

A.Ü.
Mühendislik Fakültesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü

HİDROJEOLOJİ UYGULAMA EL KİTABI

Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Arş. Gör. Uğur Erdem DOKUZ

Arş. Gör. Özlem GÜLLÜ

Uzman Dr. Şebnem ARSLAN

2011

Ankara

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
	No
Uyg 1 Akiferlerin fiziksel özellikleri	1
Uyg 2 Darcy yasası, geçirimsilik hesapları	3
Uyg 3 Kuyularda dengeli ve dengesiz rejim uygulaması	8
Uyg 4 Yeraltısu akım hızı	10
Uyg 5 Havza alanı çalışmaları	11
Uyg 6 Hidrojeoloji haritası çizimi	13
Uyg 7 Hidrojeoloji haritalarının yorumu ve hidrojeoloji kesiti çıkarılması	16
Uyg 8 Kıyı akiferlerine gel-git etkisi	18
Uyg 9 Yer altı sularında izleme	19
Uyg 10 Akarsu ve kaynaklarda debi ölçümü	20
Uyg 11 Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişimi	22
Uyg 12 Yer altı suyu bilançosu	23
Uyg 13 Karstik kaynaklarda boşalım	26
Uyg 14 Su kimyası ve su kalitesi	29
Uyg 15 İzotop hidrolojisi	31
Uyg 16 Suların ziraate uygunluğu	33
Hidrojeolojide Yararlanılabilecek Kaynak Kitaplar	35
EKLER	
EK.1 Kayaç türüne göre olası yer altı suyu kompozisyonu	37
EK.2 Piper Diyagramı	38
EK.3 Uzunluk, Alan Hacim ve Zaman Dönüşüm Tabloları	39
EK.4 Farklı kayaç türlerinin geçirimsliliği	40
EK.5 Formüller	41
EK.6 Su Tablası Haritası (Örnek)	42

SİMGE ve KISALTMALAR

n	: Toplam gözeneklilik (%)
V _v	: Kayacın içindeki boşlukların toplam hacmi
V _t	: Kayacın tüm hacmi
n _e	: Etkili gözeneklilik/depolama katsayısı (serbest akiferlerde)
Q _r	: Özgül tutum
Q _s	: Özgül verim/depolama katsayısı (serbest akiferlerde)
ρ _a	: Zahiri özgül ağırlık
ρ _r	: Gerçek özgül ağırlık
S ₀	: Boylanma sabiti
Q ₃	: Eklenik eğride %75'lik toplam ağırlık değerlerinin apsisteki elek çapı karşılığı
Q ₁	: Eklenik eğride %25'lik toplam ağırlık değerlerinin apsisteki elek çapı karşılığı
d ₆₀	: Eklenik eğride %60'lık toplam ağırlık değerlerinin apsisteki elek çapı karşılığı
d ₁₀	: Eklenik eğride %10'luk toplam ağırlık değerlerinin apsisteki elek çapı karşılığı
K	: Geçirgenlik katsayısı (m/s)
Q	: Pompajda dengeli rejim debisi (m ³ /s)
R	: Düşüm konisi etki alanı yarıçapı (m)
r	: Pompaj kuyusu yarıçapı (m)
H	: Akifer kalınlığı (m)/Tatlı suyun deniz seviyesinden itibaren yüksekliği (m)
h	: Dengeli rejimde kuyudaki suyun kalınlığı (m)/Gözlem kuyusundaki seviye değişiminin yarısı (m)/ Suyun savak üzerindeki yüksekliği (m)/Manometrik borudaki su yüksekliği (cm)/D noktasının deniz seviyesinden itibaren derinliği (m)
e	: Akifer kalınlığı (m)/Bir katsayı (2.718)
Δ	: Dengeli rejimde kuyudaki düşüm(m)
x ₁ ,x ₂	: Gözlem kuyularının pompaj kuyusuna uzaklığı (m)
Z ₁ , Z ₂	: Gözlem kuyularında ölçülen geçirimsiz taban üzerindeki su yüksekliği (m)
V _r	: Gerçek hız (m/s)
V _e	: Gerçek etkili hız (m/s)
S	: Kesit alanı (m ²)/Depolama katsayısı
i	: Hidrolik eğim (%)/Sıcaklık indisi
ε	: Basınçlı akiferin kalınlığı (m)
γ	: Suyun birim hacim ağırlığı (N/m ³)
α	: Akiferin sıkışabilme katsayısı(10 ⁻⁷ m ² /N kum, 10 ⁻¹⁰ m ² /N çakıl)
β	: Suyun sıkışabilme katsayısı(4,58.10 ⁻¹⁰ m ² /N)
h ₀	: Denizde gel-git olayının neden olduğu seviye değişiminin yarısı (m)
T	: Serbest akiferin iletimlilik katsayısı (m ² /s)
t ₀	: Sinüsoidal hareketin periyodu (43200 sn)
x	: Kuyu merkezinden denize olan mesafe (m)
Be	: Barometrik etkenlik
μ	: Katsayı (0.4-0.45 arasındadır)

L	: Kanalın veya savağın genişliği (m)/Bir katsayı ($L=300+25t+0.05t^3$)
g	: Yerçekimi etkisi (9.81 m/s^2)
C	: D ve d'ye bağlı bir katsayı
Q	: Debi (m^3/saat)
d	: Diyafram çapı (cm)
ρ	: Tatlı su yoğunluğu (gr/cm^3)
ρ_s	: Tuzlu su yoğunluğu (gr/cm^3)
V	: Yer altı suyunun akım hızı (m/s)
q	: Tatlı suyun birim debisi (m^3/s)/t zamanına karşıt gelen debi (m^3/s)
t	: Sıcaklık ortalaması ($^{\circ}\text{C}$)
Etp	: Aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarı (cm)
P	: Yıllık yağış miktarı (mm)
q_0	: t_0 zamanındaki debi (gerçek rejimin başlangıç anındaki debisi) (m^3/s)
α	: Boşalım katsayısı (gün^{-1})
$t-t_0$: Boşalımın başlangıcından itibaren geçen zaman (gün)
SAR	: Sodyum adsorpsiyon oranı
tg	: Tanjant
sin	: Sinüs

ÖNSÖZ

Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde hidrojeoloji dersleri bir dönem (Güz) zorunlu olarak okutulmaktadır. Ders kapsamında uygulamalar da yer almaktadır. Hidrojeoloji uygulamalarının bölümümüzde ilk defa başlatılması ve geliştirilmesine, çok değerli hocam, emekli öğretim üyesi sayın Prof. Dr. Baki CANİK ve bölümümüze hizmeti geçen uygulamalı jeoloji anabilim dalı araştırma görevlilerinin büyük katkısı olmuştur. Sayın hocama ve araştırma görevlisi arkadaşlara teşekkürü bir borç biliriz. Bugün olduğu gibi, bundan sonraki aşamada da uygulamalarımızın güncellenmesi ve geliştirilmesine devam edilecektir.

Hidrojeoloji Uygulama El Kitabı kapsamında hidrojeolojinin temel konularına ait uygulamalar yer almaktadır. Bölümümüzde seçmeli olarak okutulan Kuyu Hidroliği dersi kapsamındaki uygulamalar bu kitapta yer almamaktadır.

Bu el kitabı öğrencilerimize ücretsiz olarak, internet ortamında **pdf** formatında verilmektedir. Hidrojeoloji Uygulama El Kitabı'nın öğrencilerimize faydalı olmasını dileriz.

M. ÇELİK
U. E. DOKUZ
Ö. GÜLLÜ
Ş. ARSLAN

UYGULAMA I

Amaç: Akifer malzemesini zemin veya kayaç olma durumuna göre fiziksel tanımını yaparak, iki tür malzeme için de farklı uygulamaların yapılması gerektiğini anlamak, bunların üzerinde ilgili deney ve hidrojeolojik değerlendirmeleri yapmaktır.

Materyal: Zemin ve/veya kaya örnekleri, etüv, elek takımı, elek sallayıcısı, parafin, ısıtıcı, piknometre, milimetrik kağıt, yarı logaritmik kağıt, hesap makinesi.

Deneyler: Özgül ağırlık deneyi, Dereceli kap ile gözeneklilik tayini, Parafinleme yöntemi ile gözeneklilik tayini, Elek analizi

Formüller:

$$n = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}$$

$$V_v = (V_t + V_2) - V$$

$$n = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$$

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

ÖRNEK PROBLEMLER

1- 36 cm³ hacmindeki bir zemin numunesi tamamen kurutulduğunda 86 g gelmektedir. Numunenin gerçek özgül ağırlığı 2,65 g/cm³ olduğuna göre toplam gözenekliliğini hesaplayınız.

2- Laboratuvarda dereceli bir kaba, gözenekliliği ölçülecek, etüvde kurutulmuş 100 cm³ gevşek zemin numunesi sıkıştırılarak alınmıştır. Bir başka dereceli kaba aynı hacimde su alınmış ve numune cam çubukla karıştırılarak suyun içine dökülmüştür. Su+Numune karışımı dereceli kapta 171 cm³ olarak ölçüldüğüne göre numunenin toplam gözenekliliğini hesaplayınız.

3- Bir kireçtaşı numunesi parafinlendikten sonra saf suya atılmış ve 150 cm³ toplam hacmi olduğu görülmüştür. Daha sonra parafinsiz olarak 110°C'de etüvde kurutulan numune tartılarak 110 gram kuru ağırlığı olduğu tesbit edilmiştir. Tekrar saf suya daldırılarak doymun hale getirilen numune doymun halde 125 gram geldiğine göre numunenin gözenekliliğini hesaplayınız (Parafinin hacmi 15 cm³'tür).

4- İki adet numune (her biri 100 gram) üzerinde kuru elek analizi yapılmıştır. Elde edilen verilere göre aşağıdaki soruları cevaplandırınız.

Elek no	Elek açıklığı (mm)		Elekte kalan (g)		Toplam ağırlık		% Toplam ağırlık	
	A	B	A	B	A	B	A	B
4	4,760	4,760	0	13,70				
10	2,000	2,000	0	43,20				
30	0,600	0,600	21,90	9,10				
50	0,297	0,297	52,10	18,95				
100	0,150	0,150	20,73	5,10				
200	0,074	0,074	5,10	9,15				
Elek altı			0,17	0,80				

a) Kümülatif eğri (Yarı Logaritmik kağıt kullanılacak) ve çan eğrilerini (milimetrik kağıt kullanılacak) çiziniz.

b) Etkili tane çapı, ortalama tane iriliği, boylanma sabiti ve düzen katsayısını bulunuz.

c) Elde edilen verilere ve çizimlere göre numunelerin yorumunu yapınız.

UYGULAMA II

Amaç: Doygun ortamda suyun hareketinden yararlanarak su taşıyan taneli malzemenin hidrolik özelliklerinin belirlenmesidir.

Materyal: Deneyin türüne göre ince veya iri taneli formasyona ait numune seçimi yapılacaktır. Sabit basınçlı permametre deneyi için iri taneli, düşen seviyeli permametre için ince taneli malzeme seçilecektir. Tabanı delikli kutu deneyi için de iri taneli malzeme seçimi yapılacaktır.

Deneyler: Sabit basınçlı permametre deneyi, Düşen seviyeli permametre deneyi, Tabanı delikli kutu deneyi, Elek analizi deneyi (Allen Hazen Formülü)

AÇIKLAMALAR

GEÇİRLİLİK: Gözenekli ve suya doymuş kayaçların hidrolik eğim altında suyu geçirme özellikleridir.

DARCY YASASI: Bir akiferde birim kesit alanından geçen suyun debisi, hidroik basınç farkı (H+l) ve arazinin cinsine göre değişen Darcy geçirgenlik katsayısı (K) ile doğru, suyun katettiği arazinin uzunluğu (l) ile ters orantılıdır.

$$Q = (K \times S) (H+l) / l$$

Q = S kesit alanından dik olarak laminer akımla geçen suyun debisi-m³/s

K= Numunenin cinsine ve geçirgenliğine bağlı Darcy katsayısı-m/s

S= Numunenin *kesit* alanı

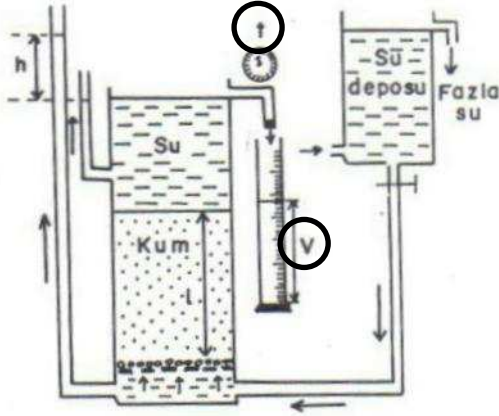
H = Numunenin üzerindeki suyun yüksekliği-m

l = Suyun katettiği numunenin kalınlığı-m

$$H+l = h \rightarrow K = (Q \times l) / (S \times h)$$

Geçirimsizliğin ölçülmesi: Suyun bir noktadan diğerine doğru olan hareketi bu iki nokta arasındaki basınç farkından kaynaklandığından dolayı, labavaturda da geçirimsizlik bu basınç farkına bağlı olarak ölçülmektedir. Bu ölçümler için hava ve suyla sağlanan sabit ve değişen basınçlar altında kullanılan permametreler geliştirilmiştir.

Sabit basınçlı permametre: Kum, çakıl gibi kohezyonlu numuneler için tercih edilen bir yöntemdir. Permametre düzeneğine yerleştirilmiş numuneye seviyesi sabitlenmiş depodan su aktarılır numuneyi katederek permametreden dışarı çıkan suyun debisi kullanılarak numunenin Darcy sabiti elde edilir.



$$K = (Q \times l) / (S \times h)$$

$$K = (V \times L) / (A \times t \times h)$$

V: t süresinde boşalan suyun hacmi, (cm³),

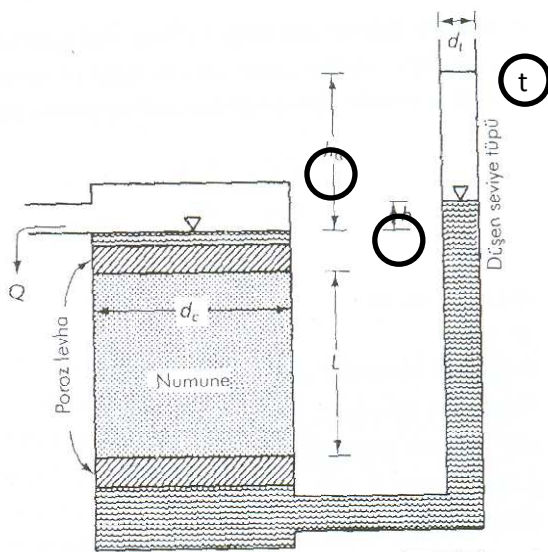
L: numunenin boyu (cm),

A: numunenin kesit alanı (cm²),

h: hidrolik yükseklik (cm),

K: geçirimsizlik (permeabilite=hidrolik iletkenlik), (cm/s)

Düşen seviyeli permametre: Düşük kohezyonlu kil, silt gibi numuneler için tercih edilmektedir. Düşen seviyeli tüp permametreye bağlanarak geçen zaman sonunda tüpün ve numune haznesinin çaplarına bağlı olarak düşen seviyeli tüpteki düşüm kullanılarak Darcy katsayısı belirlenir.



$$K = (d_t^2 L / d_c^2 t) \ln(h_0 / h)$$

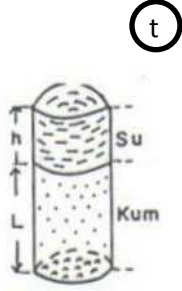
K: geçirimsizlik (permeabilite=hidrolik iletkenlik), (cm/s),

L: numune boyu (cm),

h₀: düşen seviyeli tüpün ilk seviyesi (cm),

h: düşen seviyeli tüpün son seviyesi (cm),

Tabanı delikli kutu: Sıkışmamış malzemenin geçirimsizliğinin hesaplanmasında kullanılan pratik bir yöntemdir. Numune delikli kutuya sıkıştırılarak alındıktan sonra içi su dolu bir kaba daldırılarak suyun numune üzerinde yükselmesi sağlanır. Numune üzerinde h kadar su yüksekliğinin sağlanmasından sonra numune kaptan çıkarılarak suyun numune üzerinden kaybolduğu süre belirlenerek bu verilerle numunenin Darcy katsayısı belirlenir.



$$K = L / t * \log_e [1 + (h / L)]$$

K : Geçirgenlik katsayısı-m/s

L : Numunenin kalınlığı-m

h : Numunenin üzerindeki suyun kalınlığı-m

t : Numune yüzeyinden suyun kaybolması için geçen zaman-s

ÖRNEK PROBLEMLER

1- Sabit seviyeli permametre düzeneği içine yerleştirilen orta-iri kum numunesi 15cm kalınlıkta ve kesit alanı 25 cm²'dir. Hidrolik yük 5cm iken 12 dakikada 100ml su toplanmıştır. Hidrolik iletkenliği (geçirimsizliği) bulunuz.

$$K = (V \times L) / (A \times h)$$

$$\text{Deney süresinde boşalan suyun hacmi (V)} = 100\text{cm}^3 \quad K = (100 \times 15) / (25 \times 12 \times 5)$$

$$\text{Numunenin kalınlığı (L)} = 15\text{cm} = 1\text{cm/dk}$$

$$\text{Numunenin kesit alanı (A)} = 25\text{cm}^2$$

$$\text{Hidrolik yük (h)} = 5\text{cm}$$

$$\text{Deney süresi (t)} = 12\text{dk}$$

2- Siltli ince kum numunesi içeren düşen seviyeli permametre düzeneğinde düşen seviyeli tüpün çapı 2cm olup numune çapı 10cm ve akış uzunluğu da 15cm'dir. Başlangıçtaki hidrolik yük 5cm olup, 528 dakikalık süre içinde 0,5cm'ye düşmüştür. Hidrolik iletkenliği (geçirimsizliği) hesaplayınız.

$$K = (dt^2 \times L / dc^2 \times t) \ln (h_0 / h)$$

$$\text{Numune boyu (L)} = 15\text{cm} \quad K = (2^2 \times 15) / (10^2 \times 528) \ln (5 / 0,5)$$

$$\text{Başlangıçtaki hidrolik yük (ho)} = 5\text{cm} = 2,617 \times 10^{-3}$$

$$\text{Düşen seviyeli tüpün son seviyesi (h)} = 0,5\text{cm}$$

$$\text{Düşüm sırasında geçen süre (t)} = 528\text{dk}$$

$$\text{Düşen seviyeli tüpün iç çapı (dt)} = 2\text{cm}$$

$$\text{Numune hücresinin iç çapı (dc)} = 10\text{cm}$$

3- Tabanı delikli bir kutuya 12cm kalınlığındaki numune sıkılarak konulmuştur. Numune üzerinde su 9cm yükselmiş ve bu suyun süzülmesi 120s sürmüştür. Sıkılan numunenin permeabilitesini bularak yorumunu yapınız.

$$K = L/t \log_e [1 + (h/L)]$$

$$L = 12\text{cm} = 0,12\text{m} \quad h = 9\text{cm} = 0,09\text{m} \quad t = 120\text{sn}$$

$$K = 0,12/120 [\text{Log}_e 1 + (0,09/0,12)] = 4838,4 \text{ m/gün}$$

4- Tabanı delikli bir kutuya arazideki sıklığı verilerek 8,7cm kalınlığında numune yerleştirilmiştir. Deneyde su, numune üzerinde 8,5cm kadar yükselmiş olup, delikli kutu sudan çıkarılınca numune üzerindeki su 32 saniyede kaybolmuştur. Bu verilerle K' yı m/gün olarak hesaplayınız.

$$K = L/t \log_e [1 + (h/L)]$$

$$L = 8,7\text{cm} = 0,087\text{m} \quad h = 8,5\text{cm} = 0,085\text{m} \quad t = 32\text{sn}$$

$$K = 0,087/32 [\text{Log}_e 1 + (0,085/0,087)] = 159,84 \text{ m/gün}$$

5- Tabanı delikli bir kutuya arazideki sıklığı verilerek 9,1cm kalınlığında numune yerleştirilmiştir. Deneyde su, numune üzerinde 7,8 cm kadar yükselmiş olup, delikli kuu sudan çıkarılınca numune üzerindeki su 28 saniyede kaybolmuştur. Bu verilerle numunenin geçirimliliğini (hidrolik iletkenlik) (K) m/gün olarak hesaplayınız.

$$K = L/t \log_e [1 + (h/L)]$$

$$L = 9,1\text{cm} = 0,091\text{m} \quad h = 7,8\text{cm} = 0,078\text{m} \quad t = 28 \text{ saniye (s)}$$

$$K = 0,091/28 [\text{Log}_e 1 + (0,078/0,091)] = 173,83 \text{ m/gün}$$

Elek analizi yardımıyla geçirimsizlik tayini (Allen Hazen formülü) : Elek analizi yöntemiyle elde edilen değerler Alen Hazen formülünde kullanılarak Darcy katsayısı belirlenir.

$$K = \{[0,7 + 0,03t] / 86400\} [Cd_{10}^2] \quad C = 150 (n / 0,45)^6$$

d_{10} : Ekenik eğride %10'luk toplam ağırlığın apsisteki elek çapı değeri-cm

t : $^{\circ}C$ cinsinden yerltsuyu sıcaklık derecesi

n : Numunenin toplam gözenekliliği-%

K : Geçirgenlik katsayısı

6- Araziden alınan sıkılaşmamış bir numunenin elek analizine göre çizilen eklenik eğriden etkili tane çapının 1,75 mm olduğu belirlenmiştir. Toplam gözeneklilik % 31 ve yeraltısuyunun sıcaklığı $15^{\circ}C$ olduğuna göre numunenin geçirimsizliğini (permeabilite/hidrolik iletkenlik) hesaplayınız.

$$K = \{[0,7 + 0,03 \times t] / 86400\} [Cd_{10}^2] \quad C = 150 (n / 0,45)^6$$

$$n = 0,31 \quad C = 150 (0,31 / 0,45)^6$$

$$d_{10} = 1,75\text{mm} = 0,175\text{cm} \quad C = 16,03$$

$$t = 15^{\circ}C$$

$$K = \{[0,7 + 0,03 \times 15] / 86400\} [16,03 \times 0,175^2] = 6,53 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$$

UYGULAMA III

Amaç: Arazide, serbest ve basınçlı akiferlerde yapılan pompa testi verilerinden yararlanarak akifer formasyonların geçirimsizliği ve iletimsizliğinin hesaplanmasıdır.

Materyal: Akiferin konumu (kalınlık), pompaj ve gözlem kuyularının çapları ve birbirine göre uzaklıkları. Dupuit ve Thiem Formülleri, hesap makinesi.

Formüller:

Dupuit Formülü:

$$K = \frac{Q \log_e R/r}{\pi(H^2 - h^2)} \qquad K = \frac{Q \log_e R/r}{2\pi e \Delta}$$

Thiem Formülü:

$$q = \frac{\pi K (Z_2^2 - Z_1^2)}{\log_e x_2 / x_1}$$

ÖRNEK PROBLEMLER

1. Kalınlığı 51 metre olan serbest bir akiferde açılan 32 cm çapındaki sondaj kuyusunda saatte 47 m³ debi ile pompaj yapılmaktadır. Pompaj kuyusunda dengeli rejimdeki düşüm 3,7 metredir. Kuyunun etki alanı yarıçapı 108 m olduğuna göre akifer formasyonun geçirimsizliğini (K) ve iletimsizliğini (T) hesaplayınız.

2. Kalınlığı 59 m olan basınçlı bir akiferde açılan 34 cm çapındaki sondaj kuyusunda saatte 82,6 m³ debi ile pompaj yapılmaktadır. Kuyuda oluşacak 6,4 m lik bir düşüm sonucunda etki alanı çapı 493 m olduğuna göre akifer formasyonun iletimsizlik-transmisivite (T) ve geçirimsizliğini- permeabilitesini (K) hesaplayınız.

3. İncelenen serbest bir akiferde su tablası derinliği 19 m, sondaj derinliği 91 mdir. Tranzituar rejimde herhangi bir t anında akiferin transmisivitesi 3,22.10⁻⁴ m²/s, kuyu fonksiyonu 0,89 ve dinamik seviyenin derinliği 32.1 m olduğuna göre pompaj debisi saatte kaç m³ tür.

4. Kalınlığı 33 m olan serbest bir akiferin permeabilitesi $7,4 \cdot 10^{-6}$ m/s dir. Çizilen yarı logaritmik bir grafik üzerinde bir logaritmik devire karşılık gelen düşüm değeri 3.7 m olduğuna göre, bu akiferde açılan kuyuda tranzituar rejimde günde kaç m^3 su çekilebilir?

5. Hidrojeoloji incelemesi yapılan bir baraj rezervuar alanında 65 m kalınlığındaki bir formasyonda Lugeon deneyi yapılmaktadır. 28 cm çapındaki bir kuyudan 8 l/s debi ile basınçlı su enjekte edilmiştir. Deney sonunda oluşan basınç konisinin yüksekliği 7,3 m, etki alanı yarıçapı 135 m, permeabilite katsayısı $2,71 \cdot 10^{-4}$ m/s olarak elde edilmiştir. Buna göre formasyonun test edilen bölümünün kalınlığını hesaplayınız.

6. Kalınlığı 51 m olan, geçirimsiz tabanı yatay serbest bir akiferde açılan 36 cm çapındaki sondaj kuyusunda dengeli rejimde saatte $59,3 m^3$ debi ile pompaj yapılmaktadır. Pompaj kuyusundaki düşüm 9,8 m dir. Bu kuyunun 2,82 m uzağındaki gözlem kuyusunda ise düşüm 5,97 m dir. Buna göre, akiferin T ve K parametrelerini hesaplayınız.

7. Kalınlığı 73 m olan geçirimsiz tabanı yatay serbest bir akiferde açılan 38 cm çapındaki sondaj kuyusunda saatte $70,6 m^3$ debi ile pompaj yapılmaktadır. Pompaj kuyusundaki düşüm 8,1 m, bu kuyunun 4,8 m uzağındaki 1. gözlem kuyusundaki düşüm 6,01 m; 7,3 m uzağındaki 2.gözlem kuyusundaki düşüm 3,4 m dir. Buna göre akifer formasyonun T ve K parametrelerini hesaplayınız.

UYGULAMA IV

Amaç: Akifer malzemenin gözenek tipine göre yer altı suyu taşıma hızının belirlenmesi ve depolama katsayısından yararlanarak akiferlerin depolama gücünün belirlenmesidir.

Materyal: Darcy yasasından yararlanarak yer altı suyu zahiri, gerçek ve gerçek etkili hız formülleri elde edilecektir.

Formüller: $V = \frac{Q}{S}$ $V_r = \frac{Q}{S.n} = \frac{K.i}{n}$ $V_e = \frac{Q}{S.ne} = \frac{K.i}{ne}$

$$S = ne = Q_s ; n = Q_s + Q_r = ne + Q_r$$

ÖRNEK PROBLEMLER

1. Toplam porozitesi % 16 olan bir akiferde hareket eden yeraltı suyunun gerçek hızı 241 m/gün, hidrolik eğimi % 7,3 olduğuna göre akiferin permeabilitesini hesaplayınız.

2. Akifer formasyondan alınan numuneler incelenmiş olup, toplam gözenekliliği % 35, özgül tutumu % 14 olarak bulunmuştur. Arazi deneyleri ile hidrolik eğim (hidrolik gradyan) 6.10^{-3} , permeabilite 3.10^{-5} m/s olarak bulunmuştur. Bu verilerle yeraltı suyunun zahiri, gerçek ve gerçek etkili hızlarını m/yıl olarak hesaplayınız.

3. Bir ovada yer alan yaklaşık 5m derinliğindeki serbest akiferin 1 km^2 'lik yüzey alanına karşılık gelen bölümünde 2.5m düşüm gerçekleşmiştir. Serbest akiferi oluşturan kumlu birimin toplan gözenekliliği %32, özgül tutumu %11 olduğuna göre,

- Akiferin bu bölümünden alınabilecek su hacmini (m^3) hesaplayınız.
- Aynı hacimdeki akiferin basınçlı akifer olması durumunda, basınç yüzeyindeki 2.5m'lik düşüm sonucunda, depolama katsayısı 3.5×10^{-3} olan akiferden alınabilecek su miktarını (m^3) olarak hesaplayınız.

UYGULAMA V

Amaç: Topoğrafik haritadan yararlanarak havza sınırlarının çizimi, bu sınırlar içinde kalan alanların ve buralarda depolanacak su miktarlarının hesaplanması.

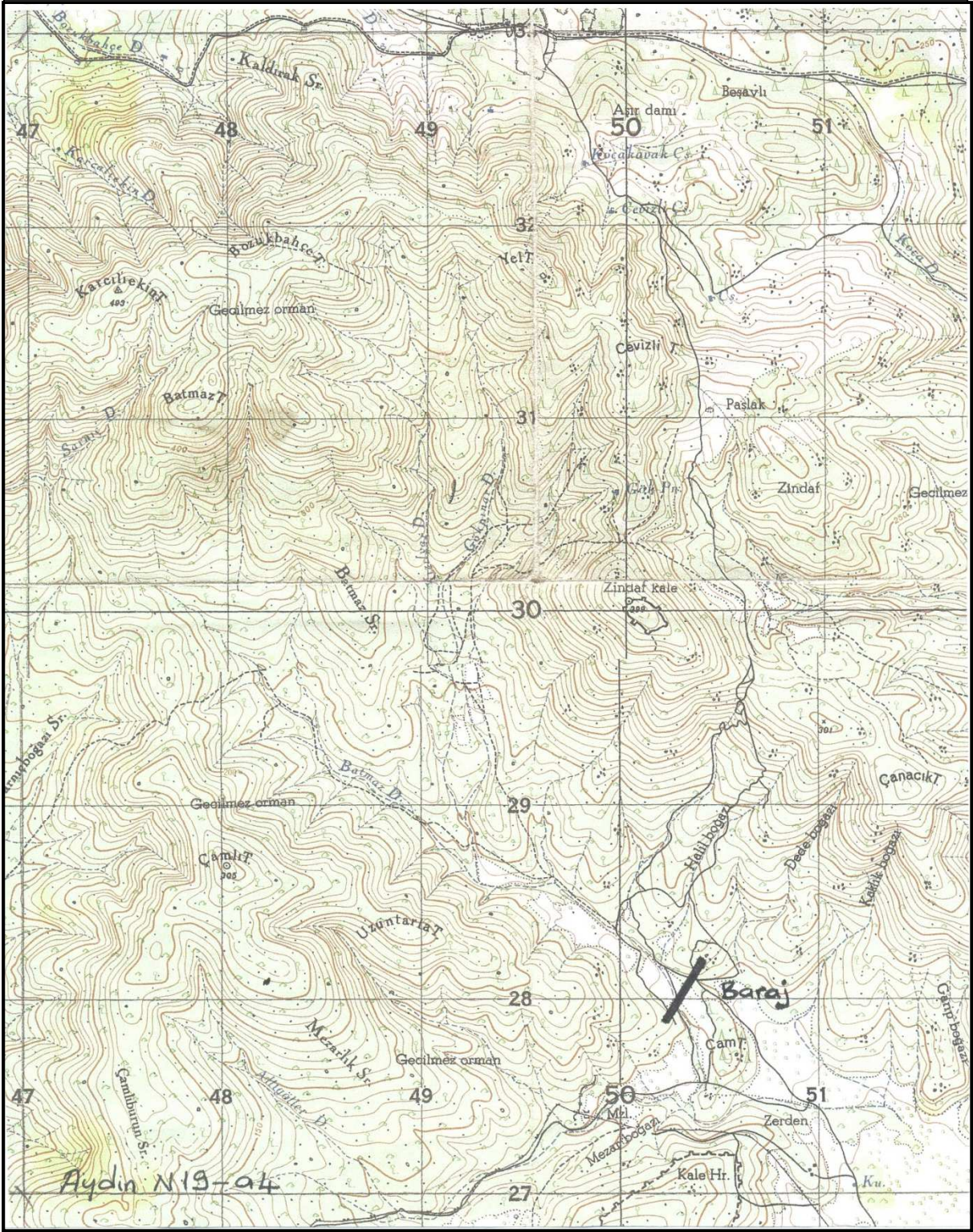
Materyal: Topoğrafik harita, milimetrik kağıt (şeffaf), hesap makinesi.

ÖRNEK PROBLEMLER

1. Şekildeki haritada yer alan barajın; a) havza alanı-yağış alanı sınırını ve maksimum su kotu (150 m) sınırını çiziniz.

b) Baraj alanına ortalama 410 mm/yıl yağış düşmektedir. Barajın maksimum su kotu alanı içindeki ortalama su kalınlığı 40 m olacak ise; baraj göl alanında biriken suyun ne kadar zamanda maksimum kota ulaşacağını hesaplayınız.

Not: Baraj göl alanına herhangi bir kaynak boşalımı ya da baraj göl alanından havza dışına boşalım olmadığı varsayılmaktadır. Ayrıca buharlaşma ihmal edilmiştir.



UYGULAMA VI

Amaç: Üçgen yöntemi ile eş su seviye eğrisi çizilmesi. Elde edilen eş-su seviye eğrilerini tüm harita alanına “V” kuralını dikkate alarak yaymak ve **eş su seviye haritası** (hidrojeoloji haritası) oluşturmaktır. Çizilen haritalar üzerinde işlem yapmak, VI. Uygulama tamamlandıktan sonra yapılacaktır.

Materyal: Üzerinde su noktası ve kotlarının, akarsu ağının yer aldığı topoğrafik harita, cetvel, hesap makinesi.

Yöntem: Üçgen Yöntemi

ÖRNEK PROBLEMLER

1. Harita üzerindeki rakamlar çakıllı ve kumlu serbest bir akiferde açılmış gözlem kuyularında ölçülen su tablasının rakımını göstermektedir.

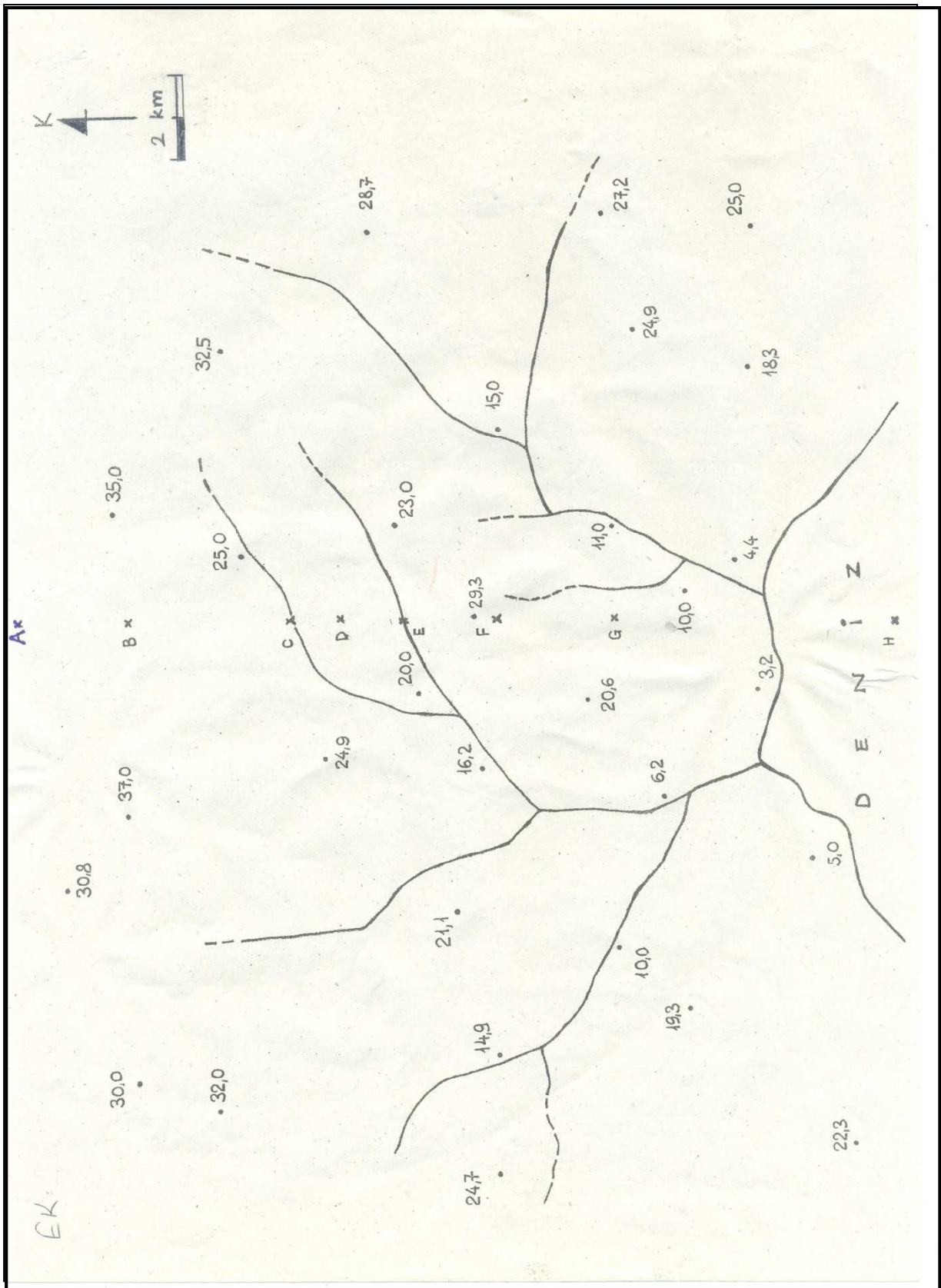
a) Bölgenin üçgen yöntemi ile su tablası haritasını çizin ve sıvı akılarını gösteriniz (Eş su yükselti eğrileri 5 m de bir geçecektir).

b) Aşağıdaki bilgilerin ışığında, A-H noktalarından geçen hidrojeoloji kesitini çıkarınız (Kesitin düşey ölçeği 1/1000 olacaktır).

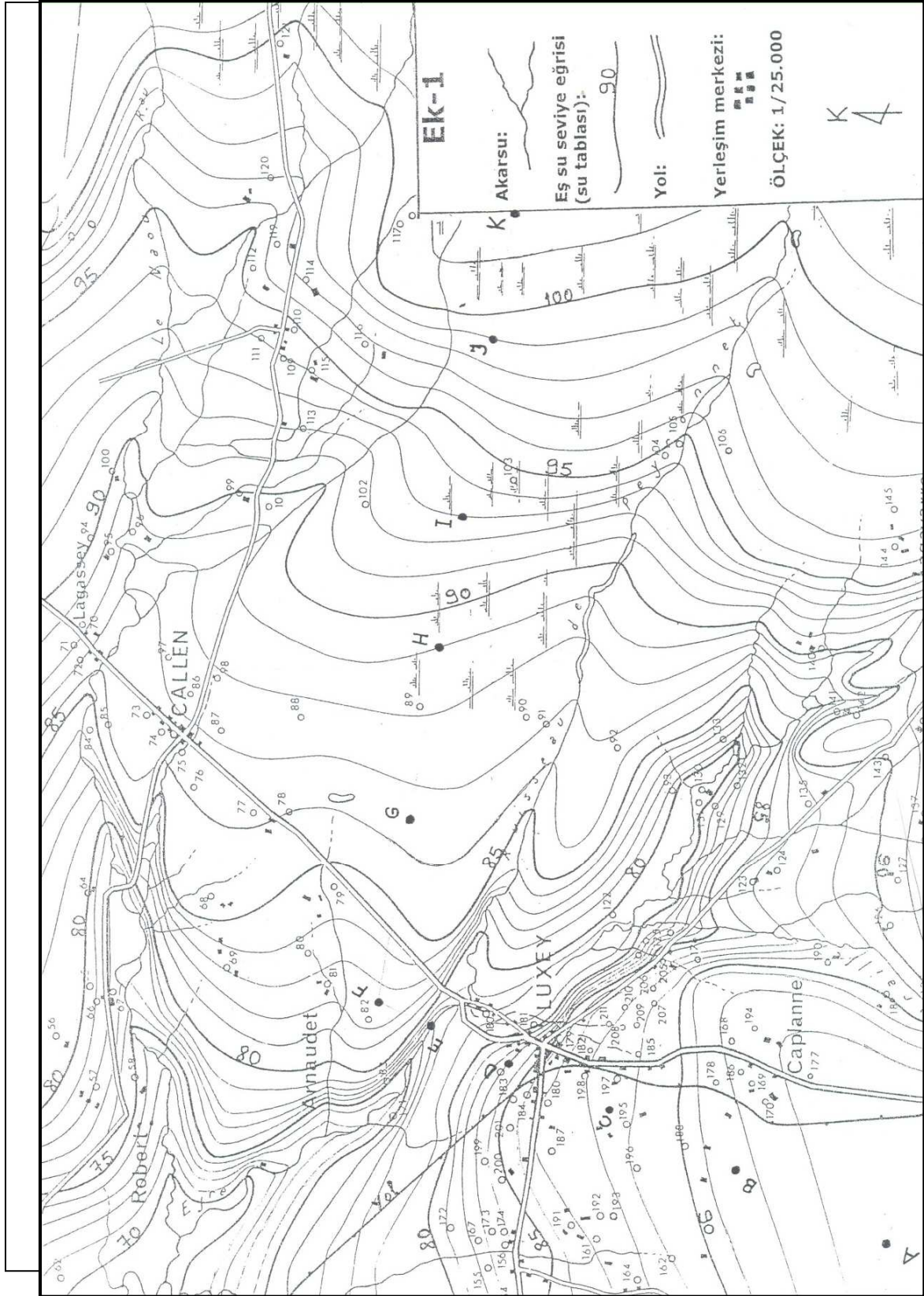
c) Su potansiyeli, su kalitesi-kirliliği, sondajcılık ve maliyet açısından, ideal kuyu yerini işaretleyiniz ve gerekçelerini yazınız.

Not: Çakıl ve kumlu akifer formasyon yatay olup, geçirimsiz tabanı teşkil eden marnlar 30⁰ ile kuzeye eğimlidir.

<u>Nokta</u>	<u>Topoğrafik rakım (m)</u>	<u>Geçirimsiz taban kodu (m)</u>
A	42	-15
B	45	-17
C	21	-20
D	25	-20
E	20	-19
F	33	-10
G	25	-6
H	-12	-20



2. Aşağıdaki haritada yer alan hidrojeoloji haritasında sıvı akılarını gösteriniz ve farklı bölgede hidrolik eğim (hidrolik gradyan) hesabı yapınız ve akiferin geçirimsizliği açısından yorumlayınız.



UYGULAMA VII

Amaç: Çizilen eş su seviye eğrisi (su tablası ve/veya basınç yüzeyi) haritasından hidrojeolojik kesit çıkarılması ve haritanın yorumu

Materyal: Eş su seviye haritası, milimetrik kağıt, cetvel, hesap makinesi

ÖRNEK PROBLEMLER

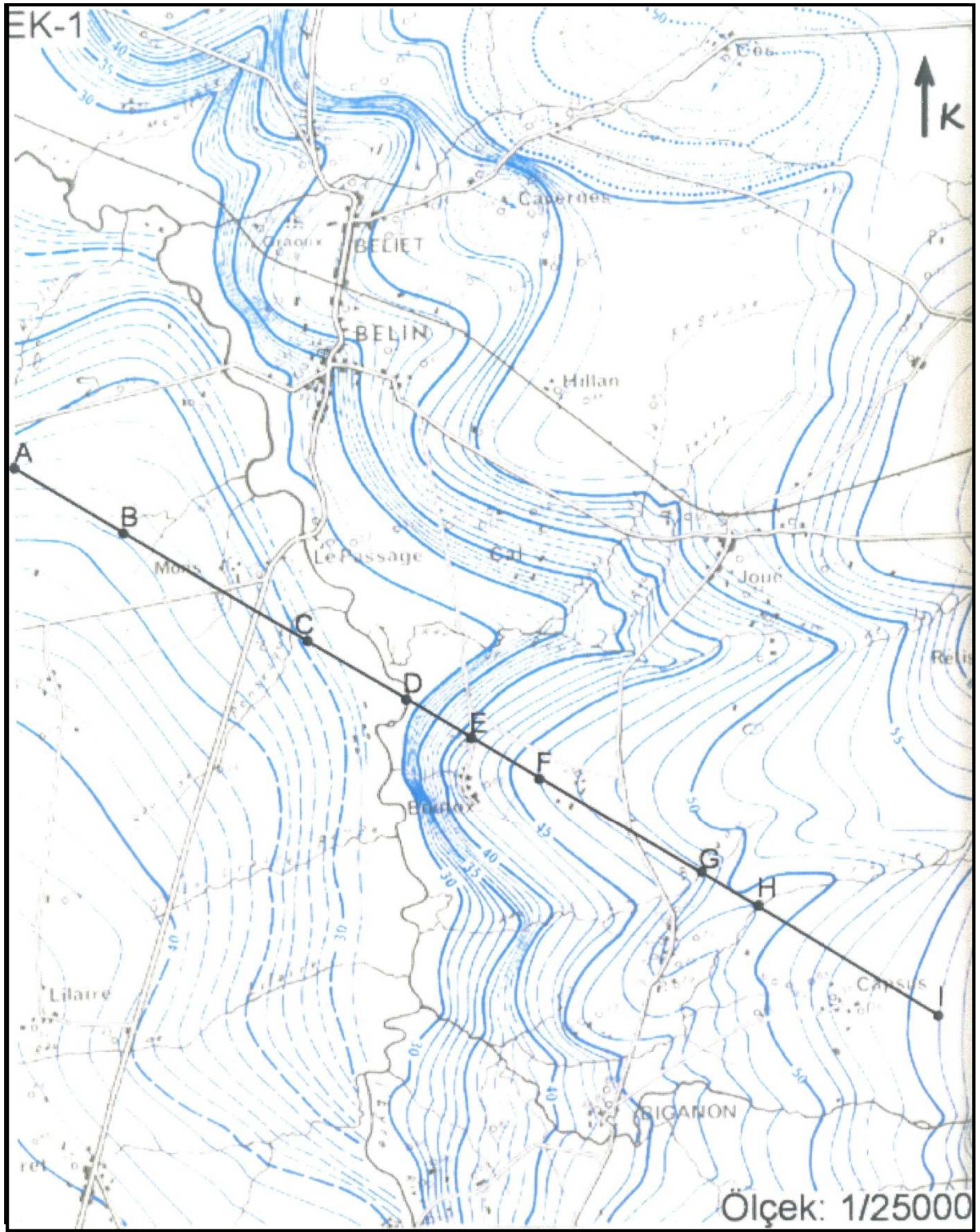
1. Ekte verilen su tablası haritası çakıl ve kumdan oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon akifere aittir. Kuvaterner'in altındaki Miyosen yaşlı kil ve marnlar serbest akiferin geçirimsiz tabanını oluşturmaktadır. Eosen kireçtaşları ise Miyosen birimlerinin altında basınçlı akiferi oluşturmaktadır. Kireçtaşlarının tabanında Üst Kretase yaşlı geçirimsiz filiş (kıltaşı-kumtaşı ardalanması) birimleri yer almaktadır.

A-K doğrultusunda 11 farklı noktada açılan derin sondajlarda kesilen birimlerin sınırları, bu noktaların topoğrafik kotları ve basınçlı akifere ait basınç yüzeyi değerleri Çizelge'de verilmiştir.

Bu verilere göre;

- A-K doğrultusunda bir hidrojeoloji kesiti çıkarınız (Yatay ölçek 1/25000 [harita ölçeği], düşey ölçek 1/1000 alınacaktır).
- Su tablası haritasında ve hidrojeoloji kesiti üzerinde akiferlerin yeraltısuyu akım yönlerini gösteriniz.
- Hidrojeoloji haritasında, verilen kesit üzerinde serbest ve basınçlı akifere ait birer tane ideal kuyu yeri belirleyerek, açılma gerekçelerini açıklayınız.

Kuyu no	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Topoğrafik kot (m)	100	102	97	87	78	96	101	110	119	124	122
Basınç yüzeyi kotu (m)	126	121	117	115	113	111	104	99	96	94	93
Miyosen kil-marn tavan kotu (m)	56	52	44	35	34	38	47	55	62	70	78
Eosen kireçtaşı tavan kotu (m)	17	14	10	9	8	10	15	21	29	37	41
Üst Kretase filiş tavan kotu (m)	-24	-27	-29	-32	-30	-28	-26	-25	-24	-22	-19



UYGULAMA VIII

Amaç: Kıyı akiferlerinde meydana gelen gel-git etkisinden yararlanarak akiferin iletimliliğinin hesaplanması

Materyal: Gel-git'in sebep olduğu seviye değişimleri (gözlem kuyuları ve deniz yüzeyinde), ilgili formül, hesap makinesi

Formüller:
$$S = \gamma \cdot n \cdot e \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{n \cdot e \cdot \beta}\right)$$

$$Be = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{n \cdot e \cdot \beta}}$$

$$h = h_0 \cdot e^{-x \sqrt{\pi n e / T t_0}}$$

$$A = \sqrt{\pi n e / T t_0}$$

ÖRNEK PROBLEMLER

1. Kalınlığı 39 m olan basınçlı bir akiferin etkili gözenekliliği %18, sıkışabilme katsayısı ise $3,42 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{N}$ dur. Suyun birim hacim ağırlığı 10 kN/m^3 , sıkışabilme katsayısı ise $4,58 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$ dur. Akiferin depolama katsayısı ve barometrik etkenliğini hesaplayınız.

2. Kıyı akiferinde açılan gözlem kuyusunda oluşan sinüzoidal dalganın yarı yüksekliği 67 cm, med-cezir olayının neden olduğu seviye değişimi ise 5,3 m dir. Akiferin kalınlığı 28 m, toplam gözenekliliği %21, özgül tutumu %12 ve gözlem kuyusunun sahile uzaklığı 7,9 m olduğuna göre akiferin T ve K parametrelerini hesaplayınız. Geçirimliliği yorumlayınız.

3. Sahile dik olarak açılan iki kuyuda gel-git olayının etkisi görülmektedir. Denize yakın olan kuyudaki seviye değişiminin yarısı 21,3 cm olup uzak olan kuyudaki seviye değişimi ise 7,8 cm dir. İki gözlem kuyusu arasındaki mesafe 5,1 m, akiferin etkili gözenekliliği ise %14 olarak bulunmuştur. Bu akiferin iletimliliğini ve sinüzoidal hareketin dalga yayılma hızını m/gün olarak hesaplayınız.

4. Gel-git olayının neden olduğu bir akiferdeki su seviyesi değişimi sahile dik açılan iki gözlem kuyusundan sahile yakın olanında 91 cm, uzak olanda 17cm olarak ölçülmüştür. İki gözlem kuyusu arasındaki uzaklık 7,4 m dir. Akiferin iletimliliği $4,35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ olduğuna göre akifer formasyonunun etkili gözenekliliğini ve sinüzoidal hareketin küçülmesini hesaplayınız ($t_0 = 43200 \text{ s}$).

UYGULAMA IX

Amaç: Yapılan izleme deneyi sonucu elde edilen konsantrasyon verilerinden yararlanarak yer altı suyu zahiri akım hızının belirlenmesi.

Materyal: İzleme deneyi verileri, milimetrik kağıt, hesap makinesi

ÖRNEK PROBLEMLER

1. Karstik bir arazide fluoresein boya deneyi yapılmış olup yeraltı suyunun hızı öğrenilmek isteniyor. Fluoresein boya, obruktan verilmiş ve kaynaktan örnekler alınarak denetlenmiş olup aşağıdaki konsantrasyon değerleri elde edilmiştir. Obruk ile kaynak arasındaki mesafe 1/25.000 ölçekli haritadan 11 cm olarak ölçülmüştür. Kaynak suyunun deneyden önceki fluoresein konsantrasyonu 1.10^{-6} ppm, deneye başlama zamanı 16.08.1990, saat 18⁰⁰ dir.

Tarih	Saat	Fluoresein kons. (ppm)	Tarih	Saat	Fluoresein kons. (ppm)
17.08.1990	09	1.10^{-6}	17.08.1990	18	1.10^{-1}
17.08.1990	10	1.10^{-6}	17.08.1990	19	6.10^{-2}
17.08.1990	11	1.10^{-6}	17.08.1990	20	5.10^{-2}
17.08.1990	12	1.10^{-6}	17.08.1990	22	2.10^{-2}
17.08.1990	13	$9,8.10^{-6}$	17.08.1990	24	1.10^{-2}
17.08.1990	14	6.10^{-4}	18.08.1990	02	9.10^{-3}
17.08.1990	15	7.10^{-3}	18.08.1990	04	8.10^{-3}
17.08.1990	16	1.10^{-2}	18.08.1990	06	6.10^{-3}
17.08.1990	17	5.10^{-2}	18.08.1990	08	4.10^{-3}

UYGULAMA X

Amaç: Akarsu ve kaynakların farklı yöntemler kullanarak debisinin hesaplanması.

Materyal ve Yöntem: a) Safralı yüzücü yöntemi ile elde edilen hızlar ve mesafe, Savak yönteminde, savakların boyutları ve suyun akım kalınlığı, Orifisetre yönteminde orifis boruların çapı ve suyun borudan akışa dik olarak yükselme miktarı, Boya yönteminde boya konsantrasyonu ve boyanın kaynak akışına karışım (akış) debisi.

Formüller:

$$Q = V/t$$

$$Q = \mu \cdot L \cdot h \cdot \sqrt{2gh}$$

$$\mu = \frac{2}{3} \left[0.6075 + \frac{0.0045}{h} \right] \left[1 + 0.55 \left(\frac{h}{h+p} \right)^2 \right]$$

$$Q = 1.83 (L-0.2h) h^{3/2}$$

$$Q = 1.32 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot h^{2.47}$$

$$Q = C \cdot d^2 \cdot \sqrt{h}$$

ÖRNEK PROBLEMLER

S-1. Islak kesit alanı 4 m^2 olan bir beton kanaldaki suyun safralı yüzücü yöntemi ile debisi hesaplanacaktır. Kanal akışı boyunca, 9 m uzunluğundaki bölümde (A-B arası) safralı yüzücüler suya bırakılarak varış zamanları tesbit edilmiştir. Yüzücülerin A noktasından B noktasına varış süreleri dakika olarak; 2,5-3,0-2,7-2,8-3,0-2,6-2,9-2,7 dir.

Akarsuyun debisini m^3/s ve $\text{m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplayınız.

S-2. Yüksekliği 75 cm, genişliği 1,80 m olan Bazin (dikdörtgen) savağının üzerinden akan suyun kalınlığı 35 cm dir. Buna göre bu savağın saatte kaç m^3 su boşaltacağını hesaplayınız.

S-3. Yanlardan daraltılmış bir savakta suyun savak üzerindeki kalınlığı 13 cm, suyun aktığı açıklığın genişliği 50 cm olduğuna göre savaktan günde kaç m^3 su akar? Savaktan en çok 25 cm kalınlığında su ölçülecekse bu savağın günde kaç m^3 su boşaltacağını hesaplayınız. Savağın ebatlarını belirleyerek 1/10 ölçeğinde şeklini çiziniz.

S-4. Taban açısı 60^0 olan bir üçgen savaktan akan suyun savak üzerindeki yüksekliği en çok 50 cm olduğuna göre,

a) Savaktan günde kaç m^3 su akmaktadır?

b) Savağın boyunu belirleyerek 1/10 ölçeğinde şeklini çiziniz.

S-5. Pompaj yapılan bir kuyuya orifis metre yerleştirilmiştir. Pitot tüpünün çapı 20 cm, diyafram çapı 12 cm, manometrik borudaki su yüksekliği 55 cm ise debiyi l/s olarak hesaplayınız.

S-6. Hızlı akışı olan bir kaynak boşalım bölgesinde, kaynağın debisi boya yöntemi ile hesaplanacaktır. Boya A noktasından 1 litre/dakika debi ile 500 mg/litre konsantrasyonunda suya bırakılmaktadır. B noktasında, boyanın debisi ölçülecek kaynak suyu ile karıştığı noktadaki konsantrasyonu 3 mg/litre ise, kaynağın debisi kaç m^3/s dir ?

UYGULAMA XI

Amaç: Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişiminden yararlanarak girişim yüzeyi konumunun belirlenmesi.

Materyal: Ghyben-Herzberg'e göre çizilen kıyı akiferinin konumu, tuzlu deniz suyunun yoğunluğu, akiferin hidrolik iletkenlik değeri.

Formüller:
$$h = \frac{\rho}{\rho_s - \rho} \cdot H$$

$$h = 40H$$

$$\sin \beta = \frac{\rho}{\rho_s - \rho} \cdot \frac{V}{K}$$

$$L = \frac{1}{2} \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) \cdot \frac{K \cdot e^2}{q}$$

ÖRNEK PROBLEMLER

1. Deniz kıyısında yer alan bir akiferde su tablası kotu 4,5 m, su tablası derinliği 15 m, tuzlu suyun yoğunluğu 1,025 g/cm³ olduğuna göre, su tablası kotunun ölçüldüğü noktada tuzlu suyun yeryüzünden itibaren derinliği kaç m'dir, Ghyben-Herzberg bağıntısını kullanarak hesaplayınız.

2. Bir kıyı akiferindeki yeraltı suyunun hızı 240 m/yıl, akiferin geçirgenlik katsayısı 3,5.10⁻⁴ m/s dir. Deniz suyunun yoğunluğu 1,023 g/cm³ olduğuna göre girişim yüzeyinin yatayla yaptığı açığı hesaplayınız.

3. 48 m kalınlığındaki basınçlı bir kıyı akiferinin geçirgenlik katsayısı 2,3.10⁻⁴ m/s, akifer suyunun yoğunluğu 1 ton/m³, akiferin birim debisi 17,29 m³/gün, deniz suyunun yoğunluğu 1,024 ton/m³ olduğuna göre akifere giren tuzlu su kamasının uzunluğunu hesaplayınız.

UYGULAMA XII

Amaç: Bilanço elemanlarını elde ederek/hesaplayarak, toprağın nem bilançosunu yapmak ve buradan elde edilen parametrelerle (aylık verilerden elde edilen yıllık bilanço elemanları) yer altı suyu bilançosu hakkında değerlendirme yapabilmektir.

Materyal ve Yöntem: Meteorolojik veriler (yağış, sıcaklık, bağıl nem vb), Thornthwaite yöntemi, Schoeller bilanço formülü.

Formüller:
$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

$$I = \sum i$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,492$$

$$E_{tp} = 1.6 \left(\frac{10t}{I}\right)^a$$

$$E_{tp} = 270 \cdot e^{0.0644t}$$

$$E_{tr} = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ÖRNEK PROBLEMLER

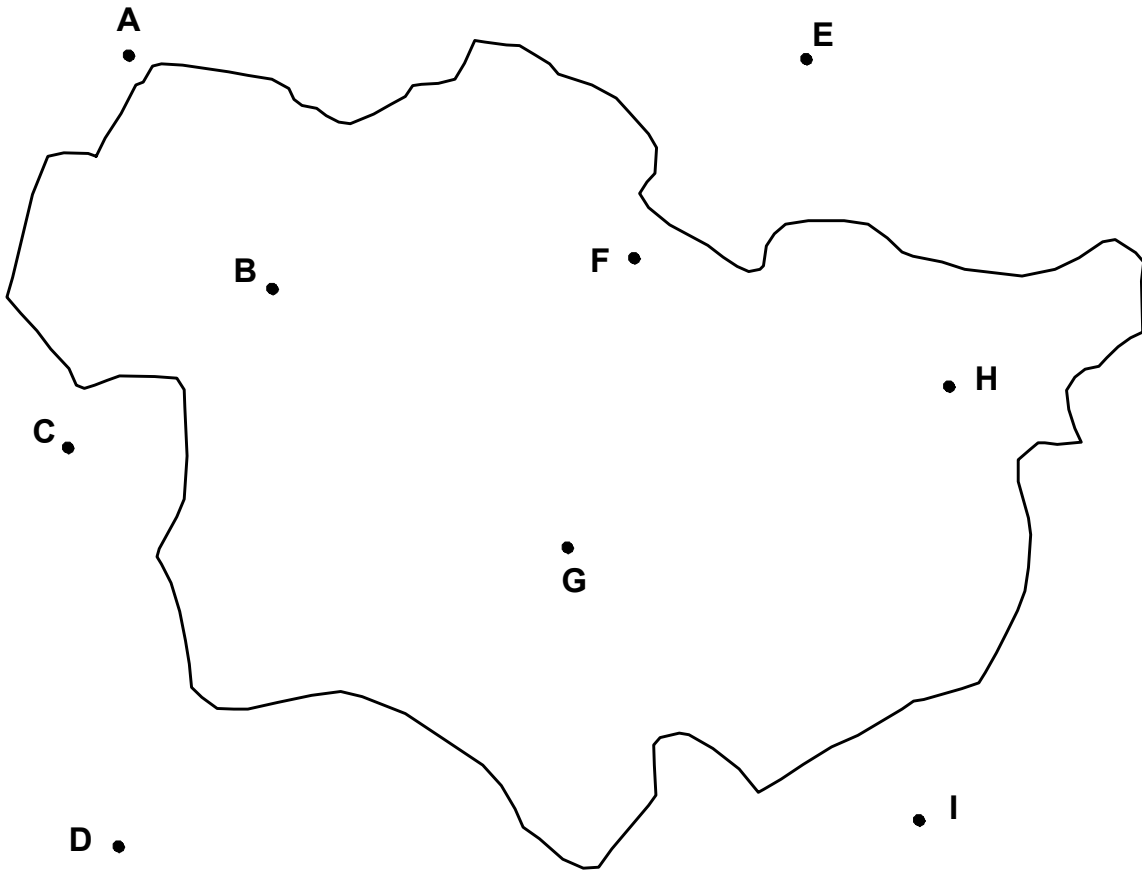
1. Bir alanda yıllık yağış miktarı 1360 mm, yıllık sıcaklık ortalaması 15^o,7 C olduğuna göre, Turc ve Serra Yöntemlerine göre yıllık gerçek buharlaşma terleme ve potansiyel buharlaşma terlemeyi yağışın yüzdesi olarak hesaplayınız.

2. 10.000 km² alana sahip olan bir havzadaki mevcut yağış istasyonları Şekil'de gösterilmiş ve bu istasyonlarda 24 saatlik yağış sonrası ölçülmüş yağış değerleri mm olarak Çizelge 1'de verilmiştir. Bu değerleri kullanarak yağış sonrası meydana gelen efektif yağış derinliğini hesaplayınız. Hesaplamalarınızı üç farklı metodla yapınız ve bu metodlardan elde edilen

sonuçları karşılaştırınız: (a) Aritmetik ortalama metodu, (b) Theissen metodu, (c) İzohiyet metodu (Eř yağış eğrilerini 10 mm aralıklarla çiziniz).

Yağış istasyonlarında ölçülmüş değerler (mm).

İstasyon	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Yağış (mm)	37.5	45.4	27.6	33.9	53.8	48.4	52.3	65.9	71.9



Yağış istasyonlarının dağılım ve inceleme alanı

3. İnceleme alanının Thorntwaite nem bilançosu yapılacaktır. Alan coğrafi olarak $38^{0}30'$ enleminde bulunmaktadır. Faydalı su yedeği 100 mm üzerinden hesaplanacak olup, Faydalı Su Yedeği 1994'n Aralık ayından 50 mm olarak gelmektedir. İnceleme dönemi 1995 yılına aittir.

Aşağıdaki çizelgede yer alan verileri kullanarak,

a) Thorntwaite nem bilançosu çizelgesini tamamlayınız.

b) Yağışın % si olarak gerçek buharlaşma-terleme, su fazlası ve su noksanını hesaplayınız.

c) Yağış ve düzeltilmiş buharlaşma-terlemenin yıllık değişim grafiğini çizerek “Su fazlası”, “Rezervden Yararlanma”, “Su Noksanı” ve “Rezervin Tamamlanması” bölümlerini belirleyiniz (Açıklamalar şekil üzerinde yapılacaktır).

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	TOPL
Aylık ortalama sıcaklık (°C)	-1,4	1,5	3,9	11,2	13,2	18,8	28,1	26,2	21,5	13,3	6,2	1,9	
Sıcaklık indisi													I =
Pot. Buh. Terleme Etp (mm)													
Enlem düz. Katsayısı (38°30')	0,85	0,84	1,03	1,105	1,23	1,24	1,255	1,175	1,04	0,96	0,84	0,825	
Düzeltilmiş Etp (Etp _c -mm)													
Yağış (mm)	52,4	36,9	70	24,89	60	30	5,5	3,3	2,7	68,6	89,3	97,3	
Faydalı su yedeği (mm)													
Gerçek buh. ter. Etr (mm)													
Su fazlası (mm)													
Su noksanı (mm)													

UYGULAMA XIII

Amaç: Karstik kaynakların boşalım katsayısı, kaynağın gerçek rejimde depolama gücünün belirlenmesi.

Materyal: Zamana bağlı ölçülen debi verileri, yarı logaritmik kağıt, hesap makinesi

Yöntem: Maillet (1905)

Formüller: $q = q_0 e^{-\alpha(t-t_0)}$

$$q = q_0 e^{-0.013t}$$

$$V_0 = \frac{q_0 86400}{\alpha}$$

$$q = \frac{q_0}{(1+\alpha t)^2}$$

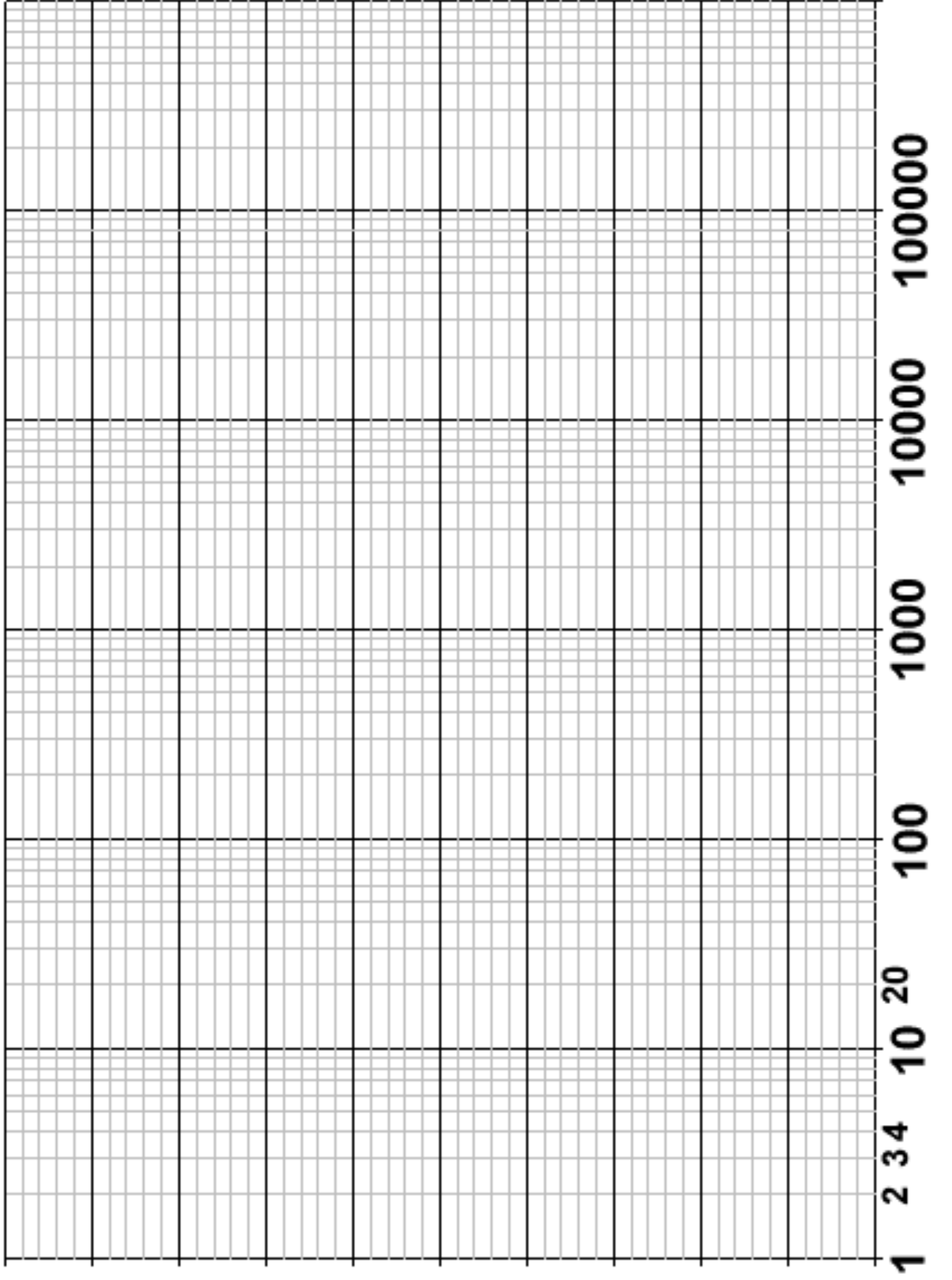
ÖRNEK PROBLEMLER

1. Toros kuşağında yer alan Mesozoyik yaşlı karstik kireçtaşları ile Eosen yaşlı geçirimsiz fliş birimlerinin dokanağından boşalan bir kaynakta zamana bağlı olarak debiler ölçülmüştür. Mesozoyik kireçtaşları Eosen fliş üzerine bindirmeli olarak gelmektedir. Zamana bağlı boşalım değerlerini yarı-logaritmik bir kağıt üzerinde kullanarak Maillet (1905) Yöntemi ile;

- a) Kaynağın boşalım katsayılarını bularak, boşalım doğru denklemlerini oluşturunuz.
- b) Kaynağın boşalım kotu üzerindeki rezervini veya depolama gücünü hesaplayınız.
- c) İnceleme dönemi boyunca kaynağın boşalım kotu üzerinden boşalttığı su miktarını (depolama gücünü) hesaplayınız.
- d) 10 Haziran-20 Eylül arası kaynağın laminer akımla boşalttığı su miktarını hesaplayınız.
- e) Kaynağın türbülant akımla boşalttığı su miktarını hesaplayınız.

Karstik kaynağın zamana bağlı boşalım (debi) değerleri

Zaman (t, gün)	Debi (Q, l/s)	Zaman (t, gün)	Debi (Q, l/s)	Zaman (t, gün)	Debi (Q, l/s)
1 Haziran	630	30 Temmuz	130	30 Eylül	100
10 Haziran	452	10 Ağustos	124	10 Ekim	96
20 Haziran	335	20 Ağustos	120	20 Ekim	93
30 Haziran	248	30 Ağustos	113	30 Ekim	90
10 Temmuz	182	10 Eylül	110		
20 Temmuz	133	20 Eylül	104		



Yarı-Logaritmik Kağıt

UYGULAMA XIV

Amaç: Yer altı su kaynağının baskın hidrokimyasal yapısı (su tipi), yer altı dolaşım uzunluğu, su kalitesi ve uluslar arası sınıflamadaki yerinin belirlenmesidir.

Materyal: Hidrokimyasal analiz sonuçları, yarı logaritmik kağıt, hesap makinesi.

Ca^{+2}	Kalsiyum	Cl^{-}	Klorür
Mg^{+2}	Magnezyum	SO_4^{-2}	Sülfat
Na^{+}	Sodyum	HCO_3^{-}	Bikarbonat
K^{+}	Potasyum	CO_3^{-2}	Karbonat

ÖRNEK PROBLEMLER

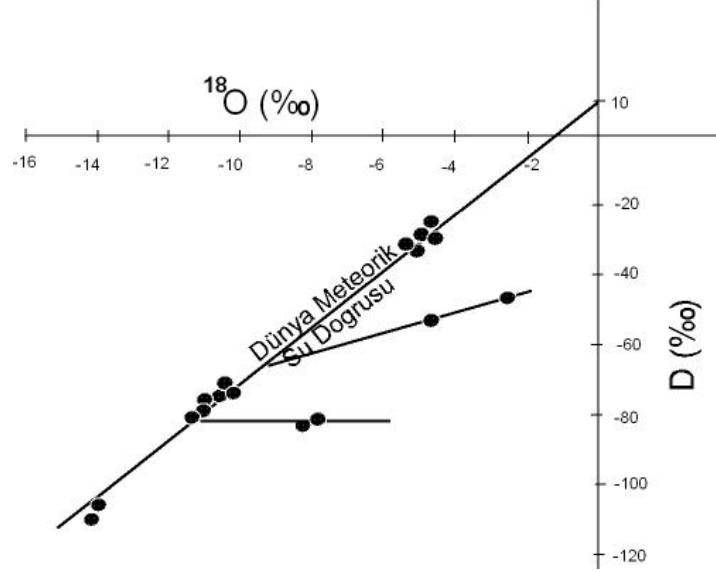
S-1. Aşağıda verilen üç adet su örneğinden **A ve B numuneleri** aynı akifere (alüvyon-serbest akifer) ait kuyulardan alınan sulardır. Alanda, alüvyon tabanında ve alüvyonu çevreleyen jipsli marn, kireçtaşı, çakıltası ve kumtaşından oluşan bir formasyon yer almaktadır. **C numunesi** ise jeotermal bir kaynağa aittir. Buna göre suların;

- Yarı Logaritmik Schoeller, Dairesel ve Piper diyagramlarını çizerek **numuneleri yorumlayınız.**
- Uluslararası Hidrojeologlar Birliğine (AIH) göre suların kimyasal sınıflamalarını yapınız.
- CO_2 miktarlarını ve Toplam Fransız sertliklerini hesaplayınız.

İyonlar	A (mg/l)-mek/l-%mek/l	B (mg/l)-mek/l-%mek/l	C (mg/l)-mek/l-%mek/l
Ca ⁺²	388	368	226
Mg ⁺²	151	112	23,1
Na ⁺	1500	475	1360
K ⁺	8,7	8,9	140
Cl ⁻	947	331	1840
SO ₄ ⁻²	3237	1784	458
HCO ₃ ⁻ (bikarbonat)	465	257	912,6
CO ₃ ⁻² (karbonat)	-	-	-
As (arsenik)	-	-	1
Fe (demir)	-	-	15
F (florür)	-	-	7
B (bor)	2,22	0,95	3,46
H ₂ SiO ₃ (silikat asiti)	10,9	14,9	113
pH (25 °C)	7,35	7,35	6,55
Sıcaklık - °C	14	14	42
Radyoaktivite - pCi/l	-	-	6200

ÖRNEK PROBLEMLER

1. Aşağıdaki, Oksijen-18 – Döteryum grafiğinde yer alan numuneleri grafikteki yerlerine göre; hidrojeolojik açıdan (beslenme şartları, yeraltı dolaşım derinliği, su-kayaç ilişkisi, buharlaşma, vb) yorumlayınız.



UYGULAMA XVI

Amaç: Suların ziraatte kullanıma uygunluklarının belirlenmesi.

Materyal: USA Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı, Wilcox diyagramı, hesap makinesi

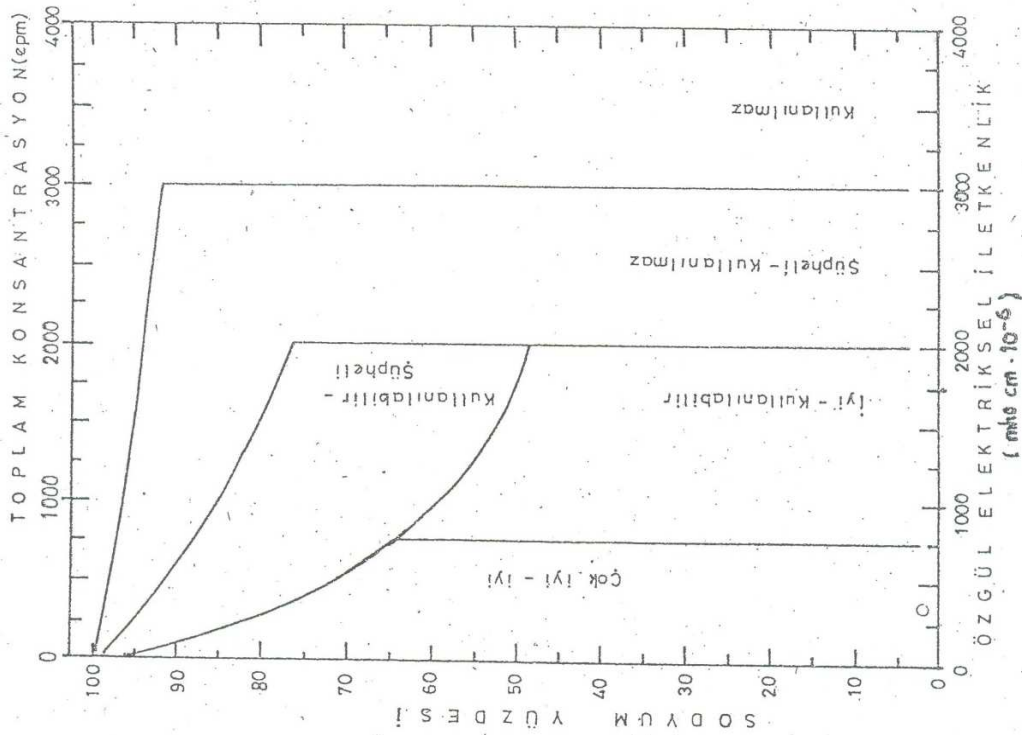
$$\%rNa = \frac{(rNa+rK)100}{rCa+rMg+rNa+rK}$$

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa+rMg}{2}}}$$

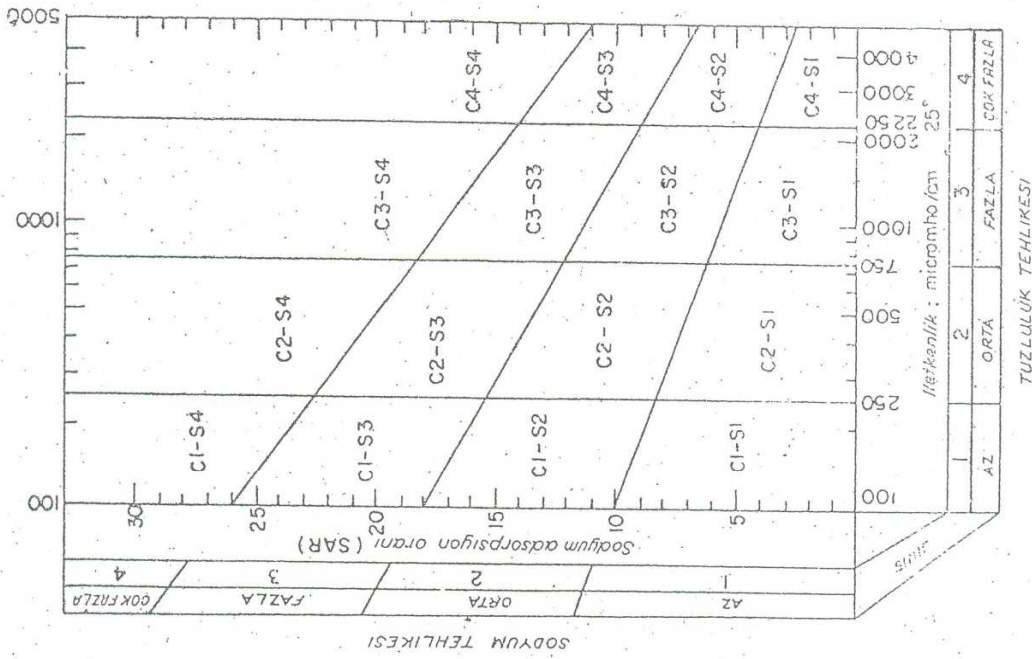
ÖRNEK PROBLEM

Fizikokimyasal özellikleri belirtilmiş olan, aynı ovaya ait yer altı sularından alınan üç farklı örneğin analiz sonuçları verilmiştir. Bu örneklerden yararlanarak ovadaki yer altı sularının ziraate uygunluğunu tartışınız (TÇM: Toplam çözünmüş katı madde, Eİ: elektriksel iletkenlik).

Fizikokimyasal özellikler	AB 13 (kuyu) (Yerköy, Yozgat)	OA5 (kuyu) (Yerköy, Yozgat)	MK17 (kuyu) (Yerköy, Yozgat)
Ca ⁺² , mg/l	118	334	506
Mg ⁺² , mg/l	74	140	165
Na ⁺ , mg/l	195	980	1080
K ⁺ , mg/l	6,5	26	25
Cl ⁻ , mg/l	93	562	615
SO ₄ ⁻² , mg/l	508	2323	3019
HCO ₃ ⁻ , mg/l	432	395	248
TÇM, mg/l	1323	4000	4751
pH	8,17	5,2	5,8
T, °C	14	15,7	14,5
Eİ, µS/cm	2340	6600	8250
Bor (B), mg/l	0,3	1,82	3,13



WILCOX DİYAGRAMI



ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

HİDROJEOLOJİDE YARARLANILABİLECEK KAYNAK KİTAPLAR

- Afşin M. ve Kayabalı K., 2001, Uygulamalı Hidrojeoloji, Dördüncü baskı, 682 s, Gazi Kitabevi.
- Akyol E. ve Kayabalı K., 2005, Çevre Jeolojisine Giriş, Üçüncü baskı, 547 s, Gazi Kitabevi.
- Canik B., 2003, Hidrojeoloji; yer altı sularının aranması, işletilmesi, kimyası. İkinci baskı, 286 s.
- Dickson, H. M. and Fanelli, M., 1995, Geothermal Energy, 214 p, John Wiley and Sons Inc.
- Dilek R., 1982, Hidrojeolojide Pompaj Deney Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi, 185 s, Karadeniz Üniversitesi.
- Domenico, P.A. and Schwartz, F.W., 1998, Physical and Chemical Hydrogeology, 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, 506 p.
- Driscoll, F.G., 1986, Groundwater and Wells, 2nd editions, Johnson Div., St. Paul, Minnesota, 1090 p.
- Dumlu O., Yalçın T., H., ve Bozkurtoğlu E., 2006, Yeraltı Suyu Jeolojisi ve Hidroliği, 244 s.
- Fetter, C.W., 1988, Applied Hydrogeology, 2nd edition, Merrill Publishing Company, Columbus, 592 p.
- Freeze, R.A., and Cherry, J.A., 1979, Groundwater, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.
- Kayabalı, K., 2003, Yeraltı Suyu, 562 s, Gazi Kitabevi.
- Mazor, E., 2004, Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology, Third edition, 453p, Marcel Dekker Inc.
- Şahinci, A., 1991, Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri, 249 s, İzmir.
- Şahinci, A., 1991, Karst, 171 s, İzmir.
- Şahinci, A., 1991, Doğal Suların Jeokimyası, 547s, İzmir.
- Şen Z., 2003, Yeraltı Suyu (Hidrojeoloji), 198s, Su Vakfı Yayınları. İstanbul.
- Todd, D.K., 1980, Groundwater Hydrology, 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, 535 p.
- Zhang H. and Schwartz W. F., 2003, Fundamentals of Groundwater, 583 p, John Wiley and Sons Inc.

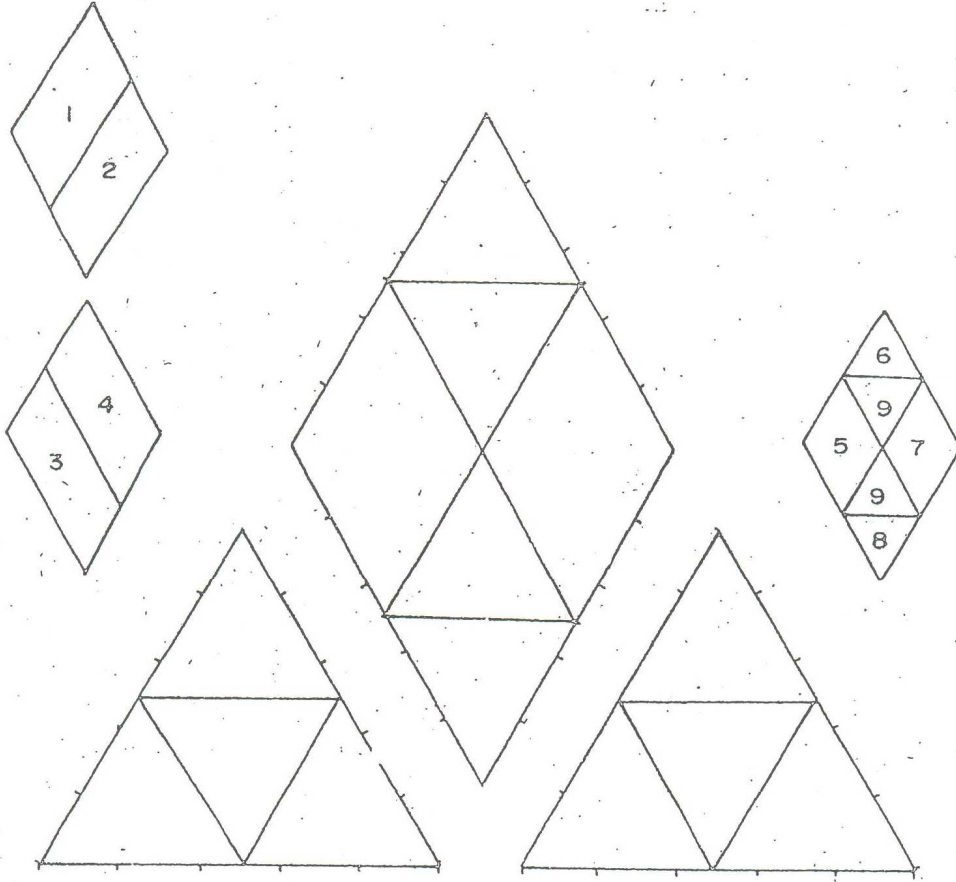
EKLER

EK-1: Kayaç türüne göre olası yeraltı suyu kompozisyonu

Litoloji	Olası Yeraltısu Kimyasal Kompozisyonu
Kumtaşı	Düşük çözünmüş madde (300-500 mg/l); HCO_3^- major anyon, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} yaklaşık aynı miktarlarda; tadı iyi
Kireçtaşı	Düşük çözünmüş madde (500-800 mg/l); HCO_3^- major anyon, Ca^{2+} hakim kation; tadı iyi
Dolomit	Düşük çözünmüş madde (500-800 mg/l); HCO_3^- major anyon, Mg^{2+} değeri Ca^{2+} miktarına eşit; tadı iyi
Granit	Çok düşük çözünmüş madde (300 mg/l); HCO_3^- major anyon, Ca^{2+} , ve Na^+ hakim kationlar; tadı çok iyi
Bazalt	Düşük çözünmüş madde (400 mg/l); HCO_3^- major anyon, Na^+ , Ca^{2+} , ve Mg^{2+} eşdeğer derecede önemli; tadı iyi
Şist	Orta derecede çözünmüş madde (1200 mg/l); HCO_3^- ve Cl^- major anyonlar, Ca^{2+} , ve Na^+ hakim kationlar; tadı kalitesiz fakat kullanılabilir
Marm	Düşük çözünmüş madde (300-500 mg/l); HCO_3^- major anyon, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} yaklaşık aynı miktarlarda; tadı iyi
Kil ve Şeyl	Genellikle kaya tuzu ve jips içerir. Yüksek tuzluluk (900-2000 mg/l); Cl^- hakim, ikincil SO_4^{2-} , Na^+ major kation, tadı yetersiz, bazen kullanılamaz
Jips	Yüksek çözünmüş madde (2000-4000 mg/l); SO_4^{2-} hakim anyon, Ca^{2+} , hakim kation, ikincil Mg^{2+} ve Na^+ ; tadı acı, kullanılamaz

Kaynak: Mazor, E., 1991. Applied chemical and isotopic groundwater hydrology. First Published, Open University Press, 274p, Great Britain.

PIPER DİYAGRAMI



Bölgelere düşen suların yorumu:

1. Bölgede, $Ca+Mg > Na+K$ Karbonatlı ve sülfatlı sular,
2. Bölgede, $Na+K > Ca+Mg$ Tuzlu ve sodalı sular,
3. Bölgede, $HCO_3+CO_3 > Cl+SO_4$ (Zayıf asit kökleri $>$ Güçlü asit kökleri)
4. Bölgede, $Cl+SO_4 > HCO_3+CO_3$ lı sular,
5. Bölgede, karbonat sertliği $>$ karbonat olmayan sertlik. Böyle sular $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ lı sulardır. Karbonat sertliği %50 den fazla olan sular,
6. Bölgede, karbonat olmayan sertlik $>$ karbonat sertliği. Böyle sular $CaSO_4$ ve $MgSO_4$ lı sulardır. Karbonat olmayan sertliği %50 den fazla olan sular,
7. Bölgede, karbonat olmayan alkalinite $>$ karbonat alkalinitesi. $NaCl$, $NaSO_4$ ve KCl lü sular. Karbonat olmayan alkalinitesi %50 den fazla olan sular. Alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular,
8. Bölgede, karbonat alkaliliği $>$ karbonat olmayan alkalilik. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular,
9. Bölgede, iyonların hiçbiri %50 yi geçmeyen karışık bileşimli sular bulunur.

Uzunluk, Alan, Hacim ve Zaman Dönüşüm Tabloları

Uzunluk dönüşümleri tablosu.

Birim	mm	cm	m	km	in	ft	yd	mi
1 milimetre	1	0,1	0,001	10 ⁻⁶	0,0394	0,00328	0,00109	6,21 x 10 ⁻⁶
1 santimetre	10	1	0,01	0,0001	0,3937	0,0328	0,0109	6,21 x 10 ⁻⁶
1 metre	1000	100	1	0,001	39,37	3,281	1,094	6,21 x 10 ⁻⁴
1 kilometre	10 ⁶	10 ⁵	1000	1	39.370	3281	1093,6	0,621
1 inç	25,4	2,54	0,0254	2,54 x 10 ⁻⁵	1	0,0833	0,0278	1,58 x 10 ⁻⁵
1 ft	304,8	30,48	0,3048	3,05 x 10 ⁻⁴	12	1	0,333	1,89 x 10 ⁻⁴
1 yarda	914,4	91,44	0,9144	9,14 x 10 ⁻⁴	36	3	1	5,68 x 10 ⁻⁴
1 mil	1,61 x 10 ⁶	1,01 10 ⁵	1,61 x 10 ³	1,6093	63.360	5280	1760	1

Alan dönüşümleri tablosu.

Birim	cm ²	m ²	km ²	ha	in ²	ft ²	yd ²	mi ²	ac
1 santimetre kare	1	0,0001	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁸	0,155	1,08 x 10 ⁻³	1,2 x 10 ⁻⁴	3,86 x 10 ⁻¹¹	2,47 x 10 ⁻⁸
1 metre kare	10 ⁴	1	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	1550	10,76	1,196	3,86 x 10 ⁻⁷	2,47 x 10 ⁻⁴
1 kilometre kare	10 ¹⁰	10 ⁶	1	100	1,55 x 10 ⁹	1,076 x 10 ⁷	1,196 x 10 ⁶	0,3861	247,1
1 hektar	10 ⁸	10 ⁴	0,01	1	1,55 x 10 ⁷	1,076 x 10 ⁵	1,196 x 10 ⁴	3,861 x 10 ⁻³	2,471
1 inç kare	6,452	6,45 x 10 ⁻⁴	6,45 x 10 ⁻¹⁰	6,45 x 10 ⁻⁸	1	6,94 x 10 ⁻³	7,7 x 10 ⁻⁴	2,49 x 10 ⁻¹⁰	1,574 x 10 ⁷
1 ft kare	929	0,0929	9,29 x 10 ⁻⁸	9,29 x 10 ⁻⁶	144	1	0,111	3,587 x 10 ⁻⁸	2,3 x 10 ⁻⁵
1 yarda kare	8361	0,8361	8,36 x 10 ⁻⁷	8,36 x 10 ⁻⁵	1296	9	1	3,23 x 10 ⁻⁷	2,07 x 10 ⁻⁴
1 mil kare	2,59 x 10 ¹⁰	2,59 x 10 ⁶	2,59	259	4,01 x 10 ⁹	2,79 x 10 ⁷	3,098 x 10 ⁶	1	640
1 akre	4,04 x 10 ⁷	4047	4,047 x 10 ⁻³	0,4047	6,27 x 10 ⁶	43.560	4840	1,562 x 10 ⁻³	1

Hacim dönüşümleri tablosu.

Birim	mL	litre	m ³	in ³	ft ³	gal	ac-ft	milyon gal
1 mililitre	1	0,001	10 ⁻⁶	0,06102	3,53 x 10 ⁻⁵	2,64 x 10 ⁻⁴	8,1 x 10 ⁻¹⁰	2,64 x 10 ⁻¹⁰
1 litre	10 ³	1	0,001	61,02	0,0353	0,264	8,1 x 10 ⁻⁷	2,64 x 10 ⁻⁷
1 metre küp	10 ⁶	1000	1	61.023	35,31	264,17	8,1 x 10 ⁻⁴	2,64 x 10 ⁻⁴
1 inç küp	16,39	1,64 x 10 ⁻²	1,64 x 10 ⁻⁵	1	5,79 x 10 ⁻⁴	4,33 x 10 ⁻³	1,218 x 10 ⁻⁸	4,329 x 10 ⁻⁹
1 ft küp	28.317	28,317	0,02832	1728	1	7,48	2,296 x 10 ⁻⁵	7,48 x 10 ⁶
1 ABD galonu	3785,4	3,785	3,78 x 10 ⁻³	231	0,134	1	3,069 x 10 ⁻⁶	10 ⁶
1 akre-ft	1,233 x 10 ⁹	1,233 x 10 ⁶	1233,5	75,27 x 10 ⁶	43.560	3,26 x 10 ⁵	1	0,3260
1 milyon galon	3,785 x 10 ⁹	3,785 x 10 ⁶	3785	2,31 x 10 ³	1,338 x 10 ⁵	10 ⁶	3,0684	1

Zaman dönüşümleri tablosu.

Birim	s	dak	sa	gün	yıl
1 saniye	1	1,67 x 10 ⁻²	2,77 x 10 ⁻⁴	1,157 x 10 ⁻⁵	3,17 x 10 ⁻⁸
1 dakika	60	1	1,67 x 10 ⁻²	6,94 x 10 ⁻⁴	1,90 x 10 ⁻⁶
1 saat	3600	60	1	4,17 x 10 ⁻²	1,14 x 10 ⁻⁴
1 gün	8,64 x 10 ⁴	1440	24	1	2,74 x 10 ⁻³
1 yıl	3,15 x 10 ⁷	5,256 x 10 ⁵	8760	365	1

EK-4: Farklı kayaç türlerinin geçirimsizliği (hidrolik iletkenliği)

Material	Hydraulic conductivity (m/sec)
SEDIMENTARY	
Gravel	$3 \times 10^{-4} - 3 \times 10^{-2}$
Coarse sand	$9 \times 10^{-7} - 6 \times 10^{-3}$
Medium sand	$9 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-4}$
Fine sand	$2 \times 10^{-7} - 2 \times 10^{-4}$
Silt, loess	$1 \times 10^{-9} - 2 \times 10^{-5}$
Till	$1 \times 10^{-12} - 2 \times 10^{-6}$
Clay	$1 \times 10^{-11} - 4.7 \times 10^{-9}$
Unweathered marine clay	$8 \times 10^{-13} - 2 \times 10^{-9}$
SEDIMENTARY ROCKS	
Karst and reef limestone	$1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-2}$
Limestone, dolomite	$1 \times 10^{-9} - 6 \times 10^{-6}$
Sandstone	$3 \times 10^{-10} - 6 \times 10^{-6}$
Siltstone	$1 \times 10^{-11} - 1.4 \times 10^{-8}$
Salt	$1 \times 10^{-12} - 1 \times 10^{-10}$
Anhydrite	$4 \times 10^{-13} - 2 \times 10^{-8}$
Shale	$1 \times 10^{-13} - 2 \times 10^{-9}$
CRYSTALLINE ROCKS	
Permeable basalt	$4 \times 10^{-7} - 2 \times 10^{-2}$
Fractured igneous and metamorphic rock	$8 \times 10^{-9} - 3 \times 10^{-4}$
Weathered granite	$3.3 \times 10^{-6} - 5.2 \times 10^{-5}$
Weathered gabbro	$5.5 \times 10^{-7} - 3.8 \times 10^{-6}$
Basalt	$2 \times 10^{-11} - 4.2 \times 10^{-7}$
Unfractured igneous and metamorphic rocks	$3 \times 10^{-14} - 2 \times 10^{-10}$
To convert meters per second to	Multiply by
cm/sec	10^2
(gal/day)/ft ²	2.12×10^6
ft/sec	3.28
ft/yr	1×10^8
darcy	1.04×10^5
ft ²	1.1×10^{-6}
cm ²	1×10^{-3}
To convert any of the above to meters per second	Divide by the appropriate number above

EK-5: Formüller

FORMÜLLER

$$e = 1 + \frac{1}{n} \Rightarrow e = 1 + \frac{1}{1} + \frac{1}{1.2} + \frac{1}{1.2.3} + \dots$$

$$e = 1 + 1 + 0,5 + 0,16 + \dots \Rightarrow e = 2,718$$

$$a^0 = 1, \quad y = \frac{1}{a^0} = 1, \quad y = a^\infty = \infty \quad y = a^{-\infty} = \frac{1}{a^\infty} = 0$$

$$\frac{1}{a^n} = a^{-n} \quad \sqrt[n]{a} = a^{1/n} \quad (\sqrt[n]{a})^n = a \quad (a^{1/n})^n = a$$

$$\log_e x = 2,3 \log x$$

$$\log e = \log 2,718 = 0,434$$

$$\log b^n = n \log b$$

$$\log \sqrt[n]{b} = \frac{1}{n} \log b$$

$$\log \frac{b}{c} = \log b - \log c$$

$$\log a.b = \log a + \log b$$

$$\operatorname{colog} b = -\log b$$

$$\log_e a = \ln a$$

$$\log_e a = 2,3 \log a$$

$$y = a \cdot b^x$$

$$\log y = \log a + x \log b$$

$$y = \int a \, dx \Rightarrow y = ax + c$$

$$y = \int \frac{1}{x} \, dx \Rightarrow y^0 = \log_e x + c$$

EK-6: Su Tablası Haritası

