



AFYONKARAHİSAR SİNANPAŞA OVASI'NIN

YERALTI SUYU MODELLEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erhan YEŞİLYURT

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AFYONKARAHİSAR SİNANPAŞA OVASI'NIN YERALTI SUYU
MODELLEMESİ

Erhan YEŞİLYURT

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2019

TEZ ONAY SAYFASI

Erhan YEŞİLYURT tarafından hazırlanan “Afyonkarahisar Sinanpaşa Ovası’nın Yeraltı Suyu Modellemesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 27/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

İmza

Başkan : Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA

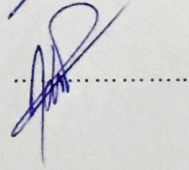
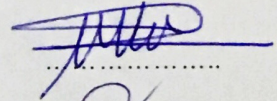
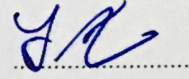
Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Kemal SAPLIOĞLU

Süleyman Demirel Ü. Mühendislik Fakültesi



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

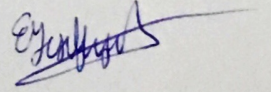
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

27/06/2019



Erhan YEŞİLYURT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AFYONKARAHİSAR SİNANPAŞA OVASI'NIN YERALTI SUYU MODELLEMESİ

Erhan YEŞİLYURT

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

Bu çalışmada Afyonkarahisar Sinanpaşa Havzasının yapısal jeoloji ve hidrojeolojisi, hidrolojisi, stratigrafisi incelenmiş, Sinanpaşa Havzasındaki yeraltı suyu akım modeli 2014 yılı mayıs ayı için gerçekleştirilmiştir. Hidroloji bölümünde, çalışma alanında bulunan su kaynakları da incelenmiştir. Bu birimlerde tanım, dağılımı, litolojik özellikleri anlatılmıştır. Yapısal jeoloji kısmında, tektonik olaylar sonucunda oluşan faylardan ve kıvrımlardan bahsedilmiştir.

Hidroloji bölümünde ise yağış, buharlaşma ve akış parametrelerine bağlı olarak Sinanpaşa Havzasındaki yeraltı suyu akım modeli üç boyutlu olarak oluşturulmuş ve çalışma alanının su bütçesi hesaplanmıştır. Hidrojeoloji bölümünde, su noktalarına ait özellikler belirtilmiştir. Çalışma alanında yer alan akiferin hidrojeolojik parametreleri ve yeraltı suyu dinamiği incelenmiştir. Yeraltı suyu akım modellemesi bölümünde hidroloji ve hidrojeoloji bölümünde elde edilen veriler kullanılarak çalışma alanının yeraltı suyu akım ilişkisi ortaya çıkarılmıştır.

2019, ix + 70 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sinanpaşa Ovası, yeraltı suyu, modelleme, MODFLOW

ABSTRACT
M. Sc. Thesis

GROUNDWATER MODELLING OF AFYONKARAHISAR SİNANPASA PLAIN

Erhan YEŞİLYURT

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Murat KİLİT

In this study, structural geology and hydrogeology, hydrology, stratigraphy of Afyonkarahisar Sinanpaşa Basin were investigated and groundwater flow model in Sinanpaşa Basin was carried out for May 2014. In the hydrology department, water resources in the study area were also examined. The definition, distribution and lithological features of these units are explained. In the structural geology section, faults and folds formed as a result of tectonic events are mentioned. In the hydrology department, groundwater flow model in Sinanpaşa Basin was formed in three dimensions depending on rainfall, evaporation and flow parameters and the water budget of the study area was calculated. In the Hydrogeology section, the properties of the water points are indicated. Hydrogeological parameters and groundwater dynamics of the aquifer in the study area were investigated. The groundwater flow relationship of the study area was revealed by using the data obtained from the hydrology and hydrogeology section of the groundwater flow modelling section.

2019, ix + 70 pages

Keywords: Sinanpasa Plain, groundwater, modelling, MODFLOW

TEŞEKKÜR

Tezimde bilgi ve tecrübesi ile katkı sağlayan değerli Danışman Hocam Dr. Murat Kilit'e, verileriyle destek sağlayan DSİ 18. Bölge Müdürlüğü ve Meteoroloji 5. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Erhan YEŞİLYURT
AFYONKARAHİSAR, 2019



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1 Materyal	7
3.1.1 Çalışma Alanının Yeri	7
3.1.2 Çalışma Alanının Morfolojisi	9
3.1.3 İklim ve Bitki Örtüsü	9
3.2 GMS Programında Yeraltı Suyu Modelleme	9
3.3 Yeraltı Suyu Modelleme Yöntemi	10
3.3.1 Kavramsal Model Yaklaşımı (Conceptual Model Approach)	11
3.3.2 Programda Kullanılan Hidrolik Terimler	13
3.4 Yöntemler.....	15
3.5 Jeoloji	18
3.5.1 Jeolojik Birimler	18
3.5.2 Paleozoyik ve Mesozoyik Kayaları	18
3.5.3 Neojen Kayaları	21
3.5.4 Yeniköy Formasyonu.....	21
3.5.5 Köprülü Formasyonu	22
3.5.6 Afyon (Güney) Volkanitleri.....	22
3.5.7 Kuvaterner Oluşukları.....	24
3.6 Yapısal Jeoloji.....	24
3.6.1 Faylar	26
3.7 Hidroloji	30

3.7.1 Yağış.....	30
3.7.2 Buharlaşma.....	33
3.7.3 Thornthwaite Yöntemi ile Yeraltı Suyu Bilançosu Hesaplanması.....	35
3.8 Yüzeysel Akış	38
3.9 Çalışma Alanındaki Su Kaynakları.....	39
3.9.1 Akarsular.....	39
3.9.2 Barajlar ve Göletler.....	40
4. BULGULAR	43
4.1 Sinanpaşa Ovası Yeraltı Suyu Akım Modeli	43
4.1.1 Yeraltı Suyu Akımın Matematiksel Denklemleri	43
4.1.2. MODFLOW 2000.....	47
4.1.3 Sinanpaşa Ovası Yeraltı Suyu Akımının MODFLOW ile Modellemesi...47	
4.1.4 Sınır Koşulları ve Grid Ağlarının Oluşturulması.....	48
4.1.5 Tabakaların Oluşturulması ve Özellikleri.....	48
4.1.6 Akiferin Hidrojeolojik Parametreleri.....	52
4.1.7 Model Parametreleri	53
4.1.7.1 Yağıştan Beslenim.....	54
4.1.7.2 Pompaj ve Gözlem Kuyuları	55
4.1.8 Yeraltı Suyu Akım Modelinin Kalibrasyonu.....	57
4.1.9 Modelin Su Bütçesi ve Sonuçları.....	61
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	64
6. KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

q	Darcy akımı [L/T]
K	Hidrolik iletkenlik katsayısı [L/T]
i	İki nokta arasındaki hidrolik eğimi [L/L]
h	hidrolik yük[L]
ρ	Öz kütle [M/L ³]
qx	X yönündeki darcy akımı
qy	Y yönündeki darcy akımı
qz	Z yönündeki darcy akımı
Kx	X yönündeki hidrolik iletkenlik katsayısı
Ky	Y yönündeki hidrolik iletkenlik katsayısı
Kz	Z yönündeki hidrolik iletkenlik
katsayısı V_{cont}	İki tabaka arasındaki düşey sızma
miktarı [1/T] ΔV_k	Üstteki tabakanın kalınlığı [L]
ΔV_{k+1}	Altteki tabakanın kalınlığı [L]
$[K_z]_{j, i, k}$	Üstteki tabakanın düşey hidrolik iletkenliği
$[L/T] [K_z]_{j, i, k+1}$	Altteki tabakanın düşey hidrolik iletkenliği
$[L/T] U$	Aylık evapotranspirasyon [L]
k_c	Bitkinin cinsine göre katsayı
t	Aylık ortalama sıcaklık derecesi (°C)

Kısaltmalar

A.G.İ.	Akım Gözlem İstasyonu
B	Batı
D	Doğu
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
DSİ	Devlet Su İşleri
ESI	Environmental Simulations Incorporated
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
GMS	Groundwater Modeling System
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
K	Kuzey
MODFLOW	Modular three-dimensional finite difference groundwater flow model
MTA	Maden Tetkik ve Arama
TIN	Triangulated Irregular Network
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UTM	Universal Transverse Mercator

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası (İnt. Kyn. 3)	8
Şekil 3.2 Kavramsal Model Yaklaşımının akış şeması (Koçak, 2013)	12
Şekil 3.3 Sinanpaşa Ovası gözlem kuyuları seviye ölçümleri (2008-2014).....	17
Şekil 3.4 Afyon Sincanlı Havzası ve civarının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Günen 2011)	20
Şekil 3.5 Güney volkanitlerin ölçeksiz genelleştirilmiş stratigrafik istifi (Bayhan vd. 1996)	23
Şekil 3.6 Sinanpaşa Ovası'nın jeolojik en kesiti (MTA 1963'dan uyarlanmıştır.)	25
Şekil 3.7 Çalışma alanının jeolojisini gösteren harita (MTA 1963'dan uyarlanmıştır). ..	28
Şekil 3.8 Çalışma alanında kuyuların stratigrafik sütun kesitleri (Akan vd. 2002)	29
Şekil 3.9 Afyonkarahisar DMİ yağış değişimleri (1929–2014)	31
Şekil 3.10 Sinanpaşa DMİ yağış değişimleri (1964–1994).....	31
Şekil 3.11 Afyonkarahisar DMİ aylık ortalama yağış değişimi	32
Şekil 3.12 Sinanpaşa DMİ aylık ortalama yağış değişimi.....	33
Şekil 3.13 Afyonkarahisar DMİ aylık ortalama sıcaklık değişimi	34
Şekil 3.14 Sinanpaşa DMİ aylık ortalama sıcaklık değişimi.....	34
Şekil 3.15 Araplı Deresinde 1970-2011 yılları arası akış verisi.....	39
Şekil 4.1 Kontrol hacmi.....	44
Şekil 4.2 Kontrol hacmi.....	46
Şekil 4.3 Modelde kullanılan kuyu loglarından bir örnek.....	49
Şekil 4.4 Model alanındaki 1.tabakanın yüzey haritası.....	50
Şekil 4.5 Model alanındaki 1.tabakayı gösteren harita.....	50
Şekil 4.6 Model alanındaki 2.tabakayı gösteren harita.....	51
Şekil 4.7 Model alanındaki 3. tabakayı gösteren harita.....	52
Şekil 4.8 Model alanındaki tüm tabakaları gösteren harita	52
Şekil 4.9 Modelin beslenme haritası	54
Şekil 4.10 Modelin gözlem kuyularının konumlarının verildiği harita.....	56
Şekil 4.11 Modelde 1.tabakanın pompaj kuyularının konumlarını gösteren harita.....	56
Şekil 4.12 Modelde 2.tabakanın pompaj kuyularının konumlarını gösteren harita.....	57
Şekil 4.13 Modelde 3.tabakanın pompaj kuyularının konumlarını gösteren harita.....	57
Şekil 4.14 Kalibrasyon sonucu gözlenen ve hesaplanan yeraltı suyu seviyeleri.....	58
Şekil 4.15 Modelde 1. tabakanın yeraltı suyu seviyesini gösteren harita.....	59

Şekil 4.16 Modelde 2. tabakanın yeraltı suyu seviyesini gösteren harita.....	60
Şekil 4.17 Modelde 3. tabakanın yeraltı suyu seviyesini gösteren harita.....	60
Şekil 4.18 Modelin genel su bütçesi.....	62



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Afyonkarahisar DMİ aylık ortalama Class A-Pan buharlaşmaları (mm).....	15
Çizelge 3.2 Afyonkarahisar ve Sinanpaşa DMİ ait gözlemlerin istatistiksel analizi	32
Çizelge 3.3 Potansiyel evapotranspirasyon enlem düzeltme katsayıları (İnt. Kyn. 6)....	36
Çizelge 3.4 Thornthwaite yöntemi ile yeraltı suyu bilançosu.....	36
Çizelge 4.1 Gözlem kuyularına ait bilgiler	55
Çizelge 4.2 Akiferin hidrolik iletkenlik katsayıları.....	61



1. GİRİŞ

Su canlıların olmazsa olmaz en önemli yaşam kaynağı ve zorunlu ihtiyacıdır. Son yıllarda dünyada ve Türkiye’de nüfus sayısı arttıkça su kaynaklarının mevcut durumu ve dağılımı üzerinde oluşan baskıların birisi de su kaynaklarının kullanımı konusudur. Yeraltı suyu seviyelerinin azalması sonucu birçok sorunu ortaya çıkarmıştır.

Doğa su miktarı bakımından dinamik denge halindedir. Uzun bir süre dikkate alındığında hidrolojik çevrimin herhangi bir parçasına giren ve çıkan su miktarları birbirine eşittir. Ancak kısa bir zaman aralığında bakılırsa çevrimdeki su miktarında büyük değişimler olduğu görülmektedir. Örneğin, bir yağış ölçeğinde kaydedilen yağış miktarları günden güne büyük farklar gösterir. Nitelikleri ve nicelikleri iyi belirlenemeyen çok sayıda etkenin meydana getirdiği bu düzensizlikler hidrolojik olayların incelenmesini güçleştirir (Bayazıt 1995).

Türkiye’ye düşen yıllık yağış yaklaşık 501 milyar m³’tür. Bu suyun 274 milyar m³’ü buharlaşma ile geri dönmekte, 69 milyar m³’lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m³’lük kısmı ise göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyuna filtre olan 69 milyar m³’lük suyun 28 milyar m³’ü tekrar yerüstü suyuna dönmektedir. Komşu ülkelerden gelen yılda ortalama 7 milyar m³ su bulunmaktadır. Türkiye’nin yeraltı suyunu besleyen 41 milyar m³ de eklendiğinde, ülkenin toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Ancak günümüzde tüketilebilecek yerüstü kullanılabilir su yılda ortalama toplam 98 milyar m³’tür. 14 milyar m³ olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m³ olup, 44 milyar m³’ü kullanılmaktadır (İnt. Kyn. 1).

Bu araştırmada, Sinanpaşa ovasına ait yeraltı suyu akım modellemesini ve havzadaki mevcut su potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Geliştirilecek olan model Sinanpaşa havzasının yeraltı suyunun kontrolü ve takip edilmesi noktasında diğer yapılacak çalışmalara rehber olacağı düşünülmektedir. Çalışma Groundwater Modeling System (GMS) program ile yapılacaktır. Groundwater Modeling System (GMS)

programının altında çalışan MODFLOW-2000 (Banta et al. 2000) programı ile de çalışılmıştır. Yeraltı suyu modelinin jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik, ekonomik ve nüfus etmenlerini dikkate alacak şekilde oluşturulacak ve bölgedeki yeraltı suyu bütçesinin belirlenecektir.

Yapılan bu çalışmada, İç Batı Anadolu'nun Afyonkarahisar ilinin sınırları içerisinde bulunan ve kapalı bir havza olan Akarçay havzasının alt havzası olan Sinanpaşa Havzasını kapsamaktadır. Eski ismi Sincanlı olan bölge 2004 yılında Sinanpaşa adını almıştır. Sinanpaşa Havzasının modelini oluşturmak için arazinin zemin özellikleri, tabakalar arası su akış verisi, havzanın haritası, havzanın yüzey kotu ve havzanın geri beslenme oranı kullanılacaktır. Belirlenen değerlerinden bazıları programa aktararak model oluşturulacaktır.

Yeryüzünde su kaynaklarından optimum faydalanmak için belirli bir plan ve belirli bir amaca yönelik kullanılmalıdır. Bu çalışmada, daha önce yapılmamış Sinanpaşa havzası için yeraltı suyu modellemesi gerçekleştirilecektir. Özetle;

1. Sinanpaşa Havzasının yeraltı suyu bütçesi hesaplanmış olacaktır.
2. Çalışma alanında yer alan tabakalar arası su akış verisi hesaplanabilecektir.
3. Havzanın GMS ile yapılması sayesinde ileride yeni veri girişlerine olanak sağlanacaktır ve çalışma alanında yeni yapılacak çalışmanın, detaylı çalışılmasına katkı sağlanabilecektir.
4. Akiferin hidrojeolojik parametreleri ve yeraltı suyunun dağılımı görsel olarak ortaya konulacaktır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Günümüzde etkisi giderek artan iklim değişikliği ve yeraltı suyunun kullanım durumu, yeraltı suyunun davranışının ve değişimlerinin incelenmesini gerekli kılmıştır. Yeraltı suyu modellemesi sayesinde yeni kuyu taleplerinin nerelerde ve hangi derinlikte olması gerektiği tespit edilerek, bu kuyulardan hangi miktarda su alınacağına karar verilme imkânı sağlanabilir. Yeraltı suyu davranışı ve modellemesi konusunda literatürde birçok çalışma bulunmaktadır.

Altuğ vd. (1965), Akarçay Havzasının ilk çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Şuhut, Afyon, Bolvadin, Sultandağı ve Sincanlı Ovalarından toplam $178 \times 106 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'lık yeraltı suyunun kullanılabileceğini hesaplamışlardır. Atalay (1969), yaptığı çalışmada Akarçay Havzasında yeraltı suyunun rezervlerinin hidrojeolojik planlamasını yapmıştır.

DSİ, Şuhut Ovası hariç Akarçay havzasının yeraltı suyu bilançosunu tespit edip kullanabileceği miktarı belirtmiştir (DSİ 1977).

Akan vd. (2002), Akarçay Havzasının hidrojeolojisi tanımlayarak model oluşturmuşlardır. Akarçay Havzasını; Afyon, Sincanlı, Çobanlar, Şuhut, Çay, Bolvadin, Eber, Akşehir olmak üzere alt havzalara ayırmışlardır. Akarçay Havzasında hidrojeolojik değerlerine bakarak yeraltı suyu bütçesini çıkarmışlardır.

Atilla (2002), Afyonkarahisar Havzası'nda yeraltı sularının geleceği ve su seviyelerinin durumu MODFLOW ile model oluşturmuştur. Havza geneli için farklı yılların hidrolik yük değerleri ile yeraltı sularında azalma olduğu tespit etmiştir.

İçağa (2004), Akarçay havzasında yüzeysel suları ve yeraltı suyunu drene eden Akarçay'ın yağış, sıcaklık, akım ve buharlaşma gözlem verileri dikkate alınarak modellemesi oluşturulmuştur. Havzanın yeraltı suyundaki değişim ve değişimi etkileyen etmenleri modele yansıtmıştır.

Akarçay havzasının su kalitesini belirlemek için yüzey sularının Fiziksel ve İnorganik Kimyasal verilerinin istatistik değerleri çıkarılmış, su kaynaklarının sınıflarının kalite kriterlerine göre su kalitesi sınıfları belirlenmiştir (İçağa vd. 2006).

İçağa ve Yurtçu (2005), Bu çalışmada değişkenleri bulanık mantık ile modellemesi incelenmiştir. Akarçay Havzası'nın alt havzası olan Afyon havzasının 1977-1989 yılları arasındaki değerlerden akış, buharlaşma ve yağış verileri kullanılmıştır. Yeraltı su seviyesindeki (YSS) değişim bulanık mantık yaklaşımı ile modellenmiştir. İstasyon verileri ve Bulanık mantık yaklaşımı bilgilerinin örtüşmesi ortaya çıkmıştır.

Çakmak (2010), Afyonkarahisar ilinin güneyinde bulunan Şuhut Ovası'nın su bütçesinin belirlenmesi için MODFLOW-2000 programı ile yeraltı suyu akım modeli oluşturmuştur. Oluşturduğu model ile elde ettiği akiferin yağıştan süzülme sonucu beslenme miktarını yapılan son çalışmalarla karşılaştırmış ve beslenme miktarında azalma olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca 2007 yılında Uluslararası İklim Değişikliği Paneli'nde (IPCC) ele alınan dört iklim senaryosundan A1FI, A2, B1, B2 senaryoları, 2050 ve 2100 yılları için modele aktarmış ve sonuçları incelemiştir.

Hökelekli (2010), Afyon il sınırları içerisinde bulunan ve doğudan Konya sınırlarına girmekte olan Akarçay havzasının, Bolvadin, Çay, Çobanlar, İscehisar, İhsaniye, Bolvadin-Eber gölü sınırları ve Akarçay nehrinin kuzeyinde yer alan bölgeleri kapsayan çalışmada, Akarçay havzası akiferine ait yeraltı suyu akım modellemesini Groundwater Modeling System (GMS) programında oluşturmuştur. Bütçe ve planlama hesaplarında kullanabilmek için havzadaki yeraltı su seviyesinin tespit edilmesi amacıyla yapılan çalışmada havzadaki su potansiyeli hakkında ortalama bilgiler elde edilmiştir. Kurulan bu modelin Akarçay havzası yeraltı suyunun kontrol ve takip edilmesi ile ilgili çalışmalara ışık tutmasını öngörmüştür.

Günen (2011), Sincanlı(Sinanpaşa)-Afyon Neojen havzasının petrografik sedimantolojik ve jeokimyasal olarak sonuçlarını incelemiştir. İnceleme sonucunda Miyosen-Pliyosen zaman aralığında temel yükselteleri ile birbirinden ayrılmış alt havzalar oluştuğunu göstermiştir.

Aktaş (2016), günlük maksimum 250 m³ suyun toplandığı Kayışdağı su sisteminde mevcut tarihi özelliği olan katmanlara müdahale etmeden daha fazla suyun temin edilmesi için bazı drenaj teknikleri önererek suların toplanabilmesi konusunda iyileştirmeler yapılmasına yönelik bir çalışma yapmıştır.

Suyun kullanımının gelecek nesillere aktarabilmek ve uygulanabilir su yönetimi için yüzeysel suları ile yeraltı sularının seviyesinin ve hareketinin önemi anlaşılmıştır. Yeraltı sularının durumunun belirlenmesi ve akış yönünü bilmek için yeraltı sularının modellemesini GMS (Groundwater Modeling System) kullanarak Eber gölünün su bütçesine yönelik çalışma yapılmıştır (Baysal 2013).

Koçak (2013), yaptığı çalışmada Akarçay havzasının alt bölümlerinde olan Afyon, Şuhut, Sinanpaşa havzalarının yeraltı suyu modellemesini GMS (Groundwater Modeling System) programıyla su bütçesi belirlenmiştir. GMS programında yapılmasının önemli noktası verilerin tekrar girilerek güncellenme özelliği yapılmasıdır ve bu sayede yapılacak çalışmalara katkı sağlama amacı oluşmaktadır.

Ayşegül Özgenç (2002), yeraltı suyu kirliliğinin sebeplerinden birisi olarak sanayi tesislerinin olduğunu belirtmiştir. MODFLOW programı kullanarak çıkan sayısal veriler tartışılmıştır. Bu çalışmada, 400 yıllık zaman parametrelerinin sonuçlarını ve ayrıca 40 yıllık zaman parametreleriyle sayısal sonuçlar incelenmiştir.

Zeynep Demiray (2010), yaptığı çalışmada kavramsal model oluşturmak için önce akifer sınırları seçilmiştir. İncelenen bölgedeki Tiber nehri etrafında derin akifer sistemi incelenmiştir. Model “yerel” Valco S.Paolo bölgesi için geçerlidir. Bölgenin jeolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik özellikleri incelenmiştir.

Alex Modi Lomoro Wani (2019), Antalya'nın Altınova bölgesi için yeraltı suyu seviyelerini incelemiştir. Visual MODFLOW flex programı ile model oluşturulmuştur. Model, iki boyutlu kararlı akım durumunda uygulanmıştır. 2015 yılının Kasım ayı ve 2016 yılının Şubat ve Mayıs ayındaki değerlerle model sonucunda elde edilen yeraltı su seviyeleri ile karşılaştırılarak modelin kalibrasyonu oluşturulmuştur. Kalibrasyon

sonucunda üç farklı hidrolojik senaryo ortaya çıkmıştır. Hidrolojik senaryo için yeraltı suyu seviyelerine bakılmıştır.

Kouame vd. (2008) Bu çalışmalarında, Fildişi Sahilleri'nin şehirlerinden birisi olan Abidjan'daki(Abican) akiferin gelecek için korunmasına yönelik sayısal modelleme yapmışlardır. Yeraltı suyu kaynaklarında azalma olması sebebiyle riskleri ortaya koymaya çalışmışlardır. 1978 yılında yapılan yeraltı suyu seviye ölçümleri ile kararlı akım durumu için MODFLOW sayısal model ile modelin kalibrasyonunu oluşturmuşlardır.

Kallioras vd. (2009) Yunanistan'ın kuzeyinde bulunan akifer için yeraltı suyu akım modelini oluşturmuşlardır. Bu çalışmalarında, MODFLOW sayısal model ile yeraltı suyu akım modelini 400 mx400 m gridlerle belirlemişlerdir.

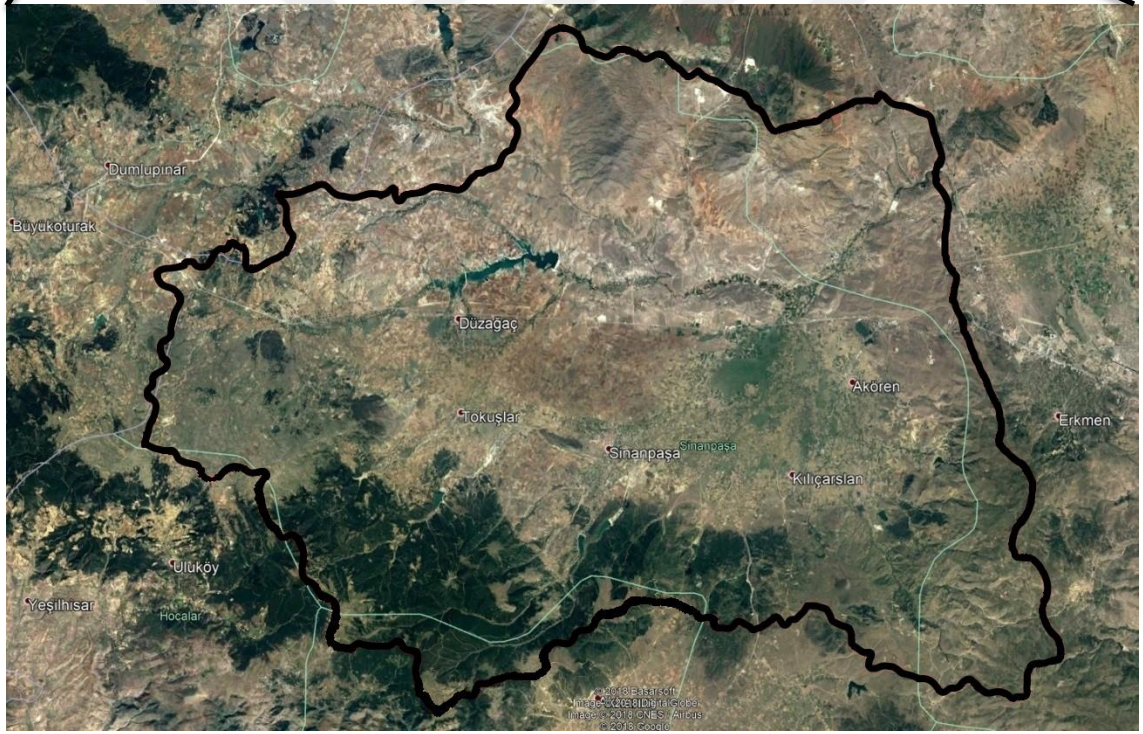
3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu bölümde, çalışma alanı olan Sinanpaşa'nın genel tanıtımı, morfolojik özellikleri, iklim ve bitki örtüsü, yerleşim merkezleri ve ulaşım durumu hakkında genel tanıtıcı bilgiler verilmiştir.

3.1.1 Çalışma Alanının Yeri

Çalışma alanı, Afyonkarahisar-Uşak-İzmir ve Afyonkarahisar-Antalya karayolu güzergâhındadır. Afyonkarahisar il merkezine 33 km uzaklıkta bulunmaktadır. Sinanpaşa(Sincanlı) ilçesinin koordinatları; kuzey enlemleri: 38° 37' 19" - 38° 55' 31" ve doğu boylamları: 30° 00' 14" - 29° 59' 51" şeklindedir. Çalışma alanı yaklaşık 831 km² 'lik bir alandan oluşmaktadır. Çalışma sahasının genel konumunu gösterir yer bulduru haritası Şekil 3.1'de verilmiştir. Sinanpaşa ilçesi 9 belde ve 26 köyden oluşmaktadır. Beldeler; Ahmetpaşa, Akören, Düzağaç, Kılıçarslan, Kırka, Küçükhüyük, Serban, Taşoluk ve Tınaztepe'dir. Köyler ise; Akçaşar, Akdeğirmen, Ayvalı, Balmahmut, Başkimse, Boyalı, Bulca, Çalışlar, Çatkuyu, Çayhisar, Çobanözü, Elvanpaşa, Eyice, Garipçe, Gezler, Güney, İğdeli, Karacaören, Kayadibi, Kınık, Nuh, Saraycık, Tazlar, Tokuşlar, Yıldırımkemal ve Yörükmezarı'dır. İlçenin 2017 yılına göre nüfusu 39686'dır (İnt. Kyn.2). Sinanpaşa ilçesinin 34584 ha tarım alanı bulunmakta olup bunun 24353 ha kadarı toplam sulanan alanı oluşturmaktadır (Anonim 2018).



Şekil 3.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası (İnt. Kyn. 3).

3.1.2 Çalışma Alanının Morfolojisi

Sincanlı Ovası yüksek dağlar ile çevrili bir çöküntü ovasıdır (Akan vd. 2002). Sincanlı Ova alanı ortalama 1100 m kotuna sahip bulunmaktadır. Ova güneyden 2000 m'ye varan yükseltiler ile sınırlandırılırken, kuzey kesiminin yükseltisi 1300-1500 m arasında değişmektedir (Akan vd. 2002).

Çalışma alanı morfolojisi incelendiğinde, havzanın kuzeyinde Gülemehmet Tepesi (1362 m), Oluklu Tepesi (1237 m), Olucakbeli Tepesi (1341 m) ve Kümbe Tepesi (1392 m), güneyinde Büyükhacet Tepesi (1914 m), Ekşikulak Tepesi (1726 m), Dumlu Tepesi (1660 m), Eğrek Tepesi (1429 m), batısında ise Ahır Dağı (1914 m), Büyükkavuşak Tepesi (1939 m), Yellieğrek Tepesi (1697 m) bölgedeki en yüksek tepeleri oluşturmaktadır.

3.1.3 İklim ve Bitki Örtüsü

Sincanlı Havzası, Akdeniz iklimi ile İç Anadolu Bölgesi iklimi arasında bir geçiş ikliminin etkisi altındadır. Bölgede yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise ılık ve yağışlı geçer. Kıyı Ege Bölümü'ne bakıldığında o bölgeye göre daha az yağış alan bu kesimde en yağışlı mevsim kıştır (Akan vd. 2002).

3.2 GMS Programında Yeraltı Suyu Modelleme

GMS, üç boyutlu bir ortamda yeraltı suyu simülasyonlarını gerçekleştirmek için yapılmış bir yazılım sistemidir. GMS bir grafiksel kullanıcı arabirimi (GMS programı) ile analiz kodları sayısından (MODFLOW, MT3DMS, vs) oluşur (İnt. Kyn. 5).

GMS programı modüllere bölünmüştür. GMS içerisinde bir modül ise GMS tarafından desteklenen temel veri tiplerinin her biri için sağlanmıştır. Eğer bir modülden başka bir modüle geçiş olursa Dinamik Aracı Paleti ve Menüler değişir. Bu yalnızca modelleme sürecinde kullanmak istediğiniz veri türüne ilişkin araçlar ve komutlar odaklanmasını sağlar. Bir modül çeşitli veri türleri diğerine geçişi, gerektiğinde aynı anda kullanımını

kolaylaştırmak için anlık olarak yapılabilir. Aşağıdaki modülleri GMS destekler.

-  TIN Modülü (TIN Module)
-  Sondaj Kuyusu Modülü (Borehole Module)
-  Katı Modülü (Solid module)
-  2B Ağ Modülü (2D Mesh Module)
-  2B Izgara Modülü (2D Grid Module)
-  2B Saçılma Noktaları Modülü (2D Scatter Points Module)
-  3B Ağ Modülü (3D Mesh Module)
-  3B Izgara Modülü (3D Grid Module)
-  3B Saçılma Noktaları Modülü (3D Scatter Points Module)
-  Harita Modülü (Map Module)
-  CBS Modülü (GIS Module)

Sayısal bir model analizi yapmak için MODFLOW gibi sayısal modüler program araçlarıyla çalıştırılabilir. GMS’de modelin parametreleri girilip, MODFLOW-2000 yazılım programı kullanılarak yeraltı suyu akış modeli yapılabilir (Koçak 2013).

3.3 Yeraltı Suyu Modelleme Yöntemi

Bir MODFLOW modeli oluşturabilmek için GMS de iki metot vardır. Izgara Yaklaşımı (Grid Aproach) ve Kavramsal Model Yaklaşımı (Conceptual Model Aproach) dır.

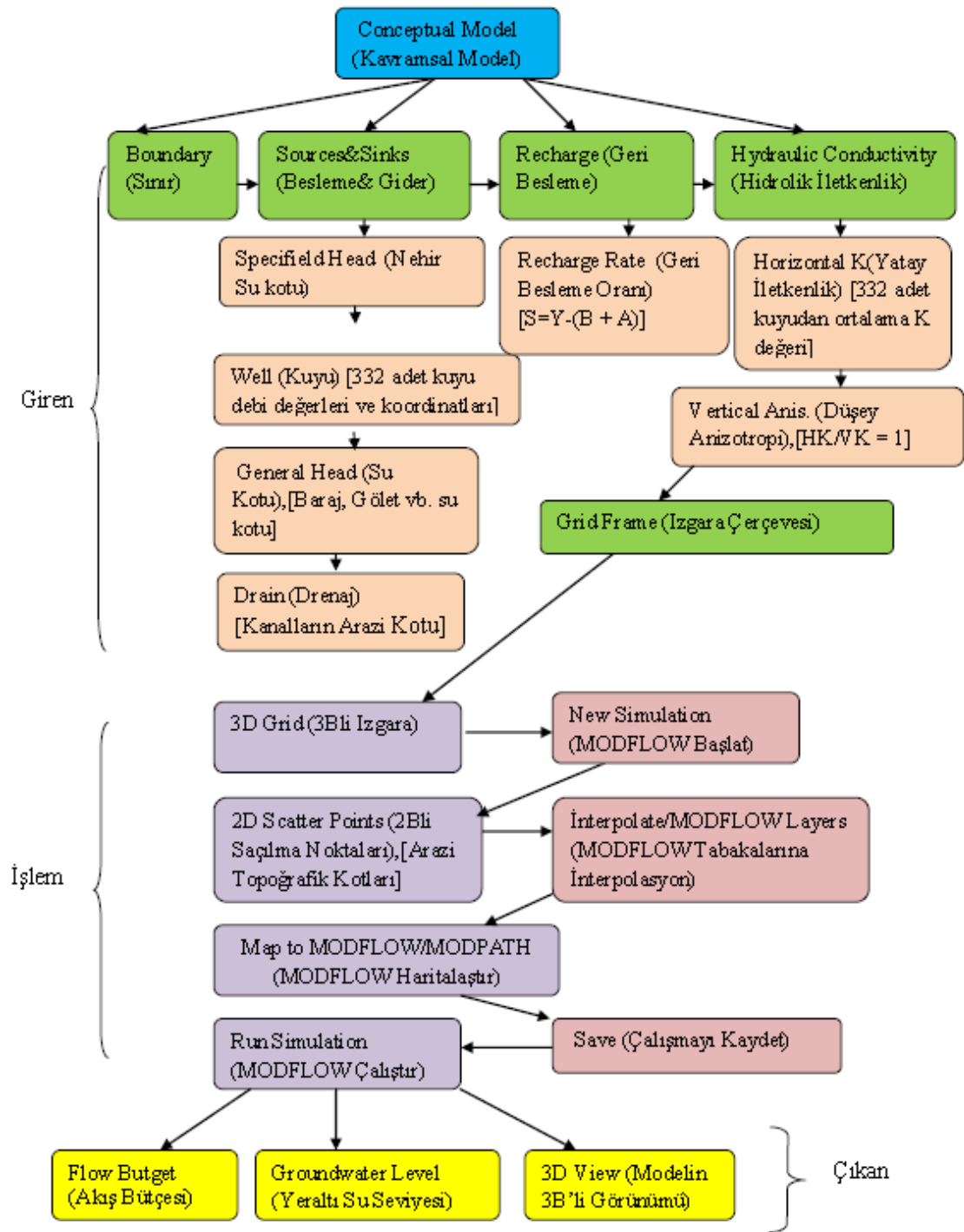
Izgara yaklaşımı hücreden hücreye beslemeler ve giderler (Sources & Sinks) ve diğer model parametreleri uygulayarak 3B’li ızgara ile birlikte çalışır.

Kavramsal model yaklaşımında beslemeler ve giderler (Sources & Sinks), oluşturulan modelin sınırları, hidrolik iletkenlik, belirlenen tabaka parametreleri, ve modelleme için gerekli tüm diğer veriler tanımlanır. Model tamamlandıktan sonra ızgara oluşturulur ve hücreden hücreye atamaların tümü otomatik olarak gerçekleştirildikten sonra kavramsal modelin ızgara modeli durumuna getirilir (İnt. Kyn. 4).

3.3.1 Kavramsal Model Yaklaşımı (Conceptual Model Approach)

Kavramsal model tanımlandıktan sonra model uygun ızgara oluşturulur. Modelin parametreleri ve sınır koşulları oluşturulur. Izgara hücreleri için MODFLOW verileri kavramsal modelden dönüştürülür.

Tam bir kavramsal model belli kapsamlardan oluşur. Göller, kuyular, nehirler ve kanal gibi beslemeler ve giderler tanımlamak için tipik olarak bir kapsam kullanılır. Geri besleme bölgeleri tanımlamak için başka kapsam ya da aynı kapsam kullanılır. Diğer kapsamlar her Şekil 3.2’de Kavramsal model yaklaşımında kullanılan parametreler akış şeması şeklinde verilmiştir.



Şekil 3.2 Kavramsal Model Yaklaşımının akış şeması (Koçak 2013).

3.3.2 Programda Kullanılan Hidrolik Terimler

Sınırlar (Boundaries): Modeli oluşturulacak yerin tüm akış sisteminin nasıl etkileşeceğini belirtmek için sınır tanımlamak gereklidir. Modelin çevresinde sınır oluşturulur. Programa bu sınırlar dahilinde hesap yapılması kodlanmış olur. Model sınırları ile gerçek sınırlar karşılaştırılmalıdır.

Başlangıç Hidrolik Seviyeler: Hidrolik koşullarla ilgili model sınırıdır. Toprağın suyla ayrıldığı akifer bölgelerinde, geri besleme ya da dışa akımın olduğu yerlerde arazi kotlarının düşük yada yüksek olan alanların belirtildiği yerlerdir (İnt. Kyn. 4).

Sınır Koşulları ve Izgara Ağları: GMS programında akifer sistemin sınır koşulları iki tür olarak tanımlanır. Sınır koşulları tanımlanması için akifer sisteminde akarsu, nehir, ırmak, göl gibi alanların olduğu bölgelerde akımın olduğunu, bunlar dışında kalan bölgelerde ise akımın olmadığı tanımlanır. Yeraltı suyu akım denklemi yalnızca aktif olarak belirtilen akifer sistemi için kullanılmaktadır. Sabit seviye hidrolik yük olarak modellenmenin yapıldığı alandaki nehir, ırmak, göl vb. sınırlarda akifer sistemindeki aktif bölgenin su seviyelerine bağlı olarak akiferden beslenen ve akiferi besleyen hidrolik yük olarak tanımlanır ve besleme havzası sınırları dışındaki hücreler aktif olmayan hücreler olarak tanımlanmaktadır. MODFLOW akım modelinde IBOUND düzeni olarak isimlendirilen sınır şartlarının girilmesi gerekmektedir. IBOUND düzeninde her bir model ve modeldeki her bir hücrenin modelde sabit yük, aktif veya aktif olmayan hücre olduğunu belirten kotlar içinde bulunduran bir matris vardır. IBOUND düzeninde aktif hücreler pozitif bir değer, sabit seviye hücreler negatif bir değer, akışın olmadığı inaktif hücreler ise sıfır (0) değeri ile tanımlanmaktadır. Sabit seviye hücrelerin aynı benzetim içerisinde başlangıç hidrolik seviyeleri değişmemektedir. Sabit seviye sınırlarının geçerli olması için akifer ne zaman göl, nehir veya bir rezervuar ile doğrudan bir hidrolik ilişki içinde olursa geçerli olmaktadır (Hökelekli 2010).

Akış Olmayan Sınırlar (No – Flow Boundaries): Model sınırları üzerinde hiçbir jeolojik ve hidrolojik özelliklerin tanımlanmadığı sınırlardır (İnt. Kyn. 4).

Sabit Yükseklik (Constant Head): Model sınırları üzerinde akışın olduğunu gösteren sınırlardır. Akışa bağlı yükseklikler programa girilir. Nehir, kanal, göl sınırı, akışa bağlı yüksekliklerdir.

Beslemeler ve Giderler (Sources & Sinks): Nehir, kanallar, kuyular ve yüzeyde biriken sular GMS programında besleme ve gider olarak tanımlanır. Akifere giren ya da akiferden çekilen ya da sızan su miktarı tespit edilerek akiferin kuru ya da verimli olduğu belirlenmiş olacaktır.

Kuyular (Wells): Beslemeler ve giderler kapsamı oluşturulurken akiferden pompalanan veya da akiferden enjeksiyon yapılan noktalar olarak tanımlanmaktadır. Pompalanan debi değeri programda negatif girilir. Enjeksiyon değeri ise pozitifdir. Debi değerleri programda akış oranı (flow rate) olarak tanımlanır.

Su Kotu Yüksek Bölge (General Head Boundary): Modelde akış daima su kotu farkı ile orantılıdır. Programda model oluşturulurken barajlar, göletler, su birikintileri General Head Boundary olarak tanımlanmaktadır. Barajlar, göletler ve su birikintileri sabit su kotuna sahiptirler. Su kotu ve hidrolik iletkenlik değerini tanımlamak paket kullanımı için yeterli olacaktır.

Geri Beslenim-Sızma (Recharge): Buharlaşıma, yağış verilerinden yararlanılarak sız miktarı GMS programına girilir. Recharge oranını birim olarak m/gün cinsinden programa girilir (İnt. Kyn. 4).

Izgara (Grid): Sonlu farklar modelinde çizgilerin birleşerek çerçeve oluşturmasıdır. Bu çizgilerle oluşturulan bloklara hücre denir. GMS programında üç farklı hücre vardır.

- Aktif olmayan hücreler (Inactive cells): Model sınırları dışında kalan ve simülasyon yapılırken hiçbir akışın olmadığını temsil eden hücrelerdir.
- Aktif hücreler (Active cells): Model sınırları içerisinde bulunan ve simülasyon yapılırken akışın olduğunu temsil eden hücrelerdir.
- Sabit hücreler (Constant-head cell): Model sınırları dahilinde sabit yüksekliklerin tanımladığı hücrelerdir (İnt. Kyn. 4).

3.4 Yöntemler

Çalışma sahasının su bütçesi hesabının yapılabilmesi için, Afyonkarahisar DMİ ve Sinanpaşa DMİ'nin verileri kullanılmıştır. Çalışma alanına düşen yağış miktarı için Sinanpaşa DMİ'nin verilerinden faydalanılmıştır. Buharlaşma değerleri için açık su yüzeyindeki buharlaşma miktarının ölçülmesine bağlı olan, Afyonkarahisar DMİ'nin class a-pan buharlaşma ölçüm değerlerinden yararlanılmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Afyonkarahisar DMİ aylık ortalama class a-pan buharlaşmaları (mm).

Aylar	O.	Ş.	M.	N.	M.	H.	T.	A.	E.	E.	K.	A.	YILLIK
Buharlaşma (mm)				111.7	148.5	190.6	243.3	227.1	165.3	94.9	34.4		1215.8

Çalışma alanında DSİ tarafından kurulan Sinanpaşa-Kınık, Sinanpaşa-Tınaztepe, Sinanpaşa-Bulca(Küçükhöyük), Sinanpaşa-Akören A.G.İ.'lerinin verilerinden, çalışma alanında ortalama her yıl akış olduğu görülmektedir. Çalışma alanının hidrojeolojisinin incelenmesi ile yeraltı suyunun hangi bölgede, ne kadar derinlikte bulunduğu ve yeraltı suyu miktarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

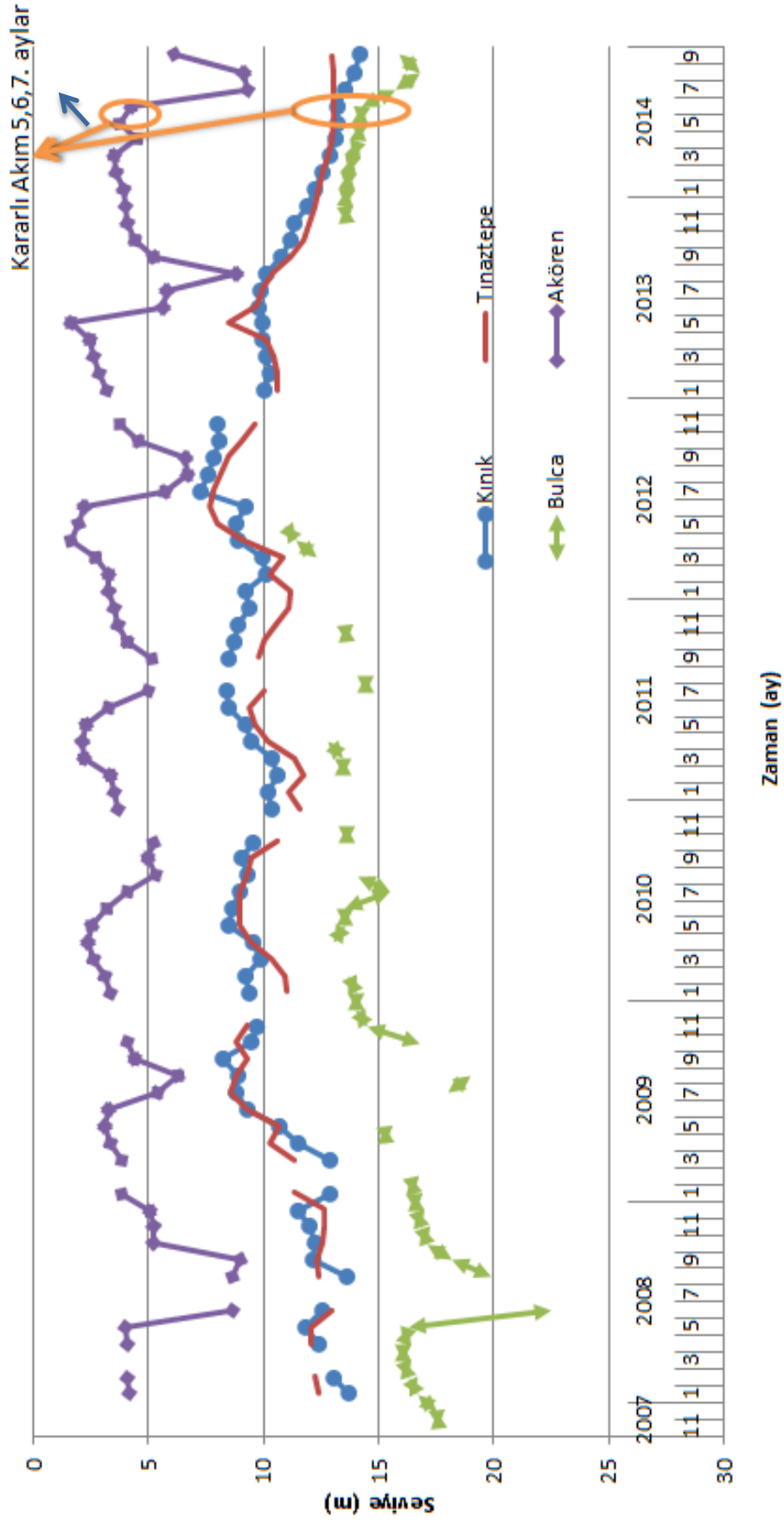
Çalışma alanında yeraltı suyu akışının ve potansiyelinin belirlenmesi amacıyla MODFLOW-2000 yazılım programı kullanılarak yeraltı suyu akış modeli yapılmıştır. Modelin oluşturulması için de jeolojik yapıya göre model üç tabakaya ayrılarak, bu tabakalara ait alt ve üst seviye kotları belirlenmiştir. MODFLOW programında grid ağları oluşturularak her tabaka 138 satır ve 184 sütun olmak üzere 25392 adet hücreden oluşmuştur. Her bir hücre 250mx250m'lik alanı temsil etmektedir.

Havza alanının yeraltı suyu akım modellemesi kararlı akım hali için yapılmıştır. 2014 yılının mayıs, haziran, temmuz aylarında kararlı akım belirlenmiştir. Kararlı bir akımın olması için akifer sisteminden çıkan toplam akımın akifere giren toplam akıma eşit olması gerekmektedir. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi Sinanpaşa-Kınık, Sinanpaşa-Akören, Sinanpaşa-Tınaztepe, Sinanpaşa-Bulca(Küçükhöyük) rasat kuyularının 2014 yılı mayıs, haziran, temmuz aylarındaki statik su seviyeleri sabittir. Bu aylarda kuyuya giren akım kuyudan çıkan akıma eşittir. Buna göre 2014 yılı mayıs, haziran, temmuz aylarında yeraltı suyu akımının kararlı akım halini gösterdiği varsayılmıştır. Modellemede bölge

sınırları içerisinde yer alan 379 kuyu tanımlanmıştır.

MODFLOW programı için yeraltı suyu beslenme miktarı, rasat kuyularındaki seviye ölçümleri, 2014 yılında açılmış olan kuyuların ölçümleri, çalışma alanında bulunan kaynakların debileri, kuyulardan yapılan çekimler de dikkate alınarak 2014 yılı verileri kullanılarak, 2014 yılı mayıs, haziran, temmuz aylarına ait yeraltı suyu seviye ölçümleriyle modelin kalibrasyonu yapılmıştır. Ayrıca, model sonucunda 2014 yılı mayıs ayı için yeraltı suyu akış yönleri belirlenmiştir.





Şekil 3.3 Sinanpaşa Ovası gözlem kuyuları seviye ölçümleri (2008-2014).

3.5 Jeoloji

Bu bölümde çalışma alanının yapısal jeolojisi, hidrojeolojisi, hidrolojisi, stratigrafisi, yeraltı suyu akım modellemesi ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Hidroloji bölümünde, çalışma alanında bulunan su kaynakları da incelenmiştir. Bu birimlerde tanım, dağılımı, litolojik özellikleri anlatılmıştır. Yapısal jeoloji kısmında, tektonik olaylar sonucunda oluşan faylardan ve kıvrımlardan bahsedilmiştir.

Hidroloji bölümünde ise yağış, buharlaşma ve akış parametrelerine bağlı olarak çalışma alanının su bütçesi hesaplanmıştır. Hidrojeoloji bölümünde, su noktalarına ait özellikler belirtilmiştir.

3.5.1 Jeolojik Birimler

Çalışma alanı ve civarında ortam koşullarını yansıtan kayaların stratigrafik özelliklerinden bahsedilmiştir. Paleozoyik ve Mesozoyik kayaları, Alt Miyosen-Üst Pliyosen yaşlı havza dolgusu istifleri ve Kuvaterner birimleri ele alınmıştır. Mesozoyik yaşlı denizel formasyonlar Sinanpaşa Ovası'nın kuzeyinde dar bir şerit halinde gözlenmektedir. Havzanın güneyinde ve batısında geniş alanlar kapsayan, koyu, kırmızı, kirli sarı, okside, turuncu renkli, kalın ve kötü katmanlanmalı, konglomera-kumtaşı-silttaşı ve kilaşı ardalanmasıyla oluşmaktadır (Akan vd. 2002).

3.5.2 Paleozoyik ve Mesozoyik Kayaları

Çalışma alanının stratigrafik kesiti Şekil 3.3'de verilmiştir. Şekilde incelendiğinde bu döneme ait kayalar mika sist, gnays ve klorit sislerin temsil ettiği yüksek dereceli metamorfikler olup, havzanın kuzey ve güney sınırını oluşturmaktadır. Bu metamorfik kayalar "Pan-Afrikan temel" olarak yorumlanmıştır (Akal vd. 2005, 2007).

Afyon Zonu'nun Mesozoik metamorfik istifi genel olarak tabanda metakırıntılılar ile başlamaktadır. İncehisar-Bayat (Akal vd. 2005) ve Çatkuyu lokasyonlarında metakırıntılı istifin üst kesimlerinde karbonat katkıları sıklaşmakta ve geçişli bir

dokanakla turu masif karbonatlara geçilmektedir. Karbonat platformundan Skitiyen-Erken Mestrihtiyen arasında değişen yaşlar tespit edilmiştir (Göncüoğlu vd. 1988). Platform turu karbonatlar, üst düzeylere doğru gri renkli, masif dolomittik mermerler ile devam etmekte olup, pelajik cortlu mermerler ile son bulmaktadır (Akal vd. 2005).



Üst Sistem	Sistem	Ser	Kat	Formasyon	Kalınlık	Litoloji	Açıklamalar
	KUVA- TERNER						Alüvyon
SENOZOYİK							Uyumsuzluk
					30-50 m		Çakıltı-kumtaşı-çamurtaşı
							Uyumsuzluk
				Afyon (Güney) Volkanitleri			Piroklastik ve volkanik kayalar
				Köprülü Fm.	250 m		Çok bileşenli çakıltı Organik madde katkılı marn- Fosilli kireçtaşı ardalanması Kömür Çakıltı Rizolitik kireçtaşı
MESOZOYİK				Yanıköy Fm.	50-300 m		Uyumsuzluk
				Seydiler İgnimbiritleri			Üst seviyelerde: çamurtaşı- organik maddece zengin mam Alt seviyelerde: Killi kumlu çakıltı
							İgnimbirit
PALEOZOYİK							Uyumsuzluk
							Çörtlü mermer Masif dolomitik mermer Masif karbonatlar Metakırıntılar
							Uyumsuzluk
							Mika şist Gnays Klorit şist

Ölçeksizdir.

Şekil 3.4 Afyon Sincanlı Havzası ve civarının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Güven 2011).

3.5.3 Neojen Kayaları

Sinanpaşa havzasında Miyosen yaşlı karasal volkanik (lav ve piroklastik) ve sedimanter (çakıltası, kireçtaşı, kumtaşı ve çamurtaşı) oluşuklar gelmektedir. Volkanik birimler, Bayat-İscehisar arasındaki bölge ile Afyon-Sandıklı-Şuhut arasında kalan bölgelerde geniş alanlar kaplamaktadır. Afyon-Sandıklı-Şuhut bölgesi aynı zamanda çalışma alanı olan Sinanpaşa Havzasını da kapsamaktadır. Burada geçen iki bölgenin volkanizmaları, farklı havza geometrilerinin yanında faaliyet tipleri, volkanik ürünler, volkanizma dinamiği ve yaş bakımından da farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle Aydar vd. (1996) çalışmasında Bayat-İscehisar arasında kalan volkanitler Kuzey Volkanitleri ve Afyon-Sinanpaşa- Sandıklı-Şuhut arasında kalan volkanitler ise Afyon (Güney) Volkanitleri olarak adlandırılmıştır.

3.5.4 Yeniköy Formasyonu

Litoloji: İlk kez Ercan vd. (1978) tarafından tanımlanan ve yaklaşık 500 m kalınlığa sahip olan Yeniköy Formasyonu, altta ise piroklastik kayaçlar grubunun bir çeşidi olan ignimbirit birimleri vardır. İgnimbirit (Kuzey volkanitleri) üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Söz konusu formasyonu başlıca iki litoloji topluluğundan oluşmaktadır: (1) Çakıltısı (alt seviye): Koyu sarı, turuncu renkli, kalın ve kötü tabakalanmalı killi kumlu çakıltılardan; (2) Marn (üst seviye): sarımsı gri renklerde, okside olmuş, orta ve ince tabakalı miltaşı, çamurtaşı ve marnlardan oluşmaktadır.

Depolanma Ortamı: Yeniköy Formasyonunun gerek çakıltası birimi ve gerekse de Marn birimi, akarsu yatakları, delta ve göl ortamlarında çökelmiştir (Bulut vd. 1987).

Yaş ve Stratigrafik İlişkiler: Yeniköy Formasyonu'nun çakıltıları altta temel birimler ve Seydiler İgnimbiritleri üzerine bulunmaktadır. Bu çakıltıları üste doğru yanal ve düşey yönde marnlara geçmektedir. Yeniköy Formasyonu'nun organik seviyeleri içeren marnlardan alınan örnekler ile spor ve polenleri saptamış ve buna göre birimin yaşı Orta-Üst Miyosen olarak belirlenmiştir (Ercan vd. 1978, Bulut vd. 1987).

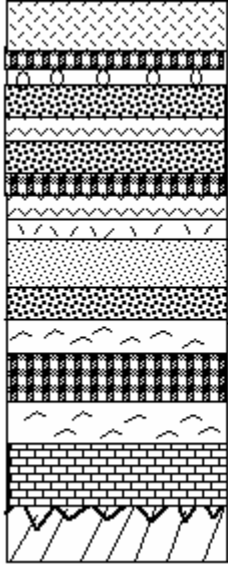
3.5.5 Köprülü Formasyonu

Litoloji: Yeniköy Formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelen ve volkanitler ile gölsel ortama ait epiklastik ve piroklastik çökellerden oluşan birim, Afyon kuzeybatısında, Köprülü köyü çevresinde yayılım göstermektedir. Formasyon ilk kez Harut (1994) tarafından adlandırılmıştır. Alt seviyelerinde sarımsı renkli tuf ve marnlar ile temsil edilen volkaniklastik birimler, çakıllarını metamorfik temel kayalarından ve lav akıntısından alan çakıltaşları ile devam etmektedir. Daha sonra ikinci bir lav akıntısı bu birimleri üzerlemektedir (Harut 1994, Aydar vd. 1996). Söz konusu lavlarda soğan kabuğu bozunmaları yaygın olarak gözlenmektedir. Birimin üst seviyeleri, sarımsı renkte killi kireçtaşları, tuf, çakıltaşı, beyaz ve kahverengi silis çökelleri ile temsil edilmektedir.

Yaş ve Stratigrafik İlişkiler: Besang vd. (1977) çalışmasında yapılan radyometrik yaş tayinlerine göre, 12 My (Orta Miyosen) yaşında olan lav akıntıları, Afyon'un batısındaki Çakır Köyü civarında gözlenen volkanik ara katkılı olan gölsel birimleri üzerlemektedir. Buna göre söz konusu Neojen havzası; Seydiler ignimbiritleri'nin yerleşiminden sonra, Güney volkanitlerinden önce ve eş zamanlı olarak gelişmiştir (Aydar vd. 1996, Bayhan vd. 1996).

3.5.6 Afyon (Güney) Volkanitleri

Metamorfik ve sedimanter temel kayaları ile Yeniköy Formasyonu'nun üzerleyen Güney Volkanitleri, Köprülü Formasyonu ile eş yaşlı olarak gelişmiştir. Bunlar Afyon ili G, B, GB'sinde yer alan Afyon-Şuhut-Sinanpaşa arasında yaklaşık 550 km²'lik bir alanda yayılım sunmaktadır (Aydar vd. 1996). Besang vd. (1977)'nin yaptığı radyometrik yaş tayinleri sonucu Orta-Üst Miyosen yaşlı olduğu tespit edilen volkanizma değişik faaliyet tipleri ve mekanizmaları sunmaktadır (Gündoğan vd. 2010). Bayhan vd. (1996) çalışmasında kaldera oluşumu ile birbirlerinden ayrılan iki ana evre saptanmıştır (Şekil 3.5). Söz konusu kaldera çökmesi, ignimbirit yayılımlarına bağlı olarak gelişmiştir.

	Lamprofirik intrüzyon ve estrüzyonlar	Kaldera Sonrası Faaliyetler
	Lahar	
	Diyatomit	
	Blok ve kül akıntıları	
	Trakitik dom ve akıntılar	
	Çığ akıntı ürünleri	
	Lahar	Kaldera Öncesi Faaliyetler
	Trakitik dom ve akıntılar	
	Lamprofirik intrüzyon ve estrüzyonlar	
	İgnimbirit	
	Blok ve kül akıntıları	
	Trakibazalt ve Trakiandezitik lav akıntıları	
	Lahar	
	Trakibazalt ve Trakiandezitik lav akıntıları	
	Gölsel sedimanter ürünler	
	Metamorfik Temel	

Şekil 3.5 Güney volkanitlerin ölçeşsiz genelleştirilmiş stratigrafik istifi (Bayhan vd. 1996).

Bölge volkanizmasının ilk evresini oluşturan ürünler, lav akıntıları, lahar ile blok ve kül akıntıları olarak yüzlekler verirken, evre ignimbirit yayılımlarını takiben sona ermektedir (Bayhan vd. 1996). Metamorfik ve sedimanter birimlerden oluşan temel üzerinde gelişen volkanik faaliyetler sonucu, trakitik lav domlarına bağlı olarak blok ve kül akıntıları oluşmuştur. İlk evrenin sonlarına karşılık gelen blok ve kül akıntı oluşumu Pele tipi oluşumlardır. İgnimbirit oluşumlarını takiben volkan kısmen çökmüştür (Bayhan vd. 1996). Kaldera çökmesini takiben porfirik lav domları ve akıntıları ile yeni bir volkan konisi yükselmiştir. Lav akıntıları ve sokulumları volkanın gelişimi boyunca sistematik devam etmiş ve yerleşimlerine blok ve kül akıntıları eşlik etmiştir. Porfirik lav domları akıntıları ile eş kökenli ve yerleşim açısından da eş zamanlı olan bloklu çamur (laharik) akmaları yumuşak bir topoğrafya sunmakta olup, mono-litolojik bloklar ve grimsi renkli külden oluşmaktadır. Bu birimlerin en iyi izlendiği yer Afyon-İzmir karayolu üzerindeki yol yarmalarıdır. Volkanik faaliyetlerin son evresini ise akıntı şeklinde gözlenen lamprofirik lavlar oluşturmaktadır (Bayhan vd. 1996). Üst Miyosen sonunda volkanizma etkinliğini tamamen yitirmiş ve tüm bu birimler Pliyosen yaşlı gölsel ve Kuvaterner yaşlı genç akarsu çöelleri ile uyumsuz olarak örtülmüştür.

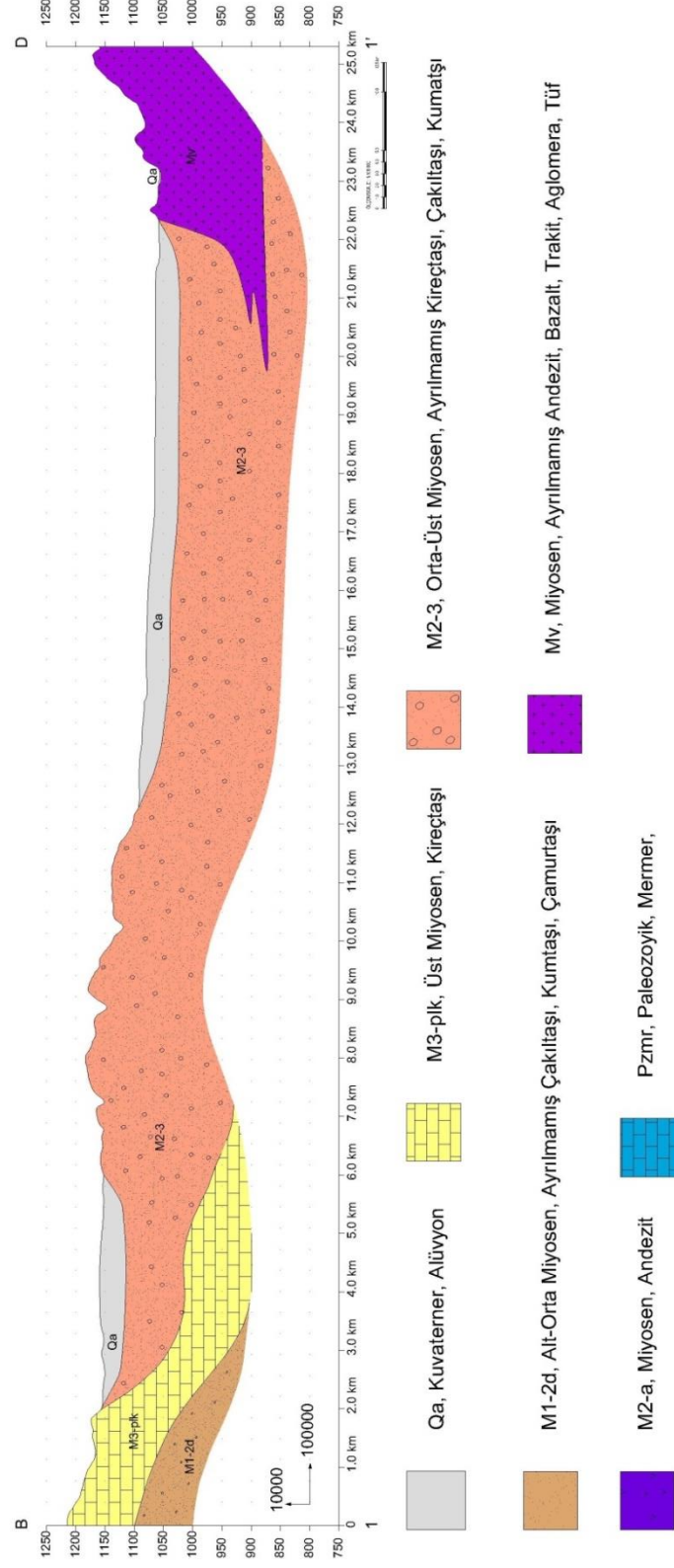
3.5.7 Kuvaterner Oluşukları

Havza alanında Kuvaterner oluşukları, alüvyon yelpazeleri olarak gözlenmektedir. Alüvyon yelpazeleri, dağlardan havzalara ulaşan derelerin ağızlarında oluşmuş yelpaze şeklindeki birikintilerdir. Çalışma alanı içerisinde bu oluşuklar Paşaköy ve Kılıçarslan civarında görülmektedir.

3.6 Yapısal Jeoloji

Afyon ilinin güneydoğusunda Karaman ile kuzeybatısında Sındırgı arasındaki alanda, yaklaşık 3-30 km genişlikte, 500 km uzunlukta, KB-GD gidişli levha içi ve süreksiz verrev atımlı normal bir fay sistemi yüzeylemektedir. Bu büyük sismojenik kuşak (Koçyiğit 1984) Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS) olarak adlandırılmıştır (Koçyiğit ve Deveci 2005). ASFS'nin güneydoğu yarısı, kuzeyde yer alan İç Anadolu ile güneyde yer alan Isparta açısı arasındaki coğrafi sınırı oluşturmaktadır. Buna karşın fay sisteminin kuzeybatı yarısı Batı Anadolu içinde uzanmakta ve en kuzeybatıda KD gidişli Akhisar Fay Zonu ile kesişerek sona ermektedir (Koçyiğit ve Deveci 2007). ASFS bir seri graben-horst ve onların kenarlarını sınırlayan verrev atımlı normal faylarla karakterize edilmektedir. Grabenler iki gruba ayrılır. Bunlar birincil (ana) grabenler ve ikincil grabenlerdir. Birincil grabenler KB-GD gidişli ASFS'nin genel gidişine paralel olup, güneydoğudan kuzeybatıya doğru; Konya, Akşehir-Afyon, bu tezin esas konusunu oluşturan Sinanpaşa, Altıntaş, Ağaçköy, Gediz, Simav ve Sındırgı grabenleridir. İkincil grabenler ise güneydoğudan kuzeybatıya doğru Karamık, Şuhut, Sivaslı- Banaz, Gölcük-Yeniköy, Emet, Kocaçay ve Bigadiç çöküntüleridir.

Sinanpaşa Havzası'nın batı-doğu yönlü jeolojik en kesitini Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Sinanpaşa Ovası'nın jeolojik en kesiti(MTA 1963'dan uyarlanmıştır.).

3.6.1 Faylar

Havza alanında, Sinanpaşa fay zonu ve İğdeli fay zonu vardır. Sinanpaşa fay zonu bu yörede, aynı isimli grabenin güney kenarını sınırlayan ve denetleyen en önemli neotektonik yapıdır. Yaklaşık 0.6-6 km genişlikte, 37 km uzunlukta ve D-B ile BKB gidişli normal bir fay kuşağı olan Sinanpaşa fay zonu, birbirine paralel-yarı paralel, sık aralıklı (0.5-2.5 km), uzunlukları 1.7 km ile 14 km arasında değişen, tümü kuzeye graben içine doğru dikçe eğimli olan ve basamak turu faylanma biçimi oluşturan çok sayıda verrev atımlı normal fay segmentinden oluşmaktadır (Koçyiğit ve Deveci 2007). Grabenin oluşumu süresince, fay segmentleri boyunca birikmiş olan toplam düşey atım miktarı yaklaşık 400 metredir. Sinanpaşa fay zonunu temsil eden ve yıkıcı deprem üretme potansiyeline sahip en uzun iki fay segmenti sırayla Kınık ve Kırka faylarıdır.

Kınık Fayı, doğuda Kınık köyü ile batıda Çiftlikköy arasında yüzeyleyen, 14 km uzunluğunda, BKB-gidişli, 760 kuzeye eğimli, verrev atımlı normal bir diri faydır. Kınık fayı uzanımı boyunca Miyosen yaşlı Afyon volkanitlerini keserek, düşey yönde yaklaşık 60 metre ötelere ve söz konusu volkanitleri Pliyo-Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile karşı karşıya getirir (Koçyiğit ve Deveci 2007).

Kırka beldesinin yaklaşık 3,5 km kuzeybatısından başlayan Kırka fayı, Kırka beldesinde iki alt kola ayrılıp DGD yönde gidiş değiştirmektedir. Kırka beldesinin doğusunda ise iki ayrı alt fay kolu olarak birbirinden 0.6 km uzaklıkta fakat birbirine paralel olarak Sivri tepe yakın batısına değin devam etmekte ve orada sona ermektedir. Kırka fayı, uzanımı boyunca sırayla Kuru dere, Cıgıl dere, Damlalı dere gibi birçok akarsu yatağını denetlemektedir. Söz konusu dereler yataklarını derine kazmış olup, Kırka fayını geçerken, fay üzerindeki harekete bir tepkime olarak bükülür ve ötelenir. Kırka fayı 13 km uzunluğunda ve 700-800 kuzeye eğimli verrev atımlı normal bir fay olup, uzanımı boyunca Afyon volkanitlerini kesmektedir (Koçyiğit ve Deveci 2007).

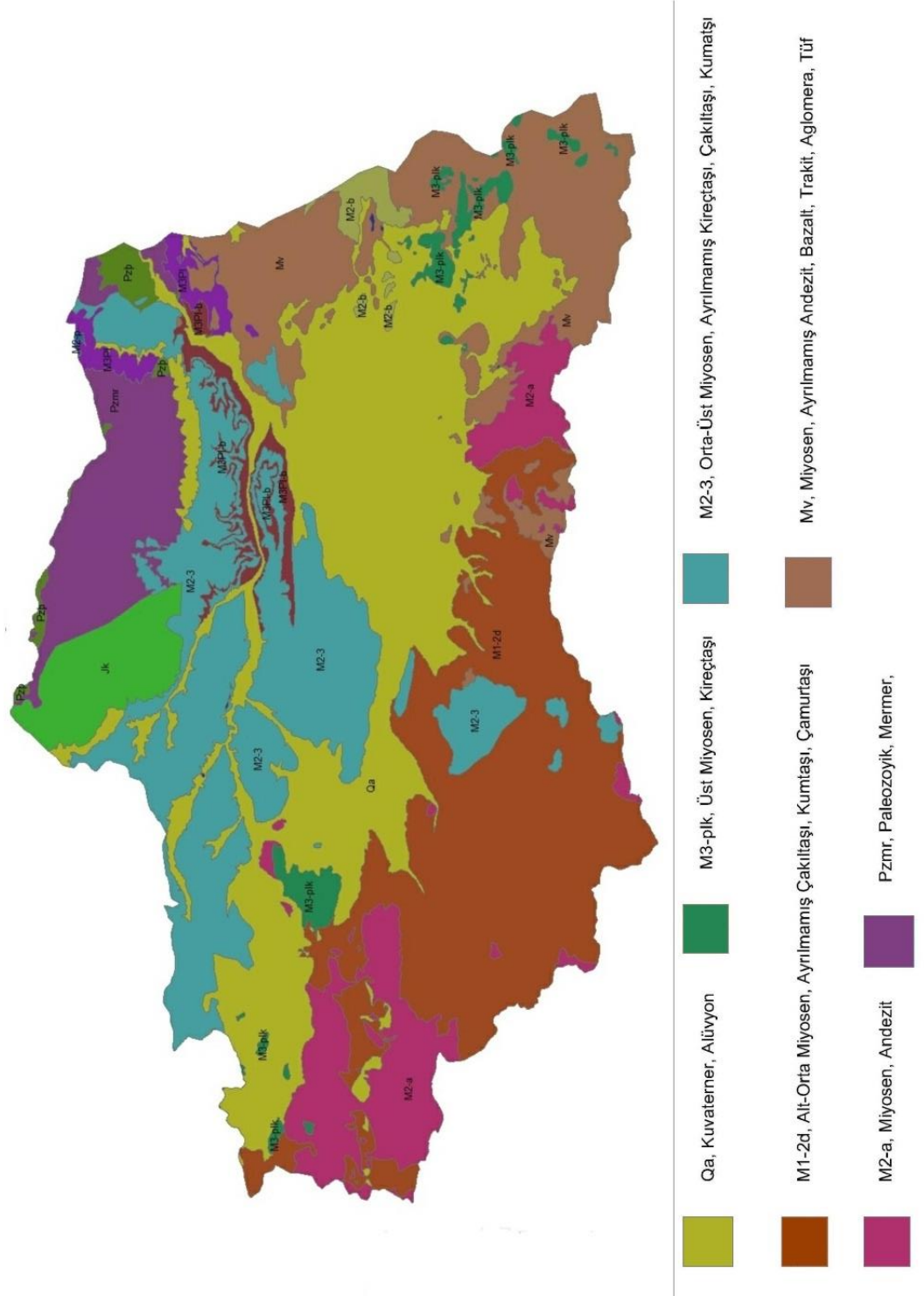
İğdeli fay zonu, doğuda Demirçevre ile batıda Akçasar yerleşkeleri arasında yüzeyler ve Sinanpaşa grabeninin kuzey kenarını sınırlayıp denetler. Doğuda KKD gidişli Köprülü ve KB gidişli Demirçevre fay zonlarıyla kesişir. Yaklaşık 5 km genişliğinde, 24 km

uzunluğunda ve egemen olarak D-B gidişli normal bir fay kuşağı olan İğdeli fay zone birbirine paralel-yarı paralel, sık aralıklı (0.2-2.5 km) ve uzunlukları 0.6-12 km arasında değişen güneye dikçe eğimli normal fay segmentlerinden oluşur (Koçyiğit ve Deveci 2007). İğdeli fay zoneunu oluşturan en önemli iki fay segmenti sırayla Balmahmut ve İğdeli faylarıdır. Balmahmut Fayı, batıda Ayvalı koyu güneyi ile doğuda 26 Ağustos Milli Parkı arasında Afyon-Uşak karayolunun kuzeyinde fakat yola paralel olarak yüzeyler (Koçyiğit ve Deveci 2007). Yaklaşık 12 km uzunluğunda, D-B gidişli, 700 güneye eğimli, normal bir fay karakterine sahip olan Balmahmut fayı, uzanımı boyunca Afyon volkanitlerini ve onunla yanal-düşey geçişli stratigrafik ilişki sunan akarsu-gölsel ortamda çökelmiş volkanosedimanter istifi kesmektedir. İğdeli Fayı ise, İğdeli koyu boyunca yaklaşık D-B doğrultusunda uzanan, 12 km uzunluğunda ve güneye doğru 500 eğimli normal bir faydır.

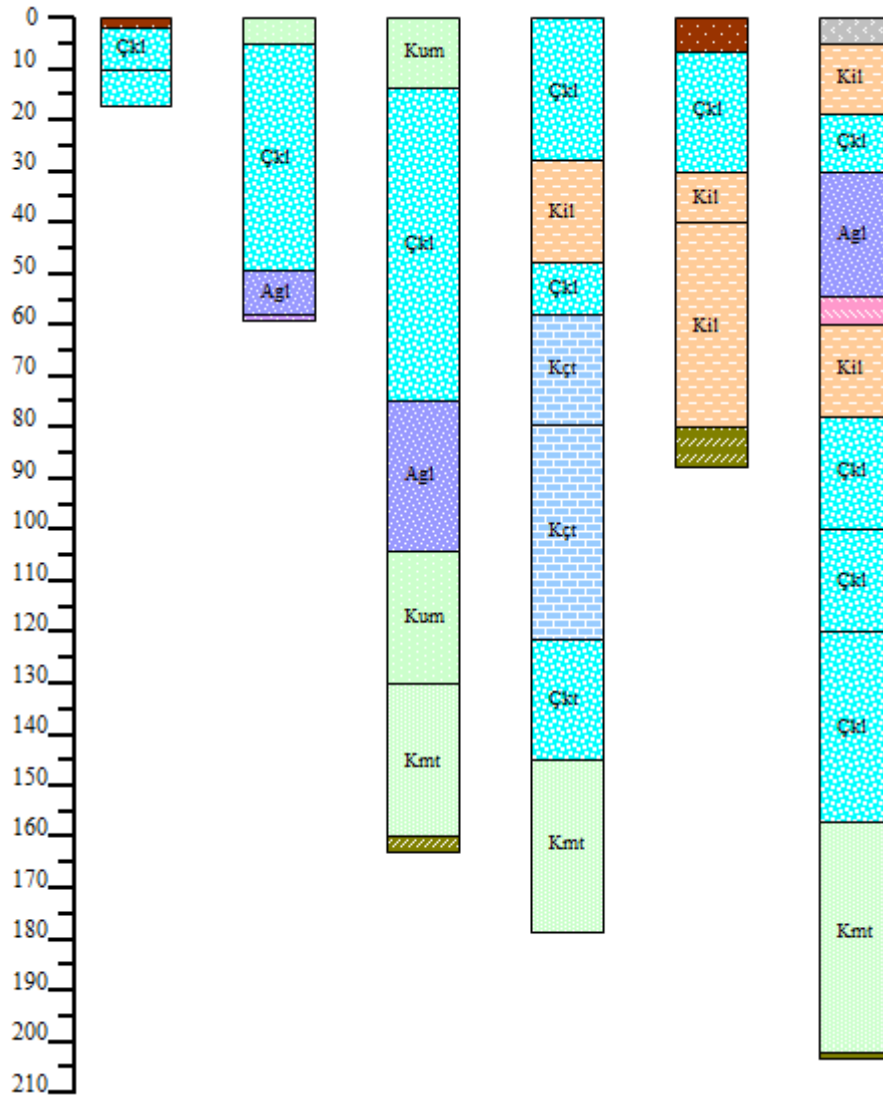
Havza alanının jeolojisini gösteren harita Şekil 3.7’de verilmiştir.

Yeraltı suyu dinamiğinin tanımlanması amacıyla birçok parametre vardır. Ancak açılan yeraltı suyu kuyularında yeraltı hidrolik yapısını karakterize edecek gözeneklilik, iletkenlik, dispersiyon gibi fiziksel özellikler belirlenmemiştir. Sulama amaçlı açılmış işletme kuyularında bu testlerin ve analizlerin gerçekleştirilmesi beklenmemektedir.

Şekil 3.8’de çalışma alanındaki bazı kuyuların stratigrafik sütun kesitleri görülmektedir.



Şekil 3.7 Çalışma alanının jeolojisini gösteren harita (MTA 1963'den derlenmiştir.).



Kuyu No	383	384	385	386	387	389
Yeri	Sincanlı	Ahmetpaşa	Kılıçarslan	Tınaztepe	Karacaören	Balmahmut
Araştırma Gayesi	Araştırma	Araştırma	Araştırma	Araştırma	Araştırma	Araştırma
Araştırma Tarihi	1960	1960	1960	1960	1960	1960
Kot(m)	1114	1085	1084	1094	1180	1050
Kuyu Derinliği(m)	17	59	163	179	88	202
Qp(l/s)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
EC μ s/ cm	3347	425		1771	360	332

Şekil 3.8 Çalışma alanında kuyuların stratigrafik sütun kesitleri (Akan vd. 2002).

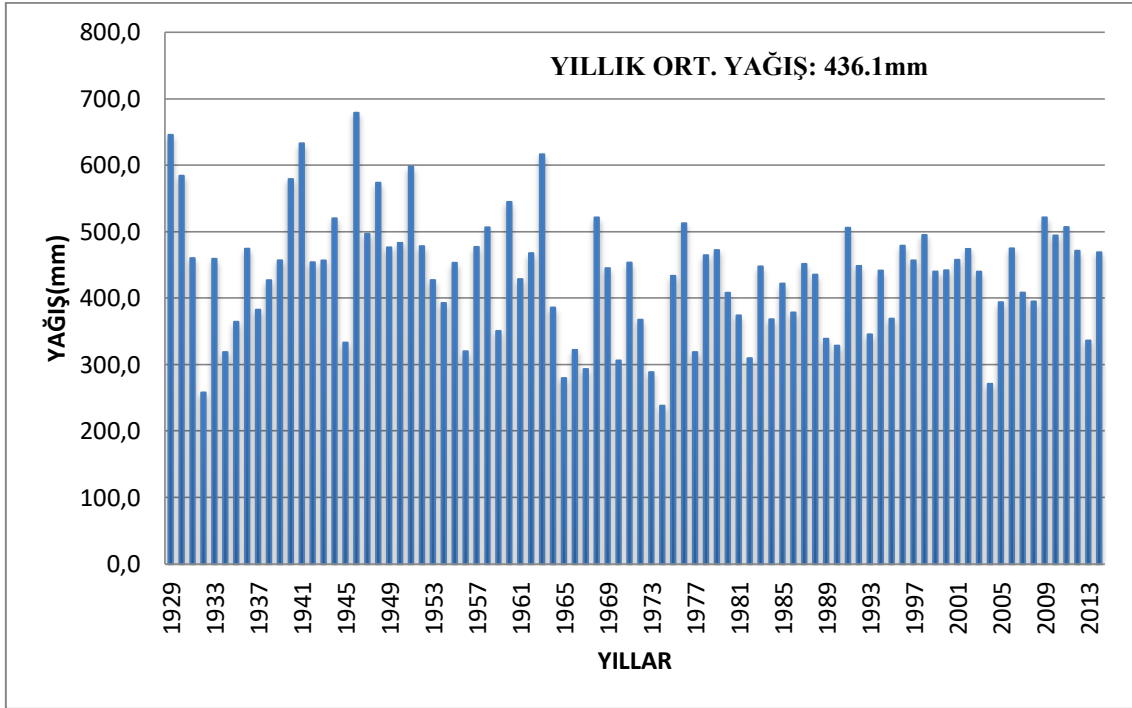
3.7 Hidroloji

Çalışma alanının hidrolojisi incelenirken, bölgeye yakın olan gözlem istasyonlarının verilerinden yararlanılmıştır. Bu istasyonlar; Afyonkarahisar DMI, Sinanpaşa DMI ile Sinanpaşa - Kınık, Sinanpaşa - Akören, Sinanpaşa - Tınaztepe, Sinanpaşa - Bulca A.G.İ.'leridir.

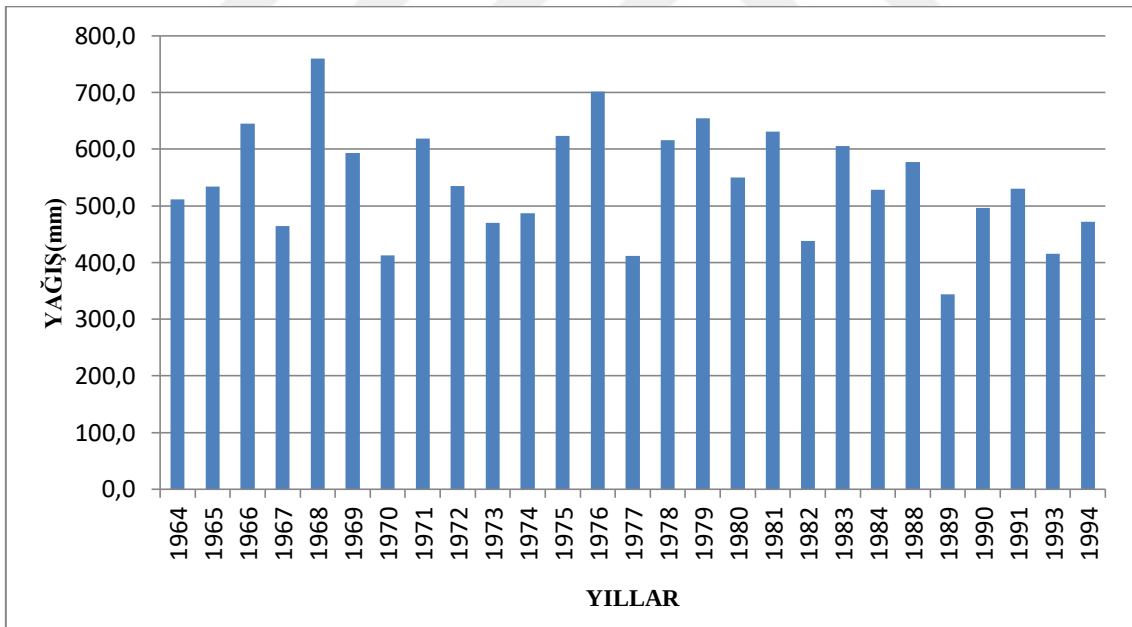
3.7.1 Yağış

Çalışma alanının içerisinde Sinanpaşa(Sincanlı) DMI, yakınında ise Afyonkarahisar DMI yer almaktadır. Sinanpaşa DMI'nin deniz seviyesinden yüksekliği 1130 m, Afyonkarahisar DMI'nin ise 1034 m'dir. Afyonkarahisar DMI'nin yıllara göre yağış değişimleri Şekil 3.9'da, Sinanpaşa DMI'nin yıllara göre yağış değişimleri Şekil 3.10'da, ayrıca her iki istasyona ait ortalama yıllık yağış değişimleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Sinanpaşa(Sincanlı) DMI'de 1964-1995 yılları arasında 29 yıl yağış, 1988-1994 yılları arasında sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlere göre ortalama yağış 541.8 mm'dir. En az yağış Ağustos ayında (13.3 mm), en çok yağış ise Aralık ayında (80.9 mm) ölçülmüştür. Afyonkarahisar DMI'nin 80 yıllık yağış ölçümlerine göre yıllık ortalama yağış 434.7 mm'dir. En az yağış alan ay Ağustos (11.4 mm), en fazla yağış ise Mayıs (54.2 mm) ayında ölçülmüştür.



Şekil 3.9 Afyonkarahisar DMİ yağış değişimleri (1929-2014).

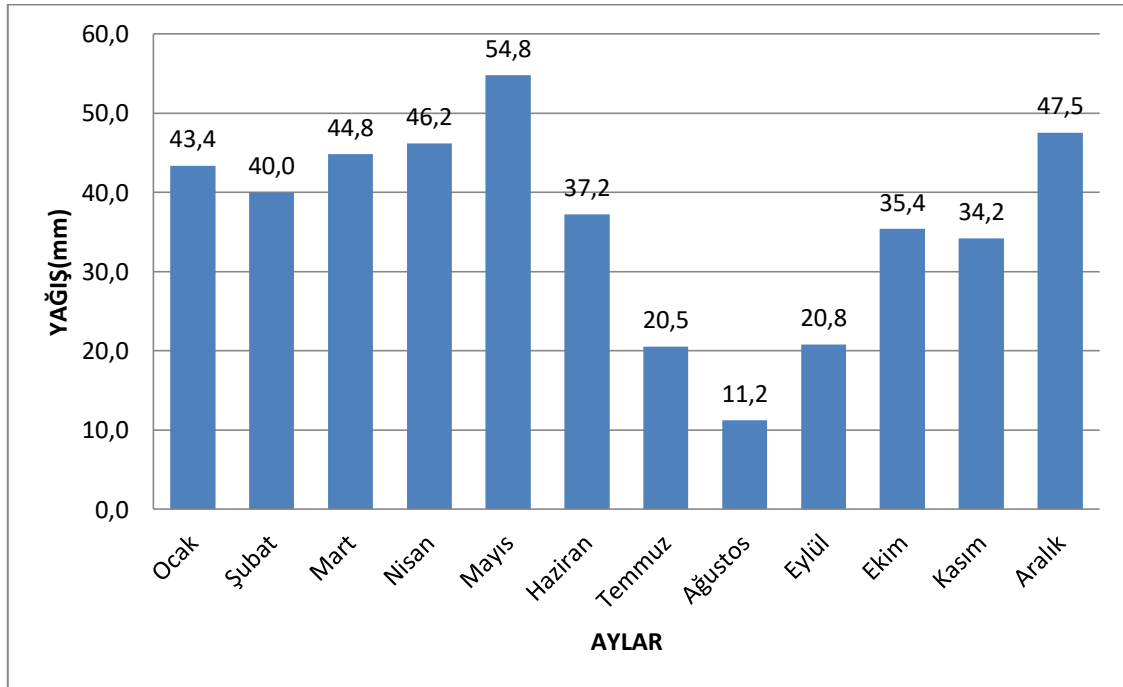


Şekil 3.10 Sinanpaşa DMİ yağış değişimleri (1964-1994).

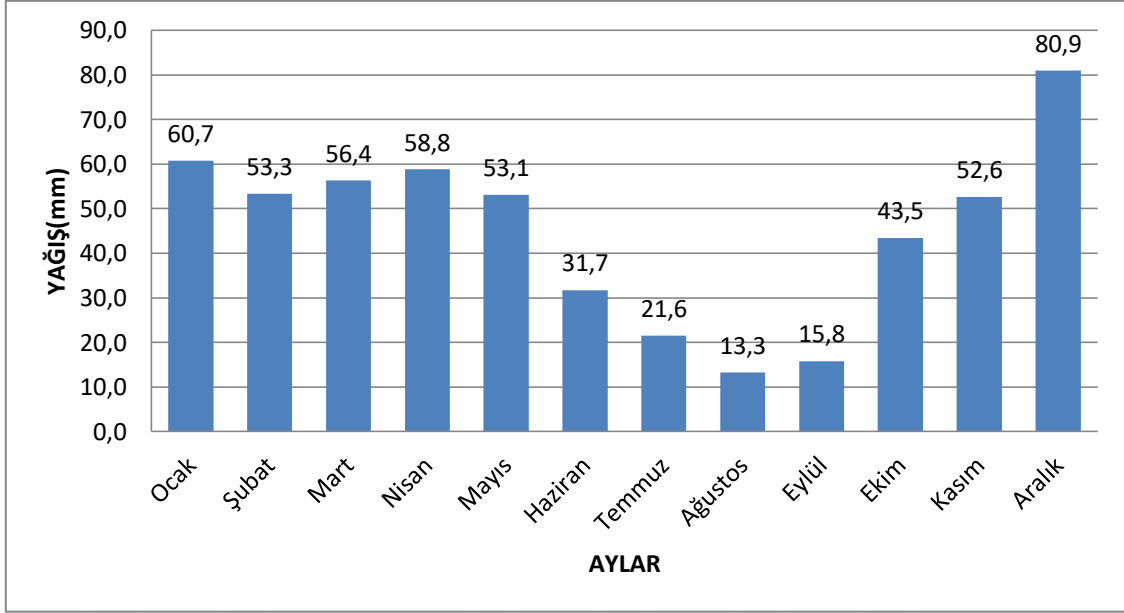
Çizelge 3.2 Afyonkarahisar ve Sincanlı(Sinanpaşa) DMİ ait gözlemlerin istatistiksel analizi.

İSTASYON	AFYONKARAHİSAR		SİNANPAŞA	
YÜKSEKLİK	1034 m		1130 m	
ENLEM	38° 45' N		38° 31' N	
BOYLAM	30° 32' N		30° 52' N	
GÖZLEM TÜRÜ	Ort. Yağış (mm)	Ort.Sıcaklık (°C)	Ort. Yağış (mm)	Ort.Sıcaklık (°C)
GÖZLEM SÜRESİ	1929-2014	1929-2014	1964-1994	1988-1994
OCAK	43.4	0.2	60.7	-1.2
ŞUBAT	40.0	1.6	53.3	0.4
MART	44.8	5.1	56.4	5.5
NİSAN	46.2	10.3	58.8	10.9
MAYIS	54.8	15.1	53.1	13.9
HAZİRAN	37.2	19.0	31.7	18.4
TEMMUZ	20.5	22.1	21.6	21.7
AĞUSTOS	11.2	22.0	13.3	21.4
EYLÜL	20.8	17.6	15.8	17.4
EKİM	35.4	12.3	23.5	11.7
KASIM	34.2	6.8	52.6	5.3
ARALIK	47.5	2.3	80.9	1.4
YILLIK TOPLAM	436.1 mm	11.2 °C	541.8 mm	10.6 °C

Afyonkarahisar DMİ ile Sinanpaşa DMİ'nin aylık ortalama yağış değişimleri Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.11 Afyonkarahisar DMİ aylık ortalama yağış değişimi.



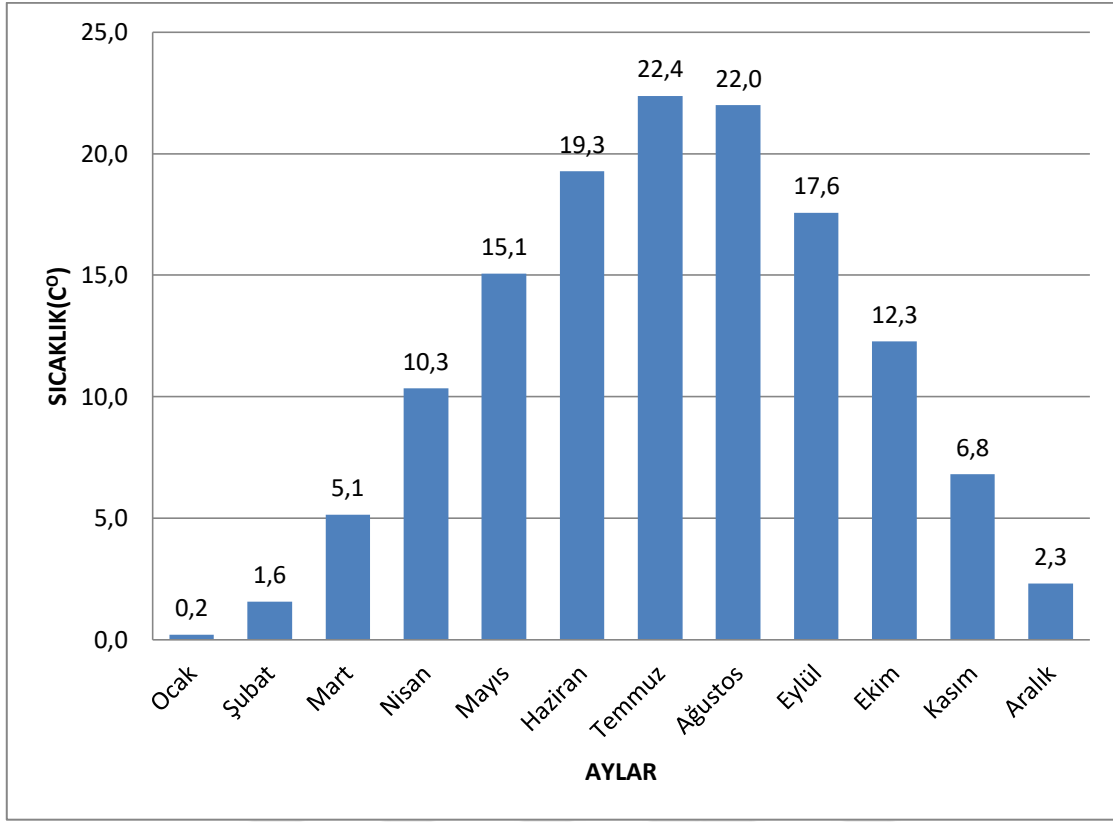
Şekil 3.12 Sinanpaşa DMİ aylık ortalama yağış değişimi.

3.7.2 Buharlaşma

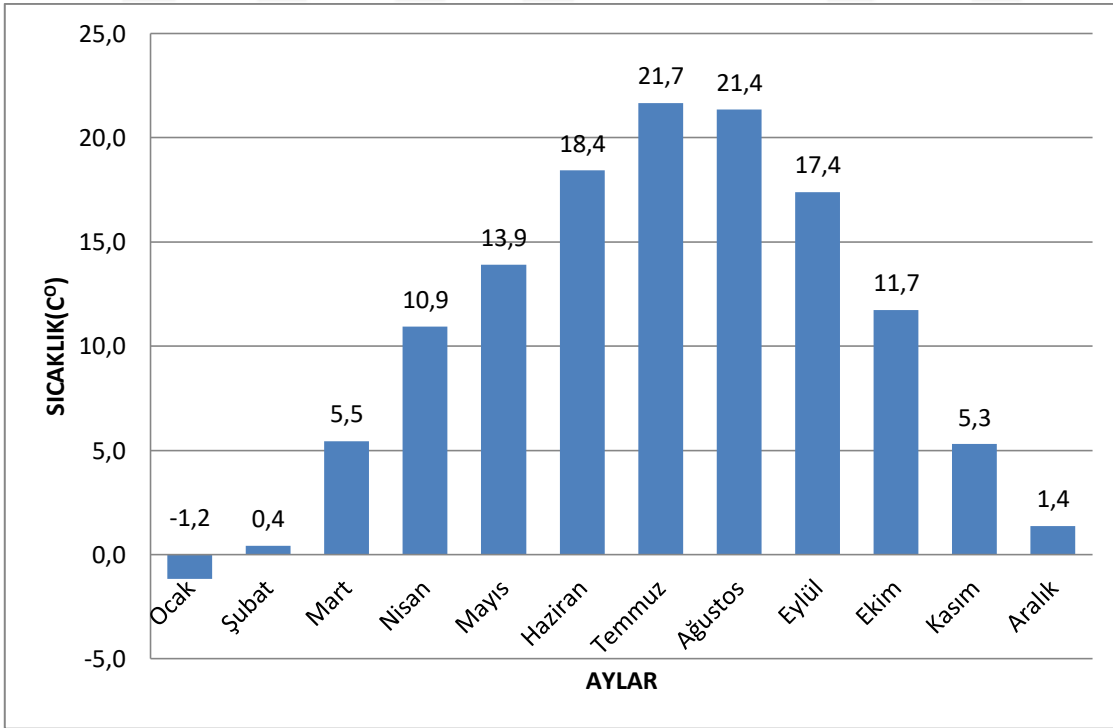
Çalışma alanında buharlaşmanın belirlenmesi için mevcut meteorolojik veri türleri dikkate alınmıştır. Buharlaşma miktarı ampirik formül yöntemleri ile hesaplama şeklinde veya çeşitli aletlerle ölçülerek hesaplanmaktadır.

Çalışma alanında Sincanlı(Sinanpaşa) D.M.İ. tarafından 1988-1994 yılları arasında ölçülmüş yıllık ortalama sıcaklığı 10.6°C 'dir. 21.7° C ile en sıcak ay Temmuz, -1.4°C ile en soğuk ay Aralık ayıdır. Afyonkarahisar DMİ tarafından 1929-2009 yılları arasında ölçülmüş yıllık ortalama sıcaklığı 11.2°C 'dir. 0.2°C ile en soğuk ay Ocak, 22.1 °C ile en sıcak ay Temmuz'dur(Bkz. Çizelge 3.2).

Afyonkarahisar DMİ 1929-2009 yılları arasında ve Sincanlı(Sinanpaşa) D.M.İ. tarafından 1988-1994 yılları arasında ölçülmüş aylık ortalama sıcaklığı Şekil 3.13 ve 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.13 Afyonkarahisar DMİ aylık ortalama sıcaklık değişimi.



Şekil 3.14 Sinanpaşa DMİ aylık ortalama sıcaklık değişimi.

3.7.3 Thornthwaite Yöntemi ile Yeraltı Suyu Bilançosu Hesaplanması

Thornthwaite yönteminin amacı su bilançosu ve iklim tiplerini belirlenmesini sağlamaktır. Thornthwaite yöntemi, evapotranspirasyonun doğrudan hesaplanmadığı yerlerde geniş kullanım alanı bulmaktadır (Birsoy ve Ölgün 1992).

Evapotranspirasyonun Tanımı ise Evaporasyon (Buharlaşma) ve Transpirasyon (Terleme) toplamının genel ifadesidir.

Thornthwaite yöntemine göre potansiyel ve gerçek evapotranspirasyonu hesaplanır.

Gerçek evapotranspirasyon(GET), yağış yetmezse toprakta depolanan su ile karşılanır. Bu şekilde potansiyel evapotranspirasyona(PET) erişebilir.

Yağış miktarı PET'i karşıladığı sürece fazla olan yağış miktarı toprakta depolanır fakat depoda 100 mm'yi geçmeyecek şekilde olması gerekmektedir. Depoda su kullanılırsa “-” işareti ile yazılır ve kalan su depolama bölümüne yazılır. Depoda 100 mm su geçtiği anda yüzeysel akış başlar bu akışın yarısı o aya ait alt akışa gösterilir. Diğer yarısı ise akış bölümüne yazılır. Su bilançosu Çizelge 3.4'de verilmiştir. Su bilançosu belirlendikten sonra, yapılacak işlem bu tablo aracılığı ile iklim tipini belirlemektir. Thornthwaite yöntemine göre potansiyel ve gerçek evapotranspirasyonu hesaplamak için aşağıdaki adımlar izlenmelidir (Bacanlı ve Saf, 2005).

Çizelge 3.3 Potansiyel evapotranspirasyon enlem düzeltme katsayıları (İnt. Kyn. 6).

	AYLAR											
Enlem	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
4 °N	0.88	0.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	0.97	0.87	0.86
35 °N	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
36 °N	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.84
37 °N	0.86	0.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	0.97	0.85	0.83
38 °N	0.85	0.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	0.96	0.84	0.83
39 °N	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82
40 °N	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
41 °N	0.83	0.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	0.96	0.82	0.80
42 °N	0.82	0.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	0.95	0.82	0.79

Çizelge 3.4 Thornthwaite yöntemi ile yeraltı suyu bilançosu.

THORNTHWAİTE SU BİLANÇOSU HESABI												
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
P(mm)	43.45	52.60	80.94	60.73	53.34	56.36	58.84	53.12	31.74	21.58	13.28	15.82
T (°C)	12.28	6.81	2.31	0.19	1.56	5.14	10.33	15.05	19.02	22.09	21.99	17.57
G= N (enlem düzeltme k)	0.97	0.86	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03
İndex (i)	3.89	1.59	0.31	0.01	0.17	1.04	3.00	5.30	7.55	9.48	9.41	6.70
PET(mm)	49.83	21.07	5.31	0.24	3.28	17.73	45.50	80.30	108.58	133.23	123.89	83.00
P-PET(mm)	-6.38	31.52	75.62	60.48	50.05	38.62	13.33	-27.18	-76.84	-111.65	-110.61	-67.18
Zemin Rezervi(m m)	0	31.52	100	100	100	100	100	72.81	0	0	0	0
Gerçek ET(GET) ,mm	43.45	21.07	5.31	0.24	3.28	17.73	45.50	80.30	104.55	21.58	13.28	15.82
Eksik Su, mm	6.38	0	0	0	0	0	0	0	-4.02	-111.65	-110.61	-67.18
Fazla Su, mm	0	0	12.46	60.73	53.34	56.36	58.84	53.12	4.55	0	0	0
Akış(mm)			6.23	36.59	57.03	54.85	57.6	55.98	28.83			

a) Her ayın ortalama sıcaklığına göre aylık sıcaklık indisleri belirlenir.

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514} \quad (3.1)$$

formülüyle hesaplanır. Burada; i, aylık sıcaklık indisi, t; ortalama aylık sıcaklık (°C)'dır.

b) Her aya ait sıcaklık indisleri toplanarak yıllık sıcaklık indisi bulunur.

$$l = \sum_{k=1}^{12} i \quad k = 1, \dots, 12 \quad (3.2)$$

Burada; I, yıllık sıcaklık indisi; i, aylık sıcaklık indisi'dir.

c) Potansiyel Evapotranspirasyon,

$$PET = 16 * \left(\frac{10*t}{l} \right)^a \quad (3.3)$$

formülünden hesaplanır. Burada; PET, potansiyel evapotranspirasyon (mm/ay); t, ortalama aylık sıcaklık (°C); l, yıllık sıcaklık indisi; a, katsayı'dır.

$$(0,000000675 * l^3) - (0,000077 * l^2) + (0,01792 * l) + 0,49239 \quad (3.4)$$

d) Düzeltilmiş Potansiyel Evapotranspirasyon (DET, mm/ay), bulmak için, her aya ait evapotranspirasyon ile enlem düzeltme katsayısını çarpmak yeterli olmaktadır. Enlem düzeltme katsayısı (G), ortalama güneşlenme sürelerine göre değişen bir değerdir ve çizelge biçiminde Thornthwaite tarafından hazırlanmıştır (Çizelge 3.3).

$$DET = (PET * G) \quad (3.5)$$

e) Her ay için yağış (P,mm) > PET ise;

- Gerçek Evapotranspirasyon (GET) = PET
- P ile PET arasındaki fark zemin rezervini arttırır.
- Zemin nemi maksimum değerine ulaştıktan sonra suyun fazlası akış haline geçecektir.

f) Herhangi bir ay için P < PET ise:

- Gerçek evapotranspirasyon miktarı o ayın yağış yüksekliği ile mevcut zemin neminin bir kısmının veya hepsinin toplamına eşit olacaktır.

- Zemin rezervinin kuruma noktasına ulaşması ile PET miktarı P miktarına eşit olur.

- Akış hesap edilirken, su fazlasının olduğu aydan başlanır ve bu aydaki su fazlasının yarısı akış hanesine kaydedilir. Diğer yarısı da bir sonraki ayın su fazlasına eklenir.

Eğer iklim tipine bakılmak istenirse aşağıdaki nemlilik oranı hesabıyla iklim tipine de bakılabilir.

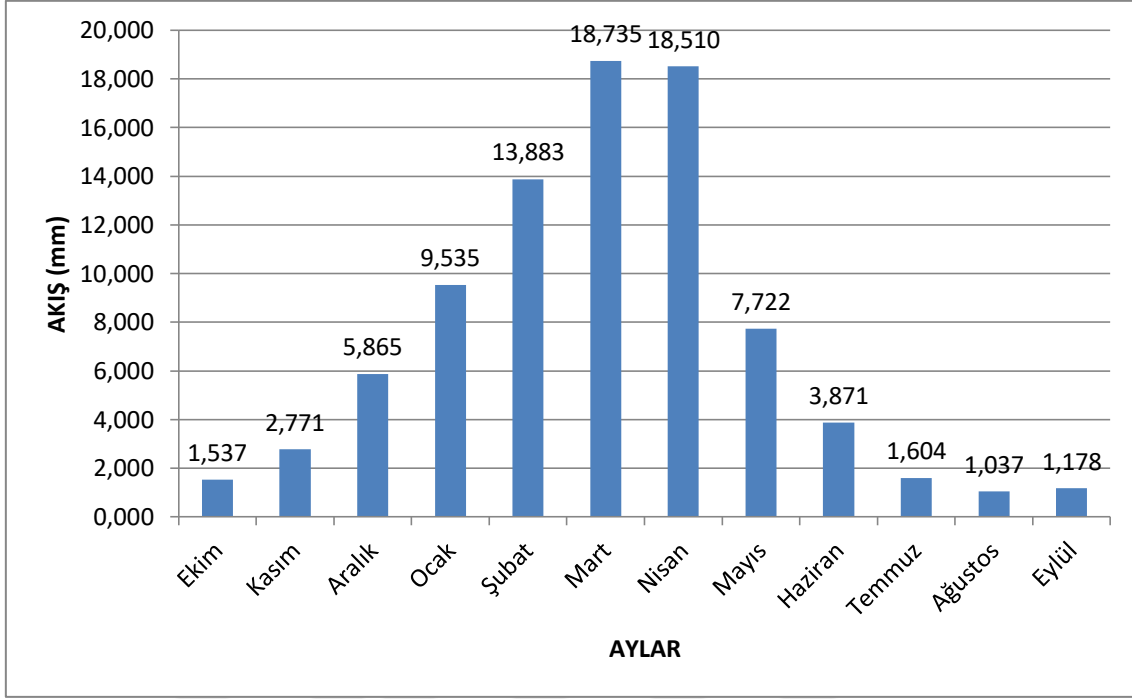
g) Nemlilik oranı;

$$Nemlilik, \% = \left(\frac{P-PET}{PET} \right) \quad (3.6)$$

Thornthwaite'ye göre $P > PET$ ise iklim nemlidir, $P < PET$ ise iklim kuraktır.

3.8 Yüzeysel Akış

Çalışma alanı olan Sinanpaşa havzasında batı ucundan çıkarak, Balmahmut ve Köprülü kuzeyinden geçen Nacak Deresi bulunur. Çalışma alanında, Nacak Deresi'ne katılan başlıca dereler, Çobanözü Deresi, Çayırhisar Deresi, Kırka Dere, Böğürtlen Dere, Ayvalı Dere, Sinanpaşa Deresi ve Boyalı Dere'leridir. D.S.İ. tarafından Araplı Deresi'nde bulunan Köprülü istasyonun 1970-2011 yılları arasında akış verisi Şekil 3.15 de verilmiştir. Çalışma alanında Akdeğirmen Barajı Mevcuttur. 2007 yılından beri akım rasadı yapan 4 tane A.G.İ. mevcuttur. Nacak Deresi'nin drenaj alanı 203 km^2 olup 2014 yılının mayıs, haziran, temmuz aylarının akım değeri 1040 hm^3 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.15 Araplı Deresinde 1970-2011 yılları arası akış verisi.

3.9 Çalışma Alanındaki Su Kaynakları

3.9.1 Akarsular

Çobanözü Deresi: Sincanlı Alt Havzası'ndaki en büyük bölüme sahip akarsulardan bir tanesidir. Sincanlı Alt Havzası'nın güneybatısındaki yükseltilerden beslenerek ilk önce Dağ Dere ve Suuçtuğu Deresinin akışından sonra iki derenin birleşimi ile güney-kuzey doğrultulu akış göstererek Çobanözü Deresi'ni oluşturmuştur. Çobanözü yerleşiminin hemen güneyinden akış gösterdikten sonra kanal vasıtası ile ovaya boşalmaktadır.

Çayhisar Deresi: Havzanın güneyinden akış gösteren Çayhisar Deresi yaklaşık 1800 m kotlarından Tuztaş D. Çakal D. ve Adamöldüren derelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Çayhisar Deresi'nin üst kotlarında çok sayıda kaynak çıkışı gözlenmektedir. Çayhisar yerleşiminin kuzeyinden ovaya kanal vasıtasıyla akışı sağlanmıştır.

Kırka Deresi (Derebağı): Kırka Deresi Sincanlı Alt Havzası içindeki en büyük bölüme

sahip akarsu olup yaklaşık alanı 76 km² 'dir. Kuru Ç., Değirmen D., Hıdırellez D. ve Yağpınar derelerinin birleşiminden oluşan Kırka Deresi, Sincanlı ve K.Höyük yerleşimleri yakınından geçerek Sincanlı Ovası bataklık alanına akmaktadır.

Böğürtlen Dere: Böğürtlen Deresi Sincanlı Alt Havzası'nın batı-orta kısmından batı-doğu yönlü akış göstermekte olup, devamında Nacak Deresi ismini almaktadır. Aynı zamandan Sincanlı Ovası'nda batıya doğru uzanan alüvyon alanını da oluşturmaktadır. Havzanın batısında Karacaören, Elvanpaşa, Çalışlar ve Tazlar yerleşiminden gelen tüm yüzeysularını drene etmektedir.

Ayvalı Dere: Sincanlı Alt Havzası kuzeyinde yer alıp, ilk önce batı - doğu yönlü daha sonra kuzey – güney yönlü akış göstererek Nacak Deresi'ne karışmaktadır. Yaklaşık 21 km² lik drenaj alanına sahip olan Ayvalı Deresi 1380 m kotlarından beslenerek Akçaşar yerleşimi güneyinden geçtikten sonra doğrultusunu değiştirerek Akdeğirmen yerleşimi kuzeybatısından Akarçay'a karışmaktadır.

3.9.2 Barajlar ve Göletler

Elvanpaşa Göleti: Gölet, Sinanpaşa ilçesi Karakise Deresi üzerinde inşa edilmiştir. Gövde dolgu tipi, homojen dolgu olan gölet sulama amaçlı inşa edilmiştir. Talvegden yüksekliği 15.86 m, normal su seviyesinde olan göletin sulama alanı yaklaşık, 80 ha'dır (İnt. Kyn. 7).

Boyalı Göleti: Gölet, Sandıklı ilçesi Karakise Deresi üzerinde inşa edilmiştir. Gövde dolgu tipi, homojen dolgu olan gölet sulama amaçlı inşa edilmiştir. Talvegden yüksekliği 16.50 m, normal su seviyesinde olan göletin sulama alanı 55.09 ha'dır (İnt. Kyn. 7).

Gezler Göleti: Gölet, Sandıklı ilçesi Karakise Deresi üzerinde inşa edilmiştir. 2011 yılında yapımına başlanan gölet, 2013 yılında tamamlanarak işleme alınmıştır. Gövde dolgu tipi, homojen dolgu olan gölet sulama amaçlı inşa edilmiştir. Talvegden yüksekliği 16.50 m, normal su seviyesinde olan göletin sulama alanı 182 ha'dır (İnt. Kyn. 7).

Tınaztepe Göleti: Gölet, Sandıklı ilçesinin Tınaztepe beldesinin 1400 m güneydoğusunda Kuru Deresi üzerinde inşa edilmiştir. 1989 yılında yapımına başlanan gölet, 1991 yılında tamamlanarak işleme alınmıştır. Gövde kil çekirdek zonlu dolgu tipi, homojen dolgu olan gölet sulama amaçlı inşa edilmiştir. Talvegden yüksekliği 20.62 m, normal su seviyesinde göletin maksimum su hacmi: 1600 hm³, minumum su hacmi: 0.100 hm³ tür. Sulama şebekesi kanalet sistemdir. Göletin sulama alanı brüt olarak 523 ha'dır net olarak da 469 ha kesiminin sulanması ve bu alanlarla ovalık kesimlerin taşkından korunması amacı ile inşa edilmiştir. Göletin maksimum su hacmi: 1600 hm³, minumum su hacmi: 0.100 hm³ tür. Sulama şebekesi kanalet sistemdir (İnt. Kyn. 7).

Kılıçaslan Göleti: Gölet, Sandıklı ilçesi Beçığı Deresi üzerinde inşa edilmiştir. Gövde kil çekirdek zonlu dolgu tipi, homojen dolgu olan gölet sulama amaçlı inşa edilmiştir. Talvegden yüksekliği 25 m olan göletin sulama alanı 523 ha'dır (İnt. Kyn. 7).

Kuruçay Göleti: Gölet, Sinanpaşa ilçesi Kuruçay Deresi üzerinde inşa edilmiştir. 2006 yılında yapımına başlanan gölet, 2010 yılında tamamlanarak 2011 yılında işleme alınmıştır. Gövde kil çekirdek zonlu dolgu tipi, homojen dolgu olan gölet sulama amaçlı inşa edilmiştir. Talvegden yüksekliği 33.6 m, normal su seviyesinde göl olan göletin sulama alanı 682 ha'dır (İnt. Kyn. 7).

Kırka Göleti: Sinanpaşa ilçesi, Kırka Beldesinin Değirmendere Deresi üzerinde inşa edilmiştir. 1991 yılında yapımına başlanan gölet, 1997 yılında tamamlanarak işleme alınmıştır. Gövde kil çekirdek zonlu dolgu tipi, homojen dolgu olarak inşa edilmiştir. Talvegden yüksekliği 29.75 m, göletin hacmi maksimum su hacmi: 2075 hm³, minumum su hacmi: 0.220 hm³ tür. Sulama şebekesi kapalı sistemdir. Göletin sulama alanı brüt 528 ha, net olarak da 440 ha kesimin sulanması ve taşkından korunma amaçlı inşa edilmiştir (İnt. Kyn. 7).

Yörükmezarı Göleti: Gölet, Sinanpaşa ilçesi Kolonkaya Deresi üzerinde inşa edilmiştir. Gövde kil çekirdek zonlu dolgu tipi, homojen dolgu olan gölet sulama amaçlı inşa edilmiştir. Talvegden yüksekliği 29 m, olan göletin sulama alanı 528 ha'dır (İnt. Kyn. 7).

Çayhisar Göleti: Gölet, Sinanpaşa ilçesi Kamışlı Deresi üzerinde inşa edilmiştir. Gövde kil çekirdek zonlu dolgu tipi, homojen dolgu olan gölet sulama amaçlı inşa edilmiştir. Talvegden yüksekliği 29.4 m, normal su seviyesinde olan göletin sulama alanı 1063 ha'dır (İnt. Kyn. 7).

Akdeğirmen Barajı: Gölet, Sinanpaşa ilçesi Değirmendere Deresi üzerinde inşa edilmiştir. 1991 yılında yapımına başlanan gölet, 1997 yılında tamamlanarak işleme alınmıştır. Gövde kil çekirdek zonlu dolgu tipi, homojen dolgu olan gölet sulama amaçlı inşa edilmiştir. Talvegden yüksekliği 29.75 m, normal su seviyesinde olan göletin sulama alanı 528 ha'dır (İnt. Kyn. 7).



4. BULGULAR

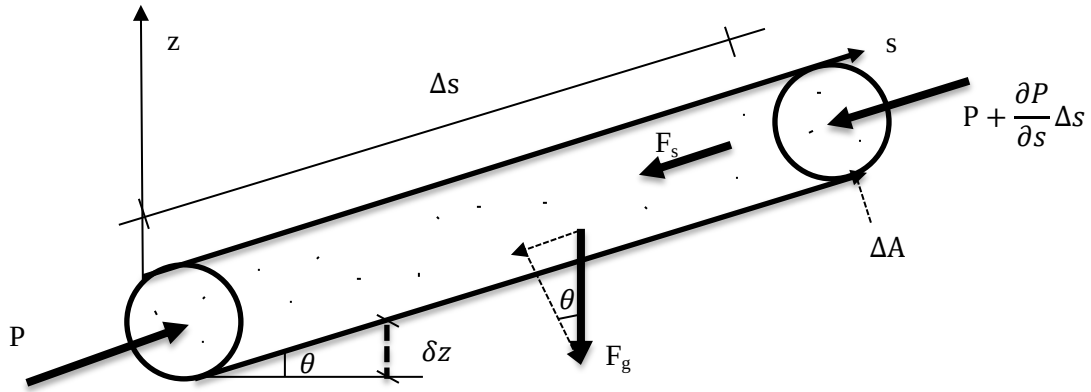
Çalışma alanında yer alan akiferin hidrojeolojik parametreleri ve yeraltı suyu dinamiği incelenmiştir. Yeraltı suyu akım modellemesi bölümünde hidroloji ve hidrojeoloji bölümünde elde edilen veriler kullanılarak çalışma alanının yeraltı suyu akım modellemesi yapılmıştır.

4.1 Sinanpaşa Ovası Yeraltı Suyu Akım Modeli

Çalışmada, Sinanpaşa Ovası'nın yeraltı suyu akım modelinde, Groundwater Modeling System(GMS) programı altında çalışan MODFLOW-2000 (Banta et al. 2000) programı kullanılmıştır. Çalışma alanında yapılan yeraltı suyu akım modellemeleri ve görselleştirme çalışmaları, yeraltı su seviyesinin değişimlerini inceleme ve yeraltı su seviyesinin değişim tahminlerine yardımcı olmaktadır. Ortaya çıkan model hidrojeolojik sistemin yüzde yüz aynısı değildir, bazı kabuller yapılmakta ve sistemin temsili olduğu kabul edilmektedir.

4.1.1 Yeraltı Suyu Akımının Matematiksel Denklemleri

Yeraltı suyu akımı temel yasası Darcy Kanunu'dur. Darcy, iki kesit arasındaki yeraltı suyu akım miktarını hidrolik eğimle olan bağlantısını tespit etmiştir. Darcy kanununu hareket kanunun ilkesini kullanarak elde etmek için Şekil 4.1'de gösterilen oldukça küçük kontrol hacmini göz önüne alındığında bu hacmin kesit alanı ΔA , boyu Δs , yatay eksen ile yaptığı açısı θ ve porozitesi n olup bu kesite etki eden büyüklükler basınç(F_p), sürtünme (F_s) ve ağırlık (F_g) kuvvetleridir.



Şekil 4.1 Kontrol hacmi.

Şekil 4.1 göz önüne alındığında, kontrol hacmine etki eden net basınç kuvveti,

$$F_p = -\frac{\partial P}{\partial s} \Delta s n \Delta A \quad (4.1)$$

s- yönündeki ağırlık kuvveti ise $F_g = F_g \cdot \sin \theta = \gamma n \Delta A \Delta s \sin \theta$ dir. Burada γ suyun özgül ağırlığı [gr/cm^3] ve n , ΔA , Δs kontrol hacimdeki suyun hacmidir. Aynı şekilde $\sin \theta = -\frac{\partial z}{\partial s}$ olduğundan s- yönündeki ağırlık kuvveti,

$$F_g \cdot \sin \theta = -\gamma n \Delta A \Delta s \frac{\partial z}{\partial s} \quad (4.2)$$

olarak bulunabilir. Sürtünme(direnç) kuvveti ise aşağıdaki denklem ile tanımlanır (Bear and Verruijt 1987).

$$F_s = \mu c V_s \Delta A \Delta s \quad (4.3)$$

Burada μ suyun vizkozitesini ($\text{kg}/(\text{m.s})$), c boşluk(por) geometri parametresini ve V_s akımın ortalama(bulk) hızını temsil etmektedir. Ayrıca, c parametresi taneciklerin düzenine ve büyüklüklerine bağlı olarak alan boyutuna (L^2) sahiptir.

Akım hızının zamanla değişmediğini (kararlı akım) kabul edersek, ivme sıfır olacağından, kontrol hacmine etki eden kuvvetlerin dengede olması gerekir, yani;

$F_p + F_g + F_s = 0$ 'dır. Buradan aşağıdaki ifadeyi yazmak mümkündür.

$$-\frac{\partial P}{\partial s} \Delta s n \Delta A - \gamma n \Delta A \Delta s \frac{\partial z}{\partial s} - \mu c V_s \Delta A \Delta s = 0 \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'te her terimin $(\Delta A \Delta s \gamma n)$ ile sadeleştirilmesi ile

$$-\frac{1}{\gamma} \frac{\partial P}{\partial s} - \frac{\partial z}{\partial s} - \frac{\mu c}{n} V_s = 0 \quad (4.5)$$

elde edilir. Denklem 4.5'in V_s için çözülmesi ile de,

$$V_s = -\frac{\gamma}{\mu} \frac{n}{c} \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{P}{\gamma} + z \right) \quad (4.6)$$

bulunur. Gerçek(intrinsic) iletkenliği $k_s = \frac{n}{c}$ ve hidrolik yükü $\phi = \frac{P}{\gamma} + z$ ile gösterirsek, denklem 4.6 aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$V_s = -\frac{\gamma}{\mu} k_s \frac{\partial \phi}{\partial s} \quad (4.7)$$

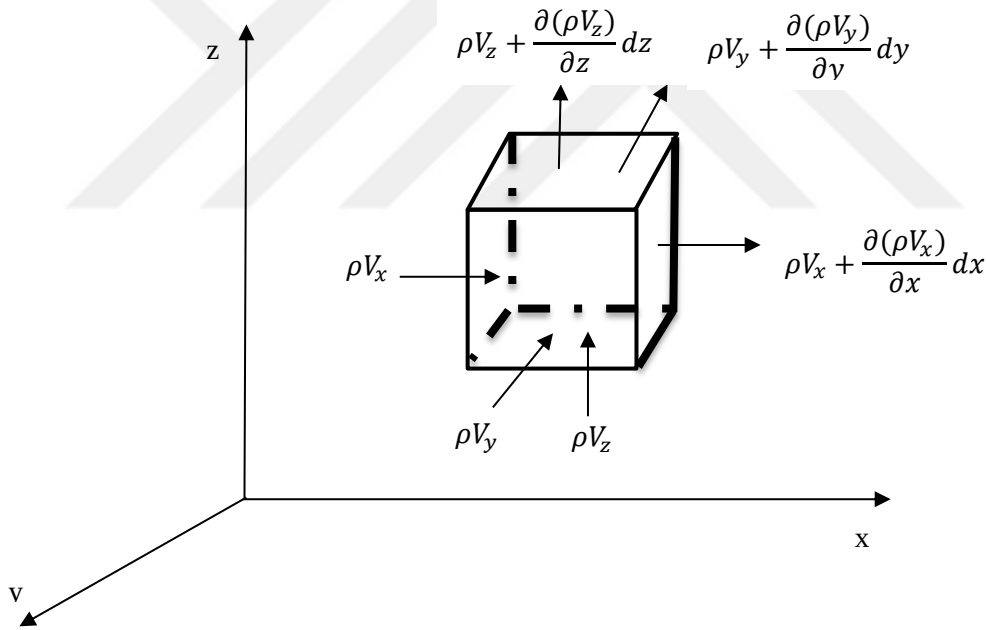
Gerçek iletkenlik(k_s), porozite(n) ve zemin boşluk ve tanecik özelliklerine(c)' ne bağlıdır ve birimi (L^{-2}) dir. Hidrolik iletkenlik ise $K = k_s \frac{\gamma}{\mu}$ şeklinde ifade edilir ve sadece zemin taneciklerinin özelliğine, boşluk geometrisi ve porozite'ye değil, aynı zamanda suyun özgül ağırlığı ve viskozitesine de bağlıdır. Hidrolik iletkenlik ifadesini Denklem 4.7'de yerine koyarsak aşağıdaki Darcy denklemini elde edilir.

$$V_s = -K \frac{\partial \phi}{\partial s} \quad (4.8)$$

Yeraltı su akımı, akım çizgileri düzgün olduğu süreç, Darcy denklemi ile incelenebilir. Ancak, hidrolik eğimin bilinmediği ve akım çizgilerinin eğrisel olduğu durumlarda(örneğin baraj gövdesi altındaki sızma akımı) genel akım denklemlerini kullanmak gerekir(Bear and Verruijt 1987). Bunun için de genel denklemler elde edilmelidir. Kısmi-diferansiyel olan bu denklemlerin çözümleri bize hidrolik yükün

zaman ve mekânsal değişimini bütün akım ortamı için sağlayabilecektir. Aşağıdaki diferansiyel denklemlerin elde edilmesini gösterildi.

Genel akım denkleminin elde edilmesinde kütlenin korunumu(süreklilik) ilkesi kullanılır. Bunun için Şekil 4.2’de gösterilen küçük prizmatik bir kontrol hacmi göz önüne alalım. Bu hacmin boyutları her bir yönde sırasıyla; Δx , Δy , Δz olsun. Kütlenin korunumu ilkesine göre kontrol hacime giren ve çıkan akım miktarları arasındaki fark hacmin deposunda meydana gelen değişime eşittir. Şekil 4.2’ye göre kontrol hacime giren akım $[\rho VA]$ (burada; ρ suyun yoğunluğu, V akımın hızı ve A enkesit alanı) ve kontrol hacimden çıkan akım $[\rho VA + \Delta(\rho VA)]$ ’dır. Depolama hacmindeki değişiklik ise $[n\rho dx dy dz]$ şeklinde ifade edilir. Bu aşamada, hız gibi porozite ve yoğunluğun da değişken kabul edelim.



Şekil 4.2 Kontrol hacmi.

Kontrol hacme toplam giren akın (Şekil 4.2’den),

$$\text{Giren akım} = \rho V_x dy dz + \rho V_y dx dz + \rho V_z dx dy \quad (4.9)$$

Olarak elde edilir. Burada, V_x , V_y , V_z sırasıyla x,y ve z yönlerindeki akım hızlarıdır.

Kontrol hacminden toplam çıkan akım(yine Şekil 4.2'den)

$$\text{Çıkan akım} = \left(\rho V_x + \frac{\rho V_x}{\partial x} dx \right) dydz + \left(\rho V_y + \frac{\rho V_y}{\partial y} dy \right) dx dz + \left(\rho V_z + \frac{\rho V_z}{\partial z} dz \right) dx dy \quad (4.10)$$

şeklinde elde edilir. Kütlenin korunumu ilkesine göre giren ve çıkan akım arasındaki fark depolama hacmindeki değişikliğe eşit olmalıdır. Denklem 4.9 ile 4.10'un farkını alırsak aşağıdaki denklemi buluruz (Şen ve Tayfur 2018).

$$-\left(\frac{\partial \rho V_x}{\partial x} + \frac{\partial \rho V_y}{\partial y} + \frac{\partial \rho V_z}{\partial z} \right) dx dy dz = \frac{\partial (n\rho)}{\partial t} dx dy dz \quad (4.11)$$

4.1.2 MODFLOW 2000

MODFLOW, üç boyutlu yeraltı suyunu sayısal olarak çözen bir bilgisayar programıdır. MODFLOW içeriğinde kapsamlı bir grafik ara yüzü vardır. MODFLOW, sınır koşulları ve farklı farklı seçeneklere sahip, zamanla değişen ve karalı akım hali için analiz yapabilmektedir.

MODFLOW, sonlu farklar yöntemi kullanarak yeraltı suyu akımı kısmi diferansiyel denklemlerinin analizini gerçekleştirebilmektedir.(McDonald and Harbaugh 1988). MODFLOW, McDonald ve Harbaugh (1984) tarafından geliştirilmiştir.

4.1.3 Sinanpaşa Ovası Yeraltı Suyu Akımının MODFLOW ile Modellemesi

Sinanpaşa Havzası için 2014 yılının mayıs, haziran, temmuz ayı için verilerin kararlı akımı temsil ettiği düşünüldüğünden, 2014 yılının bu ayları modelin tarihi olarak düşünülmüştür. Çalışma alanında yeraltı suyu ve potansiyelinin belirlenmesi için GMS yazılımı altında çalışan MODFLOW 2000 programı kullanılarak yeraltı suyu modellemesi yapılmıştır. 2014 yılının mayıs, haziran, temmuz ayları kararlı akım aylarında yağış ve buna bağlı olarak akiferin beslenme miktarı, şahıs ve işletme kuyularından çekilen debiler, rasat kuyularındaki ölçümler 2014 yılındaki kararlı akımı sağlayan aylar için kullanılmıştır. Oluşturulan modelin jeolojik ve hidrojeolojik

parametrelerine göre belirlendikten sonra, MODFLOW programı ile grid ağırları oluşturulmuştur. Belirlenen tabakalar için sayıları, tipleri ve model için gerekli parametreler girilmiştir. DSİ tarafından Sincanlı-Bulca(Küçükhüyük), Sincanlı-Tınaztepe, Sincanlı-Kınık, Sincanlı-Akören ölçülen rasat kuyularından su seviye değerleri kullanılarak modelin kalibrasyonu yapılmıştır.

4.1.4 Sınır Koşulları ve Grid Ağlarının Oluşturulması

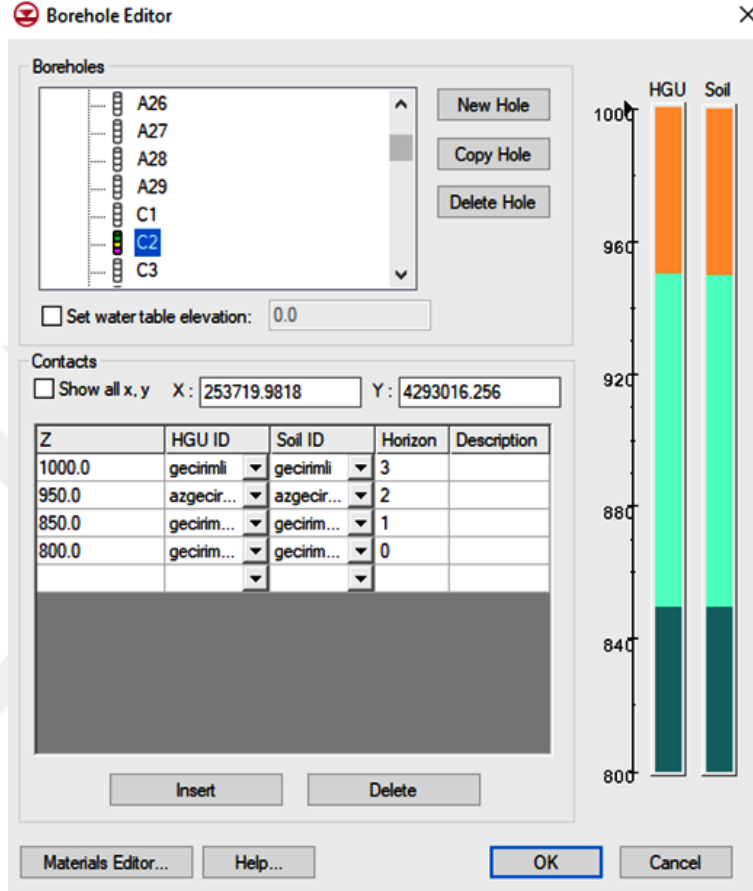
Çalışma alanının kuzey batısında yer alan Akdeğirmen Barajı sabit seviyeli hidrolik yük, Akarçay(river) olarak tanımlanmıştır. Havzanın dış sınırları modele su girişi veya su çıkışı olabileceği kabulünden dolayı genel hidrolik yük sınırı(general head boundary) olarak tanımlanmış ve havza sınırı dışında kalan bütün olanlar akım olmayan sınır koşulu(no flow) olarak tanımlanmıştır.

Programda UTM(Universal Transverse Mercator) koordinat sistemi kullanılmıştır. Merkator projeksiyonu kürenin, kendisine ekvatorunda teğet olan silindire izdüşümüdür. Model alanı için kullanılan koordinat sistemi değerleri; 36. UTM bölgesinde yer almakta olup, 240014.55D, 43147.09 K ve 282364.88D, 4275228.25K yer almaktadır. Model, 184 sütun ve 138 satır olmak üzere 25392 adet grid ağına bölünmüştür. Modelde 76176 hücre olup 39935 aktif, 36241 inaktif hücre, 3adet tabaka, 4 adet gözlem kuyusu ve 379 adet kuyu vardır. Model x yönünde 46 km, y yönünde 34.5 km olmak üzere 1587 km²'lik alandan oluşmaktadır. Modelde bulunan her bir hücre 250 m x250 m ve 0.0625km² alandır.

4.1.5 Tabakaların Oluşturulması ve Özellikleri

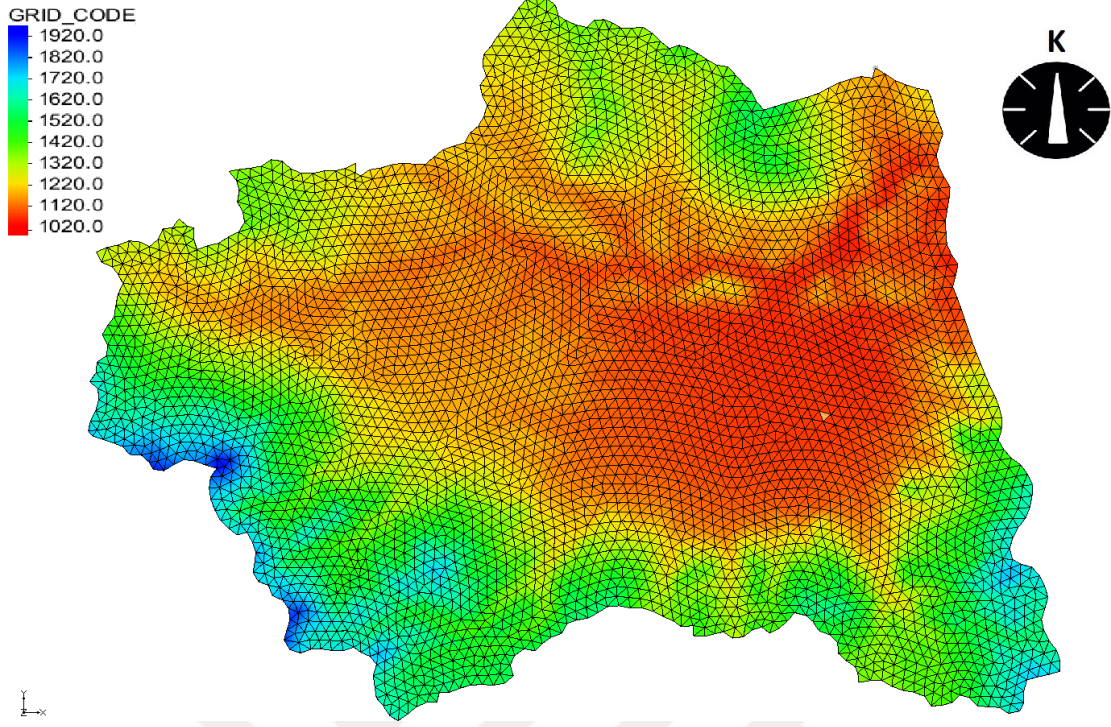
Üç boyutlu yeraltı suyu akım modelini oluşturmak için havza grid ve tabakalara ayrılmıştır. Model, geçirimli, az geçirimli ve geçirimsiz olmak üzere üç katmana bölünmüştür. Şekil 4.8 de tüm tabakaları gösteren harita verilmiştir. Akiferin dışında kalan hücreler simülasyonda hesaplamaya katılmayan inaktif hücrelerdir, akiferin içindeki hücreler ise hesaplamaya katılan aktif hücrelerdir. Modelin tabakalara ayrılması için 186 adet kuyu logu kullanılmıştır (Şekil 4.3).

Kuyu logları Şekil 3.7 deki harita kullanılarak oluşturulmuştur. Kuyu loglarında tabakaların kalınlıkları, tabaka cinsleri, koordinatları ve GMS modelinde kullanılan horizon bilgileri bulunmaktadır.

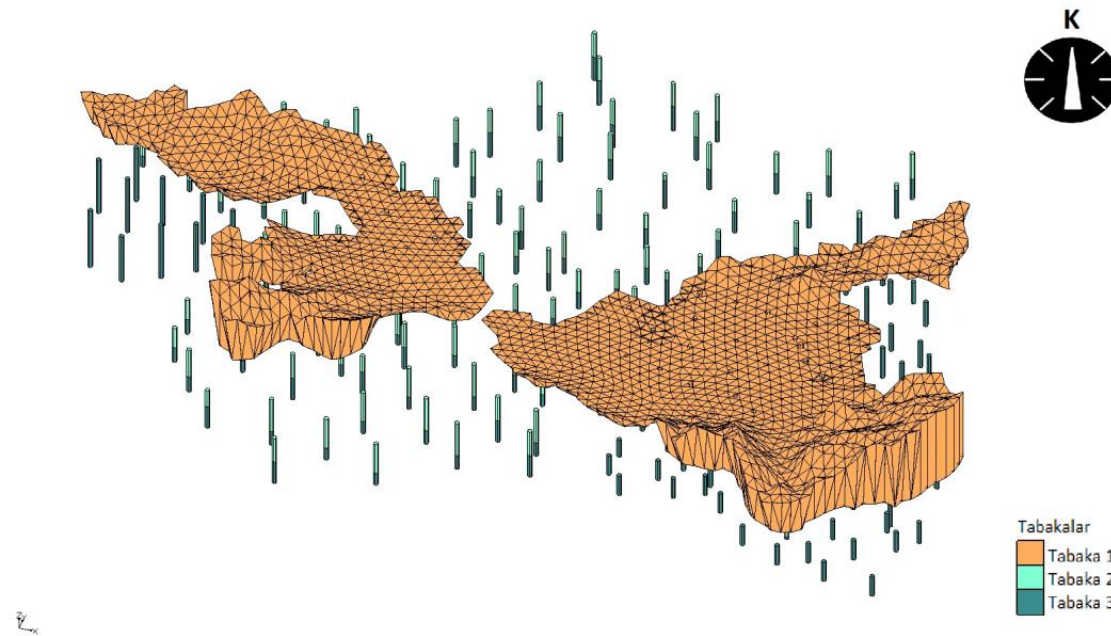


Şekil 4.3 Modelde kullanılan kuyu loglarından bir örnek.

1. Tabaka: Modelin birinci tabakasında erozyon ve rüsubat birikintilerinden oluşan alüvyon formasyon geçirimli tabaka olarak oluşturulmuştur. Birinci tabaka uydu verisinden elde edilen sayısal yükseklik modelinden üretilmiştir (İnternet Kaynağı 5). Elde edilen sayısal yükseklik modeli ile TIN (triangulated irregular network) yüzeyi oluşturulmuştur. Bu modelin oluşturulmasında UTM Zone 36 (30°E-36°E Northern Hemisphere , ED 50 meter) projeksiyonu kullanılmıştır. TIN yüzeyi 8634 adet üçgen ve 4471 adet düşüm noktasından meydana gelmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Model alanındaki 1. tabakanın yüzey haritası.

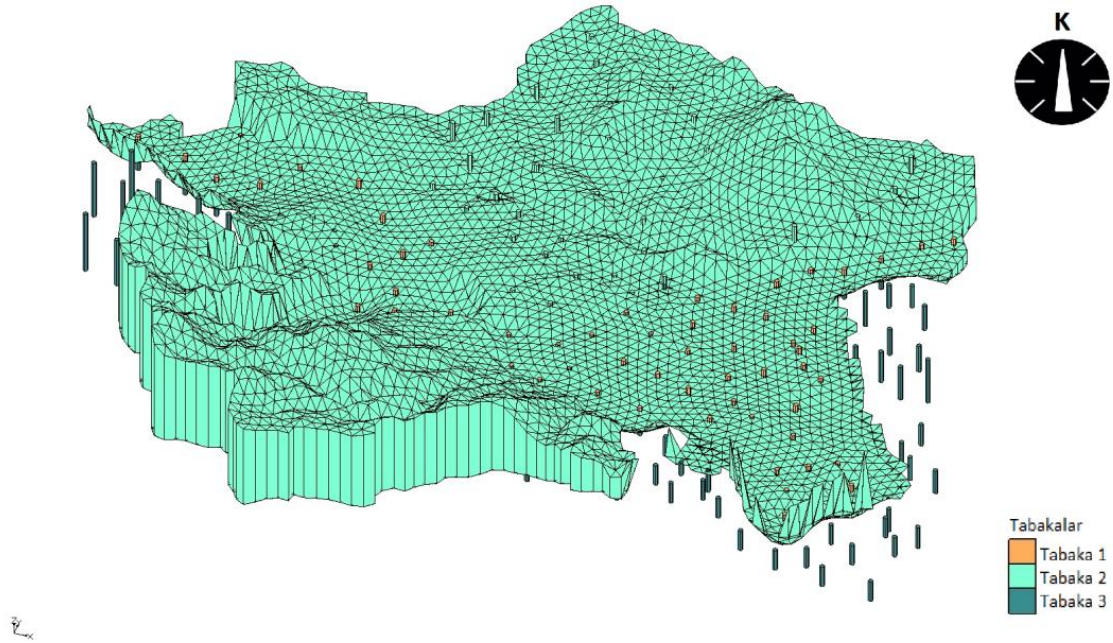


Şekil 4.5 Model alanındaki 1. tabakayı gösteren harita.

Şekil 4.5’de görülen bu tabakanın oluşturulmasında kuyu logları ve Şekil 4.4 deki MTA haritası kullanılmıştır. Solid modülünde oluşturulan tabaka yazılım tarafından katı cisim olarak meydana getirilmiştir. Alüvyon havzanın merkezinde ova bölümünde yoğun

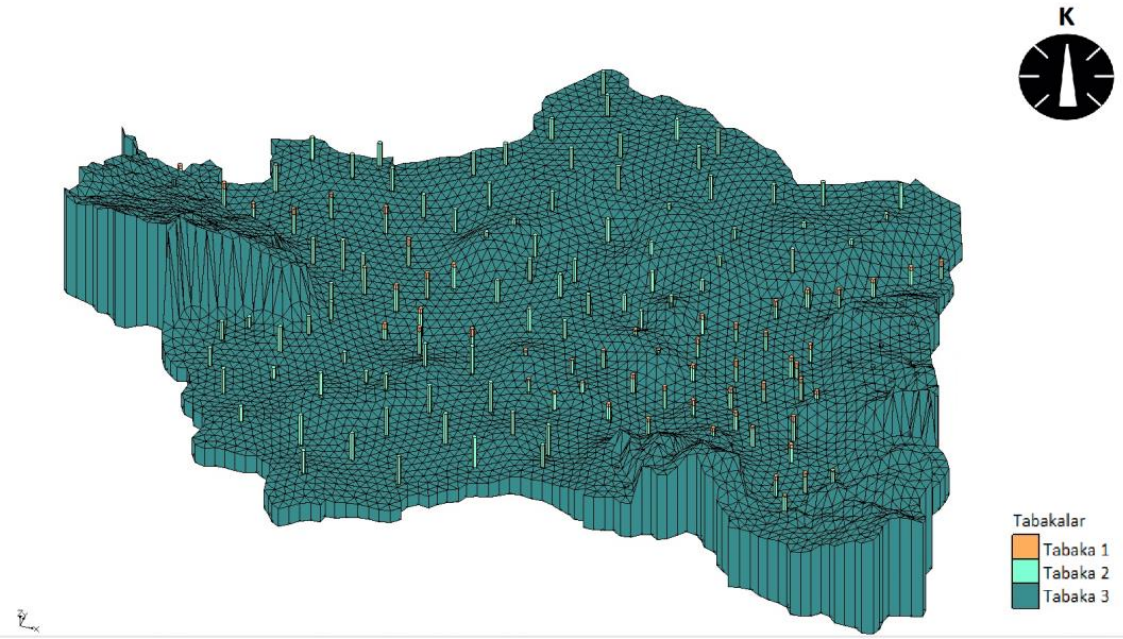
olarak bulunmaktadır. Bu bölgede birimin kalınlığı 30-50 m arasında değişmektedir. Çalışma alanında Üst Miyosen yaşlı kireçtaşı, alüvyon, çakıltası, kumtaşı, çamurtaşından oluşmaktadır.

2. Tabaka: Modelin alüvyon tabakasının altında yer almaktadır. 250 m derinliğe uzanabilmektedir. Çalışma bölgesinde en fazla alana sahip orta ve üst miyosende bulunan ayrılmamış kireçtaşı, çakıltası, ayrılmamış çakıltası, mermer ve kumtaşı oluşturmaktadır ve 50-250 m arasında kalınlıkları vardır. Üst ve orta miyosende 0.1-10 m arasında değişim gösteren ayrılmamış piroklastik bulunmaktadır (Şekil 4.6).

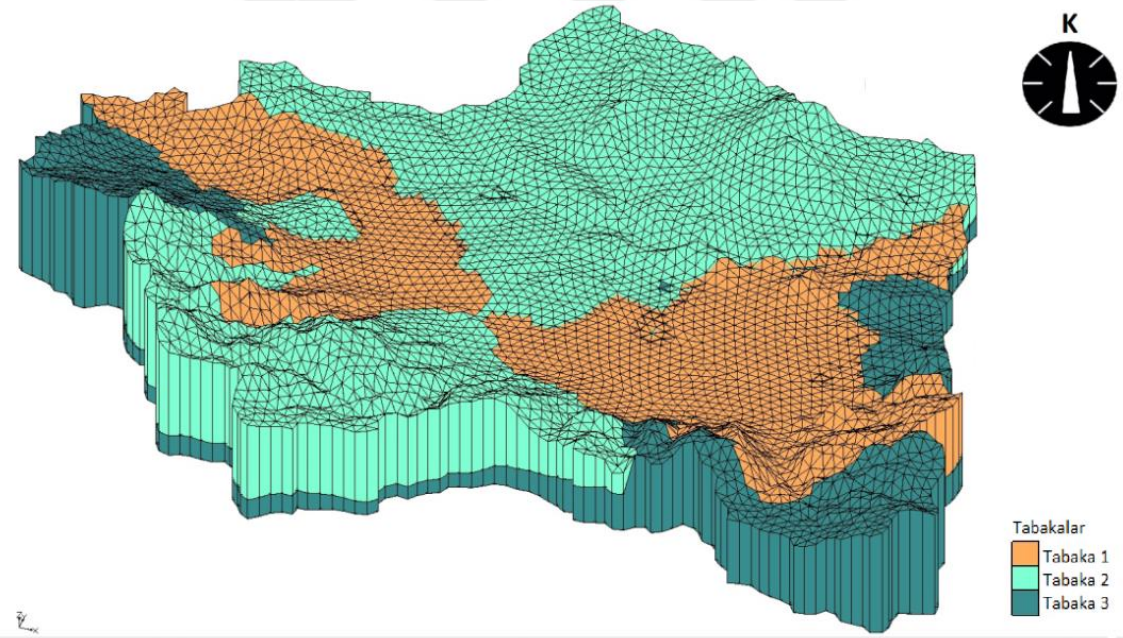


Şekil 4.6 Model alanındaki 2. tabakayı gösteren harita.

3. Tabaka: Modelin en altında bulunan tabakayı oluşturmaktadır Miyosen yaşlı ayrılmamış andezit, bazalt trakit ve tüften ayrıca Paleozoyik yaşlı dönemden mermer formasyonlarından oluşmuştur. Miyosen yaşlı blok andezitten meydana gelmiştir. Kalınlıklar 200 ile 2500 m arasında değişmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Model alanındaki 3. tabakayı gösteren harita.



Şekil 4.8 Model alanındaki tüm tabakaları gösteren harita.

4.1.6 Akiferin Hidrojeolojik Parametreleri

Modellemede 186 tane kuyu logundan tabaka üretilmiştir. Bu kuyular vasıtasıyla 3 tabaka oluşturulmuştur.

Programda eğriler üzerinde grid merkezindeki nokta, eşyüksekti eğrileri ile çakıştırıldı. Sayısal olarak indirilen eş yükselti eğrileri ile grid merkezi çakıştırıldı ve Arcgis yazılımı kullanarak sayısal olarak indirildi.

Hücrelerin merkezinde bulunan noktalara kod atamış olduk sonra GMS ile TIN modülü rakım elde edildi ve TIN yüzeyi oluşturuldu. Triangulated Irregular Network bu sayede akiferin yüzey seviye modeli üretilmiş oldu.

Denklem 4.12'deki gibi formül MODFLOW tarafından hesaplandığı gibi kullanıcı tarafından da elle girilip düşey hidrolik iletkenlik değeri programa girilebilmektedir. Bu çalışmada düşey hidrolik iletkenlik değeri kullanılarak düşey sızma miktarı program tarafından hesaplanmıştır.

$$V_{cont\ j,i,k+1/2} = \frac{1}{\frac{\Delta V_{k/2}}{[K_z]_{j,i,k}} + \frac{\Delta V_{k+1/2}}{[K_z]_{j,i,k+1}}} \quad (4.12)$$

Burada; $V_{cont} [1/T]$, iki tabaka arasındaki düşey sızma miktarını, ΔV_k , üstteki tabakanın kalınlığını $[L]$, ΔV_{k+1} , alttaki tabakanın kalınlığını $[L]$, $[K_z]_{i,i,k}$ üstteki tabakanın düşey hidrolik iletkenliğini $[L/T]$, $[K_z]_{i,i,k+1}$ ise alttaki tabakanın düşey hidrolik iletkenliğini $[L/T]$ vermektedir (Çakmak 2010).

4.1.7 Model Parametreleri

Bu çalışmada, 2014 yılı mayıs, haziran, temmuz aylarının modellenmesi yapılarak bu tarihlerin verilerinden yararlanılmıştır. 2014 yılı mayıs, haziran, temmuz ayları için buharlaşma, yağış ve akış değerleri kullanılarak akiferin beslenmesi ve boşalımı hesaplanmıştır. Modelin parametreleri, buharlaşma, yağış miktarı, işletme ve şahıs kuyularından çekilen su miktarı, rasat gözlem kuyularındaki yeraltı suyu statik seviye ölçümleridir. Modellemenin uzunluk birimi metre ve zaman birimi gün olarak modelleme yapılmıştır.

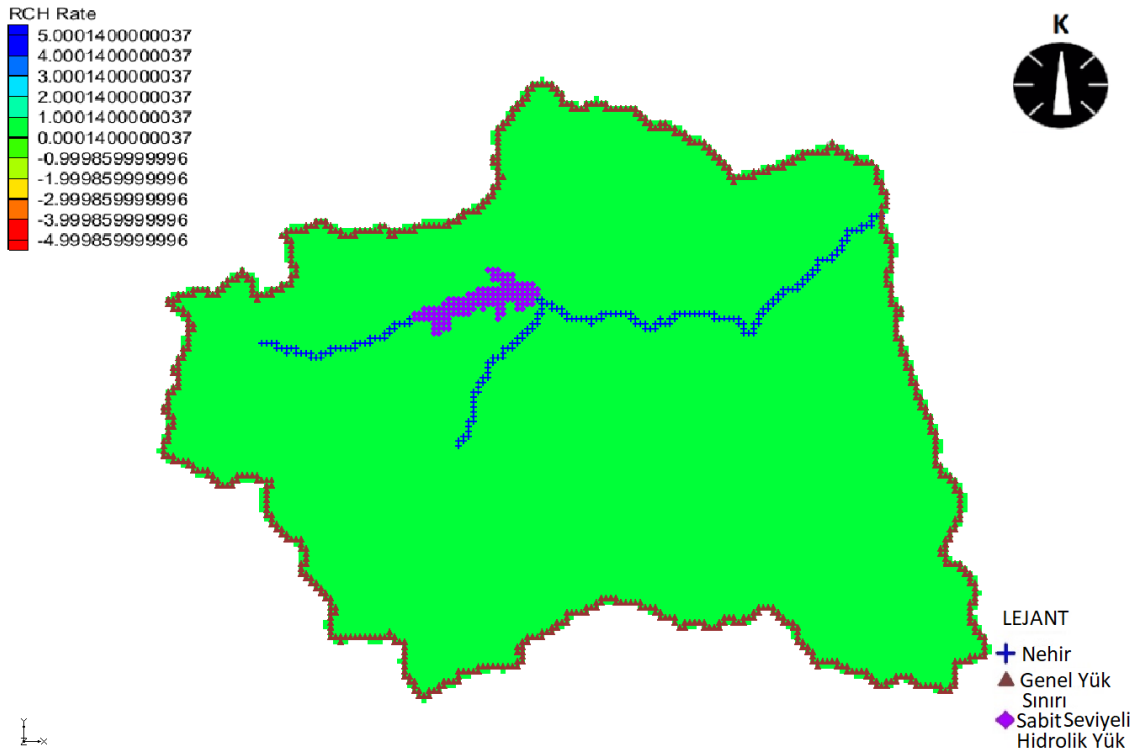
Sinanpaşa Havzasında bulunan göletlerin rezervuar alanlarının küçük olmasından ihmal

edilerek sadece Akdeğirmen Barajının yeraltı suyu akımları, göl seviyesi ve yeraltı suyu seviyesi arasındaki farka bağlı olarak MODFLOW programı tarafından hesaplanmıştır.

4.1.7.1 Yağıştan Beslenim

Kar ve yağmur suları Sinanpaşa ovasının önemli beslenme kaynaklarıdır. Çalışma alanında Sinanpaşa DMİ tarafından ölçülen yağış ortalamaları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Yeraltı suyu beslenimini, havzada modellenen tabakalar üzerine düşen yağış ile yüzey akışından süzülme ile beslenimi meydana getirmektedir.

Uzun yıllar ölçülen yıllık yağış ortalaması 540 mm olarak ölçülmüştür. Havzaya düşen yağışım %10 oranında süzüleceği varsayılmıştır. Havzanın beslenimi $540 \times 0.1 \times 10^{-3} / 365 = 0.00014$ m/gün olarak bulunmuştur. Havzanın tamamında aynı miktarda süzülme olacağı kabul edilmiştir. Şekil 4.9’da beslenim haritası gösterilmektedir.



Şekil 4.9 Modelin beslenim haritası.

4.1.7.2 Pompalama ile Gözlem Kuyuları

Çalışma havzasında 2014 yılında faaliyet içerisinde bulunan şahıs kuyuları ve sulama birliklerince işletilen kuyuların sayısı 379 adet olarak belirlenmiştir. DSİ 18. Bölge Müdürlüğünden temin edilen kuyu bilgileri model içerisine eklenmiştir.

MODFLOW yazılımında akiferden su çekilen pompa kuyularında negatif, akifere su basma (enjeksiyon kuyuları) ise pozitif sayılar ile tanımlanmaktadır.

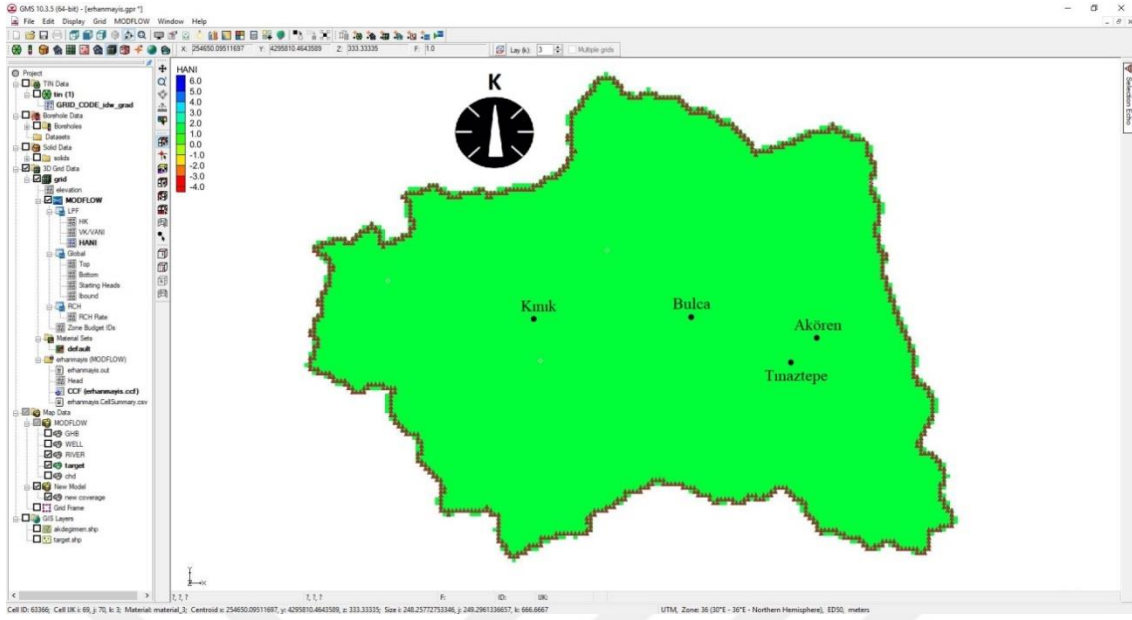
MODFLOW yazılımı kullanılarak model tabakasında birden çok tabakayı kesen pompa kuyularının simülasyonu yapılabilir. Birden çok tabakayı kesen kuyular için pompaj ve enjeksiyon oranı toplamı, her bir tabakadan yapılan pompaj sonuçlarının toplamına eşittir (McDonald and Harbaugh, 1988)

Çalışma havzasında bulunan gözlem kuyuları 2014 yılı değerlerini temsil etmektedir. Gözlem kuyularına ait bilgiler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Gözlem kuyularına ait bilgiler.

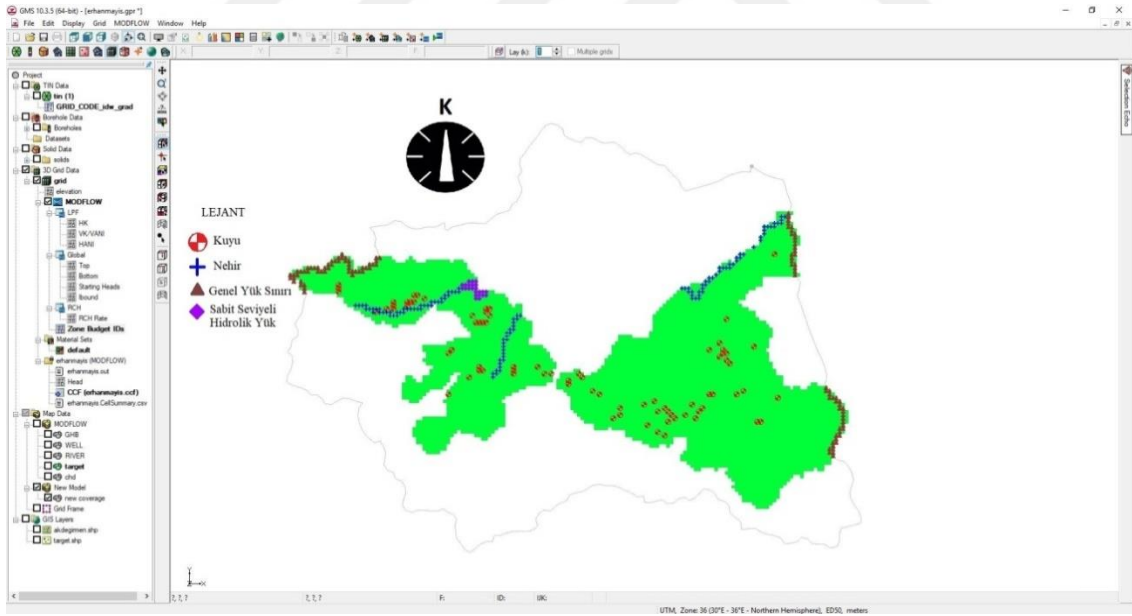
Kuyu İsmi	UTM -X	UTM-Y	Statik Su Seviyesi (m)
Akören	272316	4294351	1183
Kınık	253948	4295582	1178
Tınaztepe	270635	4292760	1192
Bulca	264168	4295699	1155

Model geliştirilirken, modelin hesapladığı hidrolik seviyeleri gözlem kuyularında ölçülen değerlere yaklaşıncaya kadar model kalibrasyonu yapılmıştır. Gözlem kuyularının konumları Şekil 4.10’da verilmiştir.

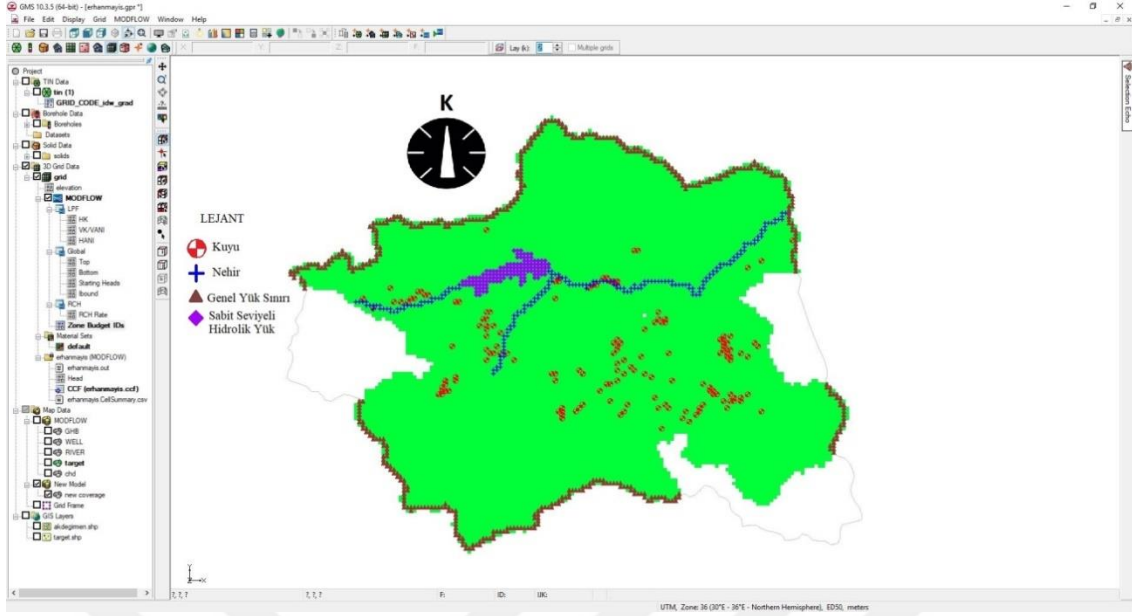


Şekil 4.10 Modelin gözlem kuyularının konumlarının verildiği harita.

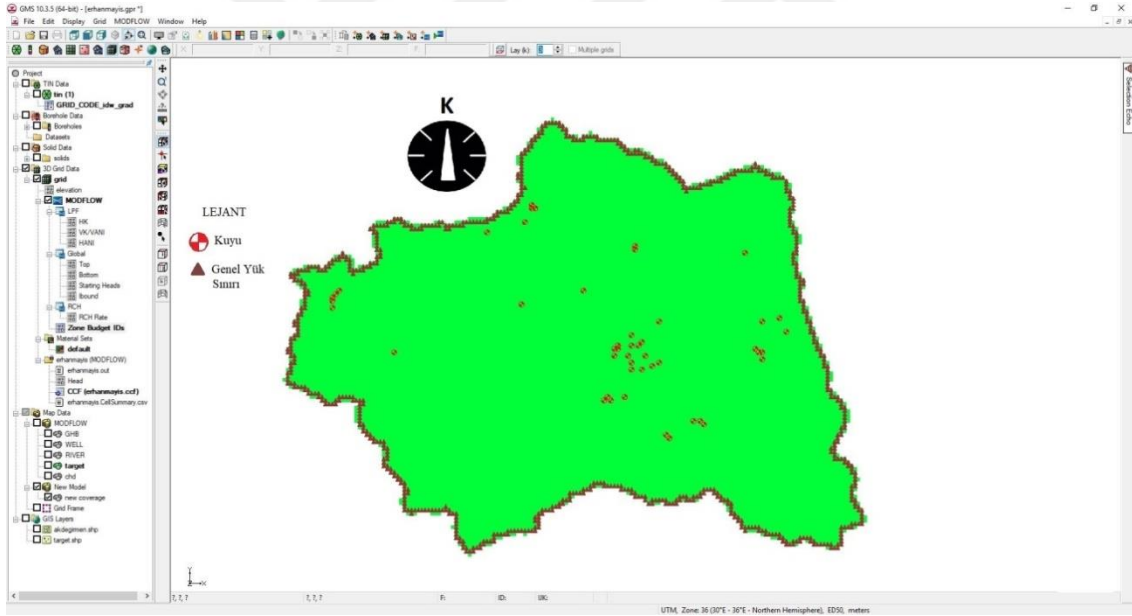
Modelde pompalama kuyularının konumları Şekil 4.11- 4.13 ‘ te verilmiştir.



Şekil 4.11 Modelde 1.tabakanın pompaj kuyularının konumlarını gösteren harita.



Şekil 4.12 Modelde 2. tabakanın pompaj kuyularının konumlarını gösteren harita.



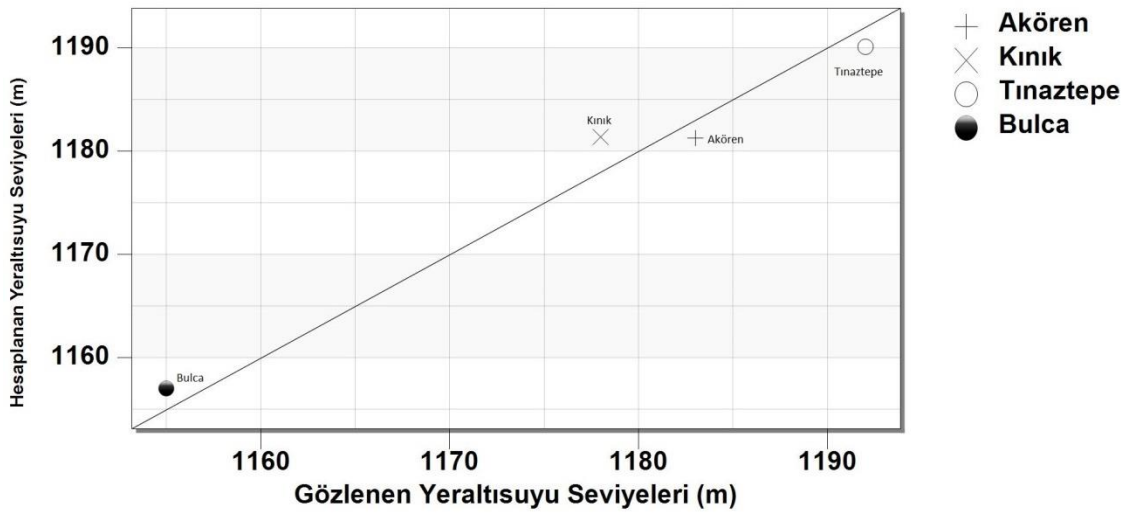
Şekil 4.13 Modelde 3. tabakanın pompaj kuyularının konumlarını gösteren harita.

4.1.8 Model Kalibrasyonu

Çalışma havzasında alüvyon tabaka olarak modele girilen 1. Tabakada bol miktarda su bulunmaktadır. Ayrıca 2. ve 3. tabakalarda da su bulunmaktadır. Modelin yeraltı suyu akım simülasyonunda 4 adet gözlem kuyusuna ait bilgilerden faydalanılmıştır.

Kalibrasyon işlemlerinde modelin gerçek hayata uyumluluğunu denetlemek için arazide gözlenmiş yeraltı suyu statik seviyelerinden faydalanılmaktadır. Modelin kalibrasyon çalışmalarında kullanılan gözlem kuyularının çalışma bölgesindeki yeraltı suyu seviyelerini göstermesi, modellemede başarı ölçütü olarak çok önemlidir. Çalışılan akiferde, kalibrasyon işlemlerinde pompalama kuyularının yer aldığı hücrede arazide ölçülen yeraltı suyu seviyeleri, modelin hesapladığı seviyeler ile karşılaştırılmıştır.

Kalibrasyon işlemi sonucunda gözlem kuyularına ait ölçülen ve modelin matematiksel olarak hesaplanan yeraltı suyu seviyeleri Şekil 4.14'te verilmiştir.

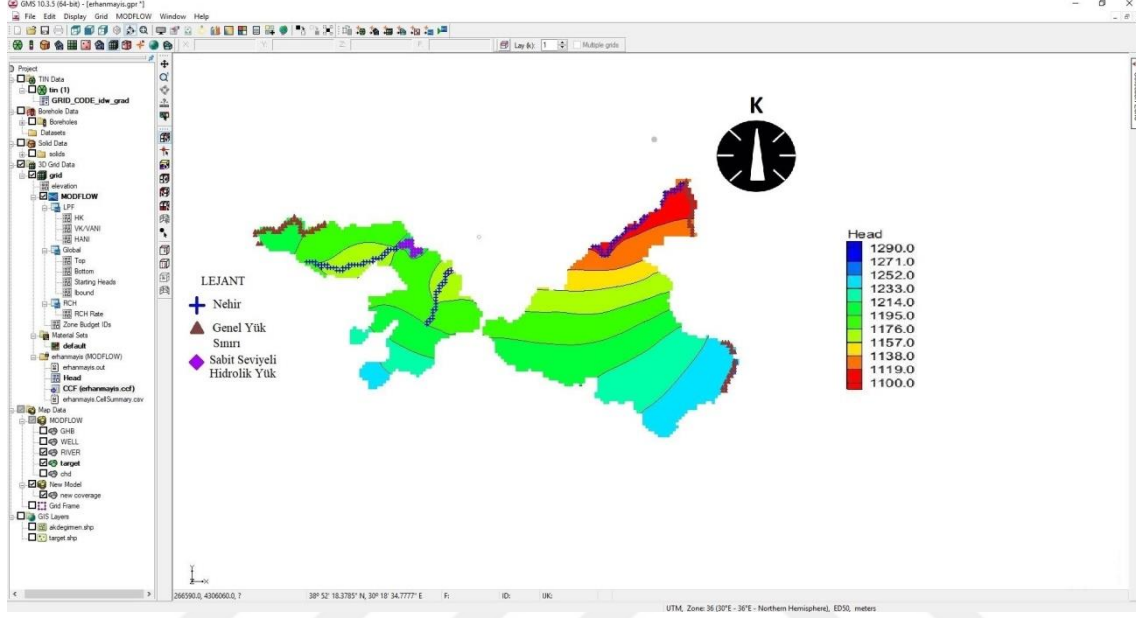


Şekil 4.14 Kalibrasyon sonucu gözlenen ve hesaplanan yeraltı suyu seviyeleri.

Modelin hesapladığı yeraltı suyu seviyeleri ile gözlem kuyularında ölçülen seviyeler arasındaki fark 1.75m ile – 3.5 m arasında değişmektedir. Akören gözlem kuyusunda elde edilen 1.75 m fark ile gözlem kuyusunda ölçülen yeraltı suyu seviyesinin modelin hesapladığı seviyeden yüksek olduğu sonucunu vermektedir. Daha iyi bir kalibrasyon için daha fazla sayıda gözlem kuyusuna ihtiyaç duyulmaktadır. Gözlem kuyularının yetersizliği nedeniyle işlem bu noktada sonlandırılmıştır.

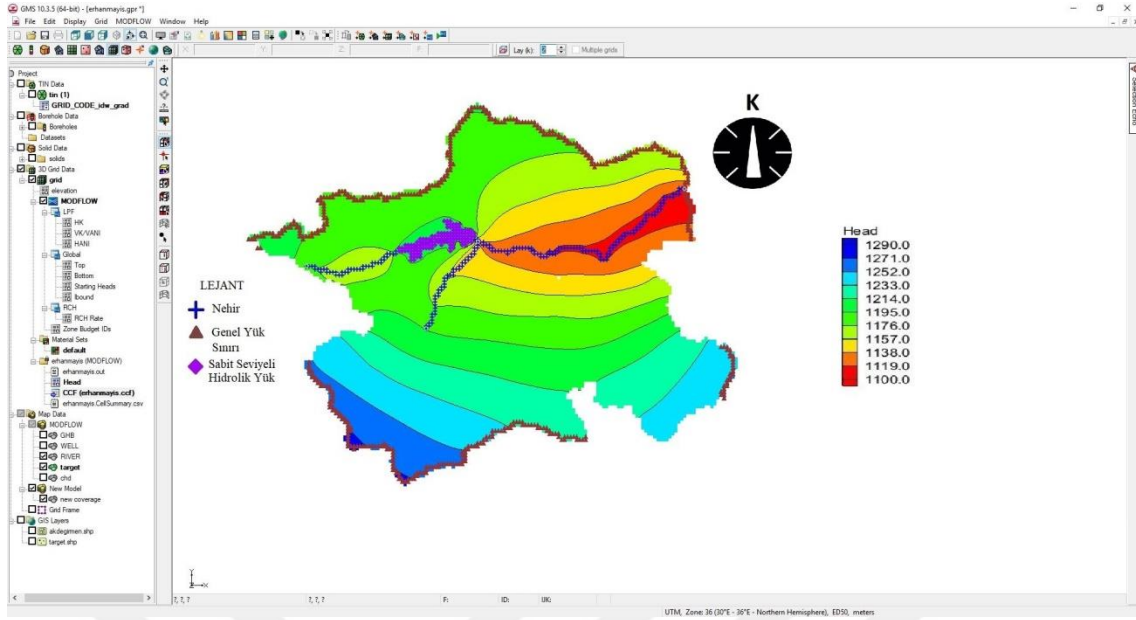
Çalışma alanındaki 1. tabakada alüvyondan meydana gelen serbest akifer, 2. tabakada kireçtaşı formasyonu ile 3. tabakada bulunan andezit- şist formasyon için kalibrasyon sonuçlarına göre oluşturulan yeraltı suyu seviye haritaları Şekil 4.15-4.17'de verilmiştir.

Üretilen yeraltı suyu seviye haritalarında, yeraltı suyu akım yönü güneybatı -kuzeydoğu doğrultusunda olduğu görülmektedir. Havzadan yeraltı suyunun çıkış noktası yüzey suyunun da çıkış noktası olan Gecek Kaplıcasının bulunduğu nokta olduğu belirlenmiştir.

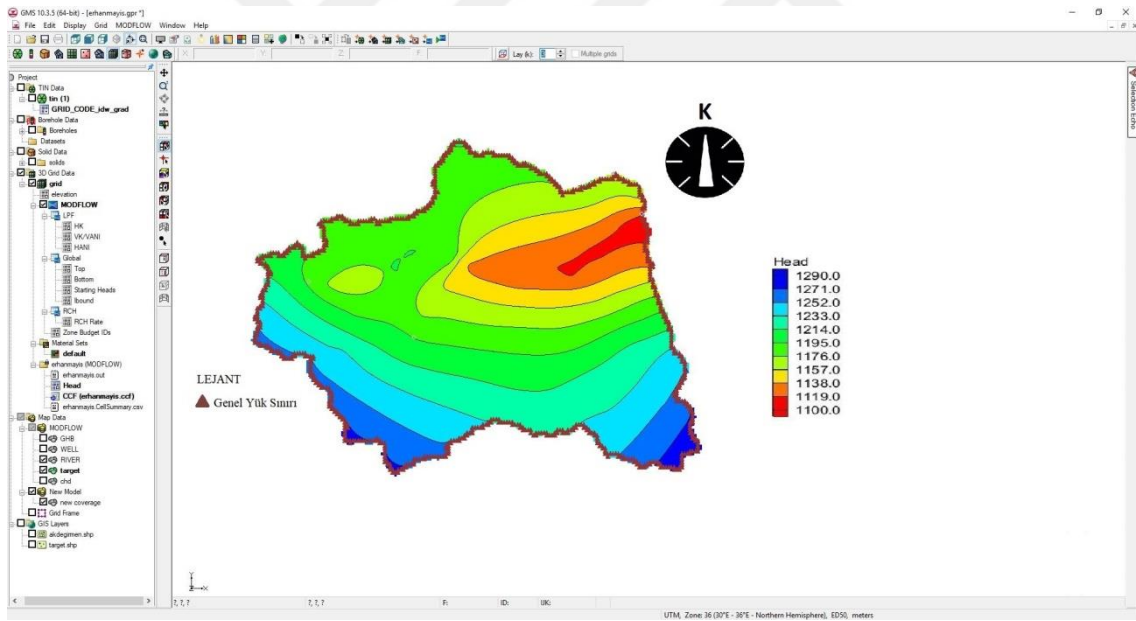


Şekil 4.15 Modelde 1. tabakanın yeraltı suyu seviyesini gösteren harita.

Şekilde görüleceği üzere Akdeğirmen Barajının akiferi beslediği, Akarçay Nehrinin ise akiferi beslediği görülmektedir. Genel hidrolik yük sınırını oluşturan hücreler bütün tabakalara su vermekte ve hesaplama sonucunda fazla suyu çekmektedir.



Şekil 4.16 Modelde 2. tabakanın yeraltı suyu seviyesini gösteren harita.



Şekil 4.17 Modelde 3. tabakanın yeraltı suyu seviyesini gösteren harita.

Jeolojik formasyonlar heterojen özellik göstermektedir. Çalışma alanında bütün tabakalar farklı jeolojik özelliklere sahiptir. Çizelge 4.2’de akiferin hidrolik iletkenlik katsayıları ve hidrojeolojik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 Akiferin hidrolik iletkenlik katsayıları.

Tabaka No	Kx (m/gün)	Ky (m/gün)	Kz (m/gün)
1. Tabaka	95	95	9.5
2. Tabaka	55	55	5.5
3. Tabaka	20	20	2.0

4.1.9 Modelin Su Bütçesi ve Sonuçları

Çalışma bölgesinde akifer özelliği gösteren birim alüvyon dur. Sinanpaşa Havzası'nın 2014 yılı için su bütçesi, geliştirilen yeraltı suyu akım modelinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Akiferin beslenme ve boşalım miktarları debi cinsinden ($m^3/gün$) olarak gösterilmiştir. Model analiz sonucu Sinanpaşa Havzasının genel su bütçesi Şekil 4.18' de gösterilmiştir.

	Flow In	Flow Out
Sources/Sinks		
CONSTANT HEAD	4,363,775.0147095	-737,117.6660156
WELLS	0.0	-35,447.00001548
RIVER LEAKAGE	0.0	-9,803,555.814989
HEAD DEP BOUNDS	6,336,706.7025514	-244,193.1819601
RECHARGE	119,744.17087555	0.0
Total Source/Sink	10,820,225.888136	-10,820,313.66298
Zone Flow		
FLOW RIGHT FACE	0.0	0.0
FLOW FRONT FACE	0.0	0.0
FLOW LOWER FACE	0.0	0.0
FLOW LEFT FACE	0.0	0.0
FLOW UPPER FACE	0.0	0.0
FLOW BACK FACE	0.0	0.0
Total Zone Flow	0.0	0.0
TOTAL FLOW	10,820,225.888136	-10,820,313.66298
Summary	In - Out	% difference
Sources/Sinks	-87.7748439163	-0.000811207537
Cell To Cell	0.0	0.0
Total	-87.7748439163	-0.000811207537

Şekil 4.18 Modelin genel su bütçesi.

Model hesaplama sonucuna göre akiferin genel su bütçesinin dağılımı şu şekilde gerçekleşmiştir; akifere giren su akışının 4 363 775.014 m³/gün'ü sabit seviyeli hidrolik yükten, 119 744.171 m³/gün'ü yağışlardan, 6 336 706.70 m³/gün ise genel hidrolik su sınır şartından kaynaklanmıştır.

Akiferden çıkan su akışının 35 447.0 m³/gün'ü kuyulardan pompalama ile su çekilmesi nedeniyle, 737 117.666 m³/gün'ü sabit seviyeli hidrolik yükten, 9 803 555.81 m³/gün'ü Akarçay çayına boşalımdan, 244 193,181 m³/gün'ü ise genel hidrolik su sınırından boşalım şeklinde hesaplanmıştır. Sinanpaşa ovasının yeraltı suyu toplam boşalım miktarı 10 820 225.888 m³/gün şeklinde bulunmuştur.

Model incelendiği zaman akiferi besleyen en önemli kaynak, Akdeğirmen Barajı ve

yağışlardan oluşan beslenim olduğu görülmektedir. Akiferin boşalımını oluşturan en önemli etken Sinanpaşa Havzasının sınır dışına sızmalar neticesinde çıkış yapan yeraltı sularıdır. Ayrıca Sinanpaşa akiferinin Akarçay çayını beslediği, kuyulardan çekilen pompaj sularının akifer boşalımında oldukça tesirli olduğu modelin genel su bütçesinden çıkarılabilmektedir.

Şekil 4.18 ‘de MODFLOW yazılımı ile simülasyon sonucunda % 0.081 mertebesinde sayısal hata olduğu görülmektedir. Bu hatanın, model içerisinde kullanılan yazılım tarafından hesaplanan akifer beslenimi ile boşalımı arasındaki farkın hatası olduğu görülebilir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada Afyonkarahisar Sinanpaşa Havzasının yapısal jeoloji ve hidrojeolojisi, hidrolojisi, stratigrafisi incelenmiş, Sinanpaşa Havzasındaki yeraltı suyu akım modeli 2014 yılı mayıs ayı için gerçekleştirilmiştir. Hidroloji bölümünde, çalışma alanında bulunan su kaynakları da incelenmiştir. Bu birimlerde tanım, dağılımı, litolojik özellikleri anlatılmıştır. Yapısal jeoloji kısmında, tektonik olaylar sonucunda oluşan faylardan ve kıvrımlardan bahsedilmiştir.

Hidroloji bölümünde ise yağış, buharlaşma ve akış parametrelerine bağlı olarak Sinanpaşa Havzasındaki yeraltı suyu akım modeli üç boyutlu olarak oluşturulmuş ve çalışma alanının su bütçesi hesaplanmıştır. Hidrojeoloji bölümünde, su noktalarına ait özellikler belirtilmiştir. Çalışma alanında yer alan akiferin hidrojeolojik parametreleri ve yeraltı suyu dinamiği incelenmiştir. Yeraltı suyu akım modellemesi bölümünde hidroloji ve hidrojeoloji bölümünde elde edilen veriler kullanılarak çalışma alanının yeraltı suyu akım ilişkisi ortaya çıkarılmıştır.

Yapılan çalışma ile yeraltı suyu akım yönünün güney batı ve kuzey doğu doğrultusunda olduğu tespit edilmiştir. Bütün tabakaların yeraltı suyu haritası geliştirilmiştir. Akdeğirmen barajının su kütlesinin önemli olması nedeniyle modele sabit hidrolik su yükü olarak dahil edilmiştir.

Yapılan çalışmanın geliştirilmesi için öncelikle daha fazla gözlem kuyusunun açılması ve uzun yıllar ölçülmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca daha ayrıntılı Meteorolojik gözlemlerin yapılması ve bunun alan bazında dağılımının incelenmesi gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akal, C., Candan, O., Cetinkaplan, M., Oberhanslı, R. and Rimmel, G. (2005). Fe-Mg carpholite as a record of Alpine high-P/low-T metamorphism of Afyon Zone and implication for metamorphic evolution of western Anatolia, Turkey. *Lithos*, 84, 102-124.
- Akal, C., Candan, O., Chen, F., Koralay, O.E. ve Oberhanslı, R.(2007). Afyon zonuna ait olası Erken Triyas yaşlı metavolkaniklerin jeokimyası, jeokronolojisi ve tektonik ortamları. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Proje No: 103Y011, 276 s.
- Akan, B., Atilla, Ö., Doğdu, N., Kurttaş, T., Meriç, T., Tezcan, L. (2002). Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Yeraltısu Akım Modeli. Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM)-Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 63 s, 339 s.
- Aktaş, Y. (2016). Kayışdağı Kaynak Sularının Hidrolojik ve Hidrojeolojik Açından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Altuğ, A., Giritlioğlu, T. , Nazik, M., Şeber, G. (1965). Akarçay Havzası Yeraltı suyu Rezerv Raporu. No:1104/2-PR, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Anonim, 2018. Afyonkarahisar İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu. Afyonkarahisar Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 40 s, Afyonkarahisar.
- Atalay, E. (1969). Akarçay Havzası Ovalarının Yeraltı suyu İmkanları Hakkında Not. Rapor No:1101/2-PR, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı suları Dairesi Başkanlığı, Ankara, 7 s.
- Atilla, A.Ö. (2002). Afyon Ovası Yeraltı suyu Akım Modeli. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 57: 17–30.
- Aydar, E., Bayhan, H., Erkan, Y. ve Tolluoğlu, U. (1996). Afyon yöresi metamorfik ve volkanik kayaların jeolojik, petrografik ve jeokimyasal incelenmesi. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Grubu, Yer, Deniz ve Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırmaları Grubu, Proje No: YBAG-0044/DPT, Ankara.

- Bacanlı, Ü. G. ve Saf, B. 2005. Kuraklık belirleme yöntemlerinin Antalya ili örneğinde incelenmesi, Antalya yöresinin inşaat mühendisliği sorunları sempozyumu, 22-25 Eylül, Antalya, s.184-196
- Bayazit, M. (1995). Hidroloji. İTÜ, İstanbul, 10.
- Bayhan, H., Aydar, E. and Zimitoğlu, O. (1996). Investigation of volcanological and petrological evolution of Afyon stratovolcano. *Hacettepe University Bulletin for Earth Sciences*, **18**: 87–107.
- Baysal, E. (2013). Bilgisayar Desteği İle Eber Gölü ve Çevresinin Yeraltı Suyu Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Bear, J. and Verrujit, A. (1987). Modeling groundwater flow and pollution. D. Readell Publishing Company, Dordrecht, Holland.
- Besang, C., Echart, F.J., Harre, W., Keruzer, H. and Muller, P. (1977). Radiometrische Altersbestimmungen an Neogenen Eruptigesteinen der Türkei. *Geologisches Jahrbuch*, **25**: 3-36.
- Birsoy Y., Ölgen M. K. (1992). Thornthwaite Yöntemi İle Su Bilançosunun Ve İklim Tipinin Belirlenmesinde Bilgisayar Kullanımı. *Ege Coğrafya Dergisi*, **6**: 161.
- Bostanoğlu, Y., İçağa, Y., Kahraman, E. (2006). Akarçay Havzası Su Kalitesi İstatistikleri. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **2**: 43 – 50.
- Bulut, V., Genç, İ. ve Metin, S. (1987). Afyon ve dolayının jeolojisi. M.T.A. Rapor No: 2113, Ankara.
- Çakmak, S. (2010). Afyonkarahisar Şuhut Ovası'nın Yeraltısuyu Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Demiray, Z. (2010). Hydrogeology of Valco San Paolo (Rome-Italy): Groundwater Modelling Approach with Modflow-2005. Msc Thesis, Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Adana.
- DSİ. (1977). Akarçay Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı suları Dairesi Başkanlığı, Ankara, 64 s.
- Deveci, S. ve Koçyiğit, A. (2007). Çukurören-Çobanlar (Afyon) arasındaki deprem kaynaklarının (aktif fayların) belirlenmesi. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Proje No: 106Y209, 71 s, Ankara.

- Ercan, T., Dinçel, A., Günay, E., Metin, S. ve Türkecan, A. (1978). Uşak yöresindeki Neojen havzalarının jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **21**: 97-106.
- Göncüoğlu, C.M., Özcan, A., Şentürk, K., Turhan, N. and Uysal, S. (1988). Late Paleozoic evolution of the Kutahya-Bolkardağ Belt. *METU Jour. Pure and Appl. Sci.*, **21**, 211-220, Ankara.
- Gündoğan, İ., Karamandere, İ.H., Öztürk, Y., Helvacı, C. and Güngör, T. (2010). Borehole geology and subsurface hydrothermal alteration of the Sandıklı geothermal field, Afyon-Türkiye. *Proceedings World Geothermal Congress*, Bali, Indonesia, pp. 1-8.
- Günen, E. (2011). Sincanlı Afyon neojen havzası birimlerinin sedimantolojisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Harbaugh, A.W. and McDonald, M.G. (1984). A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey Open-File Report 83-875, 528 p.
- Harbaugh, A.W. and McDonald, M.G. (1988). A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 6, chap. A1, 586 p.
- Harut, B. (1994). Erkmen Volkanitlerinin (Afyon KB kesimi) Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 78 s, Ankara.
- Hökelekli, E. (2010). Bilgisayar Desteğinde Yeraltı Suyu Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- İçağa, Y. (2004). Akarçay havzası hidrolojik modeli. *Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre*, 306.
- İçağa, Y. ve Yurtçu, Ş. (2005). Akarçay Havzası Yeraltı Suyu Periyodik Davranışının Modellenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **1**: 21 – 28.
- İçağa, Y. , Uygunoğlu, T., Yurtçu, Ş. (2006). Yeraltı Suyu Akımı İle Diğer Meteorolojik Değişkenler Arasındaki İlişkinin Bulanık Mantıkla Modellenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **12**: 285 -292.

- Kallioras, A., Pliakas, F., Diamantis, I., (2009). Simulation of Groundwater Flow in a Sedimentary Aquifer System Subjected to Overexploitation. *Water, Air, & Soil Pollution*, **211**: 177-201.
- Kilit, M. (2010). Kıyı akiferlerinde tuzlu su girişiminin modellenmesi ve yeraltısuyu kullanımı optimizasyonuna yönelik muhtemel senaryolar: Tunus Cote Orientale akiferi uygulaması. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Koçak, D. (2013). Bilgisayar Desteği ile Akarçay Güney Alt Havzası Yer Altı Suyu Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Koçyiğit, A. (1984). Güneybatı Türkiye ve Yakın Dolaylarında Levha İçi Yeni Tektonik Gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **27**: 1-16.
- Koçyiğit, A. ve Deveci S. (2005). Akşehir-Simav Fay Sistemi: Güneybatı Türkiye’de Neotektonik Rejimin Başlama Yaşı ve Depremsellik. Deprem Sempozyumu Özler Kitabı, s.26, Kocaeli.
- Koçyiğit, A. ve Deveci, S. (2007). Çukurören-Çobanlar (Afyon) Arasındaki Deprem Kaynaklarının (Aktif Fayların) Belirlenmesi. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Proje No: 106Y209, 71 s, Ankara.
- Kouame, K.J., Jourda, J.P., Biemi, J., (2008). Groundwater Modelling and Implication for Groundwater Protection: Case Study of The Abidjan Aquifer. *Applied Groundwater Studies in Africa*, **13**: 457–472.
- Şen, Z. ve Tayfur, G. (2018). Yeraltı Suyu Hidrolojisi ve Hidroliği. Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 85-87.
- Özgenç, A. (2002). Computation of Groundwater Contamination By Using Modflow. Master Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir.
- Wani, A. M. L. (2019). Visual Modflow Programı Kullanılarak Karstik Akiferlerdeki Yeraltısuyu Kaynaklarının Yönetimi: Altınova-Türkiye Örnek Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.

İnternet Kaynakları

- 1) <http://dsi.gov.tr/toprak-ve-su-kaynaklari> , 24.04.2019
- 2) <http://www.sinanpasa.gov.tr/nufus-dagilimi> , 20.11.2018
- 3) <https://earth.google.com/web/> , 17.11.2018
- 4) <https://www.aquaveo.com/software/gms-groundwater-modeling-system-introduction> , 24.03.2019
- 5) https://www.scientificsoftwaregroup.com/pages/detailed_description.php?products_id=42 , 12.04.2019
- 6) https://kursatozcan.com/~kursatoz/ders_notlari/hidrojeoloji/irfan_yolcubal_hidrojeoloji.pdf , 28.05.2019
- 7) <http://dsi.gov.tr/>, 08.06.2018

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Erhan YEŞİLYURT
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar / 08.07.1986
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 532 666 1980 /erhyyt@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Zafer Lisesi, (2001-2004)
Lisans : Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü,
(2009-2013)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,
(2013-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Kuru Yapı Denetim, (2012-2013)
T4 Konutları şantiye şefliği, (2013)
Sayın Prefabrik proje mühendisi, (2013-2014)
Nevo Proje şirketi ortağı, (2014-2018)
Foriens şirketi sahibi, (2019- Devam ediyor)