

**BİLGİSAYAR DESTEĞİNDE
YERALTI SUYU MODELLEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emin HÖKELEKLİ

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Yılmaz İÇAĞA**

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

OCAK 2010

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİLGİSAYAR DESTEĞİNDE
YERALTI SUYU MODELLEMESİ

Emin HÖKELEKLİ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Yılmaz İÇAĞA

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

OCAK 2010

ONAY SAYFASI

Doç.Dr.Yılmaz İÇAĞA danışmanlığında,
Emin HÖKELEKLİ tarafından hazırlanan
Bilgisayar Desteğinde Yeraltı Suyu Modellemesi
başlıklı bu çalışma lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca

22 / 01 / 2010

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından

Yapı Eğitimi Anabilim Dalında

Yüksek lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan Doç. Dr. Yılmaz İÇAĞA

Üye Yrd. Doç. Dr. İsmail ZORLUER

Üye Yrd. Doç. Dr. Ünal YILDIRIM

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetin Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Rıdvan ÜNAL
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜRLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışmanın Kapsamı	2
1.3. Çalışmanın Önemi	3
2. YERALTI SUYU MODELLEMESİ	4
2.1. Yeraltı Suyu Davranışı ve Modellemesi	4
2.1.1. Hidrolik Çevrim ve Yeraltı Sularının Oluşumu	4
2.1.2. Suyun Yeraltında Dağılışı ve Bulunduğu Yerler	7
2.1.3. Suyun Yeraltında Düşey Dağılışı	7
2.1.4. Suyun Yeraltında Bulunuş Şekli ve Akifer Kavramı	9
2.1.5. Yeraltı Sularının Beslenme ve Kayıpları	11
2.1.6. Yeraltı Sularının Hareketi	11
2.1.7. Hidrolik Eğim (i)	12
2.1.8. Darcy Yasası	13
2.1.9. Porozite (Gözeneklilik)	13
2.1.10. Permeabilite (Geçirimsizlik)	14
2.1.11. Transmisibilite (T, İletimsizlik)	16
2.2. Yeraltı Suyu Modellemesi	17
2.2.1. Yeraltı Suyu Modellemesi Konusunda Yapılan Çalışmalar	18
2.2.2. Modelleme Programı Kullanılarak Yapılan Çalışmaları	20

	Sayfa No
3. MATERYAL VE METOD	24
3.1. Akarçay Havzasının Tanıtılması	24
3.1.1 Coğrafi Konumu ve Yapısı	24
3.1.2. Akarçay Havzasının Hidrolojisi	26
3.1.3. Akarçay Havzasının Jeoloji	27
3.2. GMS Programında Yeraltı Suyu Modelleme	29
3.2.1. Yeraltı Suyu Akım ve Taşıma Özellikleri	29
3.2.2. Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Kavramsal Model	29
3.2.3. Bölgeyi Görselleştirme	30
3.3. Yeraltı Suyu Modelleme Yöntemi	30
3.3.1. Kavramsal Model	31
3.3.2. Kavramsal Model Tanımlama Aşamaları	34
3.3.3. Programda Kullanılan Hidrolojik Terimler	36
4. UYGULAMA	39
4.1. Model Çalışmasında Kullanılan Veriler	39
4.2. Veri Girişi ve Akarçay Havzasının Yeraltı Suyu Modellenmesi	43
4.2.1. Çalışma Bölgesine Ait Haritanın Programa Aktarılması	43
4.2.2. Birim tanımlamak	44
4.2.3. Kavramsal Model Oluşturma	45
4.2.4. Model Sınırlarını Tanımlamak	46
4.2.5. Kaynak/Besleme Noktaları	48
4.2.6. Kuru Dere Yataklarını Tanımlama	52
4.2.7. Kuyuların Tanımlanması	55
4.2.8. Hidrolik İletkenlik Tanımlama	57
4.2.8. Izgara Çerçevesi Yerleştirme	62
4.2.9. Üç Boyutlu Izgara Oluşturma	63
4.2.10. MODFLOW verileri başlatmak	65
4.2.12. Katman Yüksekliklerinin Eklenmesi	67
4.2.13. Yükseklik Serilerini Düzenlemek	73
4.2.14. Kavramsal Modele Dönüştürme	76

	Sayfa No
4.2.15. Simulasyonu Kontrol Etmek	77
4.2.16. MODFLOW Çalıştırma	77
5. BULGULAR	79
6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	87
7. KAYNAKLAR	88
8. ÖZGEÇMİŞ	90

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİLGİSAYAR DESTEĞİNDE YERALTI SUYU MODELLEMESİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bu çalışma Afyon il sınırları içerisinde bulunan ve doğudan Konya sınırlarına girmekte olan Akarçay havzasının, Bolvadin, Çay, Çobanlar, İşcehisar, İhsaniye, Bolvadin-Eber gölü sınırları ve Akarçay nehrinin kuzeyinde yer alan bölgeleri kapsamaktadır. Akarçay havzası akiferine ait yeraltı suyu akım modellemesi Groundwater Modeling System (GMS) programında oluşturulmuştur. Model çalışması sırasında, akifer sınırı, topografik yükseklikler, kuyu koordinatı, kuyu logları, akarsu yatağı, akifer taban kotu, hidrolik parametre verileri derlenerek programa aktarımı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, kapalı bir havza özelliğinde olan çalışma alanının matematiksel yeraltı suyu akım modeli oluşturularak yeraltı su bütçesi hesaplanmıştır. Çalışma alanın belirli bölgeleri seçilerek, bu bölgelere ait su bütçesi hesaplanabilmektedir. Havzanın istenilen yerinden kesit alınarak, o bölgedeki su seviyesinin zemin yüzeyine olan uzaklığı görsel olarak modellenmiştir. Ayrıca havzanın üç boyutlu katı modellemesi yapılmıştır. Çalışma alanı sonlu farklar yöntemiyle ve kararlı akım varsayımı ile 2002 yılı hidrolojik gözlemleri esas alınarak modellenmiştir. Elde edilen sonuçların, havzadaki yeraltı su bütçesi hakkında bilgi edinilmesinde faydalı olacağı düşünülmektedir. Özellikle çalışmada hem Akarçay havzasının yeraltı suyu modellemesi anlatılırken hem de GMS programının nasıl kullanılacağı anlatılmıştır. Bu yüzden araştırmanın GMS programını kullanarak modelleme yapmak isteyen araştırmacılara da faydalı olacağı düşünülmektedir. Sonuç olarak kurulan bu model Akarçay havzası yeraltı suyunun kontrol ve takip edilmesi ile ilgili çalışmalara ışık tutacaktır.

2009, 90 sayfa

Anahtar Kelimeler: Akarçay Havzası, Yeraltısuyu, Modelleme, GMS,

ABSTRACT

M.Sc.Thesis

GROUNDWATER MODELING IN COMPUTER SUPPORT

Afyon Kocatepe University

Institute for the Natural and Applied Sciences

This study comprizes the Bolvadin, Çay, Çobanlar, Işçehisar, İhasniye, Bolvadin-Eber lake boundaries and northern regions of Akarçay havza that is in Afyonkarahisar and partialy in the east of Konya. The ground water modeling of the aquifer of Akarçay basin has been made in GMS (Groundwater Modeling System) program. In the modeling studies, the aquifer boundary, topographical elevations, well coordinates, well logs, drains, aquifer bottom elevation, hydraulic parameter data are gathered and transferred into the program. In this study the groundwater budget has been calculated through creating mathematical groundwater flow model of the study region which is a closed basin. The partial regional water budgets can be calculated whit choosing related regions of the study site. The water levels distance from ground surface is modeled visually with cross sectioning the basin. The three dimensional solid modeling of the basin is also made. The region is modeled with finite difference method and steady state flow assumption depending on 2002 hydrological observations. The results are expected to be helpful for ground water budget studies on the basin. Especially in this study both the groundwater modeling of Akarçay basin and GMS program is explained. This study can be also helpful for the researchers who want to use GMS for modeling. Concesuquentl, this study will enlighten the researches which are about controlling and following up Akarçay havza ground water.

2009, 90 pages

Key words : Akarçay Basin, Groundwater, Modelling, GMS.

TEŞEKKÜR

Bu tezi hazırlarken, bilgisi ve deneyimleri ile bana ilham veren ve yol gösteren, yüksek lisans danışmanım saygı değer hocam Doç. Dr. Yılmaz İÇAĞA' ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışmamın düzenlenmesinde yardımını esirgemeyen değerli meslektaşım Öğr. Grv. Metin SEZEN' e, programın kullanılmasında yardımını esirgemeyen Öğr. Grv. Mustafa SAYAR ve Öğr. Grv. Nuri URAL' a ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında maddi-manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim, sıkıntılı dönemleri bana aksettirmeyerek büyük fedakârlık gösteren eşim Fatma HÖKELEKLİ ve oğlum Ahmet Melih HÖKELEKLİ, İrem ve Sinem PINARCI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Emin HÖKELEKLİ
Afyonkarahisar, 2010

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

Y	Yağış
B	Buharlaşıma
A	Akış
S	Yeraltına sızma
S_k	Sızma katsayısı
I	Sızma
P	Yağış miktarı
S_r	Özgöl tutulma
W_r	Tutulan su
i	Hidrolik eğim
h	Yükseklik
V	Hız
K	Permeabilite katsayısı
Q	Debi
A	En kesit alanı
n	Porozite
V_b	Boşluk hacmi
V_T	Tüm hacim
T	Transmsibilite
K	Hidrolik iletkenlik katsayısı
m	metre

2. Kısaltmalar

GMS	Groundwater Modeling Sytem
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
GKA	Grafiksel Kullanıcı Arabirim
DSİ	Devlet Su İşleri
MTA	Maden Teknik Arama
Elevs.	Yükseklikler
Bot.	Dip yükseklik

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Hidrolik Çevrim (Su döngüsü)	5
Şekil 2.2 Yeraltı suyunun düşey dağılışı	8
Şekil 2.3 Hidrolik Eğim	12
Şekil 2.4 Kaya içindeki boşluklar (porozite)	14
Şekil 3.1 Akarçay havzası yer bulduru haritası	25
Şekil 3.2 Akarçay Havzası jeoloji haritası	28
Şekil 3.3 Yeraltı Suyu Modelleme Sisteminin Kavramsal Modelde Gösterimi	31
Şekil 3.4 YAS modellemesi yapılacak alanın temsili haritası	32
Şekil 3.5. Kavramsal model	33
Şekil 3.6. Kavramsal modelin sayısal modelde gösterimi	33
Şekil 3.7 Akış olmayan sınırlarının tipi	37
Şekil 3.8 Akış olan sınırlarının tipi	37
Şekil 4.1 Çalışmada kullanılan Akarçay havzası haritası	44
Şekil 4.2 Birim tanımlama	45
Şekil 4.3 Kavramsal model oluşturma	46
Şekil 4.4 Kapsam tanımlama	46
Şekil 4.5 Sınırlar kapsamı özelliklerini tanımlama	47
Şekil 4.6 Akarçay havzası model çalışma alanı sınırları	48
Şekil 4.7 Kaynak&Besleme noktalarının tanımlanması	49
Şekil 4.8 Akışın olduğu sınırlar (Yeşil renkle gösterilen çizgiler)	50
Şekil 4.9 Akışın olduğu sınırlar (Yakından görünümü)	51
Şekil 4.10 Akışın olduğu yayları belirleme penceresi	52
Şekil 4.11 Akışın olduğu yaylar için yükseklik değerlerinin tanımlanması	52
Şekil 4.12 Kuru dere yataklarını temsil eden yaylar	53
Şekil 4.13 Kuru dere yataklarına iletkenlik değerleri tanımlama	54
Şekil 4.14 Drenaj yayları için yüksekliklerin tanımlanacağı noktalar	55
Şekil 4.15 Drenaj noktalarının yükseklikleri tanımlama	55
Şekil 4.16 Modellemede kullanılan kuyuların oluşturulması	56
Şekil 4.17 Kuyu koordinatlarını düzeltme araç çubuğu	56
Şekil 4.18 Kuyu özellikleri ve akış oranı tanımlama	57

	Sayfa No
Şekil 4.19 Üst Tabakayı tanımlama ve özellikleri penceresini açma	58
Şekil 4.20 Üst Tabaka özelliklerini tanımlama	58
Şekil 4.21 Alt Tabakayı tanımlama ve özellikleri penceresini açma	59
Şekil 4.22 Alt Tabaka özellikleri tanımlama	60
Şekil 4.23 Üst tabakaya Hidrolik iletkenlik tanımla	61
Şekil 4.24 Alt tabakaya Hidrolik iletkenlik tanımla	61
Şekil 4.25 Izgara Çerçevesi oluşturma	62
Şekil 4.26 Izgara Çerçevesinin model sınırını kapsamadan önceki görünümü	63
Şekil 4.27 Izgara Çerçevesinin model sınırını içine alan görünümü	63
Şekil 4.28 Izgara oluşturma ve üç boyutlu ızgara katmanı	64
Şekil 4.29 Programda ızgara çerçevesi sınır olarak atanmış, üç boyutlu ızgara görünüşü	64
Şekil 4.30 MODFLOW Yeni simulasyon tanımlama	65
Şekil 4.31 MODFLOW Temel paketler penceresi	66
Şekil 4.32 Modelimizdeki aktif ve aktif olmayan bölgeler	67
Şekil 4.33 Modelimizdeki aktif bölgeler	67
Şekil 4.34 Modelin katman yükseklikleri eklenmeden önceki görünüşü	68
Şekil 4.35 Saçılma noktaları ithal etme (2D scatter data)	69
Şekil 4.36 Saçılma noktalarının (2D scatter points) model üzerindeki dağılımı	70
Şekil 4.37 Interpolate to MODFLOW Layers penceresini açma	71
Şekil 4.38 Zemin yüzey kotlarını birinci tabakaya ekleme	71
Şekil 4.39 Interpolate to MODFLOW Layers penceresini açma	72
Şekil 4.40 Kuyu loglarını kullanarak tabaka yüksekliklerini eklemek	73
Şekil 4.41 Model kontrol penceresini aktif hale getirme	74
Şekil 4.42 Model kontrol penceresi	74
Şekil 4.43 Modeldeki katman hatalarının gösterilmesi	75
Şekil 4.44 Model kesitinde hataların görünümü	75
Şekil 4.45 Model kesitinde hataların düzeltilmiş görünümü	76
Şekil 4.46 Kavramsal modeli ızgara tabanlı sayısal modele dönüştürme işlemi	76
Şekil 4.47 Kavramsal model oluşturma	77
Şekil 4.48 Modelin kavramsal modele dönüştürülmüş şekli	77

	Sayfa No
Şekil 4.49 Analizi başlatma penceresini açmak	78
Şekil 4.50 MODFLOW Sayısal model analiz penceresi	78
Şekil 5.1 Model üzerinde seçilen hücrelerin yerleri	81
Şekil 5.2 Model kesitinde su tablası	84
Şekil 5.3 Modelimizin üç boyutlu görünümü	84
Şekil 5.4 Modelimizin üç boyutlu görünümü	85
Şekil 5.5 Kaynağın dışına ve içine akım olan bölgeler	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa No
Çizelge 4.1	Modelde kullanılan kuyular ve debi değerleri	39
Çizelge 4.2.	Akarçay havzasında özgül debi analizi ile hesaplanan akifer parametrelerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri	40
Çizelge 4.3	Modellemede kullanılan Akarçay havzası arazi yüzeyi topoğrafik kotları	40
Çizelge 4.4.	Modelde kullanılan kuyu Akarçay havzasındaki kuyu logları	42
Çizelge 4.5	Drenaj yükseklikleri	54
Çizelge 5.1	Model alanımızın tüm hücrelerindeki akış bütçesi	80
Çizelge 5.2	Model üzerinde seçilen 45 hücreye ait akış bütçesi	82
Çizelge 5.3	Modeldeki tüm bölgelere ait akış bütçesi	83

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için ihtiyaç duydukları doğal kaynakların başında su gelmektedir ve sanılanın aksine sınırlı bir kaynaktır. Ancak, ülkemizin su kaynakları her geçen gün kirlenmekte ve kişi başına düşen su miktarı ihtiyacı, nüfus artışı ile birlikte yıldan yıla hızla artmaktadır.

Yerküresindeki tatlı suyun büyük bir kısmı yeraltında bulunur. Yeraltı suları, dünya çapındaki tatlı su kaynakları içerisinde %30'luk bir paya sahiptir. Tatlı su kaynaklarının yaklaşık %70'inin kutuplardaki buzullar ve karlardan kaynaklandığı göz önüne alınacak olursa, kullanıma hazır yeraltı sularının verimli şekil de yönetilmesinin önemi açıkça görülmektedir (Soysalan 2004).

“Kuyularla yeraltındaki hazneden çıkarılan su insanlar tarafından geniş ölçüde kullanılmaktadır. Yeraltından elde edilen suyun önemli özelliği tabii bir şekilde filtrelenmiş olması ve genellikle bakterilerden, organik maddelerden, koku ve tatlardan arınmış, kimyasal bileşeni ve sıcaklık derecesi değişmeyen iyi kalitede bir su olmalıdır. Doğal olarak filtrelenmiş olan yeraltı suları, yüzey sularının azalması, biriktirme ve iletme giderlerinin artması nedeni ile sulama, içme suyu, kullanım suyu ve sanayi suyu rezervleri olarak her geçen gün önem kazanmaktadır (İçağa 2001)”.

“Yeraltı suyu günümüzde birçok mühendislik dallarınca incelenmektedir: Ziraatçılar; tarımsal açıdan suyun iletilmesi, zararlı ıslaklığın engellenmesi ve çorak arazinin faydalı duruma getirilmesi yönünden, madenciler; verimi azaltma, ocaklarda çökme neticesinde kazalara yol açma açısından, inşaatçılar; temellerdeki deformasyon oluşması, kapilarite sebebiyle sıvaya ve betona zararlı etki yapma, tünel ve yollardaki kazıların stabilitesini bozma gibi nedenlerden yeraltı suları ile yakından ilgilenmektedirler. Yeraltı sularından istenilen şekilde faydalanmak ve zararlarını da en aza indirebilmek için yeraltı suyunun davranışının iyi bilinmesi gerekmektedir (İçağa 2005)”.

Her geçen gün önemi artan yeraltı suyunun davranışının, bilgisayarla modellenmesiyle yeraltı suyunun optimum şekilde kullanılması amaçlanmaktadır. Diğer bir deyişle yeraltı suyu kaynaklarının iyi yönetilmesi açısından önem kazanmaktadır.

“Hidrojeolojik etütlerin en önemli çalışmaları arasında olan havzaların yeraltı suyu potansiyelinin araştırılması, yeraltı suyu işletmelerinin planlanması ve yeraltı suyu işletmelerinde karşılaşılabilecek sorunlara çözüm üretmekte yeraltı suyu modellemesinin kullanılmasını amaçlamaktadır (İçağa 2001)”.

Genel olarak bu çalışmada, Akarçay Havzasındaki 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 ışık tutacağı düşünülmektedir.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

Çalışmada Ege, Akdeniz ve İçanadolu 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, Bolvadin, Çay, Çobanlar, İşcehisar, İhsaniye, Bolvadin-Eber gölü sınırı ve Akarçay nehrinin kuzeyinde yer alan bölgeleri kapsamaktadır. Tezcan vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada Afyon ve çevresinde geçirimsizliğin genel olarak yüksek seviyede olduğu belirtilmektedir. Bu sebeple yeraltı su seviyesinin yüzeysel akış ve diğer meteorolojik parametreler ile arasında ilişki olması beklenilmektedir.

Yeraltı suyu işletme/yönetim çalışmalarına bağlı olarak ortaya çıkabilecek sorunların önceden kestirilebilmesi için hidrojeolojik sistemin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ve ayrıntılı bir su bütçesi çalışmasının gerçekleştirilmesi amacıyla yapılan yeraltı suyu akım modellemesini kapsamaktadır. Hızla yaygınlaşan yeraltı suyu kullanımı, hidrojeolojik sistemin bütününe aynı anda etkilenmesine neden olmaktadır. Bu nedenle işletme/yönetim çalışmalarının hidrojeolojik sistemin bütününde yaratacağı etkileri göz önüne alması gerekmektedir. Sistemi oluşturan yeraltı suyu ve yüzey suları

arasındaki ilişkilerin, beslenme-boşalım dinamiğinin, hidrodinamik ve hidrolik yapının, su kalitesi değişimlerinin ve tüm su kaynakların sürdürülebilir kullanımı için havzadaki tüm su kaynaklarının göz önüne alınarak yeraltı suyu modellemesi yapılmıştır.

1.3. Çalışmanın Önemi

Son yıllardaki hızlı nüfus artışına paralel olarak artan su talebine karşı uygun kaynak mevcudiyetinin azlığı ve gün geçtikçe gelişen sanayi ve tarımsal faaliyetlere bağlı olarak aşırı kullanım ve çeşitli kirlilik parametreleri nedeniyle ortaya çıkan sorunlar su kaynaklarının korunması için ciddi tedbirler alınması gerektiğinin önemini arttırmıştır.

“Tarım ve hayvancılık açısından önemli bir konuma sahip olan Afyon ilinde son yıllarda sulanan arazi miktarında artış gözlenmektedir, Ovada soğuk su akiferinden özellikle yaz aylarında sulama ve kullanma amaçlı olarak önemli miktarlarda su çekilmektedir (Atilla 2002)”.

Akarçay havzası yeraltı suyu kullanımındaki düzensizliklerin giderilmesi amacıyla havzadaki yeraltı suyunun kontrol ve takip edilmesi, gelecekteki olası değişimlerinin izlenmesi açısından yapılan yeraltı suyu modelleme çalışmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

2. YERALTI SUYU MODELLEMESİ

2.2. Yeraltı Suyu Davranışı ve Modellemesi

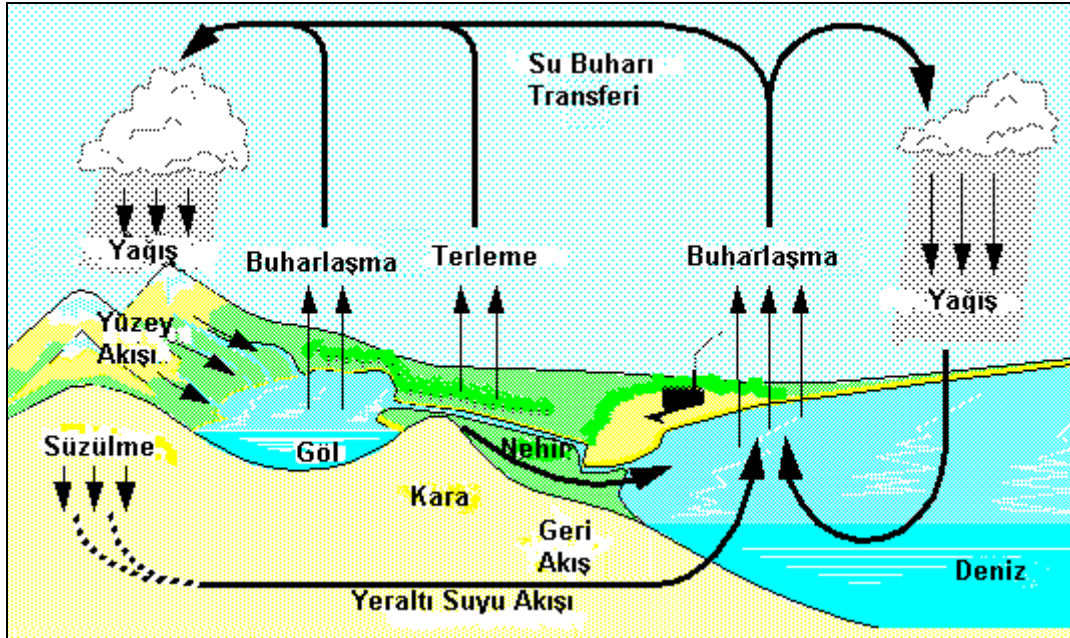
Doğal olarak filtrelenmiş olan yeraltı suları, yüzey sularının azalması, biriktirme ve iletme giderlerinin artması nedeni ile sulama, içme suyu, kullanım suyu ve sanayi suyu rezervleri olarak her geçen gün önem kazanmaktadır. Yeraltı sularından istenilen şekilde faydalanmak ve zararlarını da en aza indirebilmek için yeraltı suyunun davranışının iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak yeraltı suyunun davranışının, yeraltı suyunun beslenme ve kayıplarının, bunlarla arasındaki ilişkinin ortaya konması gerekmektedir. Yapılan modellemelerde gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek için yeraltı suyu davranışını ve hidrolojik parametrelerini iyi bilmemiz gerekir. Bu kapsamda öncelikle yeraltı sularının oluşumu, yeraltında bulunuş şekilleri, yeraltı sularının beslenme ve kayıplarını etkileyen faktörler, yeraltı suyu akım özellikleri ve akımı etkileyen faktör anlatılarak, geçmişten günümüze kadar yapılan yeraltı suyu modelleme çalışmaları konusunda yapılan araştırmalara yer verilmiştir.

2.2.1. Hidrolik Çevrim ve Yeraltı Sularının Oluşumu

Yaşama ve gelişme için gerekli olan su, doğada çeşitli şekillerde bulunur. Su; doğada katı, sıvı ve gaz hallerinde doğanın çeşitli kısımları arasında ve çeşitli yollar izleyerek dönüp durmaktadır. Suyun doğada dönüp durduğu yolların tümüne birden su döngüsü başka bir ifadeyle hidrolojik çevrim denir (Şekil 2.1). Su çevrimi milyonlarca yıldır devam etmekte olup hayatın mevcudiyeti buna dayanır. Yeraltı suyu hidrolik çevrim olarak tanımlanan su döngüsünün bir kısmını teşkil eder.

Yeryüzüne, yağmur, kar, dolu, kırağı, çığ vb. yollarla düşen suların bir kısmı arazi üzerinde akışa geçer, akışa geçen suyun bir kısmı buharlaşır, bir kısmı bitkiler tarafından tutulur ve sonra bitkilerin yeşil kısımlarından terleme yoluyla dışarı çıkar ve buharlaşır. Yüzeyde akan suların buharlaşmayan kısmı çeşitli akarsuları oluşturur. Diğer bir kısmı ise yeraltına sızar; burada birikir ve yeraltı sularını oluşturur. Yeraltına sızan sular geçirimsiz bir tabaka üzerinde birikir ve yeraltı suyu taşıyan tabakalara akifer adı

verilmektedir. Yeraltına sızan sular yeraltındaki boşluk ve çatlakları doldurur ve bu çatlak ve kırıklar boyunca derine kadar iner. Yeraltı sularının çatlaklar ve boşluklarda yeryüzüne çıktığı yerlere ise kaynak ismi verilir (Erguvanlı ve Yüzer 1973).



Şekil 2.1. Hidrolik Çevrim (Su döngüsü)

Eğer bir alanda yağış, akış ve buharlaşma ölçülebilirse yeraltına sızan suların miktarı bunlara bağlı olarak basit bir denklemle bulunabilir.

$$Y = B + A + S$$

Bu denkleme dayanarak bir havzada yeraltına sızan su miktarı,

$$S = A - (B + A) \text{ şeklinde kolayca bulunabilir.} \quad (2.1)$$

Y: Yağış, B: Buharlaşma, A: Akış, S: Yeraltına sızma,

Yağış

Yeraltı sularının esas kaynağı yağıştır. Atmosferdeki su buharının katı veya sıvı halde yeryüzüne düşmesine “yağış” denir. Bu belli bir zamanda, belli bir birim yüzeye düşen su yüksekliğinin milimetre cinsinden ifadesidir. Yağış bazen de 1 metrekarelik bir alana düşen suyun kilogram olarak ağırlığı (kg/m^2) türünden de tanımlanabilir (Erguvanlı ve Yüzer 1973).

Buharlaşma

Sıvı ya da katı bir cismin gaz haline geçmesine “buharlaşma” denir. Yeraltı suları jeolojisinde, su kaybına neden olan buharlaşma (evaporation) ve bitkilerden terleme (transpiration) birleştirilerek evapotranspiration ismi ile bir arada incelenir. Terleme canlılardaki suyun buhar haline gelmesidir. Serbest su yüzeyinden olan buharlaşma; yükseklik, sıcaklık, hava akımları ile doğru orantılı, havanın nemlilik derecesi, atmosfer basıncı, erimiş tuzların miktarı ve su derinliği ile ters orantılı olarak değişmektedir. Zeminlerdeki buharlaşma ise, daha karışık etkenlerle meydana gelmektedir. Zemindeki su miktarı, bitki sıklığı, buz ve karla kaplı olma ve zeminin güneşlenme miktarı buharlaşmaya etki eden en önemli faktörlerdir. Buharlaşma özel şekilde hazırlanmış, su ile dolu tank ya da tavalarda ölçölür. Ölçölün buharlaşma miktarı mm gün olarak ifade edilir (Erguvanlı ve Yüzer 1973).

Akış

Yağışın buharlaşamayan ve sızmayan kısmı yeryüzünde arazinin eğimi boyunca akar, akan sular yanalardan gelenlerle birleşir, değişik büyüklükteki akarsuları oluşturur. Akarsuların debisi, akarsuların çeşitli yerlerine konulan eşeller yardımı ile (m^3/sn) ölçölür. Buradan akarsuların günlük, aylık, yıllık ve ortalama debileri bulunur. Debi eğrileri çizilir, bu şekilde akarsuların rejimi hakkında bilgi elde edilebilir. Akarsular yeraltı suyunu beslediği gibi bazı durumlarda yeraltı suları akarsuları besler (Erguvanlı ve Yüzer 1973).

Sızma

Genel olarak yağışın bir kısmı akar, bir kısmı buharlaşır, bir kısmı da sızarak zeminin içine girer ve yeraltı sularını oluşturur. Bir bölgede yeraltından alınacak su miktarı sızma ile ilgilidir. Sızma yeraltına sızan suyun mm cinsinden ifadesidir. Ancak genellikle sızma katsayısı kullanılır.

$$S_k = (I/P) \times 100 \quad (2.2)$$

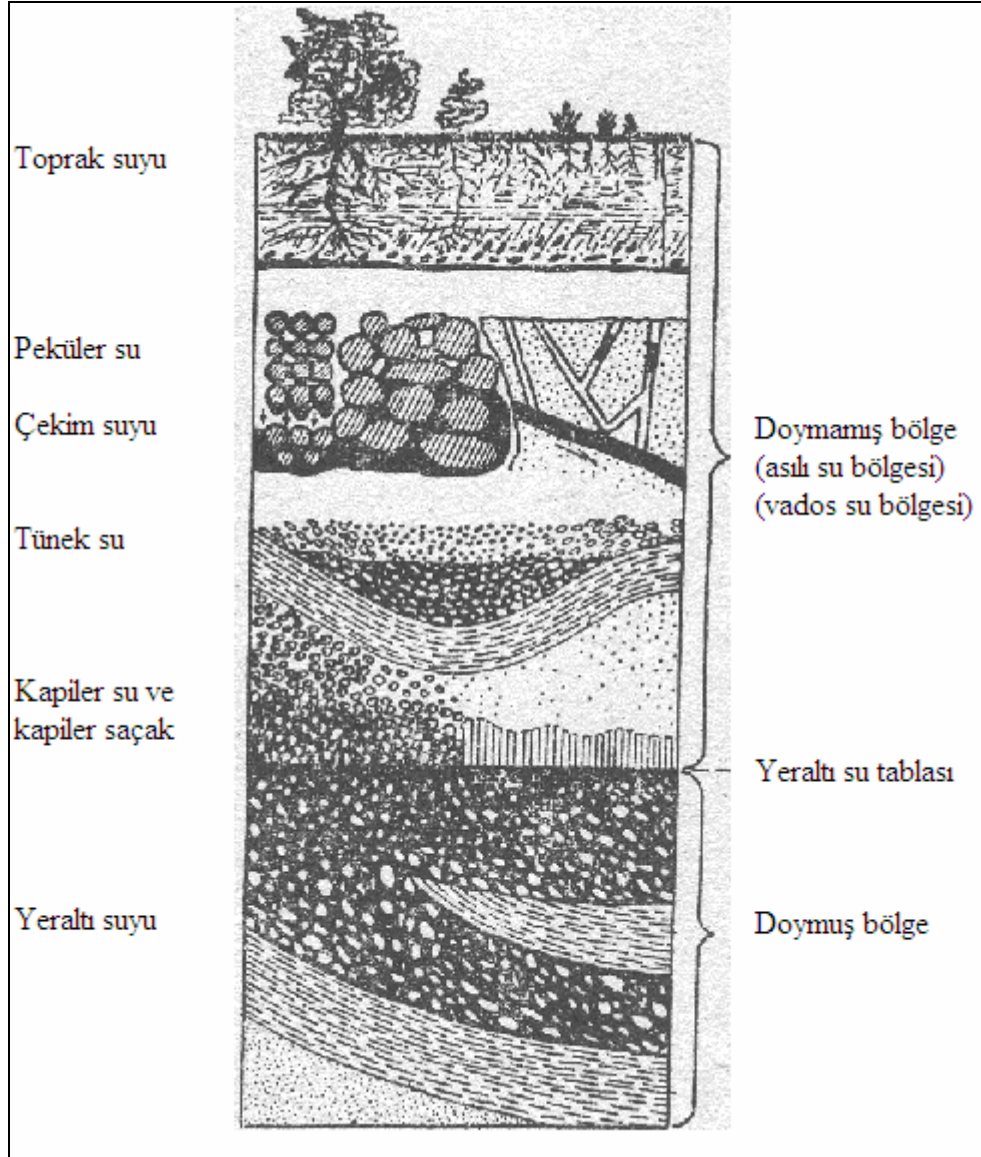
I: Sızma (mm), P: Yağış miktarı (mm)

2.1.4. Suyun Yeraltında Dağılışı ve Bulunduğu Yerler

Yeraltı sularının nerede ve nasıl bulunabileceğini kestirebilmek için suyun yer kabuğu içindeki düşey ve yanal dağılışı bilmek gereklidir. Bu dağılımda hidrolojik koşullar, yeraltı jeolojisi, jeolojik yapılar, kayaçların su tutma ve su verme kapasiteleri önemlidir.

2.1.5. Suyun Yeraltında Düşey Dağılışı

Yağışın bir kısmı yerçekiminin etkisi ile toprak altına sızmaktadır. Bu sular, boşluk ve çatlaklardan aşağıya doğru inerek değişik derinliklerde toplanır. Bu suretle kayaçların boşluk, çatlak ve kırıklarında serbest halde bulunan su ile dolu kısım oluşur. Bu kısma "doymuş bölge" denir. Bunun üstündeki kısımda ise buradaki kayaçların büyüklük, biçim, tür ve dizilişlerine göre değişik oranda gelişen boşluklarda ve tanelerin etrafında yapışık su toplanır. Bu kısma, "doymamış bölge" "vadoz su bölgesi" "asılı su bölgesi" "havalanma bölgesi" gibi isimler verilir. Bu bölge, kısmen su kısmen de hava ile doldurulmuştur. Doymamış bölgenin altı ile doymuş bölgenin üstü arasındaki sınır yüzeyine yeraltı suyu tablası denir. Yeraltı suyu tablasının üzerinde zeminin kılcal boşlukları arasında suyun yükselebildiği bir kısım bulunur ki bu kısma "kapiler saçak bölgesi" ismi verilir. Yeraltı suyu tablası iki bölgeyi birbirinden ayırır ve serbest su ile kapiler su arasındaki değme yüzeyi olarak tanımlanır. Bu sınırın altında bulunan suya da yeraltı suyu adı verilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Yerkaltı suyunun düşey dağılışı (Erguvanlı ve Yüzer 1973)

Doymamış Bölge

Doymamış bölgede bulunan su özellikle temel yapıları ile uğraşan mühendisler tarafından incelenmektedir. Bu bölgede toprak nemi ile birlikte oksijen, karbondioksit, organik asitler ve yer yerde sülfürik asit bulunur. Bunların etkisi ile kayalar ayrışır, dağılır ve parçalanır ve dirençleri azalır. Bu nedenle buraya ayrışmış bölge de denilir. Bu bölgenin fiziksel özellikleri farklı olduğundan suları da farklı şekillerde bulunur. Yüzeyden yeraltı suyu tablasına doğru 3 bölüm halindedir (Erguvanlı ve Yüzer 1973).

Zemin suyu: Bu bölge bitki köklerinin yayılabildiği derinliğe kadar gider. Zemin suyu köklerin çekme kuvvetine karşı toprağın çekme kuvvetinin etkisi altındadır. Zeminin içindeki su yerçekimi ile aşağı sızdıktan sonra kapilerite ile toprağın içinde tutulur. Zemin içinde tutulan bu su miktarına arazi kapasitesi ismi verilir. Bu tutulan suyun ağırlığının kuru zemin ağırlığına oranının % olarak ifadesidir (Erguvanlı ve Yüzer 1973).

Peliküler su: Zeminin altında tanelerin etrafında bulunan suya “film suyu” denir. Bu bölgede tanelerin arasında, boşluk ve çatlaklarının kenarındaki sulara da peliküler su ismi verilir. Yağış ve dolayısıyla aşağıya süzülen su artacak olursa fazla su tanelerin üzerini saran suyun üzerinde aşağıya doğru akar ve alt kısımlarda toplanarak çekim suyunu oluşturur (Erguvanlı ve Yüzer 1973).

Kılcal (kapiler) su: Yeraltı su seviyesinin hemen üstünde bulunan bölgeye kılcal kapiler bölge ismi verilir. Bu bölgede ince çatlaklı ve poröz kütlelerde kapilerite ile yükselen suya da kılcal-kapiler su denilmektedir (Erguvanlı ve Yüzer 1973).

Doymuş Bölge

Yeraltında, boşluk ve çatlakların tamamen su ile dolmuş olduğu kısma “doymuş bölge” ismi verilmektedir. Bu bölgede bulunan suyun tamamı pompaj veya drenaj ile alınamaz, ne kadar pompaj yapılırsa yapılsın tanelerin etrafında ve çatlaklarda bir miktar su kalır. Buna kalan su denir. Doymuş bölgede tutulan su hacminin, kayacın tüm hacmine oranının yüzde cinsinden ifadesine özgül tutulma denilir (Erguvanlı ve Yüzer 1973).

Özgül tutulma;

$$S_r = \frac{W_r}{V} \times 100 \quad (2.3)$$

Sr: Özgül tutulma, Wr: Tutulan su, V: Kütlenin tüm hacmi bağıntısından hesaplanır.

2.1.4. Suyun Yeraltında Bulunuş Şekli ve Akifer Kavramı

Yeraltında değişik tür ve özellikte kayaçlar bulunmaktadır. Bu kayaçların su tutma dereceleri özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Yeraltında bulunan kayaçlar genellikle heterojen, anizotrop, birbirinin içine girmiş, düşey ve yanal doğrultularda değişimli değişik hidrojeolojik karaktere sahip olmaları yeraltı suyunun toplanışına, dağılışına ve alınışına etki yapan faktörlerdir. Jeolojik tabakaların bazı türlerinde, yeraltı suyu toplanabilir ve kaynaklarla ve pompalarla su alınabilir. Bu tür tabaka veya formasyonlara “akifer” denilir. Akiferlerden su alabilme akiferin tipine, kalınlığına ve doygunluk derecesine bağlıdır. Serbest yüzeyli akiferlerde yeraltı su seviyesi ile altındaki geçirimsiz tabaka arasındaki uzaklık önemlidir. Bu uzaklığa akifer kalınlığı denilir. Akiferler genel olarak serbest ve basınçlı akifer olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar (Erguvanlı ve Yüzer 1973).

Serbest Akifer

Her taraftan su alabilen bir arazi içinde bulunan yeraltı sularına verilen isme Serbest Akifer denir. Bu tip akiferlerin üzerinde yağış suyunun sızmasını engelleyen geçirimsiz bir tabaka yoktur ve hava ile temastadır. Altlarında ise yarı geçirgen veya geçirimsiz bir tabaka bulunur. Bu tür akiferlerin içindeki yeraltı suyunun üst yüzeyine statik su seviyesi ismi verilir. Bir bölgede statik su seviyesi ölçülerek o bölgenin yeraltı su tablası haritası meydana getirilir. Bu haritalar yardımıyla yeraltı suyunun dağılışı, akışı ve nerelerden su alınabileceği saptanabilir. Serbest akiferlerin içinde ayrıca tünnek akiferlerde bulunabilir (Erguvanlı ve Yüzer 1973).

Basınçlı Akiferler

Atmosfer basıncından daha fazla bir basınç altında bulunan yeraltı sularına “basınçlı akifer veya artezyen” denilir. Bunlar iki ya da daha fazla geçirimsiz tabakanın arasında bulunan akiferlerdir. Bunların serbest yüzeyleri yoktur. Bu gibi yerlerde su taşıyan tabakaya kadar inen bir sondaj yapıldığında yeraltı suyunun sondaj borusunun üzerinde ve yüzeyde akifer tabakasının su ile doymun olan üst kotunun hemen altına kadar

yükseldiği görülür. Basınçlı akiferlerde, yeraltı suyunun yükselebildiği en üst noktaya piezometrik seviye ismi verilir (Erguvanlı ve Yüzer 1973).

2.1.6. Yeraltı Sularının Beslenme ve Kayıpları

Yeraltı suyunun beslenme ve kayıpları ya doğal, ya da insan faktörüne bağlıdır. Doğal olaylar sonucunda yeraltı su seviyesindeki değişimler, meteorolojik (yağış miktarı ve cinsi), hidrolojik (suyun hareketine), ve jeolojik (zemin cinsi, zeminin geçirirmliliği, zemin yüzeyindeki bitki örtüsü vb.) faktörlere bağlıdır. Yeraltı sularının orijini yağışlardan meydana gelen yerüstü sulardır. Yerüstü suları ya yüzeysel akış durumunda yeraltına sızar ve yeraltı sularını besler ya da nehir, göl sularının yeraltına sızması sonucu yeraltı suyu rezervlerinde bir artma meydana gelir (Ulugür 1972). Sulama kanallarındaki suyun yeraltına sızması, yerin derinliklerinden faylarla yukarı çıkan su ve havadaki su buharının zemin üstünde yoğunlaşması da yeraltı sularını beslemektedir. Yüzeysel akışların yeraltına sızması ve yeraltı suyunu besleme miktarı ise; yağışın türüne, zeminin cinsine, porozitesine ve permabilitesine bağlıdır. Yeraltı suyundan kayıplar ise, evapotranspirasyon kayıpları (kılcal bölgenin yeryüzüne yaklaşmasıyla bitkilerden terleme ve doğrudan zeminden buharlaşma) ve insan eliyle olan kayıplardır. Yeraltından fazla su çekilmesi (pompaj), baraj, gölet vb. gibi yerüstü sularını depolama tesislerinin yapılmaması yeraltı suyu kayıplarına neden olmaktadır (Yurtçu 2001).

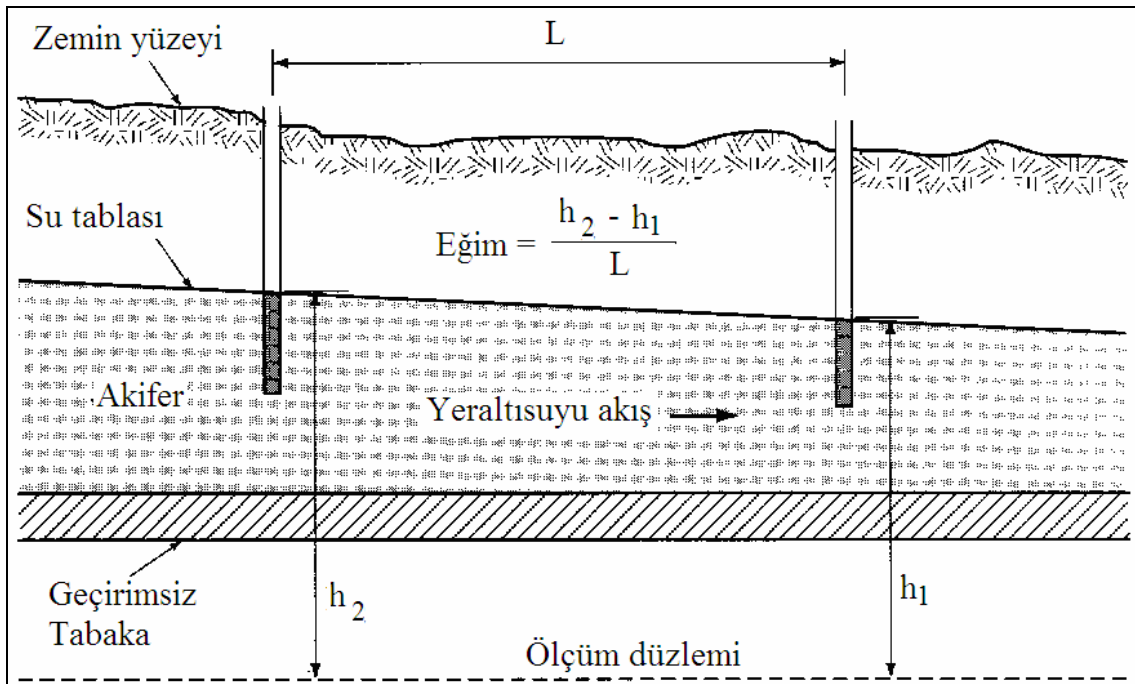
2.1.6. Yeraltı Sularının Hareketi

Yeraltı sularının beslenme ve kayıpları olmasaydı yeraltı suyu hareketsiz bir su düzeyi gibi hareketsiz kalırdı. Gerçekte yeraltı sularında devamlı olarak beslenme ve kayıplar olduğundan denge konumunda değildir. Mevsimsel farklılıklardan dolayı yağış tipindeki farklılıklar, zemin cinslerindeki farklılıklar, zemin yüzeyinin topografyası, arazinin drenaj koşulları, göl, akarsu ve kuyuların etkisiyle çeşitli bölgelerde yeraltı su seviyesinde alçalmalar olurken, çeşitli bölgelerde yeraltı su seviyesinde yükselmeler oluşur (Bayazıt 1991). Yeraltı sularının zemin içindeki hareketi hidrolikle uğraşanlar tarafından teorik ve pratik olarak, ayrıca modeller üzerinde araştırılmaktadır. Yeraltı suyunun hareket ettiği ortam boşluklu (poröz), ya da çatlaklıdır. Yeraltı suyu yerçekimi

kuvvetleri etkisi altında zemin içindeki bu ortamlarda hareket edebilme özelliğine sahiptir. Yeraltı suları yerkabuğu içinde genel olarak üç çeşit ortamda bulunur ve hareket ederler. Bunlar; boşluklu (poröz), boşluksuz (kompakt), çatlaklı (pervius) ortamlardır. Yeraltı suyunu hareketine etki eden faktörlere aşağıda değinilmiştir (Yurtçu 2001).

2.2.7. Hidrolik Eğim (i)

Yeraltı suyu statik bir yapıya sahip olmadığından, yerçekimi kuvvetleri etkisi altında zemin içerisinde hareket edebilme özelliğine sahiptir. Zemin içerisinde hareket eden yeraltı suyunun hızı ve miktarı, suyun hareket ettiği kanalın, çatlakın, ya da boşluğun eğimine bağlıdır. Hidrolik eğim suyun giriş ve çıkış noktaları arasındaki yükseklik farkından oluşan eğimdir. Hidrolik eğim “i” harfiyle gösterilir ve boyutsuz olup, yüksek su seviyesi ile düşük su seviyesi arasındaki farkın kesit alanın uzunluğuna oranı olarak tanımlanır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Hidrolik Eğim

$$Hidrolik \Rightarrow i = \frac{h_2 - h_1}{L} = \frac{dh}{L} \quad (2.4)$$

i: Hidrolik Eğim (m/m), h_1 : Suyun girdiği noktanın yüksekliği (m), h_2 : Suyun çıktığı noktanın yüksekliği (m)

2.2.8. Darcy Yasası

1856’ da Darcy, silindirik kaplarda sıkıştırılmış kum tabakalarında yaptığı deneylerden, suyun akış hızının, hidrolik eğim ile doğru orantılı ve akış yolu uzunluğu ile ters orantılı olduğunu ortaya koymuştur.

Darcy yasasına göre suyun hızı;

$$V = K.I \quad (2.5)$$

Bağıntısından hesaplanır. Bağındaki;

V: Hız (lt/sn), K: Permeabilite katsayısı (m/sn), Q: Debi (m³/sn), A: En kesit alanı (m²)’ yi ifade etmektedir.

Aynı bağıntı:

$$Q = V.A = K.I.A \quad (2.6)$$

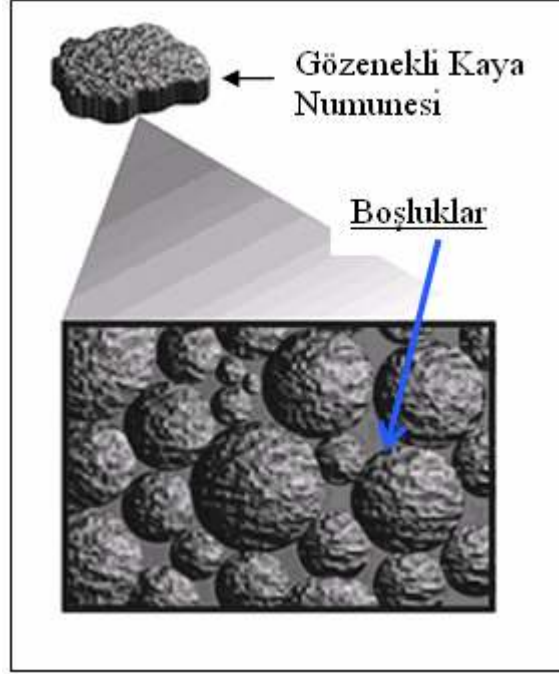
şeklinde de yazılabilir.

Bu formül poröz ortamdaki su akım hızının (V), ortamın hidrolik eğimine (i) ve permeabilite katsayısına (K) bağlı olarak değişmekte olduğunu göstermektedir (Erguvanlı ve Yüzer 1973).

2.1.9. Porozite (Gözeneklilik)

Kütleler içerisinde bulunan boşluk ve çatlaklar porozite ile tanımlanır. Porozite “boşluk” ya da “gözeneklilik” demektir (Şekil 2.4). Kütleler yakından incelendiğinde içerisinde aynı veya çeşitli boyda tanelerden oluştuğu ve bu taneler arasında boşluklar olduğu görülür. Bu boşlukların içerisinde sular toplanır. Kütleler arasındaki

boşluklardan ne kadar suyun alınabileceğinin saptanması için kütlelerin içerisindeki boşlukların bilinmesi gerekir (Erguvanlı ve Yüzer 1973).



Şekil 2.4 Kaya içindeki boşluklar (porozite)

Porozite tanım olarak; kütle içindeki boşluk hacminin tüm kütle hacmine oranıdır ve “n” harfi ile gösterilir.

$$n = \frac{V_b}{V_T} \times 100 \quad (2.7)$$

V_b : Boşluk hacmi, V_T : Tüm hacim, n: porozite bağıntısı ile hesaplanır (Tarakçı 1995)

2.2.9. Permeabilite (Geçirimsilik)

Zeminde bulunan gözeneklerin sayısına ve çapına bağlı olarak bu gözeneklerden birim zaman da hacim olarak geçen su ve hava miktarına o zeminin geçirimsiliği anlamında permeabilitesi denir. Yani kütlelerin suları geçirebilme yeteneğine o kütlenin geçirimsiliği anlamında permeabilite’ si denir. Darcy yasasından hareket edilerek zemin numunelerinin permeabilite katsayısı hesaplanmaktadır. Bu yüzden Darcy yasasının

bilinmesi yeraltı su hareketinin anlaşılması açısından bir temel oluşturur. Darcy yasasına göre permeabilite katsayısı;

$$K = \frac{Q}{A \cdot I} \quad (2.8)$$

bağıntısından hesaplanır. Bağıntıdaki;

K: Permeabilite katsayısı (m/sn), Q: Debi (m³/sn), A: En kesit alanı (m²), İ: Hidrolik eğimi ifade etmektedir.

Zeminin en önemli hidrolik özelliklerinden olan permeabilite katsayısı arazide ve laboratuarlarda çeşitli deneylerle belirlenmektedir.

Laboratuar deneylerinde permeabilite katsayısı suyun basıncının durumuna göre iki yöntemle yapılır. Suyun basıncının sabit, ya da değişken olmasına göre sabit seviyeli ve düşen seviyeli olmak üzere iki deney yapılır.

Sabit seviyeli permeabilite deneyi geçirimsizliği iyi olan taneli zeminlerin (çakıl, kum) hidrolik geçirgenliğinin belirlenmesi için kullanılır. Bu deneyde hidrolik eğim ve su seviyesi sabit tutularak suyun miktarı permeabilite cihazı ile ölçülür. Zeminin permeabilite katsayısı ise Darcy kanunundan yararlanılarak aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$Q = K \times I \times A \quad (2.9)$$

Q: Boşluklardan geçen suyun debisi (m³/gün), K: Hidrolik geçirgenlik katsayısı (m/gün)
İ: Hidrolik eğim (m/m), A: Örneğin kesit alanı (m²) (Tarakçı 1995).

Düşen seviyeli permeabilite deneyi geçirimsizliği düşük olan ince taneli (kil, silt) zeminlerin hidrolik geçirgenliğini saptamak için kullanılır. Zemin içerisinden geçen suyun miktarı ve hızı bakımından daha belirli ve doğru sonuçlar elde etmek için değişken seviyeli permeabilite deneyi kullanılır.

$$K = 2,3 \cdot \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \log \frac{h_0}{h_t} \quad (2.10)$$

K: Hidrolik iletkenlik, A: İnce borunun kesit alanı, L: Zemin örneğinin boyu, t: Geçen süre, h_0 : Başlangıçtaki borudaki su yüksekliği, h_t : Belli bir süre sonunda borudaki su yüksekliği (Tarakçı 1995).

Arazide permeabilite katsayısının ölçülmesi çeşitli yöntemlere bağlıdır. Bu yöntemlerden bazıları şunlardır;

- Zemine kuyular açmak suretiyle K' nın belirlenmesi
- Bir borudan zemine su vermek suretiyle K' nın belirlenmesi
- Bir borudan zemine su sızdırılarak K' nın belirlenmesi
- Pompaj deneyleri ile K' nın belirlenmesi
- Lugeon yöntemi ile K' nın belirlenmesi
- Trasör (İzleyici) lerle K' nın belirlenmesi (Egüvanlı ve Yüzer 1978).

Bu yöntemlerden hepsi ile permeabilite katsayısı ölçümleri yapılmasına rağmen tabaka suyunun durumuna göre en çok kullanılan yöntem zemine kuyular açmak suretiyle K' nın belirlenmesidir.

2.1.11. Transmisibilite (T, İletimlilik)

Bir akiferin suyu iletme kapasitesidir. “T” harfi ile gösterilir ve şöyle ifade edilir; Birim taban kesitteki bir akiferin yüksekliği boyunca alınan prizma içinden, birim miktardaki yük kaybı altında, birim zamanda, geçen su miktarıdır.

Transmsibilite;

$$T = K.h \quad (2.11)$$

T: Transmsibilite (m^2/sn , $m^2/gün$), K: Permeabilite katsayısı, h: Akifer kalınlığı.

Transmisibilite akiferin cinsine göre değişir. Genel olarak akiferin transmisibilitesi; $10^{-1} - 10^2 m^3/sn/m$ değerleri arasında değişir (Ergüvanlı ve Yüzer 1978). Bu değerlere göre;

$T \leq 10^{-1} m^3 / sn / m$ ise, bu akiferden yararlanma yöreseldir. Ancak küçük bir bölgeye yeter.

$T \geq 10m^3 / sn / m$ ise, bu akifer sulama, endüstri yada şehir yararlanmasında düşünülebilir.

2.3. Yeraltı Suyu Modellemesi

Yeraltı suyunun davranışının tespitinde önemli bir yeri olan jeolojik ve hidrolojik veriler kullanılarak yıllardır yeraltı suyu akış modelleri yapılmaktadır. Yeraltı suyunun davranışının modellenmesiyle ilgili yapılan çalışmaların bir kısmında paket programlar kullanılmadan istatistiksel yöntemlerle modelleme yapılmış, ancak gelişen teknolojiyle birlikte yeraltı suyu davranışının modellenmesini daha hızlı ve gerçeği daha iyi yansıtacak bilgisayar programlarının üretilmesiyle modeller günümüzde bilgisayar ortamında yapılmaktadır. Bu bölümde yeraltı suyu akışının modellenmesiyle ilgili olarak yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Yapılan literatür araştırmasının sonuçları aktarılırken öncelikle modelleme yaparken paket program kullanmayan araştırmacıların yaptığı çalışmalardan, devamında yeraltı suyu modellemesinde bilgisayar programı kullanan araştırmacıların yaptığı çalışmalardan bahsedilmiştir. Günümüze kadar yapılan yeraltı suyu modelleme çalışmalarından bahsetmeden önce modelleme programlarının tarihsel süreç içerisinde gelişiminden bahsedilecektir.

1980'lerden önce su kaynakları yönetimi için geliştirilen bilgisayar modelleri genellikle statik bir yapıya sahip olup daha çok bilgisayarın sınırlı işlem hacmi ve yetenekleri düşünülerek yazılırdı. Yazılımlar sadece bir projeye spesifik olarak geliştirilir ve başka projelere adapte edebilmek için yazılımın yapısında büyük değişiklikler yapılması gerekirdi. Ayrıca geliştirilen bu yazılımlar kullanıcıya uygun bir arabirimine sahip olmadığından kullanımında zorluklar ile karşılaşılırdı. Input dosyaları geniş dosyalardan oluşmakta, programdan elde edilen outputlarda yine düz bir dosya içerisinde grafiksel arabirimlerden yoksun bir yapı içermekteydi. 1980'lerden sonra araştırmacılar statik modeller yerine dinamik ve daha genel modellerin geliştirilmesine ağırlık vermişlerdir.

Su kaynakları yönetimi içerisinde farklı yazılımlar ile çeşitli modeller geliştirmişlerdir. Örneğin yeraltı suyu için FEFLOW, AQUIPACK, FRACTRAN vb. gibi esnek ve

yüksek kapasiteye sahip modeller yazılmıştır. Bu modeller genel modeller olup herhangi bir su kaynakları modelleme projesinde kullanılabilir ve verilere göre ayarlanabilir niteliktedirler. Geliştirilen bu programlar sayesinde su kaynakları modellemelerinde çeşitliliklerde artmıştır.

“Son yıllarda CBS tekniklerinin, grafiksel kullanıcı arabirimlerinin (GKA), ve veritabanlarının MS Windows yazılımları ile mükemmel iletişimi, kullanıcılar için geliştirilmesi ve anlaşılması kolay modellerin yazılımlarını sağlamıştır (Durdu 2004)”.

“1990 yıllarına kadar geliştirilen modeller bir entegre projeden daha çok sadece sistemin planlanması ve yönetimi ile ilgili modellerdi. 1990’larda çevre problemlerinin ve su kirliliği sorunlarının ön plana çıkması ile birlikte geliştirilen modellerin bir entegre model olmasına dikkat edilmiş ve sosyoloji, ekonomi, çevre ve sağlık disiplinleri ile entegre olmuş modeller geliştirilmeye başlanmıştır. Entegre model sistemleri bir su sistemi içerisindeki (nehri havzası) yüzey suları, yeraltı suları, topraktaki kimyasal ve biyolojik süreçler arasında iletişim kurularak geliştirilmişlerdir. Fakat bu modeller geliştirilirken her sistem kendi yazılımını geliştirmiş ve sonra bu yazılımlar bir araya getirilerek entegre bir model oluşturulmuştur. MODEFLOW, SWMM, HSPF, Visual MODFLOW, GMS gibi modeller bu şekilde özel mühendislik kurumları tarafından bir paket haline getirilerek ticari bir yazılım olarak piyasaya sunulmuştur. Su kaynakları sistem modellemesinde artan kompleks yapı daha gelişmiş, esnek, CBS teknikleri ile rahat iletişim kurabilen, GKA yazılımları ile kolay çalışan, teknoloji harikası veritabanları ile anlaşılabilen kodlama tekniklerinin kullanılmasına yol açmıştır (Soyaslan 2004)”.

2.2.1. Yeraltı Suyu Modellemesi Konusunda Yapılan Çalışmalar

Karahanoglu vd. (1986), “Erzin Ovası (Hatay) Yeraltı suyu Havzası Sonlu Eleman modeli” isimli makaleleri ile geliştirilen sonlu elemanlar modelini, Erzin ovası yeraltı suyu havzasındaki beslenme ve boşalım koşullarına bağlı olarak, yeraltı su düzeyi değişimlerini belirlemeyi amaçlamıştır. Modelde diferansiyel denklem olarak Dupuit varsayımları kullanarak model oluşturmuşlardır. Modelde girdi olarak kullanılan

fiziksel parametreler, akifer sınır koşulları ve başlangıç hidrolik yük değerleri mevcut saha verilerini kullanarak belirlemişler ve model kalibrasyonu 1978 sulama mevsimi için, modelin gerçeklemesini ise 1978-1982 dönemi için yapmışlar. Yapılan modelin çeşitli fiziksel parametrelere duyarlılığı incelenmiş ve yapılan modelin tüm değişikliklere çok iyi bir uyum sağladığını gözlemlemişler. Benzeşim çalışmasından elde edilen sonuçlar kuyulardaki su düzeyi değişimleri ile son derecede iyi bir uyum içinde olduğu belirlemişler. Gözlenen ve hesaplanan değerler arasındaki ihmal edilebilir farklılıklar olabileceği, bu farklılıkların kuyulardaki gözlem hatalarından ve benzeşim çalışmasında sabit debide pompaj kabulünden kaynaklandığı belirlenmiş. Bu nedenle değişken pompaj kabulü ile modelin daha da geliştirilmesi olası olduğu sonucuna varmıştır.

Yurtçu (2001), “Kil zeminlerde yeraltı suyu davranışının modellenmesi” adlı yüksek lisans tezinde, Akarçay havzası yeraltı su seviyesinin davranışını istatistik yaklaşımla modellemeyi amaçlamıştır. Çalışmasında bağımlı değişken olarak debi, bağımsız değişken olarak da 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 bilinmesini ve diğer hidrolojik değişkenlerle ilişkisinin ortaya konmasının faydalı olacağı belirlenmiştir. Kurulan modelin Akarçay havzası ile ilgili olarak yeraltı suyunun kontrol ve takip edilmesi ile ilgi yapılacak çalışmalara ışık tutacağı ifade edilmiştir.

Aci (2006), “Yapay Sinir Ağları İle Hidrolojik Modelleme” adlı yüksek lisans tezinde, Yapay sinir ağları yöntemini kullanarak bir akarsudaki akımların, o akarsuyun havzasındaki yağış ve önceki akım gözlemlerinden tahmin edilmesi amaçlamaktadır. Uygulama alanı olarak Akarçay havzası seçilmiştir. Havzada mevcut bulunan yağış gözlem istasyonlarının yerleşimi, gözlem aralığı gibi parametrelere bağlı olarak 4 tip model tasarlanmıştır. Modellemede edilen sonuçlar çok değişkenli regresyon analizi sonuçları ile kıyaslamış ve bu kıyaslamaları çizelge ve grafik olarak sunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre Yapay Sinir Ağlarının, yağış gözlemlerinden, akış tahmini

problemine başarılı bir şekilde uygulanabileceği ve güvenli tahminler ürettiğini ortaya koymuştur

2.2.2. Modelleme Programı Kullanılarak Yapılan Çalışmaları

Dişli (2000), “Akifer hidrolik parametrelerinin evrik modelleme ile belirlenmesi” adlı yüksek lisans tezinde, Akarçay Havzası’nda yer alan ve Afyon il sınırlarında bulunan Şuhut Ovası’ndaki hidrojeolojik sistemde yeraltı suyu dolaşımını kontrol eden akifer hidrolik parametrelerinin evrik modelleme tekniği ile belirlenmesi amaçlamıştır. Evrik modelleme yaklaşımı, hidrojeolojik sistem için oluşturulan yeraltı suyu akım modelinde, tanımlanan hidrolik yük değerleri ile arazide gözlenen hidrolik yük değerleri arasındaki farkı minimum sağlayacak şekilde parametre optimizasyonu esasına dayanmaktadır. Yazar çalışmasını iki aşamada tamamlamıştır. Birinci aşamada Afyon-Şuhut Ovası hidrojeolojik sistemin kavramsal hidrojeolojik yapısı tanımlamış ve heterojen bir yapı gösteren Şuhut Ovası akiferi 4 model tabakasına bölmüştür. Her bir model tabakasında yer alan hidrojeolojik birimler litolojik özellikler göz önüne alınarak 7 farklı zona ayırmıştır. Her zon kendi içerisinde homojen hidrolik parametreler ile temsil edilmiştir. Bu zonlara ait hidrolik parametreler MODFLOW programına aktararak elde edilen, parametre ve hidrolik yük değerleri PEST programında tanımlanarak çalıştırılmış ve akifer parametre değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan parametreler, model alanındaki kuyularda yapılan pompalama denemesi verilerinin Neuman yöntemi ile değerlendirilmesiyle elde edilen hidrolik iletkenlik katsayısı değerleri ile karşılaştırmış. Neuman yöntemi ile çakıl ve tuf birimlerine ait hidrolik iletkenlik katsayıları, 0.35 ve 1.19 m/gün, PEST sonucunda ise 0.168 ve 0.88 m/gün olarak bulmuştur. Hassasiyet analizleri sonucunda ovadaki akifer sisteminde kestirilen hidrolik yük değerlerinde meydana gelen değişimlerde çakıl ve tuf birimlerine ait hidrolik parametrelerin baskın olduğunu belirlemiştir.

Özlem A. (2002), “Afyon Ovasının yeraltı suyu kütle taşınımı modeli” adlı doktora tezinde, Yeraltı suyu kullanımının artan yoğunlukta gerçekleştiği ve bunun sonucu olarak piyezometrik seviyede düşümler ve su kalitesinde bozulmalar olduğu gözlenmiştir. Bu koşullar altında ovada yoğun olarak çekimin artması sonucu meydana

gelecek etkilerin öngörülmesi, ovadaki yeraltı suyu konumunun bugünkü durumunun ortaya konması amaca yönelik olarak, ovadaki yeraltı suyu akımı MODFLOW (Modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model) matematiksel modeli aracılığıyla benzeştirilmiştir. Benzeşim, sonuçlarında, özellikle çekimlerin 1976 yılından sonra önemli ölçüde arttığı, 1990 yılından sonra ise piyezometrik seviyelerdeki düşüş olduğuna dikkat çekmiştir. Piyezometrik seviyelerdeki bu düşümün ovanın bazı kesimlerinde 5 - 10 m olduğu belirlenmiştir, Bu koşullar altında ovada yer altı suyu kullanımının doğal hidrolik denge koşullarını bozmayacak şekilde düzenlenmesi ve kontrolsüz, çekimlerin durdurulması gerektiği sonucuna varmıştır.

Ersoy (2007), “ Gümüşhacıköy Akiferi’nin Yeraltısu Akım Modeli” adlı doktora tezinde, Trabzon, Merzifon-Gümüşhacıköy Havzası’nda yer alan Gümüşhacıköy Akiferi’nde, yeraltı suyu seviyeleri özellikle 1990’lı yıllardan itibaren hızla alçalma eğilimine girdiğinden dolayı, Gümüşhacıköy Akiferi’ndeki yeraltı suyu seviyelerindeki azalmaları ve yeraltı suyunun akım prensiplerini belirlemek için akım modeli kurmayı amaçlamıştır. Yeraltı suyu akım modellemesini için Argus ONE isimli programda kullanılmıştır. Argus ONE programı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) programları ile uyumlu olarak çalıştığı için modelleme için gerekli veriler öncelikle ArcGIS 8.3 programında veri tabanları şeklinde hazırlanmış ve bu verilerin gerekli dönüşümler yapılarak Argus ONE CBS programına aktarılmış ve akifere ait yer altı suyu akım modelinin kurulmuştur.

Elçi vd. (2007), “Torbalı Ovası Yüzeysel Akiferindeki Yeraltı Suyu Akımının Matematiksel Modelleme İle Tespiti” isimli bildirileri ile MODFLOW-2000 programında İzmir’in Torbalı ilçesindeki alüvyon ovası yüzeysel akiferi için bir matematiksel akım modelinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yazarlar modellemeyi tek katmanlı ve iki boyutlu olarak kurmuş olup, kış mevsimi kararlı akım koşullarını temsil edecek şekilde kurmuşlardır. Bu kapsamda yürütülen arazi çalışmaları ile ovadaki yeraltı su seviyeleri 28 noktada ölçülmüştür. Çalışma sahasındaki hidrojeolojik özellikler dikkate alınarak, modelleme alanı 5 farklı hidrolik iletkenlik ve akifer beslenme oranı bölgesine ayrılmıştır. Yapılan bu akım modeli ile Torbalı Ovası

yüzeysel akiferi için bir yeraltı su seviyesi dağılımını hesaplamışlar ve yeraltı suyu akım yönleri tespit ederek, Torbalı Ovası için yaklaşık bir su bütçesini hesaplamışlardır.

Çelik (2007), “Diyarbakır Ovasının Yeraltı Sularının İncelenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) İle Modellenmesi” adlı doktora tez çalışmasında; Diyarbakır Ovasının yeraltı su potansiyeli ve yeraltı su kalitesi araştırmış ve resmi ve özel kişiler tarafından açılmış yaklaşık 1500 sondaj kuyu verileri incelemiştir. Modelleme aşamasında bu verilerden açılma tarihi olarak güncel tarihli ve koordinatları ova kısmına düşen 349 adet sondaj verisi kullanmıştır. Bu veriler, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) programları ile simüle edilmiş, statik su seviye, dinamik su seviye Tematik haritaları elde etmiştir. Yazar hidrojeolojik etütte, bölgenin jeolojik yapısı da göz önüne alınarak, akifer özelliklerine göre verimlilik, su tutma kapasitelerini değerlendirmiştir. Su kuyularının fiziksel kimyasal analizleri ile, suyun kalitesi belirlenerek, içme ve sulama suyu açısından kullanılmaya elverişli olup olunmadığı yazar tarafından irdelenmiştir. Bu şekilde elde edilen haritalar, ileride yapılacak çalışmalara bir dayanak oluşturabileceği ifade edilmiştir. Yeraltı su değişimlerinin irdelenmesi, risk haritalarının çıkartılması, su kalitesi verileri işleme ve modellemeleri çalışmalarına katkıda bulunması açısından önemli olduğu sunucuna varılmıştır.

Şimşek vd. (2009), “Kemalpaşa Ovasının Üç Boyutlu İnteraktif Hidrojeolojik Modeli” isimli bu çalışmada, İzmir-Kemalpaşa Ovası’nda yer alan, derin akifer sistemlerinin belirlenmesine yönelik, RockWorks programı kullanılarak interaktif üç boyutlu modellemesini yapmışlardır. İnteraktif modelleme demek, sürekli olarak güncel verilerle yenilenen model anlamına gelmektedir. Modellerin hazırlanmasında 18 adet sondaj su kuyusu kullanılmıştır. Modellemede kullanılan veriler, çalışma alanında açılan kuyu loglarından faydalanılarak; kuyu derinlikleri, akifer derinlikleri, statik ve dinamik su seviyeleri, debi, özgül debi parametreleri elde edilmiş ve bu bilgiler, kuyuların koordinatları ölçülerek CBS ortamında veri tabanı oluşturmuşlardır. Bu veritabanı kullanılarak çalışma alanının üç boyutlu jeolojik ve hidrojeolojik modeli yapılmıştır. Bu jeolojik ve hidrojeolojik model sayesinde ekonomik yeraltı suyu alınabilecek alanların belirlenebileceği, modellemenin yapıldığı bölgede yeraltı suyu kirliliğine yönelik çalışmalara ve sondaj yeri belirleme çalışmalarına temel olacağı

yazarlar tarafından ifade edilmiştir. Ayrıca modelin sürekli olarak güncellenebilen bir model olması sayesinde, yeni açılacak sondaj yerlerinin ve derinliklerin belirlenmesine imkân sağlayabileceği ve havza bazında verilerin toplanması ile havza yönetimi ve planlanması konusunda da yardımcı olacağı sonucuna varılmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde çalışma alanı olan Akarçay havzasının coğrafi konumu, hidrolojisi, jeolojisi hakkında bilgiler verilmiş ve havzanın yeraltı suyu modellemesinde kullanılan veriler hakkında bilgiler verilerek, Groundwater Modeling System (GMS) programıyla Akarçay havzası yeraltı suyu modellemesinin nasıl yapıldığı anlatılmıştır.

GMS, yeraltı suyu davranışının üç boyutlu olarak benzeşimlerini geliştirmek için kullanılan geniş kapsamlı bilgisayar programıdır. GMS kompleks ve kapsamlı yeraltı suyu modellemesi yapabilme imkanı sağlayan alt programları bünyesinde barındırır. GMS de yapılan modelleme bölgenin niteliklerini, model geliştirmesini, kalibrasyon ve görselleştirmeye olanak sağlar. GMS 2 boyutlu ve 3 boyutlu modellemelerde hem sonlu farklar hem de sonlu elemanlar yöntemlerini destekler. GMS programı kullanılarak yeraltı suyu ile ilgili olarak yapabileceğimiz modelleme türlerine uygulamalar başlığı altında değinilecektir.

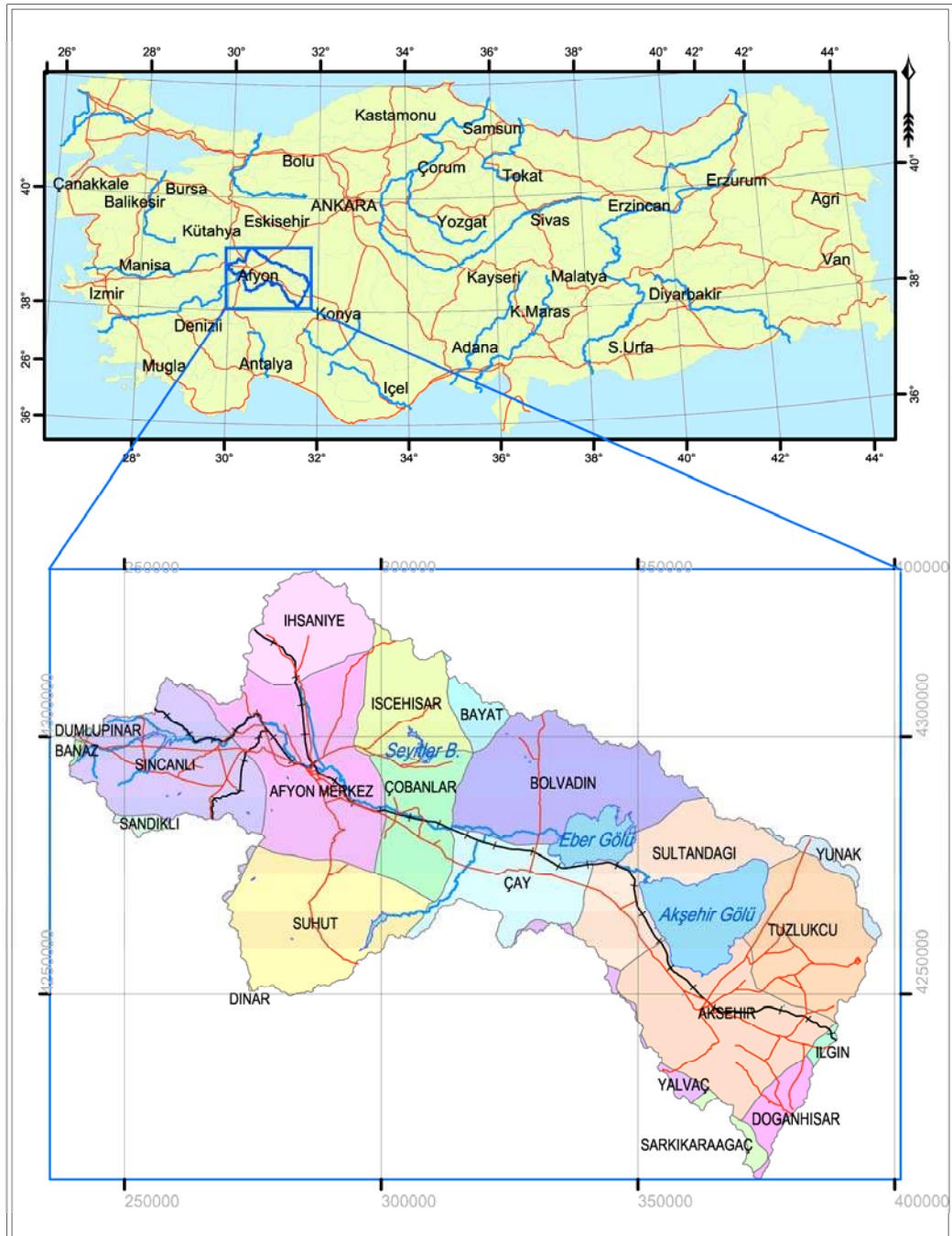
3.1. Akarçay Havzasının Tanıtılması

3.1.1 Coğrafi Konumu ve Yapısı

Havza 30°-32° doğu boylamları ile 38°-39° kuzey enlemleri arasında yer almakta olup 8 adet 1/100000 ölçekli (Afyon K24, K25, K26, L24, L25, L26 ve Ilgın K27, L27) 72 adet 1/25000 ölçekli topoğrafik harita üzerinde yayılmaktadır.

Akarçay havzası coğrafi konum olarak Ege, İç Anadolu ve Akdeniz bölgelerinin kesişim noktalarında yer almakta olup, her üç bölge içerisinde de sınırları bulunmaktadır. Havzanın geniş bir bölümü Ege bölgesinin İç Batı Anadolu bölümündedir. Doğu ve kuzey doğuda yer alan arazinin bir bölümü İç Anadolu Bölgesine uzanır. Havzanın önemli bir kesimi Afyon il sınırları içerisinde olup, doğudan Konya sınırlarına girer. Havza yaklaşık 130 km uzunluğunda, 20 km genişliğinde bir çöküntü havzasıdır. İç Batı Anadolu esiği üzerinde yer alan güneydoğu - kuzeybatı doğrultulu dağ dizilerinden en doğuda olan Emir ve Türkmen dağları

havzayı kuzey doğudan, İlbudak Dağı kuzeybatıdan, Sultandağları güneydoğudan, Ahır ve Kumalar Dağı ise güneybatıdan sınırlamaktadır (Tezcan, 2002). Çalışma alanına ait Yer Bulduru Haritası Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Akarçay havzası yer bulduru haritası (Tezcan vd. 2002)

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 Ovası'ndan doğarak Selevir Barajı üzerinden kuzeydoğu 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 güneydoğusunda Sultandağları'ndan kuzeye doğru akan Çay Deresi, Deresine Deresi, Dort Deresi ve Engili Dere Akşehir ve Eber göllerine yağışlı mevsimlerde su taşıyan diğer önemli akarsulardır (İçağa 2001).

3.1.2. Akarçay Havzasının Hidrolojisi

Akarçay havzasının büyük bir kısmı Neojene ait göl sedimanları, litoral malzeme ve volkanik kayalarla örtülüdür. Havzada mostra veren tüm Neojen 1450 km² saha kaplamaktadır. Neojen sedimanları Paleozik ve Permomesozik formasyonlar üzerinde diskorcan olarak oturmaktadır (DSİ 1997).

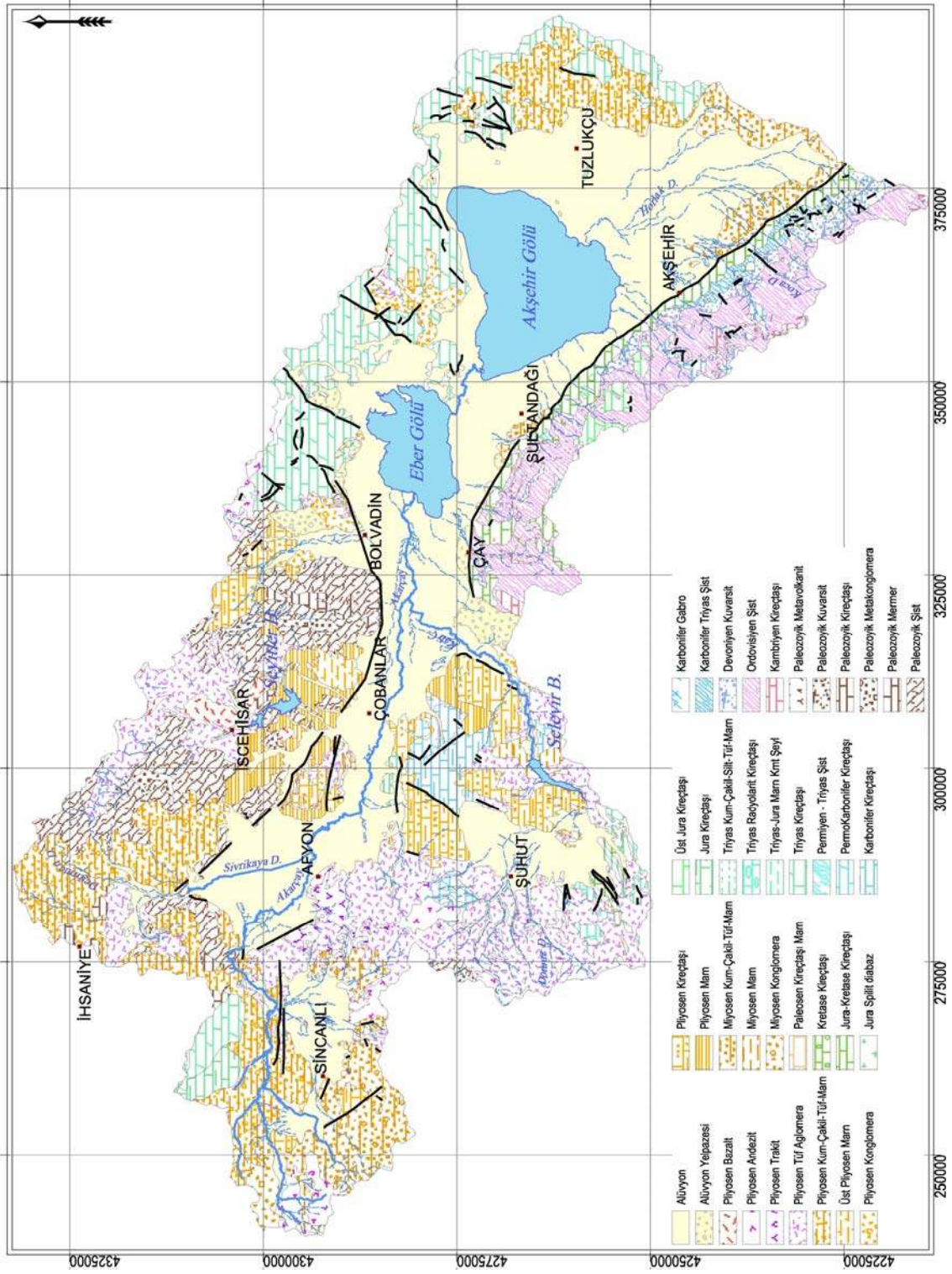
Havzada en geniş alanı kapsayan (1960 km²) formasyon alüvyonlardır. Dere yatakları çevresinde ve göllerin etrafında bulunurlar. Kalınlıkları batıdan doğuya doğru artar ve konilerle 300 m' ye erişir. Genel olarak elemanları kireçtaşı, kuvarsit, andezit ve tüf kökenlidir. Tane irilikleri batıdan doğuya doğru artmaktadır. Büyük Sincanlı Ovasında siltler, Afyonda silt – kil ve çakıllar, Çay – Bolvadin – Akşehir de ise çakıllar hakimdir. Alüvyon kalınlıkları Afyon ovasında 70-100 m, Büyük Sincanlı ovasında 110 m, Bolvadin de 100 m, Çay da 120 m' dir (DSİ 1997).

Havzanın permeabilite katsayısı 224 (m/g) ile 0,01 (m/g) değerleri arasında değişmekle beraber ortalama 7,08 (m/g) civarındadır (DSİ 1997).

3.1.3. Akarçay Havzasının Jeolojisi

Akarçay Havzası'nda Paleozoyik başlangıcından Kuvaterner'e kadar olan döneme ait kayaç toplulukları bulunmaktadır. Akarçay Havzası, Toros Kuşağı'nın "Isparta Dirseği" olarak bilinen bölümünün kuzeyinde yer almaktadır. Bu nedenle Havza, Toros Kuşağı tektonik faaliyetlerinden oldukça etkilenmiştir (Şekil 3.6).

"Havza ve çevresinde MTA Genel Müdürlüğü tarafından ayrıntılı jeolojik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Havzanın batı kesiminde Metin vd. (1987), Erkan vd. (1996), orta kesimlerinde Metin vd. (1988), doğusunda Umut vd. (1987), güneyinde Yalçınkaya vd. (1986) ve güneydoğusunda da Demirkol vd. (1977), Öztürk vd. (1987), Ögdüm vd. (1989) çalışmışlardır. Akarçay Havzası'nın jeolojik yapısı başlıca 5 ögeden oluşmaktadır. Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçlar, Mesozoyik yaşlı denizel kayaçlar, Volkanik kayaçlar, Neojen yaşlı göl ve akarsu çökelleri, Kuvaterner yaşlı göl ve akarsu çökelleri. Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçlar, havzanın kuzeybatısında ve güneydoğusunda yüzeylenmektedir. Kuzeybatıda Afyon Ovası'nın kuzeyinde yüzeylenen metamorfik kayaçlar güneye inildikçe derinlere dalmaktadır. Havzanın güneybatısında yüzeylenen metamorfik kayaçlar ise Sultandağları'nda yüksek bir topografya sunmaktadır. Mesozoyik yaşlı denizel formasyonlar ise başlıca Eber ve Akşehir Gölleri'nin kuzeyinde geniş alanlarda, Sincanlı Ovası'nın kuzeyinde ve Sultandağları'nın kuzeye bakan yamaçlarında dar bir şerit halinde gözlenmektedir. Genellikle altta detritik bir birimle başlayan Mesozoyik, kalın karbonatlı kayaçlardan oluşmaktadır. Bunlar genellikle düşük dereceli metamorfizma geçirmiş kayaçlardır. Toros Kuşağı'na ait Mesozoyik formasyonlar ise çoğunlukla havza sınırının güneyinde yüzeylenmekte, Şuhut Ovası'nın güneyinde ise bu birimlere allokton olarak rastlanmaktadır" (Tezcan vd. 2002).



Şekil 3.2 Akarçay Havzası jeoloji haritası (Tezcan vd. 2002).

3.2. GMS Programında Yeraltı Suyu Modelleme

4.2.9. Yeraltı Suyu Akım ve Taşınım Özellikleri

Yeraltı suyu akım ve taşınımı ile ilgili, iki boyutlu ve üç boyutlu olarak programın içerisinde yer alan yardımcı alt programlar sayesinde modelleme yapılabilir. Alt programlar kullanılarak yapılabilecek modelleme türleri aşağıda anlatılmıştır (İnt.Kay.1).

İki boyutlu Akış (2D Flow); GMS programı içindeki MODEAM (tümleşik analitik element modeli) ile modelleme kolay ve hızlı gerçekleştirilir. 2 boyutlu sonlu elemanlardaki sızıntı (seepage) modellemesi SEEP 2D modeli tarafından yapılmaktadır. SEEP 2D ile baraj, set (nehir kenarı, rıhtım vb.), kuyu kesitlerindeki sızmaları modellemek için kullanılır (İnt.Kay.1).

Üç boyutlu akış (3D Flow); GMS programı içindeki MODFLOW ile doymuş bölgeler için 3 boyutlu sonlu farklar modeli yapılabilir. GMS içerisindeki MODFLOW ile Doymuş ve doymamış tabakaların 3 boyutlu sonlu farklar modeli yapılabilir (İnt.Kay.1).

Çözünmüş madde taşınımı (Solute Transport); ART3D ile basit analitik ulaşım modelleri, MT3D, MODPATH, ve FEMWATER ile basit 3 boyutlu taşınım modellemeleri, RT3D ve SEAM3D ile reactive 3 boyutlu modellemeler ve UTCHEM ile çok aşamalı reactive ulaşım modellemeleri yapılabilir (İnt.Kay.1).

Doymamış tabakalarda Akış ve Ulaşım (Unsaturated Zone Flow and Transport); FEMWATER ve UTCHEM ile tamamen 3 boyutlu doymamış ve doymuş akım ve taşınım modellemeleri yapılır (İnt.Kay.1).

4.2.10. Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Kavramsal Model

GMS programının en önemli özelliklerinden biri kavramsal modelleme yapabilme özelliğinin olmasıdır. Bu yaklaşım Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) objelerini kullanarak GMS’ de bir kavramsal model kurma imkânı sağlar. Kavramsal modelde bir modelin,

sınır koşullarını, kaynak&besleme noktaları ve tabakaların malzeme özelliklerini tanımlar. Model verisi, model oluşturmada kullanılan ızgara ve ızgara yüzeylerine otomatik olarak kavramsal model objeleri tanımlandıktan sonra aktarılır. Kavramsal model sayesinde karmaşık ve karmaşık alanlar etkileyici ve basit bir biçimde modellenir. GIS modülü GMS içerisinde bulunmaktadır. GIS verileri olmadığı zaman GMS de oluşturulabilir veya GIS dosyalarından veri alınabilir (İnt.Kay.1)

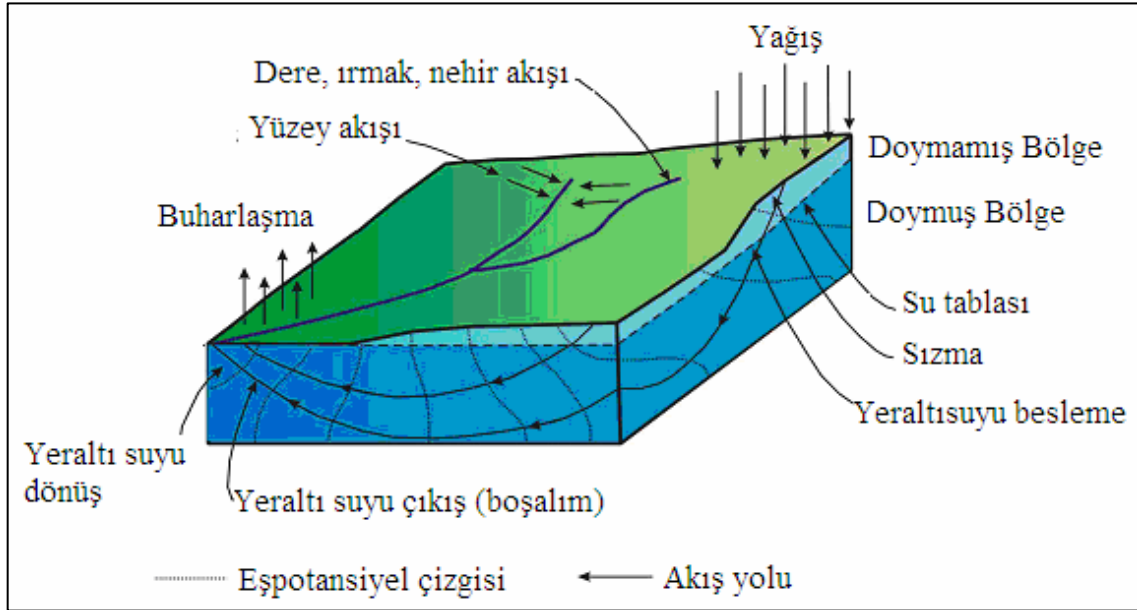
4.2.11. Bölgeyi Görselleştirme

GMS modelleme sonuçlarının görselleştirilmesine olanak sağlayacak kapsamlı grafiksel araçlara sahiptir. Modeller dijital haritalar ve kaynak verileri kullanılarak oluşturulabilir. Bu özelliği sayesinde modelin kurulduğu esnada grafiksel gösterim kullanıcının işini kolaylaştırır. Modelleme alanın 3 boyutlu görünüşleri, modeli daha rahat anlamamıza yardımcı olur. Oluşturulan bir yeraltı modelinin plan görünümü veya üçboyutlu görünümü hızlı bir biçimde görüntülenebilir. Kesitler diyagramları kullanılarak modelin istenilen yerinden kesilebilir ve kesitler üzerinde çalışmalar yapılabilir (İnt.Kay.1).

3.3. Yeraltı Suyu Modelleme Yöntemi

GMS programında yeraltı suyu modellemesi yapmak için iki yöntem vardır Bu yöntemler ızgara yaklaşım (grid aproach) modeli ve kavramsal yaklaşımı (conceptual aproach) modelidir. Izgara yaklaşım modelinde hidrolojik parametre değerleri modeldeki ızgara hücrelerine doğrudan kullanıcı tarafından atanır. Bu işlem yorucu ve uzun zaman aldığından kapsamlı modellemelerde bu yöntem kullanılmaz. Kavramsal yaklaşımda ise harita modülünde ki özellik nesnelerini (noktalar, yaylar, poligonlar vb.) kullanılarak modelleme yapılır. Modellemedeki ızgara hücrelerine hidrolik parametrelere ait değerler program tarafından otomatik olarak atanır. Kavramsal model yaklaşımı kapsamlı yeraltı suyu modellemeleri için kullanılmaktadır.

3.3.1. Kavramsal Model (Conceptual Model)



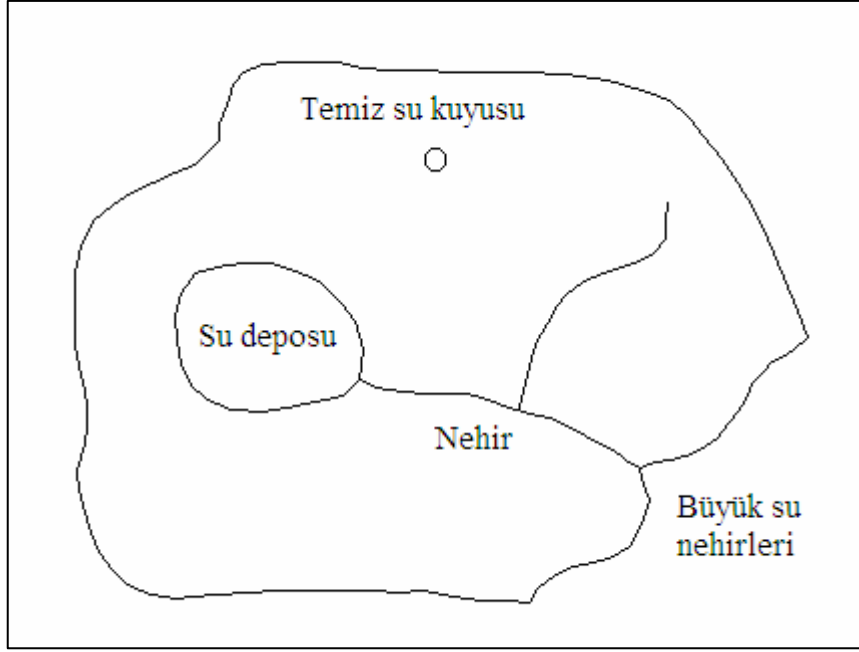
Şekil 3.3 Yeraltı Suyu Modelleme Sisteminin Kavramsal Modelde Gösterimi

Yeraltı suyu sisteminin hidrolik ve jeolojik durumlarının bir tasvirini kapsayan temsili bir gösterime kavramsal model denir. Bu temsili gösterimde noktalar yaylar ve poligonlar kullanılır (Şekil 3.3).

“Yeraltı suyu akım modellerinde en önemli aşamayı, kavramsal model olarak tanımlanan, model sınırlarının ve işleyişinin, yeraltı suyu akım sürecinin, bu süreçlerin mekanizmasının ve ortam parametrelerinin hidrojeolojik bilgiler ışığında tanımlanması oluşturmaktadır. Doğal ortamın geometrisinin ve jeolojik yapısının son derece karmaşık olmasından dolayı kavramsal modeller belirli varsayımlara dayanmaktadır. Bu süreçler akiferi oluşturan malzemenin homojen-heterojen ve izotrop-anizotrop yapı özelliği, tabakaların tanımlanması, tabakaların alt ve üst seviye kotlarının belirlenmesi, başlangıç hidrolik seviyeler ve sınır şartlarının tanımlanması olarak sayılabilir. Kavramsal modelin, doğal ortamı temsil etme yeteneği model başarısının temelini oluşturmaktadır”(SOYASLAN 2004).

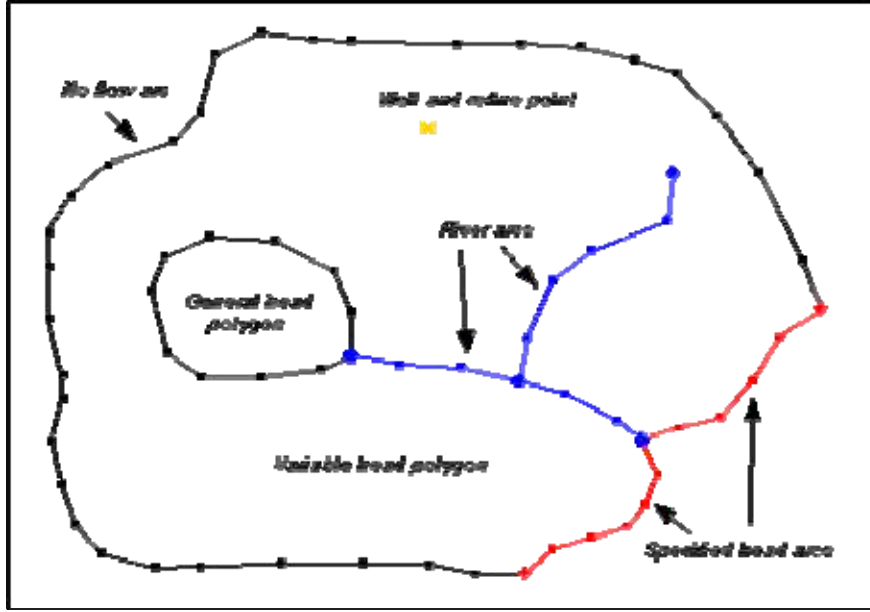
Akarçay havzası yeraltı suyu modellemesinde kavramsal model yaklaşım yöntemi kullanıldığı için, öncelikle kavramsal modelleme tekniğinin daha iyi anlaşılması

amacıyla kavramsal modelleme hakkında bilgiler verilmiştir (İnt.Kay.1). Yeraltı suyu modellemesinin yapılacağı bölgedeki hidrolojik özellikleri ve hidrolik nesnelerin yerlerini içeren temsili bir haritası aşağıda verilmiştir (Şekil 3.4). Bu haritada hareketsiz su depoları, nehirler, temiz su kuyuları ve büyük su gölleri gibi kaynakları içermektedir. Öncelikle örnek temsili haritamız programa aktarılır.



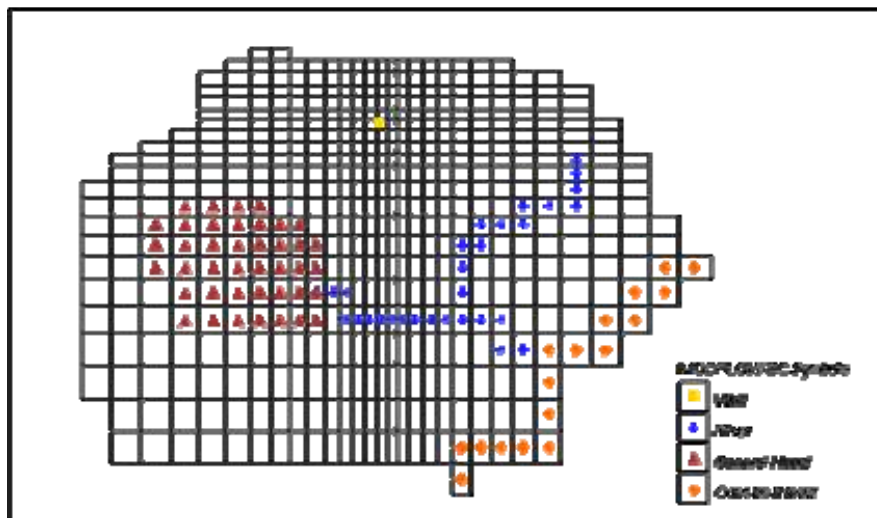
Şekil 3.4 YAS modellemesi yapılacak alanın temsili haritası

GMS programına aktarılan haritanın bulunduğu bölgenin kavramsal modelini oluşturmak için ilk adım modellemenin yapılacağı bölgedeki hidrolik nesneleri temsil edecek noktalar, yaylar ve poligonlar oluşturmaktır. Bu noktalar, yaylar ve poligonların temsil ettiği hidrolojik nesnelerin özelliklerine bağlı olarak yükseklik, iletkenlik, iletimlilik vb. parametreler modellemedeki noktalara, yaylara ve poligonlara atanarak kavramsal model oluşturma işlemi tamamlanmış olur. Şekil 3.5 bölgedeki hidrolojik nesnelerin kavramsal model yaklaşımıyla programda gösterimine örnektir (İnt.Kay.1).



Şekil 3.5 Kavramsal model

Kavramsal model yaklaşımındaki son aşama, kavramsal modeldeki depolanmış bilgileri analiz yapmak için bir ızgara tabanlı sayısal modele dönüştürmektir (Şekil 3.6). GMS, hem sınır koşullarını belirler, ızgara geometrisini oluşturur, hem de ızgaraya malzeme parametrelerini otomatik olarak atar. Kavramsal modellemedeki bilgiler sayısal modeldeki hücrelere atama işini program otomatik olarak yapmaktadır. Sayısal model üç boyutlu ızgaralardan oluşur ve yeraltı suyu ile ilgili hesaplamalar ve analizler sayısal modele dönüşüm yapıldıktan sonra gerçekleştirilir (İnt.Kay.1).



Şekil 3.6 Kavramsal modelin sayısal modelde gösterimi

3.3.2. Kavramsal Model Tanımlama Aşamaları

Birinci aşamada, ilk olarak MODFLOW kavramsal model oluşturulur. Kavramsal modelin nasıl oluşturulduğuna uygulamalar başlığı altında değinilecektir.

İkinci aşamada, kaç tane kapsam'a (coverage) ihtiyacımız olduğuna ve her birinde kapsamda ne tip özellikler istendiğine karar verilir. Her biri farklı amaca yönelik olan tipik 3 tip kapsam kullanılmaktadır. Kapsamlardan birincisi kaynaklar&besleme noktaları (sources&sinks) için oluşturulur ve kuyular, nehirler, sabit yükseklikler vb. kaynaklar bu kapsam içinde tanımlanır. Kapsamlarda ikincisi doldurma (recharge) alanları için oluşturulmaktadır ve recharge bölgeleri burada tanımlanmaktadır. Kapsamlardan üçüncüsü ise modeldeki tabakaları oluşturmak için oluşturulur ve Hidrolik iletkenlik (Hydraulic conductivity) değerleri bu kapsam içerisinde tanımlanır.

Üçüncü aşamada, kaynaklar&besleme noktaları oluşturulur. Kaynaklar&Besleme noktaları oluşturulurken programa arka plan olarak eklenmiş olan bölgenin haritasından yararlanılır. Bu arka plan resmi scannerden taratılmış bir harita olabileceği gibi, bölgenin uydudan çekilmiş fotoğrafı olabilir. Modellenecek alanın fotoğrafı programa ithal edilir. Model sınırları, göller, akış sınırları tanımlayan özellik nesneleri programa aktarılan arka plan resmi üzerinde gösterilir ve sabit yükseklik sınırları (specified head) arka plan resminin üzerine oluşturulmaktadır.

Dördüncü aşamada, yeraltı suyu beslenme (recharge) bölgeleri ve buharlaşmanın (evapotranspiration) olduğu bölgeler alansal olarak tanımlanır.

Beşinci aşamada, hidrolik iletkenlik (hydraulic conductivity) değerlerini atamak için katman oluşturulur. Hidrolik iletkenli değerleri oluşturulan katmanlar içinde tanımlanır.

Altıncı aşamada, kavramsal modelimizi sayısal modele dönüştürmek için oluşturulacak olan ızgaranın sınırlarını belirlemek için ızgara çerçevesi (grid frame) oluşturulur.

Yedinci aşamada, modelimizi üç boyutlu görüntüsünü elde etmek katı modelleme yapabilmek için üç boyutlu ızgara (3D Grid) oluşturulur. Oluşturulan ızgaranın yeri ızgara çerçevesi tarafından kontrol edilmektedir ve ızgaranın sıklığı kullanıcının belirlediği noktalar çevresinde otomatik olarak ayarlanır.

Sekizinci aşamada, ızgaradaki aktif / aktif olmayan hücreler (activate / inactivate cells) tanımlanır. Model sınırlarımız içerisindeki hücreler program tarafından otomatik olarak aktif, model sınırları dışında kalan hücreler ise aktif olmayan hücre olarak tanımlanır.

Dokuzuncu aşamada, MODFLOW menüsünden yeni simülasyon (new simulation) komutu seçilerek MODFLOW verileri başlatılır. Modelin tipi sabit-kararlı durum “steady state” veya geçişli “transient” durumlarından biri seçilir. Bu aşamada seçilen model tipine göre program yeraltı suyunun hareketini belirler.

Onuncu aşamada, harita modelindeki MODFLOW (Map -> MODFLOW) komutu kullanılarak, kavramsal modelde tanımladığımız sınır koşulları, sabit yükseklikler, hidrolik iletkenlik vb. hidrolojik ve jeolojik parametreler ızgaradaki uygun hücrelere otomatik olarak atanır.

Onbirinci aşamada, Katman yükseklikleri tanımlanır. Katman yüksekliklerini tanımlamak için arazinin topoğrafik kotlarından ve arazide bulunan kuyuların loglarından yararlanılır. Kullanılacak veriler Excel programında çizelge halinde oluşturularak programa ithal edilir.

Onikinci ve son aşamada, tanımladığımız kavramsal modelimiz analizi yapılarak yeraltı suyu modelleme işlemi tamamlanmış olur (İnt.Kay.1).

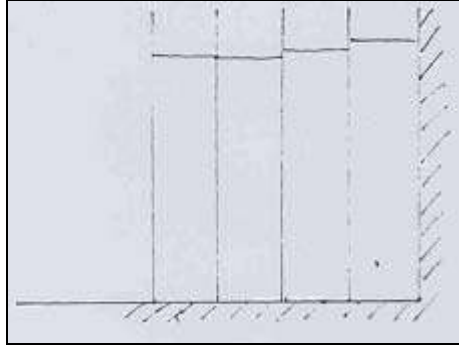
3.3.3. Programda Kullanılan Hidrolojik Terimler

Sınırlar (Boundaries): Yeraltı suyu akışını sürekli olarak etkileyecek olan Jeolojik ve hidrolojik nesnelerin fiziksel sınırlarının programdaki gösterimidir. Çatlaklar, jeolojik birimler, yüzeySEL sularıyla bağlantı yerleri programda sınır olarak ifade edilir.

Başlangıç Hidrolik Seviyeler: GMS' in MODFLOW modelinde yeraltı suyu denklemini yalnız doygun ortam içinde geçerlidir ve doymamış ortam model tarafından inaktif hücreler ile temsil edilir. Serbest akifer koşullarında başlangıç hidrolik seviye olarak, ilgili hücreye ait topoğrafik kot değerleri verilmiştir. Kararlı akımda başlangıç hidrolik seviyeleri sadece iterasyon sayısının çokluğu veya azlığını etkilemektedir. Sabit hidrolik yük olarak tanımlanmış (IBOUND matrisindeki değeri negatif) hücrelerin başlangıç hidrolik yük seviyeleri simülasyon boyunca sabit kalacaktır.

Sınır Koşulları ve Izgara Ağları: Programda akifer sisteminin 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 tanımlanmaktadır. Yeraltı suyu akım denklemi yalnızca aktif olarak modellenen akifer sistemi için kullanılmaktadır. Sabit seviye hidrolik yük olarak, modellemenin yapıldığı alandaki nehir, ırmak, göl vb. sınırlarda akifer sistemindeki aktif bölgenin su seviyelerine bağlı olarak akiferden beslenen veya akiferi besleyen bir alan olarak tanımlanır ve beslenme havzası sınırları dışındaki hücreler aktif olmayan hücreler olarak tanımlanmaktadır. Aktif olmayan bölgeler yeraltı suyu akım denklemine katılmamaktadır. MODFLOW akım modelinde IBOUND düzeni olarak isimlendirilen sınır şartlarının girilmesi gerekmektedir. IBOUND düzeninde her bir model ve modeldeki her bir hücrenin modelde sabit yük, aktif veya aktif olmayan hücre olduğunu belirten kodları 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 sınırlar söz konusu olmaktadır.

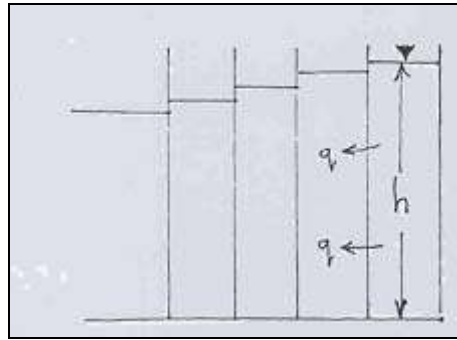
Akış Olmayan Sınırlar (No-Flow Boundarys): Hem yükseklik hem de akışın belirlenmediği sınırlardır. Fiziksel sınırları veya yeraltı suyunu ayıran akış çizgilerini temsil edebilir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Akış olmayan sınırlarının tipi

Belirli Yükseklik veya Sabit Yükseklik (Specified Head or Constant Head):

Modelimizdeki bir sınır, belirli yükseklik veya sabit yükseklik olarak tanımlandığı zaman bu sınırlarda akışın olduğunu ifade etmek için kullanılır (Şekil 3.8)



Şekil 3.8 Akış olan sınırlarının tipi

Modelleme yapılırken, ırmak/nehir (river), drenaj (drain), akışa bağlı yükseklik (head dependent flux), sabit-yükseklik sınırları (general-head boundary package) paketleri kullanılıyorsa bunlarla ilgili su kotu verileri sabit yükseklik olarak tanımlanır.

Kaynaklar & Besleme Noktaları (Sources & Sinks): Akarsu, nehir, ırmak, drenajlar ve kuyular programda kaynak veya besleme noktası olarak tanımlanır. Kaynağın bulunduğu hücrelerdeki hidrolik seviye, kaynak yüksekliğinden daha büyük olduğu zaman yeraltı suyu kaynağa doğru boşalır ve bu boşalım kaynak suyu olarak modelden dışarı çıkar. Bu durumda kaynak boşalımı varmış gibi modellenir. Hidrolik seviye kaynağın yüksekliğine eşit ya da daha düşük olduğu zaman kaynaktaki boşalım sıfır

olur. Akiferdeki hidrolik seviyeye dikkate alınmaksızın kaynaktan beslenim daima sıfır olur ve kaynak kurumuş gibi modellenir.

Kuyular (Wells): Bir pompaj yada enjeksiyon kuyusu, program'ın Well paketi ile iki parametreyle tanımlanmaktadır. Bu değerler kuyudan su çekilme ve enjeksiyon oranı ($Q, L^3/T$) ve parametre numarasıdır. Kuyunun su çekilme oranı negatif, enjeksiyon oranı pozitif değerler ile belirlenir. Kararlı akım simülasyonunda bir kuyunun enjeksiyon yada pompaj oranı simülasyon boyunca sabittir ve hücredeki hidrolik seviye ile hücre alanına bağlıdır.

Izgara (Grid) Türleri: Sınırlı fark modelinde ızgara dikey ve paralel çizgilerin kurulmasıyla oluşturulmaktadır. Bu çizgilerle oluşturulan bloklara hücre denir. Hücrelerin her birinin merkezinde model hidrolik yüksekliğinin hesaplandığı nokta vardır. Bu tür ızgara blok ızgara merkezli olarak isimlendirilir. GMS' de 3 tip hücre vardır.

- Aktif olmayan hücreler (Inactive cells): Bütün zaman simülasyonları esnasında bulunan hücrelerin içine veya dışına akış olmayan hücreleri temsil eder
- Aktif hücreler (Active cells): Simülasyonları esnasında bulunan hücrelerin içine veya dışına akış olan hücreleri temsil eder
- Sabit hücreler (Constant-head cell): Model sınırları ile ilgili bilinen sabit yükseklikleri temsil eden hücrelerdir.

4. UYGULAMA

4.2. Model Çalışmasında Kullanılan Veriler

Bu çalışmada kullanılan hidrolik ve hidrolojik veriler Tezcan vd., 2002'den alınmıştır. Modelin sınır koşulları ve ızgara ağları oluşturulurken akiferin göl, nehir veya bir rezervuar ile doğrudan hidrolik ilişki içinde olduğu sınırlar sabit-belirlenmiş seviye (specifield or canstant 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 kuzeyinde akış olmadığı için bu bölgeleri temsil eden yaylar akış olmayan sınırlar olarak tanımlanmıştır. Modellemede bölge sınırları içinde yer alan üç kuyu tanımlanmıştır. Bu kuyulardan çekilen su miktarı (debi) ve kuyu numaraları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Modelde kullanılan kuyular ve debi değerleri

Kuyu No	Debi (Q, m ³ /sn)
30514	117
21741	217
20953	314

Modellemede kullanılan yatay hidrolik iletkenlik (horizontal hydraulic conductivity), alt tabaka ve üst tabaka için sabit bir değeri girilerek transmisibilite değeri program tarafından hesaplatılmıştır. Modeldeki alt ve üst tabakalara girilen yatay iletkenlik (horizontal K) değeri, Akarçay havzası akiferi için Tezcan 2002 tarafından hesaplanan ortalama yatay iletkenlik değeridir. Akarçay havzası hesaplanan hidrolik iletkenlik değeri Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Akarçay havzasında özgül debi analizi ile hesaplanan akifer parametrelerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri (Tezcan vd. 2002)

	İletimlilik Katsayısı T (m ² /g)	Hidrolik İletkenlik Katsayısı K (m/g)
En büyük	11457	224
En küçük	0.52	0.01
Ortalama	550	7.08

Çalışmada Akarçay havzası yeraltı suyu akiferinin üç boyutlu olarak modellenmesi yapılmıştır. Üç boyutlu modelleme yapılırken tabaka sayısının bir fazlası yükseklik değerleri girmek gerekmektedir. Modelimiz 1. tabaka (üst) ve 2. tabaka (alt) olmak üzere iki katman üzerine kurulmuştur. İki tabakalı bir modelleme çalışmamızda toplam üç tane yükseklik (kot) değeri girilmiştir. Girilen bu değerlerden çalışma alanımız olan Akarçay havzasının zemin yüzeyi topografik kotları 1. tabakanın üstünü tanımlamak için kullanılmıştır. Modelleme çalışmamızda kullanılan arazi topografik kotları Çizelge 4.3’ de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Modellemede kullanılan Akarçay havzası arazi yüzeyi topografik kotları

Nokta No	Koordinatlar, X (m)	Koordinatlar Y (m)	Arazi Yüzey Kotları (m)
1	584	1817	1382
2	1569	2544	1236
3	847	1524	1263
4	1274	2181	1241
5	1780	1905	1165
6	1675	2310	1192
7	1606	1665	1160
8	1458	1460	1409
9	3879	1044	1149
10	3943	1187	1149
11	3970	1433	1149
12	2392	2089	1160
13	1785	2498	1209
14	137	1530	1382

Çizelge 4.3 (Devam) Modellemede kullanılan Akarçay havzası
arazi yüzeyi topoğrafik kotları

Nokta No	Koordinatlar, X (m)	Koordinatlar Y (m)	Arazi Yüzey Kotları (m)
15	985	1524	1409
16	3559	1555	1192
17	2650	1988	1198
18	2199	2213	1187
19	1997	2351	1187
20	3552	975	1154
21	3691	988	1154
22	3695	1284	1165
23	1845	2107	1171
24	3085	920	1192
25	3773	1518	1187
26	3244	1164	1171
27	3327	1541	1192
28	3414	1320	1165
29	2774	1514	1187
30	2682	1224	1171
31	3124	1619	1198
32	2466	1454	1176
33	2356	1086	1149
34	1905	1366	1138
35	2995	1320	1176
36	2291	1652	1182
37	2323	1877	1165
38	2903	1785	1209
39	2610	1696	1209
40	2167	1431	1209
41	1978	1652	1160
42	2093	1946	1176
43	2771	925	1149
44	2380	994	1187
45	1813	1587	1160
46	1670	1366	1138
47	2058	1155	1209
48	1486	1840	1176

Çizelge 4.3 (Devam) Modellemede kullanılan Akarçay havzası
arazi yüzeyi topoğrafik kotları

Nokta No	Koordinatlar, X (m)	Koordinatlar Y (m)	Arazi Yüzey Kotları (m)
49	1550	2061	1187
50	177	1610	1382
51	306	1543	1382
52	220	1487	1398
53	447	1598	1328
54	722	1647	1230
55	1118	1721	1241
56	1237	1909	1225
57	1470	1576	1154
58	1274	1702	1192
59	1040	1546	1247
60	1417	2402	1230
61	665	1524	1301
62	856	1767	1328

1. (üst) tabakanın altı (dip) ve 2. tabakanın altı (dip) noktalarının kotlarını girmek için havzada açılmış olan kuyu loglarından yararlanılmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Modelde kullanılan Akarçay havzasındaki kuyu logları

Kuyu No	Kuyu Yeri	Kuyu Kotları (m)	Derinlik (m)	1.Tabaka Taban Kotu (m)	2.Tabaka Taban Kotu (m)
30514	Merkez	1021	80	941	941
7932	Afyon	1085	160	1000	925
9540	Salar	1010	150	940	860
12604	Kınık	1170	184	1057	986
12993	Susuz	1020	184	910	854
13332	Beyazı	1030	153	952	877
20953	Bolvadin	975	350	902	806
20957	Bolvadin	973	260	902	713
21741	Hamidiye	980	125	891	855
21848	Bozlağan	1004	130	980	930
21890	Kozaağaç	988	150	942	847

Çizelge 4.4 (Devam) Modelde kullanılan Akarçay havzasındaki kuyu logları

Kuyu No	Kuyu Yeri	Kuyu Kotları (m)	Derinlik (m)	1.Tabaka Taban Kotu (m)	2.Tabaka Taban Kotu (m)
25055	Işıklar	1000	200	978	883
25095	Sincanlı	1174	150	1024	1024
25101	Merkez	1015	85	974	939
30657	Yeniköy	984	98	973	944
31880	Merkez	1013	80	978	966
33926	Reyis	1080	160	920	920

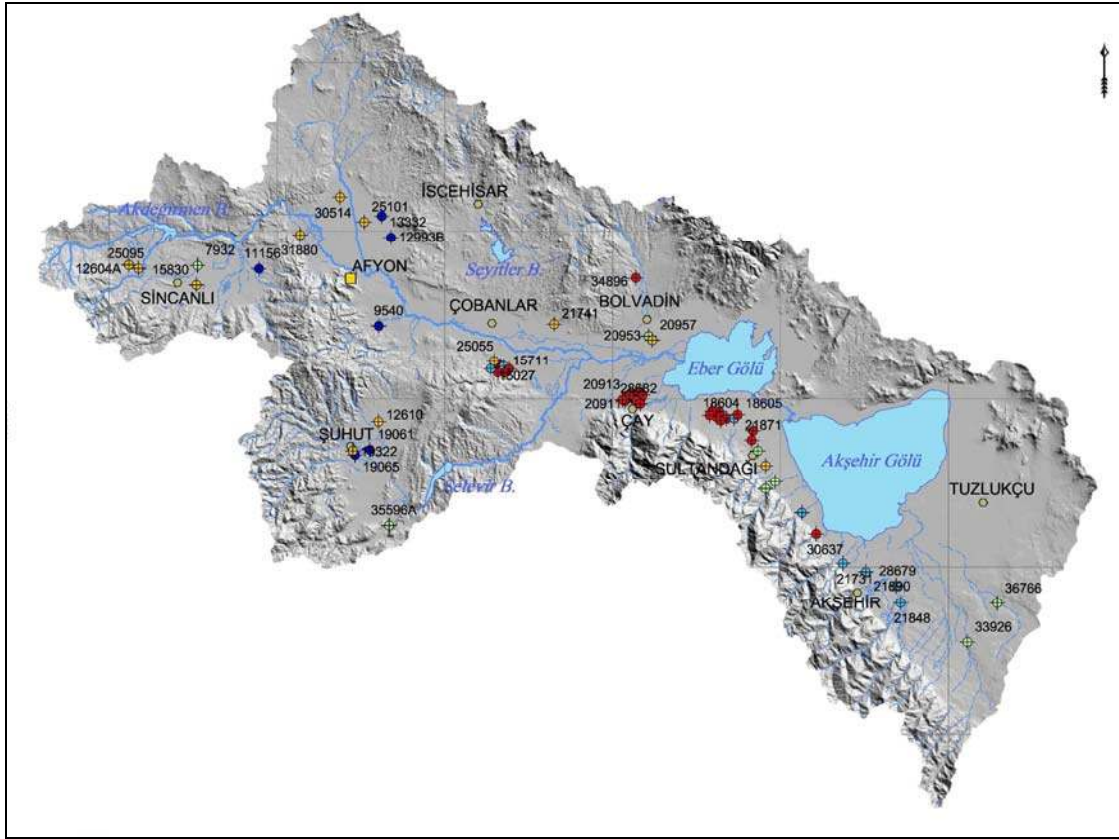
Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 Excel programında çizelge halinde hazırlanmış ve bu değerlerin modeldeki üç boyutlu ızgaralara atama işlemi GMS ile veri girişi başlığı altında anlatılacaktır. Programda bu noktalar saçılma noktaları olarak isimlendirilmektedir. Saçılma noktaları ızgaraya eklendiği zaman modelin arazideki gerçek eğimine yakın bir görünüm elde etmiş oluyoruz.

4.2 Veri Girişi ve Akarçay Havzasının Yeraltı Suyu Modellenmesi

Akarçay havzasında yeraltı suyu akışının ve potansiyelinin belirlenmesi amacıyla Groundwater Modeling System (GMS) programı kullanılarak yeraltı suyu akış modellemesi yapılmıştır. Modelleme, programın alt paketi olan ve resim üzerinde modelleme imkânı sağlayan harita (Map) paketi kullanılmıştır. Akımın modellenmesi için ise MODFLOW paketi kullanılmıştır. Modelleme için gerekli en önemli girdi olan yeraltı suyu beslenme miktarı, kuyularındaki ölçümler, kaynaklardaki debi ölçümleri ve yeraltı suyu kullanım miktarları veri olarak hazırlanmış. Hazırlanan bu verilerden bazıları doğrudan program içerisindeki özel pencereler yardımıyla, bazıları da Excel’de oluşturulan çizelgeleri ithal etmek suretiyle veri girişi gerçekleştirilmiştir. Jeolojik ve hidrojeolojik yapıya bağlı olarak sınır koşulları ve hidrojeolojik parametreler belirlendikten sonra, tabaka tipleri ve konumları ile diğer model parametreleri girilmiştir ve son olarak ızgara ağları oluşturulmuştur ve bu şekilde modelin kavramsal modelleme kısmı tamamlanarak modelin analizi yapılmıştır. Son olarak da analiz hataları düzeltilerek Akarçay havzasının yeraltı suyu modellemesi tamamlanmıştır.

4.2.1. Çalışma Bölgesine Ait Haritanın Programa Aktarılması

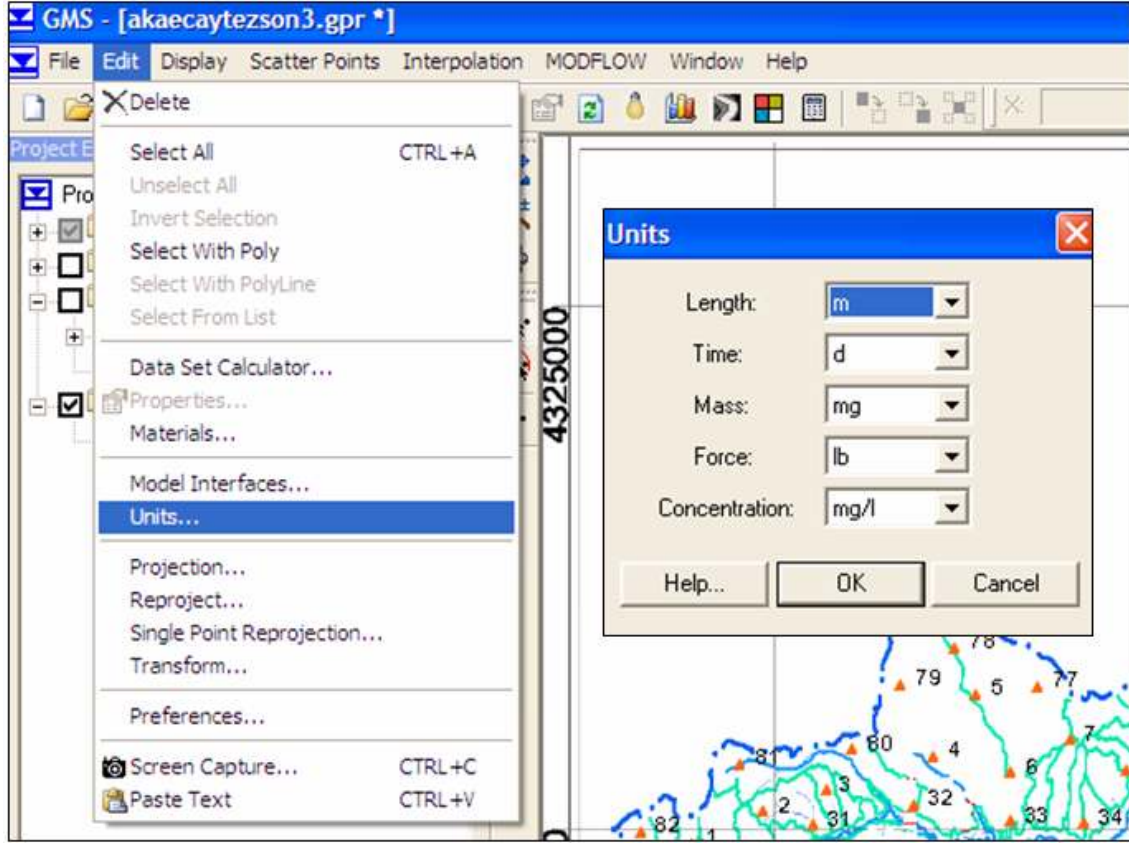
Modellemeye başlamadan önce çalışma bölgesinin haritası programa aktarılır. Bu işlem için kullanılacak harita scannerdan taratılabileceği gibi bölgenin uydu fotoğrafı da olabilir. Harita sadece bir arka plan görevi yapar ve modelleme alanındaki nehir, göl, akarsu, drenaj alanları ve kuyular gibi jeolojik ve hidrolojik noktaların girişinde kolaylık sağlar. Akarçay havzası yeraltı suyu modelleme çalışmamız da Şekil 4.1’de verilen harita kullanılmıştır.



Şekil 4.1 Çalışmada kullanılan Akarçay havzası haritası (Tezcan vd. 2002)

4.2.2. Birim tanımlamak

Uzunluk birimi olarak metre (m), zaman birimi olarak gün (d) seçilmiştir. Kütle (mass) kuvvet (force) ve yoğunlaşma (concentration) birimleri akış simülasyonunda kullanılmayacağı için bu birimlerde bir değişiklik yapılmamıştır. Birim tanımlamak için Düzenle / Birimler (Edit / Units) komutuna tıkladığımızda Şekil 4.2 penceresi açılır.

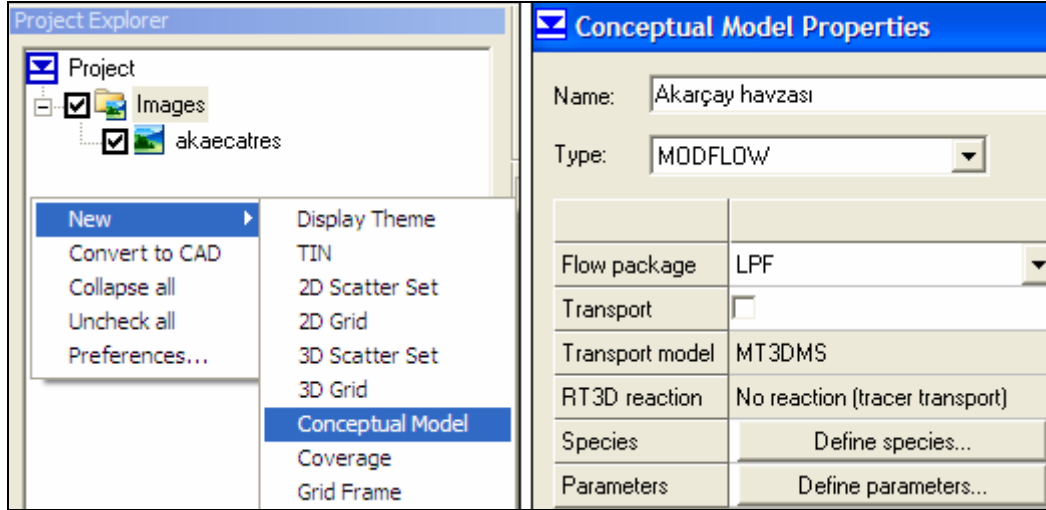


Şekil 4.2 Birim tanımlama

4.2.3. Kavramsal Model Oluşturma

Modelleme çalışmasında kavramsal model yöntemini kullanarak modelleme yapıldığından dolayı öncelikle kavramsal model oluşturuldu. Project Explorer penceresinde boş bir alana sağ tuşla tıkladığımızda açılan menü listesinde yeni kavramsal model yazısına tıklayarak kavramsal model oluşturuldu.

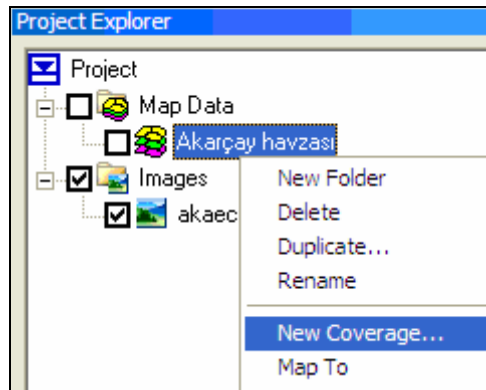
Project Explorer > Sağ tuş > New > Conceptual Model komutuna tıkladığımızda kavramsal model özellikleri penceresi açılır (Şekil 4.3). Bu pencerede model ismi Akarçay havzası olarak değiştirildi.



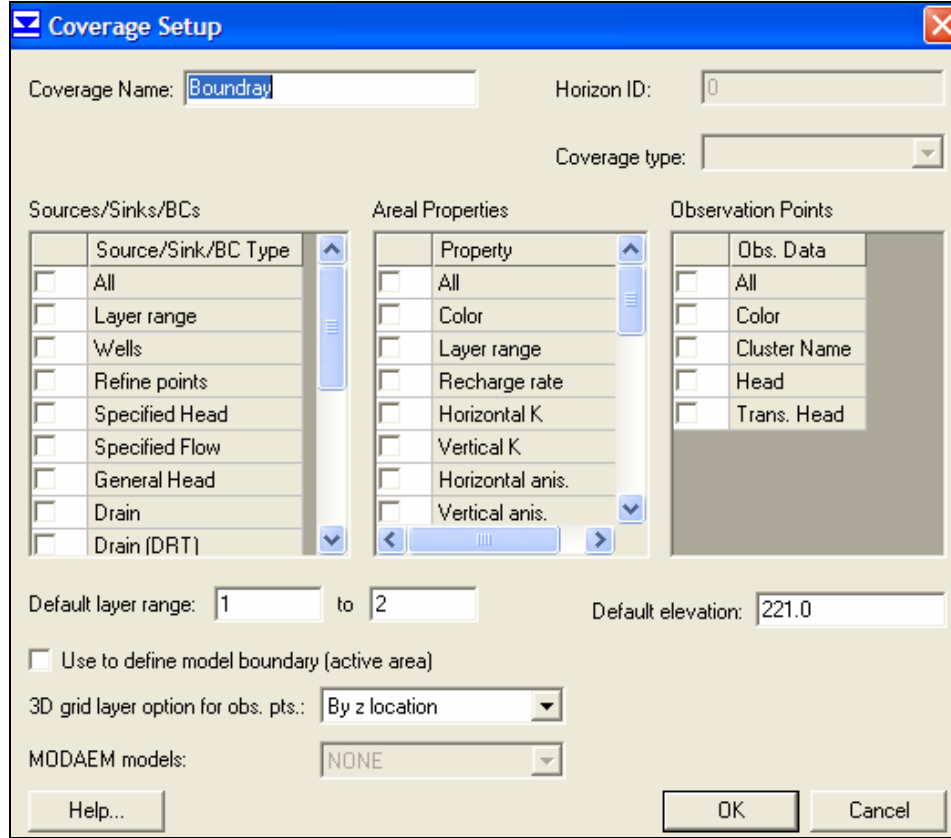
Şekil 4.3 Kavramsal model oluşturma

4.2.4 Model Sınırlarını Tanımlamak

Bu aşamada model sınırları çizmeden önce sınırlar kapsamı (coverage) oluşturuldu. Project Explorer penceresinde bir önceki aşamada oluşturduğumuz kavramsal model kapsamı üzerinde sağ tuş yapılarak yeni kapsam yazısına tıklayarak otomatik olarak program tarafından oluşturulur (Şekil 4.4). Oluşturulan bu kapsam varsayılan olduğu için kapsam ayarları penceresinden kapsam ismi, model tabaka sayısı gibi ayarlar yapılır. (Şekil 4.5). Kapsam oluşturmak için, Akarçay havzası > Sağ Tuş > New Coverage, kapsam özellikleri penceresine girmek için ise oluşturulan katman üzerine sağ tıklayarak açılan listeden özellikler (properties) komutu kullanılır.



Şekil 4.4 Kapsam tanımlama



Şekil 4.5 Sınırlar kapsamı özelliklerini tanımlama

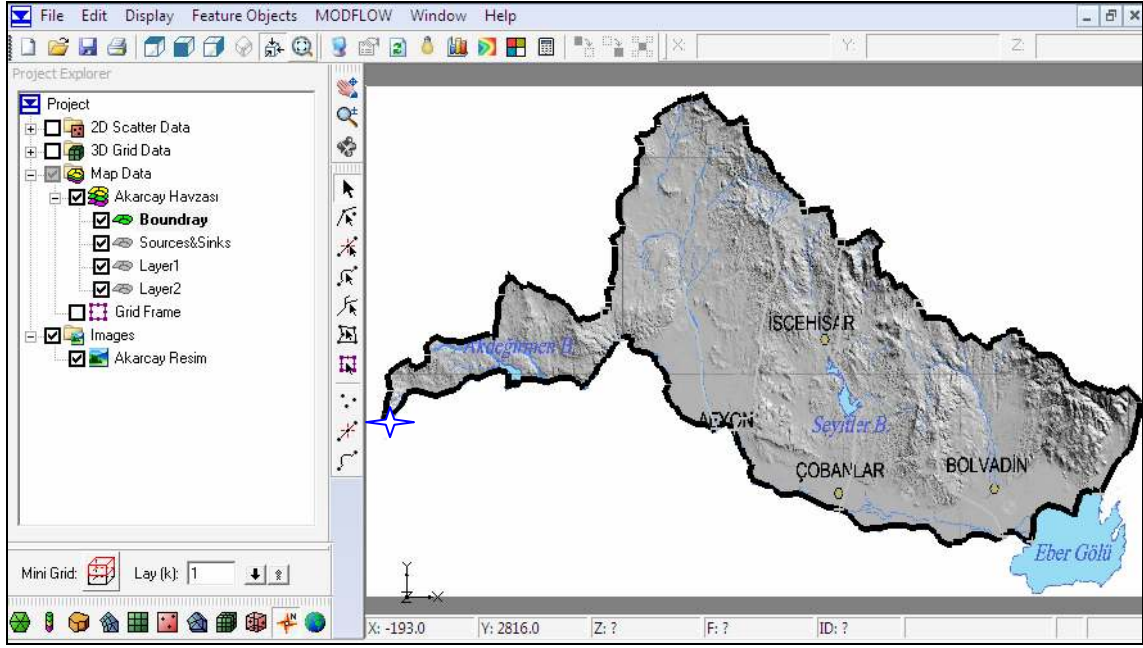
Şekil 4.5 deki Kapsam ayarları penceresinde;

Coverage name; Boundray (Kapsam ismi Boundray),

Default Layer Range; 1 to 2 (Modelimiz iki katmanlı olduğu için),

Default elevation; 221 (Akarçay havzasının varsayılan ortalama zemin kotu) olarak değiştirildi.

Model sınırları için Boundray kapsamı oluşturulduktan sonra yay (arc) komutu kullanılarak çalışma alanımızın sınırları harita üzerine çizildi (Şekil 4.6). Harita üzerine yay komutu kullanılarak çizilen sınırlar siyah çizgiyle gösterilmektedir.



Şekil 4.6 Akarçay havzası model çalışma alanı sınırları

4.2.5. Kaynak/Besleme noktaları

Boundray coverage (Sınırlar kapsamı) kopyalanarak modelimizde bulunacak nehirler, kuyular, drenajlar gibi yerel kaynakların oluşturmak için yeni bir kapsam oluşturulur.

Kaynak & Besleme noktaları kapsamını oluşturmak için; Project Explorer > Boundray > Sağ tuş > Duplicate komutu seçilir ve yeni kapsamın ismi Sources & Sinks olarak değiştirilir. Oluşturulan yeni kapsam için; Sources & Sinks > Sağ tuş > Coverage Setup komutu kullanılarak kapsam özellikleri penceresi açılır (Şekil 4.7). Kaynaklar&besleme noktaları ayarlar penceresinden modelleme için gerekli hidrolojik işaretlemeler onaylanılarak kapsam oluşturma işlemi tamamlanmış olur.

Coverage Name: Sources&Sinks Horizon ID: 0

Coverage type: [dropdown]

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: 1 to 2 Default elevation: 221.0

☒ Use to define model boundary (active area)

3D grid layer option for obs. pts.: By z location [dropdown]

MODAEM models: NONE [dropdown]

Help... OK Cancel

Şekil 4.7. Kaynak&Besleme noktalarının tanımlanması

Şekil 4.7’deki pencerede Sources & Sinks başlığı altında şekilde görülen işaretlemeler yapılır.

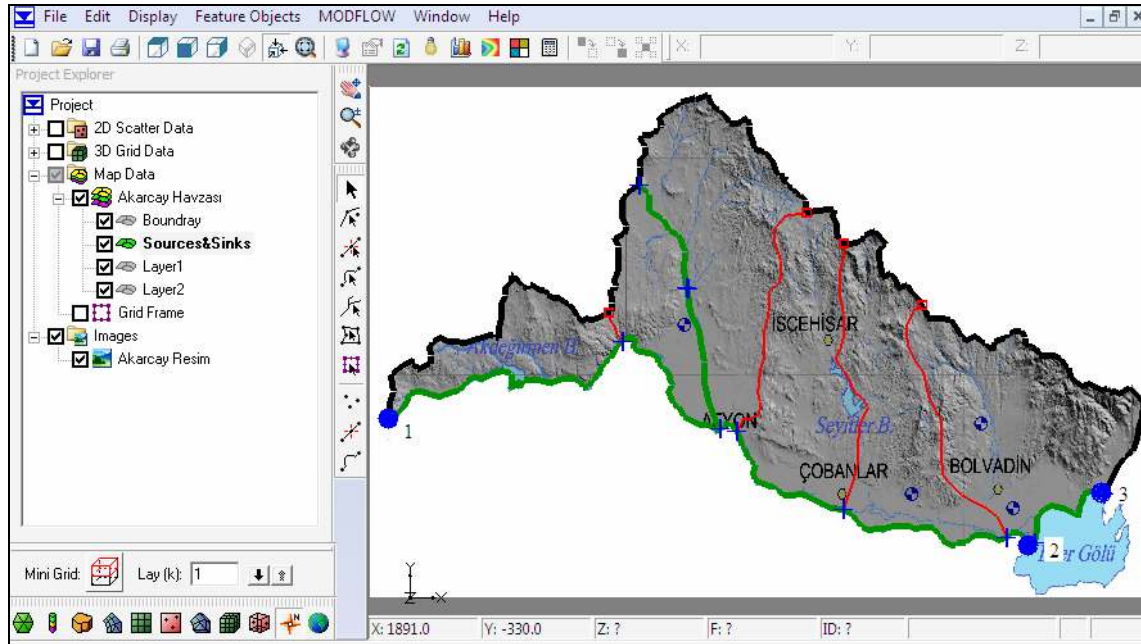
- Layer Range : Tabaka aralığını
- Specified Head : Akarçay Nehri ve Eber Gölü Su Kotunu
- Wells : Havzadaki Kuyuları
- Refine Point : Yenileme noktalarını
- Drain :Havzadaki kanalları, kuru dere yataklarını temsil etmektedir.

Sabit Yüksekliklerin Tanımlanması

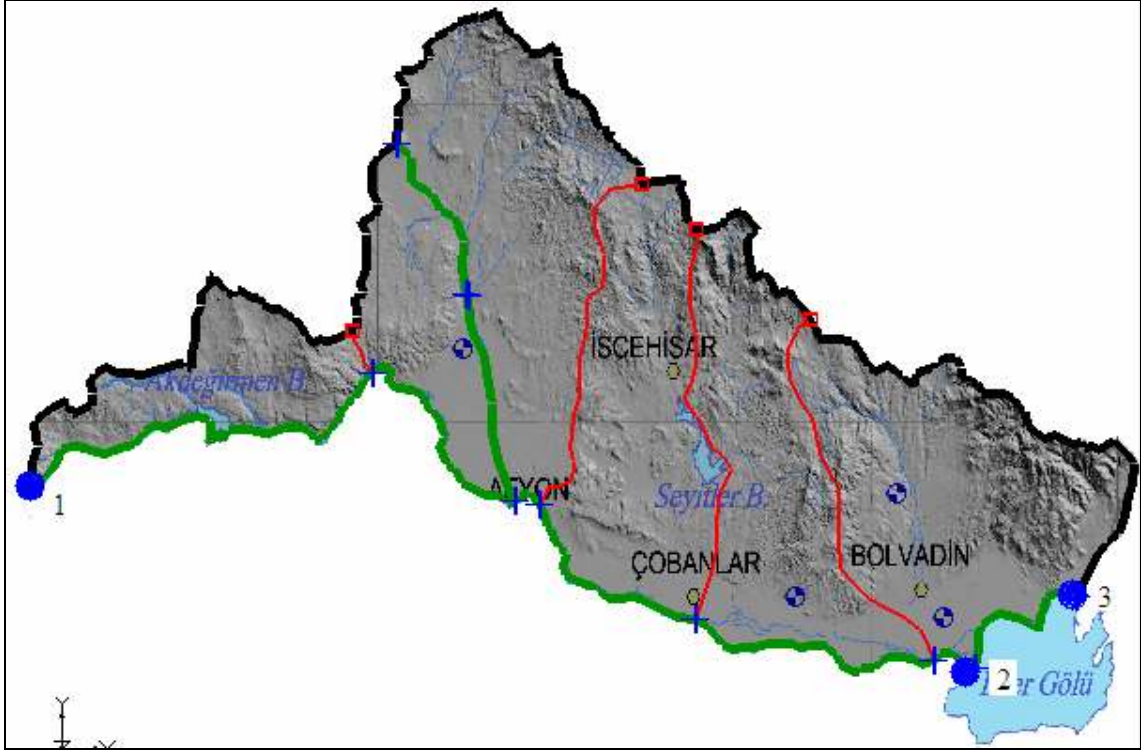
Bu aşamada model sınırlarında akış olan ve olmayan yerleri tanımlayacağız. Programda nehir, ırmak ve akarsuların bulunduğu yerlerde akış olduğundan dolayı bu sınırlar specified head olarak tanımlanmaktadır. Kanallar, kuru dere yatakları, ise drain olarak tanımlanacaktır. Modelde Akarçay nehrini temsil eden yay specified head olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamayı yaptığımızda nehri temsil eden yayın rengi otomatik olarak siyahtan yeşile dönecektir. Bu işlemi yapmadan önce kapalı bir poligon halinde olan sınır yaylarımızı akışın olduğu hattın uç noktalarından parçalamamız gerekmektedir. Başka bir ifadeyle Akarçay havzasının uç noktalarını belirlememiz gerekmektedir. Bu işlemi yapmak için;



Select Vertices (Uç/Tepe/Zirve) aracı seçilir. Akarçay havzasının uç noktalarının bulunduğu (Şekil 4.8)' gösterilen 1, 2, ve 3 noktaları shift tuşuna basılı tutularak seçilir ve noktalardan bir tanesinin üzerine sağ tıklanarak açılan listeden Vertex -> Node komutuna tıklanır. Bu işlem sonunda akış olduğu sınırları temsil eden (1-2), (2-3) ve (3-1) olmak üzere 3 tane yay elde edilmiş olur.



Şekil 4.8 Akışın olduğu sınırlar (Yeşil renkle gösterilen çizgiler)



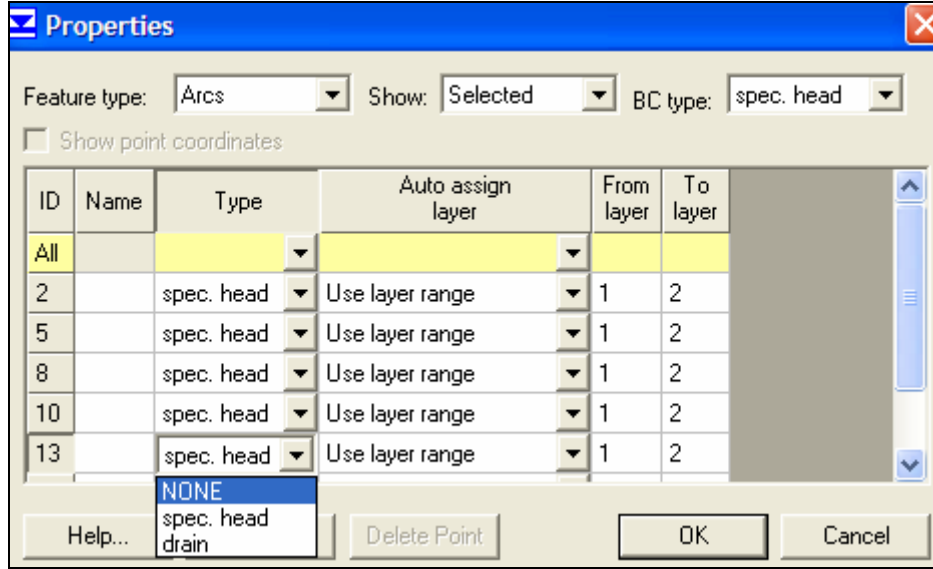
Şekil 4.9 Akışın olduğu sınırlar (Yakından görünümü)



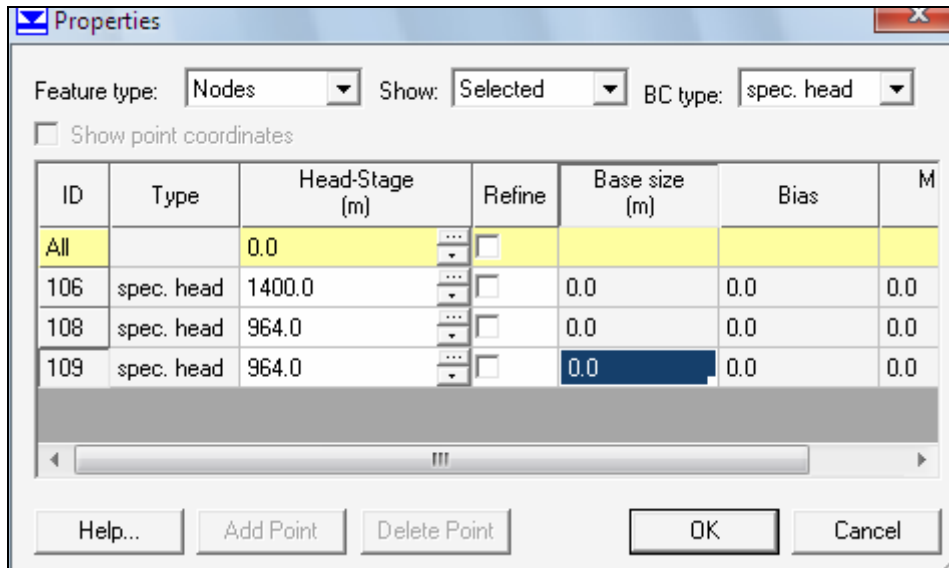
Select Arcs aracı seçilir, Şekil 4.9’ daki (1-2) ve (2-3) yayları shift tuşuna basılı tutularak seçilir. Yaylardan bir tanesi üzerine sağ tıklanarak açılan listeden özellik çizelge (Attribute Table) komutuna tıklanır. Ekrana gelen pencerede tüm satırlardaki hiçbir (*NONE*) biçimi belirli yükseklik (spec. head) olarak değiştirilir (Şekil 4.10).



Akışın olduğu yaylara yükseklik değerleri girmek için, Select Points/Nodes aracı seçilir. Şekil 4.9’ de gösterilen 1, 2 ve 3 noktaları seçilerek nokta özellikleri penceresi aktif hale getirilir (Şekil 4.11). Bu pencerede 1 noktası için Akarçay nehri su kotu, 2 ve 3 noktaları için Eber gölü su kotu değerleri Head-Stage sütununa girilir.



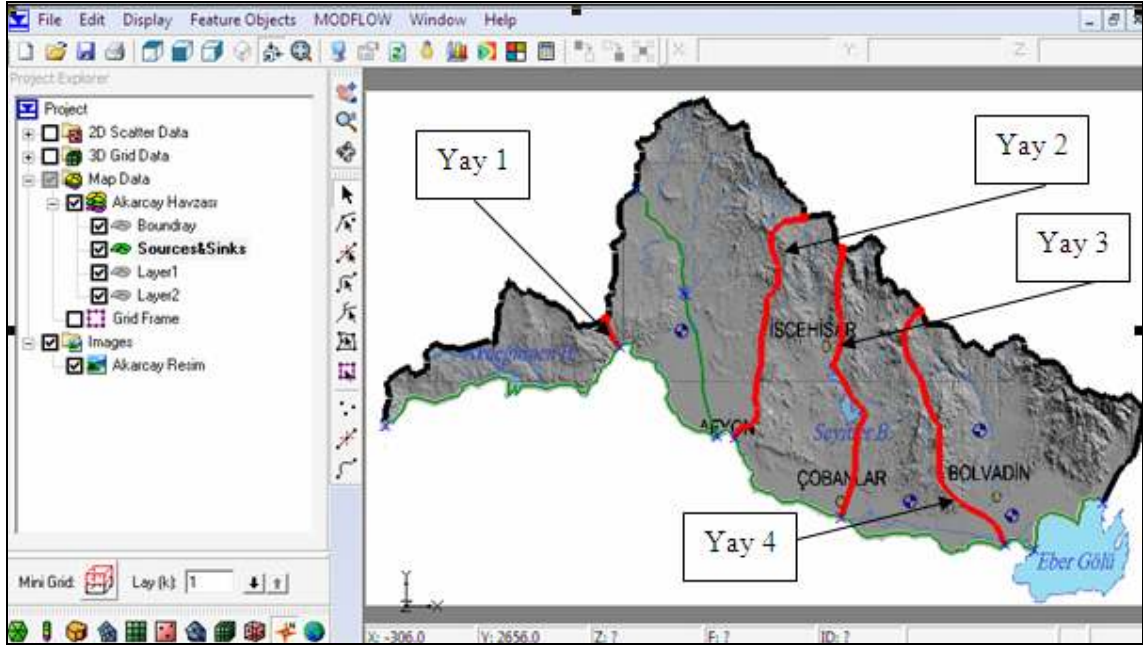
Şekil 4.10 Akışın olduğu yayları belirleme penceresi



Şekil 4.11 Akışın olduğu yaylar için yükseklik değerlerinin tanımlanması

4.2.6. Kuru Dere Yataklarını Tanımlama

Yay oluşturma komutu kullanılarak Şekil 4.12’de gösterilen 1, 2, 3 ve 4 yayları çizilir. Bu yaylar ilk çizildiğinde siyah renktedir. Çizilen bu yaylar drenaj olarak tanımlandığı zaman rengi program tarafından otomatik olarak siyahtan kırmızıya dönüşecektir.



Şekil 4.12 Kuru dere yataklarını temsil eden yaylar (Drains)



4.12’de gösterilen Yay 1, Yay 2, Yay 3 ve Yay 4 yayları shift tuşuna basılı tutularak yayları seç (Select Arcs) aracı yardımıyla seçilir. Seçilen yaylardan bir tanesi üzerine sağ tuşla tıklanarak açılan listeden özellikler penceresi komutuna tıklanarak özellikler penceresi yazısına tıklanır. Özellikler penceresine tıkladığımızda şekil 4.13’deki pencere açılır ve bu pencerede gerekli ayarlar yapılarak yaylarımız drenaj yayı olarak belirlenir.

Şekil 4.13’de açılan özellikler penceresinin tüm satırlardaki hiçbir atamanın olmadığını ifade eden none, drain olarak değiştirilir. İletkenlik değeri olarak, havza için ortalama değer olan 555 sayısı conductance başlığı altında girilir. Kuru dere yatakları sadece 1. katmanında olduğu için “From layer to layer” kısmındaki “to layer” başlığı altındaki 2 sayısı 1 yapılır.

Feature type: Arcs Show: Selected BC type: drain

☐ Show point coordinates

ID	Name	Type	Cond. (m ² /d)/(m)	Auto assign layer	From layer	To layer
All			0.0			
4		drain	555.0	Auto-assign to one cell	1	1
9		drain	555.0	Auto-assign to one cell	1	1
12		drain	555.0	Auto-assign to one cell	1	1
15		drain	555.0	Auto-assign to one cell	1	1

Help... Add Point Delete Point OK Cancel

Dropdown menu options: NONE, spec. head, drain

Şekil 4.13 Kuru dere yataklarına iletkenlik değerleri tanımlama

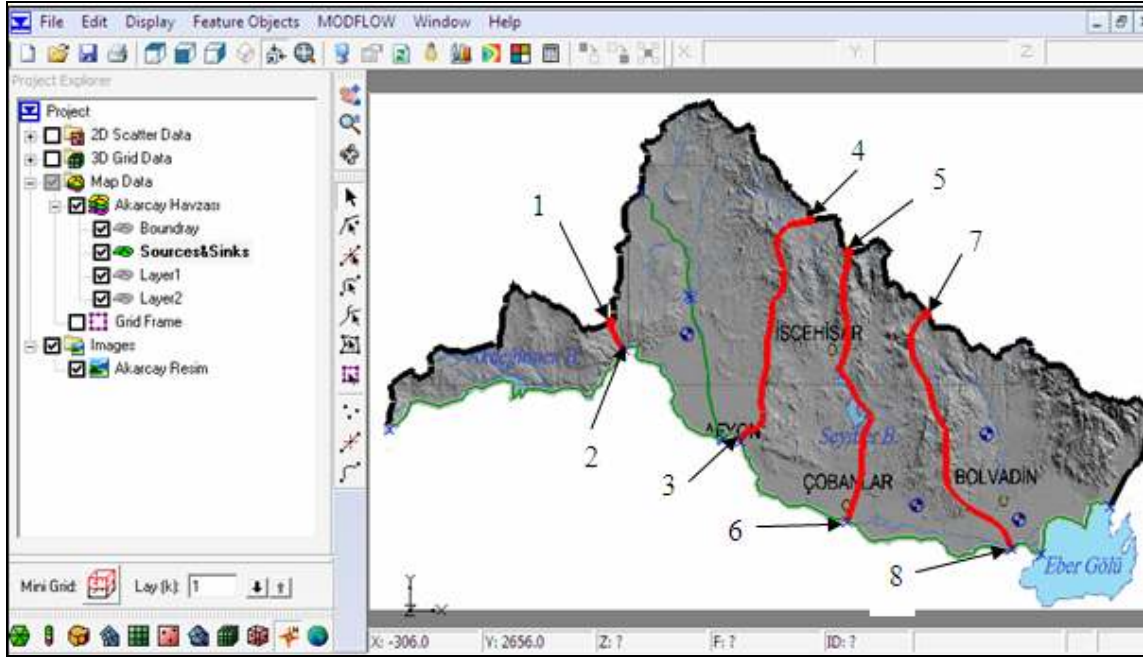
Drenaj yalarına yükseklik değerlerini girmek



Şekil 4.14’da gösterilen noktalar seçilir (Select Points/Nodes). 1 noktasının üzerine çift tıklandığında özellikler penceresi açılır (Şekil 4.15). Açılan pencerede seçilen nokta için dip yükseklik (Bottom. Elevation) değeri girilir. Aynı işlem diğer noktalar içinde yapılarak yükseklik değeri girişi tamamlanmış olur. Noktalara girilecek yükseklik değerleri Çizelge 4.5’ de verilmiştir.

Çizelge 4.5 Drenaj yükseklikleri

Nokta No	Drenaj Yükseklikleri (m)
1	1257
2	1106
3	1014
4	1295
5	1279
6	1008
7	1198
8	997



Şekil 4.14 Drenaj yayları için yüksekliklerin tanımlanacağı noktalar

ID	Type	Bot. elev. (m)	Refine	Base size (m)	Bias	Max size (m)
7	drain	1250	☐	0.0	0.0	0.0

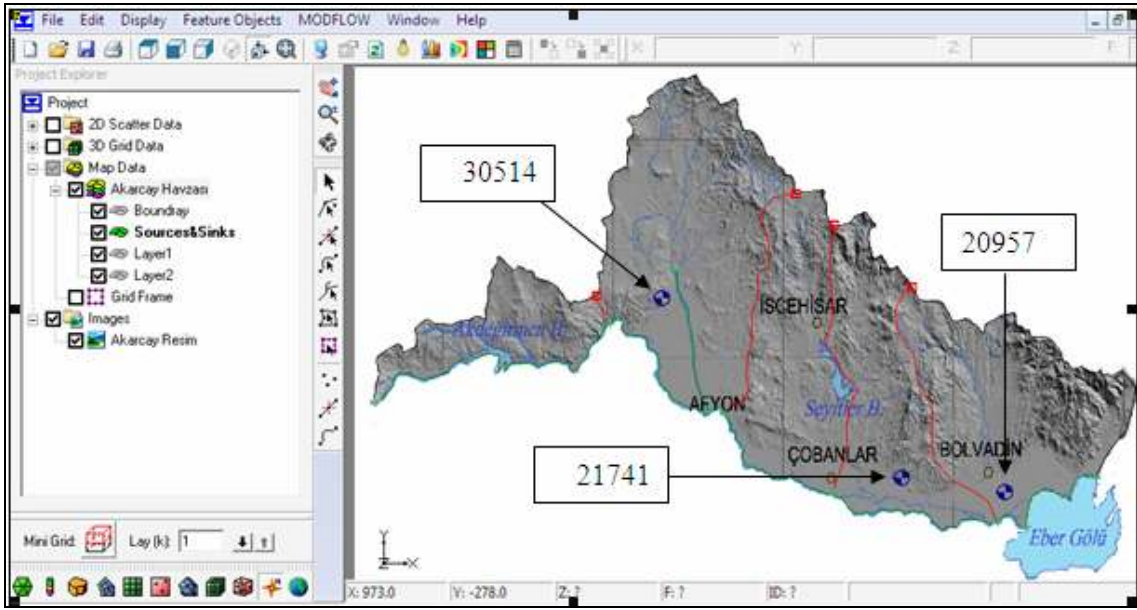
Buttons: Help..., Add Point, Delete Point, OK, Cancel

Şekil 4.15 Drenaj noktalarının yükseklikleri tanımlama

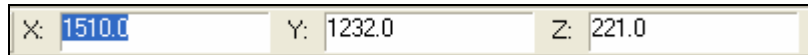
4.2.7. Kuyuların Tanımlanması

Kaynak&Besleme noktaları kapsamı içinde son olarak kuyuları tanımlayacağız. Programda kuyular nokta olarak tanımlanmaktadır.

 Kuyu oluşturmak için Nokta oluştur (Create Point) aracı seçilir ve modelleme alanımızın sınırları içerisinde kalan herhangi bir yere sol tuşa tıklayarak ilk kuyu eklenmiş olur. Yapılan bu işlemde kuyunun yeri gelişi güzel olarak belirlenmiştir. Eklediğimiz kuyuyu 30514 (Şekil 4.16) kuyusu olarak atamak için, kuyu seçilerek X ve Y koordinatları program penceresinin üst kısmında bulunan koordinat araç çubuğundan (Şekil 4.17) girilerek gerçek yerine taşınmış olur.

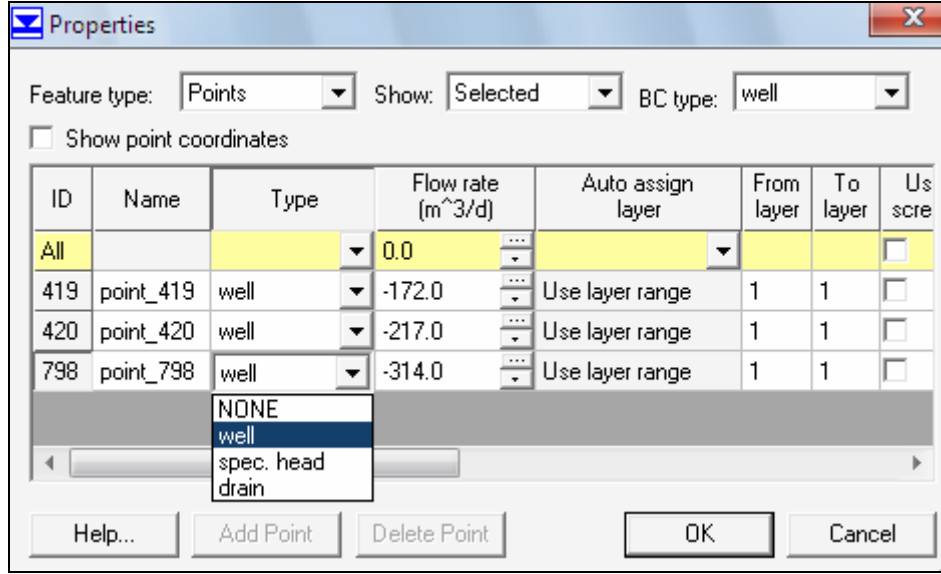


Şekil 4.16 Modellemede kullanılan kuyuların oluşturulması



Şekil 4.17 Kuyu koordinatlarını düzeltme araç çubuğu

30514, 21741 ve 20957 nolu kuyularından çekilen su miktarı girilerek kuyu tanımlama işlemi sonlandırılır. Kuyuların hepsi seçilerek özellikler (properties) araç çubuğu tıkladığımızda açılan özellikler penceresinden nokta tipi olarak kuyu (well) ve akış oranı (flow rate) girilerek kuyu girişi tamamlandı (Şekil 4.18).



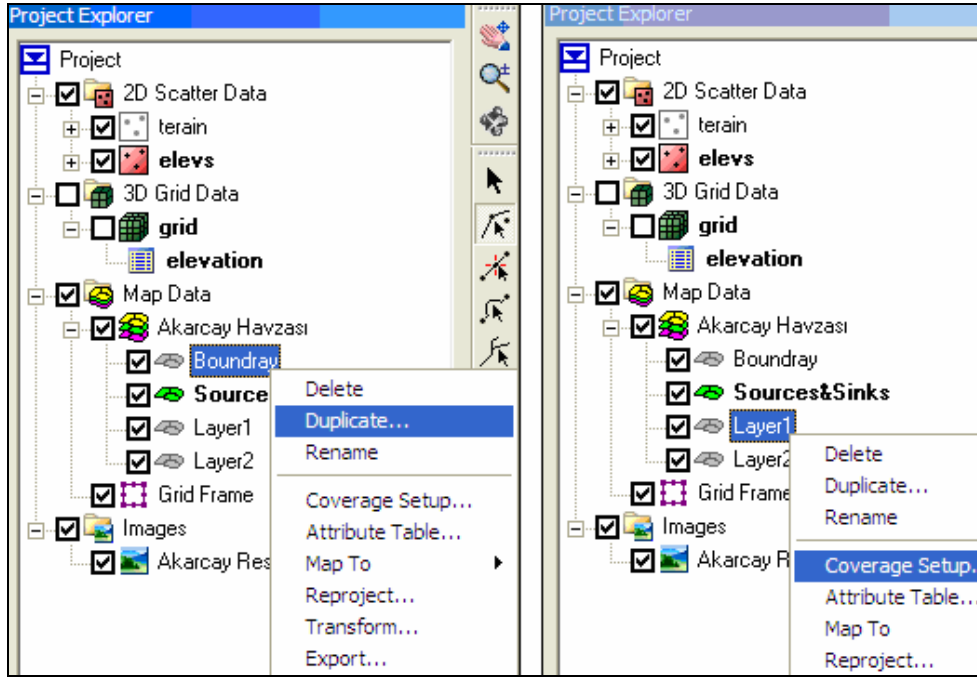
Şekil 4.18 Kuyu özellikleri ve akış oranı tanımlama

4.2.8. Hidrolik İletkenlik Tanımlama

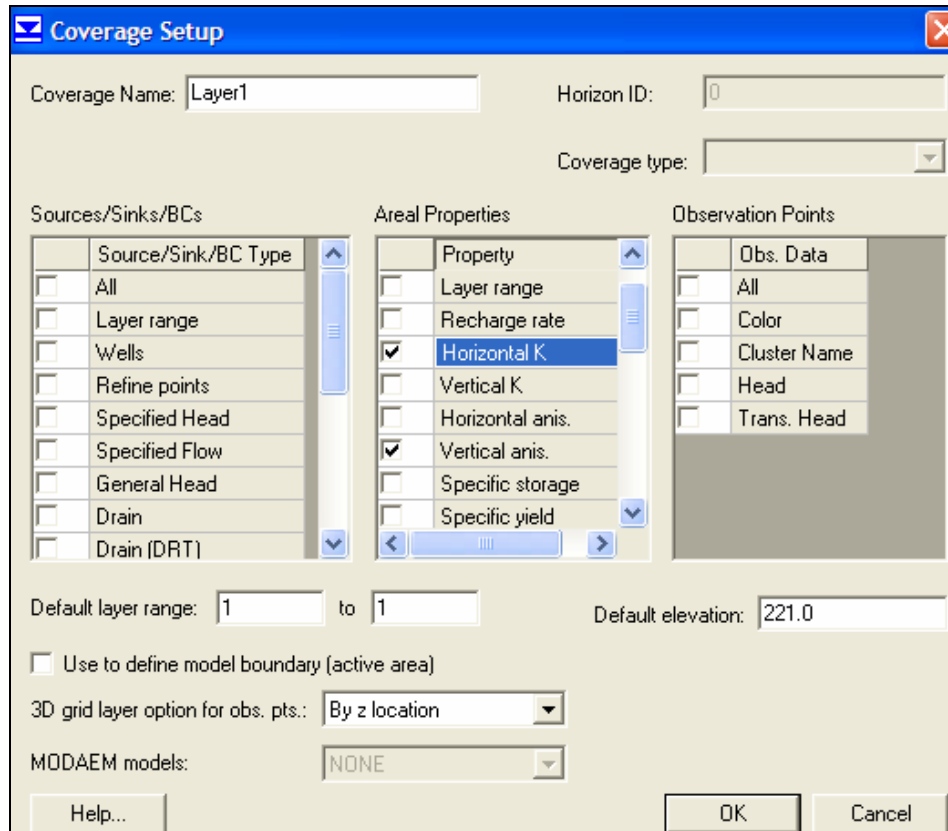
Bu aşamada her bir tabaka için hidrolik iletkenlikleri tanımlayacağız. Burada girilen hidrolik iletkenlik değerleri sabit bir değer olup Akarçay havzasındaki ortalama hidrolik iletkenlik değerleridir.

Tabakayı (Üst Tabakayı) Tanımlama (Creating the Layer 1)

Sınırlar kapsamı kopyalanarak yeni bir kapsam oluşturulur (Şekil 4.19). Kapsamın ismi Layer 1 olarak değiştirilir. Layer 1 katmanı üzerine sağ tuş yapılarak açılan listeden kapsam özellikleri (Coverage Setup) yazısına tıklanır ve açılan pencerede Alan özellikleri (Areal Properties list) başlığı altından yatay iletkenlik (Horizontal K) ve düşey anisotropi (Vertical anis) onay kutucukları işaretlenir (Şekil 4.20).



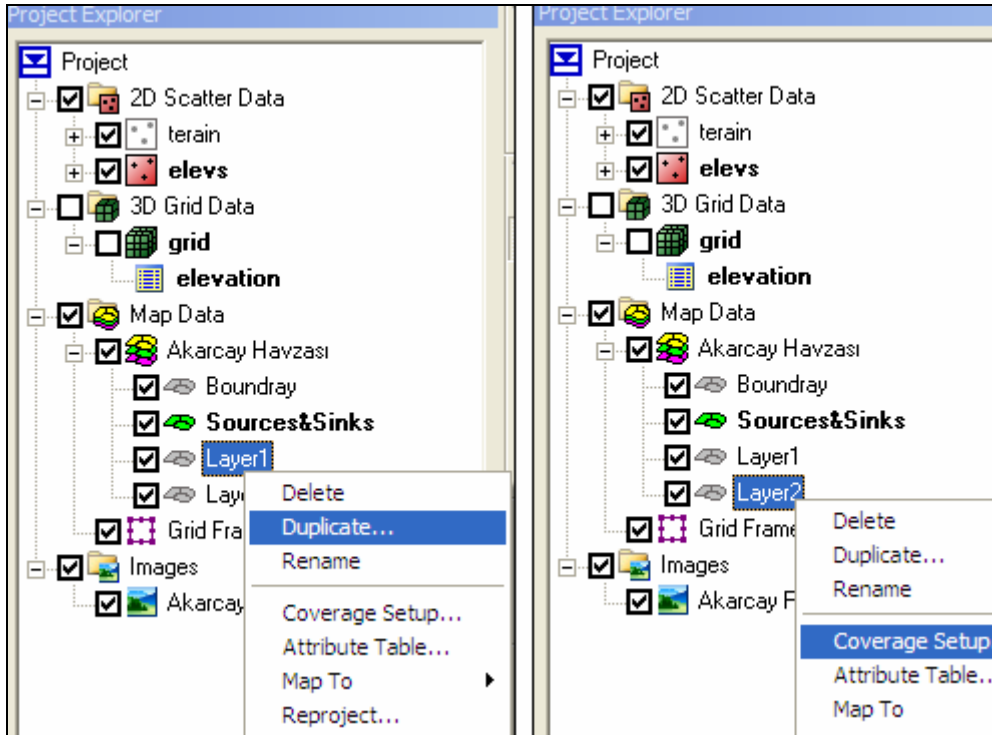
Şekil 4.19 Üst Tabakayı tanımlama ve özellikleri penceresini açma



Şekil 4.20 Üst Tabaka özelliklerini tanımlama

Tabaka (Alt Tabaka) Tanımlama (Creating the Layer 2)

Layer 1 kapsamı kopyalanarak yeni bir kapsam oluşturulur (Şekil 4.21). Kapsamın ismi Layer 2 olarak değiştirilir. Layer 2 katmanı üzerine sağ tuş yapılarak açılan listeden kapsam özellikleri (Coverage Setup) yazısına tıklanır ve açılan pencerede Alan özellikleri (Areal Properties list) başlığı altından yatay iletkenlik (Horizontal K) ve düşey anisotropi (Vertical anis) onay kutucukları işaretlenir (Şekil 4.22).



Şekil 4.21 Alt Tabakayı tanımlama ve özellikleri penceresini açma

Coverage Name: Layer2 Horizon ID: 0

Coverage type: [dropdown]

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
☐ Layer range
☐ Recharge rate
☒ Horizontal K
☐ Vertical K
☐ Horizontal anis.
☒ Vertical anis.
☐ Specific storage
☐ Specific yield

Observation Points

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

Default layer range: 2 to 2 Default elevation: 221.0

☐ Use to define model boundary (active area)

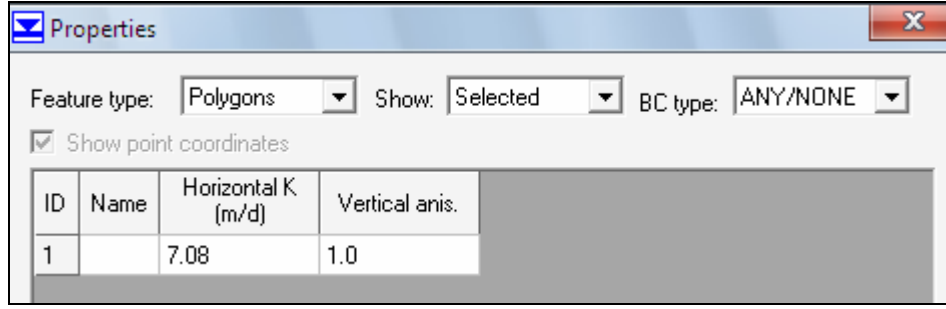
Şekil 4.22 Alt Tabaka özellikleri tanımlama

Üst Tabaka için K Değerini Atmak

Project Explorer' da Layer 1 seçilir. Menü çubuğundan nesne özellikleri başlığı altında poligonları kur (Feature Objects/Build Polygons) komutuna tıklanır. Böylece üst tabaka kapalı bir poligon haline dönüştürülmüş olur. Tabakaya atanacak olan iletkenlik değeri ortalama değer olduğu için tabaka poligon haline dönüştürüldü.



Poligon seçme (Select polygons) araç çubuğu yardımıyla modelleme alanımız sınırları içerisinde herhangi bir yere çift tıklanır. Bu işlem sonunda Poligon özellikleri penceresi açılır (Şekil 4.23). Bu pencerede yatay iletkenlik (Horizontal K) ve düşey anisotropy (Vertical Anis.) değerleri girilerek üst tabaka tanımlanmış olur.

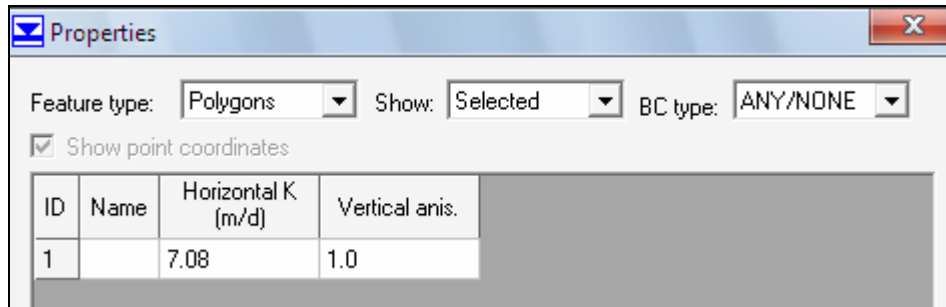


Şekil 4.23 Üst tabakaya Hidrolik iletkenlik tanımla

Alt Tabaka için K Değerini Atmak

Project Explorer’ da Layer 2 seçilir. Menü çubuğundan nesne özellikleri başlığı altında poligonları kur (Feature Objects/Build Polygons) komutuna tıklanır. Böylece üst tabaka kapalı bir poligon haline dönüştürülmüş olur. Tabakaya atanacak olan iletkenlik değeri ortalama değer olduğu için tabaka poligon haline dönüştürüldü.

 Poligon seçme (Select polygons) araç çubuğu yardımıyla modelleme alanımız sınırları içerisinde herhangi bir yere çift tıklanır. Bu işlem sonunda Poligon özellikleri penceresi açılır (Şekil 4.24). Bu pencerede yatay iletkenlik (horizontal K) ve düşey anisotropy (vertical anis.) değerleri girilerek üst tabaka tanımlanmış olur.



Şekil 4.24 Alt tabakaya Hidrolik iletkenlik tanımla

Kavramsal modelleme yöntemini kullanarak sınırlar için boundray, kaynaklar&besleme noktaları için sources&sinks, tabakalar için layer 1 ve layer 2 kapsam oluşturularak bu kapsamlara gerekli hidrolik özellikler atanarak kapsam oluşturma işlemi tamamlandı. Yeraltı suyu modelimize üç boyut kazandırmak ve en önemlisi kavramsal modelimizi sayısal modele dönüştürüp analiz yaparak su bütçesini, su tablasını görmek için üç

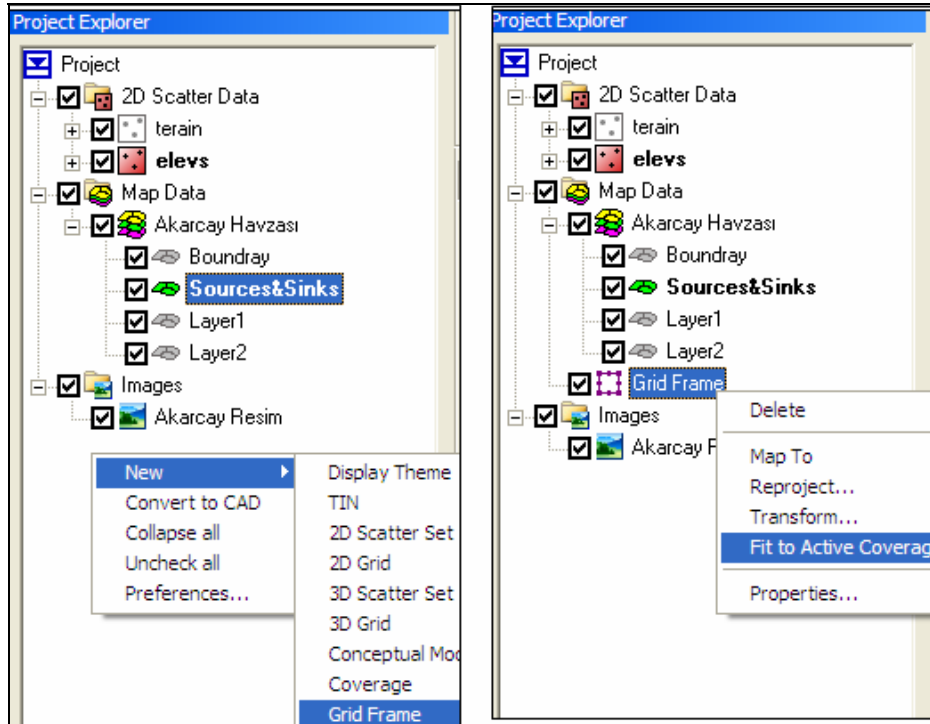
boyutlu ızgara tanımlamak gerekmektedir. Izgara tanımlamadan önce kaynaklar&besleme noktaları kapsamının aktif hale getirildi.

4.2.9. Izgara Çerçevesi Yerleştirme

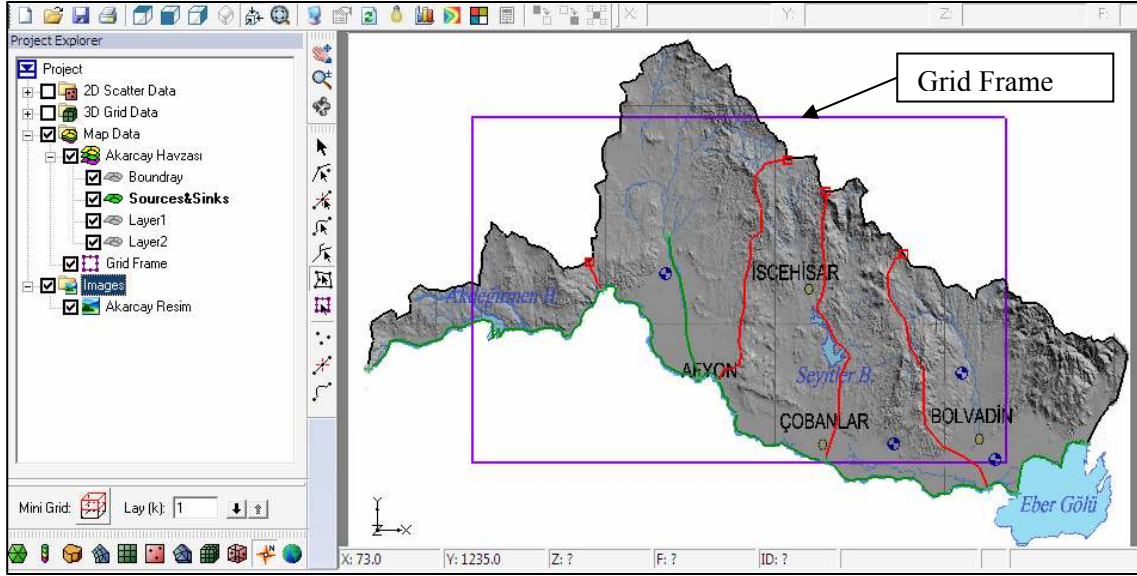
Izgara (Grid) oluşturmadaki ilk adım yerini tanımlamaktır. Grid Frame ızgaranın sınırlarını temsil etmektedir. Izgara çerçevesi oluşturacağımız ızgaranın sınırlarını belirlemektedir. Izgara çerçevesi oluşturmak için;

Project Explorer'da boş bir alana sağ tıklayarak açılan listeden New/Grid Frame yazısına tıkladığımızda otomatik olarak Grid Frame oluşturulmaktadır (Şekil 4.25). Oluşturulan ızgara çerçevesi model sınırlarımızı içine almaz (Şekil 4.26).

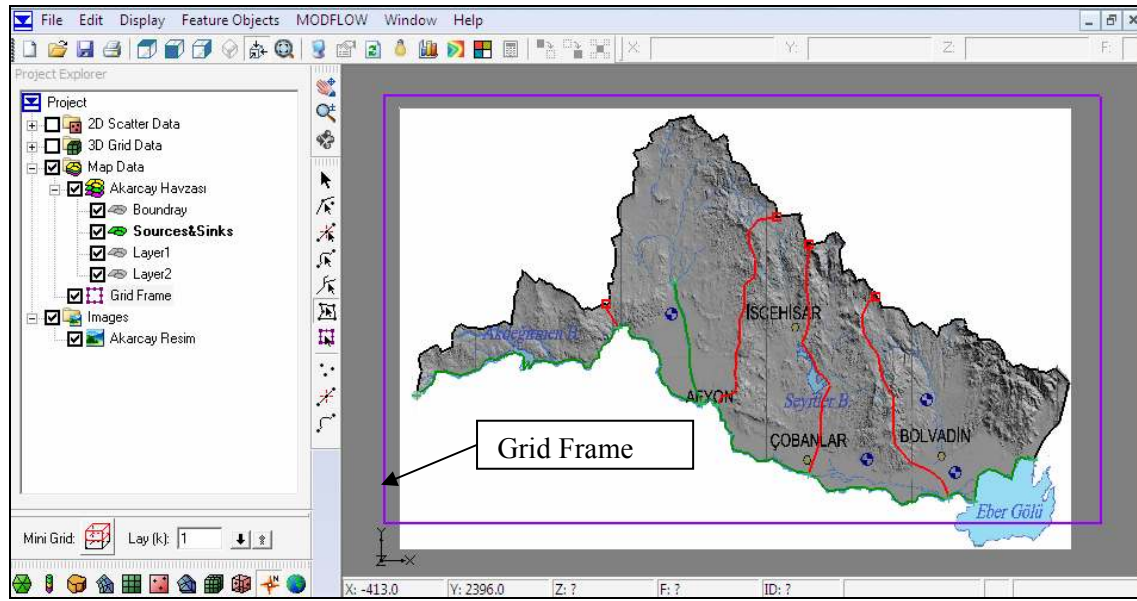
Grid Frame üzerine sağ tık yaparak açılan listeden Fit to Active Coverage yazısına tıklayarak sadece aktif kapsama alanlarını içine alan bir ızgara çizmemizi sağlarız (Şekil 4.27).



Şekil 4.25 Izgara Çerçevesi oluşturma



Şekil 4.26 Izgara Çerçevesinin model sınırını kapsamadan önceki görünümü

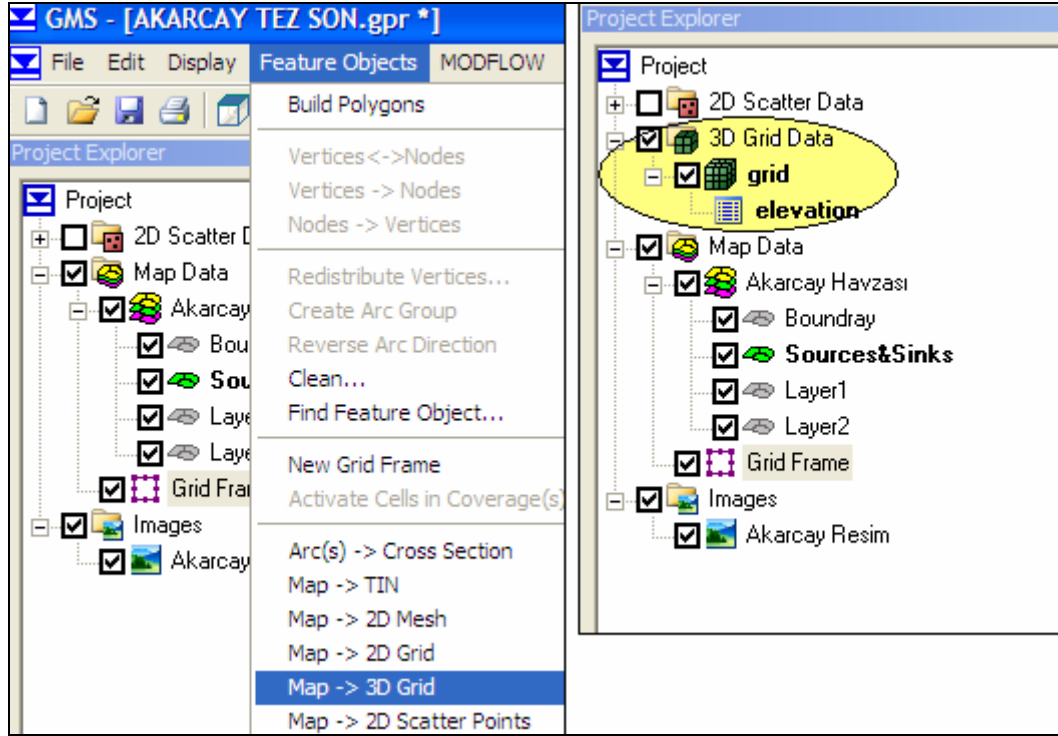


Şekil 4.27 Izgara Çerçevesinin model sınırını içine alan görünümü

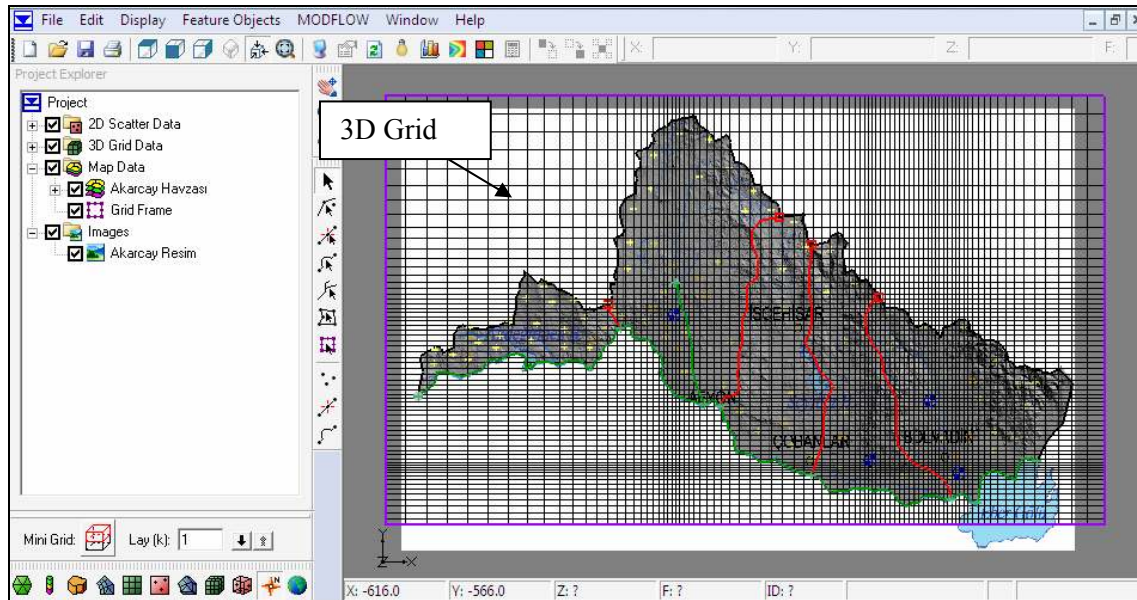
4.2.10. Üç Boyutlu Izgara Oluşturma

Üç boyutlu ızgara oluşturmak için menü çubuğundan Feature Objects / Map _ 3D Grid komutu kullanılır. Bu işlemi yaptığımızda Project Explorer'a otomatik olarak üç boyutlu ızgara (3D Grid Data) katmanı oluşturulur (Şekil 4.28). Izgara oluşturma komutuna tıkladığımızda sonlu farklar ızgarası oluştur penceresi açılır (Şekil 4.29).

Açılan pencerede z eksenindeki hücre sayısını (Z-Dimension change Num cells) 2 yapıp pencereyi kapatarak ızgaramızı oluşturabiliriz.



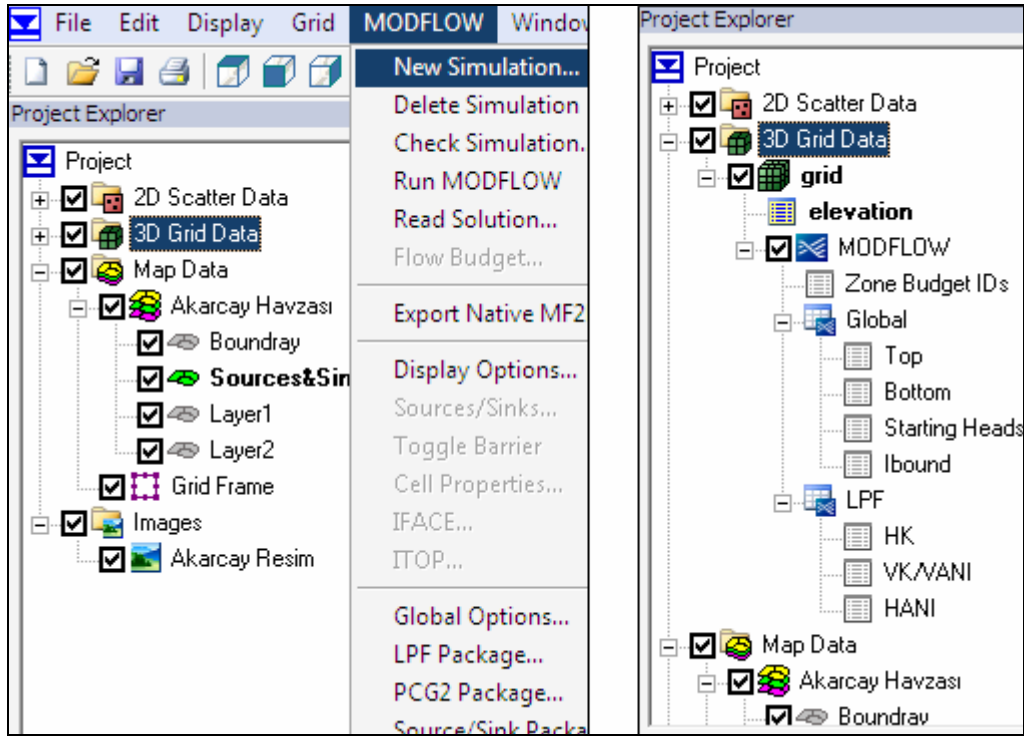
Şekil 4.28 Izgara oluşturma ve üç boyutlu ızgara katmanı



Şekil 4.29 Programda ızgara çerçevesi sınır olarak atanmış, üç boyutlu ızgara görünüşü

4.2.11. MODFLOW verileri başlatmak

Kavramsal modeli ızgara tabanlı sayısal modele dönüştürmek yani sonlu farklar yöntemiyle çözüm yapmak için öncelikle simülasyon yapılmaktadır. Bu işlem sonunda daha önce oluşturduğumuz ızgaranın aktif ve aktif olmayan bölgeler belirlenmektedir ve aktif olmayan hücreler yeraltı suyu hesaplamalarına katılmamaktadır. Yeni simülasyon başlatmak için öncelikle Project Explorer' da 3D Grid Data Folder katmanını aktif hale getirmek yani seçilir ve menü çubuğundan MODFLOW/New Simulation komutuna tıklanır (Şekil 4.30). Açılan temel paketler (MODFLOW Global / Basic Package) penceresinde model tipi kararlı durum (Steady state) seçilerek pencerede kapatılır (Şekil 4.31).



Şekil 4.30 MODFLOW Yeni simülasyon tanımlama



Şekil 4.31 MODFLOW Temel paketler penceresi

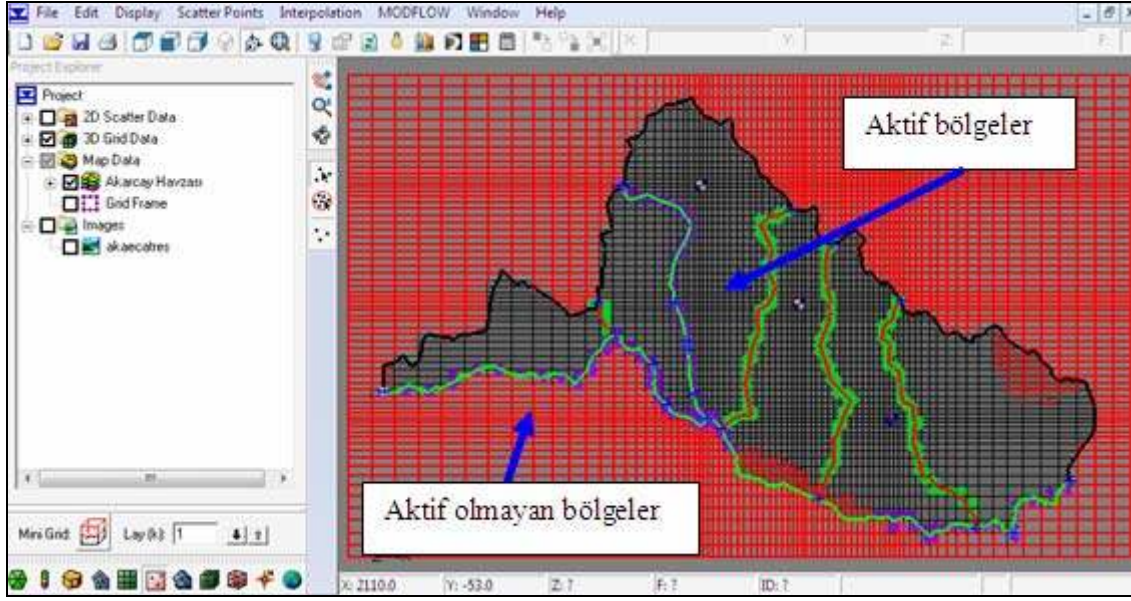
Aktif / İnaktif Bölgeleri Tanımlama (Defining the Active/Inactive Zones)

Model sınırlarımızın dışında kalan bölgeler aktif olmayan, içinde kalan bölgeler ise aktif bölgelerdir (Şekil 4.32).

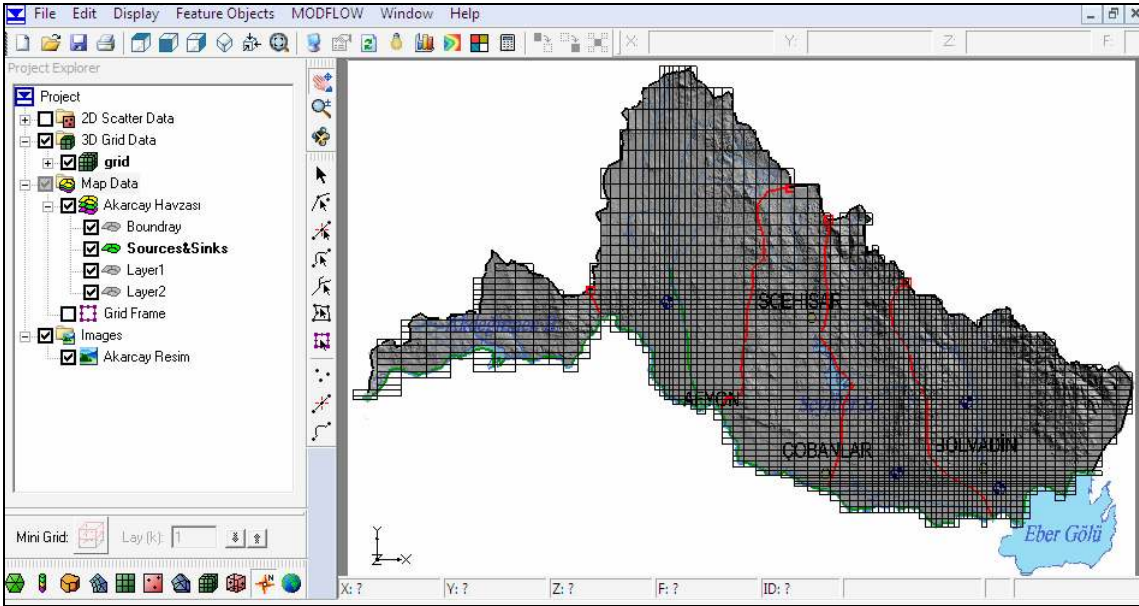
Sınırlarımız dışındaki aktif olmayan bölgeleri iptal etmek yani aktif bölgeleri tanımlamak için yapılan işlemler bu bölümde anlatılmaktadır. Bu işlem sonunda model sınırlarımız dışındaki bölgeler iptal edilecektir (Şekil 4.33).



Aktif bölgeleri tanımlamak için Project Explorer'da Map Data Folder seçilir ve yay seçme aracı kullanılarak model sınırları içerisinde poligonlardan biri seçilir. Poligon seçildikten sonra menü çubuğundan, kapsamın içindeki hücreleri aktifleştir (Feature Objects / Activate Cells in Coverage(s)) komutuna tıklanarak aktif ve aktif olmayan bölgeler tanımlanmış olur.



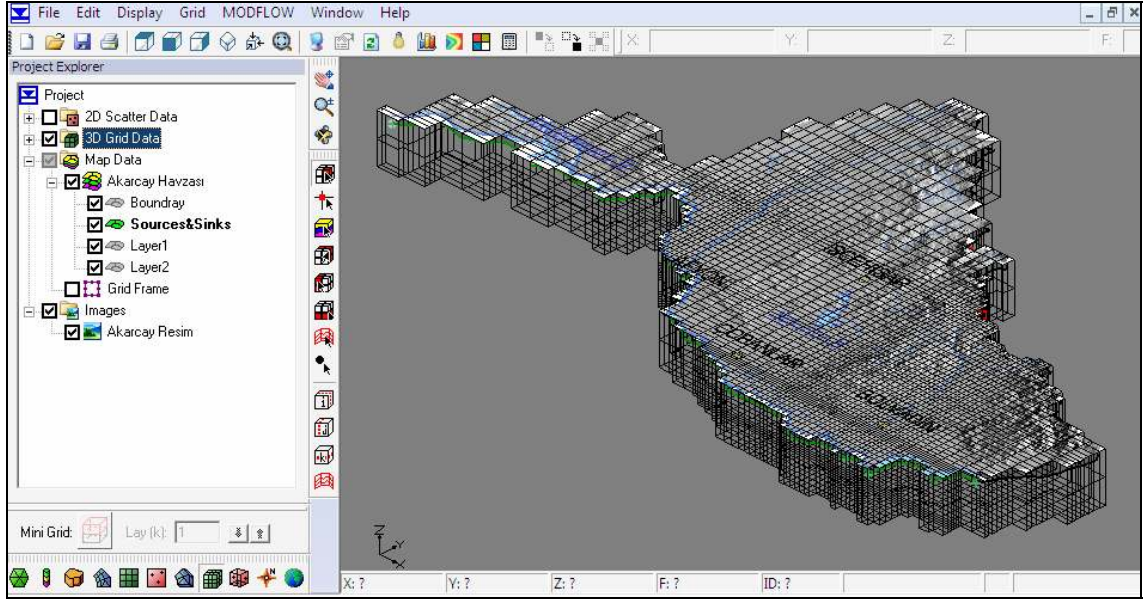
Şekil 4.32 Modelimizdeki aktif ve aktif olmayan bölgeler



Şekil 4.33 Modelimizdeki aktif bölgeler

4.2.17. Katman Yüksekliklerinin Eklenmesi

Burada katman yüksekliklerini tanımlayacağız. Üst ve alt yükseklikler her bir katman için katman tipi dikkate alınmadan tanımlanacaktır. Katman yükseklikleri tanımlanmadığı zaman modelimiz arazideki gerçek şeklinde değil düz bir görünümde (Şekil 4.34).



Şekil 4.34 Modelin katman yükseklikleri eklenmeden önceki görünüşü

Model çalışmamız iki katmanlı bir model olduğu için üst tabakanın üstü (zemin yüzeyi), ve altı için ve alt tabakanın altı için katman yükseklik serisi tanımlayacağız. Alt tabanın üst noktası, üst tabakanın alt noktasıyla aynıdır. Katman yükseklikleri tanımlamanın bir yolu Excel programında hazırlanmış saçılma noktaları (Scatter Points) çizelgesini ithal etmek ve katman yüksekliklerini otomatik olarak tabakalara eklemektir.

Akarçay havzasındaki modellemeye aktaracağımız katman yükseklikleri için üst (top), dip 1 (bottom 1) ve dip 2 (bottom2) olmak üzere iki çizelge oluşturulmuştur. Üst, yani 1. tabakanın üst noktası için Akarçay havzası zemin yüzeyi topoğrafik kotları kullanılmıştır. Bu çizelge veriler başlığı altında verilmiştir (Çizelge 4.3).

Birinci (üst) ve İkinci (alt) tabakanın dip noktalarını belirlemek için Akarçay havzasında açılan kuyu logları kullanılmıştır. Bu çizelge veriler başlığı altında verilmiştir (Çizelge 4.4).

Excel programında hazırlanan çizelgeleri GMS programına yüklemek için aç (open) araç çubuğuna tıkladığımızda açılan dosya ithal etme (File Import Wizard) penceresinden ileri seçeneğine tıklanarak çizelgenin programa eklem işlemi tamamlanır (Şekil 4.35).

File Import Wizard - Step 1 of 2

File import options

Set the column delimiters:

☒ Delimited ☒ Space ☒ Tab ☐ Semicolon
☐ Fixed Width ☐ Comma ☐ Other: Text qualifier:

☒ Treat consecutive delimiters as one ☒ Skip leading delimiters

Start import at row: ☒ Heading row

File preview

	x	y	ground_elev
1	-2.0	960.0	251.75
2	167.0	1038.0	249.0
3	318.0	1087.0	247.0
4	575.0	1169.0	238.0

Help < Geri İleri > İptal

File Import Wizard - Step 2 of 2

GMS data type:
 Filter Options...

☐ No data flag Name:

File preview

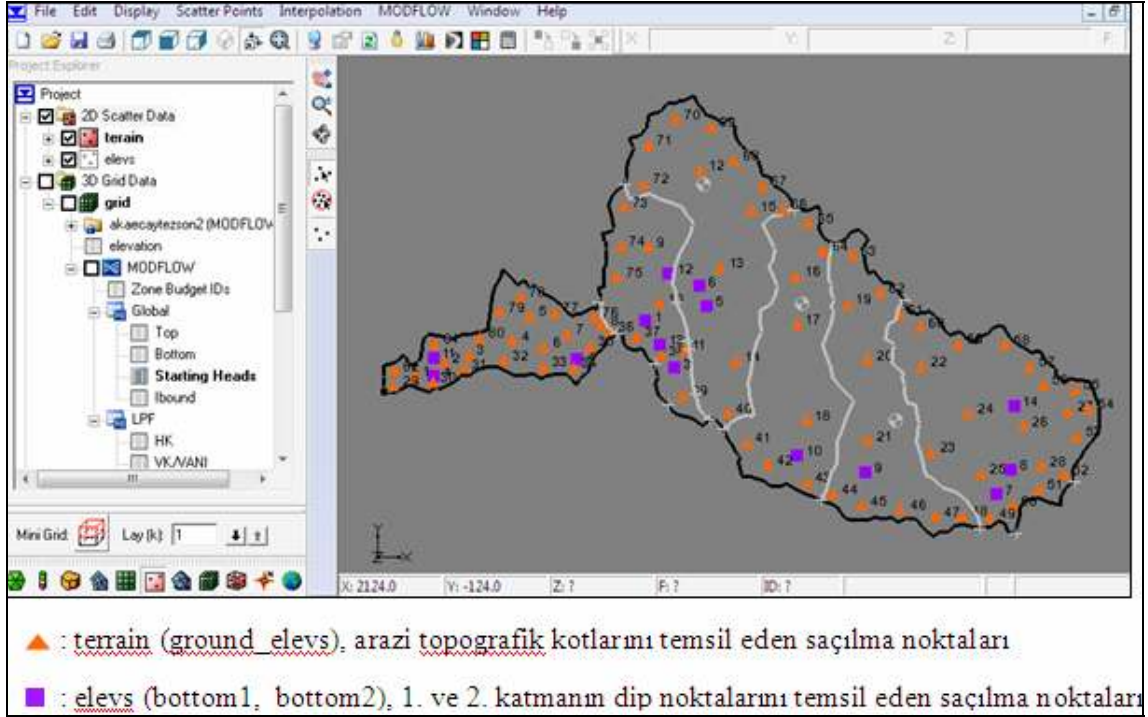
Type	X	Y	Data set
Header	X	Y	ground_elev
	-2.0	960.0	251.75
	167.0	1038.0	249.0
	318.0	1087.0	247.0
	575.0	1169.0	238.0
	677.0	1315.0	235.0
	760.0	1130.0	229.0
	900.0	1208.0	222.0

First 20 lines displayed.

Help < Geri Son İptal

Şekil 4.35 Saçılma noktaları ithal etme (2D scatter data)

Saçılma noktaları programda üçgen ve kare işaretiyle gösterilir. Üçgen işaretli olan zemin yüzey kotlarını, kare işaretli olanlar ise dip noktaların kotlarını temsil eder (Şekil 4.36).

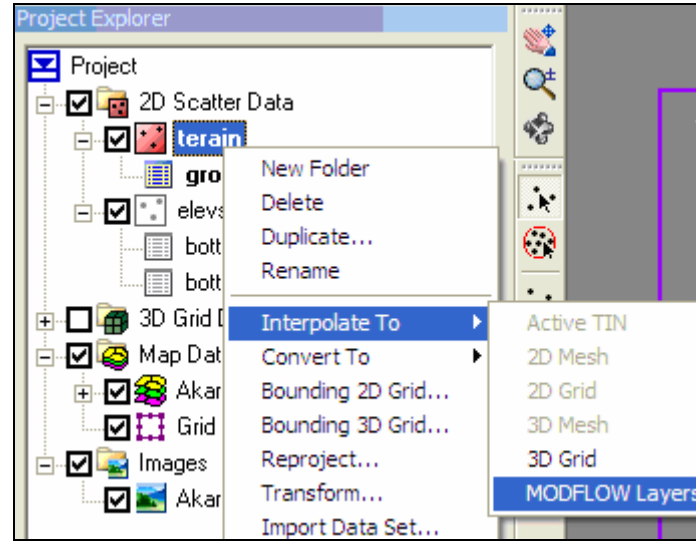


Şekil 4.36 Saçılma noktalarının (2D scatter points) model üzerindeki dağılımı

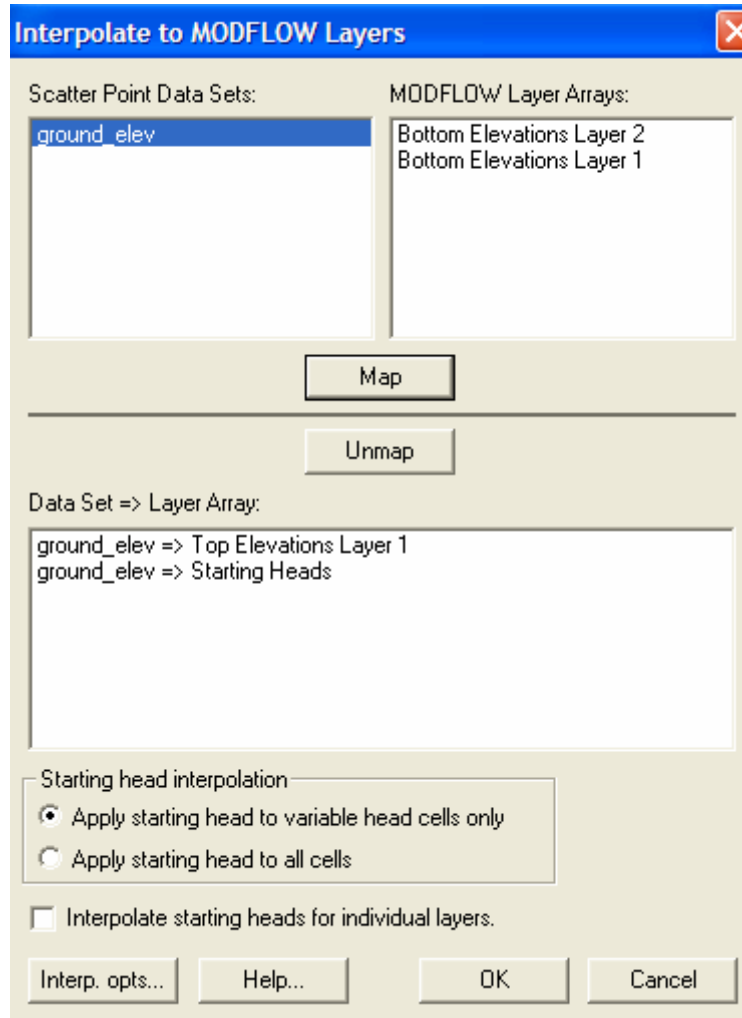
Arazi Saçılma Noktalarını Ekleme (Importing the Ground Surface Scatter Points)

Yüzey saçılma noktalarını programa eklemek için Project Explorer'da 2DScatter data başlığı altındaki terrain yazısı üzerine sağ tuş yaparak açılan listeden, MODFLOW tabakalarına ekle (Interpolate to / MODFLOW Layers) yazısına tıkladığımızda (Şekil 4.37), Interpolate to MODFLOW Layers penceresi açılır (Şekil 4.38).

Interpolate to MODFLOW Layers penceresinde dağıtım noktaları (Scatter Point Data Sets) başlığı altındaki zemin yükseklikleri (ground_elev) seçilir, MODFLOW Layer Arrays başlığı altındaki başlangıç yükseklikleri (Starting Heads) seçilir ve harita (Map) butonuna tıklanılarak veri kur (Data Set) başlığı altına eklenir. Aynı işlem tekrar yapılır ancak MODFLOW Layer Arrays başlığı altındaki birinci katmanın üst yüksekliği (Top Elevations Layer 1) seçilerek Map butonuna tıklanır ve birinci katmanın üst yüksekliği (Top Elevations Layer 1), veri kur (Data Set) başlığı altına eklenir. Bu işlem yapıldıktan sonra OK tuşuna basılarak hücre yüksekliklerine başlangıç yükseklikleri eklenmiş olur.



Şekil 4.37 Interpolate to MODFLOW Layers penceresini açma

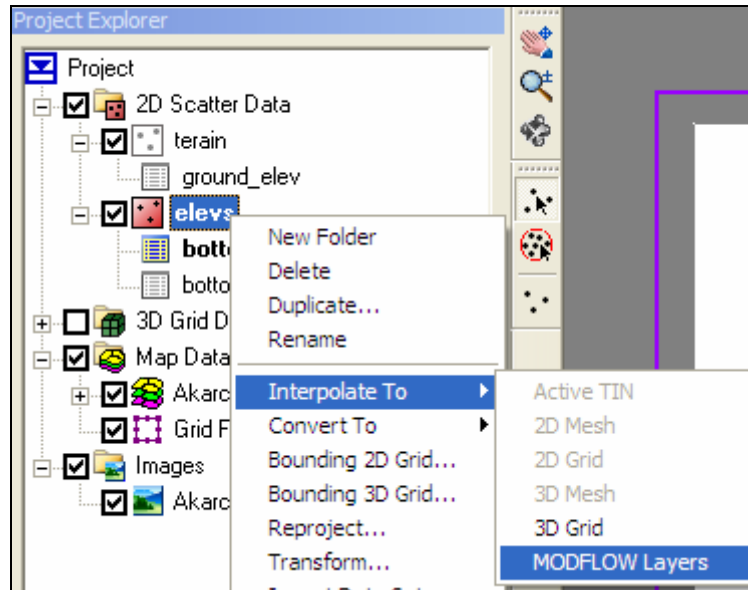


Şekil 4.38 Zemin yüzey kotlarını birinci tabakaya ekleme

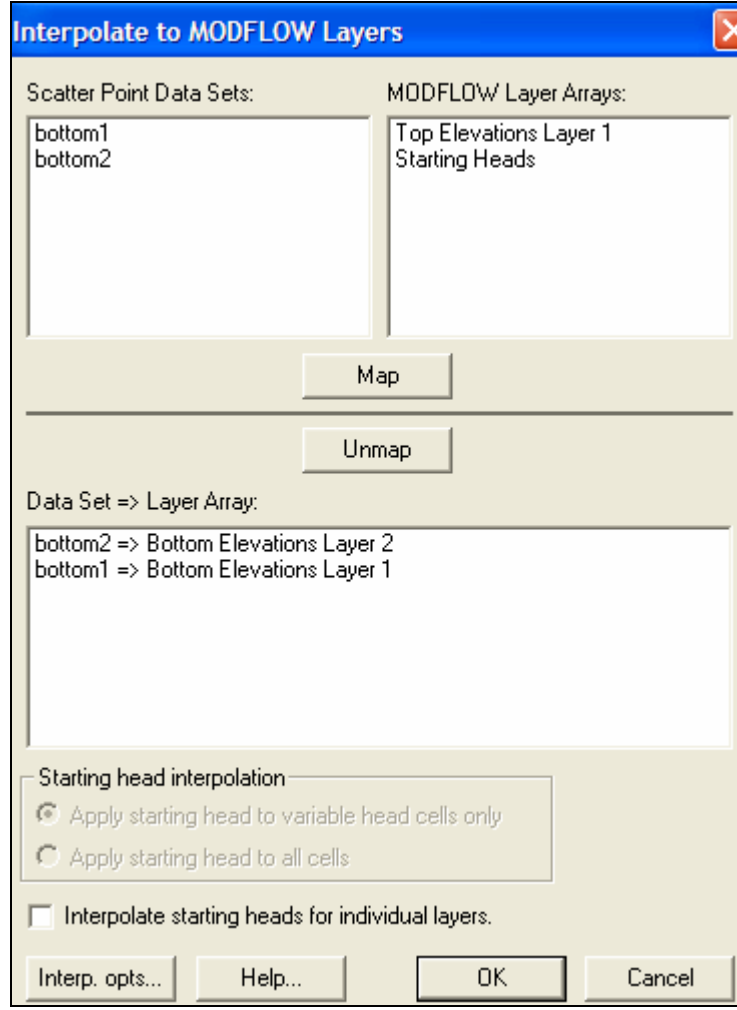
Tabaka Yüksekliklerini Ekleme (Interpolating the Layer Elevations)

Bir önceki aşamada birinci katmanın üst noktası zemin yüzey kotları eklenerek tanımlanmış oldu. Bu aşamada birinci (üst) ve ikinci (alt) katmanın dip noktalarının kotları eklenerek katman yükseklikleri tanımlanmış olacak. Katmanların dip noktalarını (bottom1, bottom2) kotlarını programa eklemek için Project Explorer'da 2DScatter data başlığı altındaki yükseklikler (elevs) yazısı üzerine sağ tuş yaparak açılan listeden, MODFLOW tabakalarına ekle (Interpolate to / MODFLOW Layers) yazısına tıkladığımızda (Şekil 4.39), Interpolate to MODFLOW Layers penceresi açılır (Şekil 4.40).

Interpolate to MODFLOW Layers penceresinde, tabakaların dip noktalarını veri kur (Data Set) başlığı altına otomatik olarak eklendiği için burada hiçbir işlem yapmadan onay tuşuna basarak takalara yükseklik değeri eklemiş oluyoruz.



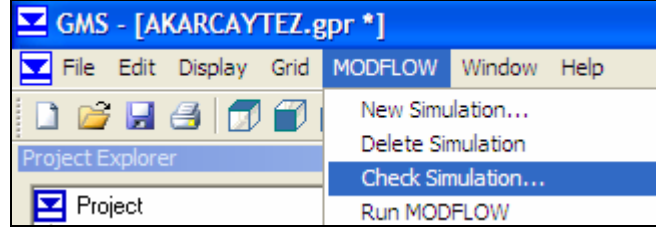
Şekil 4.39 Interpolate to MODFLOW Layers penceresini açma



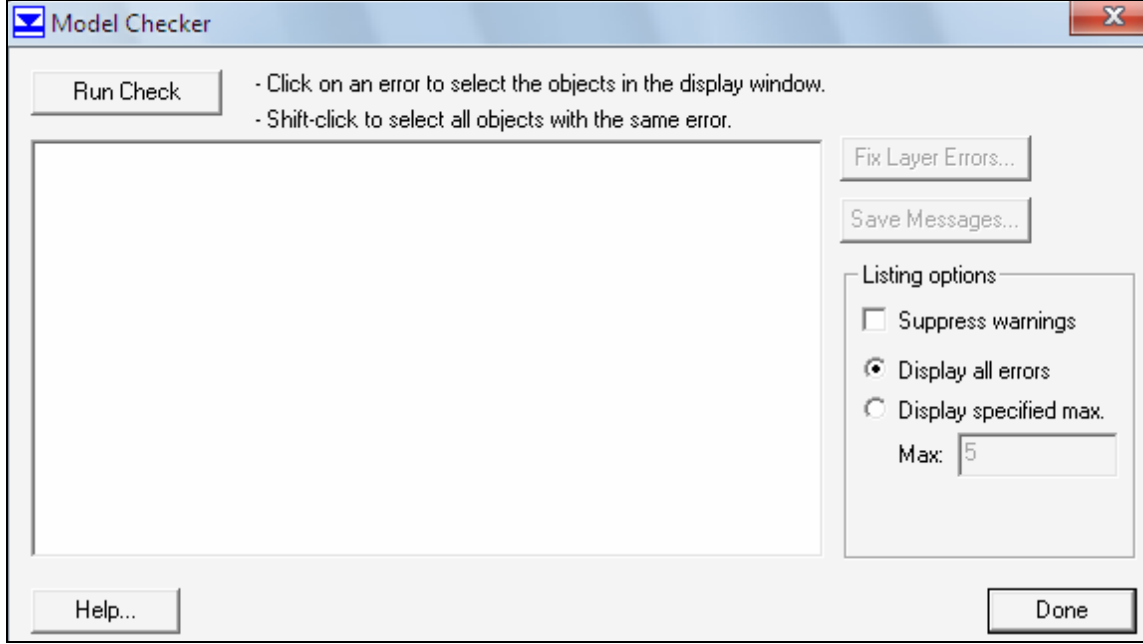
Şekil 4.40 Kuyu loglarını kullanarak tabaka yüksekliklerini eklemek

4.2.18. Yükseklik Serilerini Düzenlemek

Tabaka yükseklikleri eklem işlemi tamamlandıktan sonra tabakalardaki keşişme hatalarını kontrol ederek gerekli düzeltmeler GMS tarafından otomatik olarak yapılmaktadır. Bu işlemi yapmak için menü çubuğundan MODFLOW / Check Simulation konutuna tıklanır (Şekil 4.41). Karşımıza model kontrol (Model Checker) penceresi açılır (Şekil 4.42).

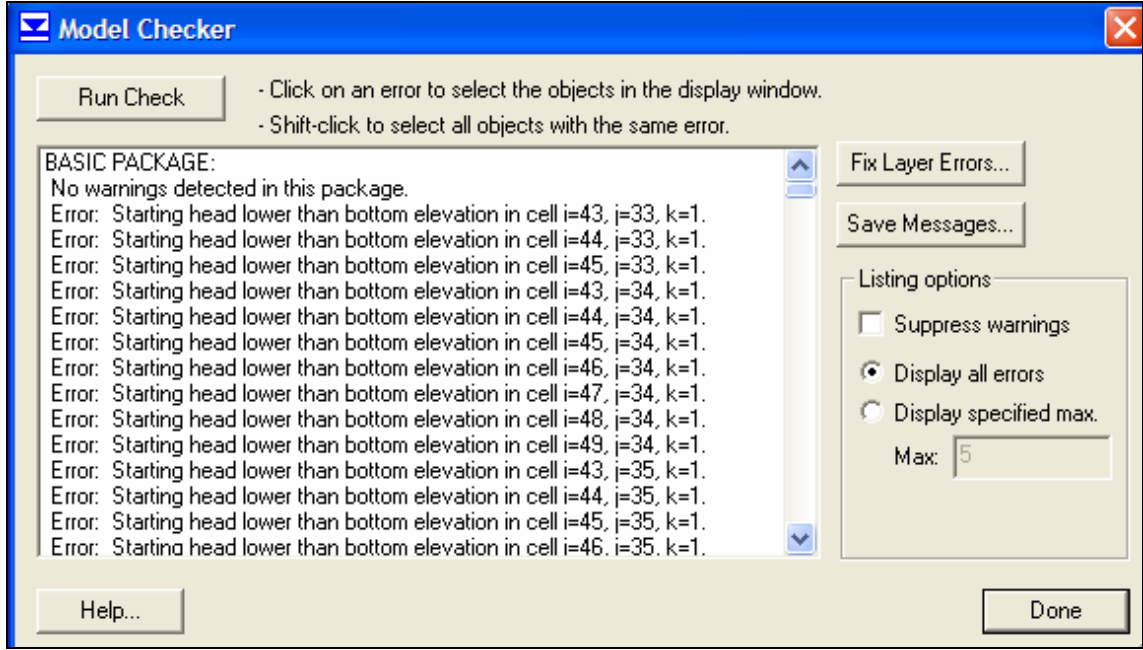


Şekil 4.41 Model kontrol penceresini aktif hale getirme

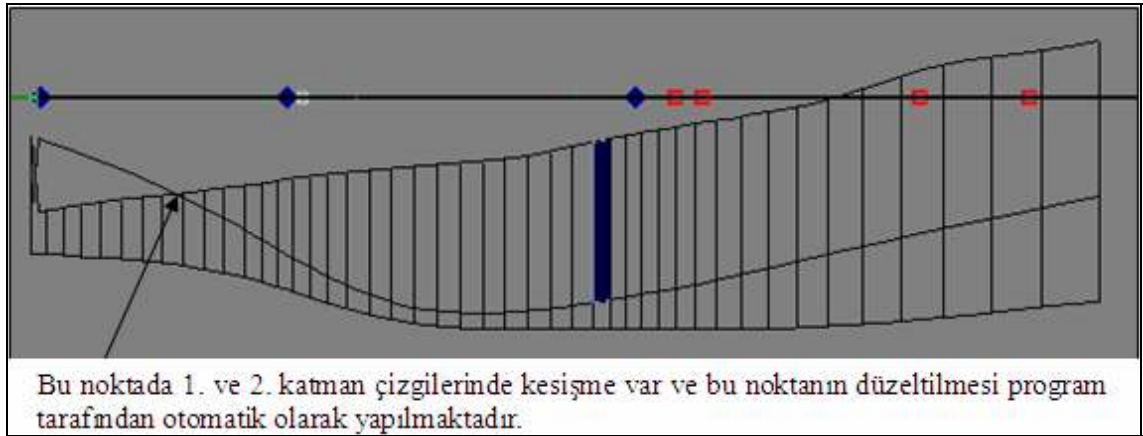


Şekil 4.42 Model kontrol penceresi

Model Kontrol penceresinde, kontrolü başlat (Run Check) butonuna tıkladığımızda modelimizdeki hatalar listelenir (Şekil 4.43). Bu hatalardan birini görmek için modelin kesit görünümüne bakabiliriz (Şekil 4.44).

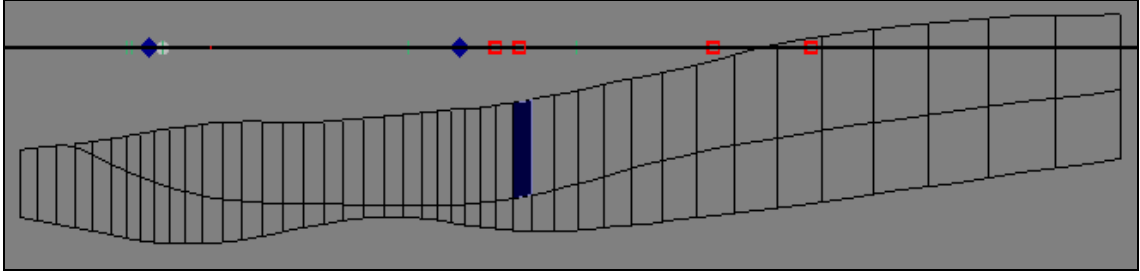


Şekil 4.43 Modeldeki katman hatalarının gösterilmesi



Şekil 4.44 Model kesitinde hataların görünümü

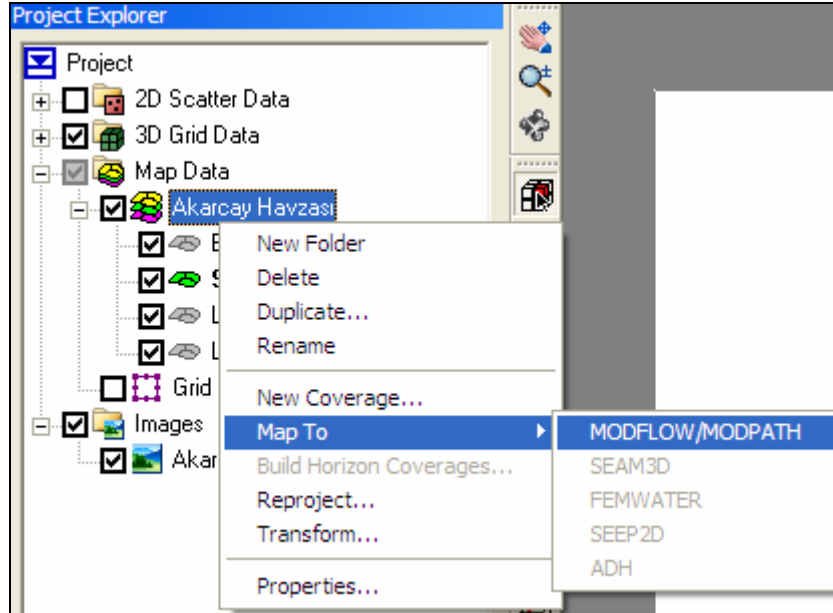
Bu hataları düzeltmek için model kontrol penceresinde katman hatalar düzelt (Fix Layer Errors) butonuna tıkladığımızda hatalar program tarafından otomatik olarak düzeltilir (Şekil 4.45)



Şekil 4.45 Model kesitinde hataların düzeltilmiş görünümü

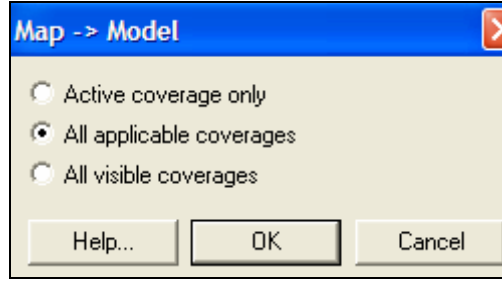
4.2.19. Kavramsal Modele Dönüştürme

Nesne tabanlı tanımlanan modelden ızgara tabanlı MODFLOW sayısal modeline dönüştürmek için kavramsal model kullanılacak. Bu aşamada modelimizi tanımlarken kullandığımız veriler artık sayısallaştırılarak modeldeki uygun hücrelere hidrolik parametreler atanacaktır. Bu işlemi başlatmak için Project Explorer penceresinde Akarçay havzası üzerine sağ tuş yapılarak açılan pencerede MODFLOW/MODPATH yazısına tıklanır (Şekil 4.46).

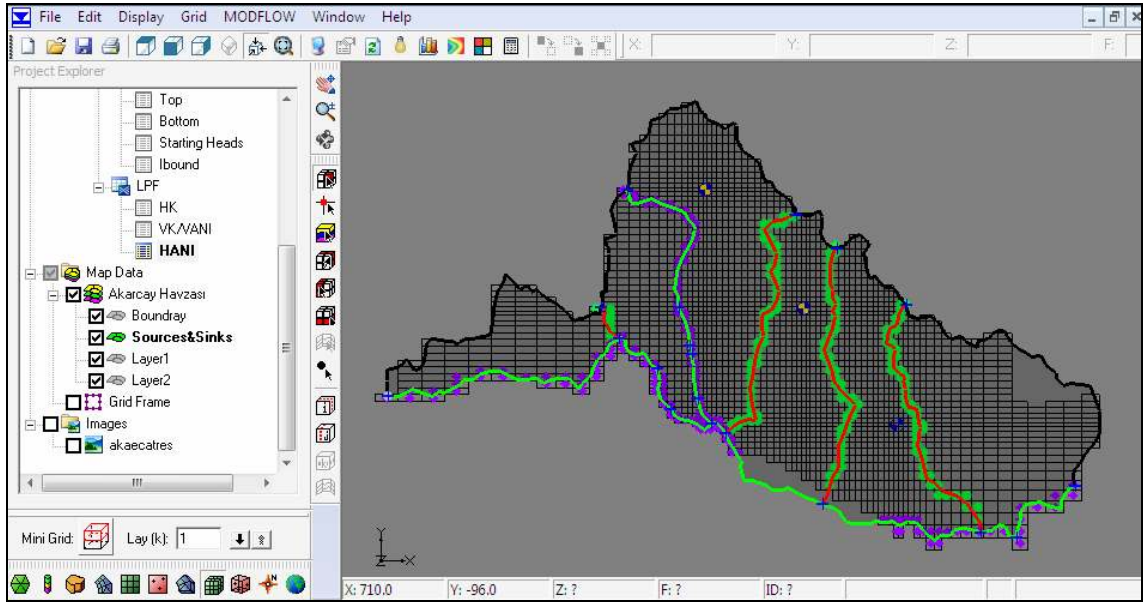


Şekil 4.46 Kavramsal modeli ızgara tabanlı sayısal modele dönüştürme işlemi

Şekil 4.46' işlemini yaptığımızda Map – MODEL penceresi açılır (Şekil 4.47). Bu pencereden tüm kapsamlara uygula (All applicable coverage) seçeneğini işaretleyip ok tuşuna basarak modelimizi kavramsal modele dönüştürmüş oluruz (Şekil 4.48).



Şekil 4.47 Kavramsal model oluşturma



Şekil 4.48 Modelin kavramsal modele dönüştürülmüş şekli

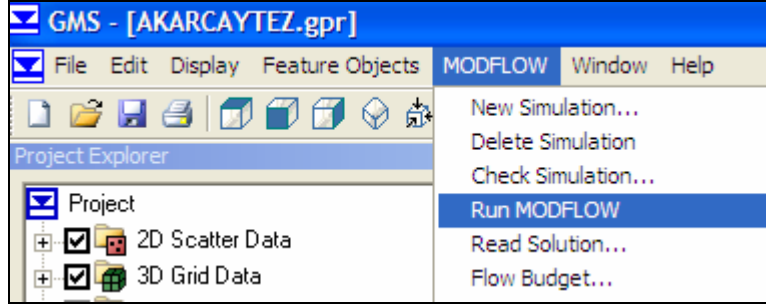
4.2.20. Simulasyonu Kontrol Etmek

Project Explorer' da 3D Grid Data seçilir. Menü çubuğundan, MODFLOW / Check Simulation komutuna tıklanır. Açılan Model Checker penceresinde, Run Check butonuna tıklanır. Hata vermezse OK butonuna tıklanarak Model Checker bu pencereden çıkılır.

4.2.21. MODFLOW Çalıştırma

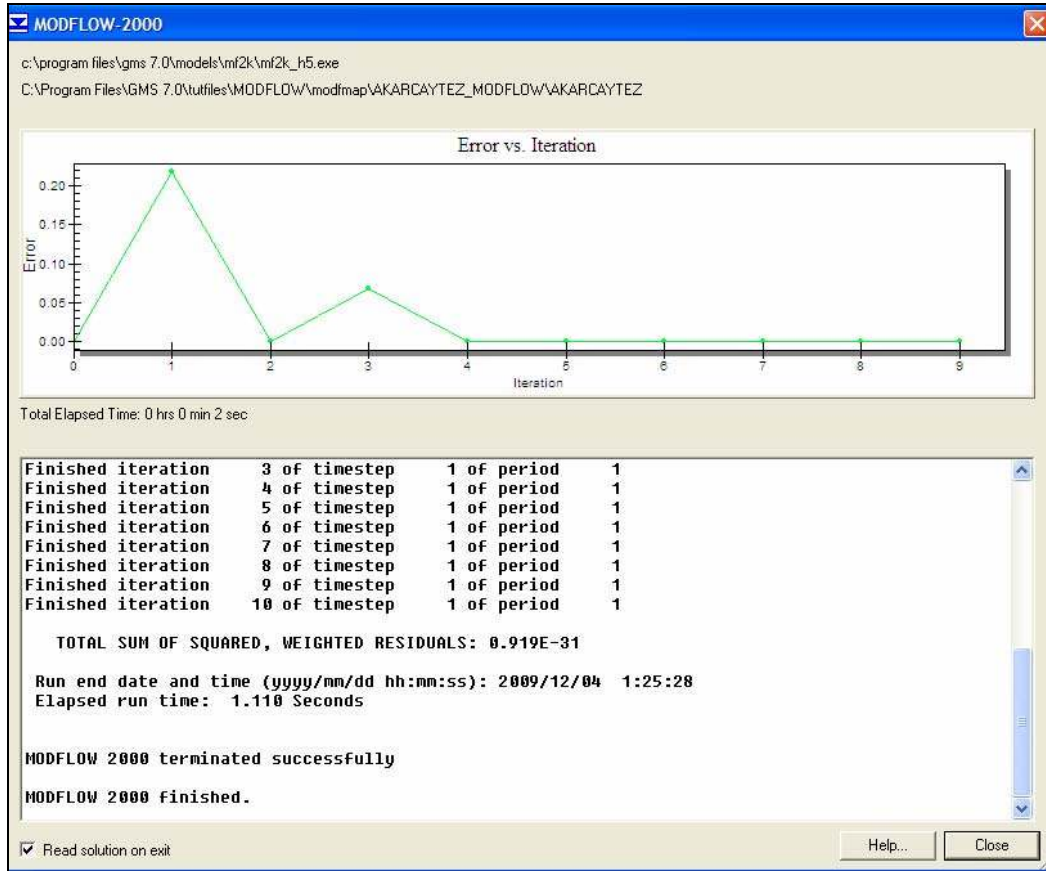
Izgara tabanlı sayısal modele dönüştürdüğümüz modelin analizi yapılacaktır. Analizi başlatmadan önce Project Explorer penceresindeki bütün dosya ve veriler kaydedilir.

Analizi başlatmak için menü çubuğundan MODFLOW başlığı altındaki Run MODFLOW yazısına tıklanır (Şekil 4.49)



Şekil 4.49 Analizi başlatma penceresini açmak

Analiz başlatıldığı zaman analiz penceresi açılır. Modelimizde analiz sonucunda hata olmadığı zaman analizi tamamlar ve pencerecin altında analizin başarılı bir biçimde tamamlandığı gösteren yazı görünür (Şekil 4.50).



Şekil 4.50 MODFLOW Sayısal model analiz penceresi

5. BULGULAR

Çalışmamızın en önemlisi bulgularından bir tanesi Akarçay havzasının yeraltı suyu su bütçesi hakkında bilgi sahibi olmamıza imkan sağlamasıdır. Modelimiz üzerinde herhangi bir hücreyi seçtiğimizde, seçili hücrenin içine veya dışına olan akış miktarı hakkında özet bir bilgileri öğrenme imkanına sahip oluyoruz. Hücre seçimini grup olarak yaptığımızda seçili bölgedeki su bütçesinin miktarı bilgiler çizelge halinde görüntülenmektedir. Ayrıca havzadaki Akış bütçesinden kaynak ve besleme noktalarına giren ve çıkan akışın tamamını çizelge halinde elde edebildiğimiz gibi, hücreden hücreye akış miktarlarını da çizelge halinde görebiliriz. GMS programının analiz sonrası oluşturduğu CCF dosyasının yardımıyla, akifer ile dış kaynak ve besleme noktaları arasındaki akış oranlarının hesaplanması hakkında yararlı bilgiler görme imkanına sahip oluruz.

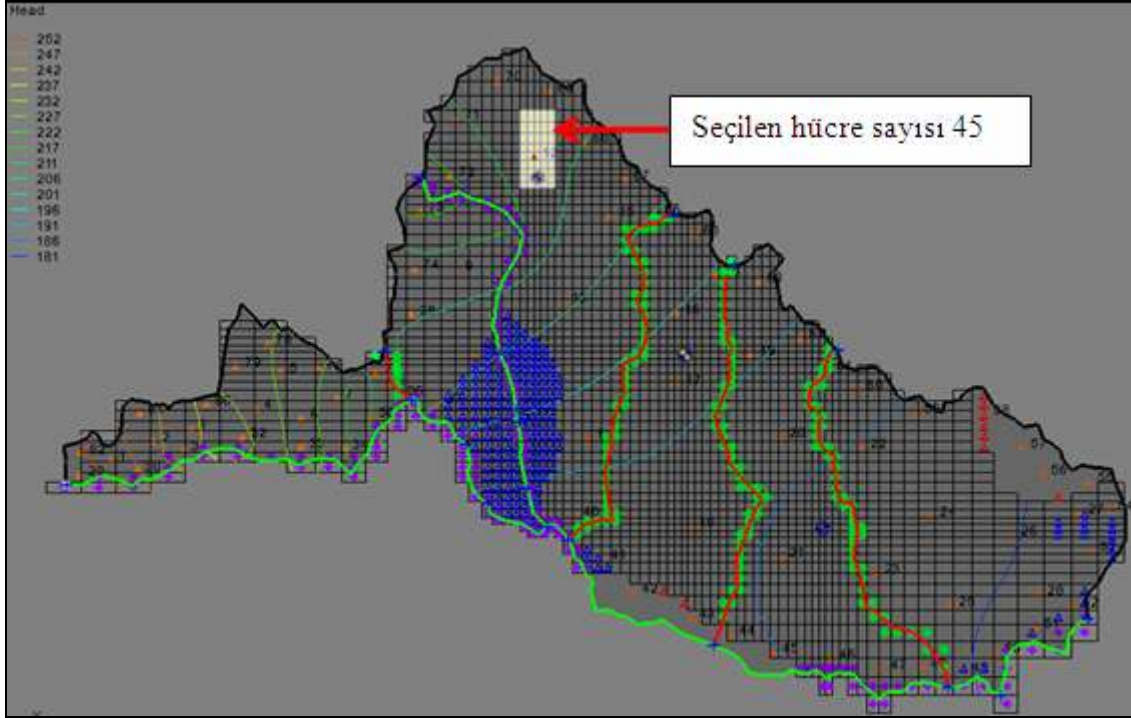
Yeraltı suyu modellemesi yaparken çalışma alanımızda tanımlanan ızgaralardaki hücrelerin tamamında meydana gelen akış bütçesi, analiz sonrası otomatik olarak oluşturulmuş olup bu değerler Akarçay havzasındaki çalışma alanımız sınırlarındaki akış bütçesinin temsil etmektedir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1’ de hücreler (cells) ve bölgeler (zones) başlığı altında modelimizdeki tüm hücrelerdeki ve modelimizin bütünündeki akış hakkında bilgiler verilmektedir. Çizelge 5.1 modeldeki tüm hücelere (cells) ait su bütçesini verilmektedir. Kaynak/besleme 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 constand head başlığı altında verilmiştir. Model alanımızda bulunan kuyulardan çekilen yani akiferden alınan su miktarı wells başlığı altında verilmiştir. Toplam akışa baktığımızda giren ve çıkan akışların eşit olduğu görülmektedir ve bu değer Total Sources/Sinks başlığı altında verilmiştir. Zone Flow yani bölge akışı başlığı altındaki değerler sıfırdır. Eğer modelde bölgesel bir seçim yapıp akış bütçesini inceleysek o zaman bu bölgeye ait akış değerleri flow zone başlığı altında yer alacaktır.

Çizelge 5.1 Model alanımızın tüm hücrelerindeki akış bütçesi

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	16063.294034421	-12023.29779725
Drains	0.0	0.0
Drains (DRT)		
General heads		
Rivers		
Streams		
Streams (SFR2)		
Wells	0.0	-4040.0
Recharge		
Evapotranspiration		
Evapotranspiration (ETS)		
Lake		
Total Source/Sink	16063.294034421	-16063.29779725
Zone Flow		
Top	0.0	0.0
Bottom	0.0	0.0
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	16063.294034421	-16063.29779725
Summary	In - Out	% difference
Sources/Sinks	-0.003762826324	-0.000023424998
Cell To Cell	0.0	0.0
Total	-0.003762826324	-0.000023424998
Help...	OK	

Modelimizin belirli bir bölgesindeki hücreleri seçerek (Şekil 5.1), seçim yapılan hücrelerdeki akış bütçesini çizelge halinde görebiliriz (Çizelge 5.2)



Şekil 5.1 Model üzerinde seçilen hücrelerin yerleri

Çizelge 5.2 incelediğimizde modeldeki belirli bir bölgedeki akış bütçesi hakkındaki bilgiler zone flow başlığı altında verilmiştir. Burada seçili bölgemize üsten, alttan, sağdan, soldan, önden ve arkadan giren ve çıkan akış değerleri verilmektedir. Bölgesel seçim yapılsa da toplam giren ve çıkan akışın birbirine eşit olduğu Total flow başlığı altında görülmektedir. Seçili alanımızdaki hücreden hücreye olan akışlar Cell to Cell başlığı altında verilmiştir.

Çizelge 5.2 Model üzerinde seçilen 45 hücreye ait akış bütçesi

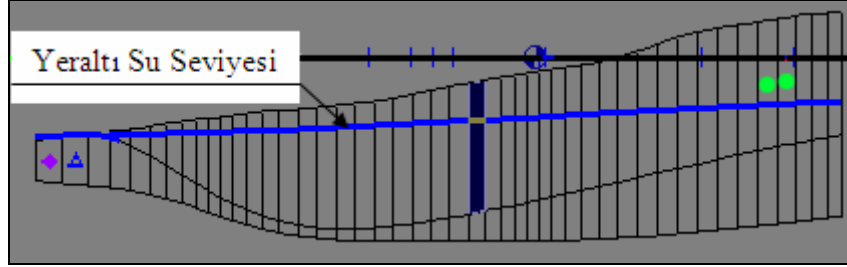
Flow Budget		
Cells	Zones	
Number of selected cells: 45		
	Flow In	Flow Out
Sources/Sinks		
Storage		
Constant heads	0.0	0.0
Drains	0.0	0.0
Drains (DRT)		
General heads		
Rivers		
Streams		
Streams (SFR2)		
Wells	0.0	-680.0
Recharge		
Evapotranspiration		
Evapotranspiration (ETS)		
Lake		
Total Source/Sink	0.0	-680.0
Zone Flow		
Top	0.0	0.0
Bottom	404.88379192352	-54.59344601631
Left	345.67425727844	0.0
Right	0.0	-146.4514751434
Back	3.3966488242149	-1.090217418969
Front	128.18404388428	0.0
Total Zone Flow	882.13874191046	-202.1351385787
TOTAL FLOW	882.13874191046	-882.1351385787
Summary	In - Out	% difference
Sources/Sinks	-680.0	Infinite
Cell To Cell	680.00360333174	77.085788326114
Total	0.0036033317447	0.0004084767592

Çizelge 5.3 Modeldeki tüm bölgelere ait 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	16063.294034421
Drains	0.0
Wells	0.0
Total IN	16063.294034421
OUT:	
Constant heads	12023.297797248
Drains	0.0
Wells	4040.0
Total OUT	16063.297797248
SUMMARY:	
IN - OUT	-0.003762826324
Percent Discrepancy	0.0000234249981
Flow Budget for Zone 1	
IN:	
Constant heads	16063.294034421
Drains	0.0
Wells	0.0
Total IN	16063.294034421
OUT:	
Constant heads	12023.297797248
Drains	0.0
Wells	4040.0
Total OUT	16063.297797248
SUMMARY:	
IN - OUT	-0.003762826324
Percent Discrepancy	0.0000234249981

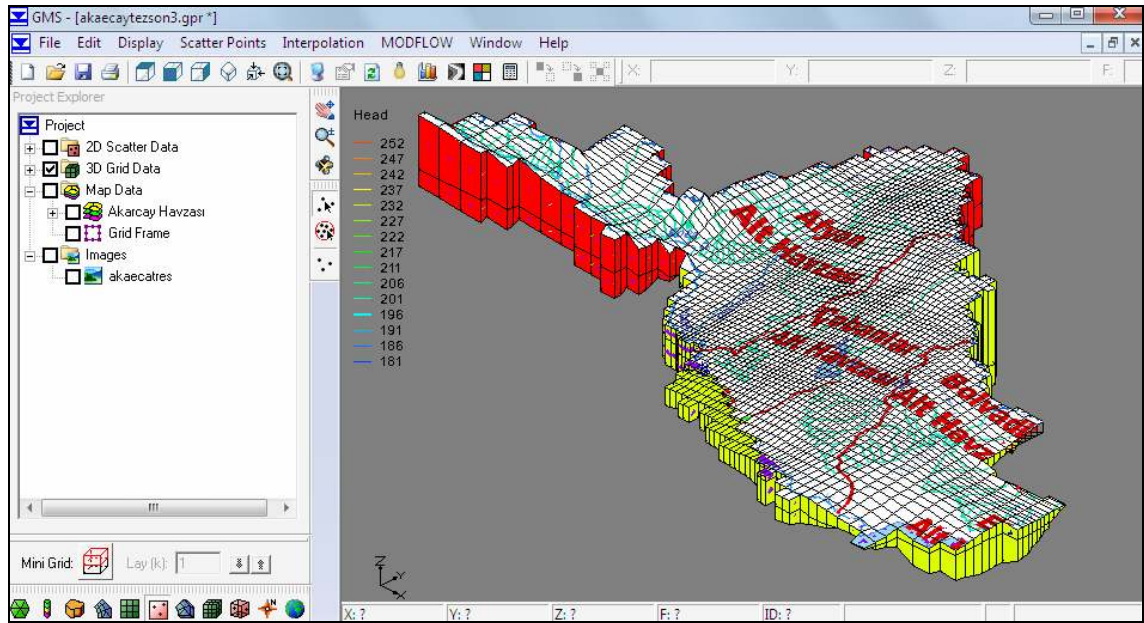
Çizelge 5.3 modeldeki tüm bölgelere (zones) ait su bütçesini verilmektedir. Modeldeki tüm hücrelere ait su bütçesiyle yani çizelge 5.1 ile aynı değerlere sahip bir çizelgedir. Çizelge 5.1 ve 5.2'den farklı olarak bu çizelgede bölgesel akışlar (zone flow) bulunmamaktadır.

Model planında seçilen bir hücreden kesit alındığında o bölgedeki su tablası görüntülenebilir.

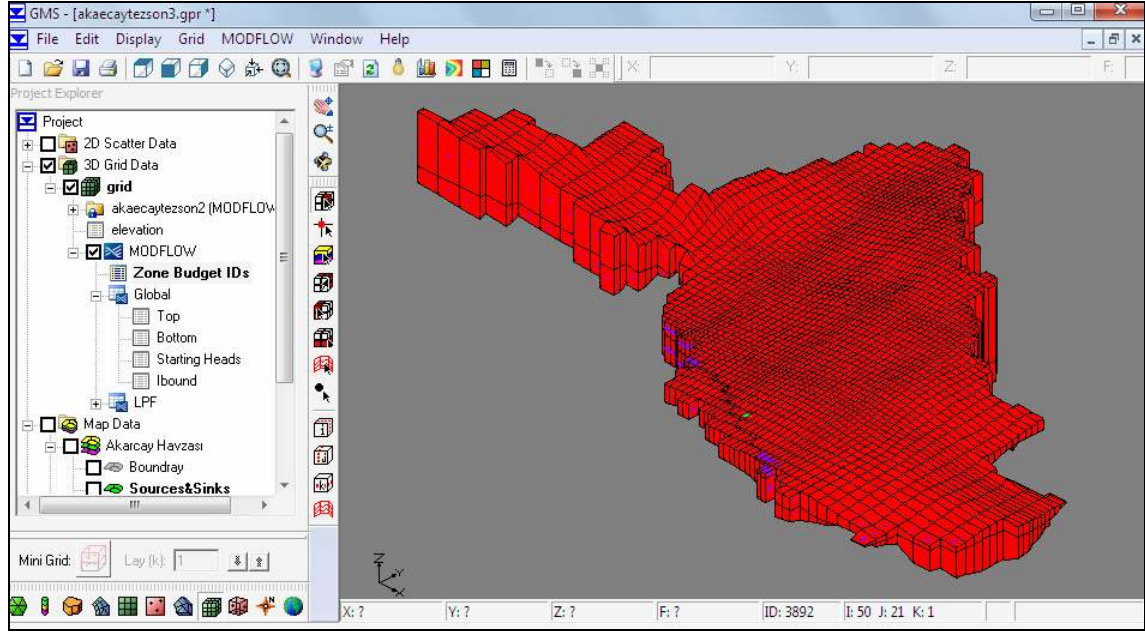


Şekil 5.2 Model kesitinde su tablası

Modelimizin üç boyutlu görüntüsünü elde ederek katı modelleme yapılabilir (Şekil 5.3).

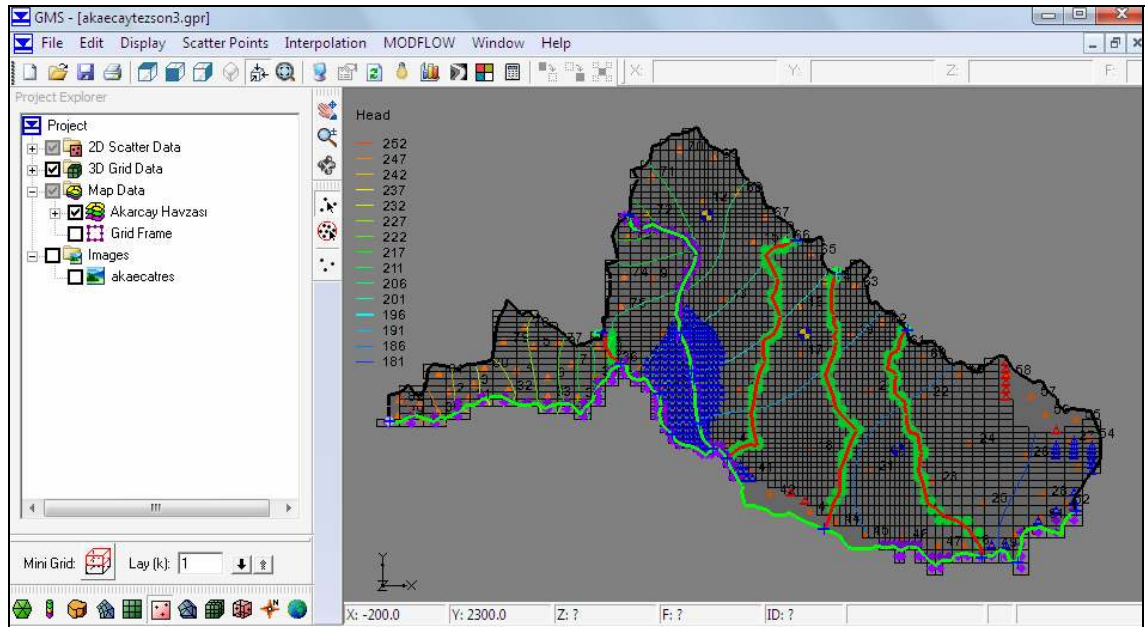


Şekil 5.3 Modelimizin üç boyutlu görünümü



Şekil 5.4 Modelimizin üç boyutlu görünümü

Modelimizde analiz sonrası bazı bölgelerin mavi renkte, bazı bölgelerin kırmızı renkte olduğu görünür. Mavi renkte olan bölgeler kaynaktan dışarıya su taşkını olduğunu, kırmızı olan bölgeler ise dışardan kaynağa akım olduğunu ifade etmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Kaynağın dışına ve içine akım olan bölgeler

6. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma bütçe ve planlama hesaplarında kullanabilmek için havzadaki yeraltı su seviyesinin tespit edilmesi amacıyla yapılmıştır. Havzada daha önce bu şekilde yapılmış çalışma olmadığından yapılan çalışmayı karşılaştırmak mümkün olmadı. Ancak havzadaki su potansiyeli hakkında ortalama bilgiler elde edilmiştir. Akarçay havzası akiferinin üç boyutlu katı modellemesi yapılarak bölgenin hidrojeolojisi hakkında genel bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır. Model çalışması geliştirilerek ve model kalibrasyonu yapılarak havzadaki su bütçesi hakkında daha net sonuçlar elde edilip bu sonuçlar ışığı altında havzadaki mevcut suların korunması ve kullanımıyla ilgili yapılacak çalışmalara rehberlik edebileceği düşünülmektedir.

Yeraltı suyu kullanımının günden güne artmasından dolayı, maliyeti yüksek olan sondaj kuyuları açılmaktadır. Bu çalışma ile havzadaki yeraltı su seviyesinin konumu kesit olarak elde edilebilmesi, kuyu açmak amacıyla yürütülen sondaj çalışmalarında yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu noktaların tespitinde önemli rol oynayacağı ve bunun sonucunda sondaj maliyetinin düşürülebileceği düşünülmektedir. Ayrıca yeraltı suyu çıkarmak amacıyla açılacak sondaj bölgelerinin tespitinde önemli rol oynayabilir.

Modelleme yapılırken programdaki coğrafi bilgi sisteminde kullanılan nesnelerle modelleme yapıldığından, bölgeye ait topografik şekilleri üç boyutlu olarak görme imkânı sağlaması neticesinde, bu alanda yapılacak modelleme çalışmalarında bölgenin yapısının , araştırmacının gözünde canlandırılmasına yardımcı olacaktır.

Yapılan sondaj çalışmalarında, kurulan yeraltı suyu kavramsal modeli kullanılarak yeraltı suyunun taşınım ve kirliliği konularında yapılacak çalışmalara temel teşkil edeceği düşünülmektedir. Ayrıca akifere ait jeolojik parametreler girilerek yeraltı suyunun doğal ortamdaki hareketinin benzeşim animasyonları yapılabilir.

Sonuç olarak yeraltı suyu hareketi ile ilgi, parçacık izlenimi, baraj, göl, deniz vb. kaynakları besleme ve bu kaynaklardan beslenme, yeraltı suyu eş seviye haritalarının

oluşturulması gibi çalışmaların, yapılan kavramsal modelimizin üzerine inşa edilebileceği düşünülmektedir.

Yapılan çalışmanın diğer bir avantaj ise çalışmamızda kullanılan veriler 2002 yılına ait olmasına rağmen, yeni tarihli verilerin elde edilmesi durumunda bu verilerin modele işlenmesi kolay olduğundan model sürekli olarak güncellenme özelliğine sahiptir. Modelin güncellenebilmesi sayesinde modelden sürekli ve yeni sağlıklı bilgiler elde edilebilecektir.

7. KAYNAKLAR

- Atilla, A. Ö. 2002. Afyon Ovasının yeraltı suyu kütle taşınımı modeli. Doktora Tezi (basılmamış), Hacettepe Üniversitesi, 78 s., Ankara.
- Aci, M. 2006. Yapay Sinir Ağları İle Hidrolojik Modelleme, Yüksek Lisans Tezi (basılmış), Celal Bayar Üniversitesi, 85 s., Manisa.
- Beyazıt, M. 1991. Hidroloji, Beşinci Basım, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 236 s., İstanbul.
- Çelik, R. 2007. Diyarbakır Ovasının Yeraltı Sularının İncelenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) İle Modellenmesi, Doktora Tezi (basılmış), Fırat Üniversitesi, 208 s., Elazığ.
- DSİ, 1977. Akarçay Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu, Devlet Su İşleri Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı suları Daire Başkanlığı, 64 s., Ankara.
- Dişli, E. 2000. Akifer hidrolik parametrelerinin evrik modelleme ile belirlenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi (basılmamış), Hacettepe Üniversitesi, 118 s., Ankara.
- Durdu, Ö. F. 2003. Su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde bilişim teknolojisinin önemi, Akademik Bilişim 2004, KTÜ, Trabzon.
- Durdu, Ö. F. 2004. Optimal control of irrigation canals using recurrent dynamic neural networks (RDNN), Proceedings of the ASCE EWRI World Water & environmental Resources Congress, June 27-July 1, 2004, Salt Lake City, UT: ASCE, CD-rom, 14 pp.
- Ersoy, F. 2007. Gümüşhacıköy Akiferi'nin Yeraltısuyu Akım Modeli, Doktora Tezi (basılmamış), Karadeniz Teknik Üniversitesi, 115 s., Trabzon.
- Elçi, A., Gündüz, O., Şimşek, C. 2007. Torbalı Ovası Yüzeysel Akiferindeki Yeraltı Suyu Akımının Matematiksel Modelleme İle Tespiti, V. Ulusal Hidroloji Kongresi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 5 – 7 Eylül, Ankara,
- Tarakçı, H. 1995. Drenaj Yönünden Toprakların Porozitesi (Gözenekliliği) ile Hidrolik Geçirgenliği Arasındaki İlişkiler Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi (basılmamış), Ege Üniversitesi, 135 s., İzmir.
- İçağa, Y. 2001. Akarçay Aylık Akımlarının Modellenmesi, III.Ulusal Hidroloji Kongresi, İzmir.
- İçağa, Y. 2003. Akarçay Yağış Akış İlişkilerinin Modellenmesi, 1. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, İzmir.

- Soysalan, İ. İ. 2004. Eğridir Gölü Doğusunun Hidroloji incelemesi ve Yeraltısuyu Modellemesi, Doktora Tezi (basılmış), Süleyman Demirel Üniversitesi, 278 s., Isparta.
- Kemal, E. ve Yüzer, E. 1973. Yeraltı Suları jeolojisi, Birinci Basım, Özarkadaş Matbaası, 340 s., İstanbul,
- Karahanoğlu, N., Doyuran, V., Fongs Award Su Vagonda., 1986, Erzin Ovası (Hatay) Yeraltısuyu Havzası Sonlu Eleman modeli, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Cilt 29, s.53-60, Şubat.
- Maden, T. 2005. Avrupa Birliği Çevre Politikaları, Yüksek Lisans Tezi (basılmamış), Hacettepe Üniversitesi, 110 s., Ankara.
- Ulugür, M. E. 1972. Su Mühendisliği, Birinci Basım, Çağlayan Kitabevi, 219 s., İstanbul.
- Şimşek, C., Demirkıran, Z., Çetiner, L., Gündüz, O., Öcal, G. 2009. Kemalpaşa Ovasının Üç Boyutlu İnteraktif Hidrojeolojik Modeli, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 11 s.3-5, İzmir.
- Tezcan, L., Meriç, B.T., Doğdu, N., Akan, B., Atilla, A.Ö. ve Kurttaş, T. 2002. Akarçay Havzası hidrojeolojisi ve yeraltısuyu akım modeli. Final Raporu, Hacettepe Üniversitesi - Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (ÜKAM)-Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü, 339 s., Ankara.
- Yurtçu, Ş. 2001. Kıl zeminlerde yeraltı suyu davranışının modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi (basılmış), Afyon Kocatepe Üniversitesi, 105 s., Afyon.
- Yurtçu, Ş. ve İçağa, Y. 2005. Akarçay Havzası Yeraltı Suyu Periyodik Davranışının Modellenmesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt 1, s.21-28

7.1. İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

1- <http://www.xmswiki.com/xms/GMS>

22.05.2009

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emin HÖKELEKLİ
Doğum Yeri : Yozgat
Doğum Tarihi : 26/09/1976
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Yozgat Lisesi
Lisans : Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Afyon Kocatepe Üniversitesi Bolvadin Meslek Yüksek Okulu 2002-2010

Yayınları (SCI ve diğer)

Diğer konular