

**BİLGİSAYAR DESTEĞİ İLE
AKARÇAY GÜNEY ALT HAVZASI
YER ALTI SUYU MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dilek KOÇAK

DANIŞMAN

Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

MAYIS, 2013

Bu tez çalışması 10MÜH07 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGİSAYAR DESTEĞİ İLE AKARÇAY GÜNEY ALT HAVZASI
YER ALTI SUYU MODELLEMESİ

Dilek KOÇAK

DANIŞMAN

Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

MAYIS, 2013

TEZ ONAY SAYFASI

Dilek KOÇAK tarafından hazırlanan “Bilgisayar Desteği ile Akarçay Güney Alt Havzası Yeraltı Suyu Modellemesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca/...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Yapı Eğitimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA

Başkan : Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA

Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi

Üye :Doç. Dr. Ünal YILDIRIM

Afyon Kocatepe Ü. Fen Edebiyat Fakültesi

Üye :Yrd. Doç. Dr. Murat UYSAL

Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN

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.

22/Nisan/2013

Dilek KOÇAK

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**BİLGİSAYAR DESTEĞİ İLE AKARÇAY GÜNEY ALT HAVZASI YER ALTI
SUYU MODELLEMESİ**

Dilek KOÇAK
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA

Bu çalışma Afyon ili sınırları içerisinde bulunan Akarçay havzasının, Afyon Merkez, Çay, Sincanlı, Şuhut, Çay - Eber gölü sınırları ve Akarçay nehrinin güneyinde yer alan bölgeleri kapsamaktadır. Akarçay havzasına ait yer altı suyu akım modellemesi Groundwater Modeling System (GMS) programında oluşturulmuştur. Modelde kullanılacak kuyu logları ve kotları, arazinin topoğrafik yükseklikleri, arazinin hidrolojik ve jeolojik özellikleri, temin edilip hesaplanarak programa aktarılmıştır. Kapalı bir havza özelliği taşıyan Akarçay havzası çalışma alanımızın sayısal modelleme yapılarak yer altı suyu bütçesi hesaplanmıştır. Havzanın üç boyutlu modellemesi yapılmıştır. Havzanın 1999 yılı hidrolojik ve jeolojik, gözlem ve hesap değerleri sonlu farklar yöntemiyle ve kararlı akım yöntemi ele alınarak modelleme yapılmıştır. Yapılan modelleme üzerinde arazinin herhangi bir yerinden kesit alınarak yeraltı su seviyesi görselleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların yer altı su bütçesi hakkında bilgi vererek planlamaya katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada Akarçay güney alt havzası modellemesi yapılırken kullanılan GMS programı kullanımı hakkında da genel bir bilgi verilmektedir. Bu çalışmanın GMS programı kullanmak isteyen araştırmacıların çalışmalarına da katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

2013, x + 91 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yeraltı suyu, Akarçay Havzası, Modelleme, GMS

ABSTRACT
M.Sc. Thesis

**AKARÇAY SOUTH SUB-BASIN GROUNDWATER MODELING IN COMPUTER
SUPPORT**

Dilek KOÇAK
Afyon Kocatepe University
Institute for the Naturel and Applied Sciences
Department of Construction Education
Supervisor: Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA

In this study, in the province of Afyon Akarçay basin, Afyon, Çay, Sincanlı, Şuhut, Çay - Eber lake boundaries and regions in the south of the river covers the streambed. Groundwater flow modeling of the groundwater basin Akarçay Modeling System (GMS) program was created. Used in the model, and the borders of well logging, land topographic heights, hydrological and geological features of the land, whether there will be transferred to the program calculated. Akarçay basin with a closed basin feature of our field of work performed numerical modeling of groundwater budget was calculated. Three-dimensional modeling was carried out of the basin. 1999 of the basin hydrological and geological observations and account values by considering the finite difference method and a steady flow method was modeling. Based on the modeling of land anywhere in the underground water level is visualized in cross-section. Groundwater budget by providing information about the results obtained will contribute to planning. In this study, the southern sub-basin Akarçay used when modeling provides an overview on how to use the GMS program. This study will contribute to the work of researchers who want to use the GMS program.

2013, x + 91 pages

Key words: Ground water, Akarçay Basin, Modeling, GMS

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlarken, engin bilgisi ve tecrübesi ile daima iyi bir kılavuz olan, yüksek lisans danışmanım ve saygı değer hocam Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışmamın düzenlenmesinde yardımını esirgemeyen Elif BAYSAL'a, Arş. Grv. Halil İbrahim BURGAN ' a, program hakkında bilgisini ve yardımını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Murat UYSAL ' a ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında maddi ve manevi destek olan ağabeyim Yusuf KOÇAK ve yengem Ülkü KOÇAK' a teşekkürlerimi sunarım.

Dilek KOÇAK

Afyonkarahisar, 2013

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALATMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
RESİMLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışmanın Kapsamı.....	2
1.3.Çalışmanın Önemi.....	3
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	5
2.1. Yeraltı Suyu Oluşumu	5
2.1.1 Hidrolik Çevrim (Su Döngüsü)	6
2.1.2 Yeraltı Sularının Bulunduğu Yerler ve Bulunuş Şekilleri	8
2.1.2.1 Serbest Yüzeyli Akiferler.....	9
2.1.2.2 Basınçlı Akiferler.....	9
2.2. Yeraltı Suyu Davranışı	10
2.3. Yeraltı Suyu Akımı Etkileyen Faktörler	10
2.4. Yeraltısu Modellemesi.....	15
2.4.1 MODFLOW ile Yeraltısu Modellemesi Çalışmaları.....	15
2.4.2. Akarçay Havzası ile İlgili Çalışmalar	19
3. MATERYAL VE METOD	23
3.1 Akarçay Havzasının Tanıtılması	23
3.1.1 Havzanın Coğrafi Konumu	23
3.1.2 Havzanın Hidrojeolojik Yapısı.....	25
3.2 GMS Programında Yeraltı Suyu Modelleme.....	25
3.2.1.Yer altı suyu Modelleme Yöntemi	28
3.2.1.1.Kavramsal Model (Conceptual Model).....	28
3.2.1.2 Programda Kullanılan Hidrolik Terimler	35

4. UYGULAMA	39
4.1 Model Çalışmasında Kullanılan Veriler	39
4.2 Veri Girişi ve Akarçay Havzasının Yeraltı Suyu Modellemesi	44
4.2.1. Arka Plan Resmi Aktarma	44
4.2.2.Birim Tanımlamak	45
4.2.3 Sınırları Tanımlama	46
4.2.3.1 Kapsam Oluşturma	46
4.2.3.2 Yay Oluşturma	47
4.2.4 Beslemeler ve Giderler (Sources & Sinks) Kapsamı Oluşturma	48
4.2.4.1 Sabit Yükseklik Yayı(Specified Head Arc) Tanımlama	49
4.2.4.2 Drenaj Yayı (Drain Arc) Tanımlama	51
4.2.4.3 Poligon (Polygon) Oluşturma	53
4.2.4.4 Su Kotu Yüksek Bölge (General Head) Tanımlama	53
4.2.4.5Kuyu (Wells) Tanımlama	54
4.2.5 Geri Besleme (Recharge) Kapsamı Tanımlama	57
4.2.6 Hidrolik İletkenliklerin Tanımlanması	59
4.2.7 Grid Frame (Izgara Çerçevesi) Oluşturma	61
4.2.8 3D Grid Oluşturma	63
4.2.9 MODFLOW Verilerini Başlatma	64
4.2.10 Aktif / Aktif Olmayan Bölge Tanımlama	65
4.2.11 Tabaka Yüksekliği İnterpolasyonu	67
4.2.11. 1 Katman Yüksekliklerinin Eklenmesi	67
4.2.11.2 Arazi Saçılma Noktalarını Ekleme	70
4.2.11.3 Ekran Değişikliği ve Model Kesit Görünüm İşlemleri	72
4.2.11.4 Yükseklik Serilerini Düzenlemek	73
4.2.12 Kavramsal Modele Dönüştürme	74
4.2.13 Simülasyon Kontrolü	76
4.2.14 Projeyi Kaydetme	76
4.2.15 MODFLOW Çalıştırma	77
5. BULGULAR	81
6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	87
7. KAYNAKLAR	89

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

V	Hız
K	Hidrolik İletkenlik
Q	Debi
A	En kesit Alanı
p	Porozite
V_f	Akımın Gerçek Ortalama Hız Değeri
V_g	Zemin Boşluklarında Yeralan Gerçek Hız
T	Transmisibilite
Sc	Biriktirme Katsayısı
γ	Suyun Özgül Ağırlığı
μ	Viskozite
I	Piyezometre Çizgisinin Eğimi
A_g	Gerçek Alan
L	Uzunluk
z	Yükseklik
d	Delta
B	Akifer Genişliği
m	Akifer yüksekliği

Kısaltmalar

GMS	Grounwater Modeling Sistem
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
MODFLOW	Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Yeraltı suyunun düşey dağılışı.....	10
Şekil 2.2 Darcy kanunundaki büyüklüklerin anlamları.....	12
Şekil 3.1 Kavramsal Model Yaklaşımı akış şeması	30
Şekil 3.2 Modelleme yapılacak temsili harita	33
Şekil 3.3 Kavramsal model	33
Şekil 3.4 Sayısal modele dönüştürülmüş kavramsal model.....	34

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Su döngüsünü oluşturan basamaklar	6
Resim 3.1 Akarçay havzası yer bulduru haritası	24
Resim 4.1 Çalışmada kullanılan Akarçay havzası haritası	45
Resim 4.2 Birimleri tanımlama	45
Resim 4.3 Kavramsal model oluşturma ve özellikleri	46
Resim 4.4 Kapsama tanımlama	46
Resim 4.5 Sınır kapsamı özellikleri	47
Resim 4.6 Arazide çizilmiş sınırlar	48
Resim 4.7 Kaynak ve besleme kapsamının oluşturulması	49
Resim 4.8 Akışın olduğu yayların belirlendiği özellikler penceresi	50
Resim 4.9 Akışın olduğu yaylar için yükseklik değerleri	51
Resim 4.10 Harita üzerinde belirlenen drenaj yayları	51
Resim 4.11 Drenaj yaylarının özelliklerinin tanımlandığı pencere	52
Resim 4.12 Drenaj noktalarının özelliklerinin tanımlandığı özellikler penceresi	53
Resim 4.13 General Head poligonunun özelliklerinin tanımlandığı özellikler penceresi	54
Resim 4.14 Kuyuların özelliklerinin tanımlandığı özellikler penceresi	55
Resim 4.15 Kuyu verilerinin programa aktarma ilk adım sayfası	56
Resim 4.16 Kuyu verilerinin programa aktarma ikinci adım sayfası	57
Resim 4.17 Recharge kapsamının özelliklerinin belirlendiği pencere	58
Hidrolik iletkenlik değerlerini tanımlamak için kapsam oluşturma	
Resim 4.18 penceresi	60
Resim 4.19 Tabakaların hidrolojik özelliklerinin tanımlandığı özellikler penceresi	60
Resim 4.20 Izgara çerçevesi oluşturma	61
Resim 4.21 Izgara çerçevesinin model sınırlarını kapsamadan önceki görünümü	61
Resim 4.22 Izgara çerçevesinin daraltma işlemi aşaması	62
Resim 4.23 Daraltma işleminden sonraki Grid görüntüsü	62
Resim 4.24 Üç boyutlu ızgara oluşturma	63
Resim 4.25 Grid frame sınırları içerisinde oluşturulan üç boyutlu ızgara görünümü	64

Resim 4.26	MODFLOW yeni simülasyon tanımlama	64
Resim 4.27	MODFLOW temel paketler penceresi	65
Resim 4.28	Aktif / Aktif olmayan bölge tanımlama	66
Resim 4.29	Modelimizdeki aktif bölgeler	66
Resim 4.30	Arazi yükseklikleri eklenmeden önceki haliyle model görünümü	67
Resim 4.31	Saçılma noktaları ithal etme ilk adım sayfası	68
Resim 4.32	Saçılma noktaları ithal etme ikinci adım sayfası	69
Resim 4.33	Saçılma noktalarının model üzerindeki dağılımı	70
Resim 4.34	İnterpolate to MODFLOW penceresini açma	71
Resim 4.35	Zemin yüzey kotlarının birinci tabakaya eklenmesi	71
Resim 4.36	Ekran özellikleri ile seçilmiş olan hücrenin detaylı yan görünüşü	72
Resim 4.37	Model kontrol penceresini aktif hala getirme	73
Resim 4.38	Model kontrol penceresi	74
Resim 4.39	Kavramsal modeli ızgara tabanlı sayısal modele dönüştürme işlem penceresi	75
Resim 4.40	Haritadan modele dönüştürme penceresi	75
Resim 4.41	Modelin kavramsal modele dönüştürülmüş hali	76
Resim 4.42	Analiz başlatmak için açılan pencere	77
Resim 4.43	MODFLOW sayısal model analiz penceresi	77
Resim 4.44	Analiz sonucu oluşan çıktı dosyaları	78
Resim 4.45	Analiz sonrası oluşan izohips eğrileri renk dolgusu plan görünümü	79
Resim 4.46	Analiz sonrası oluşan izohips eğrileri renk dolgusu 3B'li görünümü	79
Resim 4.47	Analiz sonrası oluşan yeraltı su seviyesi izohips eğrili plan görünümü	80
Resim 4.48	Analiz sonrası oluşan yeraltı su seviyesi izohips eğrileri renk dolgusu görünümü	80
Resim 5.1	Modelde tüm hücrelerindeki akış bütçesi	82
Resim 5.2	Modelde tüm bölgelerindeki akış bütçesi	83
Resim 5.3	Modelde seçilen hücreler	84
Resim 5.4	Modelde seçilen hücrelerdeki akış bütçesi	85
Resim 5.5	Hücrelerin kesit görünümü	86
Resim 5.6	Analiz sonrası modelin görünümü	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Modelde kullanılacak kuyular ve debi değerleri.....	40
Çizelge 4.2 Modelde kullanılacak kuyular ve koordinatları.....	41
Çizelge 4.3 Akarçay Güney Alt Havzası Arazi Yüzey Kotları.....	42

1.GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Canlıların yaşaması için hayati öneme sahip olan suyun toplam miktarı 141 milyar m³ olup bunun % 2,5'i tatlı sudur. Nüfusun hızla artması ve kirlilik sebebiyle tatlı suyun kullanılabilir miktarı hızla azalmaktadır. Kirlenen suyun temizlenmesi doğal yollarla veya arıtma yöntemiyle mümkün olmakla beraber doğal yollarla temizleme yağış, çökeltme, bakteriyolojik bozulma gibi yollarla olmakta bu ise birkaç yıldan yüzlerce yılı bulmaktadır. Arıtma ile temizleme ise başlıca enerji olmak üzere işgücü vb. parametreler sebebiyle yüksek maliyet içermektedir.

Doğal arınma yollarından biri olan yağışların küresel miktarı 500 000 m³ olup fazla değişiklik göstermemektedir. Bu yağışların bir kısmı sel olarak göl veya denizlere gitmekte, bir kısmı bitkiler tarafından emilmekte, bir kısmı tekrar buharlaşmakta, bir kısmı ise geçirimli yer katmanlarına sızmaktadır. Yerüstü su kaynaklarının kısıtlı olmasına karşılık tüketim artışı ve kirlilik yüzeysel suların ihtiyaca cevap vermemesine neden olmaktadır. Bu sebeple yeraltı su kaynaklarına yönelim zorunlu olmuştur.

Yeraltı su kaynaklarının ihtiyaca cevap vermesi de yer üstü sularında olduğu gibi sınırsız değildir. Özellikle doğal filtre vazifesi gören zeminin suların arıtılması veya atık sularda kurtulmak amacıyla yoğun olarak kullanılması; sulama ve içme suyu amacıyla yoğun miktarda su çekilmesi yeraltı suyunun hem kalitesinin hem miktarının yetersiz seviyeye düşmesine neden olmuştur.

Ülkemizde yeraltı suyu kaynaklarına ilgi her geçen gün artmakta ve kullanımı yaygınlaşmaktadır. Birçok ilimizde irili ufaklı yerleşim bölgelerinde içme ve kullanma su ihtiyacı yeraltı suyundan karşılanmaktadır. Ancak bu kullanımlar bazen aşırı

çekimlere ve dolayısıyla yeni problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. İç Anadolu Bölgesi'nde özellikle Konya Kapalı Havzası'nda yeraltı suyunun aşırı kullanılması, su seviyesinde önemli düşüslere neden olmuş, bunun sonucunda bölgedeki birçok alanda yeraltı suyundan beslenen doğal akarsular ve göller tamamen kurumuştur. Yeraltı suyu akımıyla beslenen Akşehir Gölü'nün beslenme alanına açılan çok sayıda sondaj kuyularının fazla işletilmesi sonucu kuruması gözle görülen bir örnektir. Ayrıca Batı ve Güney Anadolu sahillerimizde kıyı akiferlerinde bilinçsizce açılan çok sayıda sondaj kuyularından ihtiyacında fazlası su çekilmesi nedeniyle tatlı su veren akiferlere deniz suyu girişi olmuştur. Bu nedenle yeraltı suyu tuzlanmış ve kullanılamaz hale gelmiştir. Ülkemiz kıyı sahillerinde önde gelen tatil ve turizm merkezlerinde deniz suyu girişiminden kaynaklanan kirlilik önemli boyutlara taşınmıştır. Deniz suyu ile kirlatilen bir akiferin tekrar tatlı su vermesi çok uzun zaman alacağı unutulmamalıdır. DSİ Genel Müdürlüğünün 2007 tarihinde Konya kapalı havzasında yapmış olduğu yeraltısuyu kuyuları envanter çalışmasında bölgenin alansal olarak % 70'lik kısmında 50 000 civarında sondaj kuyusu olduğuna ve bu durumun ülke genelindeki havzalar için de geçerli olduğunu belirtmiştir. Tarımsal amaçlı kaçak su kullanımının yanı sıra sanayide kayıt dışı kullanımları olduğuna da dikkat çekmektedir (Tanık vd. 2008).

Bu çalışmada Akarçay kapalı havzasının güney kesiminde yeraltı suyu akımının modellenmesi ve havzadaki mevcut su potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Geliştirilecek olan model Akarçay havzası yeraltı suyunun kontrol ve takip edilmesi ile ilgili çalışmalara kılavuz olacağı düşünülmektedir. Çalışma Ground Water Modeling (GMS 9.0) program ile yapılacaktır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmada Ege, Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinin birleştiği bir noktada, kapalı bir havza niteliğinde olan, önemli bir kesimi Afyon il sınırları içerisinde bulunan ve doğudan Konya sınırlarına girmekte olan Akarçay havzasının, Sincanlı, Şuhut, Çay,

Çay – Eber Gölü sınırı ve Akarçay nehrinin güneyinde yer alan bölgeleri kapsamaktadır.

Yeraltı suyu işletme/yönetim çalışmalarına bağlı olarak ortaya çıkabilecek sorunların önceden kestirilebilmesi için hidrolojik sistemin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ve ayrıntılı bir su bütçesi çalışmasının gerçekleştirilmesi amacıyla yapılan yeraltı suyu modelini kapsamaktadır.

Model oluşturmak için arazinin haritası, arazi yüzey kotu, arazinin zemin özellikleri, arazide bulunan sondaj kuyularından pompalanan debi değerleri ve koordinat değerleri, baraj ve akarsuların su kotu değerleri ve arazinin geri beslenme oranı kullanılacaktır. Bu değerlerden bir kısmı programda işlenerek bir kısmı ise programa aktararak model oluşturulacaktır.

1.3.Çalışmanın Önemi

Su kaynakları kısıtlı olduğundan, optimum kullanımı için havza yönetim planları yapılmalı ve su kaynakları bu plan çerçevesinde kullanılmalıdır. Havza yönetim planları yapılırken su yönetiminde teknik ve ekonomik araç geliştirilmektedir. Havzadaki mevcut su potansiyelinin belirlenmesi, gelecekteki yeraltısuyu işletme programlarının yapılması, yeraltısuyu akım hareket mekanizmasının belirlenmesi gibi birçok amaç modelleme kapsamı içinde ele alınmaktadır. Teknik araçlar geliştirilirken uygulanacak modelleme çalışmaları araştırılan ve elde edilen çoğu parametrelerin bir bütün halinde görselleştirilmesini de sağlayacaktır.

Yapılacak bu çalışmada havza yönetim planı çerçevesinde kullanılabilecektir. Bu çalışmada ele alınacak yönüyle Akarçay havzası güney bölgesi yeraltı suyu

modellemesi daha önce yapılmamış bir çalışma gerçekleştirilicektir. Bu çalışma ile özetle;

1. Havza yönetim planı çerçevesinde Akarçay güney bölgesini yeraltı su potansiyeli hesaplanmış olacaktır,
2. Ülkemizde bu çerçevede sadece Akarçay kuzeyinde kullanılan GMS programı Akarçay Güneyinde de kullanılarak sonuçların birleştirilerek daha anlamlı olması sağlanacaktır,
3. Çalışma yapılacak bölgenin yeraltı suyunun dağılımı görsel olarak ortaya konulacaktır,
4. Çalışma yapılan bölge içinde seçilen kısımlardaki su miktarı da hesaplanabilecektir,
5. Çalışma sırasında ortaya çıkan eksiklikler belirlenerek sonra yapılacak araştırmaların daha başarılı olması için tedbir alınmasına katkı sağlanabilecektir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1. Yeraltı Suyu Oluşumu

Yeraltı suları yerüstünden yeraltına sızan suların buradaki gözenekli tabakaların (kumtaşı, çakıltası) veya kırıklı, çatlaklı (kireçtaşı) kayaçların içerisindeki boşlukları doldurmasıyla oluşur. Suyu içinde biriktiren bu tür tabakalara "akifer" denir. Akiferde suyun birikebilmesi için yeryüzüyle bağlantısı olması gerekir. Aksi halde yeraltına su sızamayacağı için yeraltı suyu oluşamaz (İnt.Kyn.3).

Yeraltı suları, içme, kullanma, sulama, sanayi ihtiyaçlarının temininde büyük önem taşırlar. Yağmur, kar, dolu olarak yeryüzüne düşen yağışlar, toprak, geçirimli taş delikleri, çatlak ve yarıklardan sızarak yeraltında toplanarak yeraltı sularını meydana getirirler. Sızma, geçirimli topraklarda daha fazladır. Sular killi topraklar gibi sızdırmayan tabakalara rastlayınca toplanırlar. Genelde yeraltında toplanan bu sular yerin üstünden dibe inmiş sulardır. Bunlara gün görmüş manasında “vodos sular” denir. Çok az olmakla birlikte çok derinlerde gazların ayrışması, oksijenle hidrojenin çeşitli şartlarda birleşmesiyle meydana gelen sular da vardır. Bunlara gün görmemiş manasında “juvenil sular” adı verilir. Yerin derinliklerinden gelen sıcak suların bu şekilde meydana gelip gelmediğini anlamak çok zordur (İnt Kyn.4).

Bol yağışlı ve zemini geçirimli taşlardan oluşan alanlarda yeraltı suyu fazladır. Az yağış alan, eğimi fazla ve geçirimsiz zeminlerde ise, yeraltı suyunun oluşumu zordur. Kum, çakıl, kumtaşı konglomera, kalker, volkanik tüfler, alüvyonlar, geçirimli zeminleri oluşturur. Bu nedenle alüvyal ovalar ve karstik yöreler yeraltı suyu bakımından zengin alanlardır. Kil, marn, şist, granit gibi taşlar ise geçirimsizdir. Yeraltı suyu oluşumunu engeller (İnt.Kyn.4).

Yeraltı suları, yeryüzünden içerlere doğru sızarlarken kimyasal bazı aşındırmalara sebep olur. Kayatuzu, jibs, kalker gibi yerlerde bu daha fazla olur. Sarkıt, dikit ve yeraltı mağaraları bu şekilde meydana gelirler. Ayrıca yeryüzünden sızan sular süzülürken geçtikleri yerdeki minerallerin durumuna ve kimyasal değişmelere göre tat alırlar. Çeşitli sertlik derecelerindeki sular, menba suları hep böyle meydana gelirler (İnt.Kyn.4).

2.1.1 Hidrolik Çevrim (Su Döngüsü)

Dünyada su hareket eder, formu değişir, bitkiler ve hayvanlar tarafından kullanılır, fakat yok olmaz. Buna Hidrolojik Döngü (Su Döngüsü) denir.



Resim 2.1 Su döngüsünü oluşturan basamaklar (İnt.Kyn.5).

Bu döngüde suyun hareket etmesini sağlayan beş değişik olay vardır:

1-Yoğunlaşma (condensation),

2-Yağış (precipitation),

3-Toprağa geçiş (leakage) ve yeraltı sularının oluşumu,

4-Yüzeyel akıntı (runoff) ve yüzey suları ile yeraltı sularının oluşumu,

5- Buharlaşıma (evapotranspiration)

Su buharı yoğunlaşarak bulutları oluşturur, koşullar uygun olduğunda yağış meydana gelir. Yağış şeklinde yeryüzüne düşen su, toprağa sızarak yeraltı sularına veya yüzeysel akıntı olarak okyanuslara, denizlere karışır. Yüzey sularının buharlaşmasıyla su atmosfere geri döner.

Yoğunlaşma: Suyun buhar formundan sıvı formuna değişim sürecidir. Havadaki su buharı konveksiyon yardımıyla artar. Ilık-nemli hava yükselirken soğuk hava aşağı doğru hareket eder. Ilık hava yükseldikçe sıcaklığı azalır enerjisini kaybettiğinden gaz halden sıvı veya katı (kar veya dolu) haline döner.

Yağış: Yağmur, sulusepken kar, kar veya dolu olarak bulutlardan salınan sudur. Atmosferde yoğunlaştığı, atmosferik hava akımında kalmasının zorlaştığı durumda su buharından sonra yağış meydana gelir.

Toprağa geçiş: Dünya yüzeyine erişen yağışların bir kısmı toprağa sızar (leakage) ve yeraltı sularını meydana getirirler. Toprağa sızan su miktarı, toprağın eğimi, bitkilerin tipi ve miktarı, toprağın su ile doymuş olup olmamasına geçirgenliğe bağlı olarak değişir.

Yüzeysel akıntı: Çok fazla yağış olduğunda, toprak suya doyar ve suyun fazlasını alamaz. Kalan su toprağın yüzeyinden akar (runoff). Suyun toprağa emilemeyen kısmı yüzey suları olarak isimlendirilir. Yüzeysel sular kar ve buzların erimesiyle de

oluşabilir. Yüzey suları çaylara, derelere ve nehirlerle akar. Yüzey suları daima daha alçak noktalara doğru taşınır, dolayısıyla okyanuslara karışır.

Yeraltı suları: Dünya yüzeyine erişen yağışların bir kısmı toprağa sızar (leakage) ve yeraltı sularını meydana getirir. Yeraltı sularının bir bölümü derinde kapalı bir su katmanına ulaşır ve kullanılabilmesi için yeryüzüne özel bir yöntemle çıkarılmaları gerekir.

Yeraltı sularının diğer bir bölümü ise basınç etkisiyle üst toprak katmanlarına doğru hareket eder ve yeryüzüne ulaşır. Bu sulara kaynak suyu denir. Yeraltı suyu toprak katmanlarından geçerken temas ettiği yüzeydeki mineral vb maddeleri de yapısına alır. Bu maddeler suyun yararlı bileşenlerini (demir, magnezyum vb) oluşturabileceği gibi arsenik, nitrat, tarım ilacı kalıntıları gibi zehirli maddeler de olabilir.

Buharlaştırma: Bitkilerin nemlenmesiyle ve topraktaki suyun buharlaşmasıyla oluşan sudur. Evapotranspirasyon, atmosfere yeniden giren su buharıdır. Evapotranspirasyon, buhar olarak atmosfer içinde artmaya başlayan su moleküllerinin neden olduğu güneş enerjisinin suyu ısıttığı durumda oluşur (İnt.Kyn.5).

Eğer bir alanda yağış, akış ve buharlaştırma ölçülebilirse yeraltına sızan su miktarları basit bir denklem ile bulunabilir (Hökelekli 2010).

$$S = Y - (B + A) \quad (2.1)$$

Burada m³/gün biriminden olmak üzere

Y: Yağış

B: Buharlaşma

A: Akış

S: Yeraltına Sızma'dır.

2.1.2 Yeraltı Sularının Bulunduğu Yerler ve Bulunuş Şekilleri

Su, yeraltında değişik şekillerde ve çeşitli bۆlgelerde bulunur. Yağışlardan sonra sızan su ilk olarak, zemin boşluklarında hava ve su bulunan “doymamış bۆlge”ye, daha sonra aşağıya doğru hareket ederek “doymuş bۆlge”ye (yeraltı suyu bۆlgesi) ulaşır. Bu bۆlgenin ۆst yۆzeyine “yeraltı su seviyesi (YASS)” denir. YASS' nin hemen ۆzerindeki “kapiler saćak” bۆlgesindeki su, kapiler (kılcal) gerilmelerle tutulur; bu bۆlgedeki basınć negatiftir. Yeraltısuyu, alt kısmında gećirimsiz bir tabaka ile sınırlanmıştır. YASS 'nin ۆstündeki akarsular yeraltı suyunu beslerken, bu seviyenin altındaki sular ise yeraltı suyundan beslenir.

Doymuř bۆlgede akiferler bořlukları tamamen suyla dolu olan ve ićindeki su hareket halinde olan su tařıyıcı ortamlara "akifer" adı verilir. Akiferin alt kısmında bir gećirimsiz tabaka vardır. Akiferlerdeki akımın hızı oldukća azdır (1-2 m/gۆn ile 15-50 m/yıl). Akiferler, serbest yۆzeyli ve basınćlı olmak ۆzere ikiye ayrılır (Bayazıt 1991).

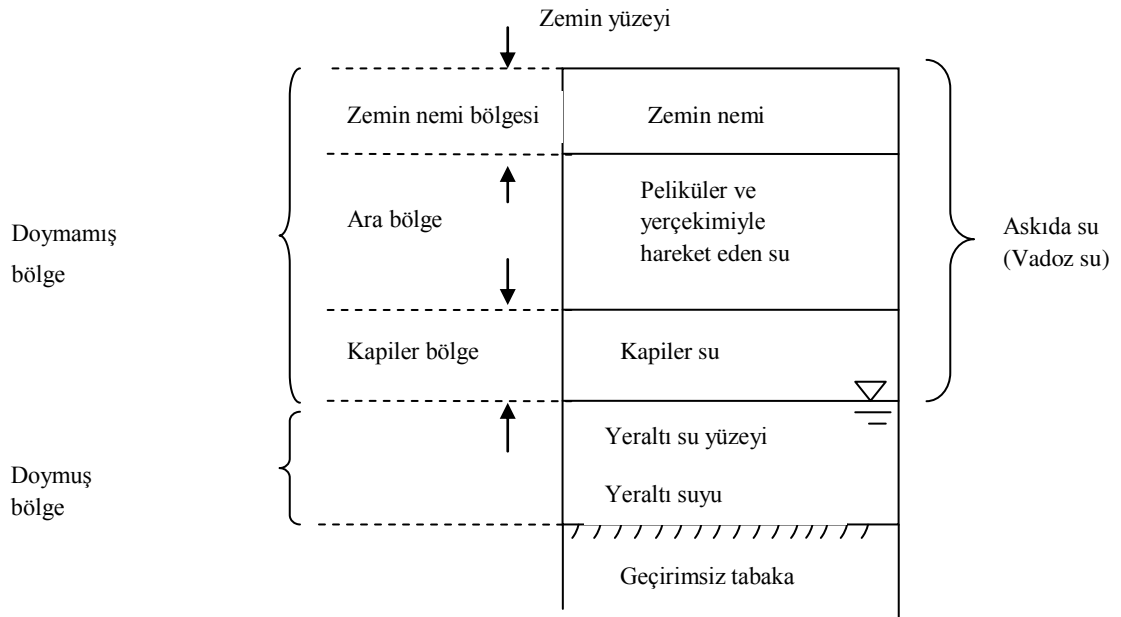
2.1.2.1 Serbest Yۆzeyli Akiferler

Yeraltı suyunun ۆst sınırı, yeraltı su seviyesidir (YASS). YASS'nin ۆst yۆzeyinde atmosfer basıncı vardır, bu nedenle, serbest yۆzeyli akiferdeki akım bir aćık kanal akımı gibi serbest yۆzeyli (basıncısız) akımdır. Gećirimsiz tabaka ile alttan sınırlanmış, bunun ۆzerine tamamen su alabilen akifer tipidir. Zeminden ićeriye sızma sonucu beslenme oluşur, yani ۆstten gećirimsiz tabaka ile bir engel yoktur. Yeraltı su seviyesi kabaca

zemine paralel kabul edilebilir. Bu akiferlerde kuyu açıldığında ölçülen statik seviye (piyezometrik seviye) yeraltı su seviyesine eşittir (Bayazıt 1991).

2.1.2.2 Basınçlı Akiferler

Üst tarafları da geçirimsiz bir tabaka ile sınırlandırılmış olan bu akiferlerdeki akım, borulardaki gibi basınçlı akımdır ve piyezometre yüzeyi, geçirimsiz tabakanın üstündedir. Zemin kotunun düşük olduğu yerlerde, piyezometre kotu zeminden daha yukarıda olabilir. Bu durumda açılacak bir kuyudaki su zeminden yukarıya fışkırıp artezyen kuyu şeklini alır. Sondaj borularında yükselip yüzeyden akmayan suyun oluşturduğu artezyene “Yükselen Artezyen” “Negatif Artezyen” veya “Sub Artezyen” denir (Bayazıt 1991).



Şekil 2.1 Yeraltı suyunun düşey dağılışı (Bayazıt 1991)

2.2. Yeraltı Suyu Davranışı

Yeraltı suyunun aşağı yönlü hareketi için gereken enerjiyi yerçekimi sağlar. Süzülen sular yeraltısu tablasına ulaştığında, su tablasının yüksekte olduğu alanlardan daha alçakta olduğu ırmaklar, göller ya da bataklıklar gibi yerlere doğru hareketini sürdürür. Yeraltısuyunun hızı birçok faktöre bağlı olarak büyük oranda değişir. Yeraltı suyunun hızları oldukça geçirimli bazı malzemelerde 250 m/gün ile hemen hemen geçirimsiz malzemelerde birkaç cm/yıl arasında çeşitlilik gösterir. Birçok sıradan akifer için ortalama yeraltısuyu hızı birkaç cm/gün olarak ölçülmüştür (İnt.Kyn.6).

2.3. Yeraltı Suyu Akımı Etkileyen Faktörler

Taneler arasındaki küçük ve değişken kesitli, düzensiz kanallarda yer alan akımın ayrıntılı olarak incelenmesi çok güçtür. Ancak olaya makroskopik ölçekte bakılırsa, yani su moleküllerinin bu kanallardaki hareketi yakından incelenmeyip de çok sayıda boşluğu içine alan bir zemin kesiti göz önüne alınırsa hareketin Darcy kanununa uyduğu görülmüştür. Şekil 2.2 de görüldüğü gibi bir zemin numunesinden Q debisi geçerken V_f hızı ve I piyezometrik eğimi ölçülürse belli bir zemin için çeşitli debilerde ölçülen V_f ve I değerlerinin orantılı olduğu görülür:

$$V_f = KI \quad (2.2)$$

Bu kanun hız ile yük kayıplarının laminar akımlardaki gibi lineer olarak bağıntılı olduğunu gösteren ampirik bir formül olup çok yavaş akımlarda geçerlidir. Deneyler, Reynolds sayısı 1- 10 dan küçük değerlerinde Darcy kanununun geçerli olduğunu göstermiştir. Bu şart yeraltı suyu akımlarında çoğu zaman sağlanır, ancak kuyuların yakınlarında ve çok iri boşluklu akiferlerdeki akımda Darcy kanunu geçerli olmaz.

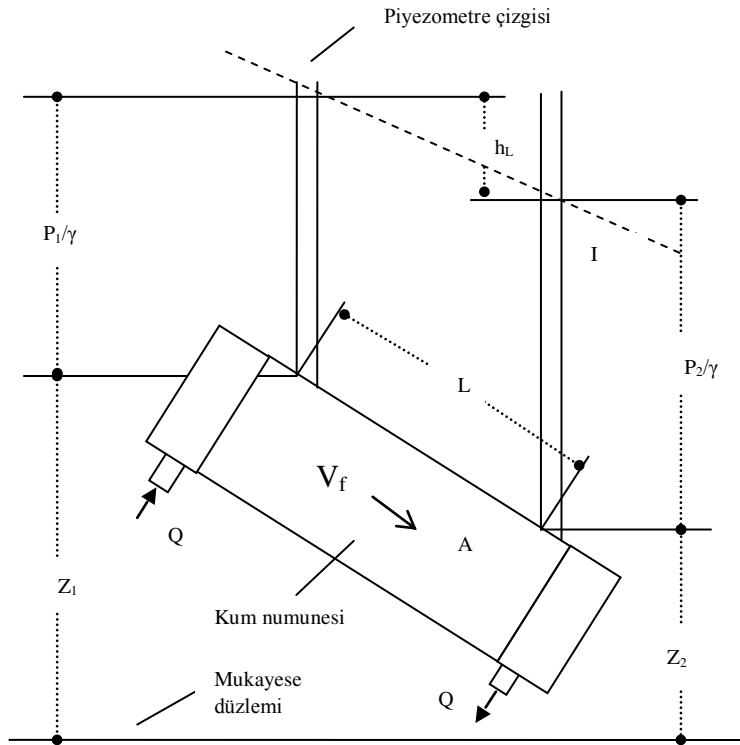
Denklem 2.2 de V_f hızı akımın gerçek ortalama hızı değildir.

$$V_f = Q/A \quad (2.3)$$

Şeklinde hesaplanan fiktif bir hızdır (filtre hızı), burada A alanından geçen yeraltı suyu debisi Q ile gösterilmiştir. Gerçek akım ancak zeminin boşluklarında yer aldığından gerçek V_g hızı V_f den daha büyüktür.

$$V_g = Q/A_g = Q/(pA) = V_f/p \quad (2.4)$$

Bu denklemde p zeminin porozitesini göstermektedir. Yeraltı suyu akımının debisi belirlemek için V_f hızının bilinmesi yeterli olur.



Şekil 2.2 Darcy kanunundaki büyüklüklerin anlamları

Şekil 2.2 de görüldüğü gibi yeraltı suyu akımında, z geometrik yükseklik, p/γ basınç yüksekliği olmak üzere, $z+p/\gamma$ şeklinde tanımlana h piyezometre yüksekliği akım yönünde azalır. Akım yönünde ölçülen L uzunluğu boyunca meydana gelen h_L yük kaybı piyezometre yüksekliğindeki azalma olarak tanımlanır (Bayazıt, 1991).

$$h_L = (z_1 + (p_1/\gamma)) - (z_2 + (p_2/\gamma)) \quad (2.5)$$

Denklem 2.2 deki I eğimi piyezometre çizgisinin eğimidir.

$$I = h_L/L = dh/dL \quad (2.6)$$

I eğimi serbest akiferde yeraltı su yüzeyinin eğimi olmaktadır.

Yeraltı suyu akımında hızlar çok küçük olduğu için hız yüksekliğini ihmal etmek uygundur. Buna göre I eğimi enerji çizgisinin eğimi olarak da düşünülebilir.

Darcy kanununda hız ile eğim arasındaki K orantı katsayısına Hidrolik iletkenlik denir (buna bazen geçirimsizlik (permeabilite) katsayısı da denmektedir). Hidrolik iletkenlik uzunluk/zaman, yani hız boyutundadır. K katsayısı gerek zeminin, gerek akışkanın özelliklerine bağlıdır. Sadece zemin özelliklerine bağlı olan kısmı ayırıp k ile gösterirsek K ile k arasındaki bağlantı boyut analizi ile

$$K = (\gamma/\mu) k \quad (2.7)$$

şeklinde bulunur, burada γ suyun özgül ağırlığı (gr/cm^3), μ dinamik viskozitesidir (kg/(m.s)). K ise özgül geçirimlilik olup birimi Darcy'dir ($1 \text{ Darcy} = 0,987 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$). k 'nın boyutu uzunluğun karesidir.

Çizelge 2.1 Çeşitli Zeminler İçin Hidrolik İletkenlik ve Özgül Geçirimliliğin Sınır Değerleri (Bayazıt 1991)

Zemin Cinsi	(*) K (cm/s)	k (Darcy)
Kum taşı	$10^{-3} - 10^{-1}$	$1 - 10^2$
Çakıl, iri kum	$10^{-2} - 1$	$10 - 10^3$
Çakıllı kum	$10^{-2} - 10^{-1}$	$10 - 10^2$
Orta kum	$10^{-2} - 10^{-1}$	$10 - 10^2$
İnce kum	$10^{-3} - 10^{-1}$	$1 - 10^2$
Çok ince kum	$10^{-4} - 10^{-2}$	$10^{-1} - 10$
Silt	$10^{-6} - 10^{-4}$	$10^{-3} - 10^{-1}$
Kumlu kil	$10^{-8} - 10^{-6}$	$10^{-5} - 10^{-3}$
Kil	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^{-6} - 10^{-4}$

(*) Sıvı olarak su

Çizelge 2.1 de çeşitli zeminler için hidrolik iletkenlik ve özgül geçirimliliğin sınır değerleri verilmiştir. Ancak, genellikle bir zeminin iletkenliğinin hem noktadan noktaya hem de akımın doğrultusuna göre değiştiği, yani zeminin homojen ve izotrop olmadığı göz önünde tutulmalıdır.

Akiferlerin hidrolik özelliklerini belirlemek için bazen iletim kapasitesi ve biriktirme katsayısı diye adlandırılan büyüklükler de kullanılır. Birim genişlikte bir akifer kesitinden birim eğim altında birim zamanda geçen su miktarına zeminin iletim kapasitesi denir. Buna göre T iletim kapasitesi için şu ifade yazılabilir:

$$T = Q/(BI) \quad (2.8)$$

Burada B akiferin genişliğidir. T nin boyutu uzunluk²/zamandır. m akiferin kalınlığı olduğuna göre:

$$Q = mBV_f = mBK I \quad (2.9)$$

İfadesinden T ile K arasındaki bağıntı elde edilebilir:

$$T = mK \quad (2.10)$$

Piyezometre çizgisindeki birim alçalmaya karşılık akiferin yatayda birim kesitli bir parçasından dışarıya çıkacak suyun hacmine biriktirme katsayısı denir. S_c biriktirme katsayısı boyutsuz olup artezyen akiferde zeminin cinsine göre 0,00003 ile 0,005 arasında değişir, serbest akiferde ise özgül veriye eşit olacağı tanımından anlaşılabilir. İletim kapasitesi ve biriktirme katsayısı özellikle zamanla değişken yeraltı suyu akımının incelenmesinde önem kazanır.

$$V_f = K(dh/dL) \quad (2.11)$$

Denklemler 2.11 den V_f hızının bir potansiyeli bulunduğu sonucuna varılır:

$$V_f = dh\Phi/dL = grad\Phi \quad (2.12)$$

buna göre yeraltı suyu akımı bir potansiyel akımdır, potansiyel akımlar için kullanılan metotlar yardımıyla incelenebilir.

Yeraltı suyu akımı viskoz bir sıvının laminar akımı olduğuna ve öte yandan ancak ideal akışkanların hareketinin potansiyel (çevrintisiz) akım şartlarını birleştirdiği bilindiğine göre, yeraltı suyu akımının potansiyel bir akım olduğu sonucu çelişkili gibi görünebilir. Ancak olayı makroskopik ölçekte incelediğimizden V_f hızı gerçek akım hızı değildir, küçük kanallardaki çevrintilerin birbirini dengelemesi sonunda ortalama hızın bir potansiyele sahip olduğu düşünülebilir (Bayazit, 1991).

2.4. Yeraltısuyu Modellemesi

2.4.1 MODFLOW ile Yeraltısuyu Modellemesi Çalışmaları

Yeraltısuyu modellemesi ile ilgili çalışmalar 1988 yılında MODFLOW (Modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model) (McDonald and Harbaugh, 1988) programının ortaya çıkmasıyla büyük bir ivme kazanmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır.

Atilla (2002) Afyonkarahisar Ovası'nda yeraltısuyu kuyularındaki çekimlere bağlı olarak seviye düşüşlerinin belirlenmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak MODFLOW matematiksel modeli aracılığıyla ovadaki yeraltı suyu akımını modelleyerek, ovadaki hidrolik yük dağılımının yer ve zaman içindeki dağılımını belirtilmiştir. Araştırmacı ovanın genelindeki hidrolik yük dağılımının kuzeybatıdan güneydoğuya doğru azaldığını belirtmiştir. Modelleme sonucunda yeraltısuyu çekiminin 1976 yılından sonra arttığını, özellikle 1990 yılından sonra piyezometre seviyelerindeki düşüşlerin çok olduğunu belirtilmiştir.

Dişli (2007) Ankara ilinin güneyinde bulunan Gölbaşı ilçesindeki Eymir ve Mogan göllerinde endüstriyel tesislerden kaynaklanan atıkların atılması sonucunda kirlenmenin olduğu belirtilmiştir. Bu iki göl arasında yer alan inceleme alanında, hidrojeolojik yapıyı tanımlamak, bu yapı içinde gerçekleşen yeraltısuyu akımını ve kütle

taşımasının fiziksel-kimyasal parametrelerinin belirlemek için çalışılmıştır. Eymir ve Mogan gölleri arasında yer alan akifer sistemindeki yeraltısuyu akımı ve kütle taşınım süreçlerinin modellenmesinde MODFLOW–2000 sonlu farklar matematik modeli programını kullanılmıştır. Yaklaşık olarak 7,86 km²'lik alanı kaplayan model alanında 60 sütun ve 210 satır olmak üzere toplam 12 600 adet hücreden oluşan grid ağı ile her bir hücreyi 25mx25m'lik alanı temsil edecek şekilde oluşturulmuştur. Araştırmacı, yeraltısuyu akım modeli sonucunda, Mogan Gölü'nden yeraltı suyuna olan boşalımını yaklaşık olarak saniyede 0,00084 m³ ve Eymir Gölü'ne olan yeraltısuyu girdisini ise saniyede 0,00046 m³ olarak model sonucu belirtilmiştir.

Carroll vd (2008) Doğu Nevada Test Alanı çevresinde hesaplanan yeraltı değerlere karşı tanımlanan hidrolik akış modeli ile kararlı durum hesapları karşılaştırılarak yeraltı suyu akışını doğrulamak amaçlanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar kurumu Death Valley bölgesi için, üç boyutlu sonlu-fark MODFLOW kullanarak geçici bir akış modeli (DVRFM) oluşturulmuştur. Karşılaştırma modeli olarak konsantrasyonlu yeraltı gözlemlerini, yeraltı akımının yönü ve büyüklüğünün otomatik kalibresini hesaplanabileceği DSCM-SCE (Ayrık-Devlet Bölümü Model - Shuffled Karmaşık Evrim) modelini geliştirilmiştir. Model yaklaşımlarını karşılaştırmak için, doğu NTS de daha önce geliştirilen 15 hücreli DSCM-SCE 2D modelinde DVRFM sınır koşulları ve hücre etkileşimlerin modellenmesi uygulanmıştır. Aşağı yönde yeraltı izotopik zenginleştirme için baskın mekanizmaları modelin etki alanı genelinde yapılan 2D ve δ^{18} veri analizi geri beslenim ve karıştırma olduğu görülmüştür. Sonuç olarak iki modellemede izotop karışımının olabileceğinin doğrulandığını, yeraltı fiziksel akış sistemin daha iyi anlaşılmasının mümkün olacağı belirtilmiştir.

Ahmed and Umar (2009) Hindistan'ın Uttar Pradesh bölgesinin batısında yer alan içme, kullanma, tarımsal sulama için faydalanılan akiferi incelenmiştir. Akiferdeki su dengesini değerlendirmek, akış sisteminin davranışının simülasyonunu yapmak için yeraltısuyu akış modelini hazırlanmıştır. Akiferi, Visual ModflowPro.4.1 programı ile modellenmiş ve su bütçesi hesaplanmıştır. Çalışma alanının belirli bölgelerinde hidrolik

iletkenlik değerlerinin 9,8 m/gün ile 26,6 m/gün arasında değiştiği belirtilmiştir. 2006 yılı haziran ayı ile 2007 yılı haziran ayı döneminde bölgenin su bütçesi, yapmış oldukları çalışma sonucunda eksik su dengesi gösterilmiştir. Çalışma alanında toplam beslenimin $160,21 \times 10^6 \text{ m}^3$, pompajyoluyla çekimin ise $233,56 \times 10^6 \text{ m}^3$ olduğu belirlenmiş ve böylelikle $73,35 \times 10^6 \text{ m}^3$ su bütçesi açığı olduğu hesaplatılmıştır. Araştırmacılar çalışmasında, yapılan analizlerin modeldeki hidrolik iletkenlik ve beslenim parametrelerine çok duyarlı olduğunu belirtilmiştir.

akmak (2010) yüksek lisans tez çalışmasında Afyonkarahisar şuhut Ovası'nın jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik özellikleri inceleyerek ovadaki sulama kuyularında pompaj çekimleri sonucu yeraltısuyunun davranışını incelemiştir. Ovada daha önce yapılmış olan jeolojik çalışmalar doğrultusunda  boyutlu yeraltısuyu kararlı akım modeli MODFLOW programı kullanılarak oluşturmuştur. Model  tabakalı olup 124 satır ve 128 sütundan oluşmaktadır. Modelde 2004 yılı hidrolojik verileri ve kuyu pompaj çekimleri esas alınmıştır. Bölgedeki yeraltısuyu akımının 2004 yılı mayıs ayında kararlı akım durumunda olduğu varsayılarak modelin kalibrasyonu yapılmış ve çalışma alanının hidrojeolojik parametreleri belirlenmiştir. Kalibrasyon sonucu şuhut Ovası'nın 2004 yılı yeraltısuyu bütçesi hesaplamış ve kuyulardan pompajın %50 azalışı ve %50 artışı iklim değişikliği senaryolarına göre 2050 ve 2100 yılına kadarolabilecek durumlar için yeraltısuyu modeli oluşturulmuştur.

Lachall *et all.* (2012) alışmalarında entegre metodoloji bağlantısı kullanarak, Ze'ramdine-Be'ni Hassen Miyosen akiferdeki hidrolojik süreçleri araştırmak ve bölgede yapılan jeolojik, jeofizik, hidrodinamik ve hidrokimyasal çalışmalardan çıkarılan yeraltı özelliklerini doğrulamak için Coğrafi Bilgi Sistem araçları ve MODFLOW 2000 ile yeraltısuyu akım modeli geliştirilmiştir. 1980 – 2007 yılları arasında elde edilen hidrolojik ve jeolojik veri kullanarak bu akiderin  boyutlu yer altı suyu akım modeli geliştirilmiştir. Sonuç olarak ZBH akiferinin su sızıntıları ve hidrolik iletkenlik değişikliklere en yüksek duyarlılık sergileyen yer olduğunu, simülasyonun akifer hidrojeoloji anlamak, benzer modellerin jeolojik ve hidrojeolojik koşulları ve özellikle

kurak ve yarı kurak bölgelerde akifer karakterizasyonu için, çalışılan akiferin kurtarma yönetim planı önermeye yardımcı olacağına ve karmaşık yeraltı hidrolojik süreçlerini analiz etmek için yararlı bir araç olarak kabul edilebileceği ifade edilmiştir.

Mirlas (2012) çalışmasında MODFLOW yeraltısuyu akım modelini Jezre'el Vadisi yeraltı suyu seviyeleri simüle etmek için kullanılmıştır. Model sonuçlarının mekansal analizi, toprağın tuzluluğu, tehlike altında kalacağı alanların değerlendirilmesi modele giriş tarihleri için Coğrafi veritabanı ve ArcGIS teknikleri iki hidrojeolojik kriterlere göre kullanılmıştır. Bunların yeraltı suyunun toprak yüzeyinden derinliği ve üst toprak tabakası ve yarı sınırlı akifer yeraltı suyu seviyeleri arasındaki fark olarak tanımlanmıştır. Toplam yoğun toprak tuzluluğu 325ha potansiyel toprak tuzlanma alanı 6275ha bulunmuştur. MODFLOW gibi bir mekansal dağıtılan yeraltısuyu akım modeli uygun giriş ile, toprak tuzlanmasını önlemek için etkili bir yeraltı drenaj sisteminin planlanmasında güvenilir bilgi sağlayabileceği belirtilmiştir.

Xu *et all* (2012) sığ su tablası alanlarında yeraltı suyu dinamikleri için SWAP ve MODFLOW – 2000 entegrasyonu ile modelleme geliştirilmiştir. Bu çalışmada geri beslenim ve buharlaşma sonucu yeraltı su akımındaki hareketliliğin modellenmesi amaçlanmıştır. Ortalama su tablası derinliğini MODFLOW sağlarken, yeraltı suyu akım modelinde dikey akım hesapları için SWAP (soil- water- atmosphere- plant yani toprak – su – atmosfer – bitki) paketi MODFLOW programına entegre edilmiştir. Topoloji komninyasyonları, toprak tipi, arazi kullanımı, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak MODFLOW içinde SWAP bölgeleri için su yönetimi uygulamaları türetilmiştir. MODFLOW SWAP paketini iki buyutlu doymuş – doymamış bölgelerin geri beslenim hesaplamalarında test edilmiştir. Sonuç olarak, doymamış bölgede yanall difüzyonun ihmal edilmesi nedeniyle hesaplanan su tablasının simülasyonda daha yüksek olduğunu, erken periyot dışında uyum sağladığı gözlemlenmiştir. MODFLOW SWAP paketini Kuzey Çin üst Sarı Nehir Hetao Sulama Havzasında bölgesel yeraltı suyu akım modeli için kullanarak, programın pratik modellemede uygulanabilirliği onaylanmıştır.

2.4.2. Akarçay Havzası ile İlgili Çalışmalar

İçağa (2004) Akarçay Havzası hidrolojik modelleme isimli bildiriminde Akarçay havzasında en önemli akarsu olan ve havzayı baştan sona katederek yüzeysel suları ve yeraltı suyunu drene eden Akarçayın akım, yağış, sıcaklık ve buharlaşma gözlem verileri ele alınmış, akım gözlem değerlerinin diğer verilerle ilişkisi araştırılarak istatistiksel modellemesi geliştirmiştir. Bu amaçla verilerin normal dağılıma uygunluğu çarpıklık katsayısı yardımıyla araştırılarak veriler normalize edilmiş (normal dağılımlı hale dönüştürülmüş) bu amaçla Box-Cox transformasyonu kullanılmıştır. Normalizasyonun ardından basit ve çoklu regresyon modelleri denenmiş, anlamlı model bulunmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucunda basit ve çok değişkenli regresyon analizinde, araştırılan 29 adet modelin hepsi istatistik açıdan anlamlı çıktığı belirtilmiş ve havzada sıcaklık değişkeninin akım üzerinde yağış ve buharlaşma değişkenlerine göre daha büyük etkiye sahip olduğu belirtilmiştir.

Yurtçu vd. (2005) Akarçay havzası yeraltı suyu periyodik davranışının modellenmesi isimli çalışmalarında bağımlı değişken yeraltı su seviyesi ve bağımsız değişkenler olarak da debi yağış ve buharlaşmanın kullanıldığı bir istatistiksel modelle yeraltı suyunun davranışının belirlenmesini amaçlamışlardır. Uygulama Akarçay havzasında yer alan 5 adet kuyu, 4 adet yağış, 6 adet akış ve 4 adet buharlaşma gözlemistasyonu verileri kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Verilerde yıl içi periyodik davranış olup olmadığını araştırmak amacıyla periyodogram analizi kullanılmış ve yeraltı suyunun davranışında beslenme ve kayıpların etkisini ortaya koyabilmek amacıyla çoklu regresyon analizi ve korelasyon tekniklerini uygulamışlardır. Yapılan analizler sonucu iki adet kuyu suyu seviye değişimi ile diğer meteorolojik değişkenler arasında pozitif ve yüksek düzeyde anlamlı bir ilişkinin olduğu ve tüm değişkenlerin mevsimsel periyoda sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Yurtçu (2005), “Kil zeminlerde yeraltı suyu davranışının modellenmesi” adlı yüksek lisans tezinde, Akarçay havzası yeraltı su seviyesinin davranışını istatistik yaklaşımlarla modellemeyi amaçlamıştır. Çalışmasında bağımlı değişken olarak debi, bağımsız

değişken olarak yeraltı su seviyesi, yağış ve buharlaşma parametrelerini kullanarak istatistiksel bir modelle yeraltı suyu davranışını belirlemiştir. Yazarın bu çalışmada elde ettiği sonuçlar, Akarçay havzasının Afyon ve Bolvadin bölgelerinde yüksek olan yeraltı su seviyesi davranışının bilinmesi ve diğer hidrolik değişkenlerle ilişkisinin ortaya konmasının faydalı olabileceğini belirtmiştir. Kurulan modelin Akarçay havzası ile ilgili olarak yeraltı suyunun kontrol ve takip edilmesi ile ilgili yapılacak çalışmalara ışık tutacağını ifade etmiştir.

İçağa vd. (2007) Yeraltı suyu seviye değişiminin stokastik modellemesi isimli çalışmalarında Akarçay Afyon alt havzasında çalışılmıştır. Bu çalışmada, bağımlı değişken yeraltı su seviyesi ve bağımsız değişkenler olarak da yağış, akış ve buharlaşmanın kullanıldığı bir stokastik modelle yeraltı suyunun davranışı araştırılmıştır. Çalışmada, yeraltı su seviyesinin çok yüksek olduğu Akarçay Afyon alt havzası içerisinde yer alan 1 adet yağış, 1 adet akış ve 1 adet buharlaşma gözlem istasyonu ile 3 adet kuyu su seviyesi gözlem istasyonunun uzun yıllara ait aylık veriler kullanılmıştır. Verilerin öncelikle normal dağılıma uygunluğu kontrol edilmiş, çarpık dağılımlı olanlar Box-Cox transformasyonu ile normal dağılımlı hale getirilmiştir. Ardından korelogram hesabı yapılmış ve kısmi otokorelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda oluşturulan grafik ile kullanılan verilerin mevsimlere göre değişiklik gösterdiği belirtilmiştir.

Uslu vd. (2010) Yapay sinir ağları ile Akarçay akımının modellemesi isimli çalışmalarında Yapay Sinir Ağı (YSA) modeliyle DSI'nin akım ve DMI'nin meteoroloji verileri kullanılarak Akarçay akımının tahmin edilmesi ve YSA özelliklerinin incelenmesi amaçlamışlardır. Modelleme için 6 akım gözlem verisi ile ay ve yıl sıra sayıları kullanmışlardır. Tüm veriler 0-1 arasında üniformize edilmiş, ayrıca gözlem değerleri normalize etmişlerdir. 3 katmanlı YSA modelinde nöron adedi, öğrenme ve momentum oranları geniş bir yelpaze içinde sınınamışlardır. Model çalışmaları sonucunda ay sıra sayılarının eğitime verisi olarak kullanıldığı (yıl içi zamana bağlılığı dikkate alan) modeller, bir gözlem yeri hariç, gözlem verilerinin eğitime verisi olarak kullanıldığı

modellere göre daha başarılı sonuçlar vermişlerdir. YSA araştırmalarında belirsiz parametrelerden olan nöron adedi ve öğrenme oranı seçilen modellerde farklı değerler almışlardır. Fakat diğer belirsiz parametre olan momentum oranı değeri modellerin çoğunluğunda 0,90 çıkmıştır.

Hökelekli (2010), “ Bilgisayar Destekli Yeraltı suyu Modelleme” adlı yüksek lisans tezinde Akarçay Havzası Kuzey Üst bölgesini Groundwater Modeling System (GMS) programının MODFLOW paketini kullanarak yeraltı suyu akımının matematiksel modelini katı modele çevirerek yeraltı su seviyelerini belirlemiş, havzanın program içinde 2 tabakalı 3 boyutlu görünümünü elde ederek kesitlerdeki akım miktarları tespit edilmiştir. Modelleme çalışması için 3 adet kuyudan pompalanan debi değerleri, hidrolik iletkenlik değeri 7,08 m/gün, iletkenlik değeri 555 m²/gün/m olarak programa aktarılmıştır. Program sonucuna göre havzanın su bütçesi akış değeri -0.00376 m³/gün hesaplatılmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

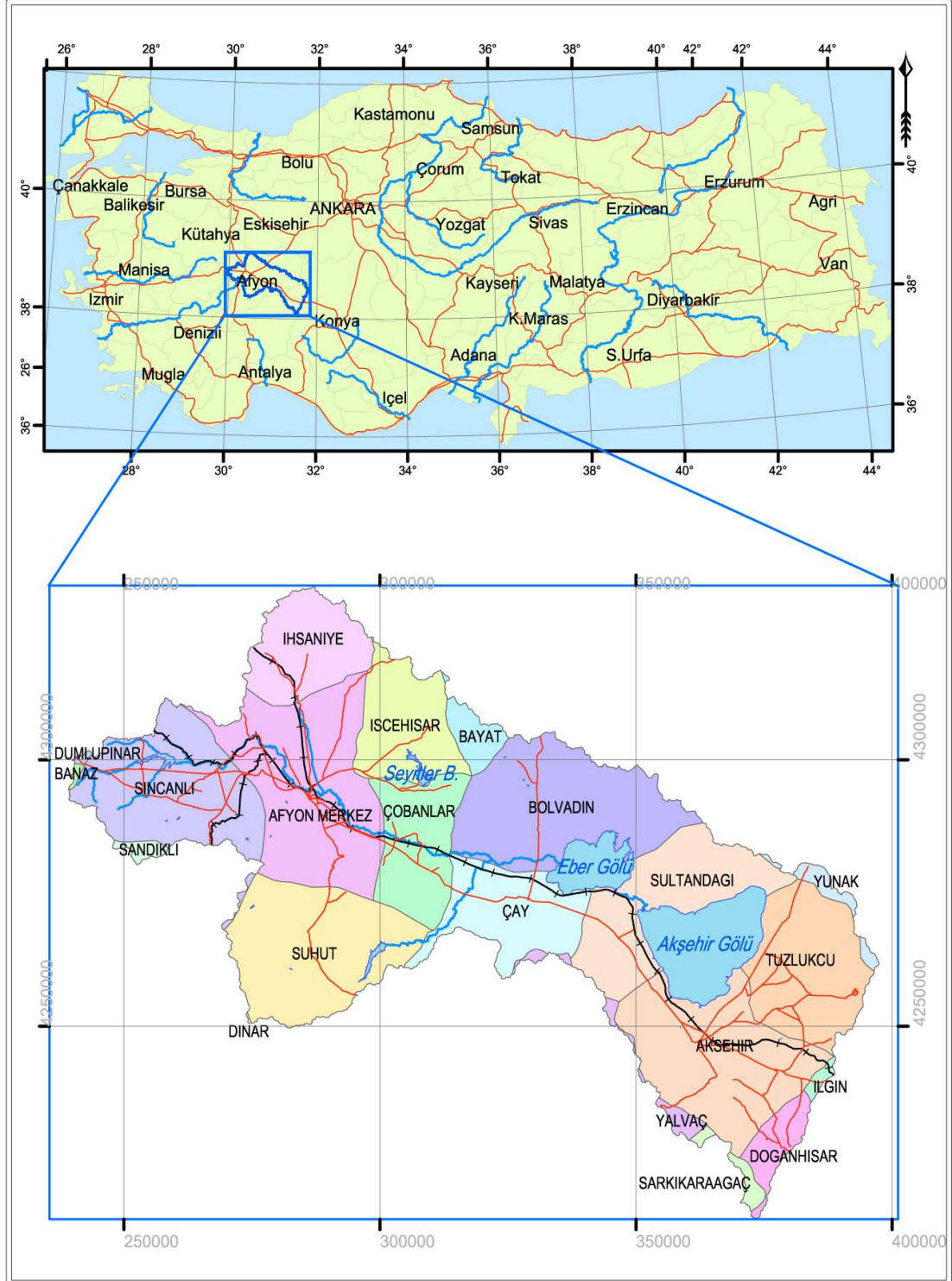
3.1 Akarçay Havzasının Tanıtılması

3.1.1 Havzanın Coğrafi Konumu

Akarçay Havzası, hep sismik olarak aktif olan, kuzeybatı-güneydoğu yönünde ortalama 130 kilometre uzunlukta ve 20 kilometre genişlikte olan bir çöküntü havzasıdır. Kuzey ve doğusunda Sakarya Havzası, güneyinde Konya Kapalı Havzası ve Antalya Havzası, batı ve güneybatısında Büyük Menderes Havzası ile çevrilidir. Ege, Akdeniz ve İç Anadolu Bölgelerinin birleştiği bir noktada, kapalı bir havza niteliğinde olan Akarçay havzasının önemli bir kesimi Afyon il sınırları içerisinde ve doğudan Konya sınırlarına girmektedir. Havzayı doğudan Emir ve Türkmen Dağları, kuzeydoğudan IlbudakDağı, kuzeybatıdan Sultan Dağları, güneydoğudan Ahır Dağı ve güney batıdan ise Kumalar Dağı sınırlamaktadır. Eber Gölü ve Akşehir Gölü'nün güneyindeki Sultan Dağlarında Orografik (yamaç yağmuru) olmak üzere Depresyonik ve Konvektif yağış tiplerinin her üçü de meydana gelmektedir (İnt.Kyn.7).

Eber ve Akşehir Gölüne dökülen Akarçay Nehri ile Kali Çayı, Çay Deresi, Yeniköy Deresi, Engilli Deresi ve Adıyan Suyu gibi küçük dereler mevcuttur. Havza adını yan kolları ile en büyük nehir olan Akarçay'dan almaktadır. Akarçay havzasında yer alan en önemli akarsular Akarçay ve Kali Çayıdır. Sincanlı ovasının batısında çok sayıda gözden doğan, Akdeğirmen, Ayvalı, Balmahmut ve Köprülü istikametinden geçerek Afyon ovasına ulaşan aksu deresi ile İhsaniye Gazlıgöl tarafından doğup güneye doğru akan Afyon akarı Afyon 'un batısında buluşarak Akarçay nehrini oluşturur. Bu noktadan itibaren doğuya doğru akan Akarçay ile Şuhut ovasından doğarak Selevir barajı üzerinden kuzey doğu istikametinde akan Kali çayı birleşerek Çay'ın batısında Eber ve Akşehir göllerine ulaşır. Bu haliyle Akarçay havzası kapalı bir havza oluşturmaktadır. Bu akarsular dışında havzanın güney doğusunda Sultandağlarından kuzeye akan Çay deresi, Deresinek deresi, Dort deresi ve Engili dere Akşehir ve Eber

göllerine yağışlı mevsimlerde su taşıyan diğer önemli akarsulardır (İnt.Kyn.9, Hökelekli 2010)



Resim 3.1 Akarçay havzası yer bulduru haritası (Hökelekli 2010)

3.1.2 Havzanın Hidrojeolojik Yapısı

Akarçay havzasında yeraltı suyu çok çeşitli formasyonlarda bulunmaktadır. Akarçay ovasında yüzeyleyen alüvyonun kumlu çakıllı seviyeleri, Sultandağı eteklerinde buluna birkinti konileri, Neojen gölsel çökellerinin kumlu, çakıllı birimleri, Neojen kireç taşı ve volkanik kayalar (tuf, tüfit, aglomera, trakit, andezit), Mesozoyik kireç taşı ve Paleozoyik mermeler yeraltı suyu depolama ve taşıma özelliklerine sahiptir. Paleozoyik karbonatlı birimlerin Akarçay havzasının güneydoğusunda ve Sultandağlarında geniş alanlarda mostrası bulunmakla birlikte bu birimler genellikle kuvarsitler ile birlikte yayılım göstermektedir. Havzanın kuzey batısında ve kuzey doğusunda çok geniş bir alanda Mesozoyik kireçtaşları bulunmaktadır. Triyas yaşlı kireçtaşları arazide yüksek rölyefleri oluşturmakta, Sincanlı ovasının kuzeyinde İlbudak tepe ve Resul dağı ile Akşehir gölünün kuzeyinde Emirdağı kütesinde oldukça geniş alanlar kapsamaktadır.

Akarçay havzasında açılan yeraltı suyu kuyularının büyük bir kısmı Neojen ve Kuvaterner serilerinin geçirimli zonlarından yeraltı suyu almaktadır. Büyük Sincanlı ovasında siltler, Afyonda silt-kil ve çakıllar, Çay-Bolvadin-Akşehirde ise çakıllar hakimdir. Havzanın permeabilite katsayısı 224 m/g ile 0,01 m/g değerleri arasında değişmekler beraber ortalama 7,08 m/g civarındadır (Tezcan 1999).

3.2 GMS Programında Yeraltı Suyu Modelleme

Yeraltısuyu Modelleme Sistemi (GMS) Yeraltısuyu simülasyonların gerçekleştirilmesi için kapsamlı bir grafik kullanıcı ortamıdır. GMS tüm sistem, bir grafiksel kullanıcı arabirimi (GMS programı) ile analiz kodları sayısından (MODFLOW, MT3DMS, vs) oluşur. GMS arayüzü Provo, Utah Aquaveo, LLC tarafından geliştirilmiştir.

GMS kapsamlı bir modelleme ortamı olarak tasarlanmıştır. Tesisler farklı modeller ve veri türleri arasında bilgi paylaşmak için verilmiştir ve modellerin çeşitli türlerini

destekler. Araçlar zemin karakterizasyonu, modeli kavramsallaştırma, mesh ve ızgara üretimi, jeostatistik, ve post-processing için verilmektedir (İnt.Kyn.2).

GMS üç boyutlu karmaşık ve kapsamlı yeraltı suyu modellemesi yapabilme imkânı sağlayan alt programları bünyesinde bulunduran bir bilgisayar programıdır. GMS de yapılan modelleme bölgenin niteliklerini dikkate alır, modelin geliştirmesine, kalibrasyon ve görselleştirmeye olanak sağlar (İnt.Kyn.2).

GMS için arayüz on bir tane modüllere bölünmüştür. Bir modül GMS tarafından desteklenen temel veri tiplerinin her biri için sağlanmıştır. Eğer bir modülden başka bir module 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 modeller, bir modelde analiz çalıştırmak için kullanılan GMS'den ayrı programlardır. Modelleri GMS'de oluşturulup daha sonra sayısal model programı aracılığıyla çalıştırılabilir. Daha sonra GMS'de okuma ve analiz sonuçlarını görüntüleyebilirsiniz. Çoğu sayısal modeller ile GMS model çalışması ve model simülasyonu sırasında gerçek zamanlı sonuçlarını görüntülemek için bir Model Wrapper kullanma seçeneği vardır. GMS'nin şu anda desteklediği sayısal modeller şunlardır.

3B Izgara Modülü; MODFLOW, MODPATH, MT3DMS, RT3D, ART3D, SEAM3D, UTCHEM, PEST, SEAWAT, Harita Modülü; MODEAM ve UTEXAS, 2B Ağ Modülü; SEEP2D, 3B Ağ Modülü; FEMWATER, Sondaj Kuyusu Modülü; T – PROGS programlarını kapsarlar (İnt.Kyn.2).

Yeraltı suyu modeli MODFLOW kapsamlı bir grafik arayüzü içerir. MODFLOW 3D, hücre merkezli, sonlu farklar, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar (McDonald ve Harbaugh, 1988) tarafından geliştirilen doymuş akış modelidir. MODFLOW sınır koşulları ve çok çeşitli giriş seçeneklerine sahip sürekli ve geçici rejim analizi gerçekleştirebilmektedir.

GMS işlemci olarak MODFLOW'un öncesi ve sonrasını destekler. GMS tarafından oluşturulan MODFLOW giriş verileri ve dosya kümesi kaydedilir. Bu dosyalar GMS MODFLOW menüsünden başlatılan MODFLOW tarafından okunur. MODFLOW çıktısı post-processing için GMSye ithal edilmektedir.

MODFLOW özel bir sürümü GMS ile dağıtılmaktadır. MODFLOW bu sürümü USGS tarafından dağıtılan sürüm olarak öncelikle hdf5 dosyalarından okuma veri girişi dahil olmak üzere giriş dosyası ile ilgili bir kaç küçük değişiklik dışında aynıdır. Bu değişikliklerin açıkça kodu işaretlenmektedir (İnt.Kyn.2).

3.2.1.Yeraltı suyu Modelleme Yöntemi

Bir MODFLOW modeli oluşturabilmek için GMS de iki metod vardır. Bunlar; bir ızgara hücrelerine değerleri doğrudan atama ve düzenleme yapan Izgara Yaklaşımı (grid aproach) ve harita modülünde nesnelerin özelliklere kullanılarak üst düzey gösterim oluşturarak GMS de hücrelere değerlerin otomatik olarak atanması izin veren 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 doğrudan çalışır. Kavramsal model yaklaşımı bir yerin modellenmesinde kavramsal model geliştirmek için harita modülünde CBS araçları kullanılır. Daha sonra kavramsal model verileri ızgaraya kopyalanır. Çoğu durumda, Kavramsal model yaklaşımı ızgara yaklaşım daha etkilidir. Bununla birlikte, ızgara yaklaşım hücre tarafından hücre içi düzenleme gerekli olan basit problemler ya da akademik uygulamalar için kullanışlıdır.

Kavramsal model yaklaşımında beslemeler ve giderler, hidrolik iletkenlik, tabaka parametreleri, model sınırları ve simülasyon için gerekli tüm diğer veriler tanımlanır. Model tamamlandıktan sonra ızgara oluşturulur ve hücreden hücreye atamaların tümü otomatik olarak gerçekleştirildikten sonra kavramsal modelin ızgara modeline dönüştürülür (İnt.Kyn.2).

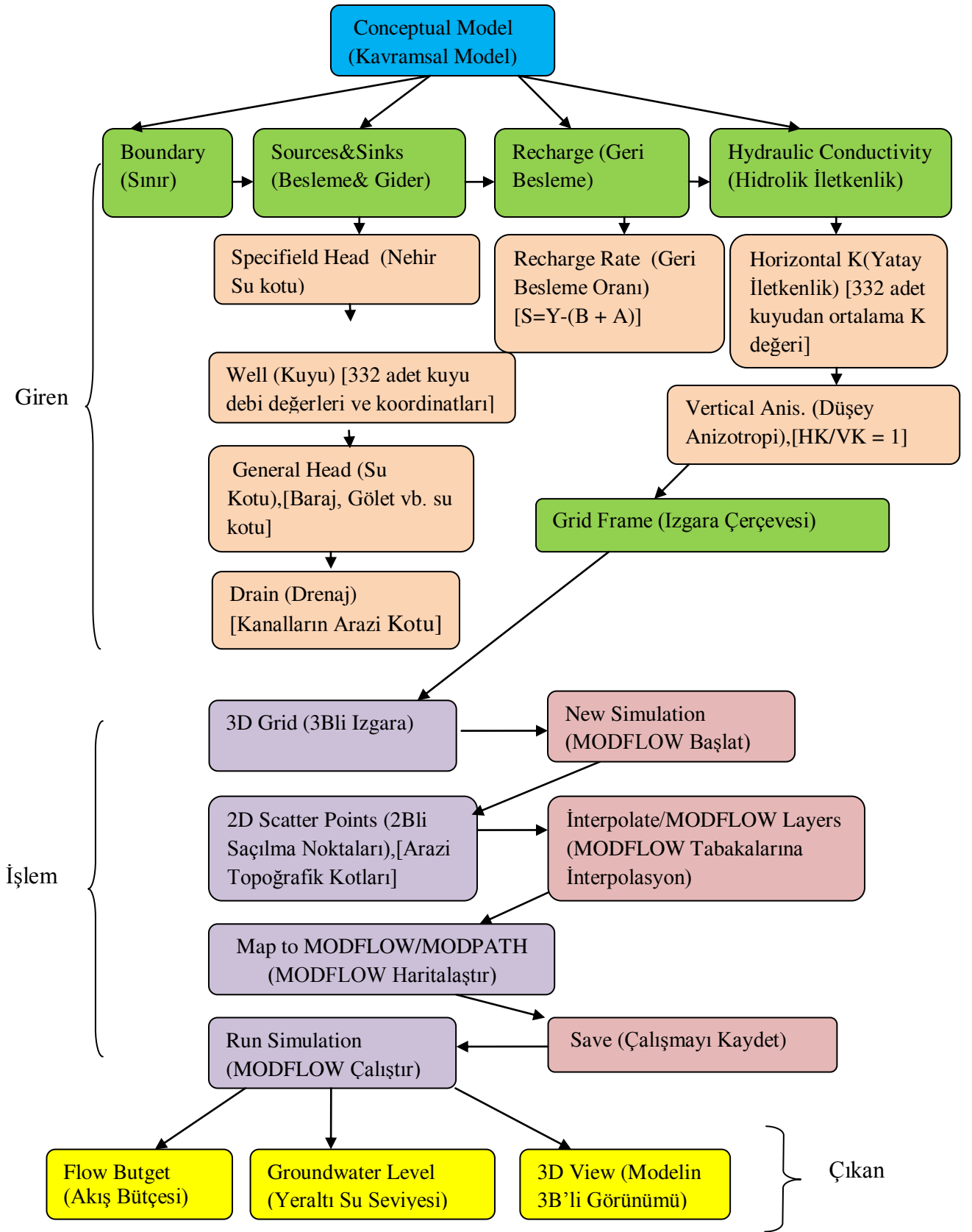
3.2.1.1.Kavramsal Model Yaklaşımı (Conceptual Model Approach)

GMS de kavramsal model terimi iki farklı şekilde kullanılır. Genel anlamda kavramsal model, sınır koşulları ve malzeme bölgeleri dahil olmak üzere basitleştirilmiş temsili bir gösterimdir. GMS'de harita modülünde tanımlanabilen model nesneleri kavramsallaştırılır. Kavramsal model nesne kapsamı içerir. Bir kavramsal model nesnesi harita modülünde noktalar, yaylar ve çokgenler gibi nesne özellikleri kullanarak

tanımlanabilir. Kavramsal model sayısal ızgaradan bağımsız olarak yapılır. Kavramsal model tanımlandıktan sonra modele uyacak ızgara oluşturulur. Sınır koşulları ve model parametreleri hesaplanır ve uygun hücrelere atanır. Izgara hücreleri için MODFLOW verileri kavramsal modelden dönüştürülür. Bu yaklaşım modellemeye veri girişini otomatikleştirir ve genekselleşmiş hücreden hücreye düzeltme gibi ihtiyaç duyulan işlemleri ortadan kaldırır. Kavramsal modeli oluşturulur ve bir ızgara ile dönüştürüldükten sonra, MODFLOW menü içinde paket ve etkileşimli iletişim düzenleme araçları, eğer istenirse veri düzenlemek veya gözden geçirmek için kullanılabilir.

Tam bir kavramsal model nesnesi birkaç kapsamdan oluşur. Kuyular, nehirler, göller ve kanal gibi beslemeler ve giderler tanımlamak için tipik olarak bir kapsam kullanılır. Geri besleme bölgeleri tanımlamak için başka kapsam yada aynı kapsam kullanılır. Diğer kapsamlar her tabaka içinde hidrolik iletkenlik bölgelerini tanımlamak için kullanılabilir. Kapsama herhangi bir sayı kullanılabilir, ya da tüm bu özellikleri aynı kapsamada bulunabilir. Özellik verilerine ek olarak, bir kavramsal modelin tabaka yüksekliklerini tanımlamak için diğer verileri (dağılım noktaları, sondaj kuyuları, katı maddeler) de içerebilir. GMS’de tabaka yükseklik verilerin manipüle edilmesi için bir dizi özel araçlar sağlanır (İnt.Kyn.2).

Şekil 3.1’de Kavramsal model yaklaşımında kullanılan parametreler akış şeması şeklinde verilmiştir.



Şekil 3.1 Kavramsal Model Yaklaşımının akış şeması

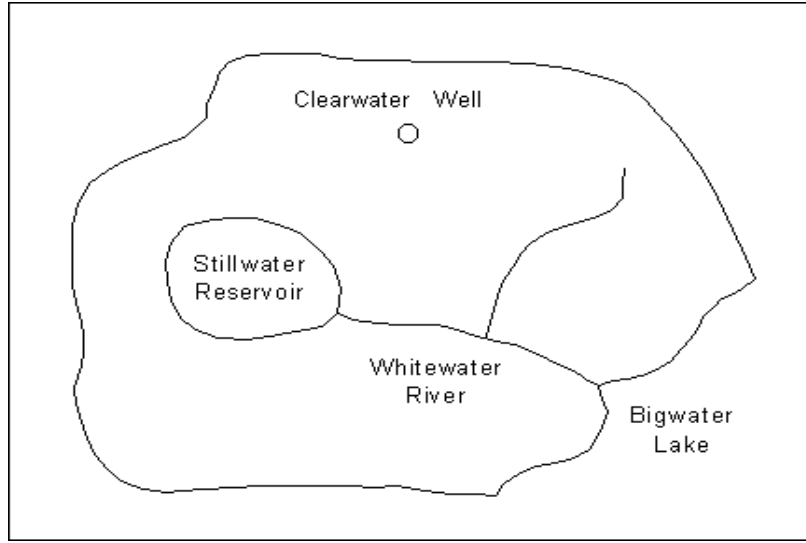
Bir MODFLOW kavramsal model ve sayısal model için kavramsal model dönüştürme çeşitli adımlarla sağlanmaktadır. Temel adımlar aşağıdaki gibidir.

1. Harita Modülünde bir MODFLOW kavramsal model oluşturulur.
2. Kaç tane kapsama (coverage) ihtiyacımız olduğuna ve her birinde kapsamda ne tip özellikler istendiğine karar verilir. Her biri farklı amaca yönelik olan tipik 3 tip kapsam kullanılır. Beslemeler ve giderler (Sources & Sinks), kuyular, belirtilen sınır yükseklikleri vb. için bir kapsam tanımlanır. Diğer kapsam geri beslenme alanları (Recharge zone) için, kapsamlardan diğeri ise hidrolik iletkenlik (Hydraulic Conductivity) değerlerini tanımlamak için oluşturulur. Bununla birlikte, bu şekilde kapsamalar kullanmak için gerekli olan ve bir kapsama alanı ile bağlantılı özellikleri kullanıcı tanımlıdır, bu nedenle özelliklerin herhangi bir kombinasyonu ile kapsama alanı tanımlamak için değildir. Böylece, geri beslenme alanları da hidrolik iletkenlik bölgeleriyle aynı olursa her ikisi için tek bir kapsam kullanabilirsiniz.
3. Besleme ve giderler oluşturulur. Bunu yapmanın en etkili yolu bir arka plan resmi ile olur Taranan bir harita ya da yerin bir hava fotoğrafını temsil eden bir dijital görüntü alınır ve görüntü araçları kullanarak arka planda görüntülenebilir. Resim görüntüledikten sonra, nesne özellikli model sınırı, nehirler, göller, akış bariyerleri tanımlama ve belirtilen sınır yükseklikleri plan resminin üst kısmında oluşturulabilir.
4. Geri besleme ve buharlaşma bölgelerinin alansal özellikleri oluşturulur.
5. Hidrolik iletkenlik bölgelerinin tabaka özellikleri oluşturulur.
6. Kavramsal model üzerinde sayısal bir ızgara ana hat yerleştirmek için Grid Frame (Izgara Çerçevesi) komutu kullanılır. Çerçeve sadece kavramsal modelin çevreleyecek şekilde yerleştirilir. Gerekirse modelin ana eksenine açılı olarak çerçeve döndürülebilir.
7. Çerçeve üzerinde otomatik klavuz çizgileri oluşturmak için Feature Object/3D Grid > Map komutu kullanılır. Izgara yeri Grid Frame tarafından control edilir ve ızgara yoğunluğu otomatik olarak kullanıcı tarafından belirtilen nokta (genellikle kuyu) etrafında artar. Böylelikle modele 3boyut verilmiş olur.

8. Activate Cells in Coverage (Kapsamda Aktif Hücreler) komutu kullanılarak ızgaranın aktif bölgesi tanımlanır. Bu işlem otomatik olarak kavramsal model sınırları içindeki tüm hücreleri active (aktif) ve sınırın dışındaki tüm hücreleri inactive (aktif olmayan) eder.
9. MODFLOW menüsünden Nem Simulation (Yeni Simülasyon) komutu seçilerek MODFLOW verileri hazırlanır. Mod tipi sabit – kararlı durum (steady state) veya geçişli (transient) durumlarından biri seçilir. Gerekirse Stress Periods (stress periyodu) tanımlanır.
10. Map > MODFLOW komutu kullanılarak, MODFLOWsınır koşulları, stress ve malzeme özellikleri ızgaradaki uygun hücrelere otomatik olarak atanır.
11. Tabaka yüksekliklerini tanımlamak için özel interpolasyon araçları kullanılır.

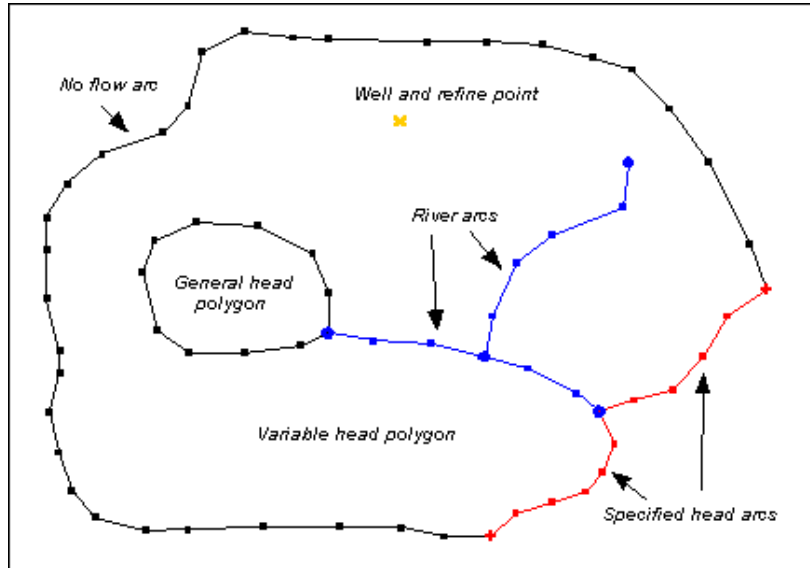
Kavramsal model oluşturmak için kullanılan bu adımlar; bir noktanın yada yayın yer değişimi yada kullanıcı tarafından atanan model oluşturmak için gerekli parametlerde olabilecek değişiklikler gibi durumlarda tekrar tekrar yapmak gerekebilir. Bunun için her adımı en baştan yapmak uzun ve zahmetlidir. Yukarıda sıralanan adımlardan 6. adımdan sonra yapılan her işlem kaldırılıp model üzerinde değişiklikler yapılarak buradan devam edilebilir. Kavramsal model yaklaşımını daha iyi anlayabilmek için örnek bir uygulamaya yer verilmiştir (İnt.Kyn.2).

Kavramsal model yaklaşımını göstermek için Şekil 3.1 de gösterildiği gibi temsili bir yer haritası düşünelim. Bu haritalar, fotoğraflar ve CBS verileri dahil olmak üzere kaynakların bir arada bulunabilen bilgilerini temsil eder. Bu bilgiler, hidrolojik yer ve bu yerin hidrolojik özelliklerini de içerebilir. Bununla birlikte, bu bilgi henüz sayısal bir model için yararlı olan bir biçim halinde düzenlenmiş değildir. Şekil 3.1 de temsili haritada su rezervuarı, nehir, kuyu ve göl görülmektedir.



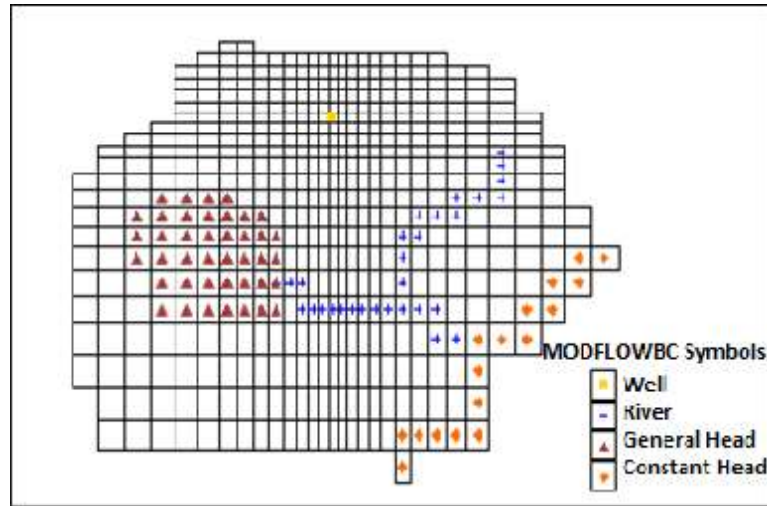
Şekil 3.2 Modelleme yapılacak temsili harita (İnt.Kyn.2)

Bu yerin kavramsal modelini oluşturmanın ilk adımı noktaları, yayları ve hidrolojik özellikleri temsil eden poligonları oluşturmaktır. Bu noktalar, yaylar ve çokgenlerin temsil ettikleri özelliğe karşılık gelen tipleri atanır. Özellik türüne bağlı olarak, yükseklik, konsantrasyon ve iletkenlik gibi parametreler bu nesnelerin özelliklerinde atanır. Bölge özelliklerinin nesneleştirildiği kavramsal model Şekil 3.2’ deki gibidir. Bu gösterimde geri besleme bölgeleri kapsamında tanımlanabilir (İnt.Kyn.2).



Şekil 3.3 Kavramsal model (İnt.Kyn.2)

Kavramsal model yaklaşımındaki son aşama, kavramsal modeldeki toplanmış bilgileri alıp sayısal modele dönüştürmektir. GMS, ızgara geometrisinin oluşturulmasının yanı sıra ızgaraya sınır koşullarını ve malzeme parametrelerini atamayı otomatikleştirir. Izgaradaki daraltılmış alanlarda Refine Points (Yenileme Noktaları) olduğundan dolayı sıklaşma olmaktadır. Modeli tam olarak temsil eden çokgen alanını belirleyerek, bu alan dışında kalan bütün hücreleri otomatik olarak inactive (aktif olmayan) etmek mümkündür. Sınır koşulları belirtilen nesne özelliklerinin kestiği hücrelere tek tek uygulanabilir. Sınır koşullarının atanmış olduğu hücrelerin belirlenmesine ek olarak GMS, geçici simülasyonların her bir gerilme süresini atamak için uygun değerleri hesaplar. 3 boyuta dönüştürülmüş kavramsal modelin hücrelerindeki MODFLOW özelliklerinin sayısal modele dönüştürülmüş örnek gösterimi Şekil 3.3'deki gibidir (İnt.Kyn.2).



Şekil 3.4 Sayısal modele dönüştürülmüş kavramsal model (İnt.Kyn.2)

Kavramsal model yaklaşımının sayısız yararları vardır. Her şeyden önce, modelin bağımsız olarak ızgara çözünürlüğü tanımlanabilir. Hücreler arasında tanımlanan nehir uzunluklarını ve nehrin iletkenliğini uzun zaman harcamadan modelleyici tarafından otomatik olarak hesaplanabilmektedir. Kuyular için pompalama gibi geçici parametreler model içerisinde bağımsız olarak tanımlanabilir. Geçici parametreler gerilme ve zaman eğrisi olarak girilebilir. Kavramsal model sayısal modele dönüştüğü zaman uygun gerilme periyodu için geçici gerilme değerleri otomatik olarak atanır. Kavramsal model, sayısal modelden mekansal ve zamansal ayrıklaştırma olarak bağımsız tanımlandığından

dolayı, kavramsal model hızlı ve kolayca değiştirilebilir ve yeni bir sayısal model saniyeler içinde oluşturulabilir. Izgara hücreleri için sınır koşulları uygulama yöntemi olan MODFLOW ve MT3DMS gibi sonlu farklar modellerinde nesne özellikleri ile depolama özelliklerinin bulunması başka bir avantajdır. Kullanıcı tarafından tanımlanan değerlerin bir hücreden başka bir hücreye defalarca girilmesi yorucu ve zaman alıcıdır. Ayrıca her bir hücrenin bir nehir segmenti boyunca doğru yüksekliği belirlemek zordur. Seri hücrelerinin küçük bir grubunu seçip bu hücrelerin tamamına aynı değerleri girmek, sayısal çözücülerin yakınsama yapabilmesi için değerler arasında aşırı farklılık nedeniyle çözümün sonuçsuz kalmasına yol açmaktadır. Yani çözücüler yakınsama yapamamaktadır. Bir nehir gibi doğrusal sınır koşullarına sahip interpolasyon değerleri GMS kullanılarak hücreler arasında aşırı farklılıkları önler. Aynı zamanda daha doğru ve gerçek dünya koşullarını temsil eden sınır koşullarına sahip bir model üretir (İnt.Kyn.2).

3.2.1.2 Programda Kullanılan Hidrolik Terimler

Sınırlar (Boundaries):Modeli yapılacak yerin tüm akış sisteminin nasıl etkileşeceğini belirtmek için sınır tanımlamak gereklidir. Etkin modelin etrafında oluşturulur. Programa bu sınırlar dahilinde hesap yapılması kodlanmış olur. Model sınırları gerçek sınırlar ile eşleşmiş olmalıdır. Tabakalar ve yüzey suları modelde sınırlar olarak ifade edilir.

Başlangıç Hidrolik Seviyeler:Hidrolik koşullarla ilgili model sınırıdır. Toprağın suyla ayrıldığı akifer bölgelerinde, geri besleme yada dışa akımın olduğu yerlerde arazi kotlarının düşük yada yüksek olan alanların belirtildiği yerlerdir (İnt.Kyn.2).

Sınır Koşulları ve Izgara Ağları: Programda akifer sistemin sınır koşulları iki tür olarak tanımlanır. Akifer sisteminde akarsu, nehir, ırmak, göl gibi alanların olduğu

bölgelerde akımın olduğunu, bunlar dışında kalan bölgelerde ise akımın olmadığı sınır koşulları olarak tanımlanır. Yer altı suyu akım denklemi yalnızca aktif olarak modellenen 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 biralan 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 ve ya 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. Bir akifer ne zaman göl, nehir veya bir rezervuar ile doğrudan bir hidrolik ilişki içinde olursa o zaman sabit seviye sınırları söz konusu olmaktadır (Hökelekli 2010).

Akış Olmayan Sınırlar (No – Flow Boundaries): Oluşturulan fiziksel model sınırları üzerinde hiç bir jeolojik ve hidrolojik özelliklerin tanımlanmadığı sınırlardır (İnt.Kyn.2).

Belirli Yükseklik veya Sabit Yükseklik (Specified Head or Constant Head): Model sınırları üzerinde akışın olduğunu gösteren sınırlardır. Modelleme yapılırken nehir, kanal, göl sınırı, akışa bağlı yüksekliklerdir ve su kotu değerleri sabit yükseklik olarak programa tanımlanır.

Beslemeler ve Giderler (Sources & Sinks): Nehir, kanallar, kuyular ve yüzeyde biriken sular programda besleme ve gider olarak tanımlanır. Akiferi besleyen yada akiferden

çekilen yada sızan su miktarı belirlenerek akiferin kuru yada verimli olduğu belirlenmiş olacaktır.

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

Su Kotu Yüksek Bölge (General Head): Bağımlı akış sınırlarını simüle etmek için kullanılmaktadır. Programda General – Head Boundary Paketi kullanılmaktadır. Bu pakette akış daima su kotu farkı ile orantılıdır. Programda model oluşturulurken barajlar, göletler, su birikintileri General Head olarak tanımlanmaktadır. Barajlar, göletler ve su birikintileri sabit su kotuna sahiptirler. Su kotu ve iletimlilik değerini tanımlamak paket kullanımı için yeterli olacaktır.

Geri Beslenim- Sızma (Recharge): Yer altı su sızma oranını tanımlamaktadır. Recharge tanımlarken programın recharge paketi kullanılmaktadır. Yağışın hesaplandığı formülden yola çıkılarak; yağış, buharlaşma, akım değerlerinden sızma miktarının bulunup tüm alana tanımlanarak programa girilir. Oran olarak tanımladığı için recharge değerinin birimi (L/T) m/gün'dir (İnt.Kyn.2).

Izgara (Grid): Sonlu farklar modelinde ızgara, dikey ve yatay çizgilerin birleşerek çerçeve oluşturmasıdır. Bu çizgilerle oluşturulan bloklara hücre denir. GMS'de üç tip 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 simülasyonyapılırkenakışın olduğunu temsil eden hücrelerdir.
- Sabit hücreler (Constant- head cell): Model sınırları dahilinde sabit yüksekliklerin tanımladığı hücrelerdir (İnt.Kyn.2).

4.UYGULAMA

4.1 Model Çalışmasında Kullanılan Veriler

Bu çalışmada kullanılan hidrolik ve hidrolojik veriler Tezcan'ın Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve yeraltı suyu akım modeli 2. Ara raporu (1999) çalışmasından alınmıştır. Modelin sınır koşulları ve ızgara ağları oluşturulurken akiferin göl, nehir veya bir rezervuar ile doğrudan hidrolik ilişki içinde olduğu sınırlar sabit- belirlenmiş seviye (specified or constant head) sınırları olarak tanımlanmıştır. Modelde Akarçay nehrini temsil eden yaylar ve Eber gölü sınırlarına çizilen yaylar sabit yükseklik olarak tanımlanmıştır. Sabit yükseklik değeri için Akarçay nehri ve Eber gölü su kotu veri olarak kullanılmıştır. Akarçay havzasının güneyinde akış olmadığı için bu bölgeleri temsil eden yaylar akış olmayan sınırlar olarak tanımlanmıştır.

Modellemede bölge sınırları içerisinde yer alan 332 kuyu tanımlanmıştır. Bu kuyulardan çekilen su miktarları (debi (Q_p) $m^3/gün$) ve kuyu numaraları aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Çizelge 4.1'de kuyu pompa debileri çizelge 4.2'de kuyu koordinatları verilmiştir.

Modellemede kullanılan yatak hidrolik iletkenlik değeri, tabaka için kullanılan kaynaktan alınan verilerin ortalaması alınarak sabit bir değer girilmiştir. Model için gerekli olan transmisibilite (iletimlilik) değerinde tabaka için ortalama bir değer girilmiştir. Aşağıdaki çizelgede tabaka için belirlenmiş hidrolik değerler verilmiştir. İletimlilik değeri kuru dere yataklarını (Drain) tanımlarken ve su kotu yüksek bölge olarak tanımlanan General Head poligonlarında kullanılmıştır. Kuru dere yatakları ve su kotu yüksek bölge 1. Tabakada olduğu için modelimizde tek tabaka olduğu için belirlenen iletkenlik katsayısı programa girilmiştir. Hidrolik iletkenlik (K) ($m/gün$) değeri ile iletimlilik katsayısı T ($m^2/gün$) değeri 332 kuyu değerlerinin ortalaması alınarak sırasıyla 6,018 $m/gün$ ve 345,97 $m^2/gün$ hesaplanarak programda kullanılmıştır.

Çizelge 4.1 Modelde kullanılacak kuyular ve debi değerleri (Tezcan vd. 1999)

Kuyu No	Qp (m ³ /gün)	Kuyu No	Qp (m ³ /gün)	Kuyu No	Qp (m ³ /gün)	Kuyu No	Qp (m ³ /gün)	Kuyu No	Qp (m ³ /gün)	Kuyu No	Qp (m ³ /gün)
88	345,6	11659	4752,0	30771	1788,5	39012	449,3	43253	3775,7	50001	2859,8
91	518,4	11660	5529,6	31682	1728,0	39012	3049,9	43254	3309,1	50002	570,2
92	345,6	11661	2954,9	31875	639,4	39013	3577,0	43341	2617,9	50003	4752,0
4073	2185,9	12604	561,6	31876	5460,5	39014	2782,1	43489	3248,6	50003	1823,0
4075	2185,9	12604	1175,0	31877	3637,4	39298	259,2	43833	3775,7	50348	2246,4
4075	2185,9	12605	708,5	31878	2263,7	39299	172,8	45721	1477,4	50373	622,1
6262	1805,8	12606	345,6	31881	2678,4	39300	535,7	45722	1399,7	50493	699,8
7650	1494,7	12607	2082,2	31882	3049,9	40907	1823,0	45869	3041,3	50494	4363,2
7653	1589,8	12608	2185,9	32432	4415,0	40908	3049,9	45871	3637,4	50536	967,7
7793	535,7	12609	5382,7	33131	5460,5	40909	1909,4	45872	3637,4	50537	3136,3
7793	224,6	12610	3317,8	34634	1728,0	40924	2859,8	45873	2030,4	50538	1321,9
7794	1641,6	12611	4968,0	34956	5460,5	40925	699,8	46161	872,6	50539	3896,6
7795	1209,6	12612	2125,4	34957	5460,5	40925	86,4	46162	1175,0	50540	1477,4
7797	2436,5	12613	872,6	35596	216,0	40926	432,0	46163	1529,3	50541	872,6
7797	1296,0	12614	3654,7	36129	3637,4	40927	3896,6	46164	1296,0	50543	622,1
7798	1296,0	14530	129,6	36130	3637,4	40927	1062,7	46229	1010,9	50544	1088,6
7931	1987,2	14531	1114,6	36131	2617,9	40928	1088,6	46669	2341,4	50545	1175,0
7932	1728,0	14532	786,2	36132	1226,9	40929	2617,9	47091	414,7	50546	1010,9
8373	2315,5	14595	777,6	36442	2617,9	40930	3049,9	47091	941,8	50547	2695,7
8374	1944,0	14597	544,3	36568	1477,4	40963	4613,8	47091	3948,5	50548	717,1
9622	1175,0	15020	3119,0	36610	3507,8	40983	3378,2	47607	3948,5	50549	2643,8
11151	2445,1	15021	1304,6	36770	622,1	40984	3896,6	47853	172,8	50635	2643,8
11152	3447,4	15022	3049,9	36771	786,2	40985	1788,5	47854	5460,5	50635	172,8
11153	2246,4	15023	3888,0	36772	596,2	41151	4466,9	47854	2030,4	50639	717,1
11154	2920,3	15025	5529,6	36773	4363,2	41577	4752,0	48018	5460,5	50640	1226,9
11155	1944,0	15025	1209,6	36789	4363,2	41829	699,8	48019	1468,8	51029	2989,4
11157	1166,4	15026	2859,8	36790	3775,7	42362	1728,0	48635	1728,0	51030	2341,4
11158	1226,9	15711	5529,6	36791	3637,4	42588	2989,4	48636	3896,6	51322	1175,0
11159	2782,1	15828	2160,0	37122	3049,9	42589	2782,1	48911	4613,8	51323	1088,6
11160	2920,3	15829	864,0	37625	717,1	42590	2617,9	48991	3049,9	52289	1909,4
11246	1909,4	15831	630,7	37625	2609,3	42835	1486,1	49184	302,4	52315	2859,8
11247	3378,2	18504	941,8	37626	3507,8	42837	2505,6	49185	2617,9	52399	3378,2
11249	2799,4	18505	1382,4	37634	967,7	43105	4078,1	49192	4363,2	52510	4415,0
11250	2799,4	18506	2989,4	37635	699,8	43166	172,8	49430	1399,7	52514	2142,7
11251	3222,7	18507	4466,9	37636	1010,9	43167	5624,6	49431	2341,4	52515	1062,7
11252	2566,1	18508	2125,4	37637	2617,9	43177	3179,5	49432	1814,4	52913	43,2
11253	2540,2	18509	2859,8	38417	3827,5	43179	2617,9	49435	872,6	52970	1304,6
11254	3145,0	18510	2531,5	38682	3948,5	43180	5201,3	49436	622,1	52971	2989,4
11255	3378,2	18511	3637,4	38683	1296,0	43234	1728,0	49437	3049,9	52977	4363,2
11256	2989,4	18512	2341,4	38684	5460,5	43235	5201,3	49758	3049,9	53434	3119,0
11257	2825,3	18513	5279,0	38685	2030,4	43236	5201,3	49812	3317,8	53626	1658,9
11657	2419,2			38716	449,3			50000	2246,4		

Çizelge 4.2 Modelde kullanılacak kuyular ve koordinatları

No	X	Y	Z	No	X	Y	Z	No	X	Y	Z	No	X	Y	Z
88	292265	4257809	1125	18588	326100	4274800	1000	30771	286600	4293700	998	43253	333900	4272664	1012
91	289711	4271755	1135	18588	327785	4275174	1000	31682	328614	4273506	1030	43254	334607	4271957	1022
92	294281	4272571	1142	18589	327450	4275100	996	31875	312300	4276400	998	43341	287080	4257390	1140
4073	252971	4295558	1092	18590	329190	4275000	1005	31876	312035	4277735	994	43489	289816	4272344	1145
4075	271064	4293664	1088	18591	328651	4275244	1010	31877	312456	4277096	988	43833	264446	4293413	1084
4075	272090	4293138	1071	18592	327596	4275734	995	31878	312929	4276565	988	45721	280250	4295450	1008
6262	263731	4295011	1082	18592	327621	4275724	995	31881	278400	4299400	1013	45722	280100	4295400	1008
7650	288550	4289275	1010	18593	328532	4274759	995	31882	278300	4289950	1014	45869	288387	4261299	1123
7653	288063	4289850	1008	18594	328931	4276072	1004	32432	317150	4274950	992	45871	319088	4270450	1068
7793	286262	4260485	1140	18595	329458	4275572	997	33131	314301	4275581	1050	45872	318948	4270235	1064
7793	286278	4260485	1140	18662	268870	4292517	1069	34634	286404	4256428	1150	45873	318964	4270010	1063
7794	289775	4264022	1120	18663	268854	4292024	1072	34956	292469	4272992	1136	46161	286975	4289025	1034
7795	287052	4261233	1135	18664	268946	4291706	1072	34957	293675	4272660	1135	46162	286700	4288950	1036
7797	288919	4267946	1123	19012	287942	4265966	1124	35596	291689	4256157	1145	46163	273315	4294957	1045
7797	288943	4267926	1123	19058	289034	4268176	1125	36129	293344	4269861	1123	46164	273592	4294533	1045
7798	289000	4291000	1123	19059	289263	4267758	1126	36130	293416	4269311	1125	46229	278475	4299400	1195
7931	263393	4294971	1083	19060	288447	4269416	1129	36131	294041	4269610	1127	46669	290514	4275009	1030
7932	263186	4294849	1085	19062	288862	4267306	1121	36132	293889	4268998	1132	47091	262622	4292240	1100
8373	262959	4294400	1088	19063	289865	4266091	1124	36442	288850	4285700	1024	47091	262871	4292156	1091
8374	263354	4293553	1091	19064	287181	4266536	1128	36568	293583	4273428	1135	47091	263528	4291929	1135
9622	267055	4290429	1083	19065	286618	4266717	1128	36610	308946	4278964	1040	47607	287403	4257607	1034
11151	268000	4298000	1060	19066	287392	4265888	1127	36770	290861	4258080	1025	47853	288750	4285750	1025
11152	269000	4295000	1065	19073	265452	4295939	1076	36771	292107	4259681	1025	47854	288600	4285525	1109
11153	269000	4295000	1068	19074	265017	4296229	1085	36772	290059	4258245	1025	47854	288875	4285500	1025
11154	271887	4295162	1060	19075	265995	4296490	1080	36773	293786	4259117	1110	48018	293835	4259539	1105
11155	271733	4293371	1066	19317	287866	4268940	1129	36789	333917	4272298	1008	48019	293367	4259984	1126
11157	271258	4294433	1060	19318	288481	4268718	1127	36790	333635	4272556	1010	48635	288573	4259111	1126
11158	271561	4295559	1060	19319	289129	4268761	1125	36791	333320	4272720	1020	48636	288787	4258536	1062
11159	270899	4295772	1062	19320	287985	4268317	1129	37122	286512	4256698	1150	48911	267403	4299516	1107
11160	270000	4298000	1066	19321	288475	4268355	1127	37625	290196	4273279	1155	48991	293915	4258810	1000
11246	265346	4292820	1081	19322	286279	4267308	1128	37625	290197	4272572	1155	49184	293175	4288950	1030
11247	265948	4293465	1077	20086	286853	4266406	1129	37626	290465	4272779	1150	49185	294525	4288475	1127
11249	263996	4293106	1088	20087	287026	4265942	1128	37634	262836	4290802	1110	49192	289142	4269427	1140
11250	264373	4293663	1084	20113	310150	4279200	1002	37635	263590	4290454	1111	49430	294356	4273115	1143
11251	264650	4293127	1083	20336	289353	4258081	1026	37636	262975	4289901	1122	49431	294344	4273532	1146
11252	265034	4295323	1076	20337	288797	4258529	1026	37637	263576	4290151	1120	49432	294340	4272789	1013
11253	264365	4294999	1079	20338	288562	4258978	1026	38417	332778	4273271	990	49435	281150	4295050	1015
11254	264211	4294366	1083	20339	289525	4258910	1026	38682	287177	4263652	1127	49436	281525	4294925	1022
11255	265135	4293286	1080	20908	327739	4274190	1011	38683	287492	4264149	1127	49437	281480	4294800	1025
11256	263889	4293876	1087	20909	326824	4274655	1000	38684	286784	4264185	1129	49758	307887	4279014	1090
11257	264303	4295910	1076	20910	327409	4274731	1002	38685	286583	4263756	1130	49812	268273	4290162	1096
11657	294900	4284625	1003	20911	327465	4275517	995	38716	285000	4268550	1130	50000	263337	4293151	1128
11659	294750	4288150	1030	20912	326848	4275088	995	39012	307359	4279161	1025	50001	287285	4264828	1133
11660	295500	4288650	995	20913	326425	4274881	995	39012	307916	4279458	1035	50002	286760	4265126	1135
11661	295100	4288000	996	21880	336043	4272791	1014	39013	306488	4280218	1011	50003	285957	4265356	1130
12604	252297	4294602	1170	21881	335983	4273188	1002	39014	306472	4279935	1010	50003	286974	4264871	990
12604	252931	4294943	1034	22312	266767	4290591	1086	39298	289350	4286100	1012	50348	310362	4279091	1134
12605	252912	4294910	1172	22313	267000	4291200	1083	39299	289400	4285100	1018	50373	288483	4269404	1127
12606	251278	4294885	1185	22314	265776	4290657	1089	39300	288400	4285850	1015	50493	287358	4265836	1178
12607	253931	4295171	1158	22315	265350	4290857	1088	40907	288082	4271304	1152	50494	254008	4294282	1125
12608	253307	4295900	1266	22316	335319	4272438	1015	40908	287752	4271052	1160	50536	292857	4269141	1125
12609	253551	4295365	1225	22317	334876	4272992	100	40909	287766	4271607	1167	50537	293255	4268885	1125
12610	290105	4271599	1135	22318	334506	4272654	996	40924	283750	4267700	1150	50538	293377	4268641	1078
12611	289824	4272344	1135	25042	333566	4272984	1000	40925	282500	4267325	1147	50539	265854	4292650	1079
12612	289764	4271714	1137	25043	334200	4273800	985	40925	284075	4267700	1147	50540	266365	4293772	1090
12613	292280	4273210	1142	25044	330208	4273510	998	40926	284650	4267800	1142	50541	263814	4292748	1086

Çizelge 4.2 (Devam) Modelde kullanılacak kuyular ve koordinatları

No	X	Y	Z	No	X	Y	Z	No	X	Y	Z	No	X	Y	Z
12614	289406	4272010	1143	25095	254370	4294383	1174	40927	288876	4259981	1122	50543	253305	4295465	1132
14530	294000	4284500	1005	25096	254559	4294816	1170	40927	289383	4261156	1121	50544	253935	4295617	1212
14531	294500	4285050	1002	25097	253959	4294330	1178	40928	289584	4260408	1122	50545	253393	4296050	1143
14532	294000	4285050	1000	25615	292742	4271709	1129	40929	289204	4260159	1122	50546	258520	4292987	1145
14595	288092	4259318	1130	25616	291993	4271663	1129	40930	288227	4260197	1126	50547	258158	4293128	1147
14597	286750	4258873	1150	25617	292257	4271940	1129	40963	329170	4274968	1005	50548	257708	4293500	1160
15020	308287	4279964	1010	25619	292788	4272360	1131	40983	254018	4296003	1224	50549	256884	4293635	1090
15021	307838	4280222	1009	25620	291970	4272374	1131	40984	254353	4296429	1156	50635	267525	4289400	1085
15022	308789	4279852	1007	25624	264850	4288750	1130	40985	254800	4295895	1151	50635	267772	4290259	1094
15023	309566	4279436	998	26713	247246	4297514	1145	41151	282825	4270825	1175	50639	270607	4290303	1090
15025	307860	4278951	1028	27307	318245	4270209	1050	41577	268800	4290850	1065	50640	271360	4290204	1096
15025	307888	4278952	1028	27308	318912	4271032	1055	41829	254902	4291376	1212	51029	290594	4272254	1145
15026	310401	4279084	990	27309	318733	4270655	1060	42362	272010	4294550	1060	51030	289370	4272024	1135
15711	308954	4278908	1009	28614	331053	4273826	990	42588	320724	4270735	1060	51322	255312	4294203	1069
15828	261691	4291740	1111	28615	330722	4274412	990	42589	320619	4271166	1070	51323	255887	4293880	1068
15829	263369	4292447	1091	28682	329061	4274251	1008	42590	319896	4271267	1088	52289	290124	4274356	1194
15831	262907	4292154	1098	28683	328876	4274396	1013	42835	253849	4293851	1184	52315	253911	4294428	1178
18504	288382	4267352	1123	28684	328778	4274049	1022	42837	288250	4285550	1030	52399	288092	4259263	1130
18505	288653	4267088	1126	28685	328250	4274215	1020	43105	280800	4295750	1009	52510	264761	4295086	1076
18506	289065	4269440	1127	29898	310975	4279200	984	43166	296650	4282275	1023	52514	308345	4279078	1020
18507	289527	4269453	1126	29973	286611	4262444	1128	43167	296325	4282200	1017	52515	310509	4279308	985
18508	289158	4266632	1124	29973	287815	4262207	1126	43177	336237	4271775	1039	52913	252285	4292345	1220
18509	289573	4266188	1123	29974	286841	4262454	1128	43179	336182	4271559	1050	52970	286168	4262643	1135
18510	286871	4267226	1131	29976	310025	4279700	995	43180	326533	4274264	1000	52971	285996	4262372	1135
18511	287035	4267095	1129	30173	333060	4273503	980	43234	290086	4262842	1120	52977	293677	4258564	1115
18512	287670	4266521	1126	30336	289800	4294450	1005	43235	289562	4262954	1120	53434	268366	4292168	1071
18513	288189	4266157	1125	30451	261961	4291717	1112	43236	289667	4263435	1120	53626	268174	4299169	1089

Modellemede yeraltı suyu akım modeli için 3B' ızgara modülünden MODFLOW paketi kullanılmıştır. Modelleme yapılırken arazi kotlarının programa girilmesi gerekmektedir. Modelimiz 1.tabaka (üst), 1.tabaka (alt) olmak üzere tek katman üzerine kurulmuştur. Tek tabakalı bir modelleme işleminde toplamda iki tane yükseklik (kot) değeri programa eklenere, 1.tabakanın üstü çalışma alanımız olan Akarçay Güney Alt Havzasının arazi yüzey kotlarını vermektedir. Harita Genel Komutanlığından alınan 1/25 000'lik haritalar CBS program yardımıyla GMS programına aktarılmıştır. Çalışmamızda kullanılan kot sayısı 10244 adettir. Yükseklik birimi metre (m)'dir.

Çizelge 4.3 Akarçay Güney Alt Havzası Arazi Yüzey Kotları

Nokta no	X koordinatı (m)	Y koordinatı (m)	Arazi Yüzey Kotları(m)
1	286588,1563	4250439,5	1477,177
2	286113,1875	4250439,5	1418,147
3	285638,2188	4250439,5	1372,061
4	285163,25	4250439,5	1390,901
5	284688,2813	4250439,5	1414,776

Çizelge 4.3 (Devam) Akarçay Güney Alt Havzası Arazi Yüzey Kotları

Nokta no	X koordinatı (m)	Y koordinatı (m)	Arazi Yüzey Kotları(m)
6	284213,2813	4250439,5	1444,067
7	283738,3125	4250439,5	1472,013
8	283263,3438	4250439,5	1510,565
9	282788,375	4250439,5	1550,178
10	286588,1563	4250914,5	1445,221
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
10236	276138,7813	4303636	1062,624
10237	275663,8125	4303636	1082,317
10238	275188,8438	4303636	1073,34
10239	274713,875	4303636	1071,905
10240	274238,875	4303636	1077,918
10241	276138,7813	4304111	1075,24
10242	275663,8125	4304111	1085,717
10243	275188,8438	4304111	1083,719
10244	274713,875	4304111	1089,586

Akarçay havzasının güney alt havzalarının modellenmesi yapılırken gerekli olan değerlerden biride arazinin geri besleme oranı (Recharge rate)'dır. Bu değer oran olduğu için toplam sızma değerinin alana oranını program için kullanmamız gereken değerdir. Havzanın güney alt havzalarının toplam alanı 2232,1 km² olarak bulunmuştur.

Bu değeri bulmak için denklem 2.1 kullanılmıştır. Yağış, buharlaşma ve akış değeri Meteorolojiden elde edilmiştir. Yıllık ortalama yağış değeri 36,68 mm/ay, yıllık ortalama buharlaşma değeri 5,13 mm/ay, yıllık ortalama akış değeri 2,12 m³/sn'dır. Bu bilgilere göre;

$$Y = ((36,68 \text{ mm/ay})/1000) \times 2232000000 \text{ m}^2 = 81869760 \text{ m}^3/\text{ay}$$

$$B = ((5,13 \text{ mm/ay})/1000) \times 2232000000 \text{ m}^2 = 11450160 \text{ m}^3/\text{ay}$$

$$A = (2,12 \text{ m}^3/\text{sn}) \times 2592000 = 5495040 \text{ m}^3/\text{ay}$$

Bulunan değerler denklem 2.1'de yerine yerleştirildiğinde;

$$S = (81869760 \text{ m}^3/\text{ay}) - (11450160 \text{ m}^3/\text{ay}) - (5495040 \text{ m}^3/\text{ay}) = 64924560 \text{ m}^3/\text{ay}$$

bulunur.

$$S = (64924560 \text{ m}^3/\text{ay})/30/2232000000 \text{ m}^2 = 0,0009696 \approx 0,001 \text{ m/gün'dür}$$

4.2 Veri Girişi ve Akarçay Havzasının Yeraltı Suyu Modellemesi

4.2.1. Arka Plan Resmi Aktarma

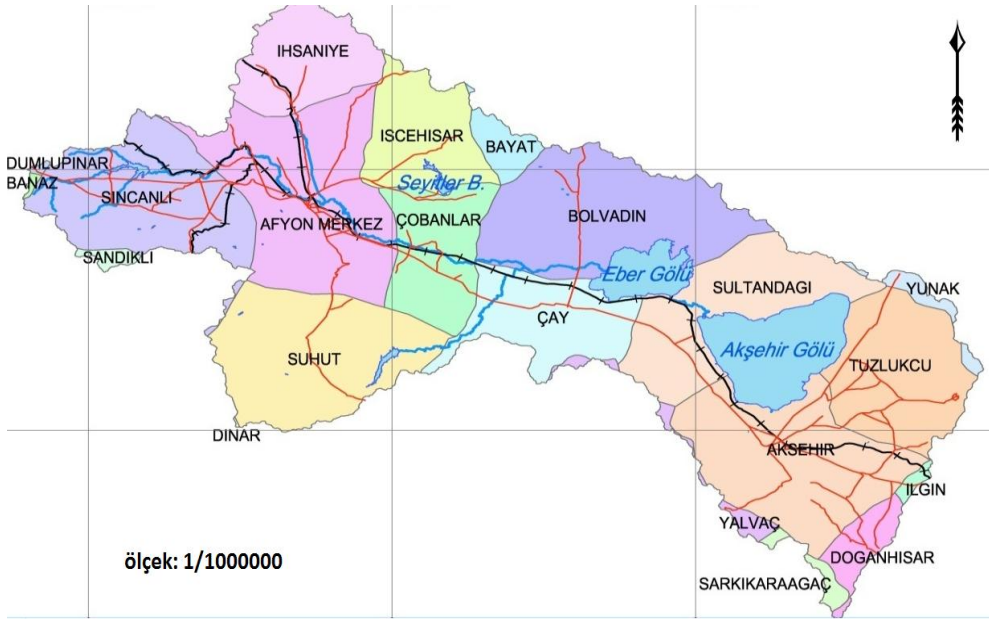
Modellemeye başlarken ilk olarak programda kullanılacak harita programa aktarılır. Bu işlemi gerçekleştirmek için işlem sırası şu şekildedir.

- Program çalıştırılır.
- Open (Aç) butonu 📁 seçilir.
- Harita kayıtlı olduğu dosyadan seçilir ve Aç butonu ile programa aktarılır (İnt.Kyn.1).

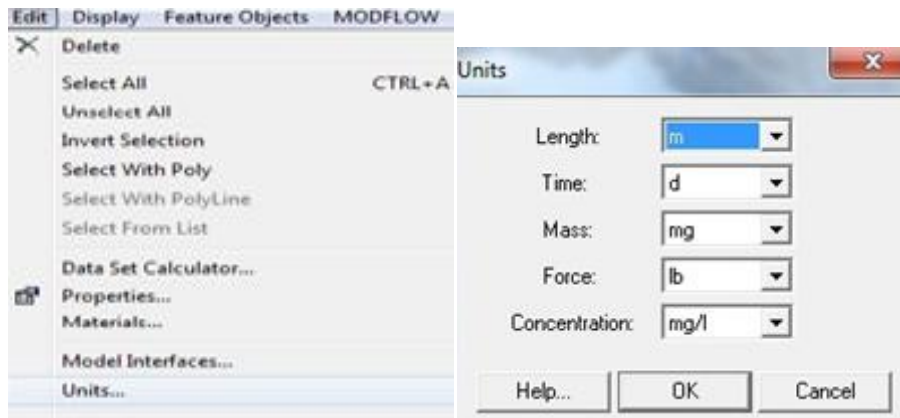
Modelde kullanılacak harita programa aktarıldıktan sonra Register sayfası açılmıştır. Bu sayfada haritanın koordinat değerleri lokal değer olarak tanımlanmıştır. Programda kullanılan koordinat sistemi değerleri UTM/ED50/36° dir. Koordinat sistemini tanımlamak için; Edit menüsünden Projection komutu seçilir. Açılan Current Projection penceresinden Horizontal sekmesinden Units başlığı altında Global Projection işaretlenir. Açılan Projection penceresinden Projection kısmı UTM, Datum kısmı ED50, Planar Units kısmı METERS ve Zone kısmı 36 (30°E - 36°E – Northern Hemisphere) olarak işaretlenir Current Projection penceresinden Vertical sekmesinden Projection kısmı Local, Units kısmı Meters olarak işaretlenerek koordinat sistemi tanımlanır. Bu işlemlerden sonra aktarılan haritayı File/Save As komutunu kullanarak yeniden isim verilerek Akarçay.gpr olarak kaydedilmiştir. Resim 4.1 de programa aktarılan harita görülmektedir

4.2.2.Birim Tanımlamak

Birimleri tanımlamak için menü çubuğundan Edit/Units komutu seçilir (İnt.Kyn.1). Açılan pencereden uzunluk (length) değeri metre (m), zaman (time) değeri gün (d) olarak değiştirilmiş diğer değerlerde değişiklik yapılmamıştır. Resim 4.1 de bu işlem basamakları resim ile gösterilmektedir.



Resim 4.1 Çalışmada kullanılan Akarçay havzası haritası (Hökelekli 2010)



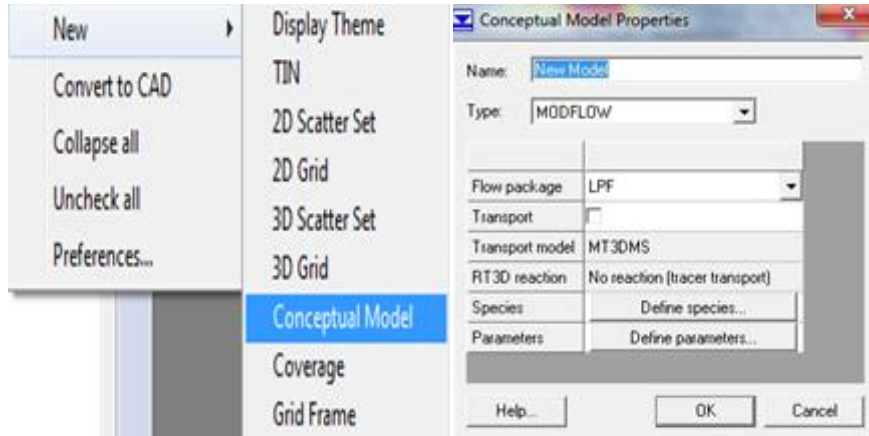
Resim 4.2 Birimleri tanımlama

4.2.3 Sınırları Tanımlama

4.2.3.1 Kapsam Oluşturma

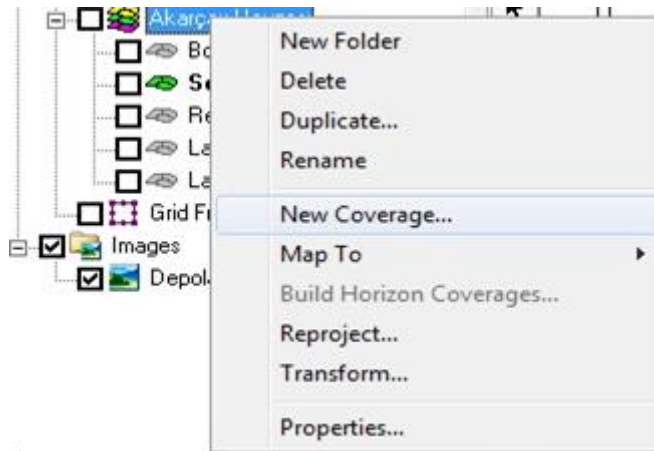
Bu işlemi yaparken izlenen yollar şunlardır.

- Project Explorer sayfasında boş yerde sağ tuşa tıklanır. Açılan pencereden New/Conceptual Model komutu seçilir (İnt.Kyn.1).
- Model ismi (Akarçay Havzası) ve model tipi (MODFLOW) seçilir.



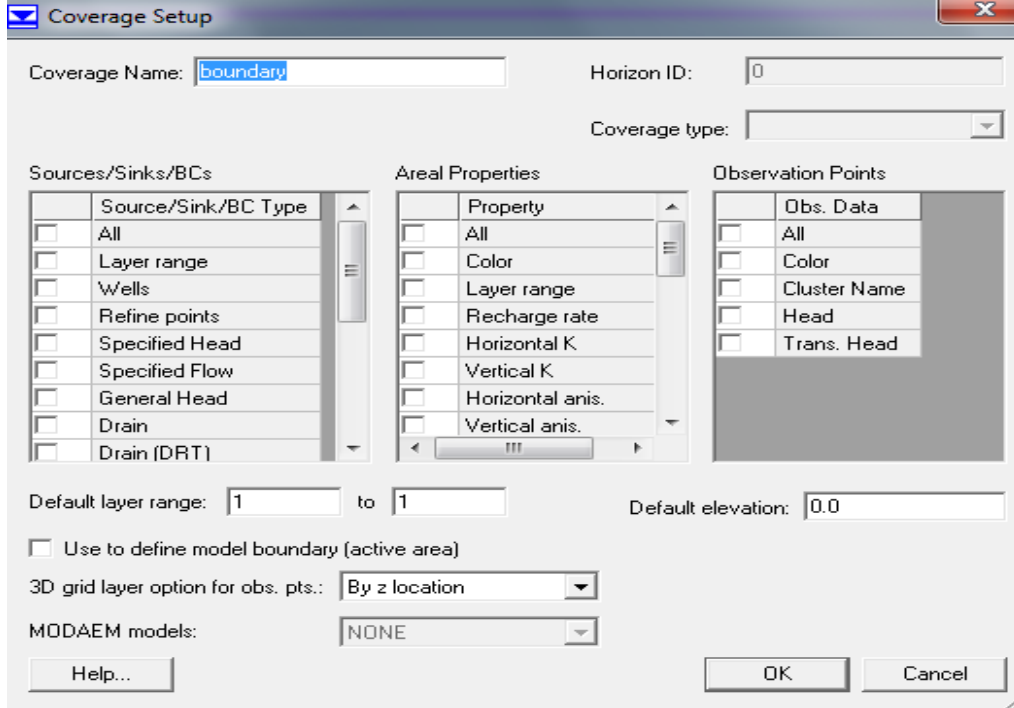
Resim 4.3 Kavramsal model oluşturma ve özellikleri

- Project Explorer sayfasında oluşan kavramsal model üzerinde sağ tık yapılarak açılan pencereden New Coverage komutu seçilir.



Resim 4.4 Kapsam tanımlama

- Yeni kapsam oluşturma komutunu seçtikten sonra açılan Coverage Setup penceresinden Coverage Name kısmı Boundary, Default Elevation değeri 0, Default layer range kısmı 1 to 1 olarak tanımlanır ve ok tuşunu ile kapsam tanımlanmış olur (İnt.Kyn.1).

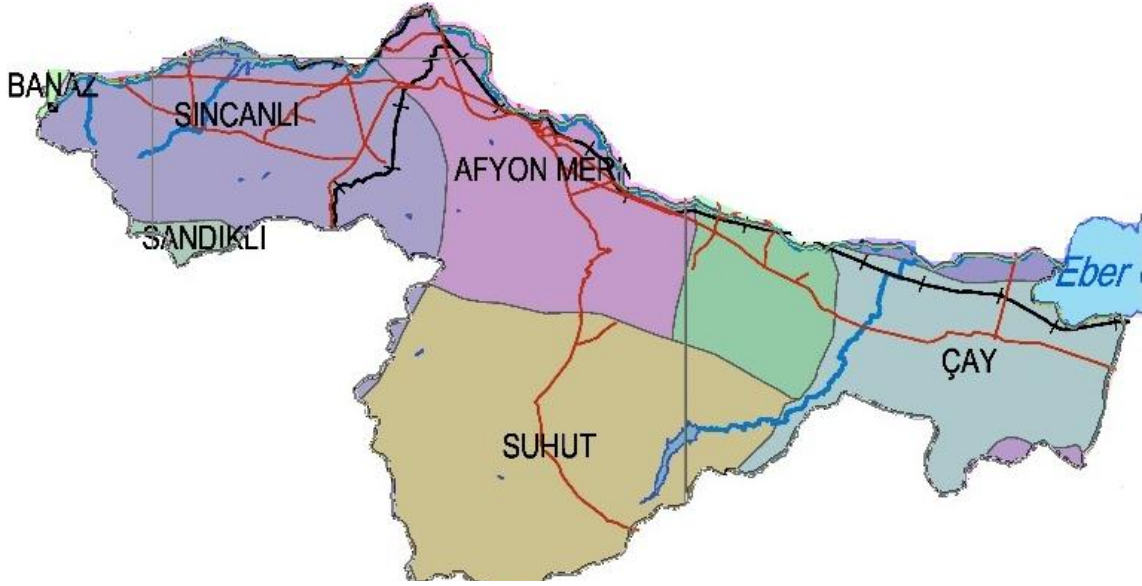


Resim 4.5 Sınır kapsamı özellikleri

4.2.3.2 Yay Oluşturma

Bu işlemi yaparken izlenen yollar şunlardır.

- Araçlar paletinden Create Arc (yay oluşturma) komutu seçilir. Arazinin sınırları çizilir. Çizmeye başlanılan nokta ile biten nokta aynı yerde kesişince arazi sınırları tamamlanmış olur ve çizilen yaylar Select Arc (yay seç) komutunu kullanarak yay seçilir. Menü çubuğundan Feature Object menüsünden Built Polygons komutuseçilmesiyle sınırlarımız artık poligon şeklindedir. Aşağıdaki şekilde olduğu gibi sınır yayları ve poligon olan alanımız koyu renkle belirginleşir (İnt.Kyn.1).

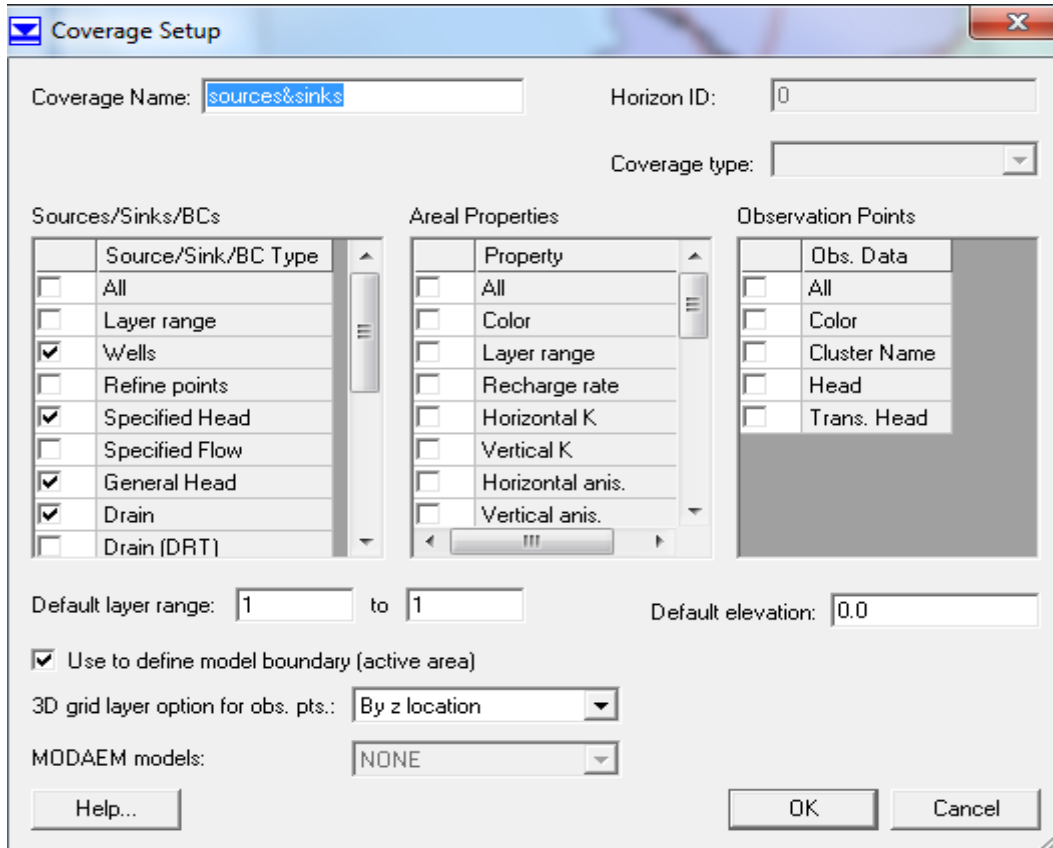


Resim 4.6 Arazide çizilmiş sınırlar

4.2.4 Besleme ve Gider (Sources & Sinks) Kapsamı Oluşturma

Bu işlemi yaparken izlenecek yollar şunlardır.

- Project Explorer sayfasında önceden oluşturduğumuz Boundary kapsamı üzerinde sağ tıklanarak açılan pencereden Duplicate (kopyala) komutu seçilir. Kopyalanan kapsama ismi Sources & Sinks (Beslemeler ve Giderler) olarak değiştirilir.
- Sources & Sinks kapsamı üzerine gelip sağ tık yapıldığında açılan pencereden New Coverage (yeni kapsam) komutu seçildikten sonra Coverage Setup sayfası açılır (İnt.Kyn.1).
- Coverage setup sayfasından Sources/Sinks/BCs başlığının altındaki listeden
 - Wells (Havzadaki kuyular)
 - Specified points(Akarçay Nehri ve Eber Gölü Su Kotu)
 - General Head (Su Kotu Yüksek Bölge)
 - Drain (Havzadaki kanalları, kuru dere yatakları) işaretlenir ve ok tuşu ile işlem tamamlanır.



Resim 4.7 Besleme ve Gider kapsamının oluşturulması

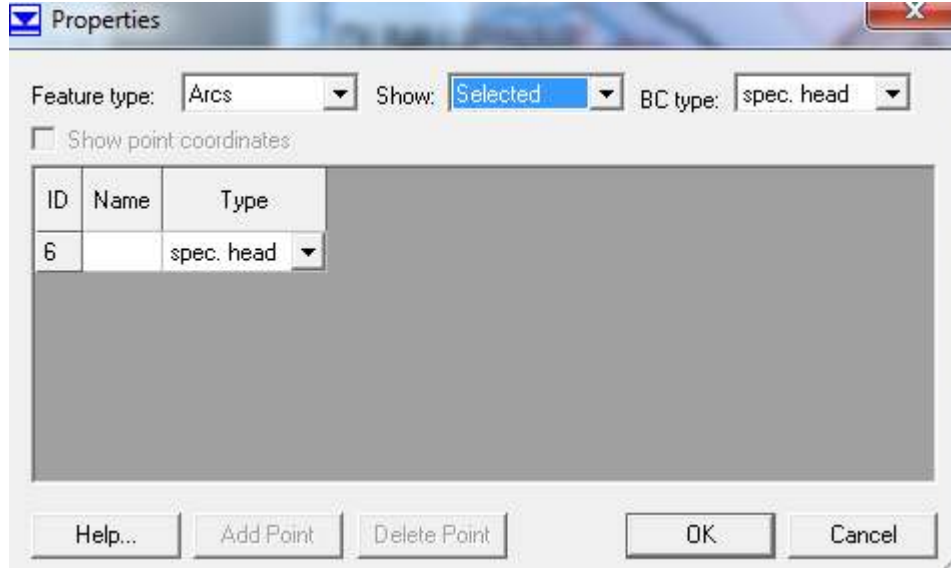
4.2.4.1 Sabit Yükseklik Yayı (Specified Head Arc) Tanımlama

Bu işlem yaparken izlenecek yollar şunlardır.

- Araçlar paletinden Select Vertices  komutu seçilir. Harita üzerine çizmiş olduğumuz sınır yayının Eber gölü kıyısının başlangıç ve bitiş kısımlarındaki noktalar yaylardan ayrılıp düğüm noktası olabilmesi için noktayı seçip sağ tuşa basarak açılan pencereden Vertex->Node komutu seçilir. Bu işlemle Akarçay Havzasının tek bir parça olan sınırını yaylara ayırmış oluruz.
- Araçlar paletinden Select Arc  komutunu seçerek yaylar üzerine gelip işaretlediğinizden düğüm noktalarından ayrılmış olduğunu görebilirsiniz (İnt.Kyn.1).
- Shift tuşunu kullanarak çoklu seçim yapılabilinmektedir. Selec Arc  komutunu seçtikten sonra Shift tuşuna basılarak Akarçay Havzasının kuzeyinde Akarçay

Nehrini temsil edecek olan yay ile birlikte Eber Gölü kıyısı temsil eden yay seçilip herhangi bir yay üzerine gelip sağ tuşa basılmıştır. Açılan pencereden Attribute Table komutu seçilir. Properties penceresi açılır.

- Properties penceresinden Type kısmı Spec.head olarak değiştirilir ve ok tuşu ile Akışın olduğu yaylar tanımlanmış olur.



Resim 4.8 Akışın olduğu yayların belirlendiği özellikler penceresi

- Çalışma alanımızda bulunan Akarçay nehri, Eber Gölü sınırlarının dışında Şuhut İlçesinde buluna Selevir Barajını Akarçay Nehrine bağlayan Kali Çayı da Specified Head olarak tanımlanmaktadır.
- Kali Çayını Specified head olarak tanımlamak için öncelikle çayı yay olarak çizmek gerekir. Çizilen yayı seçip özellikler penceresinden Type kısmı Specified head olarak tanımlanmaktadır.
- Bir sonraki adımda düğüm noktalarının kotlarının girilmesi gerekmektedir. Bu işlem için ilk önce araçlar paletinden Select Points/Nodes  komutu seçilir. Arazinin sol tarafındaki düğüm noktasına çift tıklandığında properties penceresi açılacaktır. Başka bir yol olarakta Select Points/Nodes  komutunu seçtikten sonra sol tuşa basılarak arazi üzerinde çerçeve yaparak çoklu seçim yapılabilir. Özellikler Penceresinden Type Spec.head olarak tanımlanan düğüm noktaları(Nodes) Head-State değerleri girilir (İnt.Kyn.1).

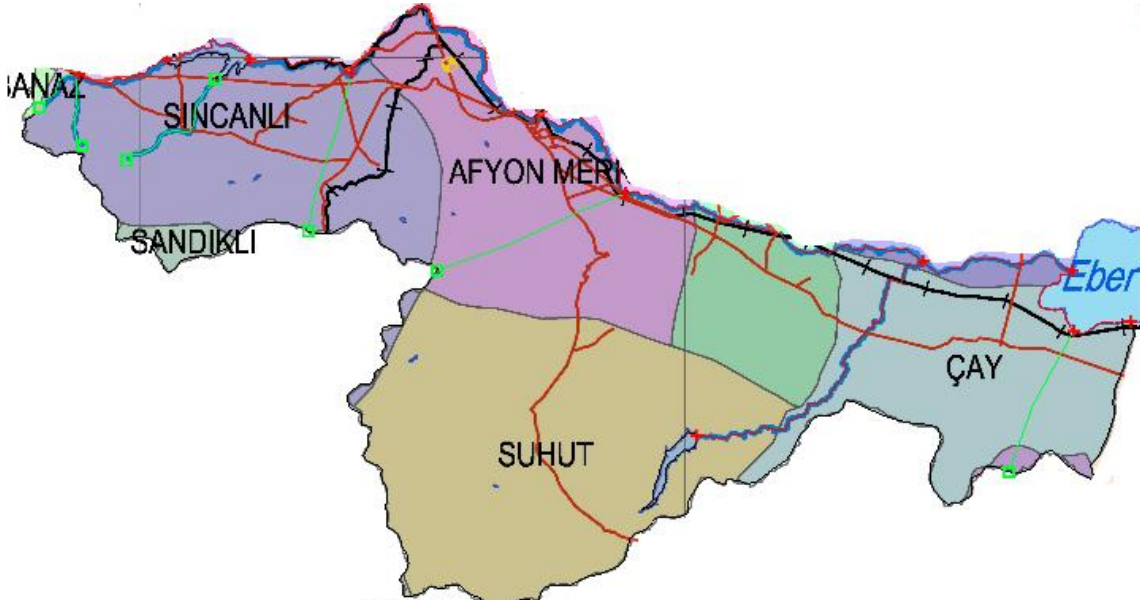
Properties				
Feature type:	Nodes	Show:	All	BC type: ANY/NONE
☐ Show point coordinates				
ID	Type	Head-Stage (m)	Bot. elev. (m)	
All		0.0	0.0	
9626	drain	0.0	1500.0	
10070	spec. head	964.0	0.0	
10071	spec. head	964.0	0.0	

Resim 4.9 Akışın olduğu yaylar için yükseklik değerleri

4.2.4.2 Drenaj Yayı (Drain Arc) Tanımlama

Bu işlemi yapabilmek için izlenen yollar şunlardır.

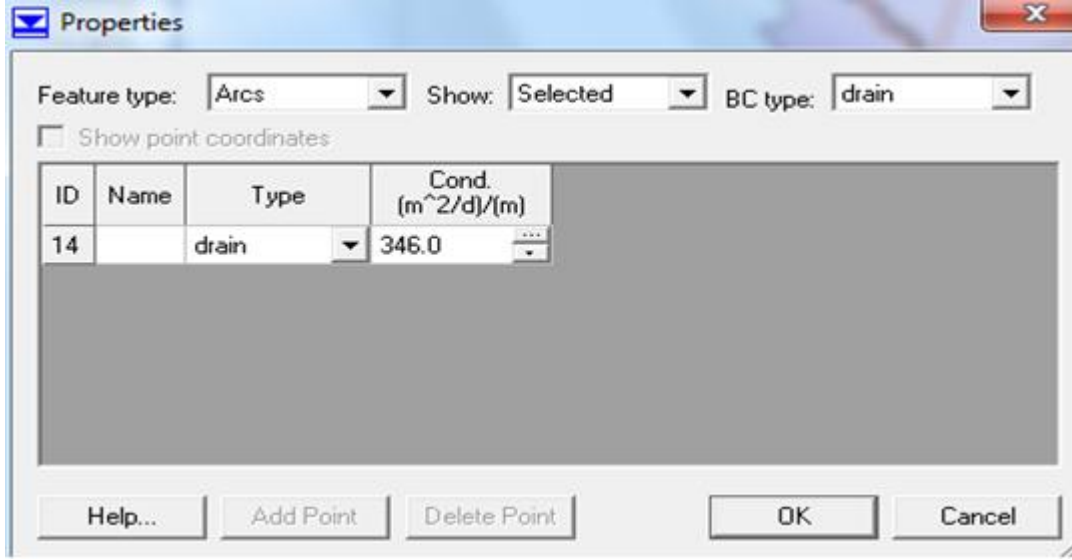
- Araçlar paletinden Crate Arc komutu seçilir.
- Arazi üzerinde kuru dere yatakları yay oluştur komutu ile çizilir.
- Çizilen yaylar Select Arc komutu ile shift tuşu yardımıyla çoklu seçim yapılarak seçilir (İnt.Kyn.1).



Resim 4.10 Harita üzerinde belirlenen drenaj yayları

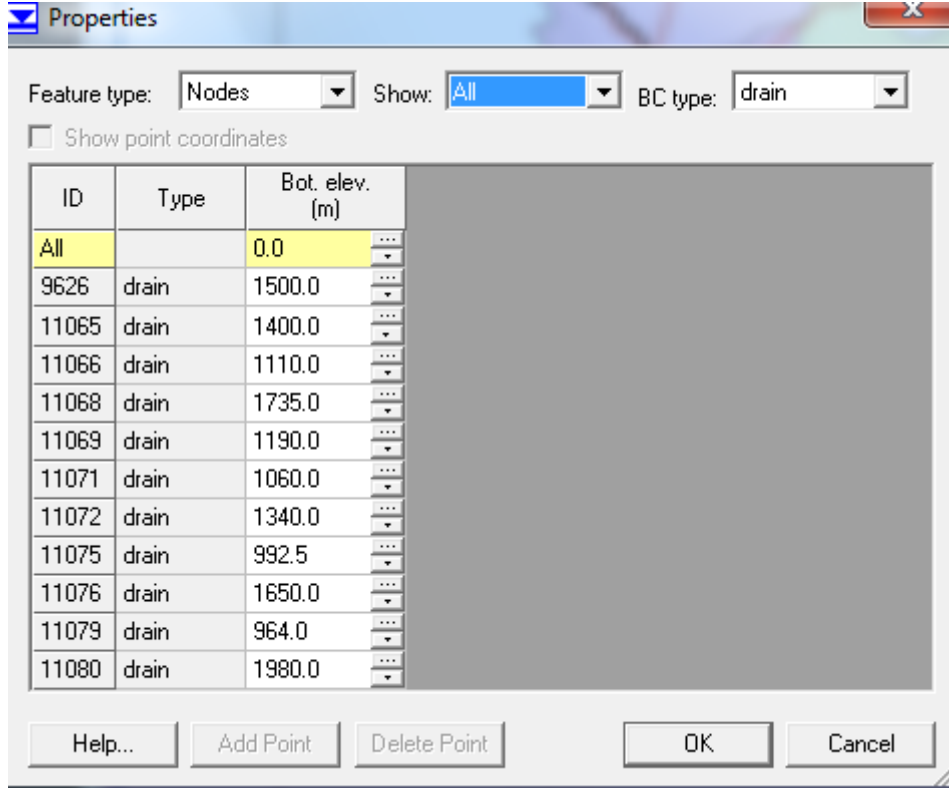
- Yaylardan biri üzerinde çift tıklama yapılanca açılan özellikler penceresinden Type kısmı Drain olarak seçilir.

- Conductance (iletimlilik) değeri olarak önceden arazi özelliklerine göre hesaplanmış 346 değeri girilmiştir.
- Ok komutunu seçtikten sonra Harita üzerinde çizilen Drain yaylarının renginin yeşil olduğunu fark edilmektedir (İnt.Kyn.1).



Resim 4.11 Drenaj yaylarının özelliklerinin tanımlandığı pencere

- Araçlar paletinden Select Points/Nodes komutunu seçerek kuru dere yataklarının yükseklik değerlerini girme işlemini yapabilirsiniz. Düğüm noktalarını ister tek tek seçip değerlerini girebilirsiniz isterseniz sol tuş yardımıyla hepsini seçip değerlerini girebilirsiniz. Noktaya çift tıklandığında properties penceresi açılacaktır.
- Açılan properties penceresinden kuru dere yataklarının dip yükseklik değerlerini (Bottom Elevation) girip Ok tuşu ile Drain tanımlama işlemi tamamlanmış olmaktadır (İnt.Kyn.1).



Resim 4.12 Drenaj noktalarının özelliklerinin tanımlandığı özellikler penceresi

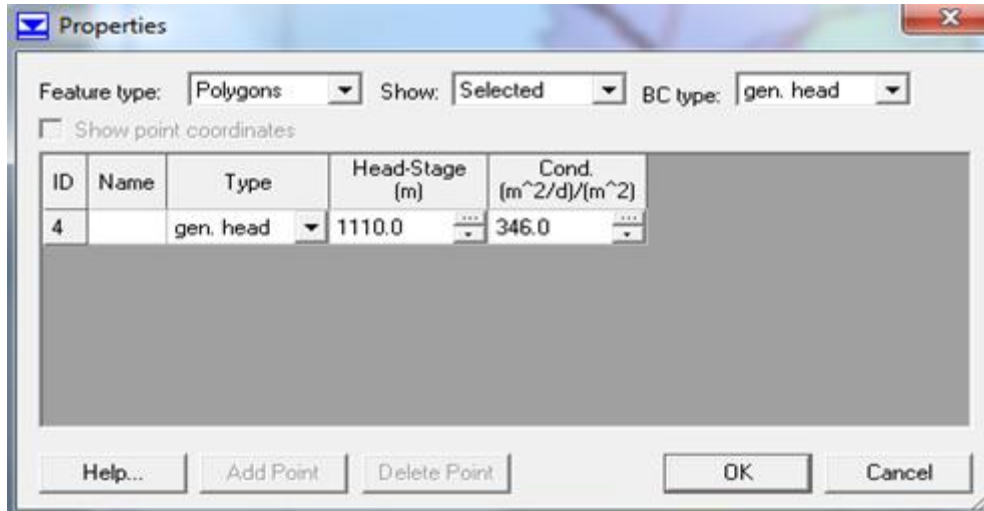
4.2.4.3 Poligon (Polygon) Oluşturma

Oluşturulan bütün yayların ve noktaların bir bütün halinde programda işlem yapabilmesi için poligon oluşturulmaktadır. Bu işlem için Menü Çubuğunda Feature Object seçilir Açılan pencereden Build Polygons komutu seçilir. Bu işlem yapıldıktan sonra arazimizin renginin koyulaştığını görebiliriz. Renk değişikliği için Display menüsünden Display Option komutunu seçerek ekran özellikleriyle ilgili değişiklikler yapabilirsiniz (İnt.Kyn.1).

4.2.4.4 Su Kotu Yüksek Bölge (General Head) Tanımlama

Akarçay Havzasının çalışılan güney kısmında iki adet baraj bulunmaktadır. Bu barajlar; Akarçay nehri üzerinde Akdeğirmen Barajı ve Şuhut ilçesinde bulunan ve Akarçay nehrine Kali çayı ile bağlı olan Selevir Barajıdır. GMS programında küçük su birinkitileri, göletler ve barajlar programa aktarılırken General Head olarak tanımlanır. Çalışmanın barajlarını tanımlarken yapılan işlem sırası şöyledir:

- Harita üzerinde görülen barajların etrafı Create Arc (yay çiz)  komutu kullanılarak barajlar sınırlandırılır.
- Sınırlandırılan barajlar Select Arc (yay seç)  komutunu kullanarak çizilen yaylar seçilir.
- Seçilen yaylar menü çubuğundan Feature Object (Nesne Özellikleri) menüsünden Built Polygons komutu ile poligonlaştırılır.
- Oluşturulan poligonlar araçlar paletinden Select Polygon (poligon seç)  komutu ile seçilir.
- Seçilen poligon üzerinde sağ tuş yapılıncı açılan pencereden Attribute Table seçilir.
- Açılan Properties penceresinde Type kısmın General head olarak seçilir. Head Stage ve Contuctance değerleri girilir.
- Ok tuşu ile baraj su kotu yüksek bölge olarak tanımlanmış olur (İnt.Kyn.1).



Resim 4.13 General Head Poligonunun özelliklerinin tanımlandığı özellikler penceresi

4.2.4.5 Kuyu (Wells) Tanımlama

Kuyu tanımlama işlemi Sources & Sinks (beslemeler ve giderler) kapsamını oluştururken yapılacak son işlemdir. Tanımlanacak kuyu sayısı az ise aşağıdaki işlem basamakları takip edilir.

- Araçlar paletinden Create Points  komutu seçilir. Arazi üzerinde geliş güzel bir nokta yapılır.

- Aktif halde olan bu noktanın koordinat değerleri çalışılan ekranın üst kısmında aktifleşecektir. Aktif olan kısımda kuyunun koordinat değerleri girilerek kuyu olarak tanımlanacak nokta oluşturulmuş olur.
- Select Points/Nodes/ komutu ile noktayı seçip çift tıklayıp açılan özellikler penceresinden Type kısmını Well olarak değiştirip Flow rate kısmına kuyulardaki akış oranı yani debi değerlerini girebilirsiniz.
- Nokta olarak tanımlanan kuyular özellikleri girildikten sonra harita üzerinde sarı renk aldığını görebilirsiniz (İnt.Kyn.1).

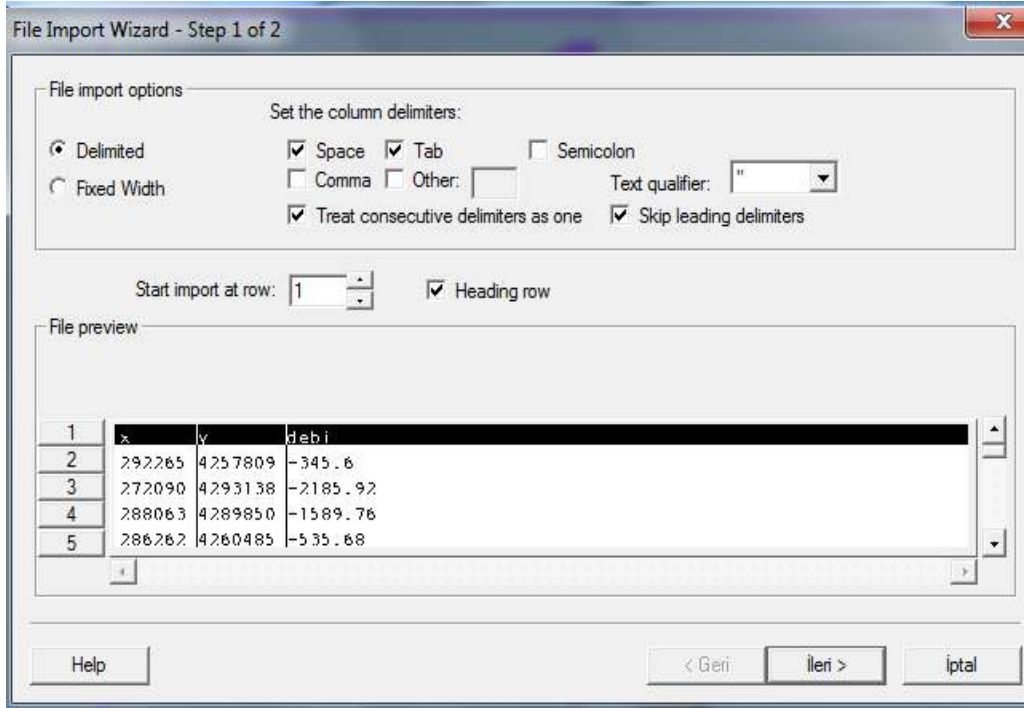
ID	Name	Type	Flow rate (m ³ /d)	Use screen	Top scr. (m)	Bot. scr. (m)
11314	Well 3_232	well	-4466.88	No	-10.0	-20.0

Resim 4.14 Kuyuların özelliklerinin tanımlandığı özellikler penceresi

Eğer programa tanımlanacak kuyu sayısı çok fazla ise kuyu koordinatları ile debi değerlerinden oluşan bir metin belgesi (Text File) oluşturularak programa aktarabilirsiniz. Akarçay Havzasının Güney Alt bölgesinde bulunan kuyu sayısı çok fazla olduğundan izlenen yol programa aktarma şeklinde olmuştur. Bu işlemler için izlene yol şöyledir.

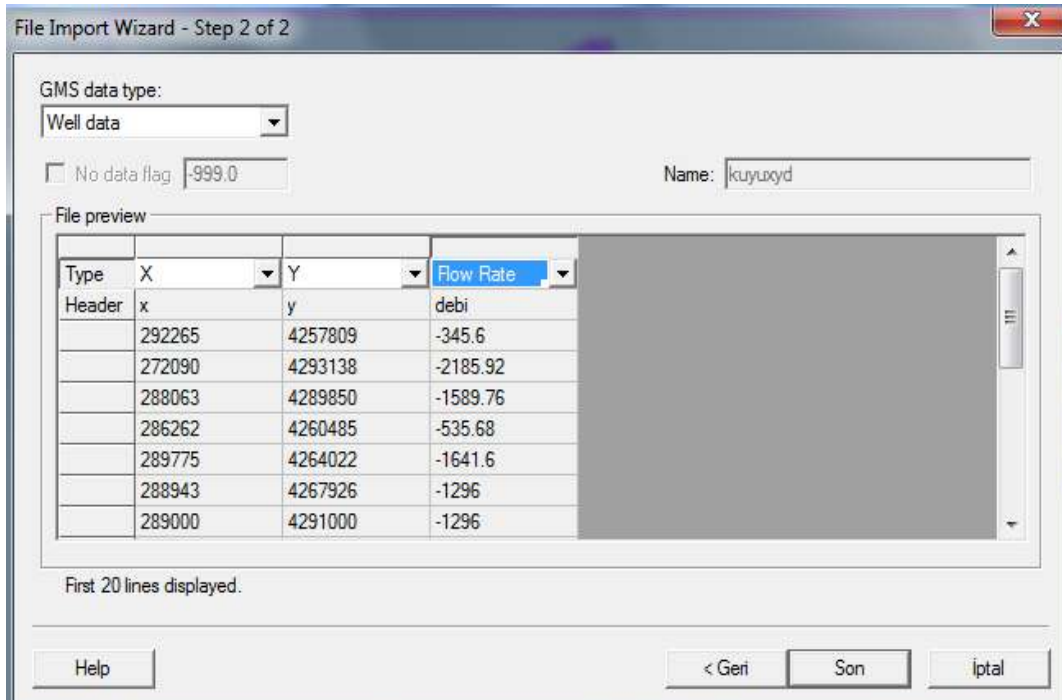
- Öncelikle kuyu koordinat ve debi değerleri bir Excel dosyasına toplanarak metin dosyasına çevrildi.
- Çalışma ekranındayken Open (Aç) komutu seçilmiştir.
- Açılan pencereden değerlerin bulunduğu metin dosyası seçilerek programa çağırılmıştır.

- Programa verilerin aktarılması için File Import Wizard penceresi açılmıştır.



Resim 4.15 Kuyu verilerinin programa aktarma ilk adım sayfası

- Açılan ilk adım penceresinden Heading row (satır başlığı) kısmı işaretlenerek verilerimizin başlıkları belirtilmiş olunmaktadır. İleri tuşu ile devam edilmektedir (İnt.Kyn.1).

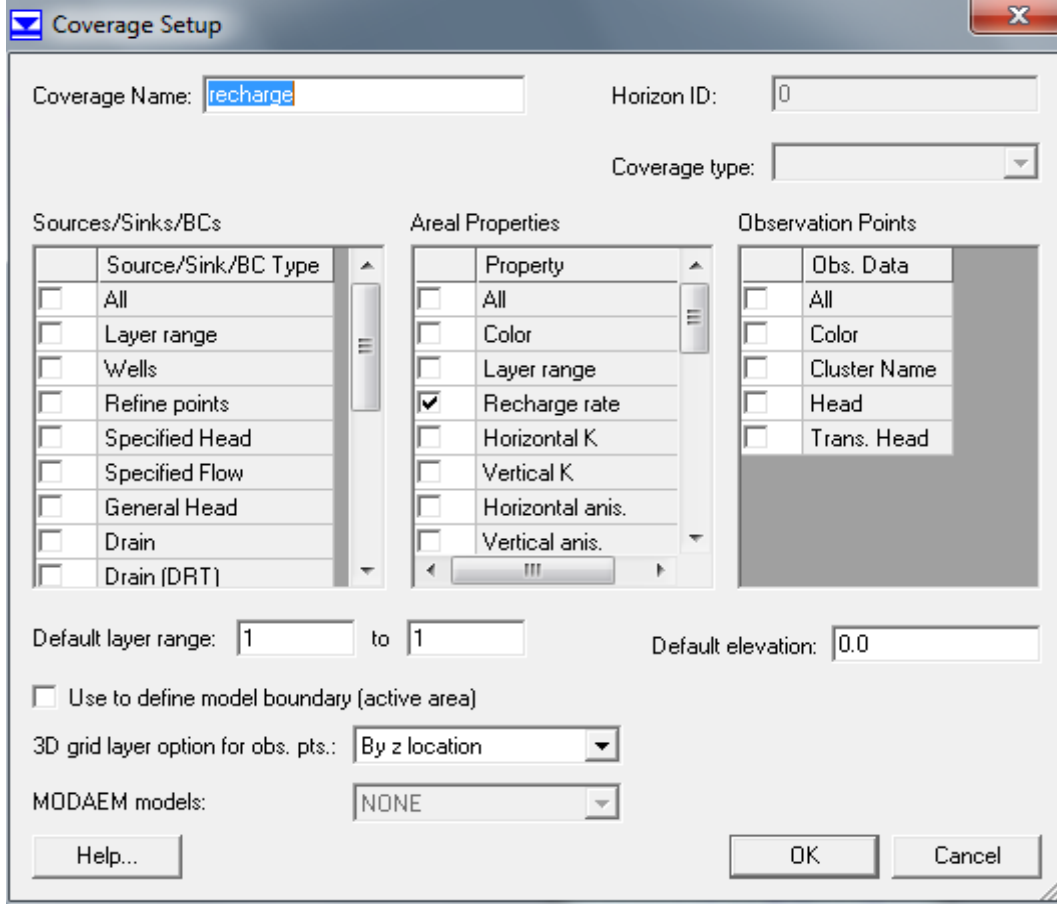


Resim 4.16 Kuyu verilerinin programa aktarma ikinci adım sayfası

- Açılan ikinci adım penceresinden GMS data type başlığı altında açılabilir başlıklar kutusundan Well data (kuyu verisi) seçilir. Pencerenin alt kısmında bulunan File preview (dosya ön izleme) kısmında bulunan type kısmında en sonda bulunan data set açılabilir başlıklar kutusundan Flow rate (akış hızı) seçilmiştir. Son tuşuna basılarak bütün kuyu değerleri programa kısa yoldan aktarılmış olmaktadır.

4.2.5 Geri Besleme (Recharge) Kapsamı Tanımlama

- Bu kapsamı tanımlama Project Explorer penceresinde bulunan Boundary kapsamını kopyalayarak başlayacağız. Kopyalanan kapsamın ismi Recharge olarak değiştirilir. Recharge kapsamının üzerine çift tıklandığında Coverage Setup penceresi açılacaktır.
- Coverage Setup penceresinden Areal Properties başlığı altındaki listeden Recharge rate (Geri besleme oranı) seçilir. Penceresi kapattıktan sonra Recharge kapsamının genel özelliklerini belirlemiş oluruz (İnt.Kyn.1).



Resim 4.17 Recharge kapsamının özelliklerinin belirlendiği pencere

- Arazi üzerindeki Recharge bölgelerini belirginleştirmek için yaylarla etrafını çizmek gerekir. Araçlar paletinden Create Arc komutunu seçerek Akarçay Havzasının güneyindeki Selevir Barajı ve Kuzeyde bulunan Akdeğirmen Barajı geri beslenim bölgeleri olarak etraflarında yaylar çizilmiştir.
- Çizilen yaylar Select Arc komutuyla seçilerek poligona dönüştürülmüştür. Bu işlem için Feature Object menüsünden Build Polygons komutu kullanılır.
- Araçlar paletinden Select Polygons komutunu kullanarak yaylardan oluşturulan poligonlar seçilir.
- Seçilen poligonların özelliklerinin girilmesi için üzerinde çift tıklanır. Açılan özellikler penceresinden Recharge rate değeri girilir.
- Arazi üzerinde bir yere gelip çift tıklanarak arazinin geri beslenim oranını (Recharge rate) girilerek Recharge kapsamının tüm özellikleri tanımlanmış olmaktadır (İnt.Kyn.1).

4.2.6 Hidrolik İletkenliklerin Tanımlanması

Bu aşamada tabaka için hidrolik iletkenlik değerleri tanımlama işlemi yapılmıştır. Burada tanımlanacak olan hidrolik iletkenlik değeri arazinin zemin özelliklerine göre belirlenmiştir.

- İlk olarak Boundary kapsamı duplicate komutunu kullanılarak kopyalanmıştır. Kopyalanan kapsamın ismi Hydraulic Conductivity olarak değiştirilmiştir.
- Hydraulic conductivity kapsamına sağ tıklayarak açılan Setup penceresinden Areal Properties listesinden Horizontal K ve Vertical Anisotropy işaretlenmiştir.
- Layer range kısmında ise sadece tek tabakayı belirlediğimiz için tabaka aralık değerleri 1 olarak kalmıştır. Ok tuşu ile Set up penceresi kapatılmıştır.
- Hydraulic conductivity aktif edilir. Feature object menüsünden Build Polygons komutunu seçerek tabaka poligonlaştırılır. Araçlar paletinden poligon seç  komutu kullanılarak arazi üzerinde her hangi bir yere çift tıklandığında aşağıda görülen özellikler penceresi açılır (İnt.Kyn.1).
- Akarçay Havzasının Horizontal K (yatay k) değeri 6,018 m/gün olarak Vertical Anis (dikey anizotropluk) değeri 1 olarak girilmiştir.

Coverage Setup

Coverage Name: Horizon ID:

Coverage type:

Sources/Sinks/BCs

	Source/Sink/BC Type
☐	All
☐	Layer range
☐	Wells
☐	Refine points
☐	Specified Head
☐	Specified Flow
☐	General Head
☐	Drain
☐	Drain (DRT)

Areal Properties

	Property
☐	All
☐	Color
☐	Layer range
☐	Recharge rate
☒	Horizontal K
☐	Vertical K
☐	Horizontal anis.
☒	Vertical anis.

Observation Points

	Obs. Data
☐	All
☐	Color
☐	Cluster Name
☐	Head
☐	Trans. Head

Default layer range: to Default elevation:

☐ Use to define model boundary (active area)

3D grid layer option for obs. pts.:

MODAEM models:

Resim 4.18 Hidrolik İletkenlik değerlerini tanımlamak için kapsam oluşturma penceresi

Properties

Feature type: Show: BC type:

☒ Show point coordinates

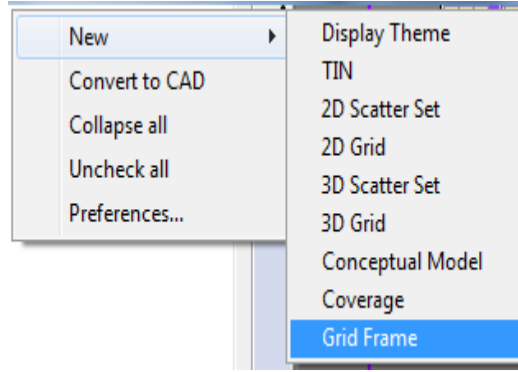
ID	Name	Horizontal K (m/d)	Vertical anis.
1		6.018	1.0

Resim 4.19 Tabakaların hidrolojik özelliklerinin tanımlandığı özellikler penceresi

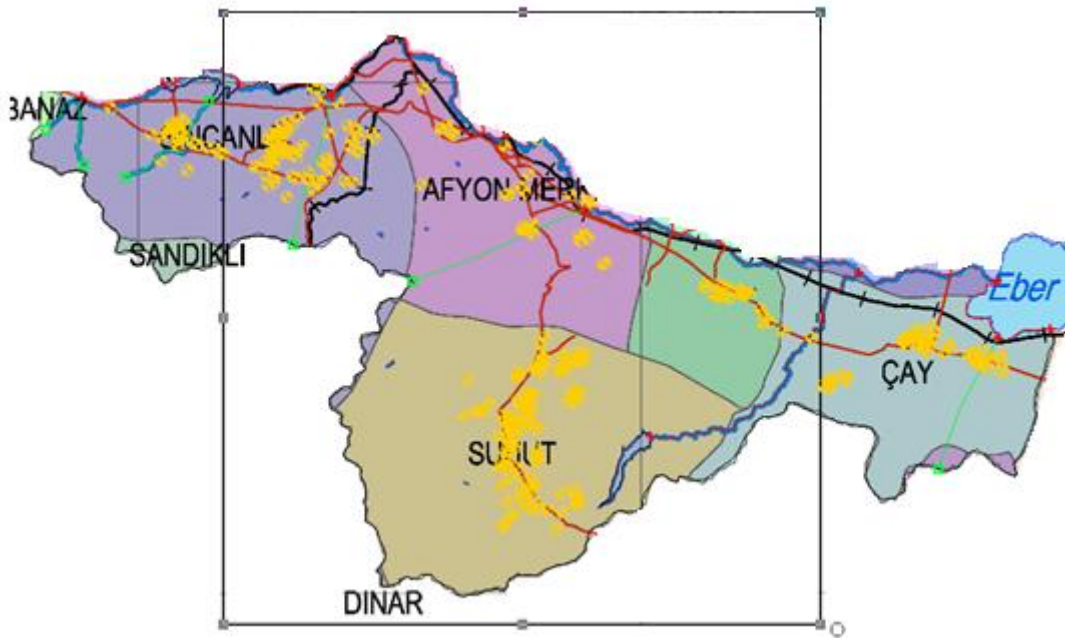
4.2.7 Grid Frame (Izgara Çerçevesi) Oluşturma

Kapsam tanımlama işlemi tamamlanmıştır. Izgara oluşturmak için yapılması gereken ilk adım yerini tanımlamaktır. Bu işlemler sırayla şöyledir:

- Project Explorer sayfasında boş bir yerde sağ tuşa tıklanır. Açılan pencereden New/Grid Frame (ızgara çerçeve) komutu seçilir (İnt.Kyn.1).

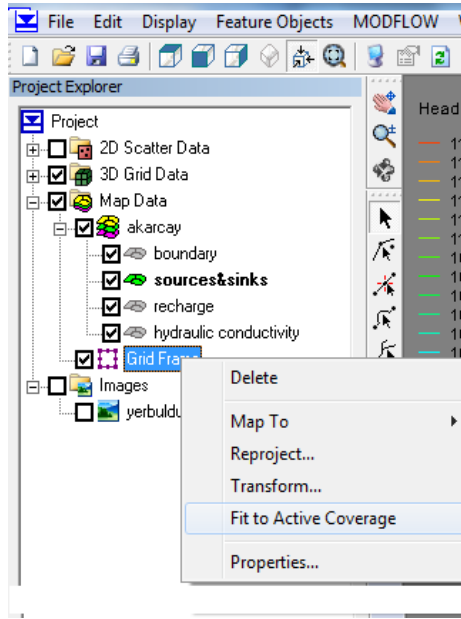


Resim 4.20 Izgara çerçevesi oluşturma

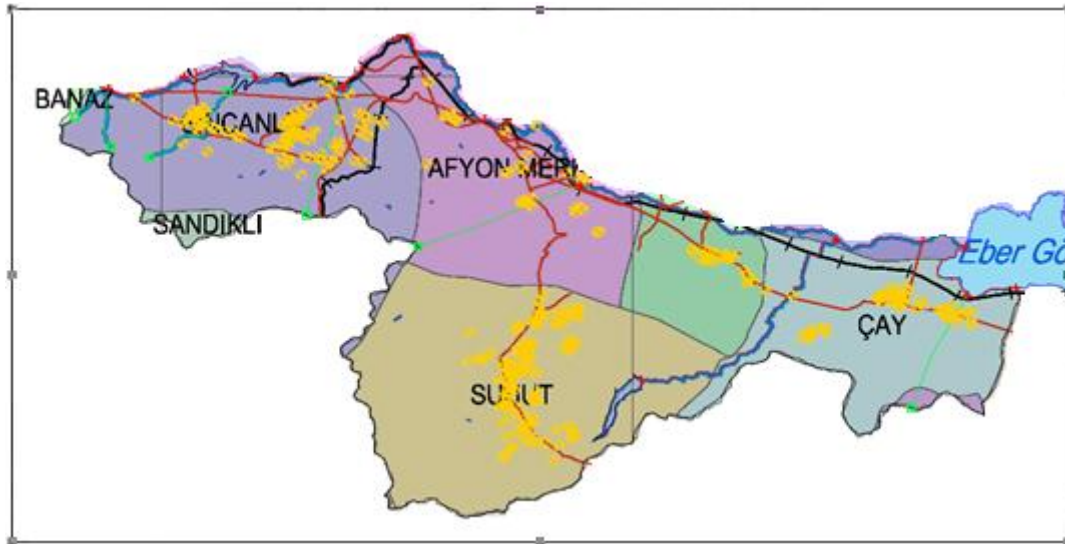


Resim 4.21 Izgara çerçevesinin model sınırlarını kapsamadan önceki görünümü

- Bu işlemden sonra Project Explorer da Grid Frame sekmesi oluşur. Çalışılan alan üzerine atanan çevre ilk etapta çalışma alanını içine almayacaktır. Çerçeveyi alanımızın sınırları dışına atamak için Project Explorer da oluşan Grid Frame sekmesinin üzerine gelip sağ tuş yapıldığında açılan pencereden Fit to Active Coverage komutu seçilir. Bu işlem sonunda ızgara çerçevesi çalışma alanımızı içine almıştır (İnt.Kyn.1).



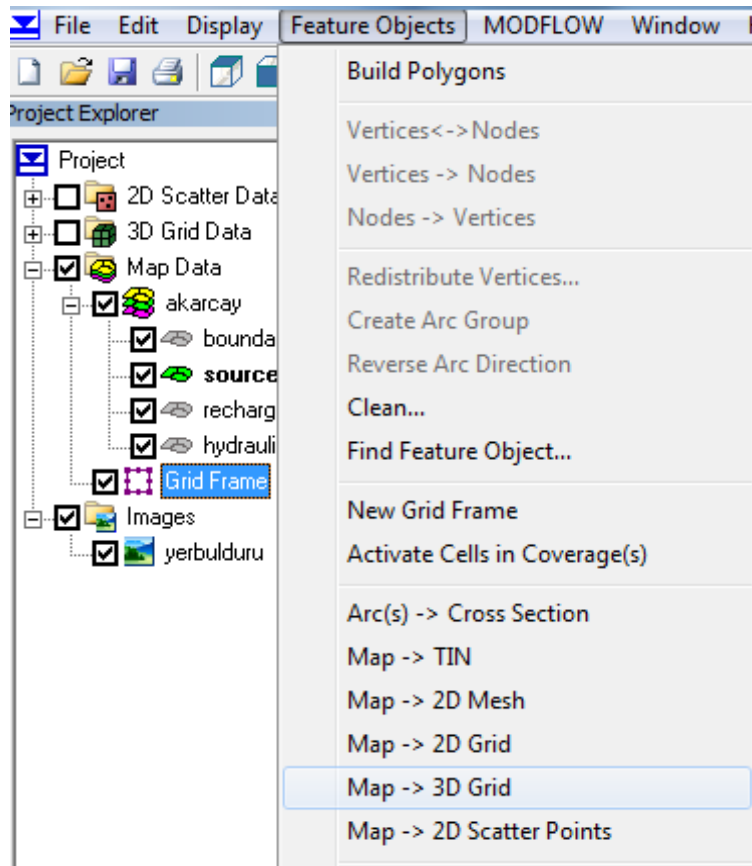
Resim 4.22 Izgara çerçevesinin daraltma işlemi aşaması



Resim 4.23 Daraltma işleminden sonraki Grid görüntüsü

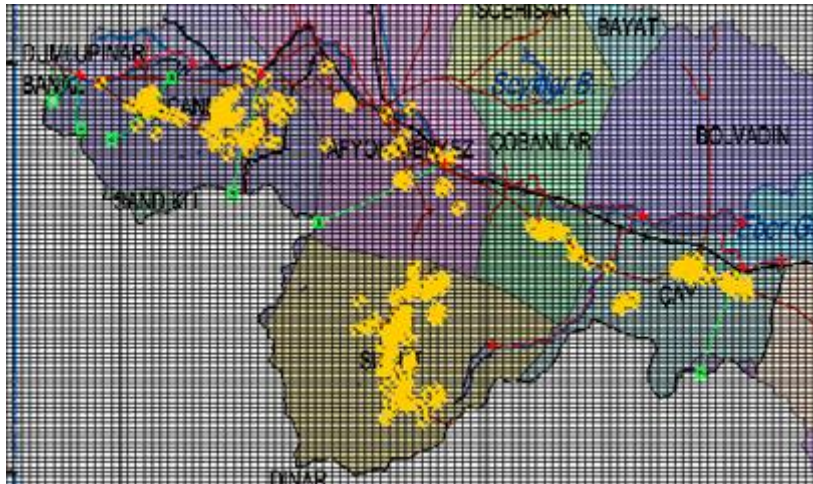
4.2.8 3D Grid Oluşturma

Bu işlem için ilk olarak Sources & Sinks kapsamı aktif edilir. Menü ubuğunda Feature Object sekmesinden Map >3D grid komutu seçilir. Açılan sonlu farklar ızgara oluştur penceresinden X ekseninin hücre sayısı 100 Y ekseninin hücre sayı 100 ve Z eksenindeki hücre sayısı 1 olarak değiştirilmiştir. Aynı işlem Grid Frame dosyası üzerinde sağ tuş yapılıncı açılan pencereden Map komutunu ardından tekrar açılan pencereden 3D grid komutunu seçerek de yapılmaktadır (İnt.Kyn.1).



Resim 4.24 üç boyutlu ızgara oluşturma

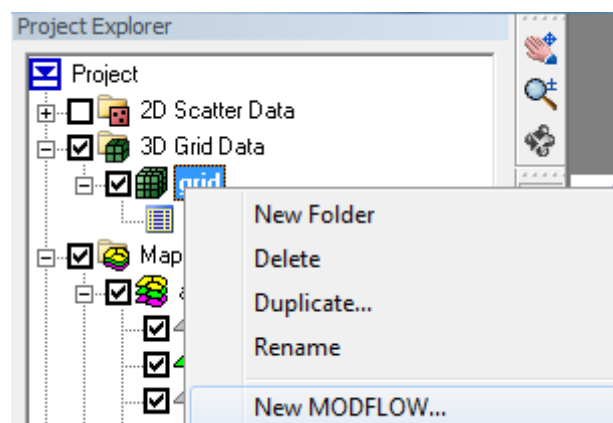
Üç boyutlu ızgara oluşturma işlemi tamamlandıktan sonra Project Explorer sayfasında 3D Grid Data sekmesi oluşmuştur.



4.2.9 MODFLOW Verilerini Başlatma

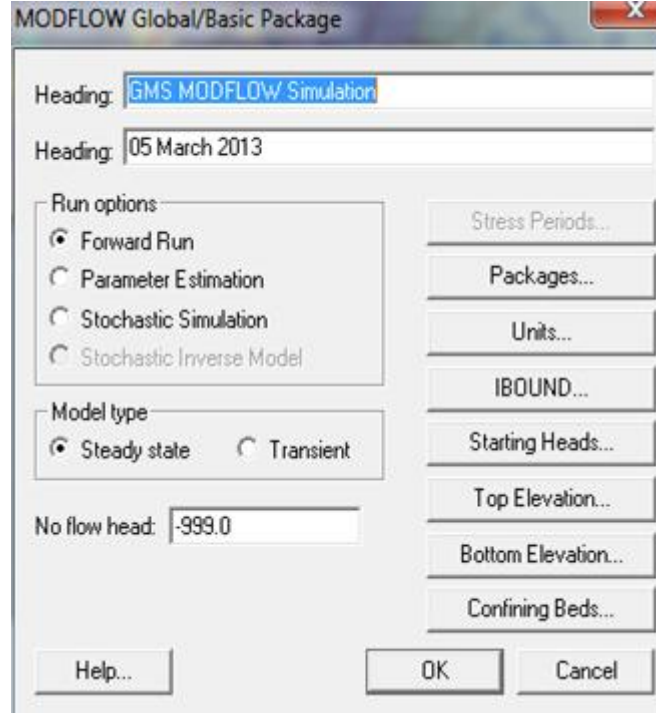
Kavramsal modeli ızgara tabanlı sayısal modele dönüştürmek yani sonlu farklar yöntemiyle çözüm yapmak için öncelikle simülasyon yapılmaktadır. Bu işlem için işlem basamakları şöyledir:

- Project Explorer da 3D Grid Data sekmesi altında bulunan grid seçilir ve üzerinde Sağ tuşa basılır.
- Açılan pencereden New MODFLOW komutu seçilir
- Ok butonuna basılır (İnt.Kyn.1).



Resim 4.26 MODFLOW yeni simülasyon tanımlama

Bu işlem yapıldıktan sonra MODFLOWglobal/basic package penceresi açılır. Açılan pencerede model tipi kararlı durum (Steady state) seçilerek ok butonu ile pencereler kapatılır. Bu işlemden sonra MODFLOW verileri Project Explorer da bulunan 3D Grid Data sekmesi altında sıralanmış bir şekilde oluşmuştur.

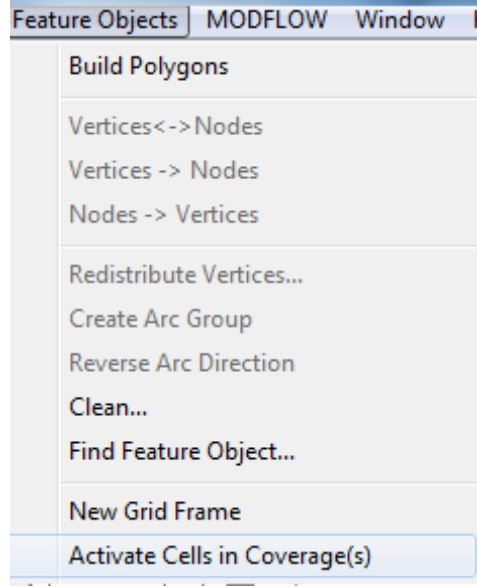


Resim 4.27 MODFLOW temel paketler penceresi

4.2.10 Aktif/ Aktif Olmayan Bölge Tanımlama

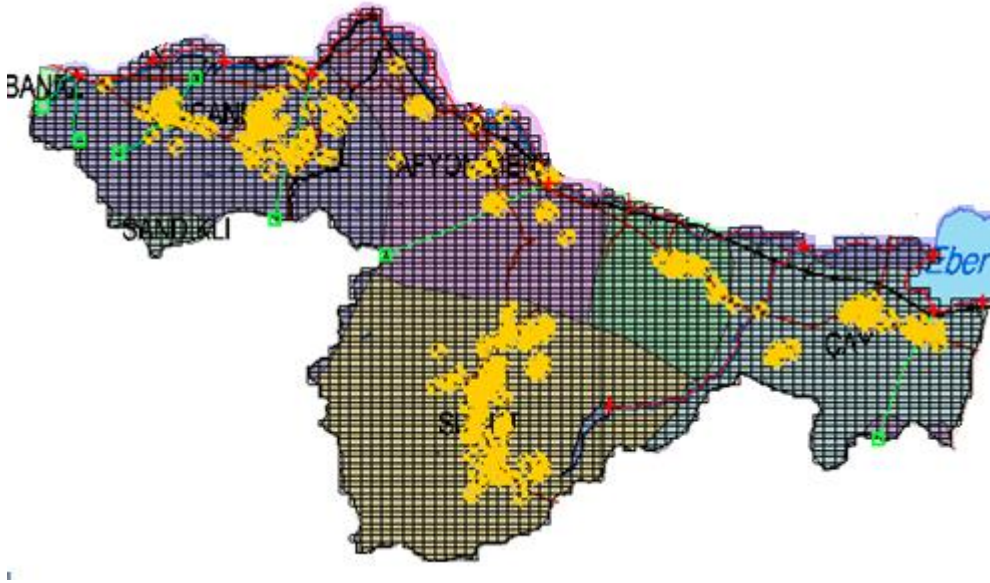
Izgara oluşturulup simülasyon başlatıldıktan sonra modelimizin simülasyon için kullanılacak bölgeyi seçmemiz gerekmektedir. Model sınırlarımızın içinde kalan bölgeler aktif, dışında kalan bölgeler ise aktif olmayan bölgelerdir. Bu bölgeleri ayırmak için yapılacak işlem sırası şöyledir.

- Project Explorer sayfasında Sources & Sinks katmanı aktif olacak şekilde Map Data sekmesi seçilir.
- Araçlar paletinden poligon seç komutu seçilir.
- Arazi üzerinde herhangi bir poligon seçilir.
- Menü çubuğundan Feature Object/Activate Cells in Coverage (s) komutu seçilir (İnt.Kyn.1).



Resim 4.28 Aktif/Aktif olmayan bölge tanımlama

Bu işlemler yapıldıktan sonra modelimizdeki aktif olmayan bölgeler silinir ve aktif bölgeler tanımlanmış olur (İnt.Kyn.1).

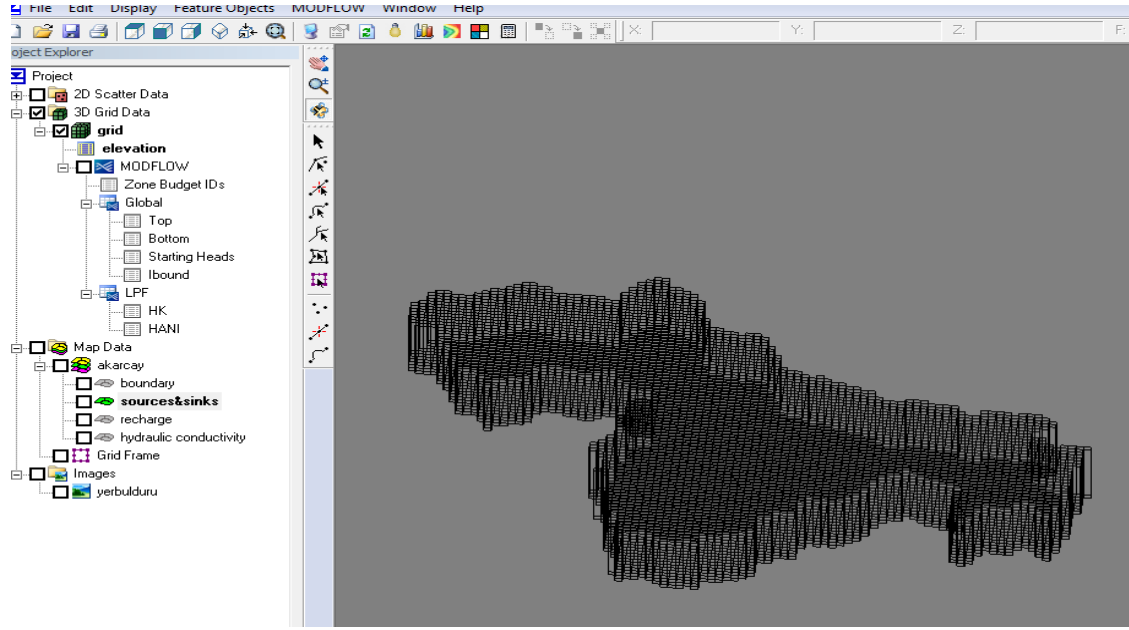


Resim 4.29 Modelimizdeki aktif bölgeler

4.2.11 Tabaka Yüksekliği İnterpolasyonu

4.2.11. 1 Katman Yüksekliklerinin Eklenmesi

Bu kısımda katman yüksekliklerini tanımlayacağız. Üst ve alt yükseklikler her bir katman için katman tipi dikkate alınmadan tanımlanacaktır. Katman yükseklikleri tanımlanmadı zaman modelimiz arazideki gerçek şeklinde değil düz bir şekilde görünüme sahip olur.



Resim 4.30 Arazi yükseklikleri eklenmeden önceki haliyle model görünümü

Model çalışma alanı tek katmanlı bir model olduğu için üst tabakanın üstü (zemin yüzeyi) ve tabakanın altı için katman yükseklikleri serisi tanımlanır.

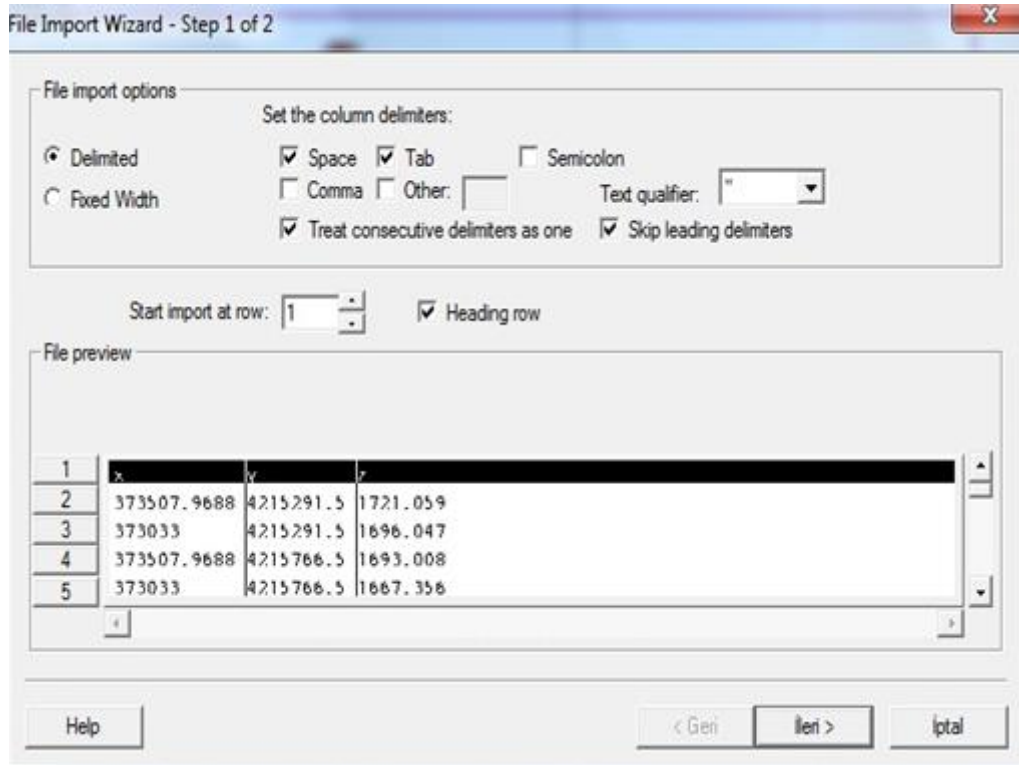
Katman yükseklikleri tanımlamanın bir yolu Excel programında hazırlanmış saçılma noktaları (Scatter Points) çizelgesini dosya formatını değiştirerek programa aktararak katman yüksekliklerini otomatik olarak tabakalara eklemektir (İnt.Kyn.1).

Akarçay Havzasındaki modellemeye aktaracağımız katmak yükseklikleri için üst yani tabakanın üst noktası için Akarçay havzası zemin yüzeyi topoğrafik kotları kullanılmıştır.

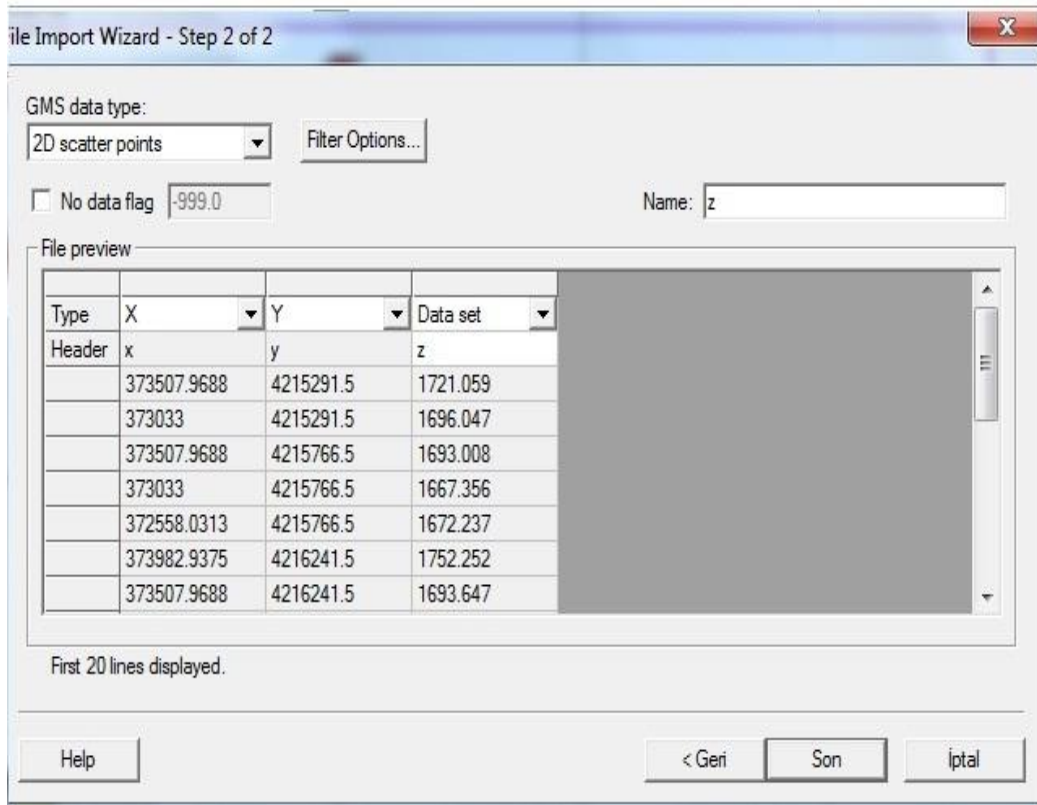
Tabakanın dip noktasını için 3D Grig Data klasörünün alt sekmelerinde belirtiler MODFLOW verinden olan Bottom sekmesine sabit bir değer girilmiştir.

Excel programında oluşturulan çizelgeler Farklı Kaydet seçeneğini kullanılarak Metin (Sekmeyle ayrılmış) dosyasına dönüştürülmüştür. Metin formatındaki bu çizelgeler programa ithal edilmek için aşağıdaki işlemler yapılmıştır (İnt.Kyn.1).

- Open (Aç) komutu seçilerek metin (text) dosyalarının kayıtlı olduğu klasörden programa Aç butonuyla çağırılmıştır.
- Bu işlemten sonra programda otomatik olarak File Import Wizard penceresi açılmıştır. Bu penceredeki işlemler aşağıdaki resimde gösterilmektedir.



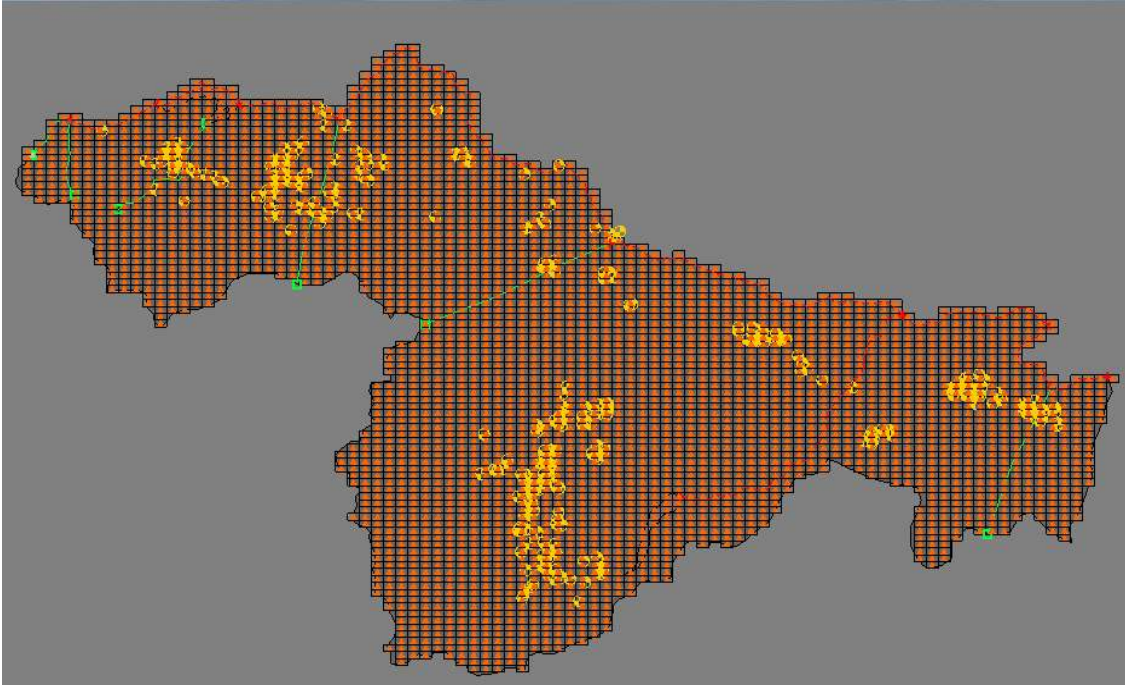
Resim 4.31 Saçılma noktaları ithal etme ilk adım sayfası



Resim 4.32 Saçılma noktaları ithal etme ikinci adım sayfası

Dosya ithal etme sihirbazı ithal edildikten sonra Project Explorer sayfasında otomatik olarak 2D Scatter Data sekmesi oluşmaktadır. Bu sekmenin altında dosyaları programa aktarırken hangi ismi vermişsek o başlık altında veriler sıralanmaktadır.

Arazi kotlarını programa aktarmış olduk. 2D Scatter Date verileri harita üzerinde saçılmış olarak görülmektedir. 2D Scatter Date sekmesini işaretleyip Display Options menüsünden bu noktaların renginde görünüşünde değişiklikler yapabilirsiniz. Model çalışmamızda arazi yükseklikleri turuncu üçgen şeklinde görülmektedir (İnt.Kyn.1).

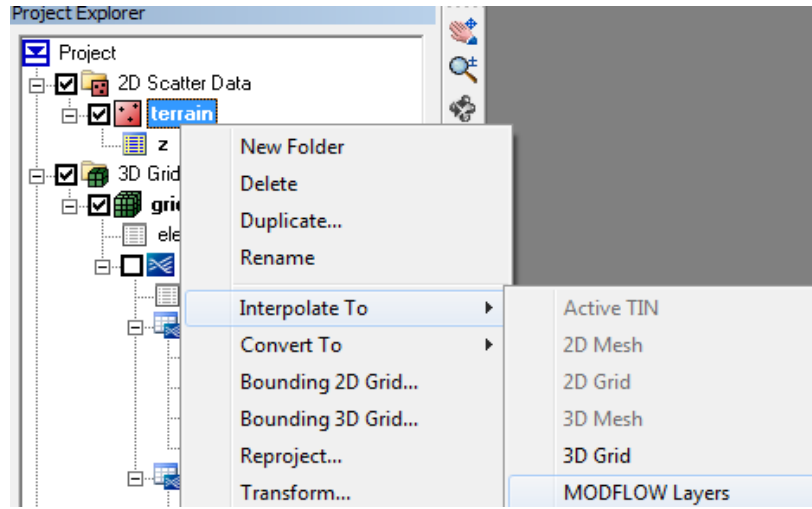


Resim 4.33 Saçılma noktalarının model üzerindeki dağılımı

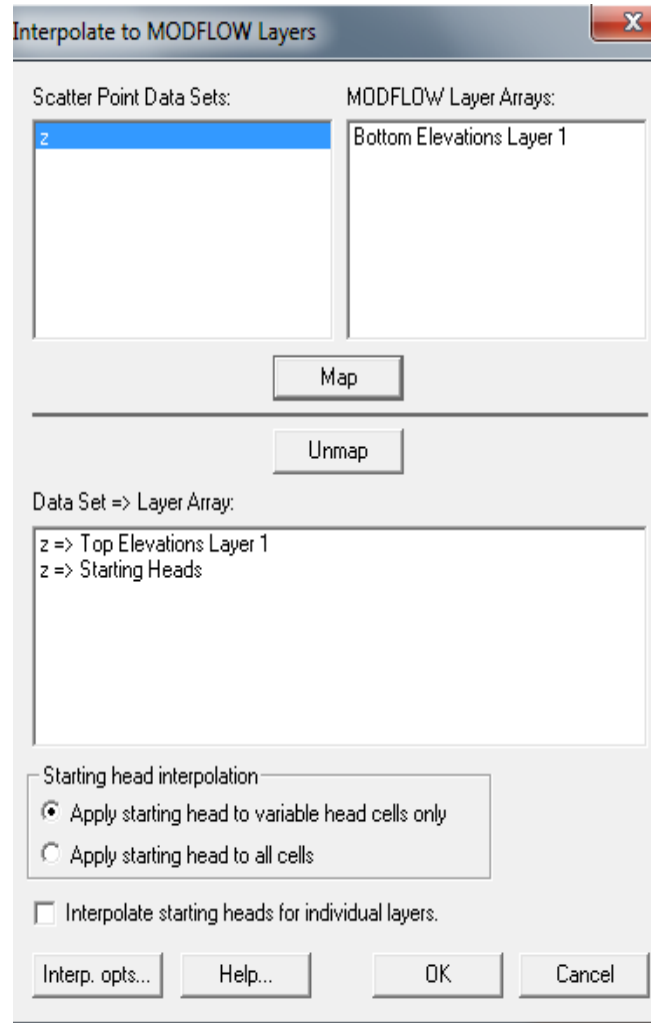
4.2.11.2 Arazi Saçılma Noktalarını Ekleme

Aktif olarak işaretlenen 2D Scatter Data sekmesindeki değerleri araziye ekleme işlemi şu şekilde yapılmaktadır

- Project Explorer sayfasında bulunan 2D Scatter Date sekmesi altında ‘terrain’ başlığının üzerinde sağ tık yapılarak açılan pencereden Interpolate To/MODFLOW Layer komutu seçilir.
- Açılan pencerede Scatter Points Data Set başlığı altında çıkan z işaretlenir.
- MODFLOW Layer Arrays başlığı altında bulunan Starting Heads işaretlenir ve Map komutuna basılır. Daha sonra MODFLOW Layer Arrays başlığı altındaki Top Elevations Layer 1 işaretlenir map butonu ile alt pencerede toplanır. Ok butonunu seçerek pencere kapatılır. Hücre yüksekliklerine başlangıç yükseklikleri eklenmiş olur (İnt.Kyn.1).



Resim 4.34 Interpolate to MODFLOW penceresini açma



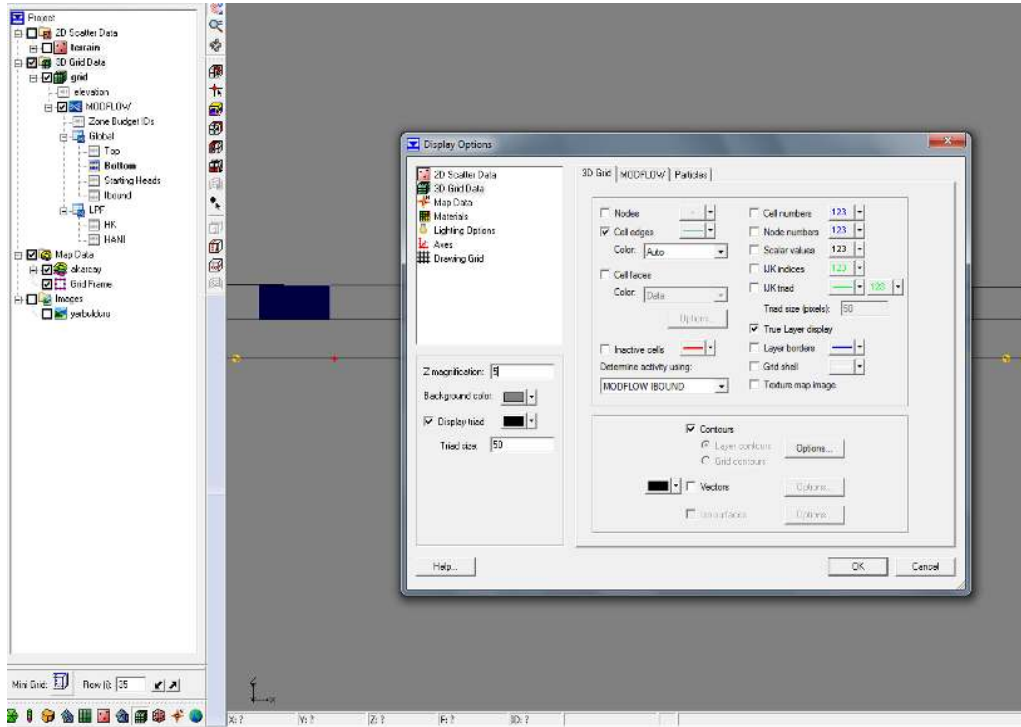
Resim 4.35 Zemin yüzey kotlarının birinci tabakaya eklenmesi

4.2.11.3 Ekran Değişikliği ve Model Kesit Görünüm İşlemleri

İnterpolasyon işlemlerini bitirilmiştir. Bu nedenle Grid Frame ve 2DScatter Data sekmelerinin aktifliğini kaldırmak gerekmektedir.

Model kesit görünümü işlemleri ise şunlardır.

- Project Explorer sayfasından 3D Grid Data klasörü seçilir.
- Modelimiz üzerinde herhangi bir hücre seçilir
- Görünümlerin bulunduğu görünüm çubuğundan Side View butonu seçilir. Modelimiz yandan görünecektir.
- Display options komutuyla ekran özellikleri penceresi açılacaktır. Buradan Z magnification faktör değeri 5 girilir. Ok butonu ile modelimizin daha geniş ve detaylı görünmesini sağlamış oluruz.
- Frame butonu ile tekrar çerçeve görünümünü vermiş oluruz (İnt.Kyn.1).



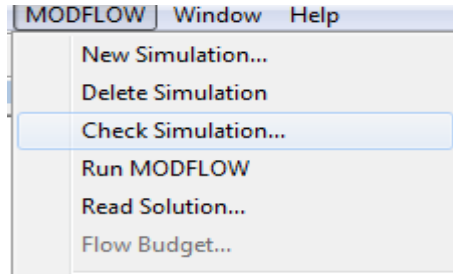
Resim 4.36 Ekran özellikleri ile seçilmiş olan hücrenin detaylı yan görünüşü

4.2.11.4 Yükseklik Serilerini Düzenlemek

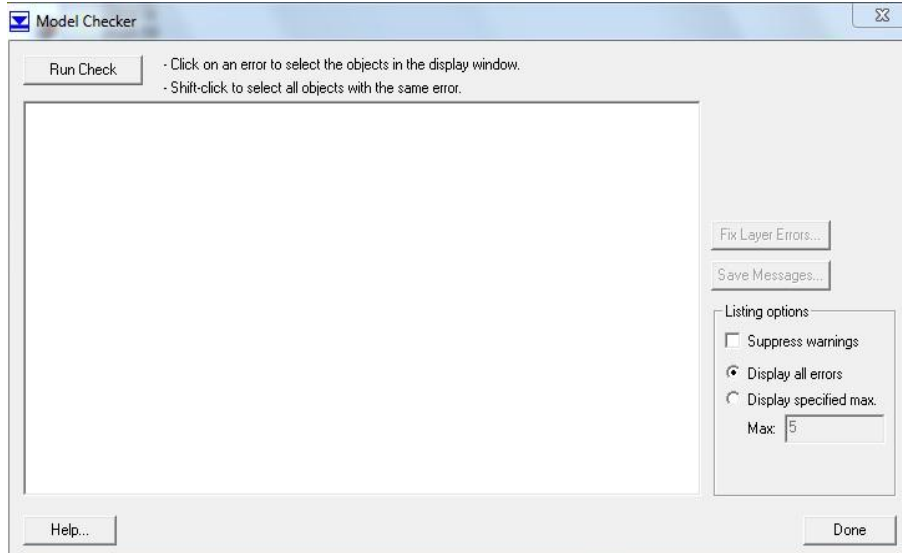
Tabaka yükseklikleri ekleme işlemi tamamlandıktan sonra tabaklardaki kesişme hatalarını kontrol ederek gerekli düzeltmeler GMS tarafından otomatik olarak yapılmaktadır. Bu işlemin yapım aşamaları şunlardır.

- Menü çubuğundan MODFLOW/Check Simulation komutu seçilir.
- Açılan pencereden Run Check butonu seçilir.
- Eğer modelimizde hata varsa çıkan hataları düzeltmek için Fix Layer Errors butonu seçilir.
- Açılan sayfadan Truncate to bedrock (anakaya kesme) seçeneği işaretlenir
- Fix Affected Layer butonu seçilir
- Ok butonu seçilerek Fix Layer Errors sayfasından çıkılır.
- Done Butonu seçilerek Model Checker sayfasından çıkılır (İnt.Kyn.1).

Eğer model çalışmamızda hata yoksa Model Checker (model kontrol) penceresinde Fix Layer Errors butonu aktif olmayacaktır ve Done butonuna basılarak pencere kapatılır.



Resim 4.37 Model kontrol penceresini aktif hala getirme

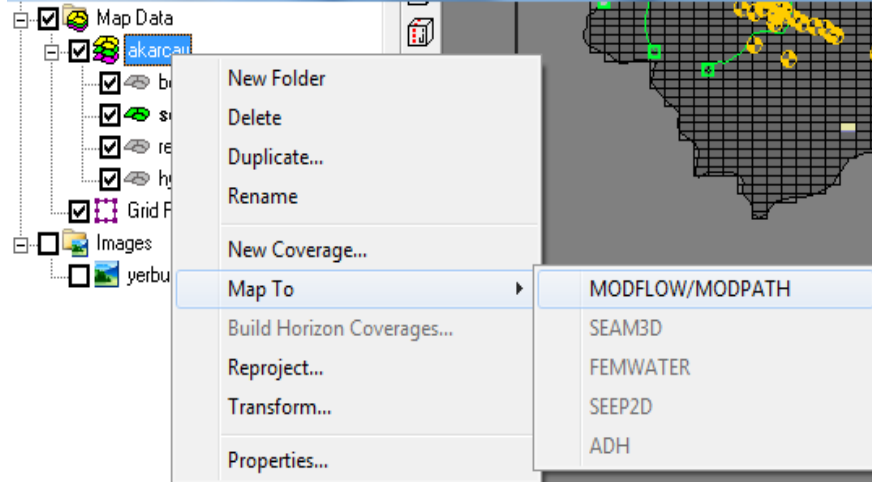


Resim 4.38 Model kontrol penceresi

4.2.12 Kavramsal Modele Dönüştürme

Nesne tabanlı tanımlanan modelden ızgara tabanlı MODFLOW sayısal modeline dönüştürmek için kavramsal model kullanılacaktır. Bu aşamada modelimizi tanımlanırken kullandığımız veriler artık sayısallaştırılarak modeldeki uygun hücrelere hidrolik parametreler atanacaktır. Bu işlemin yapım aşaması şunlardır.

- Project Explorer sayfasından Akarçay Havzası ismini verdiğimiz kavramsal modelimiz seçilir.
- Akarçay Havzası üzerinde sağ tuşa tıklanır (İnt.Kyn.1).

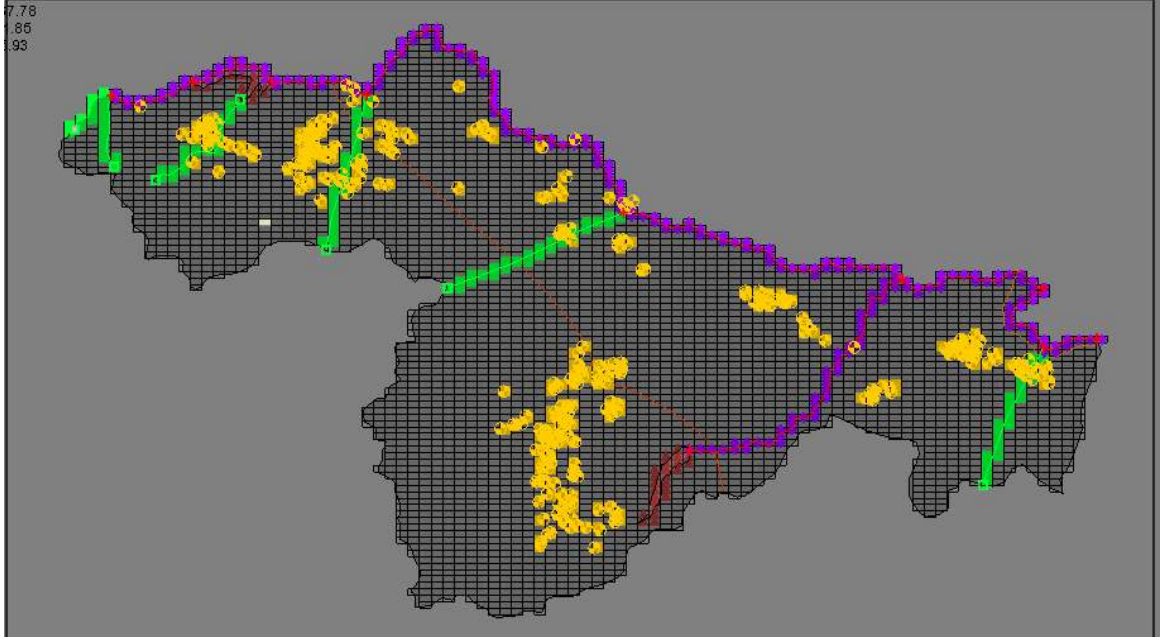


Resim 4.39 Kavramsal modeli ızgara tabanlı sayısal modele dönüştürme işlem penceresi

- Açılan pencereden Map To/MODFLOW/MODPATH komutu seçilir.
- Açılan Map > Model penceresinden All Applicable coverages (tüm kamsamlara uygula) seçeneği seçilir ve ok butonu seçilerek pencere kapatılır. Modelimiz artık kavramsal modele dönüştürülmüştür.
- Resim 4.40 da yay ve nokta olarak tanımladığımız model özelliklerimiz kavramsal model özellikleriyle görülmektedir (İnt.Kyn.1).



Resim 4.40 Haritadan modele dönüştürme penceresi



Resim 4.41 Modelin kavramsal modele dönüştürülmüş hali

4.2.13 Simülasyon Kontrolü

Bu işlemin yapım aşamaları şunlardır.

- Project Explorer dan 3D Grid Data klasörü seçilir.
- MODFLOW menüsünden Check Simulation seçilir.
- Açılan Model Checker penceresinden Run Check komutu seçilir. Ekranda hata uyarısı yoksa Done butonu seçilerek Model Checker penceresi kapatılır.

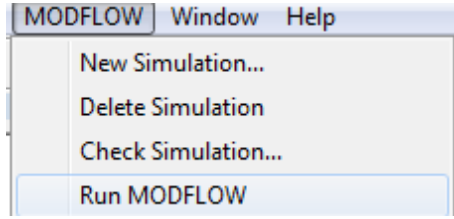
4.2.14 Projeyi Kaydetme

Izgara tabanlı sayısal modele dönüştürdüğümüz modelin analizini yapılacaktır. Analizi başlatmadan önce Project Explorer penceresindeki tüm veriler kaydedilir. Bu işlem için Save komutu seçilir. Model verileri kaydedildikten sonra modelimiz analize hazır hale gelmiştir (İnt.Kyn.1).

4.2.15 MODFLOW Çalıştırma

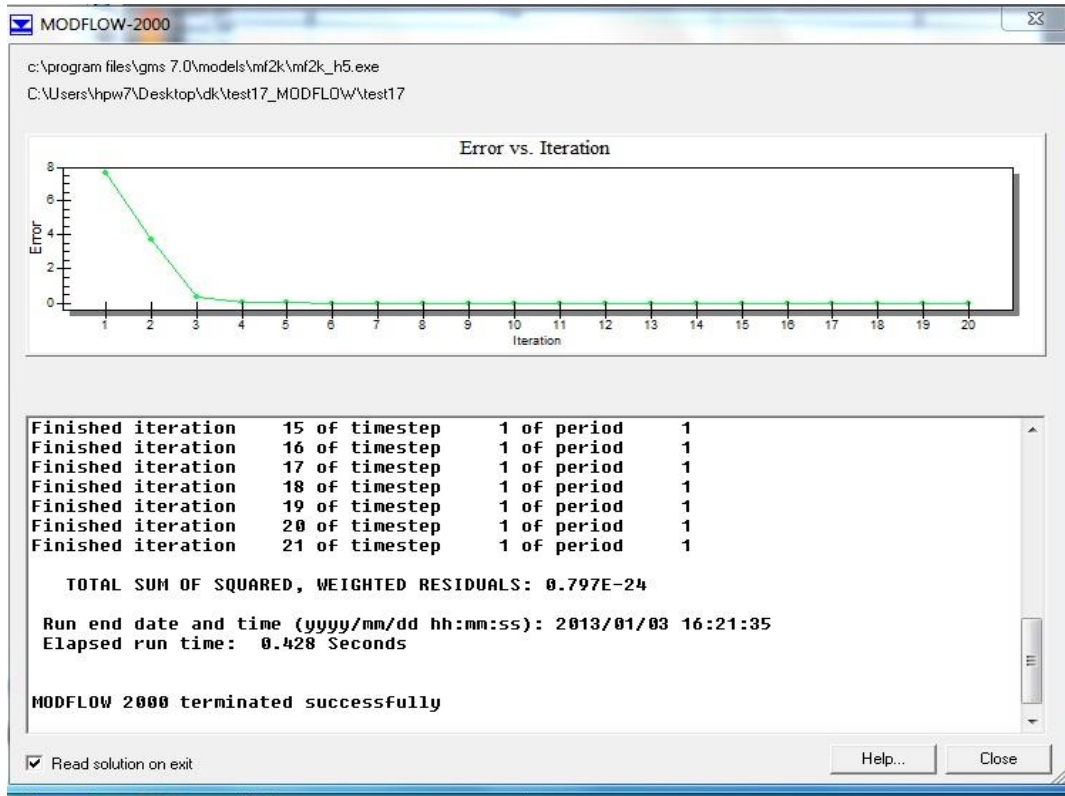
Modelimiz artık analize hazır. Bu işlem için yapılacak işlem basamakları şunlardır.

- MODFLOW menüsünden Run MODFLOW komutu seçilir.



Resim 4.42 Analiz başlatmak için açılan pencere

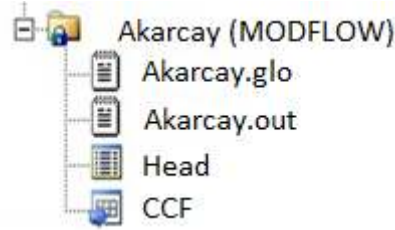
Analiz başlatıldığında zaman analiz penceresi açılır. Modelimizde analiz sonucunda hata olmadığı zaman analizi tamamlar ve pencerenin altında analizin başarıyla tamamlandığını gösteren yazı görülür (İnt.Kyn.1).



Resim 4.43 MODFLOW Sayısal model analiz penceresi

Modelimizi analiz yaptıktan sonra programda ortaya çıkan ve ilk göze çarpan kısmı Project Explorer sayfasında 3D Grid Data dosyası sekmesinin altında çalışma dosyamızın isminde bir kilit ile bir klasör görünümünde oluşan MODFLOW çıktı

klasörüdür. Bu klasörde “glo”, “ out” uzantılı çıktı dosyaları, Head ve CCF dosyaları bulunmaktadır. Glo ve out uzantılı çıktı dosyaları analizin tamamlandığını gösteren küresel ve liste dosyalarıdır ve CSV dosyası olarak dışa aktarılabilmektedir. Head dosyası modelimizdeki grid hücrelerindeki yer altı su seviyesine ait yüksekliği vermektedir. CCF (cell by cell flow) hücreden hücreye akış dosyası hücrelerdeki toplam akış bütçesi (flow budget) vermektedir.

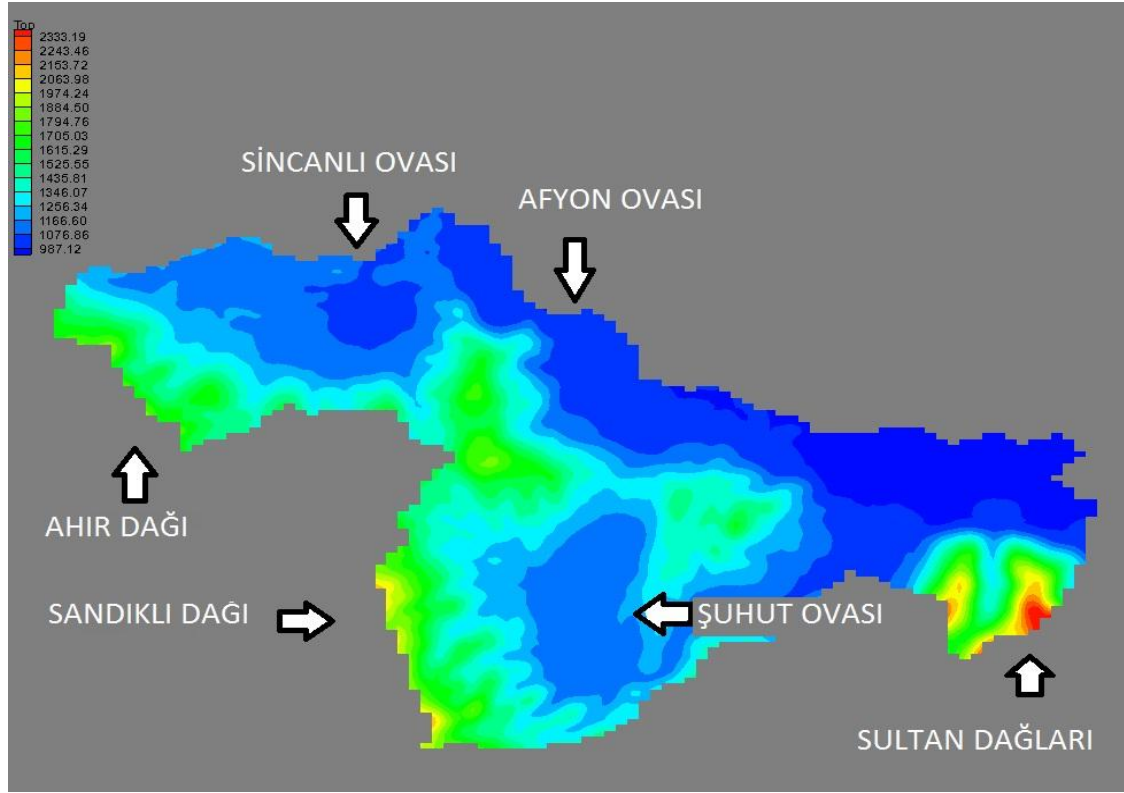


Resim 4.44 Analiz sonucu oluşan çıktı dosyaları

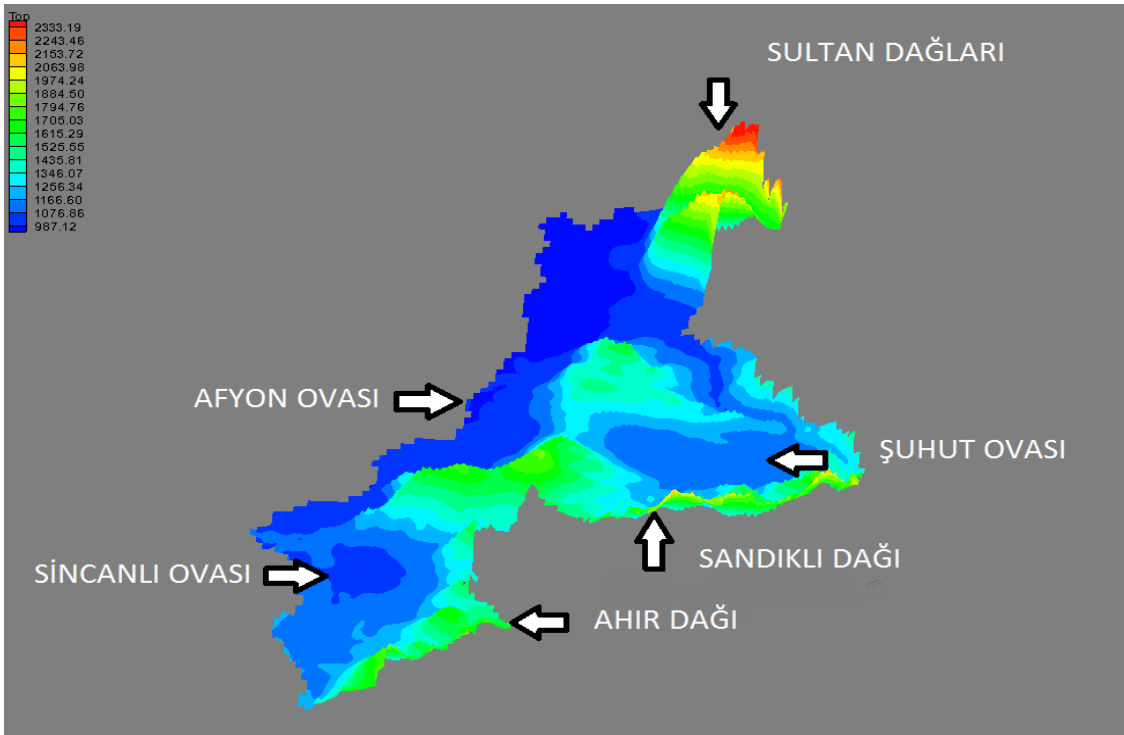
Analiz sonucu menü çubuğunda bulunan MODFLOW menüsünde bulunan Flow Budget komutu aktif hale gelmiştir. Project Explorer penceresinde bulunan CCF dosyasını seçerek MODFLOW menüsünde bulunan Flow Budget komutunu seçerek bütün hücrelerdeki akış bütçesi tablosu elde edilmektedir.

Resim 4.45 ve resim 4.46’da analiz sonrası arazi kotu yükseklik değerleri plan ve 3B’li görünümü vardır. Resim 4.47 ve resim 4.48’da analiz sonrası yeraltı su seviyesi yükseklik değerleri izohips eğrili plan ve renk dolgulu görünümü vardır.

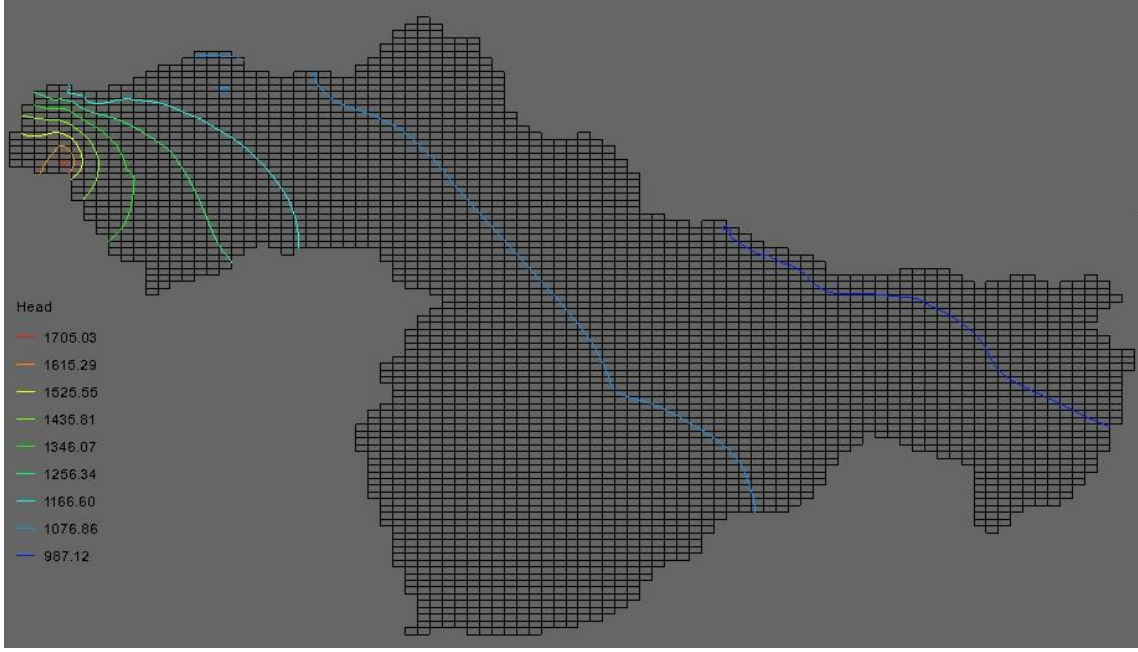
İzohip eğrilerinin yüksekliklerine göre renklendirilerek görünümü incelendiğinde yüksekliğin mavi renkten kırmızı renge doğru arttığı görülmektedir.



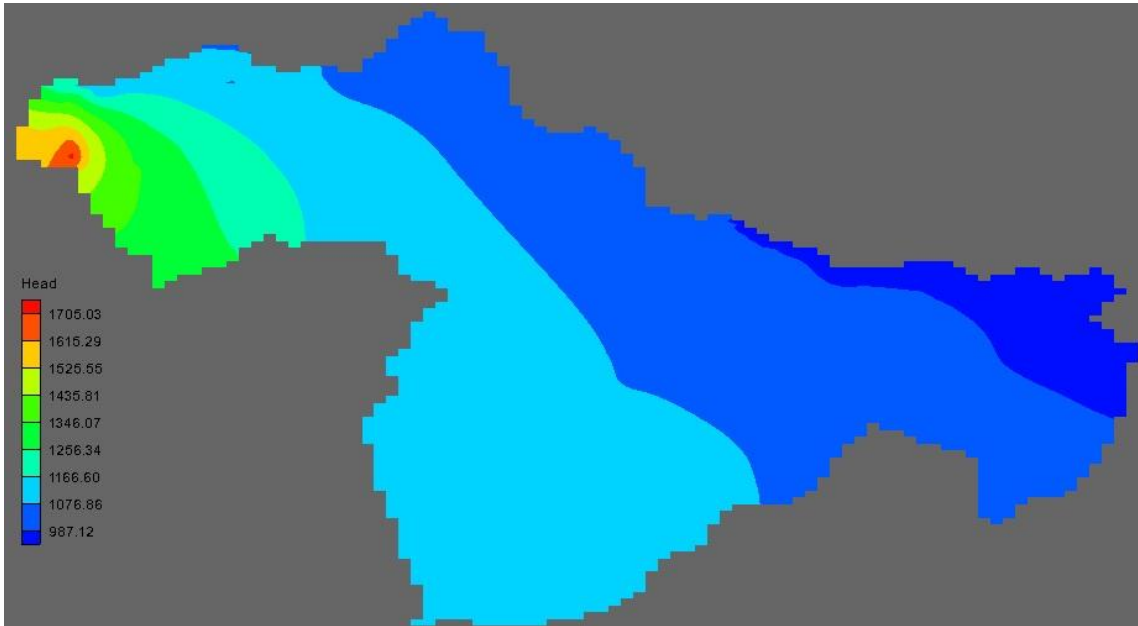
Resim 4.45 Analiz sonrası oluşan izohips eğrileri renk dolgusu plan görünümü



Resim 4.46 Analiz sonrası oluşan izohips eğrileri renk dolgusu 3B'li görünümü



Resim 4.47 Analiz sonrası oluşan yeraltı su seviyesi izohips eğrili plan görünümü



Resim 4.48 Analiz sonrası oluşan yeraltı su seviyesi izohips eğrileri renk dolgusu görünümü

5. BULGULAR

Akım bütçesi tablosunda hücreler (cells) başlığı altında modelimizdeki tüm hücrelerdeki akış hakkında bilgiler verilmektedir. Besleme/gider noktalarından akifere giren akışlar (flow in), akiferden çıkan akışlar (flow out) başlıkları altında gösterilmiştir. Akarçay nehri ve Eber gölünde akifere giren ve akiferden çıkan akış miktarı “constant head” olarak verilmiştir. Model alanımızda bulunan Akdeğirmen ve Selevir barajlarından yer altı suyu bütçesine katkısı “general head” olarak verilmiştir. Model alanımızda bulunan kuyulardan pompalanan su miktarı “wells” başlığı karşısında verilmiştir. Model alanımızın tamamından yeraltına sızan su miktarı “recharge” başlığında verilmiştir. Toplam akışa giren ve çıkan akış miktarı “Total Sources/Sinks” başlığı altında verilmiştir. Model alanımız tek bir poligon olarak sınırlandırıldığı ve bir bütün olarak tanımlandığı için “Zone Flow” başlığı altındaki değerler sıfırdır. Resim 5.1’de tüm hücrelerdeki akış bütçesi görülmektedir.

Akım bütçesi penceresinden bölgeler (zones) başlığı altında modelimizin tek ve bütün alanlarındaki değerlerin aynı olduğu görülmektedir. Resim 5.2’de bu değerler görülmektedir.

Flow Budget		
Cells	Zones	
Number of selected cells: 0 (data for all cells is displayed below)		
	Flow In	Flow Out
Sources/Sinks		
Storage		
Constant heads	200764.40871473	-1437816.011299
Drains	0.0	0.0
Drains (DRT)		
General heads	67165.309204102	-256403.9856873
Rivers		
Streams		
Streams (SFR2)		
Wells	0.0	-838753.9132729
Recharge	2283859.28302	0.0
Evapotranspiration		
Evapotranspiration (ETS)		
Lake		
Total Source/Sink	2551789.0009389	-2532973.910259
Zone Flow		
Top		
Bottom		
Left	0.0	0.0
Right	0.0	0.0
Back	0.0	0.0
Front	0.0	0.0
Total Zone Flow	0.0	0.0
TOTAL FLOW	2551789.0009389	-2532973.910259
Summary	In - Out	% difference
Sources/Sinks	18815.090680219	0.7373294058912
Cell To Cell	0.0	0.0
Total	18815.090680219	0.7373294058912
Help...	OK	

Resim 5.1 Modelde tüm hücrelerindeki akış bütçesi

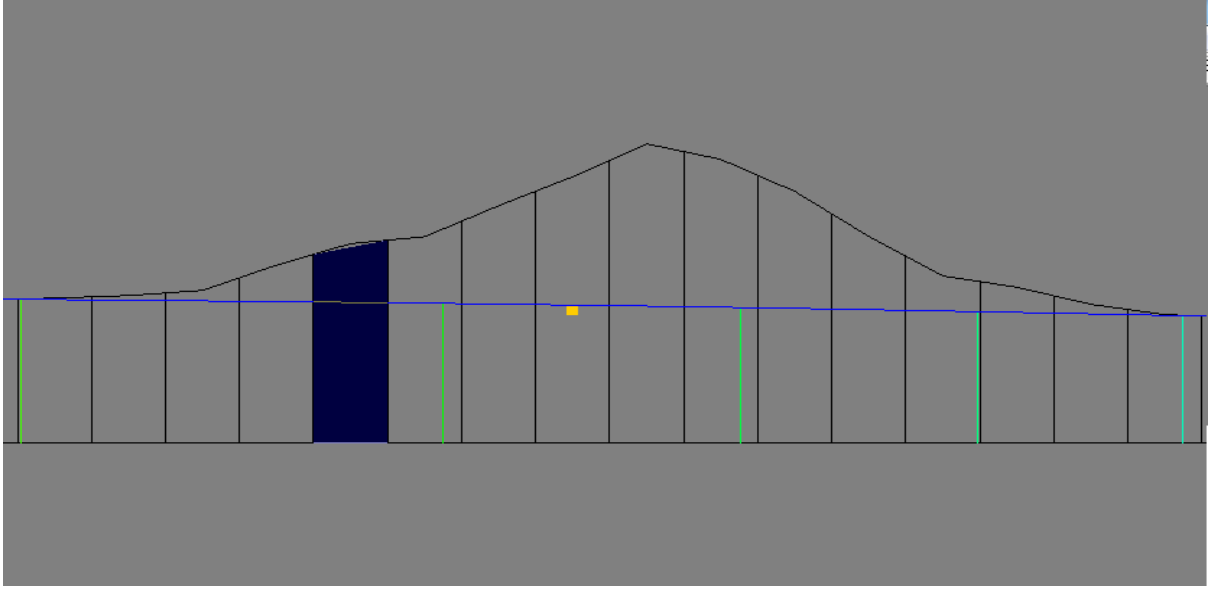
Flow Budget	
Cells	Zones
Zone	All zones ☐ Use all timesteps
Budget Term	Flow (m ³ /d)
Flow Budget for All Zones	
IN:	
Constant heads	200764.40871473
Drains	0.0
General heads	67165.309204102
Wells	0.0
Recharge	2283859.28302
Total IN	2551789.0009389
OUT:	
Constant heads	1437816.0112985
Drains	0.0
General heads	256403.98568726
Wells	838753.91327286
Recharge	0.0
Total OUT	2532973.9102586
SUMMARY:	
IN - OUT	18815.090680219
Percent Discrepancy	0.7373294058912
Flow Budget for Zone 1	
IN:	
Constant heads	200764.40871473
Drains	0.0
General heads	67165.309204102
Wells	0.0
Recharge	2283859.28302
Total IN	2551789.0009389
OUT:	
Constant heads	1437816.0112985
Drains	0.0
General heads	256403.98568726
Wells	838753.91327286
Recharge	0.0
Total OUT	2532973.9102586
SUMMARY:	
IN - OUT	18815.090680219
Percent Discrepancy	0.7373294058912

Resim 5.2 Modelde tüm bölgelerindeki akış bütçesi

Akım miktarını tüm hücrelerin dışında istenilen ve seçilen bir yada birkaç hücre içinde görebilmek mümkündür. Seçili hücrelerin akış bütçesi tablosuna bakılınca seçilen sayısını görebilmekteyiz. Modelde yapılan seçimdeki hücre sayısı 190 adettir. Seçilen

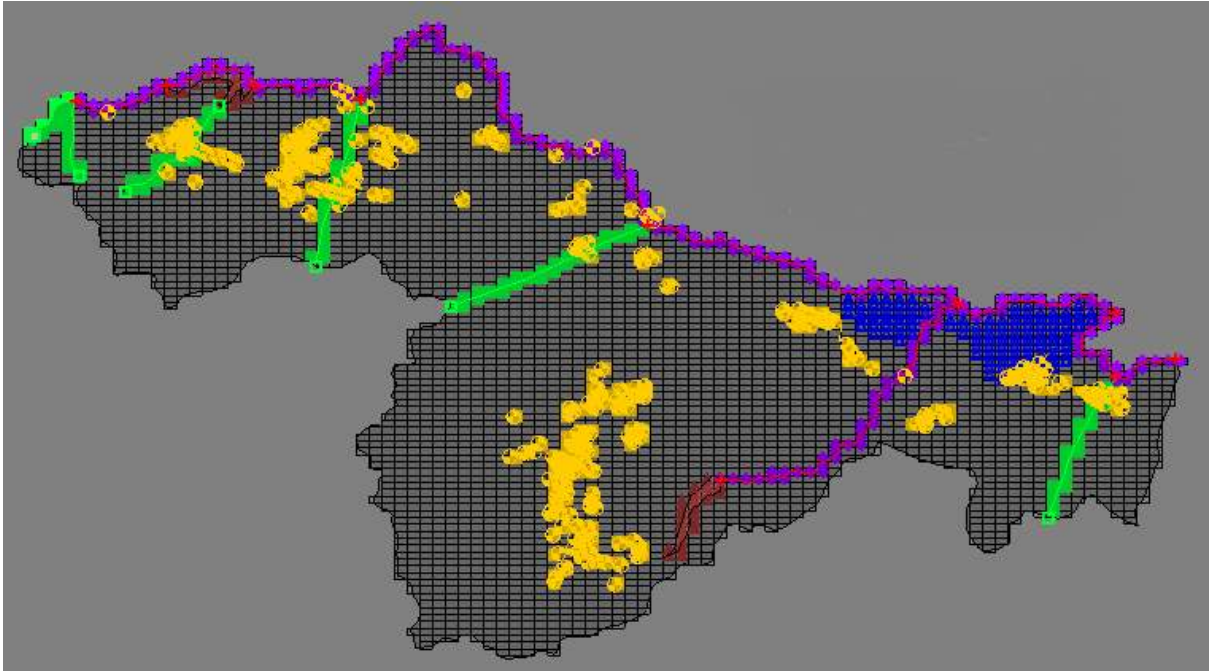
Flow Budget		
Cells	Zones	
Number of selected cells: 190		
	Flow In	Flow Out
Sources/Sinks		
Storage		
Constant heads	0.0	-206306.1279297
Drains	0.0	0.0
Drains (DRT)		
General heads	0.0	0.0
Rivers		
Streams		
Streams (SFR2)		
Wells	0.0	-49610.88024902
Recharge	119270.4788208	0.0
Evapotranspiration		
Evapotranspiration (ETS)		
Lake		
Total Source/Sink	119270.4788208	-255917.0081787
Zone Flow		
Top		
Bottom		
Left	97725.529785156	0.0
Right	0.0	-56857.76135254
Back	0.0	0.0
Front	95778.7734375	0.0
Total Zone Flow	193504.30322266	-56857.76135254
TOTAL FLOW	312774.78204346	-312774.7695313
Summary	In - Out	% difference
Sources/Sinks	-136646.5293579	-114.5686096919
Cell To Cell	136646.54187012	70.616797453277
Total	0.0125122070313	4.0003887e-006
Help... OK		

Resim 5.4 Modelde seçilen hücrelerdeki akış bütçesi



Resim 5.5 Hücrelerin kesit görünümü

Modelimizde analiz sonrası bazı bölgelerin mavi renkte olduğu görünür. Mavi renkte olan bölgeler yeraltı suyunun yeryüzüne çıktığını ifade etmektedir.



Resim 5.6 Analiz sonrası modelin görünümü

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışma yer altı suyu modelleme programı GMS (Groundwater Modeling System) kullanılarak Akarçay havzası Afyon, Şuhut, Sincanlı alt havzalarını kapsayan güney bölgesinin mevcut su potansiyelinin belirlenmesi, gelecekteki yeraltısuyu işletme programlarının yapılması, yeraltısuyu akım hareket mekanizmasının belirlenmesi, yer altı suyunun modellenmesi amacıyla yapılmıştır.

Modelleme yapılırken Akarçay havzasının topoğrafik özellikleri, zeminin jeolojik ve hidrolojik özellikleri, kuyuları debi değerleri, havzanın ortalama yağış, buharlaşma, akım değerleri kullanılmıştır. Modelleme alanı tek tabaka halinde tanımlanmıştır. Zeminin jeolojik özellikleri açılan sondaj kuyularından öğrenilmektedir. Fakat sondaj kuyusu açmak maliyet olarak çok yüksektir. Havzada sulama amaçlı açılan sondaj kuyuları derinlik olarak çok derin olmadığı için kuyuların altındaki zeminin özellikleri hakkında bilgi edinilememiştir. GMS programı birçok modülü çalıştırabilmektedir. CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) modülü sayesinde modelimize ait topoğrafik özellikler programa aktarılmıştır. Aktarılan bu özellikler sayesinde modelimize üç boyut verilirken gerçeğe yakın simüle edilmiştir.

Planlama yapılırken karşılaşılan en önemli sorun arazide izinsiz açılan sondaj kuyularıdır. Bu kuyulardan çekilen sular yeraltı su rezervlerinin azalmasına ve bu nedenle havzada kuraklığa neden olabilmektedir. Kurak bir arazinin içme, sulama, kullanma gibi ihtiyaçları karşılaması beklenilemez. Çözüm olarak başka havzalardan su transferi düşünülebilir. Transfer işlemi havzayı kuraklıktan kurtarmak için yapılacak en son çare olabilir. Başka havzalardan su transferi kararından önce mutlaka o havzada: su talebinin azaltılması; atık suyun geri dönüştürülmesi; su arzının yerelden karşılanması yönünde alternatiflerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Varolan kaynakları tüketmeden kullanılmalıdır. İzinsiz kuyuların tespit edilip bertaraf edilmesinin bilinçli kullanım için insanları yönlendirecektir. Modelleme yapılırken kullanılan parametreler yardımıyla model üzerinde havzanın ova kısımlarında kuyuların sık olduğu

görülmektedir. Tarımcılık yapılan ovalarda verimli arazinin denetlenmesi ve toprağın niteliklerine göre kullanılması da su kaynakları yönetiminde değerlendirilebilir.

Havzanın kuzey bölgesi için Hökelekli (2010) tarafından yapılan çalışma sonuçlarında giren çıkan akım farkı $-0,003763 \text{ m}^3/\text{gün}$, olup aynı değer güney bölgesi için $18\,815,09 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür. Bu durumun, havzanın güney bölgesinin kuzeye göre yüksek ve daha engebeli olması sebebiyle özellikle kar erimesiyle yeraltı suyunun beslenmesinin uzun zaman devam etmesi olduğu düşünülebilir. Kuzey havzada bulunan Seyitler Barajı'nın su kotu yüksek bölge (general head) olarak tanımlanmaması ve havzaya geri besleme oranının (recharge rate) tanımlanmaması düşünülebilir. Farkın bir nedenide iletkenlik, iletimlilik gibi zemin parametrelerinin her iki çalışmada aynı olmaması gösterilebilir.

GMS programında verilerin güncellenme özelliği vardır. Modelleme yapılırken çalışılacak alanların güncel hidrolojik, jeolojik ve topoğrafik değerleriprograma aktararak daha önceki çalışma üzerinde değişiklik yapılaraka güncel verilere göre sonuçlar revize edilebilir. Bu sayede Akarçay havzasının su kaynakları yönetim ve koruma planları oluşturulurken hem sayısal hem görsel değerlendirme veya tespiti ile ilgilieyapılacak olan çalışmalara ve modelleme geliştirme çalışmalarına önemli katkı sağlayacaktır.

7. KAYNAKLAR

- Ahmed, I., Umar, R., 2009. Groundwater flow modelling of Yamuna-Krishni Interstream, a Part of Central Ganga Plain Uttar Pradesh. *Journal of Earth System Science*, 118 (5), 507–523.
- Atilla, A.Ö., 2002. Afyon Ovası Yeraltısuyu Akım Modeli. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 26 (2), 17–30.
- Bayazıt, M. 1991. Hidroloji, Beşinci Basım, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbası, 236s., İstanbul
- Carroll R.W.H., Pohll G.M., Earman S., Hershey R.L. 2008. A comparison of groundwater fluxes computed with MODFLOW and a mixing model using deuterium: Application to the eastern Nevada Test Site and vicinity, *Journal of Hydrology* 361, 371– 385
- Çakmak, S. 2010 Afyonkarahisar Şuhut Ovasının Yer altı Suyu Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 132s, Isparta
- Dişli, E., 2007. Eymir-Mogan Gölleri Arasında Yeraltısuyu Akım ve Kütle Taşınım Modeli. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 118 s, Ankara.
- Hökelekli E. 2010. Bilgisayar Desteği ile Yeraltı Suyu Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 90s., Afyonkarahisar
- İçağa, Y. 2004. Akarçay Havzası Hidrolojik Modeli, Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi, İstanbul
- İçağa Y., Yurtçu Ş., Ulutürk Y. 2007. Yer altı Suyu Seviye Değişiminin Stokastik Modellenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı 11-2, s 180-186
- Lachaal F., Mlayah A., Be'dir M., Tarhouni J., Leduc C. 2012. Implementation of a 3-D groundwater flow model in a semi-arid region using MODFLOW and GIS

tools: The Ze'ramdine–Be'ni Hassen Miocene aquifersystem (east-central Tunisia), Computers & Geosciences, Volume 48, Pages 187-198

Mirlas V. 2012. Assessing soil salinity hazard in cultivated areas using MODFLOWmodel and GIS tools: A case study from the Jezre'el Valley, Israel, Agricultural Water Management 109 144–154

Tezcan, L., Meriç B.T., Doğdu, N., Akan, B., Atilla, A.Ö., Kurttaş, T., 1999. Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Akım Modeli 2. Ara Raporu. Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM)-Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 190 s, Ankara.

Uslu, H. İçağa, Y. 2010. Yapay Sinir Ağları ile Akarçay Akımının Modellenmesi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* Cilt: 6, No: 2, (31-41)

Yurtçu Ş., İçağa Y. 2005. Kil Zeminlerde Yeraltı Suyunun Modellenmesi, 4th International Advanced Technologies Symposium, Konya

Yurtçu Ş., İçağa Y. 2005. Akarçay Havzası Yeraltı suyu Periyodik Davranışının Modellenmesi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt 1, s 21-28

Tanık A., Alpaslan N., Dölgen D. 2008. Türkiyede Su Yönetimi: Sorunlar ve Öneriler, TÜSİAD, Yayın No: T/2008 – 09/469

Xu X., Huang G., Zhanc H., Que Z., Huang Q. 2012. Integration of SWAP and MODFLOW-2000 for modeling groundwater dynamics in shallow water table areas, Journal of Hydrology, Volumes 412–413, Pages 170-181

İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

- | | |
|--|------------|
| 1. http://www.aquaveo.com/gms-learning | 20.11.2012 |
| 2. http://www.xmswiki.com/xms/GMS:GMS | 02.12.2012 |
| 3. www.karacakaya.com.tr/yeralti_sulari.html | 01.01.2013 |
| 4. http://www.turkcebilgi.com/ansiklopedi/yeralti_sulari | 02.01.2013 |
| 5. http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle/turkish.html | 04.01.2013 |
| 6. http://www.imarsusondaj.com/default.asp?id=44 | 05.02.2013 |
| 7. http://tr.wikipedia.org/wiki/Akarçay_Havzası | 10.02.2013 |

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Dilek KOÇAK

Doğum Yeri ve Yılı : Yozgat / 30.05.1983

Medeni Hali :Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

İletişim (Telefon/e-posta): 0 (542) 844 34 74/dilekkk_0066@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Yozgat Anadolu Ticaret Meslek Lisesi / 1997 - 2001

Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi / 2004 – 2008

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Yayınlar (SCI ve Diğer):

Diğer Konular :