

# Erzin Ovası (Hatay) Yeraltısuyu Havzası Sonlu Eleman modeli

Finite Element Model for the Erzin Plain (Hatay) Groundwater Basin

NURKAN KARAHANOĞLU, ODTÜ, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

VEDAT DOYURAN, ODTÜ, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

FONGS AWARD SU VAGONDA, Chiang Mai üniversitesi, Tayland

**ÖZ:** Bu yazıda Erzin ovası serbest akiferi için bir sonlu eleman modeli tanıtılmaktadır. Modelde kullanılan yeraltısuyu akış denklemleri, Dupuit varsayımları kullanılarak dengesiz serbest akifer koşulları için oluşturulmuştur.

Modelin Erzin ovası yeraltısuyu havzasına uygulanması 1978 sulama mevsimi için kalibrasyon, 1978-1982 dönemi için gerçekleştirme çalışmaları ile yürütülmüştür. Duyarlılık analizleri akifer parametreleri, ağ boyutu, sınır koşulları ve beslenme-boşalım değerlerine göre yapılmıştır.

Akiferin değişik hidrolojik koşullara karşı davranışının benzeşimi uzun süreli yeraltısuyu düzeyi gözlemleri olan beş kuyu yardımı ile sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ölçülen ve hesaplanan yük dağılımları arasında çok iyi bir uyum göstermektedir.

**ABSTRACT :** In this paper a finite element model is presented for the unconfined aquifer of the Erzin plain. In the model governing groundwater flow equations are modified by introducing Dupuit assumptions for the non-steady state unconfined aquifer condition.

Application of the model to the Erzin plain groundwater basin is accomplished by calibration of the model for the irrigation season of 1978 and verification for the period 1978-1982. Sensitivity analyses are conducted for aquifer parameters, mesh size, boundary conditions and recharge - discharge rates.

Simulation of the response of the aquifer to changing hydrological conditions is accomplished by means of five control wells for which long term head distribution data are available. The results obtained have shown a very good correlation between the measured and the computed heads.

## GİRİŞ

Yeraltısuyu kaynaklarının verimli şekilde işletilebilmeleri akiferlerin kantitatif olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir. Günümüzde yeraltısuyu tüketimi, kentleşme, tarım ve endüstri gereksinimlerine koşut olarak hızla artmaktadır. Artan bu talebin karşılanmasını konu alan çalışmaların, yeraltısuyu kaynaklarının daha verimli kullanılmasına yönelik olması gerekmektedir. Son yıllarda hızla gelişen sayısal modeller, yeraltısuyu işletmesine ilişkin sorunların araştırılmasında ve akifer sistemlerinin incelenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yeraltısuyu çalışmalarında kullanılan sayısal modeller genel amaçlı olarak hazırlanmakta ve değişik hidrolojik koşullara uygulanabilen bilgisayar programlarından oluşmaktadır. Akiferde yeraltısuyu akışını kontrol eden diferansiyel denklemler modelin esasını oluşturmakta ve bu denklemlerin uygun sınır koşulları ile sayısal çözümü bilgisayar program-

lanca gerçekleştirilmektedir. Bu tür modellerin kullanılmasında, çözümü amaçlanan fiziksel problemin tüm ayrıntıları ile ortaya konulması ve modelin uygulanacağı sahanın hidrojeolojik özelliklerinin yeterli ayrıntıda tanımlanması gerekmektedir. Başarılı bir model uygulaması için hidrolojik prensiplerin, akiferin, sayısal modelin ve çözüm yöntemlerinin uygun bir düzende bağdaştırılması gerekmektedir.

Bu incelemede Erzin ovası (Şekil 1) serbest akiferi için geliştirilen sonlu elemanlar modeli ve saha uygulaması ele alınmaktadır.

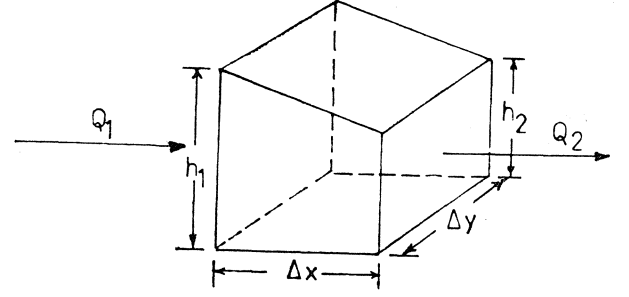
## SAYISAL MODEL

Yeraltısuyu havzalarının sayısal modellerle benzeşim çalışmaları doğa olaylarını fiziksel bir yaklaşımla tanımlamayı amaçlamaktadır. Bu nedenle, oluşturulacak modelde yeraltısuyu akışının matematiksel olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Matema-

tiksel model olarak bilinen bu aşamadan sonra oluşturulan kısmi diferansiyel denklemler, sayısal yöntemlerle çözülmekte ve akifer içerisinde yeraltı suyunun dağılımı belirlenmektedir. Benzeşim çalışması, oluşturulan modelin saha koşullarına uygulanması ile tamamlanmaktadır.

Erzin ovasında yeraltı suyunun serbest akifer koşullarında olduğu gözönüne alındığında, benzeşim çalışmasında kullanılacak modelin bu yönde geliştirilmesi gerekmektedir. Serbest akiferlerde suya doymuş zonu kalınlığı yeraltı suyunun konumu ile değiştiğinden, basınçlı akiferler için geçerli olan yeraltı suyu akış denklemi, bazı çok özel durumlar dışında geçerliliğini yitirmektedir. Bu nedenle, yeraltı suyu akışını kontrol eden denklem Dupuit varsayımları kullanılarak yeniden oluşturulmaktadır. Buna göre, yeraltı suyu akışı yatay kabul edilmekte ve hidrolik eğim ise serbest yüzeyin eğimine eşit alınmaktadır.

Serbest akiferlerde yeraltı suyu akışını kontrol eden diferansiyel denklemin oluşturulabilmesi için öncelikle, akiferin çok küçük bir dilimi için (Şekil 2) süreklilik analizinin yapılması gerekmektedir. Akiferin küçük bir kısmını temsil eden bu kontrol hacminin üst düzeyi su tablasını göstermekte ve su tab-



Şekil 2 : Serbest akifer birim hacmi (Wang ve Anderson, 1982)

Figure 2 : Infinitesimal volume of unconfined aquifer (Wong and Anderson, 1982)

lası yüksekliği sol yüzde  $h(x) = h_1$ , sağ yüzde ise  $h(x) = h_2$  olarak alınmaktadır. Şekilde  $Q_1$  ve  $Q_2$  ile gösterilen oklar, akifer dilimine giren ve çıkan hacimsel akış hızlarını ifade etmektedir. Darcy kanunu ve Dupuit varsayımları kullanılarak bu iki akış hızı arasındaki fark şu şekilde ifade edilir.

$$Q_2 - Q_1 = K \cdot \Delta y \left[ h_2 \frac{dh}{dx} \Big|_{x_2} - h_1 \frac{dh}{dx} \Big|_{x_1} \right] \quad (1)$$

Kontrol hacminin üst yüzeyinden beslenme hızı  $R$  ile gösterilip, süreklilik analizi yapıldığında

$$Q_2 - Q_1 = R \cdot \Delta x \cdot \Delta y \quad (2)$$

elde edilir. (1) numaralı denklemde parantez içindeki terimler  $h^2$  cinsinden ifade edilebilmektedir. Böylece,  $dh^2/dx = 2h(dh/dx)$  ilişkisi dikkate alındığında ve (1) ve (2) nolu denklemler  $(\Delta x \cdot \Delta y)$  ile bölüldüğünde,

$$\frac{K}{2} \left[ \frac{dh^2}{dx} \Big|_{x_2} - \frac{dh^2}{dx} \Big|_{x_1} \right] = R \quad (3)$$

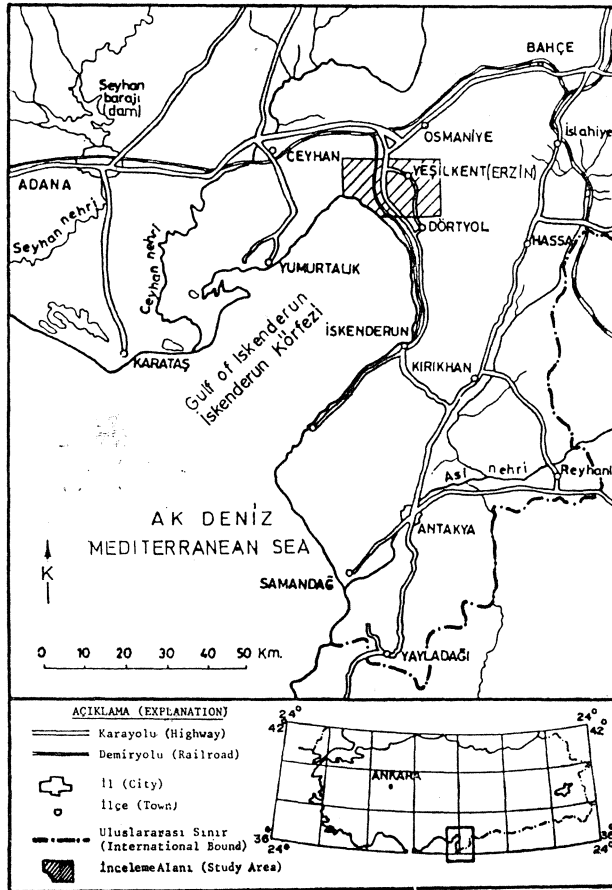
ifadesi elde edilir. Parantez içindeki ifadenin limiti ( $x \rightarrow 0$ ) alınarak

$$\frac{K}{2} \frac{d^2 h^2}{dx^2} = -R \quad (4)$$

denklemi bulunur. Bu denklem bir boyutlu ortamda, serbest akiferlerde yeraltı suyu akışını ifade etmektedir. Benzer şekilde  $x$ -yönünde yapılan analiz,  $y$ -yönünde de tekrarlandığında iki boyutlu akım için

$$\frac{K}{2} \left( \frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h^2}{\partial y^2} \right) = -R \quad (5)$$

kısmî diferansiyel denklemini elde edilir.



Şekil 1 : Yerbulduru haritası

Figure 1 : Location map

Zamana bağımsız olarak yapılan analiz sonucunda, serbest akiferlerde dengeli akışı kontrol eden diferansiyel denklem  $h^2$  cinsinden ifade edilmiştir. Ancak genelde yeraltısu düzeyi zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle akış denklemine zaman faktörünü de katmak gerekir. Bunun için, depolama-yı kontrol eden bir terim,  $S \text{ Oh/at}$ , (5) nolu denkleme ilave edilir. Bu ifadedeki  $S$  depolama katsayısıdır ve serbest akiferlerde özgül verim olarak da bilinmektedir. Böylece (5) nolu denklem zaman kavramının da ilavesi ile aşağıdaki şekli alır:

$$\frac{K}{2} \left( \frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h^2}{\partial y^2} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} - R \quad (6)$$

Bu şekilde dengesiz akış koşullarındaki serbest akiferde  $x$ ,  $y$  ve  $t$ 'ye bağlı olarak, yeraltısu akışını kontrol eden denklem elde edilmiştir. Bu denklem, çözümde kolaylık sağlayabilmek amacı ile  $V = h^2$  eşitliği kullanılarak,

$$\frac{K}{2} \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) = \frac{S}{2\sqrt{V}} \frac{\partial V}{\partial t} - R \quad (7)$$

şekline dönüştürülebilir (Wang ve Anderson, 1982).

Dupuit varsayımları kullanılarak elde edilen ve serbest akiferlerde zamana bağlı akışı kontrol eden bu denklem (6 veya 7), matematiksel modelin temelini oluşturmaktadır. Ancak, modelin tamamlanabilmesi için gerekli sınırlar ve başlangıç koşullarının benzerim çalışmasının yapılacağı ortamın hidrojeolojik koşulları göz önüne alınarak belirlenmesi zorunludur. Bunun için kullanılan denkleme göre (6 veya 7) sınır koşullarının ( $h$ ) ya da ( $V$ ) cinsinden ifade edilmesi gerekmektedir. Çünkü yukarıda belirtilen diferansiyel denklemler model sınırları içinde kalan kısımdaki akışı modellemektedir.

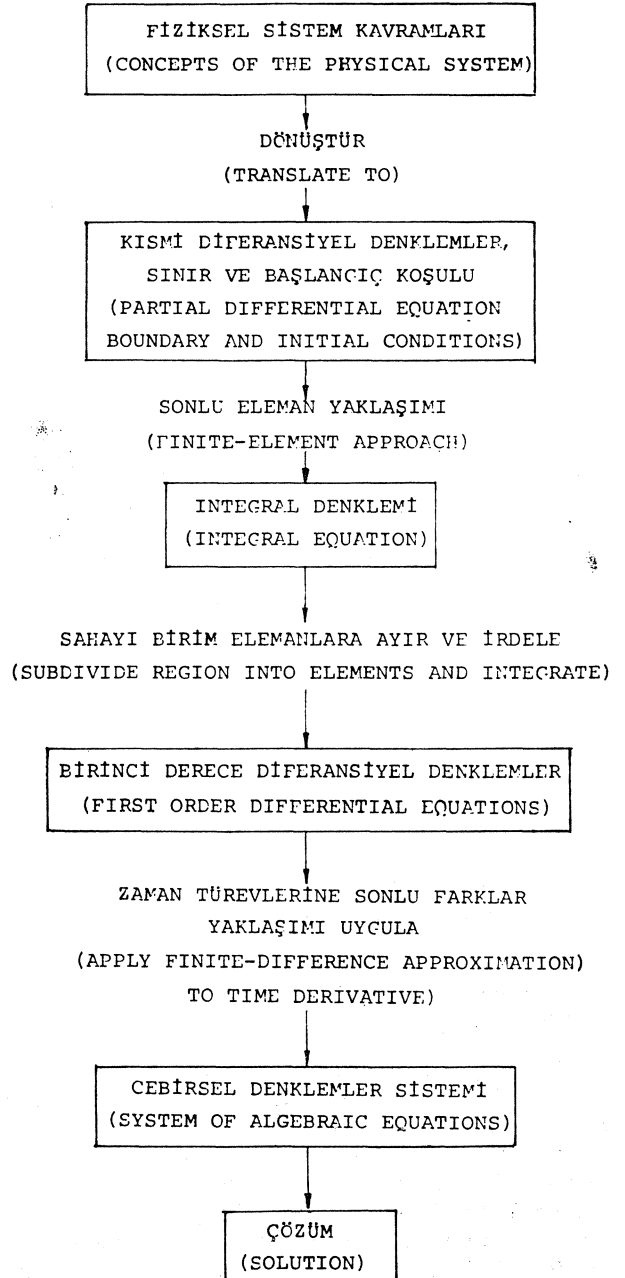
Sınır koşullarının matematiksel olarak ifadesi uygulama sahasının sınırları dikkate alınarak iki şekilde yapılmaktadır. Birincisinde, sınır boyunca, diferansiyel denklemde bilinmeyen olarak alınan ( $h$ ) ya da ( $V$ ), bilinen bir değere eşitlenmekte (Dirichlet sınır koşulu), diğerinde ise bilinmeyen türevine belirli bir değer verilmektedir (Neumann sınır koşulu). Böylece, doğal ortamda gözlenen geçirimsiz ya da geçirimsiz sınır koşulları, matematiksel olarak ifade edilerek model son şeklini almaktadır.

Yeraltısu düzeyinin zamana ve yere bağlı değişimini inceleyebilmek için yukarıdaki denklemlerle oluşturulan ve sınır koşulları ile desteklenen matematiksel ifadelerin çözülmesi gerekmektedir. Bunun için, bu çalışmada, sayısal çözüm için sonlu elemanlar yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemde küçük elemanlara bölünmekte ve herbir elemanda bilinmeyen fonksiyonlar, elemanların düğüm noktalarındaki değerleriyle ifade edilmektedir (Zienkiewicz, 1977).

Sonlu elemanlar yönteminin uygulanmasında, ilk olarak, model denkleminin integral denkleme dönüştürülmesi gerekmektedir (Şekil 3). Bu nedenle çözüm ortamında ağırlıklı farkların integralini en

düşük seviyeye indiren «ağırlıklı kalıntılar» yöntemi kullanılmıştır. Böylece, akımı kontrol eden kısmi diferansiyel denklem,

$$\int_{\Omega} W \left[ \frac{K}{2} \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) - \frac{S}{2\sqrt{V}} \frac{\partial V}{\partial t} + R \right] d\Omega = 0 \quad (8)$$



Şekil 3 : Sonlu eleman yöntemi ile genelleştirilmiş model oluşturulması (Mercer ve Faust, 1980'den)

Figure 3 : Generalized model development by finite element method (After Mercer and Faust, 1980)

integral denklemi şeklinde yazılabilir. Bu denklemde (W) ağırlık katsayısını ( $f_i$ ) ise çözüm ortamının alanını ifade etmektedir. Denklemdeki ikinci derece terimler Green teoremi kullanılarak değerlendirilmektedir. Diğer taraftan sonlu elemanlar yönteminin gereği olarak, bağımlı değişken (V), elemanların düğüm noktalarındaki değerlerle,

$$V = \sum_{m=1}^{m^e} N_m(x, y) \cdot \bar{V}_m(t) \quad (9)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada ( $N_m$ ) elemanlar için kullanılan şekil fonksiyonları, ( $\bar{V}_m$ ) düğüm noktalarındaki bağımlı değişken değerini, ( $m^e$ ) ise seçilen elemandaki toplam düğüm noktasını ya da köşe noktasını göstermektedir. Bir çok sonlu eleman uygulamasında, (8) nolu denklemde kullanılan ağırlık katsayıları ve/veya fonksiyonları, şekil fonksiyonlarına eşit alınmaktadır. Galerkin yöntemi olarak bilinen bu uygulama yapıldığında ve Green teoremi ile geliştirilen denklemde (9) nolu ifade yerine konulursa,

$$[G] \{V\} + [P] \left\{ \frac{av}{at} \right\} = \{f\} \quad (10)$$

elde edilir. Matris yöntemi kullanılarak yazılan bu denklemde,

[G], bilinmeyenlerin katsayılarından oluşan matrisi,  
 {V}, düğüm noktalarındaki bilinmeyenler vektörünü,  
 [P], bilinmeyen zaman türevi katsayılarından oluşan matrisi,

$\left\{ \frac{av}{3t} \right\}$ , düğüm noktalarındaki bilinmeyenlerin zamana göre türevini içeren vektörü,  
 {f}, elemana, köşe noktalarında etkiyen yükler vektörünü göstermektedir.

(10) nolu denklem doğrusal (Linear) olmayan bir denklemdir. Çünkü [P] matrisi bilinmeyen bağımlı değişken V'yi içermektedir.

Matris yöntemi kullanılarak ifade edilen bu diferansiyel denklem bağımlı değişkenin (V) kendisi ve zamana göre türevi  $Ov/3t$  cinsinden ifade edilmiştir. Bu birinci derece diferansiyel denklem, Wilson ve Clough (1962: Aral, 1974'de) tarafından önerilen yöntem kullanılarak çözülebilir. Bu yöntemde  $Oh/3t$  ifadesinin zamana göre değişimi, her bir zaman dilimi içerisinde doğrusal olarak kabul edilmektedir. Buna göre bilinmeyen, eski zaman değeri kullanılarak

$$\{V\}_t = \{V\}_{t-\Delta t} + \left( \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)_{t-\Delta} + \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right)_t \right) \cdot \frac{\Delta t}{2} \quad (11)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu denklem kullanılarak (10) nolu denklemdeki  $Ov/3t$  terimini değerlendirilmekte ve böylece denklem sistemi  $Ov/3t$  teriminden arındırılmaktadır. Bu uygulama yapılırken (11) numaralı denklem bir kez (t) zamanında ve bir kez de (t-At) zamanında yazılarak, (10) nolu denklemde yerine konulmaktadır. Böylece (11) ve (10) nolu denklemler aynı anda çözümlenerek, aşağıdaki genel cebirsel denklem sistemi elde edilebilir:

$$[G]^* \{V\}^* = \{f\}^* \quad (12)$$

Burada,

$$[G]^* = [P] \cdot \frac{2}{\Delta t} + [G] \quad (13)$$

ve

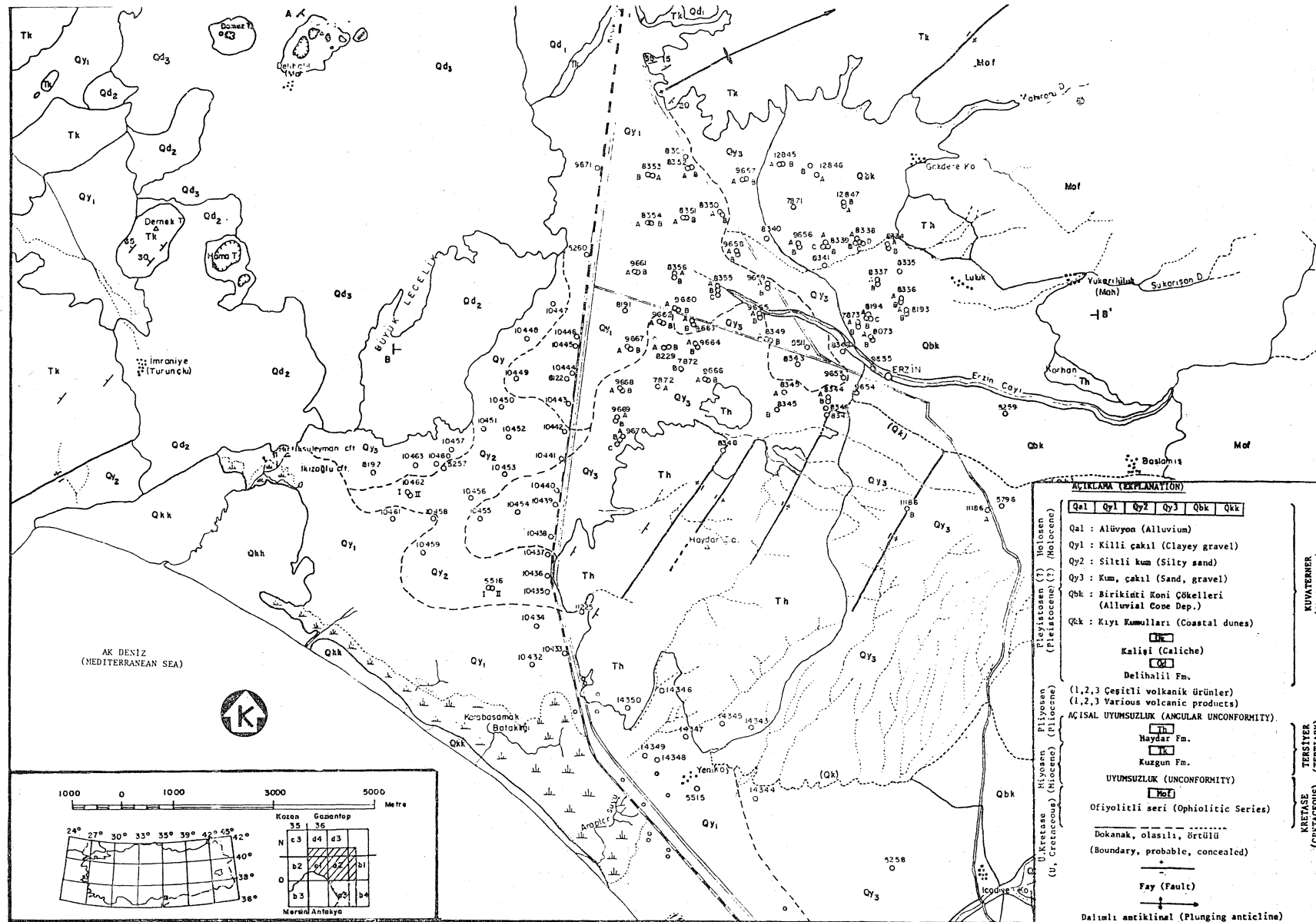
$$\{f\}^* = \{f\} + \frac{2}{\Delta t} \cdot [P] \{V\}_{t-\Delta t} \quad (14)$$

şeklinde tanımlanmıştır. (12) nolu cebirsel denklem sistemi çözümlenerek elde edilen  $\{V\}^*$  değerleri

$$\{V\} = 2 \cdot \{V\}^* - \{V\}_{t-\Delta t} \quad (15)$$

eşitliğinde yerine konularak, bağımlı değişkenin yeni zaman seviyesindeki çözümü elde edilmektedir. Yukarıdaki denklemlerde görüldüğü gibi çözümün zaman içerisinde ilerletilmesi, yöntemde bir önceki zaman değerleri kullanılarak yapılmaktadır.

Oluşturulan sayısal modelin çözüm sistemi, sonlu elemanlar yönteminin gereği olarak, (10-15) nolu denklemlerde görülen matris ve vektörlerin herbir eleman için yazılmasını ve sonradan bunların elemanların bağlantı ilişkilerine göre birleştirilmesini gerektirmektedir. Daha sonra sınır koşulları genel denklem sistemine işlenmekte ve oluşturulan genel cebirsel denklem sistemi her bir zaman seviyesinde çözümlenmektedir. Bu işlemler yapılırken, her bir zaman seviyesinde [P] matrisinin bilinmesi gerekmektedir. [P] matrisi ise çözümü aranan bağımlı değişkeni içermektedir. Bu nedenle [P] matrisi hesaplanırken, bir önceki zaman seviyesinde bulunan V değerleri kullanılmıştır. Böylece, bağımlı değişkenin, başka bir deyişle yeraltı düzeyinin, elemanların düğüm noktalarındaki değerlerinin zaman ve yer koordinatlarına göre değişimi saptanabilmektedir. Tüm bu işlemleri yapacak bir bilgisayar programı (GRWM) geliştirilerek Erzin ovası için amaçlanan yeraltı su benzeşim modeli tamamlanmıştır. GRWM bilgisayar programı, Aral (1974) tarafından hazırlanan, dengeli ve zamana bağlı akım denklemlerini çözen FEMAC programı geliştirilerek elde edilmiştir.



Şekil 4 : Erzin ovası jeolojik haritası (Doğan, 1982'den)

Figure 4 : Geological map of the Erzin plain (After Doğan, 1982)

### MODELİN ERZİN OVASINA UYGULANMASI

Geliştirilen sonlu elemanlar modeli, Erzın ovası yeraltısuyu havzasındaki beslenme ve boşalım koşullarına bağlı olarak, yeraltısı düzeyi değişimlerini belirlemek amacı ile uygulanmıştır. Başarılı bir model uygulaması gerçek saha koşullarının en iyi bir şekilde modele yansıtılması ile mümkündür. Bu nedenle, hidrojeolojik veriler sayısal modelin temel girdilerini oluşturur. Aşağıda, Erzın ovasının hidrojeolojik özelliklerine kısaca değinilecektir. Bu konuda daha ayrıntılı bilgiler Doyuran (1982, 1983a, 1983b) de verilmiştir.

#### Ovanın Hidrojeolojik Özellikleri

Erzın ovası, İskenderun körfezinin doğusunda yer alan bir kıyı ovası niteliğindedir. Ovanın temelini oluşturan kayalar yapısal kontrollü bir çöküntü hendeğini dolduran konglomeralardan (Haydar Formasyonu - Pliyosen) oluşmuştur. Pleyistosen yaşlı bazaltik lav akıntıları (Delihalil Formasyonu) ovanın kuzeybatısında geniş bir yayılım göstermektedir. Gerek konglomeralar ve gerekse bazaltik lav akıntıları hidrolik bağlantılı olup Erzın ovasında serbest akifer koşulunu oluşturmaktadır (Şekil 4). Ovanın önemli bölümü alüvyonlar, birikinti koni çökelleri ve kıyı kumulları ile örtülüdür. Genellikle geçirimsizlik yüksek olan bu Holosen çökelleri yağıştan, sulamadan, akarsu yatakları ve kanallardan süzülme yoluyla açarak akiferin beslenmesine önemli katkı sağlamaktadır.

Konglomeralar gerek ilksel ve gerekse ikincil gözeneklilikleri nedeniyle yüksek depolama özelliği taşımaktadır. Hidrolik iletkenliği 10-15 m/gün arasında değişmekte ve açılan 120 işletme kuyusunda özgül debi ortalama 10 lt/sn/m dolayındadır.

Bazaltik lav akıntıları son derece eklemli ve bloklu bir yapı göstermektedir. Bu özellikleri nedeniyle yüksek (50-100 m/gün) hidrolik iletkenliğe sahiptirler. Açılan 25 işletme kuyusunda özgül debi 10-100 lt/sn/m arasında değişmektedir.

Erzın ovası kuzeybatıda iyi tutturulmuş kumtaşı, konglomera ve yer yer marn aralanmalı Kuzgun Formasyonu (Miyosen) ile sınırlanmaktadır. Geçirimsizlik az olan bu birimler ovanın bu kesiminde geçirimsiz sınır koşullarını oluşturmaktadır.

Ovayı doğuda sınırlayan ofiyolitli seri (Üst Kre-tase) genellikle geçirimsiz olup bu kısımda yeraltından beslenme beklenmemektedir. Doğudaki dağlık bölgelerden kaynaklanan akarsular bu dağların etekleri boyunca görülen birleşik birikinti koni çökelleri nedeniyle sularının önemli bir kısmını süzülme yoluyla kaybetmektedir. Bu nedenle birikinti koni kuşağı akiferin başlıca beslenme alanını oluşturmaktadır.

#### Benzeşim Çalışmaları

Ovanın hidrojeolojik yapısı gözönüne alınarak yaklaşık 110 km<sup>2</sup> lik kısmı model sahası olarak seçilmiş ve bu alan 258 üçgen elemana bölünmüştür

(Şekil 5). Elemanlar ova içerisinde yerleştirilirken, köşe noktaları mümkün olduğunca mevcut yeraltısuyu kuyularında seçilmiş ve böylece 157 düğüm noktasından oluşan sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur.

Modelin akifer koşullarına uygunluğu, havza içerisinde seçilen beş kuyu yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu kuyuların seçiminde, uzun süreli yeraltısı düzeyi ölçümlerinin temini esas alınmıştır. Sonlu elemanlar ağına (Şekil 5) 34, 52, 54, 83 ve 101 nolu düğüm noktalarını oluşturan bu kuyular ovadaki 10436, 10440, 10457, 9662B ve 5260 nolu DSİ kuyularına karşılıktır.

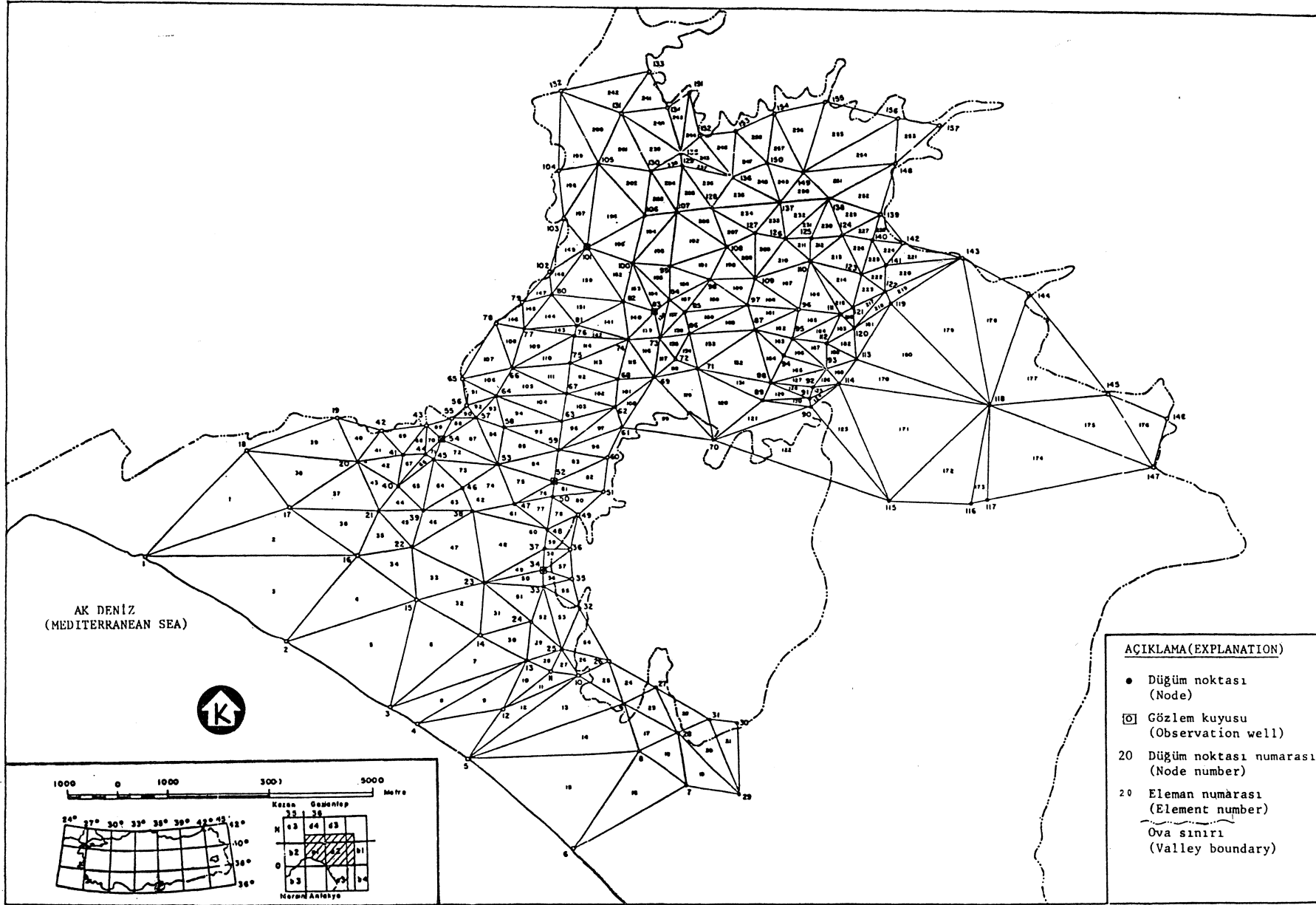
Bilgisayar programında girdi olarak verilen başlangıç yük değerleri, Mayıs 1978 ölçümlerine göre hazırlanan yeraltısı düzeyi eş yükseklik haritasından (Doyuran, 1983) alınmıştır. Modelin havza koşullarına uyarlanması 1978 sulama mevsimi verilerine göre yapılmıştır. Bu aşamada tüm sınır değerleri sabit yük olarak alınmış ve model çözümü zamana bağımsız olarak gerçekleştirilmiştir. Modelin gerçekleştirme aşamasında ovanın kuzeybatısındaki 65-19, doğudaki 61-16 nolu noktalar arası geçirimsiz sınır olarak alınmıştır. Bu bölgeler dışında kalan tüm sınır noktaları için sabit yük sınır koşulu kullanılmıştır (Suvagondha, 1985).

Modelin saha koşullarına uyarlanması olarak tanımlayabileceğimiz kalibrasyon aşaması, hidrolik parametrelerin ve sınır koşullarının belirli bir kombinasyonunda Ölçülen yeraltısı düzeyi değerlerinin model çözümünden elde edilen değerlerle uyumunu sağlamaktır. Genelde model önce dengeli akış rejimine uygun sınır koşulları ile çalıştırılmakta ve ileri aşamada yapılacak benzeşim çalışması için başlangıç değerleri bulunmaktadır. Bunun için Mayıs 1978 yeraltısı düzeyi haritası kullanılarak sınır noktaları için uygun hidrolik yükler seçilmiş ve bilgisayar programı yardımı ile havza içerisindeki noktalarda yük dağılımı belirlenmiştir. Kalibrasyon aşamasında hesaplanan değerler ile gözlenen değerler arasındaki farkın 1 m. içinde kalması hususu gözetilmiş ve bu koşul gerçekleşene kadar işleme devam edilmiştir.

Modelin gerçekleştirme aşamasında, 1978 ile 1982 yılları arasındaki dönemde akiferde gözlenen yeraltısı düzeyi değişimleri kullanılmıştır. Genelde ileriye yönelik su düzeyi değişimlerinin tahmini için benzeşim çalışmalarının günümüze değin sürdürülmesi gerekir. Ancak söz konusu ova için 1982 sonrasında ait verilerin bulunmaması benzeşim çalışmalarını 1978-1982 dönemi ile kısıtlamıştır.

Diğer taraftan duyarlılık analizleri, hidrolik parametreler ve değişik sınır koşulları için yürütülmüştür. Bu amaçla değişik ağ boyutu, hidrolik iletkenlik, depolama katsayısı, beslenme hızı ve sınır koşulları denenmiştir. Duyarlılık analizleri sonunda model tüm değişikliklere olumlu tepki göstermiştir.

Erzın ovası serbest akiferine uygulanan sonlu elemanlar modeli ile bilgisayar programı kullanılarak 1978-1982 dönemi için yeraltısı düzeyindeki değişme-



Şekil 5 : Erzin ovası sonlu eleman ağı

Figure 5 : Finite element mesh of the Erzin plain.

ler belirlenmiş (Doyuran ve diğerleri, 1986), gözlem kuyularından elde edilen ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Gözlenen ve model yardımı ile hesaplanan yeraltı düzeyleri arasında iyi bir uyum elde edilmiştir.

#### SONUÇLAR

Bu araştırmada, Erzin ovası yeraltısuyu serbest akiferini modellemek amacı ile bir sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Modelde kullanılan diferansiyel denklem Dupuit varsayımları kullanılarak oluşturulmuş, böylece bilgisayar çözümünde iterasyon gerekliliği ortadan kaldırılmıştır.

Modelde girdi olarak kullanılan fiziksel parametreler, akifer sınır koşulları ve başlangıç hidrolik yük değerleri mevcut saha verileri kullanılarak belirlenmiştir.

Model kalibrasyonu 1978 sulama mevsimi için, modelin gerçekleşmesi ise 1978-1982 dönemi için yapılmıştır. Model gerçekleştirme aşamasında, modelin çeşitli fiziksel parametrelere duyarlılığı incelenmiş ve önerilen modelin tüm değişikliklere çok iyi bir uyum sağladığı gözlenmiştir.

Benzeşim çalışmasından elde edilen sonuçlar kuyulardaki su düzeyi değişimleri ile son derecede iyi bir uyum içindedir. Gözlenen ve hesaplanan değerler arasındaki ihmal edilebilir farklılıklar, kuyulardaki gözlem hatalarından ve benzeşim çalışmasında sabit debide pompaj kabulünden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle değişken pompaj kabulü ile modelin daha da geliştirilmesi olasıdır.

#### DEĞİNİLEN BELGELER

Aral, M.M., 1974, Finite element solution of selected partial differential equations. FEMAC compu-

ter program : METU Publication No. 28, Ankara, 99 p.

- Doyuran, V., 1982, Erzin ve Dörtüol ovalarının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 25, 151-160.
- Doyuran, V., 1983a, Erzin ve Dörtüol ovalarında yeraltı düzeyi değişmelerinin yorumu : Türkiye Jeol. Kur. Bült., 26, 49-58.
- Doyuran, V., 1983b, Yeraltı düzeyi değişmelerinin istatistiksel model ile benzeşimi: Mühendislik Jeolojisi Türk Millî Komitesi Bülteni, 5, 5,5-8.
- Doyuran, V., Suvagondha, F., Karahanoğlu, N., 1986, Sonlu elemanlar modelinin Erzin ovası (Hatay) serbest akiferine uygulaması: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 29/1, 61-72.
- Mercer, J.W., ve Faust, C.R., 1980, Ground-Water modeling: Numerical Models, Ground water, 18, 4, 395-409.
- Suvagondha, F., 1985, Finite element modelling of the Erzin plain ground-water basin, Hatay, Turkey: METU, Engineering Faculty, Geological Engineering Department, Ankara, PhD. Thesis, (unpublished) 104 p.
- Wang, H.F., ve Anderson, M.P., 1982, Introduction to groundwater modeling techniques: W.H. Freeman and Company, San Francisco, 237 s.
- Zienkiewicz, O.C., 1977, The finite element method: McGraw Hill, Berkshire, 787 s.
- Yazının Geliş Tarihi : 12.10.1985  
Düzeltilmiş Yazının Geliş Tarihi : 26.2.1985  
Yayıma Verildiği Tarih : 25.1.1986