

DURGUNLUK NOKTASI VE KUYULARA PERMENAN OLMAYAN AKIM

Dincer TOPACIK* - Veysel EROĞLU**

ÖZET

Bu makalede piyezometre eğimi yatay olmayan akımlarda durgunluk noktasının belirlenmesi ile kuyulara permenan olmayan şartlarda tek kuyu açılması halinde deney sonuçlarına dayanarak formasyon sabitlerinin ve seviye alçalması değerlerinin Theis denklemi ve Jacob yaklaşımı ile hesap esasları verilmiş ve bunların numerik misaller üzerinde uygulaması gösterilmiştir.

SUMMARY

In this paper, stagnation point has been determined in the aquifers with a sloping piezometric surface. Formation constants and drawdowns have been calculated by the Theis equation and Jacob approach.

1. GİRİŞ

Memleketimiz yeraltı suyu bakımından şanslı sayılır. Su taşıyan tabaka (Akifer) nın mutlak anlamda basınçlı veya basınçsız olması hallerine az rastlanacağı gibi bu tabakalara ait piyezometre yüzeyleri de tam yatay olmayabilir. Bu hallerde kuyuların tesir bölgeleri genişliğinin ve durgunluk noktalarının pompaj kuyusuna olan uzaklığının belirlenmesi istenir⁴. Kuyulara doğru meydana gelen su akımı için ilk ifadeler Theis tarafından verilmiştir². Daha sonra bu ifadeleri Jacob basitleştirerek daha kullanışlı hale koymuştur³. Permenan olmayan akımlar için geliştirilen Theis bağıntıları çeşitli analogilere göre tahkik edilmiştir⁵.

2. DURGUNLUK NOKTASI

Basınçlı ve serbest akifer için Dupuit kabullerine göre çıkarılmış olan denklemlerin piyezometrik seviyeleri eğimli akiferlere tatbik edilebilmesi için tabii haldeki piyezometre yüzeyinin geçirimsiz tabana paralel olması lazımdır. Piyezometrik yüzeyin eğimli olması halinde akış neti, radyal akış hatlarından meydana gelmez ve alçalma konisinin eşpotansiyel çizgileri simetrik değildir. Şekil 1'de görüldüğü gibi akışın doğrultusuna dik istikamette geçirilen düzlemdeki AA kesiti, basınçsız akiferin seviye değişimine veya basınçlı

* Doç. Dr.; İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak/İstanbul.

** Dr.; İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak/İstanbul.

Denklem 2'den

$$K (H-h) = \frac{q}{2 \pi} \ln \frac{R}{r} \quad 4$$

yazılabilir. $R^2 = X^2 + Z^2$ olduğundan

$$\phi_r = \frac{q}{2 \pi} \ln \frac{R}{r} = \frac{q}{2 \pi} \left\{ \frac{1}{2} \ln (X^2 + Z^2) - \ln r \right\} \quad 5$$

dır. Birleşmiş akımın hız potansiyeli, radyal ve uniform yeraltı suyu akımlarına ait hız potansiyellerinin toplamına eşittir.

$$\phi = \phi_u + \phi_r \quad 6$$

$$\phi = v_u \cdot X + \phi_r \quad 7$$

Birleşmiş akımın (x) doğrultusundaki hızı

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = v_u + \frac{q}{2 \pi} \left(\frac{x}{x^2 + z^2} \right) \quad 8$$

olur. Kuyunun durgunluk noktasında, birleşmiş akımın x doğrultusundaki hızı sıfır olduğundan

$$v_u + \frac{q}{2 \pi} \left(\frac{x}{x^2 + z^2} \right) = 0 \quad 9$$

olur. Durgunluk noktasında $Z = 0$ dir. Denklem 9'dan

$$v_u + \frac{q}{2 \pi} \frac{1}{x} = 0 \quad 10$$

veya

$$v_u = - \frac{q}{2 \cdot \pi} \frac{1}{x} \quad 11$$

$$x = - \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot v_u} \quad 12$$

olur. Burada

$$\frac{q}{v_u} = b = \text{Tesir bölgesi genişliği}$$

denir ise denklem 11'den

$$b = - 2 \cdot \pi \cdot X$$

yazılır. Yeraltı suyu eğimli olması halinde açılacak kuyular arasında en az $2b$ mesafe bırakılır.

3. ÖZEL KAPASİTE ve KUYULARIN GELİŞTİRİLMESİ

Kuyuda birim seviye alçalmasına tekabül eden verime "Özel Kapasite" denir. Bu değer uzun bir pompaj süresi sonunda elde edilebilir. Kuyularda herhangi bir gözleme yapmadan evvel kuyular uygun bir şekilde yıkanır ve temizlenir. Pompa ile kuyudan çekilen su içinde kum parçacıkları çıkmıyorsa kuyunun debisi ölçülür. Sabit bir seviye elde edebilmek için oldukça uzun bir süre pompaj yapılması gerekir. Belirli bir kararlı seviyeye ulaşıldıktan sonra verimde artış olmaz. Şayet pompaj debisi arttırılırsa verim kısa bir süre için artmış gibi olur ve pompa filtreleri yüksek hızlı yeraltı suyunun taşıdığı maddeler ile tıkanır.

Kuyu denklemleri tetkik edildiği zaman kuyu çapındaki artmanın verim üzerine önemli derecede tesirli olmadığı görülür. Kuyu çapının 8 cm'den 60 cm'ye arttırılması verimde ancak % 15 ila % 30 nisbetinde artış sağlar.

4. YERALTI SUYU KULLANIMININ FİZİBİLİTESİ

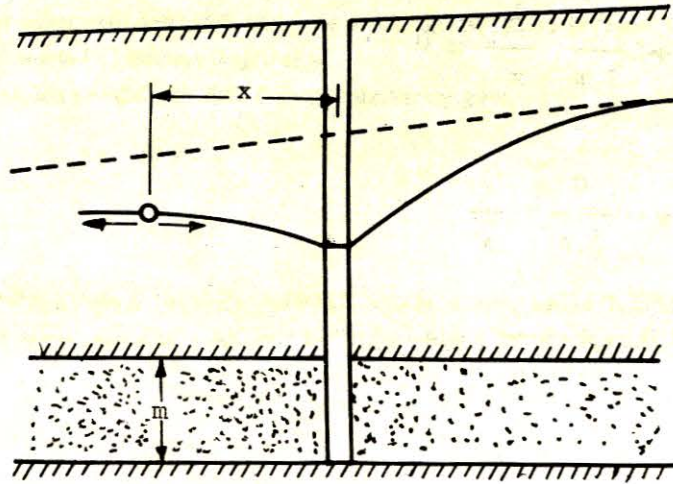
Yeraltı suyu seviyesi düşüncesizce açılmış kuyular ve bilgisizce yapılan pompaj sonucu önemli ölçüde alçalabilir. Pompaj fiyatları su tabliyesindeki azalma ile artar. Yeraltı suyu kullanımı hususunda verilecek kararlarda aşağıdaki noktalar gözönünde tutulmalıdır.

- 1- Yeraltı suyu kafi miktarda olmalı,
- 2- Su derinliği, pompajı ekonomik yapacak bir değerden az olmamalı,
- 3- Su tabliyesi stabil olmalı,
- 4- Çekilecek su tabii beslenmeden fazla olmamalıdır.

Misal - 1

Şekil 2'de görülen basınçlı akifer kalınlığı $m = 15$ m. dir. Tabii haldeki piyezometrik yüzeyin eğimi $1 : 4$ 'dür. Kuyudan $200 \text{ m}^3/\text{st}$ lık su alınması durumunda durgunluk noktasının kuyudan uzaklığını ve tesir alanının genişliğini hesaplayınız.

$K = 0,9 \text{ m/st}$ dir.



Şekil 2

Birim akifer derinliğinden geçen debi,

$$q = \frac{Q}{m} = \frac{Q}{15}$$

durgunluk noktasının kuyudan mesafesi,

$$X = \frac{q}{2 V_u} = \frac{Q}{15.2 V_u}$$

dir. Burada

$$V_u = K i = 0,9 \cdot \frac{1}{4} = 0,225 \text{ m/st}$$

olduğundan

$$X = \frac{200 \times 4}{30 \cdot 0,9 \times 3,14} = 9,45 \text{ m.}$$

bulunur. Tesir bölgesi genişliği ise

$$b = 2 \cdot X = 2 \cdot 9,45 = 18,9 \text{ m.}$$

olur.

5. KUYULARA DOĞRU PERMENAN OLMAYAN AKIM

Kuyulara doğru permenan olmayan şartlardaki akıma ait ilk ifadeler Theis tarafından verilmiş ve daha sonra Jacob tarafından geliştirilmiştir². Theis denkleminin ilk çıkarılışı, uniform hızla ısı alınan (veya verilen) bir noktaya doğru meydana gelen ısı akımı üzerine yapılan bir analogiye dayandırılmaktadır. Bu analogide hidrolik basınç sıcaklığa, basınç gradyanı sıcaklık gradyanına, geçirimsizlik ısı iletkenliğine, özgül verim veya depolama katsayısı özgül ısıya tekabül ettirilmiştir.

Theis'in denklemi,

$$S = \frac{Q}{4 \pi T} f(u) \quad 13$$

şeklindedir. Burada

S = Alçalma konisinin herhangi bir yerindeki alçalma (m)

Q = Pompaj uniform debisi (m³/st)

T = İletim katsayısı (m³/st m) olup, basınçsız akifer için (KH), basınçlı akifer için (Km) ye eşittir. Burada K, permeabilite katsayısı, H akifer derinliği (m) basınçlı akifer kalınlığıdır.

$$f(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = -0,5772 - \ln u + \frac{u^2}{212} + \frac{u^3}{313} \quad 14$$

dir. Burada

$$U = \frac{x^2 \cdot D}{4 T t} \quad 15$$

D = Depolama katsayısı olup, basınçsız akiferde özgül verime eşittir. Basınçlı akiferde ise piyezometrik yüzeyde birim azalma anında meydana gelen su hacmine eşittir.

X, Gözetleme kuyusunun pompaj kuyusundan uzaklığı (m)

t, Pompaj süresi (saat)

f(u)'ya (u) değişkenine ait kuyu fonksiyonu denir.

Çeşitli (u)'lar için f(u) kuyu fonksiyonunun aldığı değerler Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1 — f(u) Kuyu Fonksiyonu Değerleri

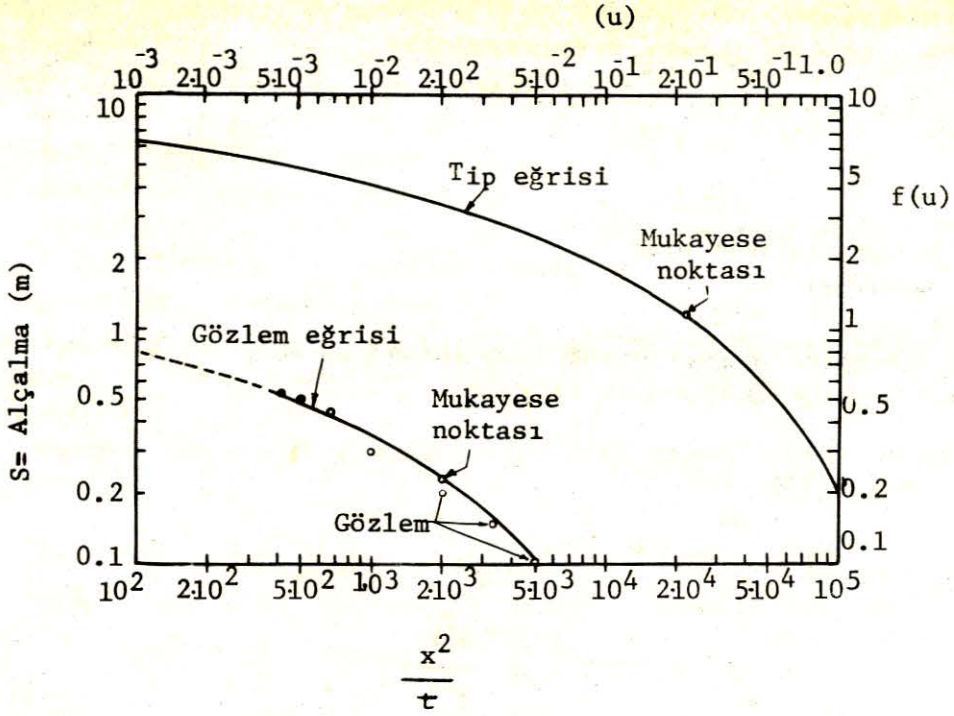
u	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
x 1	2.194	1x10 ⁻¹	4.89	2.491	1.305	6.97	3.779	2.073	1.148	6.409
x 10 ⁻¹	x 10 ⁻¹		x 10 ⁻²	x 10 ⁻²	x 10 ⁻²	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻³	x 10 ⁻⁴
x 10 ⁻²	1.823	1.465	1.223	1.044	0.9057	0.7942	0.7024	0.6253	0.5598	0.5034
x 10 ⁻³	4.083	3.637	3.355	3.137	2.959	2.810	2.681	2.568	2.468	2.378
x 10 ⁻⁴	6.332	5.927	5.639	5.417	5.235	5.081	4.948	4.831	4.726	4.631
x 10 ⁻⁵	8.633	8.228	7.940	7.717	7.535	7.381	7.241	7.130	7.024	6.929
x 10 ⁻⁶	10.94	10.53	10.24	10.02	9.837	9.683	9.550	9.432	9.326	9.231
x 10 ⁻⁷	13.24	12.83	12.55	12.32	12.14	11.99	11.85	11.73	11.63	11.53
x 10 ⁻⁸	15.54	15.14	14.85	14.62	14.44	14.29	14.15	14.04	13.93	13.84
x 10 ⁻⁹	17.84	17.44	17.15	16.93	16.75	16.59	16.46	16.34	16.23	16.14
x 10 ⁻¹⁰	20.15	19.74	19.45	19.23	19.05	18.89	18.76	18.64	18.54	18.44
x 10 ⁻¹¹	22.45	22.04	21.76	21.53	21.35	21.20	21.06	20.94	20.84	20.74
x 10 ⁻¹²	24.75	24.35	24.06	23.83	23.65	23.50	23.36	23.25	23.14	23.05
x 10 ⁻¹³	27.05	26.65	26.36	26.14	25.96	25.80	25.67	25.55	25.44	25.35
x 10 ⁻¹⁴	29.36	28.95	28.66	28.44	28.26	28.10	27.97	27.85	27.75	27.65
x 10 ⁻¹⁵	31.66	31.25	30.97	30.74	30.56	30.41	30.27	30.15	30.05	29.95
x 10 ⁻¹⁶	33.96	33.56	33.27	33.05	32.86	32.71	32.57	32.46	32.35	32.26

6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5
3.601	2.034	1.155	6.583	3.767	2.162	1.245	7.185
x 10 ⁻⁴	x 10 ⁻⁴	x 10 ⁻⁴	x 10 ⁻⁵	x 10 ⁻⁵	x 10 ⁻⁵	x 10 ⁻⁵	x 10 ⁻⁶
0.4544	0.4115	0.3738	0.3403	0.3106	0.2840	0.2602	0.238
2.295	2.220	2.151	2.087	2.027	1.971	1.919	1.870
4.545	4.465	4.392	4.323	4.259	4.199	4.142	4.089
6.842	6.762	6.688	6.619	6.555	6.494	6.437	6.383
9.144	9.064	8.990	8.921	8.856	8.796	8.739	8.685
11.45	11.37	11.29	11.22	11.16	11.10	11.04	10.99
13.75	13.67	13.60	13.53	13.46	13.40	13.34	13.29
16.05	15.97	15.90	15.83	15.76	15.70	15.65	15.59
18.35	18.27	18.20	18.13	18.07	18.01	17.95	17.89
20.66	20.58	20.50	20.43	20.37	20.31	20.25	20.20
22.96	22.88	22.81	22.74	22.67	22.61	22.55	22.50
25.26	25.18	25.11	25.04	24.97	24.91	24.86	24.80
27.56	27.48	27.41	27.34	27.28	27.22	27.16	27.11
29.87	29.79	29.71	29.64	29.58	29.52	29.46	29.41
32.17	32.09	32.02	31.95	31.88	31.82	31.76	31.71

Çeşitli (u) değerleri için f(u) değerleri tablodan alınır ve logaritmik kağıt üzerine noktalanır. Pompa deneyi sonucu gözetleme kuyularında gözlenen alçalmalar (x^2/t) ye göre aynı logaritmik kağıt üzerinde işaretlenir. Bu iki noktalar serileri uygun birer eğriler ile birleştirilir. İlk noktalar serisini birleştiren eğri "Tip eğri" olarak isimlendirilir (Şekil 3).

s ve x^2/t değerleri arasında (u) ve f(u) arasındaki münasebet mevcut olduğundan bu iki eğri benzerdir. Bundan dolayı gözlem dataları eğrisini tip eğrisi üzerine kaydırmak suretiyle, s ve x^2/t ye tekabül eden f(u) ve u nun değerleri yani aranan noktanın koordinatları bulunur. Bu şekilde üstel fonksiyon çözülebilir ve formasyon sabitleri olarak bilinen T ve D değerleri tesbit edilebilir.

Formasyona uygun olan T ve D değeri, pompaj kuyusunda ve diğeri gözleme kuyularındaki zaman ve alçalma değerlerine bakılarak hesaplanabilir. T ve D için farklı değerler bulunursa ortalaması alınır. Bu ortalama değer kullanılarak herhangi bir zamanda kuyuda alçalma belirlenebilir.



Şekil 3

Jacob, (u) nun 0,02'den küçük değerler için formüldeki $\ln U$ 'dan sonra gelen terimlerin ihmal edilmesinin neticeye önemsiz derecede tesir ettiğini farketmiştir. Buna göre

$$F(u) = - 0,5772 - \ln U \quad 16$$

değeri (S) formülünde yazılırsa Jacob formülü

$$S = \frac{Q}{4 \pi T} (- 0,5772 - \ln u) \quad 17$$

şeklinde elde edilir. Çeşitli (t) zamanlarından meydana gelen (S) alçalmaları yarı logaritmik eksen takımında gösterilirse şekil 4'te görüldüğü gibi t nin küçük değerleri için eğri, büyük değerleri için doğru olan bir çizgi elde edilir.

Bu çizgi üzerinde iki noktaya ait koordinatlar (s, t) ve (s₂, t₂) ise denklem 17 yardımı ile denklem 18 yazılabilir.

$$\Delta s = S_2 - S_1 = \frac{Q}{4 \pi T} \cdot \ln \frac{t_2}{t_1} \quad 18$$

Denklem 18'den T su iletme katsayısı hesap edilebilir.

$$T = \frac{Q}{4 \pi \Delta s} \ln \frac{t_2}{t_1} \quad 19$$

veya

$$T = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi\Delta s} \log \frac{t_2}{t_1} = 0,183 \frac{Q}{\Delta s} \cdot \log \frac{t_2}{t_1} \quad 20$$

Burada

T = Su iletim katsayısı ($m^3/st. m$)

Q = Debi (m^3/st)

$\Delta s = s_2 - s_1$

t_1, t_2 = Pompanın çalışmaya başladığı andan itibaren geçen süredir (st). Şayet bu iki nokta t_2/t_1 oranı 10 olacak şekilde seçilirse denklem 21 elde edilir.

$$T = 0,183 \frac{Q}{\Delta s} \quad 21$$

Diğer taraftan Jacob formülü

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} \left(-0,5772 - \ln \frac{x^2 D}{4 T t} \right)$$

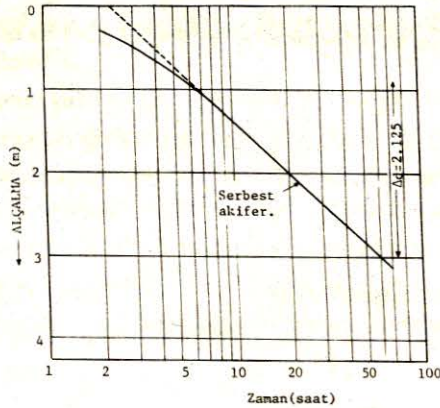
veya

$$s = \frac{2,3 Q}{4 \pi T} \log \frac{2,246 \cdot T \cdot t}{x^2 \cdot D} \quad 22$$

şeklinde yazılabilir. Alçalmanın $s = 0$ olması halinde tekabül eden zaman t_0 ise zemin depolama katsayısı denklem 22'den hesaplanabilir.

$$D = \frac{2,246 \cdot T \cdot t}{x^2} \quad 23$$

Burada t_0 (st) değeri alçalma - zaman grafiğinde doğru kısım uzatılarak bulunur (Şekil 4).



Şekil 4

Alçalma-Zaman grafiği ilk saatlerde bir doğru değildir. Bundan dolayı Jacob'un bu yaklaşımı ilk saatler için uygulanamaz. Basıncılı akiferde eğri, kısa bir zamanda doğru haline geçer. Fakat serbest akiferde doğru elde etmek için uzun bir zaman süresine ihtiyaç vardır.

Bu denklemler aşağıdaki kabullere dayanır.

- 1- Akım çizgileri birbirine paraleldir.
- 2- Kuyular tam penetrasyon halindedir.
- 3- Alçalma konisi meydana gelir gelmez zemin, içindeki suyunu vermektedir.
- 4- T ve D değerleri her zaman ve her yerde sabittir.
- 5- Su tabakası sonsuz genişliğe sahiptir.

Bu kabuller nisbeten basınçlı akiferlerde sağlanabileceğinden bu metod basınçlı akiferler için daha uygundur. İnce veya çok geçirgen zeminlerde dikkatle uygulanmalıdır.

Misal - 2

Pompaj kuyusundan 100 m. uzaklıktaki bir kuyuda aşağıdaki gözlemler yapılmıştır. Pompaj debisi $2 \text{ m}^3/\text{dk}$ dir.

X	Zaman (st)	S = Alçalma (m)	x^2/t
100 m.	2	0,10	$5,00 \cdot 10^3$
	3	0,15	$3,33 \cdot 10^3$
	5	0,20	$2,00 \cdot 10^3$
	10	0,30	$1,00 \cdot 10^3$
	15	0,45	$6,66 \cdot 10^2$
	20	0,50	$5,00 \cdot 10^2$
	24	0,55	$4,16 \cdot 10^2$

Pompaj debisinin $4 \text{ m}^3/\text{dk}$ olması halinde 10 saat sonra alçalma miktarını bulunuz.

s ve x^2/t değerleri logaritmik kağıt üzerine işaretlenir, sonra bu noktalar birleştirilerek şekil 3'de görüldüğü gibi gözlem eğrisi elde edilir. Koordinat eksenleri paralel kalacak şekilde gözlem eğrisi, standart "Tip eğrisi" üzerinde kaydırılarak gözlem eğrisinin standart tip eğriye çakıştığı konum belirlenir. Gözlem eğrisi üzerine tesbit edilen bir mukayese noktasına tip eğri üzerinde tekabül eden mukayese noktası bulunur.

Mukayese noktalarının koordinatları

$$U = 0,22 = 2,2 \times 10^{-1} \quad f(u) = 1,17$$

$$\frac{x^2}{t} = 2 \times 10^3 \quad S = 0,23$$

olur. Bu değerler denklemden yazılırsa,

$$S = \frac{Q}{4 \pi T} f(u)$$

$$0,23 = \frac{2,60}{4 \pi T} \cdot 1,17 \quad \text{buradan } T = 48,6 \text{ m}^3/\text{st.m}$$

bulunur. Diğer taraftan

$$U = \frac{x^2 \cdot D}{4 \cdot T \cdot t}$$

(D) çekilir ve değerler yerine yazılırsa

$$D = \frac{4 \cdot T \cdot t \cdot u}{x^2} = \frac{4 \cdot T \cdot u}{x^2/t} = \frac{4 \cdot 0,22 \cdot 48,6}{2 \cdot 10^3} = 21,4 \times 10^{-3}$$

elde edilir. Şayet 10 saat, 4 m³/dk lık debi çekilirse

$$U = \frac{100^2 \cdot 21,4 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 48,6 \cdot 10} = 1,1 \cdot 10^{-1}$$

olur. Tablo 1'den $f(u) = f(1,1 \cdot 10^{-1}) = 1,75$ okunur. Alçalma

$$S = \frac{Q}{4 \pi T} f(u) = \frac{4 \cdot 60}{4 \cdot 3,14 \cdot 48,6} \cdot 1,75 = 0,69 \text{ m}$$

bulunur.

Misal - 3

75 m³/st lık bir debi çekilmesi durumunda 50 m mesafedeki gözetleme kuyusundan aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir.

Zaman (st)	2	4	7	10	20	30	60
Alçalma (m)	0,3	0,745	1,125	1,375	2,0	2,375	3,0

60 saat ve 6 ay sonraki alçalmaları Δs metoduna göre hesap ediniz.

Çözüm:

1- Verilen değerler yarı logaritmik eksen takımında gösterilirse şekil 4'deki eğri elde edilir.

Şekilden $\Delta s = 2,125$ m ve $t_0 = 2,32$ st bulunur.

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{\Delta s} = 0,183 \cdot \frac{75}{2,125} = 6,45 \text{ m}^3/\text{St.m.}$$

$$D = 2,246 \frac{T \cdot t_0}{x^2} = 2,246 \frac{6,45 \cdot 2,32}{50^2} = 0,01344$$

2- 60 saat süre aynı debi pompalanırsa,

$$u = \frac{0,25 \cdot x^2 \cdot D}{T \cdot t} = \frac{0,25 \cdot 50^2 \cdot 0,01344}{6,45 \cdot 60} = 2,45 \cdot 10^{-2}$$

Tablodan $f(u) = f(2,45 \cdot 10^{-2}) = 3,281$ okunur.

60 saat sonra gözleme kuyusunda alçalma,

$$S = \frac{Q}{4 \pi T} f(u) = \frac{75.3,281}{4.3,15.6,45} = 3,04 \text{ m}$$

bulunur.

3- Şayet pompaj 6 ay devam ederse

$$U = \frac{0,25.50^2.0,01344}{6,45.6.30.25} = 3,075 \cdot 10^{-4}$$

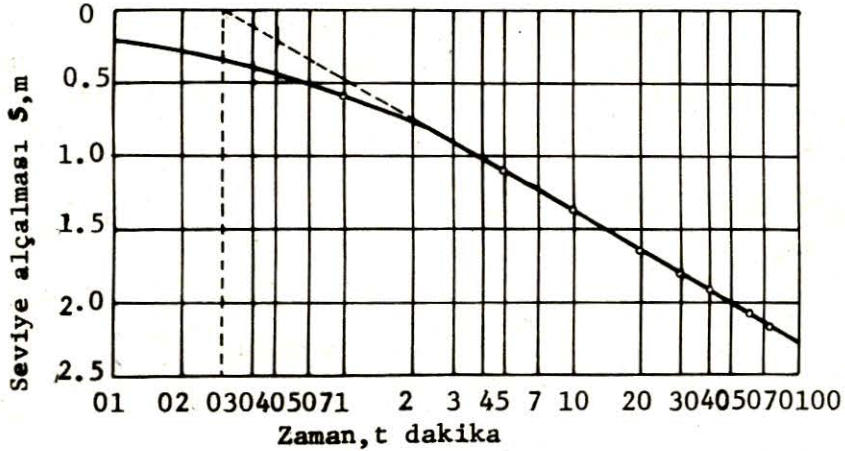
Tablodan $f(u) = 7,512$ okunduğunda 6 ay sonraki alçalma,

$$S = \frac{Q}{4\pi T} f(u) = \frac{75.7,512}{4.4,15.6,45} = 6,95 \text{ m}$$

olur.

Misal - 4

$Q = 22 \text{ l/sn}$ ve $x = 70 \text{ m}$ için yapılan bir pompa deneyi sonuçları şekil 5'deki yarı logaritmik eksen takımında gösterilmiştir.



Şekil 5

- $t_1 = 1 \text{ dk}$ için $s_1 = 0,56 \text{ m}$ ve $t_2 = 10 \text{ dk}$ için $s_2 = 1,37 \text{ m}$ olduğuna göre depolanma katsayısını bulunuz.
- 10 gün süre ile 44 lt/sn lik. debi çekilmesi halinde alçalmayı hesaplayınız.
- Eğer kuyuya dış çapı 60 cm olan çakıldan bir filtre geçirilmiş ise 44 l/sn lik debi 10 gün süre ile çekilmesi halinde kuyunun kendisinde alçalma ne olur?

Çözüm:

a) $Q = 22 \text{ l/sn} = 79,2 \text{ m}^3/\text{st}$

$$T = 0,183 \frac{Q}{\Delta s} \log \frac{t_2}{t_1} = 0,813 \frac{79,2}{(1,37-0,56)} \log \frac{10}{1} = 17,89 \text{ m}^3/\text{st.m}$$

Şekilde doğru çizgi ($s = 0$ eksenini $t_0 = 0,3 \text{ dk} = 0,005 \text{ st.}$ noktasında kesmiş olduğundan depolama katsayısı,

$$D = \frac{2,246 \cdot T \cdot t_0}{x^2} = \frac{2,246 \cdot 17,89 \cdot 0,005}{70^2} = 4,10 \times 10^{-5}$$

olur.

b) $t = 10 \text{ gün} = 10 \times 24 = 240 \text{ saat}$ olduğundan

$$U = \frac{0,25 \cdot x^2 \cdot D}{T \cdot t} = \frac{0,25 \cdot (70)^2 \cdot 4,10 \cdot 10^{-5}}{17,89 \cdot 240} = 1,17 \times 10^{-5}$$

ve tablodan $f(u) = f(1,17 \cdot 10^{-5}) = 10,80$ olur. $Q = 2 \times 79,2 \text{ m}^3/\text{st}$ için alçalma

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} f(u) = \frac{79,2 \times 2}{4 \pi \cdot 17,89} \cdot 10,80 = 7,61 \text{ m}$$

olur. Formül ile hesaplanırsa

$$S = \frac{Q}{4 \pi T} \left(-0,5772 - \ln \frac{x^2 \cdot D}{4 \cdot T \cdot t} \right) = \frac{2 \times 79,2}{4 \cdot \pi \cdot 17,89} - 0,5772 - \ln \frac{70^2 \cdot 4,10 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 17,89 \cdot 240}$$

$$S = 0,705 \cdot 10,78 = 7,60 \text{ m.}$$

c) Bu halde

$$U = \frac{x^2 \cdot D}{4 \cdot T \cdot t} = \frac{0,3^2 \cdot 4,10 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 17,89 \cdot 240} = 2,2 \times 10^{-10}$$

olur. Alçalma,

$$S = \frac{Q}{4 \pi T} \left(-0,5772 - \ln \frac{x^2 \cdot D}{4 \cdot T \cdot t} \right)$$

$$S = \frac{2 \times 79,2}{4 \cdot \pi \cdot 17,89} \left(-0,5772 - \ln \cdot 2,2 \cdot 10^{-10} \right)$$

$$S = 0,705 \times 21,70 = 15,3 \text{ m}$$

veya $U = 2,2 \cdot 10^{-10}$ için tablodan $f(u) = 21,62$ olduğundan

$$S = \frac{Q}{4\pi T} \cdot f(u) = \frac{2 \times 79,2}{4 \cdot \pi \cdot 17,89} \cdot 21,62 = 15,2 \text{ m}$$

bulunur.

6. SONUÇ

Yeraltı suyu piyezometre seviyesinin eğimli olması halinde açılacak kuyuların tesir genişliği, uniform ve radyal akıma ait hız potansiyelleri toplamı yardımı ile hesaplanabilir. Kuyulara permenan olmayan akımlar için alçalma değerleri ve formasyon sabitleri Theis bağıntısı ve Jacob yaklaşımı ile bulunabilir. Jacob yaklaşımı kısa süreli pompaj sonuçlarına uygulanamaz ve bu yaklaşım basınçsız akiferlere uygulanırken çok dikkatli olunmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Layla, M.A., Ahmad, S., Middlebrooks, E.J.; "Water Supply Engineering Design" Ann Arbor Science, Mich. 48106, 1978.
2. Fair, G.M., and Geyer, J.C.; "Elements of Water Supply and Waste. Water Disposal", John Wiley and Sons, Inc. New York, 1958.
3. Huisman, L.; "Ground-Water Recovery" Delft University of Technology, 1979.
4. Steel, E.W.; "Water Supply and Sewerage" Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York.
5. Çeçen, C.; "İçmesuyu Mühendisliği", İstanbul Sular İdaresi, Sayı 5, 1973.