ANAMUR (MERSİN) KIYI AKİFERİ YERALTISUYU AKIM MODELİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARZU ÇANAKCI

MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

MERSİN
AĞUSTOS - 2018

ANAMUR (MERSİN) KIYI AKİFERİ YERALTISUYU AKIM MODELİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ARZU ÇANAKCI

MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

Danışman
Doç. Dr. Zübeyde HATİPOĞLU BAĞCI

MERSİN
AĞUSTOS - 2018

ONAY

Arzu ÇANAKCI tarafından Doç. Dr. Zübeyde HATİPOĞLU BAĞCI danışmanlığında hazırlanan "Anamur (Mersin) Kıyı Akiferi Yeraltısuyu Akım Modeli" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 09 Ağustos 2018 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Doç. Dr. Zübeyde HATİPOĞLU BAĞCI (Danışman)	.....
Üye	Doç. Dr. Harun AYDIN	.....
Üye	Dr. Öğretim Üyesi Fulya YÜCESOY ERYILMAZ	.....

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14/09/2018 tarih ve 2018/35-1259 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cahit BİLİM
Enstitü Müdürü

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi

beyan ederim.

ETHICAL DECLERATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University GraduateEducationRegulation and I declare to comply with the followingconditions:

- I haveobtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academicrules.
- I presented all the visual, auditory and writteninformations and results in accordance with scientificethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do anytampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

09 Ağustos 2018/ 09 August 2018



Arzu ÇANAKCI

ÖZET

ANAMUR (MERSİN) KIYI AKİFERİ YERALTISUYU AKIM MODELİ

Anamur (Mersin) Kıyı Akiferi doğuda Dragon (Anamur) Deresi ve batıda Sultançayı'nın beslediği bir delta ortamınca temsil edilmektedir. Kıyı Akiferinde yeraltısuyu taşıyan birim alüvyondur. Alüvyon akiferin kalınlığı 25 m ile 45 m arasında değişmekte olup Dragon ve Sultançayı akarsu yataklarına yakın bölgelerde en yüksek kalınlıkta, akarsu yataklarından uzaklaştıkça kalınlık azalmaktadır. Dragon Deresi ve Sultançayı havzalarının kuzey kesimlerinde karstik birimler bulunmaktadır.

Son yıllarda Anamur'da nüfusun ve tarımsal faaliyetlerin giderek artmasına bağlı olarak yeraltısuyu miktarı ve kalitesiyle ilgili sorunlar da artmaktadır. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'ne denizden su iletiminin sağlanacağı Alaköprü Barajı'nın (Dragon Deresi), Anamur Kıyı Akiferinin beslenim koşullarını değiştirmesi ve bu akiferde yeraltısuyu ile ilgili problemleri arttırması ön görülmektedir.

DSİ ve Anamur Sulama Birliği tarafından bölgedeki kuyularda aylık yapılan yeraltısuyu seviye ölçümlerinden Şubat 2010, Nisan 2013, Ekim 2016 ve Mayıs 2017 dönemleri için yeraltısuyu seviye haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalardan yeraltısuyu akım yönünün genel olarak kuzeyden güneye doğru olduğu belirlenmiştir. Kıyı Akiferi kesiminde genel olarak Şubat 2010 döneminde yeraltısuyu seviyesi Nisan 2013, Ekim 2016 ve Mayıs 2017 dönemlerine göre en yüksek seviyededir. Dragon Deresi çevresindeki kuyularda Şubat 2010 döneminden itibaren Nisan 2013, Ekim 2016 ve Mayıs 2017 dönemine kadar yeraltısuyu seviyesinde sürekli olarak bir düşüş gözlenmektedir.

Anamur Ovasında yeraltısuyu akım sisteminin anlaşılması ve yeraltısuyu bütçesinin belirlenmesi amacıyla üç boyutlu Processing MODFLOW yazılımı kullanılarak yeraltısuyu akım modeli oluşturulmuştur. Anamur (Mersin) Kıyı Akifer sisteminin kuzey sınırını oluşturan sabit yük sınırından sisteme yılda 2.26×10^8 m^3 su girmekte ve güneyde Akdeniz kıyısındaki sabit yük sınırında sistemden 2.41×10^8 m^3 su boşalmaktadır. Kuyulardan yıllık çekilen su miktarı 0.97×10^5 m^3'tür. Yağıştan yıllık beslenim miktarı ise 1.21×10^7 m^3'tür. Akarsulardan yeraltısuyuna gerçekleşen beslenim 8.05×10^6 m^3 iken yeraltısuyundan akarsulara gerçekleşen beslenimi ise 4.409×10^6 m^3 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre Anamur Kıyı Akiferinin besleniminin %92'si havzanın daha yüksek kesimlerinden gerçekleşmektedir.

Bu modelleme çalışmasının gelecekte yeraltısuyu kullanımı ile ilgili uygulama değişikliklerinin, iklim değişimi senaryolarının ve Alaköprü Barajının Kıyı Akiferine etkilerinin araştırılması için kullanılabilecek temel bir çalışma olması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltısuyu, Hidrojeoloji, MODFLOW, Anamur, Sayısal Modelleme.

Danışman: Doç. Dr. Zübeyde HATİPOĞLU BAĞCI, Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

ANAMUR (MERSIN) COASTAL AQUIFER GROUNDWATER FLOW MODEL

Anamur (Mersin) Coastal aquifer is represented by a deltaic environment that recharge by Dragon (Anamur) Stream at the east and the Sultançayı Stream at the west. The unit carrying the groundwater is alluvium in the coastal aquifer. The thickness of the alluvium aquifer ranges from 25 m to 45 m and the thickness is maximum near the stream beds of the Dragon and Sultançay Streams while it decreases with distance from the stream beds. The northern sections of the Dragon Stream and Sultançayı Stream basins have karstic features.

The problems related to the quantity and quality of groundwater is increasing in Anamur due to the increasing population and agriculture activites. It will be expected that the Alaköprü Dam, which will provide water to Turkish Republic of Northern Cyprus through the pipeline from the sea, will change the recharge conditions of the Anamur Coastal Aquifer and increase the problems related to groundwater.

Groundwater level maps were prepared for the February 2010, April 2013, October 2016 and May 2017 from monthly groundwater level measurements made by DSI and Anamur Irrigation Association. It was determined that the groundwater flow direction is from north to south in general. In the coastal aquifer section, the groundwater level is generally highest in February 2010 compared to April 2013, October 2016 and May 2017 periods. In the wells around the Dragon Stream, there is a continuous decrease in the groundwater level from February 2010 to April 2013, October 2016 and May 2017.

In order to understand the groundwater flow system in Anamur Plain and to determine the groundwater budget, groundwater flow model was conducted by using three-dimensional Processing MODFLOW. The recharge from the northern boundary of Anamur (Mersin) coastal aquifer system which forms the constant head boundary was calculated as $2.26x10^8$ m^3 and discharge of the system at constant head boundary on Mediterranean coast $2.41x10^8$ m^3. The annual amount of water withdrawn from the wells is $0.97x10^5$ m^3. The annual recharge rate from precipitation is $1.21x10^7$ m^3. It is determined that recharge from streams to groundwater is $8.05x10^6$ m^3 and the discharge from groundwater to streams is $4.409x10^6$ m^3. According to these results, 92% of the recharge to the Anamur Coastal Aquifer is supplied from the higher sections of the basin.

It is aimed that this modeling study will be a basic study that can be used in future to investigate application changes on the use of groundwater, climate changes scenarios and effects Alaköprü Dam on coastal aquifer.

Keywords: Groundwater, Hydrogeology, MODFLOW, Anamur, Numerical Modeling.

Advisor: Assoc. Prof. Zübeyde HATİPOĞLU BAĞCI, Mersin University, Department of Geological Engineering, Mersin.

TEŞEKKÜR

Mersin Üniversitesi Yüksek Lisans tez çalışmamın her aşamasında beni yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Zübeyde HATİPOĞLU BAĞCI' ya katkı ve yardımlarından dolayı sonsuz saygılarımı sunarım.

Bu çalışmaya, 2007-2-TP2-2528 proje no ile maddi destek sağlayan Mersin Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederim.

Adana DSİ VI Bölge Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Şube Müdürlüğü, Anamur Sulama Birliği Başkanlığı, MESKİ Anamur Şube Şefliği, Anamur DSİ Şube Müdürlüğü ve Mersin Meteoroloji İl Müdürlüğüne desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Yüksek Lisans çalışmam sırasında göstermiş oldukları anlayış ve destekten dolayı sevgili aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLOLAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR ve SİMGELER	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.2. Çalışma Alanının Coğrafi Özellikleri	1
1.2.1. Çalıma Alanının Konumu ve Özellikleri	1
1.2.2. Doruk Ağı	3
1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü	4
1.2.4. Nüfus ve Sosyo-Ekonomik Durum	12
1.3. Önceki Çalışmalar	12
1.3.1. Bölgenin Jeolojisi	12
1.3.2. Hidrojeoloji	13
1.3.3. Modelleme Çalışmaları	14
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	16
2.1. Jeoloji Çalışmaları	16
2.2.Hidrojeoloji Çalışmaları	26
2.3. Genel Modelleme Çalışmaları	29
3. MATERYAL ve YÖNTEM	34
3.1. Yeraltısuyu Modellemesi	34
3.1.1. Processing MODFLOW Programı	34
3.1.2. Modelleme için Gerekli Veriler	34
3.1.3. MODFLOW Programında Çözümleme	36
3.1.4. MODFLOW Programında Sonlu Farklar Noktalar Ağı	39
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	44
4.1. Hidrojeoloji	44
4.2. Anamur Kıyı Akiferi Yeraltısuyu Akım Modeli	61
4.3. Model Ağının Tanımlanması	61
4.4. Akifer Tipi, Katmanların Üst ve Alt Seviyelerinin Tanımlanması	62
4.5. Akifer sınır koşullarının tanımlanması	64
4.6. Hidrolik parametrelerin tanımlanması	64
4.7. Akifere olan beslenim ve boşalımın tanımlanması	65
4.8. Yüzey su kütlelerinin tanımlanması	67
4.9. Gözlem Kuyuları	68
4.10. Modelin Çalıştırılması	69
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	77

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Dragon Deresi-Malaklar arası 1954-1967 aylık ortalama müdahaleli su akım miktarları	8
Tablo1.2. Dragon Deresi-Alaköprü arası 1970-2013 aylık ortalama müdahaleli su akım miktarları	9
Tablo 4.1. Anamur Belediyesinin içme ve kullanma suyu sağladığı kuyuların konum ve debileri	48
Tablo 4.2. Yeraltısuyu seviye ve Eİ ölçümü yapılan kuyuların koordinatları	50
Tablo 4.3. Anamur Ovası 2010 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri	51
Tablo 4.4. Anamur Ovası 2011 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri	52
Tablo 4.5. Anamur Ovası 2013 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri	53
Tablo 4.6. Anamur Ovası 2014 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri	54
Tablo 4.7. Anamur Ovası 2015 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri	55
Tablo 4.8. Anamur Ovası 2016 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri	56
Tablo 4.9. Anamur Ovası 2017 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri	57
Tablo 4.10. Veri setinde kullanılan hidrolik iletkenlik ve porozite değerleri	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti su temin projesi	3
Şekil 1.3. Çalışma alanının doruk ve akarsu ağı haritası	4
Şekil 1.4. 1960-2016 dönemine ait aylık ortalama yağış miktarları	5
Şekil 1.5. 1960-2016 dönemine ait yıllık toplam yağış ve kümülatif sapma miktarları	5
Şekil 1.6. Aylık ortalama sıcaklık miktarları	6
Şekil 1.7. Aylık ortalama toplam buharlaşma miktarları	6
Şekil 1.8. Yıllık toplam buharlaşma miktarları	7
Şekil 1.9. Anamur'da seralarda yapılan muz üretimi	12
Şekil 2.1. Anamur ve çevresinin jeoloji haritası	17
Şekil 2.2. Çalışma alanına ait stratigrafik kesit	18
Şekil 2.3. Tenzile Formasyonuna ait metasilttaşları	19
Şekil 2.4. Kurtbeleni Formasyonuna ait kuvars şistler	20
Şekil 2.5. Karagedik Formasyonuna ait dolomit	21
Şekil 2.6. Payallar Formasyonuna ait muskovitşist	22
Şekil 2.7. Yalçıtepe Formasyonuna ait metamorfik kireçtaşları	23
Şekil 2.8. Mediova Formasyonuna ait killi kireçtaşları	24
Şekil 2.9. Beykonağı Formasyonuna ait kireçtaşları	25
Şekil 2.10. Pınarlar Formasyonuna ait kireçtaşları	26
Şekil 3.1. Bölgesel bir akiferde sınır koşulları	35
Şekil 3.2. Blok merkezli sonlu farklar noktalar ağı	40
Şekil 3.3. A. Sonlu farklar noktalar ağı notasyonu B. MODFLOW programında sonlu farklar noktalar ağı notasyonu	41
Şekil 3.4. Yük dağılımının MODFLOW programında tekrarlanmalı hesaplanması	43
Şekil 4.1. Anamur ve çevresine ait hidrojeoloji haritası	45
Şekil 4.2. Anamur Kıyı Akiferi jeolojik kesiti	45
Şekil 4.3. Anamur'un doğusunda bulunan Dragon Deresinin güneyi(Ekim 2017)	46
Şekil 4.4. Anamur'un batısı Sultan Allaittin Mahallesi civarında Sultançayı(Ekim 2017)	47
Şekil 4.5. Anamur Belediyesinin içme ve kullanma suyu sağladığı kuyular	48
Şekil 4.6. Aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümü yapılan kuyular	49
Şekil 4.7. 2010 yılı Şubat ayına ait yeraltısuyu seviye haritası	58
Şekil 4.8. 2013 yılı Nisan ayına ait yeraltısuyu seviye haritası	59
Şekil 4.9. 2016 yılı Ekim ayına ait yeraltısuyu seviye haritası	59
Şekil 4.10. 2017 yılı Mayıs ayına ait yeraltısuyu seviye haritası	60
Şekil 4.11. Anamur Ovasında yaygın olarak kullanılan tulumba tipi kuyu	61
Şekil 4.12. Akifer ağının tanımlanması	62
Şekil 4.13. Çalışma alanının 1/25000 ölçekli P29-c3 ve P29-c4 paftalarından hazırlanan sayısal topoğrafik haritası	62
Şekil 4.14. Katman tiplerinin seçimi	63
Şekil 4.15. Çalışma alanının üç boyutlu sayısal arazi modeli	64
Şekil 4.16. Hidrolik iletkenlik ve porozite dağılımının belirlenmesi için kullanılan kuyular	65
Şekil 4.17. MODFLOW'da tanımlanan çekim kuyuları	67
Şekil 4.18. Dragon Dere ve Sultançayının hidrolik özelliklerinin MODFLOW'da tanımlanması	68
Şekil 4.19. MODFLOW programına aktarılan Sulama Birliği yeraltısuyu gözlem kuyuları	69
Şekil 4.20. Model tarafından üretilen su bütçesi	70
Şekil 4.21. Kavramsal model	70
Şekil 4.22. MODFLOW tarafından üretilen su seviye haritası	71

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
MODFLOW	Modüler Yeraltısuyu Akım Modeli (Modular Groundwater Flow Model)
PMWIN	Modüler Yeraltısuyu Akım Modeli İşlemi (Processing Modflow)
GMS	Yeraltısuyu Modelleme Sistemi (Groundwater Modelling System)
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri (Geographig Information System)
GMC	Genel Dolaşım Modeli (General Circulation Model)
GCM	Küresel İklim Modeli (Global Climate Model)
RCM	Bölgesel İklim Modeli (Regional Climate Model)
CDF	Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (Cumulative Distribution Function)
RegCM3	Bölgesel İklim Model Sistemi (Regional Climate Model)
Eİ	Elektriksel iletkenlik
SAR	Sodyum adsorbsiyon oranı
Pεt	Tenzile Formasyonu
εku	Kurtbeleni Formasyonu
εka	Karagedik Formasyonu
εOp	Payalar Formasyonu
Pcε	Cebireis Formasyonu
TRas	Asmaca Formasyonu
PKbü	Üççam Formasyonu
Pyt	Yalçıtepe Formasyonu
TRko	Koçudere Formasyonu
JKy	Yalçı Formasyonu
Dgö	Gölboğazı Formasyonu
Pc	Çekiçdağ Formasyonu
Tpp	Pınarlar Formasyonu
Trb	Beykonağı Formasyonu
Qal	Alüvyon
Qym	Yamaç Molozu
Q_2	Kumul
W-X düzlemi	Yeraltısuyu bölümünü
Z-Y düzlemi	Akışın olmadığı yeraltısuyu bölümünü
X-Y düzlemi	Kum çökellerinin temel kayaya olan bölümünü
H	Hidrolik yük
∂x	Kontrol hacminin bir kenarının uzunluğu
∂y	Kontrol Hacminin Bir Kenarının uzunluğu
∂z	Kontrol Hacminin Bir Kenarının uzunluğu
α	Katı kısmın sıkışabilirliği

Kısaltma/Simge	Tanım
β	Suyun sıkışabilirliği
ρw	Suyun yoğunluğu
Δx	X düğümleri arasındaki mesafe
Δy	Y düğümleri arasındaki mesafe
R	Beslenme
T	İletimlilik
m	İterasyon öncesi hesaplanan bir değer
m+1	İterasyon sırasında hesaplanan bir değer
S	Depolama
Δt	Zamanın adım uzunluğu
n	Zamanın n'inci adımı
a=Δx=Δy	Sonlu farklar nokta ağının boyutları
i	Modflow programında sütun
j	Modflow programında satır
k	Modflow programında dikey noktalar
x	Satır
y	Sütun
z	Dikey noktalar
GK No	Gözlem Kuyu Numarası
K	Kuru
DSİ	Devlet Su İşleri
ETp	Yıllık buharlaşma-terleme miktarı
P	Yıllık yağış ortalaması
R	Akış
Q	Sistemden ayrılan akım miktarı

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

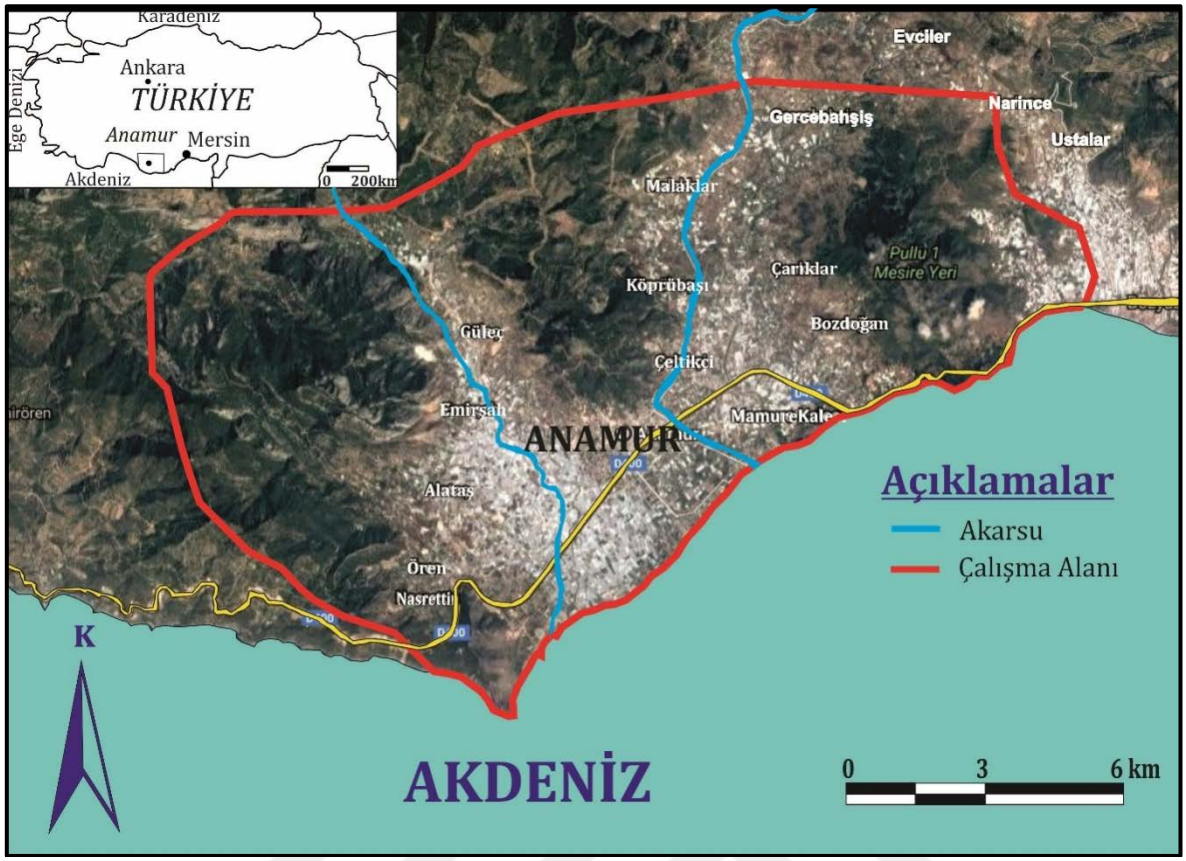
Son yıllarda, ülkemizin güneyinde yer alan Mersin ili Anamur ilçesinde nüfusun ve tarım alanlarının artmasına bağlı olarak su miktarı ve kalitesiyle ilgili sorunlarda artmaktadır. Bununla birlikte, Anamur'un kuzeyinde Dragon Deresi üzerine kurulmuş ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'ne denizden su iletiminin sağlanacağı Alaköprü Barajı'nın Anamur Kıyı Akiferinin beslenim koşullarını değiştirmesi nedeniyle yeraltısuyu ile ilgili problemleri olumsuz yönde etkilemesi beklenmektedir.

Bu çalışmada, Anamur Kıyı Akiferinin üç boyutlu yeraltsuyu akım modelinin oluşturulması ile bölgede yeraltısuyunun beslenim, dolaşım, depolama ve boşalım alanlarının belirlenerek hidrojeolojik sisteminin anlaşılması ve akifere ait su bütçesinin saptanması hedeflenmiştir. Bu kapsamda matematiksel denklemler aracılığıyla yeraltısularının simülasyonunu yapan Processing MODFLOW yazılımı kullanılmıştır. Anamur Kıyı Akiferinde güncel durumu yansıtan bu modelleme çalışmasının gelecekte yeraltısuyu kullanımı ile ilgili uygulama değişikliklerinin, iklim değişimi senaryolarının ve Alaköprü Barajı'nın Kıyı Akiferine etkilerinin araştırılması için kullanılabilecek temel bir çalışma olması hedeflenmiştir.

1.2. Çalışma Alanının Coğrafi Özellikleri

1.2.1. Çalışma Alanının Konumu ve Özellikleri

Çalışma alanı ülkemizin güneyinde Mersin ili Anamur ilçesi sınırları içinde 32° 45' 00'' ile 33° 00' 00'' boylamları ve 36° 00' 00'' ile 36° 07' 30'' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Çalışma alanının en önemli iki akarsuyu Dragon Dere ve Sultançayı olup bu iki akarsuyun toplam drenaj alanı 493 km^2 olarak belirlenmiştir. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 1.1' de sunulmuştur.



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası [1' den değiştirilerek alınmıştır].

Akdeniz iklim tipinin hakim olduğu inceleme alanını, kuzeyde Toros Dağları ve güneyde ise Akdeniz'in sınırlaması nedeni ile bölgede mikroklima iklim oluşmasına neden olmuştur. Bu durum ülkemizin başka hiçbir bölgesinde yetişmeyen tropikal bitki ve meyvelerin bu bölgede yetişmesine ve ilçenin tarıma çok elverişli bir bölge olmasına neden olmuştur.

Anamur ilçesinde sulamada kullanılan tarım arazisinin mevcut miktarı 30 bin hektar olup bu miktarı arttırmak ve Kuzey Kıbrıs Türk Cuhuriyeti'ne su temini amaçlarıyla Alaköprü Barajı yapılmıştır (Şekil 1.2) [2].



Şekil 1.2. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti su temin projesi [2].

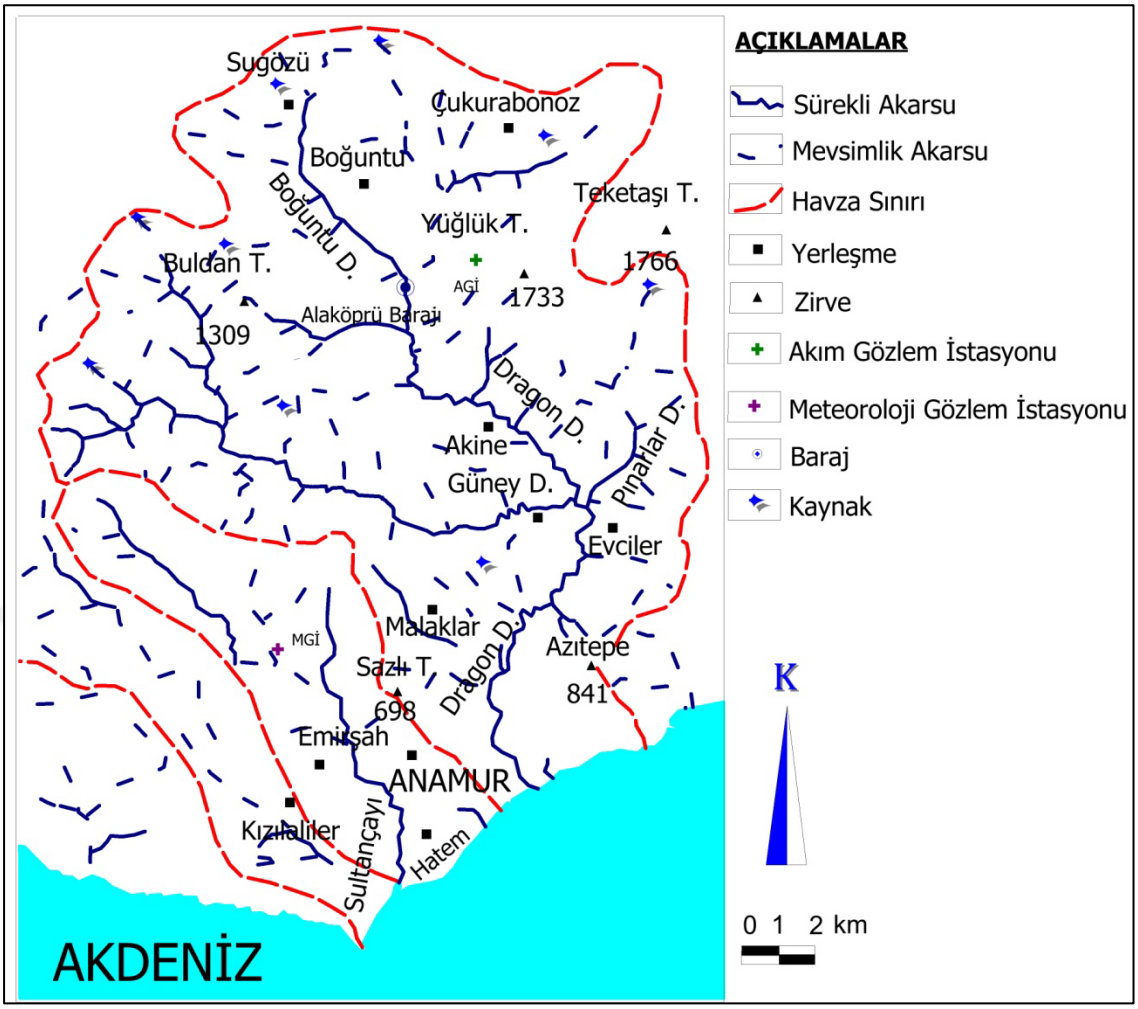
Temeli 2011 yılında atılmış olan Alaköprü Barajı 2014 yılında tamamlanmış olup 17 Ekim 2015 tarihinden itibaren barajdan su verilmeye başlanmıştır. Planlanan su miktarı yılda 75 milyon m^3 olup Alaköprü Barajıyla Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nin 50 yıllık içme suyu ihtiyacının karşılanması ve 5 bin hektarlık arazinin sulanması amaçlanmıştır. Alaköprü Barajında birikecek suyun %10'nu Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetine verilecek olup %90'ı Anamur ilçesinin ihtiyaçlarında kullanılacaktır.

1.2.2. Doruk Ağı

Çalışma alanında bulunan en önemli yükseklikler Teketaşı Tepe (1766 m), Yüğlük Tepe (1733 m), Buldan Tepe (1309 m), Azı Tepe (841 m), Sazlı Tepe (698 m)'dir (Şekil 1.3).

Bölgede bulunan en önemli akarsular Dragon Deresi ve Sultançayı'dır. Bu akarsular kuzey güney uzanımlı olup genel olarak kaynağını Taşeli platosundan alan ve Akdeniz'e bakan yamaçlarda kısa boylu akarsular olarak gelişmiştir.

Anamur Ovasında Taşeli Platosunun güney yamaçlarında karstik kaynaklardan doğan Dragon Dere Akdenize dökülmekte olup Sugözü Kaynağı ve Boğuntu Deresinin birleşmesiyle oluşmuştur (Şekil 1.3) [2].

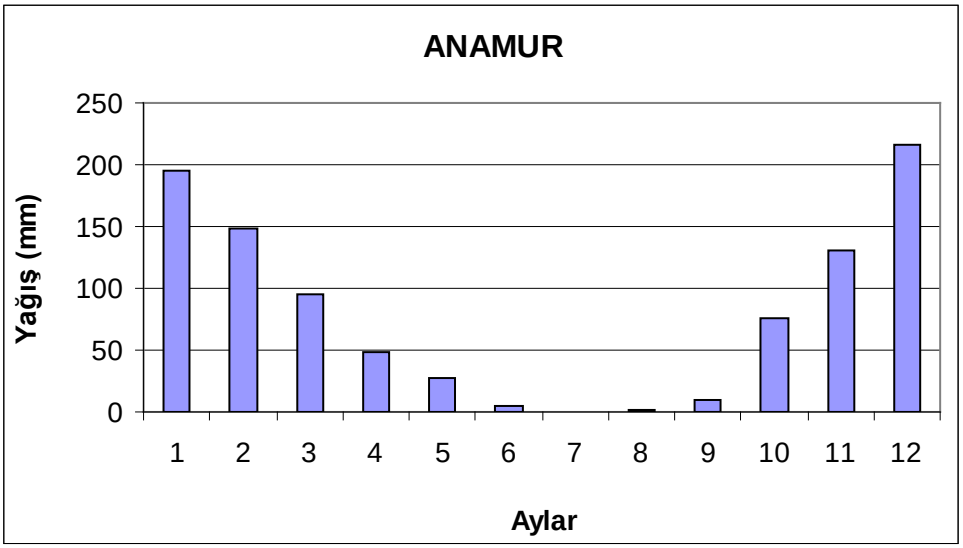


Şekil 1.3. Çalışma alanının doruk ve akarsu ağı haritası [2'den değiştirilerek alınmıştır].

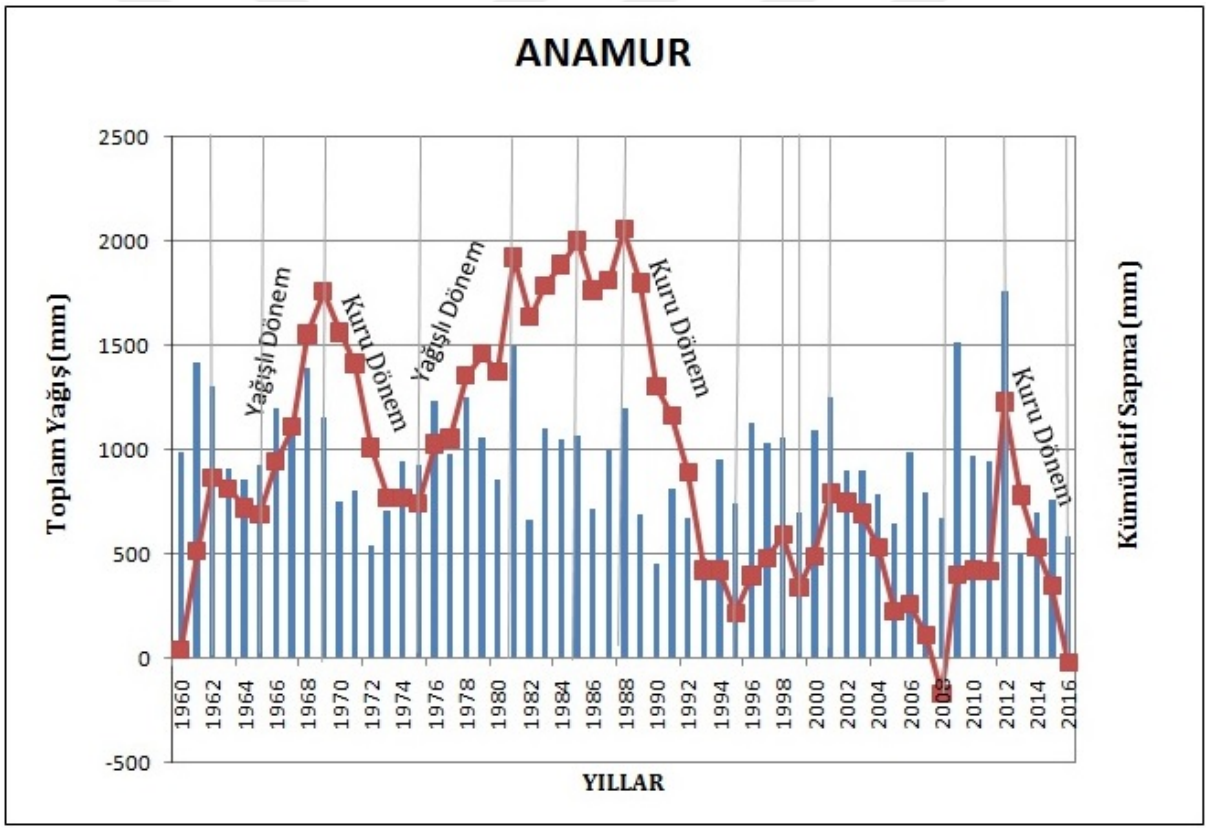
1.2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Bölgede yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı Akdeniz iklim tipi hüküm sürmektedir.

Mersin Meteoroloji İl Müdürlüğünden alınan Anamur İstasyonuna ait (İstasyon no: 17320, Şekil 1.4) 1960-2016 yılları verilerine göre uzun yıllar ortalama yıllık toplam yağış miktarı 943 mm olarak hesaplanmıştır. Bölgeye en çok yağış 2012 yılında 1755,1 mm ve en az yağış 1989 yılında 447,1 mm olarak düşmüştür. Bu verilere göre, Anamur İstasyonuna ait aylık ortalama toplam yağış, yıllık toplam yağış ve yıllık kümülatif sapma grafikleri sırası ile Şekil 1.4 ve Şekil 1.5' te verilmiştir.

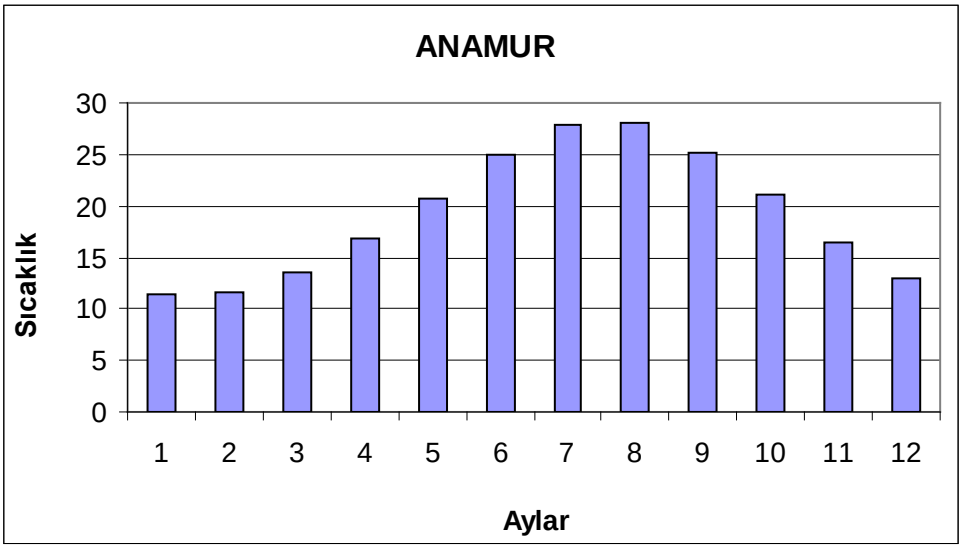


Şekil 1.4. 1960-2016 dönemine ait aylık ortalama yağış miktarları.



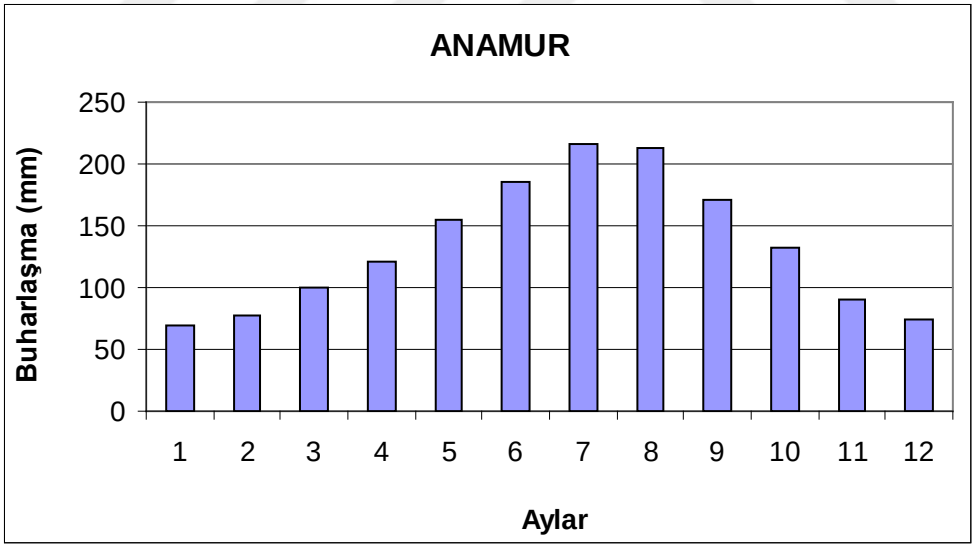
Şekil 1.5. 1960-2016 dönemine ait yıllık toplam yağış ve kümülatif sapma miktarları.

Anamur istasyonu için 1960-2016 yılları arasındaki uzun yıllar ortalama sıcaklık 19,3°C olup en yüksek aylık ortalama sıcaklık 2007 Ağustos ayında 30,5°C ve en düşük aylık ortalama sıcaklık ise; 1992 yılının Şubat ayında 8°C olarak ölçülmüştür. İncelenen verilerde yıl içerisinde en yüksek sıcaklık değerleri Temmuz, Ağustos aylarında ve en düşük sıcaklık değerleri ise; Ocak ve Şubat aylarında olduğu gerçekleşmiştir. Anamur'a ait aylık ortalama sıcaklık grafiği Şekil 1.6' da verilmiştir.

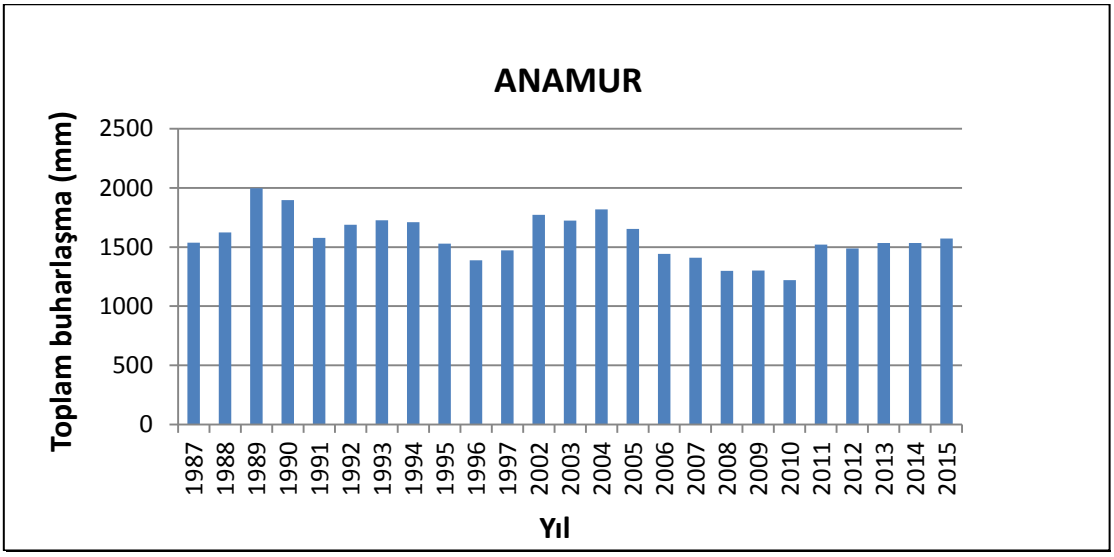


Şekil 1.6. Aylık ortalama sıcaklık miktarları.

Anamur istasyonu için 1986-2016 yılları arasındaki uzun yıllar aylık ortalama toplam buharlaşma miktarı 131,5 mm olarak ölçülmüştür. Anamur'a ait aylık ortalama toplam buharlaşma miktarı ve 1986-2016 arası yıllık toplam buharlaşma miktarları Şekil 1.7 ve Şekil 1.8' de verilmiştir.



Şekil 1.7. Aylık ortalama toplam buharlaşma miktarları.



Şekil 1.8. Yıllık toplam buharlaşma miktarları.

Dragon Deresi ve Malaklar arasındaki 394 km²'lik yağış alanını kapsayan akım gözlem istasyonunda 1954-1967 yılları arasında (istasyon 1967' de kapanmıştır). Ölçülen aylık ortalama akım miktarları Tablo 1.1'de verilmiştir. Ölçülen değerler aylık müdahaleli su miktarlarıdır.

Müdahaleli su miktarları istasyonun akış yukarısındaki Halk Sulamaları ve İl Özel İdare Sulamalarınında yağış miktarına eklenmiş olmasını ifade etmektedir. Bu sulamalar HES 1. ve 2. Ünite Halk Sulamaları, Boğuntu İl Özel İdare Sulaması, Hocaaltı Halk Sulaması, Otluca Dibek HES Halk Sulaması, Otluca Çaltıbükü HES Halk Sulaması, Sarıağaç İl Özel İdare Sulaması, Yukarıkükür İl Özel İdare Sulaması, Aşağıkükür İl Özel İdare Sulaması, Güney Bahşiş İl Özel İdare Sulaması, Karalar Bahşiş İl Özel İdare Sulaması ve Gercebahşiş Halk Sulamasından meydana gelmiştir (Tablo1.1) [3].

Dragon Deresi-Alaköprü arası 313,2 km²'lik yağış alanı için 1970-2013 yılları arasında su akım değerleri Tablo 1.2' de verilmiştir. Bu değerler HES 1. ve 2. Ünite Halk Sulamaları, Boğuntu İl Özel İdare Sulaması, Hocaaltı Halk Sulaması, Otluca Dibek HES Halk Sulaması, Otluca Çaltıbükü HES Halk Sulaması, Sarıağaç İl Özel İdare Sulaması, Yukarıkükür İl Özel İdare Sulaması, Aşağıkükür İl Özel İdare Sulaması, Güney Bahşiş İl Özel İdare Sulaması, Karalar Bahşiş İl Özel İdare Sulamasını da içerdiği için aylık müdahali su miktarları (hm^3) olarak aşağıda verilmiştir (Tablo 1.2)[3].

Tablo 1.1. Dragon Deresi-Malaklar arası 1954-1967 aylık ortalama müdahaleli akım miktarları (hm^3)[3].

Su Yılı	Aylar												Yıllık
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1954	16.7	15	16.1	78.2	72	86	138.2	168.4	78.2	25.4	16.1	12.9	723
1955	17.2	47.3	176.8	109.2	68.3	57.8	79.1	92.2	34.4	16.5	11.9	10.3	721
1956	8.5	46	101.5	61.7	116.4	65.9	107.5	120.8	57.3	19.8	13.0	9.9	728
1957	7.3	5.7	20.6	173	19.5	61.0	60.7	513	18.5	12.1	11.1	10.8	296
1958	11.5	23.6	99.6	161.1	64.6	117.1	130.6	109.7	41.6	14.2	10.5	9.6	794
1959	9.4	8.7	107.5	307.5	129.2	28.3	46.9	147.5	44.3	13.7	11.8	10.4	865
1960													
1961													
1962	13	12.7	143.2	48.8	97.2	100.3	109	137.8	40.3	14.4	11.7	9.2	738
1963	55.7	21.4	228.2	162.3	166.7	126.7	135.6	189.3	154.7	64.9	22.7	15.4	1344
1964	16.1	19.5	30.9	15.1	45.1	78.8	74.7	57.8	19.0	11.5	9.8	9.2	387
1965	9.9	14.4	60.6	84.9	147.4	108.9	129.9	156.6	89.5	24.7	14.2	11.9	853
1966	14.5	28.7	106.7	298.4	74.9	91.9	145.9	174.8	93.9	32.7	17.1	16.5	1096
1967	15.9	43.8	167.4	115.4	76.8	126	179.4	201.3	113.2	36.5	12.5	9.2	1097
Ortalama	16.3	23.9	104.9	121.6	89.8	87.4	111.5	134.0	65.4	23.9	13.5	11.3	803

Tablo 1.2. Dragon Deresi-Alaköprü arası 1970-2013 aylık ortalama müdahaleli akım miktarları (hm^3)[3].

Su Yılı	Aylar												Yıllık
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1970	20.3	21.20	186.00	99.30	120.00	115.0	143.0	144.0	71.9	30.3	20.9	16.3	988
1971	18.0	26.90	35.80	60.80	40.60	75.9	104.0	121.0	45.5	21.3	16.8	13.4	580
1972	13.7	21.40	143.00	32.60	59.60	68.6	142.0	114.0	33.9	19.4	16.1	14.1	678
1973	29.2	23.60	15.60	14.90	29.30	51.0	73.1	74.6	19.8	12.7	11.2	9.4	364
1974	16.8	15.90	40.80	16.60	21.80	96.1	56.4	36.4	15.7	12.6	10.8	9.4	349
1975	11.8	21.70	128.00	107.00	119.00	75.8	181.0	165.0	102.0	32.4	19.6	15.3	979
1976	16.0	41.60	39.00	104.00	68.40	60.7	156.0	169.0	75.9	30.8	20.7	17.0	799
1977	39.1	34.00	133.00	67.10	71.90	60.8	130.0	118.0	43.9	22.8	16.8	15.2	753
1978	13.2	14.20	48.20	121.00	171.00	112.0	139.0	201.0	108.0	36.0	20.9	16.0	1001
1979	67.7	37.70	83.80	265.00	114.00	94.9	154.0	141.0	45.0	21.1	22.1	19.3	1065
1980	20.1	59.10	100.00	175.00	63.00	128.0	192.0	191.0	117.0	42.5	25.2	18.3	1131
1981	17.8	25.60	62.70	224.00	101.00	100.0	148.0	178.0	112.0	38.2	20.6	14.8	1043
1982	13.7	78.90	212.00	114.00	48.30	55.7	115.0	117.0	65.8	30.3	20.2	14.7	886
1983	23.6	16.00	25.50	71.10	71.90	105.0	143.0	156.0	71.0	22.7	15.8	12.8	734
1984	14.3	58.90	141.00	95.20	102.00	77.1	121.0	144.0	71.0	29.3	16.4	13.6	884
1985	11.9	61.00	34.60	85.90	83.00	77.7	131.0	89.0	31.6	17.5	13.1	11.1	647
1986	26.2	153.00	32.70	115.00	72.00	76.5	105.0	62.9	26.5	16.3	14.8	13.6	735
1987	12.8	13.90	65.10	131.00	54.70	154.0	137.0	181.0	162.0	69.5	27.3	19.2	1028
1988	19.1	47.80	61.70	31.30	57.70	142.0	141.0	180.0	79.5	27.5	18.7	16.4	823
1989	29.5	102.00	84.00	76. 00	37.50	79.6	98.7	44.6	19.8	15.0	12.8	11.4	611

Tablo 1.2. (devamı)

Su Yılı	Aylar												Yıllık
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1990	31.2	72.90	136.00	51. 90	112.00	91.1	90.8	74.7	26.0	15.8	13.4	10.8	727
1991	11.6	14.40	29,00	19. 90	26.60	64.1	48.6	29.8	16.4	12.6	11.1	9.9	294
1992	10.8	14.50	87,80	35.30	26.20	47.0	135.0	154.0	60.5	22.5	14.4	11.4	619
1993	11.1	43.80	66,70	39.90	33.90	74.0	122.0	126.0	49.6	20.3	15.2	11.8	614
1994	11.9	21.80	33,40	59.60	64.90	73.1	103.0	59.1	21.0	14.8	12.1	11.0	486
1995	28.5	123.00	73,90	116.00	49.90	82.4	96.1	124.0	56.1	21.6	15.0	12.9	799
1996	13.5	72. 90	33.70	60.40	64.40	95.5	102.0	126.0	38.4	19.7	15.7	14.2	656
1997	23.9	18. 10	61.90	44.40	44.50	30.4	71.3	92.8	27.4	16.0	12.9	11.2	455
1998	21.7	53. 30	140.00	49.70	45.50	56.5	140.0	89.6	28.7	16.8	13.2	12.2	667
1999	15.5	50. 10	152.00	61.80	125.00	89.1	140.0	147.0	56.8	27.5	18.4	14.7	898
2000	13.3	12. 10	34.00	39.10	73.60	56.4	197.0	156.0	48.5	20.1	15.4	12.4	678
2001	19.1	29. 40	50.20	42.30	59.10	87.7	71.2	61.8	21.9	14.7	12.4	11.2	481
2002	10.2	161.00	278.00	161.00	72.40	111.0	150.0	162.0	75.6	26.7	19.0	16.1	1243
2003	15.6	25.00	42.60	72.10	75.90	61.9	137.0	115.0	43.4	21.2	16.6	13.9	640
2004	13.4	18.30	100.00	128.00	78.50	107.0	125.0	106.0	40.5	21.6	17.2	13.9	769
2005	13.2	39.50	26.70	41.70	57.10	82.4	78.3	43.4	22.1	15.3	12.9	11.9	445
2006	14.3	34.60	29.20	36.80	76.90	78.3	121.0	86.7	34.5	18.9	13.7	11.3	556
2007	31.1	119.00	21.50	17.90	36.90	66.6	55.2	29.8	14.7	13.7	11.1	9.2	427
2008	9.3	31.80	144.00	24.60	35.10	64.3	69.8	36.7	16.8	12.6	10.8	11.8	468
2009	11.0	90.30	50.80	165.00	119.00	121.0	172.0	219.0	88.3	29.7	19.9	17.5	1104

Tablo 1.2. (devamı)

Su Yılı	Aylar												
	Ekim	**Kasım**	**Aralık**	**Ocak**	**Şubat**	**Mart**	**Nisan**	**Mayıs**	**Haziran**	**Temmuz**	**Ağustos**	**Eylül**	**Yıllık Toplam**
2010	18.0	105.00	193.00	134.00	114.00	124.0	98.3	66.0	30.2	20.2	16.2	13.9	933
2011	15.6	15.00	157.00	75.10	89.90	104.0	125.0	116.0	48.0	22.4	17.2	15.9	801
2012	34.3	16.20	38.10	165.00	98.10	137.0	178.0	224.0	111.0	47.2	25.9	19.2	1094
2013	24.2	38.30	200.00	88.50	80.60	83.0	131.0	105.0	34.5	20.3	18.0	15.6	839
Ortalama	19.5	47.6	88.0	84.9	72.0	86.2	122.0	117.7	52.9	23.6	16.6	13.8	745

1.2.4. Nüfus ve Sosyo-Ekonomik Durum

Anamur ilçesinde TÜİK verilerine göre 2017 yılında nüfus 64931 olarak belirlenmiştir[4].

Anamur bölgesinin en önemli ekonomik sosyal yapısını tarım ve hayvancılık oluşturmaktadır. Bölgede en çok muz ve çilek üretimi yapılmaktadır. Bu üretim genellikle seralar içinde yapılmaktadır (Şekil 1.9). 2013 yılı TÜİK verilerinden tarımsal üretim miktarına bakıldığında 200133 ton meyve üretimi, 50189 ton sebze üretimi ve 22990 ton tahıl üretimi olmak üzere toplam 273312 ton tarımsal üretimin gerçekleştiği, küçük ve büyük baş hayvan üretimi dahil 89646 ton hayvansal üretim yapıldığı belirlenmiştir [5].



Şekil 1.9. Anamur'da seralarda yapılan muz üretimi.

1.3. Önceki Çalışmalar

1.3.1. Bölgenin Jeolojisi

Güvenç, 1965 yılında Batı Toroslarda yer alan Alanya Napının stratigrafik özelliklerini belirlemiş ve bölgede alttan üste doğru Dimçay mikaşistleri, Obaköy Grubu, Alanya Grubu metamorfik birimleri, Çingenseki ve Maha Formasyonlarını tanımlamıştır [6].

Peyronnet, 1971 yılında Alanya Bölgesinin jeolojisini incelemiş ve Alanya masifini şistli seriler, Permotriyasik karbonatlı topluluk, deniz kıyısına yakın Pliyosen konglomeraları olmak üzere üç seriye ayırmıştır [7].

Demirtaşlı, 1978, 1980, 1987 yıllarında Toros Kuşağının batı ve orta kısımlarında yaptığı jeoloji çalışmalarında Batı Torosların Eosen sonunda, Orta Torosların Üst Paleosen'den önce oluştuğunu belirtmiştir. Kuşakların ikisininde farklı yapısal evrim geçirmesine rağmen her iki kuşakta da Kambriyen Kretase yaşlı metamorfik olmayan çökellerin otokton olması, Orta Toroslar'da Üst Kretase, Batı Toroslarda Paleosen-Eosen yaşlı flişin bulunması gibi benzerliklerin olduğunu belirlemiştir [8, 10].

Ulu, 1983, 1986, 1989 yıllarında Antalya ili Gazipaşa ilçesi ile İçel ili Anamur ilçesi arasında kalan bölgedeki kaya birimlerini Alanya Birliği, Antalya Birliği, Aladağ Birliği ve Örtü Kayaları olarak tanımlamıştır [11, 13].

Öztürk ve diğ., 1995 yılında Orta Toroslarda bulunan Alanya Napı ve Antalya Napını stratigrafik özellikleri açısından incelemişlerdir. Bu çalışma ile birimlerin çoğunun metamorfik karşılıklarının olduğu ve bu durumun Alanya Napı ile Antalya Napının aynı havzada oluşmalarından kaynaklandığını belirlemişlerdir [14].

Usta (2001) Anamur-Bozyazı dolayının jeolojisini ayrıntılı olarak çalışmıştır. Orta Toroslarda bulunan Anamur'un (Mersin) karmaşık bir jeolojik yapıya sahip olduğunu ve inceleme alanında Alanya Napına ait Mahmutlar Birimi, Yalçıtepe İstifi, Hadim Napı ve Örtü Kayaların bulunduğunu gözlemlemiştir [15].

1.3.2. Hidrojeoloji

DSİ (1978) tarafından yapılan çalışmada Anamur ovasının Sultançayı ve Dragon Deresinin beslediği bir delta ovası şeklinde oluşup akifer kalınlığının bu akarsulardan uzaklaştıkça azaldığını belirlemiştir. Sultançayının yaz aylarında tamamen kuruduğunu tespit etmiştir [16]. Alüvyonun yeraltısuyu taşıyan formasyon olup kalınlığının akarsulardan uzaklaştıkça inceldiğini belirlemiştir. Yeraltısuyu akım yönünün yer yer farklılıklar göstermekle birlikte genel olarak kuzeyden güneye olduğu belirlenmiştir[16].

Sunkar (2014) Taşeli platosunun en güney ucunda bulunan ve kaynağını Taşeli platosundan alan Anamur ovasının hidrografik özellikleri ve ekonomik potansiyelini incelemiştir. Anamur'un kuzeyinde bulunan karstik kaynaklardan adını alan Dragon Derenin

kaynaklar ile Akdeniz'e döküldüğü yer arasında çok fazla yükselti farkına sahip olduğunu belirlemiştir [2]. Bu farkın akarsuyun aşağı havzasında Akdeniz, yukarı havzasında karasal iklim özelliklerinin yaşanmasına neden olduğu ve mevsimsel olarak debide yaşanan farka bağlı olarak düzensiz rejim gösterdiği sonuçlarına ulaşılmıştır [2].

Yaren (2013) Anamur (Mersin) kıyı akiferinde yeraltısularının hidrojeokimyasal özelliklerini belirlemiştir. Anamur (Mersin) yeraltısularının Ca-HCO_3 ve Ca-Mg-HCO_3 fasiyesinde olduğu ve bazı yeraltısuyu örneklerinde nitrat, amonyum, potasyum ve florür içeriklerinin TS-266 standardında verilen sınır değerlerinin aşıldığı sonucuna ulaşmıştır [17].

1.3.3. Modelleme Çalışmaları

Çobaner (2009) Göksu Deltası (Silifke-Mersin)'ında yaptığı simülasyon sonucunu günümüz koşullarıyla karşılaştırılmış ve deltada genel olarak yeraltısuyu seviyesinde azalma belirlemiştir [18].

Tufan (2007) Çukurçeşme akiferinin beslenerek geri kazanılabilir özellikte olduğu, 1981 yılındaki durumdan 3000 lt/sn su çekildiğinde akiferin günümüz koşullarındaki durumunun elde edilebildiği sonucuna ulaşılmıştır [19].

Kilit (2010) yılında Tunus'un kuzeyi (Cap-Bon ovası) Cote-Oriantale akiferinde küresel ısınma nedeniyle sıcaklığın artmasına bağlı olarak akiferde yeraltısuyunun azalacağını belirlemiştir [20].

Karahanoğlu, vd. (1995) Erzin Ovası (Hatay) kıyı akiferinin işletilebilmesi için beşi kararlı ikisi kararsız akım rejiminde olmak üzere yedi adet yeraltısuyu işletim modeli geliştirilmiştir [21].

Kulak (2006) Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetinde Karpaz Yeşilköy akiferinde akiferi oluşturan birimin topografyaya ters bir yapı gösterdiği, yeraltısuyu akımının havzanın güney doğusuna karşılık geldiği ve kavramsal model ile gerçek koşullar karşılaştırıldığında su pompalama ile akiferin beslenmesinin uygun olmadığı sonuçlarına ulaşılmıştır [22].

Demiray (2010) İtalya'nın Valco San Paolo bölgesinde yeni ve büyük binaların yapılacak olması nedeni ile hidrojeolojik yapı ve yeraltısuyu akım sisteminin anlaşılması için bir yeraltısuyu akım modeli geliştirmiştir [23].

Özgenç (2002) İzmir (Menemen)'de yeraltısuyu kirlilik modeli oluşturmuş ve bölgede 400 yıl sonra bile kirlilik düzeyinin tehlikeli sınırlarda olmayacağı sonucuna ulaşmıştır [24].

Venetsenanou, vd. (2016) Thermaikos Körfezi (Yunanistan) yeraltısuyunun ana kaynağı olan yağışta 2021-2050 dönemleri için %4'lük, 2050-2071 dönemleri için %22 azalış belirlemişlerdir [25].

Psinaras, vd. (2016) Kosynthos Nehri (Yunanistan)'da yağışta azalış, maksimum ve minumum sıcaklık değerinde ise önemli bir artış elde etmişlerdir [26].

Yang, vd. (2015) Bremerhavende (Almanya) yapılan simülasyon sonuçlarına göre bir kaç yıl içerisinde karaların genişleyeceği, doğal iyileştirmenin 20 yıl süreceği sonucuna ulaşmışlardır [27].

Sherif, vd. (2012) Kalbha ve Fujairahda (Birleşik Arap Emirlikleri)'nde yaptığı çalışmada akiferin güney doğu bölgesinde pompalamanın azaltılması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır [28].

Hatipoğlu, vd. (2009) Mersin-Tarsus kıyı akiferinin besleniminin büyük bölümünün Toroslardaki karstik akiferlerden sağlandığını belirlemişlerdir [29].

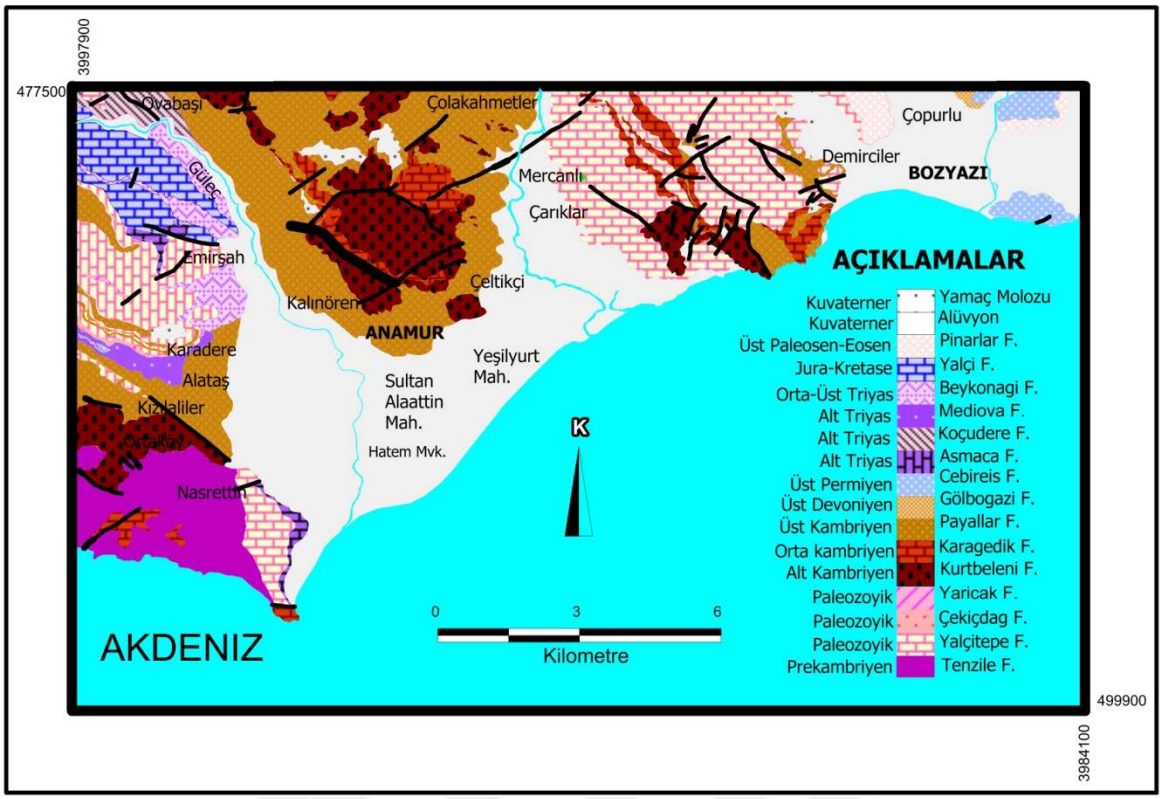
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Jeoloji Çalışmaları

Orta Toroslarda bulunan Anamur Bölgesi karmaşık bir jeolojik yapıya sahip olup inceleme alanında Alanya Napı, Yalçıtepe İstifi, Hadim Napı ve Örtü Kayaları bulunmaktadır [15].

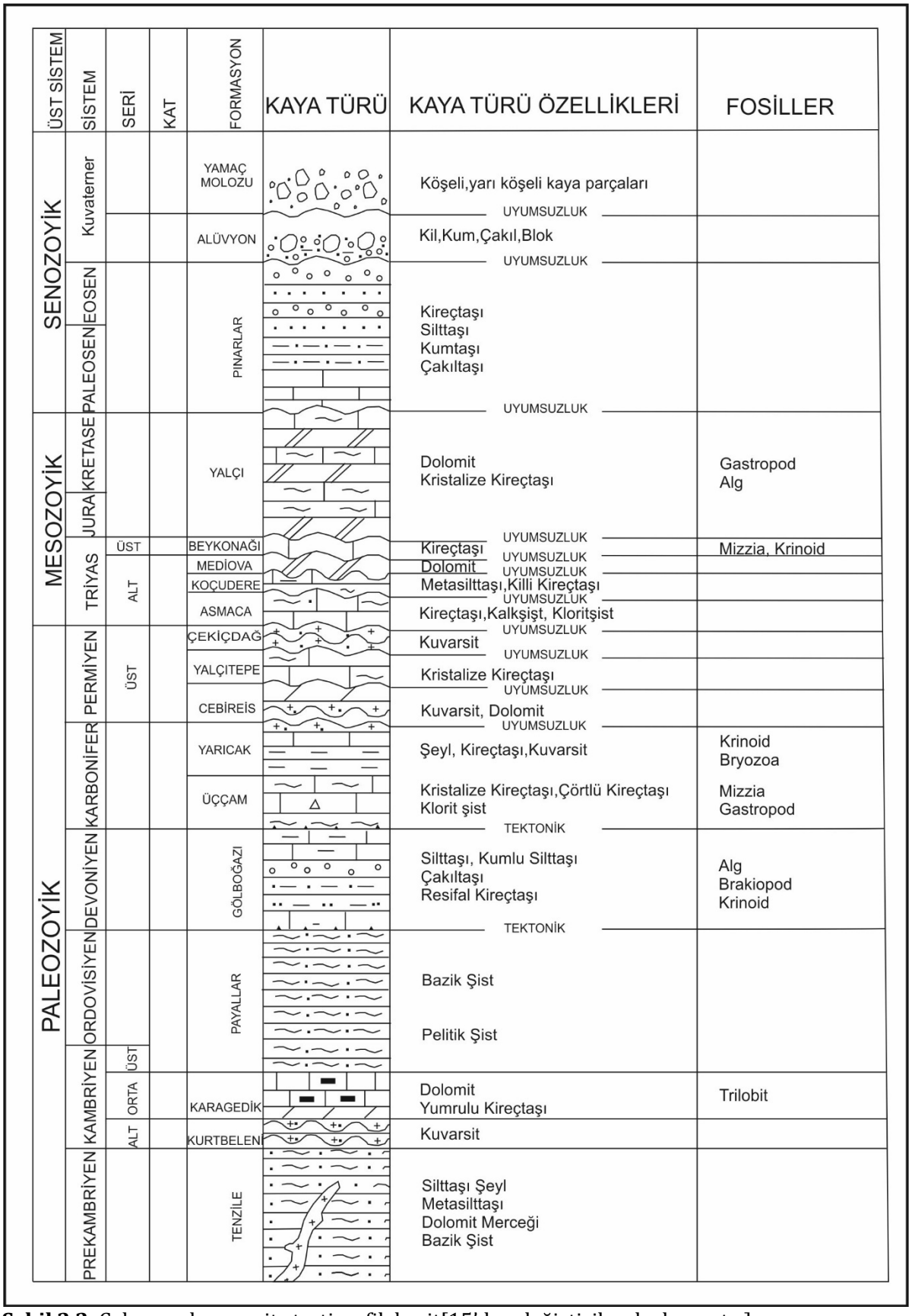
Alanya-Anamur arasında bulunan ve metamorfik kayaç topluluğundan oluşan Alanya Napı çalışma alanını kapsayan P29-c3 ve P29-c4 paftalarında Tenzile Formasyonu, Kurtbeleni Formasyonu, Karagedik Formasyonu, Payallar Formasyonu, Cebireis Formasyonu ve Asmaca Formasyonundan oluşmakta olup Prekambriyen-Alt Triyas yaşlı allokton kaya birimlerini kapsamaktadır [15]. Alanya Napı (Mahmutlar Birimi) üzerine tektonik olarak gelen metamorfik kökenli kayaçlara sahip olan Yalçıtepe İstifinde Üççam Formasyonu, Yalçıtepe Formasyonu, Koçudere Formasyonu ve Yalçı Formasyonu bulunmaktadır. Yalçıtepe İstifi Karbonifer-Kratese zaman aralığında çökelmiş allokton kayaçlardan oluşmuştur [15]. Çalışma alanında Alanya Napını ve Yalçıtepe İstifini tektonik olarak üzerleyen Hadim Napına ait Gölboğazı Formasyonu, Yarıcak Formasyonu, Çekiçdağı Formasyonu, Mediova Formasyonu ve Beykonağı Formasyonu bulunmaktadır. Hadim Napına ait bu formasyonların Devoniyen - Kretase zaman aralığında çökeldiği belirlenmiştir [15]. Alanya Napı ve Hadim Napının üzerine uyumsuz olarak çökelen Örtü Kayalara ait ise yalnızca Pınarlar Formasyonu belirlenmiştir. Pınarlar Formasyonu Paleosen-Eosen yaşlı allokton kaya birimlerinden oluşmuştur [15].

1/25000 ölçekli P29-c3 ve P29-c4 paftalarında yer alan Anamur ve çevresine ait jeoloji haritası Şekil 2.1' de sunulmuştur [15'den değiştirilerek alınmıştır].



Şekil 2.1. Anamur ve çevresinin jeoloji haritası [15 ve 17'den değiştirilerek alınmıştır].

Alanya Napı, Yalçıtepe İstifi, Hadim Napı ve Örtü Kayaların stratigrafik kesiti Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Çalışma alanına ait stratigrafik kesit[15'den değiştirilerek alınmıştır].

Alanya Napı (Mahmutlar Birimi)

Tenzile Formasyonu (pεt)

Prekambriyen yaşlı Tenzile Formasyonu metasilttaşları, kuvarsit ve mermerden oluşmuştur [15].

Tenzile Formasyonu içerisinde yer alan metasilttaşları Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Tenzile Formasyonuna ait metasilttaşları.

Kurtbeleni Formasyonu (εku)

Alt Kambriyen yaşlı Kurtbeleni Formasyonu açık renkli kuvarsit ve kuvars şistlerden oluşmuştur[15].

Kurtbeleni Formasyonu içerisinde yer alan kuvars şistler Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Kurtbeleni Formasyonuna ait kuvars şistler.

Karagedik Formasyonu (ɛka)

Orta Kambriyen yaşlı Karagedik Formasyonu dolomit ve bantlı mermerlerden oluşmuştur [15].

Karagedik Formasyonu içerisinde bulunan dolomitler Şekil 2.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Karagedik Formasyonuna ait dolomit.

Payallar Formasyonu (εOp)

Üst Kambriyen-Ordovisiyen yaşlı Payallar Formasyonu yeşil şist fasiyesindeki şistler olan kuvars-serizit-klorit şist, muskovit-klorit şist, serizit kuvars-şist, pelitik şistlerden oluşmuştur [15].

Payallar Formasyonu içerisinde yer alan muskovit şistler Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Payallar Formasyonuna ait muskovitşişt.

Cebireis Formasyonu (Pcε)

Üst Permiyen yaşlı Cebireis Formasyonu tabanda kuvarsitler üst kısımlarda siyah, koyu gri renkli kristalize kireçtaşı ve kumlu dolomitlerden oluşmuştur [15].

Asmaca Formasyonu (TRas)

Alt Triyas yaşlı Asmaca Formasyonu tabanda klorit serizit kalkşist üst seviyelerde klorit şist, serisit-aktinolit-klorit kalkşist ve kloridli şistlerden oluşmuştur [15].

Yalçıtepe İstifi

Karbonifer-Kretase zaman aralığında çökelmiş allokton konumlu kayaçlardan oluşan Yalçıtepe İstifi Mahmutlar Birimi üzerine tektonik olarak gelmiştir. Yalçıtepe İstifi Üççam Formasyonu (Permo-Karbonifer), Yalçıtepe İstifi (Permiyen), Koçudere Formasyonu (Alt Triyas), Yalçı Formasyonundan (Jura-Kretase) oluşmuştur [15].

ÜççamFormasyonu (PKbü)

Permo-Karbonifer yaşlı Üççam Formasyonu tabanda sarı, yeşil, yeşilimsi gri renkli kuvarsit ve kristalize kireçtaşı bantlı, ince tabakalı metasilttaşları ile başlayan birim üst seviyelere doğru gidildikçe metasilttaşları, kumlu kireçtaşları arada dolomitlerle geçişli kristalize kireçtaşları ve kalkşistlerden oluşmuştur [15].

Yalçıtepe Formasyonu (Pyt)

Üst Permiyen yaşlı Yalçıtepe Formasyonu tabanda kristalize kireçtaşları, üst seviyelere çıkıldıkça dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmuştur [15].

Yalçıtepe Formasyonu içerisinde yer alan metamorfik kireçtaşları aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Yalçıtepe Formasyonuna ait metamorfik kireçtaşları.

Koçudere Formasyonu (TRko)

Alt Triyas yaşlı olan Koçudere Formasyonu tabanda kireçtaşları üst seviyelerde metasilttaşlarından oluşmuştur [15].

Yalçı Formasyonu (JKy)

Jura Kretase yaşlı Yalçı Formasyonu tabanda gri, sarı renkli kum taşları iri kristalli dolomitler, yoğun karstik boşluklu kristalize kireçtaşları ve en üst seviyelerde gri, kirli beyaz renkli çörtlü kireçtaşlarından oluşmuştur [15].

Hadim Napı

Devoniyen-Orta/Üst Triyas zaman aralığında çökelmiş olup şelf türü karbonat, kırıntılı kaya birimlerini kapsayan Hadim Napı, Alanya Napı ve Paleosen-Eosen kayaların üzerine tektonik dokanakla gelip allokton olarak çökelmiştir [15].

Gölboğazı Formasyonu (Dgö)

Devoniyen yaşlı Gölboğazı Formasyonu başlıca kireçtaşı, dolomit, mercekli kuvarsit, şeyl ve silttaşından oluşmuştur[15].

Yarıcak Formasyonu (Cy)

Karbonifer yaşlı Yarıcak Formasyonu başlıca kuvarsit, şeyl ve kireçtaşlarından oluşmuştur[15].

Çekiçdağ Formasyonu (Pc)

Üst Permiyen yaşlı Çekiçdağ Formasyonu başlıca kuvarsitler çörtlü, çatlaklı, killi kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmuştur [15].

Mediova Formasyonu (Trm)

Alt Triyas yaşlı Mediova Formasyonu tabanda sarı, sarımsı pembe bej renkli ince orta taneli ince tabakalı kumtaşı, kumlu killi kireçtaşlarıyla başlamakta olup formasyonun üst seviyeleri ise; gri, sarı, pembe, kahve renkli kalsit dolgulu kumtaşı, kumlu kireçtaşı, çamurtaşı, çakıltaşı ardalanmasından oluşmuştur [15].

Mediova Formasyonuna ait killi kireçtaşları aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Mediova Formasyonuna ait killi kireçtaşları.

Beykonağı Formasyonu (Trb)

Orta Üst Triyas yaşlı Beykonağı Formasyonu tabanda gri, sarımsı gri kumlu kireçtaşı, çamur taşı, killi kireçtaşlarıyla başlayan birim gri, açık gri, bej renkli çatlaklı, kalsit dolgulu dolomit ve dolamitik kireçtaşlarıyla devam etmiştir. Birimin en üst seviyelerinde ise; gri, sarımsı gri yer yer çatlaklı, kalsit dolgulu, orta kalın tabakalı killi kireçtaşı, dolomitik kireçtaşından oluşmuştur [15].

Beykonağı Formasyonuna ait kireçtaşları aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Beykonağı formasyonuna ait kireçtaşları.

Örtü Kayaları

Paleosen-Miyosen-Kuvaterner zaman aralığında Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kayaçları uyumsuz olarak örten kayaçlar gözlenmiştir [15].

Pınarlar Formasyonu (Tpp)

Üst Paleosen Eosen yaşlı Pınarlar Formasyonu başlıca; çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, killi kireçtaşından oluşmuştur [15].

Pınarlar Formasyonuna ait kireçtaşları Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Pınarlar Formasyonuna ait kireçtaşları.

Alüvyon (Qal)

Çalışma alanında bulunan alüvyon çökelleri Paleozoyik-Mesozoyik-Senozoyik yaşlı kil, kum, çakıl, blok büyüklüğünde kaya parçalarının akarsu yataklarında taşınıp biriktirilmesi sonucu çökelmiş, tutturulmuş malzemeden oluşmuştur [15].

Yamaç Molozu (Qym)

İnceleme alanında oluşumu hala devam etmekte olan ince örtü şeklinde görülen çok düşük eğimli yamaçları örten genellikle ana kayalardan koparak aşağı yuvarlanan köşeli, yarı köşeli parçalar yamaç molozunu oluşturmuştur [15].

2.2. Hidrojeoloji Çalışmaları

Anadolu'nun güney ucunda yer alan Anamur ovası 30 km^2 olup DSİ [16] 1978 yılında bu ovada hidrojeolojik çalışma gerçekleştirmiştir.

Ovada derinlikleri 2,5-5,0 metre arasında değişen adi ve sığ kuyular yaygın olarak bulunmaktadır. Sultançayı dolaylarında DSİ tarafından yapılan pompaj çalışmasında transmissivite (T) değerinin 4000 m^3/gün/m olduğu, veriminin 60 lt/sn olduğu belirlenmiştir [16]. Bu değerin Akdeniz'e yaklaştıkça azalacağı tahmin edilmektedir.

1974 Ekim ayı sonunda çalışma alanında DSİ tarafından ova içindeki bazı sığ kuyular ve drenaj kuyularında seviye ölçümleri yapılmıştır [16]. Yapılan incelemede yeraltısularının akış yönünün genel olarak kuzeyden güneye olduğu tespit edilmiştir. Ancak Anamur Ovasında

beslenim ve boşalım şartlarının gösterdiği değişikliğe bağlı olarak Sultançayı ve Dragon Deresi çevresinde yeraltısuyu akış yönünün yer yer değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Anamur Ovasında yeraltısuyu Dragon Deresini beslerken, ovanın güney bölgesinde yeraltısuyu Sultançayını beslemektedir.

Anamur Ovasında yeraltısuyu beslenim ve boşalımı Sultançayı ve Dragon Deresi bölgeleri olarak ikiye ayrılmış ve bu bölgelerin rezervleri ayrı ayrı belirlenmiştir.

Anamur Ovasında Sultançayında yapılan çalışmaya göre yağıştan süzülme miktarı $3 \times 10^6 m^3$/yıl, yüzeysel akıştan süzülme miktarı $2,5 \times 10^6 m^3$/yıl, sulamadan süzülme miktarı 3×10^6 m^3/yıl olup toplamda $8,5 \times 10^6$ m^3/yıl beslenim miktarı hesaplanmıştır. Aynı bölgede yapılan yeraltısuyundan boşalım$7,5 \times 10^6$ m^3/yıl, buharlaşma, terleme ve Akdenize boşalım $1\times 10^6 m^3$/yıl olup toplam boşalım miktarı $8,5 \times 10^6$ m^3/yıl olarak hesaplanmıştır [16].

Dragon Deresinde yapılan incelemede yağıştan süzülme miktarı 2×10^6 m^3/yıl, yüzeysel akıştan süzülme miktarı 2×10^6 m^3/yıl, sulamadan süzülme miktarı 1×10^6 m^3/yıl olup toplam 5×10^6 m^3/yıl olarak hesaplanmıştır. Aynı bölgede yeraltısuyu boşalımı 3×10^6 m^3/yıl, suni boşalım 3×10^6 m^3/yıl, buharlaşma terleme ve Akdeniz'e boşalım 1×10^6 m^3/yıl olup toplam boşalım miktarı 5×10^6 m^3/yıl olarak hesaplanmıştır [16].

Anamur Ovasında beslenim ve boşalım miktarlarından hesaplanan yeraltısuyu bilançosu sonucu her iki akarsuda da beslenim ve boşalım miktarlarının birbirine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir [16].

Anamur Ovasından genel olarak yeraltısuyu sağlanması mümkün olmakla birlikte Yarlağan mevkii ve çevresinde alüvyon kalınlığının az olması, toprak kalitesinin bozuk olması oluşan tuzluluk ve alüvyonun altında hemen şistin olması nedenleriyle Anamur Ovasında Sultançayı ve Dragon Deresine yakın bölgeler dışında yeraltısuyu işletmesi yapılmasına izin verilmemiştir [16].

Bölgede yapılan hidrojeolojik çalışmalar sonucu yeraltısularının işletilmesine uygun alanlar dışında işletme yapılmaması ve tuzluluk kontrolü için deniz kenarına yakın yerlerde yeraltısu analizlerinin sürekli olarak yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Keson kuyuların bölgedeki alüvyonun özelliği dikkate alınarak açılması ve Sultançayı bölgesinde açılmış keson kuyular başta olmak üzere diğer keson kuyularda da daha iyi yararlanma yöntemlerine gidilmesinin gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca Anamur Ovasında derin sondaj kuyusu yerine özellikle dere yataklarına yakın bölgelerde açılacak keson kuyuların daha iyi sonuçlar verebileceği düşünülmüştür [16].

Sunkar, 2014 yılında Anamur'un doğusundan denize dökülen Dragon Deresinin hidrografik özellikleri ve ekonomik potansiyelini araştırmıştır [2].

Yıllık ortalama 24,43 m^3/s düzensiz rejim gösteren karstik kaynaklarla beslenen Dragon Deresi çevresinde yaşanan yerel iklim özelliklerinden dolayı kış mevsiminde yağmurlarla

artmaya başlayan debi, bahar mevsimine gelindiğinde maksimum seviyeye ulaşmakta ve yaz mevsiminde minimum seviyeye düşmektedir. Taşeli Yarımadasının en güney kesimlerinde bulunan, kaynağını Taşeli Platosundan alan Dragon Deresi Akdeniz bölgesinin en önemli kenar akarsularından birini oluşturmuştur. Farklı kaynaklardan beslenip Akdeniz'e dökülen Dragon Deresi kuzeyde Sugözü, Çukurabanoz daha güneyde ise Güney ve Pınarlar derelerinin bileşiminden oluşmuştur. Akarsu yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda yüzeysel akış ve debi yüksek, yoğunluğun az olduğu alanlarda yüzeysel akış ve debi düşüktür. Dragon havzasının kuzey kesiminde karstik yapıdan dolayı akarsu yoğunluğu düşük bulunmuştur. Dragon Deresi kuzey kesimlerde kısa mesafelerde 2000 m'lik yükseklik farkına sahip olduğundan eğimin akarsuyun aşağı kesimlerinde %1 iken yukarı kesimlerde %15 olduğu görülmüştür. Bu durum barajların havzanın yukarı kesimlerine yapılmasına sebep olmuştur. Akdeniz iklimini en iyi yansıtan yerlerden biri olan Anamur fazla miktarda yağış almasına rağmen yağışın aylara dağılımının düzensiz olması yıl içerisindeki akım şartlarının da düzensiz gerçekleşmesine neden olmuştur. Su toplama alanı 313,2 km^2 olan Dragon Deresinin 1969-2000 yılları içerisinde minimum akım miktarı 2,4 m^3/s maksimum akım miktarı 460 m^3/s olarak ölçülmüştür. Yıl içerisinde su bilançosunda yaşanan bu değişim yaz mevsiminde bölgedeki sulama ihtiyacının kış mevsiminde düşen yağıştan sağlanması için Dragon Deresi üzerine 2014 yılında Alaköprü Barajı yapılmıştır [2].

Dragon Deresinin su potansiyelinin Anamur bölgesinin ihtiyacından fazla ve Kıbrıs'a yakın mesafede olması nedeni ile Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetinin içme ve sulama suyu ihtiyacını karşılamak için Alaköprü Barajı yapılmıştır. Bu barajla Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetinin 50 yıllık içme suyu ve 5 bin hektarlık tarım arazisinin sulanması amaçlanmıştır. Alaköprü Barajı ile Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetine yılda 15 milyon m^3 içme suyu ve 60 milyon m^3 sulama suyunda kullanılmak üzere toplam 75 milyon m^3 su taşınması planlanmıştır. Dragon Deresi üzerine Alaköprü Barajı dışında çok sayıda regülatör ve HES yapılmış ve yapılacak olması bölgede sulu tarım alanlarında artış olacağını göstermektedir [2].

Jeoloji, hidrojeoloji, su kimyası, izotop çalışmalarıyla Anamur bölgesinin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesini amaçlayan Yaren (2013) tarafından yapılan çalışmada bölgedeki 20 kuyuda dört dönemde yeraltısuyu seviyeleri ölçülmüştür ve su kimyası analizleri için örnekler alınmıştır. Ölçülen yeraltısuyu seviye değerleri kullanılarak bölgenin yeraltısuyu seviyesi haritası oluşturulmuştur [17].

Yaren (2013) tarafından yapılan çalışmada Kuvaterner yaşlı alüvyon üzerinde bulunan Anamur Kıyı Akiferinde yeraltısuyu akım yönünün güney doğu yönünde olduğu, ölçüm yapılan bazı kuyularda yeraltısuyu seviyesinin deniz seviyesinin altına düştüğü ve bunun tuzlu su girişimine neden olabileceği belirlenmiştir. Ayrıca bölgede yeraltısuyu sıcaklık değişim aralığı 10,8-26,4°C , pH değişim aralığı 7,04-7,83 ve Eİ değişim aralığı 275-924 mikroS/cm ölçülmüştür.

Bölgeden alınan yeraltısuyu örnekleri Piper diyagramına göre sınıflandırıldığında Ca-HCO_3 ve Ca-Mg-HCO_3'lı sular, elektriksel iletkenlik değerlerine göre değerlendirildiğinde ise iyi kullanılabilir ve çok iyi sular sınıfında yer aldığı bulunmuştur. Aynı çalışmada yeraltısuyu örnekleri SAR (Sodyum Adsorbsiyon Oranı)'a göre "çok iyi özellikteki sulama suları" olarak sınıflandırılmış, izotop analizleri ile ise akiferin yerel yağışlardan beslenen kısa yeraltısuyu geçiş süresine sahip olduğunu göstermiştir [17].

2.3. Genel Modelleme Çalışmaları

Göksu Deltasındaki deniz suyu girişimi riskini araştırmak amacıyla 2009 yılında Çobaner tarafından yapılan çalışmada Göksu Deltasını temsil eden farklı derinlikteki 24 kuyunun 2008 su yılı yeraltısuyu seviyeleri ve klorür miktarları ölçülmüştür [9]. Bölgedeki tatlı-tuzlu su ilişkisini tanımlamak için sayısal model geliştirilmiştir. Göksu Deltası (Silifke-Mersin)'ında SEAWAT programını kullanılarak oluşturulan modelde 2008 yılı yeraltısuyu seviyeleri ve toplam çözünmüş madde miktarları kullanılarak dengeli akım koşullarında çalıştırılmıştır. Deniz suyu girişimi ilk olarak yeraltısuyu kullanımının artıp azalmasına göre incelenmiş olup model daha sonra iklim değişimleri ve pompaj etkilerinin değişimine göre çalıştırılmıştır [18].

Yapılan simülasyon çalışmasının ilk aşamasında yeraltısuyu kullanım miktarına bağlı olarak ilk 50 yıllık sürede deniz suyu girişiminin Göksu Deltasının iç kesimlerine doğru 700 metre olacağı belirlenmiştir. Bu sürenin sonunda pompaj miktarı azaltıldığında ise 300.000 gün (822yıl) sonra tekrar günümüz koşullarına geleceği ve Göksu Deltasından girişimin denize doğru 500 metre gerileyeceği tahmin edilmiştir. Simülasyon çalışmasının ikinci aşamasında ise Göksu Deltasındaki iklim değişikliğinin yeraltısuyu miktarına etkisi 2090 yılına kadar olan 20'şer yıllık periyotlar için sıcaklık, deniz seviyesi, beslenme ve pompaj miktarındaki farklı artış ve azalış senaryoları için yapılmıştır. Modelleme sonuçları günümüz koşulları ile karşılaştırıldığında Göksu Deltasında yeraltısuyu seviyesinde azalma, deniz suyu girişiminde ise; artış olacağı belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar değerlendirildiğinde Göksu Deltasındaki yeraltısuyu kullanımının belirlenerek deniz suyu girişiminin kontrol altına alınması ve iklim değişikliğinde meydana gelebilecek senaryolar da düşünülerek yeraltısuyu kullanım stratejilerinin geliştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır [18].

Tufan (2007) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında 21. yüzyılda küresel ısınma sonucu tatlı suların azalacağına var olan kaynaklarda da kirliliğin artması sonucu suyun tüm dünyanın ilgi odağı haline geleceğine dikkat çekilmiştir [19]. İklim koşullarının su kaynaklarını etkileyen en önemli unsur olduğunu ve Akdeniz, Karadeniz, Balkanlar, Anadolu iklimlerinden etkilenen İstanbul'un farklı bir iklim yapısına sahip olduğu belirlenmiştir. Tufan

İstanbul Bakırköy'de son 50 yıldır yaşanan su sorununa bilimsel bir temel oluşturmak amacıyla İstanbul Bakırköy havzasının bilgisayar ortamında üç boyutlu modellemesini yapmıştır [19].

Florya (İstanbul) Devlet Meteoroloji İstasyonundan alınan yağış, sıcaklık ve buharlaşma verilerinden su bilançosu hesaplanmıştır. Yeraltısuyunun akım yönü kuzey-güney olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında kum ve kumtaşından oluşan Çukurçeşme Formasyonu ve killi marnlı kireçtaşından oluşan Bakırköy Formasyonu olmak üzere iki tür formasyon belirlenmiştir Bu formasyonlardan Çukurçeşme Formasyonu için porozite, tane boyu dağılımı, permeabilite, sabit seviyeli permeametre deneyleri yapılmıştır. Çalışmada yeraltısuyu modellemesi için Groundwater Modelling System (GMS) programı altında çalışan MODFLOW programı kullanılmıştır. Çalışmaya konu olan Çukurçeşme Formasyonunda oluşturulan yeraltısuyu modelinin en önemli sonucunu beslenerek geri kazanılabilir özellikte olduğunun tespit edilmiş olması oluşturmuştur. Burada yağışın fazla olduğu dönemlerde suyun belirli noktalarda biriktirilerek doğal depoya aktarılabileceği, atık suların arıtılarak depolanabileceği ve sanayi suyu ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılabileceğinin belirlenmiş olması elde edilen diğer sonuçlardan bazılarını oluşturmuştur [19].

Suyun insan yaşamındaki önemini vurgulayan Kilit (2010) çalışmasında önlem alınmadığında 2025 yılında dünya nüfusunun %40'nın temiz su bulma sıkıntısı çekeceğini vurgulamıştır [20]. Kuraklıktan etkilen bir ülke ve 40000 km^2'lik kıyı şeridine sahip olduğu bilinen Tunus'un kıyı bölgelerinde sulama amaçlı yeraltısuyu çekimi tuzlu su girişimi problemlerinin yaşanmasına sebep olmuştur. Ayrıca tatlı su miktarında azalmalar görülmesi, bölgenin jeoloji yapısının heterojen olması ve akifer sınırlarının düzensiz olması gibi nedenlerden dolayı Tunus'un kuzeyinde bulunan Cap-Bon bölgesindeki Cote Orientale kıyı akiferinde farklı iklim tiplerine göre akiferin 2100 yılına kadar olan tepkisini ölçmek amacıyla bilgisayar modellemesi yapmıştır. Modelde kullanılacak hidrojeolojik parametreler belirlenerek önce tek bir tabaka için daha sonra bu tabaka 9 alt tabakaya bölünerek tuzlu su girişim modeli oluşturulmuştur. Modelden elde edilen tuzluluk değerleri ve yeraltısuyu seviyesi yardımıyla bölgedeki tuzlu su girişimini önlemek amacıyla similasyonlar oluşturulmuştur. Similasyonlar pompaj miktarındaki azalmaya ve 25 yıllık periyotlar halinde 2100 yılına kadar olan iklim değişikliği senaryolarına göre yapılmıştır. Yapılan modelleme sonucu yeraltısuyu akım ve taşınım modelinin en çok yeraltısuyu kullanımından etkilendiği görülmüştür. İklim değişikliğinde ise yüzeysel beslenim ve sıcaklıktaki artışa bağlı olarak içme ve sulama suyu ihtiyacında artışın daha çok yeraltısuyu kullanımına sebep olacağı belirlenmiştir [20].

Karahanoğlu vd. tarafından 1995 yılında Erzin Bölgesinde (Hatay) kıyı akiferlerinin tatlı su-tuzlu su girişiminin zamana ve yerel koordinatlara göre olan hareketini ve bu mekanizmanın farklı koşullar altındaki davranışını incelemek amaçlarına yönelik bir çalışma yapılmıştır [12]. Tatlı su-tuzlu su yayılımını kontrol eden bir mekanizma esas alınarak yapılan bu modelleme

çalışması kıyı akiferindeki tuzlu su girişimini izlemek amacıyla oluşturulmuştur. Yapılan modelleme çalışmasında esas alınan kriterleri su talebinin karşılanması, pompaj ile düşüm arasındaki ilişki, kontrol noktalarındaki ve pompaj kuyularındaki maksimum kabul edilebilir düşüm değerleri ve minimum maksimum pompaj değerleri oluşturmuştur. Sonlu elemanlar sayısal modelleme tekniği kullanılarak 5 dengeli 2 dengesiz akım rejimi için yapılan benzeşim çalışmasının sonucu olarak tatlı su-tuzlu su girişim kamasının çok derinlerde olabileceği sonucuna varılmıştır. Havzada yapılan pompaj miktarı artıkça düşümünde arttığı gözlenmiştir. Bu yüzden Erzin ovasında optimum koşullarda pompalama yapılması uygun görülmüştür. Ayrıca 1990 yılındaki şartlara göre optimum pompaj maliyeti ile gerçek pompaj maliyeti karşılaştırılmış optimum pompaj maliyetinin toplam pompaj maliyetinin yarısına denk geldiği sonucu elde edilmiştir. Diğer yandan Erzin ovasında kıyı boyunca geliştirme yapılamayacağı, yeraltısuyu pompaj miktarının havzanın kuzeyinde, kuzey batısında ya da kuzey doğusunda yapılmasıyla akiferin geliştirilebileceği düşünülmüştür [21].

Küresel ısınmanın sonucu olarak yeraltısularının beslenmesinin azalması var olan yeraltısularının kontrolsüz ve bilinçsiz kullanımının birçok Akdeniz ülkesi gibi kurak, yarı kurak iklim koşullarının Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde de hüküm sürmesine neden olmuş ve yaşanan su sorunun önemini arttırmıştır. Kulak (2006) tarafından Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde bulunan Karpaz Yeşilköy akiferinde üç boyutlu hidrojeolojik modeli ortaya koymak amacıyla bir çalışma yapılmıştır [22]. Bu çalışma son 50 yıldır bu bölgede çok önemli su sorunlarıyla karşı karşıya kalınmasına rağmen bu konuda yapılan ilk çalışma olması sebebiyle ayrıca önem taşımaktadır. Çalışmada ilk olarak bölgeye ait topoğrafik harita, jeolojik ve meteorolojik veriler elde edilmiş olup ikinci olarak modellemede kullanılacak olan veriler modele uygun hale getirilmiştir. Ardından çalışılan bölgenin genel stratigrafisi, hidrojeolojik bilgileri hazırlanmış son olarak tüm veriler Groundwater Modeling System (GMS) programına aktarılarak Karpaz bölgesinin üç boyutlu hidrojeolojik modeli hazırlanıp değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmelerin sonucu olarak Karpaz bölgesine Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetinin geneline göre ortalamanın üzerinde bir değerde yıllık toplam yağış düşmesine rağmen akiferi oluşturan birimin topografyaya ters bir yapı göstermesinden dolayı modellemede yeraltısuyu akımının havzanın güney doğu kısmında yoğunlaştığı görülmüştür. Havzada su pompalama ile akiferin beslenmesi uygun görülmemiş ve havzanın doğal yağış miktarlarından beslenimlerine bakıldığında ise akiferin işletmecilik açısından çok yetersiz olduğu sonucu elde edilmiştir [22].

Demiray (2010) İtalya'nın Valco San Paolo bölgesinde yeni ve büyük binaların yapılacak olması nedeni ile hidrojeolojik yapı ve yeraltısuyu akım sisteminin anlaşılması için bir yeraltısuyu akım modeli geliştirmiştir. Ayrıca yapılan bu modelin bölgedeki jeotermal sistemin araştırılması için de kullanılması planlanmıştır [23].

Özgenç'in 2002 yılında yapmış olduğu çalışmasının amacını bilgisayar programı temelinde güçlü sayısal çözüm teknikleri aracılığıyla yeraltısuyu kirliliğini incelemek oluşturmuştur. Çalışması sırasında ilk olarak yeraltısuyu kirliliğini tanımlayan Özgenç daha sonraki aşamalarda kirlilik taşınım mekanizması, kirlilik taşınımının temel denklemlerini araştırıp çeşitli sayısal çözüm yöntemlerini gözden geçirmiş ve MODFLOW yazılımı hakkında açıklamalar yapmıştır. Daha sonra Harmandalı düzenli depolama alanına ait verileri MODFLOW programında elde ettiği sayısal sonuçlara göre yorumlamıştır. Harmandalı düzenli depolama alanında MODFLOW programı kullanılarak yapılan çalışmada programın hesapladığı sayısal sonuçlar aracılığıyla Harmandalı köyünde 400 yıl sonra dahi tehlikenin görülmeyeceği tespit edilmiştir [24].

Kuzey Yunanistan Thermaikos Körfezinde Venetsanou vd. 2016 yılında yeraltısuyunun ana kaynağının yağış olduğu ve gün geçtikçe yeraltısuyuna talep arttığı için gelecekteki iklim değişimini değerlendirmek ve Genel Dolaşım Modeli (GMC) ile Bölgesel İklim Modeli (RCM)'nin iklim senaryolarını geliştirmek istemiştir. Bu amaçla yaptığı çalışmada dünya çapında yeraltısuyu akışının ve akiferin su bütçesinin simülasyonunu gerçekleştiren bilgisayar programı olarak bilinen MODFLOW programını kullanmışlardır. Kuzey Yunanistan Thermaikos Körfezinde yapılan bu çalışmada ayrıca körfezin doğu kısmındaki yağışın kıyı akiferini beslemeye olan etkisi de tahmin edilmiştir. Yapılan simülasyona göre çıkan negatif yeraltısuyu bütçesi Kuzey Yunanistan Thermaikos Körfezinde deniz suyu girişimi olduğunu kanıtlamıştır. Çalışmada kıyı akiferinde mevcut deniz suyu girişiminin $3.36x10^6$ m^3yr^{-1} olduğu gelecekte ise deniz suyu girişiminin doğu ve kuzey doğu komşu bölgelerden artacağı özelliklede 2071-2100 periyodunda $4.9x10^6m^3yr^{-1}$ ulaşacağı tahmin edilmiştir. Çalışma alanında yağışın azalması ile akiferin beslenmesinin de azalacağı bu azalmanın RegCM3 (Regional Climate Model System) projeksiyonuna göre 2021-2050 periyodu sırasında mevcut yağıştan %4 oranında, 2071-2100 yılları arasındaki dönemde ise bu azalışın % 22 oranında olacağı belirlenmiştir [25].

Yunanistan'ın Kuzeydoğusu Kosynthos Nehri havzasında yaklaşık 440 km^2'lik bir alanda Pısınaras tarafından 2016 yılında gelecekte yaşanacak olan iklim değişikliğinin su kaynaklarına olan etkisini araştırmak amacıyla yapılan çalışmada iklim değişikliği senaryoları Küresel İklim Modeli (GCM) veya Bölgesel İklim Değişimi (RCM) modellerinde Kümülatif Dağılım Fonksiyonu (CDF) kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler 1981-2000 yılları arasındaki yağış (mm), minimum ve maksimum sıcaklık (°C) olup çalışmada Akdeniz bölgesi için 2041-2070 yıllarındaki iklim değişimine bağlı olarak minumum ve maksimum sıcaklık ile yeraltısuyu seviyesindeki değişim karşılaştırılmıştır. Genel olarak iklimin sıcaklığın artışı yönünde bir değişiklik göstermesi sonucu yeraltısuyu seviyesinde azalma, akiferlerin güney ve doğu sınırından gelen yüksek tuz içeriği ile yanal akışta artış sonucu yeraltısuyu kalitesinde bozulma olacağı tespit edilmiştir [26].

Yang vd. 2015 yılında Almanya'nın Kuzeyi Bremerhaven bölgesinde gelecekte kıyı akiferlerinde iklim değişiminin gözlenmesine yönelik olarak deniz seviyesindeki yükselmenin bölgedeki Weser Nehrine olan etkilerini gözlemlemek amacıyla bu çalışmayı yapmıştır. Üç boyutlu sayısal modelleme programı HydroGeoSphere kullanılmıştır. Çalışmada 2009 yılına ait yeraltısuyu seviyesi tanımlanmış olup kıyı akiferlerindeki akış üç boyutlu yüzey-yeraltı suyu ilişkisi yaklaşımıyla simüle edilmiştir. Gelecek projeler için yeraltısuyu seviyesi ve konsantrasyonun belirlenmesi planlanarak yapılan çalışmada deniz seviyesinde oluşan ortalama 1 m yükselmenin yeraltısuyu seviyesinde 80 cm yükselmeye neden olacağı sonucuna ulaşılmıştır [27].

Birleşik Arap Emirliklerine yıllık ortalama 110 mm yağmur düşmesi ve aşırı pompalama yüzünden yeraltısuyu kaynaklarında Kalbha ve Fujariah kıyısında Wadi Ham akiferinde deniz suyu girişimi problemi sorun olmuştur. Bu konuyla ilişkili olarak Sherif vd., 2011 yılında Wadi Ham akiferinde yeraltısuyunun akış simülasyonunu sağlayan MODFLOW programını kullanarak yeraltısuyu pompalamasının farklı senaryolarını değerlendirmiştir. Model kalibrasyonu ve doğrulaması yapıldıktan sonra MODFLOW programına eklenebilen deniz suyu girişim simülasyonu için olan MT3D yazılımı kullanılmıştır. Yapılan bu çalışma sonunda Kalbha kuyu alanında pompalamanın azaltılmasının Wadiham akiferinin güney doğusunda deniz suyu intrüzyonunu azaltacağı sonucuna ulaşılmıştır [28].

Hatipoğlu vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada Mersin-Tarsus Kıyı Akiferinde yeraltısuyu sisteminin karekterizasyonunun yapılması için hidrojeokimyasal ve çevresel izotop verileri toplanmış ve bu veriler jeolojik ve hidrojeolojik veriler ile birleştirilerek bölgeye ait kavramsal bir model oluşturulmuştur. İzotop verileri ile kıyı kesimindeki yeraltısularının büyük oranda Toros Dağlarından beslendiğini ancak yerel yağışlarında akifer beslenimine katkısı olduğunu belirlemişlerdir. Kavramsal modelin geçerliliği dengeli akım koşullarında sayısal yeraltısuyu akım modeli ile test edilmiştir. Modelleme sonuçları kavramsal model ile uyumlu olarak akifer siteminin besleniminin %90'nın Toros Dağlarından derin karstik akış ile sağlandığını göstermiştir [29].

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Yeraltısuyu Modellemesi

Model, gerçek sistemin basitleştirilerek sunumu olarak ifade edilmektedir [30]. Yeraltısuyu sisteminin bulunduğu bölgedeki hidrojeolojik ve jeolojik özelliklerin matematiksel denklemler kullanarak simülasyonunu yapan gösterim modelleme olarak tanımlanmaktadır [31]. Yeraltısuyu sisteminin araştırılmasında kavramsal modellerden yararlanılmaktadır. Kavramsal modeller statik olup sistemin mevcut durumunu ifade etmektedir [32].

3.1.1. Processing MODFLOW Programı

Akiferin iki ve üç boyutlu karmaşık ve kapsamlı modelinin yapılabildiği bir bilgisayar programı olan MODFLOW modellenen bölgenin özelliklerini dikkate alan ve sonlu farklar yöntemini kullanan bir modelleme programıdır [31] .

Programın oluşumunu yeraltısuyu akışını tanımlamak, yüzey suyu-yeraltısuyu etkileşimini açıklamak, yeraltısuyunun bölgesel etkilerini gözlemlemek üzere yapılmış olan çok sayıda duyarlılık analizleri ve matematiksel hidrojeolojik modelleme çalışmalarının bulunması başlatmıştır [33]. Bunu 1976 yılında Trescod vd. [34] akifer benzeşiminde sonlu farklar modelini kullanarak sayısal çözümler üretmiş olması, 1988-1996 yıllarında Mc Donald ve Harbaugh'un modüler sonlu farklar akım modeli olan MODFLOW yazılımını geliştirmesi izlemektedir [35].

Bu model programının en önemli özelliklerinden birisi de benzer programlar ile birlikte kullanılabilir olmasıdır. MODFLOW programı içerisinde bulunan alt programlar birbirinden bağımsız hareket edebilmektedir. Ayrıca programda ihtiyaç duyulduğunda yeni alt programlar eklenerek iki veya üç boyutlu uygulamalar için kullanılabilmektedir [34].

Birbirinden ayrı modüller dizisi şeklinde kurulmuş MODFLOW programının model oluşturması sırasında sadece ihtiyacı olan modülleri seçen bir akış programı bulunmakta ve model beslenme, buharlaşma-terleme, alansal beslenim, kuyulara akış ve akarsu yataklarından akışı benzeştirmektedir. Yalnızca üniform sıcaklık ve yoğunluğa sahip gözenekli ortamda doygun akışta ve basınçlı, yarı basınçlı ve serbest akifer ortamlarında benzeşim yapabilen MODFLOW programı blok merkezli sonlu farklar modelidir. Ayrıca gözenekli katmanların istiflendiği durumlar için üç boyutlu olup her katman için aynı x-y nokta ağında ve aralığında olma şartı bulunmaktadır [32].

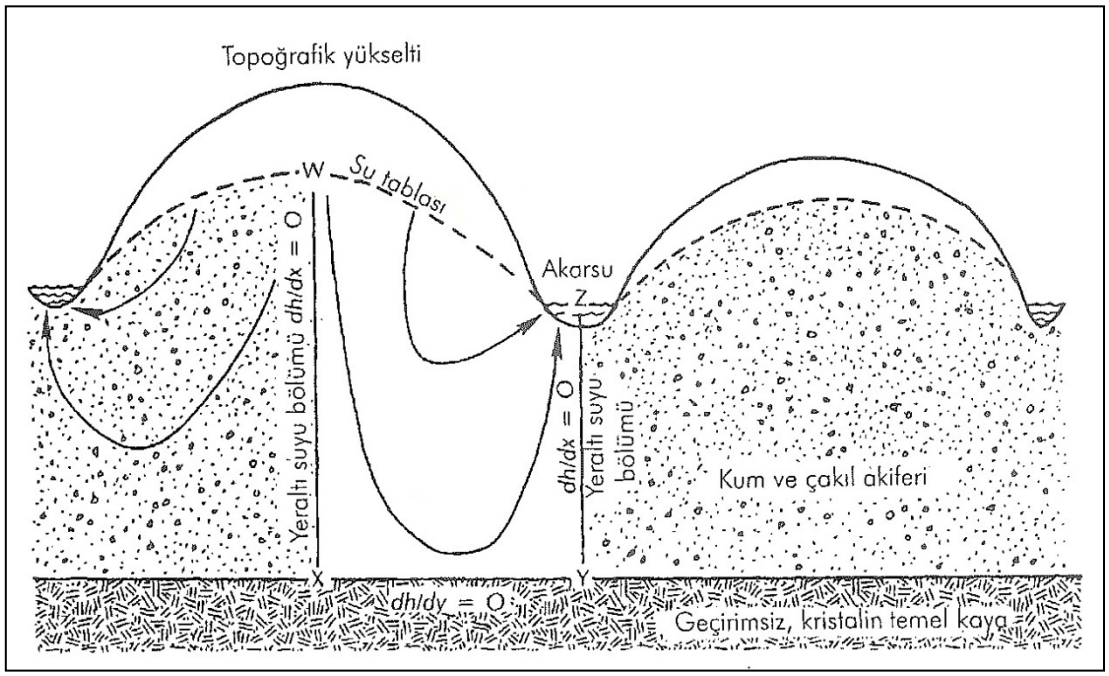
3.1.2. Modelleme için Gerekli Veriler

Yeraltısuyu akış sisteminin modellenmesi için en önemli aşama modelleme yapılacak havzaya ilişkin ihtiyaç duyulan verilerin sağlanmasıdır.

Yeraltısuyu akış sisteminin sınır şartlarının belirlenmesi havzada bulunan akiferlerin ve geçirimsiz katmanların konumu, alansal yayılımı, kalınlığı ile kuyuların, göllerin ve akarsuların lokasyonları gibi veriler yapılan tüm model çalışmaları için gerekli olan verileri oluşturmaktadır. Modelleme yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan bir diğer veri akiferin serbest akifer veya basınçlı akifer olması durumuna göre değişim gösteren su tablası ve basınç yüzeyi verileridir.

Model bilinen su tablası veya basınç yüzeyi verilerine en yakın sonuçları üretene kadar model kalibrasyonu yapılmalıdır. Bunu modelin dengesizlik tepkisini bulmak amacıyla tarih çakıştırması yoluyla yapılan model doğrulama işlemi takip etmektedir. Bu işlem çok zaman alması ve maliyetinin yüksek olması gibi nedenlerden dolayı pek tercih edilmemektedir.

Yeraltısuyu akım sistemini çözmek için ilk olarak akiferin sınır koşulları belirlenmelidir. Sınır koşulları akış bölgesindeki yükün bilindiği durumda Dirichlet sınır şartı, akış bölgesinde sınırı geçen akışın bilindiği durumda Neumann sınır şartı olarak uygulanmaktadır. Bazı bölgelerde ise; sınır şartları havzanın bazı yerlerinde belirli yüke, bazı yerlerinde belirli akışa göre tanımlanmaktadır. Aşağıdaki örnekte sınır şartı geçirimsiz bir temel kayayı üzerleyen kum ve çakıl akiferi gösterilmektedir (Şekil 3.1) [32].



Şekil 3.1. Bölgesel bir akiferde sınır koşulları [32].

Şekil 3.1' de gösterilen örnekte W, X, Y ve Z sınırlanmış bölgedeki bölgesel akışı göstermektedir. Yeraltısuyu bölümünü geçen akışın mevcut olmadığı şekilde W-X düzlemi yeraltısuyu bölümünü, Z-Y düzlemi akışın bulunmadığı yeraltısuyu bölümünü, X-Y düzlemi kum çökelinden temel kayaya doğru olan akışın olmadığı bölümü ifade etmektedir. Bu bölümlerde bulunan sınır şartları sırasıyla dh/dx=0, dh/dx=0 ve dh/dy=0 olup Neumann sınır şartına karşılık gelmektedir.

Su tablasının üst sınırı olan W-Z yüzeyi sınır koşulları ise; sınır şartları sabit olarak tanımlanan yükte zamanla değişimin olmadığı Dirichlet sınır şartı olarak tanımlanabileceği gibi farklı beslenme miktarları belirlenerek Neumann sınır şartı olarak da çözümlenebilmektedir [32].

3.1.3. MODFLOW Programında Çözümleme

Yeraltısuyu akımını diferansiyel denklemleri kullanarak çözen MODFLOW programında çalışılan bölge küçük kontrol hacimlerine bölünerek, her bir kontrol hacmi için matematiksel hesaplamalar yapılmakta ve sonuçta oldukça hassas değerler elde edilmektedir [33].

Genel olarak yeraltısuyu akışı, çözünenin taşınımı, ısı akışı ve akiferin deformasyonu gibi dört tipteki probleme uygulanan aynı zamanda sayısal yeraltısuyu modeli olduğu bilinen MODFLOW programında yeraltısuyu akışının temel eşitliği ile çözüme başlanmaktadır. Yeraltısuyunun temel eşitliği denklem (1) ile tanımlanmaktadır.

$$K(\partial^2 h/\partial x^2 + \partial^2 h/\partial y^2 + \partial^2 h/\partial z^2) = (\alpha\beta\rho_w g)\frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

Burada;

h: Hidrolik yük (L)
∂x : Kontrol hacminin bir kenarının uzunluğunu (m)
∂y : Kontrol hacminin bir kenarının uzunluğunu (m)
∂z : Kontrol hacminin bir kenarının uzunluğunu (m)
α : Malzemenin sıkışabilirliğini
β : Suyun sıkışabilirliğini
ρ_w: Suyun yoğunluğunu (kg/m^3) ifade etmektedir.

Aynı zamanda akiferdeki yük dağılımının çözümünü ifade eden denklem (1) yeraltısuyu akışı, çözünenin taşınımı, ısı akışı, akiferin deformasyonu modeli için denklemler ekleyerek

tanımlamak istediği modeli oluşturmaktadır. Aşağıda verilen denklemler yeraltısuyu akışının modellenmesi için verilen denklemleri oluşturmaktadır.

Akiferin besleniminin olmadığı dengeli akım koşullarında sonlu farklar denklemi (Laplace eşitliği)];

$$h_{i-1,j} + h_{i+1,j} + h_{i,j-1} + h_{i,j+1} - 4h_{i.j} = 0 \quad (2)$$

Denklem (2) h_{ij} için çözüldüğünde;

$$h_{i,j} = \left(\frac{1}{4}\right)(h_{i-1,j} + h_{i+1,j} + h_{i,j-1} - 4h_{i,j+1}) \quad (3)$$

h_{ij} dört tane birbirine çok yakın yüklerin ortalaması olmaktadır.

Akiferin beslenmediği dengeli durumda sonlu farklar eşitliği Poison denkleminden hesaplandığında;

$$\frac{(h_{i-1,j}-2h_{i,j}+h_{i+1,j})}{(\Delta x)^2} + \frac{(h_{i,j-1}-2h_{i,j}+h_{i,j+1})}{(\Delta y^2)} = -R/T \quad (4)$$

denklemi elde edilmektedir. Denklemdeki;
Δx ve Δy: x ve y yönlerindeki düğümler arasındaki mesafeyi
R: Beslenmeyi (L; m)
T: Akiferin iletimliliğini (L^2/T; m^2/gün)
h: Hidrolik yükü (L; m) ifade etmektedir.

Tekrarlanmalı yöntemler kullanılarak çözülen sonlu farklar eşitliği sabit yük değerine dayanılarak başlangıç tahminleri toplanıp dört düğümün etrafındaki değerlere göre denklem (2)'de her düğüm için çözülmektedir. Kalan bitişik düğümlerin değerleri bilgisayar programında sonlu farklar noktalar ağı aracılığıyla her bir düğüm için düğüm yükü yeniden hesaplanıp başlangıç tahminleri ile yeniden hesaplanan yük arasındaki fark belirlenmektedir. Bu süreç daha önce tanımlanmış olan yaklaşım kriteri değerinden küçük oluncaya kadar tekrarlanmaktadır. Yaklaşım kriteri değeri azaldıkça tekrarlanma süresi artmaktadır.

İki bitişik yükteki tekrarlanmalar sırasında Gauss-Seidel iterasyon yöntemi kullanılabilir. Laplace denklemi için Gauss-Seidel denklemi aşağıda verilmektedir.

$$h_{i,j}^{m+1} = \left(\frac{1}{4}\right) + (h_{i-1,j}^{m+1} + h_{i,j-1}^{m+1} + h_{i+1,j}^{m} + h_{i,j+1}^{m}) \quad (5)$$

Denklemde;

m: İterasyon öncesi hesaplanan bir değeri

m+1: İterasyon sırasında hesaplanan bir değeri ifade etmektedir.

Δx=Δy olan bir nokta ağında Gauss-Seidel iterasyon yöntemi Poisson denklemine uygulanırsa;

$$h_{i,j}^{m+1} = \left(\frac{1}{4}\right)\left(h_{i-1,j}^{m+1} + h_{i,j-1}^{m+1} + h_{i+1,j}^{m} + h_{i,j+1}^{m} + \frac{\Delta x^2 R}{T}\right) \quad (6)$$

denklemi elde edilmektedir.

Hidrolik yük akiferin dengesiz akım gösterdiği durumlarda akiferin bir fonksiyonu olmaktadır.

Akiferin dengesiz akım gösterdiği durumlarda üç boyutlu akış denklemi

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S}{T}\frac{\partial h}{\partial t} \quad (7)$$

ile gösterilmektedir [35]. Bu denklem doygun olmayan akiferlerde yükteki değişimlere bağlı olarak akiferin doygun olmayan kalınlığının değişmesi sonucu iletimliliğin zamanla değiştiği durumlarda uygulanmaktadır.

Denklem (7) kullanılarak dönüşümlü yön yöntemiyle oluşturulan tamamen dolaylı sonlu farklar yaklaşımı denklemi

$$h_{i+1,j}^{n+1} + h_{i-1,j}^{n+1} + h_{i,j}^{n+1} + h_{i,j}^{n+1} - 4h_{i,j}^{n+1} = \left[\left(\frac{1}{T}\right)(Sa^2)\right]\left[\left(\frac{1}{\Delta t}\right)\left(h_{i,j}^{n+1} - h_{i,j}^{n}\right)\right] \quad (8)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada;

S: Depolayabilmeyi (boyutsuz)

T: İletimliliği (L^2/T; m^2/s)

Δt: Zaman adım uzunluğunu

a=Δx=Δy: Sonlu farklar noktalar ağının boyutlarını

h: Hidrolik yükü (L)

n: Zamanın n'inci adımını ifade etmektedir.

Zaman adım sayacı alt simge n ile tekrarlanma adım sayacı m ile gösterildiğinde i sütununda n+1 zaman adımındaki yük denklem 9'dan bulunmaktadır.

$$h_{i,j-1,n+1}^{m+1} + [-4 - (Sa^2)/(T\Delta t)]h_{i,j,n+1}^{m+1} + h_{i,j+1,n+1}^{m+1}$$
$$= [(-Sa^2)/(T\Delta t)]h_{i,j,n} - h_{i+1,j,n+1}^{m} - h_{i-1,j,n+1}^{m+1} \quad (9)$$

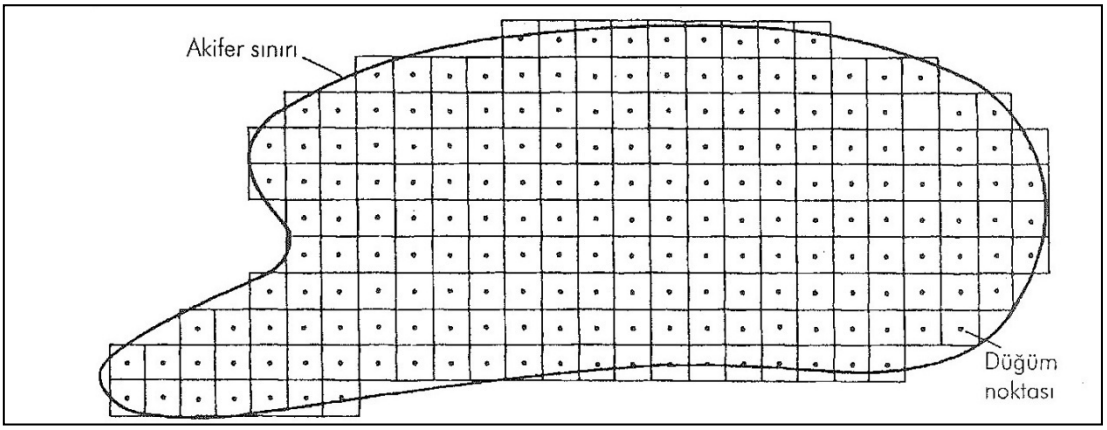
Bir sonraki tekrarlanma olan m+2 çözüm satırında n+1 zaman adımındaki yük denklem 10'dan bulunmaktadır.

$$h_{i,j-1,n+1}^{m+2} + \left[-4 - \frac{Sa^2}{T\Delta t}\right] h_{i,j,n+1}^{m+2} + h_{i,j+1,n+1}^{m+2}$$
$$= \left[\frac{-Sa^2}{T\Delta t}\right] h_{i,j,n} - h_{i,j+1,n+1}^{m+1} - h_{i,j-1,n+1}^{m+2} \quad (10)$$

Yukarıda verilen denklem Gauss-Seidel'de olduğu gibi iteresyonlu çözümle birleştirildiğinde yük önce sütunlar ardından satırlar boyunca belirlenmektedir. Sonlu farklar nokta ağındaki her noktanın her zaman aralığındaki yük yaklaşım kriterinden daha küçük değer elde edilinceye kadar her iki tekrarın sonunda yaklaşım kriteri kontrol edilerek çözülmektedir. Bu şekilde program tüm noktaların önce kolonlarını ardından satırlarını tarayıp bir sonraki adıma geçerek ilerlemektedir. Program tarafından yapılan akiferin dengesiz akım durumunda yaptığı tüm bu çözüm işlemleri denge durumunda yapılan çözüm işlemlerinden daha çok zaman almaktadır [32].

3.1.4. MODFLOW Programında Sonlu Farklar Noktalar Ağı

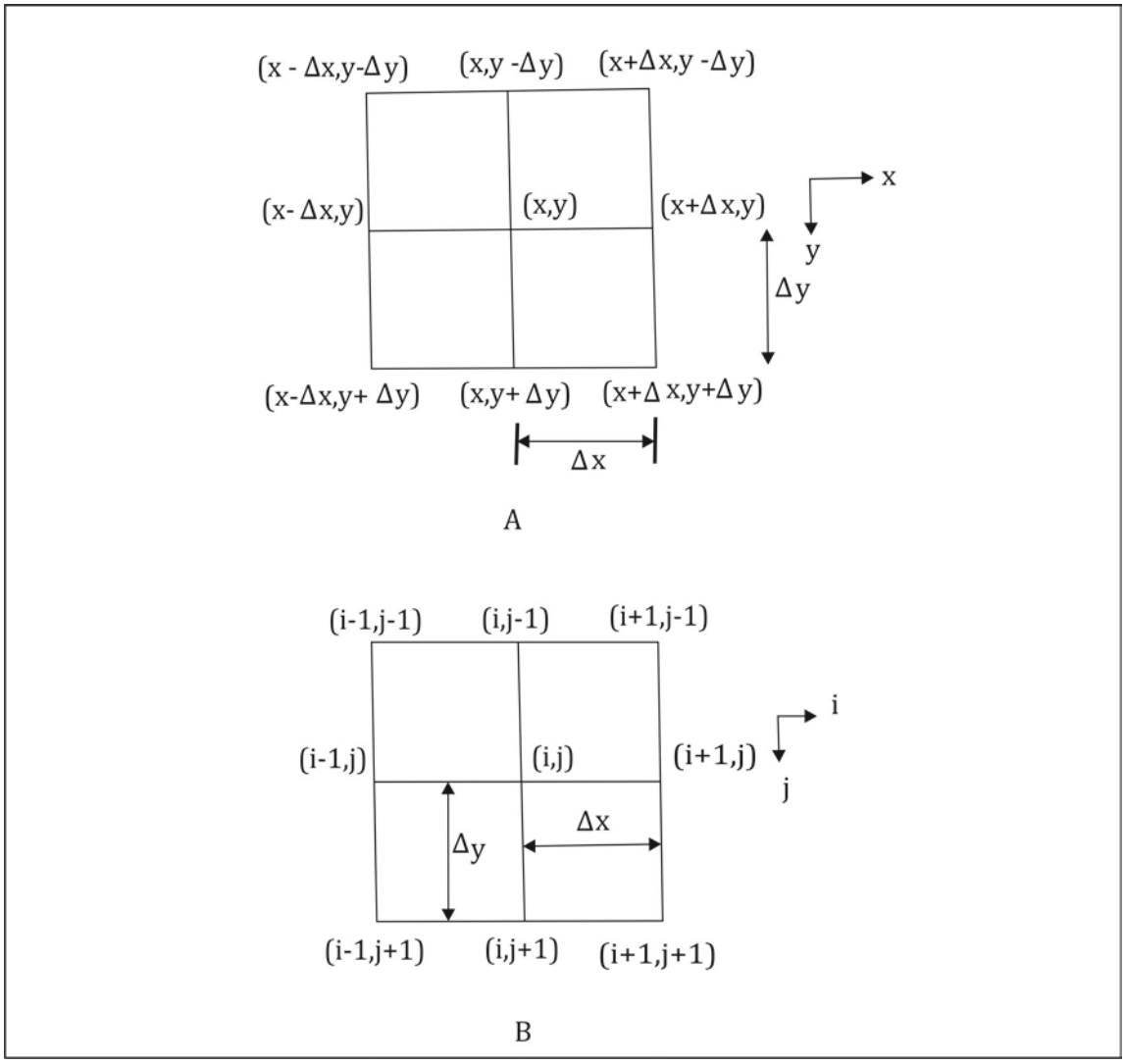
MODFLOW programına denklemlerin taşınması sonlu farklar gridlerinin yaratılması ile mümkün olmaktadır [36]. Blok merkezli ve köşe merkezli olarak tanımlanan sonlu farklar nokta ağının blok merkezli sonlu farklar modelini kullanan MODFLOW'da akifer sınırının tanımlanması için her noktanın özelliği bilinmelidir. Nokta ağının merkezine düşen yerler düğüm noktalarının bulunduğu yerler olmakla birlikte bu noktalara düşen değerler bilinmeyen değerlerin elde edilebilmesi için denklem çözümlerinde yararlanılan yerleri oluşturmaktadır. Şekilde gösterilen blok merkezli nokta ağının ortasına düşen yerler düğüm noktalarını oluşturmaktadır (Şekil 3.2) [32].



Şekil 3.2. Blok merkezli sonlu farklar noktalar ağı [32].

Düğüm noktalarıyla bağlantılı olan diğer değerler akiferin iletimlilik ve depolayabilme gibi parametreleri olduğu bilinmektedir. Blok merkezli sonlu farklar noktalar ağı birbirine eşit x yönündeki satırlar Δx ve y yönündeki kolonlar Δy'den oluşmakta olup bir kolon veya bir satırdaki (Δx veya Δy) farkın boyutu %50 - %30 arasında değişmelidir. Farkın boyutunun dereceli olarak değişmesi burada ön görülen en iyi yöntem olarak bilinmektedir.

Her bir nokta ağının sağa ve sola doğru bitişiğindeki Δx mesafesi sağa doğru, yukarı veya aşağı doğru bitişiğindeki Δy mesafesi aşağı doğru pozitiftir. Bu ilişkide MODFLOW programında sütunları i'nin, satırları j'nin temsil ettiği düşünüldüğünde i için notasyon sağa doğru, j içinse aşağı doğru pozitif değer almaktadır (Şekil 3.3) [32].



Şekil 3.3. A. Sonlu farklar noktalar ağı notasyonu B. MODFLOW programında sonlu farklar noktalar ağı notasyonu [32].

Programda hesaplanan her tekrar iterasyon olarak adlandırılmaktadır. İterasyon metodu ilk olarak deneme çözümü ile başlamaktadır. Bu işlemde denklem sistemine çok yakın değerler elde etmek için ilk çözüm hesaplanarak ara çözüm hesaplamalarında kullanılmaktadır. Geçici çözümden sonra yeni deneme çözümü hesaplanıp bu şekilde deneme ve ara çözüm yaklaşık olarak eşit olana kadar devam etmektedir. Genel olarak kapatma kriteri olarak adlandırılan deneme ve ara çözüm arasındaki fark yaklaşık olarak birbirine eşitse her düğüm için deneme yük değeri ve ara yük değeri arasındaki fark keyfi olarak kullanılan değerden daha küçük olduğu bilinmektedir. Ara çözüm yaklaşık olarak denklem sisteminin çözümüne bağlı olmakla birlikte her zaman aşaması sırasında her düğüm için bir ara yük değeri bulunmaktadır [34].

Akiferde beslenim miktarının boşalım miktarına eşit olduğu durum dengeli akım (steady state) koşulunu ifade etmektedir. Başka bir ifade ile bir akiferde dengeli akım koşullarının

olması yükün zamandan bağımsız olduğu anlamına gelmektedir. Dengeli akım koşularında üç boyutlu yeraltısuyu akım eşitliği aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır [36].

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)+W=0 \quad (11)$$

Burada;

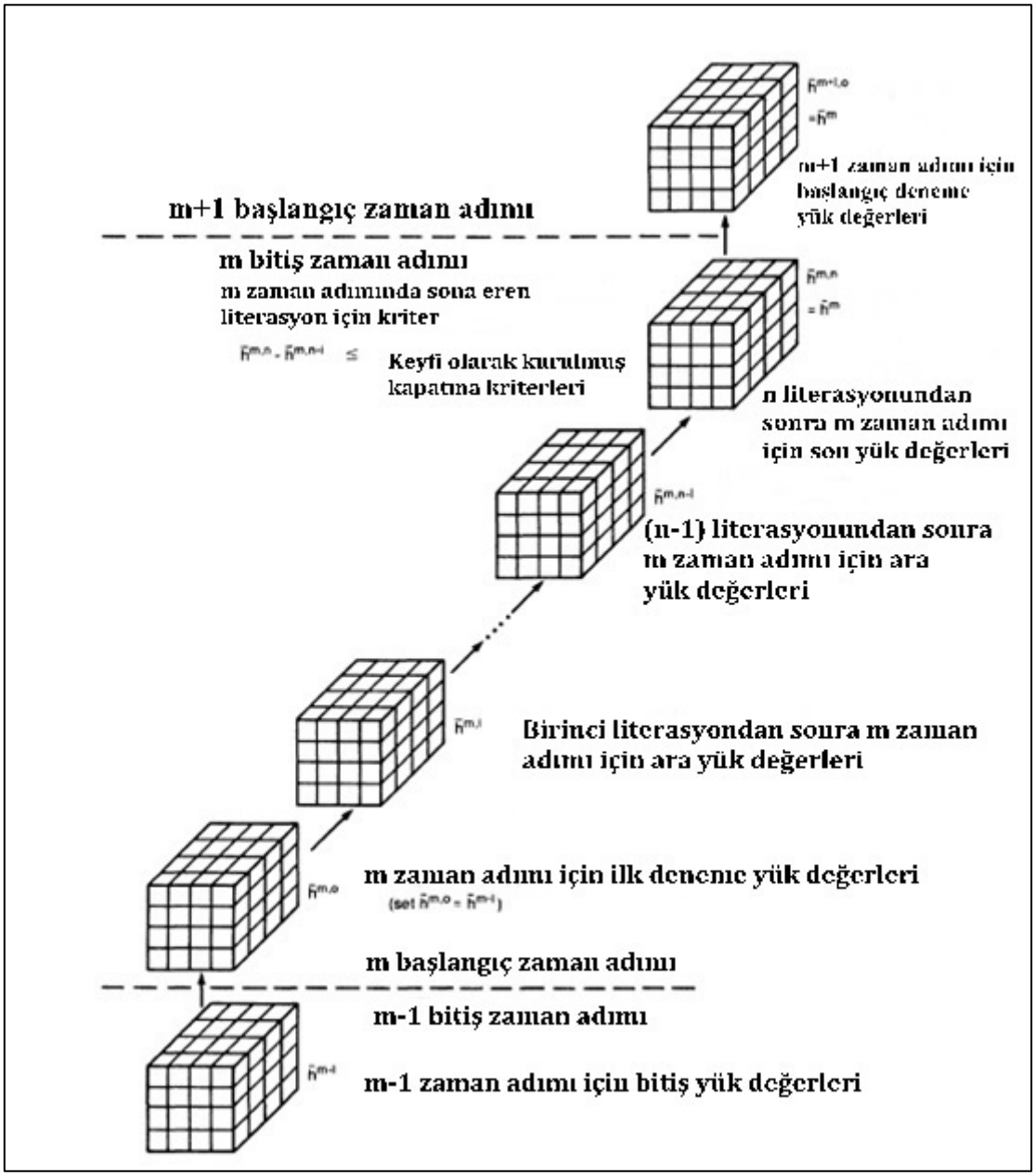
x, y, z= Kartezyen koordinatlarını (L)
K_{xx}, K_{yy}, K_{zz}= Akiferin x,y,z doğrultularındaki hidrolik iletkenlik katsayısının x, y, z koordinat eksenlerindeki bileşenleri (L/T)
h = Hidrolik yükü (L)
W= Hacimsel su katkısı/kaybını (l/T) (W>0 ise yeraltısuyu akım sistemine su girişi (beslenme), W<0 ise sistemden su çıkışını (boşalım)
t= Zamanı (T) ifade etmektedir.

Dengesiz akım (transient) koşulu, dengeli akım koşulunun aksine akiferde zamana bağlı değişen bir yük değişiminin olduğu kararsız durumları ifade etmektedir. Dengesiz akım koşullarında süreklilik denklemi aşağıdaki gibi değiştirilmektedir [30].

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}=\frac{S}{T}\frac{\partial h}{\partial t}-\frac{R(x,y,t)}{T} \quad (12)$$

R= Beslenim oranını [LT^{-1}]
S= Depolama katsayısını [boyutsuz]
T= Transmisiviteyi [$L^2\ T^{-1}$]
h= Hidrolik yükü [L] ifade etmektedir.

MODFLOW programının iterasyonlu çözümle tüm noktaların önce kolonlarını ardından satırlarını tarayıp bir sonraki adıma geçmektedir. Bu şekilde programın üç boyutlu çözümlemesi aşağıda gösterilmektedir (Şekil 3.4) [34].



Şekil 3.4. Yük dağılımının MODFLOW programında tekrarlanmalı hesaplanması [34].

Burada üst simge ile üç boyutlu kafes sembolü ve iterasyon aşaması belirtilmektedir. Böylece i,j,k düğüm yükleri için seçilmiş ilk deneme değeri $h_{i,j,k}^{m,0}$ ve birinci iterasyon deneme değeri sırasında geçici yük $h_{i,j,k}^{m,1}$ ile ifade edilmektedir. Bu değer aynı zamanda ikinci iterasyon için deneme değeri olarak kullanılmaktadır. Benzer şekilde $h_{i,j,k}^{m,2}$ iterasyon iki için geçici çözümü iterasyon üç için ise; deneme değerini ifade etmektedir. Şekilde gösterilen $h_{i,j,k}^{m-1}$, t_m zamanı için depolama terimi olup önceki zamanlar için bu yük terimi bir iterasyondan diğerine değişmeyen denklem sabiti olarak kullanılmaktadır [34].

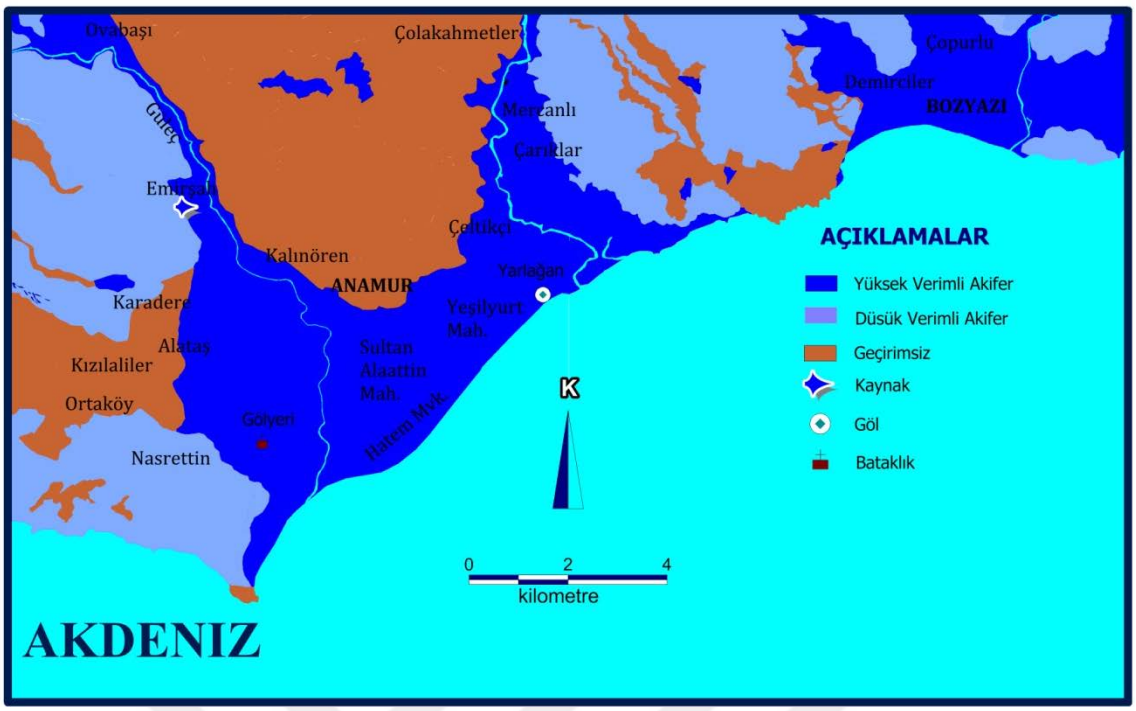
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Hidrojeoloji

Anamur Ovası doğuda Dragon (Anamur) Deresi ve batıda Sultançayı'nın beslediği ve bu akarsuların getirdiği ince malzemelerden oluşan bir delta ovası şeklindedir. Bu deltanın oluşturduğu Kıyı Akiferinde yeraltısuyu taşıyan formasyon alüvyondur (Şekil 4.1). Akifer kalınlığı Dragon ve Sultançayı akarsu yataklarında en yüksek kalınlıkta olup, akarsu yataklarından uzaklaştıkça azalmakta ve akifer kalınlığı 25 m ile 45 m arasında değişmektedir [16]. Sultançayı ve Dragon Havzalarının kuzey kesimlerinde yer alan kireçtaşı birimi karstik özelliktedir [37].

Dragon Deresi ve Sultançayı akarsuları tarafından beslenen Anamur Ovası bu akarsuların getirdiği ince malzemeden oluşmuştur. Anamur Ovasında vadi genişliği 150-400 m olan Dragon Deresinin uzunluğu 33 km ve drenaj alanı 313,2 km^2'dir. Kış aylarında devamlı su bulunduran ovanın ikinci önemli akarsuyu ise Sultançayı olup ilkbahar aylarından itibaren suyu azalmakta, yaz aylarına gelindiğinde ise Hatem bölgesinin (Şekil 4.1) 2-3 km kuzeyinde tamamen kurumaktadır. Hatem bölgesinin güneyinden denize kadar olan bölümde ise yeraltısuları ve sulamadan dönen sular akarsuyu beslemektedir [15, 16].

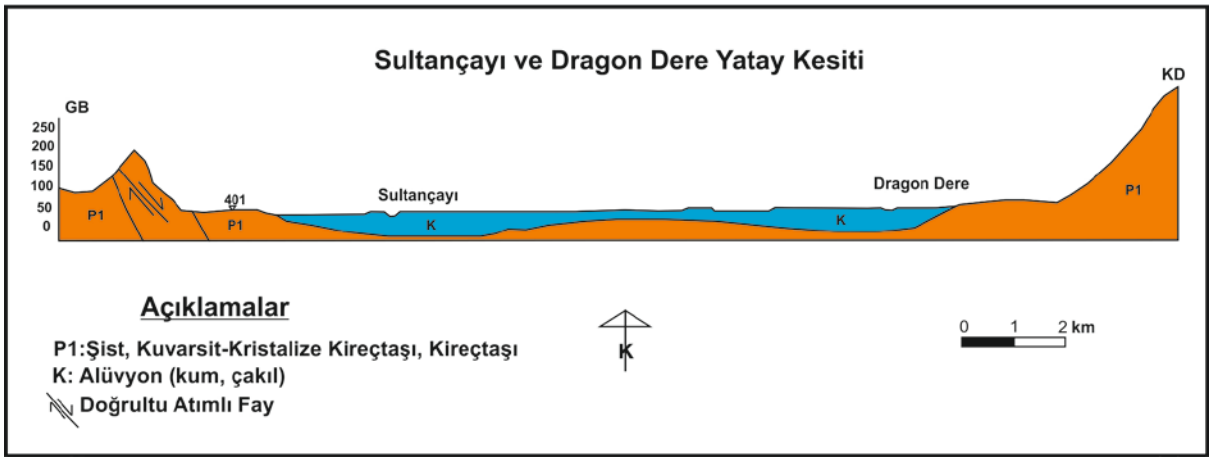
Anamur bölgesinde en büyük kaynak Emirşah kaynağı (Şekil 4.1) olup debisi 25 lt/sn'dir. Sultançayı yatağından çıkan bu kaynak dışında başka kaynak bulunmamaktadır. Kıyı kesiminde oldukça dar bir alana sahip Yarlağan Gölü yer almaktadır (Şekil 4.1). Anamur Ovasında sulamadan dönen suların ve kışın oluşan yan derelerin oluşturduğu Sultançayı ovasında Gölyeri olarak adlandırılan bataklık bir alan bulunmaktadır [16].



Şekil 4.1. Anamur ve çevresine ait hidrojeoloji haritası ([15], [16] ve [17]'den türetilmiştir).

Anamur Ovasında iki önemli akarsuyu doğuda Dragon Deresi, batıda Sultançayı'dır. Anamur Ovasında yeraltısuyu taşıyan birimi 25-45 m kalınlığındaki daha çok kum ve çakıldan oluşan alüvyon malzeme oluşturmaktadır. Akifer kalınlığı Dragon Deresi ve Sultançayı kesiminde daha kalın olup bu akarsulardan uzaklaştıkça incelmektedir.

Anamur Kıyı Akiferinin jeolojik kesiti Şekil 4.2' de verilmiştir [16].



Şekil 4.2. Anamur Kıyı Akiferi jeolojik kesiti [16].

Orta Torosların güneyinde bulunan ve Kıyı Akiferini besleyen Dragon Deresinin kurak dönem sonunda debisi Sultançayına göre oldukça yüksektir. Dragon Deresinin x: 488739 y:

3992484 ve Sultançayı'nın x: 483847 y: 3992484 koordinatlarından alınan görüntüsü sırası ile Şekil 4.3 ve Şekil 4.4' te verilmiştir.



Şekil 4.3. Anamur'un doğusunda bulunan Dragon Deresinin güneyi (Ekim 2017).



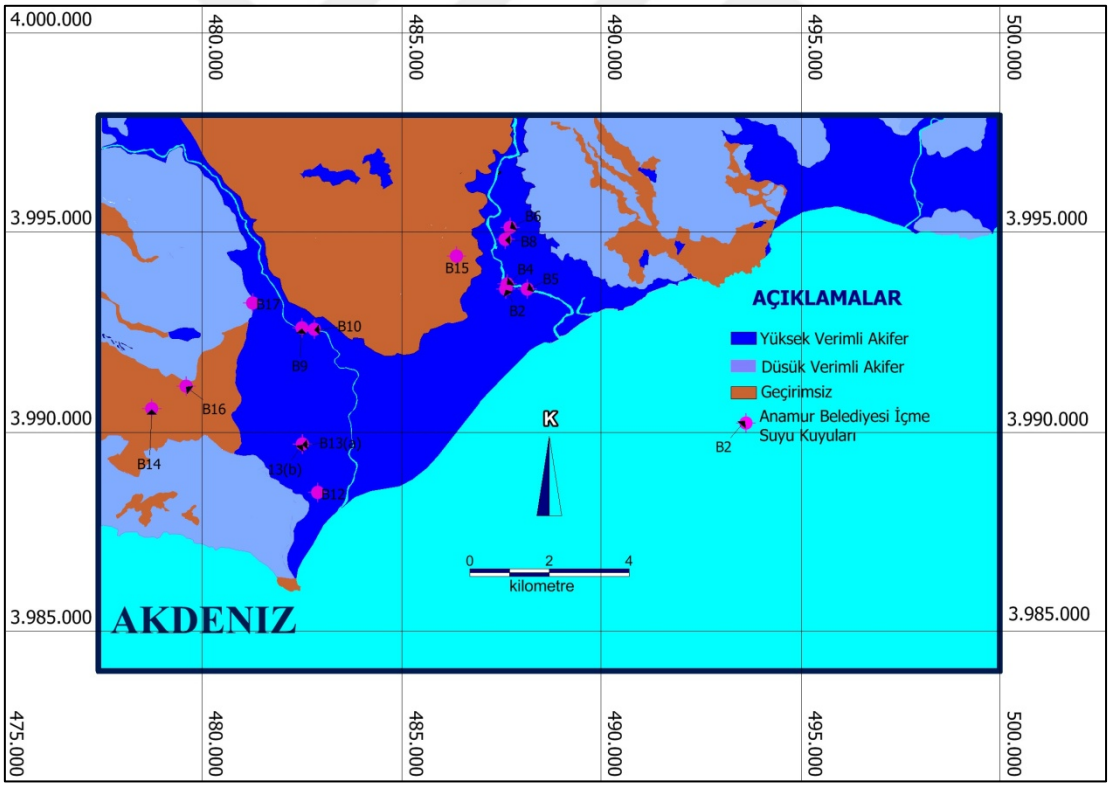
Şekil 4.4. Anamur'un batısı Sultan Allaittin Mahallesi civarında Sultançayı (Ekim 2017).

Anamur Belediyesi içme ve kullanma suyu sağlamak amacı ile bölgede kuyular açtırmıştır. Bu kuyuların konum ve debileri Tablo 4.1' de verilmiştir. Kuyuların inceleme alanındaki dağılımı incelendiğinde Dragon Dere ve Sultançayı çevresinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 4.5). Bu kuyuların debileri 5lt/sn ile 40lt/sn arasında değişmektedir.

Tablo 4.1. Anamur Belediyesinin içme ve kullanma suyu sağladığı kuyuların konum ve debileri [38].

Anamur Belediyesine ait kuyuların koordinatları ve debileri

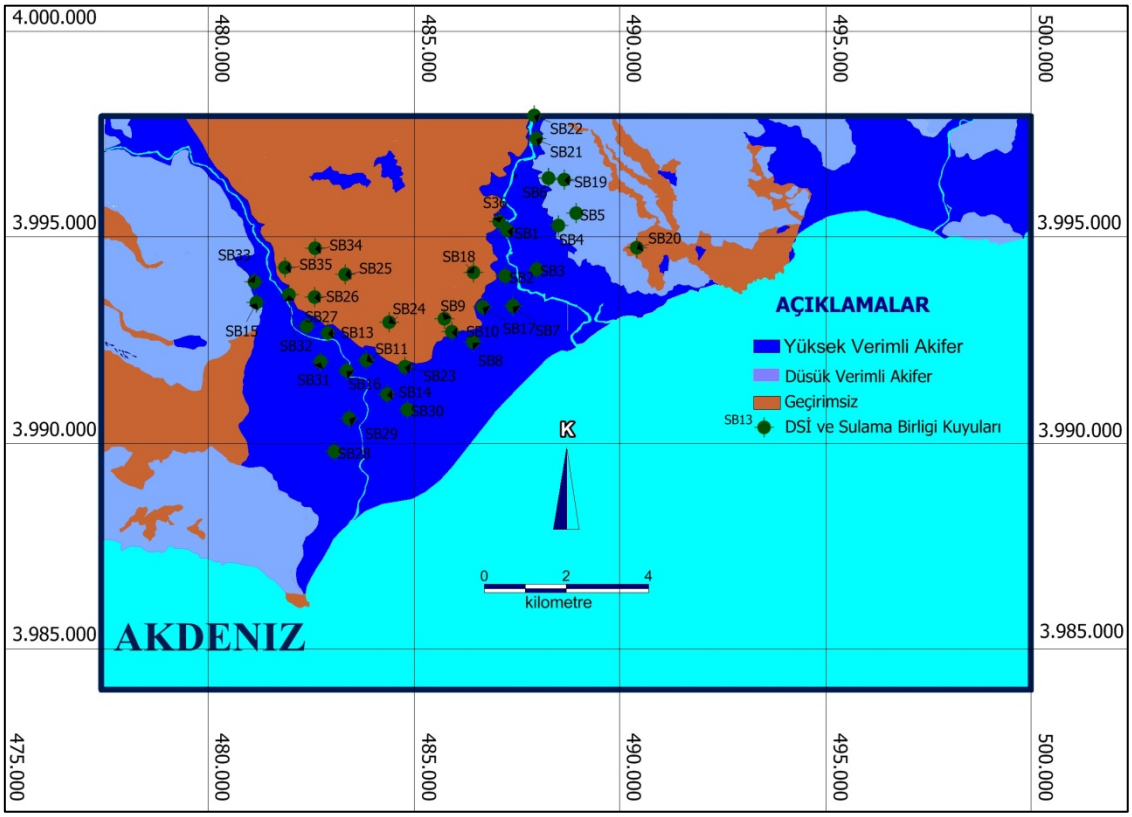
Kuyu No	x	y	z	Debi (lt/sn)
B2	487607	3993699	2	40
B4	487647	3993683	5	20
B5	488151	3993547	18	25
B6	487721	3995090	2	15
B8	487597	3994792	2	20
B9	482512	3992579	15	15
B10	482820	3992540	17	15
B12	482898	3988454	5	15
B13 (a)	482517	3989660	15	8
B13 (b)	482521	3989663	15	8
B 14	478738	3990554	108	10
B 15	486378	3994378	30	8
B 16	479609	3999110	88	5
B 17	481269	3993206	16	10



Şekil 4.5. Anamur Belediyesinin içme ve kullanma suyu sağladığı kuyular(Hidrojeoloji haritası [15], [16] ve [17]'den türetilmiştir).

Anamur'da DSİ ve Sulama Birliği tarafından seçilen bazı kuyularda kuyu ağzından aylık olarak yeraltısuyuna olan derinlik ve elektriksel iletkenlik ölçümleri yapılmaktadır. Bu kuyuların konumları Tablo 4.2' de ve konum haritaları Şekil 4.6.' te verilmiştir. Bu kuyularda

2010, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 yıllarında yapılan aylık yeraltısuyu derinlik ve elekriksel iletkenlik (Eİ) ölçüm sonuçları Tablo 4.3, Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6, Tablo4.7, Tablo 4.8 ve Tablo 4.9' da verilmiştir.



Şekil 4.6. Aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümü yapılan kuyular (Hidrojeoloji haritası [15], [16] ve [17]'den türetilmiştir).

Tablo 4.2. Yeraltısuyu seviye ve Eİ ölçümü yapılan kuyuların koordinatları [39].

Sulama Birliği Kuyuları	**Koordinatları**		
Kuyu No	**x**	**y**	**z (m)**
SB 1	487220	3994027	8,98
SB 2	487270	3995130	5,94
SB 3	487984	3994190	5
SB 4	488506	3995254	20,51
SB 5	488947	3995553	61,11
SB 6	488274	3996401	40,38
SB 7	487413	3993296	5
SB 8	486437	3992420	5,03
SB 9	485741	3992983	32,3
SB 10	485923	3992681	16,05
SB 11	483843	3991981	17,54
SB 12	484517	3992726	59,66
SB 13	482909	3992638	20,21
SB 14	484352	3991155	9,45
SB 15	481173	3993381	31,8
SB 16	483368	3991727	15
SB 17	486680	3993274	4,72
SB 18	486448	3994115	9,73
SB 19	488651	3996367	44,82
SB 20	490413	3994717	59,61
SB 21	487976	3997368	18,22
SB 22	487922	3997928	belirlenemedi
SB 23	484782	3991825	22
SB 24	484395	3992910	89,71
SB 25	484332	3994064	244,13
SB 26	482588	3993515	49,95
SB 27	482392	3992812	21,38
SB 28	483064	3989763	9,2
SB 29	483428	3990571	9,91
SB 30	484842	3990788	6,39
SB 31	482733	3991941	16,46
SB 32	481966	3993573	27,75
SB 33	481125	3993889	31,24
SB 34	482602	3994706	174,11
SB 35	481868	3994233	47,04
SB 36	487075	3995356	17,33

Tablo 4.3. Anamur Ovası 2010 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri [40].

Yılı: 2010

GK No	Eİ mS/cm	Aylara Göre Yeraltısuyu Derinliği (cm)											
		EKİM	KAS	ARL	OCK	ŞBT	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞS	EYL
1	920	155	140	75	35	35	70	80	115	135	150	160	165
2		230	210	150	115	110	195	200	210	215	210	225	250
3		200	190	80	100	100	110	185	205	215	215	215	250
4		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
5		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
6		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
7		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
8		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
9		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
10	1700	240	220	65	50	40	140	150	130	215	220	230	260
11		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
12		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
13		220	220	240	220	220	220	250	220	220	220	220	220
14		230	230	100	50	45	230	230	230	230	240	230	230
15		270	275	225	175	220	230	220	250	260	260	235	250
16		150	190	50	40	25	65	80	85	105	115	105	125
17	920	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
18	320	95	90	60	60	60	80	75	95	105	105	65	85
19		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
20		200	200	120	120	120	140	155	175	190	195	190	200
21		210	210	100	100	100	105	110	180	200	200	200	200
22		230	110	80	50	55	105	105	160	210	220	205	150
23		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
24		225	225	225	170	220	225	220	225	225	225	225	225
25	570	270	240	190	140	145	235	240	225	250	240	260	270
26	580	260	235	195	145	150	150	175	230	245	250	255	265
27	1840	165	160	75	50	40	115	125	130	145	155	150	165
28		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
29	540	230	220	160	110	130	205	225	220	230	235	235	230
30		240	240	250	250	240	240	240	240	240	240	240	240
31		240	240	240	120	190	240	240	240	240	240	240	240
32		220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
33		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
34		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
35		90	75	40	25	30	40	50	60	50	55	100	80
36	920	155	140	75	35	35	70	80	115	135	150	160	165

K: kuru

Tablo 4.4. Anamur Ovası 2011 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri [40].

Yılı: 2011

GK No	Eİ mS/cm	Aylara Göre Yeraltısuyu Derinliği (cm)											
		EKİM	KAS	ARL	OCK	ŞBT	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞS	EYL
1		225	205	75	80	45	110	120	125	190	210	210	210
2	920	280	150	60	75	55	115	135	115	190	160	175	175
3		240	240	120	160	150	215	220	210	230	245	245	245
4		245	240	150	150	155	200	210	205	225	225	235	245
5		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
6		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
7		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
8		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
9		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
10		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
11	1700	250	250	60	75	60	160	185	130	220	255	255	255
12		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
13		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
14		220	220	240	220	220	220	220	220	220	220	220	220
15		K	K	50	75	40	275	275	K	K	K	K	K
16		270	270	230	240	240	240	240	250	240	280	280	280
17		190	180	50	40	30	125	165	85	185	195	190	190
18	920	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
19	320	230	230	180	90	50	180	180	95	200	210	220	230
20		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
21		200	200	120	200	220	200	200	175	200	200	200	200
22		200	200	100	200	200	200	200	180	200	200	200	200
23		K	K	115	95	65	125	125	K	K	K	K	K
24		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
25		225	225	190	185	225	185	185	225	185	220	220	220
26	570	280	280	190	225	145	245	245	225	265	260	265	260
27	580	275	260	195	235	140	240	250	230	260	260	260	255
28	1840	160	155	50	75	60	140	150	150	*155*	165	165	170
29		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
30	540	245	220	120	120	165	245	235	240	255	255	245	245
31		240	260	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
32		T	240	240	240	240	240	240	K	K	K	K	K
33		220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
34		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
35		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
36		90	75	40	30	40	50	60	75	80	80	85	90

K: kuru

Tablo 4.5. Anamur Ovası 2013 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri [40].

Yılı: 2013

GK No	Eİ mS/cm	Aylara Göre Yeraltısuyu Derinliği (cm)											
		EKİM	KAS	ARL	OCK	ŞBT	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞS	EYL
1		260	80	50	40	50	95	90	140	210	200	200	200
2	581	200	80	90	40	50	110	75	105	150	210	210	210
3		220	220	230	165	190	200	210	230	230	230	230	230
4				155	160			85	83	85	88	89	87
5	853												
6													
7	551				100	100	120	125	150	185	120	120	120
8					150	160	175	165	175	200	190	190	190
9					40	40	118	120	180	210	240	250	210
10	694				145	150	180	120	150	170	230	230	210
11		235	160	250	80	90	175	165	250	250	210	210	210
12				175	150	185	190	205	205	200	200	200	200
13	428			165	170	275	250	250	250	220	220	220	150
14		220	200	220	180	180	180	180	220	200	180	180	180
15		100			180	185	195	200	215	240	240	200	200
16		205	260	255	240	150	260	240	265	265	250	250	250
17		190	180	140	20	30	50	80	70	80	80	200	200
18				140	75	65	110	115	140	140	90	100	140
19				200	80			60	60	63	66	69	66
20													
21	572			200	195			122	120	122	125	126	124
22				200	210				93	90	93	97	99
23		200	210		75	90	115	115	115	115	130	130	130
24					75	100	120	120	135	160	160	150	140
25		200	180	60	180	180	180	160	225	180	180	180	180
26	654	280	200	195	200	200	235	230	150	240	250	250	255
27	714	270	225	190	200	200	225	255	180	220	240	250	250
28	1091	170	125	50	85	90	120	155	145	160	170	170	170
29					90	100	110	100	175	190	160	170	160
30		260	210	245	50	160	210	210	225	225	200	200	200
31		240	200	200	200	215	215	210	210	210	240	220	220
32		200	105	220	100	100	185	180	250	250	250	160	165
33		200	205	220	100	100	185	180	250	250	250	160	165
34	441				90	100	85	120	120	150	120	150	120
35	537				260	180	160	160	290	290	290	290	280
36		60	30	60	50	55	100	100	110	100	110	110	105

K: kuru

Tablo 4.6. Anamur Ovası 2014 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri [40].

Yılı: 2014

GK No	Eİ mS/cm	Aylara Göre Yeraltısuyu Derinliği (cm)											
		EKİM	KAS	ARL	OCK	ŞBT	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞS	EYL
1		200	200	110	100	100	50	60	80	115	200	200	200
2	820	210	200	115	100	175	115	120	140	160	160	160	160
3		230	230	210	190	95	210	210	115	225	210	210	210
4		86	85	83	81	80	80	80	90	T	150	T	150
5		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
6		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
7	335	70	140	125	105	115	140	140	150	180	150	160	140
8		190	190	190	150	180	170	170	200	200	190	180	180
9	881	190	140	180	85	175	140	145	150	180	215	220	200
10	611	210	130	180	90	165	140	145	180	210	205	210	195
11		210	210	180	160	170	180	180	170	195	215	215	210
12		200	200	190	160	175	190	190	210	210	210	210	210
13	443	200	225	160	150	150	255	250	260	275	270	275	200
14		180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
15		200	200	200	180	185	200	200	235	235	200	215	180
16		250	250	250	240	250	250	220	255	260	250	250	250
17		120	80	115	100	110	135	140	175	100	220	220	220
18	504	125	120	145	130	140	140	150	110	140	145	150	145
19	418	67	65	64	61	60	60	60	70	K	110	K	110
20		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
21	481	124	123	121	119	117	117	117	130	K	150	K	K
22		98	97	96	93	90	90	90	110	K	120	K	K
23		120	120	90	90	80	100	90	130	130	100	100	100
24	651	140	140	140	125	130	120	120	165	185	170	170	160
25		180	180	180	180	180	180	180	185	185	180	180	180
26	680	250	250	245	220	230	275	275	285	285	270	270	270
27	852	230	230	225	200	215	230	230	240	260	250	260	230
28	836	180	140	130	110	125	130	130	150	165	170	165	150
29		180	180	155	140	140	160	170	200	200	180	180	180
30		200	200	200	195	200	200	200	200	200	210	210	210
31		220	220	220	220	220	220	220	210	210	220	220	220
32		180	180	190	180	165	190	190	230	230	190	210	210
33		170	180	200	160	200	200	200	K	K	200	K	K
34	325	145	100	120	110	100	135	135	105	120	100	105	135
35	590	280	280	280	280	280	280	180	275	280	280	280	280
36	715	50	60	55	45	40	50	60	70	90	100	100	80

K: kuru

Tablo 4.7. Anamur Ovası 2015 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri [40].

Yılı: 2015

GK No	Eİ mS/cm	Aylara Göre Yeraltısuyu Derinliği (cm)											
		EKİM	**KAS**	**ARL**	**OCK**	**ŞBT**	**MAR**	**NİS**	**MAY**	**HAZ**	**TEM**	**AĞS**	**EYL**
1		210	145	40	40	30	95	100	180	200	210	175	260
2	62	155	140	75	35	35	70	80	115	135	150	160	165
3		230	210	150	115	110	195	200	210	215	210	225	250
4		200	190	80	100	100	110	185	205	215	215	215	250
5		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
6		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
7	45	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
8		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
9	125	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
10	57	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
11	113	240	220	65	50	40	140	150	130	215	220	230	260
12		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
13		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
14		220	220	240	220	220	220	250	220	220	220	220	220
15		230	230	100	50	45	230	230	230	230	240	230	230
16		270	275	225	175	220	230	220	250	260	260	235	250
17		150	190	50	40	25	65	80	85	105	115	105	125
18	61	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
19		95	90	60	60	60	80	75	95	105	105	65	85
20		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
21		200	200	120	120	120	140	155	175	190	195	190	200
22		210	210	100	100	100	105	110	180	200	200	200	200
23		230	110	80	50	55	105	105	160	210	220	205	150
24	67	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
25		225	225	225	170	220	225	220	225	225	225	225	225
26		270	240	190	140	145	235	240	225	250	240	260	270
27	92	260	235	195	145	150	150	175	230	245	250	255	265
28	133	165	160	75	50	40	115	125	130	145	155	150	165
29		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
30		230	220	160	110	130	205	225	220	*230*	235	235	230
31		240	240	250	250	240	240	240	240	240	240	240	240
32		240	240	240	120	190	240	240	240	240	240	240	240
33		220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
34	37	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
35		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
36		90	75	40	25	30	40	50	60	50	55	100	80

K: kuru

Tablo 4.8. Anamur Ovası 2016 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri [40].

Yılı: 2016

GK No	Eİ mS/cm	Aylara Göre Yeraltısuyu Derinliği (cm)											
		EKİM	KAS	ARL	OCK	ŞBT	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞS	EYL
1		210	145	40	40	30	95	100	180	200	210	175	260
2	820	155	140	75	35	35	70	80	115	135	150	160	165
3		230	210	150	115	110	195	200	210	215	210	225	250
4		200	190	80	100	100	110	185	205	215	215	215	250
5		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
6		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
7	335	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
8		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
9	881	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
10	611	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
11		240	220	65	50	40	140	150	130	215	220	230	260
12		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
13	443	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
14		220	220	240	220	220	220	250	220	220	220	220	220
15		230	230	100	50	45	230	230	230	230	240	230	230
16		270	275	225	175	220	230	220	250	260	260	235	250
17		150	190	50	40	25	65	80	85	105	115	105	125
18	504	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
19	418	95	90	60	60	60	80	75	95	105	105	65	85
20		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
21	481	200	200	120	120	120	140	155	175	190	195	190	200
22		210	210	100	100	100	105	110	180	200	200	200	200
23		230	110	80	50	55	105	105	160	210	220	205	150
24	651	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
25		225	225	225	170	220	225	220	225	225	225	225	225
26	680	270	240	190	140	145	235	240	225	250	240	260	270
27	852	260	235	195	145	150	150	175	230	245	250	255	265
28	836	165	160	75	50	40	115	125	130	145	155	150	165
29		T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
30		230	220	160	110	130	205	225	220	230	235	235	230
31		240	240	250	250	240	240	240	240	240	240	240	240
32		240	240	240	120	190	240	240	240	240	240	240	240
33		220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
34	325	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
35	590	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
36	715	90	75	40	25	30	40	50	60	50	55	100	80

K: kuru

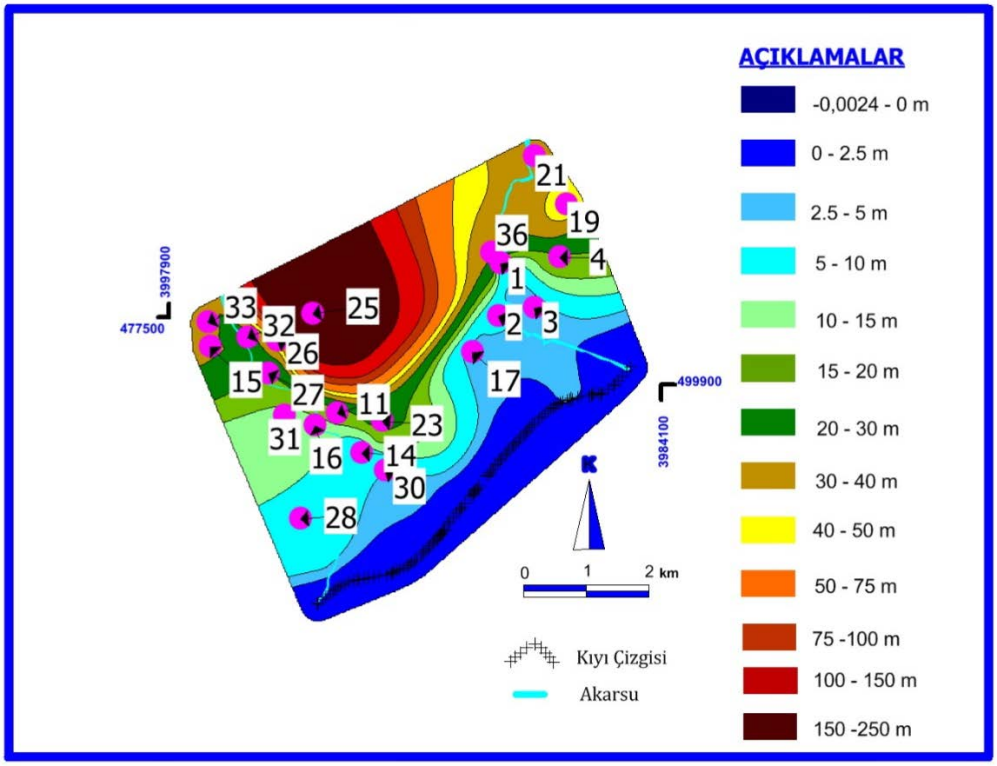
Tablo 4.9. Anamur Ovası 2017 yılı aylık yeraltısuyu derinlik ve Eİ ölçümleri [40].

Yılı: 2017

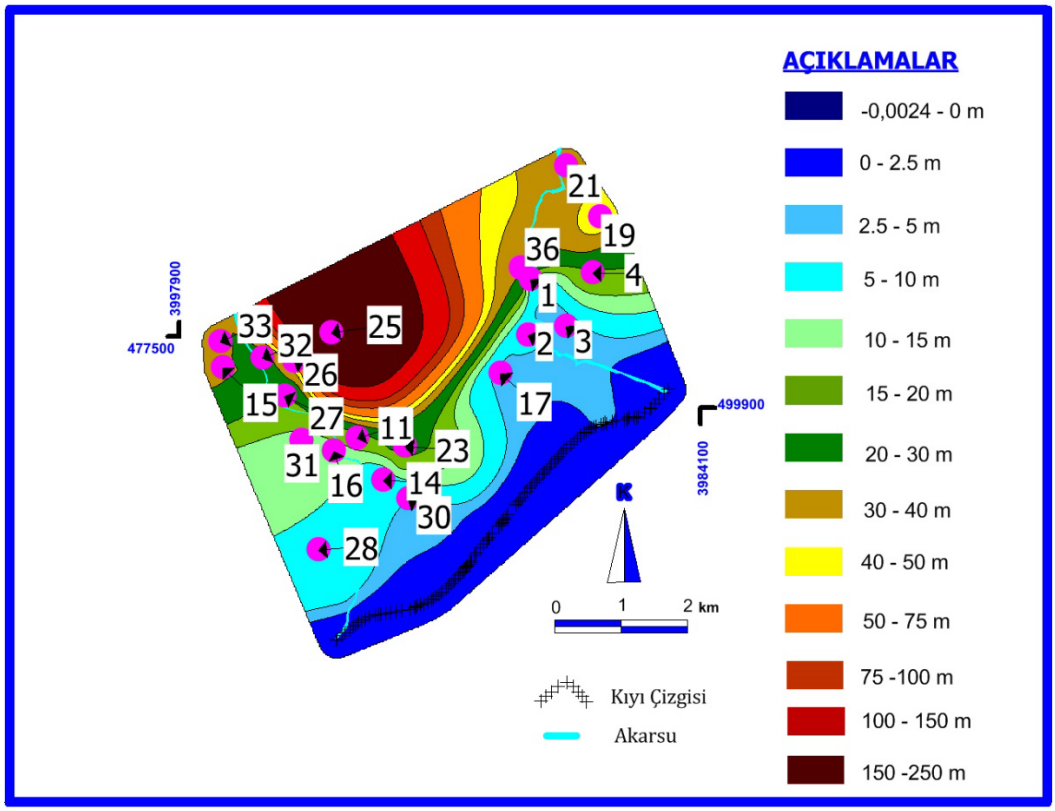
GK No	Eİ mS/cm	Aylara Göre Yeraltısuyu Derinliği (cm)											
		EKİM	KAS	ARL	OCK	ŞBT	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞS	EYL
1		210	145	40	40	30	95	100	180	200	210	175	260
2	820	155	140	75	35	35	70	80	115	135	150	160	165
3		230	210	150	115	110	195	200	210	215	210	225	250
4		200	190	80	100	100	110	185	205	215	215	215	250
5		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
6		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
7	335	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
8		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
9	881	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
10	611	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
11		240	220	65	50	40	140	150	130	215	220	230	260
12		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
13	443	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
14		220	220	240	220	220	220	250	220	220	220	220	220
15		230	230	100	50	45	230	230	230	230	240	230	230
16		270	275	225	175	220	230	220	250	260	260	235	250
17		150	190	50	40	25	65	80	85	105	115	105	125
18	504	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
19	418	95	90	60	60	60	80	75	95	105	105	65	85
20		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
21	481	200	200	120	120	120	140	155	175	190	195	190	200
22		210	210	100	100	100	105	110	180	200	200	200	200
23		230	110	80	50	55	105	105	160	210	220	205	150
24	651	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
25		225	225	225	170	220	225	220	225	225	225	225	225
26	680	270	240	190	140	145	235	240	225	250	240	260	270
27	852	260	235	195	145	150	150	175	230	245	250	255	265
28	836	165	160	75	50	40	115	125	130	145	155	150	165
29		K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
30		230	220	160	110	130	205	225	220	230	235	235	230
31		240	240	250	250	240	240	240	240	240	240	240	240
32		240	240	240	120	190	240	240	240	240	240	240	240
33		220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
34	325	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
35	590	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
36	715	90	75	40	25	30	40	50	60	50	55	100	80

K: kuru

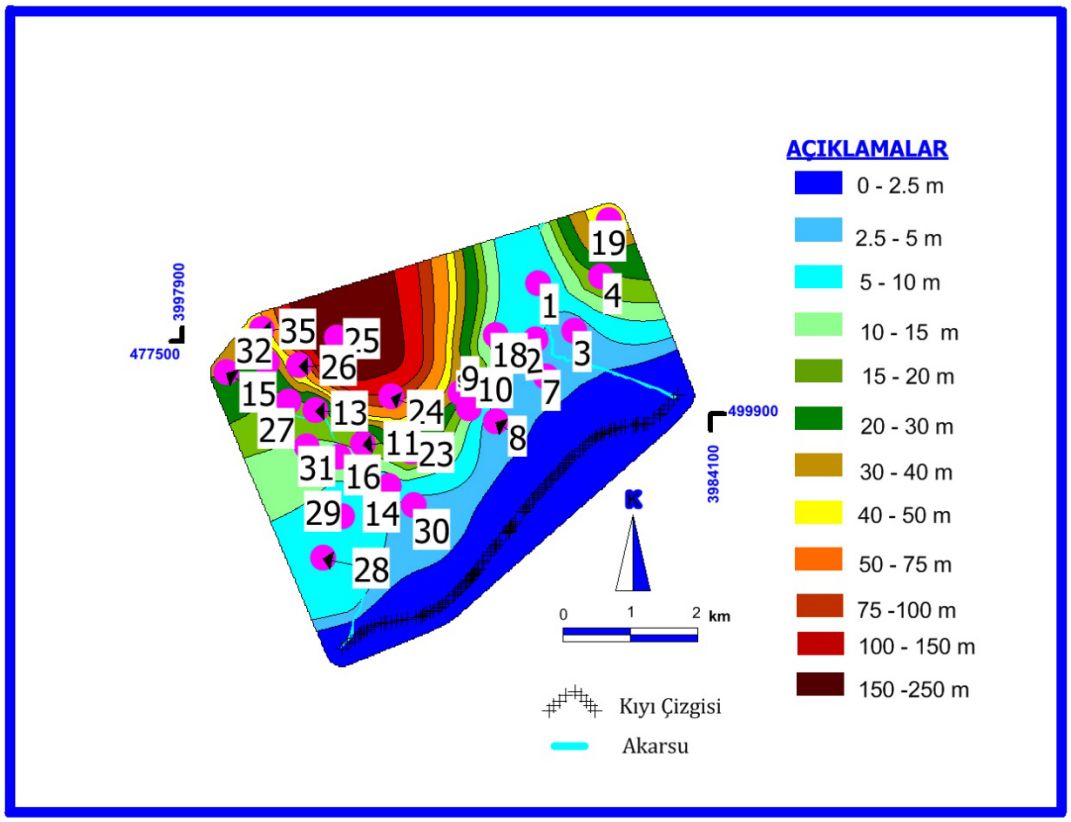
Anamur Ovasında Sulama Birliğinin açmış olduğu kuyuların yeraltısuyu ölçümlerine ait Şubat 2010, Nisan 2013, Ekim 2016 ve Mayıs 2017 tarihlerine ait yeraltısuyu seviye haritaları Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10' da verilmiştir.



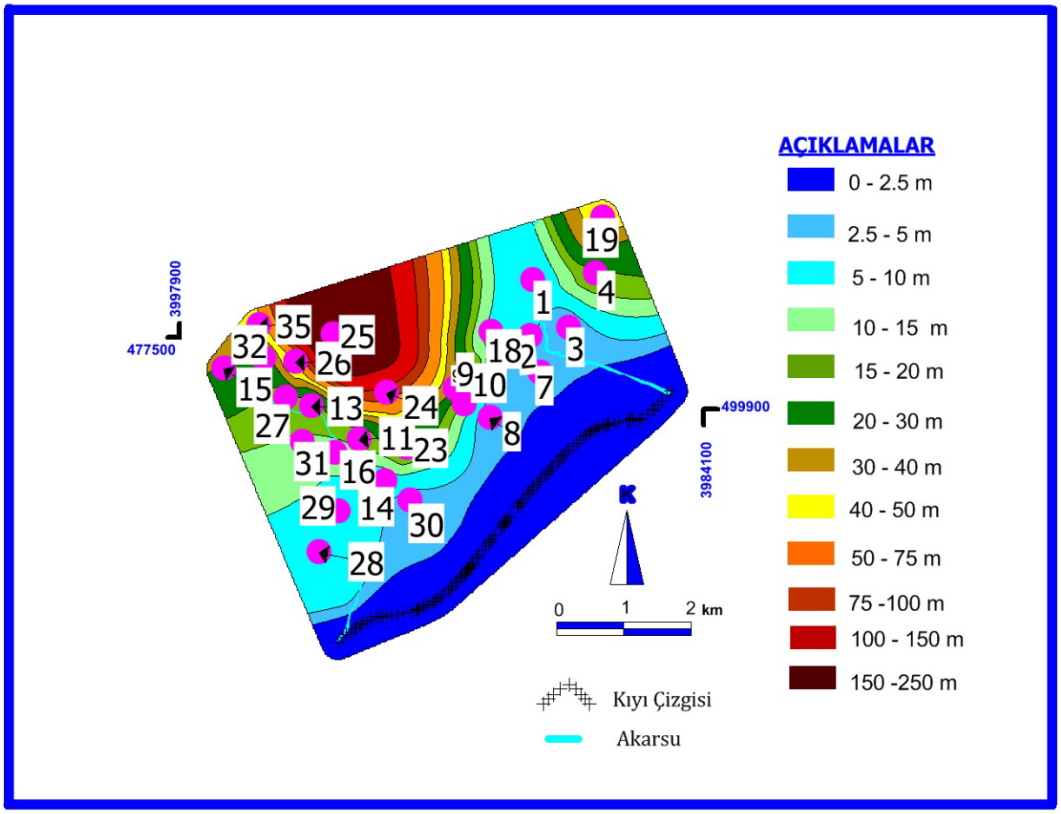
Şekil 4.7. 2010 yılı Şubat ayına ait yeraltısuyu seviye haritası.



Şekil 4.8. 2013 yılı Nisan ayına ait yeraltısuyu seviye haritası.



Şekil 4.9. 2016 yılı Ekim ayına ait yeraltısuyu seviye haritası.



Şekil 4.10. 2017 yılı Mayıs ayına ait yeraltısuyu seviye haritası.

Anamur Ovasında yapılan yeraltısuyu seviye haritasından yeraltısuyu akımının genel olarak kuzeyden güneye doğru olduğu belirlenmiştir. Kıyı kesiminde Şubat 2010 döneminde genel olarak yeraltısuyu seviyesi Nisan 2013, Ekim 2016 ve Mayıs 2017 dönemlerine göre en yüksek seviyededir. Dragon Deresi çevresindeki kuyularda (2, 3, 8, 17, 18 nolu kuyular) Şubat 2010 döneminden itibaren Nisan 2013, Ekim 2016 ve Mayıs 2017 dönemine kadar yeraltısuyu seviyesinde sürekli olarak bir düşüş gözlenmektedir.

Anamur Belediyesi ve Sulama Birliğinin ölçüm yaptığı kuyular dışında Anamur Ovasında sulama ve kullanım amaçlı pek çok kuyu bulunmaktadır Bu kuyuların bir kısmı tulumba şeklinde kuyulardır (Şekil 4.11). Ovanın kıyı kesimlerinde sığ açılmış kuyu sayısının çok olması kuyulardan yapılan çekim miktarını arttırmakta bu durum Anamur Ovasının su bütçesini olumsuz etkilemektedir.



Şekil 4.11. Anamur Ovasında yaygın olarak kullanılan tulumba tipi kuyu.

4.2. Anamur Kıyı Akiferi Yeraltısuyu Akım Modeli

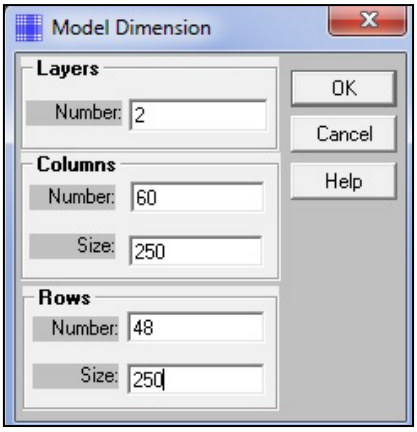
Anamur Kıyı Akiferinin modelleme çalışmaları için Processsing MODFLOW yazılımı kullanılmıştır. Modelleme çalışmaları sırasında aşağıdaki aşamalar izlenmiştir;

- Model ağının oluşturulması,
- Modelde akifer tipi, katmanların üst ve alt seviyelerinin tanımlanması,
- Modelde sınır koşullarının tanımlanması,
- Modelde hidrolik parametrelerin tanımlanması
- Modelde akifere olan beslenim ve boşalımın tanımlanması
- Yüzey su kütlelerinin tanımlanması
- Modelin çalıştırılması

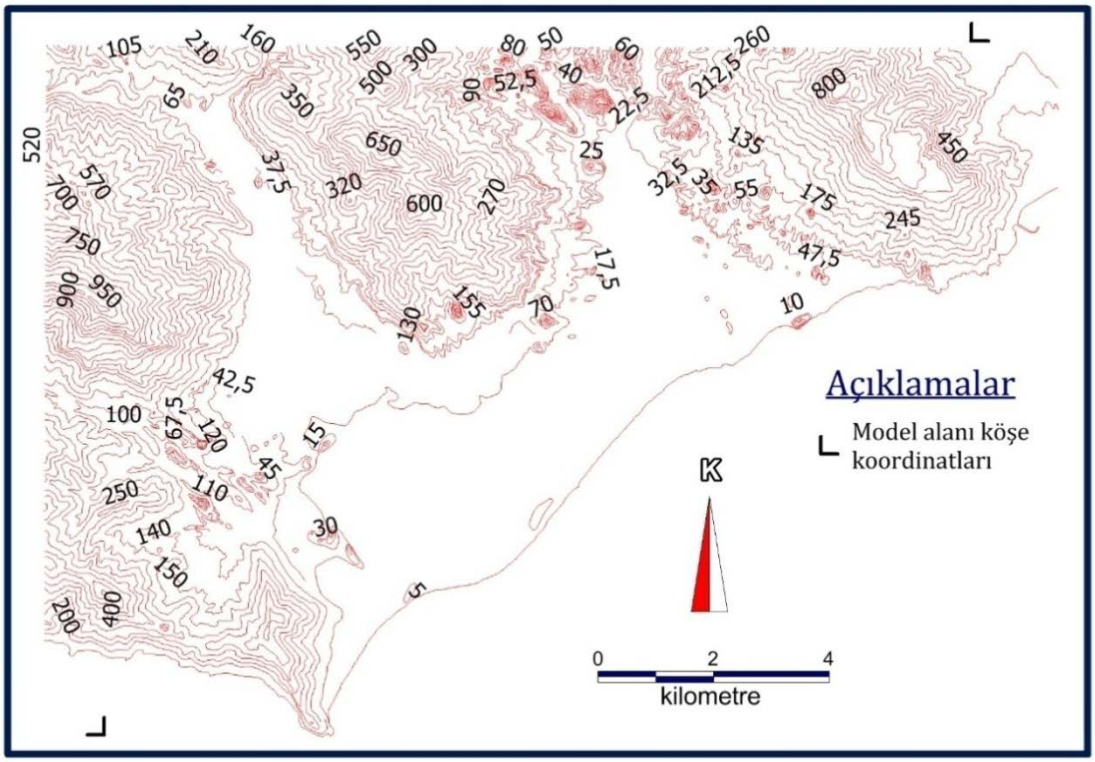
4.3. Model Ağının Tanımlanması

Anamur Kıyı Akiferinin modelleme çalışmalarının ilk aşamasında model ağı tanımlanmıştır. Model alanı 250x250 m boyutlarında 60 sütun ve 48 satır içermekte olup iki katmandan oluşmaktadır (Şekil 4.12). Model sınırları UTM ED50 koordinat sistemine göre

güneybatı köşesi x_1:478500, y_1:3986000 ve kuzeybatı köşesi x_2:493500, y_2:3998000 olacak şekilde tanımlanmıştır (Şekil 4.13).



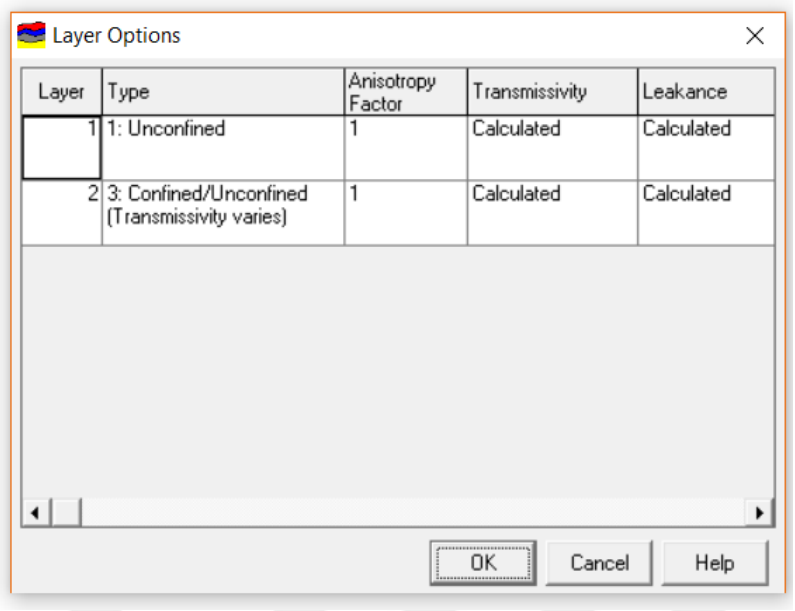
Şekil 4.12. Akifer ağının tanımlanması.



Şekil 4.13. Çalışma alanının 1/25000 ölçekli P29-c3 ve P29-c4 paftalarından hazırlanan sayısal topoğrafik haritası (P29-c4 sayısal paftası [17]'den değiştirilerek alınmıştır).

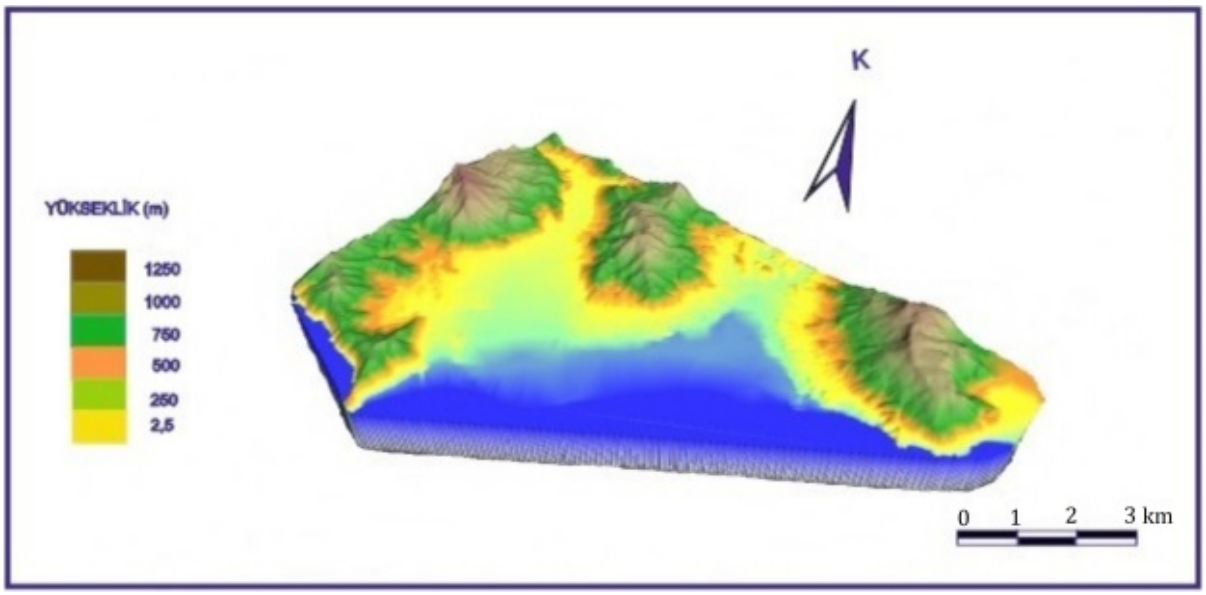
4.4. Akifer Tipi, Katmanların Üst ve Alt Seviyelerinin Tanımlanması

Model biri alüvyon malzemeyi, diğeri kayaç ortamını temsil etmek üzere iki katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlardan üstte yer alan katman serbest akifer, altta yer alan ise basınçlı/ serbest (değişken transmissivite) katman şeklinde seçilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Katman tiplerinin seçimi.

Arazi topoğrafyasının ve aynı zamanda üst katmanın üst seviyesinin modele aktarılması için ilk olarak 1/25000 ölçekli P29c3, P29c4 paftalarının sayısal topoğrafik haritaları oluşturulmuştur. Bu kapsamda Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımlarından MapInfo programı kullanılmıştır. Çalışma alanına ait sayısal topoğrafik haritası Şekil 4.13' te ve bu harita ile oluşturulan üç boyutlu sayısal arazi modeli Şekil 4.15' te sunulmuştur. Hazırlanan sayısal topoğrafik haritanın modelin istediği 250x250m boyutlarında hücreler (gridler) olarak tanımlanması için konturlar MapInfo programında noktasal veriler oluşturmak üzere ppt uzantılı dosyalara dönüştürülmüştür. Bu yeni dosya ile bölgenin topoğrafyası Surfer yazılımında 250x250m boyutlarında gridler şeklinde temsil edilmiştir. Bu grid dosyası MODFLOW'da oluşturulan modele birinci katmanın üst seviyesi olarak aktarılmıştır. Birinci katmanın alt seviyesi ise DSİ (1978) tarafından yapılan çalışmada [16] hazırlanan Anamur Ovasının hidrojeoloji haritası ve Şekil 4.2' de sunulan jeolojik kesiti kullanılarak alüvyonun alt sınırının yayılımı MapInfo ve Surfer yazılımları ile grid dosyasına dönüştürülerek modele aktarılmıştır. İkinci katmanın üst seviyesi birinci katmanın alt seviyesi olarak belirlenmiştir. İkinci katmanın taban seviyesi ise -100 m olarak tanımlanmıştır.



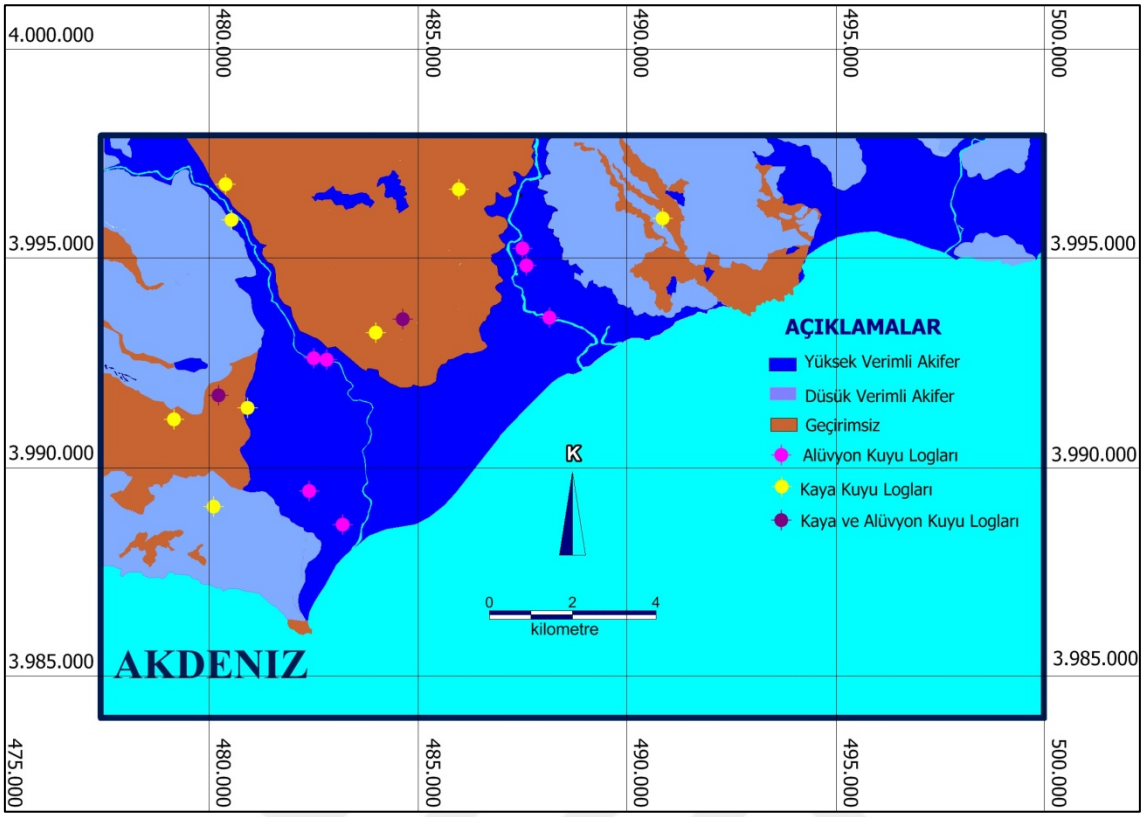
Şekil 4.15. Çalışma alanının üç boyutlu sayısal arazi modeli.

4.5. Akifer sınır koşullarının tanımlanması

Akiferde Akdeniz kıyısı ve çalışma alanının kuzey kesimi sabit yük sınırı olarak, doğu ve batı sınırı ise Sultançayı ve Dragon Derelerinin havza sınırı olmak üzere akış olmayan sınır olarak tanımlanmıştır.

4.6. Hidrolik parametrelerin tanımlanması

Yatay ve düşey hidrolik iletkenlik değerleri ile porozite dağılımının belirlenmesi için çalışma alanında kuyu logu bulunan kuyulardan faydalanılmıştır (Şekil 4.16). Bu kuyu logları düşey yönde 1m aralıklara ayrılmış ve her 1m' ye karşılık gelen birimin hidrolik iletkenlik değeri ve porozite değeri literatür verilerine göre atanmıştır (Tablo 4.10). Elde edilen bu veri seti ile alüvyon ve kaya birimlerinin hidrolik iletkenlik dağılımı ayrı ayrı belirlenmiştir.



Şekil 4.16. Hidrolik iletkenlik ve porozite dağılımının belirlenmesi için kullanılan kuyular (Hidrojeoloji haritası [15], [16] ve [17]'den türetilmiştir).

Tablo 4.10. Veri setinde kullanılan hidrolik iletkenlik ve porozite değerleri [41, 42, 43].

Birim	Hidrolik iletkenlik değeri (m/s)	Porozite
Çakıl	$3x10^{-2}$	0,3
Kum	$5x10^{-4}$	0,35
Silt	$1x10^{-7}$	0,04
Kil	$5x10^{-9}$	0,03
Kırık-çatlaklı kireçtaşı	$1x10^{-6}$	0,08
Şist	$2x10^{-8}$	0,02
Kiraçtaşı	$6x10^{-6}$	0,05
Kuvarsit	$3x10^{-9}$	0,45

4.7. Akifere olan beslenim ve boşalımın tanımlanması

Çalışma alanında akiferin yağıştan besleniminin belirlenmesi için öncelikle Turc yöntemi ile buharlaşma-terleme miktarı belirlenmiştir [44]. Bu yöntemde yıllık buharlaşma miktarının hesaplanması için yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık yağış miktarları kullanılmaktadır:

$$ETp = \frac{P}{\sqrt{0.9+\frac{P^2}{L^2}}} \quad (1)$$

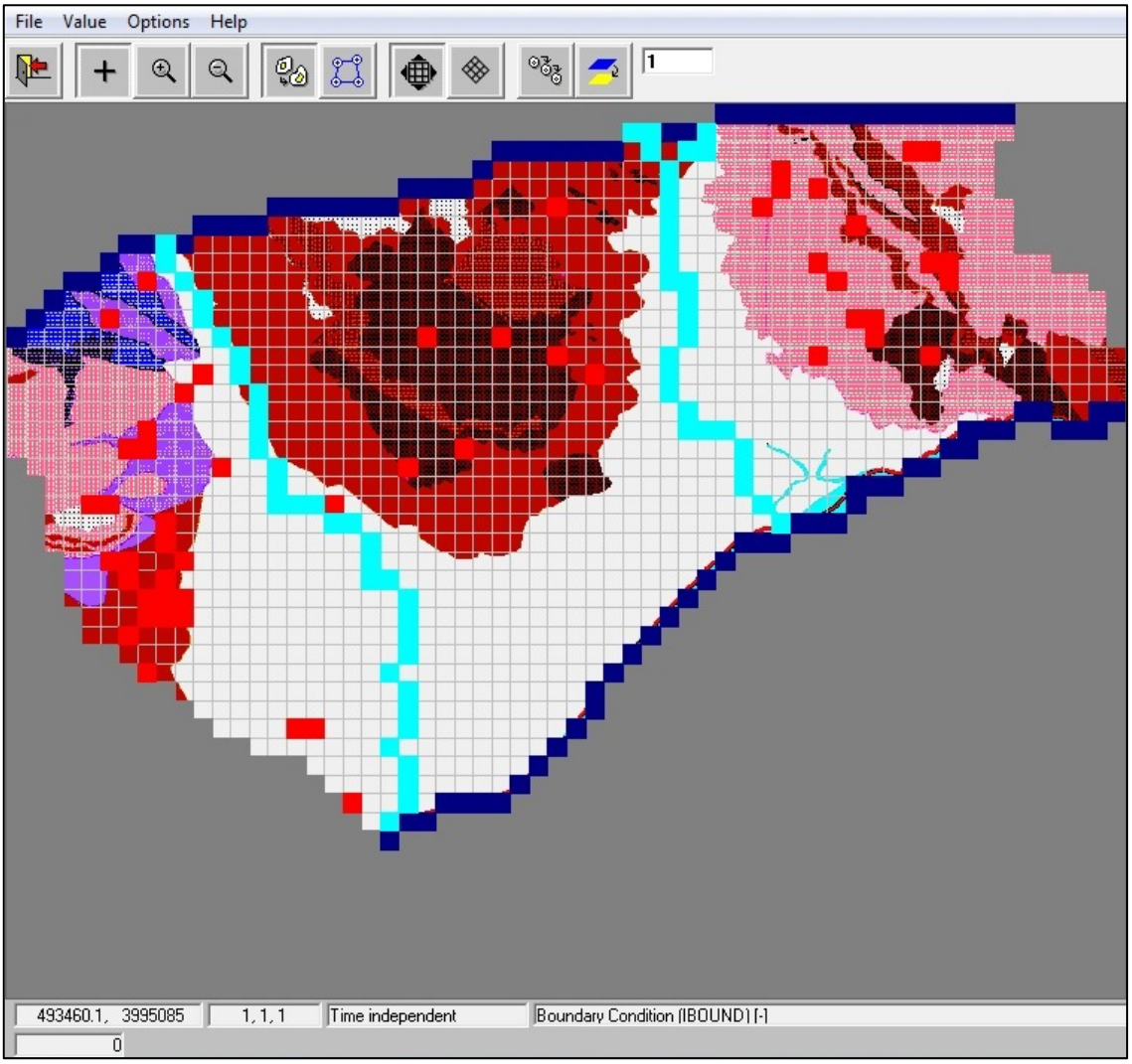
$$L=300+25T+0,05T^3 \quad (2)$$

Burada;

ETP= Yıllık buharlaşma-terleme miktarı (mm)
P= Yıllık ortalama toplam yağış miktarı (mm)
T=Yıllık ortalama sıcaklık (°C) ifade etmektedir.

2010 yıllı Temmuz ayından 2011 yılı Temmuz ayına kadar olan bir yıllık dönemi kapsayan Anamur Meteoroloji İstasyonuna ait yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak bir yıllık dönem için gerçek buharlaşma-terleme miktarı 821,442 mm olarak hesaplanmıştır. Buharlaşma-terleme değerine tava kat sayısı uygulanmamıştır. Daha sonra bu değer yıllık yağış miktarı olan 1037,7 mm' den çıkarılarak akifere yağıştan olan net beslenim 216,257 mm/yıl olarak belirlenmiştir. Bu değer modele 0,216 m/yıl olarak atanmıştır.

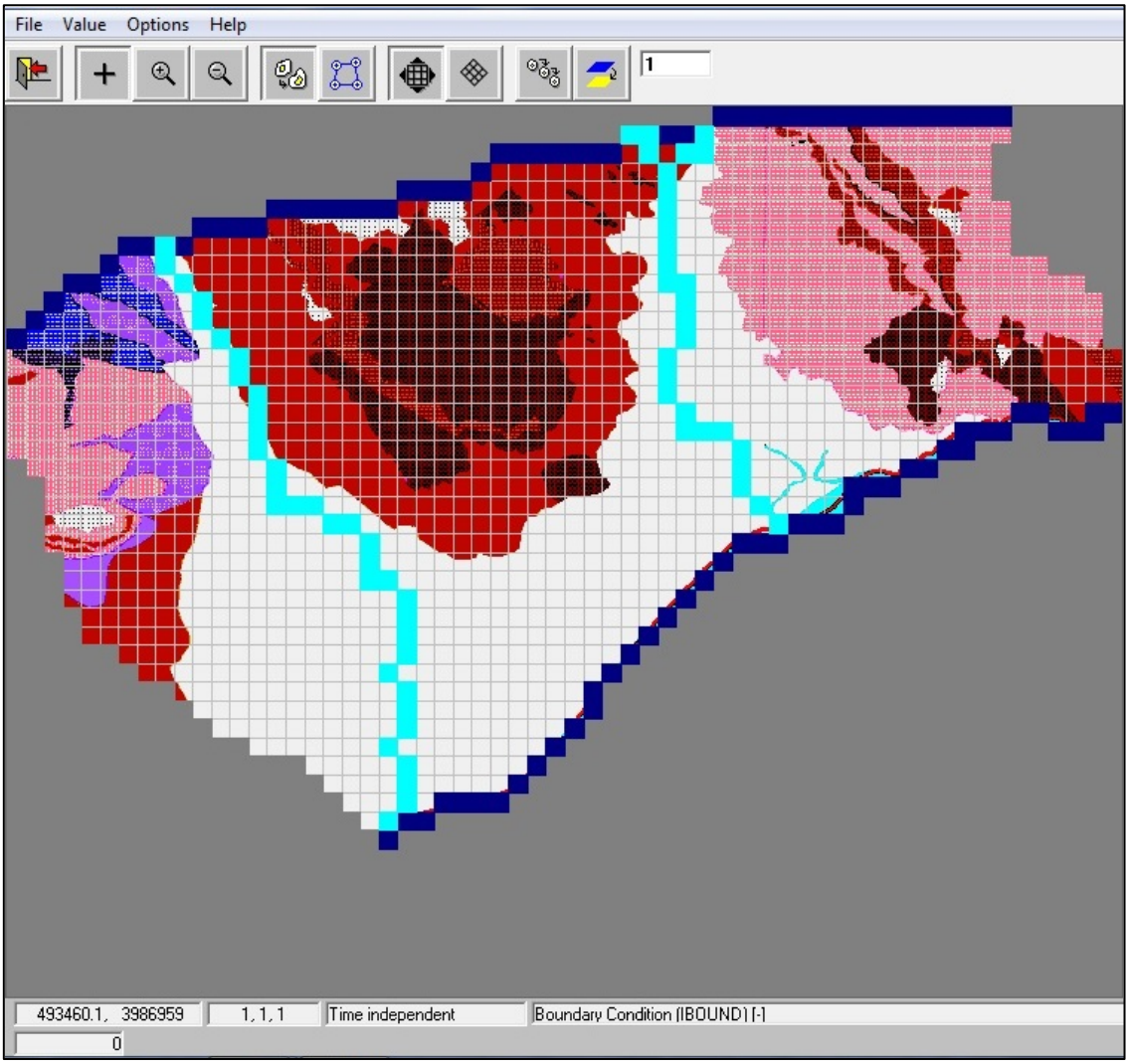
Anamur Belediyesinin içme ve kullanma suyu sağladığı kuyular ve DSİ Sulama Birliği kuyuları akiferden boşalım olarak modele aktarılmıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. MODFLOW'da tanımlanan çekim kuyuları.

4.8. Yüzey su kütlelerinin tanımlanması

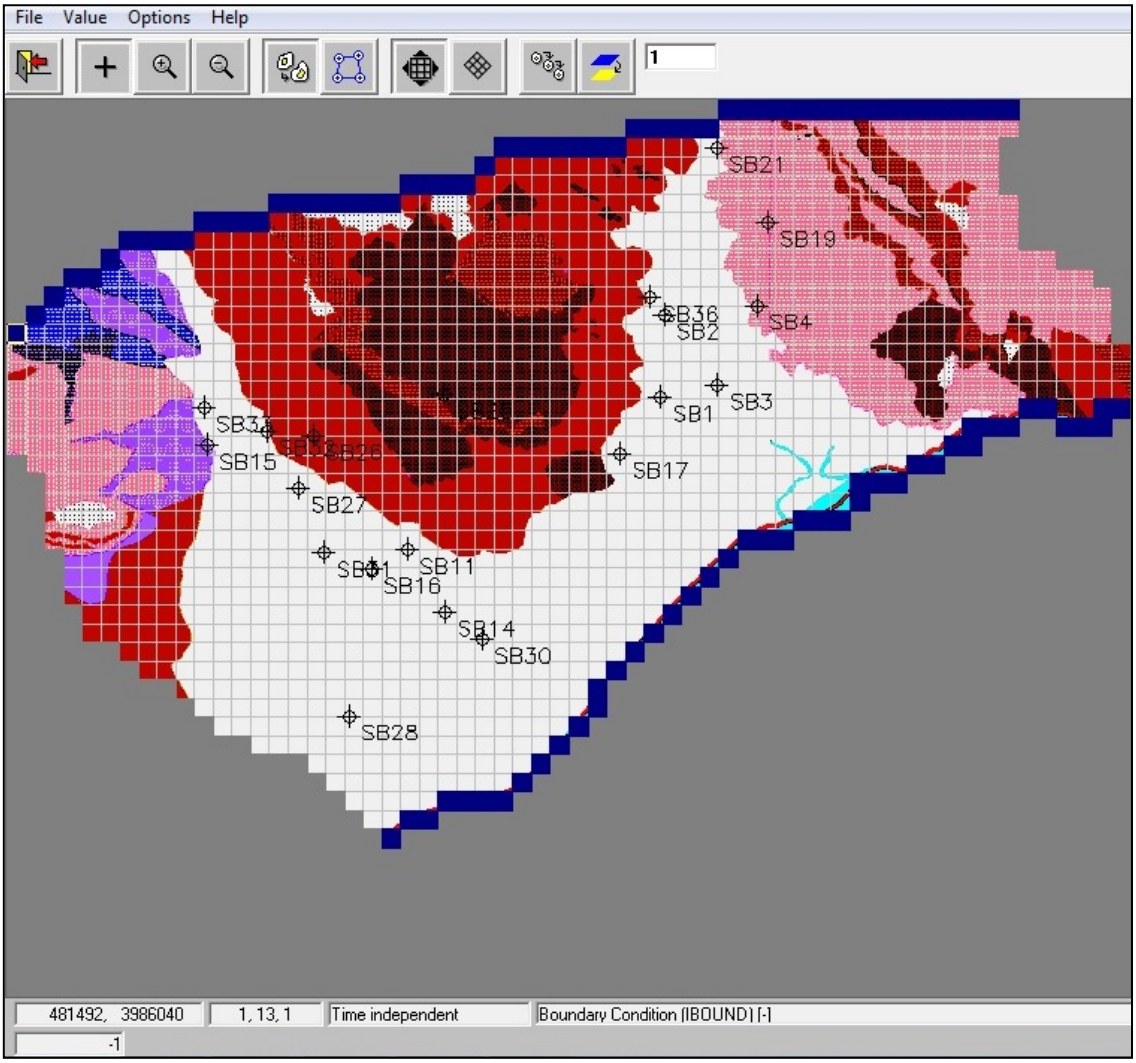
Çalışma alanında bulunan Dragon Dere ve Sultançayı' nın ana kolları yüzey su kütleleri olarak tanımlanmıştır. Bu akarsulardaki su seviyeleri arazide yapılan seviye ölçümlerine göre modele aktarılmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Dragon Dere ve Sultançayının hidrolik özelliklerinin MODFLOW'da tanımlanması.

4.9. Gözlem Kuyuları

Modele 2011 Temmuz döneminde Anamur Sulama Birliği tarafından ölçüm yapılan kuyular ve bu kuyulardaki yeraltısuyu seviyeleri eklenmiştir(Şekil 4.19).



Şekil 4.19. MODFLOW programına aktarılan Sulama Birliği yeraltısuyu gözlem kuyuları.

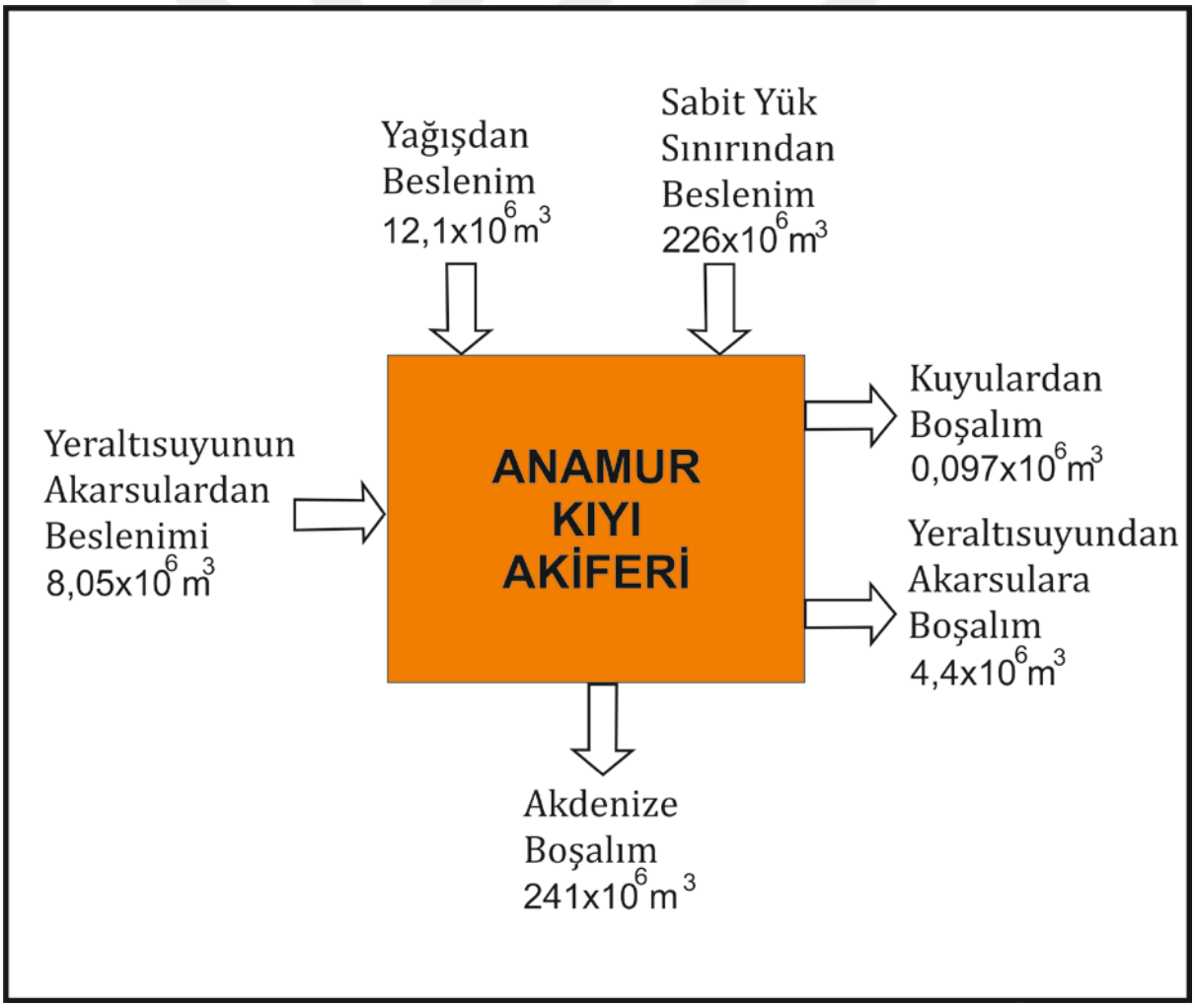
4.10. Modelin Çalıştırılması

Tüm verilerin modele aktarılmasının ardından model dengeli akım koşullarında çalıştırılmıştır. Modelin çalıştırılması sonucunda elde edilen su bütçesi Şekil 4.20'de verilmiştir. Buna göre kuzey sınırı oluşturan sabit yük sınırından sisteme yılda 226×10^6 m^3 su girmekte ve güneyde Akdeniz kıyısındaki sabit yük sınırından 241×10^6 m^3 su boşalmaktadır. Kuyulardan yıllık çekilen su miktarı $9{,}7 \times 10^4$ m^3'tür. Yağıştan yıllık beslenim miktarı ise 12.1×10^6 m^3'tür. Yeraltısuyunun akarsulardan beslenim miktarı 8.05×10^6 m^3, akarsuların yeratısuyundan beslenim miktarı 4.4×10^6 m^3 olduğu Şekil 4.21'deki kavramsal model üzerinde gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre Anamur Kıyı Akiferinin besleniminin %92'si kuzey sınırındaki sabit yük sınırından gerçekleşmektedir. Yeraltısuyunun akarsulardan beslenim miktarı, yeraltısularının akarsulara boşalım miktarının yaklaşık iki katı kadardır.

VOLUMETRIC BUDGET FOR ENTIRE MODEL AT END OF TIME STEP 1 IN STRESS PERIOD 1

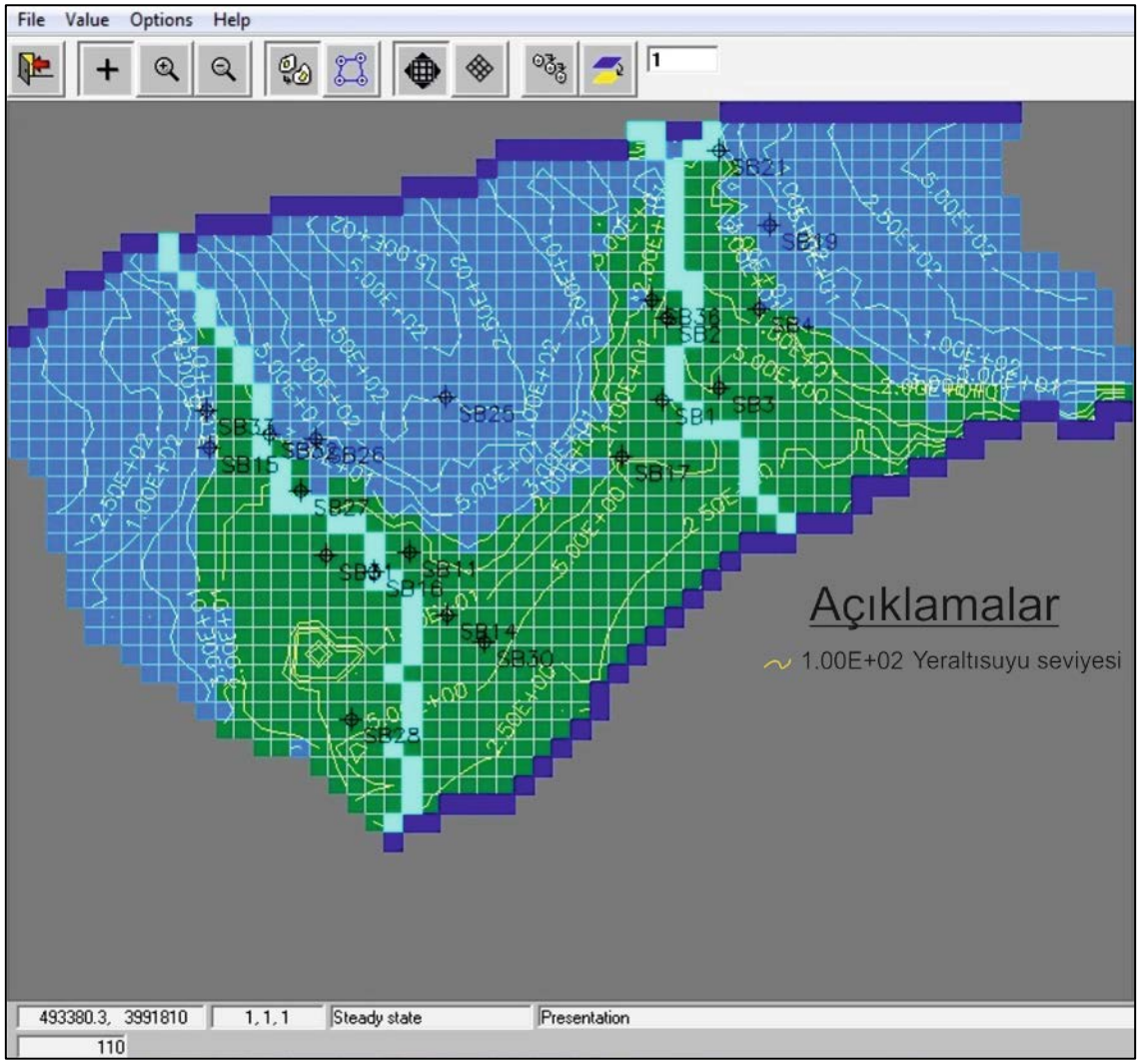
CUMULATIVE VOLUMES	L**3	RATES FOR THIS TIME STEP	L**3/T
IN:		IN:	
CONSTANT HEAD =	226850480.0000	CONSTANT HEAD =	226850480.0000
WELLS =	0.0000	WELLS =	0.0000
RIVER LEAKAGE =	8050820.5000	RIVER LEAKAGE =	8050820.5000
RECHARGE =	12055500.0000	RECHARGE =	12055500.0000
TOTAL IN =	246956800.0000	TOTAL IN =	246956800.0000
OUT:		OUT:	
CONSTANT HEAD =	241372480.0000	CONSTANT HEAD =	241372480.0000
WELLS =	965662.0630	WELLS =	965662.0630
RIVER LEAKAGE =	4409355.5000	RIVER LEAKAGE =	4409355.5000
RECHARGE =	0.0000	RECHARGE =	0.0000
TOTAL OUT =	246747504.0000	TOTAL OUT =	246747504.0000
IN - OUT =	209296.0000	IN - OUT =	209296.0000
PERCENT DISCREPANCY =	0.08	PERCENT DISCREPANCY =	0.08

Şekil 4.20. Model tarafından üretilen su bütçesi.



Şekil 4.21. Kavramsal model.

Modelin ürettiği yeraltısuyu su seviye haritası Şekil 4.22'de sunulmuştur.



Şekil 4.22. MODFLOW tarafından üretilen su seviye haritası.

Modelden elde edilen sonuçlar DSİ'nin 1978 yılında Sultançayı ve Dragon Dere bölgesinde yaptığı yeraltısuyu bilonçosuyla karşılaştırılmıştır. DSİ'nin çalışmasında yağıştan yıllık beslenim $5x10^6$ m^3 olduğu, modelleme sonuçlarına göre ise yağıştan yıllık beslenim $12,1x10^6$ m^3, DSİ'nin çalışmasında akarsulardan yıllık beslenim $3,5x10^6$ m^3,modelleme sonuçlarına göre akarsulardan yıllık beslenim $8,05x10^6$ m^3 olarak belirlenmiştir. DSİ'nin çalışmasında yeraltısuyunun Akdenize boşalım miktarının yıllık $10,5x10^6$ m^3, modeleme sonuçlarına göre ise yıllık $241x10^6$ m^3, suni boşalım miktarının DSİ'nin çalışmasında yıllık $1x10^6$ m^3, modelleme sonuçlarına göre ise yıllık $0,097 x10^6$ m^3 olduğu belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Anamur Kıyı Akiferi doğuda Dragon (Anamur) Deresi ve batıda Sultançayı'nın beslediği bir delta ortamınca temsil edilmektedir. Kıyı Akiferinde yeraltısuyu taşıyan formasyon alüvyondur. Alüvyon kalınlığı 25 m ile 45 m arasında değişmekte olup Dragon ve Sultançayı akarsu yataklarına yakın bölgelerde en yüksek kalınlıkta, akarsu yataklarından uzaklaştıkça azalmaktadır. Dragon Deresi ve Sultançayı havzalarının kuzey kesimleri karstik özelliktedir.

DSİ ve Anamur Sulama Birliği tarafından bölgedeki kuyularda aylık yapılan yeraltısuyu seviye ölçümlerinden Şubat 2010, Nisan 2013, Ekim 2016 ve Mayıs 2017 dönemleri için yeraltısuyu seviye haritaları hazırlanmıştır. Bu haritalardan yeraltısuyu akım yönünün genel olarak kuzeyden güneye doğru olduğu belirlenmiştir. Kıyı Akiferi kesiminde genel olarak Şubat 2010 döneminde yeraltısuyu seviyesi Nisan 2013, Ekim 2016 ve Mayıs 2017 dönemlerine göre en yüksek seviyededir. Dragon Deresi çevresindeki kuyularda Şubat 2010 döneminden itibaren Nisan 2013, Ekim 2016 ve Mayıs 2017 dönemine kadar yeraltısuyu seviyesinde sürekli olarak bir düşüş gözlenmektedir.

Anamur Bölgesinde yeraltısuyunun beslenim, depolama ve boşalım alanlarının belirlenerek hidrojeolojik sisteminin anlaşılması ve akifere ait su bütçesinin saptanması amacıyla Anamur Kıyı Akiferi üç boyutlu Processing MODFLOW yazılımı kullanılarak benzeştirilmiştir. Dengeli akım koşullarında çalıştırılan modelin su bütçesi sonuçlarına göre akiferin kuzey sınırını oluşturan sabit yük sınırından sisteme yılda $226x10^6$ m^3 su girmekte ve güneyde Akdeniz kıyısındaki sabit yük sınırından $241x10^6$ m^3 su boşalmaktadır. Kuyulardan yıllık çekilen su miktarı $0.97x10^5$ m^3'tür. Yağıştan yıllık beslenim miktarı ise $12.1x10^6$ m^3'tür. İnceleme alanının bazı kesimlerinde akarsular yeraltısuyunu bazı kesimlerinde ise yeraltısuyu akarsuları beslemektedir. Yeraltısuyunun akarsulardan beslenim miktarı $8.05x10^6$ m^3, akarsuların yeratısuyundan beslenim miktarı ise $4.4x10^6$ m^3'tür. Bu sonuçlara göre Anamur Kıyı Akiferinin besleniminin %92'si kuzey sınırındaki sabit yük sınırından gerçekleşmektedir. Yeraltısuyunun akarsulardan beslenim miktarı, yeraltısularının akarsulara boşalım miktarının yaklaşık iki katı kadardır.

Model sonuçlarına göre Anamur Kıyı Akiferi büyük oranda havzanın yüksek kesimlerindeki yağıştan beslenmektedir. Küresel iklim değişimlerinin bu bölgedeki yağışları etkilemesi ve bunun da Anamur Kıyı akiferinde su miktarı ve kalitesi ile ilgili olumsuz sonuçlar doğurması beklenmektedir. Bu nedenle gelecekte bölgede su ihtiyacının karşılanabilmesi için uygulanacak su politikaları açısından, Anamur Kıyı Akiferi için yapılan bu modelleme çalışması temel alınarak farklı iklim senaryolarına göre akım ve taşınım modellerinin geliştirilmesi faydalı olacaktır.

Akiferin Dragon Deresi çevresindeki yeraltısuyu seviyesinde son yıllarda önemli düşümler belirlenmiştir. Bölgede yeraltısuyu seviye ölçümlerine devam edilmesi ve yeraltısuyu seviye düşümleri ile ilgili önlemler alınması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

[1]. Google Earth, https://www.google.com/earth (19.02.2017)

[2]. Sunkar, M. ve Uysal, A. (2014). Anamur (Dragon) Çayı' nın (Mersin) hidrografik özellikleri ve ekonomik potansiyeli. Coğrafya Dergisi, 28, 69-93.

[3]. Orman ve Su İşleri Bakanlığı ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2016). Havza Master Plan Nihai Raporu (Rapor No. 3/5).Ankara.

[4]. Tüik, https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr (13.07.2017).

[5]. Türkiye İstatistikler Kurumu (2013). Seçilmiş Göstergelerle Mersin 2013 (Yayın No. 4240). (http:-//www.tuik.gov.tr/ilGostergeleri/iller/MERSIN.pdf).

[6]. Güvenç, T. (1965). Etude stratigraphique et micropplé ontologique du Carbonifére et du Permien des Taurus occidentaux dans I' arriéve-pays d'Alanya. Thése Univer. Paris (non publiée)

[7]. Peyronnet, P. de, (1971). Alanya bölgesinin (Güney Toroslar) Jeolojisi, metamorfik boksitin kökeni. M.T.A. Enstitüsü Dergisi, 76, 98-132.

[8]. Demirtaşlı, E. (1980). Correlation of Paleozoyik stratigraphy of Turkey, İran and Pakistan in. Ibrahim Shah, S. M., Quennell, A. M. (cus) Stratigraphic correlation of Turkey. İran and Pakistan Vol. l, Overseas Development Administration, London.

[9]. Demirtaşlı, E. (1987). a, Batı Toroslar'ın Akseki, Manavgat ve Köprülü arasında kalan bölgenin jeoloji incelemesi. M.T.A. Rapor No:8779, Ankara.

[10]. Demirtaşlı, E. (1987). b, Silifke batısında Hacıishaklı, Büyükeceli, Korucuk ve Akdere Köyleri arasında kalan bölgenin Jeolojisi. M.T.A. Rapor No:8779, Ankara.

[11]. Ulu, Ü. (1983). Sugözü-Gazipaşa (Antalya) Alanının Jeolojisi, Jeo. Müh. 16, 3-8.

[12]. Ulu, Ü. (1986). Gazipaşa-Sugözü (Antalya) Alanının Jeolojisi. M.T.A. Rapor No:7965, Ankara.

[13]. Ulu, Ü. (1989). Gazipaşa (Antalya ili) bölgesinin jeolojisi. Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

[14]. Öztürk, E.M., Akdeniz, N., Bedi, Y., Sönmez, İ., Usta, D., Kuru, K., Erbay, G., (1995) Alanya napının stratigrafisine farklı bir yaklaşım. TJK Bült. 10, 2-10.

[15]. Usta, D. (2001). Anamur-Bozyazı dolayının (Alanya P29-c2, c3, c4, paftalarının) jeolojisi. M.T.A. Jeoloji Etütler Dairesi, Rapor No: 10485, Ankara.

[16]. DSİ (1978), "Anamur ovası hidrojeolojik etüt raporu", Ankara, (1978).

[17]. Yaren, Z. (2013). Anamur (Mersin) kıyı akiferinin hidrojeokimyası. Yüksek lisans tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.

[18]. Çobaner, M. (2009). Kıyı akiferlerinde tuzlu su girişiminin üç boyutlu similasyonu: Göksu Deltası örneği. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

[19]. Tufan, S. (2007). Bakırköy havzasının bilgisayar ortamında modellenmesi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[20]. Kilit, M. (2010). Kıyı akiferlerinde tuzlu su girişiminin modellenmesi ve yeraltısuyu kullanımı optimizasyonuna yönelik muhtemel senaryolar: Tunus Cote Orıentale akiferi uygulaması. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

[21]. Karahanoğlu, N.,Yazıcıgil, H., Doyuran, V., Emekli, N., Hallaji, K. (1995). Kıyı akiferlerindeki tatlı su–tuzlu su girişiminin sonlu elemanlar benzetim yöntemi ile modellenmesi. TÜBİTAK,

http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TPRJ&ano=43562_4c8d3da3072d8b1384f69e1aff8f0b91

[22]. Kulak, R. (2006). KKTC Yeşilköy havzasının hidrojeolojik modellemesi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[23]. Demiray, Z. (2010). Hydrogeology of Valco San Paolo (Rome-Italy) GroundwaterModellingApproachwıth Modflow-2005. Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

[24]. Özgenç, A. (2002). Computation of groundwater contamination by using modflow. Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

[25]. Venetsanou, P.,Kazakıs, N., Anagnostopoulou, C., Voudourıs, K. S. (2016). Impacts of raın fall changes on groundwater balance of coastal aquifers: A casestudy of the themakos Gulf, North Greece. Global Nest Journal, 18(1), 185-196, (2016).

[26]. Pisinaras, V. (2016). Assessment of future clımate changes ımpacts ın a mediterranean aquifer. Global Nest Journal, 18(1), 119-130.

[27]. Yang, J.,Graf, T., Ptak, T. (2015) Impact of climate change on fresh water resources ın a heterogeneous coastal aquifer of Bremerhaven, Germany: A three-dimensional modeling study, Journal of Contaminant Hydrology, 177(178), 107-121.

[28]. Sherif, M.,Kacimov, A., Javadi, A., Ebraheem, A. A. (2012). Modeling groundwater flow and Sea water ıntrusion in the coastal aquifer of Wadi Ham, UAE. Water Resour Manage, 26, 751-774.

[29]. Hatipoğlu, Z., Motz, L. H., Bayari, C. S. (2009) Characterization of the groundwater flow system in the hill side and coastal aquifers of the Mersin-Tarsus region (Turkey).Hydrogeology Journal,17, 1761-1778.

[30]. Wang, H. F. ve Anderson, M. P. (1982). San Diego California:(http://www.ees.nmt.edu/outside/courses/hyd547/supplemental/W&A_1995.pdf).

[31]. Hökelekli, E. ve Yılmaz, İ. (2011). Akarçay kuzey alt havzası yeraltısuyu modellemesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, (2010-2), 5-6.

[32]. Fetter, C. W. (1980). Uygulamalı hidrojeoloji 4thed (M. Afşin, K. Kayabalı, Çev.) Ankara: Gazi Kitabevi.

[33]. Boyraz, U. ve Kazezyılmaz-Alhan, C. M. (2016). Hidrojeolojik modellemede yüzey suyu-yeraltısuyu etkileşimlerinin önemi. Eylül 2011. Erişim tarihi 20 Aralık 2016, https://www.researchgate.net/publication/282605371

[34].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. Tecniques of Water-Resorces Investigations of the United States Geological Survey, Book 7, Chap. C1

[35]. McDonald, G.M. ve Harbaugh, A.W. (1984). A moduler three dimensional finite-difference ground-water flow model. US Geological Survey (Open File Report 83-875).

[36]. Atilla, A.Ö. (2002). Afyon ovası yeraltısuyu akım modeli. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 26(2), 17-30.

[37]. Elhatip, H. 1997. The influence of karst features on environmental studies in Turkey. Enviromental Geology, 31, 27-33.

[38]. Anamur Belediyesi, Anamur bölgesi içme ve kullanma suyu sağladığı kuyuların lokasyon ve debi verileri, (yayınlanmamış)(2017).

[39]. DSİ, Anamur bölgesi aylık yeraltısu seviye elektriksel iletkenlik ölçümü yapılan gözlem kuyularının lokasyonları, (yayınlanmamış)(2017).

[40]. Anamur Sulama Birliği, Anamur bölgesi aylık yeraltısu seviye ve elektriksel iletkenlik ölçüm verileri, (yayınlanmamış)(2017).

[41]. Domenico P.A., Schwartz, F.W., 1997. Physical and Chemical Hydrogeology, 2nd Edition. John Wiley&Sons, New York, 640 s.

[42]. Bell, F.G. (2000). Engineering Properties of Soils and Rocks. 4th edition, Oxford: Black well Science.

[43]. Jumikis, A.R. (1983). Rock Mechanics, Second Edition, Trans Tech Publications, 613 s.

[44]. Turc, L. (1954). Le Biland'eaudessols. Relationentre la précipation, l'évaporation et l'écoulement. Ann. Agron., 5, 491-569.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Arzu ÇANAKCI

Doğum Tarihi: 01.07.1989

E-mail: arzucnkc33@hotmail.com

Öğrenim Durumu:

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Fen Bilimleri/YDA	Dumlupınar Lisesi	2003-2007
Lisans	Jeoloji Mühendisliği	Çukurova Üniversitesi	2008-2013
Yüksek Lisans	Jeoloji Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2014- -----