

## Torbali Bölgesinin Zamanla Değişen Yeraltısuyu Akım Modeli

Ayşegül ÖZGENÇ AKSOY\*  
Mehmet Şükrü GÜNEY\*\*  
Traugott SCHEYTT\*\*\*

### ÖZ

Torbali, Türkiye'nin üçüncü büyük şehri İzmir'in bir ilçesidir. İçme, sulama ve endüstriyel aktivitelerde kullanılmak üzere yeraltısuyundan yapılan aşırı çekim bölgedeki yeraltısuyu seviyesinde önemli bir düşüşe sebep olmuştur. Bu çalışmanın amacı, mevcut giriş çıkış akım verilerinin ışığında, üç boyutlu zamana bağlı bir yeraltısuyu akım modeli oluşturularak bölgedeki yeraltısuyu seviyesini gelecek yıllar için tahmin etmektir. Model 1996-2004 yılları arasında ölçülen yeraltısuyu seviyeleri kullanılarak kalibre edildikten sonra 2020 yılına kadar yeraltısuyu seviyeleri değişimi tahmin edilmiştir. Model sonuçlarına göre, 2000-2020 yılları arasındaki yeraltısuyu seviyesindeki düşüşün yaklaşık 8 m olacağı ortaya çıkarılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yeraltısuyu akımı, sayısal model, Torbali, Türkiye

### ABSTRACT

#### A Regional-Scale Transient Groundwater Flow Model for Torbali, Turkey

Torbali is one of the counties of İzmir which is the third biggest city of Turkey. Excessive withdrawal of groundwater for drinking, agricultural and industrial activities causes a significant decline of groundwater level. The aim of this study is to develop a three-dimensional transient groundwater flow model in order to predict groundwater levels for forthcoming years, in the light of available data concerning inflows and outflows. After the calibration of the model by using data corresponding to the period 1996 - 2004, the groundwater level variations until the year 2020 are predicted. According to the model results, it is revealed that groundwater level will decrease approximately 8 meters between the years 2000 and 2020.

**Keywords:** Groundwater flow, numerical modeling, Torbali, Turkey

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 12.08.2009 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2011 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - aysegul.ozgenc@deu.edu.tr  
\*\* Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir - sukru.guney@deu.edu.tr  
\*\*\* Berlin Teknik Üniversitesi, Hidrojeoloji Bölümü, Berlin, - traugott.scheytt@tu-berlin.de

## **1. GİRİŞ**

Yeraltısularından yapılan kontrolsüz aşırı çekimler yeraltısuyu seviyelerinde önemli düşmelere sebep olduğu için birçok araştırmacı matematiksel modeller yardımıyla yeraltısuyu akımını incelemişlerdir.

Ebraheem ve diğerleri [1] Mısır'ın güney batısında yeraltısuyu çekimlerinin etkisini araştırmışlardır. MODFLOW yazılımı ile bölgenin sayısal yeraltısuyu modelini oluşturmuşlar ve 1960-2000 yılları arasında ölçülen yeraltısuyu seviyeleri ile modeli kalibre etmişlerdir. Çalışmada önümüzdeki 100 yıl için mevcut çekim miktarlarının devamı durumunda bölgedeki yeraltısuyu seviyeleri tahmin edilmiştir. Sonuç olarak bölgedeki yeraltısularının tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olduğunu belirtmişlerdir. Bir başka sayısal model ise Ürdün'de aşırı çekim yapılan Azraq havzasında yeraltısuyu seviyelerini tahmin etmek için Abdulla ve diğerleri [2] tarafından kurulmuştur. 1997-2025 yılları arasındaki yeraltısuyu seviyeleri 1970 ile 1992 yılları için kalibre edilmiş model tarafından tahmin edilmiştir. Sayısal model sonucunda mevcut çekimler devam ederse 2025 yılına kadar bölgedeki yeraltısuyu seviyesinin 25 m alçalacağı ortaya konmuştur. Rojas ve Dassargues [3] Şili'deki pompaj değerlerinin yeraltısuyu kaynaklarına etkisini araştırmışlar ve mevcut durumun bölgede devam etmesi durumunda yeraltısuyu seviyesinin alçalmaya devam edeceğini belirtmişlerdir. Wen ve diğerleri [4] Çin'in kuzey batısında yeraltısuyu seviyesindeki alçalmayı araştırmak amacıyla üç boyutlu yeraltısuyu modelini kurmuşlardır. 1997-2000 yılları arasında gözlenmiş yeraltısuyu seviyeleriyle kalibre edilen model ile 2030 'a kadar seviye tahmini yapılmış ve mevcut pompaj oranlarının devam etmesi durumunda bölgedeki yeraltısuyu seviyesinde 30 m lik bir düşüş meydana gelebileceğini belirtmişlerdir.

Torbalı yeraltısuyu kaynaklarının içme, sulama ve sanayi suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanıldığı bir yerleşim alanıdır. Bölge, İzmir Limanına yakın ve İzmir Havalimanına 18 km mesafededir. Bu sebeple Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Torbalı'ya sanayi bölgesi kurmaya karar vermiştir. Bunun sonucunda artan bölge nüfusu ve endüstriyel faaliyetler nedeniyle bölgedeki su ihtiyacı artmıştır. Sanayi bölgesi, Torbalı yerleşim alanının kuzey tarafında ve Fetrek Çayına yakın bir bölgededir. Bölgedeki endüstriyel aktiviteler ve nüfus artışı sonucunda yeraltısuyunda aşırı çekimler ve atık suların deşarjı artmıştır. Bunlar yeraltısuyu miktarının ve kalitesinin azalmasına sebep olmaktadır. Aksoy ve Scheytt [5] bölgede bulunan 20 farklı kuyudan yeraltısuyu numuneleri almışlar ve analizler sonucunda sanayi bölgesi etrafında TDS (toplam çözünmüş madde) ve EC (elektriksel iletkenlik), tarımsal bölge civarında ise nitrat konsantrasyonlarının içme suyu için Dünya Sağlık Örgütü ve Türk standartları Enstitüsü tarafından belirlenen maksimum izin verilen limitlerin üstünde çıktığını belirtmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı bölgedeki yeraltısuyu seviyesini gelecek yıllar için tahmin etmek amacıyla bölgeyle ilgili 3 boyutlu zamana bağlı sayısal bir modeli oluşturmaktır. Böylece şehirselleşen ve sanayi aktivitelerinin gelişiminin yeraltısuları üzerindeki etkileri tahmin edilerek sosyal ve çevresel etkileri değerlendirilebilir. Sonuç olarak ta bölgedeki yeraltısuyu kaynaklarını korumak ve yönetmek için gerekli olan stratejiler belirlenebilir.

Torbalı bölgesinde yeraltısuyu akımının sayısal modeli bir sonlu farklar yeraltısuyu akım modeli olan MODFLOW [6] kullanılarak yapılmıştır. Modelin kalibrasyonu bölgede gözlenmiş yeraltısuyu seviyeleri ile yapılmıştır.

## 2. YERALTISUYUNUN DENKLEMLERİ

3 boyutlu zamanla değişen yeraltısuyu akımı için

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

şeklinde yazılabilen denklemden  $K_x, K_y, K_z$  [ $LT^{-1}$ ] x,y,z yönündeki hidrolik iletkenlikler,  $h$  [L] piyezometrik yük,  $W$  [ $T^{-1}$ ] sistemdeki birim hacim için eklenen veya çıkan su miktarı,  $S_s$  [ $L^{-1}$ ] gözenekli ortamın özgül depolaması,  $t$  [T] zamanı simgelemektedir. [7].

MODFLOW kullanarak Torbalı'nın şimdiki ve gelecekteki yeraltısuyu durumunu araştırırken çalışma alanı hücrelere bölünmüş ve her bir hücre için tanımlanan akifer özellikleri hücrenin her yerinde sabit kabul edilerek su seviyeleri hesaplanmıştır.

## 3. TORBALI BÖLGESİ

Torbalı bölgesi Türkiye'nin batısında  $38^{\circ} 11' - 38^{\circ} 22'$  kuzey enlem,  $27^{\circ} 33' - 27^{\circ} 41'$  doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1). Bölgenin kuzey doğu ve güney batı kısımları dağlarla çevrilidir. Küçük Menderes nehri ile kesişen Fetrek çayı ilkbahar ve yaz mevsimlerinde kuru dere niteliğinde olup bu mevsimlerde kaçak bir şekilde çaya bırakılan endüstriyel atık sular akmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının yeri

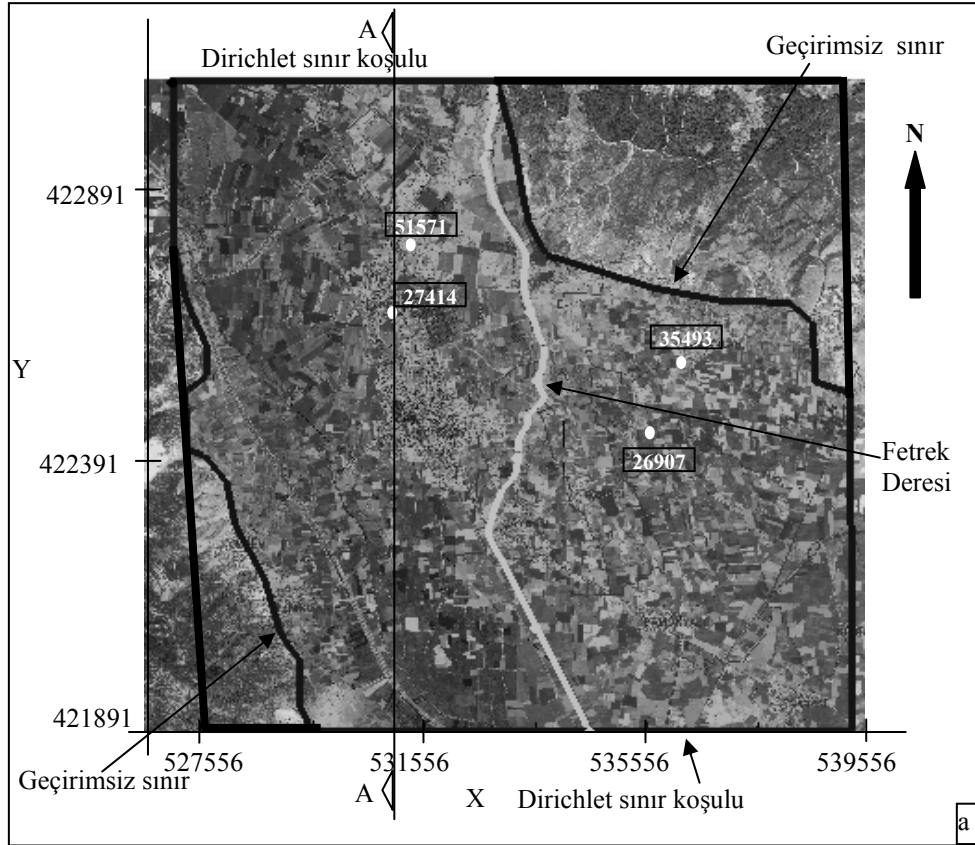
### Torbalı Bölgesinin Zamanla Değişen Yeraltısıyu Akım Modeli

Tütün, otomobil, yağ ve tekstil gibi yaklaşık 20 yıl önce başlayan endüstriyel aktiviteler bölge nüfusunda artışa sebep olmuştur. Genel nüfus sayım verilerine göre Torbalı merkezi için ortalama yıllık nüfus artış oranı 1990-2000 yılları arasında %59 olarak hesaplanmıştır. Gözlenen statik seviyeleri, genel olarak bölge yeraltısıyu seviyesinde, 1996 dan beri yılda yaklaşık 90 cm lik bir düşüş olduğunu göstermektedir.

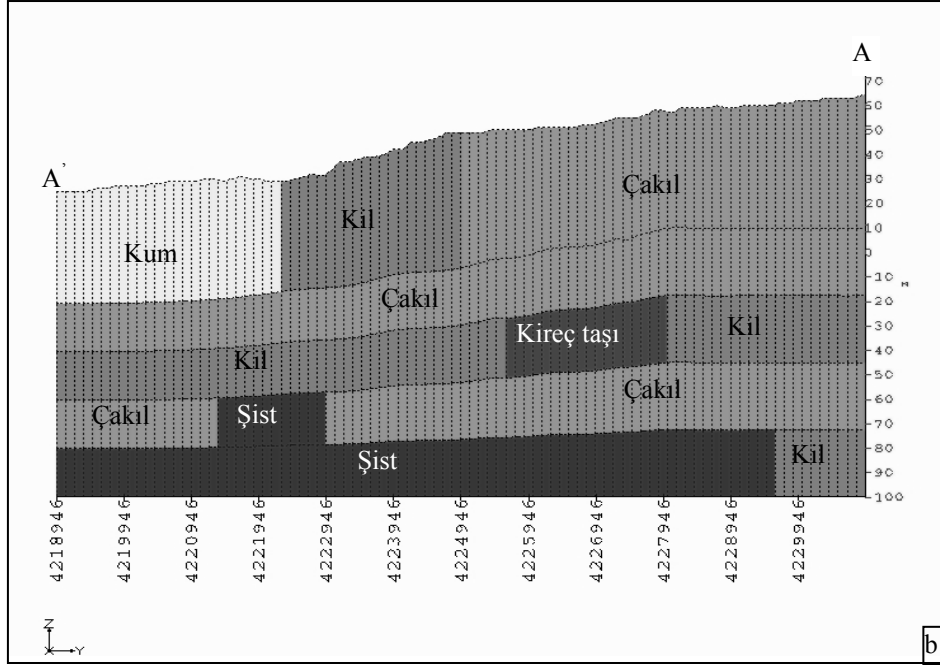
Devlet Meteoroloji İşleri'nden alınan yağış verilerine göre bölgede yıllık ortalama yağış miktarı 680 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 17 °C dir. Bölgede genellikle Nisan – Eylül aylarına karşılık gelen sulama dönemlerinde, yeraltısıyu seviyesi yetersiz yağış ve kuyulardan aşırı çekim nedeniyle düşüş göstermektedir.

Çalışma alanının hava fotoğrafından alınan genel görüntüsü ve modelleme yapılan alanın sınırları Şekil 2a'da verilmiştir. Bu şekilde gözlem kuyularının yerleri ve numaraları ve aynı zamanda sınır koşulları gösterilmektedir.

Daha önce bölgede yapılan sondaj çalışmalarından [8] elde edilen 42 kuyudan faydalanılarak bölgede 6 farklı malzeme belirlenmiştir. Bu çalışma sonucu elde edilen bölgenin jeolojik formasyonu ile ilgili kesit Şekil 2b'de verilmektedir.



Şekil 2a. Bölgenin genel görünümü, modelleme alanının sınırları (koyu çizgi) ve gözlem kuyularının yerleri



Şekil 2b. A-A doğrultusunda jeolojik kesit

### Kavramsal Model

160 km<sup>2</sup>'yi kapsayan 3 boyutlu model 100 kolon, 100 satır ve 5 tabakadan oluşturulmuştur. Dağlık bölgelere karşılık gelen hücreler hariç tutulduğunda aktif hücreler toplam hücrelerin %78 sini oluşturmaktadır. Tabakaların biçimi 42 kuyudan elde edilen veriler kullanılarak belirlenmiştir. 1. tabaka serbest akifer niteliğinde olup çakıl, kum ve kilden oluşmaktadır. Su seviyesine bağlı olarak 2. tabaka serbest ve basınçlı akifer olarak simüle edilmiştir ve genellikle çakıldan oluşmaktadır. Tabaka 3 çoğunlukla kil ve bunun yanında kireçtaşı ve mermer içermektedir. Tabaka 4 küçük bir kısmı şist olmak üzere genellikle çakıldan oluşmaktadır. 5. tabaka ise hidrolik iletkenlikleri küçük olan şist ve kil içermektedir.

Bölgede düşey hidrolik iletkenliği belirlemek amacıyla yapılan bir çalışma olmadığı için Freeze and Cherry [9] 'nin önerisi dikkate alınarak düşey anizotropi faktörü ( $K_x/K_z$ ) 10 olarak kabul edilmiştir. Bölge jeolojisini oluşturan malzemeler dikkate alındığında önerilen düşey anizotropi faktörü değerinin kullanılması kabul edilebilir olsa da bölgede kapsamlı bir arazi çalışması yapılmalıdır.

Yeraltısu yağışlardan ve yüzeysel sulardan sızma ile beslenmekte ve pompaj kuyuları ile de boşalmaktadır. Yağışların %82'sini oluşturan evapotranspirasyon (buharlaştırma-terleme) Thornwaite metodu [10] kullanılarak hesaplanmıştır. Bölgedeki yüzeysel akışlar bölge yakınında bulunan akım gözlem istasyonu verileri kullanılarak yağışların %15'i olarak alınmıştır. Sonuç olarak yeraltısu beslemesinin bölgede yağışların %3'ü olduğu kabul edilmiştir. Yeraltısu aynı zamanda Fetrek deresine Devlet Su İşleri tarafından 1980 lere

### Torbalı Bölgesinin Zamanla Değişen Yeraltısu Akım Modeli

yerleştirilen sızma havuzlarıyla yapay olarak beslenmektedir. Sızma oranı yaklaşık  $28.5 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl olarak tahmin edilmiştir [11]. Bu değer modele zamanla değişen besleme olarak yansıtılmıştır. Bölgede yeraltılarından çekim miktarı  $20 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl olarak tahmin edilmektedir. Çekimler modele zamanla değişen pompaj değerleri olarak pompaj kuyularının denk geldiği hücrelerde tanımlanmıştır.

Şekil 2a'da görüldüğü gibi bölgenin kuzey ve güneyinde zamanla değişen Dirichlet sınır koşulu tanımlanmıştır. Bu sınır koşulunun seçilmesinin nedeni bölgenin bu kesimlerinde bulunan kuyu seviye verileridir. Bu verilere dayanarak çalışma alanının kuzey ve güney sınırlarında yeraltısu seviyeleri tanımlanabilmiştir. Bölgenin kuzey-doğu ve güney-batı kısımları ise dağlık arazi olduğundan modele geçirimsiz sınır koşulu tanımlanmıştır.

Model ilk olarak kararlı akım için çalıştırılmış ve elde edilen su seviyeleri zamanla değişen modelin başlangıç seviye koşulu olarak tanımlanmıştır. Daha sonra zamanla değişen simülasyon 9 yıl için gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi bölgede düzenli olarak elde edilen yeraltısu seviyelerinin 1996-2004 yılları arasında mevcut olmasıdır. Modelde kullanılan ve Şimşek [11] tarafından elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri Çizelge 1 de ilk kolonda verilmiştir. Serbest akifer için kullanılan ve Johnson [12] tarafından belirlenen özgül verim değerleri Çizelge 1'in ikinci kolonunda görülmektedir. Basınçlı akiferler için verilen ve Domenico [13] tarafından belirlenen özgül depolama değerleri aynı tablonun üçüncü kolonunda verilmiştir.

Çizelge 1. Malzeme özellikleri

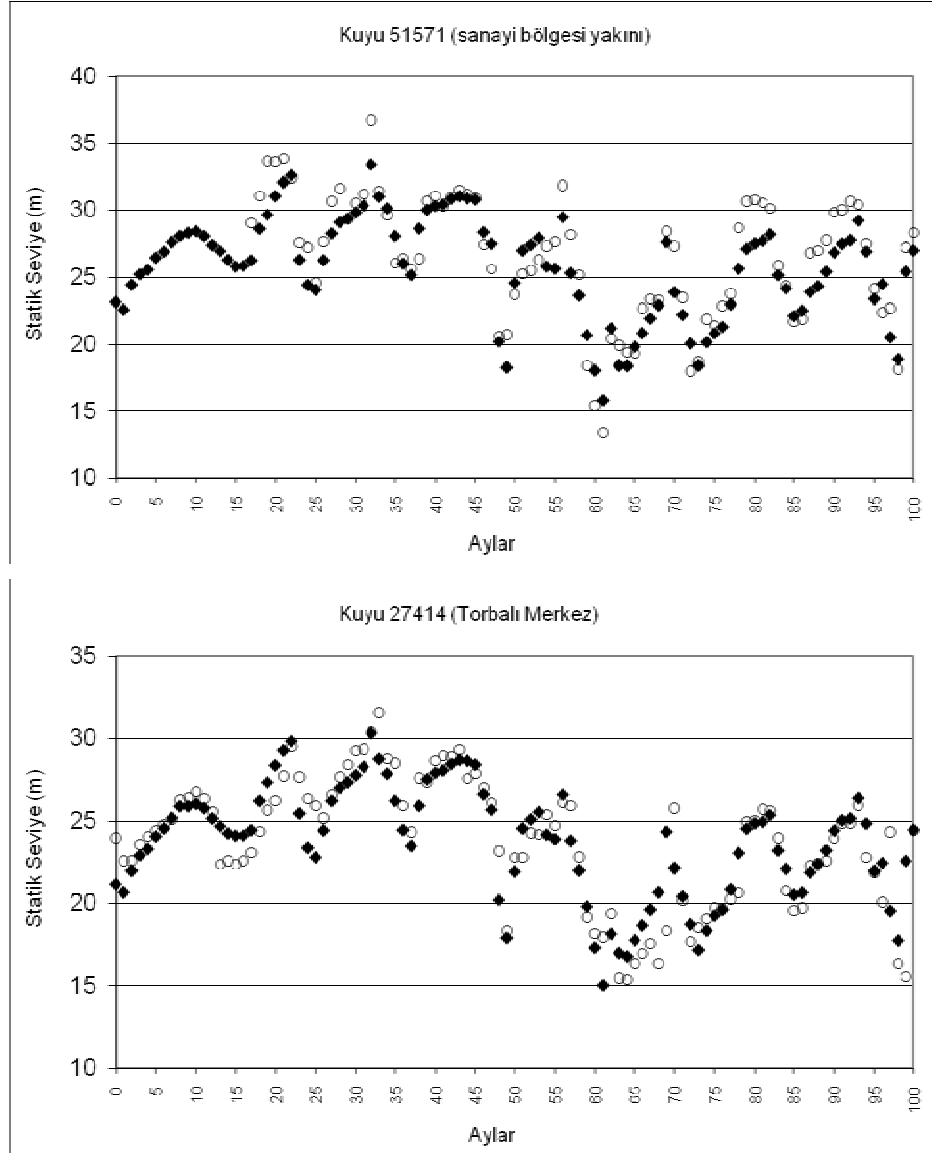
Malzeme	Hidrolik iletkenlik (Şimşek, 2002) (m/s)	Özgül Verim (%) (Johnson,1967)	Özgül depolama (m <sup>-1</sup> ) (Domenico, 1972)	Hidrolik iletkenlik (kalibre edilen) (m/sec)
Çakıl	$5 \cdot 10^{-4}$	24	$1 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
Kum	$1 \cdot 10^{-5}$	28	$2 \cdot 10^{-4}$	$3.6 \cdot 10^{-4}$
Kil	$1.7 \cdot 10^{-7}$	3	$1.3 \cdot 10^{-3}$	$4.85 \cdot 10^{-7}$
Mermer	$1.5 \cdot 10^{-2}$	14	$7 \cdot 10^{-5}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$
Kireçtaşı	$1 \cdot 10^{-2}$	14	$7 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Şist	$1 \cdot 10^{-7}$	26	$1.3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-8}$

Model, kuyularda gözlenen ve hesaplanan su seviyeleri birbirleriyle kabul edilebilir bir eşleşme sağlanıncaya kadar kalibre edilmiştir. Hidrolik iletkenliklerin nihai değerleri önce 'deneme-yanılma' metoduyla ve daha sonra PEST otomatik kalibrasyon modülü kullanılarak elde edilmiştir.

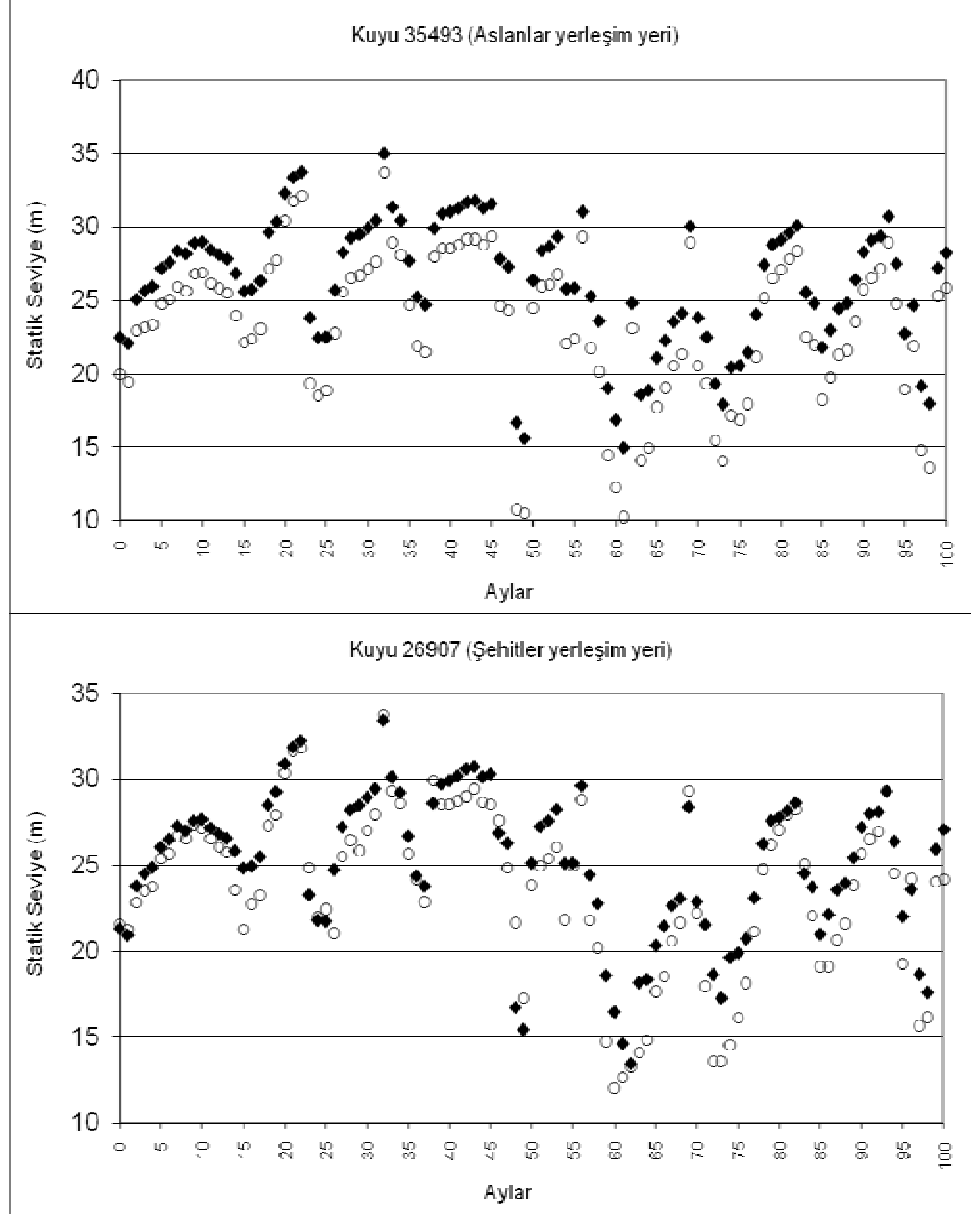
### Sayısal model Sonuçları

Kalibrasyon sonucunda elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri Çizelge 1'in son kolonunda yer almaktadır.

Şekil 3'te 01.08.1996-01.12.2004 tarihleri arasında hesaplanan ve gözlenen yeraltısuyu seviyeleri verilmektedir. Torbalı yerleşkesinin ve sanayi bölgesinin yer aldığı çalışma alanının kuzey kısmında yeraltısuyu seviyesindeki azalış yaklaşık 6 m'dir. Gözlem kuyularının yeri ve numaraları Şekil 2a'da belirtilmiştir.



Şekil 3. 51571, 27414, 35493 ve 26907 nolu kuyularda 1996-2004 yılları arasında gözlenmiş ve hesaplanmış seviye değerleri (○ gözlenmiş değerler, ◆ hesaplanmış değerler)



Şekil 3. 51571, 27414, 35493 ve 26907 nolu kuyularda 1996-2004 yılları arasında gözlenmiş ve hesaplanmış seviye değerleri (○ gözlenmiş değerler, ◆ hesaplanmış değerler) (devamı)

Kalibrasyon sürecinden sonra gözlenen ve hesaplanan seviyeler için ortalama mutlak hata (seride gözlenen ve tahmin edilen veri değerlerinin farkının, gözlenen değere bölündükten sonra her bir sonuç için yüzde olarak toplanmasıyla elde edilen değer) 2,2 m ve ortalama

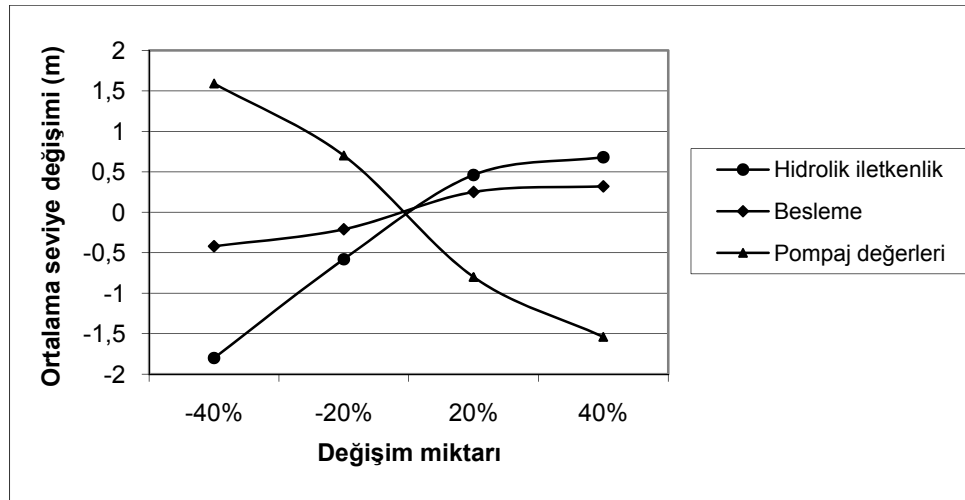


karesel hata (seride gözlenen ve tahmin edilen veri değerlerinin farkının karelerinin toplanıp, toplam veri sayısına bölünüp kare kökünün alınmasıyla elde edilen değer) ise 3,1 m dir.

Duyarlılık analizi modelin hangi parametreye daha duyarlı olduğunu görmek için yapılmıştır. Bu analiz bir parametre değiştirilirken diğer parametrelerin aynı kalması esasına dayanmaktadır. Duyarlılık analizi hidrolik iletkenlik, besleme ve pompaj değerleri için gerçekleştirilmiştir. Bu parametrelerin artırılması/azaltılmasının model üzerindeki etkileri Çizelge 2’de sayısal olarak, Şekil 4’te de grafiksel olarak görülmektedir.

Çizelge 2. Parametrelere bağlı olarak yeraltısuyu seviye değişimleri

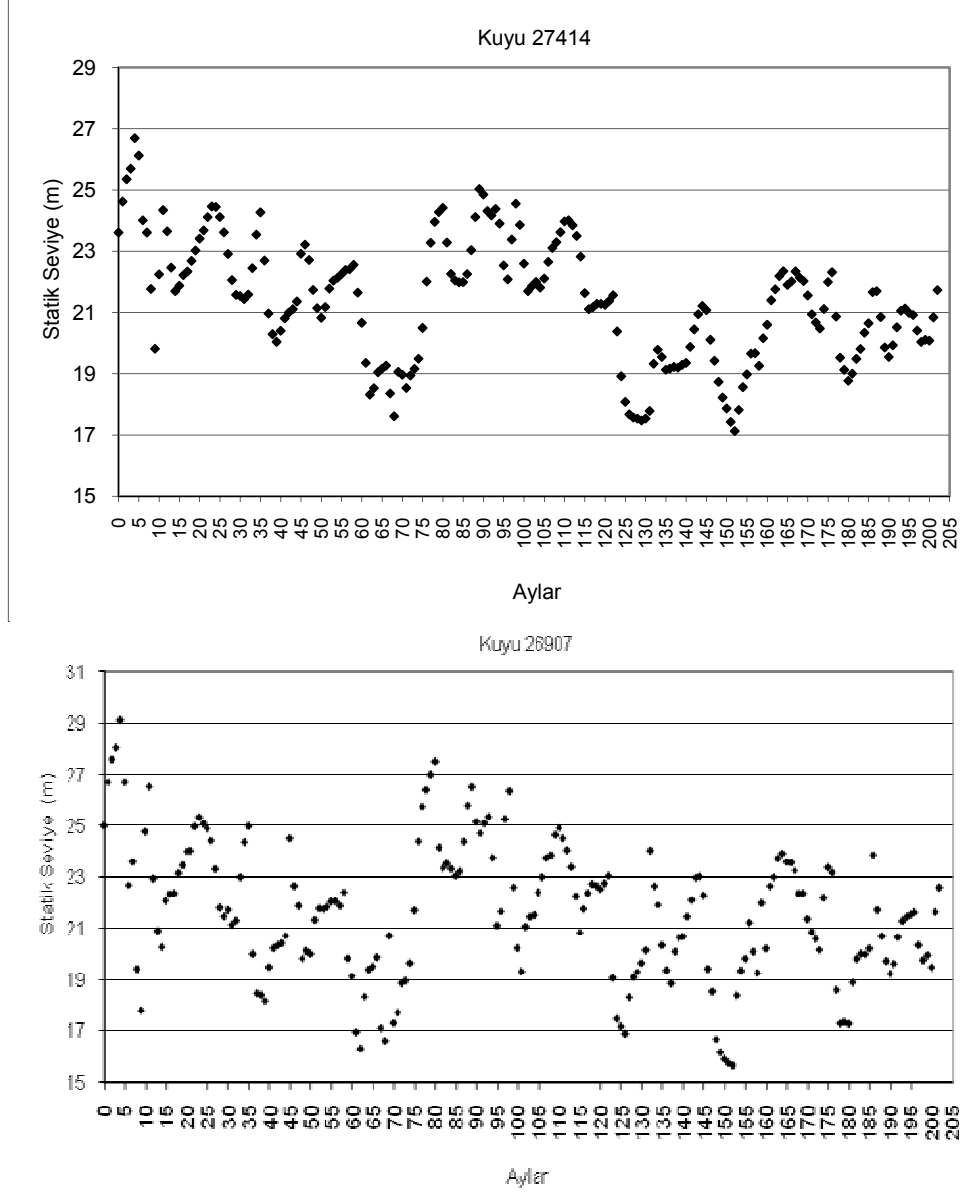
Değişim miktarı (%)	Yeraltısuyu seviyesindeki değişim (m)		
	Hidrolik iletkenlik	Besleme	Pompaj değerleri
-40%	-1.8	-0.42	1.59
-20%	-0.58	-0.21	0.75
20%	0.46	0.25	-0.82
40%	0.68	0.32	-1.54



Şekil 4. Parametrelere bağlı olarak yeraltısuyu seviyesindeki değişim miktarı

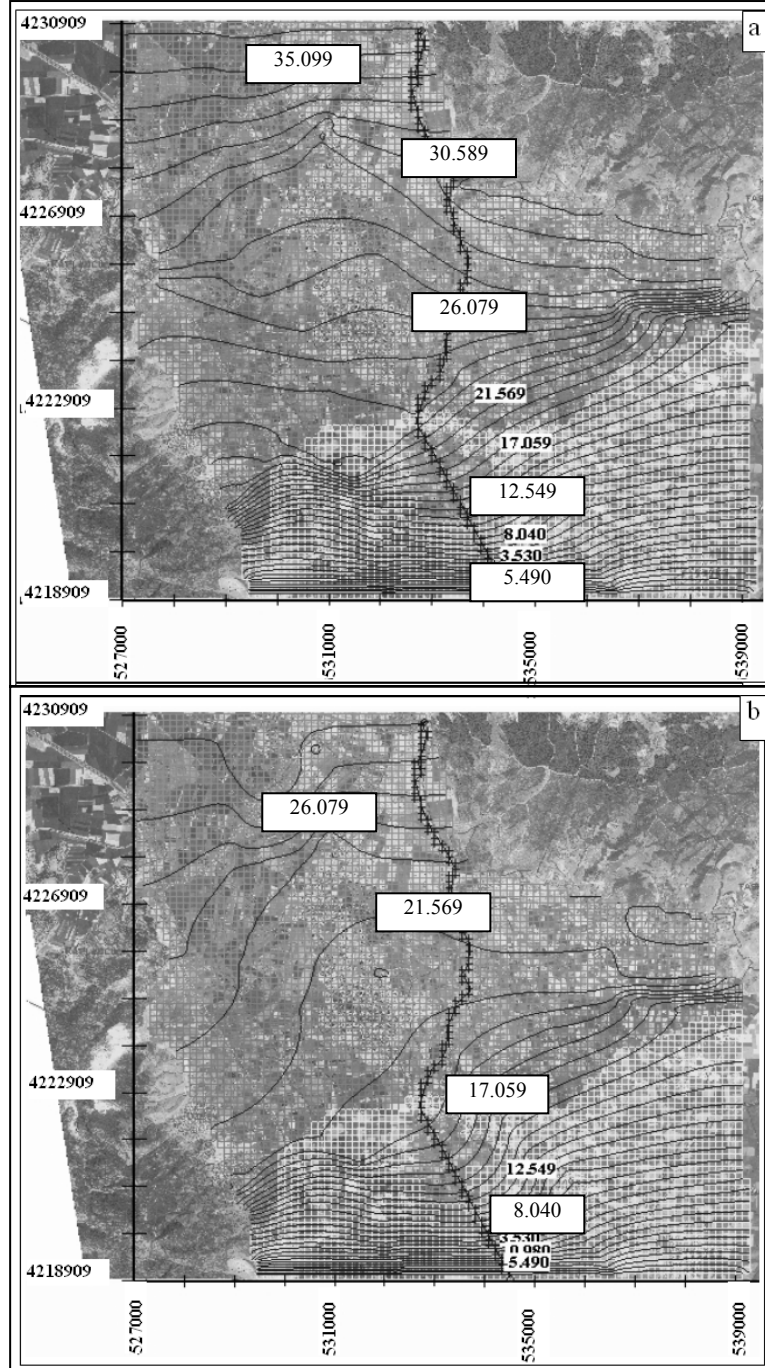
Mevcut pompaj değerleri kullanılarak kalibre edilmiş olan model kullanılarak bölgedeki yeraltısuyu seviyesi 2020 yılına kadar tahmin edilmiştir. Hesaplanan yeraltısuyu seviyeleri yağışlı ve kurak dönemlerde beklenildiği üzere salınım yapmıştır. Torbalı merkezinde bulunan 27414 nolu kuyu ile Şehitler yerleşke alanında bulunan 26907 nolu kuyulara ait 01.01.2004-01.12.2020 tarihleri arasında hesaplanan seviyeler örnek olarak Şekil 5’te gösterilmiştir.

*Torbalı Bölgesinin Zamanla Değişen Yeraltısıyu Akım Modeli*



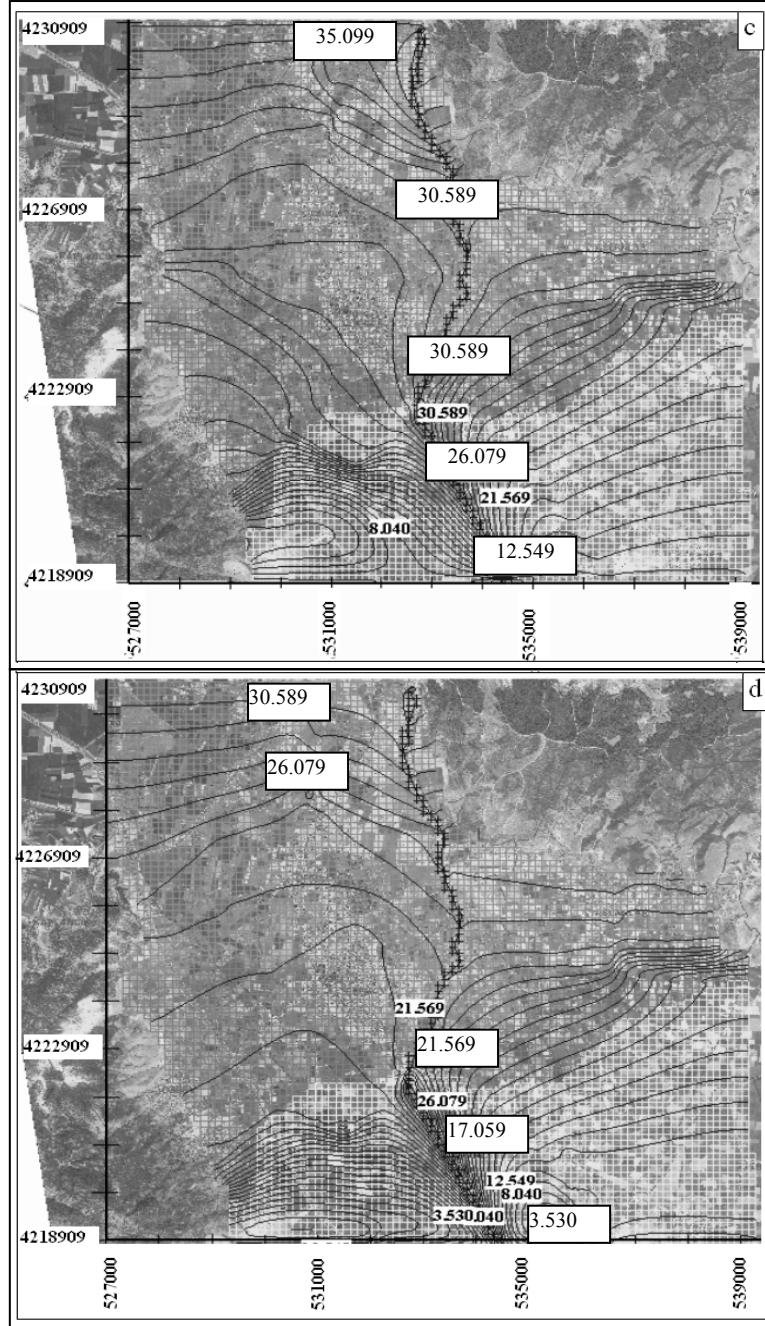
*Şekil 5. 01.012004-01.12.2020 dönem aralığı için tahmin edilen seviye değerleri*

Şekil 6a, 6b, 6c ve 6d'de sırasıyla Haziran 1997, Haziran 2020, Şubat 1997 ve Şubat 2020 ayları için hesaplanmış yeraltısıyu seviyeleri verilmektedir.



Şekil 6. a) Haziran 1997 için hesaplanan yeraltısuyu seviyeleri  
b) Haziran 2020 için hesaplanan yeraltısuyu seviyeleri

*Torbalı Bölgesinin Zamanla Değişen Yeraltısıyu Akım Modeli*



*Şekil 6 (devamı). c) Şubat 1997 için hesaplanan yeraltısıyu seviyeleri  
d) Şubat 2020 için hesaplanan yeraltısıyu seviyeleri*

Yeraltısuyu akımı yönünün kuzeyden güneye doğru olduğu gözlenmiştir. Önümüzdeki yıllar için yapılan tahminde de akım yönü çalışma alanının doğu kısmı hariç değişmemiştir. Bu kısımda ise akım yönü 2010 dan sonra değişim göstererek doğudan batıya doğru olmaktadır. Fetrek deresi bahar ve yaz aylarında kuru dere niteliğinde olduğu için sızma havuzları sadece yağışlı dönemde besleme yapabilmektedirler. Bu havuzlar en fazla pompajın gözlendiği sulama zamanında bölgede etkili olamamaktadırlar.

## **SONUÇ**

Bu çalışmada mevcut koşullar durumunda Torbalı bölgesindeki yeraltısuyu seviyelerinin 2020 yılına kadar tahmin edilmesi için üç boyutlu yeraltısuyu akım modeli geliştirilmiştir. Bu sayısal model 1996-2004 yılları arasında gözlenen yeraltısuyu seviyeleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Hesaplanan ve gözlenen su seviyeleri arasında her ne kadar bazı farklılıklar olsa da model kabul edilebilir niteliktedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi bölgede yeraltısuyu seviyeleri değişken pompaj değerleri ve iklim koşulları sebebiyle salınım yapmaktadırlar.

Modelden elde edilen sonuçlar yeraltısuyu seviyesinde bir düşüş olduğunu işaret etmektedirler. Kalibre edilmiş sayısal model sonuçlarına göre bölgede yeraltısuyu seviyesi 2000 ile 2020 yılları arasında yaklaşık 8 m düşeceği sonucu çıkarılabilir. 1996-2004 yılları arasında gözlenen yeraltısuyu seviyesindeki yıllık azalış yaklaşık 90 cm olduğundan azalışın 2020 yılına kadar yaklaşık 18 m olması beklenmektedir. Bu farklılığın en büyük sebeplerinden biri bölgede birçok kaçak kuyunun mevcut olmasıdır. Daha önce yapılan bir çalışma bölgedeki kaçak kuyuların varlığına dikkat çekmiştir [11].

Eğer bölgedeki yeraltısuyu seviye azalması önlenmez ise mevcut kuyuların kapasitesi ileride yetmeyecektir. Bölgedeki en büyük su kaynağı yeraltısuyu olduğu için etkili bir yeraltısuyu yönetim planına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada geliştirilen model bu amaç için kullanılacak araçlardan biri olabilir. Bu model değişik senaryolar yaratılarak yeraltısuyu seviyelerinin tahmininde, akım yönlerinin ve hızlarının belirlenmesinde kullanılabilir. Bölgede gelecek yıllar için yeraltısuyu modellemesinin güvenilir ve anlamlı olabilmesi ancak bölgedeki tüm pompaj kuyularının belirlenmesiyle mümkün olabilecektir.

Bölgedeki yeraltısuyu kalitesinin düzenli olarak ölçülmesi de önem taşımaktadır. Bölge yeraltısuları için kirlilik taşınım modelinin de yapılması gerekmektedir. Bu amaçla detaylı arazi çalışmaları tecrübeli bir ekip tarafından yapılarak bölgedeki jeolojik formasyonların dispersivite değerleri belirlenmelidir.

## **Kaynaklar**

- [1] Ebraheem, A.M., Riad, S., Wycisk, P., Seif El-Nasr, A.M. Simulation of impact of present and future groundwater extraction from the non-replenished Nubian sand stone aquifer in southwest Egypt. Environmental Geology 43, 188-196, 2002.
- [2] Abdulla, F.A., Al-Khatib, M.A., Al-Ghazzawi, Z.D. Development of groundwater modeling for the Azraq Basin, Jordan. Environmental Geology 40, 11-18, 2000.

- [3] Rojas, R., Dassargues, A. Groundwater flow modeling of the regional aquifer of the Pampa del Tamarugal, northern Chile. *Hydrogeology Journal* 15, 537-551, 2007.
- [4] Wen, X.H., Wu, Y.Q., Lee, L.J.E., Su, J.P. Groundwater flow modeling in the Zhangye Basin, Northwestern China. *Environmental Geology* 53, 77-84, 2007.
- [5] Aksoy, A.O., Scheytt, T. Assessment of groundwater pollution around Torbali, Izmir, Turkey. *Environmental Geology* 53, 19-25, 2007.
- [6] McDonald, M.G., Harbaugh, A.W. A modular three-dimensional finite-difference groundwater flow model. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 6, chap. A1, 586 pp, 1988.
- [7] Anderson, M.P., Woessner, W.W. *Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport*. Academic Press, New York, 381pp, 1992.
- [8] METU (Middle East Technical University), 2000. Investigation of the groundwater resources of Kucuk Menderes River Basin. METU Department of Geological Engineering, Ankara, Turkey.
- [9] Freeze, R.A., Cherry, J.A. *Groundwater*. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 604pp, 1979.
- [10] Thornthwaite, C.W. An approach toward a radiation classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94, 1948.
- [11] Simsek, C. The hydrogeological investigations for the site selection of the landfill area of the Torbali Plain. PhD Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Science, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey, 280pp, 2002.
- [12] Johnson, A.I. Specific yield-compilation of specific yields for various materials. US Geological Survey Water Supply Paper 1662-D, 74pp, 1967.
- [13] Domenico, P.A. *Concepts and models in groundwater hydrology*. New York: McGraw-Hill, 405pp, 1972.