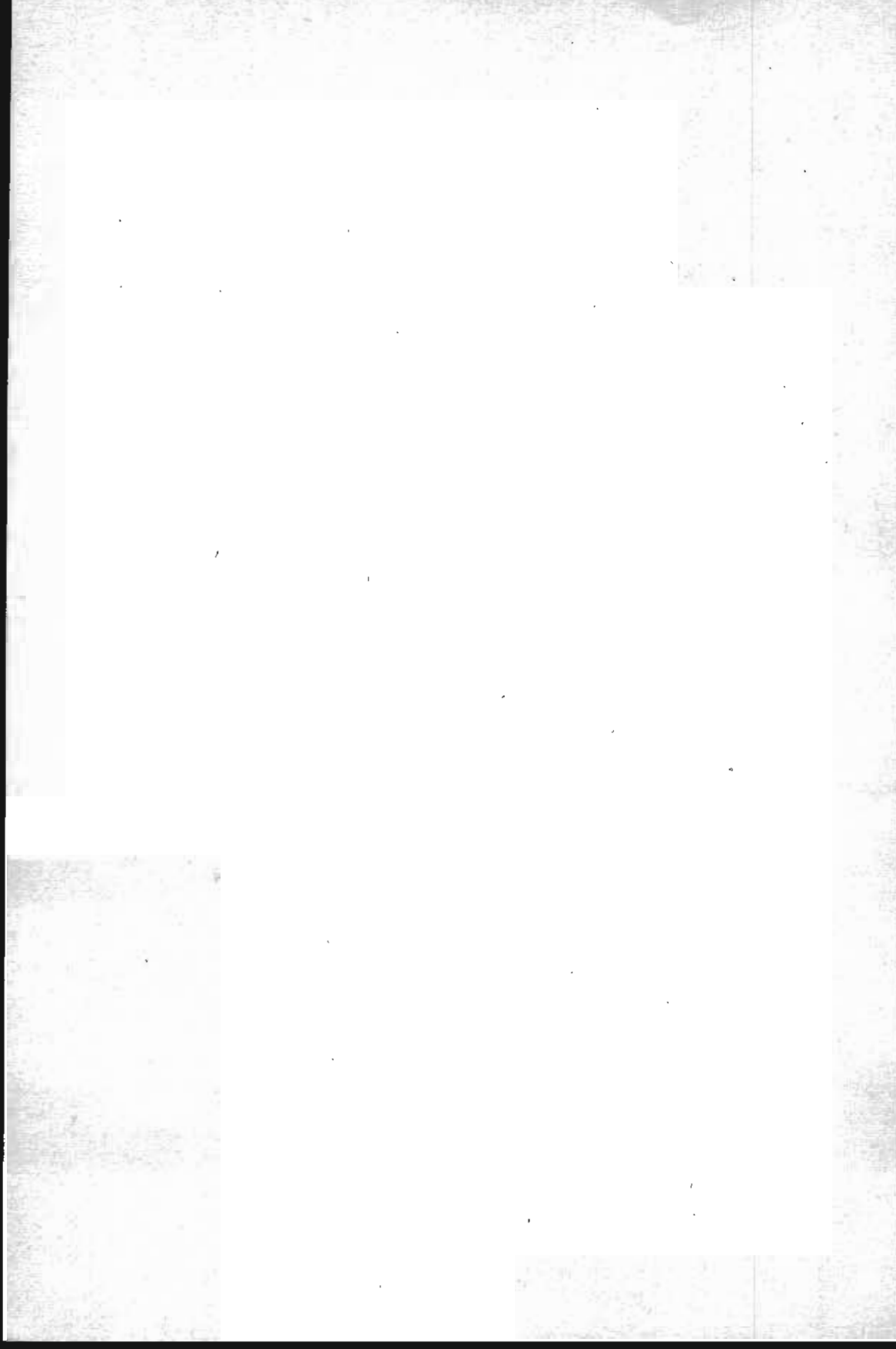


## IV TERCÜMELER



## YERALTI SUYU PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN YENİ METOTLAR

Yazan : G. SCHILLER<sup>1</sup>  
Çeviren : AH ÖZDENGİZ<sup>2</sup>

### 1 — Temel Kavramlar

Konuya yeraltı suyunu tanımlamakla başlamak yerinde olur. Yeraltı suyu, yer kabuğunun çeşitli derinliklerindeki kaya ve toprak gözeneklerini tamamen dolduran ve atmosfer basıncından daha büyük bir basınç altında bulunan su olarak tanımlanmaktadır.

Genel olarak, yeraltı suları bir noktada duraklı olmayıp hareket halindedirler. Bu suyun hareketini etkileyen kuvvetler ise yer çekim kuvveti, kütle kuvveti ve akıma karşı koyan direnç kuvveti olmak üzere üçtür. Yeraltı sularının hareketi genel olarak çok yavaş ve akım esnasında akım hızındaki değişimler de çok küçük olduğundan, yukarıda adı geçen kuvvetlerden kütle kuvveti ihmal edilebilir.

Birim hacmindeki yeraltı suyunun herhangi bir noktadaki po-

tansiyeli, o noktanın geometrik yüksekliği ile basınç yüksekliğinin toplamlarının, ortamın geçirimlilik katsayısıyla çarpımına eşittir.

$$\emptyset = K.H$$

Burada

K = Ortamın geçirimlilik katsayısı (hidrolik iletkenlik katsayısı)

H — Mevzubahis noktanın geometrik yüksekliği ile basınç yüksekliğinin toplamı (Piezometre yüksekliği) dir.

Yeraltı suyunu taşıyan aküferin veya ortamın geçirimlilik katsayısı veya hidrolik iletkenlik katsayısı, ortamın durumuna göre değişen bir katsayı olup, bunun değeri, hidrolik eğim,  $i = 1$  olduğu koşullarda, filtre hızına eşit olmaktadır.

- (1) Dipl. Ing. Dr. Gerhard Schiller. 100-jahre Hochschule Für Bodenkultur in Wien, Fachveranstaltungen Band V, S. 89-97, 1973.
- (2) Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Öğretim Üyesi.  
Dergi Komisyonuna geliş tarihi: 19.1.1974.

Filtre hızı ise, birim zamanda ortamdan geçen su miktarının, akımın vuku bulduğu alana bölünmesiyle elde edilen hızdır.

Yeraltı sularında potansiyeli aynı olan noktaları birleştirmek suretiyle potansiyel alanları elde edilir. Bu işlem iki boyutlu olarak ifade edilirse, potansiyel hatlarını elde ederiz. Akım hatlarıyla potansiyel hatları birbirlerini dikey olarak keserler.

Bir potansiyel alanından veya düzleminden diğer bir potansiyel alanına geçişte, Darcy Kanunu uygulanır.

Ortamın filtre hızı  $V_f$  ile ifade edilirse, aşağıdaki denklem yazılabilir :

$$V_{fx} = K \cdot \frac{\Delta H}{\Delta x} = \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

Sıvıların süreklilik denklemi veya maddenin sakınımı kanunu uygulanırsa (her türlü kapalı sistemde, bir su kütlesi yoktan var edilemez ve var olan da yok edilemez) :

$$\frac{\partial V_{fx}}{\partial x} + \frac{\partial V_{fy}}{\partial y} + \frac{\partial V_{fz}}{\partial z} = 0$$

Yukarıdaki her iki denklemden, Laplace diferansiyel eşitliği yazılabilir :

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$

İki boyutlu akım halinde, bu denklemin son teriminin sıfır olacağı doğaldır.

Buraya kadar ifade edilenlerden şu sonucu özetlemek mümkündür :

Yeraltı sularının hareketi lineer (doğrusal) bir direnç kanununa tabi olup, bu akımın incelenmesi ve çözümü Laplace diferansiyel eşitliğinin çözümüne bağlı olmaktadır.

Bugün, pratikte yeraltı sularının hareketinin incelenmesi için genel olarak analitik (hesaplama) metotlarla model deney metotları uygulanmaktadır.

## 2 — Hesaplama Metotları

### 2.1 Analitik Yolla

Yeraltı sularının akımına ait problemlerin çözümünde kullanılan klasik metot, belirli sınır şartlarında, Laplace diferansiyel eşitliğinin çözümüne dayanmaktadır. Bu metodun iyi tarafı, genel olmaktadır; yani aynı koşulları gösteren problemlerin bu metotla çözümlenebilmesidir. Fakat öte yandan, bu metod en basit hallerde ve özellikle homojen olmayan bir ortamdan akan akımların çözümünde oldukça zahmet ve güçlükler arz etmektedir.

Bu klasik metodun en çok uygulanan şekli Konform Transformasyon metodudur. Konform Transformasyon metodunun esaslı bir akımı ifade eden bir fonksiyonun diğer bir ilişki fonksiyonunu yardımıyla bir düzlemde diğer bir düzleme aktarmaktadır. Bunun uygulanması ise kompleks sayıların ve kompleks düzlemlerin kullanılmasıyla mümkündür.

Her ne kadar kompleks sayılarla elde edilen kompleks düzlem-

ler Laplace diferansiyel eşitliğini sağlarsa da, problemin çözümü için elde edilecek kompleks düzlemin, aynı zamanda mevzubahis problem için verilen sınır şartlarını da eksiksiz olarak ihtiva etmesi zorunludur.

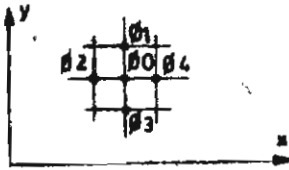
Konform Transformasyon metodunda elde edilen kompleks düzlemi ifade eden kompleks sayıları hakiki (real) ve sanal (imajiner) olarak ayırmakla birbirlerini dikey olarak kesen potansiyel ve akım hatları elde edilmiş olur.

## 2.2. Sayısal (Numerik) Çözüm metodları

### 2.2.1 Diferansiyel Metodu

Bu metotta akım alanı akım ağına ayrılır ve akım ağının her kesim noktası için aşağıdaki şekilde bir eşitlik yazılabilir (Şekil: 1).

$$\Phi = \frac{\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4}{4}$$



Şekil 1

Yukardaki eşitlik, sınır şartlarından uzak olan noktalar için doğrudur. Akım alanının (sınırlara yakın olan kesimleri için bu eşitliğin değiştirilmesi zorunludur.

Akım ağının her kesim noktası için bir eşitlik yazılabileceğinden,

akım ağı ne kadar sık olarak tesis edilirse, o nisbette eşitlik sayısının da artacağı doğaldır.

Bu şekilde tesis edilen akım ağı içerisinde kalan kesim noktalarının potansiyelini hesaplamak için çeşitli imkânlar mevcuttur. Burada mevzubahis noktanın potansiyeli için evvelâ tahmini bir değer verilebilir. Bu tahmini değer seçiminde sınırlarda bilinen potansiyel değerleri esas alınabilir. Tahmini olarak alınan değer yarımıyla potansiyel eşitliği çözülür ve bu işleme devam edilir (her defasında tahmini değeri değiştirmek suretiyle). Bu işlem, aradaki fark kabul edilebilir hat asınına yaklaşınca kadar tekrarlanır. Bu metoda «Southwell Metodu» denilmektedir.

Diferansiyel metodunun uygulanmasında meydana getirilen akım ağı içerisindeki kesim noktalarının potansiyelinin çözümlenmesinde kullanılan diğer bir metod ise kompütürlerin (EDV-Elektronik hesap makinalarının) kullanılmasıdır. Bunun için de akım ağının bütün kesim noktaları için elde edilen eşitliklerin bir eşitlik kabul edilebilir hata sınırına yak-sisteminde toplanması zorunludur.

### 2.2.2. Sınırlı (Finit) Elemanlar Metodu

Bu metod son zamanlarda önem kazanmış bulunmaktadır.

Bu metotta da EDV-Elektronik hesap makinaları kullanılmaktadır. Burada da, yeraltı suları akımının çözümü için yine Laplace eşitliği esas alınmaktadır. İki boyutlu akımın çözümü için aşağıdaki denklem yazılabilir :

$$U = \frac{1}{2} \iint_R \left[ K \left( \frac{\partial \phi}{\partial x} \right)^2 + K \left( \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^2 \right] dx \cdot dy$$

Burada U akım hızının değişimi  $\phi(x, y)$  nin değişimine bağlı olmaktadır. Problemin çözümü, verilen sınır şartlarında ihtiva etmeli ve U nin değeri sınırdaki minimum olmalıdır.

$$\frac{\partial u}{\partial \phi} = 0$$

Yani sınırlarda herhangi bir akımın mevcut olmadığı şartı sağlanmalıdır.

Bu metotla problemin çözümü için akım alanı üçgen şeklindeki alanlara (elemanlara) bölünür. Bu üçgen şeklindeki alanların köşeleri belirli potansiyelerle sahiptirler ve bu alanlar içerisinde herhangi bir noktanın potansiyeli, köşelerin potansiyeli cinsinden bir fonksiyonla ifade edilebilir. Bu sayede akım alanının herhangi bir (x, y) noktasındaki potansiyelle üçgen alanının köşelerindeki potansiyel değerleri arasındaki ilişki, bir fonksiyonla ifade edilebilir. Akım alanının her elemanı, alanın toplam akım hızına, yani U'ye etki etmektedir. Bu şekilde tesis edilen alan elemanları sayesinde akım alanının akım hızı yine EDV-Elek-

tronik hesap makinaları yardımıyla kolayca çözümlenebilir.

Bu metot, çeşitli akım koşullarına ve dolayısıyla serbest yüzeyli akımlara da uygulanabilme özelliğine sahip olduğundan, ayrıca bir üstünlük arz etmektedir.

### 3 — Model Deneyleri

#### 3.1 Kum kanalı

Daha güç problemlerin çözümü ve daha önce anlatılan teorik metotlarla elde edilen sonuçların kontrolü için, çok eskiden beri model deneyleri kullanılmaktadır.

Bunun için cidarları şeffaf olan bir kanal, akım ortamını temsil edecek kum ile doldurulur. Kanalda arzu edilen akımın sağlanması için, kanalın su girdisi ve çıktısı kontrol edilir. Akım ortamından geçen akım yolunun (akım hatları) saptanması için akım ortamının belirli noktaları renk maddeleriyle işaretlenir. Bu sayede kanalın şeffaf cidarlarından akım hatlarını incelemek mümkün olmaktadır. Akım ortamının belirli noktalarındaki piezometrik yükseklikleri ölçmek suretiyle, akım hatlarının incelenmesi ve akımda olan diğer değişimleri daha sıhhatli olarak saptanması kolaylaşmaktadır. Bu şekildeki bir model deneyinde kullanılan akım ortamının (kum) hidrolik iletkenlik katsayısı K belli ise ve birim zamandan ortamdaki geçen su miktarı ölçülürse,

akımın hızı oldukça sıhhatli olarak saptanmış olur.

Bu şekildeki bir model deneyinde önemli olan husus, kanalda homojen bir akım ortamının sağlanmasıdır. Ayrıca yanlış sonuçlara sebep olabilecek yüksek akımlar önlenmelidir. Deneyde kullanılan suyun fazla gaz ihtiva etmesi de gerekir. Aksi takdirde serbest hale geçen gazlar ortamın gözeneklerini tıkayacaklarından K değerini düşürür ve yanlış sonuçların elde edilmesine sebep olur.

### 3.2 Hele-Shaw Modeli.

Bu model deneyinde arası çok dar olacak şekilde monte edilebilen iki cam levha kullanılmaktadır. Bu iki cam levha arasına akım ortamı olarak Viskoz bir sıvı konulmaktadır. Kum kanalı modelinde olduğu gibi, bunda da renk maddeleri yardımıyla akım hatlarının durumu incelenebilmektedir. İki cam levha arasındaki açıklığı küçültmek veya büyütme suretiyle akım ortamının geçirimsizliğini (K) küçültmek veya büyütme mümkün olmaktadır. Akım ortamının geçirimsizlik katsayısının değişimi aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir.

$$K = \frac{gd^2}{12\nu}$$

Burada

d = İki cam levha arasındaki açıklık

$\nu$  = Kullanılan sıvının kinematik viskozitesi

g = Yer çekim ivmesidir.

### 3.3 Elektriksel Analoji Modeli

Darcy Kanunu gibi, Ohm Kanunu da bir linear (doğrusal) direnç kanunundan ibarettir:

$$i = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{du}{ds}$$

Burada

$$i = \text{Amp/m}^2$$

$$u = \text{Volt}$$

$$1/\rho = \text{Ohm x m}$$

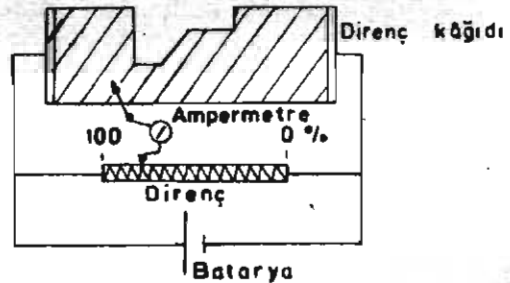
$$s = \text{Mesafe (yol) dir.}$$

Bu prensipten faydalanarak yeraltı sularının akımı için elektriksel analoji modeli inşa edilebilir.

#### 3.3.1 Elektriksel Direnç Kâğıdının Kullanılması

Bu metot basit ve oldukça kolaydır. İncelenilecek akım hakkında ilk bir fikir elde etmek için çok kullanılmaktadır.

Bu model deneyinde, akım alanı bir direnç kâğıdı ile temsil edilmektedir (Şekil : 2). Bu temsili alan üzerindeki her noktadaki direnç aynıdır.



Şekil 2

Bu direnç kâğıdı akım alınana uygun olarak şekillendirilir (sınırlar)

landırılır) ve potansiyel hatlarının çıkışına elektrotlar bağlanır. Bu iş için bakır teller başarı ile kullanılabilir.

Akım kaynağından, monte edilen dirençler vasıtasıyla değiştirilebilen gerilim yardımıyla potansiyel hatları elde edilir.

Bu model deneyi serbest yüzeyli akımlara da uygulanabilir. Bilindiği gibi serbest yüzeyli akımlarda piezometrik yükseklik sadece su derinliğine eşit olmaktadır, yani basınç yüksekliği sıfırdır. Buna uygun olarak, direnç kâğıdını şekillendirmek suretiyle gereken şartlar sağlanabilir.

### 3.3.2 Elektrolit Kanalı

Bu metotta kullanılan prensip, yukarıda verilen metodunkinin aynı olup, daha çok üç boyutlu akımların analizinde kullanılmaktadır. Burada bir kanal veya küvet, akım ortamını temsil edecek bir elektrolitle (sulu eriyik) doldurulmaktadır. Bu model deneyi veya metot 3.3.1'de verilen metottan daha kompleks olmakla beraber, çok yönlü olarak kullanılma imkânına sahiptir.

### 3.3.3 Elektriksel Direnç Ağı Metodu

Bu model deneyinde, akım alanını temsil eden elektriksel alan, direnç elemanları vasıtasıyla kı-

sımlara ayrılmakta ve böylece direnç elemanlarından ibaret bir geniş alan teşkil edilmektedir (Şekil : 3). Direnç elemanlarının sayısını çoğaltmak veya azaltmak suretiyle homojen, homojen olmayan, duraklı veya duraklı olmayan koşullara uyan akım alanlarının meydana getirilmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 3 .

Elektronik cihazları kullanmak suretiyle, meydana getirilen elektriksel ağ elemanlarının kesim noktalarının potansiyelini çok çabuk olarak, grafikte elde edilmesi sağlanmaktadır.

## 4 — S o n u ç

Bu yazıda, bugün pratikte, yeraltı suyu akımına ait problemlerin incelenmesinde ve çözümünde kullanılan temel metotlar kısaca özetlenmişlerdir. Burada evvelâ analitik metotlardan bahsedilmiş olup daha sonra da çeşitli model deneyleri açıklanmıştır. Bütün bu metotlarda esas ağırlık, akım alanı içerisindeki çeşitli noktaların potansiyellerinin saptanmasına verilmiştir.