

**BİLGİSAYAR DESTEĞİ İLE EBER GÖLÜ  
VE ÇEVRESİNİN YERALTI SUYU MODELLEMESİ**  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Elif BAYSAL  
DANIŞMAN  
Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA  
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI  
EKİM 2013

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİLGİSAYAR DESTEĞİ İLE EBER GÖLÜ VE ÇEVRESİNİN YER  
ALTI SUYU MODELLEMESİ**

**Elif BAYSAL**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA**

**YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI**

**EKİM, 2013**

## TEZ ONAY SAYFASI

Elif BAYSAL tarafından hazırlanan “Bilgisayar Desteği ile Eber Gölü ve Çevresinin Yeraltı Suyu Modellemesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca ...../...../..... tarihinde aşğıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Yapı Eğitimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA

**Başkan** : Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA  
Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi

**Üye** :Yrd. Doç. Dr. İsmail ZORLUER  
Afyon Kocatepe Ü. Teknik Eğitim Fakültesi

**Üye** :Yrd. Doç. Dr. Murat KİLİT  
Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi

**Üye** :Yrd. Doç. Dr. Murat UYSAL  
Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi

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

.....  
Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

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

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

**beyan ederim.**

**8/EKİM/2013**

**Elif BAYSAL**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİLGİSAYAR DESTEĞİ İLE EBER GÖLÜ YERALTI SUYU MODELLEMESİ VE SU  
BÜTÇESİ HESABI

Elif BAYSAL

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA

Bu çalışma Afyon ili Akarçay havzası sınırları içinde bulunan kuzeyinde Emir Dağları ve güneyinde Sultan Dağları ve denizden 967 metre yükseklikte olan Eber gölü ve çevresini kapsamaktadır. Eber gölü ve çevresine ait yeraltı suyu akım modellemesi Groundwater Modeling System (GMS) programında oluşturulmuştur. Modelde kullanılacak kuyu logları ve kotları, arazinin topoğrafik yükseklikleri, arazinin hidrolojik ve jeolojik özellikleri, temin edilip hesaplanarak programa aktarılmıştır. Kapalı bir havza içinde bulunan Eber gölü çalışma alanımızın sayısal modelleme yapılarak yeraltı suyu bütçesi hesaplanmıştır. Gölün üç boyutlu modellemesi yapılmıştır. Çalışma alanı sonlu farklar yöntemiyle ve kararlı akım varsayımı ile 2002 yılı hidrolojik gözlemleri esas alınarak modellenmiştir. Yapılan modelleme üzerinde arazinin herhangi bir yerinden kesit alınarak yeraltı su seviyesi görselleştirilmiştir. Çalışmanın sonucu olarak elde edilen sonuçların yeraltı su bütçesi hakkında bilgi vererek planlamaya katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

**2013, x+88 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Yeraltı suyu, Eber Gölü, Modelleme, GMS, Akarçay

## **ABSTRACT**

M. Sc. Thesis

**EBER LAKE SUB-BASIN GROUNDWATER MODELING IN COMPUTER SUPPORT**

**Elif BAYSAL**

Afyon Kocatepe University

Institute for the Natural and Applied Sciences

Department of Construction Education

**Supervisor:** Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA

This study is the province of Afyon, located within the boundaries of the basin north of Akarçay Mountains and south of Emir Sultan Mountains, 967 meters from the sea and the surrounding area, which includes Lake Eber. Eber lake and the surrounding groundwater flow modeling Groundwater Modeling System (GMS) program was created. Used in the model, and the borders of well logging, land topographic heights, hydrological and geological features of the land, whether there will be transferred to the program calculated. Eber lake located in a closed basin of our field work performed numerical modeling of groundwater budget was calculated. Three-dimensional modeling was carried out of the lake. Finite difference method, with the assumption that the study area and the steady flow of 2002 is modeled on the basis of hydrological observations. The modeling is based on the cross-section of land in any part of the underground water level is visualized. Groundwater as a result of the study of the results obtained will contribute to planning by providing information about the budget.

**2013, x+88 pages**

**Key words:** Yeraltı suyu, Eber Gölü, Modelleme, GMS, Akarçay

## TEŞEKKÜR

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

Tez çalışmamın düzenlenmesinde yardımını esirgemeyen Dilek KOÇAK'a, Arş. Grv. Halil İbrahim BURGAN'a, Lütü DERİCİ'ye, Eda BATI'ya, DSİ Isparta Bölge Müdürlüğü çalışanlardan Hasan ÖZGÜLER'e, FUGRO SİAL Mühendislik ve Müşavirlik Firması çalışanlarına ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında maddi-manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim, sıkıntılı dönemleri bana aksettirmeyerek büyük fedakarlık gösteren babam Nedim BAYSAL' a ve annem Gülcan BAYSAL' a teőekkürlerimi sunarım.

Elif BAYSAL

Afyonkarahisar, 2013

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
RESİMLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	1
1.2 Çalışmanın Kapsamı.....	2
1.3 Çalışmanın Önemi.....	2
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	4
2.1 Yeraltı Suyu Oluşumu.....	4
2.1.1 Hidrolik Çevrim (Su Döngüsü).....	5
2.1.2 Yeraltı Suyunun Bulunduğu Bölgeler.....	6
2.1.2.1. Serbest Yüzeyle Akiferler.....	8
2.1.2.2 Basınçlı Akiferler.....	8
2.2 Yeraltı Suyu Modellemesi.....	8
2.2.1 Yeraltı Suyu Modellemesi ile İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar.....	8
3. MATERYAL VE METOD.....	16
3.1 Havzanın Tanıtılması.....	16
3.2. Eber Gölü Konumu ve Oluşumu.....	17
3.3 GMS Programında Yeraltı Suyu Modelleme.....	19
3.3.1 Coğrafi Bilgi Sistemi Tabanlı Kavramsal Model.....	20
3.3.2 Yeraltı Suyu Modelleme Yöntemi.....	21
3.3.2.1 Kavramsal Model (Conceptual Model).....	22
3.3.2.2 Programda Kullanılan Hidrolik Terimler.....	24
3.4 UYGULAMA.....	27



3.4.1 Model Çalışmasında Kullanılan Veriler.....	27
3.4.2 Veri Girişi ve Eber Gölü Yeraltı Suyu Modellemesi.....	30
3.4.2.1 Arka Plan Resmi Aktarma.....	30
3.4.2.2 Birim Tanımlamak .....	31
3.4.2.3. Sınırları Tanımlama.....	32
3.4.2.3.1. Kapsam Oluşturma.....	32
3.4.2.3.2 Yay Oluşturma.....	33
3.4.2.4 Kaynak ve Düden (Sources and Sinks)Kapsamı Oluşturma.....	34
3.4.2.4.1.Kuyu Tanımlama.....	35
3.4.2.4.2. Nehir Tanımlama.....	37
3.4.2.5. Geri Besleme ( Recharge) Kapsamı Tanımlama.....	38
3.4.2.6.Hidrolik İletkenlik Tanımlanması.....	40
3.4.2.7.Gölün Kapsamının Oluşturulması.....	42
3.4.2.8. Grid Frame (Izgara Çerçevesi ) Oluşturma.....	45
3.4.2.9. Grid Oluşturma.....	46
3.4.2.10. MODFLOW Verilerinin Başlatma.....	48
3.4.2.11.Aktif / Aktif Olmayan Bölge Tanımlama.....	49
3.4.2.12.Tabaka Yüksekliği İnterpolasyonu.....	51
3.4.2.12.1.Katman Yüksekliklerinin Eklenmesi.....	51
3.4.2.12.2. Arazi Saçılma Noktalarını Ekleme.....	54
3.4.2.12.3.Ekran Değişikleri ve Model Kesit Görünüm İşlemleri.....	56
3.4.2.12.4. Yükseklik Serilerini Düzenlemek.....	57
3.4.2.13. Kavramsal Modele Dönüştürme.....	59
3.4.2.14.Simülasyon Kontrolü.....	60
3.4.2.15.MODFLOW Çalıştırma.....	53
4.BULGULAR.....	63
4.1.Akarçay Debi Değişimi ile Eber Gölünün İlişkisi.....	68
4.2.Eber Gölü Çevresindeki Sulu Tarımın Göle Etkisi.....	70
4.3 Göl Tanımlaması Yapılmadan Modelleme Sonuçları.....	75
5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....	78
6.KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	88

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

K	Hidrolik iletkenlik
Q	Debi
T	Transmisibilite

### Kısaltmalar

GMS	Grounwater Modeling Sistem
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
MODFLOW	Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-
Water Flow Model	
GIS	Geographic Information System
YASS	Yeraltı Suyu Seviyesi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.3 Modelleme yapılacak temsili harita	22
Şekil 3.4 Kavramsal model	23
Şekil 3.5 Sayısal modele dönüştürülmüş kavramsal model	23
Şekil 4.1 Yüzeysel akıştan giren akış miktarı ile Akarçay debi değişim grafiği	68
Şekil 4.2 Yüzeysel akıştan çıkan akış miktarı ile Akarçay debi değişim grafiği	68
Şekil 4.3 Yüzeysel akıştan giren akış ve çıkan akış grafiği	69
Şekil 4.4 Toplam kaynak ve düden giren akış ile Akarçay debi değişim grafiği	69
Şekil 4.5 Toplam kaynak ve düden çıkan akış ile Akarçay debi değişim grafiği	69
Şekil 4.6 Toplam kaynaktan giren akış ve çıkan akış miktarı grafiği	70
Şekil 4.7 Giren akış çıkan akış yüzdesi ile Akarçay debi değişim grafiği	70

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 2.1</b> Su döngüsünü oluşturan basamaklar	5
<b>Resim 3.1</b> Akarçay havzası yer buldurum haritası	16
<b>Resim 3.2</b> Eber gölü yer buldurum haritası	19
<b>Resim 3.3</b> Arka plan haritasının paftalarının programa aktarma	31
<b>Resim 3.4</b> Birimleri tanımlama	31
<b>Resim 3.5</b> Kavramsal model oluşturma ve özellikleri	32
<b>Resim 3.6</b> Kapsama tanımlama	32
<b>Resim 3.7</b> Sınır kapsamı özellikleri	33
<b>Resim 3.8</b> Arazide çizilmiş sınırlar	34
<b>Resim 3.9</b> Kaynak ve düden kapsamının oluşturulması	35
<b>Resim 3.10</b> Kuyu verilerinin programa aktarma	37
<b>Resim 3.11</b> Nehrin tanımlanması	38
<b>Resim 3.12</b> Recharge kapsamının özelliklerinin belirlenmesi	39
<b>Resim 3.13</b> Hidrolik değerleri tanımlamak için kapsam oluşturma penceresi	41
<b>Resim 3.14</b> Tabakaların hidrolik özelliklerinin tanımlandığı özellikler penceresi	41
<b>Resim 3.15</b> Göl sınırı oluşturulması	43
<b>Resim 3.16</b> Göl ile ilgili verilerin girişi	44
<b>Resim 3.17</b> Göl batimetresinin tanımlanması	44
<b>Resim 3.18</b> Izgara çerçevesi oluşturma	45
<b>Resim 3.19</b> Izgara çerçevesinin model sınırlarını kapsamadan önceki görünümü	45
<b>Resim 3.20</b> Izgara çerçevesinin daraltma işlemi aşaması	46
<b>Resim 3.21</b> Daraltma işleminden sonraki Grid görüntüsü	46
<b>Resim 3.22</b> Üç boyutlu ızgara oluşturma	47
<b>Resim 3.23</b> Grid Frame sınırları içerisinde oluşturulan üç boyutl ızgara görünümü	47
<b>Resim 3.24</b> MODFLOW yeni similasyon tanımlama	48
<b>Resim 3.25</b> MODFLOW temel paketler penceresi	49
<b>Resim 3.26</b> Aktif/Aktif olmayan bölge tanımlama	50
<b>Resim 3.27</b> Modelimizdeki aktif bölgeler	50
<b>Resim 3.28</b> Arazi yükseklikleri eklenmeden önceki haliyle görünümü	51
<b>Resim 3.29</b> Saçılma noktaları ithal etme ilk adım sayfası	52

<b>Resim 3.30</b>	Saçılma noktaları ihlal etme ikinci adım sayfası	53
<b>Resim 3.31</b>	Saçılma noktalarının model üzerindeki dağılımı	54
<b>Resim 3.32</b>	Interpolate to MODFLOW penceresi açma	54
<b>Resim 3.33</b>	Zemin yüzey kotlarının birinci tabakaya eklenmesi	55
<b>Resim 3.34</b>	Zemin yüzey kotlarının birinci tabakaya eklenmesi ikinci adım	56
<b>Resim 3.35</b>	Ekran özellikleri ile seçilmiş olan hücrenin detayı	57
<b>Resim 3.36</b>	Model kontrol penceresini aktif hale getirme	58
<b>Resim 3.37</b>	Model kontrol penceresi	58
<b>Resim 3.38</b>	Kavramsal modeli ızgara tabanlı sayısal model dönüştürme işlem penceresi	59
<b>Resim 3.39</b>	Haritadan modele dönüştürme penceresi	59
<b>Resim 3.40</b>	Modelin kavramsal modele dönüştürülmüş hali	60
<b>Resim 3.41</b>	Analiz başlatmak için açılan pencere	61
<b>Resim 3.42</b>	MODFLOW sayısal model analiz penceresi	61
<b>Resim 3.43</b>	Analiz sonucu oluşan çıktı dosyaları	62
<b>Resim 4.1</b>	Modelde tüm bölgelerdeki akış bütçesi	64
<b>Resim 4.2</b>	Analiz sonrası oluşan izohips eğrileri	64
<b>Resim 4.3</b>	Analiz sonrası renk dolgusu	65
<b>Resim 4.4</b>	Göl yan görünümü ve yeraltı su seviyesi	65
<b>Resim 4.5</b>	Gölün kesit görüntüsü	66
<b>Resim 4.6</b>	Yeraltı suyu davranış yönü	66
<b>Resim 4.7</b>	Analiz sonrası gölün üç boyutlu hali	67
<b>Resim 4.8</b>	Mevcut durum için göl bütçesi	72
<b>Resim 4.9</b>	Maksimum su ihtiyacı olan bitki tarımı yapıldığında göl su bütçesi	74
<b>Resim 4.10</b>	Göl tanımlaması yapılmadan çalışılan modellemenin analiz sonu	75
<b>Resim 4.11</b>	Göl tanımı olmadan alınan kesit	76
<b>Resim 4.12</b>	GMS 'de Lake modülü kullanılmadığında Eber gölü bölgesi su bütçesi	77

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 3.1</b> Modelde kullanılacak kuyular ve debi değerleri	27
<b>Çizelge 4.1</b> Akarçayın değişik debileri için Eber gölüne giren-çıkan akımlar	68
<b>Çizelge4.2</b> Tarım ürünlerinin su ihtiyacı	71

# 1.GİRİŞ

## 1.1 Çalışmanın Amacı

Nüfusun hızla artması, buna karşılık su kaynaklarının sabit kalması sebebiyle su ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Dünyada kişi başına su tüketimi yılda ortalama 800 m<sup>3</sup> civarındadır. Dünya nüfusunun yaklaşık % 20'sine karşılık gelen 1,4 milyar insan yeterli içme suyundan mahrum olup, 2,3 milyar kişi sağlıklı suya hasrettir. Buna ek olarak, 2050 yılında su sıkıntısı çeken ülkelerin sayısı 54'e, bu şartlarda yaşamak zorunda kalan insanların sayısı 3,76 milyara yükselecektir. Bu durum 2050'de 9,4 milyar olması beklenen dünya nüfusunun % 40'ının su sıkıntısı çekeceği anlamına gelecektir (İnt Kyn 8).

Diğer taraftan, göller, nehirler, sulak alanlar ve denizler de balıkçılık ve benzeri su ürünleri üretimine dayalı ekonominin ana kaynaklarıdır. İçme ve kullanma suyundan, ekonominin önemli bir kaynağı durumundaki su kaynaklarına kadar tüm bu ürün ve hizmetler sucül ekosistemlerin entegrasyonuna sıkı sıkıya bağlılık gösterir. Sel, kuraklık, kirlenme ve benzeri doğal ve/veya antropojenik etkiler bu kaynakların sürdürülebilirliğini hızla tehdit etmektedir.

Bazı tahminler 2025 yılından itibaren 3 milyardan fazla insanın su kıtlığı ile yüz yüze geleceğini göstermektedir. Bunun nedeni, dünyadaki su kaynakları miktarının yetersiz olması değil, yönetiminin iyi yapılamamasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla dünya su krizi bir kıtlık değil, yönetim krizidir. Küresel ölçekte herkese yetecek kadar kaynak bulunmasına rağmen iyi ve sürdürülebilir bir yönetim politikası benimsenmediği için geleceğe ilişkin tehditler ciddi boyutlara ulaşmıştır(İnt Kyn 8).

Suyun sürdürülebilir yönetimi için yüzeysel suların yanında yeraltı sularının da miktarının ve davranışının bilinmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Miktar ve davranışı bilmek için yeraltı sularını modelleme yazılımları kullanılmaktadır. Bu yazılımlar ile suyun miktarı, hesap yapılan bölgeye giren ve çıkan suyu miktarı (bütçesi) hesaplanabilmektedir.

Bu çalışmada da genel esas Akarçay Havzası içinde bulunan Eber gölünün su potansiyelinin belirlemek, yeraltı suyu etkenlerin kontrolü kapsamında (yağış, buharlaşma, süzülme, su

çekimi vb. ) göl su bütçesi üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır.

## **1.2 Çalışmanın Kapsamı**

Çalışma Ege, Akdeniz ve İç Anadolu bölgelerinin birleştiği bir noktada, kapalı bir havza niteliği olan önemli bir kesimi Afyon il sınırları içinde bulunan Akarçay havzasının içinde bulunan, kuzeyinde Emir Dağları, güneyinde Sultan Dağları ve denizden 967 metre yükseklikte olan Eber gölünü kapsamaktadır. Eber gölü bulunduğu Akarçay havzası, hep sismik olarak aktif olan, kuzeybatı-güneydoğu yönünde ortalama 100 kilometre uzunlukta ve 25 kilometre genişlikte olan çökük alandır.

Yeraltı suyu işletme ve yönetim çalışmalarına bağlı olarak ortaya çıkabilecek sorunların önceden kestirilebilmesi için hidrolojik sistemin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ve göle havzadan gelen debi haricinde, yağış, buharlaşma, sızma, su çekimi gibi etkenler sonucu bir su bütçesi çalışmasını kapsamaktadır.

## **1.3 Çalışmanın Önemi**

Kısıtlı olan su kaynaklarının en verimli şekilde kullanımı için havza yönetim planları yapılmalı; sulama birliklerinin, sulama kooperatiflerinin tarımsal sulamalarda toprağın ve ekilen mahsulün ihtiyacı hesaplanarak su dağıtımına gidilmesi sağlanmalıdır.

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 alınmasını sağlamadır.

Havzadaki mevcut su potansiyelin belirlenmesi, gelecekteki yeraltı suyu işletme programlarının yapılması, yeraltı suyu akım hareket mekanizmasının belirlenmesi gibi birçok amaç modelleme kapsamı içinde ele alınmaktadır. Yapılan bu çalışma ile özetle;

1. Havza yönetim planı çerçevesinde Eber gölü yeraltı su potansiyeli hesaplanmış olacaktır,
2. Çalışma yapılan alanın yeraltı suyunun dağılımı görsel olarak ortaya konulacaktır,
3. Çalışma yapılan alanın içinde seçilen kısımlardaki su miktarı da hesaplanabilecektir,



4. Çalışma yapımında kullanılacak kuyulardan tarımsal sulama için ne kadar su çekimi olduğu hesaplanabilecektir.
5. Çalışma sırasında ortaya çıkan eksiklikler belirlenerek yapılacak su kullanımı planlama çalışmalarının daha başarılı olması için tedbir alınmasına katkı sağlanabilecektir.

## 2.LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1. Yeraltı Suyu Oluşumu

Yeraltı suları yerüstünden yeraltına sızan suların buradaki gözenekli tabakaların(kumtaşı, çakıltası) veya kırıklı, çatlaklı (kireçtaşı) kayaçların içerisindeki boşlukları doldurmasıyla oluşur. Suyu içinde biriktiren bu tür kayaçlara "akifer" denir. Bu suların oluşabilmesi için gözenekli kayaçların tabakaların yeryüzünde mostra vermesi (yeryüzüyle bağlantısı olması)gerekir. Aksi halde yeraltına su sızamayacağı için yeraltı suyu da oluşamaz (İnt Kyn 9).

Yeryüzünde su göller, nehirler, buz, yağmur ve kar olarak çeşitli şekillerde bulunmaktadır. Bunun dışında görmediğiniz ve yeraltında hareket eden çok büyük miktarlarda su da vardır. Yeraltı suyu birçok akarsuyun akışına ana katkı sağlayan su kaynağıdır. İnsanlar yeraltı suyunu yıllardır kullanmaktadır ve içme, kullanma ve tarımsal sulama için büyük oranda bugün de kullanmaya devam etmektedir. Dünyadaki hayat yüzey sularına olduğu kadar yeraltı suyuna da bağlıdır (İnt Kyn 9).

Kara üzerine düşen yağışın bir kısmı yeraltı suyuna sızarak, yeraltı suyunun bir parçası olur. Bu suyun bir kısmı kara yüzeyine yakın hareket eder ve dere yataklarına boşalarak çok çabuk ortaya çıkar, ancak yer çekimi yüzünden bu suyun büyük bir kısmı yeraltına doğru daha derinlere inmeye devam eder.

Yeraltı suyu hareketinin yönü ve hızı, yeraltındaki akiferlerin ve sınırlayan katmanların (suyun girmesinin güç olduğu yerler) çeşitli özelliklerine bağlıdır. Yerin altında hareket eden su, yeraltı kayasının geçirgenliğine (suyun hareketinin kolay olup olmadığına) ve gözenekliliğine (malzeme içindeki boşluk miktarı) bağlıdır. Bir kaya serbestçe içindeki suyun hareketine izin verir ise o zaman yeraltı suyu günlerce önemli mesafe alabilir. Fakat yeraltı suyu, yüzeye çıkması binlerce yıl sürebilecek olan akiferler içinde daha derinlere de

inebilir(İnt Kyn 9).

### 2.1.1.Hidrolik Çevrim (Su Döngüsü)

Bugün kullandığımız suyun milyonlarca yıldır dünyada bulunduğu ve miktarının çok fazla değişmediği doğrudur. Dünyada su hareket eder, formu değişir, bitkiler ve hayvanlar tarafından kullanılır, fakat gerçekte asla yok olmaz. Buna hidrolojik döngü (su döngüsü) denir.



**Resim2.1** Su döngüsünü oluşturan basamaklar. (İnt. Kyn. 6)

Su çevrimini harekete geçiren güneş, okyanuslardaki suyu ısıtır, ısınan su da atmosfere buharlaşır. Yükselen hava akımları, su buharını atmosfer içinde yukarıya kadar taşır, orada bulunan daha soğuk hava bulutlar içinde yoğunlaşmaya sebep olur. Hava akımları, bulutları dünya çevresinde hareket ettirir, bulut zerreleri bir araya gelerek, büyürler ve yağış olarak gökyüzünden düşerler. Bazı yağışlar, kar olarak dünyaya geri döner ve donmuş su kütleleri halinde binlerce yıl kalabilecek olan buz tepeleri ve buzullar şeklinde birikebilir. Ilıman

iklimlerde ilkbahar geldiğinde çoğu zaman kar örtüleri erir ve eriyen su, erimiş kar olarak toprak yüzeyinde akışa geçer ve bazen de sellere sebep olur.

Yağışın çoğu okyanuslara yada toprağa düşerek yerçekiminin etkisiyle yüzey akışı olarak akar. Akışın bir kısmı vadilerdeki nehirlere karışır ve buradan da nehirler vasıtasıyla okyanuslara doğru hareket eder. Yüzey akışları ve yeraltı suları tatlı su olarak göllerde ve nehirlerde toplanır. Bütün yüzey akışları nehirlere ulaşmaz. Akışın çoğu sızarak yeraltına geçer. Bu suyun bir kısmı yüzeye yakın kalır ve yeraltı suyu boşaltımı olarak tekrar yüzeydeki su kütlelerine (okyanusa) katılır (İnt. Kyn. 6).

Bazı yeraltı suları yer yüzeyinde buldukları açıklıklardan tatlı su kaynakları olarak tekrar ortaya çıkarlar. Sığ yeraltı suyu, bitki kökleri tarafından alınır ve yaprak yüzeyinden terlemeyle atmosfere geri döner. Yeraltına sızan suyun bir kısmı daha derinlere gider ve çok uzun zaman süresince büyük miktarda tatlı suyu depolayabilen akiferleri (suyla doymuş yeraltı materyali) besler. Zamanla bu su da hareket eder ve bir kısmı su döngüsünün başladığı ve bittiği okyanuslara karışır (İnt. Kyn. 6).

### **2.1.2 Yeraltı Suyunun Bulunduğu Bölgeler**

Su kaynağı, kara yüzeyinden suyun taşacak noktaya kadar akiferin dolması sonucunda oluşur. Su kaynakları, önemli bir yağıştan sonra meydana gelen küçük su miktarlarından, günde yüz milyonlarca litre akan büyük havuz şeklindeki büyüklüklere kadar değişiklik gösterir (İnt Kyn 8).

Su kaynakları, her hangi bir kaya çeşidi içinde oluşabilir; fakat genellikle kolayca kırılan ve asidik yağış tarafından çözülebilen malzemeler (çoğunlukla kireç taşı, dolomite) içinde bulunur. Kaya çözüldükçe ve kırıldıkça suyun akışına imkan sağlayan boşluklar meydana getirebilir. Eğer akış yatay ise su, kaynak olarak kara yüzeyine çıkabilir(İnt Kyn 8).

Büyük miktarlarda su yeraltında depolanır. Su hala muhtemelen çok yavaş hareket halindedir ve hala su döngüsünün bir parçasıdır. Yeraltı suyunun çoğu kara yüzeyinden aşağı doğru süzülen yağıştan meydana gelir. Muhtelif zamanlarda içerisinde değişen miktarlarda su bulunan toprağın üst yüzeyi doymamış katmandır. Bu tabakanın altında kaya parçacıklarının arasındaki bütün boşluk, çatlak ve gözeneklerin tamamen su ile dolu olduğu doymuş yüzey vardır. Yeraltı suyu deyimi bu alanı tanımlamak için kullanılır. Yeraltı suyu için diğer bir deyim "akifer"dir. Akiferler, tüm dünya suyunun büyük depolama yeridir ve tüm dünya üzerindeki insanların günlük yaşamlarının su ihtiyacı yeraltı suyuna bağlıdır (İnt Kyn 8).

Su yeraltında değişik şekillerde ve çeşitli bölgelerde bulunur. Yağışlardan sonra sızan su ilk olarak, zemin boşluklarında hava ve su bulunan "doymamış bölge"ye, daha sonra aşağıya doğru hareket ederek "doymuş bölge"ye (yeraltı suyu bölgesi) ulaşır. Bu bölgenin üst yüzeyine "yeraltı su seviyesi (YASS)" denir. YASS' nin hemen üzerindeki "kapiler saçak" bölgesindeki su, kapiler (kılcal) gerilmelerle tutulur; bu bölgedeki basınç negatiftir. Yeraltı suyu, alt kısmında geçirimsiz bir tabaka ile sınırlanmıştır. YASS' nin üstündeki akarsular yeraltı suyunu beslerken, bu seviyenin altındaki sular ise yeraltı suyundan beslenir. Bu bölgelerden, bizi en çok ilgilendireni doymuş bölgedir (Bayazıt 1991).

**Doymuş Bölge:** Boşlukları tamamen suyla dolu olan ve içindeki su hareket halinde olan su taşıyıcı ortamlara "akifer" adı verilir. Akiferin alt kısmında bir geçirimsiz tabaka vardır. Akiferlerdeki akımın hızı oldukça azdır (1-2 m/gün ile 15-50 m/yıl). Akiferler, serbest yüzeyli ve basınçlı olmak üzere ikiye ayrılır (Bayazıt 1991).

**2.1.2.1 Serbest Yüzeyle Akiferler:** Yeraltı suyunun üst sınırı, yeraltı su seviyesidir (YASS). YASS' nin üst yüzeyinde atmosfer basıncı vardır, bu nedenle, serbest yüzeyle akiferdeki akım bir açık kanal akımı gibi serbest yüzeyle (basıncısız) akımdır. Geçirimsiz tabaka ile alttan sınırlanmış, bunun üzerine tamamen su alabilen akifertipidir. Zeminden içeriye sızma sonucu beslenme oluşur, yani üstten geçirimsiz tabaka ile bir engel yoktur. Yeraltı su seviyesi kabaca zemine paralel kabul edilebilir. Bu akiferlerde kuyu açıldığında ölçülen statik seviye (piyezometrik seviye) yeraltı su seviyesine eşittir (Bayazıt 1991).

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

## **2.2 Yeraltı suyu Modellemesi**

### **2.2.1. Yeraltı suyu Modellemesi ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar**

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

Öztürk M., Seçmen Ö. (1996), “Eber gölü Bitki Örtüsü ve Kirlenme İlişkileri” adlı çalışmalarında Eber gölünde toplam olarak 32 bitki taksonunun yayılış gösterdiği, su içinde *Ceratophyllum demersum*, kıyı çamurunda ise *Phragmites australis* ve *Schoenoplectus lacustris* in egemen bitki toplulukları olarak belirlendiği, eşlik eden bitkilerin başında ise *Lemna trisulca*'nın yer aldığı saptanmıştır. Uluslararası Makrofit İndeks Sistemine göre (M/S) gölde temiz sulak alanlara özgü 1. derecede hassas türlerden hiç biri bulunmamakta; 2.

derecede hassas türlerden ise sadece Potamogeton lucens gelişme gösterebilmektedir. Bitki örtüsünde yer alan türlerin % 98' inin kirliliğe dayanıklı formlar olduğu ortaya konmuştur. Kirliliği su indikatör bitkileri olarak kabul edilen Myriophyllum spicatum, Lemna trisulca ve Zannichellia palustris ssp. repens' in Eber' de bol olarak bulunması bunun kirliliği göller grubuna girdiğini göstermektedir.

Dişli (2000), “Akifer Hidrolik Parametrelerinin Evrik Modelleme ile Belirlenmesi” adlı yüksek lisans tezinde, Akarçay havzasında 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 amaçlanmıştır. 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.

Atilla (2002) , “Afyon Ovasının Yeraltı Suyu Kütle Taşınım Modeli” adlı doktora tezinde, Yeraltı suyu kullanımının artan yoğunlukta gerçekleştiği ve bunun sonucu olarak piyezometrik seviyede düşümler ve su kalitesinde bozulmalar olduğu gözlenmiştir. bu amaca yönelik olarak MODFLOW matematiksel modeli aracılığıyla ovadaki yeraltı suyu dağılımı belirtilmiştir. Modelleme sonucunda yeraltı suyu çekiminin 1976 yılından sonra arttığını, özellikle 1990 yılından sonra piyezometre seviyelerindeki düşüşlerin çok olduğu belirtilmiştir.

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

Fırat vd. (2005) Göllerde üç boyutlu hidrodinamik modellemede POM ve yapay sinir ağları yöntemlerinin kullanılması isimli çalışmalarında Denizli'nin Gökpinar Baraj Gölü için Princeton Okyanus Modeli (POM) ile yapılmış olan üç boyutlu hidrodinamik modellemenin sonuçları üzerinde Yapay Sinir Ağları (YSA) modeli uygulanarak göl içindeki bazı kesitler için çeşitli rüzgar yön ve hızları altında oluşan hız ve seviye değişimi değerleri elde edilmiştir. Oluşturulan YSA modeli, aynı kesitlere farklı rüzgar şartları altında tekrar uygulanmış ve sonuçların POM sonuçlarına uyum gösterdiği tespit edilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar neticesinde, model oluşturulması ve çözüm aşamalarında her iki yöntemin birbirine üstünlük sağladığı unsurlar tespit edilmiş ve belirtilmiştir.

Yurtçu vd.(2005) “Akarçay Havzası Yeraltı Suyu Periyodik Davranışının Modellenmesi” isimli çalışmalarında bağımlı değişken yeraltı su seviyesi ve bağımsız değişkenler olarak da debi, yağış ve buharlaşmanın kullanıldığı bir istatistiksel modelle yeraltı suyunun davranışının belirlenmesini amaçlamışlardır.

Yurtçu (2006) “Eber Gölü Su Seviye Değişiminin Bulanık Mantıkla Modellenmesi” adlı çalışmada, bağımsız değişkenler olarak, yağış, akış ve buharlaşmanın etkisiyle, bağımlı değişken olan Eber gölü su seviyesindeki değişimin bulanık mantık ile modellenmesi araştırmıştır. Uygulama Eber gölü ve çevresinde yer alan beş adet gözlem istasyonunun 1990-1996 yıllarına ait aylık ortalama verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucu bulanık mantık yaklaşımından elde edilen sonuçlar ile istasyonlardan alınan verilerin aylık ortalama değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmüştür.

İçağa vd.(2007) “Yeraltı Suyu Seviye Değişiminin Stokastik Modellemesi” isimli çalışmalarında Akarçay Afyon alt havzasında çalışılmıştır. Bu çalışmada bağımlı değişken yeraltı su seviyesi ve bağımsız değişkenler olarak da yağış, akış ve buharlaşmanın kullanıldığı bir stokastik modelle yeraltı suyunun davranışı araştırılmıştır. Çalışmada yeraltı su seviyesinin çok yüksek olduğu Akarçay Afyon alt havzası içerinden yer alan 1 adet yağış, 1 adet akış ve 1 adet buharlaşma gözlem istasyonu ile 3 adet kuyu su seviyesi gözlem istasyonunun uzun yıllara ait aylık verileri kullanılmıştır. Verilerin öncelikle normal dağılıma uygunluğu kontrol edilmiş, çarpık dağılımlı olanlar Box-Cox transformasyonu ile normal



dağılımlı hale getirilmiştir. Ardından korelogram hesabı yapılmış ve kısmi otokoresyon kat sayıları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda oluşturulan grafik ile kullanılan verilerin mevsimlere göre değişiklik gösterdiği belirtilmiştir.

Esendal (2007) Son yıllarda dünyanın pek çok bölgesindeki göllerde su seviyelerinde yükselme periyotları gözlenmiştir. Bu yükselme periyotlarının sebepleri arasında, iklim değişiklikleri, tektonik oluşumlar, bölgesel meteorolojik ve hidrolojik şartlar sayılabilir. Bu durumun incelenebilmesi için gerekli veriler göl seviyesi, yağış, akış, buharlaşma ve diğer su ihtiyaçlarıdır. Bu faktörlerin her biri belirsizlik içerdiği için, istatistik ve stokastik metotlarla incelenabilir. Göl seviyesi değişimlerinin belirlenmesi için iki temel metot mevcuttur; su bütçesi ve istatistiksel su dengesi denklemi. Eğirdir gölündeki mevsimlere göre su seviyesi değişimlerinin modellenmesi için bu çalışmada bulanık mantık metodu önerilmiştir. Bu çalışmada, bulanık mantık modeli; yağış, akış, buharlaşma ve sulama suyu ihtiyacı değişkenlerinin fonksiyonu olarak Eğirdir gölündeki mevsimsel su seviyesi değişiminin tahmin edilmiştir.

Dişli (2007) Ankara ilinin güneyinde bulunan Gölbaşı ilçesindeki Eymir ve Mogan göllerinde endüstriyel tesislerden kaynaklanan atıkların atılması sonucunda kirlenmenin olduğu belirtilmiştir. Bu iki göl arasında yer alan inceleme alanında, hidrojeolojik yapıyı tanımlamak, bu yapı içerisinde gerçekleşen yeraltı suyu akımını ve kütle taşımının fiziksel- kimyasal parametrelerini belirlemek için çalışılmıştır. Eymir ve Mogan gölleri arasında yer alan akifer sistemindeki yeraltı suyu akımı ve kütle taşımın süreçlerinin modellenmesinde MODFLOW sonlu farklar matematik modeli programı kullanılmıştır

*Mercan vd. (2008) “1998 Su Yılı için Beyşehir Gölü'nün Hidrodinamik Modellemesi”* adlı çalışmasında hidrodinamik model; 1992-2001 su yıllarının ortalama akımlarını en iyi temsil eden 1998 su yılı için çalıştırılmıştır. Modelleme çalışmasında; Devlet Su İşleri'nden (DSİ) meteoroloji, hidroloji ve batimetri verileri, Elektrik İşleri Etüt İdaresi'nden (EİE) hidroloji ve Devlet Meteoroloji İşleri'nden (DMİ) de meteoroloji verileri günlük olarak temin edilmiştir. Çalışmada ELCOM (Estuary and Lake Computer Model) 3D modeli kullanılmıştır. Model girdi olarak; günlük rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, kısa dalga radyasyonu, hava sıcaklığı, bulutluluk oranı, nemlilik, hava basıncı, yağış, giren / çıkan akarsuların debileri ve giren /

ıkan akışkanının su sıcaklığı verilmiştir. Ayrıca gölün batimetriyi modele, planda 103x85 ve düşeyde 10 parçaya ayrılarak oluşturulan 87550 grid yardımıyla dijital olarak tanımlanmaktadır. Model; sonlu hacimler metodu ile hesap yapmaktadır. Modelin ıktıları; su sıcaklığı ile akışkanın x, y ve z yönündeki hızlarıdır. Model sonuçlarını daha iyi analiz etmek amacıyla yazar tarafından Matlab dilinde programcıklar yazılmış ve bu programlar kullanılarak model sonuçları detaylı olarak irdelenmiştir. Modelden elde edilen su sıcaklık değerleri ile DSİ tarafından yapılan arazi ölçümleri kıyaslanmış, modelin yeterli doğrulukta olduğu gösterilmiştir. Kurulan model yardımıyla, göldeki su hareketi ve bu su hareketlerine etki eden parametreler belirlenmiştir. Ayrıca gölde modellenen hidrodinamik olayların yıl içi değişimi özetlenmiştir.

Ahmed and Umar (2009) Hindistan'ın Uttar Pradesh bölgesinin batısında yer alan içme, kullanma, tarımsal sulama için faydalanılan akiferini incelemişlerdir. Akiferdeki su dengesini değerlendirmek, akış sisteminin davranışının simülasyonunu yapmak için yeraltı suyu akış modelini hazırlamışlardır. Akiferi, Visual Modflow Pro.4.1 programı ile modellemişler ve su bütçesini hesaplamışlardır. Çalışma alanının belirli bölgelerinde hidrolik iletkenlik değerlerinin 9,8 m/gün ile 26,6 m/gün arasında değiştiğini belirlemişlerdir. 2006 yılı haziran ayı ile 2007 yılı haziran ayı döneminde bölgenin su bütçesi, yapmış oldukları çalışma sonucunda eksik su dengesini göstermiştir. Çalışma alanında toplam beslenimin 160,21x106 m<sup>3</sup>, pompaj yoluyla çekimin ise 233,56x106 m<sup>3</sup> olduğu belirlemişler ve böylelikle 73,35x106 m<sup>3</sup> su bütçesi açığı olduğunu hesaplamışlardır. Araştırmacılar çalışmalarında, yapılan analizlerin modeldeki hidrolik iletkenlik ve beslenme parametrelerine çok duyarlı olduğunu belirtmişlerdir.

Hökelekli (2010) "Bilgisayar Destekli Yeraltı Suyu Modelleme" adlı yüksek lisans tezinde Akarçay havzası kuzey üst bölgesini Groundwater Modeling System (GMS) programının MODFLOW paketini kullanarak yeraltı suyu akımını matematiksel modelini katı modele çevirerek yeraltı su seviyelerini belirlemiş, havzanın program içinde 2 tabakalı 3 boyutlu görünümü elde ederek kesitlerdeki akım miktarları tespit edilmiştir.

akmak (2010), Afyonkarahisar iline bağlı şuhut Ovası'nın jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik özelliklerini inceleyerek ovadaki sulama kuyularında pompaj çekimleri sonucu yeraltı

suyunun davranışı incelenmiştir. Ovada daha önce yapılmış olan jeolojik çalışmalar doğrultusunda üç boyutlu yeraltı suyu kararlı akım modeli MODFLOW programı kullanılarak oluşturulmuştur. Modelde 2004 yılı hidrolojik verileri ve kuyu pompaj çekimleri esas alınmıştır.

Mirlas (2012) çalışmasında MODFLOW yeraltı suyu akım modelini Jezre'el Vadisi yeraltı suyu seviyeleri simüle etmek için kullanılmıştır. Model sonuçlarının mekansal analizi, toprağın tuzluluğu, tehlike altında kalacağı alanların değerlendirilmesi modele giriş tarihleri için Coğrafi veritabanı ve ArcGIS teknikleri iki hidrojeolojik kriterlere göre kullanılmıştır. Bunların yeraltı suyunun toprak yüzeyinden derinliği ve üst toprak tabakası ve yarı sınırlı akifer yeraltı suyu seviyeleri arasındaki fark olarak tanımlanmıştır. Toplam yoğun toprak tuzluluğu 325ha potansiyel toprak tuzlanma alanı 6275ha bulunmuştur. MODFLOW gibi bir mekansal dağıtılan yeraltı suyu akım modeli 19 uygun giriş ile, toprak tuzlanmasını önlemek için etkili bir yeraltı drenaj sisteminin planlanmasında güvenilir bilgi sağlayabileceği belirtilmiştir.

Bahadır (2012) “Eber ve Akşehir Göllerinin Bütünleşik Kıyı Alanları Yönetimi” adlı bildirisinde Eber ve Akşehir Göllerinin bütünleşik kıyı alanları yönetimi ile kıyıların ele alınması amaçlanmıştır. Yöntem dünya genelinde kıyı alanlarının kullanımı, korunması ve planlaması temeline dayanmaktadır. Yöntemde fiziki çevre şartlarının tamamının göz önüne alınması, kıyıların rasyonel kullanımı ve yararlanılmasının yanı sıra sürdürülebilirliği üzerinde durulmaktadır.

Xu et all (2012) Sığ su tablası alanlarında yeraltı suyu dinamikleri için SWAP ve MODFLOW2000 entegrasyonu ile modelleme geliştirilmiştir. Bu çalışmada geri beslenme ve buharlaşma sonucu yeraltı su akımındaki hareketliliğin modellenmesi amaçlanmıştır. Ortalama su tablası derinliğini MODFLOW sağlarken, yeraltı suyu akım modelinde dikey akım hesapları için paketi MODFLOW programına entegre edilmiştir. Topoloji kombinasyonları, toprak tipi, arazi kullanımı, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak MODFLOW içinde SWAP bölgeleri için su yönetimi uygulamaları türetilmiştir. MODFLOW SWAP paketini iki buyutlu doymuş doymamış bölgelerin geri beslenme hesaplamalarında test

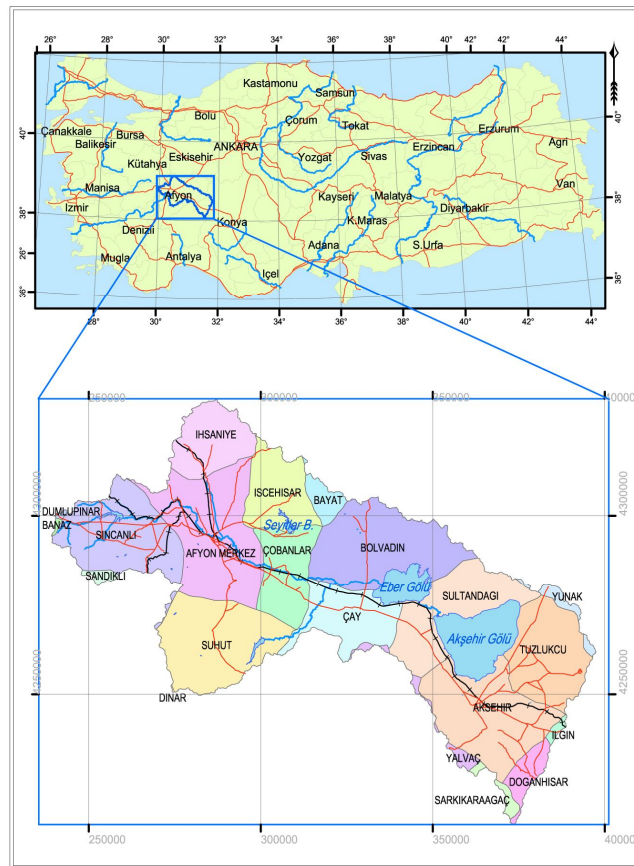
edilmiştir. Sonuç olarak, doymamış bölgede yanal difüzyonun ihmal edilmesi nedeniyle hesaplanan su tablasının simülasyonda daha yüksek olduğunu, erken periyot dışında uyum sağladığı gözlemlenmiştir. MODFLOW SWAP paketini Kuzey Çin üst Sarı Nehir Hetao Sulama Havzasında bölgesel yeraltı suyu akım modeli için kullanarak, programın pratik modellemede uygulanabilirliği onaylanmıştır.

Yihgego Y vd. (2013), Naivasha gölü, Kenya'nın önemli akiferlerinden biridir. Sulama için ve belediye ve yerel su kaynakları için yoğun olarak kullanılmaktadır. Göl, 79 yıllık dönemde (1932-2010) akifer-göl etkileşimi bir kavramsal model geliştirmek için ve bu modeli üç boyutlu bir sayısal model geliştirmek için kullanılmıştır. Dört tabaka kullanılarak üç boyutlu yeraltı suyu akış modeli su tabakası ve göl akifer etkileşim içinde toprak su akışı simüle etmek için kullanılmıştır. Göl hacimli ızgara hücreleri için yüksek hidrolik iletkenlik belirterek simüle edilmiştir. Batimetri içeren 90 m sayısal yükseklik modeli (DEM) yeraltı sisteminde gölün 3boyutlu gösterimi geliştirilmiştir. Kalibrasyon işlemi pilot noktalar ve düzenlenmesine ile bağlantılı olarak PEST kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonlu farklar yeraltı model sonuçları ölçülen ilk veri sonuçları ve izotopik ve hidrokimyasal verileri ile karşılaştırılabilinmiştir. Hesaplanan göl seviyesi hassasiyeti K2 ve K1 hidrolik iletkenlik bulunmuştur.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1 Akarçay Havzasının Tanıtılması

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. Havzanın önemli bir kesimi Afyonkarahisar il sınırları içerisinde olup, doğudan Konya sınırlarına girer. Havza yaklaşık 100 km uzunluğunda, 25 km genişliğinde bir çöküntü havzasıdır. İç Batı Anadolu eşiği 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. (İnt Kyn4)



Resim 3.1 Akarçay havzası yer buldurum haritası (DSİ 2012)

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)

### **3.2 Eber Gölü Konumu ve Oluşumu**

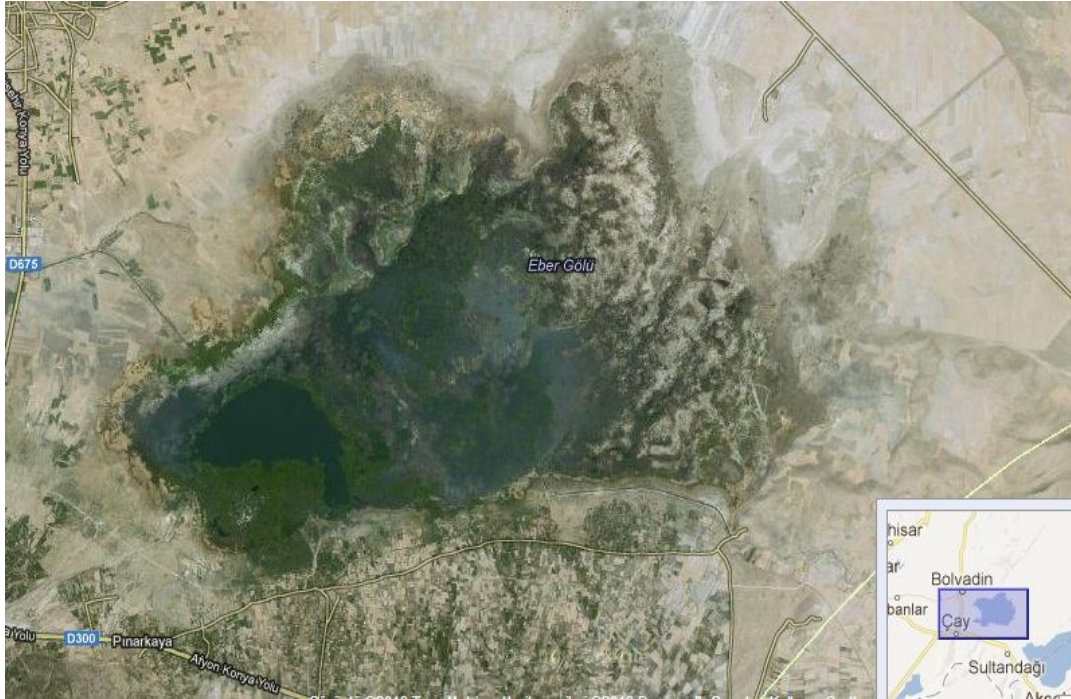
Eber gölü, İç Anadolu Bölgesindeki Akarçay Havzasında, yüzey alanı 125 km<sup>2</sup> bulan, bir tatlı su bataklık olan, kuzeyinde Emir Dağları ve güneyinde Sultan Dağları, denizden 967 metre yükseklikte olan bir çöküntü gölüdür. Bulunduğu Akarçay Havzası, hep sismik olarak aktif olan, kuzeybatı-güneydoğu yönünde ortalama 100 kilometre uzunlukta ve 25 kilometre genişlikte olan çökük alandır. Bir zamanlar çok büyük ve derin olan, son Buzul Çağı (Pleistosen) gölünden geriye kalan, diğer göller gibi artık bir göldür(İnt Kyn 4).

Eber gölü, Akarçay ve Sultandağları'ndan gelen kaynak suları ile beslenmektedir. Bu sebeple yıl içerisinde yüzölçümü farklılık gösterir. En düşük su seviyesi Ekim 1991'de görülmüştür. Göl alanı 62 km<sup>2</sup>'ye kadar düşmüştür. En yüksek su seviyesi ise Mayıs 1969'da görülmüştür. Göl alanı 164,5 km<sup>2</sup>'ye ulaşmıştır(İnt Kyn 4).

Göl eski zamanlarda Akşehir gölü ile büyük tek bir göl halindeydi. Fakat zamanla su kaynaklarının azalması ile Akşehir gölü Eber gölünden ayrılarak ayrı bir göl oluşturdu. Halen Eber gölü bir kanal vasıtasıyla Akşehir gölüne su aktarmaktadır(İnt Kyn 4).

Günümüzde küresel ısınmanın etkisiyle ve özellikle su kaynaklarının bilinçsiz kullanılmasıyla göl küçülmeye başlamıştır. Bu nedenle Akşehir gölüne su aktarılamamış bu da Akşehir gölünün sularının çekilmesine sebep olmuştur. Bu nedenle Türkiye'nin en güzel göllerinden biri olan göl yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır. Bilinçsizce yapılan barajlar ve çiftçilerin sulama amacıyla kullandıkları dalgıç pompa'lar gölün hem yerüstü hem yeraltı sulama kaynaklarını neredeyse sıfıra indirmişlerdir. Bunun neticesinde çevre mühendislikleri çalışma başlatmış ve 2007 sonunda bitecek projeler geliştirmişlerdir(İnt Kyn 4).

Eber gölünü tehdit eden en büyük unsurlar,Afyonkarahisar şehrinin atıkları, Şeker ve Alkoloid Fabrikalarının atıklarıdır. Diğer bir tehdit unsuru da, atıkların Eber gölünde biriktikten sonra gölün arıtma vazifesi görmesi ve bu nedenle de süzülen temiz suyun Akşehir Gölü'ne akıtılmasıdır. Gölün derinliği bugün 1,70 metreye kadar düşmüştür. Önlem alınmadığı takdirde daha da düşeceği bir gerçektir. Gölde ekonomik değeri en yüksek olan kamyş üretimi yapılmakta ve sazan, turna ve aynalı sazan balığı bulunmaktadır. Ayrıca gölün av turizmi içermesi sebebiyle de il dışından birçok kişinin göl kıyısına av evleri yapmasına yol açmıştır(İnt Kyn 4).



**Resim 3.21/200000 Eber gölü yer buldurum haritası ( T.C. Orman ve Su bakanlığı 2013 )**

### 3.3. GMS Programında Yeraltı Suyu Modelleme

Yeraltı suyu Modelleme Sistemi (Groundwater Modeling System (GMS)) yeraltı suyu simülasyonlarını gerçekleştirilmesi için kapsamlı bir kullanıcı ortamı hazırlamıştır. GMS tüm sistem, bir grafiksel kullanıcı arabirimi (GMS programı) ile analiz kodları sayısından (MODFLOW, FEMWATER, vs) oluşur. GMS ara yüzü Provo, Utah Aquaveo, LLC tarafından geliştirilmiştir (İnt Kyn 2).

GMS üç boyutlu karmaşık ve kapsamlı yeraltı suyu modellemesi yapabilme imkanı sağlayan alt programları bünyesinde bulunduran bir bilgisayar programıdır. GMS' de yapılan modelleme bölgenin niteliklerini dikkate alır, modelin geliştirilmesine, kalibrasyon ve görselleştirmeye olanak sağlar. Alt programlar kullanılarak yapılabilecek modelleme türleri aşağıdaki gibidir (İnt Kyn 2).

Göl paketi (Lake package): Bir akifer üzerindeki göl ve rezervuarların etkisi simüle etmek için kullanılan pakettir. Göl paketiyle su bütçesi otomatik olarak hesaplanır. Su bütçesi giren akış, çıkan akış, geri besleme, buharlaşma, vb. durumların fonksiyon halidir. Göl depolama kapasitesini göl geometrisine göre otomatik olarak belirlenir. Gölde su seviyesinde aşırı düşme gerçekleşirse bu hücreleri otomatik olarak kuru alan olarak tanımlar veya su seviyesinde aşırı yükselme gerçekleşirse bu hücreleri otomatik olarak taşkın alan olarak tanımlar (İnt Kyn 2).

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

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



### **3.3.1.Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) Tabanlı Kavramsal Model**

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) : Dünya üzerindeki karmaşık sosyal, ekonomik, çevresel vb. sorunların çözümüne yönelik mekana/konuma dayalı karar verme süreçlerinde kullanıcılara yardımcı olmak üzere, büyük hacimli coğrafi verilerin; toplanması, depolanması, işlenmesi, yönetimi, mekansal analizi, sorgulaması ve sunulması fonksiyonlarını yerine getiren donanım, yazılım, personel, coğrafi veri ve yöntem bütünüdür (İnt Kyn 7).

CBS, genel bir kavram olup; çeşitli kullanım alanlarına ve tematik konulara yönelik olarak geliştirilen CBS uygulamaları vardır. Bu CBS uygulamaları, Kent Bilgi Sistemi, Orman Bilgi Sistemi, Karayolları Bilgi Sistemi, Arazi Bilgi Sistemi, Tapu ve Kadastro Bilgi Sistemi, Lojistik Bilgi Sistemi, İç Güvenlik Bilgi Sistemi, Araç İzleme Bilgi Sistemi, Trafik Bilgi Sistemi, Kampüs Bilgi Sistemi, Deprem Bilgi Sistemi, Harita Bilgi Sistemi, vb. şekilde adlandırılırlar (İnt Kyn 7).

GMS programının en önemli özelliklerinden biri kavramsal modelleme yapabilme özelliğinin olmasıdır. Bu yaklaşım Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) verilerini kullanarak GMS' de bir kavramsal model kurma imkanı sağlar. Kavramsal modelde bir modelin,sınır koşullarını, kaynak ve düden 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 (İnt Kyn 7).

### **3.3.2.Yeraltı Suyu Modelleme Yöntemi**

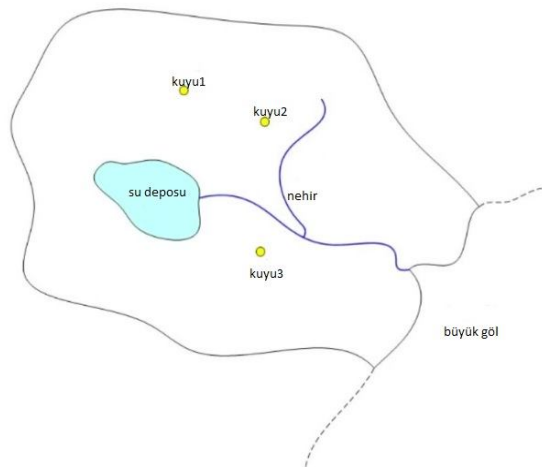
GMS' de bir MODFLOW modeli oluşturabilmek için iki ayrı metot vardır. Bu yöntemler ızgara yaklaşım (grid aproach) modeli ve kavramsal yaklaşımı (conceptual aproach) modelidir.

Izgara yaklaşım modelinde hidrolojik parametre değerleri modeldeki ızgara hücrelerinde doğrudan kullanıcı tarafından atanır. Bu işlem uzun zaman aldığından kapsamlı modellemelerde bu yöntem kullanılmaz.

Kavramsal yaklaşımda ise harita modülündeki özellik nesnelərini kullanarak modelleme yapılır. Modellemedeki ızgara hücrelerine hidrolik parametrelere ait değerler program tarafından otomatik olarak atanır. Kavramsal model yaklaşımı kapsamlı yeraltı suyu modellemeleri için kullanılır.

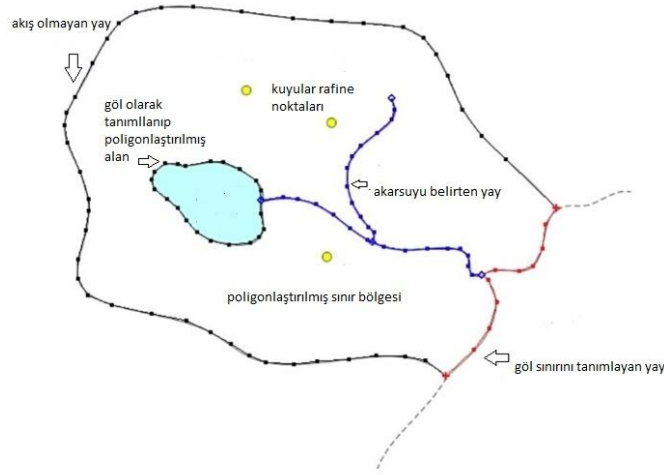
### 3.3.2.1.Kavramsal Model (Conceptual Model)

Eber gölü yeraltı suyu modellemesinde kavramsal model yaklaşımı yöntemi kullanıldığı için, öncelikle kavramsal modelleme tekniğinin daha iyi anlaşılması için kavramsal modelleme hakkında bilgiler verilmiştir. Yeraltı suyu modellemesinin yapılacağı bölgedeki hidrolojik özellikleri ve hidrolik nesnelerin yerlerini içeren bir harita aşağıda verilmiştir. Şekil 3.3 Bu haritada hareketsiz göller, nehirler, temiz su kuyuları ve büyük su gölleri kaynakları içermektedir.



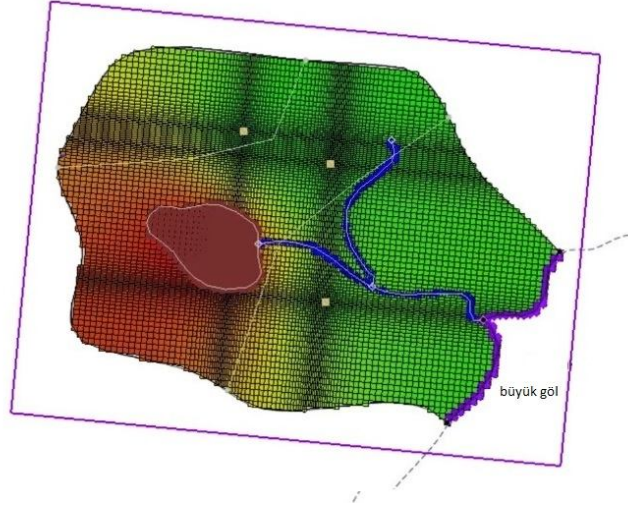
Şekil3.3 Modelleme yapılacak temsili harita (İnt Kyn 2)

GMS programına aktarılan haritanın bulunduğu bölgesinin kavramsal modelini oluşturmak için ilk adım modelleme yapılacağı bölgedeki hidrolik nesnelere temsil edecek noktalar, yaylar ve poligonlar oluşturmaktır. Bu noktalar, yaylar ve poligonların temsil ettiği hidrolojik nesnelere özelliklerine bağlı olarak yükseklik, iletkenlik, iletkenlik vb. parametrelere modellemedeki noktalar, yaylara ve poligonlara atanarak kavramsal model oluşturma işlemi tamamlanmış olur. Şekil 3.4’ de bölgedeki hidrolojik nesnelere kavramsal model yaklaşımıyla programda gösterilmiştir



Şekil 3.4 Kavramsal model (İnt Kyn 2)

Kavramsal model yaklaşımındaki son aşama, kavramsal modeldeki depolanmış bilgileri analiz yapmak için bir ızgara tabanlı sayısal modele dönüştürmektir. Şekil 3.5 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.



Şekil 3.5 Sayısal modele dönüştürülmüş kavramsal model(İnt Kyn 2)

### 3.3.2.2. Programda Kullanılan Hidrolik Terimler

Sınırlar (Boundaries): Modeli yapılacak yerin tüm akış sisteminin nasıl etkileşeceğini belirtmek için sınır tanımlamak gereklidir. Etkin modelin etrafında oluşturulur. Programa bu sınırlar dahilinde hesap yapılması kodlanmış olur. Model sınırları gerçek sınırlar ile eşleşmiş olmalıdır. Tabakalar ve yüzey suları modele sınırlar olarak ifade edilir(Koçak 2013).

Başlangıç Hidrolik Seviyeler: Hidrolik koşullarla ilgili model sınırıdır. Toprağın suyla ayrıldığı akifer bölgelerinde, geri besleme yada dışa akımın olduğu yerlerde arazi kotlarının düşük yada yüksek olan alanların belirtildiği yerlerdir (Koçak 2013).

Sınır Koşulları ve Izgara Ağları: Programda akifer sistemin sınır koşulları iki tür olarak tanımlanır. Akifer sisteminde akarsu, nehir, ırmak, göl gibi alanların olduğu bölgelerde akımın olduğu, bunlar dışında kalan bölgelerde ise akımın olmadığı sınır koşulları olarak tanımlanır. Yeraltı suyu akım denklemi yalnızca aktif olarak modellenen akifer sistemi için kullanılmaktadır. Sabit seviye hidrolik yük olarak modellenen yapıldığı alandaki nehir, ırmak, göl vb. sınırlarda akifer sistemdeki aktif bölgenin su seviyelerine bağlı olarak akiferden beslenen ve akiferi besleyen bir alan olarak tanımlanır ve besleme havzası sınırları dışındaki hücreler aktif olmayan hücreler olarak tanımlanmaktadır. MODFLOW akım

modelinde IBOUND düzeni olarak isimlendirilen sınır şartları girilmesi gerekmektedir. IBOUND düzeninde her bir model ve modeldeki her bir hücrenin modelde sabit yük, aktif veya aktif olmayan hücre olduğunu belirten kotlar içinde bulunduran bir matris vardır. IBOUND düzeninde aktif hücreler pozitif bir değer, sabit seviye hücreler negatif bir değer, akışın olmadığı inaktif hücreler ise sıfır (0) değeri ile tanımlanmaktadır. Sabit seviye hücrelerin aynı benzetim içerisinde başlangıç hidrolik seviyeleri değişmemektedir. Bir akifer ne zaman göl, nehir veya bir rezervuar ile doğrudan bir hidrolik ilişki içinde olursa o zaman sabit seviye sınırları söz konusu olmaktadır (Hökelekli 2010).

**Akış Olmayan Sınırlar (No-Flow Boundaries):** Oluşturulan fiziksel model sınırları üzerinde hiçbir jeolojik ve hidrolojik özelliklerin tanımlanmadığı sınırlardır.

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

**Kaynak ve Düden (Sources & Sinks):** Nehir, kanallar, kuyular ve yüzeyde biriken sular programda kaynak ve düden olarak tanımlanır. Akiferi besleyen yada akiferden çekilen yada sızan su miktarı belirlenerek akiferin kuyu yada verimli olduğu belirlenmiş olacaktır.

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

**Su Kotu Yüksek Bölge (General Head):** Bağımlı akış sınırlarını simüle etmek için kullanılmaktadır. Programda General- Head Boundary Paketi kullanılmaktadır. Bu pakette akış daima su kotu farkı ile orantılıdır. Programda model oluştururken barajlar, göletler, su

birikintileri General Head olarak tanımlanmaktadır. Barajlar, göletler ve birikintileri sabit su kotuna sahiptirler. Su kotu ve iletimlilik değerini tanımlamak paket kullanım için yeterli olacaktır (Koçak 2013).

**Geri Beslenme (Recharge):** Yeraltı su sızma oranı tanımlanmaktadır. Recharge tanımlanırken programın Recharge paketi kullanılmaktadır. Yağışın hesaplandığı formülden yola çıkılarak; yağış, buharlaşma, akım değerlerinden sızma miktarının bulunup tüm alana tanımlanarak programa girilir. Oran olarak tanımladığı için recharge değeri birimi (L/T) m/d'dir.

**Izgara (Grid):** Sonlu farklar modelinde ızgara, dikey ve yatay çizgilerin birleşerek çerçeve oluşturmasıdır. Bu çizgilerle oluşturulan bloklara hücre denir. GMS' de üç tip hücre vardır.

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

## 3.4 UYGULAMA

### 3.4.1 Model Çalışmasında Kullanılan Veriler

Bu çalışmada kullanılan hidrolik ve hidrolojik veriler Tezcan vd., 2002'den alınmıştır. Modelin sınır koşulları ve ızgara ağları oluşturulan akiferin göl, nehir veya bir rezervuar ile doğrudan hidrolik ilişki içinde olduğu sınırlar sabit belirlenmiş seviye (specifield or constant head) sınırları olarak tanımlanmıştır. Modelde Akarçay nehrini temsil eden yaylar ve Eber gölü sınırlarına çizilen yaylar sabit yükseklik olarak tanımlanmıştır. Sabit yükseklik değeri için Akarçay nehri ve Eber gölü su kotu veri olarak kullanılmıştır.

Modelleme bölge sınırları içerisinde yer alan 164 kuyu tanımlanmıştır. Bu kuyulardan çekilen su miktarı (debi ( $Q_p$ )  $m^3/d$ ) ve kuyu numaraları koordinatları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 4.1** Modelde kullanılan kuyular, koordinatları ve debi değerleri

X	Y	DEBİ m³/gün	X	Y	DEBİ m³/gün	X	Y	DEBİ m³/gün	X	Y	DEBİ m³/gün
336237	4271775	-3179	355690	4279720	-2400	330710	4285770	-4100	327110	4273350	-2245
336182	4271559	-2617	355090	4278800	-4100	330800	4285310	-5200	327160	4274280	-4451
336043	4272791	-3378	356290	4283650	-2500	331450	4285360	-1444	327710	4273310	-6321
336631	4272755	-5460	356610	4283230	-5100	331820	4285630	-2363	328360	4274370	-3524
337071	4273341	-5477	357030	4283740	-4012	332700	4285630	-2566	327800	4274740	-2639
336999	4272277	-5054	356660	4283000	-6321	331680	4285030	-1000	327160	4275570	-3410
334876	4272992	-2592	356470	4282630	-3524	330530	4284850	-2550	329230	4274280	-4560
333900	4272664	-3775	351810	4289700	-4560	330200	4284800	-5477	328220	4273810	-4120
334607	4271957	-3309	351900	4289600	-4120	330200	4284390	-5460	328360	4273170	-3900
353239	4278637	-2987	351900	4289280	-2245	330850	4284160	-5054	329650	4273120	-2245
348408	4286794	-4147	351210	4288820	-1563	330570	4283370	-2592	329930	4272800	-1563
339763	4288620	-2419	352690	4288170	-2363	331770	4283830	-3775	330250	4272710	-2363
338902	4288765	-1728	353240	4287890	-2000	331590	4284620	-3309	331450	4272980	-5200
335580	4287385	-1209	351990	4287710	-1250	332370	4284850	-2987	326230	4273400	-2363
341010	4269980	-2256	351580	4287990	-2500	333250	4285260	-4147	326370	4274000	-2566
341420	4270490	-3524	353430	4287250	-3000	333990	4288400	-2419	326560	4274830	-1000
340640	4270580	-1222	353890	4287800	-3410	333850	4288820	-1728	352180	4291450	-2550
339850	4270540	-4752	354210	4287890	-2312	334040	4290020	-2592	351490	4292140	-2500
339710	4270810	-2245	351720	4290390	-6321	335370	4290160	-3775	345760	4289830	-3410
341420	4271040	-1252	350840	4290200	-4120	335100	4290020	-3775	345720	4289330	-2312
342670	4270070	-3410	350190	4289190	-3900	334540	4289560	-3309	346220	4289510	-4560
342810	4270670	-3444	350430	4288590	-1563	332240	4289420	-2987	346410	4290570	-4120
342250	4271410	-2269	354860	4287480	-2400	333850	4290760	-3661	347330	4290620	-1563
343500	4271410	-1009	354860	4285820	-4100	334170	4291130	-2419	355000	4286740	-2245
343820	4269520	-2156	352410	4286050	-2245	334640	4290940	-1728	355600	4285120	-1009
344100	4268410	-4214	352360	4286650	-2500	329370	4283280	-1209	356010	4284710	-2156
340450	4268740	-5477	331270	4287710	-4012	328130	4283830	-2256	357300	4283690	-4214
338050	4270210	-4100	331360	4287250	-3410	327850	4283920	-3524	356330	4280140	-5200
338190	4272060	-1444	332140	4287430	-2312	328030	4283000	-1222	350190	4273350	-1444
346870	4271920	-2363	332140	4287940	-4560	327530	4282950	-2245	350190	4273490	-2363
345350	4271140	-2566	331820	4288170	-6321	329420	4284340	-4451	350660	4273860	-2566
343870	4271780	-1000	331630	4287940	-3900	327990	4284710	-2639	350010	4273170	-1000
344880	4269940	-2500	331820	4287530	-1563	327390	4286000	-4120	343450	4270810	-2500
347700	4272110	-3000	331820	4287020	-2912	334220	4287530	-2245	343500	4270120	-3600
346410	4270810	-2312	331360	4286740	-2400	333110	4287020	-1563	342210	4269200	-4560
352500	4277370	-4560	331680	4286420	-4100	326560	4287340	-1250	341650	4269470	-3410
354030	4277410	-4120	332510	4286370	-2245	326560	4288310	-2500	341700	4268780	-4560
353470	4277690	-3900	333070	4287160	-2500	326830	4289880	-3600	338880	4270540	-4120
351490	4278010	-1563	332970	4287710	-2269	332930	4293020	-2639	341790	4271510	-1563
354580	4279630	-2912	332700	4288170	-1009	333160	4292280	-2256	343080	4271460	-1009
331730	4286510	-4012	333530	4287480	-2156	333850	4292420	-1222	326510	4279950	-2156
326560	4279030	-2245	332600	4286930	-4214	333530	4291820	-4752	326650	4279680	-4214



Modellemede kullanılan yatay hidrolik değeri, tabaka için kullanılan kaynaktan alınan verilerin ortalaması alınarak sabit bir değer girilmiştir. Model için gerekli olan transmisibilite (iletimlilik) değeri de tabaka için ortalama bir değer girilmiştir. Hidrolik iletkenlik (K)(m/d) değeri ile iletimlilik katsayısı T(m<sup>2</sup>/d) değeri 164 kuyu değerinin ortalaması alınarak 7.08m/d hesaplanarak programda kullanılmıştır ( Tezcan vd. 2002).

Modelleme yeraltı suyu akım için 3B ızgara modülünden MODFLOW ve MT3DMS paketleri kullanılmıştır. Modelleme yapılırken arazi kotlarının programa girilmesi gerekmektedir. Modelimiz 1. tabaka (üst), 1. tabaka (alt) olmak üzere tek katman üzerine kurulmuştur. Tek tabakalı bir modelleme işleminde iki tane yükseklik (kot) değeri programa eklenerek, 1.tabakanın üstü çalışma alanımız olan Eber gölü arazi yüzey kotlarını vermektedir. Harita Genel Komutanlığı'ndan alınan 1/25000'lik haritalar CBS programı yardımıyla GMS programına aktarılmıştır. Çalışmamızda kullanılan kot sayısı 1788 adettir. Yükseklik birimi metre(m)'dir.

Modelleme yapılırken gerekli olan değerlerden biri de arazinin geri besleme oranı (Recharge rate)'dir. Bu değer oran olduğu için toplam sızma değerinin alana oranını program için kullanmamız gereken değerdir. Eber gölü ve çevresi için toplam alanı 164,5 km<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

Sızma değeri;

$$S=Y-B-A \quad (4.1)$$

Eşitliği ile bulunabilir. Burada yağış, buharlaşma ve akış değerleri Meteoroloji verilerine göre sırasıyla

$$Y=(36,68)1000) \times 164500000 = 6033860 \text{ mm/ay}$$

$$B=(5,13 /1000) \times 164500000 = 843885 \text{ mm/ay}$$

$$A=2,12 \times 191056=405040 \text{ m}^3/\text{sn}$$

$$S= (6033860 )-( 843885 ) - (405040 \text{ m}^3/\text{ay})$$

$$S= (4784935 ) / 30 / 164500000 = 0,0009695 \approx 0,001 \text{ m/gün olarak bulunur.}$$

## 3.4.2. Veri Giriş ve Eber Gölü Yeraltı Suyu Modellemesi

### 3.4.2.1.Arka Plan Resmi Aktarma

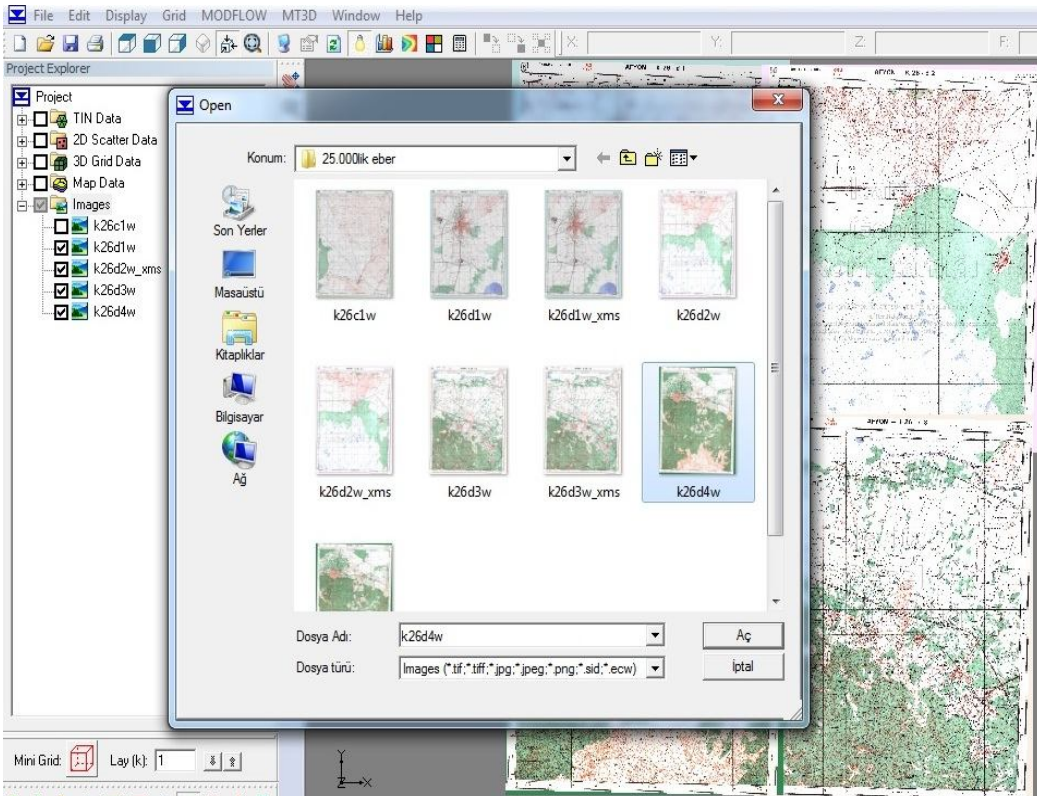
Modellemeyi başlarken yapılması gereken ilk şey kullanılacak haritanın programa aktarılmasıdır. Bu işlemi gerçekleştirmek için ;

-Program çalıştırılır.

-Open (aç) butonu seçilir.

- Pafta numaraları k26c1, k26d1, k26d2, k26d3, k26d4 olan haritalar kayıtlı olduğu dosyadan seçilir ve Aç butonu ile programa aktarılır.

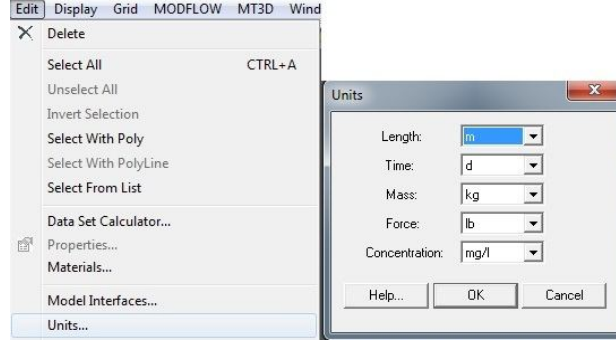
Modelde kullanılacak harita programa aktarıldıktan haritanın “dem” uzantılı (Digital Elevation Model) dosyası açılır ve dosyası Save As komutuyla Ebergolu.gpr olarak kaydedilir.



Resim3.3 Arka plan haritasının paftalarını programa aktarma

### 3.4.2.2. Birim Tanımlamak

Birimleri tanımlamak için menü çubuğundan Edit/Units komutu seçilir. Açılan pencereden uzunluk (length) değeri metre (m), zaman (time) değeri gün (d), kütle (mass) değeri kilogram(kg) olarak değiştirilmiş diğer değerlerde değişiklik yapılmamıştır.



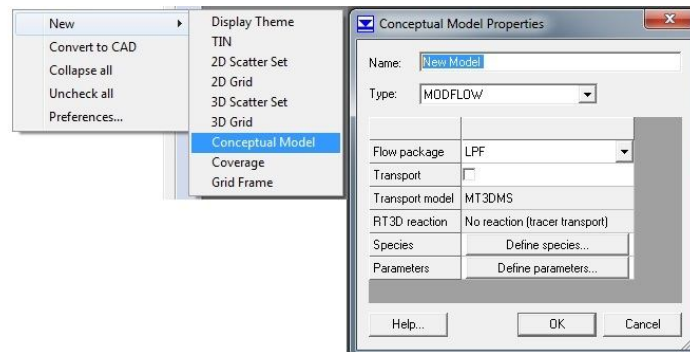
Resim3.4 Birimleri tanımlama

### 3.4.2.3.Sınırları Tanımlama

#### 3.4.2.3.1.Kapsam oluşturma

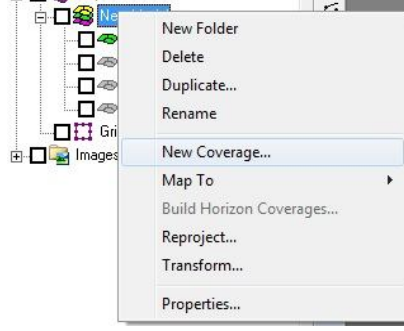
Bu işlemi yaparken izlenen yollar şunlardır:

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



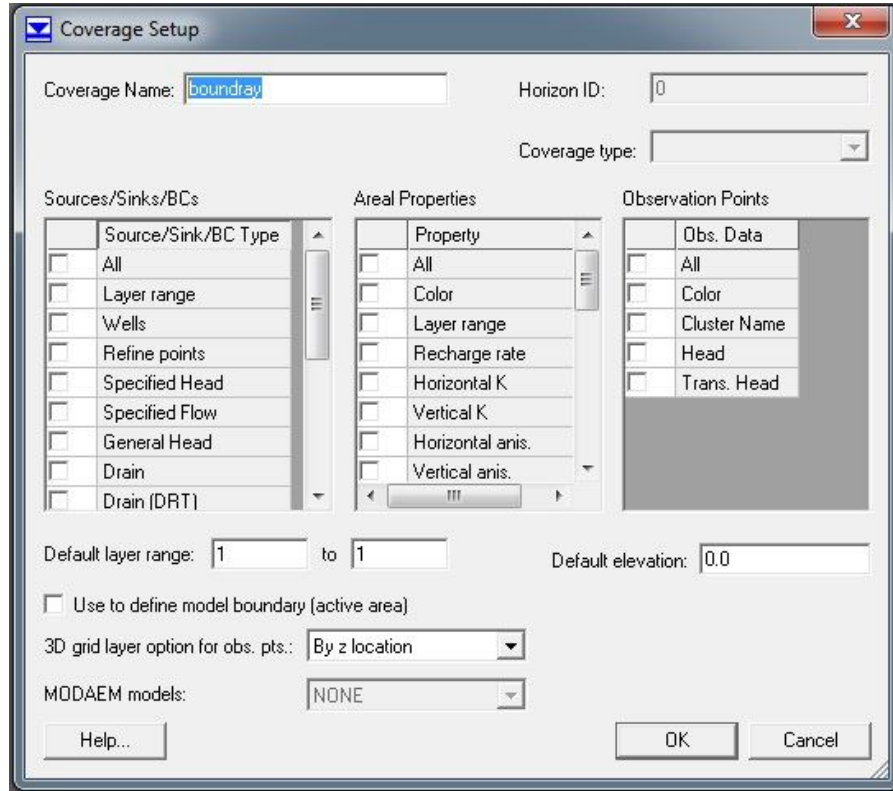
Resim3.5 Kavramsal model oluşturma özellikleri

Project Explorer sayfasında oluşan kavramsal model üzerinden sağ tık yapılarak açılan pencereden New Coverage seçilir.



**Resim3.6** Kapsam tanımlama



- Yeni kapsam oluşturma komutunu seçtikten sonra açılan Coverage Setup penceresinden Coverage Name kısmı Boundary, default elevation değeri 0, Default layer range kısmı 1 to 1 olarak tanımlanır.

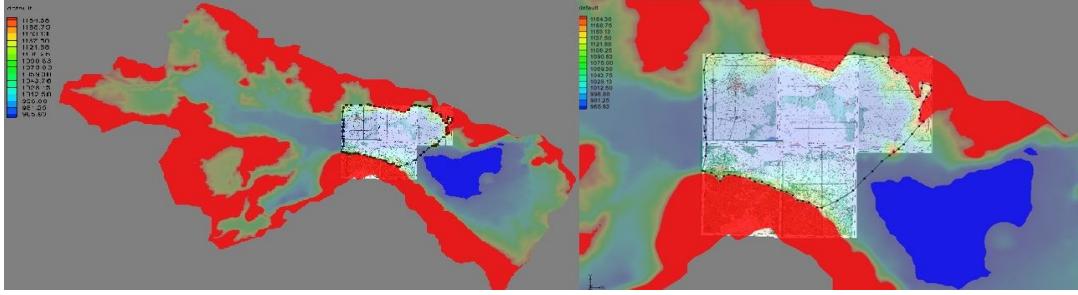


**Resim3.7** Sınır kapsamı özellikleri

### 3.4.2.3.2 Yay oluşturma

Bu işlemi yaparken izlenecek yollar şunlardır.

-Araç paketinden Create Arc (yay oluştur)  komutu seçilir. Arazinin sınırları çizilir. Çizilmeye başlanılan nokta ile biten nokta aynı yerde kesişince arazi sınırları tamamlanmış olur ve çizilen yaylar Select Arc (yay seç)  komutunu kullanarak yay seçilir. Menü çubuğundan Feature Object menüsünden Build polygons komutu seçilmesiyle sınırlarımız artık poligon şeklindedir. Harita genel komutanlığından



alınan  
1/25  
000'l  
ik  
harit

ada Eber gölüne ait olan pafta sınırı çalışma sınırimız olarak belirlenmiştir. Göl çevresi için çalışma sınırı üst ve alt sınır için Emirdağ ve Sultandağı etekleri, gölün sağ taraf sınırı için Bolvadin ve Çay ilçelerinin sınırı, sol taraf sınırı için Üçkuyu kasaba sınırı ve Eber gölü Akşehir gölü arası orta kısımdan sınırlar çizilmiştir. Sınır içinde kalan arazi 950 ile 1200 metre arasındadır.

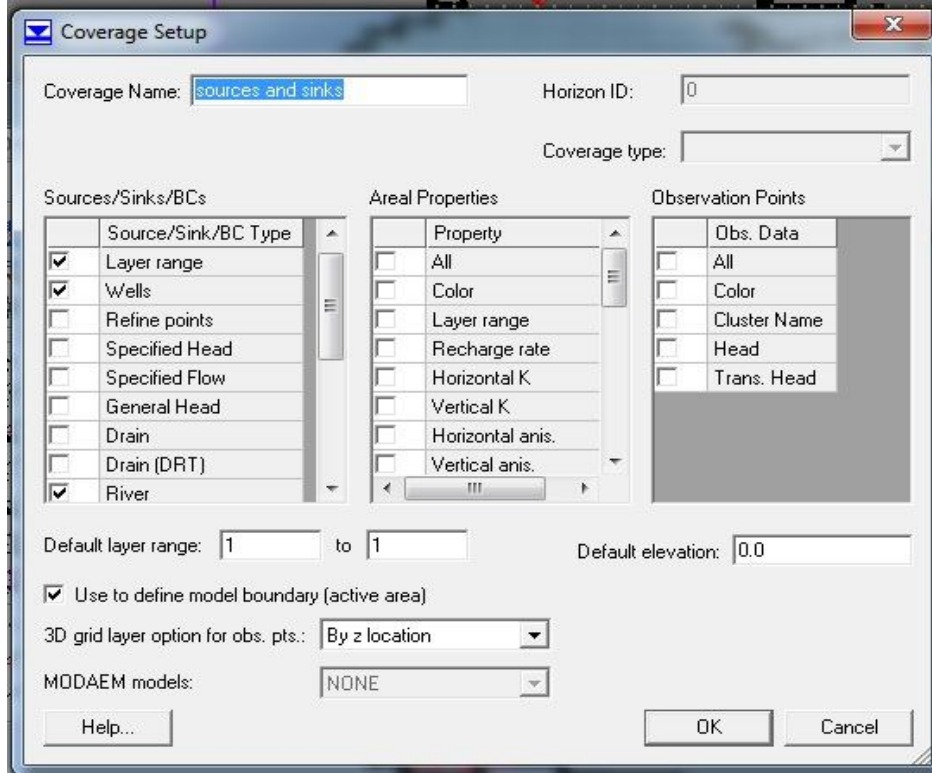
**Resim3.8**Arazi sınırının belirlenmesi

#### 3.4.2.4.Kaynak ve Düden (Sources and Sinks) Kapsamı Oluşturma

Bu işlemi yaparken izlenecek yollar şunlardır.

- Project Explorer sayfasından önceden oluşturduğumuz Boundray kapsamı üzerinde sağ tıklanarak açılan pencereden Duplicate(kopyala) komutu seçilir. Kopyalanan kapsama ismi Sources and Sinks (Kaynak ve düden) olarak değiştirilir.
- Sources and Sinks kapsamı üzerine gelip sağ tık yapıldığında açılan pencereden New Coverage (yeni kapsam) komutu seçildikten sonra Coverage Setup sayfası açılır.
- Coverage Setup sayfasından Sources/Sinks/BCs başlığının altındaki listeden
  - Wells (Havzadaki kuyular
  - Layer range ( Tabaka Aralığı)

-River (Nehir) işaretlenir Ok tuşuna basılarak işlem tamamlanır.



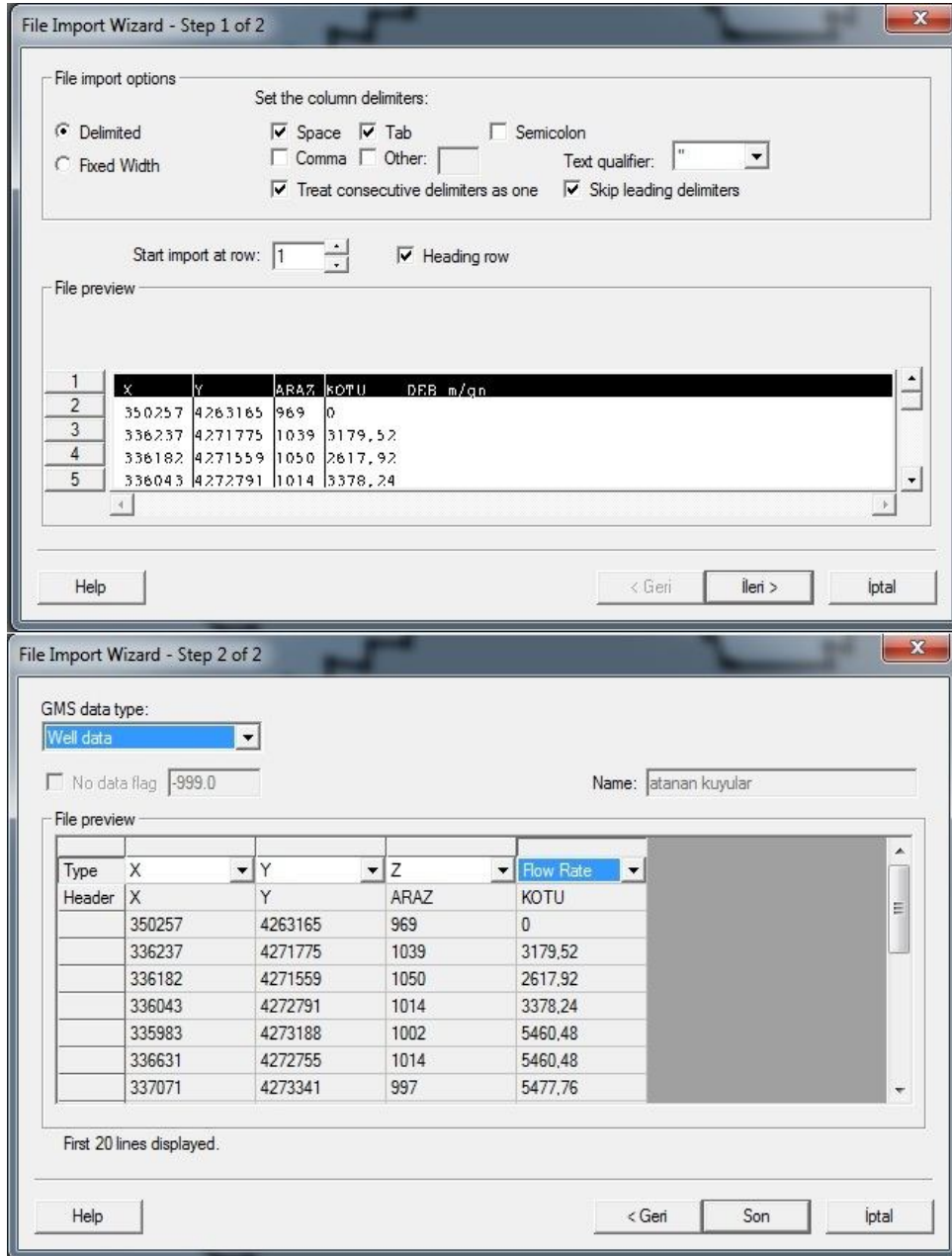
Resim 3.9 Kaynak ve düden kapsamının oluşturulması

### 3.4.2.4.1. Kuyu Tanımlama

Kuyu tanımlama işlemi Sources and Sinks (kaynak ve düden) kapsamını oluştururken yapılacak işlemdir. Bu işlem için kuyuların koordinatları ile debi değerlerinin bulunduğu bir metin belgesi (Text File) oluşturulmalıdır.


- Kuyu koordinat ve debi değerleri bir Excel dosyasına toplanarak metin dosyasına çevrilmiştir.
- Çalışma ekranından Open (Aç) komutu seçilmiştir.
- Açılan pencereden değerlerin bulunduğu metin dosyası seçilerek programa çağrılmıştır.
- Programa verilerin aktarılması için File Import Wizard penceresi açılmıştır.
- Açılan ilk adım penceresinden Heading Row (Satır başlığı) kısmı işaretlenerek verilerimizin başlıkları belirtilmiş olmaktadır. İleri tuşu ile devam edilmektedir.

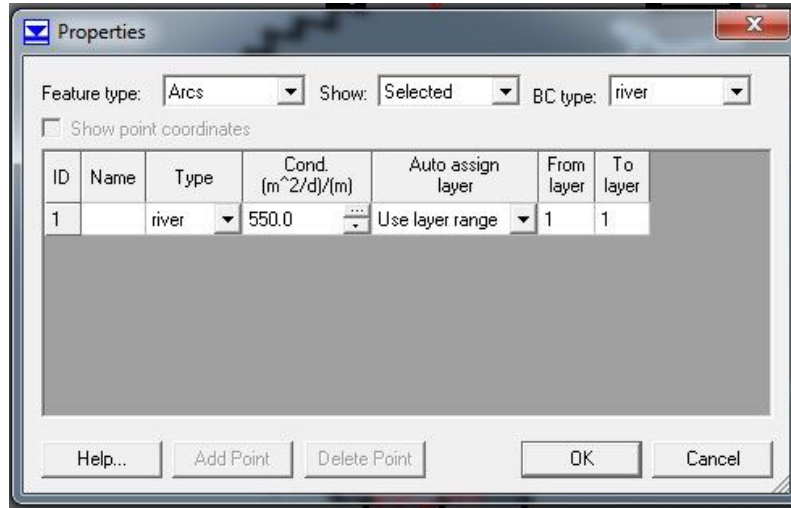
- Açılan ikinci adım penceresinden GMS data type başlığı altında açılabilir başlıklar kutusundan Well Data (kuyu verisi) seçilir. Pencerenin alt kısmında bulunan File Preview (dosya önizleme) kısmında bulunan type kısmından en sonda bulunan data set açılabilir başlıklar kutusundan Flow Rate ( akış hızı) seçilmiştir. Son tuşuna basılarak bütün kuyu değerleri programa aktarılmış olmaktadır.



Resim 3.10 Kuyu verilerinin programa aktarma

### 3.4.2.4.2Nehir Tanımlama

- Project Explorer da “Sources and Sinks” aktifken yay seç simgesine  tıklanır.
- Harita üzerinde nehir olarak tanımlanacak yer yayla işaretlenir.
- İşaretlenen yayın üzerine gelinip sağ tıklanır açılan pencereden “Attribute Table” (özellik tablosu) tıklanır.
- Açılan “ Properties” penceresinden “type” kısmı “river” (nehir) seçilir.
- İletimlilik değeri kısmına 550 m/gün değeri yazılır. (Tezcan vd. 2002)
- Ok denir böylelikle nehir tanımlama işlemi sonuçlanmış olur.
- 



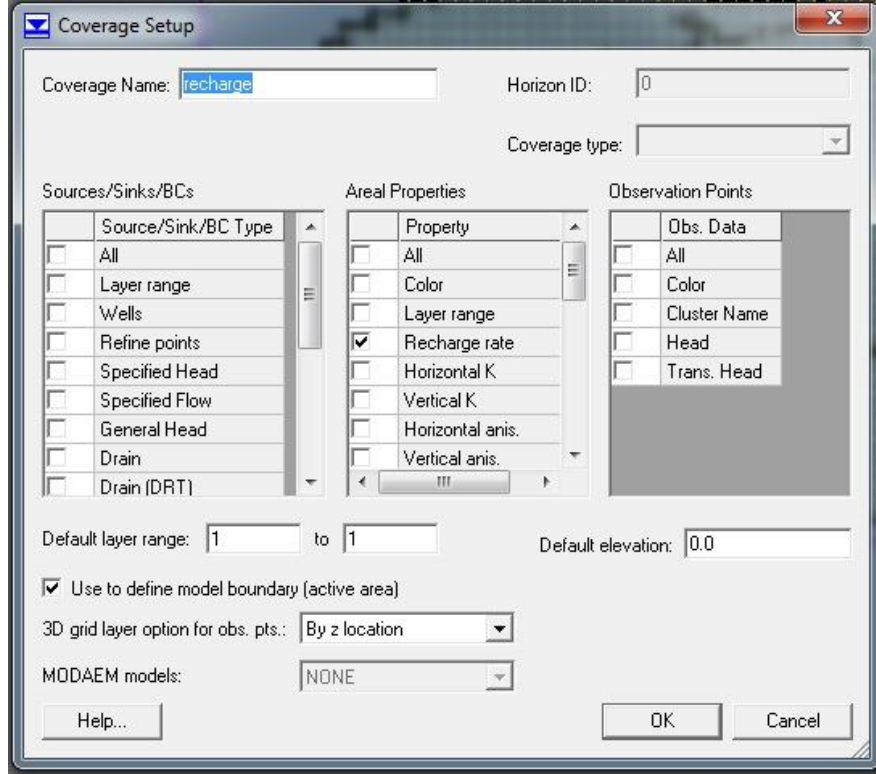
Resim3.11 Nehrin tanımlanması

### 3.4.2.5.Geri Besleme (Recharge) Kapsamı Tanımlama

- Bu kapsamı tanımlama “Project Explorer” penceresinden bulunan “Boundray” kapsamını kopyalayarak başlayacağız. Kopyalanan kapsamın ismini “Recharge” olarak değiştirilir. “Recharge” kapsamının üzerine çift tıkladığında “Coverage Setup” penceresi açılacaktır.



- “Coverage Setup” penceresinden “Areal Properties” başlığı altındaki listeden “Recharge rate” (Geri besleme oranı) seçilir. Penceresi kapatıldıktan sonra “Recharge” kapsamının genel özellikleri belirtilmiş olur.




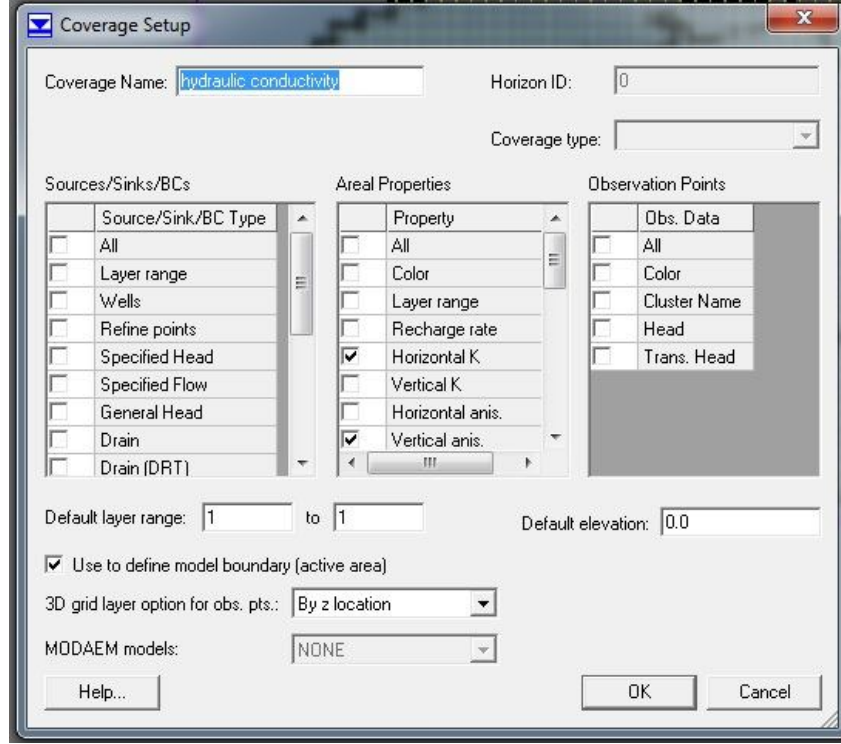
**Resim 3.12** Recharge kapsamının özelliklerinin belirlenmesi

- Arazi üzerindeki “Recharge” bölgelerini belirginleştirmek için yaylarla etrafını çizmek gerekir.
- Çizilen yaylar “Select Arc” komutuyla seçilerek poligona dönüştürülmüştür. Bu işlem için “Feature Object” menüsünden “Build Polygons” komutu kullanılır.
- Araçlar paletinden “Select Polygons” komutunu kullanarak yaylardan oluşturulan poligonlar seçilir.
- Seçilen poligonların özelliklerinin girilmesi için üzerine çift tıklanılır. Açılan özellikler penceresinden “Recharge rate” değeri girilir.
- Arazi üzerinde bir yere gelip çift tıklanarak arazinin geri beslenme oranı (recharge rate) girilerek “Recharge” kapsamının tüm özellikleri tanımlanmış olmaktadır.

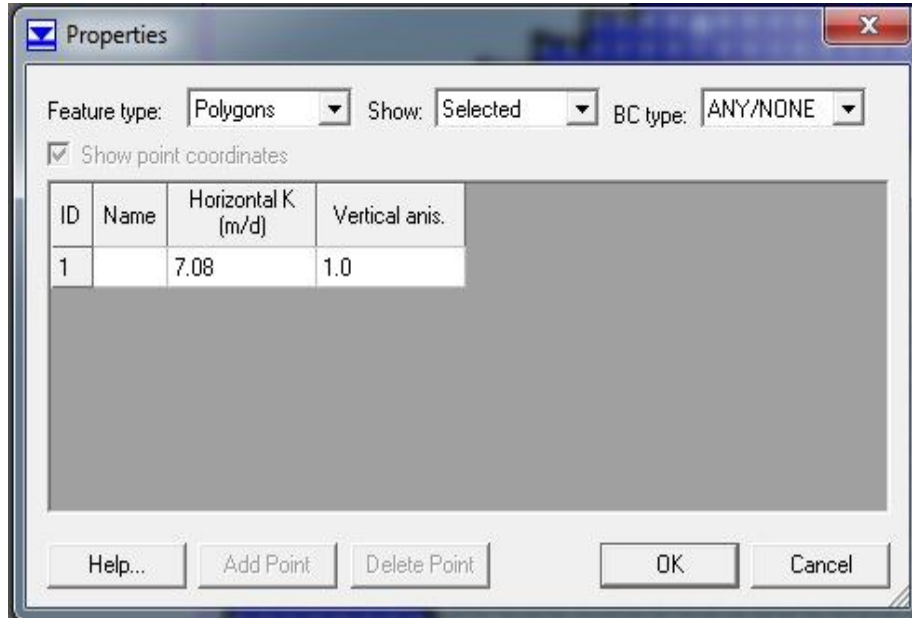
### 3.4.2.6 Hidrolik İletkenlik Tanımlanması

Burada tanımlanacak olan hidrolik iletkenlik değerleri arazinin zemin özelliklerine göre belirlenmiştir.

- İlk olarak “Boundray” kapsamı “duplicate” komutunu kullanarak kopyalanmıştır. Kopyalanan kapsamın ismi “Hydraulic Conductivity” olarak değiştirilmiştir.
- “Hydraulic Conductivity” kapsamına sağa tıklanarak açılan “Setup” penceresinden “Areal Properties” listesinden “Horizontal K” ve “Vertical Anisotropy” işaretlenmiştir.
- “Layer range” kısmında ise sadece tek tabakayı belirttiğimiz için tabaka aralık değeri 1 olarak kalmıştır.
- “Hydraulic Conductivity” aktif edilir. “Feature object” menüsünden “Build Polygons” komutu seçilerek tabaka poligonlaştırılır. Araçlar paletinden poligon seç  komutu kullanılarak arazi üzerindeki herhangi bir yere çift tıklandığında aşağıda görülen pencere açılır.
- Eber gölü çevresi “Horizonral K” (yatay k) değeri 7.08 m/d olarak “Vertical Anisotropy” (dikey anizotropluk) değeri tek tabakada aynı özelliği gösterdiği için 1 olarak girilmiştir. (Tezcan vd.2002)




Resim 3.13 Hidrolik değerleri tanımlamak için kapsam oluşma penceresi

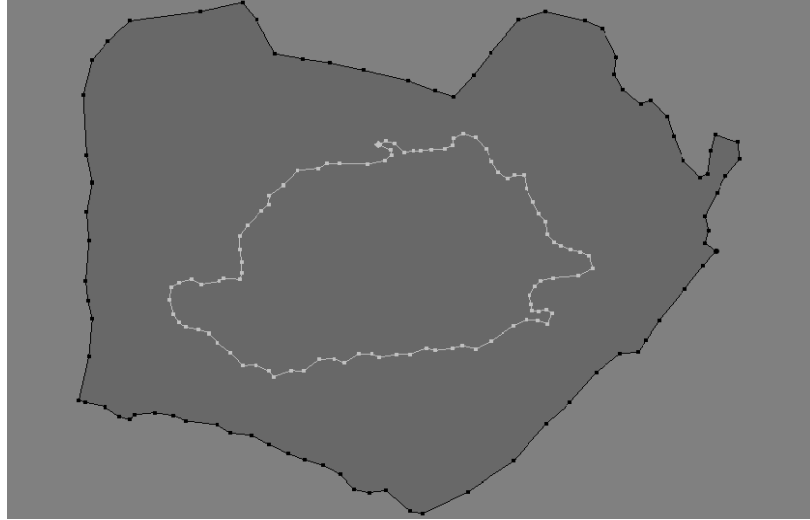


Resim3.14 Tabakaların hidrolik özelliklerinin tanımlandığı özellik penceresi


### 3.4.2.7 Gölün Kapsamının Oluşturulması

Bu işlemi yaparken izlenecek yollar şunlardır.

- Project Explorer sayfasından önceden oluşturduğumuz “Boundray” kapsamı üzerinde sağ tıklanarak açılan pencereden “Dublicate” (kopyala) komutu seçilir. Kopyalanan kapsama ismi Lake (göl) olarak değiştirilir.
- Göl kapsamı üzerine gelip sağ tık yapıldığında açılan pencereden “New Coverage” (yeni kapsam) komutu seçildikten sonra “Coverage Setup” sayfası açılır.
- “Coverage Setup” sayfasından “Sources/Sinks/BCs” başlığının altındaki listeden lake (göl) seçeneğini seçip ok butonuna basılır.
- Harita üzerinde göl olan kısım yay seç  simgesiyle işaretlenir.
- İşaretlenen kısım “Feature Objects” menüsündeki “Build Polygon” tıklanarak poligonlaştırılır.



**Resim 3.15** Göl sınırının oluşturulması

- Poligon seç simgesi işaretlenir 
- Haritada göl olarak poligonlaştırılan alana gidilerek çift tıklanır.
- Açılan pencereden göl ile ilgili Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınıp istenilen birimlere çevrilen veriler girilir.

Run Off (Akış) : Akarçay Havzasının yüzey akış debisi 164,2 m<sup>3</sup>/gün (Devlet Su İşleri Müdürlüğü 2012)

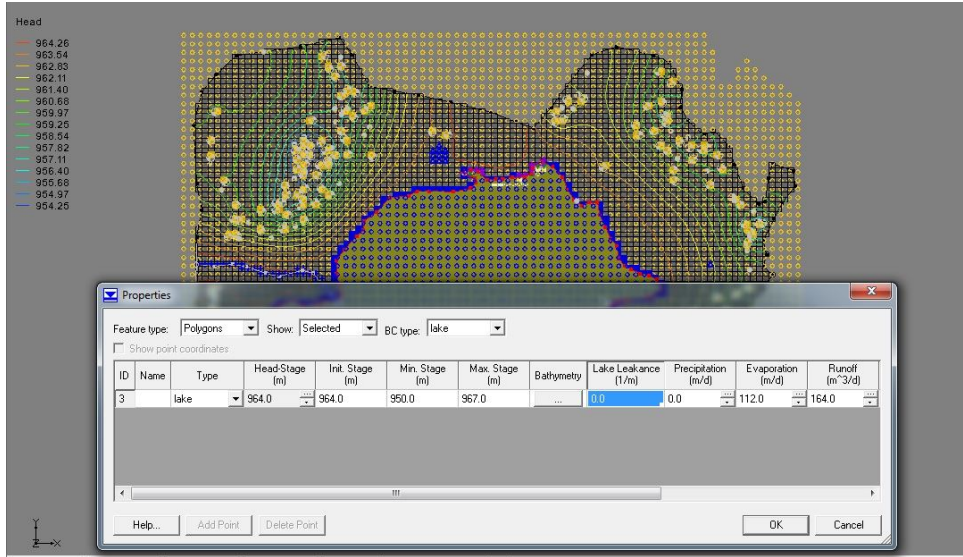
Precipitation (Yağış) : Yıllık ortalama yağışı 0,0037 m/gün (Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2011)

Evaporation (Buharlaşma): Yıllık ortalama buharlaşma 112,5 m/gün (Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2011)

Leakance (Sızma): Çalışma bölgesinde yağıştan yeraltına sızan su miktarı

$$112,5+164,2-0,0037= 276,7 \text{ m/gün}$$

Çalışma tek tabaka olduğundan “Lake leakance” değerinin girilmesine gerek yoktur.



Resim 3.16 Göl ile ilgili verilerin girişi

- Gölün batimetri kısmında CBS programından alınıp GMS programına uygulama dem uzantılı 3 boyutlu Akarçay Havzasının tin haritasının verisi girilir. Göl kapsamı oluşturulur.

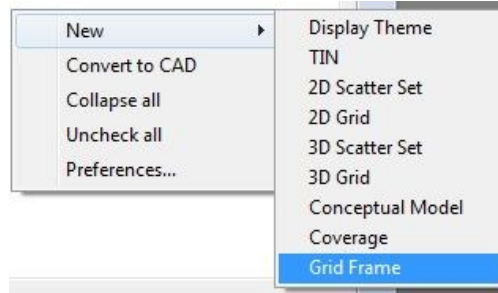


**Resim3.17** Göl batimetresinin tanımlanması

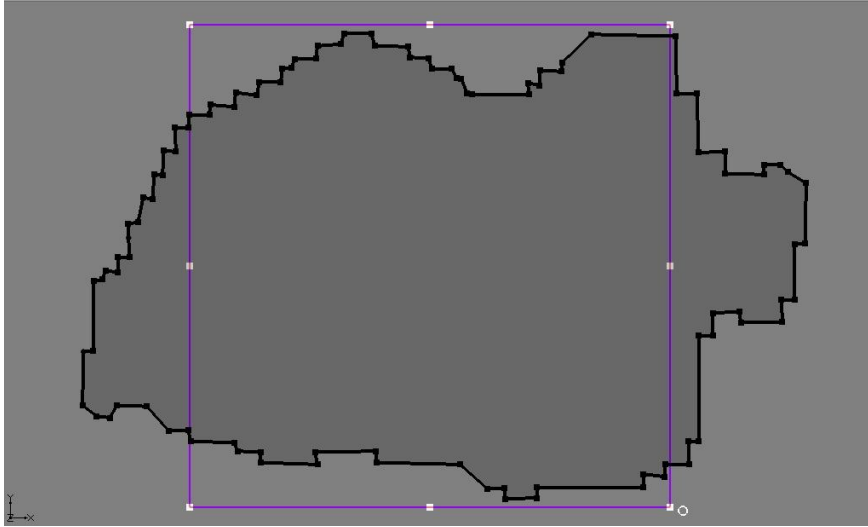
### 3.4.2.8 Grid Frame (Izgara Çerçevesi ) Oluşturma

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

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

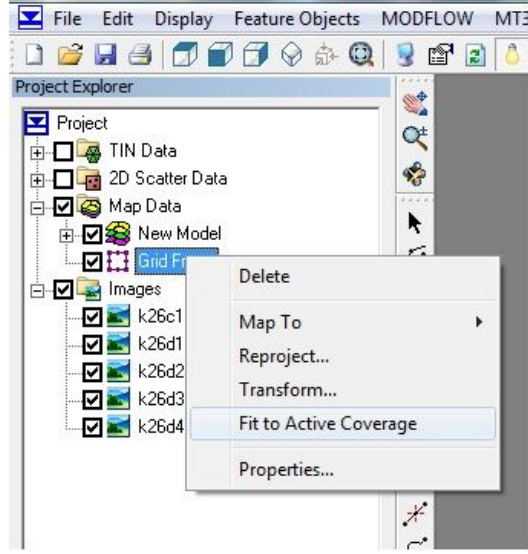


**Resim 3.18** Izgara çerçevesi oluşturma

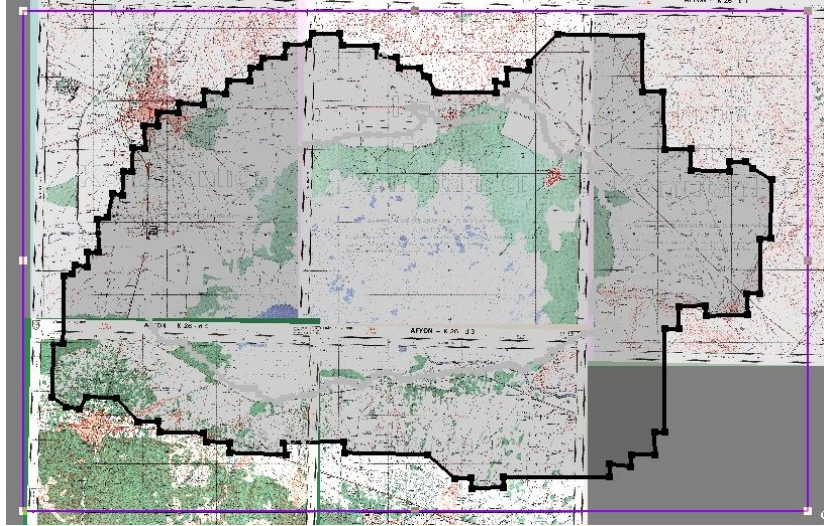


**Resim3.19** Izgara çerçevesinin model sınırlarını kapsamdan önceki görünümü

- Bu işlemden sonra “Project Explorer” da “Grid Frame” sekmesi oluşur. Çalışan alan üzerine atanan çerçeve ilk etapta çalışma alanını içine almayacaktır. Çerçeveyi alanımızın sınırları dışına atmak için “Project Explorer” da oluşan “Grid Frame” sekmesinin üzerine gelip sağ tuş yapıldığında açılan pencereden “Fit to Active Coverage” komutu seçilir. Bu işlem sonunda ızgara çerçevesi çalışma alanımızı içine almıştır.



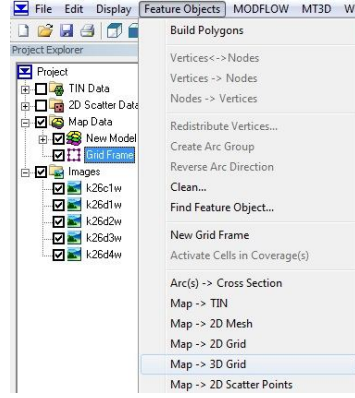
Resim3.20 Izgara çerçevesinin daraltma işlemi aşaması



Resim3.21 Daraltma işleminden sonraki Grid görüntüsü

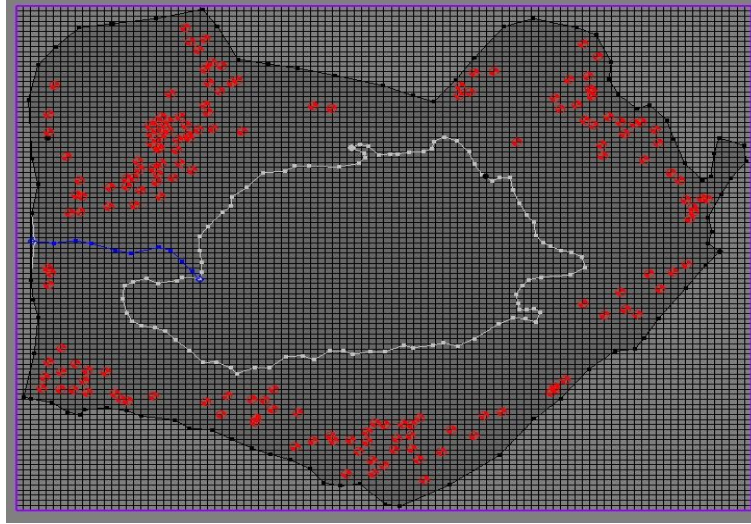
### 3.4.2.9 Grid Oluşturma

Menu çubuğundan “Feature Object” sekmesinden “Map>3D grid” komutu seçilir. Açılan sonlu farklar ızgara oluştur penceresinden X ekseninin hücre sayısı 100 Y ekseninin hücre sayısı 100 ve Z eksenindeki hücre sayısı 1 olarak değiştirilir. Aynı işlem “Grid Frame” dosyası üzerinde sağ tuş yapılıncı açılan pencereden “Map” komutunu ardından tekrar açılan pencereden “3D grid” komutunu seçerek de yapılmaktadır.



**Resim 3.22** Üç boyutlu ızgara oluşturma

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



**Resim3.23** Grid Frame sınırları içerisinde oluşturulan üç boyutlu ızgara görünümü

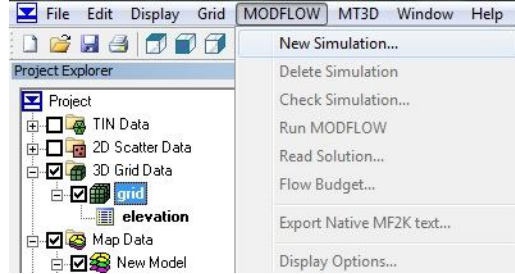
Resim 4.21’de görülen kırmızı yuvarlak şekilleri kuyuları, mavi yay şekli nehri, beyaz yay ile sınırlanmış alan gölü ve siyah yay ile sınırlanmış alan ise çalışmanın sınırlarını göstermektedir.

### 3.4.2.10 MODFLOW Verilerinin Başlatma

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

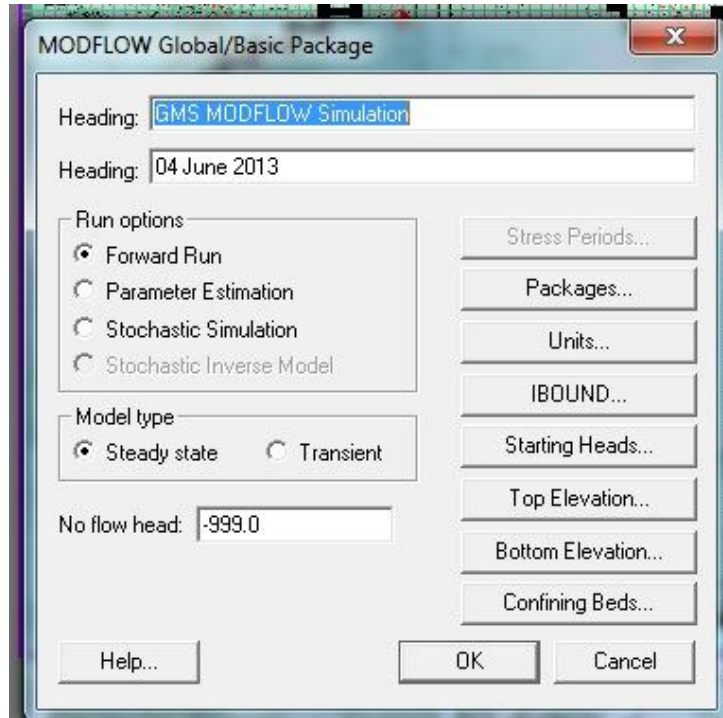


- “Project Explorer” da “3D grid Data” sekmesi altında bulunan “grid” seçilir.
- Araç çubuğundan “MODFLOW” menüsü tıklanır.
- Açılan pencereden “New Simulation” komutu seçilir.



**Resim 3.24** MODFLOW Yeni Simülasyon tanımlama


Bu işlem yapıldıktan sonra “MODFLOW global/basic package” penceresi açılır. Açılan pencerede model tipi kararlı durum (Steady state) seçilerek Ok butonuna basılır. Bu işlemden sonra “MODFLOW” verileri “Project Explorer” da bulunan “3D Grid Data” sekmesi altında sıralanmış olur.

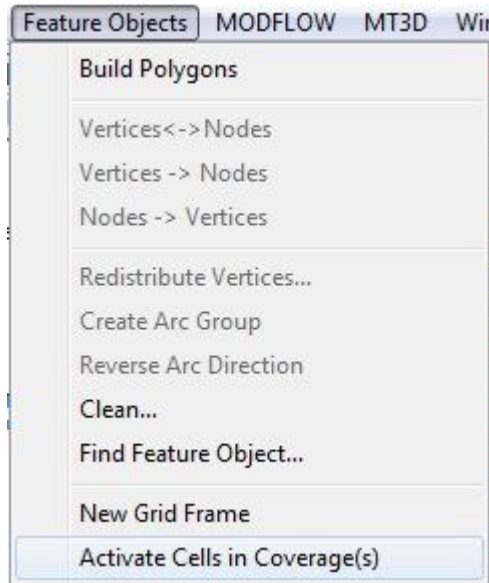


**Resim 3.25** MODFLOW Temel paket penceresi

### 3.4.2.11. Aktif / Aktif Olmayan Bölge Tanımlama

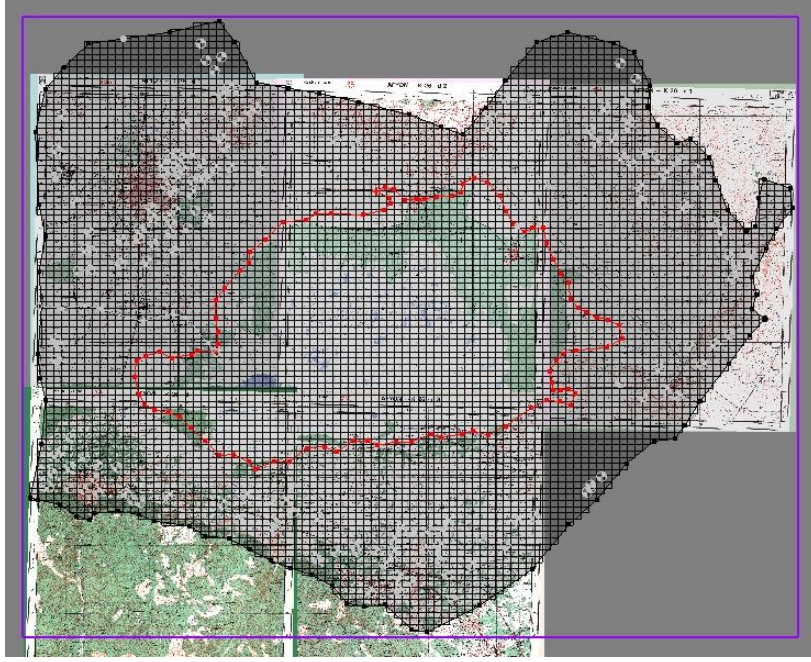
Izgara oluşturulup simülasyon başlatıldıktan sonra modelimizin simülasyon için kullanılacak bölgeyi seçmemiz gerekmektedir. Model sınırlarımızın içinde kalan bölgeler aktif, dışında kalan bölgeler ise aktif olmayan bölgelerdir. Bu bölgeleri ayırmak için yapılacak işlem sırası şöyledir.

- Project Explorer sayfasında “Sources and Sinks” katmanı aktif olacak şekilde “Map data” sekmesi seçilir.
- Araçlar paletinden poligon seç komutu  seçilir.
- Arazi üzerinde herhangi bir poligon seçilir
- Menü çubuğundan “Feature Object /Active Cells in Coverage” komutu seçilir.



**Resim 3.26** Aktif/ Aktif olmayan bölge tanımlama

Bu işlemler yapıldıktan sonra modelimizin aktif olmayan bölgeler silinip, aktif bölgeler tanımlanmış olur.

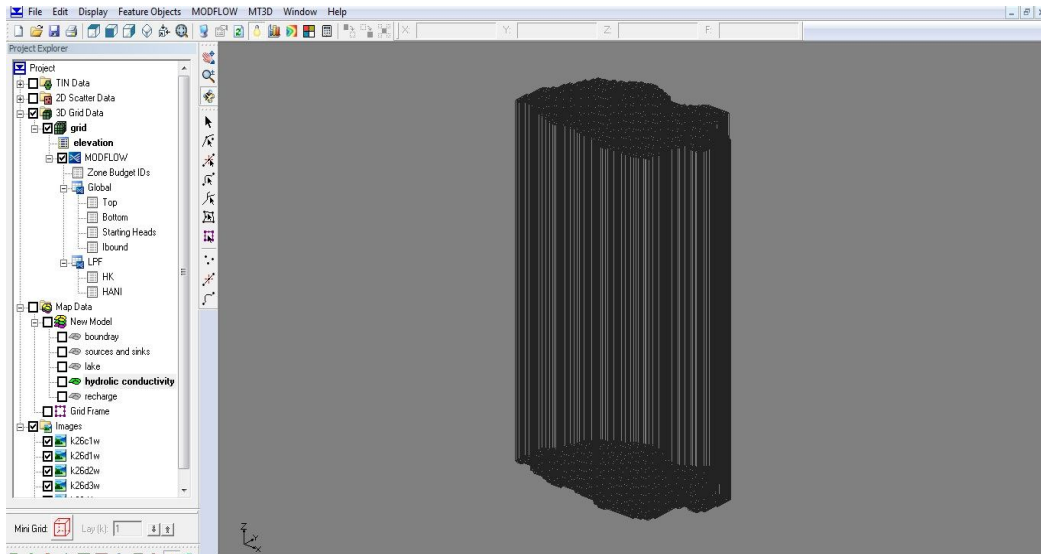


Resim3.27 Modelimizdeki Aktif Bölgeler

### 3.4.2.12.Tabaka Yüksekliği İnterpolasyonu

#### 3.4.2.12.1.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 görünüme sahip olur.



Resim 3.28 Arazi yükseklikleri eklenmeden önceki haliyle görünümü

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

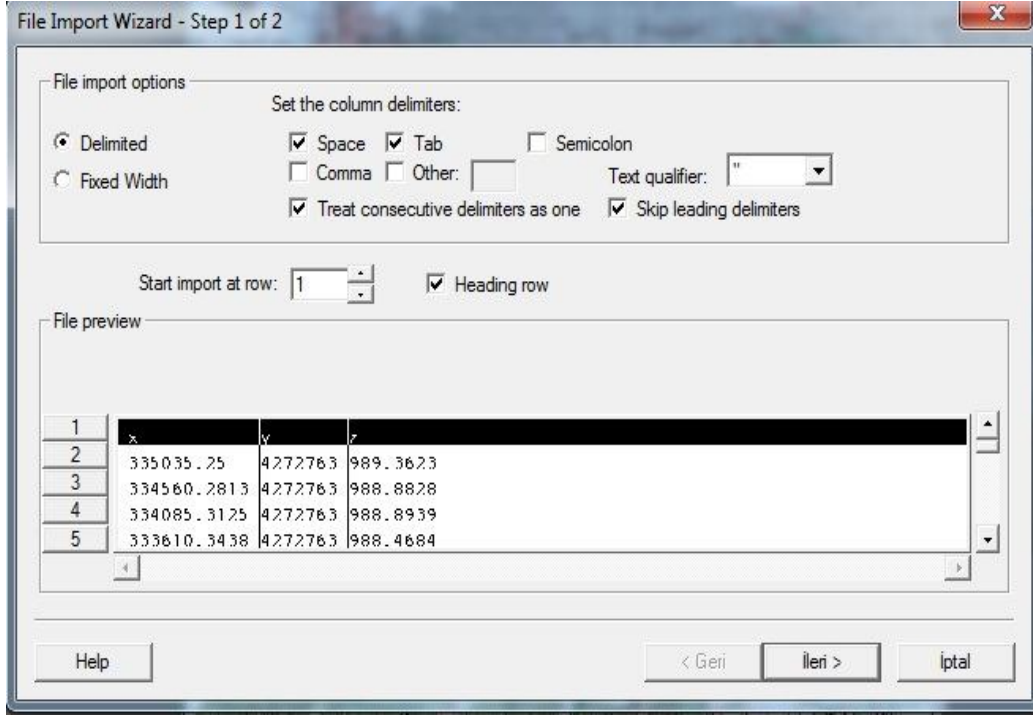
Katman yükseklikleri tanımlamanın bir yolu Excell programında hazırlanmış saçılma noktaları (Scatter Points) çizelgesini dosya formatını değiştirerek programa aktararak katman yüksekliklerini otomatik olarak tabakalara eklemektir.

Eber gölündeki modellemede aktaracağımız katman yükseklikleri için üst yani tabakanın üst noktası için Eber gölü zemin yüzeyi topoğrafik kotları kullanılmıştır.

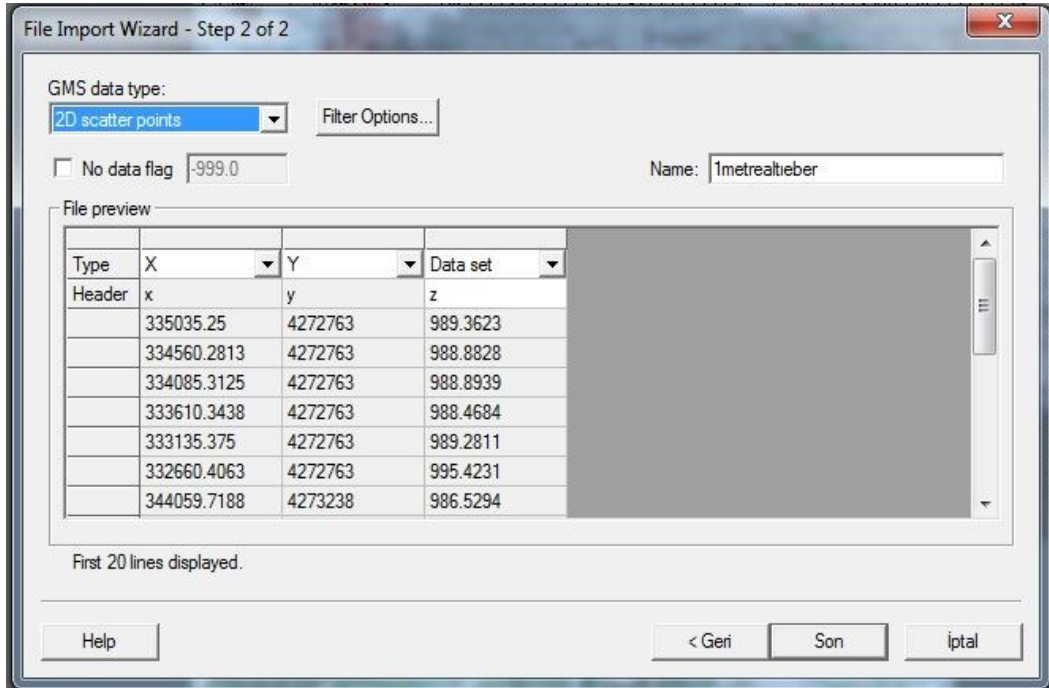
Tabakanın dip yükseklik değeri için “3D Grid Data” klasörünün alt sekmelerinde belirtilen “MODFLOW” verisinden olan “Bottom” sekmesine sabit bir değer girilmiştir. Bu çalışmada GMS programı 0 ile 650 arası değerler arasında iterasyon hatası vermemiştir. Bu sebeple girilen bottom sabit değeri bu değerler arasından 600 seçilip girilmiştir.

Excell programında oluşturulan çizelgeler Farklı Kaydet seçeneğini kullanarak Metin ( Sekmeyle ayrılmış) dosyasına dönüştürülmüştür. Metin formatındaki bu çizelgeler programa ithal edilmek için aşağıdaki işlemler yapılmıştır.

- “Open” (Aç) komutuyla seçilerek metin (text) dosyalarının kayıtlı olduğu klasörden programa Aç butonuyla çağırılmıştır.
- Bu işlemten sonra programa otomatik olarak “File Import Wizard” (dosya ithal etme sihirbazı) penceresi açılmıştır. Bu penceredeki işlemler Resim 4.27 ve Resim 4.28’de gösterilmektedir.



**Resim3.29** Saçılma noktalarını ithal etme ilk adım sayfası



**Resim 3.30** Saçılma noktaları ithal etme ikinci adım sayfası

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

Arazi kotlarını programa aktarmış olduk. “2D Scatter Data” verileri harita üzerinde saçılmış olarak görülmektedir. “2D Scatter Data” sekmesini işaretleyip “Display Options” menüsünden bu noktaların renginde görünüşünde değişiklikler yapılabilmektedir.

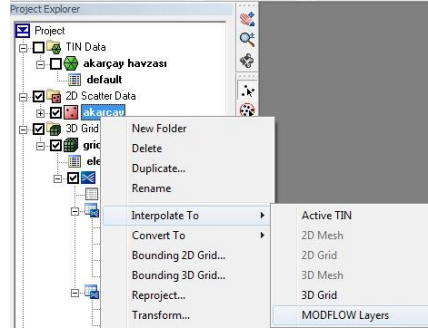


**Resim 3.31** Saçılma noktalarının model üzerindeki dağılımı

#### **3.4.2.12.2 Arazi Saçılma Noktalarını Ekleme**

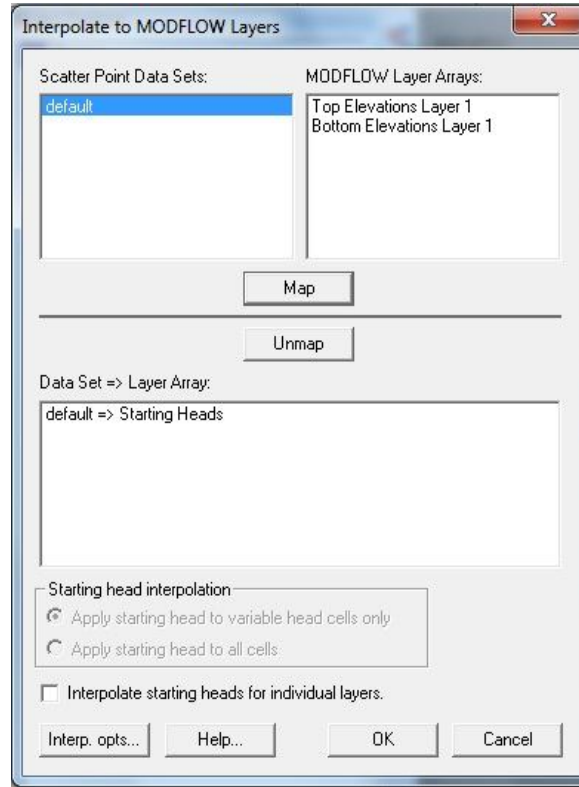
Aktif olarak işaretlenen “2D Scatter Data” sekmesindeki değerleri araziye ekleme işlemi şu şekilde yapılmaktadır.

- Project Explorer sayfasında bulunan “2D Scatter Data” sekmesi altında ‘akarçay’ başlığının üzerinde sağ tık yapılarak açılan pencereden “Interpolate to/MODFLOW Layer” komutu seçilir.



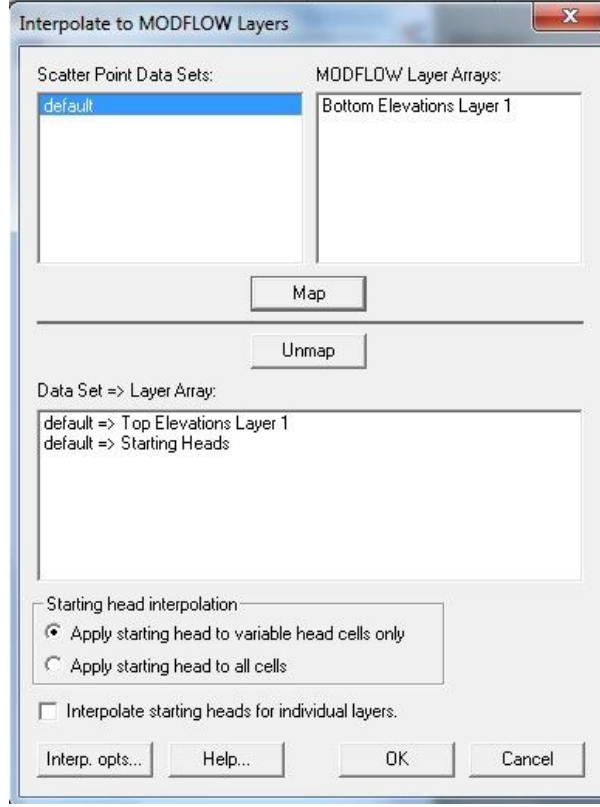
**Resim3.32** Aradeğer hesap menü penceresini açma

- Açılan pencerede “Scatter Points Data” set başlığı altında çıkan “default” işaretlenir.
- “MODFLOW Layer Arrays” başlığı altında bulunan “Starting Heads” işaretlenir ve “Map” komutuna basılır.



**Resim3.33** Zemin yüzey kotlarının birinci tabakaya eklenmesi ilk adım

- Daha sonra “MODFLOW Layer Arrays” başlığı altındaki “Top Elevations Layer 1” işaretlenir “map” butonu ile alt pencerede toplanır. Ok butonu seçilerek pencere kapatılır. Hücre yüksekliklerine başlangıç yükseklikleri eklenmiş olur.



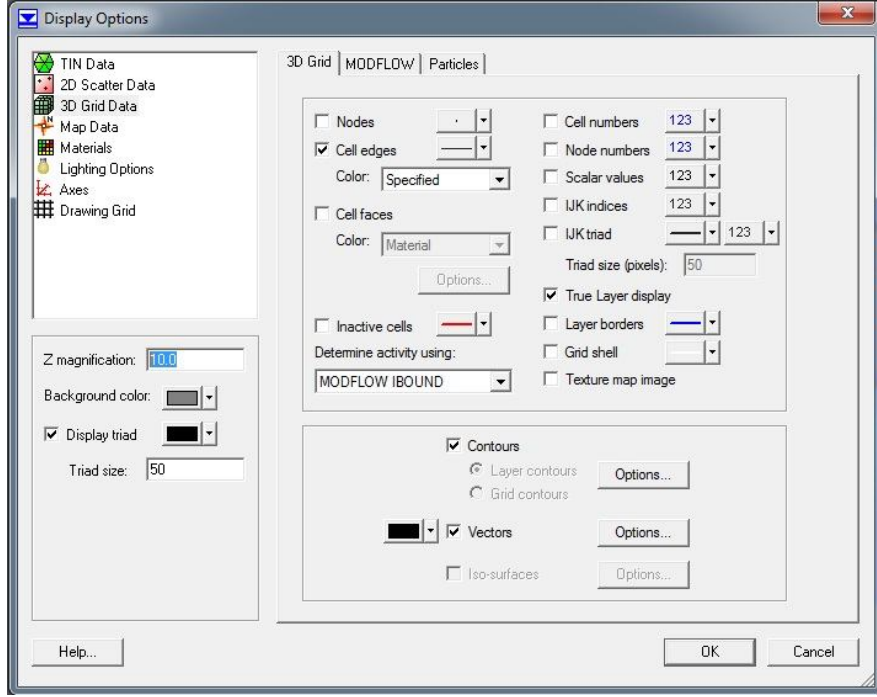
**Resim 3.34** Zemin yüzey kotlarının birinci tabakaya eklenmesi ikinci adım

### 3.4.2.12.3 Ekran Değişikliği ve Model Kesit Görünüm İşlemleri

İnterpolasyon işlemleri tamamlandığından “Grid Frame” ve “2D Scatter Data” sekmelerinin pasif hale getirmek gerekmektedir. Model kesit görünümü işlemleri şunlardır:

- “Project Explorer” sayfasından “3D Grid Data” klasörü seçilir.
- Modelimiz üzerimizde herhangi bir hücre seçilir
- Görünüşlerin bulunduğu görünüm çubuğundan “Side View” butonu seçilir.
- Bu işlemler sonrası model yan görünecektir
- “Display options” komutuyla ekran özellikleri penceresi açılacaktır. Buradan “Z magnification” faktör değeri 10 girilir.





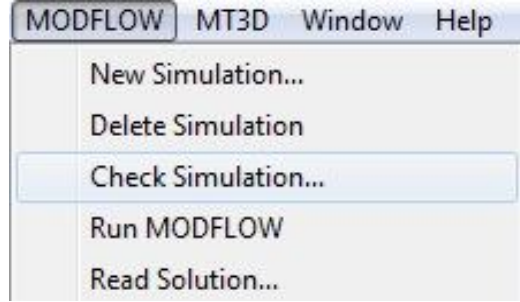
Resim 3.35 Ekran özellikleri ile seçilmiş olan hücrenin detayı

#### 3.4.2.12.4. Yükseklik Serilerini Düzenlemek

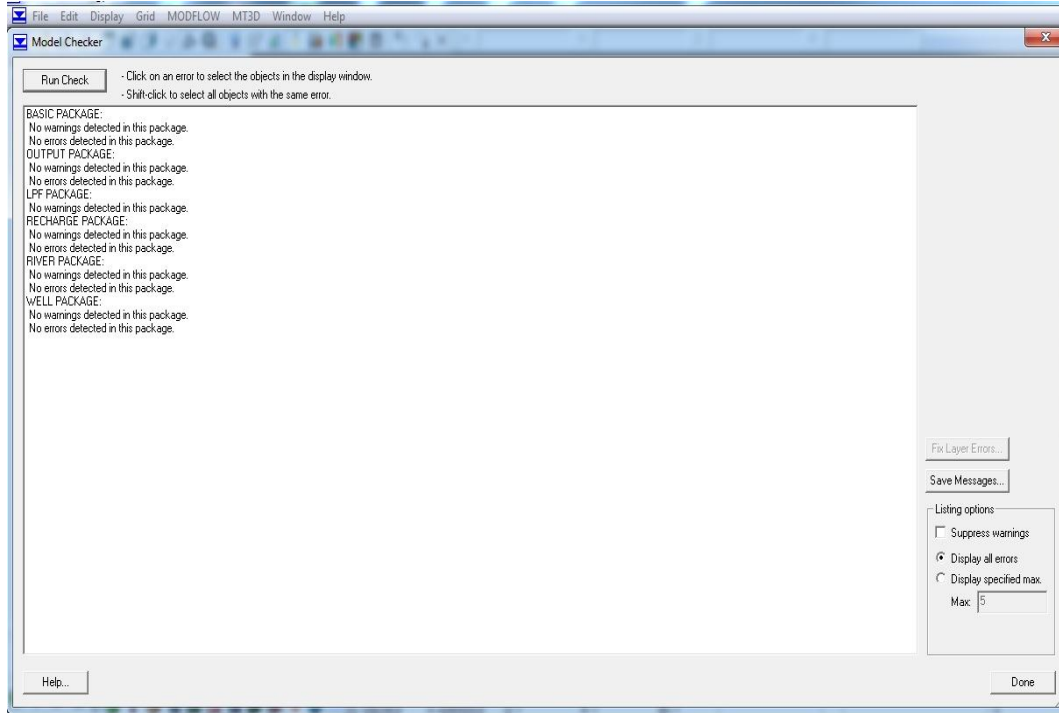
Tabaka yükseklikleri ekleme işlemi tamamlandıktan sonra tabakalardaki kesişme hatalarını kontrol ederek gerekli düzeltmeler GMS tarafından otomatik olarak yapılmaktadır. Bu işlemin aşamaları aşağıdaki gibidir.

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

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



Resim 3.36 Model kontrol penceresini aktif hale getirme



Resim 3.37 Model kontrol penceresi

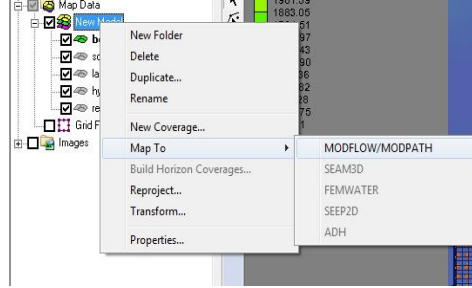
### 3.4.2.13. Kavramsal Modele Dönüştürme

Nesne tabanlı tanımlanan modelden ızgara tabanlı “MODFLOW” sayısal modeline dönüştürmek için kavramsal model kullanılacaktır.

Bu aşamada modelimizi tanımlarken kullandığımız veriler artık sayısallaştırılarak modeldeki

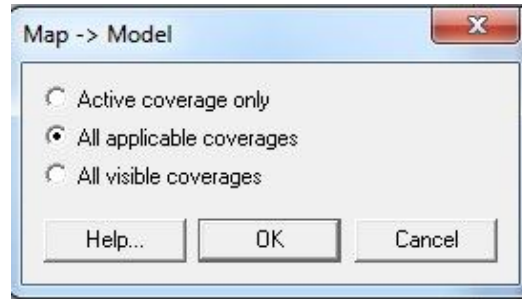
uygun hücrelere hidrolik parametreler atanacaktır. Bu işlemi başlatmak için;

- “Project Explorer” sayfasından kavramsal modelimiz seçilir.
- Üzerinde sağ tuş tıklanır

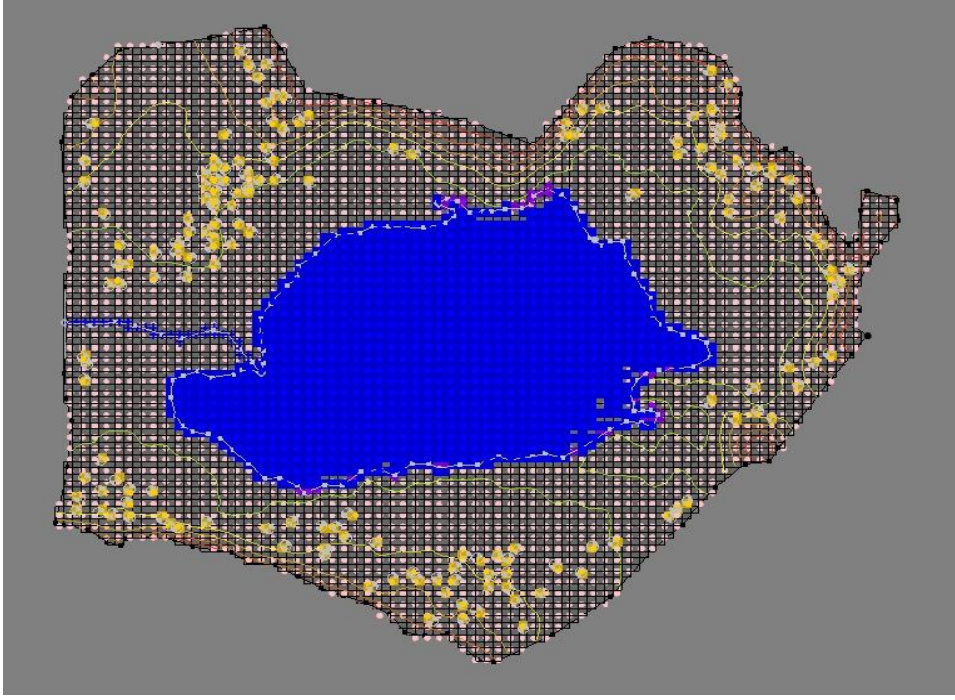


**Resim 3.38** Kavramsal modeli ızgara tabanlı sayısal modele dönüştürme işlem penceresi

- Açılan pencereden “Map to /MODFLOW/MODPATH” komutu seçilir.
- Açılan “Map > Model” penceresinden “All applicable coverages” (tüm kapsamlara uygula) seçeneği seçilir ve ok butonu seçilerek pencere kapatılır.
- Modelimiz artık kavramsal modele dönüşmüştür.



**Resim 3.39** Haritadan Modele Dönüştürme penceresi



**Resim 3.40** Modelin kavramsal modele dönüştürülmüş hali

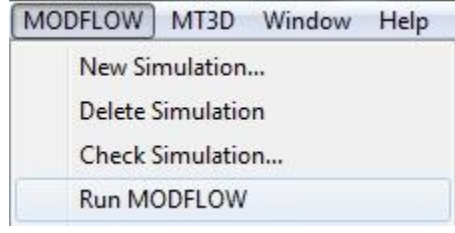
#### **3.4.2.14 Simülasyon Kontrolü**

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

#### **3.4.2.15 MODFLOW Çalıştırma**

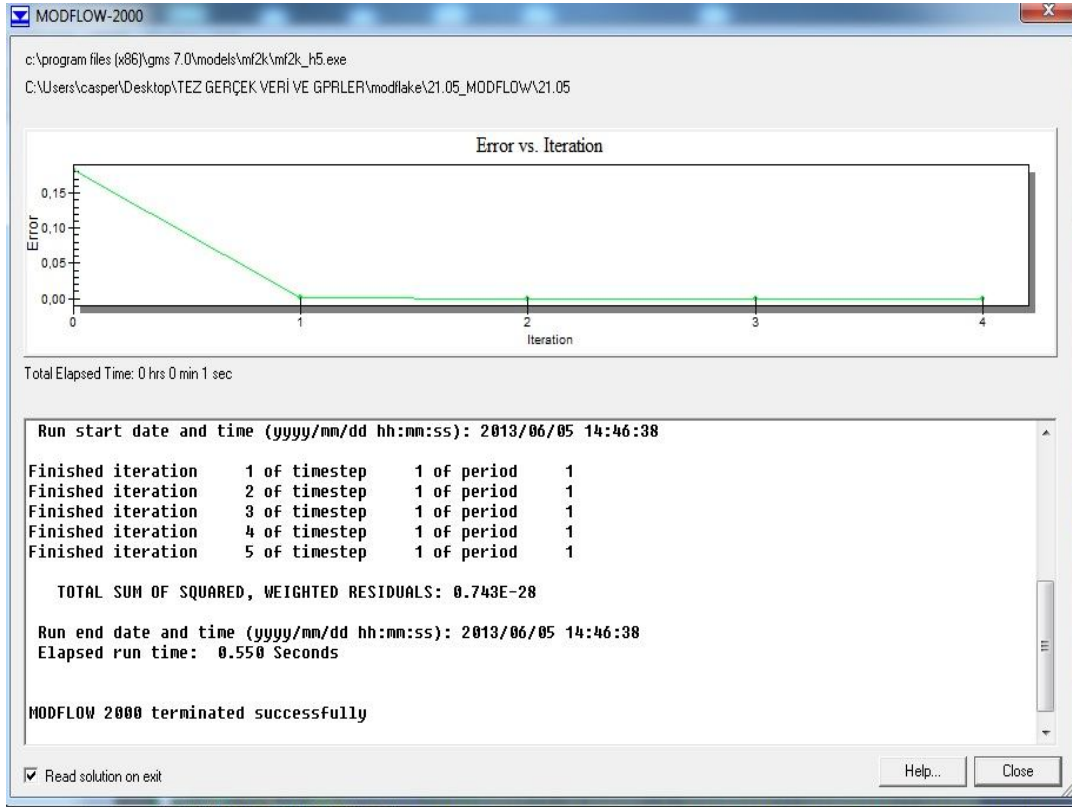
Izgara tabanlı sayısal modele dönüştürdüğümüz modelin analizi yapılacaktır. Bu işlemin basamakları şöyledir;

- “MODFLOW” menüsünden “Run MODFLOW” komutu seçilir.



**Resim 3.41** Analiz başlatmak için açılan pencere

Analiz başlatıldığı zaman analiz penceresi açılır. Modelimizde analiz sonucunda hata olmadığı zaman analizi tamamlar ve penceresin altında analizin başarıyla tamamlandığını gösteren yazı görünür.

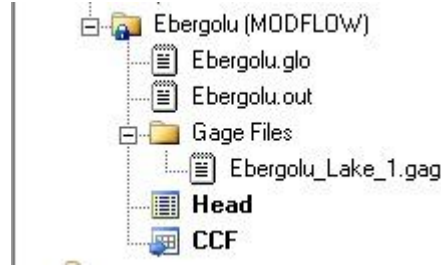


**Resim 3.42** MODFLOW Sayısal model analiz penceresi

Model analizi yapıldıktan sonra programın ortaya çıkan "Project Explorer" sayfasında "3D Grid Data" dosyası sekmesinin altında çalışma dosyamızın isminde bir kilit ile bir klasör görünümünde oluşan "MODFLOW" çıktı klasörüdür. Bu klasörde "glo", "out" uzantılı çıktı dosyaları, "Head" ve "CCF" dosyaları bulunmaktadır. "Glo" ve "out" uzantılı çıktı dosyaları analizin tamamlandığını gösteren küresel ve liste dosyalarıdır ve "CSV" dosyası olarak dışa

aktarılabilmektedir.

“Head” dosyası modelimizdeki grid hücrelerindeki yeraltı su seviyesine ait yüksekliği vermektedir. “CCF” (cell by cell flow) hücreden hücreye akış dosyası hücrelerdeki toplam akış bütçesi(flow budget) vermektedir.



**Resim 3.43** Analiz sonucu oluşan çıktı penceresi

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

#### 4.BULGULAR

Akım bütçesi tablosunda hücreler (cells) başlığı altında modelimizin tüm hücrelerindeki akış hakkında bilgiler verilmektedir.

Kaynak ve düden noktalarından akifere giren akışlar (flow in), akiferden çıkan akışlar (flow out) başlıkları altında gösterilmiştir. Akarçay nehri ve Eber gölünde akifere giren ve akiferden çıkan akış miktarı “constant head” olarak verilmiştir. Model alanımızda bulunan kuyulardan pompalanan su miktarı “wells” başlığı karşısında verilmiştir. Model alanımızın tamamından yeraltına sızan su miktarı “Total Sources/Sinks” başlığı altında verilmiştir. Akarçay nehrinden Eber gölüne giren ve çıkan akış miktarı “rivers” başlığında verilmiştir. Model alanımız tek bir poligon olarak sınırlandırıldığı ve bir bütün olarak tanımlandığı için “Zone Flow” başlığı altındaki değerler sıfırdır.

Akım bütçesi penceresinden bölgeler (zones) başlığı altında modelimizin tek ve bütün alanlarındaki değerlerin aynı olduğu Resim 4.1’ de görülmektedir.

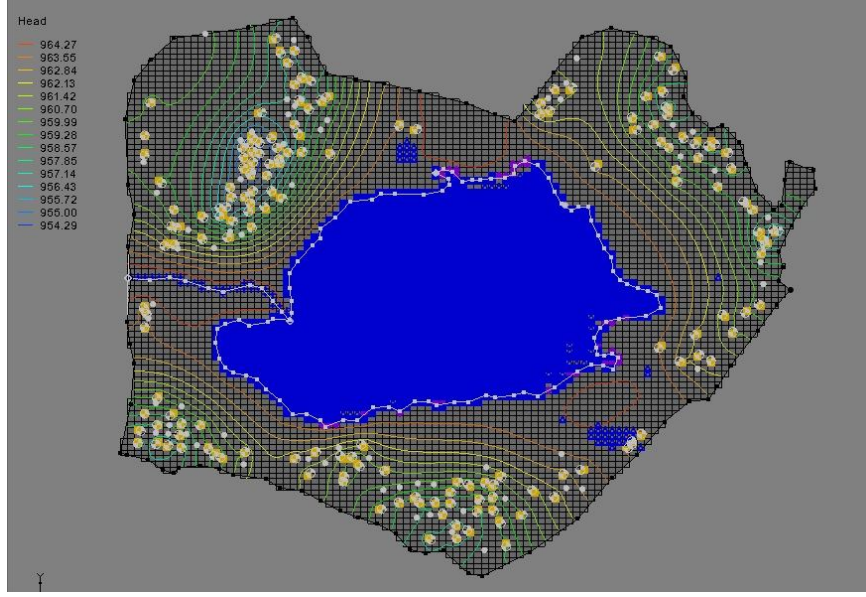
The image shows a 'Flow Budget' dialog box with two tabs: 'Cells' and 'Zones'. The 'Zones' tab is active, and the 'Zone' dropdown is set to 'All zones'. There is an unchecked checkbox for 'Use all timesteps'. The main area contains a table with two columns: 'Budget Term' and 'Flow (m<sup>3</sup>/d)'. The table is divided into three sections: overall totals, 'OUT' (output) terms, and 'SUMMARY'. Below this, there is a section for 'Flow Budget for Zone 1' with its own 'IN' (input) and 'OUT' terms, and a 'SUMMARY' section. At the bottom, there are 'Help...' and 'OK' buttons.

Budget Term	Flow (m <sup>3</sup> /d)
Recharge	450743.04766846
Total IN	482816.63034866
<b>OUT:</b>	
Constant heads	5552.1231747307
Rivers	610.75484752655
Wells	512954.0
Recharge	0.0
Total OUT	519116.87802226
<b>SUMMARY:</b>	
IN - OUT	-36300.2476736
Percent Discrepancy	7.5184335815822
<b>Flow Budget for Zone 1</b>	
<b>IN:</b>	
Constant heads	6665.4488911405
Rivers	25408.133789063
Wells	0.0
Recharge	450743.04766846
Total IN	482816.63034866
<b>OUT:</b>	
Constant heads	5552.1231747307
Rivers	610.75484752655
Wells	512954.0
Recharge	0.0
Total OUT	519116.87802226
<b>SUMMARY:</b>	
IN - OUT	-36300.2476736
Percent Discrepancy	7.5184335815822

**Resim 4.1** Modelde tüm bölgelerdeki akış bütçesi

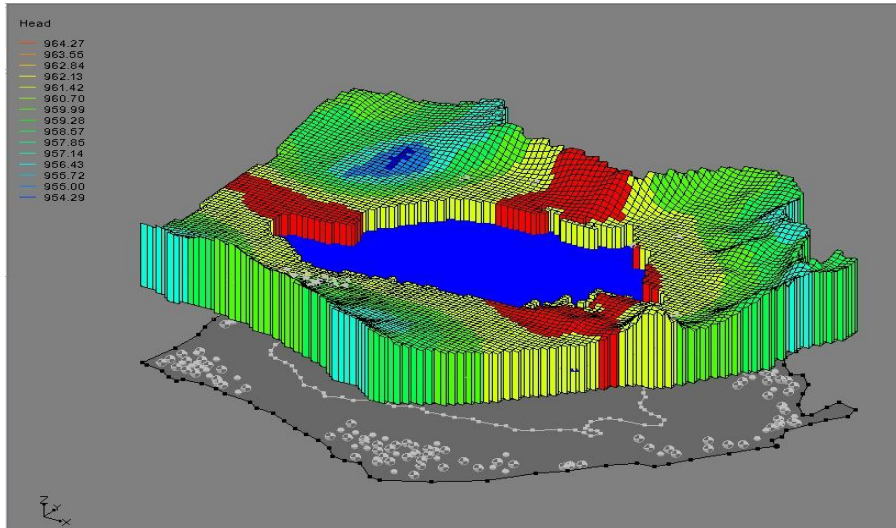
Akım miktarı tüm hücrelerin dışında istenilen ve seçilen bir yada birkaç hücre içinde görebilmek mümkündür.



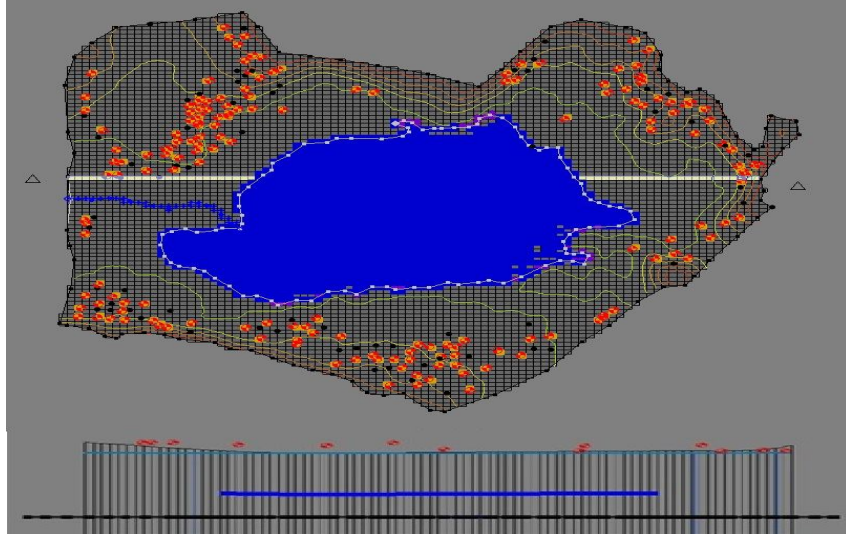


**Resim 4.2** Analiz sonrası oluşan izohips eğrileri

Analiz sonrası mavi kare renkli şekiller göl hücresini göstermektedir. Mavi artı şekiller akarsuyu, mavi üçgen olanlar ise akarsuyun taşkın olduğu hücreleri göstermektedir. Kırmızı üzerine sarı kare noktali şekiller de tanımladığımız kuyuları göstermektedir. İzohips eğrilerinin yüksekliklerine göre renklendirilerek 3B'li görünümü aşağıdaki Resim 4.3'de verilmiştir. Yükseklikler maviden kırmızıya doğru artmaktadır.

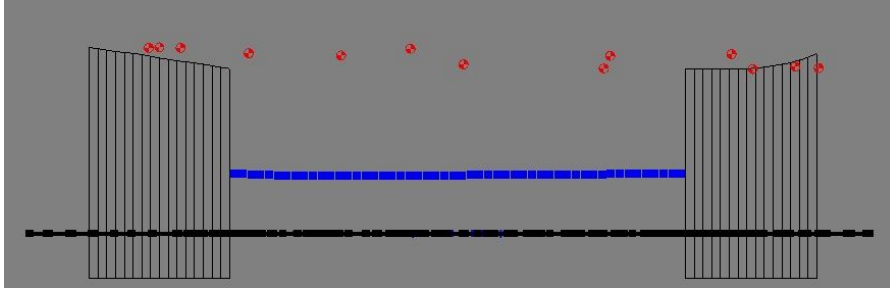


**Resim 4.3** Analiz sonrası renk dolgusu



**Resim 4.4** Göl yan görünümü ve yeraltı su seviyesi

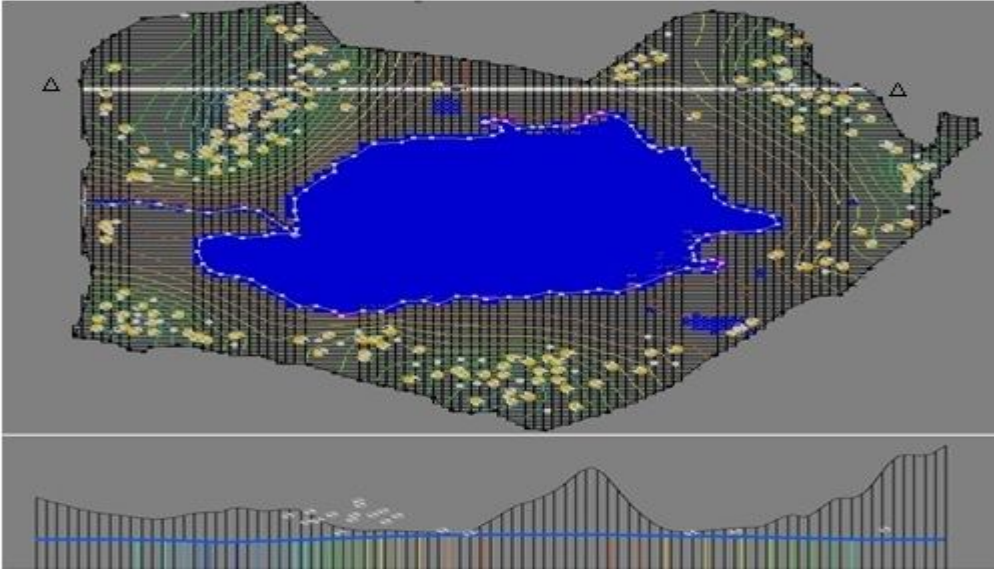
Resim 4.4’ de gölün yan görünümü görülmektedir. Yüzeğe yakın açık mavi rengindeki uzun çizgi yeraltı su seviyesini, kırmızı noktalar kuyuları, kalın koyu mavi çizgi gölü, kalın siyah çizgi tabakayı, üst ve altta bulunan siyah ince çizgiler ise tabakanın üst ve alt sınırını göstermektedir.



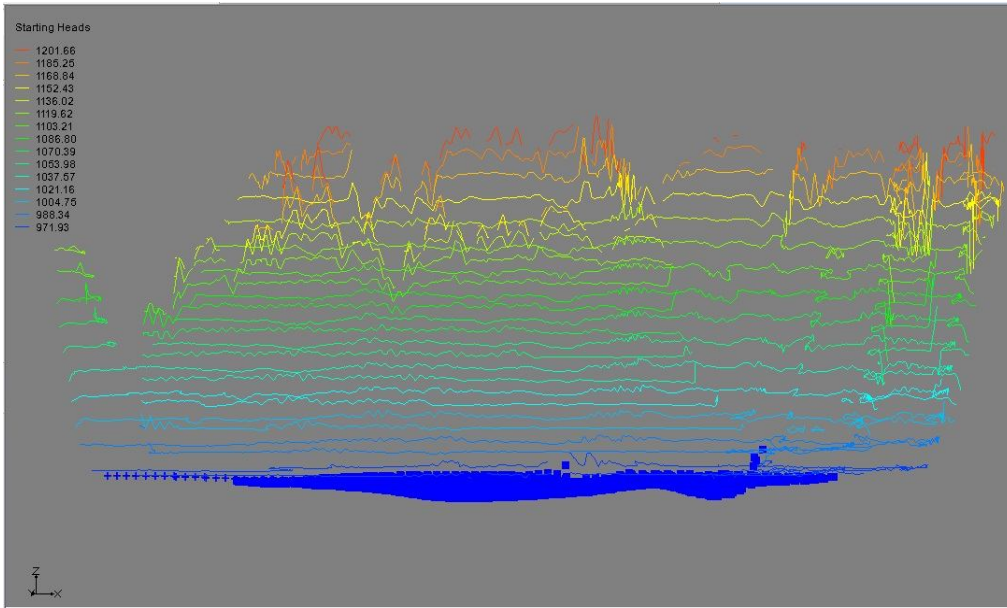
**Resim 4.5** Gölün kesit görüntüsü

Resim 4.5’ de gölden yatay eksen de alınan kesiti görülmektedir. Göl hücrelerinde grid kesit aldığımız için inaktif durumdadır.

Programın ölçek miktarını arttırdığımızda yeraltı suyunun yönünü net bir şekilde görebilmekteyiz. Yeraltı suyu arazi kotu yüksek olan yerlerden arazi kotu düşük olan yerlere doğru bir davranış yönü Resim 4.6’ da görülmektedir.



**Resim 4.6** Yeraltı suyu davranış yönü



**Resim 4.7** Analiz sonrası gölün üç boyutlu hali

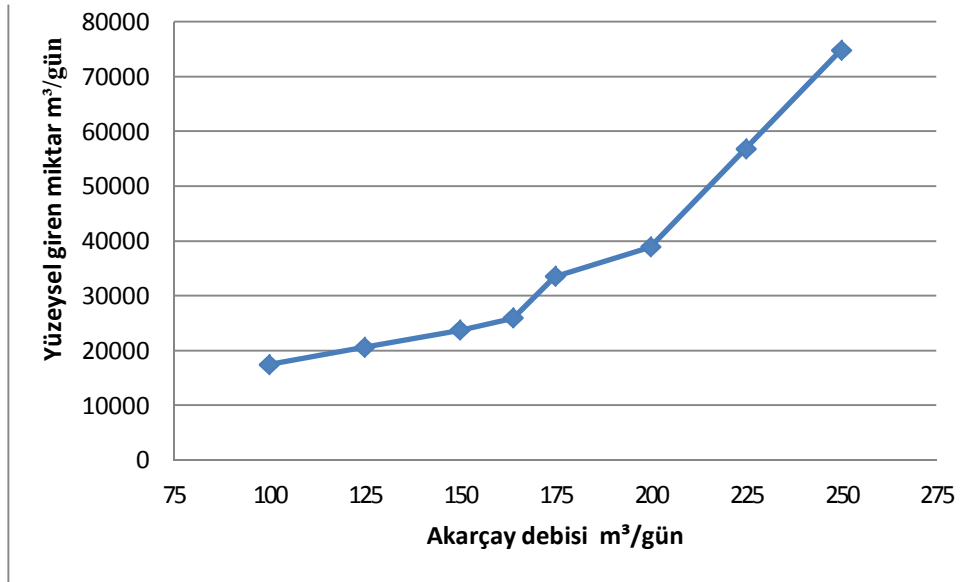
#### 4.1 Akarçay Debi Değişimi ile Eber Gölünün İlişkisi

Akarçay havzasından beslenen Eber gölünün, Akarçayın debi miktarının değişmesiyle, toplam su bütçesinde ve toplam akış seviyesinde değişiklikler göstermektedir. Çalışmada kullanılan Akarçayın debi miktarı 164,2 m<sup>3</sup>/gün değiştirilerek göl davranışı ölçülmeye çalışılmıştır. Böylece olası kuraklık veya taşkın zamanında havzadan göle giren debi miktarının değişkenlik göstermesiyle gölde oluşabilecek su değişikliği öngörülme

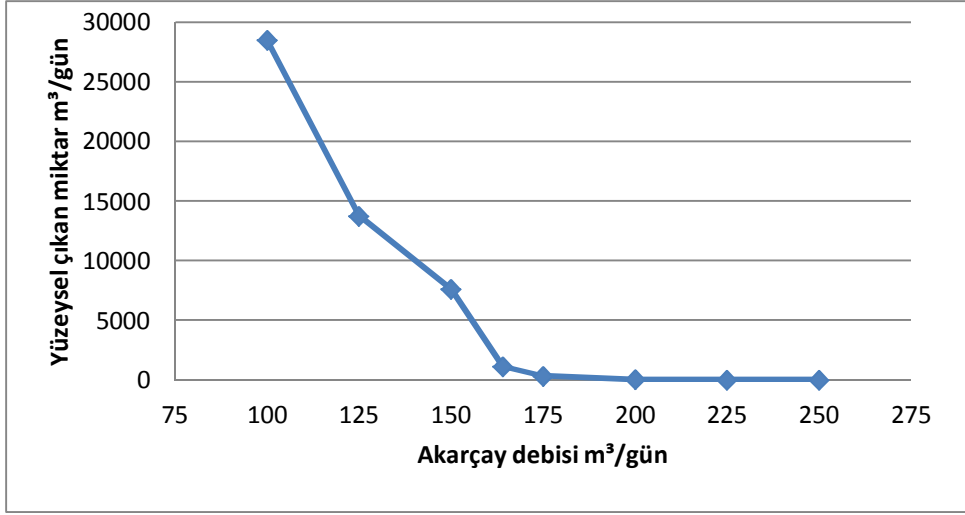
istenmiştir. Bu sayede Eber gölünde meydana gelen su bütçesi ve toplam akış değerlerinde değişimler diyagramlar üzerinde gösterilmiştir. Analiz sonucu çıkan sonuçlarda Eber gölüne Akarçay Havzasından giren akış çıkan akış sonuçları yüzeysel giren akış çıkan akış değerleri altında bölgeye giren akış ve çıkan akış tüm akışlar toplam kaynak ve düden giren çıkan akış değerleri altında ayrıca toplam giren akış çıkan akış değerleri farkı yüzdesi de giren akış çıkan akış yüzdesi değerleri altında verilmiştir.

**Çizelge4.1** Akarçayın değişik debileri için Eber gölüne giren-çıkan akımlar.

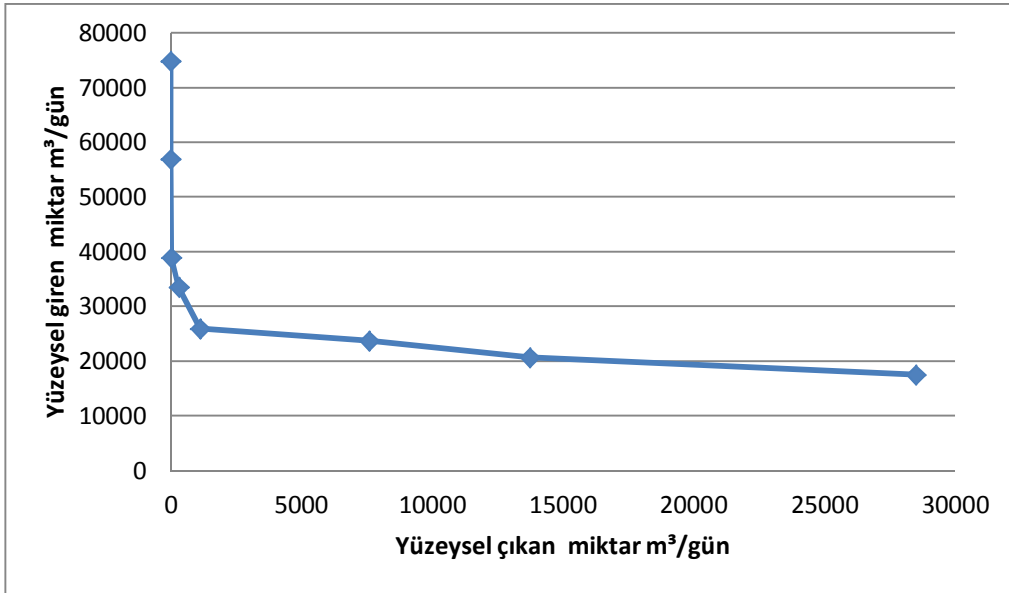
Akarçay debisi m <sup>3</sup> /gün	Yüzeysel giren miktar m <sup>3</sup> /gün	Yüzeysel çıkan miktar m <sup>3</sup> /gün	Toplam (kaynak ve düden) giren m <sup>3</sup> /gün	Toplam (kaynak ve düden) çıkan m <sup>3</sup> /gün	Giren akış-çıkan akış yüzdesi %
250,0	74844,75	0	532228,42	518545,57	2,57
225,0	56858,61	0	514253,42	518548,13	0,84
200,0	43211,85	471,00	500609,48	519008,00	-3,67
175,0	38926,35	27,80	496331,99	518545,13	-4,48
164,2	25929,84	1132,47	483338,34	519638,59	-7,51
150,0	23441,94	12701,03	480853,14	531196,44	-10,47
125,0	20617,05	13734,85	478036,46	532210,41	-11,33
100,0	20105,63	27275,97	477527,84	545740,68	-14,28



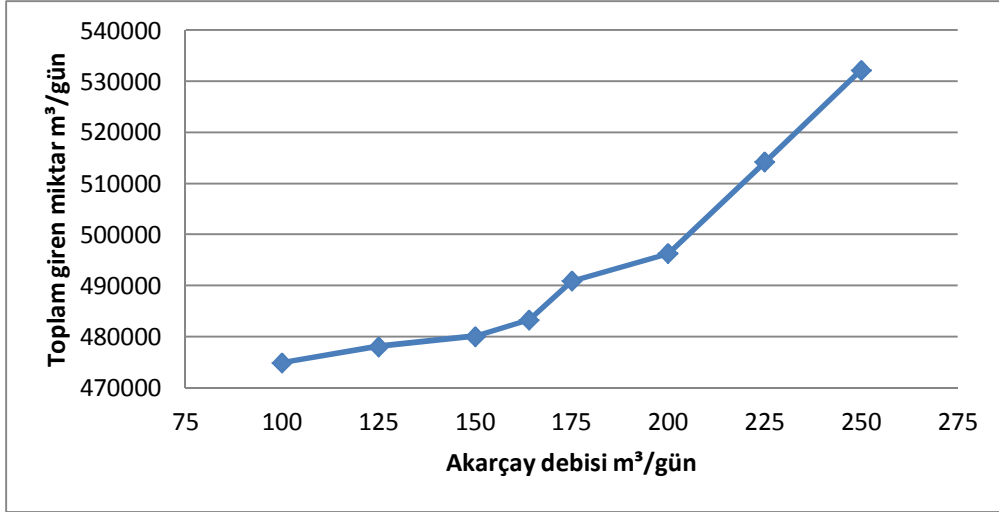
**Şekil 4.1** Yüzeysel giren miktar ile Akarçay debi değişim grafiği



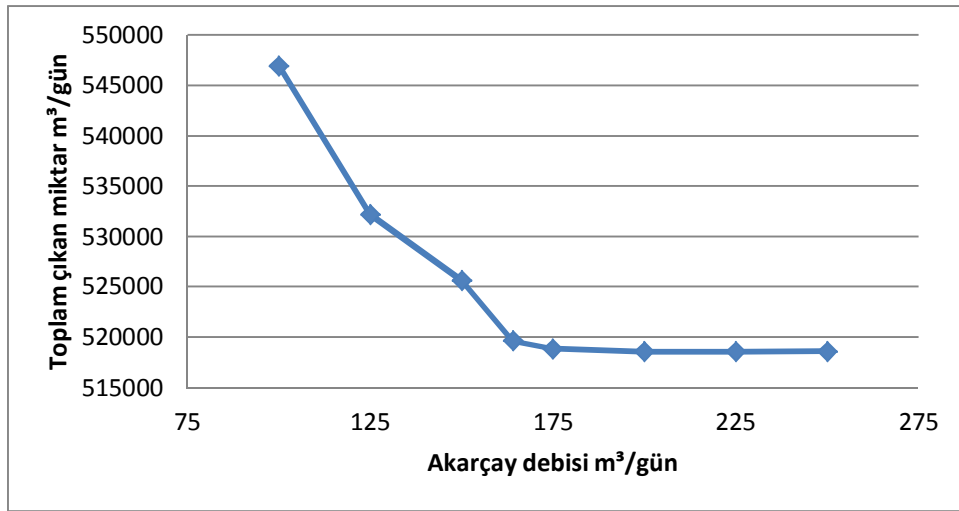
Şekil 4.2 Yüzeysel çıkan miktar ile Akarçay debi değişim grafiği



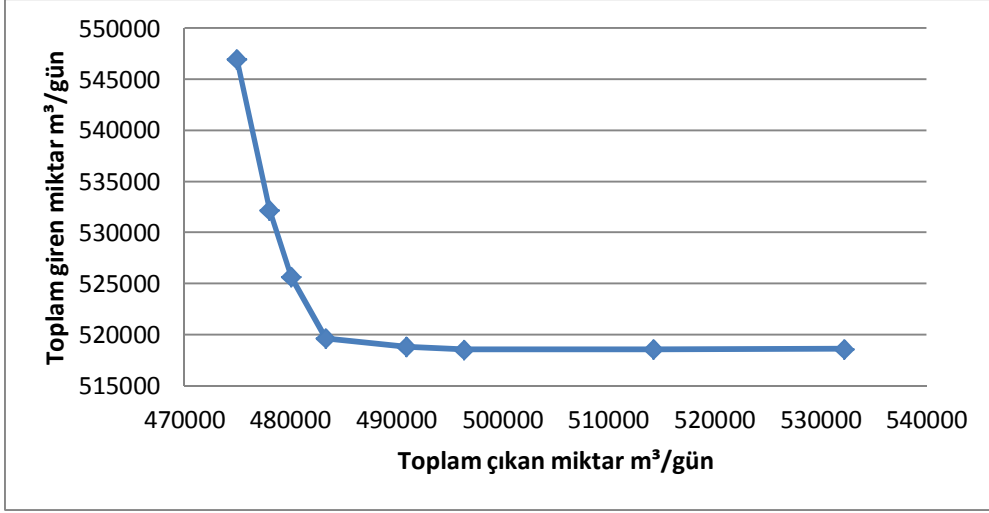
Şekil 4.3 Yüzeysel giren -çıkan su miktarları



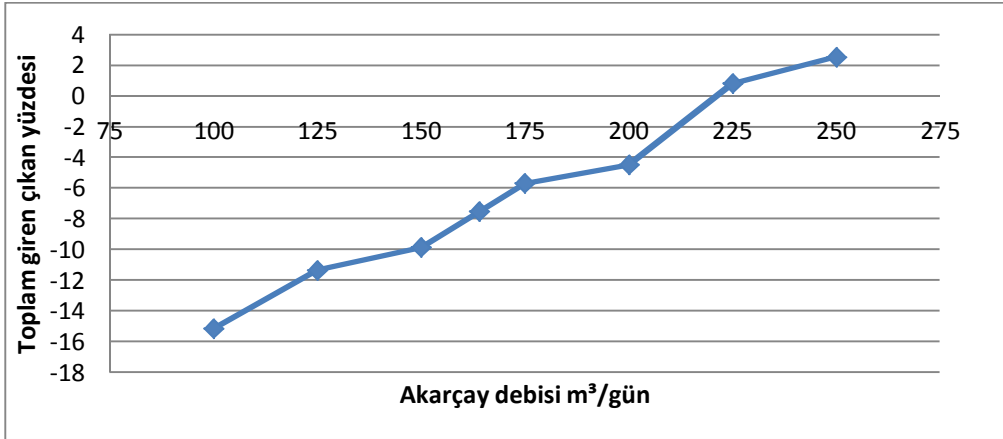
Şekil 4.4 Toplam giren miktar ile Akarçay debi değişim grafiği



Şekil 4.5 Toplam çıkan miktar ile Akarçay debi değişim grafiği



Şekil 4.6 Toplam giren-çıkan su miktarları



Şekil 4.7 Giren akış çıkan akış yüzdesi ile Akarçay debi değişim grafiği

#### 4.2 Eber Gölü Çevresindeki Sulu Tarımın Göle Etkisi

Eber gölü çevresinde sulu tarım çalışmaları yapılmaktadır. Gölün kuzeyinde bulunan Ortakarabağ ve Yenikarabağ köylerinde çoğunlukla patates, mısır ekilirken doğu ve güneyinde bulunan Yenikarabağ, Eber ve Çayırpınar köylerinde ise elma ve pancar tarımı yapılmaktadır. Bu tarım ürünlerinin yıllık su ihtiyacı hesaplanarak kuyulardan çekilen su miktarı bulunmuştur. Ancak ekilen üründe her sene dönüşüm olması gerekirken geçmiş

zamanlara bakıldığında aynı araziye aynı tarım ürününün ekildiği 2 veya 3 senede bir ürün değişikliğine gidildiği görülmüştür. (DSİ Sulamalarında Bitki Su Tüketimleri ve Sulama Suyu İhtiyaçları 1988).

Bu ürünler için ortalama sulama miktarı;

**Çizelge 4.2** Tarım ürünlerinin su ihtiyacı. (DSİ Sulamalarında Bitki Su Tüketimleri ve Sulama Suyu İhtiyaçları 1988)

	Bitki sulama suyu ihtiyacı (mm/ay)
Patates	32
Pancar	70
Elma	86
Mısır	30

Eber gölü ve çevresine yapılan arazi çalışması sonucu sulama amacıyla kuyulardan ihtiyaç miktarı çekilen su miktarı ve gölün su bütçesi Resim 4.2' de görülmektedir.



	Flow In	Flow Out
Storage		
Constant heads	6665.4488911405	-5552.123174731
Drains		
Drains (DRT)		
General heads		
Rivers	25929.845275879	-1132.466334343
Streams		
Streams (SFR2)		
Wells	0.0	-512954.0
Recharge	450743.04766846	0.0
Evapotranspiration		
Evapotranspiration (ETS)		
Lake		
<b>Total Source/Sink</b>	<b>483338.34183548</b>	<b>-519638.5895091</b>
<b>Zone Flow</b>		
Top		
Bottom		
Left	0.0	0.0
Right	0.0	0.0
Back	0.0	0.0
Front	0.0	0.0
<b>Total Zone Flow</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>TOTAL FLOW</b>	<b>483338.34183548</b>	<b>-519638.5895091</b>
<b>Summary</b>	<b>In - Out</b>	<b>% difference</b>
<b>Sources/Sinks</b>	<b>-36300.2476736</b>	<b>-7.510318245341</b>
<b>Cell To Cell</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Total</b>	<b>-36300.2476736</b>	<b>-7.510318245341</b>

**Resim 4.8** Mevcut durum için göl bütçesi

Göl çevresindeki tüm tarım alanlarına su ihtiyacı maksimum olan ürün ekildiğini varsayarak yaptığımız hesapta tarım sulaması için gölden su çekilen kuyuların sulandığı tüm alan yaklaşık 4,63 milyon m<sup>2</sup> dir.

Göl çevresinin tamamında sulu tarım yapıldığını varsayarak;

Ekilen ürün sayısı 4 olduğu için tüm alanı eşit dağıtarak bir ürüne düşen arazi miktarı 1157500 m<sup>2</sup>

$$=(32 \times 1157500) + (70 \times 1157500) + (86 \times 1157500) + (30 \times 1157500)$$

$$=252233500 \text{ m}^3/\text{ay}$$

$$=252233500/365$$

$$=700649 \text{ m}^3/\text{gün}$$

Her bir ürünün toprakta kalma süresi ortalama 5 aydır.

$$=700649/5$$

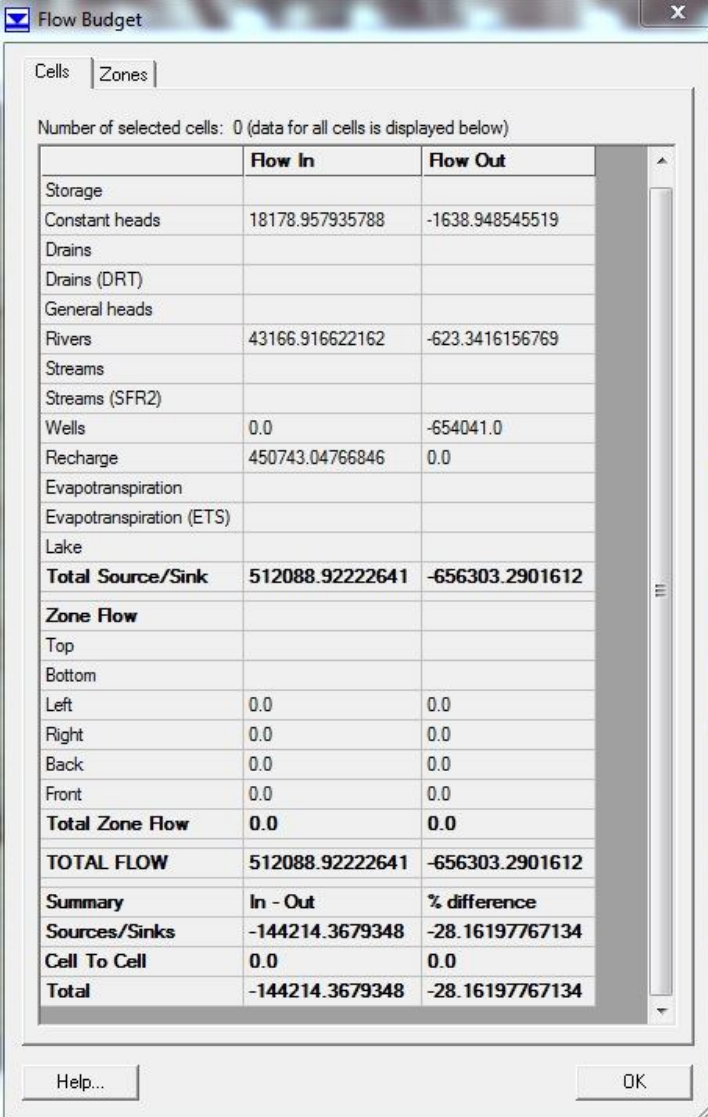
$$=140129 \text{ m}^3/\text{gün}$$

Arazide tanımlanan toplam 164 kuyudan günlük çekilen miktar yaklaşık olarak:

$$=140129/164$$

$$\approx 850 \text{ m}^3/\text{gün}$$

Bulunan sonuç her bir kuyu için tarımsal sulamada kullanılacak fazladan debi miktarıdır. Bu sonuç tüm kuyulara eklendiğinde çıkan su bütçesi ise Resim 4.9' da görülmektedir.



Flow Budget

Cells | Zones

Number of selected cells: 0 (data for all cells is displayed below)

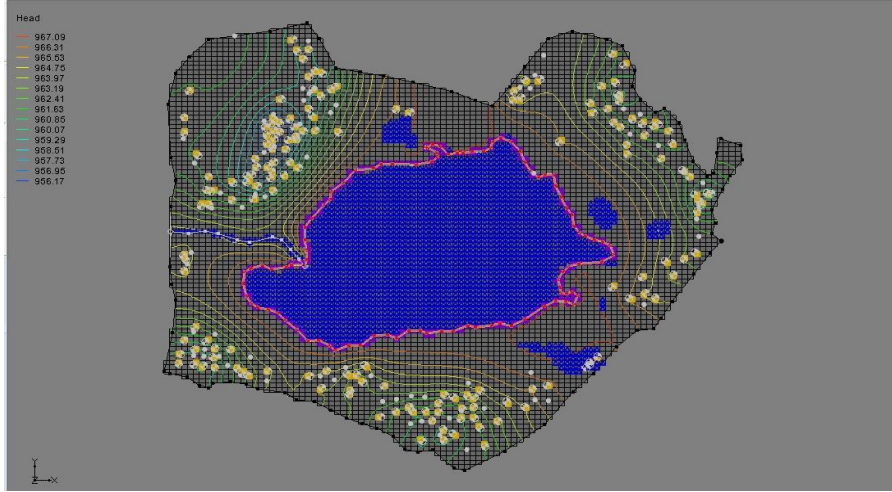
	Flow In	Flow Out
Storage		
Constant heads	18178.957935788	-1638.948545519
Drains		
Drains (DRT)		
General heads		
Rivers	43166.916622162	-623.3416156769
Streams		
Streams (SFR2)		
Wells	0.0	-654041.0
Recharge	450743.04766846	0.0
Evapotranspiration		
Evapotranspiration (ETS)		
Lake		
<b>Total Source/Sink</b>	<b>512088.92222641</b>	<b>-656303.2901612</b>
<b>Zone Flow</b>		
Top		
Bottom		
Left	0.0	0.0
Right	0.0	0.0
Back	0.0	0.0
Front	0.0	0.0
<b>Total Zone Flow</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>TOTAL FLOW</b>	<b>512088.92222641</b>	<b>-656303.2901612</b>
<b>Summary</b>	<b>In - Out</b>	<b>% difference</b>
<b>Sources/Sinks</b>	<b>-144214.3679348</b>	<b>-28.16197767134</b>
<b>Cell To Cell</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Total</b>	<b>-144214.3679348</b>	<b>-28.16197767134</b>

Help... OK

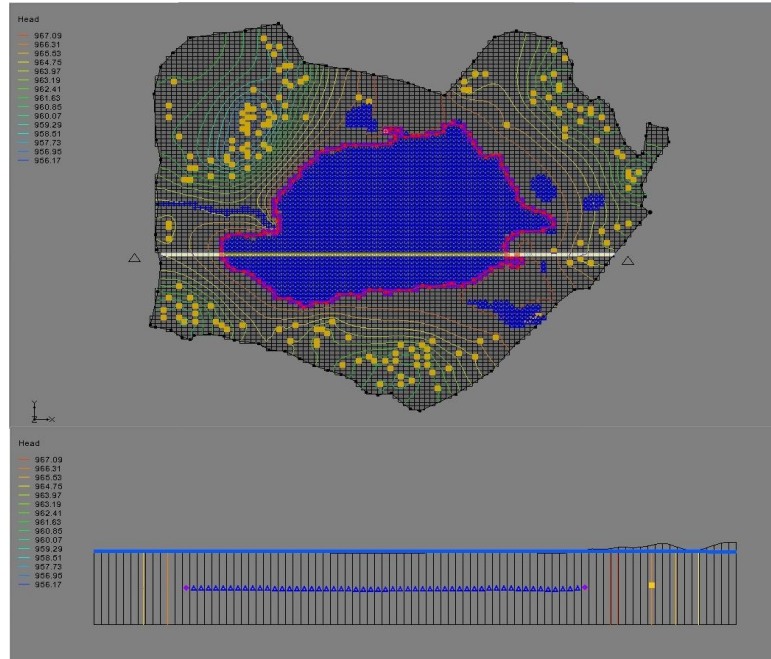
Resim 4.9 Maksimum su ihtiyacı olan bitki tarımı yapıldığında göl su bütçesi

### 4.3 Göl Tanımlaması Yapılmadan Modelleme Sonuçları

Çalışma alanında göl olmadığı varsayılarak, mevcut yeraltı su seviyesindeki değişimi gözlemek için çalışma göl tanımlanması yapılmadan analiz edilmiştir.



Resim 4.10 Göl tanımlaması yapılmadan çalışılan modellemenin analiz sonu



Resim 4.11 Göl tanımlanmadan alınan kesit

Flow Budget

Cells | Zones

Number of selected cells: 0 (data for all cells is displayed below)

	Flow In	Flow Out
Storage		
Constant heads	133839.88419247	-16642.88947012
Drains		
Drains (DRT)		
General heads		
Rivers	9799.3785858154	-64845.83988953
Streams		
Streams (SFR2)		
Wells	0.0	-512954.0
Recharge	450743.04766846	0.0
Evapotranspiration		
Evapotranspiration (ETS)		
Lake		
<b>Total Source/Sink</b>	<b>594382.31044674</b>	<b>-594442.7293596</b>
<b>Zone Flow</b>		
Top		
Bottom		
Left	0.0	0.0
Right	0.0	0.0
Back	0.0	0.0
Front	0.0	0.0
<b>Total Zone Flow</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>TOTAL FLOW</b>	<b>594382.31044674</b>	<b>-594442.7293596</b>
<b>Summary</b>	<b>In - Out</b>	<b>% difference</b>
<b>Sources/Sinks</b>	<b>-60.41891289805</b>	<b>-0.010164991763</b>
<b>Cell To Cell</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>
<b>Total</b>	<b>-60.41891289805</b>	<b>-0.010164991763</b>

Help... OK

**Resim 4.12** GMS programında Lake (göl) modülü kullanılmadığında Eber gölü bölgesi su bütçesi

Göl tanımı yapılmadan çalışılan alanda su bütçesi program tarafından hesaplanmıştır. Bu verilere göre çalışılan alana giren akış ve çıkan akış farkı %0,01 olarak bulunmuştur.

## 5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışma yeraltı suyu modelleme programı GMS kullanılarak Akarçay havzasında çöküntü göl olan Eber gölünün, yeraltı suyu akım hareketinin belirlenmesi, gelecekteki yeraltı suyu işletme programlarının yapılması, gölün mevcut su bütçesinin hesaplanması amacıyla yapılan yeraltı suyunun modellemesi çalışmasını kapsamaktadır.

Modelleme yapılırken Akarçay havzasının topoğrafik özellikleri, zeminin jeolojik ve hidrolojik özellikleri, kuyuların debi değerleri, göl alanının ve çevresinin ortalama yağış, buharlaşma, akım değerleri kullanılmıştır. Modelleme bölgesinde zemin tek tabaka halinde tanımlanmıştır. Zeminin jeolojik özellikleri daha önce çeşitli amaçlarla açılan sondaj kuyularından öğrenilmiş ve bu özelliklerle topoğrafik özellikler GMS programının CBS modülü ile programa aktararak çalışma sahası üç boyutlu simüle edilmiştir. Ayrıca GMS programında modelleme yapılırken arazide kullanılan saçılma noktalarının (2D scatter points) ara değer hesaplaması işlemi sayesinde kotu bilinmeyen kuyuların veya noktalarının yaklaşık kotu hesaplanmıştır.

Analiz sonrası hesaplanan su bütçesi Resim 4.1' de gösterilmiştir. Giren ve çıkan akış miktarları "constant heads", "rivers", "recharge" ve "wells" başlıkları altında verilmiştir. Giren akış miktarı olarak constant heads değeri 6665,449 m<sup>3</sup>/gün, rivers değeri 25408,134 m<sup>3</sup>/gün, recharge değeri 450743,047 m<sup>3</sup>/gün, toplam giren akış miktarı 482816,630 m<sup>3</sup>/gün hesaplanmıştır. Çıkan akış miktarı constant heads değeri 5552,123 m<sup>3</sup>/gün, rivers değeri 610,754 m<sup>3</sup>/gün, wells değeri 512954,0 m<sup>3</sup>/gün, toplam çıkan akış miktarı 519116,878 m<sup>3</sup>/gün olarak hesaplanmıştır. Bu miktarların farkı ile gölün su bütçesi -36300,247 m<sup>3</sup>/gün, farkın yüzdesini -7,5 olarak hesaplamıştır. Toplam giren-çıkan akıştaki farkın pozitif veya negatif olması göldeki su miktarının değişimi göstermektedir. Farkın pozitif olması su miktarının arttığını, farkın negatif olması ise su miktarının azaldığını ifade eder. Burada bulunan farkın negatif olması göldeki su bütçesinin azaldığını göstermektedir.

Resim 4.2' de analiz sonrası oluşan izohips eğrilerini göstermektedir. Arazi kotunun 954 ile 964 arası değerlerin olduğu haritada 964 ve üstü değerler kırmızı çizgiyle gösterilmiştir. Arazi kotunun azalmasıyla renk kırmızıdan maviye doğru değişmiştir. Eğimin arttığı bölgelerde

çizgiler arası mesafe azalmış ve çizgiler sıklaşmış, eğimin azaldığı bölgelerde ise çizgiler arası mesafe artmış ve çizgiler seyrekleşmiştir. Resim 4.3' de izohips eğrileri ve arazi yüksekliğine bağlı renklendirmeye model 3 boyutlu görsellik kazanmıştır.

Göl ve çevresinin yeraltı suyu seviyesi alınan kesitlerle Resim 4.4 ve Resim 4.5' de görülebilmektedir. Alınan kesitler sayesinde yeraltı suyunun davranışının yüksek arazi kotundan düşük arazi kotuna doğru davranış gösterdiği, gölün Bolvadin'e yakın olan kısmında ve kuzey doğusunda bulunan Ortakarabağ kasabasına yakın olan kısmında yeraltı su seviyesinin daha düşük olduğu Resim 4.6' da görülmüştür.

GMS programının göl paketi modeli sayesinde, modellediğimiz Eber gölünün üç boyutlu hali elde edilmiştir. Resim 4.7' de mavi hücreler gölün üç boyutlu halini gösterirken göl üzerindeki çizgiler ise starting heads (tabakanın başlangıç noktaları) noktalarının interpolasyon sonrası yüksekliklerini gösteren izohips eğrileridir. Göl derinliğinin gölün orta kısımlarında fazla olduğu özellikle Akşehir tarafında daha derin olduğu görülmüştür.

Havzada izinsiz açılan birçok sondaj kuyusu vardır. Bu kuyulardan çekilen sular yeraltı su rezervlerinin azalmasına, havzada kuraklık oluşmasına yeraltı su seviyesinin düşmesine neden olacaktır. Yeraltı su rezervlerinin azalmasıyla havzada oluşabilecek kuraklık neticesinde yağıştan gelecek olan su miktarının yeraltına sızma değerinde artış görülecektir. Bu sebeple göle havzadan gelen yüzey akış debi miktarında azalma meydana gelecektir. Yüzey akış debi miktarının değişmesiyle toplam akış, akış yüzdelerindeki fark ve akış bütçesinde meydana gelen değişimler Çizelge 4.1' de gösterilmiş. Akarçay havzasının yüzey akış debisinin artmasıyla giren akış miktarlarında artma, çıkan akış miktarlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde yüzey akış debisinin azalmasıyla da giren akış miktarlarında azalma, çıkan akış miktarlarında artma görülmüştür. Akış farklılıkları da yüzey akış debisinin artmasıyla pozitif değer alırken azalmasıyla negatif değer almıştır. Ayrıca yüzey akış debisi 164,2 m<sup>3</sup>/gün değeri altına düştüğünde kaynaklardan çıkan akış değerlerinde azalma miktarının hızla arttığı görülmüştür. Bu durum göle giren yüzeysel akış miktarının azalmasıyla havzadan nehre giren akış miktarında da azalma olacağından gölün toplam giren akış miktarının azalmasına ve gölün su kaybetmesine neden olduğu şeklinde açıklanabilmektedir.

Şekil 4.1' de göle yüzeysel giren akış miktarının Akarçay debisinin değişimiyle bulunan sonuçlarda debinin artmasıyla akışın da arttığı, Şekil 4.2' de yüzeysel çıkan akışın Akarçayın debisinin artmasıyla azaldığı, 164,2 m<sup>3</sup>/gün değerinden sonra azalıştaki oranın hızla arttığı görülmüştür. Şekil 4.3' de göle yüzeysel giren akış miktarının azalmasıyla çıkan akış miktarının arttığını, özellikle 164,2 m<sup>3</sup>/gün değerinden sonra çıkan akış miktarında artış oranını hızla arttığı belirlenmiştir. Şekil 4.4' de toplam giren akış miktarının Akarçayın debisinin artmasıyla arttığı, Şekil 4.5' de ise toplam çıkan akış miktarının Akarçayın debisinin artmasıyla azaldığı görülmektedir. Şekil 4.6' da ise toplam giren akış miktarının azalmasıyla, toplam çıkan akış miktarında artış olduğu özellikle 164,2 m<sup>3</sup>/gün değerinden sonra çıkan akış miktarında artış hızlanmış olduğu görülmüştür. Şekil 4.7' de ise debinin artmasıyla yüzde oranında artış olmaktadır. Akarçay debisinin azalması Eber gölündeki su bütçesinin azalmasına, debinin artması ise su bütçesinin artmasına sebep olacaktır.

Eber gölü ve çevresinde yapılan arazi çalışması sonucunda, bölgedeki tarım alanlarında su ihtiyacı maksimum olan patates, pancar gibi ve su ihtiyacı minimum olan arpa, buğday gibi tarım ürünlerinin ekildiği saptanmıştır. Sulama amaçlı kuyulardan çekilen toplam debi miktarı 512954,0 m<sup>3</sup>/gün olarak bulunmuştur.

Göl çevresindeki tüm tarım alanlarına ekilen ürünün maksimum su ihtiyacı olan ürün olması halinde kuyulardan çekilen su miktarlarında artış gözlenecektir. Hesaplamalar sonucu maksimum su ihtiyacı olan ürünler için kuyulardan çekilen su miktarı bulunmuş ve çalışma analiz sonucu Resim 4.9' da gösterilmiştir. Göl çevresinde yapılan sulu tarım sonucunda kuyulardan çekilen yıllık su miktarı 654041,0 m<sup>3</sup>/gün olarak bulunmuştur. Çekilen su miktarındaki artış gölün su bütçesinde azalmaya sebep olmuştur. Tarım ve diğer amaçla kullanılan kuyuların su çekimi sonrası mevcut su bütçesi yüzdesi -7,5 iken, maksimum su ihtiyacı olan bitki tarımı yapıldığında su bütçesi yüzdesi -28,1 olarak hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmada su ihtiyacı fazla olan ürünlerin tüm tarım alanlarına ekilmesiyle oluşan maksimum su çekimi göldeki su bütçesinin daha hızlı azalmasına sebep olacağı görülmüştür.

Resim 4.10' daki çalışmada gölün bulunduğu bölge programda göl yerine çukur olarak tanımlanmış ve hesap sonucu bu alan içindeki tüm hücrelerde su biriktiğini gösteren taşkın simgesi belirtilmiştir. Resim 4.11'de kesit alındığında daha önce göl simgesi bulunan kısımda

taşkın simgesi olarak program tarafından atanmıştır. Analiz sonrası ise su bütçesi hesabında çıkan akış miktarı ile giren akış miktarının farkının yüzdesi %-0,01 olarak bulunmuş ve Resim 4.12' de gösterilmiştir. Bu farkın bu denli az olmasının nedeni kuyulardan çekilen suların veya buharlaşma sonucu çıkan akış miktarının yüzey sularından veya yeraltı suyundan sağlanmasıdır. Kuyuların su çekimi ve göldeki sınırındaki buharlaşma miktarının fazla olmasının göldeki su bütçesini düşürdüğü düşünölmektedir.

Göldeki su seviyesinin artması tarım alanlarına, gölde yaşayan su canlılarına ayrıca çevresindeki yerleşim yerlerine taşkın ve sel gibi zararlar verebileceği gibi, göldeki su seviyesinin azalması da tarım alanlarında kuraklık ve su canlılarında popölyasyonun azalmasına sebep olur. Bu gibi sorunların meydana gelmemesi için akış bütçesine bağlı yeraltı suyu işletme programlarının yapılması amaçlanmalıdır.

Su ihtiyacı maksimum ürünleriyle sulu tarım yapılmaya devam edildiği sürece sadece bir sene içinde kuyulardan sulama amaçlı çekilen suların ortalama sulama miktarından bu denli farklı olması gelecek yıllarda su sıkıntısı başta olmak üzere birçok olumsuzluğun habercisi olacaktır. Eber gölünün mevcut su miktarının korunması amaçıyla tarım ürünlerinde değişiklik yapmak ve tarımsal sulamanın sulama birliklerinden veya sulama kooperatifliklerinden sağlanması da hem sudan tasarruf sağlayacaktır hem de bu şekilde bireysel kuyu açılmasının önüne geçecektir.

Kapalı havza konumunda olan göl hesaplanan su bütçesinin her sene azalmasıyla yavaş yavaş kirlenmeye başlayacaktır. Akarçayın göle karıştığı alandaki saz, kamyı ve kındıraların tamamı suyun yetersiz olmasından yok olacaktır. Ölü bitkiler göl aynasına kadar yayılacak ve suda yaşayan diğer canlı popölyasyonunda da çok fazla azalmalar görölecektir. Dayanıklı türlerden sazan, kurbağa, su yılanı ve turna balığı nispeten temiz olan derin bölgelerde hayatlarını belli bir süre daha sürdürebileceklerdir. Bu sebeple gölün kirlilik açasından da koruma altına alınması uygun olacaktır.

Modelleme yapılırken çalışılacak alanların güncel hidrolojik, jeolojik ve topoğrafik değeri GMS programına aktarılarak daha önceki çalışma üzerinde değişiklik yapılarak sonuçlar tekrarlanabilir. Bu sayede Akarçay havzası ve Eber gölü su kaynakları yönetim ve koruma



planları oluşturulurken hem sayısal hem görsel değerlendirme veya tespiti ile ilgili yapılacak olan çalışmalar ve modelleme geliştirme çalışmalarına önemli katkı sağlayabilecektir.

## 6.KAYNAKLAR

Ahmed, I., Umar, R., 2009. Groundwater flow modelling of Yamuna-Krishni İnterstream, a Part of Central Ganga Plain Uttar Pradesh. Journal of EarthSystem Science, **118 (5)**, 507–523.

Atilla, A.Ö., 2002. Afyon Ovası Yerlatisuyu Akım Modeli, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, **26(2)**, 17-30.

Bahadır, M., 2012. Eber ve Akşehir Göllerinin Bütünleşik Kıyı Alanları Yönetimi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Samsun

Bayazıt M. 1991. Hidroloji, İstanbul Teknik Üniveristesi İnşaat Fakültesi Matbası, İstanbul

Çakmak S. 2010 Afyonkarahisar Şuhut Ovasının Yeraltı Suyu Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta

Dişli, E., 2000 Akifer Hidrolik Parametrelerinin Evrik Modelleme ile Belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi 118s, Ankara

Dişli, E., 2007 Eymir-Mogan Gölleri Arasında Yeraltı suyu Akım ve Kütle Taşınım Modeli. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara

DSİ Sulamalarında Bitki Su Tüketimleri ve Sulama Suyu İhtiyaçları 1988. DSİ Basım ve Foto-Film İşletme Müdürlüğü Matbaası, Ankara

Devlet Su İşleri Müdürlüğü, 2012

Esendal H. 2007, Eğirdir Gölü Su Seviyesi Mevsimsel Değişiminin Bulanık Mantık Metoduyla Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi 121s, Isparta

Fırat M., Dikbaş F. 2005 Göllerde Üç Boyutlu Hidrodinamik Modellemede POM ve Yapay Sinir Ağları Yöntemlerinin Kullanılması, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri

Dergisi, *Sayı 1*, s 45-50

Harita Genel Komutanlığı, 2012

Hökelekli E. 2010. Bilgisayar Desteği ile Yeraltı Suyu Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi Afyon Kocatepe Üniversitesi 90s., Afyonkarahisar

İçağa Y. 2004. Akarçay Havzası Hidrolojik Modeli, Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre ve Sergisi, İstanbul.

İçağa Y., Yurtçu Ş., Ulutürk Y. 2007. Yeraltı Suyu Seviye Değişiminin Stokastik Modellenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı **11-2**, s 180-186

Koçak, D.,2013. Bilgisayar Dseteği ile Akarçay Güney Alt Havzası Yeraltı Suyu Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi,Afyon Kocatepe Üniversitesi, 89s., Afyonkarahisar

*Mercan vd. 2008. 1998 Su Yılı için Beyşehir Gölü'nün Hidrodinamik Modellemesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 12 İstanbul Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2011*

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

Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2013

Özgenç N., Erdoğan F.C., 1988. DSİ Sulamalarında Bitki Su Tüketimleri ve Sulama Suyu İhtiyaçları , DSİ Basım ve Foto-Film İşletme Müdürlüğü Matbaası, Ankara

Öztürk M., Seçmen Ö., 1996 Eber gölü Bitki Örtüsü ve Kirlenme İlişkileri, Ege Üniversitesi Teknoloji Temmuz-Ağustos-Eylül Sayı: 20 İzmir

Tezcan L., Meriç B. T., Doğdu, N., Akan, B., Atilla, A. Ö., Kurttaş, T., 2002.Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Akım Modeli 2. Ara Raporu. Hacettepe Üniversitesi Uluslar arası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM)- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü,190s, Ankara

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

Yohannes Y., Robert B.,Simulation of lake–aquifer interaction at Lake Naivasha, Kenya using a three-dimensional flow model with the high conductivity technique and a DEM with bathymetry ArticleJournal of Hydrology, **Volume 503**, 30 October 2013, Pages 111-122

Yurtçu Ş. 2006. Eber gölü Su Seviyesi Bulanık Mantıkla Modellenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji, *Cilt 9, Sayı 1*, 67-77, Afyonkarahisar.

## İnternet Kaynakları

## Erişim Tarihi

1. <http://www.aquaveo.com/gms-learning> 23.11.2012
2. <http://www.xmswiki.com/xms/GMS:GMS> 05.12.2012
3. <https://maps.google.com/> 04.01.2013
4. [http://tr.wikipedia.org/wiki/Eber\\_Golu](http://tr.wikipedia.org/wiki/Eber_Golu) 02.02.2013
5. <http://geodata.ormansu.gov.tr/3d/indexv5.aspx> 13.02.2013
6. <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleturkish.html> 15.03.1013
7. <http://www.csb.gov.tr/gm/cbs/01.04.2013>
8. <http://www.cevreonline.com/su/dunyada%20suyun%20dagilimi.htm> 04.04.2013
9. [http://tr.wikipedia.org/wiki/Su\\_korunumu](http://tr.wikipedia.org/wiki/Su_korunumu) 09.05.2013

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Elif BAYSAL

Doğum Yeri ve Yılı: Ankara / 16.01.1986

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ankara Etimesgut Mehmetçik Anadolu Lisesi / 2000-2004

Lisans: Afyon Kocatepe Üniversitesi / 2006-2010

Çalıştığı Kurum/ Kurumlar ve Yıl:

FUGRO SIAL Mühendislik ve Müşavirlik Firması / 2011

Yayınlar (SCI ve Diğer):

Diğer Konular: