

## GEÇİRİMSİZ BİR ZEMİN ÜZERİNDEKİ TOPRAK BENT GÖVDESİNDEN SIZAN SU MİKTARININ HESAPLANMASINDA KULLANILAN BAZI METOTLAR

Ersan GEMALMAZ (1)

### ÖZET

*Çeşitli amaçlarla inşa edilmekte olan toprak bent gövdelerinden sızan su miktarının hesaplanması toprak bentlerin planlama ve projelendirilmeleri yönünden büyük öneme sahip bulunmaktadır. Aşağıdaki yazıda bu sızıntı miktarının hesaplanmasında kullanılan bazı metotların tanıtılmasına çalışılmıştır.*

### GİRİŞ

Yağışlarla hâsıl olan yüzey akış sularını veya akarsuları biriktirmek, yükseltmek, bir kanala veya bir vadiye çevirmek için civarda mevcut kaya ve toprak malzemenin kullanılmasıyla inşa edilmiş, yeteri kadar geçirimsiz, stabil tesisler "toprak bent" diye adlandırılmaktadır. Toprak bentler genel olarak sulama, içme ve kullanma suyu temini, feyezan önleme, silt tersibi gibi maksatlarla inşa edilmektedirler; bunların haricinde yangın suyu temini, balık üretimi veya mesire yeri teşkili için de inşa edilebilmektedirler. Bir toprak bent bu sayılan hususların birkaçına birden de hizmet edebilir

Yıkılmaları halinde ekseriya büyük maddî zararlara ve hatta can kaybına sebep olabileceklerinden dolayı

projelendirme safhasında toprak bentlerin "Gövde ve Temel Projeleri" üzerinde de titizlikle durmak gerekmektedir.

Biriktirilmekte olan su toprak bentlerin gövdelerinden, göl aynası kısmından, yamaçlardan ve temelden sızma suretiyle bir miktar kayba uğramaktadır toprak bentlerin gövdelerinden ve temellerinden vuku bulan bu tip sızıntıların evvelce tasarlanan miktardan fazla olması yalnız depolanan suyun kaybı bakımından değil, ilerde zemin tanelerini harekete geçirerek bent temel veya dolgusunun stabilitesini tehlikeye düşürme ihtimalinden dolayı da çok önemlidir. Ayrıca bent gövdesinden hâsıl olan sızıntılar mansap seviyesini de tehdit edebilmektedirler. Ve yine sızıntı

(1) Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Kültürteknik ve Ziraat Alet ve Makinaları Bölümü Dr. Asistanı. Dergi Komisyonuna geliş tarihi: 21.4.1973.

miktarının bilinmesi yatay filtreleme verecek ebatların tayini için gerekli olmaktadır.

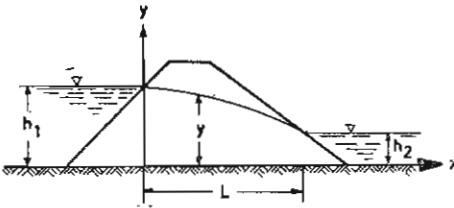
Müteakip sayfalarda geçirimsiz bir zemin üzerindeki toprak bent gövdesinden sızan su miktarının hesaplanmasında kullanılan bazı metotlar "1- Teorik Çözümler", "2 Grafik Yollar ve Model Deneyleri ile Pratik çözümler" başlıkları altında gözden geçirilecektir.

Bu tip problemlerin çözümünde sızıntı miktarını bulmak için bendin yalnız birim genişliğinde meydana gelen sızıntı miktarı hesaplanmakta ve bendin boyu ile çarpılmaktadır. Eğer en kesit çok değişmekte ise muhtelif en kesitler için ayrı ayrı hesaplamalar yapılarak bu en kesitlerin temsil ettiği uzunluklarla çarpılmakta ve çarpımlar sonucu çıkan değerlerin toplamı alınmaktadır.

#### 1- Teorik çözümler

##### a- Dupuit Çözümü:

Dupuit kabulleriyle bir bendin herhangi bir düşey enine kesitinin birim genişliğinden boşalma miktarı (Şekil 1).



Şekil 1

$$q = -ky (dy/dx)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir; entegral alınarak ve limit değerleri de  $x = 0$ ,  $y = h_1$  ve  $x = L$ ,  $y = h_2$  şeklinde yerlerine konularak Dupuit eşitliği elde edilir:

$$q = k (h_1^2 - h_2^2) / 2L$$

Burada  $k$  hidrolik kondaktivite değeridir. Bu eşitlik freatik hattın parabolik olduğunu açıkça belirtmektedir ki bu serbest su yüzeyi genel olarak "Dupuit Parabolü" olarak adlandırılmaktadır.

Yukardaki formülün çıkarılmasında herhangi bir sızıntı hattının veya sızıntı yüzeyinin giriş ve çıkış şartları göz önünde bulundurulmamıştır; mansap su yükünün sıfır olduğu halde ( $h_2 = 0$ ), sızma hattının geçirimsiz temeli kestiği görülür. Gerçekte ise mansapta su olmasa bile bir sızma bahis konusudur. Ayrıca yukardaki formülden sızma miktarının ve sızma serbest yüzeyinin bendin şevlerine tabi olmadığı görülmektedir ki bu da formülün diğer bir kusurlu yönüdür.

#### b) Schaffernak ve Van Iterson Çözümü :

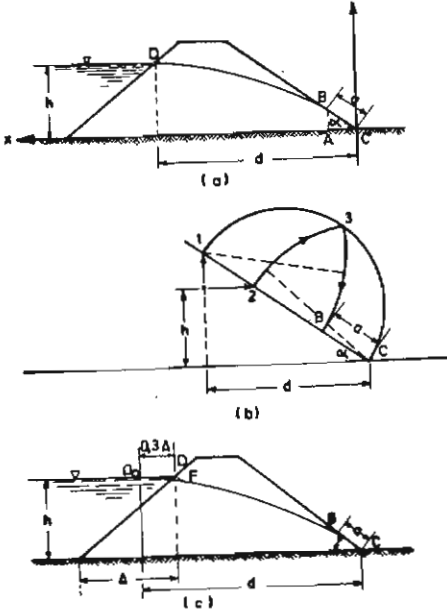
Sızıntı yüzeyinin geliştirilmesinden çıkarılmış olan ilk takribî metottur. Geçirimsiz bir zemin üzerinde, mansabında su yükü bulunmayan bir bent gövdesi göz önüne alınarak (Şekil 2) CAB üçgeninde  $q = -ky (dy/dx)$  eşitliği  $x$  sola doğru pozitif olmak üzere uygulanırsa, birim genişlikten geçen sızıntı miktarı için

$q = k y (dy/dx) = k a \sin \alpha \cdot \tan \alpha$  olur; formülde  $a$  sızıntı yüzeyinin uzunluğudur. Burada  $a$  değerini bulmak için yukardaki formül

$$\int_0^h \frac{dy}{y} = a \sin \alpha \tan \alpha \int_0^d \frac{dx}{a \cos \alpha}$$

şeklinde yazılıp entegrali alındıktan sonra elde edilecek ikinci dereceden denklem  $a$ 'ya göre çözümlerse

$$a = (d/\cos \alpha) - [(d^2/\cos^2 \alpha) - (h^2/\sin^2 \alpha)]^{1/2}$$



Şekil 2

eşitliği elde edilmiş olur. Bu eşitlikten de Şekil 2 b'deki gibi çizim yoluyla a'nın bulunması mümkün olur.

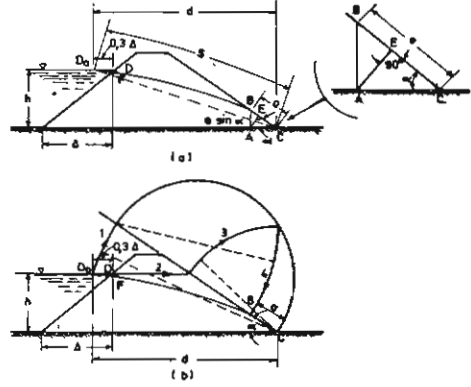
Burada Dupuit çözümünden farklı olan taraf, elde edilmekte olan freatik hattın arzu edildiği veçhile mansap şevine teğet oluşudur. Memba şevi giriş şartı düzeltilmesi için sızma hattı başlangıç noktası olarak alınan D yerine (Şekil 2 a), rezervuar memba yüzeyinde D'den  $0,3 \Delta$  mesafede olan  $D_0$  noktasının alınması uygundur (Şekil 2 c). Gerçek sızma hattı, DF yayının memba şevine dik ve parabole teğet olacak şekilde çizilmesi ile elde edilir.

### c) L. Casagrande Çözümü :

Casagrande, problemin çözümünü hidrolik meylin  $dy/dx$  yerine, s serbest yüzey boyunca ölçülen uzunluk olmak üzere  $dy/ds$ 'e eşit olma durumuna göre yapmıştır. Dolayısıyla

$$q = -k y (dy/ds)$$

olur. Bu eşitliğin Şekil 3 a'da AB'ye uygulanmasıyla sızıntı miktarı için



Şekil 3

$$q = -k a \sin^2 \alpha$$

eşitliği elde edilir; ve q için verilmiş olan bu iki eşitlikten

$$-\int_h^a \sin \alpha y dy = a \sin^2 \alpha \int_0^{S-a} ds$$

yazılıp entegre edildikten sonra elde edilecek denklem a için çözümlerse

$$a = S - [(S^2 - (h^2/\sin^2 \alpha))]^{1/2}$$

bulunur. Yukardaki eşitlikte S mesafesi ilk yaklaşık değer olarak kullanılabilen Şekil 3 a'da görülen  $CD_0$  doğru hattından biraz farklıdır. S için daha büyük hassasiyetin arzu edildiği hallerde,  $S = CD_0$  esas alınarak a tayin edildikten sonra  $S = a + BD_0$  şeklinde yeni S mesafesi bulunarak yukardaki eşitlikte yerine konulmak suretiyle a için yeni bir değer bulunabilir. Fevkalade durumlar haricinde birinci hesaplama kâfidir ve

$$S = (h^2 + d^2)^{1/2}$$

$$a = (h^2 + d^2)^{1/2} - (d^2 - h^2 \cot^2 \alpha)^{1/2}$$



Topuk suyunun mevcudiyeti ihmal edilirse ( $h_0=0$ ), (2) ve (3) nolu eşitlikler

$$a_0 = (b/m_1) + h_d - [(b/m_1) + h_d]^2 - h^2]^{1/2} \quad (6)$$

ve (1) ile (3) denklemleri eşitlemek

$$a_0 m/m_1 = (h_w h) \ln [(h_d/h_d - h)] \quad (7)$$

elde edilir. Son iki eşitlik olan (6) ve (7) sadece  $a_0$  ve  $h$  gibi iki bilinmeyen ihtiva ettiklerinden kolayca çözülebilirler.

## 2. Grafik Yollar ve Model Deneyleri ile Pratik Çözümler

Bu metotların esası freatik hattı temsil eden parabolün elde edilmesini müteakip bent gövdesindeki akım ağının, yani ortogonal eğri ailesinin tespitinden sonra

$$q = k h (N_f/N_d)$$

formülüne göre  $q$  sızıntı miktarının çözümüne gitmektedir. Formülde  $k$ , hidrolik kondaktivite;  $h$ , memba su yükü;  $N_f$ ,

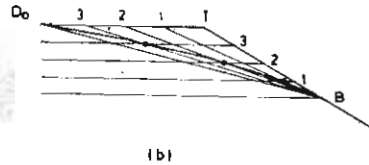
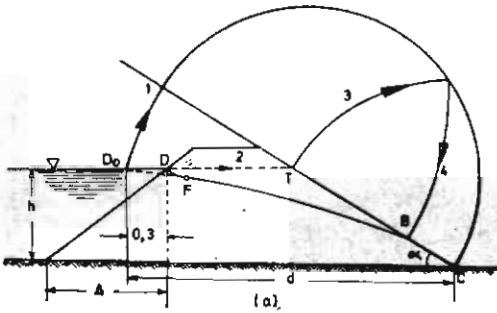
birleştirilerek  $s$  için verilmiş olan (5) nolu eşitlikte yerine konursa elde edilir.

akım çizgileri aralıkları sayısı;  $N_d$ , eş potansiyel çizgileri aralıkları sayısıdır.

Freatik hat bent mansap topuğu açısı  $\alpha$ 'ın  $60^\circ$ 'den küçük veya büyük oluş durumuna göre grafik olarak aşağıdaki şekilde tayin edilebilmektedir:

a)  $\alpha < 60^\circ$  Durumu:

B noktası bulunduğundan ve  $D_0$  noktası (Şekil 5 a) tesbit edildikten sonra Şekil 5 b'deki gibi B, T ve  $D_0$  noktaları ölçeğe uygun olarak işaretlenir. BT ve  $TD_0$  mesafeleri eş sayıdaki aralıklara bölünür ve işaretlenir. B'den  $TD_0$ 'daki 1, 2, ... noktalarına çizilen doğru parçalarının aynı numarayı taşıyan, aksa paralel doğruları kestikleri noktalar parabole ait noktalar olarak işaretlenir ve uygun bir şekilde birleştirilir. Esas freatik hat için DF evvelce belirtildiği gibi elle çizilir.



Şekil 5

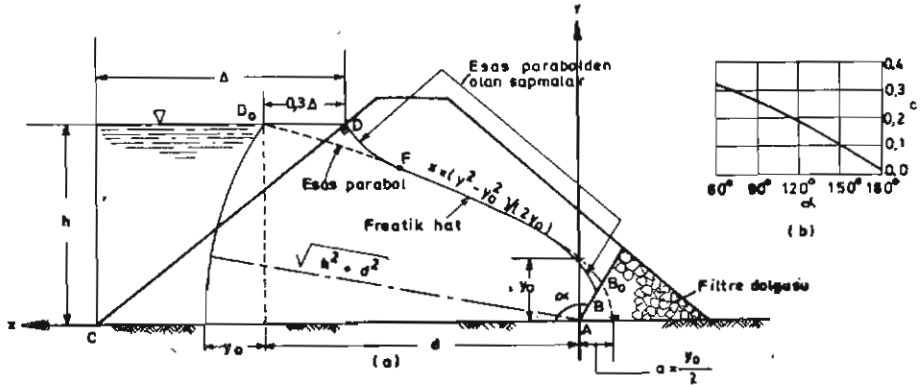
b)  $\alpha > 60^\circ$  Durumu:

Toprak malzemeye bu kadar dik bir şev verilemeyeceği düşünülürse bu durumda topuk dreni, filtre vs. gibi bir yapının varlığı anlaşılır. Şekil 6 a'daki

parabolün denkemi ( $x = d$  için  $y = h$ )'ı sağlayan denklem

$$x = (y^2 - y_0^2)/2y_0$$

şeklinde;  $y_0$  şeklindeki gibi grafiksel olarak bulunur; veya  $y_0 = (h^2 + d^2)^{1/2}$

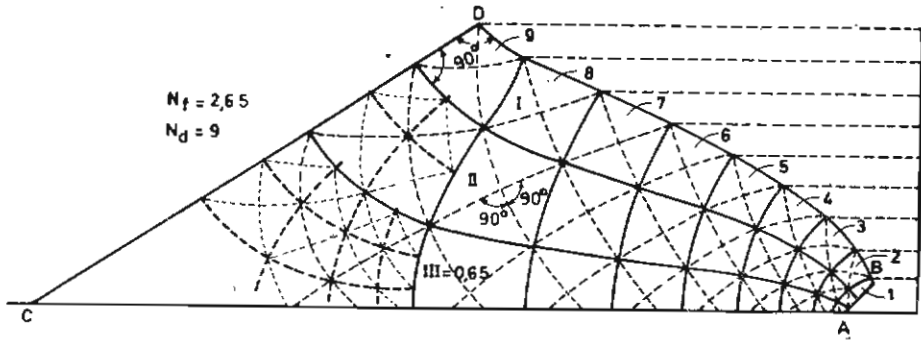


Şekil 6

eşitliğinden analitik olarak elde edilir. Parabolün çizimi ise grafiksel veya analitik olarak yapılabilir. DF yine evvelce anlatıldığı gibi çizilir. B noktası ise  $B_0$ 'dan  $\Delta m$  mesafede işaretlenir ve esas parabolle uygun bir şekilde birleştirilir.

$\Delta m$  mesafesinin bulunması Şekil 6 b'den  $\alpha$ 'ya bağlı olarak c değeri alındıktan sonra  $\Delta m = c y_0 / (1 - \cos \alpha)$  formülüne göre olur.

Freatik hattın çizimini müteakip h su yükü uygun eşit aralıklara bölünür ve bu noktalardan parabol aksına çizilen paralellerle freatik hat kestirilerek eş potansiyel çizgilerinin freatik hat üzerindeki başlangıç noktaları tespit edilir (Şekil 7). Memba şevi bir eş potansiyel çizgisi olarak alınır; freatik hat ile geçirimsiz temel de akım çizgisi olarak kabul edilir. Bunlara göre eş potansiyel çizgileri ve akım çizgileri, ortogonal bir eğri ailesi teşkil edecek



Şekil 7

tarzda çizilmeye çalışılır. Köşegenlerin de ortogonal bir eğri ailesi teşkil etmesi istenir. Bu iş biraz tecrübeyle başarılabilir. Bununla beraber, ABCD şekli "teldeltos" kâğıdına dikkatlice çizildikten sonra kesilip çıkarılır ve "Field

Plotter" cihazının kutupları AB ve CD kenarlarına bağlanırsa, aletin kaleminin kâğıt üzerinde gezdirilmesi ile galvanometrenin de ibresi gözetlenerek ayarlanmış olan belli potansiyel düşmeleri için bir takım çizgiler elde edilir

ki bunlar da çizimi arzu edilen eş potansiyel çizgilerine tekabül eden eğriler olurlar. Böylece akım ağı elde edildikten sonra eş potansiyel çizgilerinin ve akım çizgilerinin aralıkları sayılarak q için verilmiş olan formülde yerlerine konmak suretiyle sızıntı miktarı hesaplanır.

Ayrıca cam cidarlı model tanklarında kum model denemeleri yapılarak ve potasyum permanganat veya potasyum dikromat kullanılarak muhtelif durumlar için (değişik şev açıları, topuk dreni şekli, filtre olup olmaması vs.) akım çizgile tespit edilebilir. Bunlara dik olan potansiyel çizgileri de evvelce anlatılan kaideler göz önünde bulundurularak çizilirse akım ağı elde edilmiş olur.

Eğer anizotropi durumunun göz önünde bulundurulması gerekiyorsa, hazırlanacak model veya gövde en kesit şekli koordinatların distorsiyonu ile değiştirilir ve bundan sonra yeni şekle bahsedilmiş olan metotlardan birinin uygulanmasıyla akım ağı elde edilir. Koordinatların distorsiyonu ise hidrolik kondaktivite değerini yatay ( $k_x$ ) ve düşey ( $k_y$ ) istikametteki bileşenlerine göre aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

$$U_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x}, U_y = -k_y \frac{\partial h}{\partial y}$$

şeklinde ifade edilirse süreklilik denkleminde

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$

bulunur. Bu da

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{k_x \partial (y^2)} = 0$$

şeklinde ifade edilerek ve  $Y = (k_x/k_y)^{1/2}$ , diye tarif edilirse

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

şeklinde olmak üzere süreklilik denklemini yeniden elde edilmiş olur. Y ise yukarıda tarif edilmiş olduğu şekilde yeni ordinatı temsil etmektedir. Dolayısıyla şekil veya model koordinat sistemine bu ölçüğe göre çizilerek veya yapılarak yerleştirilir. Neticede çözümde kullanılacak de k değeri  $k = (k_x k_y)^{1/2}$  şeklinde alınarak çözüme gidilir.

### FAYDALANILAN KAYNAKLAR

1. Çeçen, K., 1967. "Hidrolik, Cilt 1", Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Divanyolu, İstanbul
2. Çıray, C., 1969. "YASTEK 1969, Kuyu Hidroliği", ODTÜ, Mühendislik Fakültesi Hidrolik Bölümü, (Kurs Notları Teksiri), Ankara
3. Harr, E., 1962. "Groundwater and Seepage", McGraw - Hill Book Company, New York.
4. Muskat, M., 1946. "The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media", J. W. Edwards Inc., Ann Arbor, Michigan
5. T. C. Köy İşleri Bakanlığı, Toprak Su Genel Müdürlüğü, Toprak Muhafaza Araştırma İstasyonu Müdürlüğü, 1967. "Küçük Toprak Barajların Planlama, Projelendirme, İnşaat ve İşletme Esasları", ODTÜ Mühendislik Fakültesi, Sulama ve Kurak Bölge Araştırma Laboratuvarı, Ankara.
6. Todd, D. K., 1964. "Ground Water Hydrology", John Wiley and Sons Inc. New York