'lik filtrelerden süzülerek, doldurulmuştur. Anyon, katyon, trityum, Oksijen-18-Döteryum ölçümleri için farklı kaplarda numuneler derlenmiştir. Örnekleme sırasında numunelerin fizikokimyasal parametreleri HannaEC ve GIS marka taşınabilir pH metreler ile ölçülmüştür.



Arazi çalışmalarının özellikle ilk aşamasında Göksu Deltası'nın jeolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla incelemelerde bulunulmuş, deltayı çevreleyen mostralarda doğrultu ve eğim ölçümleri alınmış ve ayrıntılı tanımlamalar yapabilmek amacıyla kayaç numuneleri derlenmiştir. Göksu Deltası'nı oluşturan alüvyon örtünün jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri hakkında net bilgilerin bulunmaması nedeniyle tez çalışması kapsamında sondaj çalışmalarının yapılması gerekliliği doğmuştur. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarında kesilen birimler sistematik olarak örneklenmiş, sondajların tamamlanmasını takiben pompaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yine arazi çalışmaları sırasında birimlerin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla slug-testler gerçekleştirilmiştir. Schlumberger marka CTD Baro-Diver kullanılarak kuyuya su verilmesi şeklinde gerçekleştirilen slug-testlerden elde edilen sonuçlar laboratuvarda değerlendirilerek birimlerin hidrojeolojik parametrelerinin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Göksu Deltası ile ilgili temel jeolojik ve hidrojeolojik verilerin elde edilmesinin ardından dönemsel hidrojeolojik gözlem amaçlı çalışmalara geçilmiş ve yeraltısuyu seviyesi ve hidrojeokimyasal amaçlı periyodik inceleme, ölçüm ve analizler gerçekleştirilmiştir. İkişer haftalık dönemler halinde gerçekleştirilen arazi çalışmaları sırasında DSİ tarafından açılan, çoğunlukla sığ kuyuların yanı sıra yöre halkı ve özel işletmeler tarafından açılmış kuyulardan sağlıklı derinlik ve filtrelenmiş seviye bilgileri elde edilebilen kuyuların örneklenmesine özen gösterilmiştir. Bu kapsamda 4 adet kaynak ve kaynak noktası, 46 adet derin, 29 adet sığ kuyuda inceleme yapılmıştır. Bunlara ek olarak Akgöl'den 2, Göksu Nehri'nden 4 adet yüzey suyu örneği derlenmiştir. Suların pH, sıcaklık, elektriksel iletkenlik gibi fizikokimyasal özellikleri yerinde ölçülmüştür.

### **3.3 Laboratuvar ve Büro Çalışmaları**

Her bir arazi çalışması dönemini takiben laboratuvar ve büro çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Suların hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla anyon ve katyon analizleri için her örnekleme noktasından iki farklı kapta örnekler alınmıştır.

Çift kapaklı polietilen numune kaplarının kullanıldığı örnekleme işlemi sırasında katyon analizlerinde kullanılacak numunenin pH değerini 2'nin altına indirilebilmesi amacıyla katyon analizleri için kullanılacak numunelere 250 ml örnek için yaklaşık 6 damla nitrik asit ilave edilmiştir. Anyon numuneleri için alınan örneklere herhangi bir madde ilave edilmemiştir. Katyon analizleri Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında Spectro Marka OES Model ICP cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Anyon analizleri için ise Palintest Marka 2000 Model Kirlilik Fotometresi kullanılmıştır.

Tritiyum analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuvarlarında,  $\delta O^{18}$ - $\delta D$  analizleri ise yine Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi İzotop Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Sondaj çalışmalarından derlenen örnekler üzerinde gözeneklilik ve geçirimsizlik değerlerinin belirlenmesi amacıyla elek analizleri ve geçirimsizlik testleri yapılmıştır. Her bir arazi ve laboratuvar çalışması döneminin ardından elde edilen veriler bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir. Arazi ve laboratuvar çalışmalarında elde edilen tüm veriler Excel programına aktarılmıştır. Fizikokimyasal analiz sonuçlarının diyagramlarla değerlendirilmesi amacıyla Aquachem v5.1 paket programı kullanılmıştır. Tez çalışmasında kullanılacak harita kesit vb. çizimler için Freehand MX çizim programı, arazi ve laboratuvar verilerinin alansal olarak değerlendirilmesi amacıyla Surfer 10 paket programları kullanılmıştır. Modelleme çalışmalarında ise GMS 8.3 paket programından yararlanılmıştır. Tez kapsamında elde edilen ilerlemeler ulusal ve uluslararası sempozyumlarda sunulmuştur.

## 4. HİDROLOJİ

### 4.1 Su Noktaları

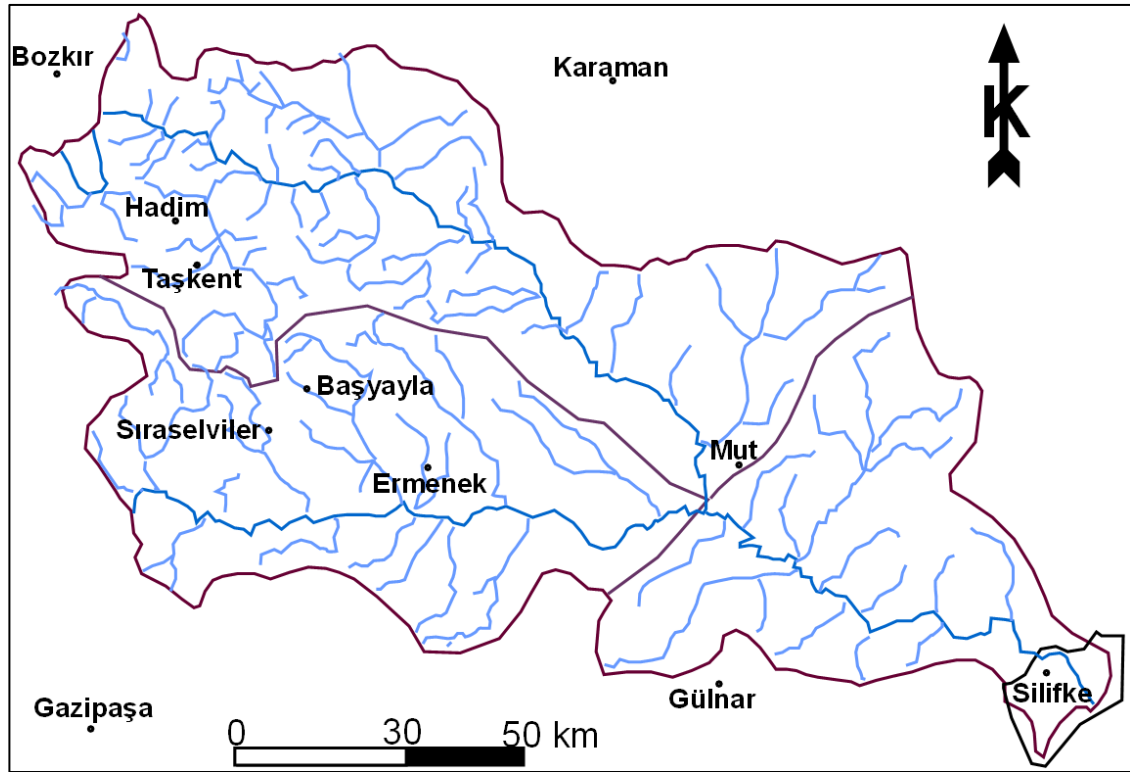
Daha önce belirtildiği gibi tez sahası Ortadoğu'nun en önemli sulak alanlarından birinde yer almakta olup, Göksu Deltası'nda suya dayalı bir ekosistem gelişmiştir. Tez sahasının doğal özellikleri bölgede su kaynaklarıyla doğrudan ilişkili bir sosyo-ekonomik yapının ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bölgenin kuzeybatısından doğarak irili ufaklı birçok akarsuyu da bünyesine katan Göksu Nehri çalışma alanının güneybatı ucundan Akdeniz'e boşalmaktadır.

Tez sahasının güneyinde Akgöl ve Paradeniz gölleri yer almaktadır. Akgöl yapay bir kanalla Paradeniz ile, Paradeniz de Akdeniz ile bağlantılıdır. Tez sahasında başlıca geçim kaynağı olan tarımda verimin ve ürün çeşitliliğinin artırılması amacıyla, resmi ve özel, çok sayıda pompaj kuyusu açılmıştır.

#### 4.1.1 Akarsular

Göksu Nehri Geyik Dağları'ndan beslenerek, akım yolu boyunca irili ufaklı birçok akarsuyu da bünyesine katarak delta üzerine ulaşmakta ve tez alanının güneydoğu sınırı boyunca denize ulaşmaktadır. Batı ve Orta Toroslar arasında güneydoğuya doğru akan nehir toplam 260 km uzunluğundadır. Göksu Nehri, 10. 400 km<sup>2</sup> lik Göksu havzasını drene etmekte (Şekil 4.1) ve yıl boyunca yüksek debide akış göstermektedir (Şekil 4.2.a, 4.2.b). Göksu Nehri'nin yıllık ortalama debisi 130 m<sup>3</sup>/s'dir. Bölgede tarımsal sulama suyu temini bakımından son derece öneme sahip olan Göksu Nehri, nehir yatağı üzerine kurulmuş Silifke ilçesinde dönem dönem taşkınlara sebep olmaktadır. Deltada taşkınların olması, denizin deltaya doğru ilerlemesine engel olmasına rağmen, ekili alanlar ve yerleşimler için de risk oluşturmaktadır. Bu taşkınların önüne geçilmesi, enerji üretimi, çevre ilçelere ve Konya ovasına su sağlanması amacıyla havzanın üst kotlarında 5 adet baraj ve Mavi Tünel çalışmaları devam etmektedir.

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından Göksu Nehri havzası üst kotlarından itibaren 5 farklı noktada debi ve sediman yükü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bunlardan yüksek kotlardan düşük kotlara doğru Bucakkışla, Kıravga ve Karahacılı akım gözlem istasyonları Göksu Nehri üzerinde yer almaktadır. Akım gözlem istasyonlarından elde edilen veriler Göksu Nehri'nin üst kotlarında bulunan Bucakkışla ve Kıravga istasyonlarında Eylül ayında artışa geçen debilerin Mart ayında maksimuma ulaştığı gözlenmiştir. Silifke ilçesinin yaklaşık 15 km kuzeybatısında bulunan Karahacılı akım gözlem istasyonu Ermenek Çayı'nın Göksu Nehri'ne katıldığı lokasyondan 40 km güneydoğuda yer almaktadır. Bu nedenle Ermenek Çayı üzerine inşa edilmiş barajların su tutması nedeniyle bu istasyonda elde edilen debi değerlerinde değişimler gözlenmektedir. Buna karşın diğer istasyonlarda olduğu gibi Mart ayı en yüksek debinin, Eylül ayı ise en düşük debinin ölçüldüğü aydır (ÇŞBÖÇKK 2009).



Şekil 4.1 Göksu Nehri drenaj havzası



**a**

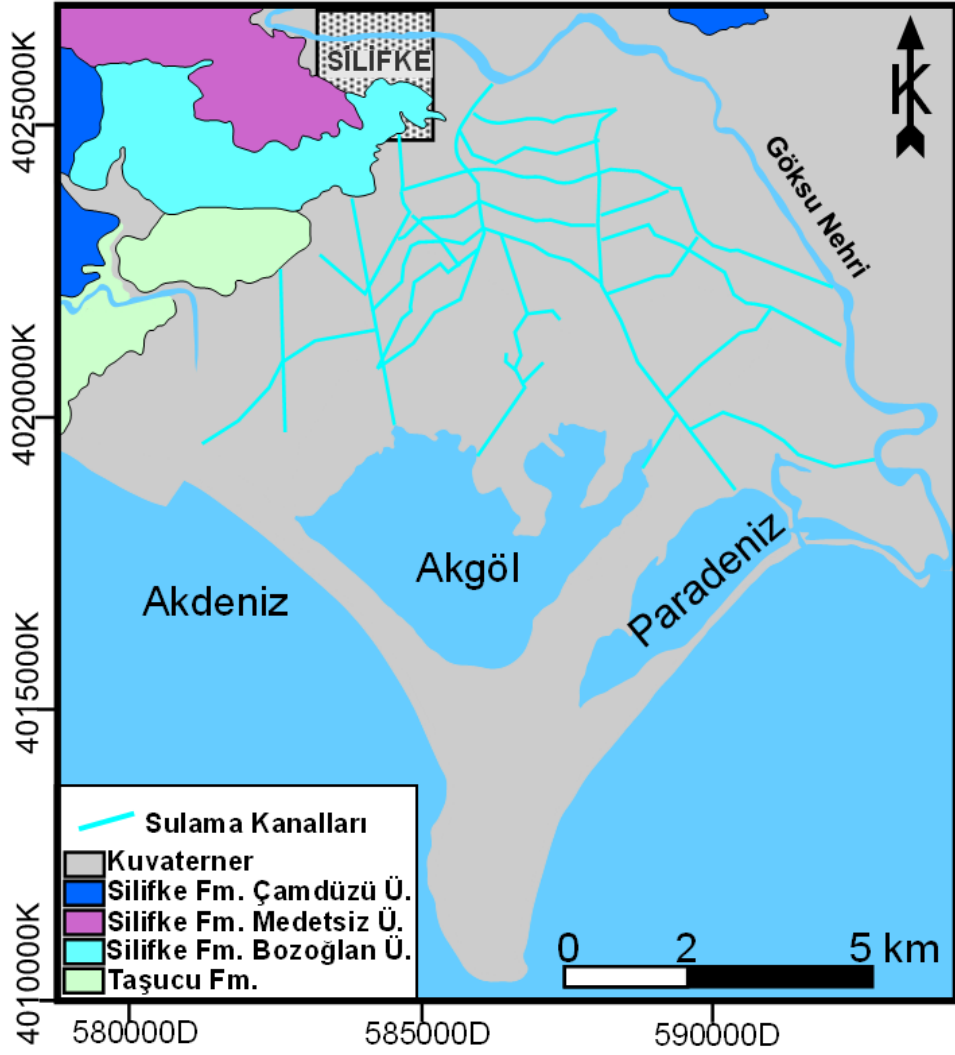
**b**

Şekil 4.2 Göksu Nehri'nin (a. Yağışlı dönem-Nisan), b. Kurak dönem- Eylül) görünümü (Kuzeye bakış)

Göksu Nehri üzerinde yine YEGM tarafından Bucakkışla ve Karahacılı akım gözlem istasyonlarında sediman yükü ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Buna göre 2689,2 km<sup>2</sup> yağış alanına sahip olan Bucakkışla akım gözlem istasyonunda 272 ton/yıl ortalama sediman yükü hesaplanmıştır. Havzanın mansabında bulunan ve yağış alanı 8.880,8 km<sup>2</sup> olan Karahacılı akım gözlem istasyonundan elde edilen verilerle hesaplanan sediman yükü ise yıllık ortalama 2.809 tondur. Akarsuyun sediman yükünün fazlalığı, bu suların Göksu Deltası üzerinde yapılan modern sulama sistemleri için sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle deltada çok sayıda kuyu açılmıştır.

#### **4.1.2 Sulama ve drenaj kanalları**

DSİ tarafından 1972 yılında hayata geçirilen 1. Merhale Sulama Projesi ile inşa edilen sulama kanalları Göksu Nehri'nin sularını deltanın kuzey yarısına taşımaktadır. Proje kapsamında 53.255 da'lık alan Göksu Nehri'nin sularıyla sulanmaktadır. Sulamadan dönen fazla su ise drenaj kanalları vasıtasıyla 3 farklı noktadan Akgöl'e boşalmaktadır (Şekil 4.3). Akgöl ise güneyinde bulunan yapay bir kanalla Paradeniz'e bağlanmıştır. Bu durum özellikle Akgöl'ün miktar ve kalite bakımından antropojenik etkilere açık hale getirmektedir. Sulama ve drenaj kanallarının betonla yapılmış olup, dönem dönem DSİ tarafından temizlenmektedir.



Şekil 4.3 DSİ tarafından inşa edilmiş sulama kanalları

#### 4.1.3 Göller

Çalışma alanının güneyinde Akgöl ve Paradeniz gölleri bulunmaktadır. Paradeniz gölü Akdeniz ile bağlantılı ve tuzlu su karakterindedir (Şekil 4.4). Akgöl kuzeyde tatlı sudan güneye doğru hafif tuzlu su karakterine geçer (Şekil 4.5). Göksu Deltası güney kesiminde killi birimlerin üzerinde yer alan göller yapay bir kanalla birbirine bağlanmış olup, göllerde hızlı siltasyon mevcuttur.



Şekil 4.4 Paradeniz ve Akdeniz'in görünümü (güneye bakış)



Şekil 4.5 Akgöl ve içerisinde oluşan sazlıkların görünümü (kuzeye bakış)

Göksu Deltası'nda inşa edilen sulama kanallarının suyunun bir kısmının boşaltıldığı Akgöl, daha önce susuz iken sulama kanalları yapıldıktan sonra suya kavuşmuştur. Sulama kanalları vasıtasıyla besin girdisinde gözlenen artış nedeniyle Akgöl içerisinde yoğun sazlıklar (kamış, yosun vb.) oluşmuştur. Bu nedenle gölde disoksik koşullar oluşmaya başlamıştır. Akgöl'ün maksimum derinliği 75 cm, yüzey alanı ise 800 ha civarındadır. Paradeniz'in ise maksimum derinliği 135 cm yüzey alanı 600 ha civarındadır (Nisan 2008).

Akgöl ve Paradeniz’de 2009 yılı Temmuz ayında gerçekleştirilen incelemeler sırasında göllerin derinliklerinin yanı sıra hidrokimyasal özelliklerinin de belirlenebilmesi amacıyla EC ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sırasında drenaj kanallarının Akgöl’e boşaldığı Akgöl’ün kuzey kesiminin tamamen kamışlarla ve yosunlarla kaplandığı görülmüştür. Tatlı su girişinin yaşandığı kuzey kesimde EC değeri 970  $\mu\text{S}/\text{cm}$  olarak ölçülmüştür. Gölün güney kesimlerine doğru gittikçe artan EC değeri denizin göl ile hidrolik bağlantısı nedeniyle 13.480  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ’ye kadar çıkmaktadır. Paradenizde yapılan incelemelerde ise kamış ve yosun oluşumuna görülmemiş olmakla birlikte, buna paralel olarak EC değerlerinin 21.400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ile 34.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değiştiği saptanmıştır.

#### **4.1.4 Sondaj kuyuları**

Tez sahasında derin ve sığ sondaj kuyuları mevcuttur. Sığ kuyular Devlet Su İşleri tarafından açılmış olan gözlem kuyuları olup en fazla 3,5 m derinliğinde ve 9 cm çapındadır (Şekil 4.6). Derin kuyular ise buldukları bölgeye göre ve su aldıkları birime göre farklı özellik taşımakta olup, genel olarak sulama suyu temini amacıyla açılmış pompaj kuyularıdır. Özellikle deltanın tarıma elverişli kuzey bölümünde yoğun olarak gözlenen kuyular, bu kesimde 50 m derinliğe kadar inmekte ve kumlu çakıllı birimlerden su almaktadır (Şekil 4.7). Çalışma alanının güneyine doğru ise 70 m derinliğe kadar inen bu kuyular artezyen yapmaktadır (Şekil 4.8).





Şekil 4.6 Devlet Su İşleri tarafından açılan dar çaplı sığ gözlem kuyusu



Şekil 4.7 Deltanın kuzey kesiminde çiftçiler tarafından açılmış derin sulama kuyusu



Şekil 4.8 Deltanın güneyinde bulunan artezyen kuyusu

## **5. HİDROMETEOROLOJİ**

Tüm Akdeniz kıyısında olduğu gibi çalışma alanında da yarı–kurak Akdeniz iklimi hakimdir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar yağışlı ve ılık geçmektedir. Bölgede yağış, sıcaklık, buharlaşma gibi veriler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Silifke ilçesi sınırlarında kurulu bulunan meteoroloji istasyonundan 2004-2013 yılları için elde edilerek değerlendirilmiştir.

### **5.1 Yağış**

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne ait Silifke Meteorolojik Gözlem İstasyonunun 2004-2013 yılına ait verilerine göre çalışma alanına ortalama yıllık toplam 563,85 mm yağış düşmektedir. Söz konusu veriler Şekil 5.1'de toplam yağış ve ortalama sıcaklığın aylara göre değişim diyagramında incelendiğinde, çalışma alanına Aralık ayından Şubat ayına kadar yoğun olmak üzere Mayıs ayına kadar yağış düşmektedir. Haziran-Kasım döneminde ise yağışın son derece az olduğu görülmektedir.

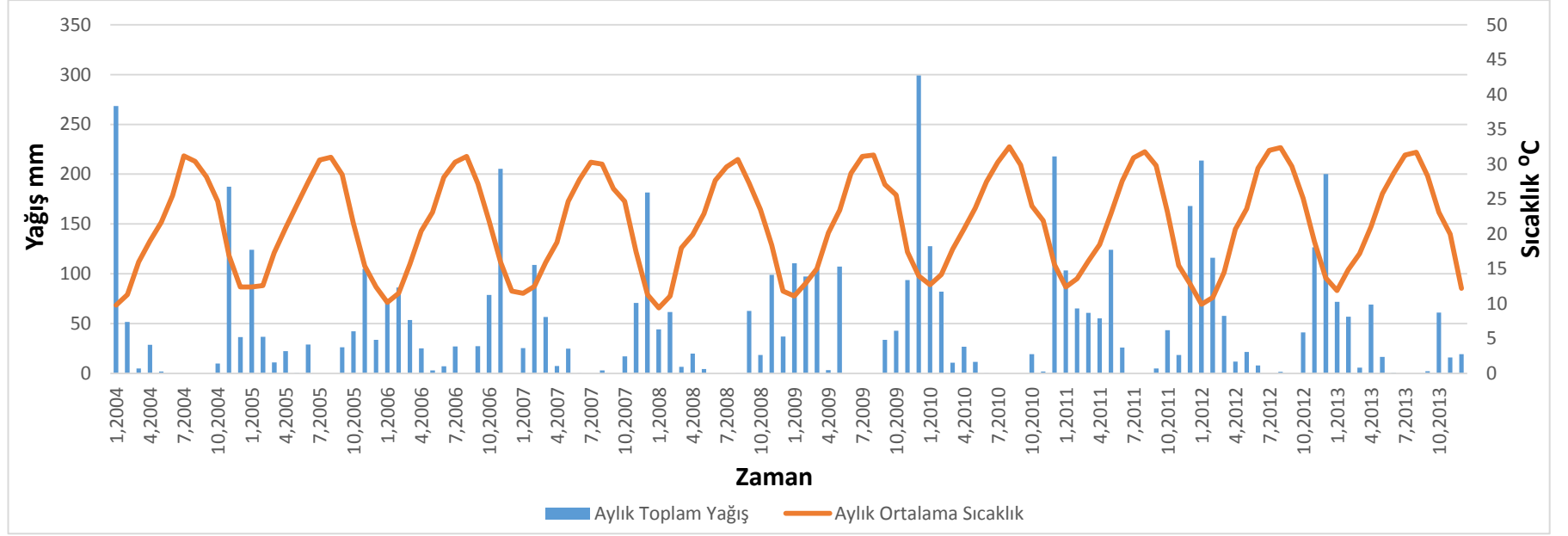
### **5.2 Sıcaklık**

Tez sahasında yıllık ortalama sıcaklık 2012 yılı için 21,73 °C'dir. Yılın en yüksek sıcaklık değerleri Haziran-Eylül döneminde görülmekte olup, en yüksek sıcaklık Ağustos ayında ortaya çıkmaktadır ve ortalama sıcaklık 32,4 °C'dir. Sıcaklık değerleri için uzun yıllar ortalaması ise 19,6 °C'dir.

### **5.3 Buharlaşma-Terleme**

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Silifke Meteoroloji İstasyonu verileri kullanılarak Thornthwaite (1948) yöntemi yardımı ile tez sahası potansiyel buharlaşma terleme ve gerçek buharlaşma terleme değerleri elde edilmiştir. Buna göre tez sahasında yıllık 1961,82 mm potansiyel, 431,01 mm gerçek buharlaşma-terleme değerleri hesaplanmıştır. Thornthwaite (1948) yöntemi kullanılarak yapılan toprağın nem

bilançosu hesabına göre Nisan ile Ekim arasındaki dönemde toprakta su noksanı ortaya çıkarken, Aralık ile Mart arasındaki dönemde su fazlası bulunmaktadır (Çizelge 5.1).



Şekil 5.1 Silifke Meteoroloji İstasyonu 2004-2013 yılları arası aylık toplam yağış-ortalama sıcaklık diyagramı

Çizelge 5.1 Silifke meteoroloji istasyonu 2012 yılı verileriyle hazırlanmış Thornthwaite (1948) nem bilançosu

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam
Aylık Sıcaklık Ortalaması (°C)	9,90	10,90	14,50	20,70	23,60	29,40	32,00	32,40	29,70	25,10	18,90	13,70	
Sıcaklık indisi (i)	3,67	4,30	5,71	7,31	9,49	11,92	13,87	15,30	13,14	9,42	8,16	4,96	I=107,24
Potansiyel Buharlaşma Terleme _ETP (mm)	37,94	48,54	75,50	110,91	166,53	237,69	300,81	350,43	276,44	164,76	131,61	60,67	1961,82
Enlem Düzeltme Katsayısı	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84	
Düzeltilmiş Buharlaşma Terleme _ETPc (mm)	33,01	41,26	77,76	122,00	201,51	289,98	373,01	406,49	284,73	159,82	113,18	50,96	2153,71
Aylık Toplam Yağış (mm)	213,70	116,00	57,90	12,00	21,60	8,20	0	1,70	0	41,20	126,70	200,00	799,00
Faydalı Su Yedeği (mm)	50,00	50,00	30,14	0	0	0	0	0	0	0	13,52	50,00	
Gerçek Buharlaşma Terleme (mm)	33,01	41,26	77,76	42,14	21,60	8,20	0	1,70	0	41,20	113,18	50,96	431,01
Su fazlası (mm)	180,69	74,74	33,14	0	0	0	0	0	0	0	0	122,56	401,13
Su noksanı (mm)	0	0	0	79,86	179,91	281,78	373,01	404,79	284,73	118,62	0	0	1722,71



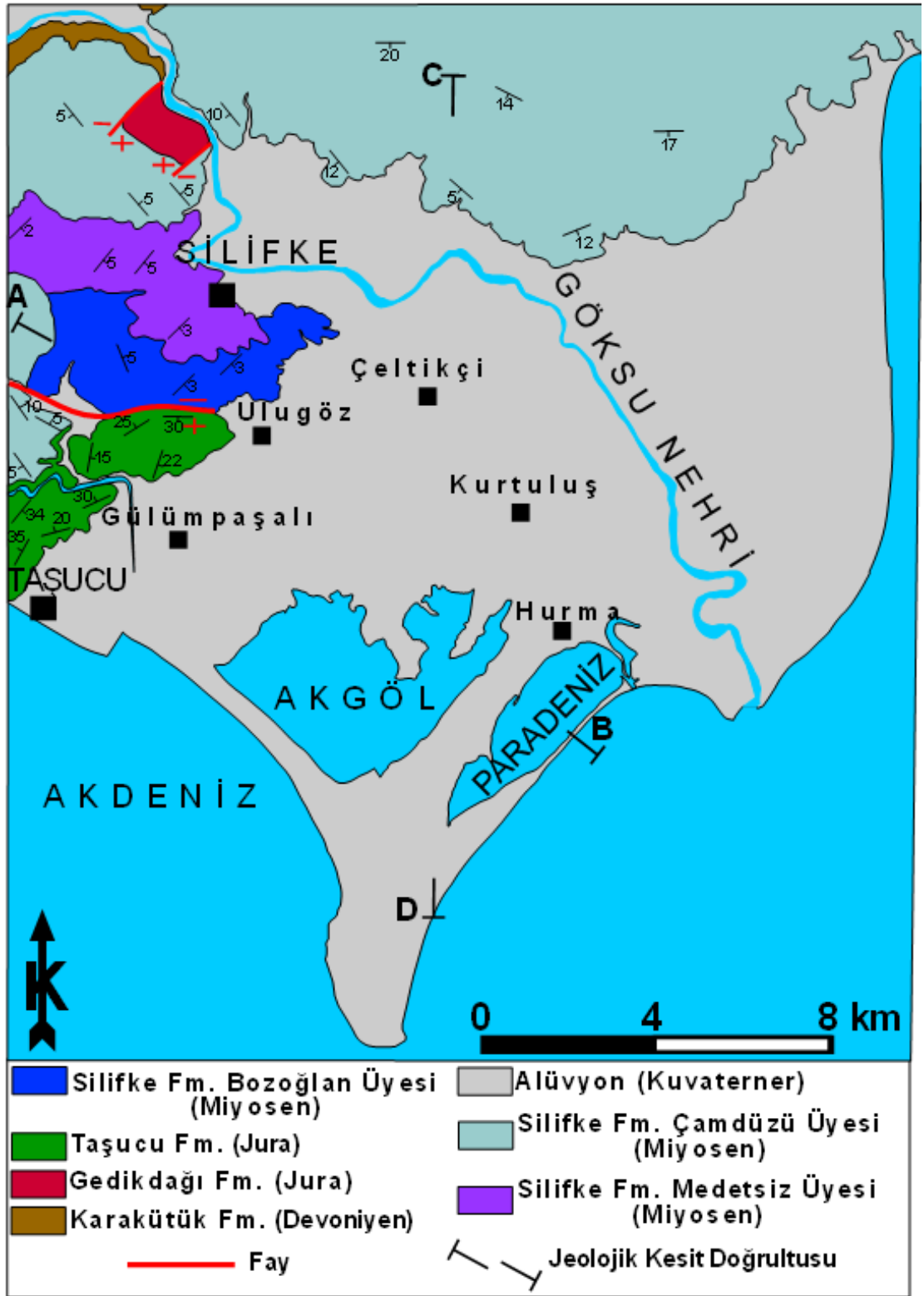
## **6. TEZ SAHASININ JEOLJİSİ**

Çalışma alanının bulunduğu Orta Toroslar, Silifke yöresinin jeolojisine ilişkin ilk bilgiler Blumental (1938) tarafından yapılan çalışmalara aittir. Daha sonra da bölgenin maden (Ziegler, 1939) ve petrol (Dinçel, 1955) olanakları üzerine araştırmalar da gerçekleştirilmiştir. Akarsu (1959), Mut dolayında jeolojik ve stratigrafik incelemelerde bulunmuş ve yaşlı birimlerin petrol içerebileceğini belirtmiştir. Gökten (1976), Silifke ilçesi ve kuzeyinde temel kaya birimlerini ve bölgenin stratigrafik özelliklerini tanımlamış, birimlerin fosil içeriklerini belirlemiş, bölgenin paleocoğrafik evrimini tartışmıştır. Gedik vd. (1979), Mut-Ermenek-Silifke yöresinin jeolojik haritasını hazırlamışlardır.

Deltanın Toroslarla temas ettiği kuzey bölgesinde otokton-paraotokton Geyik Dağı Birliği'ne ait Permian yaşlı Ağilderesi Formasyonu ve Üst Kretase yaşlı Taşucu Formasyonu ile onların da üzerinde uyumsuz olarak daha genç olan Miyosen yaşlı Silifke Formasyonu gözlenmektedir (Şekil 6.1).

### **6.1 Karakütük Formasyonu**

Çalışma alanı dolayında gözlenen en yaşlı birimleri içeren formasyon Gökten (1976) tarafından Karakütük Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Gedik vd. (1982) tarafından Akdere Formasyonu adı altında da incelenmiş olan formasyon, çakıltası, kuvarsit, dolomitik kireçtaşları ve killi şistlerden oluşmaktadır. Litolojik özellikleri dikkate alındığında, resif gerisi ve lagün ortamı çökellerinden oluştuğu ve fosil içeriğine göre Devonian yaşlı olduğu belirtilmiştir. Karakütük Formasyonu tez sahasının kuzeybatısında Göksu Nehri vadisinde yüzeylenmektedir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Çalışma alanının jeoloji haritası (Gökten, 1976'dan değiştirilerek alınmıştır)

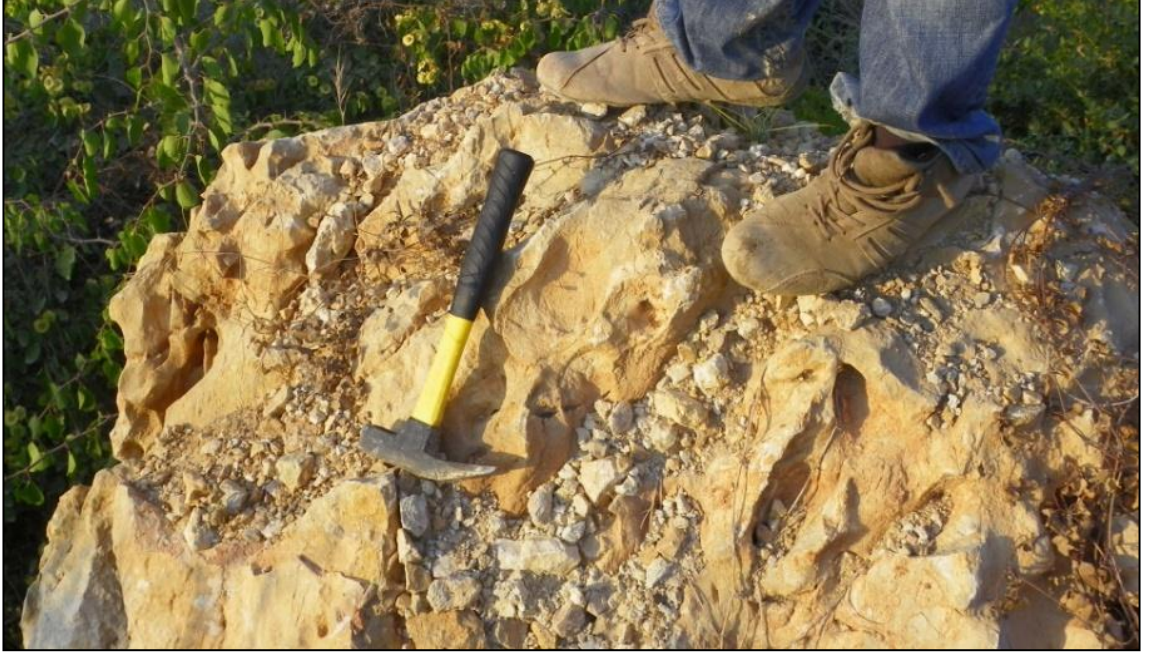


## **6.2 Gedik Dağı Formasyonu**

Gökten (1976) tarafından Gedik, Demirtaşlı (1980) tarafından ise Tokmar Formasyonu olarak adlandırılan formasyon Gedik Dağı'nda, Ağılderesi vadisi kuzeyinde ve Eyceli mahallesi civarında yüzeylemektedir. Formasyon başta kireçtaşı olmak üzere yer yer kilitaşı ve dolomitik seviyeler de içermektedir. Tabanda Devoniyen yaşlı birimleri açılı uyumsuzlukla örten Gedik Dağı Formasyonu, üstte Silifke Formasyonu ile açılı uyumsuzdur. Sublitoral ortamda çökeldiği düşünülen formasyonun yaşı Jura'dır (Gökten, 1976).

## **6.3 Taşucu Formasyonu**

Bu birimler Gökten (1976) tarafından Taşucu Formasyonu, Demirtaşlı (1980) tarafından ise Tokmar Formasyonu olarak adlandırmıştır. Silifke' nin güneybatısında ve Taşucu'nun kuzeyindeki alanlarda yüzeylenen formasyonda dolomit, kireçtaşı, şeyl, kumtaşı ve kuvarsit bantları gözlenmektedir. Dolomitler krem-bej renkli, orta sert, düzgün yüzeyli ve orta tabakalıdır. Kireçtaşları sparikalsit çimentolu oolitik tane taşı özelliğinde, kumtaşları sarı ve pembe renklidirler. Şelf ortamında çökeldiği düşünülen formasyonun yaşı Jura olarak verilmiştir (Gökten, 1976). Birim Göksu Deltası batısında Taşucu beldesi kuzeyinde incelenmiş olup bej, krem renkli sert yapıda olduğu ve yoğun şekilde karstlaşma gösterdiği saptanmıştır (Şekil 6.2). Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sondajlardan (EK-1) tez sahasının en batısında yer alan 5 nolu kuyuda kaba taneli Kuvaterner yamaç molozlarından sonra 63. metreden itibaren Taşucu Formasyonu'na girilmiştir.



Şekil 6.2 Taşucu Beldesi kuzeyindeki Taşucu Formasyonu'na ait kireçtaşları (Yüzeysel ayrışma ve karstlaşma başlangıcı)

#### **6.4 Silifke Formasyonu**

Schmidt (1961) tarafından yapılan çalışmada Karaisalı Formasyonu olarak adlandırılan birimler için Gökten (1976), Silifke Formasyonu adını kullanmış ve Bozoğlan, Medetsiz ve Çamdüzü üyeleri olmak üzere üçe ayırmıştır. Bu tez çalışmasında da Gökten (1976) tarafından yapılan isimlendirmenin kullanılması benimsenmiştir.

Formasyon Göksu Nehri'nin kuzey ve güneyinde, KB-GD doğrultusunda uzanan iki sırt boyunca yüzeilenmektedir (Şekil 6.1). Başta kireçtaşı olmak üzere marn, yer yer de kumtaşı ve çakıltaşı seviyeleri içeren formasyon Miyosen yaş aralığında depolanmıştır.

Temel kayalar üzerine güneyden kuzeye doğru transgresif olarak ilerleyen Miyosen denizinde çoğunlukla marn ve kireçtaşı litolojilerindeki çökelimler gerçekleşmiştir. Silifke ilçesi civarında altta taban konglomerası ile başlayan Orta Miyosen, üste doğru farklı litolojik özellikler kazanmıştır. En altta yer alan marnlar fosilsiz olup kalın tabakalıdır. Bu marn seviyeleri yer yer resifal karakterli kireçtaşlarına geçmektedir.

Bu seviyelere doğru marnlardaki kil miktarı azalmakta ve karbonat oranı artmaktadır. Karbonat oranı yüksek olan bu seviyeler oldukça serttir. Renkleri sarı ve kremdir. Bu seviyelerde yine kendi çakıllarından oluşan konglomeralar gözlenmektedir. Orta seviyelere doğru marnlar içerisinde sileks bantları gözlenir. Bu bantların deniz içerisindeki çatlak ve kırıklardan boşalan hidrotermal çıkışlara ait silis jellerine işaret ettiği belirtilmiştir. Bu konglomera seviyesinin üzerinde beyaz, sert, kalsit kristalli yer yer oolitik yapılu ikinci bir serinin başladığı belirtilmiştir. Bölgede dik yarıklar oluşturan bu seri yaklaşık 100 m'ye kadar kalınlık sunmaktadır. Bu seviyeden sonra marnlı ve kireçtaşı olan üçüncü seviyenin başladığı, ince tabakalı ve böbreğimsi görünümlü olan bu serinin fosil içeriğinin oldukça az olduğu belirtilmiştir (Brennich,1970).

Silifke-Kırobası beldesi yolu güzergahında genellikle mercan hakimiyetli biyostromalarda eklemler, yarıklar ve küçük karstik şekiller hakimdir. Bu seviyeler genellikle 50-65 m kalınlıklıdır. Bu istifin üzerinde ise Silifke-Mut yolu güzergahındaki Kargacık köyünden itibaren yine marn ve kireçtaşları devam etmektedir. Mut ve kuzeyinde bu marn ve kireçtaşı seviyeleri üzerine yine tekdüze, yer yer oolitik, üst seviyelere doğru mercan kolonilerinin bol olduğu masif kireçtaşları gelmektedir. Tekdüze olarak devam eden bu seri üzerine konglomeralarla başlayan sığ denizel fasiyesteki bu birim, üste doğru bol fosilli oolitik ve biyoherm kireçtaşı olarak devam etmektedir. Bu birim üste doğru oolitik ve pizolitik seviyelere tedricen geçişlidir. Bu oolitik seviye yaklaşık 20 m kalınlıklıdır. Bu seviye üzerine ise yaklaşık 15 m kalınlıklı marnlar ve kireçtaşından oluşan seviye gelmektedir. Bu 15 m'lik seviye üzerine ise yaklaşık 250 m kalınlığında tekdüze oolitik kireçtaşı ve biyoherm kireçtaşı seviyesi gelmektedir. Daha da üstte ise tavanı belirsiz olan biyostromal kireçtaşlarının, bol mercanlı koloniler içerecek şekilde uzandığı belirtilmiştir (Brennich,1970).

#### **6.4.1 Bozoğlan Üyesi**

Bozoğlan Üyesi tabanda konglomeralarla başlamaktadır. Konglomeralar kötü boyanmalı, yabancı kireçtaşı ve magmatik çakıllı ve tabakalanmasız olup, kireçtaşı çakılları fosillidir. Konglomeraların üzerine gelen krem renkli, kalın tabakalı, masif kireçtaşları marn-kireçtaşı ar dalanması tarafından üzerlenmektedir. Üste doğru kireçtaşı

hakimiyeti azalırken marnlar hakim duruma geçmektedir. Bu seviyenin de üstünde yer yer biyohermli masif kireçtaşları üste doğru açık krem renkli kumlu kireçtaşlarına geçmektedir (Şekil 6.3). En üstte ise yine marnlar yer almaktadır. Bozoğlan Üyesi'nin altında Jura yaşlı Taşucu Formasyonu uyumsuz olarak yer alırken, birim üste doğru marn ve karbonatlardan oluşan Medetsiz Üyesi'ne tedrici geçişlidir (Şekil 6.4). Ulugöz Köyü üst kotlarında yüzeylenen birim, bu bölgede tabakalı kireçtaşları şeklindedir. Çeltikçi, Ulugöz, Kurtuluş Köyleri arasında kalan alanda açılan 4 nolu sondaj çalışmasında 61. metre'den sonra Bozoğlan Üyesi'ne ait kireçtaşlarına girilmiştir.

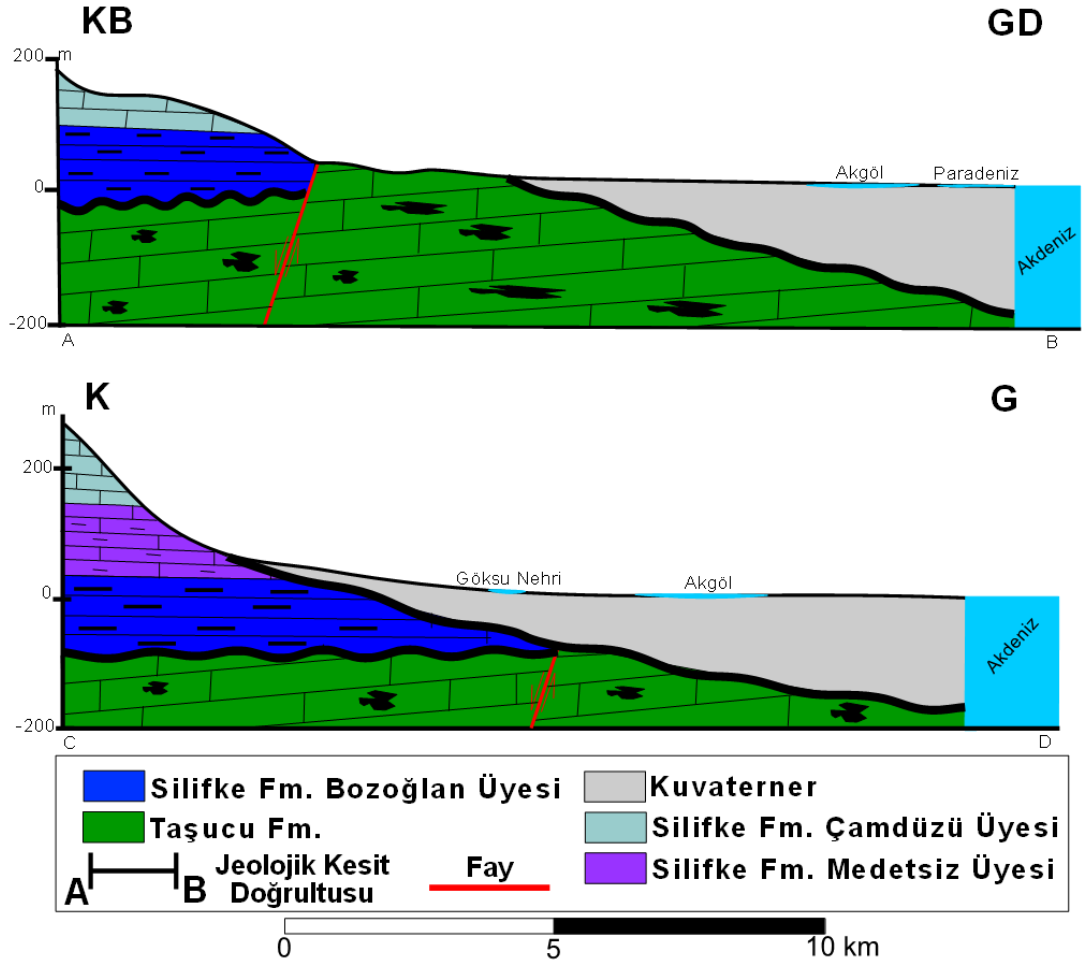


Şekil 6.3. Silifke Formasyonu, Bozoğlan Üyesi kireçtaşları (tabakalı kireçtaşları ve deformasyon yapıları)

#### 6.4.2 Medetsiz Üyesi

Genellikle killi kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşan birimin alt seviyeleri ve yer yer sığ denizel çökellerden oluşmaktadır. Birim tabanda krem renkli ve kalın tabakalı konglomeratik kireçtaşlarıyla başlamakta, konglomera seviyesinin üzerine beyaz renkli, masif ve yer yer gözenekli pizolitik ve oolitik kireçtaşları gelmektedir. Kireçtaşı seviyesi üste doğru karbonat değerleri azalarak açık krem-beyaz renkli ve oldukça kalın marnlara geçmektedir. Birim üste doğru masif, kalın tabakalı olup, krem renkli

kireçtaşlarına geçiş göstermektedir. Bu bilgiler ışığında birimin neritik ortamda depolandığı düşünülmektedir. Silifke İlçesi'nin hemen batısında yüzeylenen birim bu bölgede kalın kiltası ve marn aralanmaları şeklindedir (Şekil 6.5).



Şekil 6.4 Tez sahasına ait K-G ve KB-GD yönlü enine jeolojik kesitler

### 6.4.3 Çamdüzü Üyesi

Göksu Deltası'nın kuzeyinde, Silifke ilçesinin kuzey ve kuzeydoğusunda geniş bir alanda yüzlek veren birim Göksu Nehri'nin kuzey ve güneyinde iki sırt boyunca gözlenmektedir. Marn ve kumtaşlarının aşındırılmasıyla oluşan Göksu Nehri vadisinde ve sırtlarda kireçtaşları yer yer şapka şeklinde yer almaktadır. Birim altta kumlu-killi kireçtaşları ve resifal kireçtaşlarıyla, üstte ise killi kireçtaşı ve marnlarla temsil

edilmektedir. Marnlar krem-beyaz renkli, yer yer ince yer yer de kalın, orta-kalın tabakalıdır. Beyaz-krem renkli ve orta sert kireçtaşları resif, resif önü, resif gerisi özellikleri sunmaktadır. Resif tepeliklerinden uzaklaştıkça kireçtaşları litoklastik özellikte düzgün, orta-kalın tabakalı özellik kazanmakta ve marnlarla ardalanmalı olarak yer almaktadır. Birim, sığ deniz ortamında oluşmuştur Gökten (1976).



Şekil 6.5 Silifke Formasyonu, Medetsiz Üyesi kıltaşı-marn seviyeleri

## 6.5 Kuvaterner

Kuvaterner çökelleri genel olarak Göksu Nehri'nin bugün aktığı vadinin her iki tarafında ve nehrin oluşturduğu Göksu Deltası'nda yoğun şekilde izlenmektedir. Kuvaterner çökelleri genellikle kum, çakıl, silt ve kısmen de kil boyu malzemelerin oluşturduğu çökellerden oluşmaktadır.



Göksu Nehri'nin bugün aktığı vadinin her iki tarafında birbirinden ayrı ve ufak yüzeylemeler şeklinde izlenen Kuvaterner, bu bölgede genellikle iri kum-iri çakıl arası boyuttaki malzemeden oluşmakta ise de, yer yer silt boyutundaki tanelerden oluşma merceksel çökeller de mevcuttur. Akarsuların zaman zaman yatak değiştirmesi sonucu, çökellerde düzensiz yayılım görülmektedir.

Göksu Deltası'ndaki Kuvaterner çökelleri Üst Miyosen ve daha yaşlı kayaç toplulukları ile uyumsuzluk göstermektedir. Delta, Pliyosen dönemi aşınım evresini geçirmiştir. Kuvaterner tektonik hareketleri ile eğimlenmiş olan delta bölgesi, akarsularla çizgisel olarak aşındırılmış, Flandriyen'deki deniz transgresyonu ile Akdeniz'in yükselmesi sonucunda Holosen'de gelişmiştir (Keçer, 2001).

Göksu Deltası'ndaki Kuvaterner çökelleri Keçer (2001) tarafından yapılan jeomorfoloji çalışması ile Rüzgar Kumulu Çökelleri, Lagün Kıyı Düzlüğü Çökelleri, Denizel Plaj Çökelleri, Denizel Kıyı Düzlüğü Çökelleri şeklinde haritalanmıştır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 Göksu Deltası Jeomorfoloji Haritası (Keçer 2001)

### 6.5.1 Kumullar

Rüzgar kumulu çökelleri ince kum ve az miktarda da silt boyundaki malzemenin (Şekil 6.7) plaj ve ön kıyı setleri kumullarının rüzgarla taşınarak yığışımından oluşmuşlardır (Keçer, 2001). Keçer (2001)'e göre, plaj etkisinden uzaklaştırıldığı ve plaja göre daha eski olduklarından kumul çökellerinin tuzlarının bir kısmı yağmurlarla yıkanmıştır. Kumul çökellerinin bir kısmı rüzgarlarla iç kısımlara taşınmakta olup bir kısmı da duraylıdır. Fosilleşmiş kumul çökelleri üzerinde ince bir toprak ve kurakçıl bitki örtüsü yer almaktadır, bitki örtüsü tuzcul bitkilerden oluşmaktadır (Şekil 6.8).



Şekil 6.7 Akgöl güneyindeki kumullar (Kumullar başlıca kalsit ve kuvarstan oluşmaktadır)





Şekil 6.8 Akgöl güneyindeki kumullar üzerinde gelişen tuzcul bitkiler

### **6.5.2 Lagün kıyı çökelleri**

Çoğunlukla Akgöl'ün kuzeyinde, gölün etki alanında tuzlu alanlar şeklinde lagün kıyı düzlüğü çökelleri bulunmaktadır. Genellikle tuzlu, ince kum, silt ve killerden oluşan bu çökeller taşkın alanı çökellerinin uzantısı durumundadırlar. Diğer çökellerle geçişli olan lagün kıyı düzlüğü çökellerinin altında ise eski lagün çökelleri bulunmaktadır (Keçer, 2001). Hacıpaşalar Çiftliği Mevkiinde gerçekleştirilen 2 no'lu sondajın ilk metrelerinde bu seviyelere ait killi siltli birimler kesilmiştir. Akgöl civarında gözlenen Lagün kıyı çökelleri üzerinde güneye doğru artan şekilde tuz kalıntıları görmek mümkündür. Özellikle Akgöl'ün güney kıyısı civarında Lagün kıyı çökelleri üzerinde gelişen bitki örtüsünün de tuzcul bitkilerden oluştuğu gözlenmiştir.

### **6.5.3 Plaj çökelleri**

Denizel plaj çökelleri güncel kıyı çizgisi boyunca uzanır ve iyi yıkanmış ince kum ve siltten oluşmaktadır (Şekil 6.9). Plaj kumlarının karbonatlı bir çimentoyla

birleşmesinden oluşan yalı taşları, denize doğru hafifçe eğimli bir düzey oluşturmuşlardır. Bu kesimde Göksu Nehri'nin eski yatak dolguları plaj kumullarına göre daha dirençli olduklarından denize doğru geçici çıkıntılar oluşturmuşlardır (Keçer 2001).



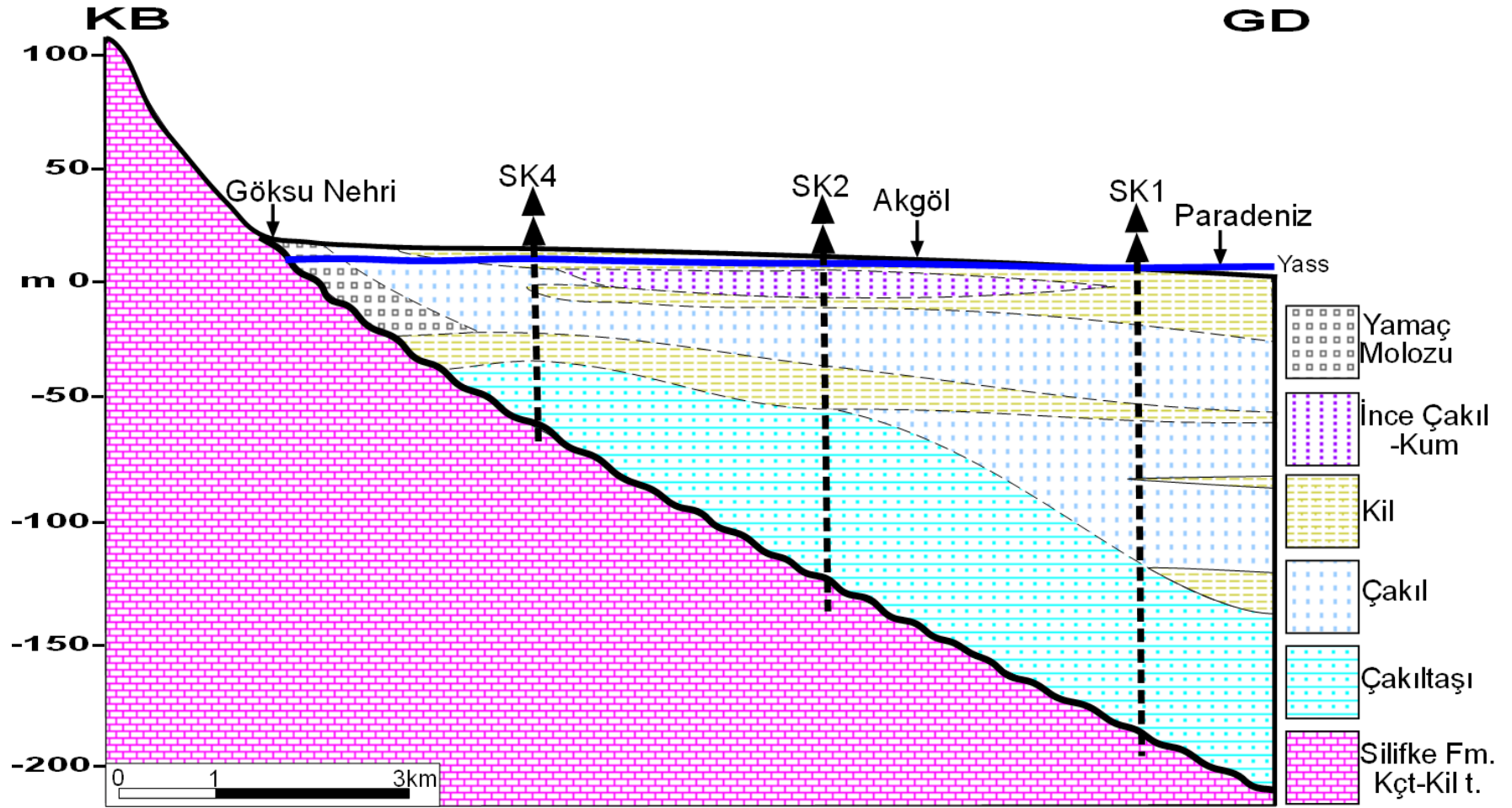
Şekil 6.9 Göksu Deltası plaj çökelleri

#### 6.5.4 Denizel kıyı düzlüğü çökelleri

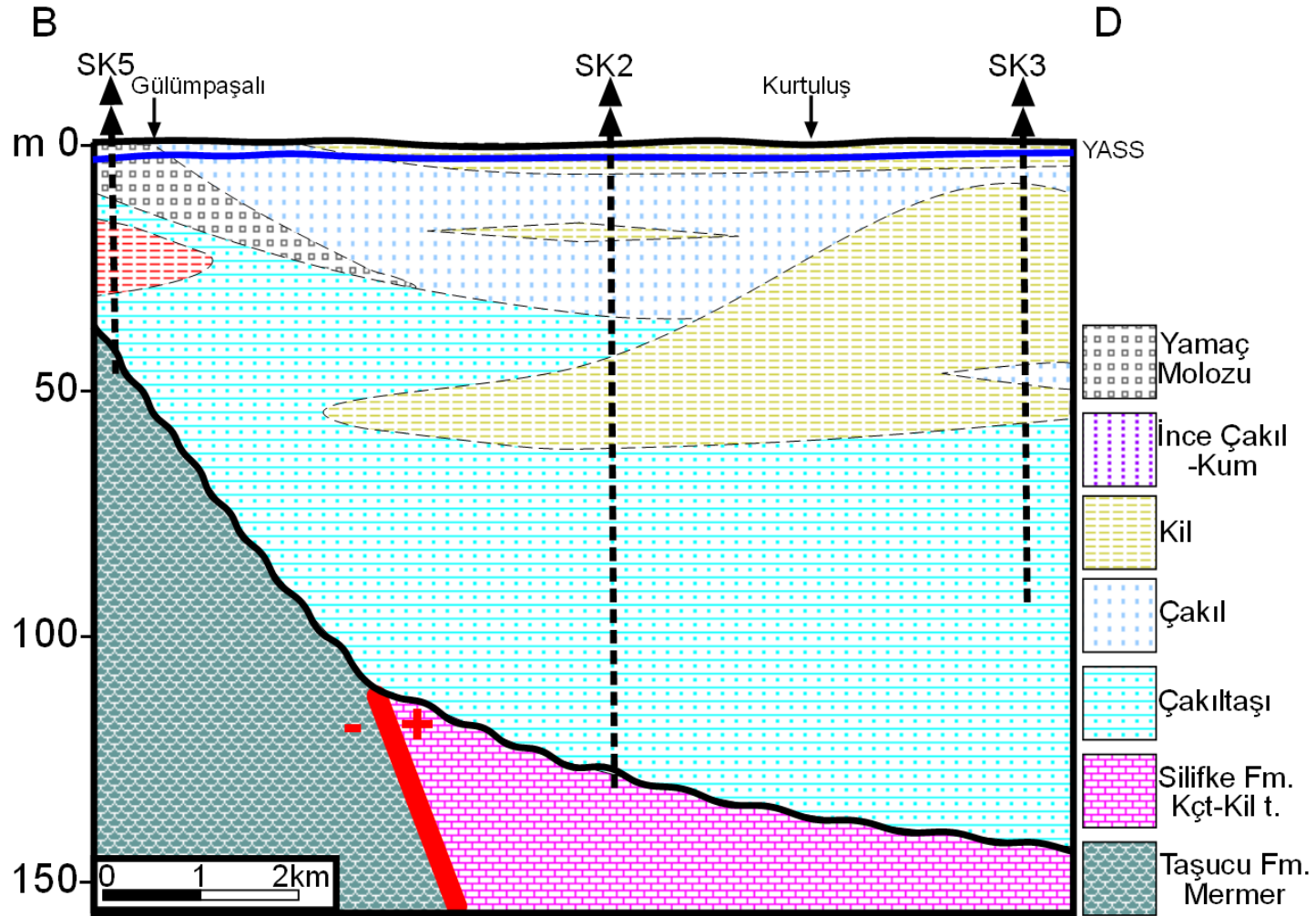
Denizel kıyı düzlüğü çökelleri deniz kenarında yer alan düşük eğimli, bazen tuzlu olan çökel alanlardır. Az tutturulmuş, gevşek, ince çakıl, kum ve siltlerden oluşan kıyı düzlüğü çökelleri, yelpaze çökelleri ve taşkın alanı çökelleriyle geçişli olup rüzgar kumulu çökelleri tarafından yer yer üzerlenirler (Keçer 2001). Tez kapsamında gerçekleştirilen 1 nolu sondaj kuyusunda 0-17 m arası bu çökeller geçilmiş olup, söz konusu seviyenin siltlerden oluştuğu görülmektedir.

Göksu Deltası tüm delta bölgelerinde olduğu gibi deltayı oluşturan süreçlerin karmaşıklığı nedeniyle son derece karmaşık bir litolojik istifeye sahiptir. Kuvaterner çökellerinin daha ayrıntılı şekilde tanınabilmesi amacıyla tez kapsamında 6 adet (toplam 600 m) sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurum ve kuruluşlarca açılmış ve kayıtları

elde edilen sondajlar tez kapsamında gerçekleştirilen sondaj çalışmaları ile birlikte değerlendirilmiştir. Buna göre deltanın en derin kısmının Göksu Nehri'nin Akdeniz' e döküldüğü noktada yaklaşık 250 m civarında olduğu saptanmıştır (Şekil 6.10). Yapılan jeolojik çalışmalar ve sondaj çalışmaları ile deltanın tabanında Silifke ve Taşucu Formasyonları karbonatlı kayaları ile sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Kuvaterner çökellerinin tabanında kuzeyden güneye doğru yamaç molozu, çakıllı seviyeler ve çakıltaşları bulunmaktadır. Çakıllı birimler yüzeye doğru artan oranda killi birimlerce kesilmektedir. Deltanın sağ yakasını kuzeyden sınırlayan Göksu Nehri'nin 1 km kadar güneyinden itibaren, kuzeybatı sınırındaki yamaç molozları dışında genellikle killi seviyelerden oluşmaktadır (Şekil 6.11).



Şekil 6.10 Tez sahasının KB-GD yönlü enine jeolojik kesit



Şekil 6.11 Tez sahasının B-D yönlü enine jeolojik kesiti

## **7. TEZ SAHASININ HİDROJEOLOJİSİ**

Tez sahasında yüzeylenen jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri ve Göksu Deltası'nda yeraltısuyu kullanım alışkanlıklarına yönelik değerlendirmeler ışığında Taşucu Formasyonu, Silifke Formasyonu ve Kuvaterner birimlerinin su taşıma potansiyeline sahip oldukları anlaşılmış ve bu birimler üzerinde ayrıntılı hidrojeolojik incelemeler yoğunlaştırılmıştır (EK1). Tez çalışmasında hedeflenen ve bölge halkı tarafından yoğun şekilde kullanılan Kuvaterner birimlerine ait kıyı akiferi üzerindeki çalışmalara sondajlı çalışmalar da eklenmiştir. Taşucu ve Silifke Formasyonlarına ait akiferler ve Göksu Nehri Kuvaterner kıyı akiferinin sınırını oluşturmaktadır.

### **7.1 Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri**

#### **7.1.1 Taşucu Formasyonu**

Tez sahasının batı-kuzeybatısında, Silifke'nin güneybatısında ve Taşucu'nun kuzeyinde geniş alanlarda yüzeylenen formasyonun bölgede dolomit, kireçtaşı, şeyl, kumtaşı birimleri ve kuvarsit bantlarından oluştuğu belirtilmiştir. Tez sahası içinde ise formasyon genellikle kireçtaşları ve dolomitler gibi karbonatlı kayalardan oluşmaktadır. Karbonatlı kayalar düzensiz karstik yapılar içermekte olup, geçirimsizliklerinin yüksek olması beklenmektedir (Şekil 7.1). Taşucu ilçesi kuzeyinde yüzeylenen bu birimler atmosfere açık olan, bir vadoz kuşak konumunda olduğundan yağışlarla beslenebilecektir. Bu beslenme alanı ve dolayından beslenen karbonatlı kayaların serbest akifer konumunda olduğu ve yaklaşık kuzey-güney doğrultusunda deltanın batı bölümüne kadar serbest akifer koşullarında devam ettiği belirlenmiştir. Taşucu Formasyonu'nun karstik özellikte bir akifer olduğu tahmin edilmektedir. Ancak Taşucu Formasyonu içindeki şeyller geçirimsiz kayalardır. Bu nedenle formasyonun geçirimsizliği ve su depolama gücü bu birimlerden dolayı azalacaktır. Bu konuda, inceleme alanında yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Taşucu Formasyonu, Göksu Deltası'nın Kuvaterner birimleri tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Bu formasyon, Göksu Deltası Kuvaterner çökellerini Gülümpaşalı-



Çavuşbucağı-Kum Mahallesi hattı boyunca besleyebilecektir. Çalışma alanının batısında ise Taşucu Formasyonu karstik akiferi deniz suyu ile etkileşim halindedir.



Şekil 7.1 Taşucu Formasyonu karstlaşmış karbonatlı kayaçlarından bir görünüm

### 7.1.2 Silifke Formasyonu

Silifke Formasyonu'na ait Çamdüzü Üyesi çalışma alanının kuzey ve kuzeybatısında geniş yayılım göstermektedir. Üyenin en üstünde yer alan kireçtaşı seviyeleri bol kırıklı çatlaklı ve karstik yapısı (Şekil 7.2) nedeniyle geçirimli özellik kazanmış olup, oluşan vadoz kuşak akiferin süzülme kuşağını oluşturmaktadır. Çamdüzü Üyesinin tabanında bulunan Medetsiz Üyesi killi kireçtaşı ve marnlarla temsil edilmekte olup, Çamdüzü karstik akiferinin geçirimsiz tabanını oluşturmaktadır. Çamdüzü Üyesi akiferi tez sahsının batısındaki yüksek kesimlerde su temini amacıyla işletilmektedir. Yöre halkı tarafından Silifke Formasyonu Çamdüzü Üyesi karstik akiferinde açılan sondaj kuyularında serbest akifer koşullarının hakim olduğu görülmüştür. Ancak derinlere doğru killi, marnlı tabakaların geçilmesi ile basınçlı akifer seviyeleri ile karşılaşılması muhtemeldir. Söz konusu kuyuların derinlikleri delta sınırında 10m ile 20 m arasında iken, üst kotlara doğru derinleşmektedir. Silifke Formasyonu Çamdüzü Üyesi kireçtaşı akiferi Göksu Deltası ile kuzey ve kuzey batıdan temas halindedir. Göksu Deltası kıyı

akiferinin alt sınır koşulunu oluşturduğu düşünölen bu öye, Kuvaterner içinde oluşmuş farklı akifer seviyelerini besleyebilecektir.



Şekil 7.2 Silifke Formasyonu, Çamdüzü Üyesindeki karbonatlı kayalarda görölen karstik yapılar

### 7.1.3 Kuvaterner

Çalışmanın ana birimini oluşturan Göksu Deltası, Kuvaterner dönemi boyunca Göksu Nehri tarafından taşınan sedimanların Akdeniz kıyısına depolanması sonucunda oluşmuştur. Kum, kil, çakıl ve çakıltaşı türü malzemelerin farklı bölgelerde farklı koşullar altında ve farklı miktarlarda depolanmalarıyla oluşan ve bu yapısıyla son derece heterojen bir özellik gösteren alüvyon, tarım alanları ve yerleşim bölgelerini de üzerinde barındırması nedeniyle bölgenin en yoğun işletilen kıyı akiferine sahiptir. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen jeolojik ve hidrojeolojik incelemeler ile sondaj çalışmaları, alüvyon örtüyü oluşturan kumlu çakıllı seviyelerin diğer birimlere oranla daha yüksek geçirimsizliğe sahip olduklarını göstermektedir. Killi seviyeler ise tabakalı, merceksi, kamalanmalı yapıları ve geçirimsiz özellikleri sebebiyle basınçlı akifer seviyelerin oluşmasına neden olmaktadır.



## **7.2 Akiferler**

Önceki bölümde belirtildiği gibi tez sahası ve dolayında geniş yayılım gösteren Taşucu ve Silifke Formasyonları ve Kuvaterner örtü birimleri geçirimli seviyelerden oluşmakta olup, Göksu Deltası kıyı akiferi sisteminin temel bileşenlerini oluşturmaktadır.

### **7.2.1 Taşucu kireçtaşı karstik akiferi**

Deltanın batı sınırında bulunan Taşucu Formasyonu, dolomit, kireçtaşı, şeyl ve kumtaşı tabakaları ile kuvarsit bantlarından oluşmaktadır. Formasyonun üst seviyesini kireçtaşı ve dolomitler oluşturmaktadır. Göksu Deltası yakın çevresinde ise formasyon karstik kireçtaşlarıyla temsil edilmektedir. Bu özelliği ile yüksek geçirimliliğe sahip olabileceği düşünülen birimin, önemli miktarda yeraltısuyu taşıyabileceği tahmin edilmektedir. Formasyonun derinlikle hidrojeolojik olarak nasıl bir değişiklik gösterdiği ve yanak yayılımı ile ilgili bugüne kadar bir çalışma yapılmamıştır. Taşucu Formasyonu, Göksu Deltası'nın batı sınırından itibaren kuzeybatıdan güneydoğu yönüne doğru Göksu Deltası'nı alttan sınırlamakta, böylece Göksu Deltası akifer sistemini yandan ve alttan besleme potansiyeline sahip olabileceği düşünülmektedir. Göksu Deltası dolayında yapılan hidrojeolojik incelemelerde delta ile sınırı boyunca Taşucu Formasyonu kireçtaşlarından su alındığı tespit edilmiştir. Tez kapsamında gerçekleştirilen sondajlarda Gülümpaşalı mevkiinde açılan SK5 nolu kuyuda 36 metrede Taşucu formasyonuna girilmiş olup, kuyuda su kotu 3,6 m olarak belirlenmiştir. Sondaj tamamlandıktan sonra yapılan pompaj süresince kuyuda düşüm elde etmek mümkün olmamıştır.

### **7.2.2 Silifke Formasyonu kireçtaşı akiferi**

Çamdüzü, Medetsiz ve Bozoğlan üyelerinden oluşan Silifke Formasyonu, çakıltaşı, kireçtaşı, marn ve kiltası seviyelerinin ardalanması şeklinde oluşmuştur. Formasyon Göksu Deltası kuzeyinde geniş yayılım gösteren karstik özellikli Çamdüzü Üyesi ile temsil edilmektedir. Bu özelliğiyle formasyon yüksek geçirimlilik kazanmış ve

yeraltısuyu potansiyelinin yüksek olduğu tahmin edilmektedir. Silifke Formasyonu'nun bir diğer üyesi Bozoğlan Üyesi de tabakalı kireçtaşlarından oluşmakta ve süreksizlikler içermektedir. Bu birim de geçirimlidir. Silifke Formasyonu kireçtaşları Göksu Deltası alüvyon örtüsünü kuzeyden yanal olarak ve alttan sınırlamakta olup, Göksu Deltası akifer sistemini de besleyebilecektir. Tez kapsamında tarafımızca gerçekleştirilen sondajlarda deltanın güney kıyısında bulunan SK1 kuyusunda 210 m, deltanın ortasında, Hacıpaşalar Çiftliği mevkiinde bulunan SK2 kuyusunda 134 m, deltanın kuzeyinde yer alan SK4 kuyusunda 61 m ve deltanın kuzeybatı sınırında bulunan Ulugöz Köyü mevkiinde bulunan SK6 kuyusunda ise 10 m derinlikte Silifke Formasyonuna ait kireçtaşları kesilmiştir. Kuyularda yeraltısuyu seviyeleri 0,3 m ile 4,3 m arasında değişmektedir. Sondajların tamamlanmasının ardından tüm kuyularda pompaj işlemine geçilmiş ancak kuyularda düşüm gözlenememiştir.

### **7.2.3 Göksu Deltası kıyı akiferi**

Deltada doğal hayatın korunması açısından suyun hayati önem taşıması Kuvaterner alüvyonda, oluşan akiferlerin özelliklerinin detaylı bir şekilde saptanmasını kaçınılmaz hale getirmiştir. Ancak deltanın hidrojeolojik özelliklerinin sistemli ve detaylı incelendiği bir çalışma bugüne kadar yapılmamıştır. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Özel Çevre Koruma Kurumu ve Üniversiteler bünyesinde gerçekleştirilen çalışmalar göstermektedir ki, Göksu Deltası Alüvyon akiferinin hidrojeolojik özelliklerinin tam olarak ortaya konabilmesi ve deltada sürdürülebilir su kaynakları kullanım planlarının oluşturulması için yeterli sayıda ve kalitede veri bulunmamaktadır. Göksu Deltası alüvyon örtüsü temel birimlerin üzerinde son derece heterojen bir yapı sergilemektedir. Çakıltaşı, çakıl-kum ve kil-silt seviyelerinin değişik kalınlıklarda depolanmaları sonucu oluşan Göksu Deltası alüvyonu basınçlı ve serbest akifer seviyeleri bulundurmaktadır. Deltada yüzün üzerinde sondaj kuyusu olmasına rağmen, resmi kurumlarca açılan ve litoloji logu alınan az sayıda kuyu mevcuttur. Bu nedenle, tez çalışması kapsamında sondaj çalışmaları planlanmış ve uygulanmış (Şekil 7.3), arazi gözlemleri ve yeraltısuyu seviye ölçümleri, hidrokimyasal ve izotopik analizler gerçekleştirilmiştir.

Sondaj çalışmaları Göksu Deltası kıyı akiferinin ayrıntılı olarak tanımlanabilmesi için son derece faydalı bilgiler sağlamıştır. Tez sahasının güney ucunda Paradeniz kıyısında gerçekleştirilen SK1 nolu sondaj çalışmasından Göksu Deltası kıyı akiferinin kalınlığının bu bölgede 210 m'ye kadar ulaştığı anlaşılmıştır. Deltanın bu kesiminde 30 m derinliğe kadar devam eden siltli killi seviye 30. m'den itibaren yerini değişik boyutlarda çakıllı seviyelere bırakmış olsa da SK1 nolu sondaj boyunca killi seviye 17 m kalınlığa kadar ulaşmıştır. Sondajda 142 m'den itibaren nispeten çimentolanmış çakıltaşı seviyeleri görülmüştür (EK-1).

Daha kuzeyde yer alan SK2 nolu sondajda ise yüzeyden itibaren 6 m killi seviyenin ardından 32. m'ye kadar çakıllı seviyeler görülmüş olup 32-125 m arasında ise çakıltaşı kesilmiştir. 125. m itibariyle Silifke Formasyonu kireçtaşının kesildiği sondajda killi seviyeler, değişik derinliklerde gözlenmiş olup, 17 m kalınlığa kadar ulaşmaktadır.

Deltanın kuzey sınırında yer alan SK4 nolu sandajda ilk 10 m'de kesilen killi seviyeler farklı derinliklerde ortaya çıkmakta ve 12 m kalınlığa kadar ulaşmaktadır. Sondajda çakıllı ve killi seviyelerin ardalanması şeklinde devam eden alüvyonun toplam kalınlığı 61 m'dir (EK-1).

Tez sahasının batı sınırında Göksu Nehri kıyısında yer alan SK3 nolu kuyu 56 m derinliğe kadar 35 m kalınlığa ulaşan killi seviyeler yer yer 5-6 m lik çakıllı seviyelerce kesilmiştir. 56. metreden itibaren ise çakıltaşlarına geçilmiş olup, sondaj 94. metrede sonlandırılmıştır.

Deltanın batı sınırında yer alan SK5 nolu kuyu yamaç molozlarıyla başlamış, çakıltaşlarıyla devam etmiştir. 36. metreye kadar devam eden çakıltaşları 15 m kalınlığında kil seviyesiyle kesilmiştir. Kuyuda 36. metre itibariyle Taşucu Formasyonu kireçtaşlarına girilmiştir.

Deltanın kuzeybatı sınırında açılan SK6 nolu sondajda ise 10 m kil seviyesinin ardından doğrudan Silifke Formasyonu kireçtaşlarına girilmiştir.

Sondajlardan elde edilen verilerin korelasyonu ve arazi incelemeleri delta kuzeybatı sınırından itibaren yamaç molozları başladığını göstermektedir. Deltada güneye doğru çakıllı ve kumlu seviyelerin görüldüğü ve yaklaşık 3 m ve alt kotlarda killi, siltli seviyelerin yüzeylendiği anlaşılmaktadır. Yeraltısuyu hareketini engelleyen bu birimlerde yer yer kum miktarı artmaktadır. Bu kumlu seviyeler kısmen yüzeyden süzölmeye izin vermektedir. Ancak bunların devamlılıkları yoktur. Yüzeydeki killi seviyeler güneye doğru kalınlaşarak yaklaşık -50 m kotu civarına kadar devam etmektedir. Bu killer, yanal olarak, Göksu Nehri'nden uzaklaştıkça iri çakıldan ince çakıla ve kumlu çakıla doğru geçiş yapmaktadır. Bu birimler basınçlı akifer seviyeleri oluşturmaktadır. Kalın kil tabakasının geçilmesiyle deltanın tabanına kadar önce çakıl, daha sonra çakıltaşı seviyeleri kesilmekte olup bu seviyelerin kalınlığı 20 m'yi bulmayan kil bantlarınca kesintiye uğratılmaktadır. Bu çakıl ve çakıltaşı seviyelerinde oluşan basınçlı akiferden yüksek verimli su almak mümkün olmaktadır. Buna göre deltanın kireçtaşları ile sınırından itibaren güneydoğuya doğru, Gülümpaşalı ve Çeltikçi Köyleri'nin güneyinden geçen yaklaşık 2-2,5 km genişliğe sahip hat boyunca serbest akifer koşulları hakimdir. Yaklaşık 3 m kotuna tekabül eden bu hattın güneyinde ise giderek kalınlaşan kil seviyelerinin geçirimsiz tavan özelliği taşıdığı basınçlı akifer seviyeleri gelişmiştir. Basınçlı akifer kireçtaşı sınırından itibaren -10 m kotunda, deltanın merkezinde Hacıpaşalar Çiftliği mevkiinde ise -30 m kotunda çakıltaşlarından oluşmakta iken daha sık derinliklerde değişik boyutlarda çakıllı seviyeden oluşmaktadır.



Şekil 7.3 Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sondaj çalışması (Akgöl kuzeyi-AK-1 nolu sondaj)

### **7.3 Göksu Deltası Kıyı Akiferi Hidrolik Parametreleri**

Tez çalışmasının başlıca konusunu oluşturan Göksu Deltası kıyı akifer sistemi, Göksu Deltası'nın jeolojik evrimi sırasında kazandığı heterojen karakteri nedeniyle son derece karmaşıktır. Bu karmaşık hidrojeolojik yapının anlaşılabilmesi için ayrıntılı jeolojik ve hidrojeolojik incelemelerin yanı sıra yeraltına ait çok sayıda ve kalitede verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle Göksu Deltası ve dolayında yüzeyleyen birimlerin jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin incelenmesini takiben Göksu Deltası alüvyonun yayılımının ve akiferlere ait hidrojeolojik parametrelerin belirlenebilmesi amacıyla deltada proje kapsamında ve öncesinde farklı kurum ve kuruluşlar tarafından açılan kuyularda incelemeler yapılmıştır (EK-2).

Göksu Deltası ve dolayında sürdürülen yoğun tarımsal faaliyetler yoğun yeraltısuyu ihtiyacı doğurmuş ve yöre halkı tarafından çok miktarda su kuyusu açılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında alüvyon içerisinde açılmış olan üç farklı kuyu grubu olduğu anlaşılmaktadır.

Bunlardan birincisi Devlet Su İşleri tarafından hidrojeolojik inceleme amaçlı açılmış derin kuyular olup, mevzuat gereği söz konusu kuyularda debi deneme pompaları yapılmış ve geçilen litolojiler raporlanmıştır. Bu kuyular Göksu Deltası'nda bugüne kadar kaydedilmiş en somut verileri içermektedir.

Devlet Su İşleri tarafından açılan bir diğer kuyu grubu ise toplam derinlikleri 1,5-3,5 m arasında değişen sığ gözlem kuyularıdır. Bu kuyuların bir kısmında su bulunmazken önemli bir kısmı da yöre halkının arazi kullanımını zorlaştırmasından dolayı tahrip edilmiştir.

Üçüncü ve en önemli kuyu grubu ise şahıslar tarafından açılan pompaj kuyularıdır. Başta sulama ve kimi zaman da evsel kullanım amacıyla açılmış kuyuların önemli bir kısmı ruhsatsızdır. Bölgede değişen derinliklerde açılmış olan kuyulara ait bilgilerin bulunmaması, bu kuyulardan yararlanma şansını kısıtlamıştır. Buna rağmen kuyu sahipleri, sulama birlikleri ve bölgede sondajcılık faaliyetlerini sürdüren işletmelerle yapılan görüşmelerle kuyular hakkında kısmen bilgi edinmek mümkün olmuştur. Bu kapsamda gerçekleştirilen arazi çalışmalarında 150 ye yakın kuyu incelenmiş, bunlardan 100'e yakınının örnek alınmasına, toplam 20 kadarının seviye ölçümüne ve slug-test yapılmasında uygun oldukları tespit edilmiştir. Devlet Su İşleri tarafından açılan kuyularda bulunan litolojik kayıtlar ise deltanın hidrojeolojik kavramsal modeline temel oluşturması amacıyla değerlendirilmiştir.

Bununla birlikte, tez projesi kapsamında yaptığımız sondaj çalışmalarından elde edilen litolojik örnekler laboratuvar ortamında akiferin hidrolik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla testlere tabi tutulmuştur.

### 7.3.1 Hidrolik iletkenlik

Hidrojeolojik sistemlerin tanımlanması aşamasında en önemli parametrelerden biri olan hidrolik iletkenliğin belirlenebilmesi için çeşitli arazi ve laboratuvar yöntemleri bulunmaktadır. Birimlerin depolanma, diyajenez, kırık, çatlak oluşumu gibi oluşumları sırasında ve sonrasında kazandıkları özelliklerine karşı son derece hassas olan hidrolik iletkenlik değerlerinin belirlenebilmesi için arazi yöntemlerinden yararlanmak daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Bu yöntemlerden en sık kullanılan ve sağlıklı sonuçlar veren yöntemler ise bir pompaj kuyusu yardımıyla akiferin hidrolik yük dağılımının kontrollü olarak düşürülmesi ve gözlem kuyu veya kuyularından söz konusu değişimin takip edilmesine dayanan pompa testleridir. Ancak bu yöntemlerden sağlıklı sonuçlar alabilmek için söz konusu kuyuların amaca yönelik olarak açılmış ve teçhiz edilmiş olması gerekmektedir. Bu yöntemin uygulanmasında, arazide yaptığımız çalışmalarda bir takım sıkıntılarla karşılaşmıştır.

Hidrolik iletkenlik değerlerinin arazide tespiti amacıyla kullanılan bir diğer yöntem ise slug testtir. Bir kuyudaki su seviyesinin dış etkilerle geçici olarak arttırılması esasına dayanan bu yöntem çabuk uygulanabilir ve masrafsız bir yöntemdir. Buna göre slug adı verilen içi dolu bir borunun kuyuda bulunan suyun içine daldırılıp çıkarılmasıyla ya da kuyuya su ilave edilerek yükseltile su tablasında zaman içinde gerçekleşen düşüm takip edilerek hesaplama yapılmaktadır (Şekil 7.4). Tez çalışması sırasında arazide mümkün olan sığ ve derin kuyularda gerçekleştirilen slug testler yardımıyla akiferlerin hidrolik iletkenlik katsayılarını belirlemek mümkün olmuştur (Şekil 7.5). Slug testlerden elde edilen verilerin değerlendirilmesinde Hvorslev (1951) tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır.

$$K = [r^2 \ln(L/R)] / (2LT_0) \quad (7.1)$$

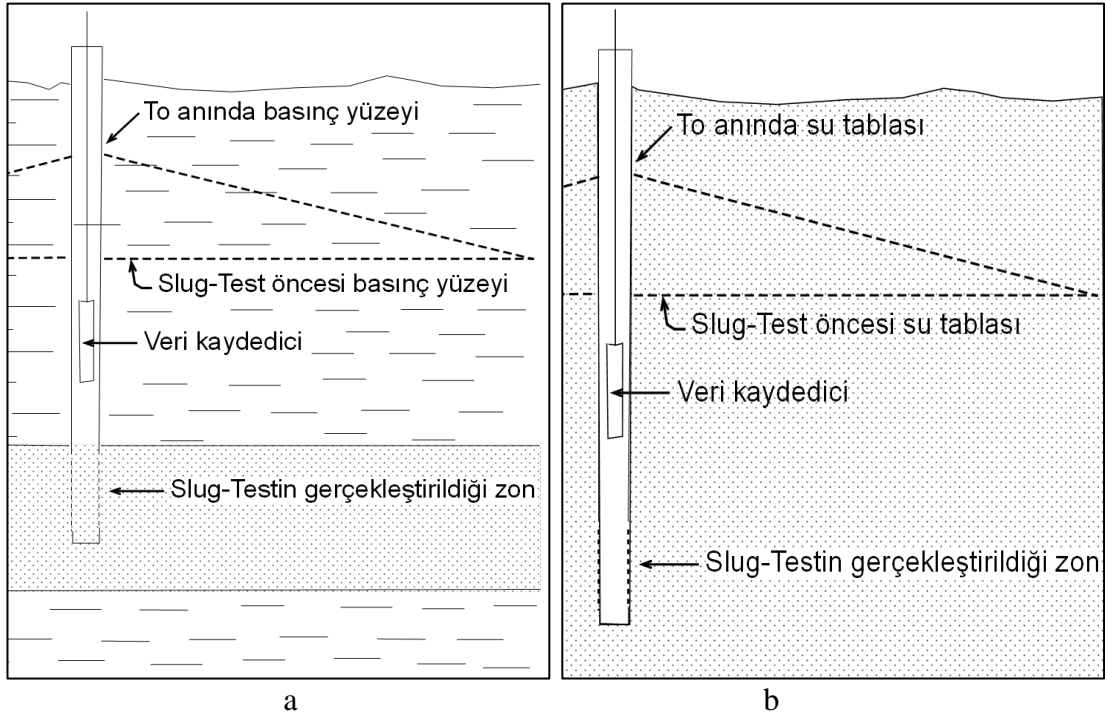
K: Hidrolik iletkenlik (m/s)

L: Filtre uzunluğu (m)

R: Filtre çapı (m)

r: Kuyunun yarıçapı (m)

$T_0$ : Slug testin başında oluşturulan yapay seviyenin %37'sine kadar geçen süre (s)



Şekil 7.4 Slug test yönteminin basınçlı a. ve serbest akiferler b. için şematik gösterimi





Şekil 7.5 Tez kapsamında uygulanan slug testlerinden görünüm (MST4 nolu kuyu)

Slug testler yardımıyla hidrolik iletkenlik değerleri belirlenen kuyuların arazideki dağılımları şekil 7.6'da görülmektedir. Arazide mevcut kuyulardan uygun olanları slug test yapmak üzere değerlendirilmiştir. Elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri çizelge 7.1'de sunulmuştur.

Tez projesi kapsamında gerçekleştirilen sondajlardan alınan sediman örnekleri üzerinde laboratuvarında delikli kutu, elek analizi, düşen ve sabit basınçlı permeametre deneyleri yaklaşımı hidrolik iletkenlik değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır (EK-1). Devlet Su İşleri tarafından açılmış olan derin kuyulara ait veriler ise çizelge 7.2'de sunulmuştur.



Şekil 7.6 Slug-test yapılan kuyuların arazideki dağılımları

Çizelge 7.1 Slug-test ile elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri

Kuyu No	K (m/s)		Kuyu No	K (m/s)
AK1	8,52E-05		MST3	9,67E-05
SH1	2,85E-06		MST4	9,83E-06
SH3	5,96E-04		HDR1	2,85E-06
MY1	1,94E-05		HDR2	1,29E-04
MST9	5,77E-05		HDR4	2,33E-04
MST14	5,63E-06		HDR5	1,92E-05
SH6	3,69E-04		HDR7	1,21E-04
MST16	2,21E-05		HDR9	8,91E-05
SH9	1,62E-04		HDR13	2,35E-05
SH12	2,23E-04		KHR4	7,56E-05
SH15	1,84E-04		KHR5	1,15E-05
SH16	1,98E-04			

Çizelge 7.2 DSİ kuyularında elde edilen özgül kapasite değerleri

Kuyu No.	Bölge	Litoloji	Belirlenen Özgül Kapasite (L/sn.m)
<b>K-19975</b>	Taşucu	Alüvyon	0,87
<b>K25556</b>	Taşucu (SEKA1)	Alüvyon	3,17
<b>K-32673</b>	Taşucu (SEKA2)	Alüvyon	4,05
<b>42075</b>	Rezervuar ve kanal yakını	Alüvyon	27,60
<b>K-3069</b>	Kurtuluş	Alüvyon	1,28
<b>YSE-41</b>	Buruncu	Kçt	5,71
<b>YSE-38</b>	Gülümpaşalı	Kçt	17,40
<b>52912(SK-2)</b>	Kurtuluş	Kil	0,07
<b>52911(SK-1)</b>	Kurtuluş	Kil	0,07

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarında kesilen taneli birimlere ait numuneler elek analizlerine tabi tutulmuş (Şekil 7.7) ve numunenin tane boyu dağılımları saptanmıştır (Çizelge 7.3, EK-3). Söz konusu tane boyu dağılım verilerinden birimlerin yeraltında yayılımlarının belirlenmesinin yanı sıra hidrojeolojik özelliklerin saptanması amacıyla da yararlanılmıştır. Tane boyu dağılım analizlerinden elde edilen sonuçlar Allen-Hazen (1982) eşitliği kullanılarak hidrolik iletkenlik değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 7.4). Allen-Hazen (1982) eşitliğinin uygulanabilmesi için

ihtiyaç duyulan gözeneklilik değerleri sondaj numuneleri kullanılarak laboratuvarında ölçülmüş olup, sonuçlar çizelge 7.5'te sunulmuştur

$$K = [(0,7+0,03t)/86400](C.d_{10}^2) \quad (7.2)$$

K: Hidrolik İletkenlik (cm/s)

t: Yeraltısuyu sıcaklığı (°C)

$d_{10}$ : Etkili tane çapı (mm)

C:  $150(n/0,45)^6$

n: Toplam gözeneklilik (%)



Şekil 7.7 Sondaj numunelerinde gerçekleştirilen elek analizleri

Çizelge 7.3 Kırıntılı sondaj numunelerine ait elek analizi sonuçları

Numune No		SK-1 17- 30m		SK-1 45 - 50m		SK-1 63-85m		SK-1 90 - 125m		SK-2 6 - 16m		SK- 2 22m		SK-2 25m	
		(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%
<b>Toplam</b>	#	65.57	100	226.1	100	222.27	100	187,1	100	558,3	100	600.82	100	814,4	100
<b>Elek NO</b>	4	14,7	22,5	87,3	38,6	53,6	24,1	44,3	23,7	3,3	0,6	88,5	14,7	247,0	30,3
	10	7,0	10,7	11,5	5,1	133,6	60,1	104,7	56,0	31,1	5,6	191,3	31,8	357,7	43,9
	60	18,3	27,9	21,1	9,3	32,0	14,4	36,3	19,4	466,7	83,6	316,0	52,6	201,7	24,8
	100	17,6	26,8	0,0	0,0	0,9	0,4	1,1	0,6	41,7	7,5	4,3	0,7	6,1	0,7
	200	7,1	10,8	1,7	0,8	0,6	0,3	0,7	0,3	15,0	2,7	0,8	0,1	1,8	0,2
	Elek Altı	0,6	0,9	11,9	5,3		0,0	0,0	0,0	0,4	0,1		0,0	0,2	0,0
<b>d10 (mm)</b>		0,7		0,7		0,21		0,2		0,16		0,17		0,19	

64

Numune No		SK-3 4 - 10m		SK-3 45 - 48m		SK-4 10-15 m		SK- 4 22 - 28m		SK-5 2- 7m	
		(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%
<b>Toplam</b>	#	1305,2	100	628.06	100	474,5	100	545.5	100	470.6	100
<b>Elek NO</b>	4	926,7	71,0	461,3	73,4	400	84,3	505,3	92,6	0,0	0,0
	10	336,7	25,8	150,8	24,0	71,4	15,0	26,7	4,9	0,2	0,0
	60	38,2	2,9	13,6	2,2	2,8	0,6	8,0	1,5	424,8	90,3
	100	1,0	0,1	0,6	0,1	0,0	0,0	2,0	0,4	29,7	6,3
	200	1,7	0,1	1,2	0,2	0,0	0,0	2,5	0,5	14,6	3,1
	Elek Altı	1,0	0,1	0,5	0,1		0,0	0,3	0,1	7,0	1,5
<b>d10 (mm)</b>		0,45		0,5		0,9		2,1		0,2	

Çizelge 7.4 Allen Hazen (1982) eşitliği ile elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri

Sondaj No	Seviye (m)	K (m/s)
SK1	45-50	2,2E-5
SK1	56-63	5,2E-5
SK1	63-85	1,1E-4
SK1	90-105	1,0E-5
SK1	105-125	4,9E-5
SK2	6-16	4,96E-6
SK2	27	7,36E-6
SK2	22	1,8E-5
SK2	25	4,7E-5
SK3	4-10	8,0E-5
SK3	45-48	1,63E-4
SK4	22-28	8,3E-5
SK5	2-7	9,12E-6

Çizelge 7.5 Taneli numunlerin gözeneklilik değerleri

Numune No	Gözeneklilik (%)
SK1/45-50	25.0%
SK1/ 63-85	35.0%
SK1/90-125	25.0%
SK2/6-16	30.0%
SK2/22	22.5%
SK2/25	31.0%
SK2/32	40.0%
SK2/76-86	30.0%
SK3/4-10	30.0%
SK3/ 45-48	25.0%
SK4/10-15	30.0%
SK4/22-28	37.5%
SK5/2-7	40.0%

Elek analizlerinin yanı sıra delikli kutu testleri de yine kaba taneli malzemenin hidrolik iletkenliğinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır (Şekil 7.8). Elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri çizelge 7.6'da sunulmuştur.





Şekil 7.8 Delikli kutu testlerinden bir görünüm

Çizelge 7.6 Delikli kutu deneyinden elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri

Sondaj No	Seviye (m)	K (m/s)
SK1	45-50	2,2E-5
SK1	56-63	5,2E-5
SK1	63-85	1,1E-4
SK1	85-90	1,0E-5
SK1	90-125	4,9E-5
SK2	6-16	4,96E-6
SK2	22	1,8E-5
SK2	25	4,7E-5
SK2	27	7,36E-6
SK3	4-10	8,0E-5
SK3	45-48	1,63E-4
SK4	22-28	8,3E-5
SK5	2-7	9,12E-6

Kaba taneli numunelerde hidrolik iletkenlik değerinin laboratuvarda belirlenebilmesi için kullanılan yöntemlerden biri de sabit seviyeli permeametre testidir (Şekil 7.9). Hidrolik iletkenlik değerlerinin belirlenebilmesi için kullanılan laboratuvar yöntemleri

arasında en sağlıklı yöntem olan sabit seviyeli permeametre yöntemi yardımıyla elde edilen sonuçlar çizelge 7.7'de sunulmuştur.



Şekil 7.9 Sabit seviyeli permeametre testlerinden bir görünüm

Çizelge 7.7 Sabit seviyeli permeametre yöntemi ile elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri

Sondaj No	Seviye (m)	K (m/s)
SK-1	17 - 30	$1,9 \times 10^{-6}$
SK-1	45 - 5	$2,22 \times 10^{-6}$
SK-1	63 - 85	$1,25 \times 10^{-6}$
SK-1	90 - 125	$1,07 \times 10^{-6}$
SK-2	6 - 16	$2,01 \times 10^{-6}$
SK-2	22	$1,82 \times 10^{-6}$
SK-2	27	$1,48 \times 10^{-6}$
SK-3	4 - 10	$1,56 \times 10^{-6}$
SK-3	45 - 48	$2,01 \times 10^{-6}$
SK-4	10 - 15	$1,87 \times 10^{-6}$
SK-4	22 - 28	$1,65 \times 10^{-6}$
SK-5	2 - 7	$3,66 \times 10^{-7}$

İnce taneli malzemeler için de hidrolik iletkenlik hesaplamalarının yapılabilmesi amacıyla düşen seviyeli permeametre yöntemi kullanılmış olup (Şekil 7.10 elde edilen veriler çizelge 7.8'de sunulmuştur).





Şekil 7.10 Düşen seviyeli permeametre testlerinden bir görünüm

Çizelge 7.8 Düşen seviyeli permeametre yöntemi kullanılarak elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri

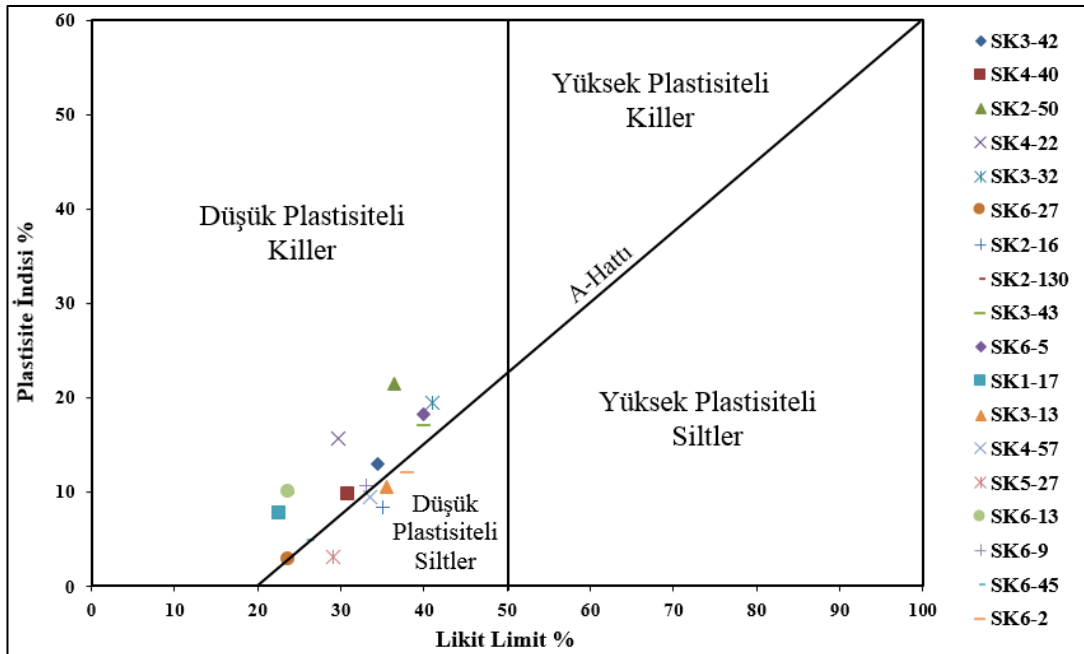
Örnek No	Hidrolik İletkenlik Katsayısı (m/s)
SK1-15	$8,92 \times 10^{-8}$
SK2-4	$8,48 \times 10^{-9}$
SK2-55	$7,71 \times 10^{-8}$
SK2-60	$3,77 \times 10^{-10}$
SK3-12	$1,31 \times 10^{-9}$
SK3-27	$2,57 \times 10^{-9}$
SK3-33	$8,73 \times 10^{-8}$
SK3-43	$1,35 \times 10^{-9}$
SK4-35	$6,80 \times 10^{-10}$
SK5-17	$4,16 \times 10^{-8}$
SK5-20	$7,79 \times 10^{-10}$
SK6-6	$2,04 \times 10^{-9}$
SK6-8	$1,26 \times 10^{-9}$
SK6-15	$9,01 \times 10^{-10}$
SK6-44	$4,62 \times 10^{-8}$

Farklı yöntemlerle elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri killi seviyeler için hidrolik iletkenlik  $2,85 \times 10^{-8}$  m/s ile  $9,01 \times 10^{-10}$  m/s, kumlu ve çakıllı seviyeler için ise  $1,63 \times 10^{-4}$  m/s ile  $1,07 \times 10^{-6}$  m/s arasında değişmektedir. İnce taneli seviyeler için elde edilen

değerler, arazi incelemeleriyle bir arada değerlendirildiğinde, yüzeyde ve sığ derinliklerde siltli-killi seviyelerin daha derinde ise nispeten pekleşmiş killerin çökeldiği anlaşılmaktadır. Kaba taneli numuneler için elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri ise kimi seviyelerin iyi derecelenmiş çakıllardan oluşmuşken kimi seviyelerin kumlu-ince çakıllı seviyelerden oluştuğunu göstermektedir.

### 7.3.2 Depolama katsayısı

Göksu Deltası'nın hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarından elde edilen numuneler akiferlerin depolama katsayılarının belirlenebilmesi amacıyla da kullanılmıştır. Gerek sondaj başında yapılan litolojik incelemeler, gerekse elek analizi sonuçları kullanılarak yapılan tanımlamalar ile birimlerin depolama katsayıları hakkında yaklaşımlarda bulunulmuştur. Bu kapsamda killerde Atterberg kıvam limiti deneyleri gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar plastisite kartlarına (Şekil 7.11) aktarılarak değerlendirilmiş, elde edilen sonuçlar çizelge 7.9'da sunulmuştur.



Şekil 7.11 Atterberg kıvam limitleri değerlerinin değerlendirildiği plastisite kartı

Çizelge 7.9 Atterberg kıvam limiti sonuçları

Numune No	Plastisite İndisi (PI)	Likit Limit (LL)
SK1-17	7,8	22,5
SK2-16	8,4	35,0
SK2-50	21,4	36,4
SK2-130	9,9	23,5
SK3-13	10,5	35,5
SK3-32	19,5	41,0
SK3-42	13,0	34,4
SK3-43	17,0	40,0
SK4-22	15,7	29,7
SK4-40	9,8	30,7
SK4-57	9,4	33,5
SK5-27	3,1	29,0
SK6-2	12,0	38,0
SK6-5	18,2	40,0
SK6-9	10,7	33,0
SK6-13	10,1	23,5
SK6-27	3,0	23,0
SK6-45	4,9	26,0

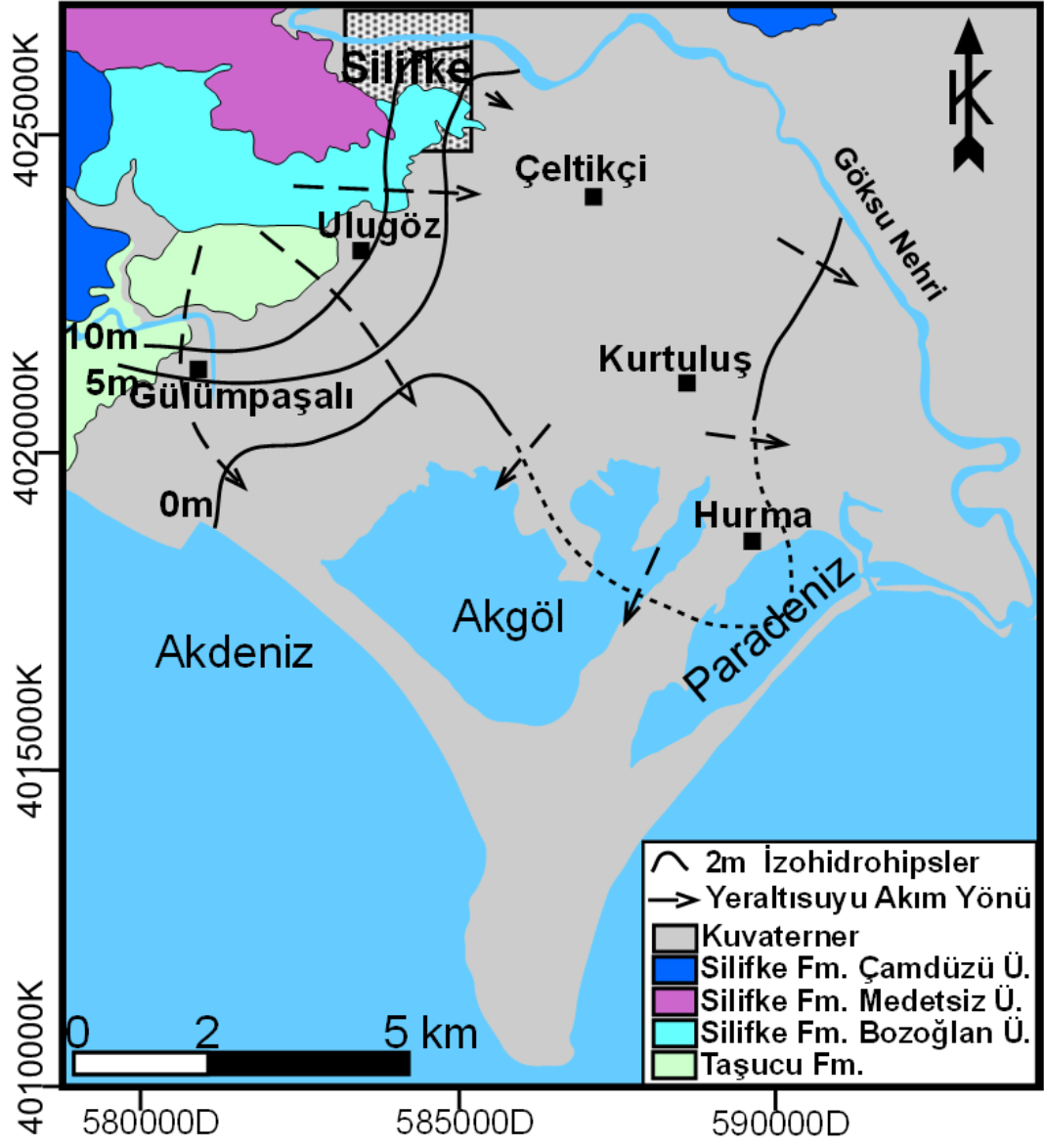
Killere uygulanan kıvam limiti deneyleri ile edinilen litoloji tanımlamaları Dominico ve Miffin (1965) tarafından önerilen, çizelge 7.10'da sunulan değerler kullanılarak birimlerin depolama katsayıları hakkında yaklaşımlarda bulunmak mümkün olmuştur. Depolama katsayısının belirlenmesinde sıg derinliklerde bulunan killer için pekleşmiş kilin, daha derindeki killer için ise orta sertlikte killerin önerilen değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 7.10 Bazı litolojilere ait depolama katsayısı aralıkları (Domenico ve Mufflin, 1965)

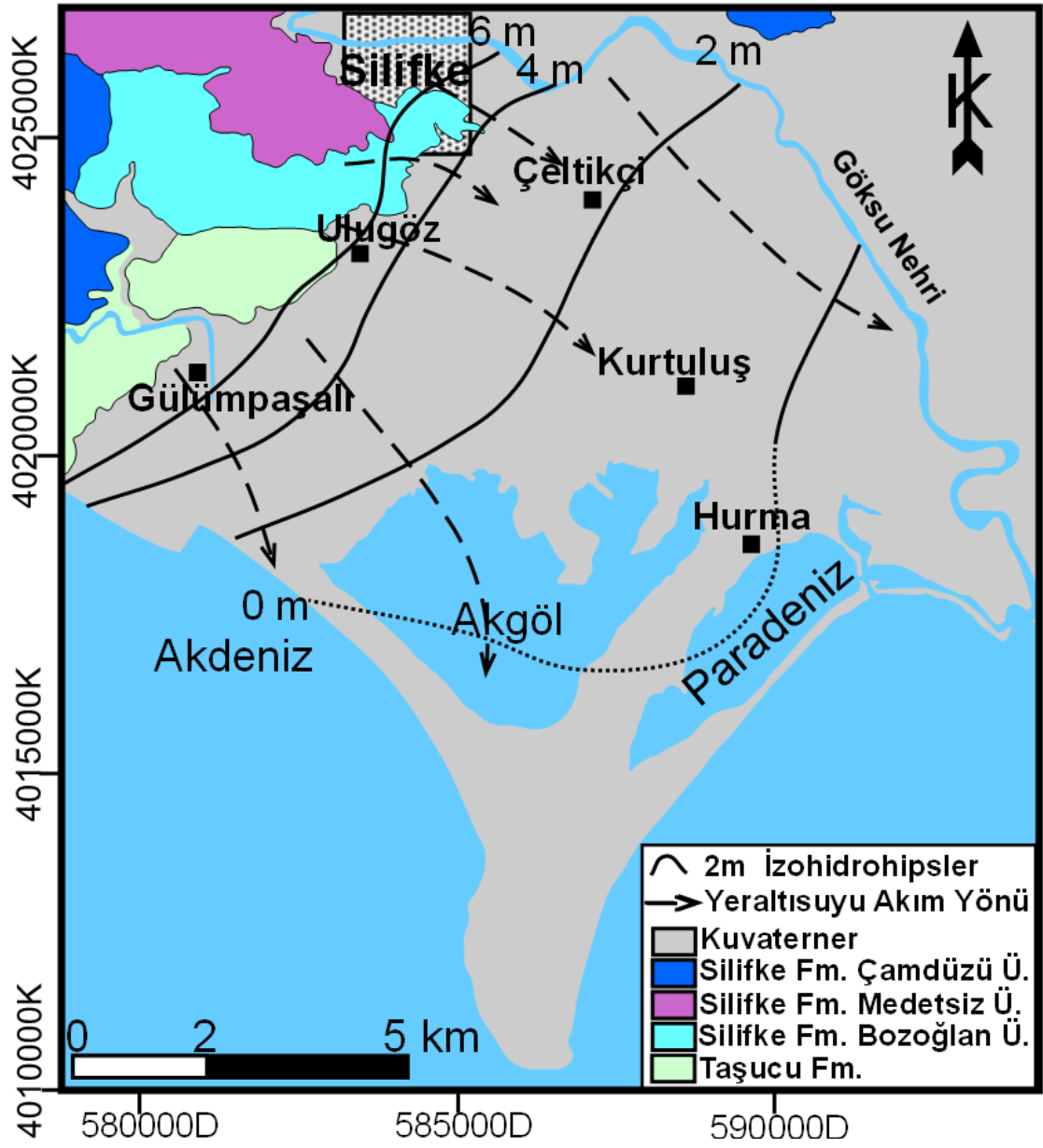
	Özgül Depolama Katsayısı $\beta=0$		
Yüksek Plastisiteli Kil	6.2E-03	-	7.8E-04
Pekleşmiş Kil	7.8E-04	-	3.9E-04
Orta Sertlikte Kil	3.9E-04	-	2.1E-04
Gevşek Kum	3.1E-04	-	1.6E-04
Pekleşmiş Kum	6.2E-05	-	3.9E-05
Pekleşmiş Kumlu Çakıl	3.1E-05	-	1.6E-05
Çatlaklı Kaya	2.1E-05	-	1.0E-06
Çatlaksız Kaya	1.0E-06	-	

### 7.3.3 Göksu Deltası kıyı akiferi hidrolik yük dağılımı

Çalışma alanında yapılan incelemeler ve su kullanımıyla ilgili kurum ve kişilerle yapılan görüşmelerden Göksu Deltası yeraltısuyu sistemi açısından sulama yöntemlerinin hayati öneme sahip olduğu anlaşılmıştır. Tarımsal sulama amaçlı açılan kuyulardan yapılan pompajın Göksu Delta'sı yeraltısuyu sistemine olumsuz etkisi Devlet Su İşleri tarafından daha önce saptanmış ve sulama kanalları inşa edilerek yeni pompaj kuyularının açılması yasaklanmıştır. Zaman içinde deltada tarıma elverişli alanın artması, sulu tarımın yaygınlaşması ve son dönemde çiftçilerin yağmurlama/damla sulama sistemlerine geçmek istemesi, izinsiz de olsa yeni pompaj kuyularının açılmasına neden olmuştur. Bu nedenle sulama alışkanlıkları deltadaki yeraltısuyu sistemini yakından ilgilendirmektedir. Tez sahasında yer alan derin ve sığ akiferlerde, sulama dönemi başında (yağışlı dönem, Şekil 7.12) ve sonunda (kurak dönem, Şekil 7.13) seviye ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sulama amaçlı olarak derin kuyulardan yararlanıldığı deltada, sulama dönemi boyunca bu akiferde yeraltısu seviyesi düşerken sığ akiferde sulamadan dönen sular nedeniyle ilave beslenme gerçekleşmektedir.



Şekil 7.12 Göksu Deltası sağ yakası kıyı akiferine ait yağışlı dönem yeraltısı seviye haritası



Şekil 7.13 Göksu Deltası sağ yakası kıyı akiferine ait kurak dönem yeraltısı seviye haritası

## 8. HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMELER

Tez çalışması kapsamında öncelikle yeraltı sularının kimyasal özelliklerinin saptanması, yeraltı-yerüstü sularının ilişkisi, deniz suyu- etkileşiminin incelenmesi, tarımsal amaçlı arazi kullanımının ve yeraltısuyu pompajının akiferin hidrokimyasal özelliklerine etkilerinin araştırılması ve esas olarak Göksu Deltası akifer sisteminin beslenme boşalım dinamiklerinin belirlenmesine katkı sağlaması amacıyla yağışlı ve kurak dönemlerde hidrokimyasal incelemeler yapılmıştır. Hidrokimyasal ve izotopik analiz sonuçları EK-4'de sunulmuştur.

Tez çalışması kapsamında alınan numunelerden elde edilen analiz sonuçları, hidrojeokimyasal yorumlamalara gidilebilmesi amacıyla grafikler yardımıyla değerlendirilmiş, elde edilen sonuçların Göksu Deltası sağ yakası yeraltısuyu sisteminin beslenme boşalım dinamiklerinin aydınlatılmasına ve kavramsal hidrojeolojik modelin oluşturulmasına hizmet etmesi amaçlanmıştır.

Hidrokimyasal analizler sonucunda ortaya çıkan su tipleri incelendiğinde başlıca Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> ve Na-HCO<sub>3</sub>-Cl tipinde suların baskın oldukları görülmektedir (Çizelge 8.1). Tez sahasının orta kısmından alınan örneklerin ise Mg-Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl şeklinde karışık su tipine sahip oldukları görülmektedir. Özellikle Silifke ilçesi yakınından alınan yeraltısuyu numunelerinin ise SO<sub>4</sub> bakımından zenginleştikleri saptanmıştır.

Çizelge 8.1 Hidrokimyasal analizler sonucunda elde edilen su tipleri

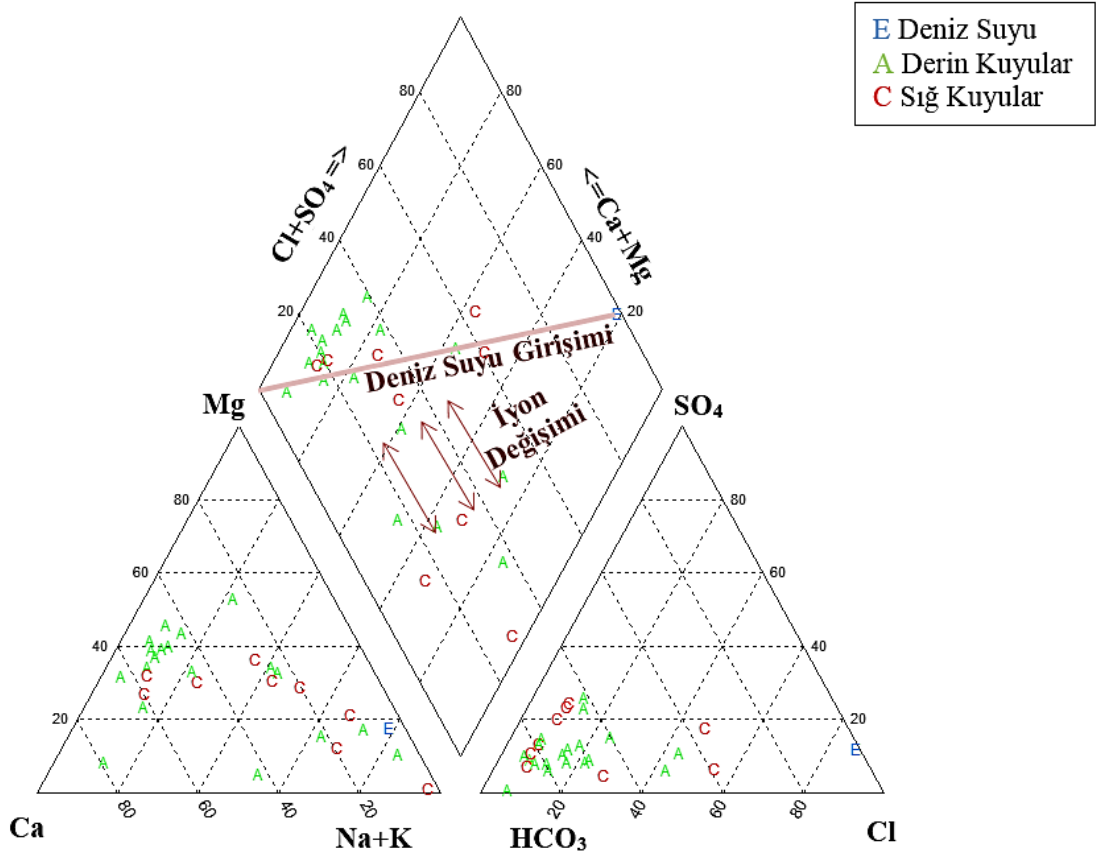
Örnek No	Su tipi
AK1	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
HDR4	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
HDR7	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
HDR9	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
HES1	Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
KHR2	Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
MST14	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
MST15	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
MST16	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
MST3	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
MST5	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
MST6	Na-Mg-Ca-Cl-HCO <sub>3</sub>
MST9	Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
MY1	Ca-HCO <sub>3</sub>
SH1	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
SH11	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SH12	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SH13	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SH14	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SH15	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SH16	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SH17	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
SH3	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SH4	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SH5	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
SH9	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>



## 8.1 Hidrojeokimyasal Analiz Sonuçlarının Grafiklerle İncelenmesi

### 8.1.1 Piper diyagramı

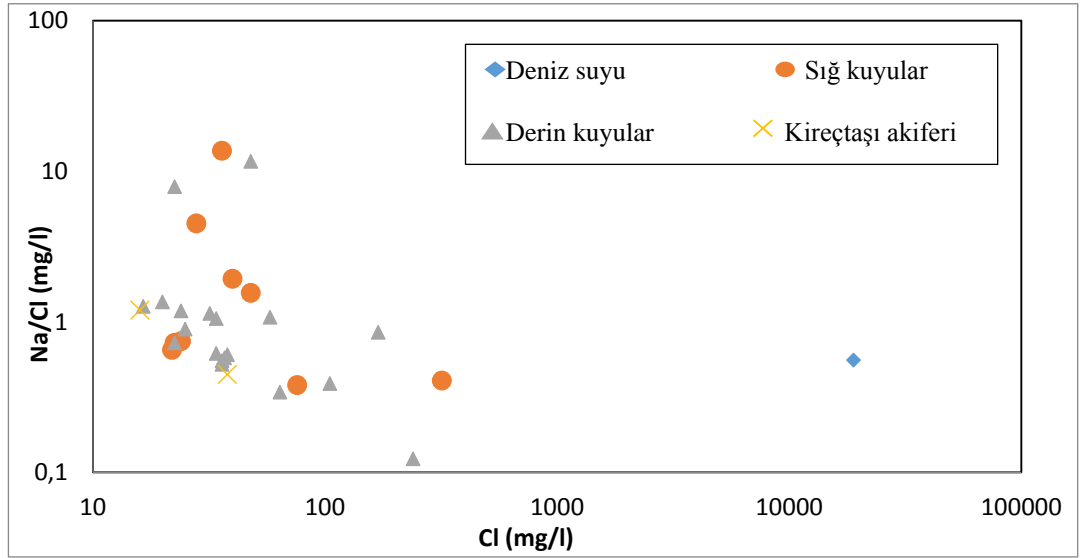
Çalışma alanına ait örneklerin Piper diyagramındaki dağılımları incelendiğinde kimi örnekler deniz suyu girişim hattı üzerinde yer alırken, kimi örneklerin ise iyon değişimi bölgesinde yer aldıkları görülmüştür (Şekil 8.1). Söz konusu örneklerin alansal dağılımı göz önüne alındığında deltanın kuzeyden beslenme, güneyden ise tuzlanma (deniz suyu girişi) etkisinde olduğu belirlenmiştir. Söz konusu etki hem sıg hem de derin akifere ait yeraltısuyu örneklerinde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 8.1 Tez sahasına ait yeraltı sularının Piper diyagramındaki dağılımları

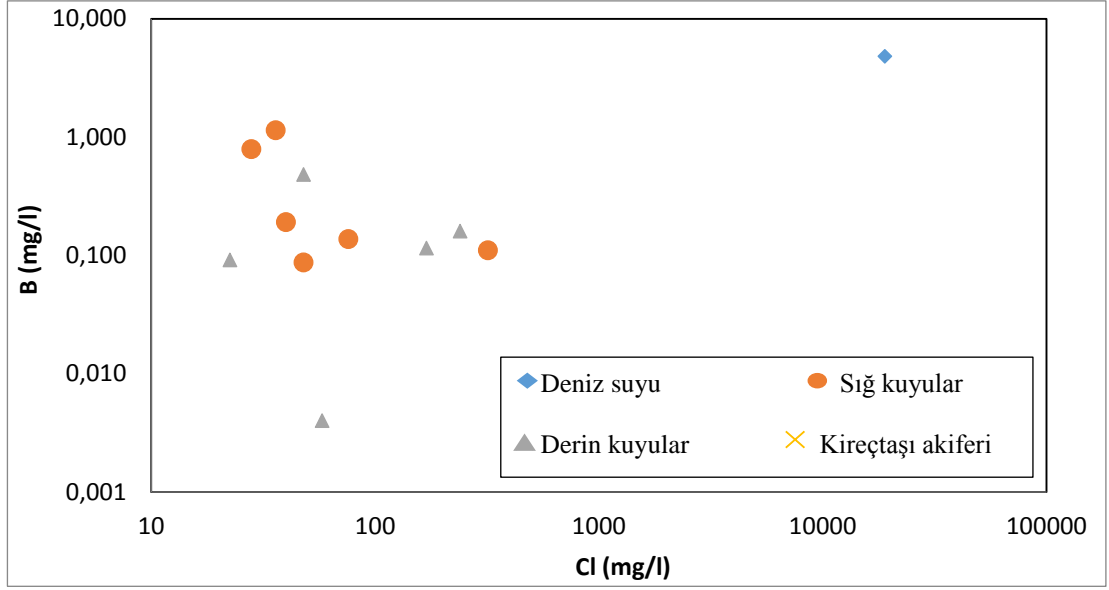
### 8.1.2 Değişim diyagramları

Yeraltısuyu Na/Cl oranları (Şekil 8.2) deniz suyu girişiyle ilgili bilgi vermesi amacıyla değerlendirildiğinde kimi örneklerdeki  $\text{Na}^+$  zenginleşmesinin  $\text{Cl}^-$  den bağımsız olduğu ve bu durumun iyon değişiminden kaynaklandığı, söz konusu örneklerin alındığı bölgelerin yıkanma etkisinde oldukları saptanmıştır. Na/Cl oranlarının alansal dağılımları da göz önünde bulundurulduğunda Piper diyagramında elde edilene benzer bir şekilde güneyden deniz suyu girişi, kuzeyden beslenme etkisi bu değerlerce de desteklenmektedir (Şekil 8.2).



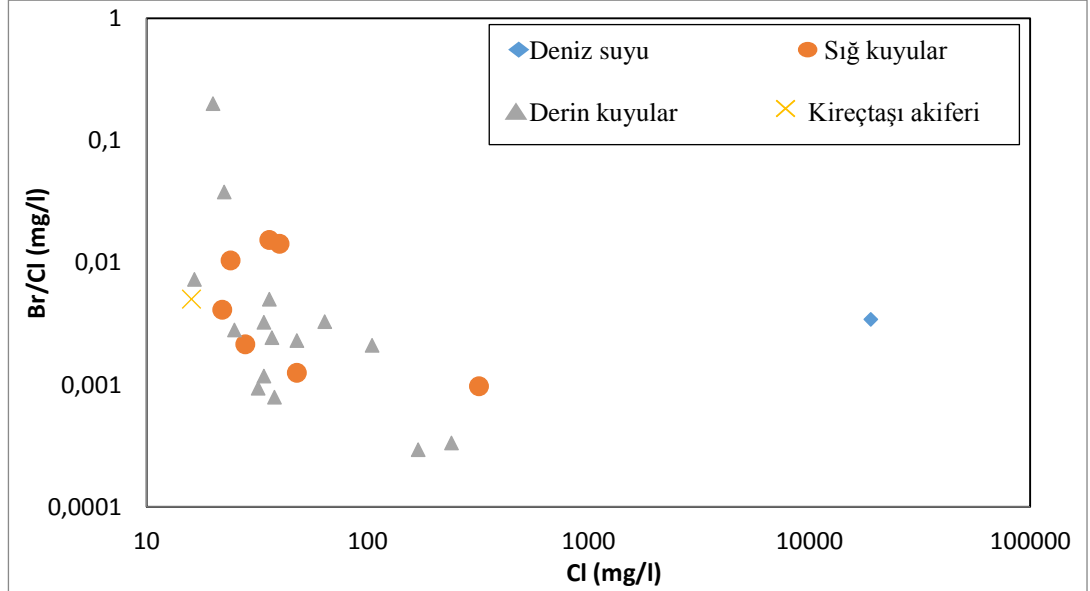
Şekil 8.2 Çalışma alanına ait örneklerin Na/Cl-Cl ilişkisi diyagramı

Suların bor (B) değerleri ile  $\text{Cl}^-$  arasındaki ters korelasyon (Şekil 8.3) yıkanmayla ilişkili B salınımına işaret etmektedir. Rowe (1999) B salınımının  $\text{Cl}^-$  değeri 100 mg/l'ye düştüğünde başlayarak  $\text{Cl}^-$  derişimi 10 mg/l'ye ulaşana dek B derişiminin 1 mg/l'ye kadar ulaşacağını belirtmiş, söz konusu etki çalışma alanında da gözlenmiştir.



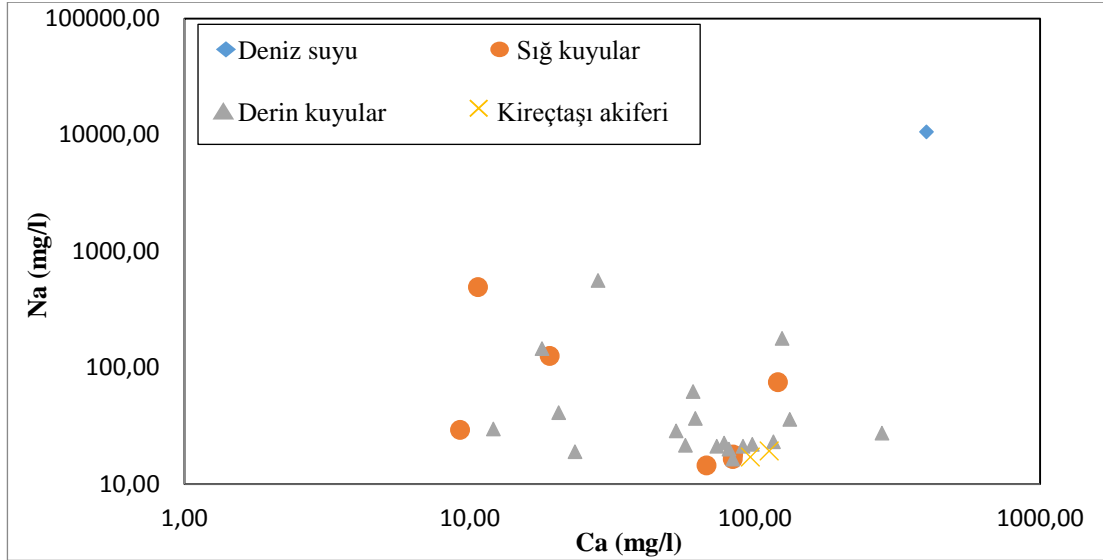
Şekil 8.3 Çalışma alana ait örneklerin B-Cl değişim diyagramı

Örneklerin şekil 8.4'deki Br/Cl değerleri denize yakın bölgelerde deniz suyu oranı ile benzerlik gösterirken, tarımsal alanlarda Br değerlerinde artış görülmekte olup, bu artış tarım ilaçları ve gübrelerden kaynaklanmaktadır.



Şekil 8.4 Çalışma alana ait örneklerin Br/Cl-Cl değişim diyagramı

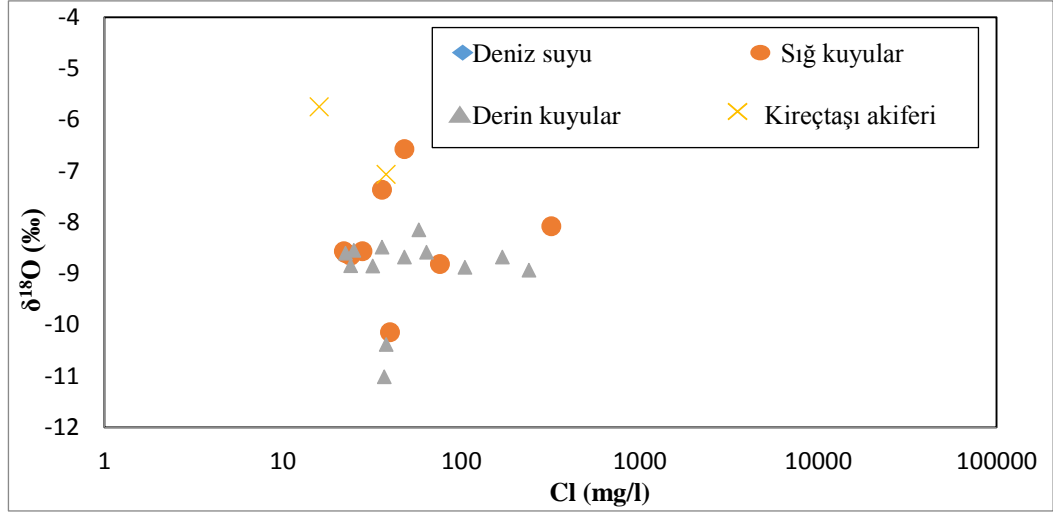
Kıraçtaşlarının kavramsal modeldeki yerleri hakkında yapılan yaklaşımlar Na-Ca değişim diyagramı ile de desteklenmiştir. Şekil 8.5’de görülen değişim diyagramında kireçtaşlarına ait örneklerin diğer örneklerle birlikte ve genellikle bu örneklerin ilksel hali şeklinde davranmaktadır. Bu durum kireçtaşı akiferinin alüvyon akiferi beslediğini ortaya koymaktadır.



Şekil 8.5 Çalışma alanına ait örneklerin Na-Ca değişim diyagramı

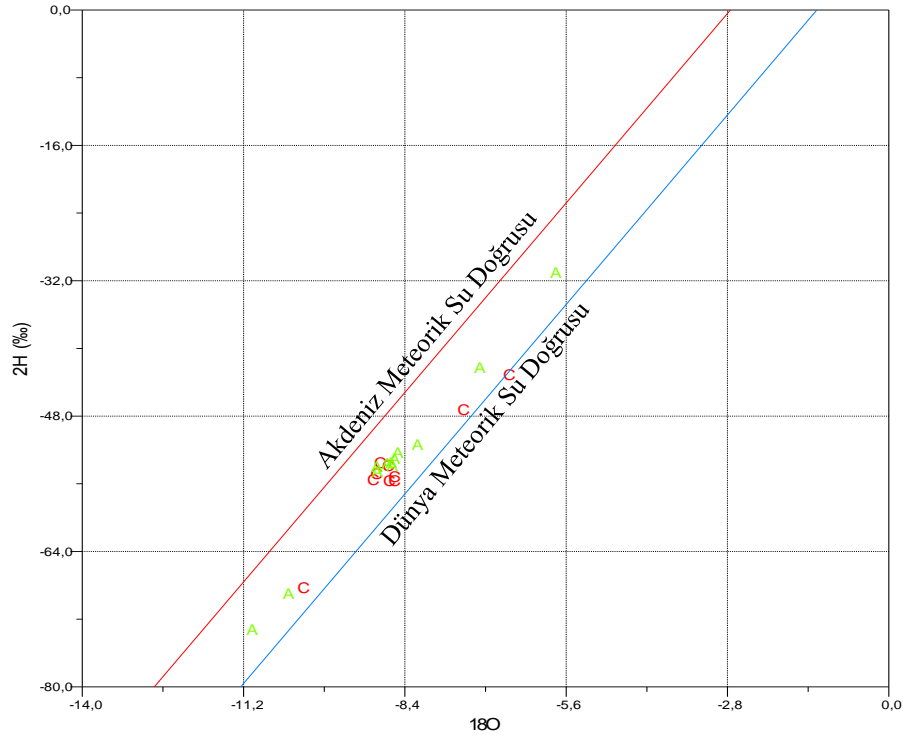
### 8.1.3 İzotopik değerlendirmeler

Göksu Deltası kıyı akiferi hidrojeolojik kavramsal modelinin daha sağlıklı kurulabilmesi amacıyla hidrokimyasal analizler  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  ve T analizleriyle de desteklenmiştir. Analizler sonucu elde edilen Şekil 8.6’daki  $\delta^{18}\text{O}$ -Cl diyagramındaki homojen dağılım, diğer diyagramlar ve haritalarda da ortaya konduğu üzere deltada beslenme ve deniz suyu girişimi etkisinde olan suların karışım süreçleri sonucunda homojenleştiklerini göstermektedir.



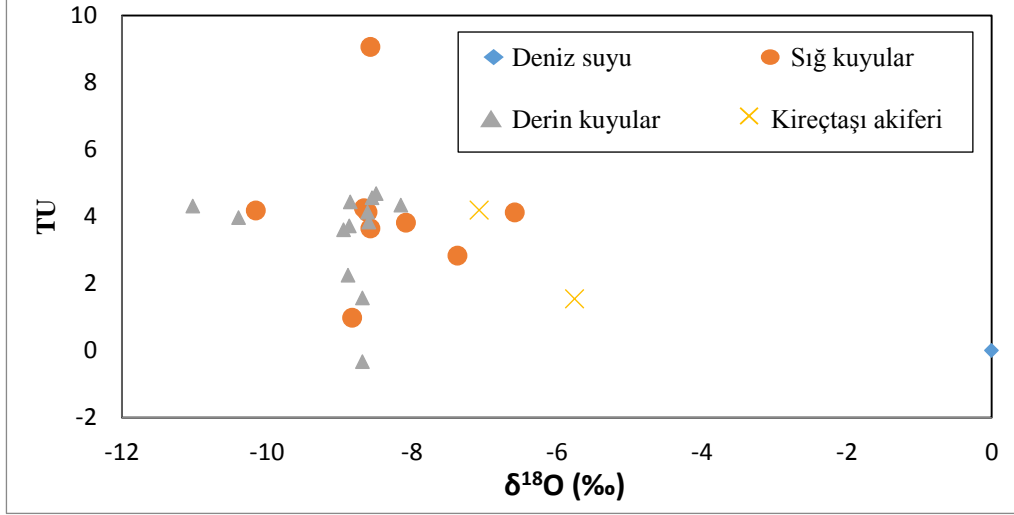
Şekil 8.6 Çalışma alanına ait örneklerin  $\delta^{18}\text{O}$ -Cl değişim diyagramı

İzotop analizi sonuçları, kireçtaşı akiferinden alınan ve alüvyon akiferi beslediği düşünülen, örneğin yüksek kotlara düşen yağıştan beslenmektedir (Şekil 8.7). Şekil 8.7'deki  $\delta\text{D}$ - $\delta^{18}\text{O}$  grafiğinde kimi sığ suların ise buharlaşma etkisi altında olduğu görülmektedir.



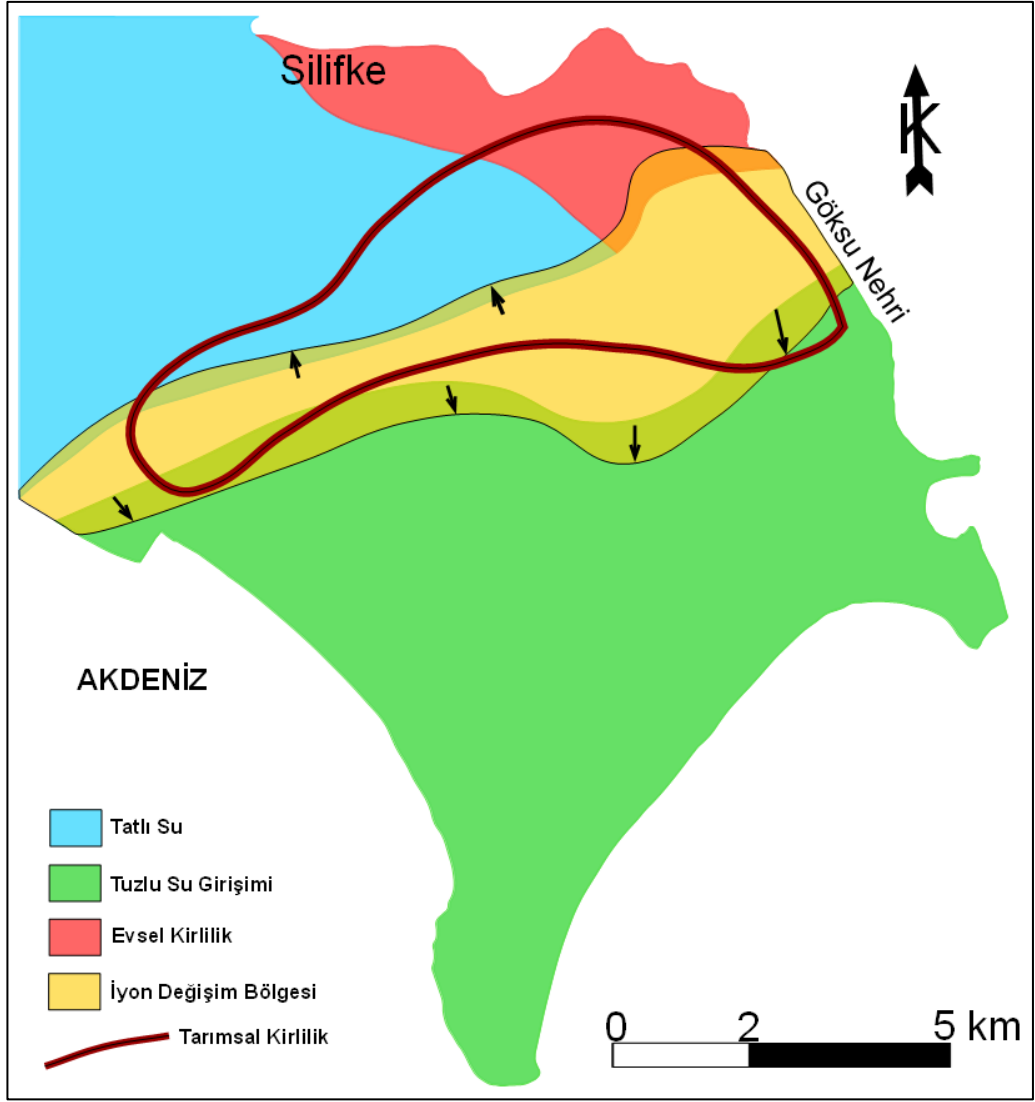
Şekil 8.7 Çalışma alanına ait örneklerin D -  $\delta^{18}\text{O}$  diyagramı (Açıklamalar Şekil 8.1'deki gibidir)

Örneklerin trityum değerleri 4 TU civarında kümelenmişken, nispeten derin dolaşım ve deniz suyu etkisindeki suların trityum değerlerinin azaldığı görülmektedir (Şekil 8.8).



Şekil 8.8 Çalışma alanına ait örneklerin TU-δ<sup>18</sup>O diyagramı

Elde edilen hidrokimyasal verilerle deltanın hidrokimyasal zonlanma haritası elde edilmiş olup (Şekil 8.9), kireçtaşı akiferinin ve deltanın bu bölümünde yer alan akiferlerin tatlı su taşıdıkları, güneyde ise Göksu Deltası kıyı akiferinin deniz suyu etkisinde oldukları saptanmıştır. Deniz suyu etkisindeki bölge ile tatlı su bölgesi arasında ise iyon değişim bölgesi olduğu, bu bölgelerin yayılımlarının ise yeraltı sularının beslenme ve boşalım değerlerine bağlı olarak, mevsimsel değişiklikler gösterdiği anlaşılmıştır.



Şekil 8.9 Çalışma alanının hidrokimyasal zonlanma haritası

Hidrokimyasal değerlendirmeler kapsamında elde edilen veriler, kavramsal hidrojeolojik modele yardım etmesi amacıyla gözden geçirildiğinde özellikle derin (jeolojik modeldeki çakıllı) akiferin kireçtaşı akiferi ile hidrolik bağlantılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bunun yanı sıra derin akiferde görülen yüzeysel kirliliğin ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ) ise kuyu tecritinin yeterli olmamasından dolayı gerçekleşen noktasal kirlilikler olduğu anlaşılmaktadır, zira söz konusu kirlilik etkileri derin ve serbest akiferlerde benzerlik göstermemektedir.

## 9. GÖKSU DELTASI SAĞ YAKASI YERALTISUYU SİSTEMİ AKIM MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Göksu Deltası'nın önceki bölümlerde değinilen önemi ve gelişmiş olan suya dayalı ekosistemin hassasiyeti, Göksu Deltası su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını hayati önemli hale getirmektedir. Deltada yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar, kurum, kuruluşlarla yapılan görüşmeler ve deltadaki sosyo-ekonomik yapı Göksu Deltası su kaynakları yönetim planlarının deltanın sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için önemini desteklemektedir. Deltanın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri incelendiğinde, bölgede karmaşık bir jeolojik istifin olduğu anlaşılmıştır. Jeolojik ve hidrojeolojik yapının yanı sıra hidrodinamik koşulların da karmaşık olduğu, ancak sağlıklı su kaynakları yönetim planlarının hazırlanması için hidrojeolojik modelleme çalışmalarının kaçınılmaz olduğu anlaşılmıştır. Zira, Haar ve Heunks (1992), Gördü (2001), Motz vd. (2006), Çobaner (2009) da çalışmalarında bu gereklilikten bahsetmişler ve bazı modelleme yaklaşımlarında bulunmuşlardır. Deltanın jeolojik ve hidrojeolojik yapısının karmaşıklığı bu araştırmacıların da karşısına çıkmıştır. Tez çalışması kapsamında öncel çalışmalarda da sıklıkla vurgulanan jeolojik ve hidrojeolojik veri eksiklikleri mümkün olduğunca giderilmeye çalışılmış ve daha geniş ve güncel verilerle modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda deltada jeolojik ve hidrojeolojik incelemeler yapılmış, sağlıklı bir modelleme çalışmasının temeli olan hidrojeolojik kavramsal modelin oluşturulabilmesi amacıyla sondaj çalışmaları yapılmıştır. Yine de, Kuvaterner alüvyonla ilgili ayrıntılı veriler elde edilmesine rağmen, deltanın tabanında yer alan temel formasyonlara ait yeterli veri elde edilememiştir. Tez çalışmasında gerek özel kuyularından sağlıklı veri alınabilen, gerekse tarafımızca açılan kuyularda akifere ait hidrojeolojik verilerin doğru bir şekilde elde edilmesi amacıyla kuyu testleri gerçekleştirilmiştir. Proje ve tez kapsamında açılan kuyulardan alınan örnekler üzerinde laboratuvarında gerçekleştirilen analizler yardımıyla akifer parametrelerinin saptanmasına çalışılmıştır.

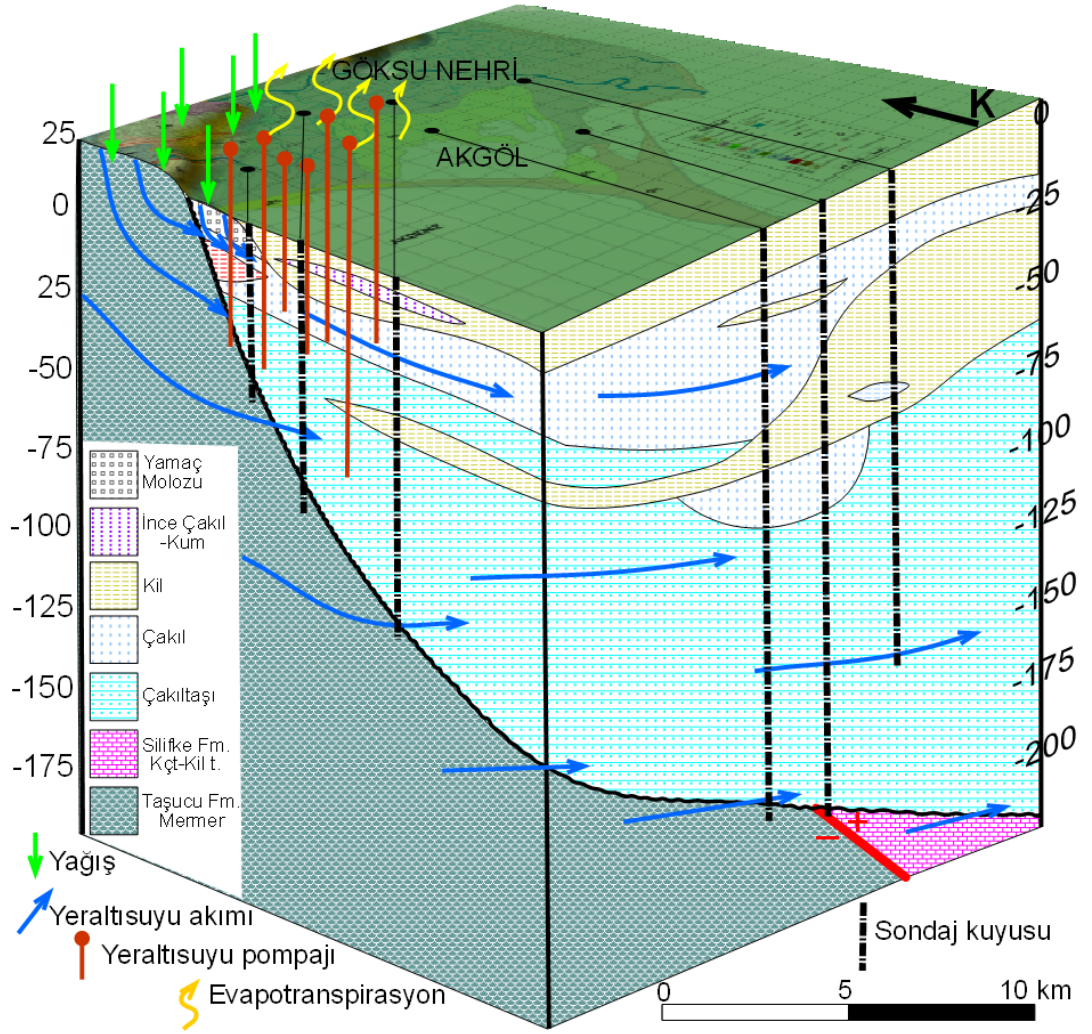


## 9.1 Göksu Deltası Kıyı Akiferi Hidrojeolojik Kavramsal Modeli

Tez kapsamında gerçekleştirilen jeolojik ve hidrojeolojik incelemelerin sağlıklı bir hidrojeolojik modele altlık oluşturabilmesi, sistemin hidrojeolojik kavramsal modelinin gerçeğe mümkün olduğunca yakın tasarlanmasına bağlıdır. Tüm delta bölgelerinde olduğu gibi Göksu Deltası da son derece karmaşık bir jeolojik depolanma geçmişine sahiptir. Literatür taraması aşamasından başlayarak, çalışma sahası paydaşlarıyla yapılan görüşmeler, jeolojik, hidrojeolojik incelemeler, sondaj çalışmaları, kuyu testleri ve hidrojeokimyasal incelemeler bir arada değerlendirilerek Göksu Deltası'nın hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmuştur (Şekil 9.1). Buna göre Kuvaterner döneminde deltada farklı sedimantolojik süreçler etkisiyle kil ile moloz arası boyutta malzemelerin depolandıkları anlaşılmaktadır. Söz konusu süreçlerin, Kuvaterner dönemi boyunca deltanın farklı bölgelerinde aynı anda ya da farklı zamanlarda etkinlik göstermesi ve süreçlerin kesilip tekrarlanmaları sonucu değişik tane boyunda malzemeler, değişik kalınlıklarda ve değişik derinliklerde depolanmışlardır (Şekil 9.1). Deltanın kuzeyde yer yer killi katmanlarca aralanmalı olan kireçtaşlarından oluşan Silifke Formasyonu ile sınırlı olan Göksu Deltası alüvyal çökelleri batıdan Taşucu Formasyonu kireçtaşları ile sınırlanmışlardır. Deltanın güney sınırını Akdeniz oluşturmaktadır. Akarsu egemen bir delta olan Göksu Deltası'nın bu karakterinden dolayı en kalın örtüsünün Göksu Nehri'nin denize boşaldığı noktada oluşması beklenmektedir. Buna göre deltanın maksimum kalınlığı 250 m dolayında olduğu tarafımızca yapılan sondaj çalışmalarında saptanmış, bu sonuç ÇŞBÖÇKK (2009) tarafından gerçekleştirilen jeofizik çalışmaları (Şekil 9.2) ile de desteklenmiştir. Deltanın güneybatı kenarında Taşucu Formasyonu, diğer kısımlarda ise Silifke Formasyonu kireçtaşlarının delmayı alttan sınırladıkları yine sondaj çalışmalarından elde edilen veriler ışığında belirlenmiştir. Tez kapsamında ve daha önceki çalışmalardan derlenen sondaj verileri bir arada değerlendirildiğinde kireçtaşlarının hemen üzerinde delta çökelleri kalın bir çakıltaşı tabakası ile başlamaktadır. Çakıltaşı, kalınlığı 20 m'yi bulmayan kil katmanlarınca kesintiye uğramaktadır. Yapılan korelasyon çalışmaları, söz konusu kil katmanlarının delta boyunca devamlı olmadığını ve bu katmanların parmaklanmalar şeklinde oluştuklarını göstermektedir. Deltanın güney ucunda yaklaşık 150 m derinlikten itibaren başlayan killi seviye daha yukarıda çakıllı

birimlerle devam etmektedir. Deltanın merkezinden itibaren yüzeyde görülen killi birimlerin güneye doğru kalınlaşarak devam ettiği, deltanın kenarında ise incelererek kaybolduğu yine korelasyon çalışmaları sonucu anlaşılmıştır. Bu kalın killi birimler yüzeye doğru ince çakıllı ve kumlu birimlerce kesintiye uğramaktadır. Deltanın Silifke Formasyonu ve Taşucu Formasyonu'na yaslandığı kıyı kesimlerinde yamaç molozu oluşumları yüzeyden 10-20 m derinliğe kadar devam etmektedir.

Delta alüvyonunun yukarıda belirtilen jeolojik özellikleri, bölge halkının yeraltısuyu kullanım alışkanlıkları, yapılan kuyu testleri ve hidrojeokimyasal incelemeler yardımıyla hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmaya çalışılmıştır. Buna göre, Göksu Deltası yeraltısuyu sistemi alttan, kuzeyden ve kuzeybatıdan, hidrolik yükü kıyı akiferinden yüksek olduğu tahmin edilen, çatlaklı ve karstik akifer özelliğine sahip kireçtaşları tarafından beslenmektedir. Yapılan incelemeler deltanın kuzeyindeki kireçtaşları ile sınırından itibaren merkeze doğru yamaç molozlarından, önce çakıllı birimlere, daha sonra kumlu birimlere doğru geçiş yaptığı deltanın merkezinde ise killi, siltli birimlerin yüzeylendiği anlaşılmıştır. Bu durum deltanın kireçtaşları ile sınırından itibaren yüzeyden yağış ve sulamadan dönen sularla da beslendiğini göstermektedir (Şekil 9.1). Yine killi birimlerin yüzeylendiği bölgeye kadar Göksu Nehri de bu bölgedeki serbest akiferi yoğun olarak beslemektedir.



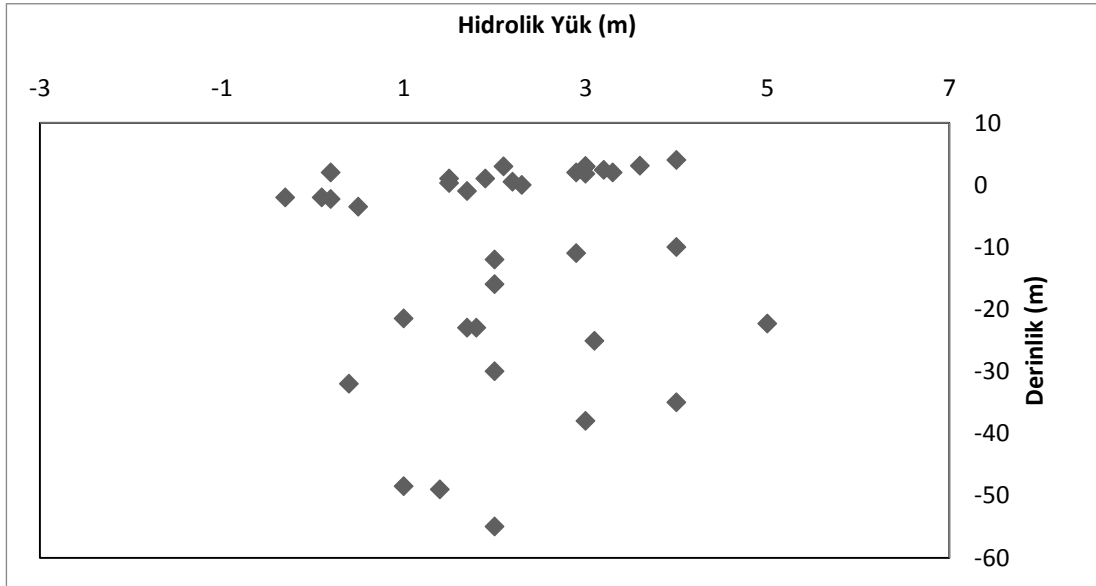
Şekil 9.1 Göksu Deltası üç boyutlu kavramsal hidrojeolojik modeli

Göksu Deltası alüvyon çökellerini oluşturan çakıltaşıları, çakıllı ve kumlu seviyeler Göksu Deltası akifer sistemini oluşturmaktadır. Yaklaşık 3 m kotu itibariyle başlayan yüzeyden 60 m derinliğe kadar ulaşan killi seviyeler azalan kalınlıklarla 180 m'ye kadar parmaklanmalı şekilde uzanmakta ve basınçlı akifer seviyeleri oluşturmaktadır. Alüvyon örtününün en alttaki elemanı olan çakıltaşıları geçirimli özelliktedir. Yüze doğru çakıltaşıları yerini çakıllı seviyelere bırakmakta olup bu seviyelerin geçirimsizlikleri son derece yüksektir. Bölgede yeraltısuyu temini amacıyla en sık işletilen akiferi oluşturan bu seviyelerin de, kalınlığı maksimum 15 m olan kil parmaklanmalarıyla sürekliliği kesintiye uğramaktadır. Deltanın orta-güney kesiminde üzeri killi birimlerce örtülü olan bu seviye yüksek verimli basınçlı akiferi oluşturmaktadır. Alüvyal istifte yüze

yaklaştıka 6zellikle deltanın g6ney yarısında killi ve siltli seviyelerin egemenliği g6ze 6arpmaktadır. İnce taneli malzemenin i6erisinde merccekler şeklinde g6r6len kumlu ve yer yer ince 6akıllı seviyeler ge6irimli 6zellikte olup, yaklaşık 3 m kotu 6zerinde serbest, altında ise 6zerini 6rten killi seviyeler nedeniyle basıncılı akifer oluşturmaktadır.

6alışma alanındaki kuyulardan elde edilen piyezometrik seviye değerleri incelendiğinde yeraltısuyu seviyelerinin derinliğe bağlı olmaksızın, -0,3 ile +4 arasında değiştikleri saptanmıştır (şekil 9.2). Bu durum derin basıncılı ve sığ serbest akiferlerin hidrolitik olarak bağlantılı olabilecekleri ihtimalini doğurmuş ve kavramsal model senaryoları bu ihtimali de i6erecek şekilde geliştirilmiştir.

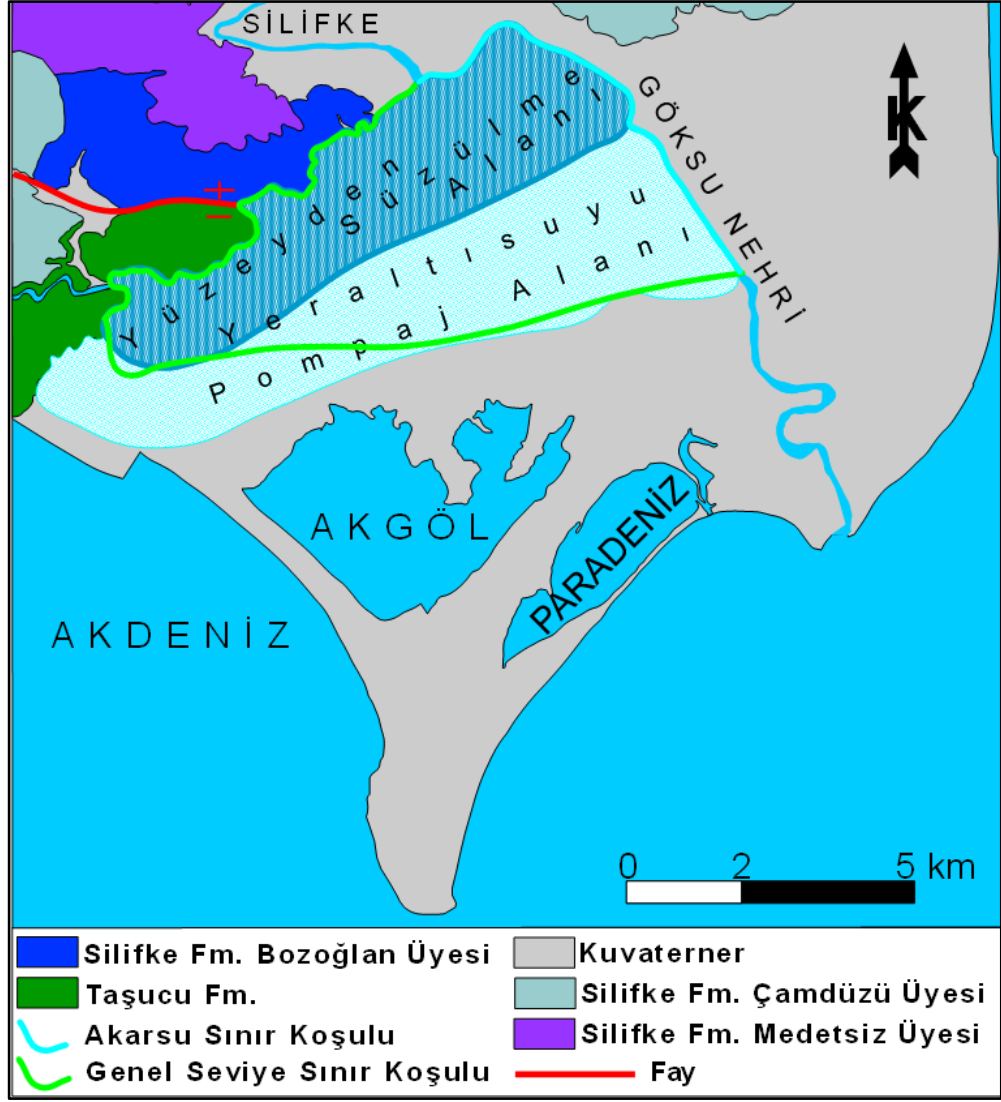
Buna g6re deltanın kuzey kesiminde ge6irimli kire6taşı birimleri egemen olup, g6neye doğru kil tabakalarının artması sonucu oluşan basıncılı akifer seviyeleri kuzeydeki bu kire6taşlarınca beslenmektedir. B6ylece, serbest ve basıncılı akifer sisteminin hidrolitik olarak bağlantılı olduğu anlaşılmaktadır.



şekil 9.2 İncelenen 35 adet kuyunun hidrolik y6k-derinlik değişim diyagramı

## 9.2 Göksu Deltası Sağ Yakası Hidrojeolojik Modeli Sınır Koşulları

Modelleme çalışmaları kapsamında kavramsal modelin sayısal modele aktarılmasının ilk aşaması sınır koşullarının tanımlanmasıdır. Daha önce belirtildiği gibi tez çalışması kapsamında suya dayalı ekosistemin geliştiği, iki göle ve geniş tarım arazilerine sahip Göksu Deltası Sağ yakasında modelleme çalışmaları gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Tez sahası kuzeybatıdan Silifke Formasyonu, kuzeydoğudan Göksu Nehri, güneyden ise Akdeniz ile sınırlı bir dörtgen geometrisine sahiptir. Buna göre deltanın Silifke Formasyonu'nun bulunduğu kuzeybatı sınırını çatlak/karstik akifer özellikli kireçtaşı akiferi oluşturmakta olup, serbest yüzeyli yeraltısuyu içeren bu akiferin model alanı ile sınırı, modele “Genel Seviye Sınırı” olarak tanımlanması uygun olacaktır. Çalışma alanının kuzeydoğu sınırını temsil eden Göksu Nehri ise “Akarsu Sınırı” şeklinde modele tanımlanmalıdır. Çalışma alanının güney sınırında bulunan Akdeniz ise “Sabit Seviye” sınırını temsil etmektedir. Ancak çalışma alanının güney kesimi kıyı bölgesi olduğundan bu bölgede gerek insani faaliyetlerin bulunmaması gerekse toprağın ve yeraltısuyunun tuzlanmış olması nedeniyle bu bölgede çok az sayıda kuyu bulunmaktadır. Bu nedenle söz konusu bölgeye ait gerçek veri elde edilememesi dolayısıyla veri alınamayan bölge modellenecek alan sınırı dışına çıkarılarak model alanının güneyden “Genel Seviye Sınırı” şeklinde tanımlanması planlanmıştır (Şekil 9.3).



Şekil 9.3 Göksu Deltası akifer sistemi sınır koşullarını gösteren harita

Tez kapsamında elde edilen bilgiler ışığında oluşturulmuş olan kavramsal hidrojeolojik modelin şekil 9.3’de görülen sınır koşullarına bağlı olarak matematiksel bir yeraltısuyu akım modelinin hazırlanması planlanmıştır. Gerçekleştirilecek olan hidrojeolojik akım modellerinin sağlıklı sonuçlar verebilmesi amacıyla söz konusu sınır koşullarıyla ilişkili bir takım girdilere ihtiyaç duyulacaktır. Bu girdiler temel hidrojeolojik denklemlerde ihtiyaç duyulan parametrelerden ibarettir. Akım eşitliği model alanı boyunca geçerli olacağından çalışma sahası genelinde hidrolik yük (h), hidrolik iletkenlik (K) ve depolama katsayısı ( $S_s$ ) verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu veriler arazi incelemeleri, sondaj çalışmaları ve laboratuvar testleri yardımı ile belirlenmiş olup bu

veriler Göksu Deltası Kıyı Akiferine Ait Akifer Parametreleri başlığı altında incelenmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (9.1)$$

$K_{xx}$ : X koordinat ekseninde hidrolik iletkenlik katsayısı bileşeni,

$K_{yy}$ : Y koordinat ekseninde hidrolik iletkenlik katsayısı bileşeni,

$K_{zz}$ : Z koordinat ekseninde hidrolik iletkenlik katsayısı bileşeni,

h: Hidrolik yük,

W: Hacimsel su kazanımı veya kaybı,

$S_s$ : Özgül depolama katsayısı,

t: Zaman

### 9.3 MODFLOW

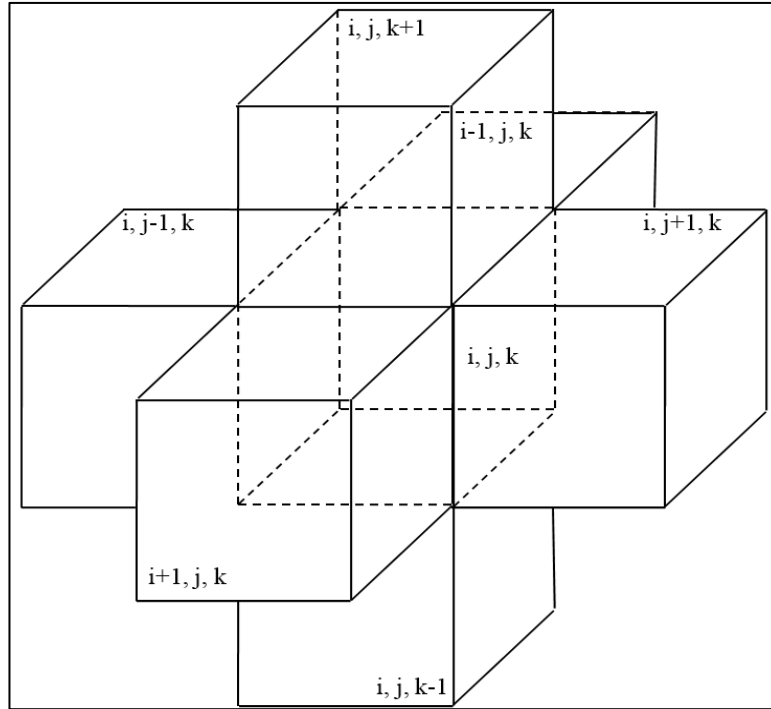
İlk kez McDonald ve Harbaugh (1988) tarafından geliştirilen ve 3 boyutlu yeraltısuyu akım denkleminin sonlu farklar yaklaşımı kullanılarak çözülmesi için kullanılan MODFLOW programı Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Merkezi (USGS) bünyesinde geliştirilmiştir. Modüler bir yapıya sahip olan MODFLOW Harbaugh ve McDonald (1996) tarafından güncellenmesinin yanı sıra değişik araştırmacılar tarafından geliştirilen ve değişik hidrojeolojik özelliklerin tanımlanması amacıyla kullanılan paket ve farklı hidrojeolojik sorunların çözümü için geliştirilen ilave programlarla zenginleştirilmesi sonucu günümüzde yeraltısuyu modellemesi amacıyla en yaygın ve etkin şekilde kullanılan programlardan biri haline gelmiştir.

Sayısal yeraltısuyu akım modelini oluşturmak üzere genel akım denkleminin sonlu farklar yöntemiyle çözülmesi, model alanının bloklar şeklinde tanımlanması ve her blok için hidrojeolojik parametrelerin programa girilmesi ile mümkün olmaktadır (Şekil 9.4). MODFLOW programına veri girilmesinin ve bu verilerin işlenmesinin kolaylaştırılması amacıyla birçok yazılım geliştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında Göksu Deltası sağ yakası sayısal yeraltısuyu akım modelinin oluşturulabilmesi amacıyla GMS 8.2 yazılımı kullanılmıştır.

Göksu Deltası sağ yakası akifer sisteminin modellenmesi kapsamında oluşturulan kavramsal model ışığında GMS 8.2 paket programı aracılığıyla öncelikle akifer sistem kararlı akım koşullarında modellenmiştir. Bu amaçla MODFLOW yazılımının ihtiyaç duyduğu ve GMS 8.2 paket programı tarafından desteklenen kimi ek paketler aktif hale getirilmiştir.

Bu kapsamda akım paketi olarak Layer Property Flow (LPF) paketi kullanılmıştır. Bu paket, katman türü ve hücrelere ait hidrojeolojik parametreleri kullanarak hücre bazlı olarak akım denkleminin çözümünü gerçekleştirmektedir. Çözüm paketi olarak ise GMS 8.2 tarafından önerilen Strongly Imp. Procedure (SIP1) paketi kullanılmıştır. Bu paket her bir stress periyodu için sonlu farklar denkleminin çözümünü gerçekleştirmektedir.

Bununla birlikte Göksu Deltası sağ yakası akifer sisteminin hidrojeolojik ve hidrolojik özelliklerinin sisteme aktarılması amacıyla ek paketlerden Genel Seviye (General Head, GHB1), Beslenme (Recharge, RCH1), Buharlaştırma-Terleme (Evapotranspirasyon, EVT) Akarsu (River, RIV1) ve Kuyu (Well, WEL1) paketleri de aktif hale getirilmiştir.



Şekil 9.4 MODFLOW sonlu farklar çözümü için ihtiyaç duyulan blok ağı



#### **9.4 Göksu Deltası Sağ Yakası Sayısal Yeraltısuyu Akım Modeli**

Son yıllarda hidrojeolojik incelemelerde kullanılan yöntemlerde ve bilgisayar sistemlerinde yaşanan gelişmelerle bilgisayar destekli sayısal akım modellerinin oluşturulması nispeten kolaylaşmış ve yaygınlaşmıştır. Son derece karmaşık hidrojeolojik sistemlerin ve problemlerin etkin çözümlerinde kolaylıklar sağlayan bu modellerin oluşturulmasında, yeraltısuyu akım denkleminin çözümü için gerekli parametrelerin çeşitliliği, bu parametrelerin elde edilmesinde karşılaşılan güçlükler, parametrelerin geniş alanlar ve heterojen jeolojik ortamlar için temsil ediciliğinde karşılaşılan belirsizlikler gibi nedenlere bağlı olarak sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sorunların mümkün olan en geniş ve tutarlı veriler yardımıyla çözülebilmesi, modelin temsiliyet kabiliyetini arttıracak olsa da modelin gerçek hidrojeolojik sistemle birebir örtüşmesi neredeyse imkansızdır. Zira sayısal akım modelleri gerçek hidrojeolojik sistemin ancak bir benzeridir.

Tez çalışması hidrolik yük dağılımları belirlenmiş, su kimyası ve izotop analizleri gerçekleştirilmiş, akifer parametrelerini belirlemek üzere arazide ve laboratuvarında testler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak Göksu Deltası sağ yakası hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmuştur. Ayrıca bu veriler sayısal yeraltısuyu akım modelinin oluşturulması için kullanılmak üzere değerlendirilerek model girdisi olarak kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

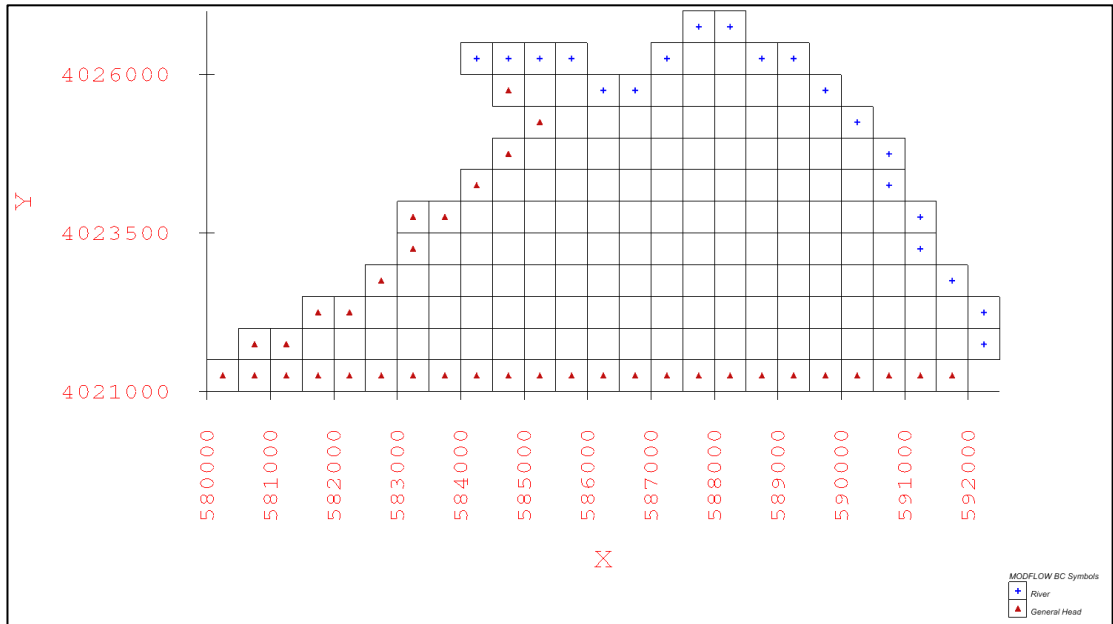
##### **9.4.1 Grid ağının oluşturulması**

Göksu Deltası sağ yakası akifer sisteminin hidrojeolojik özelliklerinin MODFLOW programına tanımlanabilmesi ve sonlu farklar yöntemi kullanılarak sayısal akım modelinin oluşturulabilmesi amacıyla ihtiyaç duyulan verilerin programa girilmesi ancak, model alanının gridler şeklinde tanımlanmasıyla mümkündür. Bu amaçla model alanı 500x500 m<sup>2</sup>'lik 25x12 adet gride bölünmüştür. Göksu Deltası sağ yakası akifer sisteminin hidrojeolojik kavramsal modeli ışığında model alanı kuzeybatıdan Silifke Formasyonu'na ait kireçtaşları tarafından sınırlanmıştır. Model alanı kuzey ve kuzeydoğudan Göksu Nehri ile sınırlandırılmıştır. Modelin güney kısmı akiferin yoğun

olarak işletildiği bölge göz önüne alınarak sınırlandırılmıştır. Böylece grid ağı 520500.00-527000.00 K ve 4080000-4092500 D koordinatları arasında yer almıştır (Şekil 9.8).

Göksu Deltası sağ yakası akifer sisteminin heterojen yapısı dikkate alınarak, model alanı kalınlıkları 4 ile 64 m arasında değişen 14 farklı katmana ayrılmıştır. Model sahasını düşey yönde Göksu Deltası alüvyon örtüsünün altında yer alan kireçtaşları sınırlamaktadır. Model alanı dışında kalan hücreler aktif olmayan, model sahası içerisindeki hücreler ise aktif hücre olarak tanımlanmıştır.

Göksu Deltası Sağ yakası akifer sisteminin kavramsal hidrojeolojik modeli gereği model alanının kuzeybatı ve güney sınırları genel hidrolik yük sınır koşulu, kuzey ve kuzeydoğu sınırı ise akarsu sınır koşulu olarak tanımlanmıştır (Şekil 9.5).

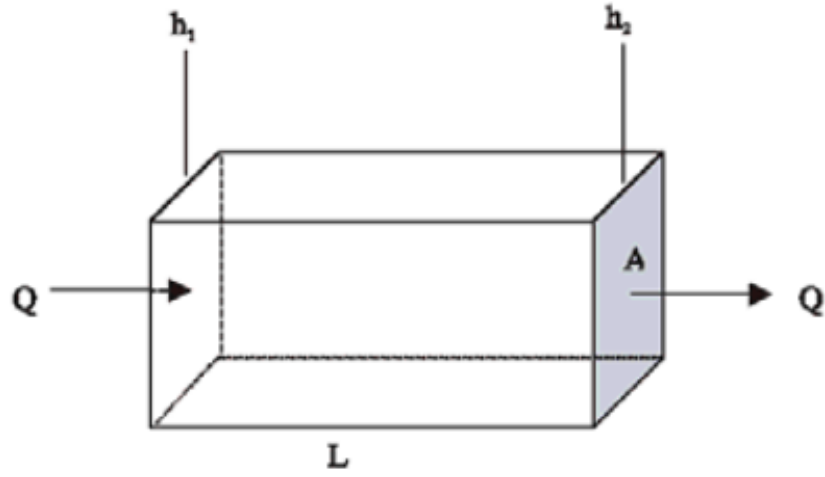


Şekil 9.5 Göksu Deltası sağ yakası akifer sistemi grid ağı

## 9.5 Göksu Deltası Sağ Yakası Sayısal Yeraltısuyu Akım Modeli Sınır Koşulları

### 9.5.1 Genel seviye sınırı paketi (GHB)

Göksu Deltası kavramsal hidrojeolojik modeli batı sınırından kireçtaşı akiferi ile komşudur. Söz konusu sınır modelde genel seviye sınırı olarak tanımlanmıştır. Bu sınırdan model alanına boşalacak suyun miktarı ( $QB_n$ ) sınırdaki su yüküne ( $HB_n$ ), sınırın iletkenliğine ( $CB_n$ ) ve model hücresinin hidrolik yüküne bağlıdır ( $h_{i,j,k}$ ) (Şekil 9.6).



Şekil 9.6 Hücreler arası akışın şematik gösterimi

$$QB_n = CB_n (HB_n - h_{i,j,k}) \quad (9.2)$$

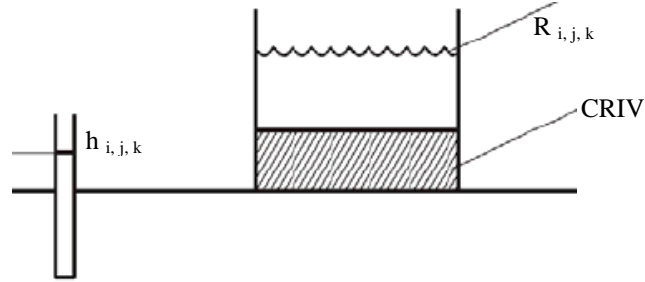
Komşu hücreler arası akım miktarını kontrol eden  $CB_n$  parametresi ise hücreye ait hidrolik iletkenlik katsayısı ( $K$ ), akım yönüne dik kesit alanı ( $A$ ) ve akım yolu uzunluğuna ( $L$ ) bağlıdır.

$$C = (K \times A) / L \quad (9.3)$$

### 9.5.2 Akarsu paketi (RIV)

Göksu Deltası hidrojeolojik kavramsal modeli kuzey ve doğudan Göksu Nehri ile sınırlanmaktadır (RIV: Akarsu Paketi, Harbaugh, 2005). Söz konusu akarsu sınırı yeraltısuyu ile Göksu Nehri arasındaki hidrolik ilişkiyi denetlemektedir. Elde edilen veriler ışığında tez sahasının kuzeyinde akifer Göksu Nehri'ni beslerken, güneye doğru gidilirken killi birimlere girilmesi ile akifer akarsu ilişkisi kesilmektedir. Söz konusu ilişki incelenirken, ilgili akım formülleri gereği akarsu ve yeraltısuyu hücreleri arasındaki akım, akarsu ve yeraltısuyunu ayıran materyalin hidrolik iletkenliği (CRIV), ilgili akifer hücresine ait hidrolik yük ( $h_{i,j,k}$ ) ve komşu akarsu hücresine ait hidrolik yük değerleri ( $R_{i,j,k}$ ) tarafından denetlenmektedir (Şekil 9.7).

$$QRIV_n = CRIV_n (HRIV_n - h_{i,j,k})$$



Şekil 9.7 Akarsu-yeraltısuyu ilişkisi

### 9.5.3 Beslenme paketi (RCH)

Modelleme çalışması kapsamında faydalanılacak bir diğer paket olan beslenme paketi alansal olarak yapay ya da doğal beslenmeyi incelemektedir. Söz konusu paket alansal beslenme miktarlarına ihtiyaç duymaktadır (Harbaugh 2005).

Önceki bölümlerde belirtildiği gibi Göksu Deltası son derece verimli tarım arazilerine sahiptir. Yine çalışma alanının tanıtıldığı bölümde değinildiği gibi bölgenin en önemli

geçim kaynağını tarımsal faaliyetler oluşturmaktadır. Buna paralel olarak bölgede sulama suyu ihtiyacı son derece yüksektir. Bu nedenle Göksu Deltası'nda gerçekleştirilecek hidrojeolojik hesaplamalarda tarımsal faaliyetlerin göz önünde bulundurulması kaçınılmazdır. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen kavramsal model çalışmaları Deltada yeraltısuyu besleniminin büyük miktarının deltayı yandan ve alttan sınırlayan Taşucu ve Silifke Formasyonu tarafından sağlandığını göstermektedir. Gerek jeolojik ve hidrojeolojik incelemeler gerekse sondaj çalışmaları Göksu Deltası'nın kuzey kesimlerinin kaba taneli malzemelerden oluştuğunu şekil 9.3'de görülen hattın güneyinde kalan kısımda ise killi seviyelerin yüzeyletiğini göstermektedir. Buna göre deltada kaba taneli malzemelerin yüzeyletiği kuzey batı kesimde yüzeyden süzülme ile beslenme söz konusu iken daha güneyde kalan kısımda yüzey sularının akifere ulaşması killi ve siltli seviyelerce engellenmektedir.

Tez sahasında sürdürülmekte olan yoğun tarımsal üretim dikkate alınarak yağıştan süzülme yoluyla beslenme miktarının bulunması amacıyla yağış-buharlaşıma hesabı için bitki su ihtiyacına dayalı bir yöntem olan Blaney-Criddle nem bilançosu hesabı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar üretimi yapılan zirai ürünler için çizelge 9.1 ve 9.2'de görülmektedir. Bu yöntemde bölgenin tarımsal üretim ve sulama alışkanlıkları göz önünde bulundurularak, limon ve çilek üretilen bölgeler için ürün su ihtiyacı belirlenerek nem bilançosu hazırlanmıştır.

Çizelge 9.1 Limon ekili alanlar için Blaney Criddle nem bilançosu

times	T <sub>ort</sub> (°C)	Yağış (mm)	Et <sub>o</sub> (mm)	Kc	Et <sub>o(limon)</sub> (mm)	Gerçek ET (mm)	Faydalı Su Yedeği (mm)	Su Noksanı (mm)	Su Fazlası (mm)
1	9,9	213,7	3,1	0,5	15,4	15,4	50,0	-	198,3
2	10,9	116	3,5	0,5	17,5	17,5	50,0	-	98,5
3	14,5	57,9	4,1	0,5	20,6	20,6	50,0	-	37,3
4	20,7	12,0	4,8	0,5	24,0	24,0	38,0	-	-
5	23,6	21,6	5,6	0,5	28,2	28,2	31,4	-	-
6	29,4	8,2	6,3	0,5	31,7	31,7	7,9	-	-
7	32,0	0	6,7	0,5	33,7	7,9	-	-25,8	-
8	32,4	1,7	6,6	0,5	32,9	1,7	-	-31,2	-
9	29,7	0	5,8	0,5	28,8	0	-	-28,8	-
10	25,1	41,2	4,5	0,5	22,7	22,7	19,0	-	-
11	18,9	126,7	4,0	0,5	19,8	19,8	50,0	-	75,9
12	13,7	200,0	3,2	0,5	16,1	16,1	50,0	-	183,9
Top.		799,0						-98,3	588,1

Çizelge 9.2 Çilek ekili alanlar için Blaney Criddle nem bilançosu

Aylar	T <sub>ort</sub> (°C)	Yağış (mm)	Et <sub>o</sub> (mm)	Kc	Et <sub>o(çilek)</sub> (mm)	Gerçek ET (mm)	Faydalı Su Yedeği (mm)	Su Noksanı (mm)	Su Fazlası (mm)
1	9,9	213,7	30,9	0,8	25,3	25,3	50,0	-	188,4
2	10,9	116	35,1	0,0	0,8	0,8	50,0	-	115,2
3	14,5	57,9	41,2	0,0	2,0	2,0	50,0	-	55,9
4	20,7	12,0	48,0	0,1	4,3	4,3	50,0	-	7,7
5	23,6	21,6	56,3	0,2	9,7	9,7	50,0	-	11,9
6	29,4	8,2	63,4	0,3	18,0	18,0	40,2	-	-
7	32,0	0	67,4	0,4	28,6	28,6	11,6	-	-
8	32,4	1,7	65,8	0,6	38,2	13,3	0,0	-24,9	-
9	29,7	0	57,7	0,7	40,1	0,0	0,0	-40,1	-
10	25,1	41,2	45,3	0,8	34,4	34,4	6,8	-	-
11	18,9	126,7	39,6	0,8	31,5	31,5	50	-	52,0
12	13,7	200,0	32,2	0,8	26,2	26,2	50		173,8
Top.		799,0						-85,8	604,9

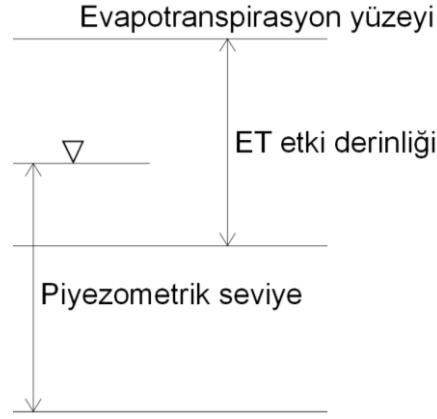
Göksu Deltası'nda akiferleri besleyen bir başka süreç ise tarımsal amaçlı kullanılan sulama sularının yine kaba taneli malzemenin yüzeylemiş olduğu kesimden süzülme sonucu akifere ulaşmasıyla tamamlanmaktadır. Deltada gittikçe yaygınlaşan damlama sulama sistemi sulamadan dönen suların akifere ulaşmasıyla gerçekleşen beslenme miktarının azalmasına sebep olmaktadır.

Göksu Nehri'ndeki su kotunun, şekil 9.3'de gösterilen sınıra kadar olan kesimde yeraltı su kotunun üzerinde olması, Göksu Deltası akifer sisteminin çalışma alanının bu kesiminde Göksu Nehri'nden süzülme ile beslendiğini göstermektedir. Bu hattın güneyinde kalan kısımda ise Göksu Nehri'nin killi, siltli seviyeler üzerinden akması nedeniyle akifer ile nehir arasındaki hidrolik bağlantı kesilmektedir.

Göksu Deltası akifer sistemi yeraltı su seviyesindeki dalgalanmalara bağlı olarak, su seviyesinin düştüğü dönemlerde Akdeniz'in tuzlu suyunun akifere karışması ile güneyden beslenmektedir.

#### **9.2.4 Evapotranspirasyon (Buharlaşma-Terleme)**

MODFLOW'un ek paketlerinden biri olan Evapotranspirasyon paketi ile bitkilerin transpirasyon etkisi ve doğrudan su tablasından buharlaşma ile akiferi terk eden su miktarı hesaplanmaktadır (Harbarough, 2005). Bu hesaplamaların yapılabilmesi için program buharlaşma-terleme yüzeyi, maksimum buharlaşma oranı ve buharlaşma terleme etki derinliği gibi verilere ihtiyaç duymaktadır (Şekil 9.8).



Şekil 9.8 Su tablasına evapotranspirasyon etkisi

#### 9.5.4 Boşalım

Göksu Deltası akifer sisteminin boşalımı doğal ve yapay olmak üzere iki şekilde gerçekleşmektedir. Göksu Deltası akifer sisteminin, tez çalışmasının gerçekleştirildiği sağ yakada K/KB-G/GD yönlü akışı Akdeniz’de son bulmakta ve yeraltısu boşalımı doğal yollarla Akdeniz’e doğru gerçekleşmektedir. Daha önce bahsedildiği gibi suya dayalı bir ekosistemin ve sosyo-ekonomik yapının geliştiği Göksu Deltası’nda daha çok ve daha kaliteli tarımsal üretimin gerçekleştirilmesi amacıyla, tarımsal ürüne bağlı olarak yeraltısu ihtiyacı had safhada olup, özellikle deltanın orta ve kuzey kesiminde yaygın olan narenciye ve çilek üretimi için yeraltılarından faydalanılmaktadır. Bu amaçla açılmış çok sayıda kuyudan Mayıs ayından Ekim ayı başlarına kadar sulama gerçekleştirilmektedir. Göksu Deltası sağ yakası akifer sisteminden sulama amaçlı olarak alınan su miktarının tahmini için Blaney-Criddle’in bitki su ihtiyacına dayalı nem bilançosundan faydalanılmıştır (Çizelge 9.1 ve 9.2). Bilançoda su noksanı olarak hesaplanan değerlere, muhtemel kayıplar ve evsel kullanım amaçlı yeraltısu pompajı da eklenerek kuyuların işletme debileri hakkında yaklaşımda bulunulmuştur.



## 9.6 Modeli Parametreleri

Hidrojeolojik modelleme çalışmalarının başarısı öncelikle sağlıklı bir hidrojeolojik kavramsal modelin kurulmasına bağlıdır. Zira, söz konusu hidrojeolojik kavramsal model, modelde kullanılacak parametrelerin seçilmesine öncülük etmektedir. Kavramsal modeli MODFLOW simülasyonuna tanımlayabilmek amacıyla kullanılan çözüm paketleri ve ek paketlerin her biri modelde ihtiyaç duyulan verileri hesaplayabilmek amacıyla bir takım girdilere ihtiyaç duymaktadır. Bu girdilerin elde edilebilmesi ve modele aktarılması modelin başarısını etkileyecek bir diğer önemli unsurdur.

Modelin kuzeybatı ve güney sınırları Genel Seviye Sınır Koşulu olarak tanımlandığından bu sınırlara ait seviye değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Arazi çalışmalarında incelenen kuyulardan ve tarafımızca gerçekleştirilen sondaj çalışmalarından elde edilen veriler bu amaçla değerlendirilerek modele aktarılmıştır.

Modelde üç boyutlu yeraltısuyu akım denkleminin çözülebilmesi için hem sınır hücreleri hem de model alanı için hidrolik iletkenlik katsayısı değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kil ile blok arasında değişen tane boyuna sahip, malzemelerin deltanın farklı bölgelerinde değişen derinlik ve kalınlıklarda yayılım göstermesinden dolayı modele girilecek olan hidrolik iletkenlik katsayısı değerleri de değişkenlik göstermektedir. Bu değerler arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasında elde edilen verilerin kavramsal hidrojeolojik model ışığında sayısal modele aktarılması ve model kalibrasyonu sırasında modifiye edilmesiyle belirlenmiştir.

Üç boyutlu yeraltısuyu akım denklemin model alanı için çözümlenmesi için MODFLOW çözüm paketi yatay hidrolik iletkenlik katsayısının yanı sıra yatay ve düşey anizotropi değerlerine ihtiyaç duymaktadır. Arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi son derece güç olan bu parametre için literatürden faydalanılmış olup, gözenekli ortamın grid ağlarına bölünmesi sırasında gösterilen hassasiyet hidrolik iletkenlik katsayılarının gridlere atanmasında kolaylık sağlamıştır.

Modelin kuzey, kuzeydoğu ve doğu sınırını oluşturan Göksu Nehri, Akarsu Sınır Koşulu olarak tanımlanmıştır. Akarsu ile yeraltısuyu ilişkisini belirlemek için kullanılan bu sınır koşuluna ait verilerin programa aktarılması için Akarsu Paketi kullanmıştır. Bu paketin, akarsu ile yeraltısuyu arasındaki beslenme ve boşalım miktarlarını hesaplayabilmesi için akarsu yatak sedimanlarının hidrolik iletkenliği ile akarsuyun taban ve su kotlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yılın her dönemi çok yüksek debide akış gösteren Göksu Nehri'nden arazi çalışmaları sırasında seviye ölçümleri alınmışsa da özellikle Göksu Nehri'nin ovaya girdiği noktadan itibaren akarsu taban sedimanından örnek almak mümkün olmamıştır. Bu nedenle hidrolik iletkenlik değerlerinin belirlenmesinde akarsu genişliği, eğimi, debisi ve akarsuyun kat ettiği jeolojik birimler dikkate alınarak yaklaşımlarda bulunulmuştur.

Göksu Deltası sağ yakası akifer sisteminin yağıştan beslenme miktarının belirlenebilmesi için, Göksu Deltası'nda üretimi yapılan zirai ürünlerin alansal dağılımı göz önünde bulundurularak Blaney-Criddle yöntemi yardımıyla hesaplanan su fazlası değerlerinin süzülme katsayısı ile çarpılarak, yeraltına süzülme miktarları şeklinde modele aktarılmıştır.

Akiferin serbest kısmından buharlaşma terleme yoluyla sistemden ayrılacak su miktarının belirlenebilmesi için Evapotranspirasyon paketinden faydalanılmıştır. Paket akiferi terk edecek miktarı hesaplayabilmek amacıyla max. evapotranspirasyon oranı, evapotranspirasyon yüzeyi ve evapotranspirasyon etki derinliğine ihtiyaç duymaktadır. Modelde evapotranspirasyon yüzeyi için topoğrafik yüzey değerleri, max. evapotranspirasyon değeri için 0,0002 değeri, evapotranspirasyon etki edrinliği için ise 1,5 m girdileri kullanılmıştır.

Göksu Deltasında 1960'lı yıllarda tarımsal sulama amaçlı olarak yeraltısuyu kullanımı başlamıştır. Bu kullanım günümüzde artan tarımsal arazi kullanımı ve ürün çeşitliliği nedeniyle yüksek seviyelere ulaşmıştır. Deltada yeraltısuyu kullanım miktarının tahmini için de yine Blaney-Criddle bitki su ihtiyaç yaklaşımı kullanılmış, su noksanı ortaya çıkan dönemler için bu miktarın yeraltısuyundan karşılandığı hesap edilmiştir. Bunun yanı sıra çekilen su miktarının %10'u kadar da kayıp miktarı pompaj miktarlarına

eklenmiştir. Ayrıca bölgede bulunan köylerde evsel amaçlı yeraltısuyu kullanımı da hesaba katılarak toplam yeraltısuyu pompaj miktarları hesaplanmıştır. Ek olarak pompaj miktarlarının hesaplanmasında kullanılan değerlerin %10'luk kısmı yapay beslenim olarak değerlendirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında gözlem kuyulu pompa testleri gerçekleştirmek mümkün olmadığından akiferin depolama katsayısı değerlerinin belirlenmesi pompajlarla mümkün olmamıştır, ancak yine tez çalışması kapsamında yapılan sondajlardan elde edilen numunelerin tanımlanmasıyla özgül depolama ve özgül verim değerleri literatürden yararlanılarak belirlenmiştir.

## **9.7 Model Kalibrasyonu**

Büro çalışmaları ile başlayan sürecin sonunda elde edilen veriler GMS 8.2 paket programı aracılığıyla MODFLOW programına aktarılmış ve Göksu Deltası sağ yakası akifer sistemi için yeraltısuyu akım modeli oluşturulmuştur. Deltada yeraltısuyu işletimine başlanmadan önceki döneme ait seviye verisinin bulunmaması nedeniyle model, yeraltısuyu seviye değerlerinin ölçülmeye başlandığı Ocak 2012 dönemi verileri kullanılarak çalıştırılmıştır.

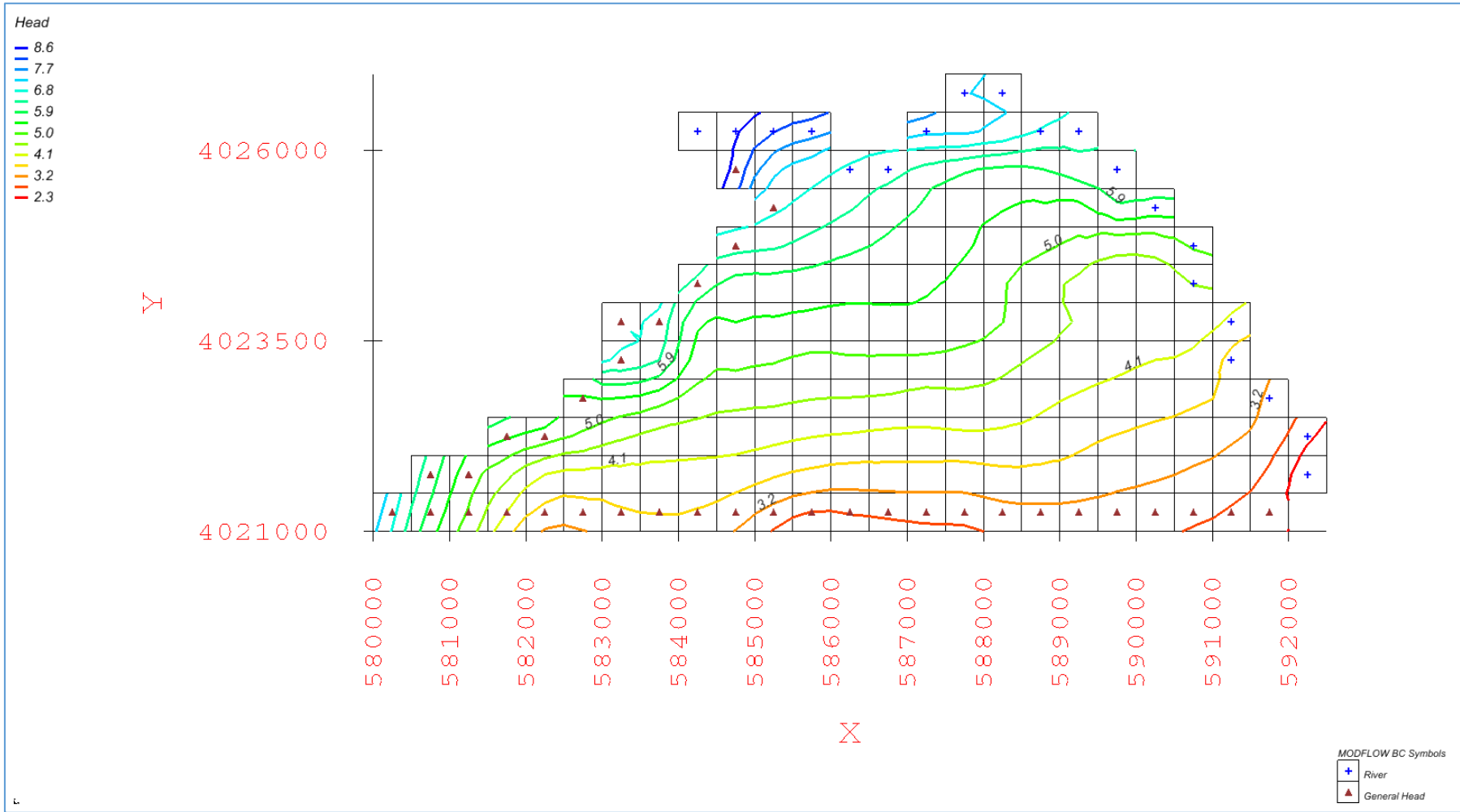
Bu aşamada Göksu Deltası'nın karmaşık jeolojik ve hidrojeolojik yapısı ve bölgede yeraltısuyu kullanım alışkanlıkları ve hidrojeolojik parametrelerin belirlenmesinde yaşanan zorluklar nedeniyle model sonuçlarında ortaya çıkan hataların giderilmesi için kalibrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve özellikle anizotropi, hidrolik iletkenlik ve akarsu seviye değerleri değiştirilerek model birçok kez yeniden çalıştırılmış ve model kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Model kalibrasyonu ile elde edilen yeraltısuyu seviye haritası Şekil 9.9'da sunulmuştur.

Kalibrasyon işleminde kullanılan kuyulardan elde edilen seviye değerlerinin model tarafından hesaplanan değerlerle karşılaştırılması sonucunda bu değerler arasında uyumlu bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 9.10). GMS 8.2 paket programı gözlem verilerinin programa girilmesiyle, program tarafından hesaplanan seviye değerleri ile

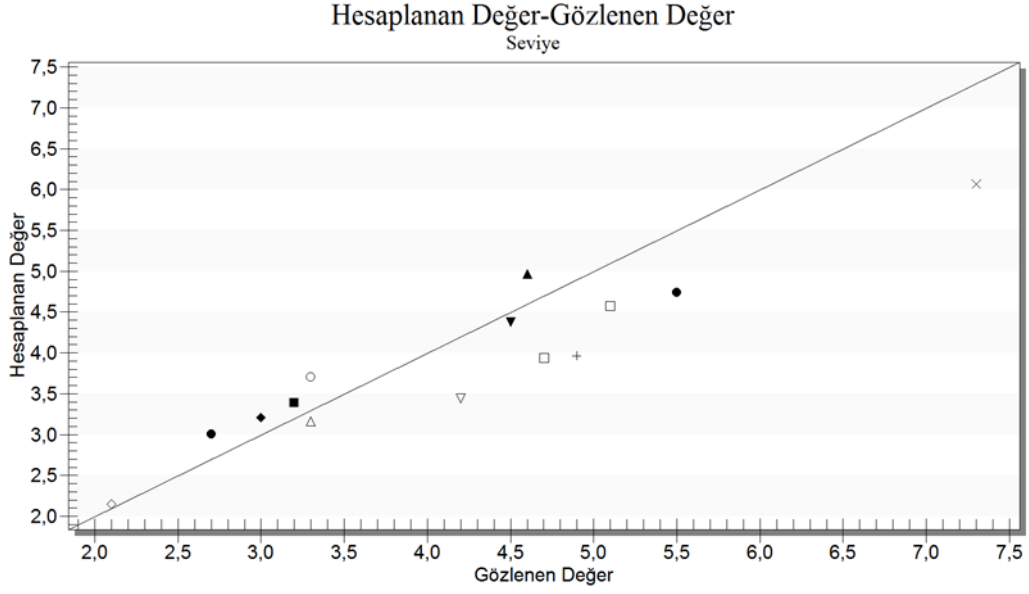
gözlem kuyularına ait seviye değerlerini istatistiksel olarak değerlendirmektedir. Programdaki Kalibrasyon Hedefi seçeneği ile gözlem verileri ve hesaplanan veriler şematik olarak görüntülenebilmektedir (Şekil 9.11). Kalibrasyon hedefini model alanı üzerinde ilgili gözlem noktalarının bulunduğu lokasyonda da görüntülemek mümkündür. Böylece kalibrasyon işleminin başarısı da ortaya konulabilmektedir. Kalibrasyon hedefi üzerinde hata miktarını gösteren kolonun yeşil olması hata miktarının izin verilen sınırlar içerisinde olduğunu, bu kolonun mümkün olduğunca kısa olması da gözlem verileri ile hesaplanan verilerin uyumuna işaret etmektedir. Göksu Deltası sağ yakası akifer sistemi yeraltısuyu akım modeli için kalibrasyon hedefleri şekil 9.12’de görülmektedir.

MODFLOW programının kalibrasyon işleminin başarısını ifade amacıyla kullandığı bir diğer parametre ise gözlem verileri ile model tarafından hesaplanan değerler arasındaki istatistiklerle belirlenen Ortalama hata kareleri toplamı kökü (Root Mean Square Error, RMSE) değeri olup, Göksu Deltası sağ yakası akifer sistemi akım modeli için bu değer kalibrasyon çalışmaları ile 0,4 m ye kadar düşürülmüştür.

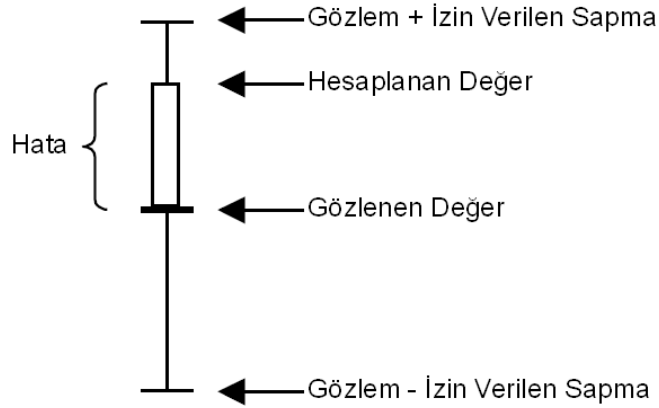
Kalibrasyon işlemi sonucunda elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri  $1,16 \times 10^{-7}$  m/s ile  $2,85 \times 10^{-3}$  m/s arasında değişmektedir. Göksu Deltası’nda kalibrasyon sonucunda elde edilen hidrolik iletkenlik değerlerinin alansal ve derinliğe bağlı olarak değişimi EK-6’da sunulmuştur.



Şekil 9.9 Model kalibrasyonu sonucu elde edilen Kararlı Akım koşullarına ait (Ocak 2012) seviye dağılım haritası



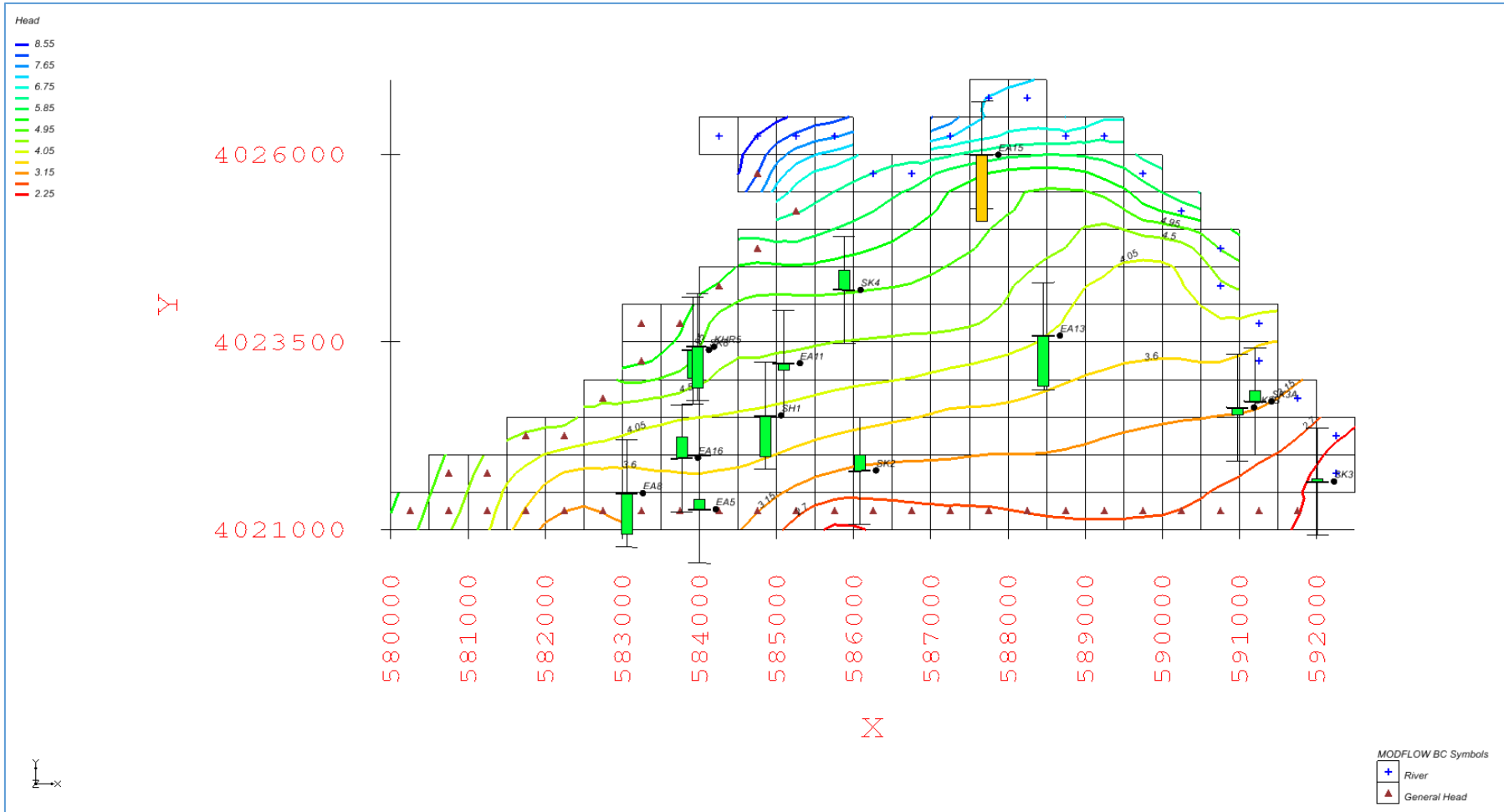
Şekil 9.10 Model tarafından hesaplanan değerlerin gözlem verileri ile karşılaştırması



Şekil 9.11 Kalibrasyon hedefi şematik gösterimi

Gerçekleştirilen modelleme çalışması sonucunda verilerin alındığı Ocak 2012 dönemi için kararlı akım koşullarında yeraltı suyu akım bütçesi Çizelge 9.6'de sunulmuştur. Buna göre Ocak 2012 için Göksu Deltası sağ yakası akifer sistemi başta yağış olmak üzere, Silifke Formasyonu kireçtaşlarını temsil eden genel seviye sınırından ve kısmen de, özellikle kuzeyden olmak üzere, Göksu Nehri'nden beslenmektedir. Bölgede yeraltı suyu boşalımı ise model alanını güneyden sınırlayan genel seviye sınırı boyunca Akdeniz'e doğru ve çalışma alanının doğusunda Göksu Nehri'ne doğru gerçekleşmektedir.

Kararlı hal durumunun modellenmesi ve kalibrasyonu sonrasında deltada yoğun şekilde sürdürülen pompaj faaliyetlerinin tez sahasındaki etkisini modelleyebilmek amacıyla sayısal model zamana bağlı olarak yeniden çalıştırılmıştır. Deltada zamana bağlı verilerin eksik olması zamana bağlı kalibrasyon aşamasında aksaklıklara sebep olmuştur. Bu aşamada ihtiyaç duyulan özgül verim ve özgül depolama değişkenleri için elde edilen veriler ışığında literatür bilgilerinden (Johnson, 1967) ve benzer çalışmalardan faydalanılmıştır (Ökten and Yazıcıgil, 2005). Girdiler zamana bağlı model sonuçlarına göre mümkün olduğunca kalibre edilmiştir. Buna karşın tez çalışması kapsamında elde edilen veriler kullanılarak modele 120'şer günlük 3 periyot ve 30'ar günlük zaman adımları tanımlanarak, yıl içinde yeraltı su seviyesi değişimleri incelenmiştir. Deltada yeraltı suyu kullanımı tarımsal sulama amaçlı olarak açılan kuyular vasıtasıyla gerçekleştiğinden pompaj miktarlarının belirlenmesi için Blaney-Cridle yöntemiyle hesaplanan bitki su ihtiyacı göz önünde bulundurularak belirlenmiştir (Çizelge 9.4). Elde edilen sonuçlar Göksu Deltası sağ yakası akifer sisteminin tarımsal sulama amaçlı olarak sürdürülen yeraltı suyu işletimine son derece duyarlı olduğu ve pompaj nedeniyle yeraltı su seviyelerinde özellikle tarımsal arazi kullanımının yoğun olduğu kesimlerde, su seviyelerinin 1,5 m kadar azaldığı gözlenmiştir. Deltada pompajla birlikte gözlenen yeraltı su seviyelerindeki düşüş, deltanın kuzey ve batı kısmından itibaren, deltayı sınırlayan kireçtaşı akiferinden beslenme neticesinde sınırlı kalmaktadır. Ancak, güney kesimde bu etki daha net olarak ortaya çıkmaktadır. Eylül ayı itibarıyla yeraltı suyu işletiminin durması sonucunda seviyelerde artma eğilimi görülse de bu artış sınırlı kalmaktadır. Modelin zamana bağlı çalıştırılması sonucunda yeraltı su seviyelerindeki değişimler Şekil 9.13, 14 ve 15'de görülmektedir.



Şekil 9.12 Kalibrasyon sonuçlarının model üzerindeki dağılımı

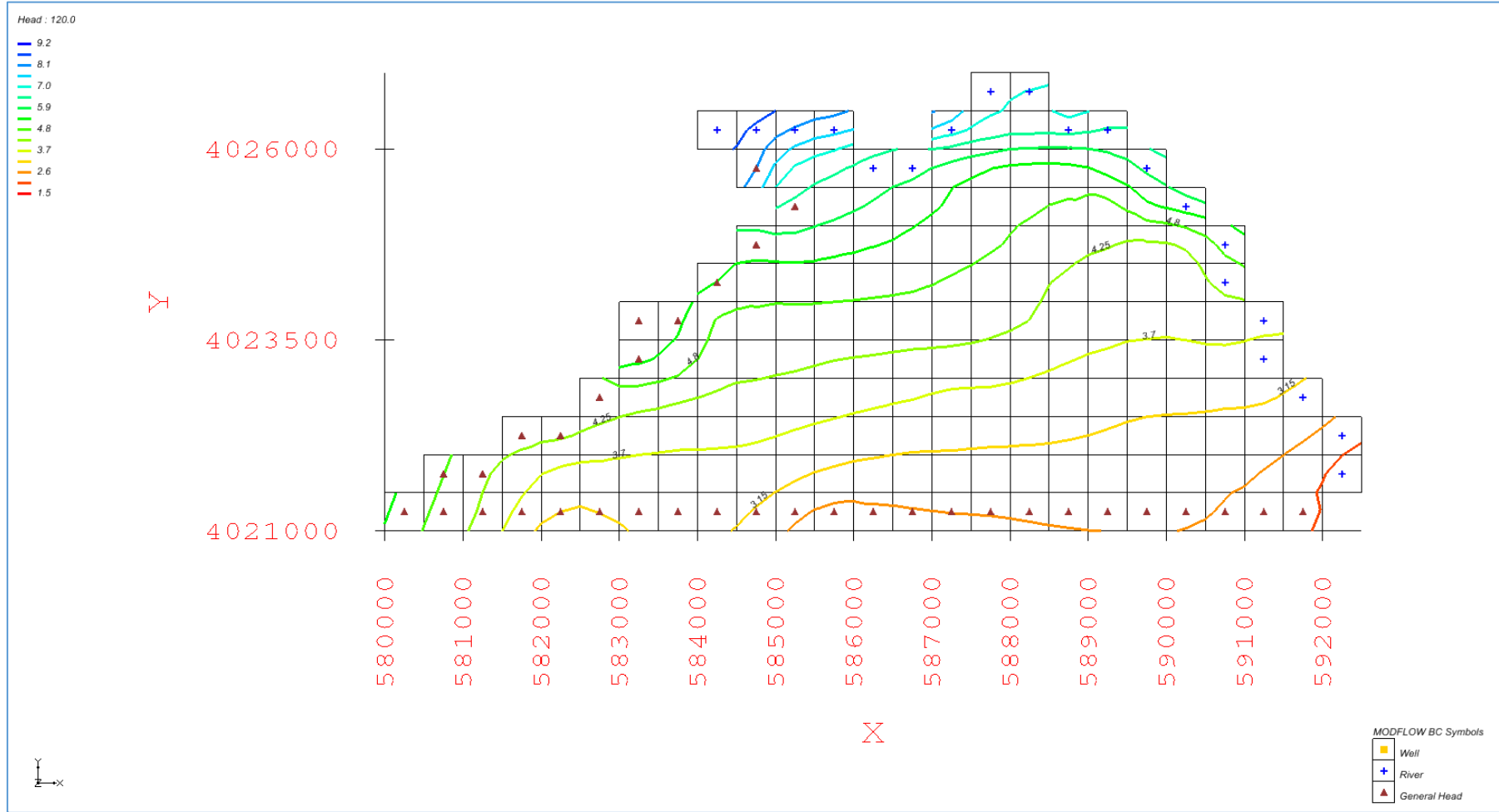


Çizelge 9.3 Göksu Deltası sağ yakası akifer sistemine ait kararlı hal (Ocak 2012) su bütçesi

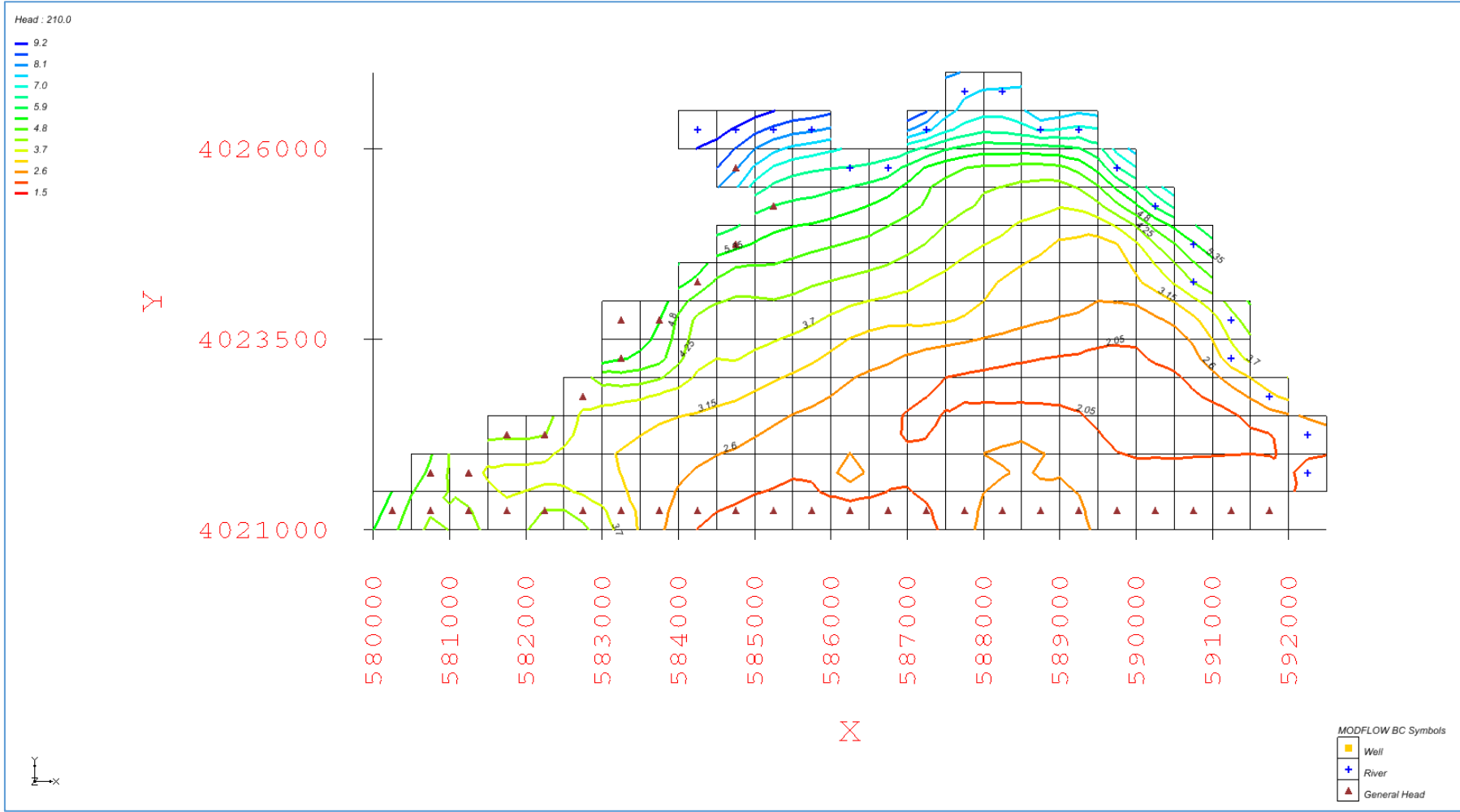
	İçe Akış (m <sup>3</sup> /gün)	Dışa Akış (m <sup>3</sup> /gün)
Genel Seviye Sınırı	3955,64	-6377,29
Akarsu	1144,42	-598,05
Yağış	2516,25	0
Evapotranspirasyon	0	640,98
Toplam	7616,31	7616,32

Çizelge 9.4 Her bir model hücresi için aylık yeraltısuyu işletim debileri

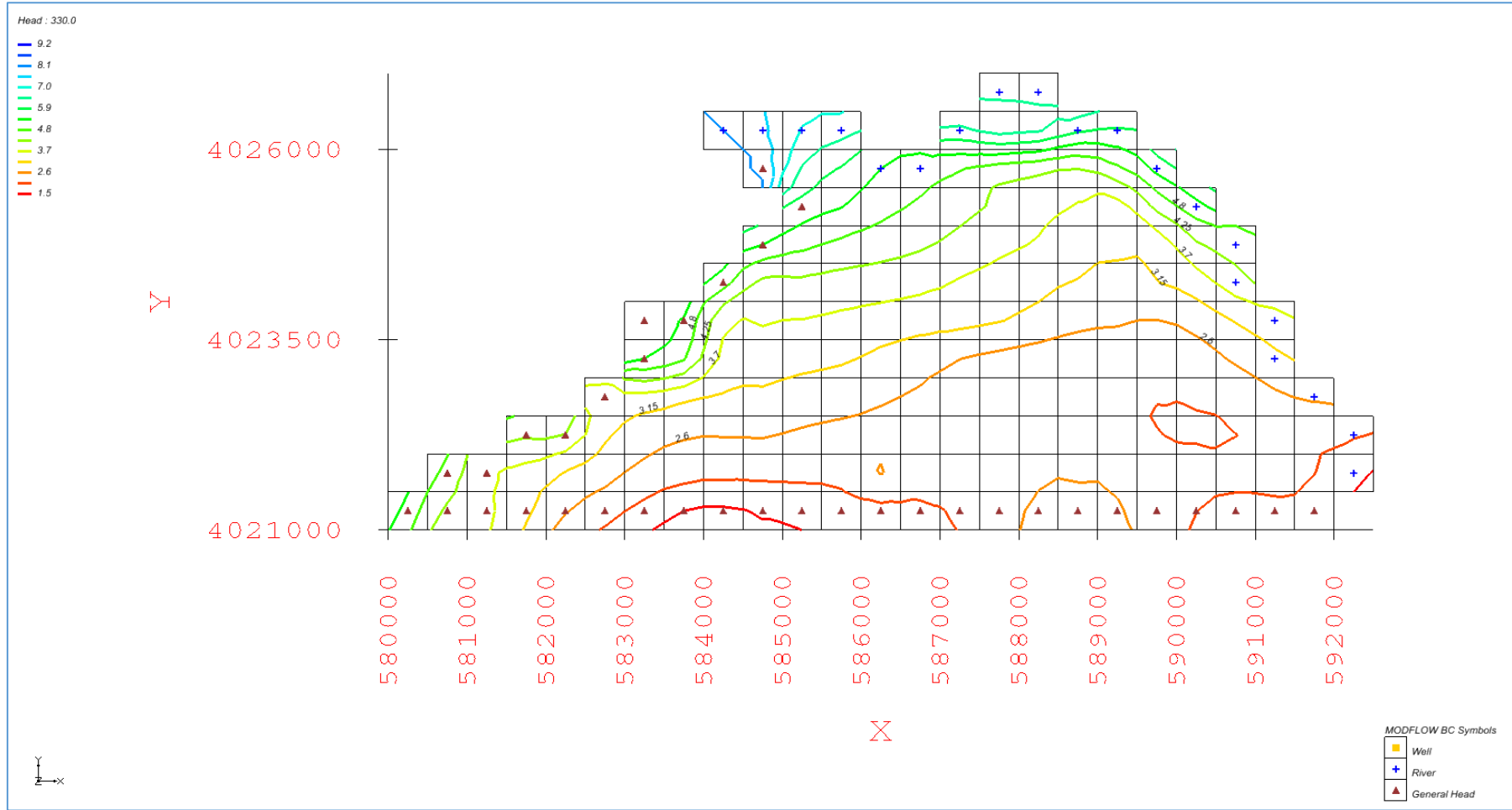
Aylar	Pompaj (m <sup>3</sup> /gün)
Ocak	0,50
Şubat	0,50
Mart	0,50
Nisan	0,50
Mayıs	0,15
Haziran	44,90
Temmuz	308,90
Ağustos	301,60
Eylül	264,00
Ekim	31,20
Kasım	163,20
Aralık	0,50



Şekil 9.13 Model alanında pompaj öncesi (Nisan) döneme ait yeraltısu seviye dağılım haritası



Şekil 9.14 Model alanında pompaj yapılan (Ağustos) döneme ait yeraltısu seviye dağılım haritası



Şekil 9.15 Model alanında pompaj sonrası (Kasım) döneme ait yeraltısuyu seviye dağılım haritası

## 10. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR

Göksu deltadasında yeraltısuyu ve arazi kullanım alışkanlıkları belirlenmiş ve bölgede yoğun şekilde yürütülen tarımsal faaliyetlerde yeraltısularından oldukça fazla faydalandığı anlaşılmıştır. Bölgede yeraltısuyu sisteminin aydınlatılabilmesi için delta ve dolayında jeolojik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Deltanın yeraltı jeolojisine ilişkin yeterli verinin bulunmamasından dolayı sondaj çalışmalarına ihtiyaç duyulmuş, arazi gözlemleri, sondaj çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları ile Göksu Deltası sağ yakası yeraltısuyu sistemi için kavramsal hidrojeolojik model geliştirilmiştir. Buna göre delta kuzeybatı sınırından yamaç molozları ile başlamakta, güneye doğru çakıllı ve kumlu seviyeler görülmektedir. Yaklaşık 3 m ve alt kotlarda killi, siltli seviyelerin yüzeylendiği anlaşılmaktadır. Yüzeydeki killi seviyeler güneye doğru kalınlaşarak yaklaşık -50 m kotu civarına kadar devam etmektedir. Bu killer, yanal olarak, Göksu Nehri'nden uzaklaştıkça iri çakıldan ince çakıla ve kumlu çakıla doğru geçiş yapmaktadır. Bu birimler basınçlı akifer seviyeleri oluşturmaktadır. Kalın kil tabakasının geçilmesiyle deltanın tabanına kadar önce çakıl, daha sonra çakıltaşı seviyeleri kesilmekte olup bu seviyelerin kalınlığı 20 m'yi bulmayan kil bantlarınca kesintiye uğratılmaktadır. Bu çakıl ve çakıltaşı seviyelerinde oluşan basınçlı akiferden yüksek verimli su almak mümkün olmaktadır. Buna göre deltanın kireçtaşları ile sınırından itibaren güneydoğuya doğru, Gülümpaşalı ve Çeltikçi Köyleri'nin güneyinden geçen yaklaşık 2-2,5 km genişliğe sahip hat boyunca serbest akifer koşulları hakimdir. Yaklaşık 3 m kotuna tekabül eden bu hattın güneyinde ise giderek kalınlaşan kil seviyelerinin geçirimsiz tavan özelliği taşıdığı basınçlı akifer seviyeleri gelişmiştir. En fazla 250 m kalınlığa kadar ulaşan Göksu Deltası alüvyonu kuzeyden Silifke Formasyonu, batıdan ise Taşucu Formasyonu ile sınırlanmıştır.

Göksu Deltası alüvyonunun killi seviyelerinin hidrolik iletkenliği  $2,85 \times 10^{-8}$  m/s ile  $9,01 \times 10^{-10}$  m/s, kumlu ve çakıllı seviyeler için ise  $1,63 \times 10^{-4}$  m/s ile  $1,07 \times 10^{-6}$  m/s arasında değiştiği saptanmıştır. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarında kesilen ince taneli malzemeler genel olarak düşük plastisiteli killer olarak sınıflandırılmıştır.

Göksu Deltası sağ yakası yeraltısuyu sisteminin genel olarak deltayı sınırlayan kireçtaşlarından beslendiği ve güneybatı yönlü akışa sahip olduğu belirlenmiştir. Deltanın özellikle tarımsal üretim yapılan orta ve kuzey kesiminde sulama döneminde yoğun şekilde yeraltısuyu pompajı yapılmaktadır. Pompajlarla yeraltısuyu seviyelerinde 1,5 m'ye varan düşümler gözlenmiştir.

Kıyı akiferi yeraltısularının kuzeyden Ca-HCO<sub>3</sub> ile güneyden Na-Ca-HCO<sub>3</sub> karakterinde suların etkisinde olduğunu göstermektedir. Deltada sulama kanallarının inşaaı sonrası sulanan alanların artması ve yeraltısularına olan ihtiyacın azalmasıyla daha önce tuzlanmış olan yeraltısularının kuzey ve kuzeybatıdan gelen tatlı su tarafından yıkanmasına sebep olmaktadır. Deltanın merkezinde yoğunlaşan yeraltısuyu işletimi nedeniyle güneye doğru denizsuyu girişiminin halen söz konusu olması, deltanın orta kesiminde tatlı ve tuzlu suyun dokanak halinde olmasına, böylece bu bölgede iyon değişim süreçlerinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

İzotop analizleri kireçtaşı ve nispeten derin akiferlere ait yeraltısularının daha yüksek kotlara düşen yağışlardan beslendiğini göstermiştir. Bu durum alüvyon akiferin kireçtaşı akiferlerinden beslendiği sonucunu desteklemektedir.  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  oranlarının derin ve sığ akiferler için homojen bir dağılım göstermesi akifer seviyelerinin hidrolik olarak bağlantılı olduğunu göstermektedir. Yine su kimyası çalışmalarında, Br/Cl oranları ve NH<sub>3</sub> miktarları, deltada tarımsal arazi kullanımı nedeniyle zirai yeraltısuyu kirliliğinin meydana geldiğini göstermiştir. Bunun yanı sıra tez sahasının kuzey kesiminde SO<sub>4</sub>'ca zengin yeraltısularının, Göksu Nehri'nden itibaren evsel kirleticiler tarafından kirletildiği saptanmıştır. Bu durum deltanın bu kesiminde yeraltısularının Göksu Nehri tarafından beslendiğini göstermektedir.

Göksu Deltası sağ yakası kavramsal hidrojeolojik modeli ışığında yeraltısuyu akım modeli oluşturulmuştur. Tez sahasında zamana bağlı uzun süreli yeraltısuyu gözlem verilerinin bulunmamasından dolayı kalibrasyon aşamasında sıkıntılar yaşanmış olsa da tez kapsamında elde edilen verilerle bu olumsuzluklar mümkün olduğunca aşılarak Göksu Deltası sağ yakası yeraltısuyu akım modeli oluşturulmuş ve Ocak 2012'ye ait hidrolik yük verileriyle model kararlı akım koşullarında kalibre edilmiştir. Elde edilen

sonuçlar Göksu Deltası sağ yakası akifer sisteminin başlıca deltayı çevreleyen kireçtaşlarından beslendiğini göstermektedir. Bununla birlikte deltanın kuzey kesimlerinde Göksu Nehri yeraltısularını beslemektedir. Deltada kararlı akım koşullarında yeraltısuyu boşalımı deltanın güneyine Akdeniz'e doğru gerçekleşmektedir.

Göksu Deltası kıyı akiferi sağ yakası yeraltısuyu akım modelinin kararlı akımlarda çalıştırılması ve kalibrasyonu sonucu elde edilen yeraltısuyu bütçesine göre deltayı sınırlayan kireçtaşlarından 3955,64 m<sup>3</sup>/gün su deltaya girerken güney sınırdan 6377,29 m<sup>3</sup>/gün su sistemi terk etmektedir. Ocak 2012 için gerçekleştirilen kalibrasyona göre Göksu Deltası kıyı akiferi sağ yakası yılın bu döneminde yağıştan günde 2516,25 m<sup>3</sup>'lk bir miktarla beslenmektedir. Deltanın st kotlarında Göksu Deltası kıyı akiferi 1144,42 m<sup>3</sup>/gün'lük bir miktar su Göksu Nehri'nden akifere boşalmaktadır. Daha alt kotlarda ise 598,05 m<sup>3</sup>/gün su akiferden akarsuya boşalmaktadır.

Tez alışması kapsamında bir su yılı boyunca elde edilen veriler işığında yeraltısuyu akım modeli zamana bağlı olarak çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar işığında Göksu Deltası sağ yakası yeraltısuyu sisteminin tarımsal sulama amaçlı olarak yapılan pompaja son derece duyarlı olduğu saptanmıştır. Pompaj süresince yeraltısuyu seviyesinin özellikle tez sahasının güneybatı kesiminde önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Bu durum deltada yeraltısuyu işletiminin kontrol altına alınması ve mümkünse azaltılması gerektiğini göstermektedir. Aksi takdirde deltada doğal hayatın ve sosyoekonomik yapının olumsuz olarak etkilenmesi söz konusu olacaktır.

Deltada yeraltısuyu kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi için zirai ilaç ve gübre kullanımının denetlenmesi, Silifke İlçesi'nin atık sularının Göksu Nehri'ne karışmasının engellenmesi gerekmektedir.

Deltada yeraltısuyu miktarı ve kalitesinin korunması ve ileriye dönük sağlıklı su kaynakları yönetim planlarının hazırlanabilmesi için tez kapsamında hazırlanmış Göksu Deltası yeraltısuyu akım modeli kullanılarak zenginleştirilmif verilerle kütle taşınım modeli hazırlanması uygun olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Ahlfeld, D.P., Barlow, P. M. and Mulligan, A. E., 2005. GWM-A Ground-Water Management Process for the U.S. Geological Survey modular ground-water model (MODFLOW-2000). USGS Open-File Report 2005-1072. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey.
- Akarsu,İ., 1960. Mut Bölgesinin Jeolojisi: MTA Dergisi, No. 54, s. 36-45, Ankara.
- Aksoy, O., Sezginman, Y., Tuzcu, S., Yazlak, Ö. ve Yurtsever, A.,1978. Ermenek ve Yöresinin Miyosen stratigrafisi : MTA Jeoloji Dairesi, Derleme Rap. No. 71, Ankara.
- Blaney, H. F. and Criddle, W. D., 1965. Determining consumptive use and irrigation water requirements. U. S. Dept. Agr. Agricultural Research Service Tech Bull 1275, 59.
- Blumenthal, M., 1938. Die orographische Gliederung des Taurus No. 2. M. T. A. Rap. No, 795
- Brennich,G.,1970. Mersinin kuzeyindeki bölgenin jeolojisi hakkında notlar. MTA Raporu.
- Çakmak, S., 2010. Afyonkarahisar Şuhut Ovası'nın Yeraltısuyu Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- ÇŞBÖÇKK, 2009. Göksu Deltası Özel Çevre Koruma Bölgesi Su Kaynakları Yönetimi Projesi, Çevre Şehircilik Bakanlığı Özel Çevre Koruma Kurumu Başkanlığı, Ankara, 164 p.
- Çobaner, M., 2009. Kıyı akiferlerinde tuzlu su girişiminin üç boyutlu simülasyonu: Göksu Deltası örneği. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Demirtaşlı, E., 1980. Correlation of Paleozoic Stratigraphy of Turkey, İnan and Pakistan. In: Stratigraphy correlation of Turkey, İnan and Pakistan, Vol 1, (Eds. by S.M.İ Shan and A.M. Quennell), Oyerseas Devolepment Administration, London.
- DHKD (1992). Towards integrated management in the Göksu Delta, a Protected Special Area in Turkey, feasibility report. September 1992. DHKD, Istanbul.
- Dinçel, B., 1955. Mut baseni hakkında bazı Jeolojik notlar ve petrol imkanları : MTA Derleme Rap. No. 2446, Ankara.
- Domenico, P. A. and Mufflin, M. D. 1965. Water from low-permeability sediments and land subsidence. Water Rsources Research, 9, 3.



- DSİ, 1976. Silifke, Akgöl ve Paradeniz Dalyanı ve denize çıkış yapısı. Yayın No: Hİ-602, Ankara.
- DSİ, 1992. Drenaj pompa istasyon yerleri ve sulama kanal güzergahları kesin proje aşaması mühendislik jeolojisi raporu. Adana.
- DSİ, 1997. Göksu Deltası Hidrojeolojik Etüt Ara Raporu, Ankara, 35 s.
- Ersoy (Fırat), A., 2007. Gümüşhacıköy (Amasya) Akiferi'nin Yeraltısuyu Akım Modeli. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Doktora Tezi, 182s.
- Feseker, T. 2007. Numerical studies on saltwater intrusion in a coastal aquifer in northwestern Germany, Hydrogeol. J., 15, 267–279.
- Gangopadhyay, S. and Gupta, D., A., 1995. Simulation of salt-water encroachment in a multi-layer groundwater system, Bangkok, Thailand. Hydrogeology Journal, 3(4): 74-88.
- Gedik, A., Birgili, Ş., Yılmaz, H. ve Yoldaş, R., 1979. Mut-Ermenek-Silifke yöresinin jeolojisi ve petrol olanakları, TJK Dergisi, 22, 7-26.
- Gedik, A., Birgili, Ş. ve Yılmaz, H., 1982. Mut-Silifke-Ermenek havzasının jeolojisi ve petrol olanakları. MTA Raporu. No.7253.
- Gökdeniz, S., 1982. Batı Toroslarda Karaman-Ermenek arasındaki Tektonik Birimler ve "Ofiyolitli Melanj" sorunu: Türkiye Jeoloji Kurultayı bildiri özetleri s. 73, Ankara.
- Gökten, E., 1976. Silifke yöresinin Temel Kaya Birimleri ve Miyosen Stratigrafisi: Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, c.19, s.117-126, Ankara.
- Gördü, F., Yurtal, R. and Motz, L. H., 2001. Optimization of Groundwater Use in the Goksu Delta at Silifke, Turkey. First International Conference on Saltwater Intrusion and Coastal Aquifers-Monitoring, Modeling, and Management, 1-10.
- Haar, B.L.H. and Heunks, E., 1992. Use it or loose it; A hydrological inventarisation of the Göksu Delta, Turkey. Interfaculty of Environmental Studies, State University of Utrecht, the Netherlands.
- Harbaugh, A.W. and McDonald, M.G., 1996a. User's documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference groundwater flow model: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-485, 56 p.
- Harbaugh, A.W. and McDonald, M.G., 1996b. Programmer's documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-486, 220 p.

- Harbaugh, A.W., Banta, E.R., Hill, M.C. and McDonald, M.G. 2000. MODFLOW-2000, the U.S. Geological Survey modular ground-water model -- the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey, Reston, VA, variously p.
- Harbaugh, A.W., 2005. MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey modular ground-water model—the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6- A16, variously p.
- Hazen, A. 1892. Some physical properties of sands and gravels. Massachusetts State Board of Health, Annual Report, 539-556.
- Hill, M.C., Banta, E.R., Harbaugh, A.W. and Anderman, E.R., 2000. MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model - User Guide to the Observation, Sensitivity and Parameter-Estimation Processes and Three Post-Processing Programs. U.S. Geological Survey Open File Report 00-184.
- Hvorslev, M.J., 1951, Time lag and soil permeability in ground-water observations: U.S. Waterways Experimental Station, U.S. Army Corps of Engineers, Vicksburg, Ms., 49 p.
- Johnson, A.I., 1967. Specific yield-compilation of specific yields for various materials. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1662-D. 74 p.
- Jusseret, S., Tam, V.T. and Dassargues, A., 2009. Groundwater flow modelling in the central zone of Hanoi, Vietnam. Hydrogeology Journal, 4, 17, 915-934.
- Karakoç, A., 2011. Göksu Deltası'nda (Silifke-Mersin) Meydana Gelen Dağışımın Uzaktan Algılama Teknikleri ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Keçer, M., 2001. Göksu deltasının (Mersin) jeomorfolojik evrimi ve güncel akarsu-deniz-rüzgar süreçlerinin kıyı çizgisinde yaptığı değişiklikler. MTA rap.No., 10468.
- Keçer, M. ve Duman T. Y., 2007. Yapay etkinliklerin Göksu Deltası gelişimine etkisi, Mersin-Türkiye. MTA Dergisi, 134, 17-26.
- Keçer, M., ve Duman, T.Y., 2007. Yapay etkinliklerin Göksu deltası gelişimine etkisi, Mersin-Türkiye. MTA Dergisi, 134, 17-26, 2007.
- Koç, Ö., 2007. Göksu Deltası'nın (Silifke-Mersin) Jeolojik Gelişimi, Mersin Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 99p.
- Kolankaya, D., Barlas, N., ve Ayaş, Z, 1993. Göksu Deltası'nda bazı çevre kirleticilerin saptanması ve biyoindeksör su kuşlarındaki etkilerinin araştırılması. TÜBİTAK-DEBAG-26 No'lu proje.

- Korkmaz, S., ve Gedik, A., 1990, Mut-Ermenek-Silifke (Konya-Mersin.) havzasında ana kaya fasiyesi ve petrol oluşumunun organik jeokimyasal yöntemlerle incelenmesi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 33, 29-37.
- Kuiper, L. K., 1987, Computer program for solving ground-water flow equations by the preconditioned conjugate gradient method: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 87-4091, 34 p.
- Leake, S.A., and Prudic, D.E., 1991, Documentation of a computer program to simulate aquifer-system compaction using the modular finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey Techniques of WaterResources Investigations, book 6, chap. A2, 68 p.
- Manley, R. E. 1997. Hydrological Study Göksu Delta, Integrating Development and Conservation in the Göksu Delta, Hydrology Mission Report. Water Resource Associates Ltd.
- Mauchamp, A and Chauvelon, P., 1998. Towards integrated management in the Göksu Delta. An assesment of the present condition of the Akgöl lagoon hydrology and vegetation, propositions for its conservation. Doğal Hayatı Koruma Derneği.
- McDonald, Michael G. and Harbaugh, Arlen W., 1984. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey OpenFile Report 83-875, 528 p.
- McDonald, M.G. and A.W. Harbaugh, 1988. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model, Techniques of Water-Resources Investigations, Book 6, Chapter A1, U.S. Geological Survey, Denver, Colorado.
- Menengiç, M., 1998. Göksu Deltası Yeraltısuyu Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 77 s.
- Motz, L. H., Yurtal, R., Gördü, F. and Doğan, A., 2006. Optimization of groundwater use subject to saltwater intrusion along the Mediterranean coast of Turkey. Environment, Athmosphere, Earthand Marine Sciences Research Grant.
- Nortz, P.E., Blair E.S., Ward A., and White D., 1994. Interactions between an alluvial aquifer well field and the Scioto River, Ohio. Hydrogeology Journal 2: 23–24.
- Olgun, A (2012). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Yöntemiyle Göksu Deltası Kıyı Çizgisi Değişiminin İzlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ökten Ş. and Yazıcıgil H., 2005. Investigation of Safe and Sustainable Yields for the Sandy Complex Aquifer System in the Ergene River Basin, Thrace Region, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 14: 209–226

- Özer, O., 2008. Göksu Deltası'nda Su Kalitesinin Belirlenmesi ve Su Kalitesi Coğrafi Bilgi Sisteminin Kurulması, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Özpinar, Z. 2007. Göksu Deltası'nda Su Kalitesinin Fotometrik Yöntemlerle Belirlenmesi. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği ABD. Yüksek Lisans Tezi, Mersin.
- Özyurt, G., 2007. "Vulnerability of Coastal Areas to Sea Level Rise: A Case Study on Göksu Delta" Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ İnşaat Mühendisliği, Ankara.
- Prudic, D.E., 1989. Documentation of a computer program to simulate stream-aquifer relations using a modular, finite-difference, ground-water flow model: U.S. Geological Survey Open-File Report 88-729, 113 p.
- Qahman K., and Larabi A., 2006. Evaluation and Numerical Modeling of Seawater Intrusion in the Gaza Aquifer (Palestine). *Hydrogeology Journal* 14: 713–728.
- Rodriguez, J.A.P., Kargel, J., Crown, D.A., Bleamaster, L.F., Tanaka, K.L., Baker, V., Miyamoto, H., Dohm, J.M., Sasaki, Sho, and Komatsu, G., 2006. Headward growth of chasmata by volatile outbursts, collapse, and drainage: Evidence from Ganges Chaos, Mars: *Geophysical Research Letters*, v. 33, p. L18203, doi: 10.1029/2006GL026275.
- Rojas, R. and Dassargues, A., 2007. Groundwater flow modelling of the regional aquifer of the Pampa del Tamarugal, northern Chile, *Hydrogeology Journal*, 15(3): 537- 551.
- Rowe, G., 1999. Surveying boron and naturally soft groundwater with a computer database. *Environ. Health* (Dec), 14– 18.
- Schmidt, G.C., 1961. Stratigraphic nomenclature for the Adana region petroleum district. VII: *Petroleum Administration Bulletin*, 6, 47-63.
- Seçkin, G., Yılmaz, T., Sarı, B. and Ersu, C. B., 2010. Groundwater hydrochemistry at the Mediterranean coastal plains-The case of Silifke, Turkey, *Desalination*, 253, 164-169.
- Sirel, B., 1988. Mersin-Silifke Kıyı Şeridi Turizm Gleşmelerinin Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü, Adana, 168 p.
- Soyaslan, İ., 2004, Eğirdir Gölü Doğusunun Hidrojeoloji İncelemesi ve Yeraltısuyu Modellemesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.

- Şafak, Ü., Kelling, G., Gökçen, N. and Gürbüz, K., 2005. The mid-Cenozoic succession and evolution of the Mut Basin, southern Turkey, and its regional significance. *Sedimentary Geology*, 173 (1-4), 121-150.
- Thornthwaite, C., W., 1948. An approach toward a rational classification of climate., *Geograph. Rev.* 38, 55-94.
- Trescott, Peter C., 1975. Documentation of finite-difference model for simulation of three-dimensional ground-water flow: U.S. Geological Survey Open File Report 75-438, 32 p.
- Trescott, P. C., and Larson, S. P., 1976. Documentation of finite-difference model for simulation of three-dimensional ground-water flow, supplement to Open-File Report 75-438: U.S. Geological Survey Open-File Report 76-591, 21 p.
- Trescott, P. C., Pinder, G. F., and Larson, S. P., 1976. Finite-difference model for aquifer simulation in two dimensions with results of numerical experiments: *Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey*, Book 7, Chap. C1, 116 p.
- Ünlüçömert Ö. B., 2003. Silifke–Göksu Deltası Tatlı Su–Tuzlu Su Girişiminin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin, 121 s.
- Yakirevich, A., Melloul, A., Sorek, S., Shaath, S., Borishov, V., 1998. Simulation of seawater intrusion into the Khan Yunis area of the Gaza Strip coastal aquifer. *Hydrogeology Journal* 6 (4), 549–559.
- Yağbasan, O. 2007. Modelling of Mogan and Eymir lakes aquifer system , Ph. D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Werner, A.D. and M.R. Gallagher. 2006. Characterisation of seawater intrusion in the Pioneer Valley, Australia using hydrochemistry and three-dimensional numerical modelling. *Hydrogeology Journal* 14, no. 8: 1452–1469.
- Ziegler, K.G.J. 1939. Montangeologische Untersuchungen im westlichen Taurus. Teil I: Übersicht der geologischen Wahrnehmungen im Gebiet des westlichen Taurus: Unveröff. MTA Rap., 953 (yayımlanmamış), Ankara
- Zume, J.T. and Tarhule, A. 2008. Simulating the impacts of groundwater pumping on stream–aquifer dynamics in semiarid northwestern Oklahoma, USA; *Hydrogeol. J.* 16 797–810.

## **EKLER**

EK 1 Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarına ait loglar

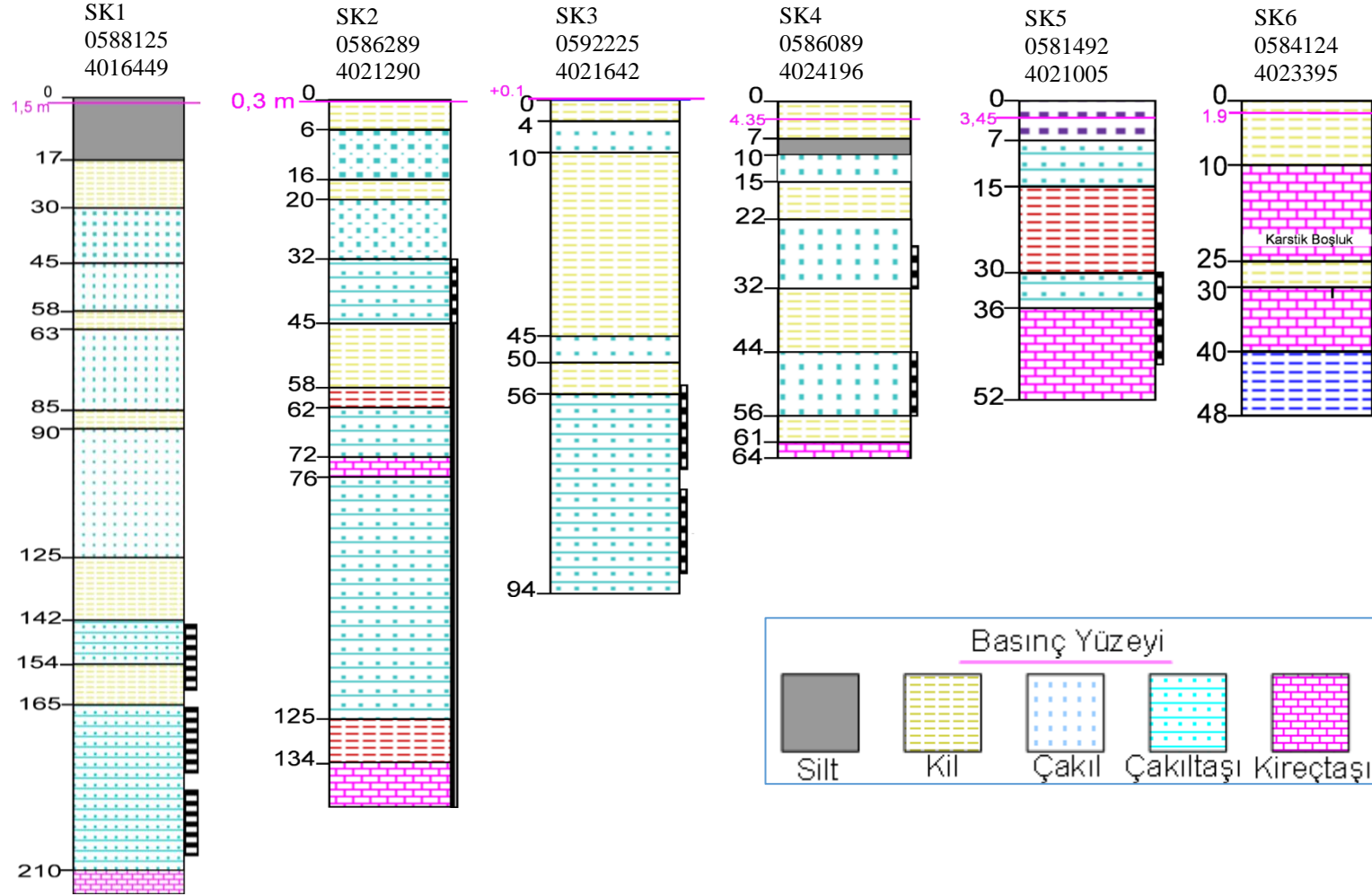
EK 2 İncelenen kuyulara ait konum ve seviye bilgileri

EK 3 Gerçekleştirilen hidrokimyasal ölçüm ve analiz sonuçları

EK 4 Taneboyu dağılım analizleri sonucunda elde edilen eklenik tane boyu dağılım eğrileri

EK 5. Göksu Deltası sağ yakası yeraltısuyu akım modeli kalibrasyonu sonucu elde edilen hidrolik iletkenlik değerlerinin farklı katmanlar için alansal dağılımı

**EK 6. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarına ait loglar**



## **EK 7. İncelenen kuyulara ait konum ve seviye bilgileri**



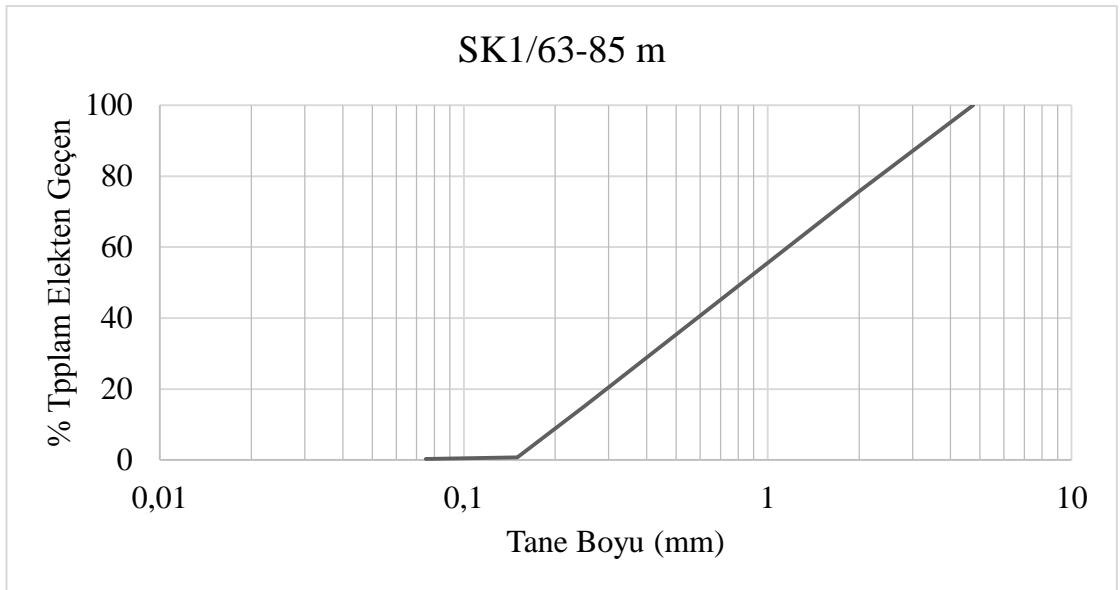
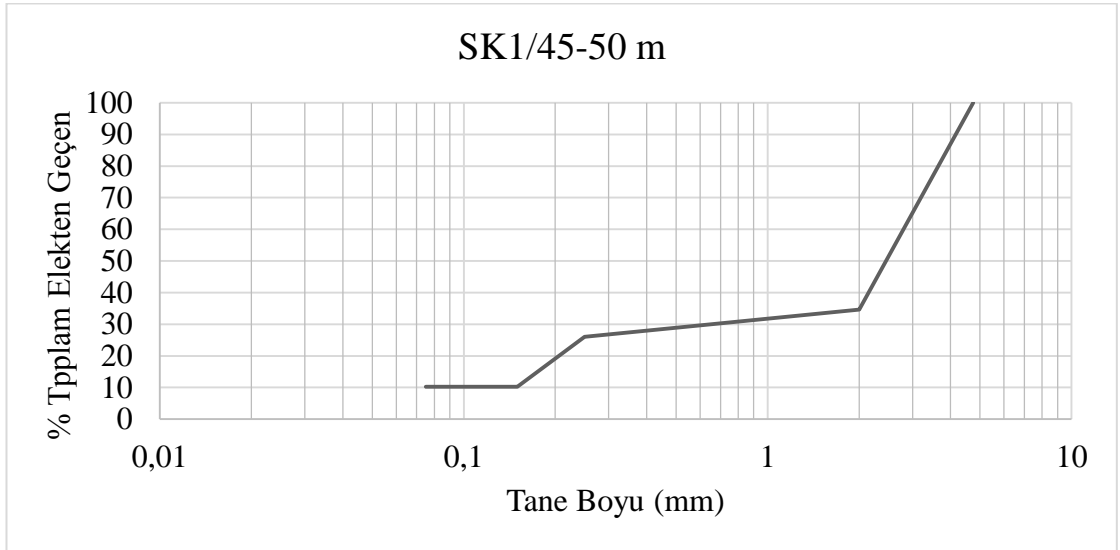
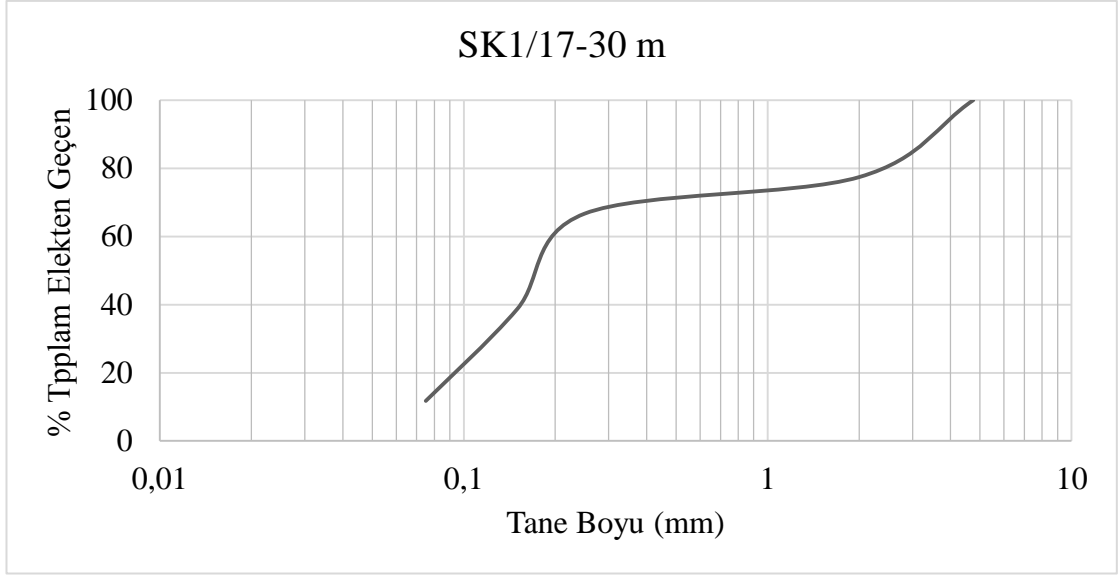
Kuyu Adı	Koordinat		Rakım (m)	Su Seviyesi (m)	Filtre Derinliği (m)
AK1	584800	4021905	2	0,6	51,0
SH1	585060	4022523	4	0,9	29,1
SH2	584703	4022514	6	1,0	28,3
MY1	584693	4024789	13	10,1	24,0
MST1	586301	4024485	5	SU YOK	2,0
MST3	586024	4023192	4	2,1	3,0
MST4	587733	4021997	3	1,5	2,7
MST5	587588	4021631	3	0,7	3,0
MST6	588867	4020743	2	0,4	40,0
MST9	589926	4018614	1	0,2	49,5
MST12	591262	4022158	3	24,0	42,0
MST14	590772	4023517	5	3,0	60,0
SH6	589191	4025100	5	3,3	6,0
SH7	589636	4025197	5	4,5	8,5
MST16	589295	4025092	5	4,0	26,5
SH9	587797	4024841	6	4,0	18,0
SH12	584010	4022146	3	1,2	26,0
HDR1	584636	4023865	5	1,4	1,9
HDR2	585172	4022206	2	0,5	1,0
SH13	585175	4022208	2	0,3	25,0
HDR3	584239	4020972	1	1,3	3,0
HDR4	585064	4021565	1	0,8	3,3
HDR5	586167	4021759	1	0,9	3,0
HDR6	586997	4021297	1	SU YOK	1,5
HDR7	587793	4023268	5	1,7	3,0
HDR8	586812	4023123	7	SU YOK	2,0
HDR9	585387	4023308	4	1,0	2,2
SH15	585205	4023160	4	2,0	20,0
HDR10	585869	4024881	7	SU YOK	3,7
SH16	587021	4025190	6	5,6	38,0
HDR13	588084	4025954	5	1,8	2,6
KHR4	584208	4022510	4	1,8	3,5
KHR5	584189	4023439	5	2,1	3,0
ET14	590226	4022104	0	0,1	14,0
ET13	584410	4021833	3	0,4	43,0
SH1	585060	4022523	1	0,3	32,0
ET9	583626	4023405	2	1,8	20,0
ET6	589313	4022406	2	0,1	30,0
ET5	589280	4022255	1	0,1	42,0

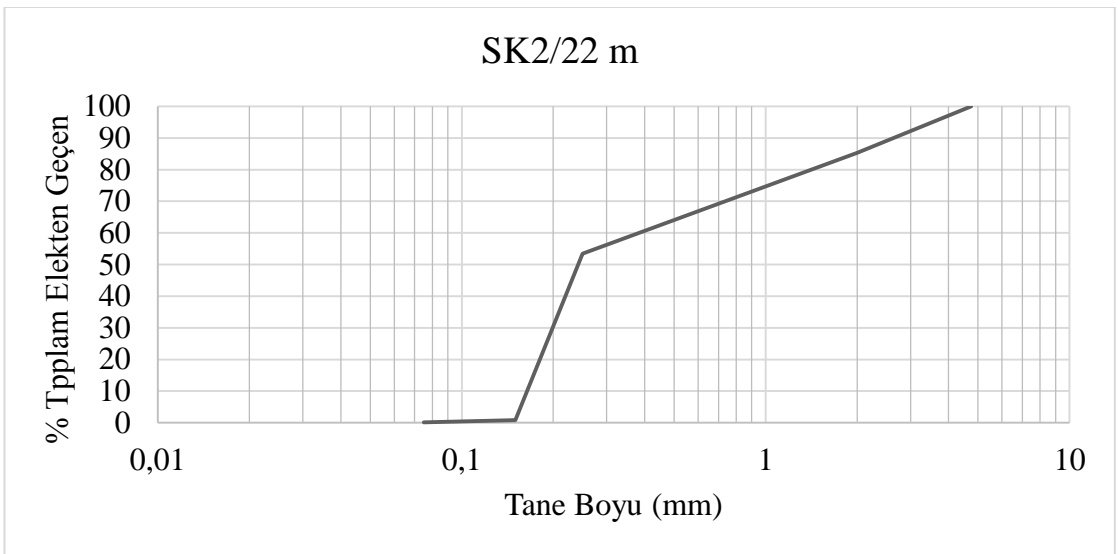
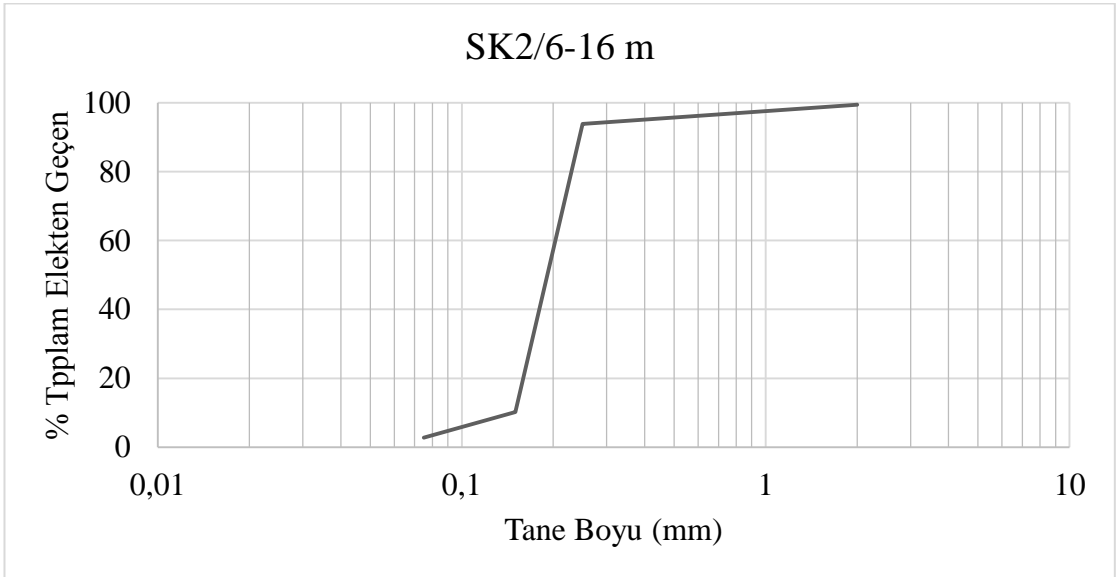
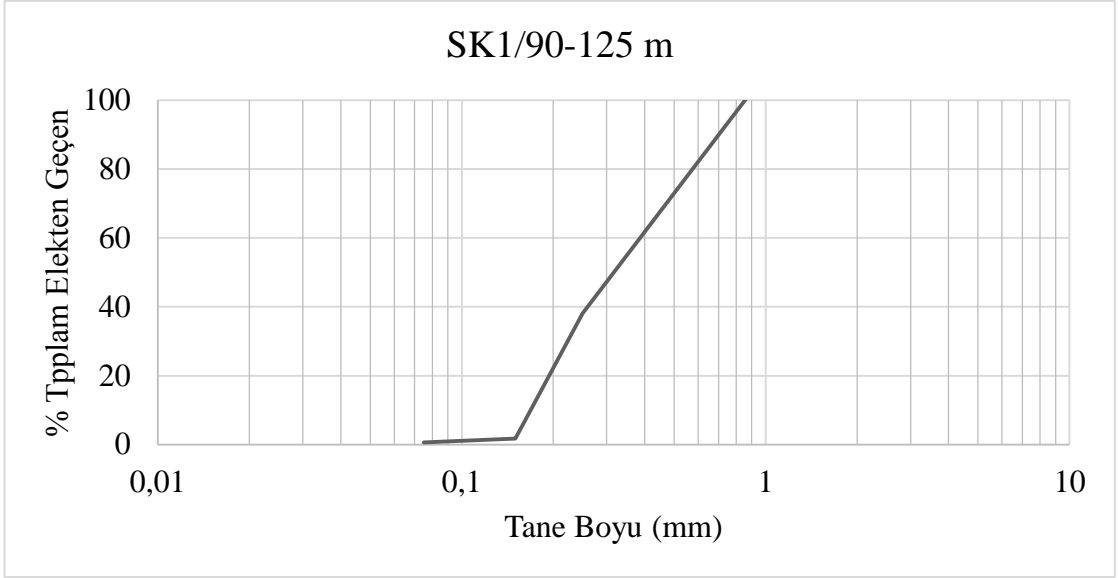
**EK 8. Gerçekleştirilen hidrokimyasal ölçüm ve analiz sonuçları**

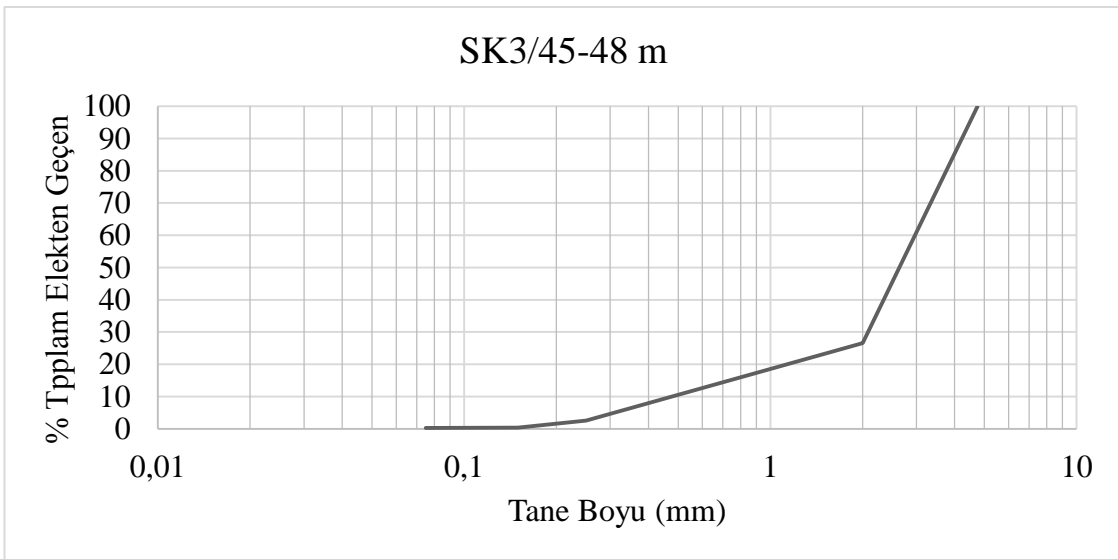
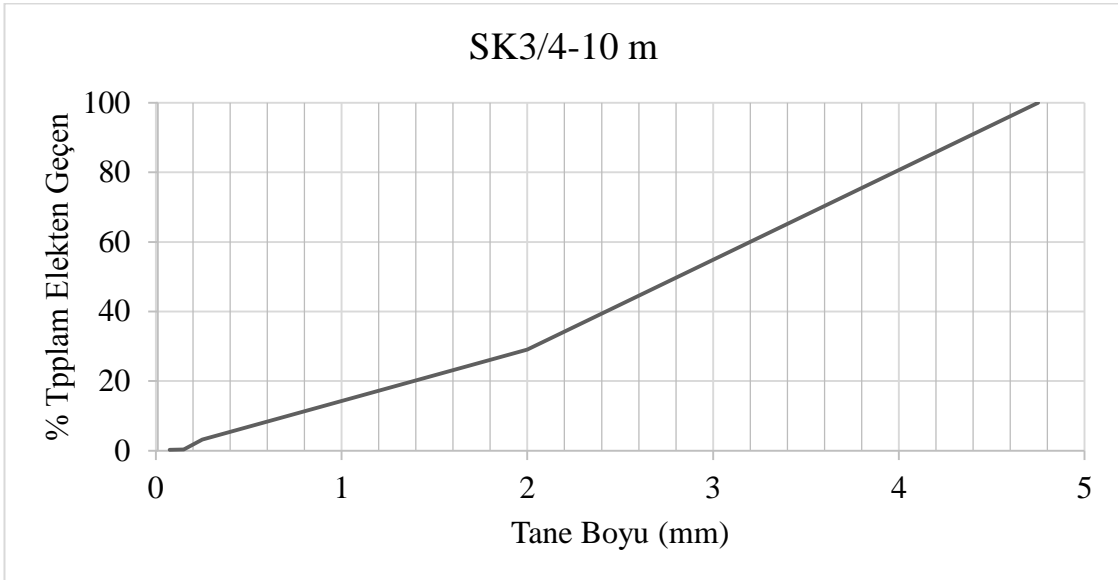
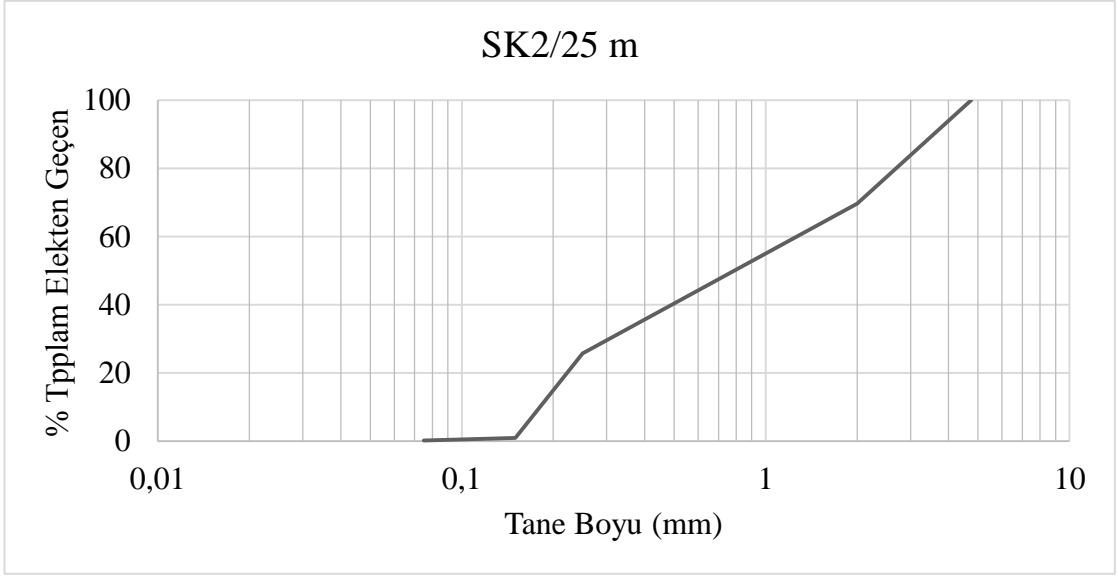
Kuyu Adı	Koordinat		pH	T (°C)	EC (µS/cm)
AK1	584800	4021905	8.375	21.7	597
HDR4	585064	4021565	7.351		763
HDR7	587793	4023268	7.445	25.6	558
HDR9	585387	4023308	8.003		893
HES1	590100	4022200	8.371		977
KHR2	583797	4021402	8.439		2490
MST14	590772	4023517	8.43		622
MST15	590153	4023992	8.068	22.3	433
MST16	589295	4025092	8.020	20.8	442
MST3	586024	4023192	7.406	28.2	474
MST5	587588	4021631	8.257	29.6	1823
MST6	588867	4020743	8.604	22.1	1090
MST9	589926	4018614	8.272	22.7	2890
MY1	584693	4024789	7.902		417
SH1	585060	4022523	7.681	20.4	518
SH11	583983	4022078	7.900	21.4	470
SH12	584010	4022146	7.842	21.4	480
SH13	585175	4022208	8.027		438
SH14	586812	4023124	8.032	22	430
SH15	585205	4023160	7.925	22.9	476
SH16	587021	4025190	7.854	23.5	663
SH17	587624	4021907	8.336		417
SH3	581865	4023879	7.297	22.9	558
SH4	581045	4020887	7.409	22.9	682
SH5	587584	4023447	7.703	22.7	555
SH9	587797	4024841	8.000	24.3	847

	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Br (mg/l)	NO3 (mg/l)	PO4 (mg/l)	Al (mg/l)	B (mg/l)	Li (mg/l)	Ni (mg/l)	P (mg/l)	Sr (mg/l)	$\delta D$	$\delta O^{18}$
AK1	22.5	32	378.2	124.85	8.57	177.82	2.74	0.85	1.08	10	0.89	0.09	0.05	0.20	0.12	0.67		
HDR4	48	160	549	120.65	49.26	74.57	4.01	0.06	0.22	3		0.09	0.03	0.16	0.11	2.13	0.8	0.12
HDR7	24	55	414.8	83.97	22.86	17.85	5.85	0.25	3.74	6	0.03		0.07	0.23	0.12	1.76	0.55	0.07
HDR9	28	33	500.2	19.11	20.96	125.67	3.48	0.06		5	0.03	0.79		0.16	0.11	1.18	0.59	0.07
HES1	170	31	341.6	17.96	18.94	144.71	16.53	0.05	0.9	8	0.05	0.12		0.23	0.32	0.38	0.57	0.08
KHR2	36	106	475.8	10.72	2.96	490.68	7.95	0.55	0.17	11	0.08	1.14		0.17	2.15	0.31	0.97	0.12
MST14	105	34	183	20.52	17.38	40.92	5.38	0.22	0.49	9	0.03		0.06	0.20	0.14	0.68	0.77	0.11
MST15	32	16	170.8	61.97	39.66	36.42	6.15	0.03	2.06	9	0.03			0.24	0.09	1.10	0.74	0.17
MST16	37	30	152.5	57.18	35.82	21.35	3.35	0.09	1.38		0.01		0.03	0.45	0.05	1.41	0.95	0.13
MST3	22	46	439.2	67.72	23.25	14.35	2.80	0.09	0.88	1	0.029		0.03	0.10	0.09	1.47	0.72	0.09
MST5	76	16	311.1	9.27	3.48	28.93	14.45	0		2	0.03	0.14	0.04	0.12	0.11	0.22	0.02	0.04
MST6	240	38	292.8	12.12	10.28	29.57	8.94	0.08	0.34	4	0.03	0.16		0.20	0.11	0.42	0.8	0.12
MST9	48	102	353.8	28.20	36.34	558.58	9.38	0.11	3.1		0.03	0.48	0.05	0.29	0.09	1.38	0.84	0.13
MY1	38	35	237.9	96.60	6.10	16.96	2.22							0.12	0.08	0.59	0.32	0.03
SH1	64	33	323.3	98.00	42.57	21.86	5.57	0.21	19.4					0.20	0.09	2.20	0.14	0.02
SH11	34	19	323.3	73.66	37.80	21.02	4.98	0.04	16.4	1	0.05			0.22	0.10	1.57		
SH12	36	35	274.5	81.31	39.62	19.86	5.25	0.18	19.5	5	0.01			0.31	0.05	1.64	0.34	0.05
SH13	25	15	176.9	78.17	34.46	22.40	4.18	0.07	11.6		0.07			0.24	0.10	1.67	0.22	0.04
SH14	22.5	53	353.8	83.81	38.31	16.33	2.73	0	0.08	2	0.03		0.03	0.26	0.10	1.71	0.21	0.04
SH15	38	31	390.4	116.47	43.71	22.96	7.13	0.03	23				0.04	0.18	0.10	2.33	0.92	0.11
SH16	20	42	317.2	279.72	85.29	27.19	3.18	4	3.5	4			0.06	0.33	0.09	3.41		
SH17	24	22	195.2	52.97	23.80	28.45	4.60		0.02		0.07			0.32	0.09	0.85	0.8	0.08
SH3	16	2	378.2	112.47	55.13	19.08	2.49	0.08	2.72	2			0.04	0.48	0.08	4.47	0.29	0.05
SH4	34	34	463.6	132.73	30.58	35.82	4.51	0.11	19.6				0.03	0.15	0.10	1.34		
SH5	16.5	35	366	91.08	56.42	20.95	2.43	0.12	1.56		0.03		0.04	0.19	0.09	2.73		
SH9	58	155	463.6	60.82	79.58	62.09	4.55		1.1		0.01	0.00	0.03	0.09	0.10	1.95	0.79	0.07

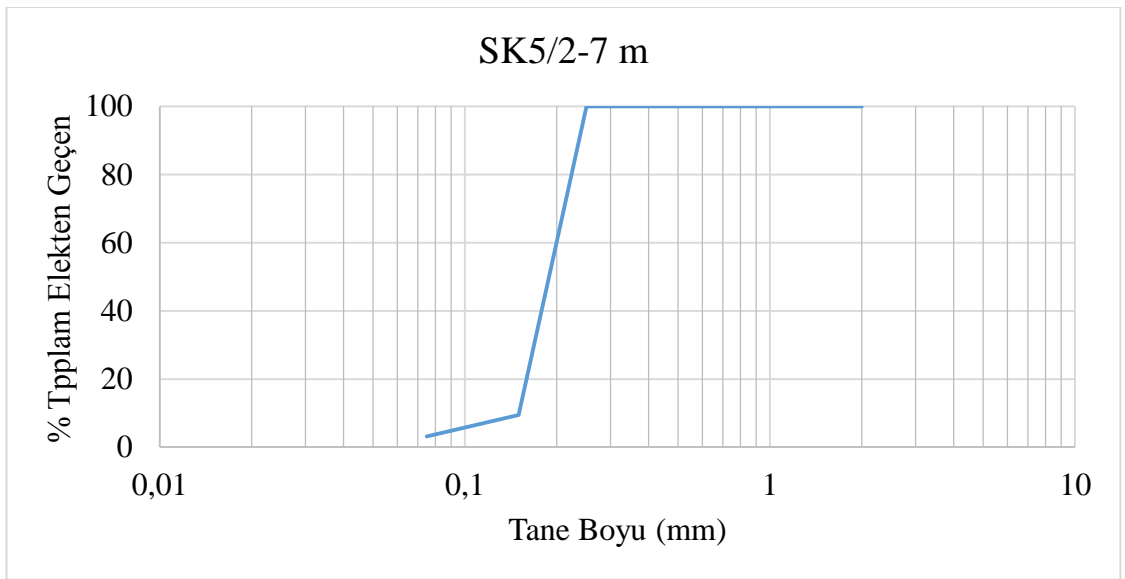
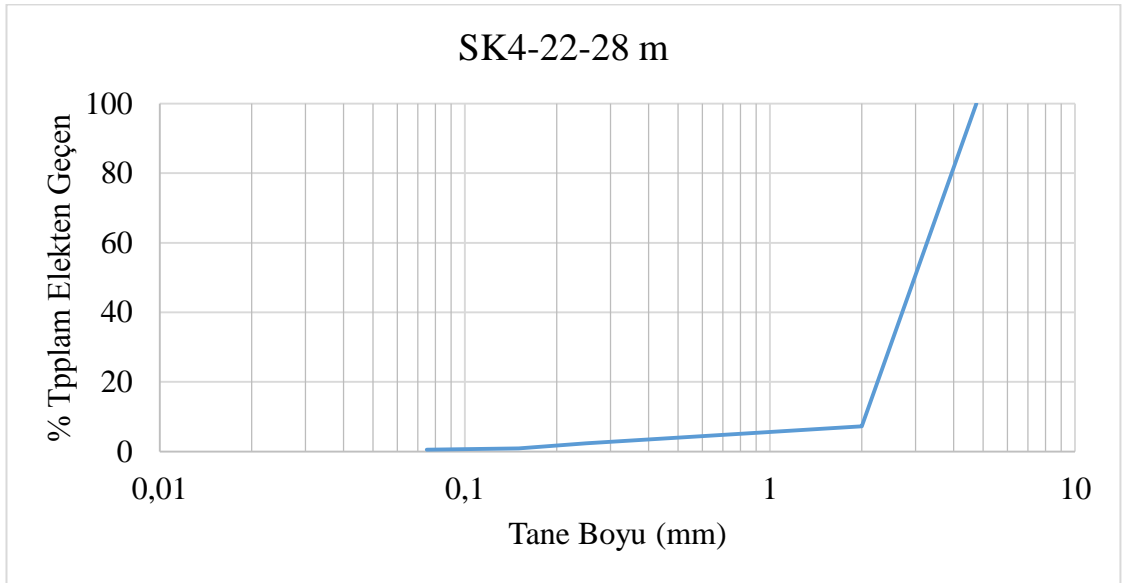
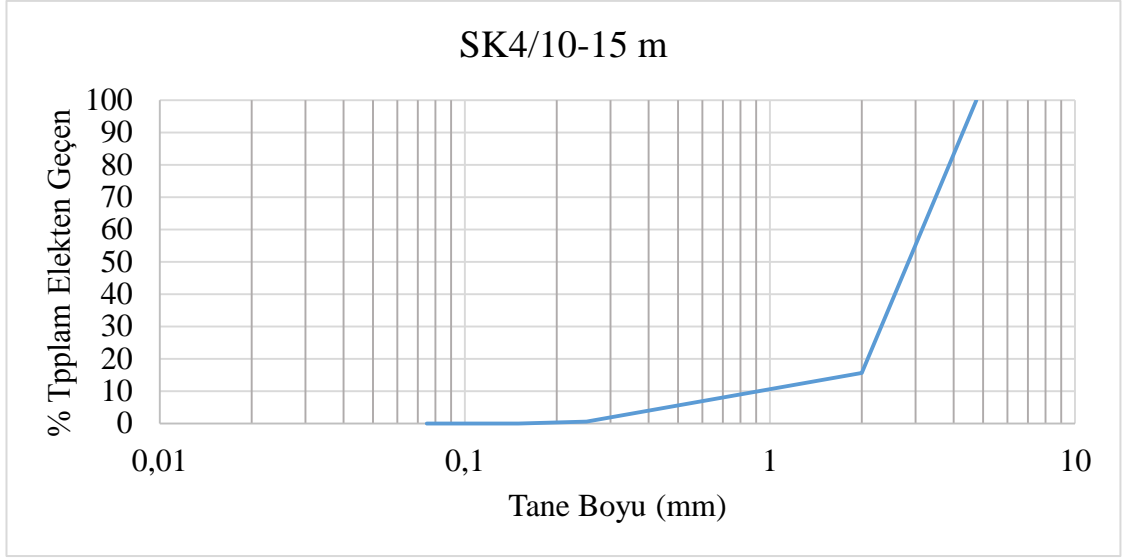
**EK 9. Taneboyu dağılım analizleri sonucunda elde edilen eklenik tane boyu dağılım eğrileri**





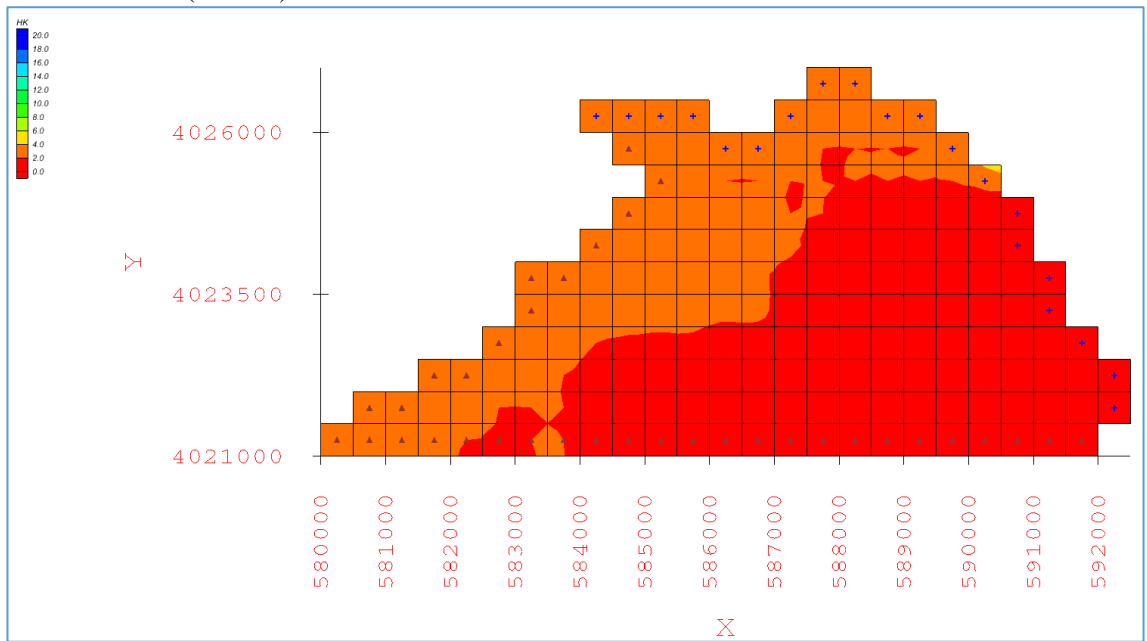




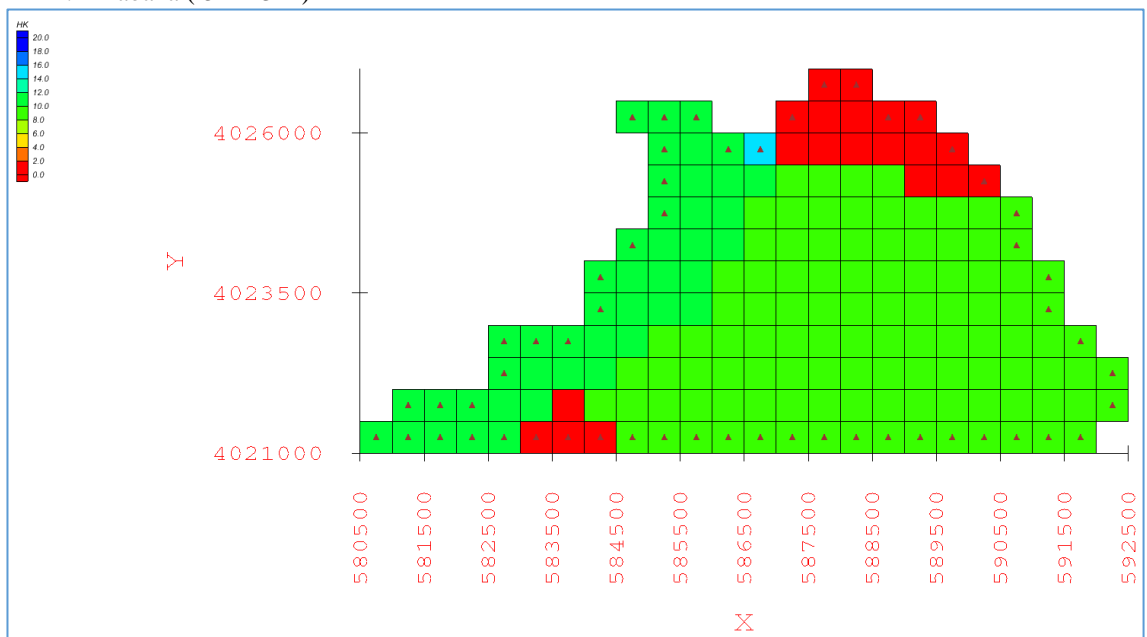


**EK 10. Göksu Deltası sağ yakası yeraltısuyu akım modeli kalibrasyonu sonucu elde edilen hidrolik iletkenlik değerlerinin farklı katmanlar için alansal dağılımı**

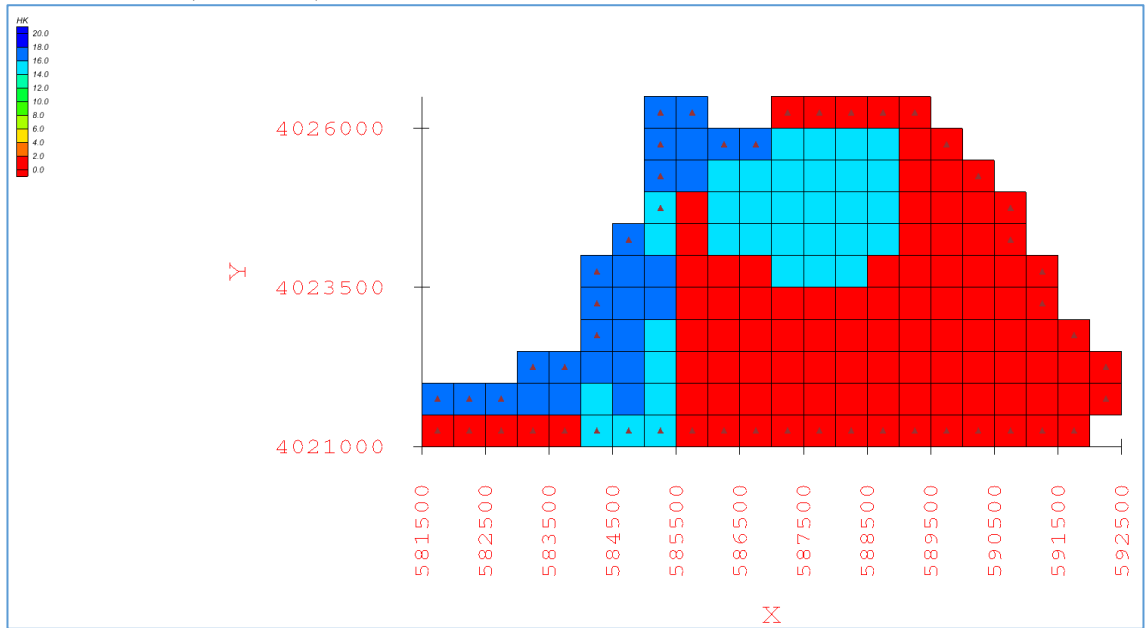
1. Tabaka (0 - -5 m)



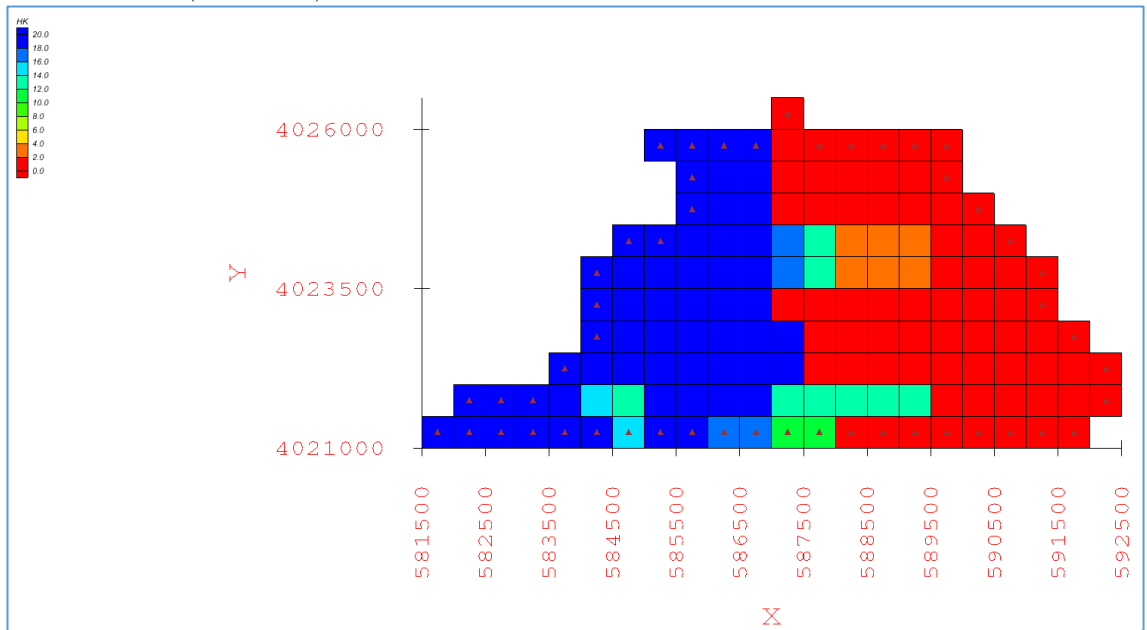
2. Tabaka (-5 - -13 m)



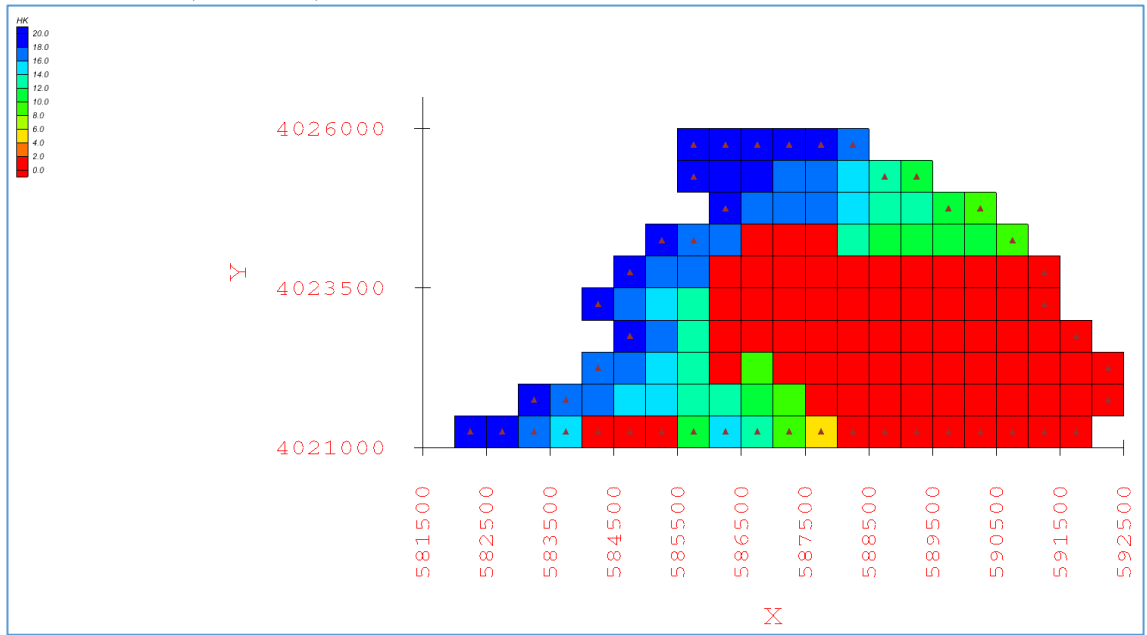
### 3. Tabaka (-13 - -19 m)



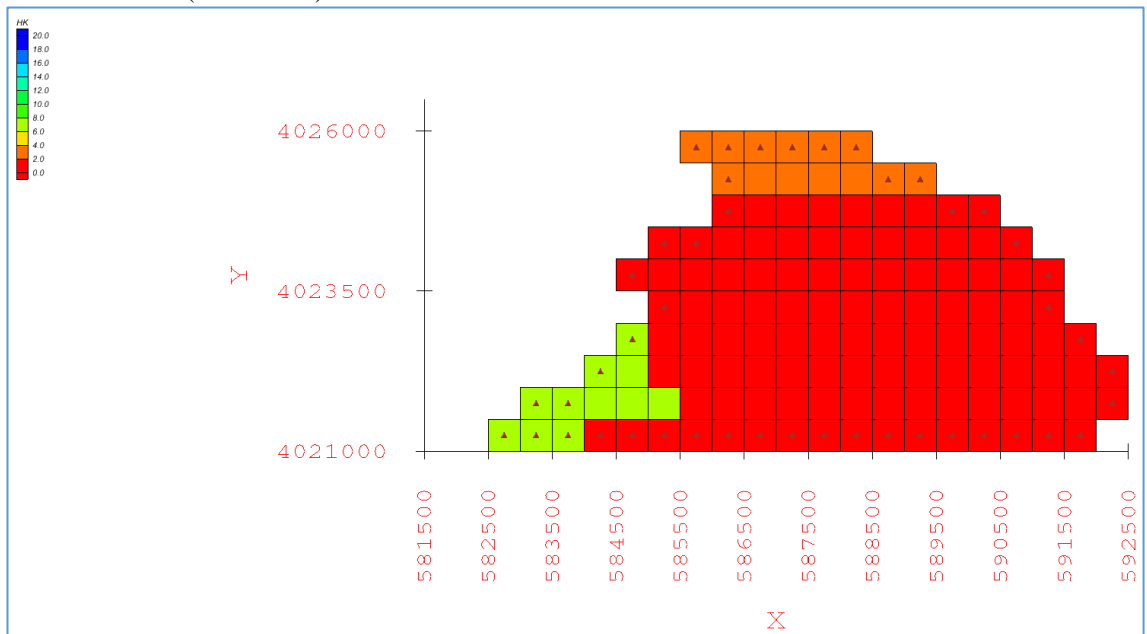
### 4. Tabaka (-19 - -30 m)



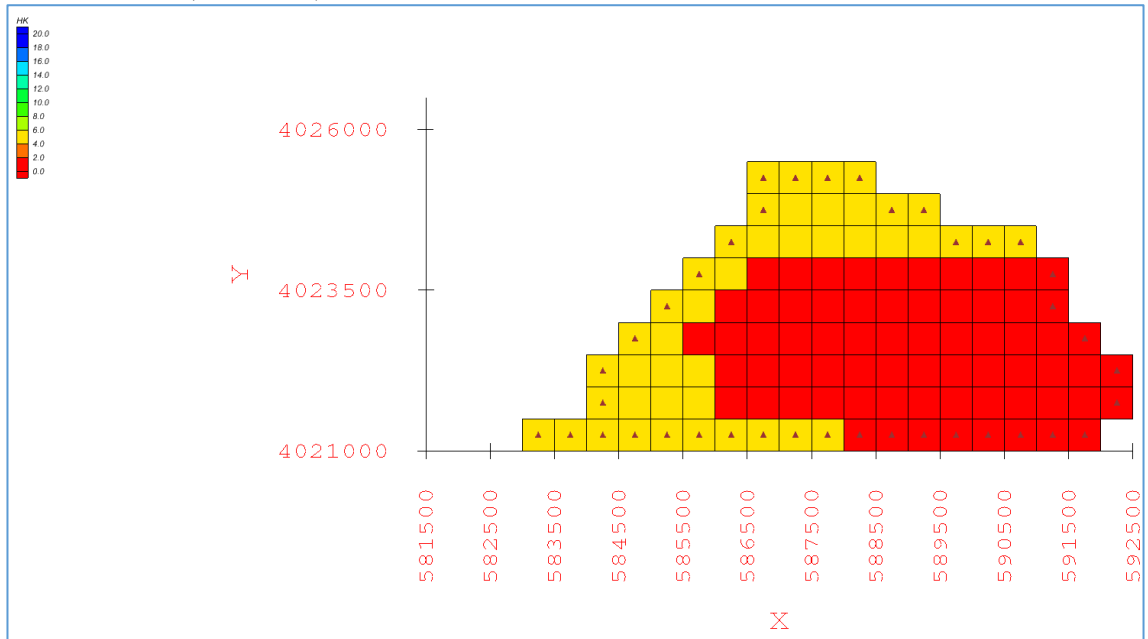
5. Tabaka (-30 - -40 m)



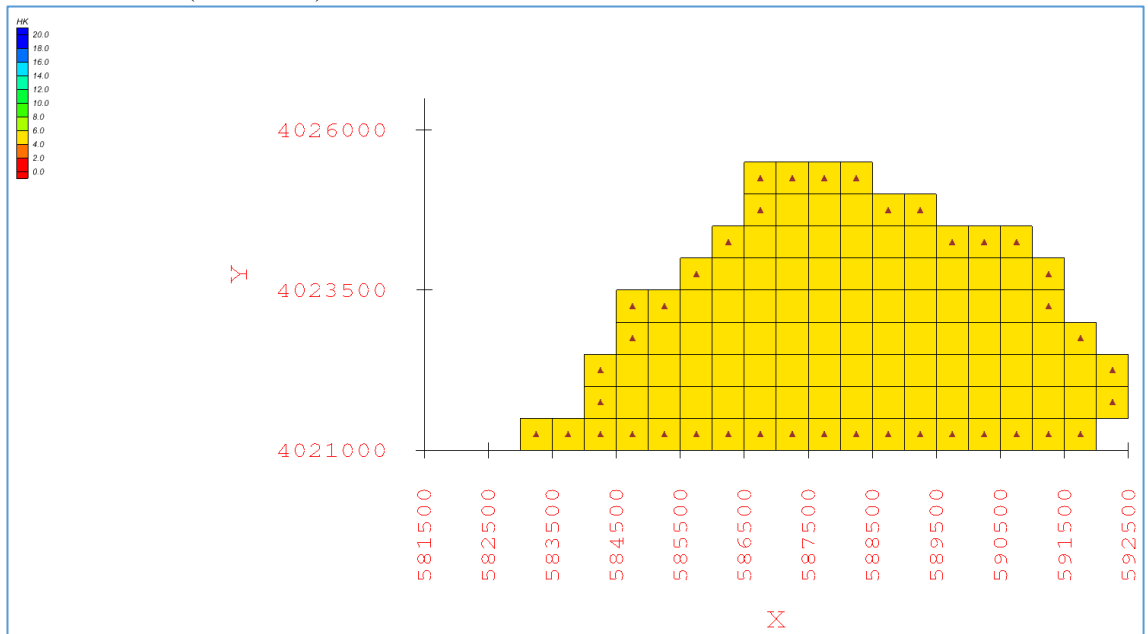
6. Tabaka (-40 - -51 m)



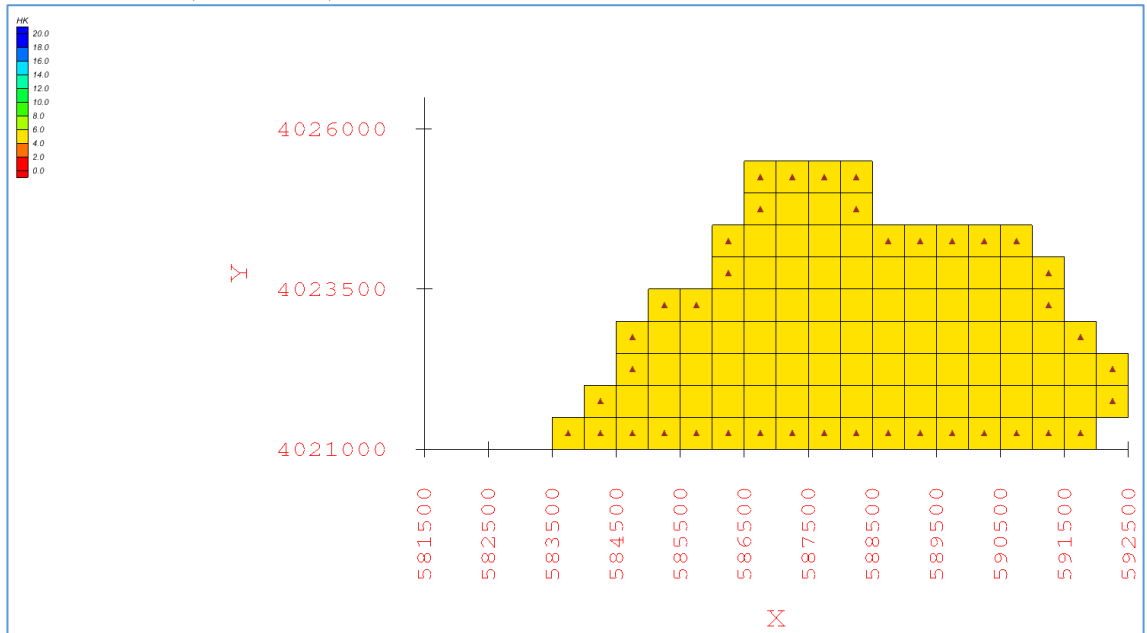
7. Tabaka (-51 - -57 m)



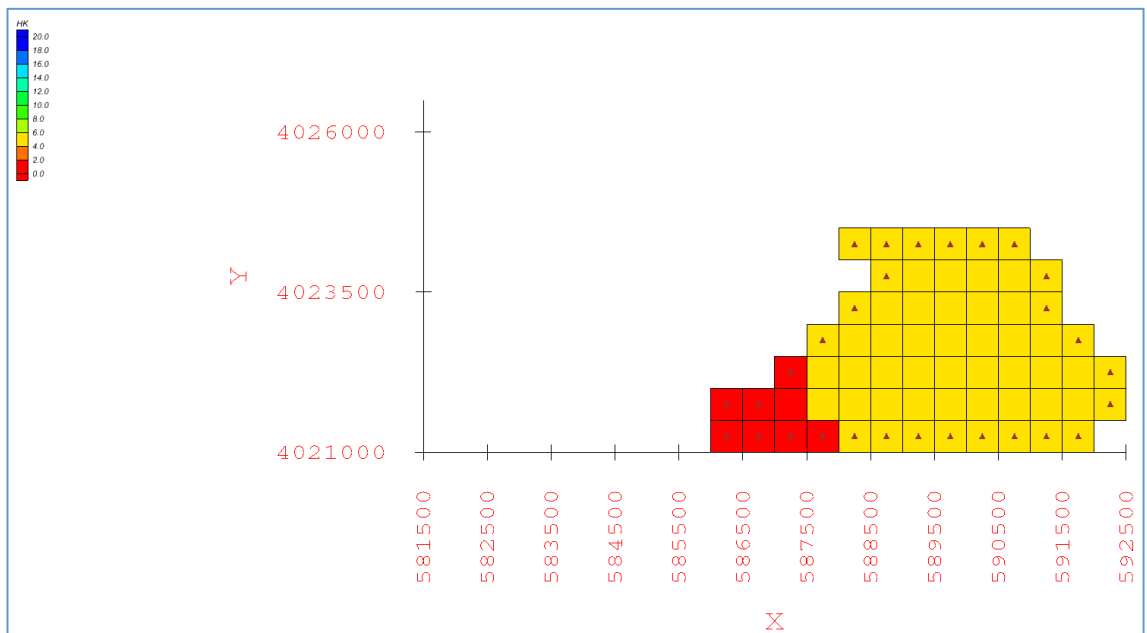
8. Tabaka (-57 - -61 m)



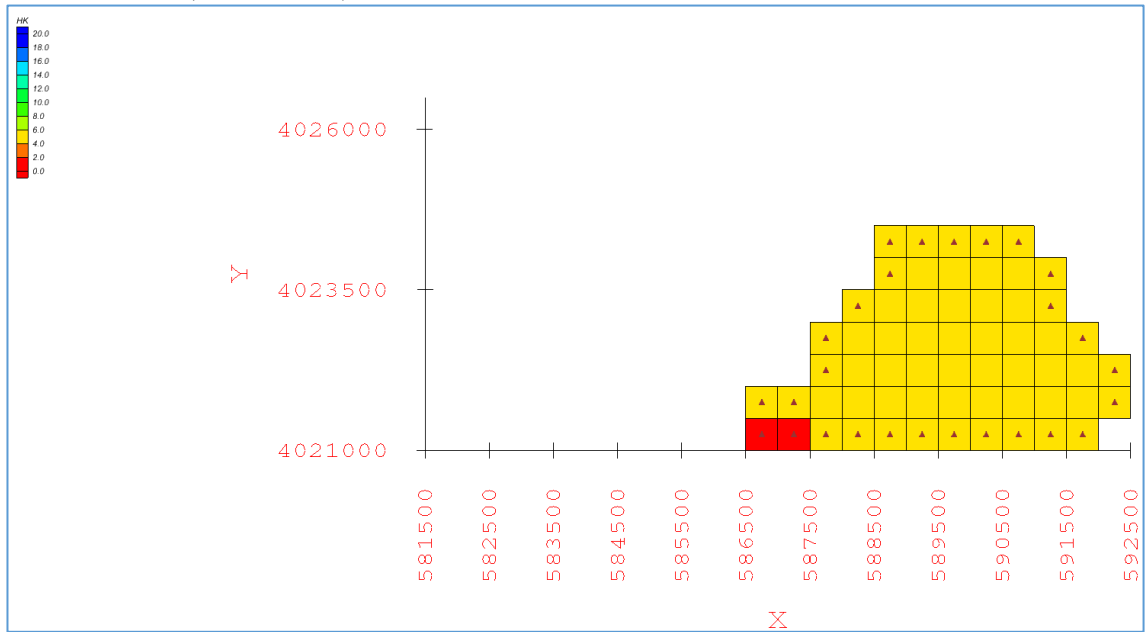
9. Tabaka (-61 - -125 m)



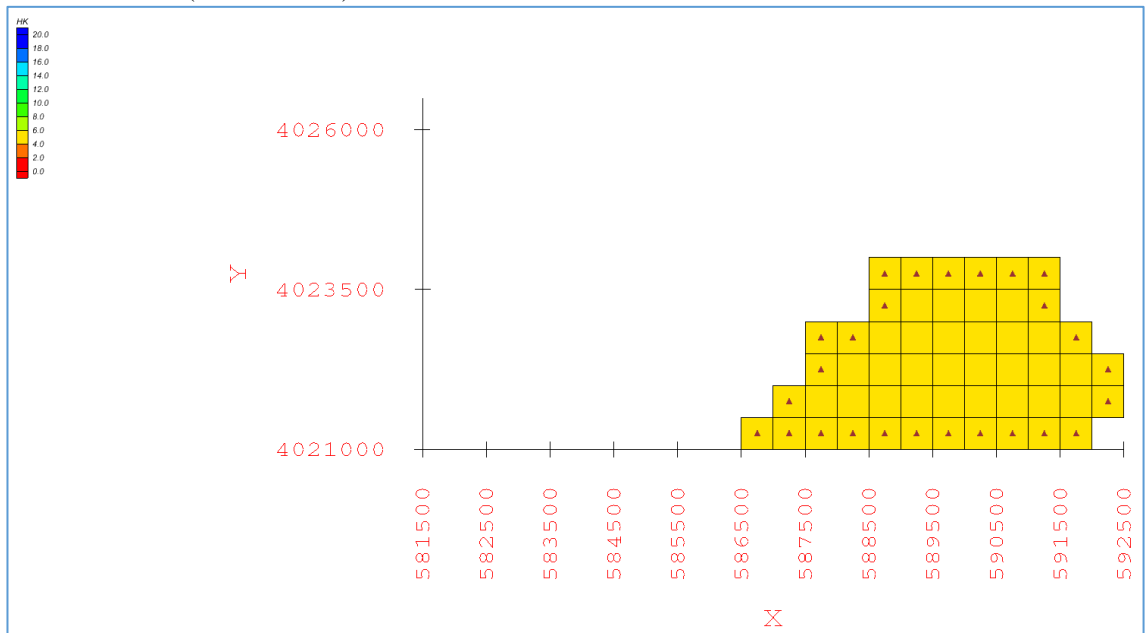
10. Tabaka (-125 - -130 m)



11. Tabaka (-130 - -140 m)

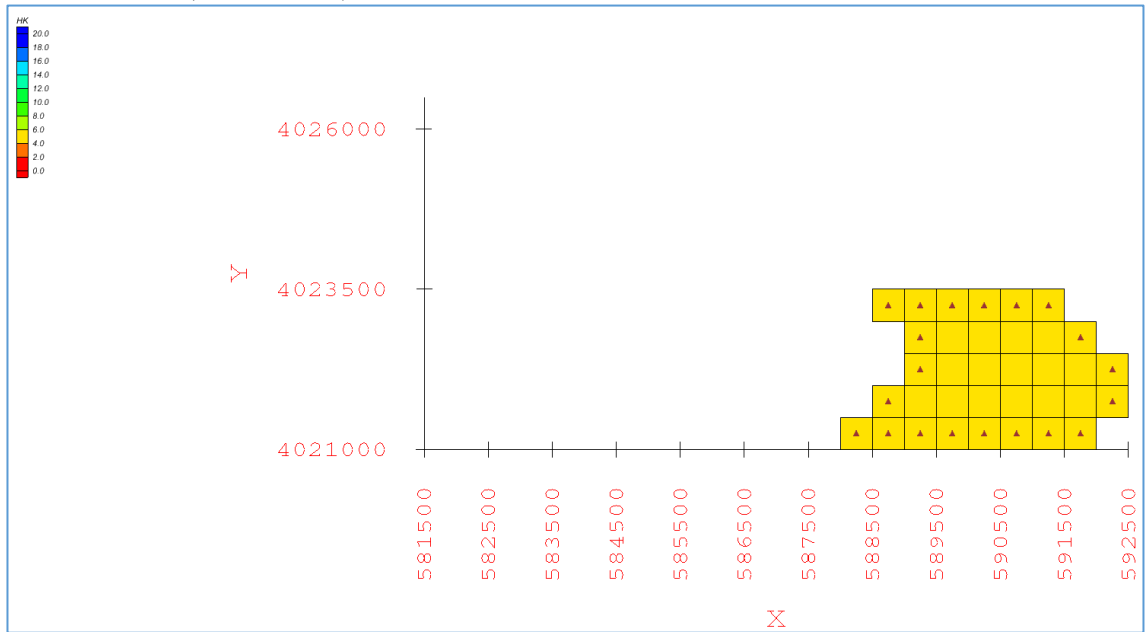


12. Tabaka (-140 - -154 m)

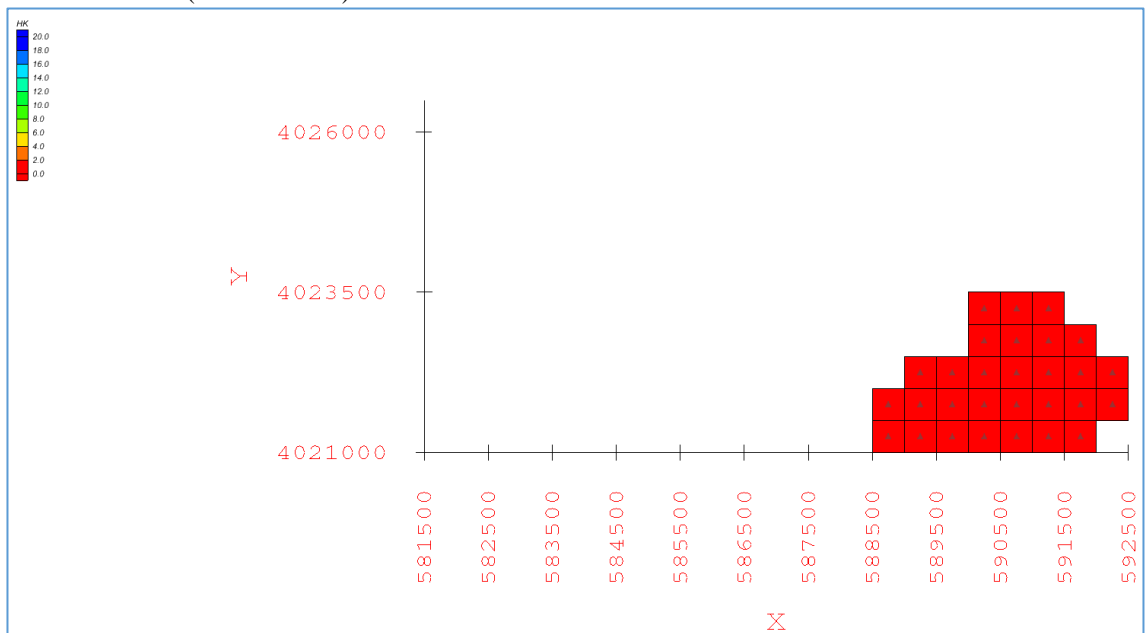




13. Tabaka (-154 - -165 m)



14. Tabaka (-165 - -200 m)



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Uğur Erdem DOKUZ

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 03.08.1983

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Çağrıbey Anadolu Lisesi (2001)

Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği  
Bölümü (2005)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği  
ABD. (Eylül 2005-Temmuz 2008)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Niğde Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi/Jeoloji Mühendisliği Bölümü/Uygulamalı  
Jeoloji Anabilim Dalı (2005-2006)

Ankara Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı (2006-)

Yayınlar (SCI) (Yayın yılları dikkate alınmalıdır)

1. Brehme M., Scheytt T., Çelik M. and Dokuz U. E., (2011). Hydrochemical characterisation of ground and surface water at Dörtyol/Hatay/Turkey, Environmental Earth Sciences, 63(6), 1395-1408., Atıf Sayısı: 2, Doi: 10.1007/s12665-010-0810- 1 (Yayın No: 794312)

Hakemli Dergiler (Yayın yılları dikkate alınmalıdır)

1. Berhe A. B, Çelik M., Dokuz U, E. (2015). Kütahya Ovası'ndaki Yüzey ve Yeraltısularının Sulama Suyu Kalitesi Açısından İncelenmesi, Türkiye, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 150, 147-163. (Kontrol No: 1523201)
2. Çelik, M., Dokuz, U. E., Türköz, P. E., Güllü Ö. ve Arslan Ş., 2013. Nasrettin Hoca Kaynağının (Sivrihisar, Eskişehir) Hidrojeokimyasal ve İzotopik

İncelemesi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi (146), 93-104. (Kontrol No: 795232)

#### Ulusal Bilimsel Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler

1. Dokuz, U. E., Çelik, M., Arslan, Ş., Engin H., Songur, D., 2013. Göksu Deltası (Silifke, Mersin) Sağ Yakası Hidrojeolojik Kavramsal Modelinin Oluşturulması. Baki Canik Su Medeniyeti Sempozyumu, (Yayın No:835313)
2. Brehme, M., Traugott, S., Dokuz, U. E., Çelik M., 2010. Dört Yol (Hatay) Kıyı Akiferinin Hidrojeokimyasal Özellikleri. 35. Yıl Jeoloji Sempozyumu, (Yayın No:836917) 2
3. Çelik M., Dokuz U. E., Engin H., Arslan Ş., Soysal T., Güleçyüz A., 2013. Göksu Deltası (Silifke/Mersin) Su Kaynaklarının Dünü, Bugünü Ve Geleceği. Baki Canik Su Medeniyeti Sempozyumu, (Yayın No:835712)
4. Çelik, M., Dokuz, U. E., Güllü, Ö., 2009. Jeotermal Kaynakların (Ayaş-Beyazırma, Ankara) Karbon İzotoplarıyla Değerlendirilmesi. Türkiye'nin Jeotermal Potansiyeli Ve Arama Yöntemleri Sempozyumu, İstanbul, Bildiri Özleri Kitabı, (Yayın No:803697)
5. Ünsal, N., Uğur E. D., Özlem G., Çelik, M., 2008. Yeraltı ve Yerüstü Suları (Düzce Ovası) Arasındaki İlişkinin Hidrokimyasal İncelenmesi. Su-Enerji-Sağlık Sempozyumu (Ses08), (Yayın No:804212)
6. Dokuz, U., E., Çelik, M., 2009. Bayramhacılı, Tekgöz Ve Çiftgöz (Kayseri) Jeotermal Kaynaklarının Oluşumu. Türkiye'nin Jeotermal Potansiyeli Ve Arama Yöntemleri Sempozyumu, (Yayın No:1340941)

#### Uluslararası Katılımlı Bilimsel Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler

1. Çelik, M., Dokuz, U. E., Türköz, P. E., Güllü, Ö. Arslan Ş., 2012. Nasrettin Hoca Kaynağının (Sivrihisar, Eskişehir) Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelemesi, V. Jeokimya Sempozyumu, (Yayın No:808460)
2. Dokuz, U., E., Çelik, M., Arslan, Ş., Engin, H., 2013. Yer Altı Suyu Kalitesinin İnsan Kaynaklı Değişiminin Hidrokimyasal ve İzotopik Yöntemlerle İncelenmesi; Göksu Deltası Sağ Yakası (Silifke, Mersin). 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı, (Yayın No:827118)

3. Berhe, B. A., Çelik, M., Dokuz, U. E., 2015. Kütahya Ovasındaki Suların İçme Ve Zirai Kullanımlarının Değerlendirilmesi, Kütahya, Türkiye. 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı, (Yayın No:1523202)
4. Berhe, B. A., Çelik, M., Dokuz, U. E., 2014. Pompaj ve Yükselim Test Verilerinden Kütahya Ovası Akiferi Özelliklerinin Belirlenmesi. 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, (Yayın No:1040902)
5. Dokuz, U. E., Arslan, Ş., Çelik, M., Engin, H. 2014. Göksu Deltası Sağ Yakası Kıyı Akiferlerinde Güncel Hidrojeolojik Bulgular. 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, (Yayın No:1040909)
6. Arslan, Ş., Çelik, M., Dokuz, U. E., Berhe, B. A. 2014. Köprüören Havzası (Kütahya) Yüzey Suları Ve Yeraltısularında Arsenik Kirliliği. 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, (Yayın No:1040915)

#### Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler

1. Brehme M., Scheytt T., Dokuz U. E., Çelik M., 2012. Hydrogeological Characterization of a Coastal Aquifer in southern Turkey. European Geosciences Uniongeneral Assembly 2012 (Yayın No:831943)
2. Arslan, Ş., Dokuz, U., E., Çelik, M., Cheng, Z., 2012. Groundwater Arsenic Contamination in Koprüören Basin (Kutahya), Turkey. Agu Fall Meeting 2012 (Yayın No:833564)
3. Dokuz, U. E., Çelik, M., Arslan, Ş., Engin, H., 2013. Hydrochemical Zonation of The Western Part of Göksu Delta Aquifer System, Southern Turkey. European Geosciences Uniongeneral Assembly 2013 (Yayın No:832466)
4. Dokuz U., E., Çelik M., Engin H., Arslan, Ş. 2014. Hydrogeological And Hydrochemical View Of Göksu Delta Lakes (Akgöl And Paradeniz, Southern Turkey). Quicklakeh2014 An International Workshop On Lakes And Human Interactions (Yayın No: 1523204)
5. Arslan, Ş., Çelik M., Dokuz, U., E., Berhe B., A., 2014. Surface And Ground Water Quality İn Köprüören Basin (Kütahya), Turkey. European Geosciences Uniongeneral Assembly 2014 (Yayın No:1040892)

## Uluslararası Bilimsel Sempozyumlarda Sunulan ve Tam Metin Olarak Basılan Bildiriler

1. Arslan, Ş., Dokuz, U. E., Çelik, M., Berhe, B. A., Cheng, Z., 2013. Köprüören Havzasında (Kütahya) İnsan Kaynaklı Su Kirliliği, 2.Tıbbi Jeoloji Çalıştayı, (Yayın No:834018)
2. Dokuz, U. E., Çelik, M., Kadioğlu, Y. K., Brehme, M., Engin, H. 2015. Geothermal Evaluation of The Bayramhacılı and Tekgöz-Çiftgöz Area, Central Anatolia, Turkey, by a New Conceptual Reservoir Model, World Geothermal Congress.

## Projelerde Yaptığı Görevler

1. Göksu Deltası (Silifke, Mersin) kıyı akiferinin kavramsal modelinin oluşturulması, BAP, Araştırmacı, 2013-2015.
2. Kütahya Ovası Akifer Sisteminin Kavramsal Hidrojeolojik Modelinin Oluşturulması, BAP, Araştırmacı, 2013 (Devam Ediyor).
3. Göksu Deltası (Silifke, Mersin) kıyı akiferi yer altı suyunun hidrojeokimyasal ve izotopik incelemesi, BAP, Araştırmacı, 2011-2014.
4. Köprüören Havzası (Kütahya) yüzey ve yeraltılarında arsenik kirliliğinin hidrojeokimya ve çevresel izotoplarla incelenmesi, TÜBİTAK PROJESİ, Bursiyer, 2011-2014.
5. Tuzgölü ve Tuzgölü Havzası'nın Yakın Geçmişi ve Yakın Geleceği: Pliyo-Kuvaterner Tortuların Sedimentolojisi, BAP, Araştırmacı, 2009-2012
6. Nasrettin Hoca Kaynağı Ve Dolayının (Sivrihisar, Eskişehir) Hidrojeoloji İncelemesi, TÜBİTAK PROJESİ, Bursiyer, 2010-2011.
7. Sıcak Ve Mineralli Su Kaynaklarının (Ayaş-Beypazarı, Ankara) Karbonatlı Kayaçlarla İlişkisi, TÜBİTAK PROJESİ, Bursiyer, 2008-2009.

## Ödüller

1. German Water Partnership 2nd Award, Through the sustainable Water Management in Göksu Delta (Southern Turkey), (Supervisor: Prof. Dr. Mehmet ÇELİK) German Watert Partnership, Almanya, 2015.