بسم اللّه الرّحمن الرّحيم

قُل أَرَءَيْتُمْ إِنْ أَصْبَحَ مَآؤُكُمْ غَوْراً، فَمَنْ يَأْتِيكُمْ بِمَآءٍ مَعِين

بگو" به من خبر دهید اگر آبهای شما در زمین فرو رود
چه کسی می تواند آب جاری و گوارا در دسترس شما قرار دهد؟"

سوره مبارکه ملک -آیه۳۰

مسائل آبهای زیرزمینی

تهیه و تدوین:
محمّد شایان نژاد
دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه صنعتی اصفهان

تقدیم به تمام کسانی که
با مدیریت جهادی،
برای حفظ منابع آبی کشور می‌کوشند
و مروّج فرهنگ استفاده صحیح از آن هستند

پیش گفتار:

کتاب حاضر نتیجه سالها تدریس درس آبهای زیرزمینی در مقطع کارشناسی برای دانشجویان مهندسی آب در دانشکده کشاورزی می باشد. این کتاب در سیزده فصل خلاصه و تنظیم شده که در ابتدای هر فصل شرح مختصری از موضوع مربوطه ارائه و سپس مسائل آن حل شده است. بعضی از این مسائل توسط نویسنده طراحی شده و بعضی دیگر از کتب مختلف انتخاب و جمع آوری گردیده به طوری که دانشجویان گرامی به راحتی مباحث مرتبط با آبهای زیرزمینی را فرا می گیرند. لذا این کتاب می تواند مرجع مناسبی برای آزمون کارشناسی ارشد رشته منابع آب باشد. در پایان وظیفه خود می دانم از خانمها معصومه شکرالهی، مریم محمدی و نسیم طاهرزاده که در تایپ متون و آماده کردن اشکال بخشی از کتاب مرا یاری نمودند تشکر نمایم. همچنین از آقای حمید رئیسی وانانی که صفحه آرایی کتاب را بر عهده گرفتند و آقای سعید صالحی هفشجانی که طرح روی جلد کتاب را تهیه کردند صمیمانه قدردانی می نمایم.

محمد شایان نژاد

تابستان۱۳۹۳

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول- بیلان آبی	۱
فصل دوم- خصوصیات لایه های آبده	۵
فصل سوم- قانون دارسی	۱۱
فصل چهارم- جریان ماندگار یک بعدی	۱۷
فصل پنجم- خطوط جریان و هم پتانسیل	۳۷
فصل ششم- جریان ماندگار شعاعی	۴۳
فصل هفتم- جریان غیرماندگار شعاعی	۶۱
فصل هشتم- تعیین ضرائب هیدرودینامیکی لایه های آبده با استفاده از پمپاژ	۷۵
فصل نهم- تعیین ضرائب هیدرودینامیکی لایه های آبده با استفاده از آزمایش اسلاگ	۸۹
فصل دهم- ضرائب افت، ظرفیت ویژه و چاههای ناقص	۱۰۵
فصل یازدهم- بهینه سازی در آبهای زیرزمینی	۱۱۳
فصل دوازدهم- تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی	۱۲۱
فصل سیزدهم- تداخل آبهای شور با لایه های آبده	۱۲۹

۱
بیلان آبی

توضیحات:

آبهای زیرزمینی شامل مقدار آبی است که تمام خلل و فرج قشر زیرزمینی خاک را پرکرده است. این آبها به صورتهای مختلف مانند چشمه، چاه و قنات از زیر زمین خارج و به مصارف مختلفی از جمله کشاورزی می رسد. به لایه ای از زیر زمین که منابع آب زیرزمینی فرار دارد ، لایه آبده یا آبخوان یا سفره آب زیرزمینی گویند. بیلان آبی برای یک آبخوان به صورت زیر نوشته می شود:

$$V_{net} = (P + G) - (R + ET + G') \qquad (۱-۱)$$

که در رابطه فوق

V_{net} = بده سالم یا حجم آبی است که اگر به اندازه آن در طول سال از سفره برداشت شود هیچگونه افت سطح آبی از آن در پایان سال ایجاد نمی شود (متر مکعب در سال).

P = بارندگی سالیانه (متر مکعب در سال)

G = حجم آبی که در طول یک سال از سفره های مجاور وارد منطقه مورد مطالعه می شود (متر مکعب در سال).

G' = حجم آبی که در طول یک سال از منطقه مورد مطالعه خارج می شود (متر مکعب در سال).

R = رواناب سالیانه (متر مکعب در سال).

ET = تبخیر و تعرق سالیانه (متر مکعب در سال).

اگر $V_{net} \leq 0$ بیلان آبی منطقه مورد مطالعه منفی است و اجازه حفر چاه داده نمی شود.

با توجه به V_{net} می توان تعداد چاههای مجاز در یک منطقه را به دست آورد. در این صورت

اگر فرض شود حجم آبی که از یک چاه در طول سال تخلیه می شود برابر V_{Well} باشد، بنابراین تعداد چاه های مجاز از رابطه زیر بدست می آید: می باشد.

$$N = \frac{V_{net}}{V_{well}} \qquad (۲-۱)$$

که در رابطه فوق N تعداد چاه های مجاز می باشد.

مسائل:

۱-۱) در یک منطقه ای بده سالم ۷ میلیون متر مکعب و تعداد چاههای آن ۷۰ می باشد اگر دبی هر چاه ۱۰ لیتر در ثانیه باشد برای حفظ توازن آبی بطور متوسط هر چاه چند ساعت در روز بایستی از آن پمپاژ صورت گیرد (پمپاژ در طول سال انجام می شود).

حل:

$$V_{net} = 7000000m^3$$

$$N = \frac{V_{net}}{V_{Well}} \rightarrow 70 = \frac{7000000}{V_{Well}} \rightarrow V_{Well} = 100000m^3$$

$$V_{Well} = Q.t \rightarrow 100000 = \frac{10}{1000} \times t \rightarrow t = 10,000,000$$

ساعات کار هر پمپ در روز $= \frac{10,000,000}{365 \times 3600} = 7.6105hr$

تعداد ساعت در طی یکسال $= 7.6105 \times 365 = 2778$

۱-۲) قراراست در یک منطقه ای مجوز تعدادی چاه با دبی متوسط ۲۰ لیتر در ثانیه صادر شود. این چاهها در طول سال بطور متوسط هر کدام ۱۲ ساعت در روز کار می کنند. اگر حجم بارش ، رواناب و تبخیروتعرق سالیانه بترتیب ۲۵ ، ۸ و ۱۰ میلیون متر مکعب باشد با فرض اینکه جریانهای ورودی و خروجی آبهای زیرزمینی با هم برابرند، تعداد چاهها را محاسبه کنید.

حل:

$$G = G'$$

$$V_{net} = (P + G) - (R + ET + G')$$
$$V_{net} = (25 \times 10^6 + G) - (8 \times 10^6 + 10 \times 10^6 + G) = 7 \times 10^6 \, m^3$$
$$V_{Well} = Q.t = \frac{20}{1000} \times 365 \times 3600 \times 12 = 315360 m^3$$
$$N = \frac{V_{net}}{V_{Well}} = \frac{7000000}{315360} = 22$$

۲

خصوصیات لایه های آبده

توضیحات:

خصوصیات لایه های آبده همان خصوصیات محیط های متخلخل اشباع می باشند که بعضی از آنها در حرکت آب در خاک مؤثرند. مانند: هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و ضریب قابلیت انتقال که به این مشخصه ها خصوصیات هیدرودینامیکی لایه های آبده گفته می شود.

بطور کلی خصوصیات لایه های آبده به شرح زیر است:

- تخلخل (n) : عبارت است از حجم خلل و فرج خاک به حجم کل آن:

$$n = \frac{V_V}{V_t} \qquad (۱-۲)$$

- نسبت پوکی (e): عبارت است از حجم خلل و فرج خاک به حجم قسمت جامد آن:

$$e = \frac{V_V}{V_s} \qquad (۲-۲)$$

- جرم مخصوص ظاهری (ρ_b): به دو صورت زیر است:

جرم مخصوص ظاهری خشک: جرم قسمت جامد خاک به حجم کل آن:

$$\rho_b = \frac{M_s}{V} \qquad (۳-۲)$$

جرم مخصوص ظاهری مرطوب: جرم کل خاک به حجم کل آن:

$$\rho_b = \frac{M}{V} \qquad (۴-۲)$$

- جرم مخصوص حقیقی (ρ_s): عبارت است از جرم قسمت جامد خاک به حجم قسمت

جامد آن:

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \qquad (۵-۲)$$

- چگالی ویژه (G_s): عبارتست از جرم مخصوص حقیقی خاک به جرم مخصوص آب:

$$G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} \qquad (۶-۲)$$

- تراوایی یا نفوذ پذیری به دو صورت زیر می باشد:

a) ضریب تراوایی یا هدایت هیدرولیکی: (K) که بستگی به خصوصیات سیال و محیط متخلخل دارد.

b) تراوایی ویژه یا تراوایی ذاتی یا تراوایی فیزیکی (k) که فقط بستگی به خواص محیط متخلخل دارد.

ارتباط بین این دو با رابطه زیر بیان می شود:

$$K = \frac{k.\gamma}{\mu} \qquad (۷-۲)$$

که در رابطه فوق μ لزجت دینامیکی سیال و γ وزن مخصوص آن است.

- ذخیره ویژه (S_s)

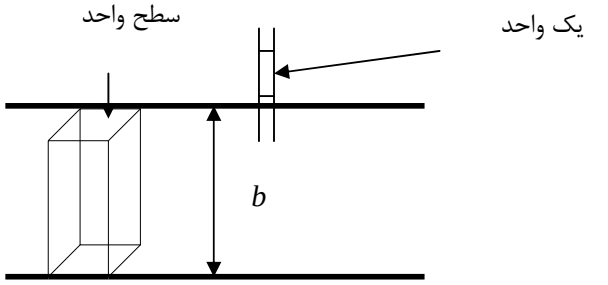
ذخیره ویژه یک آبخوان عبارتست از حجم آبی که از واحد حجم آبخوان در اثر یک واحد کاهش پتانسیل هیدرولیکی خارج می شود (یا در اثر یک واحد افزایش پتانسیل هیدرولیکی به آن اضافه می شود). برای سفره های آزاد کاهش پتانسیل هیدرولیکی به صورت افت سطح ایستابی وبرای سفره های تحت فشار به صورت افت سطح پیزومتریک بیان می شود. در سفره های آزاد ذخیره ویژه معادل آبدهی ویژه (S_y) می باشد و آن عبارتست از حجم آب تخلیه شده از آبخوان به حجم آن قسمتی از آبخوان که آب از آن تخلیه شده است:

$$S_y = \frac{V_w}{V_t} \qquad (۸-۲)$$

- ضریب ذخیره (S)

در سفره های تحت فشار معمولا از ضریب ذخیره استفاده می شود تا از ذخیره ویژه. ضریب ذخیره عبارتست از حجم آبی که از یک منشور قائم آبدار به سطح واحد به ازای یک واحد کاهش سطح پیزومتریک خارج می شود (یا در اثر یک واحد افزایش پتانسیل هیدرولیکی به آن اضافه می شود، شکل ۲-۱). با توجه به تعریف ضریب ذخیره و ذخیره ویژه رابطه زیر بین آنها برقرار است:

$$S = S_s b \qquad (۹-۲)$$



شکل ۲-۱ مفهوم ضریب ذخیره در سفره های تحت فشار

- ضریب قابلیت انتقال (T):

ضریب قابلیت انتقال عبارتست از حاصل ضرب ضخامت سفره در هدایت هیدرولیکی آن. در سفره های آزاد به جای ضخامت سفره از فاصله سطح ایستایی تا مرز نفوذ ناپذیر در قبل از پمپاژ استفاده می شود.

مسائل:

۲-۱) وزن یک نمونه استوانه ای خاک ۴۸۴/۶۸ گرم است. قطر این نمونه ۶ سانتیمتر و ارتفاع آن ۱۰/۶۱ سانتیمتر است. پس از خشک شدن در اون بمدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۱۰ درجه وزن آن به ۴۴۷/۳ گرم می رسد. اگر وزن مخصوص حقیقی خاک ۲/۶۵ گرم بر سانتیمتر مکعب

باشد مطلوبست: وزن مخصوص ظاهری، نسبت پوکی، درصد رطوبت، تخلخل و درصد اشباع.

حل:

$$V_t = \pi r^2 .h = \pi \frac{d^2}{4}.h = \frac{\pi}{4} \times 6^2 \times 10.61 = 300 cm^3$$

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_t} = \frac{447.3}{300} = 1.491 \, gr/cm^3$$

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \rightarrow V_S = \frac{447.3}{2.65} = 168.8 cm^3$$

$$V_V = V_t - V_s = 300 - 168.8 = 131.2 cm^3$$

نسبت پوکی: $e = \frac{V_V}{V_s} = \frac{131.2}{168.8} = 0.777$

$$M_w = M_t - M_S = 484.68 - 447.32 = 37.36 gr \rightarrow V_w = 37.36 cm^3$$

$$\theta_v = \frac{V_w}{V_t} = \frac{37.36}{300} = 0.125 = 12.5\%$$

$$\theta_m = \frac{M_w}{M_S} = \frac{37.36}{447.32} = 0.0835 = 8.35\%$$

$$n = \frac{V_V}{V_t} \times 100 = \frac{131.2}{300} \times 100 = 43.73\%$$

$$S_w = \frac{V_w}{V_V} \times 100 = \frac{37.36}{132.2} \times 100 = 28.47$$

۲-۲) اگر نسبت پوکی نمونه خاکی۱/۱۹ باشد تخلخل آن را محاسبه کنید.

حل:

$$e = \frac{V_V}{V_s} = \frac{V_t - V_s}{V_s} = \frac{V_t}{V_s} - 1 \rightarrow \frac{V_t}{V_s} = e + 1 \rightarrow \frac{V_s}{V_t} = \frac{1}{1+e}$$

$$n=\frac{V_V}{V_t}=\frac{V_t-V_s}{V_t}=1-\frac{V_s}{V_t}\rightarrow n=1-\frac{V_s}{V_t}=1-\frac{1}{1+e}=$$
$$\frac{e}{1+e}=\frac{1.19}{1+1.19}=0.54$$

۲-۳) اگر تخلخل نمونه خاکی ۳۸/۴۱ درصد و وزن مخصوص حقیقی آن ۲/۶۵ گرم بر سانتیمتر مکعب باشد، مطلوبست وزن مخصوص ظاهری نمونه خاک.

حل:

$$n=\frac{V_V}{V_t}=\frac{V_t-V_s}{V_t}=1-\frac{V_s}{V_t}\rightarrow \frac{V_s}{V_t}=1-n$$
$$\rho_s=\frac{M_s}{V_s}\rightarrow M_s=\rho_s\times V_s$$
$$\rho_b=\frac{M_s}{V_t}=\frac{\rho_s\times V_s}{V_t}=\rho_s(1-n)=2.65(1-0.3841)=1.63g/cm^3$$

۲-۴) در یک سفره آزادی با آبدهی ویژه ۰/۲۵ و مساحت ۱۵۰ کیلومتر مربع، حجمی از آب به میزان ۲۵ میلیون مترمکعب تخلیه شده است. در اثر این تخلیه، سطح ایستائی چه اندازه پایین آمده است.

حل:

$$S_y=\frac{V_w}{V_t}\rightarrow 0.25=\frac{25\times10^6}{V_t}\rightarrow V_t=1\times10^8 m^3$$
$$V_t=A.\Delta h\rightarrow \Delta h=\frac{V_t}{A}=\frac{1\times10^8}{150\times10^6}=0.67m$$

۲-۵) در یک سفره تحت فشار با ضریب ذخیره ۰/۰۰۸۳ و ضخامت ۳۵ متر و سطح یک کیلومتر مربع، در اثر تخلیه، سطح پیزومتریک ۵ متر پایین آمده است. مطلوبست حجم آب تخلیه شده از این سفره.

حل:

حجم آبی که از یک سفره به سطح واحد در اثر کاهش یک واحد رقوم پیزومتریک خارج می شود برابر است با :

$8.3\times10^{-3}m^3$

حجم آب خارج شده از کل سطح به ازای یک واحد کاهش برابر است با:

$8.3\times10^{-3}\times1\times10^{6}m^3$

حجم آب خارج شده از کل سطح به ازای ۵ متر کاهش برابر است با:

$8.3\times10^{-3}\times1\times10^{6}\times5=41500m^3$

۲-۶) در یک سفره آزاد با آبدهی ویژه ۰/۱ و سطح یک کیلومتر مربع، در اثر تخلیه سطح ایستائی ۵ متر پایین آمده است. مطلوبست حجم آب تخلیه شده از این سفره.

حل:

$$S_y=\frac{V_w}{V_t}\rightarrow0.1=\frac{V_w}{5\times1\times10^{6}}\rightarrow V_w=5\times10^{5}m^3$$

۳

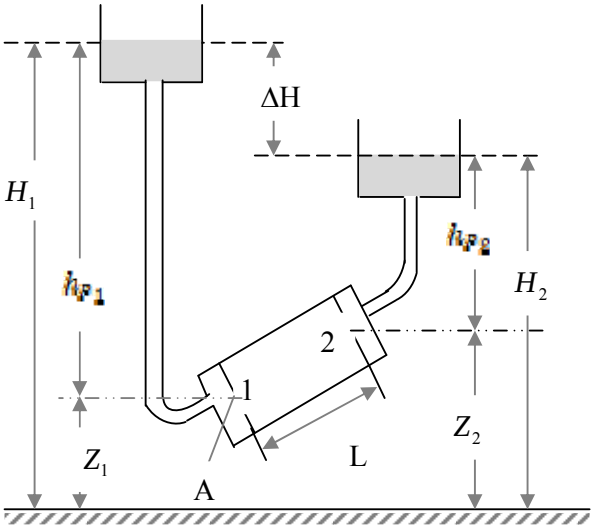
قانون دارسی

توضیحات:

یکی از قوانین اساسی حرکت آب در خاک، قانون دارسی است. اولین بار در سال ۱۸۵۶ هنری دارسی دانشمند فرانسوی به تجربه دریافت مقدار آبی که در واحد زمان از واحد سطح یک نمونه ماسه عبور می کند متناسب با اختلاف بار هیدرولیکی بین نقاط ورود و خروج آب می باشد(شکل ۳-۱). در این شکل H پتانسیل هیدرولیکی(در حالت اشباع برابر با مجموع پتانسیل های فشاری و ثقلی است)، Z پتانسیل ثقلی و h_P پتانسیل فشاری می باشد. با توجه به این شکل قانون دارسی را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta H = H_1 - H_2 \quad (۱-۳) \qquad \text{و} \qquad i = \frac{\Delta H}{L} \qquad \text{و} \qquad Q = KiA$$

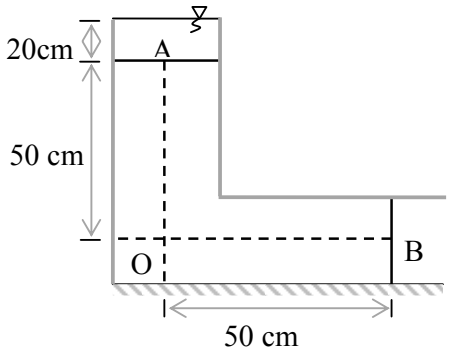
که در رابطه فوق Q دبی جریان، A سطح مقطع جریان و i گرادیان هیدرولیکی است. رابطه دارسی را می توان به شکل دیفرانسیلی یک بعدی بصورت $Q = -KA\frac{\partial h}{\partial x}$ نیز می توان نوشت. در این رابطه x جهت جریان آب می باشد. اگر x خلاف جهت جریان فرض شود، علامت منفی در این رابطه حذف می شود.



شکل ۳-۱ نمایش قانون دارسی

مسائل:

۳-۱) در شکل زیر اگر هدایت هیدرولیکی یک متر در روز و قطر استوانه ۱۰ سانتی متر باشد مقدار دبی جریان و پتانسیل فشاری در نقطه O را محاسبه نمائید (سطح آب ثابت و محیط اشباع است).



حل:

در نقطه A پتانسیل فشاری ۰/۲ و پتانسیل ثقلی ۰/۵ متر است (OBسطح مرجع است). بنابراین پتانسیل هیدرولیکی در این نقطه ۰/۷ متر است. در نقطه B پتانسیل های فشاری و ثقلی صفر و بنابراین پتانسیل هیدرولیکی در این نقطه نیز صفر است. پس می توان گرادیان هیدرولیکی را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$i = \frac{H_A - H_B}{AB} = \frac{0.7 - 0}{0.5 + 0.5} = 0.7$$

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times 0.05^2 = 0.00785 m^2$$

$$Q = KiA = 1 \times 0.7 \times 0.00785 = 0.005495 m^3 / day = 5.5 lit / day$$

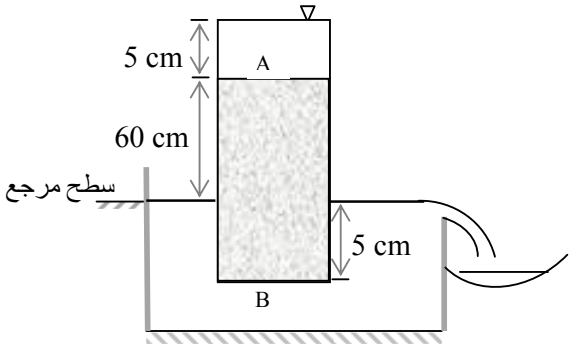
برای محاسبه پتانسیل فشاری درنقطه O به صورت زیر عمل می شود:

$$i = \frac{H_A - H_O}{AO} \rightarrow 0.7 = \frac{0.7 - H_O}{0.5} \rightarrow H_O = 35 cm$$

چون پتانسیل ثقلی در نقطه O صفر است بنابراین پتانسیل فشاری این نقطه ۳۵ سانتی متر می باشد.

۳-۲) در شکل زیر ستون خاک اشباع است و سطح آب ثابت می باشد. در طی ۱۰ دقیقه ، ۵۰

سانتی متر مکعب آب در ظرف جمع می شود. هدایت هیدرولیکی خاک را محاسبه کنید. (قطر استوانه خاک ۲۰ سانتی متر است)



حل:

در نقطه A پتانسیل فشاری ۵ و پتانسیل ثقلی ۶۰ سانتی متر است. (سطح آب، سطح مرجع است) بنابراین پتانسیل هیدرولیکی در این نقطه ۶۵ سانتی متر است. در نقطه B پتانسیل فشاری ۵ و پتانسیل ثقلی ۵- سانتیمتر می باشد. بنابراین پتانسیل هیدرولیکی در این نقطه صفر است. پس می توان گرادیان هیدرولیکی را به صورت زیر محاسبه نمود:

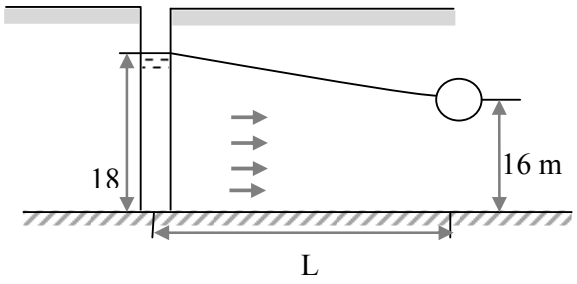
$$i = \frac{H_A - H_B}{AB} = \frac{65-0}{65} = 1$$

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times 10^2 = 314 cm^2$$

$$Q = \frac{V_w}{t} = \frac{50}{10} = 5 cm^3/\min$$

$$Q = KiA \rightarrow K = \frac{Q}{Ai} = \frac{5}{314 \times 1} = 0.0159 cm/\min$$

۳-۳) در شکل زیر فاصله تونل تا نهر چقدر باشد تا جریان ماندگاری با شدت ۰/۰۰۰۱ متر مکعب در ثانیه در واحد طول، از نهر به سمت تونل برقرار باشد.($K = 2.65 \times 10^{-4} m/s$)



حل:

$$Q = KiA \rightarrow 0.0001 = 2.65\times10^{-4}\times\left(\frac{18-16}{L}\right)\left(\frac{18+16}{2}\times1\right) \rightarrow L = 90m$$

۴

جریان ماندگار یک بعدی

توضیحات:

مسائل مربوط به جریان ماندگار یک بعدی با معادله دارسی و یا با معادله پواسون که ترکیبی از معادله دارسی و پیوستگی است قابل حل می باشد. معادله پواسون برای جریان یک بعدی در سفره های آزاد به صورت زیر نوشته می شود:

$$\frac{d^2H^2}{dx^2} = -\frac{2R}{K} \qquad (۱-۴)$$

که در رابطه فوق H پتانسیل هیدرولیکی و R مجموع جبری شدت تغذیه و تخلیه است که اولی با علامت مثبت و دومی با علامت منفی بکار می رود. رابطه فوق برای سفره های آزاد بکار می رود. برای سفره های تحت فشار معادله پواسون به صورت زیر نوشته می شود:

$$\frac{d^2H}{dx^2} = -\frac{R}{T} \qquad (۲-۴)$$

در رابطه فوق T ضریب قابلیت انتقال سفره می باشد. این دو معادله دارای حل تحلیلی می باشد. حل تحلیلی معادلات ۴-۱ و ۴-۲ به ترتیب معادلات ۴-۳ و ۴-۴ می باشد.

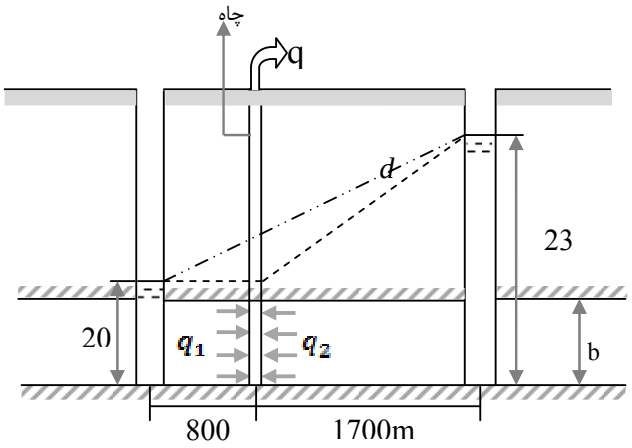
$$H^2 = \frac{-R}{K}x^2 + c_1x + c_2 \qquad (۳-۴)$$

$$H = \frac{-R}{2T}x^2 + c_1x + c_2 \qquad (۴-۴)$$

ضرائب معادلات ۴-۳ و ۴-۴ با استفاده از شرایط مرزی مسئله بدست می آید.

مسائل:

۴-۱) در شکل زیر با فرض اینکه تغییرات پتانسیل هیدرولیکی قبل و در طی پمپاژ بصورت خطی است، مطلوبست مقدار دبی چاه بطوریکه پتانسیل هیدرولیکی در چاه به اندازه ۲ متر کمتر از حالت بدون پمپاژ باشد.($b=16m, K=0.0006m/s$)



حل:

$$\begin{vmatrix} x=0 \\ H=20 \end{vmatrix} \quad , \quad \begin{vmatrix} x=2500 \\ H=23 \end{vmatrix} \quad \Rightarrow \quad \frac{H-20}{x-0}=\frac{23-20}{2500-0}$$

معادله خط d $\Rightarrow \quad H=20+\frac{3}{2500}x$

$$\begin{vmatrix} x=800 \\ H=? \end{vmatrix} \Rightarrow \quad H=20+\frac{3}{2500}\times 800=20.9 \quad \Rightarrow$$

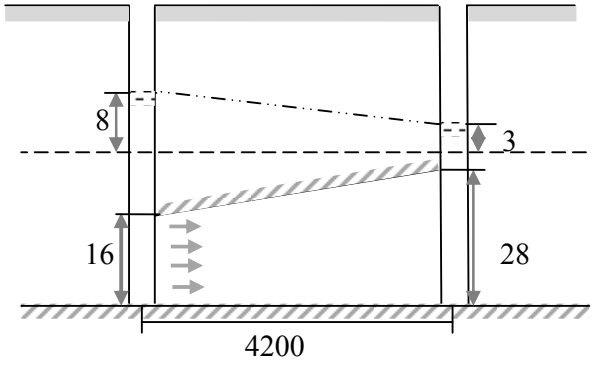
بنابراین ارتفاع سطح آب در چاه در حین پمپاژ برابر با $20.9-2=18.9m$ خواهد بود.

مقدار دبی چاه با استفاده از قانون دارسی از جمع دبی های دو طرف به دست می آید:

$$\Rightarrow\ q = k.b\left(\frac{20-18.9}{800}+\frac{23-18.9}{1700}\right) = 3.529\times10^{-5}\,m^3/s/m$$

۴-۲) در شکل زیر مطلوبست دبی جریان.

$16 \le b \le 28\,m, K = 0.35\times10^{-3}\,m/s$



حل:

$$\begin{vmatrix} x=0 \\ b=16 \end{vmatrix}\ ,\ \begin{vmatrix} x=4200 \\ b=28 \end{vmatrix} \Rightarrow \frac{b-16}{x-0}=\frac{28-16}{4200-0} \Rightarrow b=16+\frac{1}{350}x$$

دبی در تمام مقاطع یکسان است.

$$q = -k\left[1\times\left(16+\frac{1}{350}x\right)\right].\frac{dh}{dx}$$

$$qdx = -k\left(16+\frac{x}{350}\right)dh \quad\Rightarrow\quad \frac{qdx}{16+\frac{x}{350}} = -kdh$$

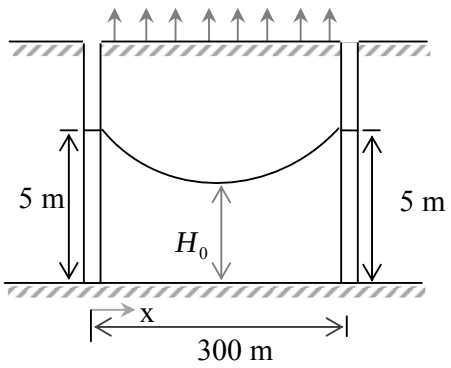
$$\int_0^{4200} \frac{q}{16+\frac{x}{350}}dx = \int_8^3 -kdh \qquad ، \qquad 16+\frac{x}{350} = u \rightarrow dx = 350du$$

$$\int \frac{1}{16+\frac{x}{350}}dx = \int \frac{350du}{u} = 350\ln u = 350\ln\left(16+\frac{x}{350}\right)\Big|_0^{4200}$$

$$350q\ln\frac{16+4200/350}{16+0/350} = -k(3-8) \rightarrow 350q\ln\frac{28}{16} = 5k$$

$$350q(0.5596) = 5\times 0.35\times 10^{-3} \rightarrow q = 8.9\times 10^{-6} m^3/s/m$$

۴-۳ در شکل زیر شدت تبخیر وتعرق برابر با $0.12\times 10^{-6} m/s$ میباشد.مطلوبست مقدار پتانسیل هیدرولیکی در وسط شکل. $(K = 0.25\times 10^{-3} m/s)$



حل:

$$\frac{d^2H^2}{dx^2} = -\frac{2R}{K} = -\frac{2(-0.12\times10^{-6})}{0.25\times10^{-3}} = 0.96\times10^{-3}$$

$$H^2 = 0.96\times10^{-3}x^2/2 + c_1x + c_2$$

$$\begin{vmatrix} x=0 \\ H=5 \end{vmatrix} \rightarrow c_2 = 25$$

$$\begin{vmatrix} x=300 \\ H=5 \end{vmatrix} \rightarrow c_1 = -0.144$$

$$H^2 = 0.96\times10^{-3}x^2/2 - 0.144x + 25$$

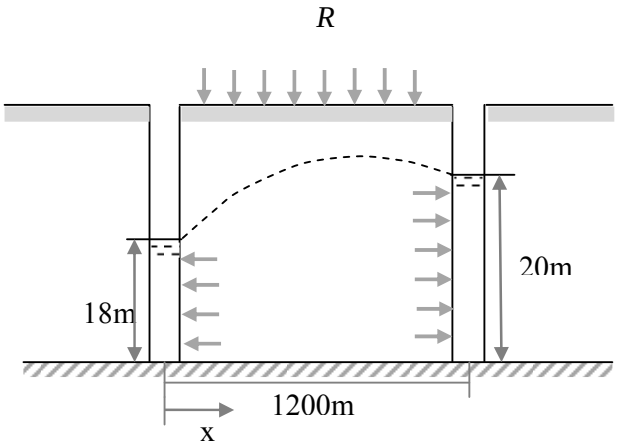
اگر در رابطه فوق $x = 150m$ قرار گیرد مقدار $H_0 = 3.77m$ بدست می آید.

روش چک کردن مسئله به این صورت است که در نقطه وسط، مشتق H نسبت به x باید صفر باشد :

$$2H\frac{dH}{dx} = (0.96\times10^{-3})x - 0.144 = 0 \rightarrow x = 150m$$

یعنی در $x = 150m$ ، $\frac{\partial H}{\partial x} = 0$ و در نتیجه دبی جریان صفر است.

۴-۴) در شکل زیر شدت بارندگی برابر با $R = 23\times10^{-9}\,m/s$ و $K = 0.00015m/s$ می باشد. مطلوبست میزان دبی جریان بطرف هر یک از نهرها و بیشینه پتانسیل هیدرولیکی .



حل:

$$\frac{d^2H^2}{dx^2} = -\frac{2R}{K} \rightarrow H^2 = -\frac{R}{K}x^2 + cx_1 + c_2$$

$$\begin{vmatrix} x = 0 \\ H = 18 \end{vmatrix} \rightarrow c_2 = 324$$

$$\begin{vmatrix} x = 1200 \\ H = 20 \end{vmatrix} \rightarrow c_1 = 0.2474$$

$$H^2 = -1.53\times10^{-4}x^2 + 0.2474x + 324$$

با مشتق گیری از رابطه فوق رابطه زیر بدست می آید:

$$2H\frac{dH}{dx} = -3.06\times10^{-4}x + 0.2474$$

در $x = 0$ چون جهت جریان مخالف جهت x است بنابراین $\frac{\partial H}{\partial x}$ مثبت و قانون دارسی بدون علامت منفی نوشته می شود:

$$q = KH\frac{dH}{dx} = K(-3.06\times10^{-4}x + 0.2474)/2$$

$$q\Big|_{x=0} = \frac{0.00015}{2}(0 + 0.2474) = 1.855\times10^{-5} m^3/s/m$$

$$q\Big|_{x=1200} = \frac{0.00015}{2}(-3.06\times10^{-4}\times1200 + 0.2474) = -8.99\times10^{-6} m^3/s/m$$

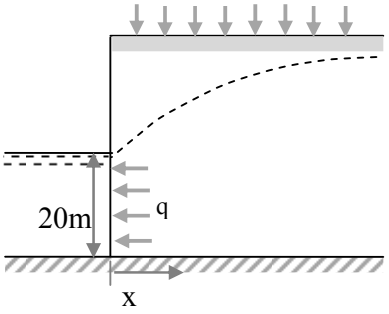
علامت منفی بیانگر این است که جهت جریان در انتها مخالف جهت جریان در ابتدا می باشد.

بیشینه هد هیدرولیکی جایی است که $\frac{dH}{dx} = 0$ یا بر اساس قانون دارسی دبی صفر باشد:

$$2H\frac{dH}{dx} = -3.06\times10^{-4}x + 0.2474 = 0 \rightarrow x = 806.7m$$

$$H^2_{\max} = -1.53\times10^{-4}(806.7)^2 + 0.2474(806.7) + 324 \rightarrow H_{\max} = 20.6m$$

۴-۵) در شکل زیر در $X = 500m, H = 22m$ و در $X = 3000m, H = 29m$ می باشد. اگر دبی جریان به داخل نهر برابر با $24\times10^{-6} m^3/s/m$ باشد، مطلوبست شدت تغذیه و هدایت هیدرولیکی.



حل:

$$\frac{d^2H^2}{dx^2} = -\frac{2R}{K} \rightarrow H^2 = -\frac{R}{K}x^2 + cx_1 + c_2$$

$$\left|\begin{matrix} x = 0 \\ H = 20 \end{matrix}\right. \rightarrow c_2 = 400$$

$$\left|\begin{matrix} x = 500 \\ H = 22 \end{matrix}\right. \rightarrow c_1 = \frac{84 + 25\times10^4 R/K}{500}$$

$$\left|\begin{matrix} x = 3000 \\ H = 29 \end{matrix}\right. \rightarrow c_1 = \frac{441 + 9\times10^6 R/K}{3000} \quad \rightarrow \begin{cases} R/K = 8.4\times10^{-6} \rightarrow \\ c_1 = 0.1722 \end{cases}$$

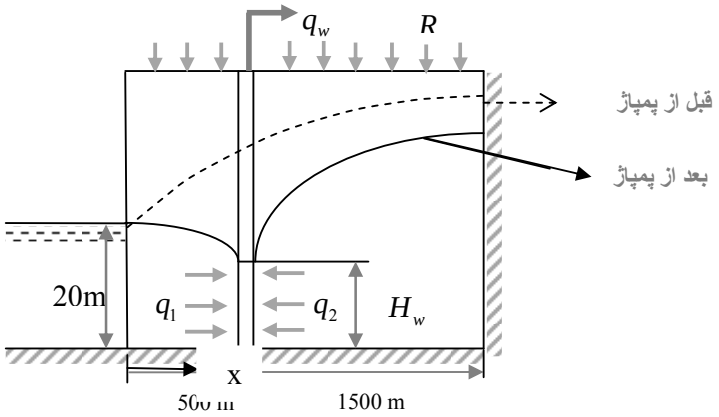
$$H^2 = -8.4\times10^{-6}x^2 + 0.1722x + 400$$

$$2H\frac{dH}{dx} = -16.8\times10^{-6}x + 0.1722 \rightarrow q = K/2(-16.8\times10^{-6}x + 0.1722)$$

$$q\Big|_{x=0} = 24\times10^{-6} = \frac{K}{2}(0 + 0.1722) \rightarrow K = 2.787\times10^{-4}\,m/s$$

$$R = 2.787\times10^{-4}\times(8.4\times10^{-6}) = 2.341\times10^{-9}\,m/s$$

۴-۶) در شکل زیر $R = 18\times10^{-9}\,m/\sec$ ، $q_w = 30\times10^{-6}\,m^3/s/m$ و $K = 0.24\times10^{-3}\,m/s$ می باشد مطلوبست افت سطح آب در چاه و در مرز نفوذ ناپذیر در اثر پمپاژ.



حل:

محاسبات قبل از پمپاژ :

$$\frac{d^2H^2}{dx^2} = -\frac{2R}{K} \rightarrow H^2 = -\frac{R}{K}x^2 + c_1x + c_2$$

$$\begin{vmatrix} x = 0 \\ H = 20 \end{vmatrix} \rightarrow c_2 = 400$$

$$\begin{vmatrix} x = 2000m \\ q \rightarrow \dfrac{dH}{dx} = 0 \end{vmatrix} \rightarrow 2H\frac{dH}{dx} = \frac{-2R}{K}(2000) + c_1 = 0 \rightarrow c_1 = 0.3$$

$$H^2 = -75\times10^{-6}x^2 + 0.3x + 400 \rightarrow \begin{cases} H\big|_{x=500} = 23.1m \\ H\big|_{x=2000} = 26.4m \end{cases}$$

محاسبات در طی پمپاژ :

الف) $0 \le x \le 500$

$$\frac{d^2H^2}{dx^2} = -\frac{2R}{K} \rightarrow H^2 = -\frac{R}{K}x^2 + c_3x + c_4$$

$$\begin{vmatrix} x = 0 \\ H = 20 \end{vmatrix} \rightarrow c_4 = 400$$

$$2H\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{2R}{K}x + c_3 \rightarrow -KH\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{K}{2}(-\frac{2R}{K}x + c_3)$$

$$\rightarrow q = -K/2(-\frac{2R}{K}x + c_3) \rightarrow q\big|_{x=500} = q_1 = \frac{-K}{2}(\frac{-2R}{K} \times 500 + c_3)$$

$$q_1 = -\frac{c_3K}{2} + 500R \qquad (1)$$

$$\begin{vmatrix} x = 500 \\ H = H_w \end{vmatrix} \rightarrow H_w^2 = \frac{-R}{K}(500)^2 + c_3(500) + 400 \qquad (2)$$

ب) $500 \le x \le 2000$

$$\frac{d^2H^2}{dx^2} = -\frac{2R}{K} \rightarrow H^2 = -\frac{R}{K}x^2 + c_5x + c_6$$

$$2H\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{2R}{K}x + c_5 \rightarrow \begin{vmatrix} x = 2000 \\ \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \end{vmatrix} \rightarrow c_5 = \frac{4000R}{K} = 0.3$$

$$\begin{vmatrix} x = 500m \\ q = q_2 \end{vmatrix} \rightarrow q_2 = KH\frac{dH}{dx} = \frac{K}{2}(-\frac{2R}{K}x + c_5)$$

$$q_2 = \frac{K}{2}(\frac{-2R}{K} \times 500 + 0.3) = 27 \times 10^{-6} m^3/s/m$$

$$q_w = q_1 + q_2$$

$$\rightarrow (-\frac{c_3 K}{2} + 500R) + 27\times10^{-6} = 30\times10^{-6} \rightarrow c_3 = 0.05$$

$$(1) \rightarrow q_1 = 3\times10^{-6} m^3/s/m$$

$$(2) \rightarrow H_w = 20.16m$$

بنابراین افت سطح آب در چاه برابر است با: $23.1 - 20.16 = 3m$

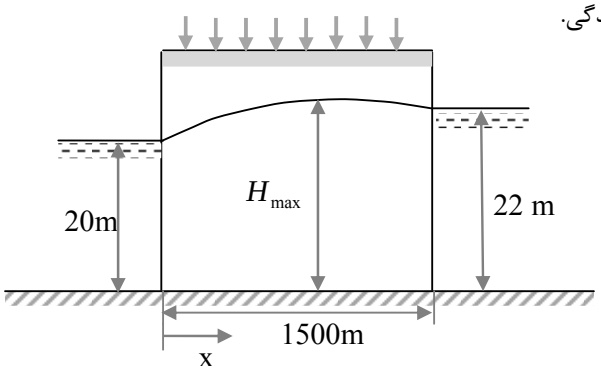
$$\begin{vmatrix} x = 500 \\ H_w = 20.16 \end{vmatrix} \rightarrow 20.16^2 = \frac{-R}{K}(500)^2 + 0.3(500) + c_6 \rightarrow c_6 = 275$$

$$H^2 = -\frac{R}{K}x^2 + 0.3x + 275$$

$$H^2\big|_{x=2000m} = -\frac{R}{K}(2000)^2 + 0.3(2000) + 275 \rightarrow H\big|_{x=2000m} = 24m$$

بنابراین افت در مرز نفوذ ناپذیر برابر است با: $26.4 - 24 = 2.4m$

۴-۷) در شکل زیر K=0.0003m/s و ماکزیمم پتانسیل هیدرولیکی ۲۵متر میباشد. مطلوبست مقدار شدت بارندگی.



حل:

$$\frac{d^2H^2}{dx^2} = -\frac{2R}{K} \rightarrow H^2 = -\frac{R}{K}x^2 + c_1 x + c_2$$

$$\begin{vmatrix} x = 0 \\ H = 20 \end{vmatrix} \rightarrow c_2 = 400$$

$$\begin{vmatrix} x = 1500 \\ H = 22 \end{vmatrix} \rightarrow 22^2 = -\frac{R}{K}(1500)^2 + 1500c_1 + 400$$

(1)

$$2H\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{2R}{K}x + c_1 = 0 \rightarrow x = \frac{c_1 K}{2R}$$ نقطه ای که در آن $H_{\max}$ اتفاق می افتد

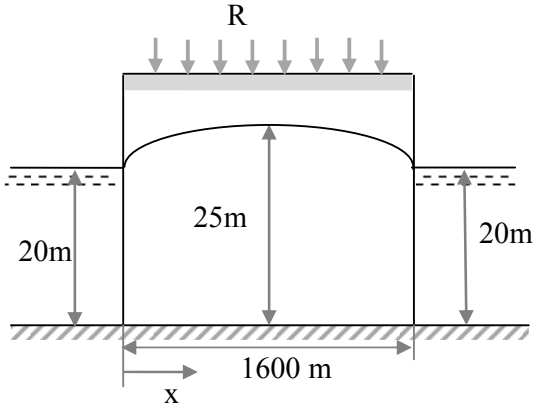
$$25^2 = -\frac{R}{K}\left(\frac{c_1 K}{2R}\right)^2 + c_1\left(\frac{c_1 K}{2R}\right) + 400 \qquad (2)$$

$$(1),(2) \rightarrow c_1 = 0.5375, R = 96.3\times10^{-9} m/s$$

۴-۸) در شکل زیر $R = 30\times10^{-9} m/s$ مطلوبست:

الف) هدایت هیدرولیکی

ب) مقدار افت سطح آب در داخل چاهی با دبی $48\times10^{-6} m^3/s/m$ که در وسط شکل حفر شده است. (رقوم سطح آب در طرفین ثابت می ماند)



حل:

الف)

$$\frac{d^2H^2}{dx^2} = -\frac{2R}{K} \Rightarrow H^2 = -\frac{R}{K}x^2 + c_1x + c_2$$

$$\begin{vmatrix} x = 0 \\ H = 20 \end{vmatrix} \rightarrow c_2 = 400$$

$$\begin{vmatrix} x = 1600 \\ H = 20 \end{vmatrix} \rightarrow 20^2 = -\frac{R}{K}(1600)^2 + 1600c_1 + 400$$

$$\rightarrow -\frac{R}{K}(1600) + c_1 = 0 \qquad (1)$$

$$\begin{vmatrix} x = 800 \\ H = 25 \end{vmatrix} \rightarrow 25^2 = -\frac{R}{K}(800)^2 + 800c_1 + 400$$

$$\rightarrow -\frac{R}{K}(800) + c_1 = \frac{225}{800} \qquad (2)$$

$$(1),(2) \rightarrow \frac{R}{K}(800) = \frac{225}{800} \rightarrow K = 85.3\times10^{-6} m/s$$

ب) در این حالت ارتفاع سطح آب در چاه H_w فرض می شود که دبی های q_1 و q_2 از طرفین وارد چاه می شود.

$$\frac{d^2H^2}{dx^2} = -\frac{2R}{K} \rightarrow H^2 = -\frac{R}{K}x^2 + c_1x + c_2$$

$$\begin{vmatrix} x = 0 \\ H = 20 \end{vmatrix} \rightarrow c_2 = 400$$

$$2H\frac{dH}{dx} = -\frac{2R}{K}x + c_1$$

$$-KH\frac{dH}{dx}=-\frac{K}{2}(-\frac{2R}{K}x+c_1)\rightarrow q=-\frac{K}{2}(-\frac{2R}{K}x+c_1)$$

$$q_1=q(x=800)=-\frac{K}{2}(-\frac{2R}{K}\times 800+c_1)$$

$$\begin{vmatrix}x=800\\H=H_w\end{vmatrix}\rightarrow H_w^2=-\frac{R}{K}(800)^2+800c_1+400$$

به علت تقارن q_2 نیز همین مقدار را دارد :

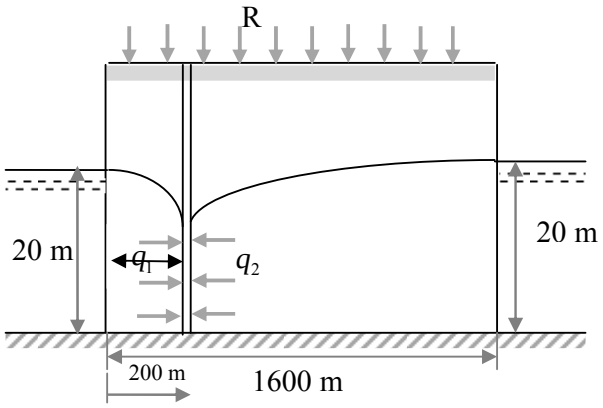
$$q_w=2q_1=-K(-\frac{2R}{K}\times 800+c_1)$$

$$q_w=-85.3\times10^{-6}(-\frac{2\times30\times10^{-9}}{85.3\times10^{-6}}\times800+c_1)\rightarrow c_1=1.06\times10^{-3}$$

$$H_w=\frac{-30\times10^{-9}}{85\times10^{-6}}(800)^2+800(1.06\times10^{-3})+400\rightarrow H_w=13.23m$$

بنابراین افت سطح آب در چاه برابر با $25-13.23=11.77m$ می باشد.

۴-۹) در شکل زیر $R=25\times10^{-9}m/s$ و $K=9.1\times10^{-5}m/s$ و دبی جریان از دو طرف به چاه برابر با $0.08\times10^{-3}m^3/s/m$ است. مطلوبست ارتفاع سطح آب در چاه.



حل:

ارتفاع سطح آب در چاه H_w فرض می شود.

$$0 \le x \le 200$$

$$\frac{d^2H^2}{dx^2} = -\frac{2R}{K} \rightarrow H^2 = -\frac{R}{K}x^2 + c_1 x + c_2$$

$$\begin{vmatrix} x = 0 \\ H = 20 \end{vmatrix} \rightarrow c_4 = 400$$

$$\begin{vmatrix} x = 200 \\ H = H_w \end{vmatrix} \rightarrow H_w^2 = \frac{-R}{K}(200)^2 + c_1(200) + 400 \qquad (1)$$

$$2H\frac{dH}{dx} = -\frac{2R}{K}x + c_1 \rightarrow KH\frac{dH}{dx} = -Rx + \frac{Kc_1}{2}$$

$$\begin{vmatrix} x = 200 \\ q = q_1 \end{vmatrix} \rightarrow q_1 = -KH\frac{\partial H}{\partial x} = Rx - \frac{Kc_1}{2} = 200R - \frac{Kc_1}{2}$$

$$200 \le x \le 1600$$

$$\frac{d^2H^2}{dx^2} = -\frac{2R}{K} \rightarrow H^2 = -\frac{R}{K}x^2 + c_3 x + c_4$$

$$\begin{vmatrix} x = 1600 \\ H = 20 \end{vmatrix} \rightarrow 400 = \frac{-R}{K}(1600)^2 + c_3(1600) + c_4 \qquad (2)$$

$$2H\frac{dH}{dx} = -\frac{2R}{K}x + c_3 \rightarrow KH\frac{dH}{dx} = -Rx + \frac{Kc_3}{2}$$

$$\begin{vmatrix} x = 200 \\ q = q_2 \end{vmatrix} \rightarrow q_2 = -KH\frac{\partial H}{\partial x} = -Rx + \frac{Kc_3}{2} = -200R - \frac{Kc_3}{2}$$

$$q_1 + q_2 = 0.08 \times 10^{-3}$$

$$(200R - Kc_1/2) + (-200R + Kc_3/2) = 0.08\times10^{-3}$$

$$K(\frac{c_3}{2} - \frac{c_1}{2}) = 0.08\times10^{-3} \qquad (3)$$

$$\begin{vmatrix} x = 200 \\ H = H_w \end{vmatrix} \rightarrow H_w^2 = \frac{-R}{K}(200)^2 + c_3(200) + c_4 \qquad (4)$$

$$(1),(4) \rightarrow \frac{-R}{K}(200)^2 + c_3(200) + c_4 = \frac{-R}{K}(200)^2 + c_1(200) + 400$$

$$\rightarrow 200c_3 + c_4 - 200c_1 = 400 \qquad (5)$$

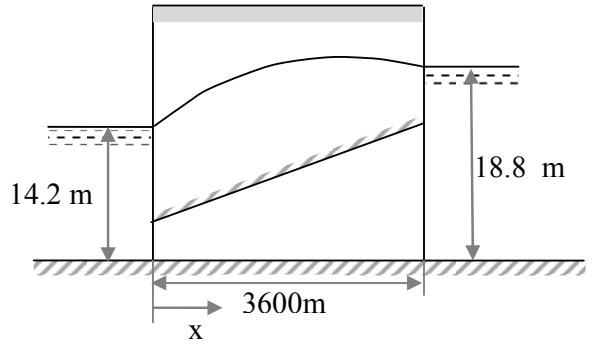
$$(2) \rightarrow c_4 = 400 - \frac{0.064}{K} - 1600c_3 \qquad (6)$$

$$(5),(6) \rightarrow 200c_3 + 400 - \frac{0.064}{K} - 1600c_3 - 200c_1 = 400 \quad (7)$$

$$(7),(1) \rightarrow c_1 = 0.439$$

$$H_w^2 = \frac{-R}{K}(200)^2 + (200\times0.439) + 400 \rightarrow H_w = 16.14m$$

۴-۱۰) ضخامت سفره تحت فشار زیر از ۳۰ تا ۷۵ متر متغیر است. هدایت هیدرولیکی آن بصورت $K(m/day) = 12 + 0.006x$ می باشد. مطلوبست دبی واحد عرض سفره.



←

حل:

$$30 \le b \le 75$$

$$\begin{vmatrix} x = 0 \\ b = 30 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} x = 3600 \\ b = 75 \end{vmatrix}$$

$$\frac{b-30}{x-0} = \frac{75-30}{3600-0} \rightarrow b = 0.0125x + 30$$

$$q = KA\frac{dH}{dx} = (12 + 0.006x)(0.0125x + 30)\frac{dH}{dx}$$

$$qdx = (12 + 0.006x)(0.0125x + 30)dH$$

$$dH = \frac{qdx}{(12 + 0.006x)(0.0125x + 30)}$$

$$1/q\int_{14.2}^{18.8} dH = \int_{0}^{3600} \frac{dx}{(12 + 0.006x)(0.0125x + 30)}$$

$$\int_{0}^{3600} \frac{dx}{(12 + 0.006x)(0.0125x + 30)} = (18.8 - 14.2)/q = 4.6/q$$

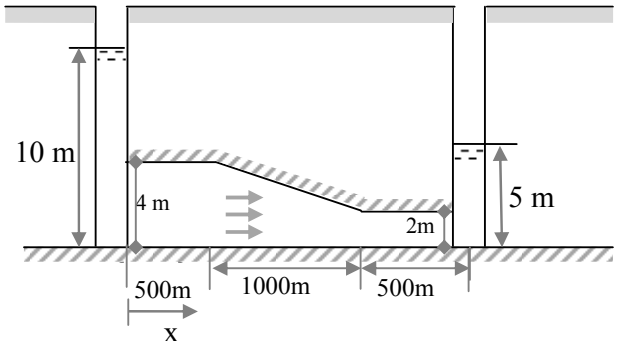
انتگرال فوق به روش تجزیه کسرها قابل حل می باشد:

$$\int \frac{dx}{(0.006x+12)(0.0125x+30)} = \int \frac{0.199dx}{0.006x+12} + \int \frac{0.416dx}{0.0125x+30}$$

$$\frac{0.199}{0.006}\left[Ln(0.006x+12)\right]_0^{3600} - \frac{0.416}{0.0125}\left[Ln(0.0125x+30)\right]_0^{3600} = 4.6/q$$

$$3.655 = 4.6/q \rightarrow q = 1.258 m^3/day/m$$

۴-۱۱) در شکل زیر یک سفره تحت فشار با ضخامت متغیر نشان داده شده است. هدایت هیدرولیکی این سفره یک متر در روز میباشد مطلوبست: الف) دبی جریان ب) رقوم پیزومتریک در $x = 1000$



حل:

الف)

$$\begin{vmatrix} x = 500 \\ b = 4 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} x = 1500 \\ b = 2 \end{vmatrix}$$

$$\frac{b-2}{x-1500} = \frac{4-2}{500-1500} \rightarrow b = -0.002x + 5$$

$$b=\begin{cases}4m & 0\le x\le 500\\ -0.002x+5 & 500\le x\le 1500\\ 2m & 1500\le x\le 2000\end{cases}$$

$$q=-K\frac{dH}{dx}(b\times 1)\rightarrow q\int_0^{2000}\frac{dx}{b}=\int_{10}^{5}-dH=5$$

$$\int_0^{2000}\frac{dx}{b}=\int_0^{500}\frac{dx}{4}+\int_{500}^{1500}\frac{dx}{-0.002x+5}+\int_{1500}^{2000}\frac{dx}{2}$$

$$\int_0^{2000}\frac{dx}{b}=\frac{1}{4}(500)-500Ln\left[\frac{-\frac{1}{500}(1500)+5}{-\frac{1}{500}(500)+5}\right]+\frac{1}{2}(500)=724.6$$

$$q=\frac{5}{724.6}=6.9\times 10^{-3}m^3/day/m$$

ب)

$$q=-K\frac{dH}{dx}(b\times 1)\rightarrow q\int_0^{1000}\frac{dx}{b}=\int_{10}^{h}-dH$$

$$\int_0^{500}\frac{Q}{4}dx+\int_{500}^{1000}\frac{Qdx}{\frac{-1}{500}x+5}=10-h$$

$$\frac{Q}{4}(500)-Q500Ln\left[\frac{-\frac{1}{500}(1000)+5}{-\frac{1}{500}(500)+5}\right]=10-h\rightarrow h=8.14m$$

۵

خطوط جریان و هم پتانسیل

توضیحات:

با ترسیم خطوط جریان و خطوط هم پتانسیل می توان دبی نشت از یک محیط متخلخل را محاسبه نمود. برای انجام این کار ابتدا دو تابع زیر تعریف می شود:

۱- تابع پتانسیل سرعت (φ) که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\varphi = -KH + c \qquad (۱-۵)$$

که در رابطه فوق c یک مقدار ثابت دلخواه می باشد. بنابراین تابع پتانسیل سرعت دارای این خاصیت است که مشتق آن برابر با سرعت جریان می باشد:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = -K\frac{\partial H}{\partial x} = u \qquad (۲-۵)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} = -K\frac{\partial H}{\partial y} = v \qquad (۳-۵)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = -K\frac{\partial H}{\partial z} = w \qquad (۴-۵)$$

که در روابط فوق u، v و w بترتیب مولفه های سرعت جریان در جهات x، y و z می باشد.

درحالت سه بعدی: $\varphi = f(x,y,z)$ و در حالت دوبعدی $\varphi = f(x,y)$ به عنوان مثال اگر بخواهیم در حالت دو بعدی منحنی $\varphi = 1$ راترسیم کنیم بایستی معادله $f(x,y) = 1$ ترسیم شود. تمام نقاطی که روی خط $\varphi = 1$ هستند دارای پتانسیل هیدرولیکی یکسان و برابر $\frac{c-1}{K}$ می باشد بنابراین هرخط هم پتانسیل سرعت یک خط هم پتانسیل هیدرولیکی نیز می باشد. به

عبارت دیگر:

$$\varphi = -KH + c = 1 \rightarrow H = \frac{c-1}{K} = c_1$$

۲- تابع جریان (ψ) :این تابع فقط در حالت دوبعدی تعریف می شود و دارای خصوصیات زیر است:

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = u \qquad (۵-۵)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = -v \qquad (۶-۵)$$

از خواص این دو تابع معادلات کوشی-ریمان نتیجه می شود:

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \qquad (۷-۵)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\frac{\partial \varphi}{\partial y} \qquad (۸-۵)$$

ازخصوصیات دیگر ψ و φ این است که در معادله لاپلاس صدق می کنند:

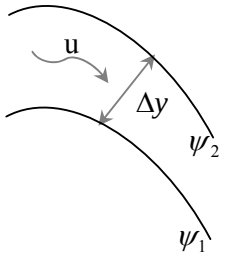
$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \qquad (۹-۵)$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \qquad (۱۰-۵)$$

بنابراین با حل معادله لاپلاس و با اعمال شرایط مرزی مربوطه می توان توابع مذکور را بدست آورد.

از ویژگی های دیگر ψ و φ این است که در هر نقطه این دو تابع بر هم عمودند. بنابراین خطوط جریان و خطوط هم پتانسیل بر هم عمودند و با ترسیم آنها شبکه جریان تشکیل می شود. با استفاده از این ویژگی می توان دبی بین دو خط جریان متوالی را محاسبه و با جمع

دبی های عبوری از بین سایر خطوط جریان دبی کل نشت را محاسبه نمود. دبی عبوری از بین دو خط جریان متوالی به صورت زیر مجاسبه می شود:



$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \rightarrow \int d\psi = \int u dy \rightarrow \psi_2 - \psi_1 = u\Delta y$$

بنابراین اختلاف بین دو ψ متوالی برابراست با دبی عبوری از بین دو خط جریان در واحد عرض.

مسائل:

۵-۱) اگر مولفه های سرعت جریان بصورت زیر باشد، مطلوبست : الف) تابع پتانسیل ب) تابع جریان ج) دبی عبوری در واحد عرض از بین دو نقطه با مختصات (۲ و ۱) و(۱ و ۱).

$$u = 4x^2 + 6xy - 4y^2$$
$$v = 3x^2 - 8xy - 3y^2$$

حل:

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x} \rightarrow d\varphi = udx \rightarrow \varphi = \int udx = \int (4x^2 + 6xy - 4y^2)dx$$
$$\varphi = \frac{4}{3}x^3 + 3x^2 y - 4y^2 x + f(y)$$
$$v = \frac{\partial \varphi}{\partial y} \rightarrow 3x^2 - 8xy - 3y^2 = 3x^2 - 8xy + \frac{df(y)}{dy}$$

$$\frac{df(y)}{dy} = -3y^2 \rightarrow f(y) = \int -3y^2 dy = -y^3 + c_1$$

$$\varphi = \frac{4}{3}x^3 + 3x^2 y - 4y^2 x - y^3 + c_1$$

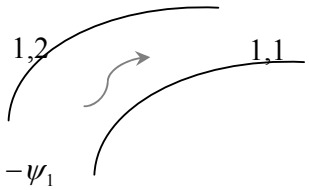
$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \rightarrow d\psi = udy \rightarrow \psi = \int udy = \int (4x^2 + 6xy - 4y^2)dy$$

$$\psi = 4x^2 y + 3xy^2 - \frac{4}{3}y^3 + g(x)$$

$$-v = \frac{\partial \psi}{\partial x} \rightarrow -(3x^2 - 8xy - 3y^2) = 8xy + 3y^2 + \frac{dg(x)}{dx}$$

$$\frac{dg(x)}{dx} = -3x^2 \rightarrow g(x) = \int -3x^2 dx = -x^3 + c_2$$

$$\psi = 4x^2 y + 3xy^2 - \frac{4}{3}y^3 - x^3 + c_2$$



$$q = \psi_2 - \psi_1$$

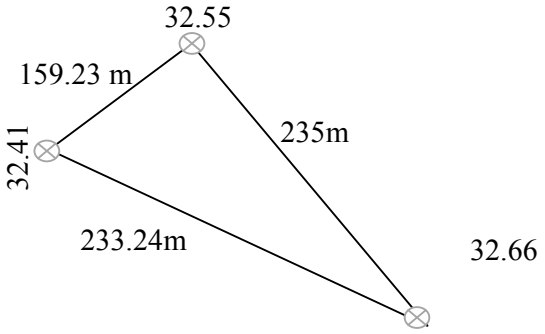
$$\psi_1 = \psi\Big|_{(1,1)} = (4\times 1^2 \times 1) + (3\times 1^2 \times 1) - (\frac{4}{3}\times 1^3) - 1^3 + c_2 = 4.66 + c_2$$

$$\psi_2 = \psi\Big|_{(1,2)} = (4\times 1^2 \times 2) + (3\times 1\times 2^2) - (\frac{4}{3}\times 2^3) - 1^3 + c_2 = 8.3 + c_2$$

$$q = (8.3 + c_2) - (4.66 + c_2) = 3.66$$

۵-۲) سه چاه مشاهده ای مطابق شکل زیر در سه راس یک مثلث حفر شده اند. رقوم

پیزومتریک در چاهها و فواصل بین آنها داده شده است. مطلوبست جهت جریان آب های زیرزمینی و گرادیان هیدرولیکی.



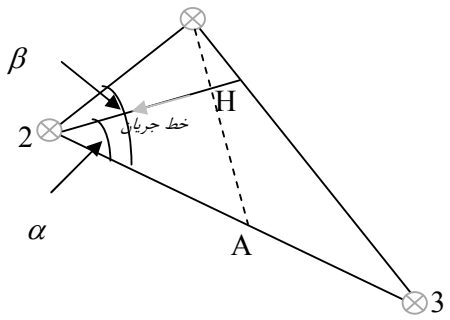
حل:

برای تعیین جهت جریان آب زیر زمینی حداقل سه پیزومتر یا چاهک نیاز است. برای تعیین جهت جریان ابتدا از چاهی که دارای رقوم متوسط است، خطی به ضلع مقابل آن درنقطه ای به همان رقوم وصل می شود(نقطه A). فاصله این نقطه از طریق میان یابی تا چاه شماره ۲ برابر با ۱۳۰/۶ می باشد:

$$32.66-32.41=0.25$$

$$32.55-32.41=0.14$$

$$\rightarrow \begin{matrix} 233.24 & 0.25 \\ A2 & 0.14 \end{matrix} \rightarrow A2=\frac{233.24\times 0.14}{0.25}=130.6m$$



از طریق قانون کسینوسها در مثلث بزرگ زاویه β به صورت زیر محاسبه می شود:

$$235^2 = 159.23^2 + 233.24^2 - 2\times 159.23\times 233.24\times Cos\beta \rightarrow \beta = 70.75^\circ$$

همچنین از طریق قانون کسینوسها $A1$ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$A1^2 = 159.23^2 + 130.6^2 - 2\times 159.23\times 130.6\times Cos\beta \rightarrow A1 = 169.34m$$

مساحت مثلث $A12$ را می توان از دو طریق زیر محاسبه و با هم مساوی قرار داد تا مقدار $H2$ بدست آید:

$$\frac{A1\times H2}{2} = \frac{1}{2}\times 159.23\times 130.6\times Sin\beta \rightarrow H2 = 115.91m$$

$$Cos\alpha = \frac{115.91}{130.6} \rightarrow \alpha = 27.4^\circ$$

خطی که چاه شماره ۱ را به نقطه A وصل می کند یک خط هم پتانسیل است وخطی که بر این خط عمود است یک خط جریان می باشدکه جهت جریان را مشخص می کند. بنابراین جهت جریان با امتداد ۲۳ زاویه ۲۷/۴ درجه می سازد.

$$i = \frac{H_H - H_2}{H2} = \frac{32.55 - 32.41}{115.91} = 0.0012$$

۶

جریان ماندگار شعاعی

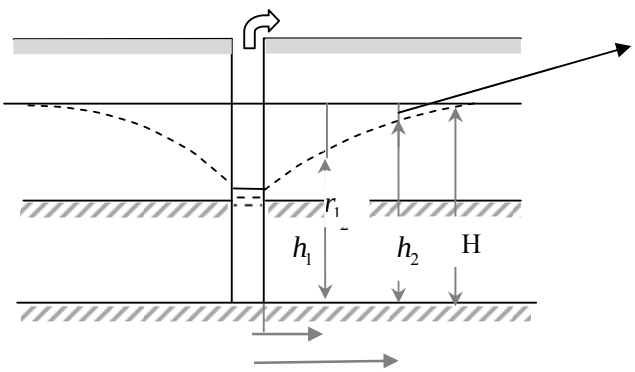
توضیحات:

در این فصل روابط و مسائل مربوط به جریان ماندگار شعاعی برای چاه کامل(حفاری چاه تا انتهای لایه آبده) ارائه می گردد:

۱- جریان ماندگار شعاعی به طرف چاه کامل در لایه آبده تحت فشار :

مطابق شکل ۶-۱ اگر در یک لایه آبده تحت فشار پتانسیل هیدرولیکی (رقوم پیزومتریک) در شعاعهای r_1 و r_2 از مرکز چاه بترتیب h_1 و h_2 باشد رابطه زیر برای محاسبه دبی جریان برقرار است:

$$Q = \frac{2\pi T(h_2 - h_1)}{Ln(r_2 / r_1)} \qquad (۱-۶)$$



شکل ۶-۱ جریان ماندگار در سفره های تحت فشار

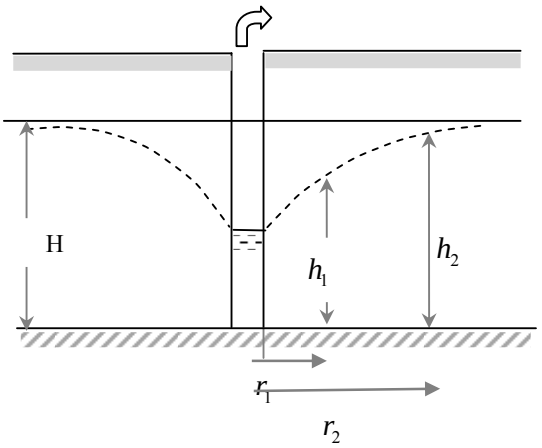
بر اساس رابطه فوق میزان افت سطح پیزومتریک (S_d) در اثر پمپاژ در نقطه ای به شعاع r از چاه با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$S_d = \frac{QLn(r_e / r)}{2\pi T} \qquad (۲-۶)$$

که در رابطه فوق r_e شعاع موثر می باشد.

۲- جریان ماندگار شعاعی به طرف چاه کامل در لایه آبده آزاد:

مطابق شکل ۶-۲ اگر در یک لایه آبده آزاد پتانسیل هیدرولیکی (رقوم سطح ایستایی) در شعاعهای r_1 و r_2 از مرکز چاه بترتیب h_1 و h_2 باشد رابطه زیر برای محاسبه دبی جریان برقرار است:



شکل ۶-۲ جریان ماندگار در سفره های آزاد

$$Q = \frac{\pi K(h_2^2 - h_1^2)}{Ln(r_2 / r_1)} \qquad (۳-۶)$$

۳- پمپاژ چند چاه به طور همزمان:

الف) درسفره های تحت فشار: اگر درمنطقه ای چند چاه به طور همزمان در حال پمپاژ باشد برای محاسبه افت پیزومتریک در نقطه ای مشخص باید مجموع افت ناشی از هر چاه را محاسبه نمود. یا می توان از رابطه زیر برای محاسبه رقوم پیزومتریک در نقطه ای تحت تاثیر چاههای مختلف به فاصله r_i از چاه شماره i استفاده نمود:

$$h = \frac{1}{2\pi T}\sum_{i=1}^{n} Q_i Lnr_i + c \quad \text{یا} \quad h = \frac{1}{4\pi T}\sum_{i=1}^{n} Q_i Lnr_i^2 + c \qquad (۴-۶)$$

در رابطه فوق n تعداد چاهها و c ضریب ثابت انتگرال گیری است که با معلوم بودن h در یک نقطه مشخص قابل محاسبه از رابطه فوق می باشد.

ب) در سفره های آزاد: رابطه ۶-۴ برای سفره های آزاد به صورت زیر تبدیل می شود:

$$h^2 = \frac{1}{\pi K}\sum_{i=1}^{n} Q_i Lnr_i + c \quad \text{یا} \quad h^2 = \frac{1}{2\pi K}\sum_{i=1}^{n} Q_i Lnr_i^2 + c \qquad (۵-۶)$$

اگر چند چاه بطور همزمان در حالت تغذیه باشند با روابط ۶-۴ و ۶-۵ صادق خواهد بود. در این حالت مقدار c بر اساس شرایط جدید محاسبه می شود.

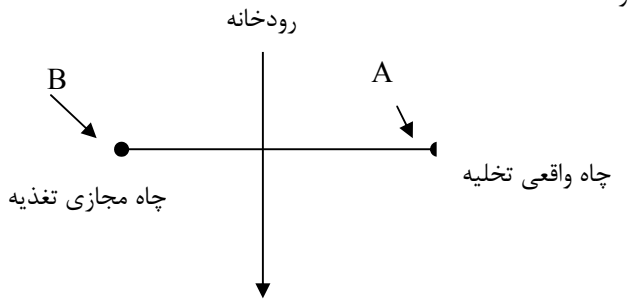
۴- پمپاژ و تغذیه به طور همزمان:

درصورتیکه یک چاه تخلیه یا پمپاژ وجود داشته باشد، پایین آمدن سطح ایستابی یا پیزومتریک را سبب می شود و اگر چاه تغذیه (تغذیه مصنوعی) وجود داشته باشد بالاآمدن سطح ایستابی یا پیزومتریک راموجب می شود باید تأثیر هردوی آنها با استفاده از معادلات ۶-۴ و ۶-۵ بررسی شود. بعبارت دیگر سطح ایستابی یا پیزومتریک نهایی را می توان با معادلات مذکور محاسبه نمود. برای این کار دبی چاههای تغذیه با علامت منفی و دبی چاههای تخلیه با علامت مثبت در معادلات مذکور بکار برده می شود. راه حل دیگر ان است که مجموع بالا آمدگی ناشی از چاههای تغذیه (معادل میزان افت می باشد) را از مجموع افتهای ناشی از چاههای تخلیه کسر نمود تا افت نهایی در یک نقطه مشخص بدست آید. اگر نتیجه نهایی منفی شد بیانگر این است که تاثیر چاهها باعث بالا آمدگی سطح ایستایی یا پیزومتریک شده است.

۵- تاثیر رودخانه و مرز نفوذ ناپذیر بر افت سطح ایستایی یا پیزومتریک:
تاثیر رودخانه بر چاه واقعی تخلیه مانند یک چاه مجازی تغذیه و تاثیر مرز نفوذ ناپذیر به صورت یک چاه مجازی تخلیه می باشد. برای یک چاه واقعی تغذیه برعکس می باشد یعنی رودخانه مانند چاه مجازی تخلیه و مرز نفوذ ناپذیر مانن چاه مجازی تغذیه عمل می کند. برای تعیین مکان یا مکان های چاه مجازی بدین صورت عمل می شود که چاه واقعی مانند یک شیء و رودخانه یا مرز نفوذ ناپذیر به صورت آینه عمل می کند. چاه مجازی مورد نظر، تصویر چاه واقعی در آینه می باشد. اگر چند رودخانه یا مرز نفوذ ناپذیر یا ترکیبی از آنها وجود داشته باشد تعداد تصاویر (چاههای مجازی) مانند قوانین آینه ها محاسبه می شود و سطح ایستایی یا رقوم پیزومتریک نهایی با استفاده از مطالب بند ۳و ۴ محاسبه می شود.

مسائل:

۶-۱) یک چاه کاملی به قطر ۲۰ سانتیمتر در یک لایه آبده تحت فشار با هدایت ۲۵ متر در روز و ضخامت ۲۵ متر در فاصله ۱۵۰ متری رودخانه حفر شده است. سطح آب در رودخانه ۵۰ متر بالاتر از لایه غیر قابل نفوذ پایینی آبخوان قرار دارد. دبی چاه چقدر باشد تا افت سطح آب در چاه ۲/۵ متر شود.



حل:

روش اول: در این روش افت سطح آب در چاه واقعی تخلیه (نقطه A) از جمع جبری افتها

بدست می آید فاصله این نقطه تا چاه تخلیه برابر با شعاع چاه و تا چاه تغذیه برابر با ۳۰۰ متـر می باشد:

$$S_d = \frac{QLn(r_e / r_w)}{2\pi T} - \frac{QLn(r_e / 300)}{2\pi T} \rightarrow S_d = \frac{Q}{2\pi T} Ln(300 / r_w)$$

$$2.5 = \frac{Q}{2 \times 3.14 \times 25 \times 25} Ln(300 / 0.1) \rightarrow Q = 1226 m^3 / day$$

روش دوم: در این روش از رابطه زیر و با معلوم بودن h در وسط فاصله بین دو چاه(نقطه B) ، مقدار c محاسبه می شود. فاصله این نقطه تا چاه تخلیه برابر با ۱۵۰ متر و تا چاه تغذیـه نیـز برابر با ۱۵۰ متر می باشد:

$$h = \frac{1}{2\pi T} \sum_{i=1}^{n} Q_i Lnr_i + c \rightarrow 50 = \frac{1}{2\pi T}[(QLn150) + (-QLn150)] + c \rightarrow c = 50$$

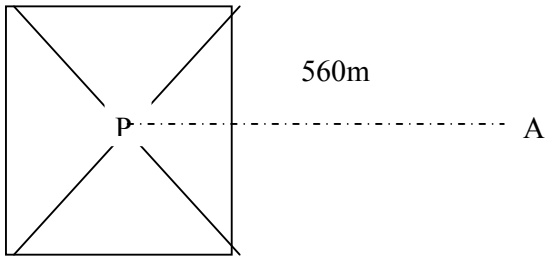
سپس با معلوم بودن افت در سطح چاه، دبی به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$h_w = \frac{1}{2\pi T}[(-QLn300) + (QLn0.1)] + 50 \rightarrow 50 - h_w = \frac{Q}{2\pi T} Ln(\frac{300}{0.1})$$

$$2.5 = \frac{Q}{2\pi T} Ln\frac{300}{0.1} \rightarrow Q = 1226 m^3 / day$$

۶-۲) محلی باید تا عمق ۷ متر زیر سطح ایستایی خاکبرداری شود. برای ایـن کـار ۴ چـاه در چهار گوشه مستطیلی به ابعاد ۵۰ در ۱۰۰ متر حفر می شود. اثر افت سطح ایستایی تـا فاصـله ۵۶۰ متری از مرکز مستطیل پیش بینی می شود که در این نقطه فاصله سطح آب تا مرز نفـوذ ناپذیر ۳۰ متر است. اگر هدایت هیدرولیکی ۰/۰۰۰۰۱ متر در ثانیه باشد مطلوبست:

الف) دبی چاهها ب) افت سطح آب در چاهها (شعاع چاهها ۳۰ سانتیمتر).



حل:

کمترین میزان افت در نقطه P اتفاق می افتد که بایستی ۷ متر در نظر گرفته شود. بنابراین h در این نقطه ۲۳ متر می باشد. فاصله نقطه P تا چهار گوشه زمین (چاهها) $\sqrt{(50)^2+(25)^2}=55.9m$ می باشد. بنابراین می توان نوشت:

$$h_P^2=(30-7)^2=\frac{1}{\pi K}(QLn55.9+QLn55.9+QLn55.9+QLn55.9)+c$$

h در این نقطه A برابر با ۳۰ متر می باشد فاصله این نقطه تادو گوشه سمت راستی برابر با $\sqrt{(50)^2+(560-25)^2}=537.33m$ و تا دو گوشه سمت چپی برابر با $\sqrt{(50)^2+(560+25)^2}=587.13m$ می باشد. بنابراین می توان نوشت:

$$h_A^2=(30)^2=\frac{1}{\pi K}(QLn537.33+QLn537.33+QLn587.13+QLn587.13)+c$$

از دو رابطه فوق نتیجه می شود:

$$Q=0.001262m^3/s, c=-118$$

برای حل قسمت ب افت سطح آب در یکی از چاهها مثلا چاه پایینی سمت راست محاسبه می شود. برای این کار بایستی فاصله این نقطه تا چهار چاه مذکور مشخص باشد. بر طبق شکل این فاصله ها برابر است با $0.3m, \sqrt{(50)^2+(100)^2}, 50, 100$ بنابراین افت سطح آب در چاه

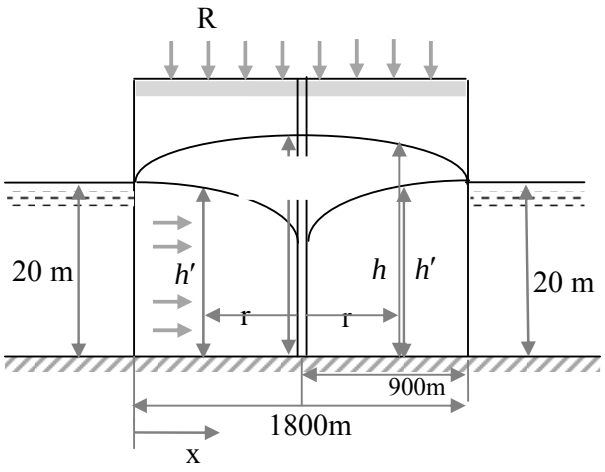
مذکور برابر است با:

$$h^2 = \frac{1}{\pi K}(QLn0.3 + QLn100 + QLn50 + QLn\sqrt{(50)^2 + (100)^2}) - 118$$

$$\rightarrow h = 19.12m \rightarrow S_d = 30 - 19.12 = 10.88m$$

برای سایر چاهها با تکرار محاسبات عدد ۱۰/۸۸ متر بدست می آید.

۶-۳) در جزیره زیر شدت تغذیه برابر با $R = 30 \times 10^{-9} m/s$ و هدایت هیدرولیکی $K = 0.137 \times 10^{-3} m/s$ می باشد. چاهی در وسط جزیره با دبی ۶ لیتر در ثانیه و شعاع ۱۵ سانتی مترحفر شده است. پروفیل سطح آب را بعد از شروع پمپاژ ترسیم نمائید.



حل:

ابتدا قانون دارسی به صورت زیر نوشته می شود:

$$Q = 2\pi r h' K \frac{dh'}{dr} \qquad (1)$$

سپس معادله پیوستگی به صورت زیر نوشته می شود:

$$Q + \pi r^2 R = Q_w \rightarrow Q = Q_w - \pi r^2 R \qquad (2)$$

که در رابطه فوق Q عبارتست از دبی جریان در شعاع r از چاه و $\pi r^2 R$ دبی ناشی از تغذیه مساحت دایره ای شکل به شعاع r می باشد.

$$(1),(2) \rightarrow 2\pi r h' K \frac{dh'}{dr} = Q_w - \pi r^2 R \rightarrow \int_{h'}^{20} h' dh' = \int_{r}^{900} \frac{Q_w - \pi r^2 R}{2\pi r K} dr$$

$$400 - h'^2 = \frac{Q_w}{\pi K} Ln(\frac{900}{r}) - \frac{R}{2K}(900^2 - r^2) \qquad (3)$$

با استفاده از معادله ۳ می توان پروفیل سطح آب را در حین پمپاژ ترسیم نمود. همچنین می توان مقدار h'_w (ارتفاع سطح آب در چاه در حین پمپاژ) را بدست آورد. برای این کار در معادله ۳ مقدار r برابر با ۰/۱۵ متر منظور می شود:

$$400 - h'^2_w = \frac{Q_w}{\pi K} Ln(\frac{900}{0.15}) - \frac{R}{2K}(900^2 - 0.15^2) \rightarrow h'_w = 19.2m$$

معادله حاکم بر پروفیل سطح آب قبل از پمپاژ با حذف دبی چاه و جایگزینی h به جای h' در معادله ۳ به صورت زیر می باشد:

$$400 - h^2 = -\frac{R}{2K}(900^2 - r^2) \qquad (4)$$

بنابراین مقدار h_w (ارتفاع سطح آب در چاه قبل از پمپاژ) با قرار دادن r برابر با ۰/۱۵متر در معادله ۴ به صورت زیر بدست می آید:

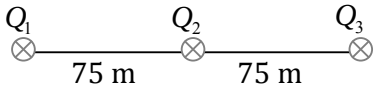
$$400 - h_w^2 = -\frac{R}{2K}(900^2 - 0.15^2) \rightarrow h_w = 22.1m$$

بنابراین در اثر پمپاژ میزان افت سطح آب در چاه برابر با $22.1 - 19.2 = 2.9m$ می باشد برای محاسبه نقطه ماکزیمم h' می توان ازمعادله ۳ $\frac{dh'}{dr}$ را بدست آورده و مساوی صفر فرض کرد. ولی راه حل ساده تر آن است که دبی را مساوی صفر قرار داد زیرا طبق قانون دارسی جایی که $\frac{dh'}{dr} = 0$ است دبی نیز صفر می شود. بنابراین طبق معادله ۲ می توان نوشت:

$$Q_w = \pi r^2 R \rightarrow r = \sqrt{\frac{Q_w}{\pi R}} = 252m$$

با قرار دادن $r = 252m$ در معادله ۳ مقدار ماکزیمم h' برابر با ۲۱/۵ متر بدست می آید.

۶-۴) سه چاه با فواصل ۷۵ متر و روی یک امتداد در یک لایه تحت فشار قرار گرفته اند. دبی چاه وسط Q_2 و دبی چاه اول و آخر Q_1 و Q_3 است . شعاع هر چاه ۱۲/۵ سانتی متر است. این سه چاه مجموعاً دبی $50\times10^{-3} m^3/s$ را تخلیه می کنند. مقدار دبی چاهها چقدر باشد تا افت سطح آب در هر سه چاه یکسان باشد.



حل:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 50\times10^{-3} m^3/s$$

$$S_{d1} = S_{d2} = S_{d3}$$

$$S_{d1} = \frac{Q_1}{2\pi T} Ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) + \frac{Q_2}{2\pi T} Ln\left(\frac{r_e}{75}\right) + \frac{Q_3}{2\pi T} Ln\left(\frac{r_e}{150}\right)$$

$$S_{d3} = \frac{Q_3}{2\pi T} Ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) + \frac{Q_2}{2\pi T} Ln\left(\frac{r_e}{75}\right) + \frac{Q_1}{2\pi T} Ln\left(\frac{r_e}{150}\right)$$

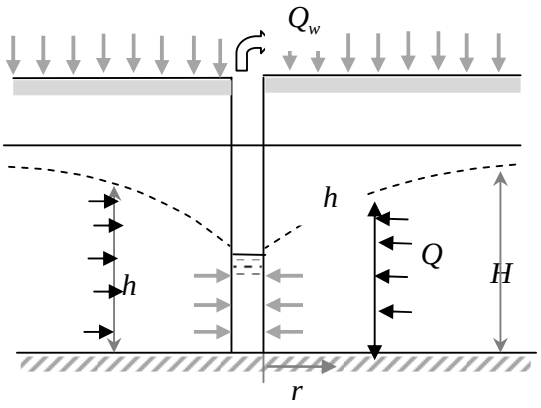
$$S_{d1} = S_{d3} \rightarrow Q_1 = Q_3$$

$$S_{d2} = \frac{Q_2}{2\pi T} Ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) + \frac{Q_1}{2\pi T} Ln\left(\frac{r_e}{75}\right) + \frac{Q_3}{2\pi T} Ln\left(\frac{r_e}{75}\right)$$

$$S_{d1} = S_{d2} \rightarrow \frac{Q_1}{2\pi T} Ln\left(\frac{75}{2r_w}\right) = \frac{Q_2}{2\pi T} Ln\left(\frac{75}{r_w}\right) \rightarrow Q_1 = 1.123 Q_2$$

$$\begin{cases} Q_1+Q_2+Q_3=50\times10^{-3} \\ Q_1=Q_3 \\ Q_1=1.123Q_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Q_1=17.3\times10^{-3}m^3/s \\ Q_2=15.4\times10^{-3}m^3/s \\ Q_3=17.3\times10^{-3}m^3/s \end{cases}$$

۶-۵) در یک سفره آزاد چاهی با دبی Q_w در حال پمپاژ می باشد. اگر میزان شدت یکنواخت تغذیه برابر با R باشد. اولا رابطه بین h و r را بدست آورید. ثانیا دبی چاه چگونـه محاسـبه می شود.



حل:

$$Q=2\pi rhK\frac{dh}{dr} \quad (1)$$

$$Q+\pi r^2R=Q_w \rightarrow Q=Q_w-\pi r^2R \qquad (2)$$

$$(1),(2)\rightarrow 2\pi rhK\frac{dh}{dr}=Q_w-\pi r^2R$$

$$\rightarrow \int_h^H 2\pi K h dh = \int_r^{r_e} (-\pi r R dr + \frac{Q_w}{r}) dr$$

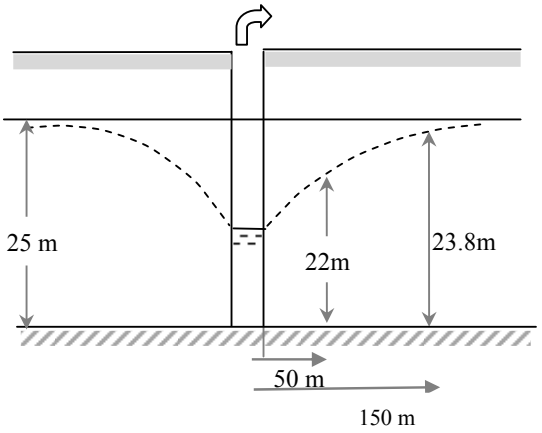
$$\rightarrow \pi K (H^2 - h^2) = -\frac{\pi}{2} R(r_e^2 - r^2) + Q_w Ln(r_e / r)$$

$$h^2 = H^2 - \frac{R}{2K}(r^2 - r_e^2) - \frac{Q_w}{\pi K} Ln(r_e / r)$$

$$\left| \begin{array}{l} r = r_e \\ \dfrac{dh}{dr} = 0 \end{array} \right. \rightarrow Q = 0 \rightarrow (2) \rightarrow Q_w = \pi r_e^2 R$$

رابطه فوق بیان می کند که به ازای تغذیه R باید میزان دبی تخلیه برابر $\pi r_e^2 R$ باشد تا سطح ایستایی ثابت بماند.

۶-۶) در یک سفره آزاد رقوم سطح ایستائی قبل ار پمپاژ ۲۵ متر است. در طی پمپاژ با دبی ۵۰ لیتر در ثانیه، افت سطح ایستائی در شعاعهای ۵۰ و ۱۵۰ متری به ترتیب ۳ و ۱/۲ متر است. مطلوبست هدایت هیدرولیکی و شعاع موثر.



حل:

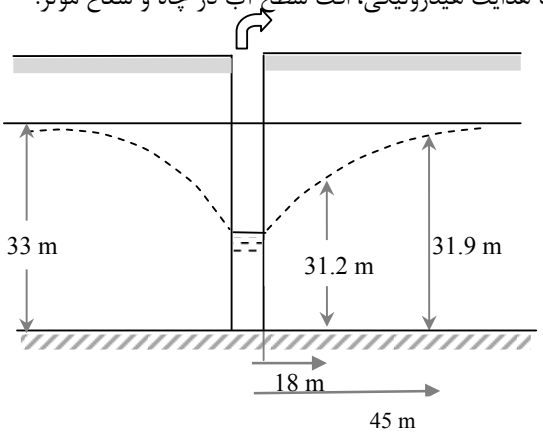
$$r_1 = 50m \rightarrow h_1 = 25 - 3 = 22m$$

$$r_2 = 150m \rightarrow h_2 = 25 - 1.2 = 23.8m$$

$$Q = \frac{\pi K(h_1^2 - h_2^2)}{Ln(r_1 / r_2)} \rightarrow 0.05 = \frac{\pi \times K \times (22^2 - 23.8^2)}{Ln(50/150)} \rightarrow K = 0.00021m/s$$

$$Q = \frac{\pi K(h_1^2 - H^2)}{Ln(r_1 / r_e)} \rightarrow 0.05 = \frac{\pi \times 0.00021 \times (22^2 - 25^2)}{Ln(50/r_e)} \rightarrow r_e = 327m$$

۶-۷) یک چاه کاملی به قطر نیم متر تا ۳۳ متر زیر سطح ایستائی حفر شده است. دبی پمپاژ ۸۰ مترمکعب در ساعت است. ، افت سطح ابستائی در شعاعهای ۱۸ و ۴۵ متری به ترتیب ۱/۸ و ۱/۱ متر است. مطلوبست هدایت هیدرولیکی، افت سطح آب در چاه و شعاع موثر.



حل:

$$r_1 = 18m \rightarrow h_1 = 33 - 1.8 = 31.2m$$

$$r_2 = 45m \rightarrow h_2 = 33 - 1.1 = 31.9m$$

$$Q = 80m^3/h = 80 \times 24 = 1920m^3/day$$

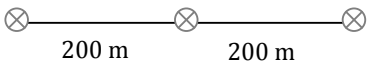
$$Q=\frac{\pi K(h_1^2-h_2^2)}{Ln(r_1/r_2)}\rightarrow 1920=\frac{\pi\times K\times(31.2^2-31.9^2)}{Ln(18/45)}\rightarrow K=12.7m/day$$

$$Q=\frac{\pi K(h_w^2-h_1^2)}{Ln(r_w/r_1)}\rightarrow 1920=\frac{\pi\times 12.7\times(h_w^2-31.2^2)}{Ln(0.25/18)}\rightarrow h_w=27.7m$$

بنابراین افت سطح آب در چاه برابر با $33-27.7=5.3m$ می باشد.

$$Q=\frac{\pi K(h_1^2-H^2)}{Ln(r_1/r_e)}\rightarrow 1920=\frac{\pi\times 12.7\times(31.2^2-33^2)}{Ln(18/r_e)}\rightarrow r_e=198m$$

۶-۸) سه چاه در یک مسیر مستقیم به فواصل ۲۰۰ متر در یک سفره تحت فشار حفر شده اند. قطر هر یک از چاهها ۴۰ سانتیمتر، ضریب قابلیت انتقال ۲۴۰۰ مترمربع بر روز، شعاع موثر هر چاه ۸۰۰ متر و ضخامت لایه آبده ۴۰ متر است. دبی چاهها را به گونه ای محاسبه کنید که افت در هر چاه از ۲ متر تجاوز نکند. (دبی چاه ها با هم مساویند)



حل:

$$T=2400m^2/day=27.8\times10^{-3}m^2/s$$

$$S_{d1}=\frac{Q}{2\pi T}Ln\left(\frac{r_e}{0.2}\right)+\frac{Q}{2\pi T}Ln\left(\frac{r_e}{200}\right)+\frac{Q}{2\pi T}Ln\left(\frac{r_e}{400}\right)$$

$$\rightarrow S_{d1}=59.39Q$$

چاه ۱ و ۳ شرایط یکسان دارند بنابراین:

$$S_{d3}=59.39Q$$

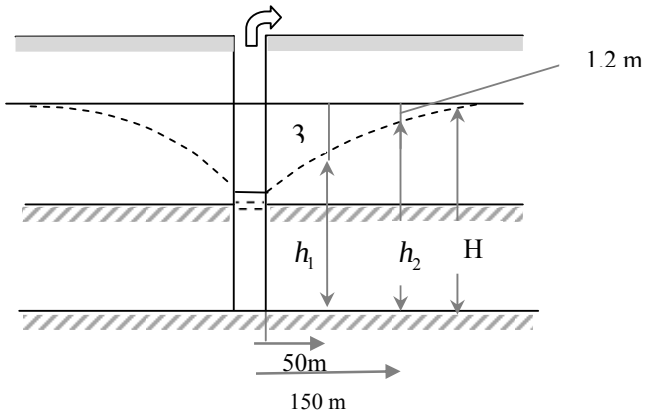
$$S_{d2}=\frac{Q}{2\pi T}Ln\left(\frac{r_e}{0.2}\right)+\frac{Q}{2\pi T}Ln\left(\frac{r_e}{200}\right)+\frac{Q}{2\pi T}Ln\left(\frac{r_e}{200}\right)$$

$\rightarrow S_{d2} = 63.36Q$

چون در چاه شماره ۲ بیشترین افت وجود دارد بنابراین می توان نوشت:

$$63.36Q \le 2 \rightarrow Q \le \frac{2}{63.36} \rightarrow Q \le 0.031 m^3/s$$

۶-۹) در یک سفره تحت فشار به ضخامت ۲۰ متر چاهی با دبی ۰/۰۵ متر مکعب در ثانیه در حال پمپاژ است. در طی پمپاژ ، افت سطح پیزومتریک در شعاعهای ۵۰ و ۱۵۰ متری به ترتیب ۳ و ۱/۲ متر است. مطلوبست هدایت هیدرولیکی.



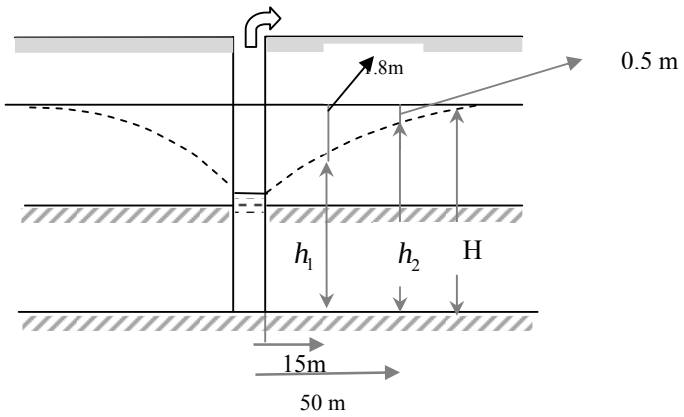
حل:

$$r_1 = 50m \rightarrow S_{d1} = 3m \rightarrow 3 = \frac{QLn(r_e/50)}{2\pi K \times 20}$$

$$r_2 = 150m \rightarrow S_{d2} = 1.2m \rightarrow 1.2 = \frac{QLn(r_e/150)}{2\pi K \times 20}$$

$$\rightarrow 3-1.2=\frac{QLn(150/50)}{2\pi K\times 20}\rightarrow K=0.0002428m/s=20.98m/day$$

۶-۱۰) در یک سفره تحت فشار به ضخامت ۳۰ متر چاهی به شعاع نیم متر با دبی ۲۷۱۲ متر مکعب در روز در حال پمپاژ است. در طی پمپاژ ، افت سطح پیزومتریک در شعاعهای ۵۰ و ۱۵ متری به ترتیب ۰/۵ و ۱/۸ متر است. مطلوبست افت سطح آب در چاه.



حل:

$$r_1=50m\rightarrow S_{d1}=1.8m\rightarrow 1.8=\frac{QLn(r_e/50)}{2\pi K\times 20}$$

$$r_2=150m\rightarrow S_{d2}=0.5m\rightarrow 0.5=\frac{QLn(r_e/150)}{2\pi K\times 20}$$

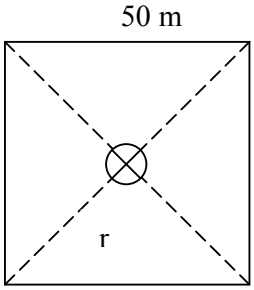
$$\rightarrow 1.8-0.5=\frac{QLn(150/50)}{2\pi K\times 30}\rightarrow K=13.3m/day$$

$$h_w-h_1=\frac{QLn(r_w/r_1)}{2\pi K\times 30}\rightarrow (H-S_{dw})-(H-1.8)=\frac{2712Ln(0.5/15)}{2\pi\times 13.3\times 230}$$

$$\rightarrow S_{dw}=5.5m$$

S_{dw} افت سطح آب در چاه است.

۶-۱۱) در یک سفره آزاد هدایت هیدرولیکی ۰/۸۶۴ متر در روز و فاصله سطح ایستایی اولیه تا مرز نفوذ ناپذیر ۱۹ متر است. در این سفره چاهی به قطر ۲۵ سانتیمتر با دبی مشخصی در حال پمپاژ می باشد. این چاه در وسط یک سایت مربعی شکل به ضلع ۵۰ متر حفر شده است. وظیفه این چاه پایین آوردن سطح ایستائی در سایت، حداقل به میزان ۳ متر می باشد. شدت تغذیه ۰/۰۶ متر در روز است. مطلوبست دبی چاه.



حل:

فاصله رئوس مربع تا چاه برابر با $\sqrt{25^2+25^2}=35.35m$ که در این نقاط کمترین افت ایجاد می شود. مقدار پتانسیل هیدرولیکی در این نقاط به صورت زیر محاسبه می شود:

$$h = H - S_d = 19 - 3 = 16m$$

از روابط مسئله ۶-۵ برای جریان شعاعی با تغذیه استفاده می شود:

$$h^2 = H^2 - \frac{R}{2K}(r^2 - r_e^2) - \frac{Q_w}{\pi K} Ln(r_e / r)$$

$$Q_w = \pi r_e^2 R$$

$$16^2 = 19^2 - \frac{0.06}{2\times 0.864}(35.35^2 - r_e^2) - \frac{\pi r_e^2 \times 0.06}{\pi \times 0.864} Ln(r_e / 35.35) \rightarrow r_e = 70m$$

$$\rightarrow Q_w = \pi \times 70^2 \times 0.06 = 924 m^3 / day = 10.69 lit / s$$

۷

جریان غیرماندگارشعاعی

توضیحات:

برای محاسبه افت جریان غیر ماندگار شعاعی از دو رابطه تیس و جیکوب استفاده می شود.
رابطه تیس به صورت زیر است:

$$S_d = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \qquad (۱-۷)$$

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = -0.5772 - Lnu + u - \frac{u^2}{2\times 2!} + \frac{u^3}{3\times 3!} - \frac{u^4}{4\times 4!} + ... \qquad (۲-۷)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \qquad (۳-۷)$$

که در روابط فوق S_d افت جریان در زمان t در نقطه ای به فاصله r از مرکز چاه و $W(u)$ تابع چاه می باشد که می تواند از سری فوق یا جدول ۷-۱ تعیین شود.
رابطه جیکوب با در نظر گرفتن فقط دو جمله اول سری ارائه شده در معادله ۷-۲ به صورت زیر بدست می آید:

$$S_d = \frac{2.3Q}{4\pi T} Log \frac{2.25Tt}{r^2 S} \qquad (۴-۷)$$

برای محاسبه افت در یک نقطه که تحت تاثیر چند چاه قرار دارد بایستی مجموع جبری افتها را محاسبه نمود. در این حالت افت چاههای تغذیه با علامت منفی و افت چاههای تخلیه با علامت مثبت وارد محاسبات می شود.

جدول ۷-۱ مقادیر u در مقابل $W(u)$

u	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\times 1$	0.219	0.049	0.013	0.0038	0.0011	3.6×10^{-4}	1.2×10^{-4}	3.8×10^{-5}	1.2×10^{-5}
$\times 10^{-1}$	1.82	1.22	0.91	0.7	0.56	0.45	0.37	0.31	0.26
$\times 10^{-2}$	4.04	3.35	2.96	2.65	2.47	2.3	2.15	2.03	1.92
$\times 10^{-3}$	6.33	5.64	5.23	4.96	4.73	4.54	4.39	4.26	4.14
$\times 10^{-4}$	8.63	7.94	7.53	7.25	7.02	6.84	6.69	6.55	6.44
$\times 10^{-5}$	10.94	10.24	9.84	9.55	9.33	9.14	8.99	8.86	8.74
$\times 10^{-6}$	13.24	12.55	12.14	11.85	11.63	11.45	11.29	11.16	11.04
$\times 10^{-7}$	15.54	14.85	14.44	14.15	13.96	13.75	13.6	13.46	13.34
$\times 10^{-8}$	17.84	17.15	16.74	16.45	16.23	16.05	15.9	13.76	15.65
$\times 10^{-9}$	20.15	19.45	19.05	18.76	18.54	18.35	18.2	18.07	17.95
$\times 10^{-10}$	22.45	21.76	21.35	21.06	20.54	20.66	20.5	20.37	20.25
$\times 10^{-11}$	24.75	24.06	23.65	23.36	23.14	22.96	22.81	22.67	22.55
$\times 10^{-12}$	27.05	26.36	25.96	25.67	25.44	25.26	25.11	24.97	24.86
$\times 10^{-13}$	29.36	28.66	28.26	27.97	27.75	27.56	27.41	27.28	27.16
$\times 10^{-14}$	31.66	30.97	30.56	30.27	30.05	29.87	29.71	29.58	29.46
$\times 10^{-15}$	33.96	33.27	32.86	32.58	32.35	32.17	32.02	31.88	31.76

مسائل:

۷-۱)چاهی با دبی ۴۰ لیتر در ثانیه در یک لایه آزاد با ضریب قابلیت انتقال ۰/۰۱۲ متر مربع بر ثانیه و ضریب ذخیره ۰/۱۷حفر شده است. مطلوبست افت سطح آب در فاصله ۱۰۰ متری از چاه در زمانهای ۱ و۱۰ و ۱۰۰ و ۱۰۰۰ روز از شروع پمپاژ به روش تیس .

حل:

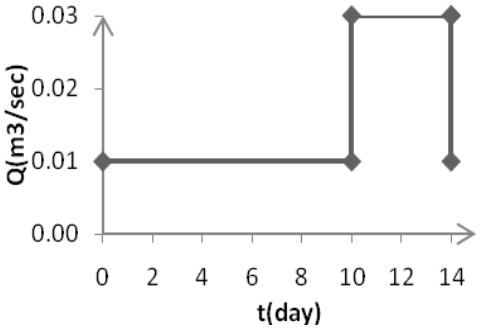
بر اساس معادلات ۷-۱ الی ۷-۳ و به ازای $r = 100m$ حل می شود. خلاصه محاسبات در

جدول زیر ارائه شده است:

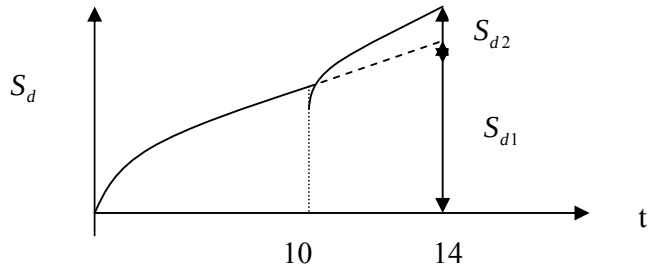
t(day)	1	10	100	1000
t(s)	86.4×10^3	864×10^3	864×10^4	864×10^5
u	0.41	0.041	0.0041	0.00041
W(u)	0.69	2.66	4.92	7.22
$S_d(m)$	0.18	0.7	1.31	1.92

۷-۲)چاهی با قطر ۰/۵ متر در یک لایه ای با با ضریب قابلیت انتقال ۰/۰۰۵ متر مربع بر ثانیه و ضریب ذخیره ۰/۱۵ حفر شده است. دو هفته پمپاژ صورت می گیرد . در ۱۰ روز اول دبی ۱۰ لیتر در ثانیه و در چهار روز آخر دبی ۳۰ لیتر در ثانیه می باشد افت سطح آب در چاه پس از پایان پمپاژ را به روش جیکوب محاسبه کنید.

حل:



برای محاسبه افت پس از ۱۴ روز ابتدا در طی ۱۴ روز با دبی ۰/۰۱ مترمکعب بر ثانیه محاسبه می شود (S_{d1}) ، سپس افت در طی ۴ روز با دبی (۰/۰۳-۰/۰۱=۰/۰۲) محاسبه می شود (S_{d2}) . سپس افت نهایی از مجموع این دو افت محاسبه می شود $(S_d = S_{d1} + S_{d2})$ جایگزین می شود. منحنی تغییرات افت نسبت به زمان را می توان به صورت زیر ترسیم نمود:



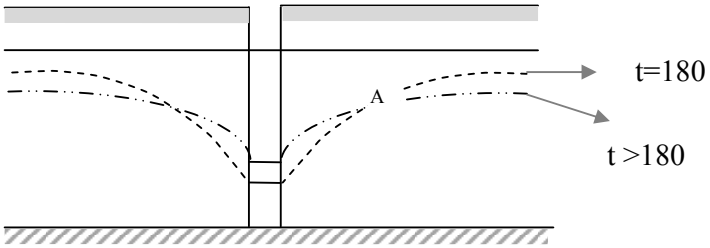
برای محاسبه هر کدام از افتها در معادله جیکوب $r = 0.25m$

$$S_{d1} = \frac{2.3 \times 0.01}{4\pi \times 0.005} Log\left(\frac{2.25 \times 0.005 \times 14 \times 24 \times 3600}{0.25^2 \times 0.15}\right) = 2.26m$$

$$S_{d2} = \frac{2.3 \times 0.02}{4\pi \times 0.005} Log\left(\frac{2.25 \times 0.005 \times 4 \times 24 \times 3600}{0.25^2 \times 0.15}\right) = 4.13m$$

$$S_d = 2.26 + 4.13 = 6.4m$$

۷-۳) چاهی به قطر ۰/۴ متر در یک لایه آزاد با ضریب ذخیره ۰/۲ و ضریب قابلیت انتقال ۰/۰۰۸ متر مربع بر ثانیه حفر شده است. بمدت ۱۸۰ روز با دبی ۲۵ لیتر در ثانیه پمپاژ صورت می گیرد و خاتمه می یابد. مطلوبست حداکثر افت در شعاع ۸۰۰ متری از چاه و همچنین حداکثر افت در سطح چاه به روش تیس.



حل:

حداکثر افت سطح آب در چاه در $t_0 = 180day = 15.5\times10^6 s$ اتفاق می افتد و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} = \frac{0.2^2 \times 0.2}{4\times0.008\times15.5\times10^6} = 1.61\times10^{-8} \rightarrow W(u) = 17.37$$

$$S_d = \frac{Q}{4\pi T}W(u) = \frac{0.025}{4\times3.14\times0.008}\times17.37 = 4.33m$$

بالا رفتن سطح ایستایی بعد از خاموش شدن چاه را بازیافت چاه گویند که بر اساس شکل فوق صورت می گیرد. در فاصله بین چاه تا نقطه A ماکزیمم افت پس از ۱۸۰ روز اتفاق می افتد. ولی از نقطه A به بعد ماکزیمم افت به t بزرگتر از ۱۸۰ روز می باشد. اگر فرض شود شعاع ۸۰۰ متر بعد از نقطه A قرار دارد مقدار افت در این شعاع در زمان t بزرگتر از ۱۸۰ روز اتفاق می افتد و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$S_d = S_t - S_{t-t_0}$$

$S_t =$ افت در زمان t با فرض این که در کل این مدت پمپاژ صورت گیرد.

S_{t-t_0} = افت در زمان $t-t_0$ با فرض اینکه با همان دبی پمپاژ صورت گیرد

$$S_d = \frac{Q}{4\pi T}W(u_t) - \frac{Q}{4\pi T}W(u_{t-t_0}) = 0.249[W(u_t) - W(u_{t-t_0})]$$

$$\frac{dS_d}{dt} = 0.249\left[\frac{dW(u_t)}{du_t}\times\frac{du_t}{dt} - \frac{dW(u_{t-t_0})}{du_{t-t_0}}\times\frac{du_{t-t_0}}{dt}\right]$$

با توجه به رابطه ۷-۲ می توان نوشت: $\frac{dW(u)}{du} = \frac{e^{-u}}{u}$ همچنین مشتقات u به صورت زیر محاسبه می شود:

$$u=\frac{800^2\times 0.2}{4\times 0.008t}\rightarrow u_t=\frac{4\times 10^6}{t}\rightarrow \frac{du_t}{dt}=\frac{-4\times 10^6}{t^2}$$
$$u_{t-t_0}=\frac{4\times 10^6}{t-t_0}\rightarrow \frac{du_{t-t_0}}{dt}=\frac{-4\times 10^6}{(t-t_0)^2}$$

حال می توان مشتق افت را محاسبه کرد و برای پیدا کردن ماکزیمم، آن را مساوی صفر قرار داد:

$$\frac{dS_d}{dt}=0.249\left[\frac{e^{-u_t}}{u_t}\times\frac{-4\times 10^6}{t^2}-\frac{e^{-u_{t-t_0}}}{u_{t-t_0}}\times\frac{-4\times 10^6}{(t-t_0)^2}\right]=0$$

تنها مجهول معادله فوق t است که به صورت سعی و خطا بدست می آید:

$$t=17\times 10^6 s=197day$$

بنابراین مقدار افت ماکزیمم برابر است با:

$$S_d=0.249\left(W\left(\frac{4\times 10^6}{17\times 10^6}\right)-W\left(\frac{4\times 10^6}{(17\times 10^6-15.5\times 10^6)}\right)\right)=$$
$$0.249(1.09-0.02)=0.27m$$

مقدار افت در $t=180day$ به صورت زیر محاسبه می شود:

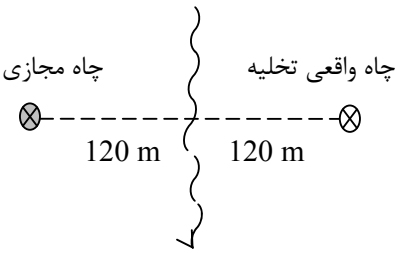
$$S_d=0.249\left(W\left(\frac{4\times 10^6}{15.5\times 10^6}\right)\right)=0.249\times 1.02=0.25m$$

بنابراین نتایج نشان می دهد که نقطه $r=800m$ سمت راست نقطه A قرار دارد.

۷-۴) چاهی به شعاع ۰/۲ متر در یک سفره آزاد با ضریب قابلیت انتقال ۰/۰۰۵ متر مربع بر ثانیه و ضریب ذخیره ۰/۳ با دبی ۸ لیتر در ثانیه در حال پمپاژ است. این چاه در فاصله ۱۲۰ متری رودخانه قرار دارد. رقوم سطح آب در رودخانه ۲۰ متر است. مطلوبست:

الف) افت سطح آب در داخل چاه بعد از هفت روز به روش تیس.

ب) پس از چند روز ۹۵ درصد افت حالت ماندگار اتفاق می افتد (در اینحالت شعاع مؤثر چاه ۲۴۰ متر منظور شود).



حل:

الف) اثر رودخانه به صورت یک چاه مجازی تغذیه بر اساس روش تصاویر منظور می شود.
بنابراین برای محاسبه افت در هر نقطه بایستی تاثیر هر دو چاه در نظر گرفته شود.

$$S_d = S_{d1} - S_{d2} = \frac{Q}{4\pi T}W(u_1) - \frac{Q}{4\pi T}W(u_2)$$

$$t = 7 \times 86400 = 604800s$$

$$r_1 = 0.2m \rightarrow u_1 = \frac{r_1^2 S}{4Tt} = 0.99 \times 10^{-6} \rightarrow W(u_1) = 13.25$$

$$r_2 = 240m \rightarrow u_2 = \frac{r_2^2 S}{4Tt} = 1.43 \rightarrow W(u_2) = 0.11$$

$$S_d = \frac{0.008}{4\pi \times 0.005}(13.25 - 0.11) = 1.67m$$

ب)

با گذشت زمان افت حالت غیر ماندگار به حالت ماندگار میل می کند. برای محاسبه افت حالت ماندگار به صورت زیر عمل می شود:

$$h^2 = \frac{1}{\pi K}\sum_{i=1}^{n} Q_i Lnr_i + c \rightarrow 20^2 = \frac{1}{\pi K}[(QLn120) + (-QLn120)] + c \rightarrow c = 400$$

ارتفاع سطح آب در چاه از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$h_w^2 = \frac{1}{\pi K}\sum_{i=1}^{n} Q_i Lnr_i + 400 = \frac{1}{\pi K}[(QLnr_w) + (-QLn240)] + 400 \rightarrow h_w = 18.1$$

$$K = \frac{KH}{H} = \frac{T}{H} = \frac{0.005}{20} = 0.25\times10^{-3} m/s$$

افت سطح آب در چاه حالت ماندگار = $H - 18.1 = 20 - 18.1 = 1.9m$

$$0.95\times1.9 = 1.7m$$

$$1.7 = \frac{Q}{4\pi T}W(u_1) - \frac{Q}{4\pi T}W(u_2)$$

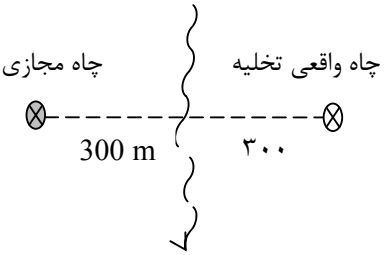
$$r_1 = r_w \rightarrow u_1 = \frac{r_w^2 S}{4Tt} = \frac{0.6}{t}$$

$$r_2 = 240 \rightarrow u_2 = \frac{240^2 S}{4Tt} = \frac{0.846\times10^6}{t}$$

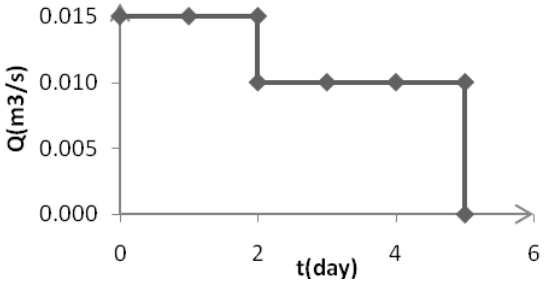
$$1.7 = 0.127\left(W\left(\frac{0.6}{t}\right) - W\left(\frac{0.846\times10^6}{t}\right)\right) \rightarrow t = 10^6 s = 12day$$

معادله فوق با سعی و خطا حل شده است.

۷-۵) چاهی به شعاع ۰/۲۵ متر در یک سفره آزاد با ضریب قابلیت انتقال ۰/۰۰۸ متر مربع بر ثانیه و ضریب ذخیره ۰/۲۵ در حال پمپاژ است. دبی چاه در ۲ روز اول پمپاژ ۱۵ و پس از آن ۱۰ لیتر در ثانیه می باشد. این چاه در فاصله ۳۰۰ متری رودخانه قرار دارد. مطلوبست افت سطح آب در چاه پس از ۵ روز به روش تیس.



حل:



$$S_d = \frac{Q}{4\pi T}[W(u_1) - W(u_2)]$$

$$r_1 = 0.25 \rightarrow u_1 = \frac{0.25^2 \times 0.25}{4 \times 0.008t} = \frac{0.488}{t}$$

$$r_2 = 600 \rightarrow u_2 = \frac{600^2 \times 0.25}{4 \times 0.008t} = \frac{2.813 \times 10^6}{t}$$

$$S_d = 9.95Q\left(W\left(\frac{0.488}{t}\right) - W\left(\frac{2.813 \times 10^6}{t}\right)\right)$$

ابتدا افت در ۵ روز(۴۳۲۰۰۰ ثانیه) با دبی ۰/۰۱۵ متر مکعب بر ثانیه (S_1) و سپس در طی ۳ روز(۲۵۹۲۰۰ ثانیه) با دبی ۰/۰۰۵ (۰/۰۱-۰/۰۱۵) متر مکعب بر ثانیه (S_2) محاسبه می شود. بنابراین می توان نوشت:

$$S_d = S_1 - S_2$$

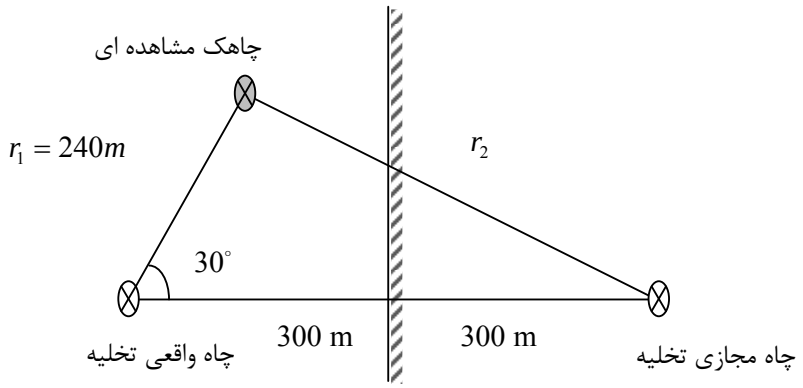
$$S_1 = 9.95 \times 0.015\left(W\left(\frac{0.488}{432 \times 10^3}\right) - W\left(\frac{2.813 \times 10^6}{432 \times 10^3}\right)\right) = 1.96m$$

$$S_2 = 9.95 \times 0.005 \left(W\left(\frac{0.488}{259.2 \times 10^3} \right) - W\left(\frac{2.813 \times 10^6}{259.2 \times 10^3} \right) \right) = 0.63m$$

$$S_d = 1.96 - 0.63 = 1.33m$$

۷-۶) در یک سفره تحت فشار با ضخامت ۲۰ متر، هدایت هیدرولیکی ۲۷/۶۵ متر در روز و ضریب ذخیره 3×10^{-5} چاهی حفر شده که به مدت ۱۰ ساعت با دبی ۰/۰۳متر مکعب بر ثانیه پمپاژ می شود. در ۳۰۰ متری این چاه یک لایه نفوذ ناپذیر وجود دارد. مقدار افت سطح آب در یک چاه مشاهده ای که در فاصله ۲۴۰ متری چاه پمپاژ و با زاویه ۳۰ قرار دارد را محاسبه کنید. نقش لایه نفوذ ناپذیر در ایجاد افت سطح آب در چاه مشاهده ای را به روش تیس محاسبه کنید.

حل:



$$r_2^2 = 240^2 + 600^2 - 2(600)(240)Cos(30) \rightarrow r_2 = 410m$$

$$r_1 = 240 \rightarrow u_1 = \frac{240^2 \times 3 \times 10^{-5}}{4 \times 20 \times 3.2 \times 10^{-4} \times 3600} = 0.018 \rightarrow W(u_1) = 5.72$$

$$r_2 = 410 \rightarrow u_2 = \frac{410^2 \times 3 \times 10^{-5}}{4 \times 20 \times 3.2 \times 10^{-4} \times 3600} = 0.053 \rightarrow W(u_2) = 4.64$$

$$S_d = S_{d1} + S_{d2} = \frac{Q}{4\pi T} W(u_1) + \frac{Q}{4\pi T} W(u_2)$$

$$S_d = \frac{0.03}{4\pi \times 20 \times 3.2 \times 10^{-4}} [W(u_1) + W(u_2)] = 0.373[5.72 + 4.64] =$$

$$2.127 + 1.73 = 3.86m$$

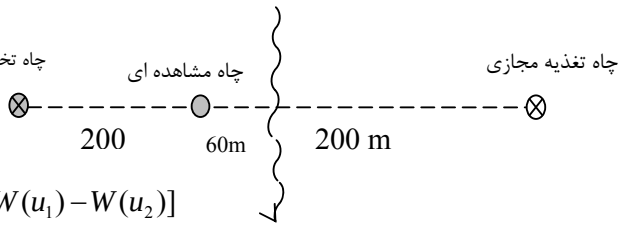
لایه نفوذ ناپذیر به اندازه زیر افت را افزایش می دهد:

$$\frac{Q}{4\pi T} W(u_2) = 1.73m$$

۷-۷) یک چاهی در یک سفره تحت فشار به قطر نیم متر در فاصله ۲۰۰ متری یک رودخانه در حال پمپاژ است. ضریب ذخیره برابر با ۰/۰۰۰۴ و ضریب قابلیت انتقال ۴۳۲ متر مربع در روز است. در فاصله ۶۰ متری از رودخانه یک چاه مشاهده ای وجود دارد که پس ازگذشت ۸ ساعت از پمپاژ افت سطح آب را ۰/۸ متر نشان میدهد. با استفاده از روش تیس مطلوبست:
الف) دبی چاه ب) افت سطح آب در چاه بعد از ۸ ساعت ج) تاثیر رودخانه بر روی افت سطح آب بعد از ۸ ساعت در چاهها

حل:

الف)



$$S_d = \frac{Q}{4\pi T} [W(u_1) - W(u_2)]$$

$$u_1 = \frac{140^2 \times 0.0004}{4 \times 432/86400 \times 8 \times 3600} = 1.361 \times 10^{-2} \rightarrow W(u_1) = 3.79$$

$$u_2 = \frac{260^2 \times 0.0004}{4 \times 432/86400 \times 8 \times 3600} = 4.96 \times 10^{-2} \rightarrow W(u_2) = 2.54$$

$$0.8 = \frac{Q}{4\pi \times 432/86400} \times (3.79 - 2.54) \rightarrow Q = 0.04 m^3/s$$

ب)

$$u_1 = \frac{0.25^2 \times 0.0004}{4 \times 432/86400 \times 8 \times 3600} = 4.34 \times 10^{-8} \rightarrow W(u_1) = 16.38$$

$$u_2 = \frac{400^2 \times 0.0004}{4 \times 432/86400 \times 8 \times 3600} = 0.111 \rightarrow W(u_2) = 1.75$$

$$S_d = \frac{Q}{4\pi T}[W(u_1) - W(u_2)] = \frac{0.04}{4\pi \times 432/86400} \times (16.38 - 1.75) = 9.31m$$

ج)

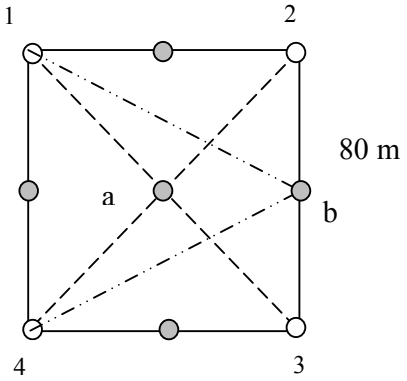
رودخانه افت سطح آب در چاه پمپاژ را به اندازه زیر کاهش می دهد:

$$S_d = \frac{0.04}{4\pi \times 432/86400} W\left(\frac{400^2 \times 0.0004}{4 \times 432/86400 \times 8 \times 3600}\right) = 1.11m$$

رودخانه افت سطح آب در چاه مشاهده ای را به اندازه زیر کاهش می دهد:

$$S_d = \frac{0.04}{4\pi \times 432/86400} W\left(\frac{260^2 \times 0.0004}{4 \times 432/86400 \times 8 \times 3600}\right) = 1m$$

۷-۸) در یک سایت مربعی به ضلع ۸۰ متر رقوم سطح آب ۹۰ منر میباشد که برای احداث ساختمان بایستی حداقل ۱/۵ متر پایین آورده شود. برای این منظور چهار چاه در چهار گوشه سایت به قطر ۰/۵ متر حفر می شود و بمدت یک ماه پمپاژ صورت میگیرد. اگر ضریب قابلیت انتقال ۱۶۰۰ متر مربع در روز و ضریب ذخیره ۰/۱۶ باشد ، با استفاده از روش جیکوب دبی پمپاژ را محاسبه کنید.



حل:

کمترین افت ممکن است در وسط سایت یا در وسط اضلاع آن اتفاق افتد.

۱) محاسبه افت در وسط سایت (a) :

فاصله a تا هر چاه برابر است با: $r = \sqrt{40^2 + 40^2} = 56.6m$

$$S_d = [\frac{2.3Q}{4\pi T} Log \frac{2.25Tt}{r^2 S}] \times 4$$

$$1.5 = [\frac{2.3Q}{4\pi \times 1600} Log \frac{2.25 \times 1600 \times 30}{56.6^2 \times 0.16}] \times 4 \rightarrow Q = 1409 m^3 / day$$

۲) محاسبه افت در وسط اضلاع (b) :

b فاصله چاه شماره ۲ و ۳ تا = 40 m

b فاصله چاه شماره ۱و ۴ تا = $\sqrt{80^2 + 40^2} = 89.44m$

$$1.5 = [\frac{2.3Q}{4\pi \times 1600} Log \frac{2.25 \times 1600 \times 30}{40^2 \times 0.16}] \times 2 +$$

$$[\frac{2.3Q}{4\pi \times 1600} Log \frac{2.25 \times 1600 \times 30}{89.44^2 \times 0.16}] \times 2 \rightarrow Q = 1441 m^3 / day$$

برای وسط اضلاع دیگر نیز همین نتیجه بدست می آید. بنابراین دبی بزرگتر یعنی ۱۴۴۱ متر مکعب در روز انتخاب می شود. اگر دبی کوچکتر انتخاب شود افت در b کمتر از ۱/۵ متر

خواهد شد.

۷-۹) در یک سفره تحت فشار دبی چاهی ۱۵ لیتر در ثانیه ، ضخامت سفره ۵ متر، ضریب ذخیره ۰/۰۰۰۱ و هدایت هیدرولیکی ۱۰ متر در روز است. با استفاده از روش جیکوب محاسبه کنید پس از چه مدت زمانی از گذشت پمپاژ سرعت افت سطح آب برابر با ۲ سانتیمتر در ساعت می شود.

حل:

$$\frac{dS_d}{dt} = 2cm/h = 5.55\times10^{-6} m/s$$

$$S_d = \frac{2.3Q}{4\pi T} Log\frac{2.25Tt}{r^2S} = \frac{2.3Q}{4\pi T}(Log\frac{2.25T}{r^2S}) + \frac{2.3Q}{4\pi T}(Logt)$$

$$= \frac{2.3Q}{4\pi T}(Log\frac{2.25T}{r^2S}) + \frac{Q}{4\pi T}(Lnt)$$

$$\frac{dS_d}{dt} = \frac{Q}{4\pi T}\times\frac{1}{t} \rightarrow \frac{0.015}{4\pi\times5\times10/86400}\times\frac{1}{t} = 5.55\times10^{-6} m/s$$

$$\rightarrow t = 371465s = 4.3day$$

۸

تعیین ضرائب هیدرودینامیکی لایه های آبده با استفاده از پمپاژ

توضیحات:

منظور از آزمایشات پمپاژ این است که مقادیر افت سطح آب نسبت بـه زمـان در نقطـه ای بـه فاصله r از چاه در حین پمپاژ قرائت شود. اگر این نقطه خود چاه باشد $r = r_w$ که r_w شـعاع چاه می باشد. برای تعیین ضرائب هیدرودینامیکی لایه هـای آبـده تحـت فشـار بـا اسـتفاده از آزمایشات پمپاژ دو روش زیر وجود دارد:

۱-روش تیس: با لگاریتم گیری از فرمولهای مربوط به روش تیس (روابط ۷-۱ و ۷-۳) خـواهیم داشت:

$$LogS_d = Log\frac{Q}{4\pi T} + LogW(u) \qquad (۱-۸)$$

$$Log\frac{r^2}{t} = Log\frac{4T}{S} + Logu \qquad (۲-۸)$$

بر اساس روابط فوق برای تعیین S و T ابتدا تغییرات S_d نسبت به r^2/t روی یـک کاغـذ لگاریتمی ترسیم می شود. سپس مقـادیر u در مقابـل W(u) روی کاغـذ لگـاریتمی دیگـری ترسیم می گردد. حال این دو نمودار را به موازات محور های خود آنقدر حرکت داده تا بر هـم منطبق شوند. سپس یک نقطـه بـه نـام نقطـه انطبـاق(match point) انتخـاب و از روی آن مقادیر $S_d, W(u), u, r^2/t$ قرائت می شوند. با داشتن این مقادیر و با استفاده از روابط ۷-۱ و ۷-۳ به راحتی می توان مقادیر S و T را محاسبه نمود.

۲-روش جیکوب : با لگاریتم گیری از رابطه جیکوب (رابطه ۷-۴) خواهیم داشت:

$$S_d = ALogB + ALogt \qquad (۳-۸)$$

که در رابطه فوق $A = \frac{2.3Q}{4\pi T}$ و $B = \frac{2.25T}{r^2 S}$ می باشد. برای تعیین ضرائب هیدرودینامیکی مقادیر S_d را نسبت به $Logt$ روی یک دستگاه مختصات خطی مشخص نموده و خطی به این نقاط برازش داده می شود. شیب این خط برابر با A می باشد که از روی آن مقدار T محاسبه می شود. عرض از مبدا این خط برابر با $ALogB$ است که از روی آن مقدار S محاسبه می گردد. همچنین می توان S_d را نسبت به t روی یک دستگاه نیمه لگاریتمی ترسیم نمود (t روی محور لگاریتمی). آنگاه برای محاسبه شیب خط بایستی یک سیکل کامل لگاریتمی در نظر گرفته شود. یعنی شیب برابر است با افت به ازای یک سیکل کامل لگاریتمی.

برای تعیین ضرائب هیدرودینامیکی سفره های آزاد از روابط زیر استفاده می شود:

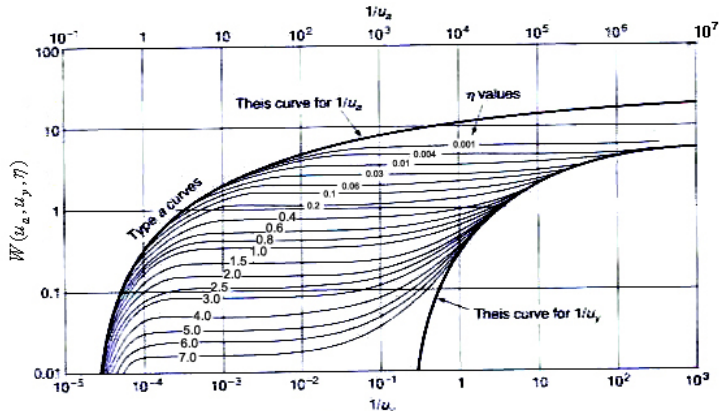
$$S_d = \frac{Q}{4\pi T} W(u_a, u_y, \eta) \qquad (۴-۸)$$

$$u_a = \frac{r^2 S}{4Tt} \qquad (۵-۸)$$

$$u_y = \frac{r^2 S_y}{4Tt} \qquad (۶-۸)$$

$$\eta = \frac{r^2 K_V}{b^2 K_h} \qquad (۷-۸)$$

که S_y آبدهی ویژه، K_V و K_h بترتیب هدایت هیدرولیکی عمودی و افقی و b ضخامت اولیه لایه آبده (قبل از پمپاژ) یا همان H می باشد. W در رابطه ۸-۴ تابع چاه می باشد که منحنی آن در شکل ۸-۱ ترسیم شده است.



شکل ۸-۱ نمودار تابع چاه در سفره های آزاد

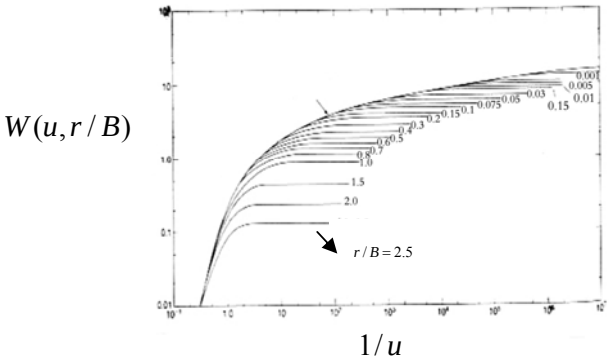
در این حالت منحنی افت نسبت به زمان بر روی کاغذ لگاریتمی ترسیم و مانند روش تیس روی منحنی تابع چاه برازش داده می شود. هر کدام از منحنی های تابع چاه که بیشترین برازش را با داده های اندازه گیری شده داشته باشد η آن انتخاب می شود. در این روش دو مرتبه برازش داده می شود. یک مرتبه برای ابتدای منحنی افت نسبت به زمان و بار دیگر برای انتهای آن. در برازش اول t, S_d, W, u_a قرائت و S و T محاسبه می شود. در برازش دوم t, S_d, W, u_y قرائت و S_y, K_h, K_v محاسبه می شود.

برای تعیین ضرائب هیدرودینامیکی سفره های تحت فشار نشتی (محدود به یک مرز نفوذ ناپذیر در پایین و یک لایه نیمه نفوذ ناپذیر در بالا) از فرمول تیس (رابطه ۷-۱) استفاده می شود. با این تفاوت که تابع چاه به صورت $W(u, r/B)$ می باشد که نمودار آن در شکل ۸-۲ ارائه شده است . r/B نیز به صورت زیر تعریف شده است:

$$\frac{r}{B} = \frac{r}{\sqrt{T/(K'/b')}} \qquad (۸-۸)$$

که K' هدایت هیدرولیکی لایه نیمه نفوذ ناپذیر و b' ضخامت آن است. T ضریب قابلیت

انتقال لایه تحت فشار نشتی و r فاصله نقطه اندازه گیری افت سطح آب تا چاه می باشد.



شکل ۸-۲ نمودار تابع چاه در سفره های تحت فشار نشتی

در این حالت منحنی افت نسبت به زمان بر روی کاغذ لگاریتمی ترسیم و مانند روش تیس روی منحنی تابع چاه برازش داده می شود. هر کدام از منحنی های تابع چاه که بیشترین برازش را با داده های اندازه گیری شده داشته باشد r/B آن انتخاب می شود. سپس یک نقطه انطباق انتخاب می شود و مانند روش تیس چهار کمیت $S_d, W(u), u, t$ قرائت می شود و مقادیر S و T محاسبه می شود. سپس از روی r/B انتخاب شده هدایت هیدرولیکی لایه نیمه نفوذ ناپذیر تعیین می شود.

۸-۱) مقدار افت سطح آب در یک چاه مشاهده ای بفاصله ۶۰ متر از چاه اصلی در یک سفره تحت فشار بصورت ریر است. دبی چاه پمپاژ ۲۵۰۰ مترمکعب در روز است. با استفاده از روش تیس T و S را بدست آورید.

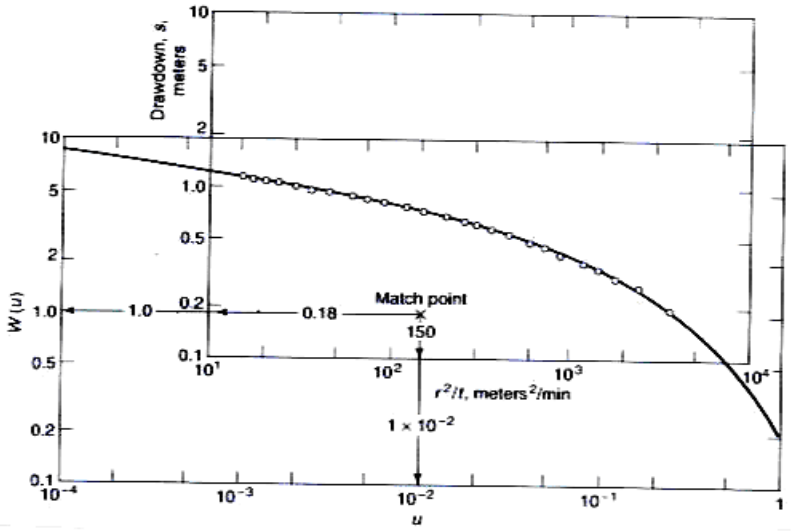
زمان (دقیقه)	افت (متر)	زمان (دقیقه)	افت (متر)	زمان (دقیقه)	افت (متر)	زمان (دقیقه)	افت (متر)
۰	۰	۵	۰/۴۵	۲۴	۰/۷۲	۱۲۰	۱
۱	۰/۲	۶	۰/۴۸	۳۰	۰/۷۶	۱۵۰	۱/۰۴
۱/۵	۰/۲۷	۸	۰/۵۳	۴۰	۰/۸۱	۱۸۰	۱/۰۷
۲	۰/۳	۱۰	۰/۵۷	۵۰	۰/۸۵	۲۱۰	۱/۱
۲/۵	۰/۳۴	۱۲	۰/۶	۶۰	۰/۹	۲۴۰	۱/۱۲
۳	۰/۳۷	۱۴	۰/۶۳	۸۰	۰/۹۳		
۴	۰/۴۱	۱۸	۰/۶۷	۱۰۰	۰/۹۶		

حل:

مقادیر افت نسبت به $\frac{r^2}{t}$ به ازای $r = 60m$ بر روی کاغذ لگاریتمی ترسیم می شود. سپس مقادیر u در مقابل $W(u)$ روی کاغذ لگاریتمی دیگری ترسیم می گردد. حال این دو نمودار را به موازات محور های خود آنقدر حرکت داده تا بر هم منطبق شوند(شکل ۸-۳). سپس یک نقطه به نام نقطه انطباق انتخاب و از روی آن مقادیر $S_d, W(u), u, r^2/t$ به شرح زیر قرائت می شود:

$$S_d = 0.18m \quad ، \quad \frac{r^2}{t} = 150m^2/\min \text{ ، } W(u) = 1 \text{ و } u = 0.01$$

$$S_d = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \rightarrow 0.18 = \frac{2500}{4\pi T} \times 1 \rightarrow T = 1105m^2/day$$



شکل ۸-۳ منحنی تعیین ضرائب هیدرودینامیکی سفره های تحت فشار **در** مثال ۸-**۱**

۸-۲) در مسئله قبل با استفاده از روش جیکوب T و S را بدست آورید.

حل:

مقادیر S_d نسبت به $Logt$ روی یک دستگاه مختصات خطی مشخص نموده و خطی به این نقاط برازش داده می شود. شیب این خط برابر با $A=\frac{2.3Q}{4\pi T}$ می باشد که از روی آن مقدار T محاسبه می شود. عرض از مبدا این خط برابر با $ALogB$ است.($B=\frac{2.25T}{r^2S}$) که از روی آن مقدار S محاسبه می گردد. بنابراین بر اساس معادله خط بدست آمده می توان

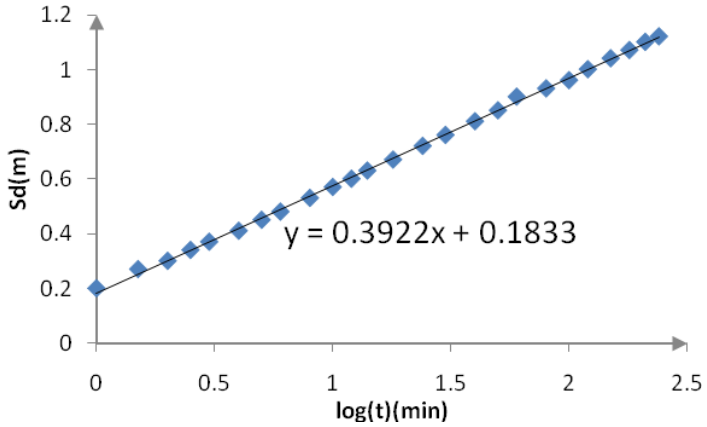
نوشت:

$$A=\frac{2.3Q}{4\pi T}\rightarrow 0.3922=\frac{2.3\times 2500}{4\pi T}\rightarrow T=1167m^2/day=0.81m^2/\min$$

$$ALogB=0.1833\rightarrow 0.3922Log\frac{2.25T}{r^2S}=0.1833\rightarrow$$

$$Log\frac{2.25T}{r^2S}=0.4674\rightarrow$$

$$\frac{2.25T}{r^2S}=2.933\rightarrow\frac{2.25\times 0.81}{60^2\times S}=2.933\rightarrow S=0.000173$$



۸-۳) در یک سفره تحت فشار در مدت ۲۴۰ دقیقه پمپاژ با دبی ۲۵۰۰ مترمکعب در روز انجام می شود. پس ازخاموش کردن پمپ مقادیر افت در زمانهای مختلف داده شده است. مطلوبست ضریب قابلیت انتقال با استفاده ازروش جیکوب.

زمان از شروع پمپاژ(دقیقه)	افت سطح آب (متر)	زمان از شروع پمپاژ(دقیقه)	افت سطح آب (متر)
۲۴۱	۰/۸۹	۲۷۰	۰/۳۸
۲۴۲	۰/۸۱	۲۸۰	۰/۳۴
۲۴۳	۰/۷۶	۳۰۰	۰/۲۸
۲۴۵	۰/۶۸	۳۲۰	۰/۲۴
۲۴۷	۰/۶۴	۳۴۰	۰/۲۱
۲۵۰	۰/۵۶	۳۸۰	۰/۱۷
۲۵۵	۰/۴۹	۴۲۰	۰/۱۴
۲۶۰	۰/۵۵		

حل:

این مسئله روش بازیافت چاه را جهت تخمین ضریب قابلیت انتقال بیان می کند. در این حالت می توان نوشت:

مقدار افت بعد از زمان t از شروع پمپاژ

$$S_{d1} = \frac{2.3Q}{4\pi T} Log \frac{2.25Tt}{r^2 S}$$

بعد از از قطع پمپاژ t' مقدار افت در مدت زمان

$$S_{d2} = \frac{2.3Q}{4\pi T} Log \frac{2.25Tt'}{r^2 S}$$

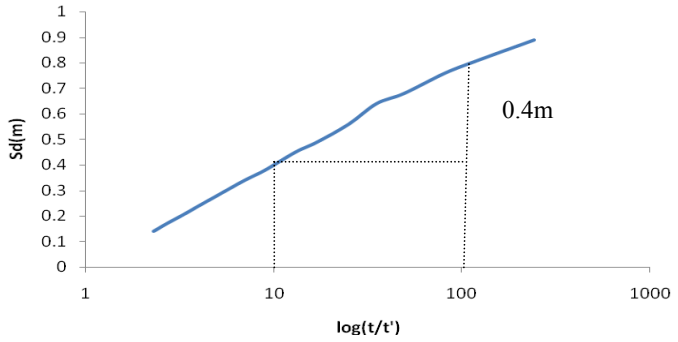
چون بعد از قطع پمپاژ سطح آب بالا می آید بنابراین افت سطح آب کاهش می یابد. بنابراین:

$$S_d = S_{d1} - S_{d2} = \frac{2.3Q}{4\pi T} Log \frac{t}{t'}$$

بناراین اگر روی یک کاغذ نیمه لگاریتمی $\frac{t}{t'}$ در مقابل S_d ترسیم شود شیب خط حاصل

$\frac{2.3Q}{4\pi T}$ می باشد که از روی آن T قابل محاسبه است. با توجه به نمودار ترسیم شده می توان شیب آن را به ازای یک سیکل لگاریتمی بدست آورد که برابر با ۰/۴ می باشد. بنابراین می توان نوشت:

$$0.4 = \frac{2.3Q}{4\pi T} \rightarrow 0.4 = \frac{2.3\times 2500}{4\pi T} \rightarrow T = 1144 m^2/day$$



۸-۴) در یک سفره آزاد چاهی با دبی ۱۴۴/۴ فوت مکعب بر دقیقه حفر شده است. ضخامت اولیه لایه آبده ۲۵ فوت است. در یک چاه مشاهده ای به فاصله ۷۳ فوت از چاه پمپاژ مقادیر افت سطح آب به شرح زیر قرائت شده است. مطلوبست S_y, T, S, K_h, K_v

زمان (دقیقه)	افت (فوت)	زمان (دقیقه)	افت (فوت)	زمان (دقیقه)	افت (فوت)	زمان (دقیقه)	افت (فوت)
۰/۱۶۵	۰/۱۲	۱/۲۴	۰/۷۲	۴	۰/۹۷	۳۵	۱/۱۵
۰/۳۴	۰/۲۶	۱/۴۲	۰/۷۶	۵	۰/۹۸	۵۰	۱/۱۹
۰/۵	۰/۳۹	۱/۶۸	۰/۸۲	۷	۱	۷۰	۱/۲۵
۰/۶۶	۰/۴۹	۲	۰/۸۶	۹	۱/۰۱۵	۹۰	۱/۲۹
۰/۸۳	۰/۵۷	۲/۳۵	۰/۹	۱۲	۱/۰۳	۱۲۰	۱/۳۶
۰/۹۲	۰/۶۱	۲/۶۵	۰/۹۲	۱۸	۱/۰۵	۲۰۰	۱/۵۲

۱/۶۵	۳۰۰	۱/۰۸	۲۵	۰/۹۴	۳	۰/۶۷	۱/۰۸

حل:

ابتدا مقادیر افت نسبت به زمان در یک کاغذ لگاریتمی ترسیم می شود. سپس داده های ابتدایی افت بر روی تابع چاه مربوط به سفره های آزاد برازش داده می شود(منحنی بالایی در شکل ۸-۴) بیشترین برازش به ازای $\eta = 0.06$ بدست آمده است (η مقادیر درج شده روی منحنی ها) همچنین بر اساس این برازش یک نقطه انطباق انتخاب و داده های زیر قرائت می شود:

$$t = 0.17\,\text{min} \quad ، \quad S_d = 0.57\,ft \quad ، \quad \frac{1}{u_a} = 1 \quad و \quad W(u_a, u_y, \eta) = 1$$

$$S_d = \frac{Q}{4\pi T} W(u_a, u_y, \eta) \rightarrow 0.57 = \frac{144.4}{4\pi T} \times 1 \rightarrow T = 20.16 m^2/\text{min}$$

$$u_a = \frac{r^2 S}{4Tt} \rightarrow 1 = \frac{73^2 \times S}{4 \times 20.16 \times 0.17} \rightarrow S = 0.00257$$

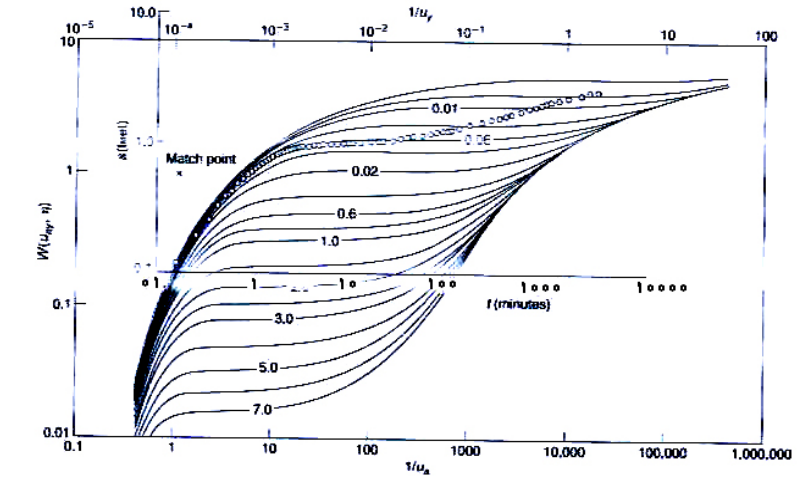
از برازش داده های انتهایی افت(منحنی پایینی شکل ۸-۴) و انتخاب یک نقطه انطباق داده های زیر قرائت می شود:

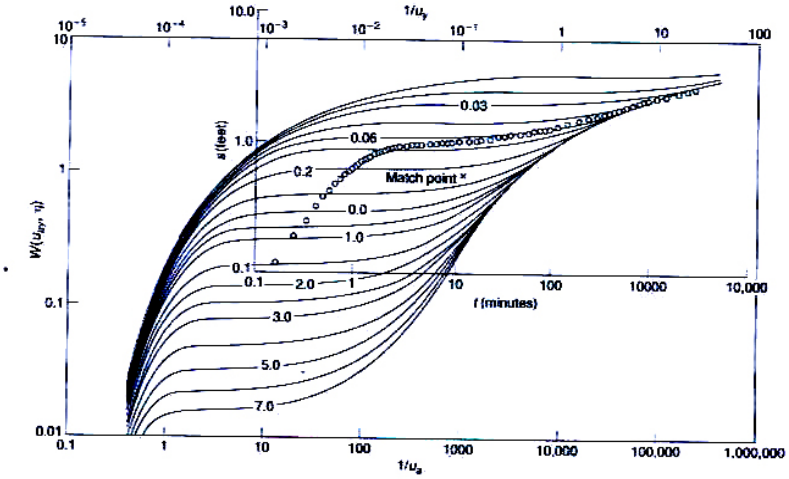
$$t = 13\,\text{min}, S_d = 0.57\,ft, \frac{1}{u_y} = 0.1, W(u_y) = 1$$

$$u_y = \frac{r^2 S_y}{4Tt} \rightarrow 10 = \frac{73^2 \times S_y}{4 \times 13 \times 20.16} \rightarrow S_y = 0.02$$

$$T = K_h H \rightarrow K_h = \frac{20.16}{25} = 0.8064\,ft/\text{min} = 1161\,ft/day$$

$$\eta = \frac{r^2 K_V}{b^2 K_h} \rightarrow 0.06 = \frac{73^2 K_V}{25^2 \times 1161.22} \rightarrow K_V = 0.82\,ft/day$$





شکل ۸-۴ منحنی تعیین ضرائب هیدرودینامیکی سفره آزاد در مثال ۸-۴

۸-۵) در یک سفره تحت فشار نشتی چاهی با دبی ۶۰۰ فوت مکعب در ثانیه در حال پمپاژ

است. ضخامت لایه کم آبده (آکی تارد) ۱۴ فوت است. یک چاه مشاهده ای در فاصله ۴۰ فوتی از چاه پمپاژ انتخاب شده و مقادیر افت سطح آب نسبت به زمان بصورت زیر ارائـه شـده اسـت. مطلوبست T, S, K'

زمان (دقیقه)	افت (فوت)	زمان (دقیقه)	افت (فوت)	زمان (دقیقه)	افت (فوت)	زمان (دقیقه)	افت (فوت)
۰	۰	۲۰	۹/۹۹	۸۰	۱۲/۰۲	۲۱۰	۱۳/۰۹
۲	۵/۶۵	۲۵	۱۰/۳۵	۹۰	۱۲/۲۶	۲۴۰	۱۳/۱۳
۴	۶/۹۶	۳۰	۱۰/۷	۱۰۰	۱۲/۳۳	۲۷۰	۱۳/۲۵
۶	۷/۷۲	۴۰	۱۱/۱۴	۱۱۰	۱۲/۳۷	۳۰۰	۱۳/۳۳
۸	۸	۵۰	۱۱/۴۶	۱۲۰	۱۲/۴۱	۳۶۰	۱۳/۳۷
۱۰	۸/۷۱	۶۰	۱۱/۶۲	۱۵۰	۱۲/۶۹	۴۲۰	۱۳/۴۱
۱۵	۹/۴۷	۷۰	۱۱/۸۶	۱۸۰	۱۲/۸۵		

حل:

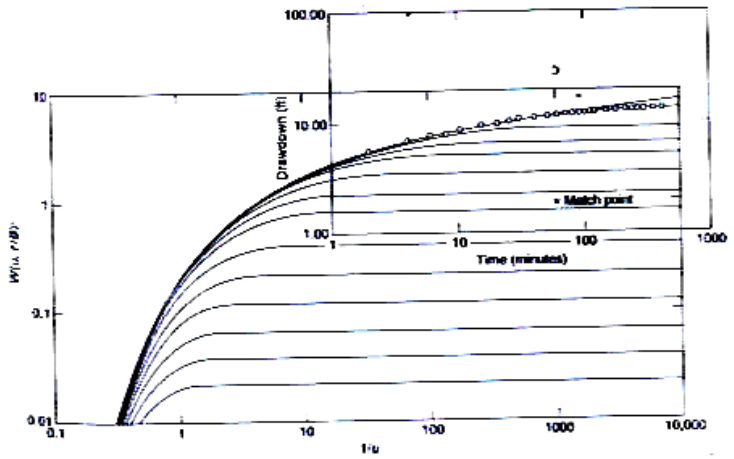
مقادیر افت نسبت به زمان روی کاغذ لگاریتمی ترسیم و بر منحنی تابع چاه مربوط به سفره های تحت فشار نشتی برازش داده می شود(شکل ۸-۵) بهترین برازش به ازای $r/B = 0.03$ اتفاق می افتد. سپس یک نقطه انطباق انتخاب و داده های زیر قرائت می شود:

$$t = 59\,\text{min}, S_d = 1.93\,ft, W(u, r/B) = 1, \frac{1}{u} = 1000 \rightarrow u = 0.001$$

$$S_d = \frac{Q}{4\pi T} W(u\ ) \rightarrow 1.93 = \frac{600 \times 60 \times 24}{4\pi T} \times 1 \rightarrow T = 35642\ ft^2/day$$

$$u = \frac{r^2 S}{4tT} \rightarrow 0.001 = \frac{40^2 \times S}{4 \times \frac{59}{24 \times 60} \times 35642} \rightarrow S = 0.00365$$

$$\frac{r}{B} = \frac{r}{\sqrt{T/(K'/b')}} \rightarrow 0.03 = \frac{40}{\sqrt{35624/(K'/14)}} \rightarrow K' = 0.28\,ft/day$$



شکل ۸-۵ منحنی تعیین ضرائب هیدرودینامیکی سفره های تحت فشار نشتی در مثال ۸-۵

۹

تعیین ضرائب هیدرودینامیکی لایه های آبده با استفاده از آزمایش اسلاگ

توضیحات:

این روش عبارت است از داخل کردن یک جسم جامد (اسلاگ[1]) صلب داخل چاه و به دنبال آن بالا آمدن سریع سطح آب داخل چاه و سپس قرائت کردن سطح آب داخل چاه در حین پایین آمدن نسبت به زمان و رسیدن سطح ایستایی اولیه. همچنین می توان با خارج کردن یک جسم صلب از چاه و پایین آمدن سریع سطح آب داخل چاه و قرائت کردن سطح آب داخل چاه در حین بالا آمدن نسبت به زمان، این آزمایش را انجام داد.

به جای جسم صلب می توان حجم معینی از آب را تزریق یا تخلیه کرد، پس از قرائت بالا آمدگی یا پائین آمدگی سطح آب در چاه ضرائب هیدرودینامیکی سفره با روش های زیر قابل محاسبه می باشد:

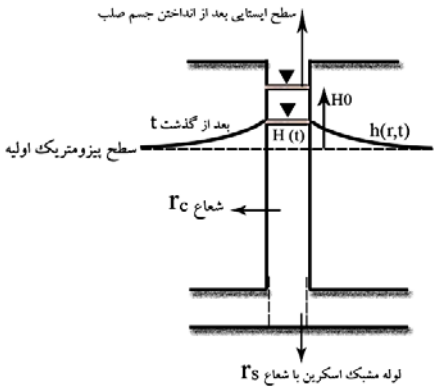
الف) روابط مربوط به سفره های تحت فشار:

۱- رابطه کوپر[2] و همکاران: در این روش مطابق شکل ۹-۱ پس از انداختن جسم جامد به داخل چاه، سطح آب در چاه نسبت به حالت اولیه به اندازه H_0 بالا می آید. سپس در زمانهای مختلف، پایین آمدن سطح آب قرائت و $H(t)$ نامیده می شود. کوپر و همکاران رابطه ۹-۱ را بین H_0 و $H(t)$ ارائه نمودند:

---

[1] -Slug

[2]. Cooper



شکل ۹-۱ شکل مربوط به روش کوپر و همکاران

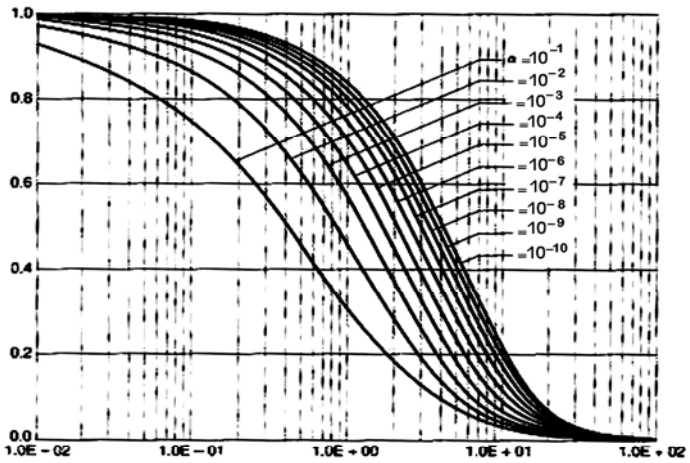
$$\frac{H(t)}{H_0} = f(\alpha, \beta) \qquad (۱-۹)$$

که

$$\alpha = \frac{r_s^2}{r_c^2} S \qquad (۲-۹)$$

$$\beta = \frac{Tt}{r_c^2} \qquad (۳-۹)$$

در روابط فوق r_c شعاع لوله جدار و r_s شعاع لوله مشبک می باشد. تابع f در شکل ۹-۲ ترسیم شده است. پس از قرائت های سطح آب، منحنی تغییرات $\frac{H(t)}{H_0}$ نسبت به زمان روی کاغذ نیمه لگاریتمی ترسیم می شود (زمان روی محور افقی و به صورت لگاریتمی). سپس منحنی به دست آمده را به موازات محور های نمودار f (شکل ۹-۲) حرکت داده تا بهترین تطابق به دست آید.



شکل ۹-۲ نمودار f در روش کوپر و همکاران

این تطابق به ازای یکی از مقادیر α اتفاق می افتد که بر این اساس با استفاده از معادله ۹-۲ ضریب ذخیره محاسبه می شود. سپس با در نظر گرفتن یک نقطه انطباق مقادیر t و β تعیین می شود (t از نمودار ترسیم شده و β از نمودار ۹-۲). بنابراین با استفاده از رابطه ۹-۳ می توان T را محاسبه کرد و از تقسیم آن به ضخامت سفره، هدایت هیدرولیکی قابل محاسبه است.

۲-روش ورسلف[1]: در این روش رابطه بین $\frac{H(t)}{H_0}$ و t به صورت زیر بیان می شود:

$$Ln\frac{H(t)}{H_0}=\frac{-2Kl_e t}{r_c^2 Ln\frac{R_e}{r_s}} \qquad (۹-۴)$$

1. Hvorselev

که r_c شعاع چاه یا لوله جدار، r_s شعاع لوله مشبک که اگر با فیلتر سنگریزه ای احاطه شده باشد ضخامت آن نیز اضافه می شود. l_e طول لوله مشبک یا طول فیلتر سنگریزه ای هر کدام که بزرگتر باشد. R_e شعاع موثر اسلاگ که معمولا برابر با l_e یا $200r_s$ در نظر گرفته می شود.

در این روش روی یک کاغذ نیمه لگاریتمی منحنی مقادیر $\frac{H(t)}{H_0}$ نسبت به زمان ترسیم می شود. (زمان روی محور افقی و به صورت خطی) ورسلف پیشنهاد کرده است که برای محاسبه هدایت هیدرولیکی یک نقطه روی این منحنی انتخاب شود که بهتر است نقطه ای باشد که در آن $\frac{H(t)}{H_0}$ برابر با ۰/۳۶۸ باشد. بنابراین از رابطه ۹-۴ نتیجه می شود:

$$Ln(0.368) = \frac{-2Kl_e t_1}{r_c^2 Ln\frac{R_e}{r_s}} \rightarrow K = \frac{r_c^2 Ln(\frac{R_e}{r_s})}{2l_e t_1} \qquad (۵-۹)$$

که t_1 زمانی است که $\frac{H(t)}{H_0}$ برابر با ۰/۳۶۸ می باشد. با استفاده از رابطه ۹-۵ می توان هدایت هیدرولیکی را بدست آورد که با ضرب آن در ضخامت سفره، ضریب قابلیت انتقال محاسبه می شود.

ب) روابط مربوط به سفره های آزاد:

۱- روش بوور و رایس[1]: در این روش از رابطه مربوط به روش ورسلف استفاده می شود با این تفاوت که $Ln\left(\frac{R_e}{r_s}\right)$ برای چاه کامل از رابطه ۹-۶ و برای چاه ناقص از رابطه ۹-۷ بدست

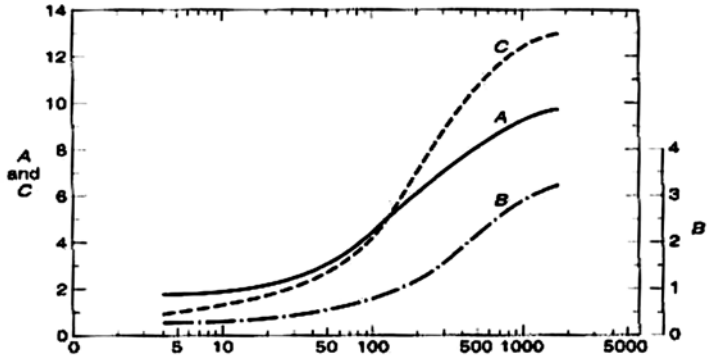
1. Bouwer & Rice

می آید:

$$Ln\left(\frac{R_e}{r_s}\right)=\left[\frac{1.1}{Ln(l_w/r_s)}+\frac{C}{l_e/r_s}\right]^{-1} \qquad (۶-۹)$$

$$Ln\left(\frac{R_e}{r_s}\right)=\left[\frac{1.1}{Ln(l_w/r_s)}+\frac{A+BLn\left[(H_0-l_w)/r_s\right]}{l_e/r_s}\right]^{-1} \qquad (۷-۹)$$

که l_W فاصله سطح ایستایی اولیه تا کف چاه می باشد و ضرایب A,B,C تابعی از $\frac{l_e}{r_s}$ است که با توجه به شکل ۹-۳ به دست می آید.



$$\frac{l_e}{r_s}$$

شکل ۳-۹ منحنی مربوط به روش بوور و رایس

۲-روش داگان[1]: در این روش مانند روش قبل منحنی تغییرات $\frac{H(t)}{H_0}$ نسبت به زمان روی کاغذ نیمه لگاریتمی (زمان روی محور افقی و به صورت خطی) ترسیم می شود. سپس به ازای

1. Dagan

$\frac{H(t)}{H_0} = 0.368$ مقدار t_1 به دست می آید. بر این اساس هدایت هیدرولیکی از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$K = \frac{r_c^2}{2l_e t_1 p} \qquad (۸-۹)$$

مقدار p با استفاده از یکی از جداول ۹-۱ یا ۹-۲ قابل محاسبه است. (در این جداول $\Psi = \frac{r_c}{l_e}$، H فاصله سطح ایستایی اولیه تا لایه نفوذ ناپذیر است که در چاه کامل برابر با l_w می باشد)

جدول ۹-۱ مقادیر p در روش داگان

	$(l_w+l_e)/l_e$				
ψ	**8**	**4**	**2**	**1.5**	**1.05**
0.2	0.646	0.663	0.705	0.756	1.045
0.1	0.477	0.487	0.505	0.531	0.687
0.067	0.409	0.416	0.429	0.446	0.562
0.05	0.367	0.373	0.385	0.379	0.491
0.033	0.322	0.325	0.335	0.352	0.414
0.025	0.294	0.297	0.305	0.322	0.37
0.02	0.276	0.278	0.287	0.301	0.342
0.013	0.247	0.249	0.255	0.269	0.3
0.01	0.23	0.231	0.238	0.25	0.276
0.0067	0.211	0.21	0.213	0.227	0.248
0.005	0.198	0.199	0.201	0.213	0.23

جدول ۹-۲ مقادیر p در روش داگان

l_e/H

ψ	1	0.83	0.67	0.5	0.2
0.2	1.289	0.723	0.631	0.576	0.51
0.1	0.8	0.510	0.46	0.428	0.39
0.05	0.536	0.384	0.354	0.335	0.312
0.025	0.388	0.305	0.286	0.273	0.258
0.01	0.279	0.238	0.227	0.219	0.209

مسائل:

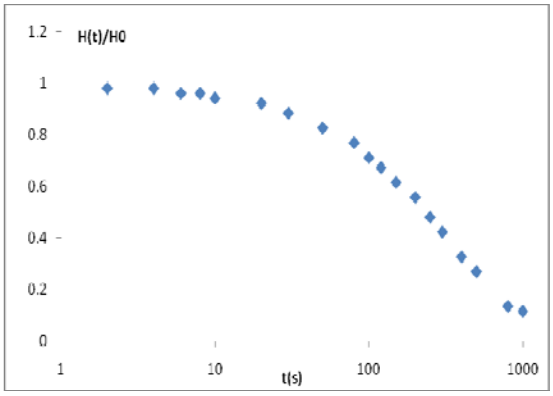
۹-۱) در یک سفره تحت فشار به ضخامت ۵ متر چاهی حفر شده که شعاع لوله جدار ۸/۸ و شعاع لوله مشبک ۵/۶ سانتیمتر است. بعد از تزریق حجم معینی از آب به داخل چاه سطح آب داخل آن ۰/۵۲ متر بالاتر از سطح اولیه خود قرار میگیرد. سپس پایین آمدن سطح آب نسبت به زمان به شرح جدول زیر قرائت شده است. مطلوبست ضرائب هیدرودینامیکی به روش کوپر و همکاران.

زمان (ثانیه)	H(t) (متر)	زمان(ثانیه)	H(t) (متر)
۲	۰/۵۱	۱۲۰	۰/۳۵
۴	۰/۵۱	۱۵۰	۰/۳۲
۶	۰/۵	۲۰۰	۰/۲۹
۸	۰/۵	۲۵۰	۰/۲۵
۱۰	۰/۴۹	۳۰۰	۰/۲۲
۲۰	۰/۴۸	۴۰۰	۰/۱۷
۳۰	۰/۴۶	۵۰۰	۰/۱۴
۵۰	۰/۴۳	۸۰۰	۰/۰۷
۸۰	۰/۴۰	۱۰۰۰	۰/۰۶
۱۰۰	۰/۳۷		

حل:

$$H_0 = 0.52m$$

با ترسیم مقادیر $\frac{H(t)}{H_0}$ نسبت به زمان به صورت زیر در یک کاغذ نیمه لگاریتمی و برازش آن روی منحنی f بهترین برازش به ازای $\alpha = 10^{-4}$ اتفاق می افتد.



$$\alpha = \frac{r_s^2}{r_c^2} S \rightarrow 10^{-4} = \frac{5.6^2}{8.8^2} \times S \rightarrow S = 2.47 \times 10^{-4}$$

به ازای نقطه انطباق $\beta = 1$ زمان برابر ۱۳۳ ثانیه به دست می آید بنابراین:

$$\beta = \frac{Tt}{r_c^2} \rightarrow 1 = \frac{T \times 133}{8.8^2} \rightarrow T = 0.5822 cm^2/s = 5.03 m^2/day$$

$$K = \frac{T}{b} = \frac{5.03}{5} = 1.006 m/day$$

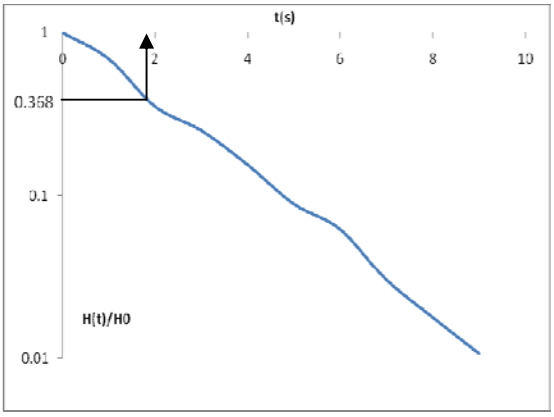
۹-۲) در یک سفره تحت فشار به ضخامت ۵ متر چاهی حفر شده که شعاع لوله جدار ۴/۱ و شعاع اسکرین ۵/۸ سانتیمتر و طول اسکرین ۱۲ متر است. بعد از تزریق ۳۰۰۰ سانتیمتر مکعب آب به داخل چاه سطح آب داخل آن بالاتر از سطح اولیه خود قرار میگیرد. سپس پایین آمدن سطح آب نسبت به زمان به شرح جدول زیر قرائت شده است. مطلوبست ضریب قابلیت انتقال به روش ورسلف.

H(t) (متر)	زمان (ثانیه)
۰/۵۶	۰
۰/۳۸۷	۱
۰/۱۹۸	۲
۰/۱۴۱	۳
۰/۰۸۷	۴
۰/۰۵	۵
۰/۰۳۵	۶
۰/۰۱۷	۷
۰/۰۱	۸
۰/۰۰۶	۹
۰	۱۰

حل:

$$V = \pi r^2 H_o \rightarrow 3000 = 3.14 \times 4.1^2 \times H_o \rightarrow H_o = 0.56m$$

با ترسیم t نسبت به $\frac{H(t)}{H_0}$ خواهیم داشت : $\frac{H(t)}{H_0} = 0.368 \rightarrow t_1 = 2s$



$$l_e = 12m = 1200cm \qquad R_e = 12m = 1200cm$$

$$K = \frac{r_c^2 Ln(\frac{R_e}{r_s})}{2l_e t_1} = \frac{4.1^2 Ln\frac{1200}{5.8}}{2\times 1200\times 2} = 0.01867cm/s = 16.13m/day$$

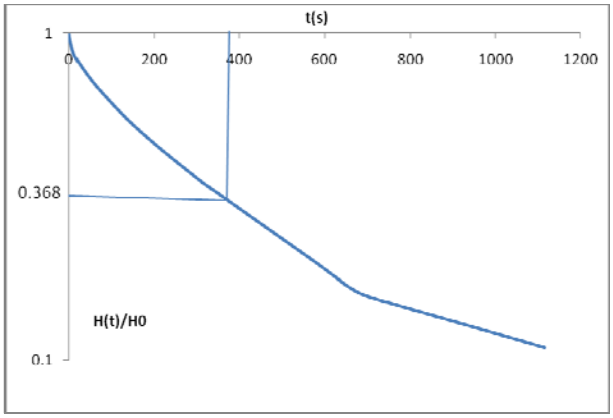
۹-۳) در یک سفره آزاد چاه کاملی حفر شده که فاصله سطح آب تا کف چاه ۴/۴ متر است. شعاع لوله جدار ۲/۵۵ و شعاع لوله مشبک و پوشش ۱۰/۱۵ سانتیمتر و طول لوله مشبک ۳ متر است. بعد از تخلیه ۱۲۳۰ سانتیمتر مکعب آب از چاه سطح آب داخل آن پایین تر از سطح اولیه خود قرار میگیرد. سپس بالا آمدن سطح آب نسبت به زمان به شرح جدول زیر قرائت شده است. مطلوبست هدایت هیدرولیکی به روش بوور و رایس.

زمان (ثانیه)	H(t) (متر)	زمان (ثانیه)	H(t) (متر)
۰	۰/۶۱	۱۸۹	۰/۲۸۴
۲	۰/۵۸۳	۲۰۷	۰/۲۷۱
۶	۰/۵۵۱	۲۲۷	۰/۲۵۸
۱۰	۰/۵۲۶	۲۵۷	۰/۲۴۰
۱۵	۰/۵۰۸	۲۸۶	۰/۲۲۴
۲۶	۰/۴۸۲	۳۱۵	۰/۲۰۹
۴۲	۰/۴۵۰	۳۴۶	۰/۱۹۶
۶۱	۰/۴۱۸	۳۸۶	۰/۱۸۰
۷۷	۰/۳۹۶	۴۳۰	۰/۱۶۴
۹۲	۰/۳۷۷	۵۷۴	۰/۱۲۱
۱۱۵	۰/۳۵۰	۶۶۸	۰/۰۹۹
۱۳۵	۰/۳۲۹	۷۳۱	۰/۰۹۲
۱۴۷	۰/۳۱۸	۹۳۸	۰/۰۷۷
۱۶۸	۰/۳	۱۱۱۵	۰/۰۶۶

حل:

$$V = \pi r^2 H_o \rightarrow H_o = \frac{1230}{3.14 \times 2.55^2} = 60.2cm = 0.602m$$

با ترسیم t (خطی روی محور افقی) و $\frac{H(t)}{H_0}$ (لگاریتمی روی محور قائم) خواهیم داشت :



$$\frac{H(t)}{H_0} = 0.368 \rightarrow t_1 = 388.5s$$

$$\frac{l_e}{r_s} = \frac{300}{10.15} = 30 \rightarrow C = 2.2$$

$$Ln\left(\frac{R_e}{r_s}\right) = \left[\frac{1.1}{Ln(l_w/r_s)} + \frac{C}{l_e/r_s}\right]^{-1} = \left[\frac{1.1}{Ln(440/10.14)} + \frac{2.2}{300/10.15}\right]^{-1} = 2.73$$

$$K = \frac{r_c^2 Ln(\frac{R_e}{r_s})}{2l_e t_1} = \frac{2.55^2 \times 2.73}{2 \times 300 \times 388.5} = 7.6 \times 10^{-5} cm/s = 0.0658 m/day$$

۹-۴) در یک سفره آزاد چاه کاملی حفر شده که فاصله سطح آب تا کف چاه ۱۰/۳ و فاصله

سطح آب تا لایه نفوذ ناپذیر ۱۵متر است. شعاع لوله جدار ۱۰ و شعاع لوله مشبک ۲/۵۵ سانتیمتر و طول آن ۳ متر است. با تزریق آب به داخل چاه سطح آب داخل چاه به اندازه ۰/۶۴ متر بالاتر از سطح اولیه خود قرار می گیرد. سپس پایین آمدن سطح آب نسبت به زمان به شرح جدول زیر قرائت شده است. مطلوبست هدایت هیدرولیکی به روش داگان.

زمان (ثانیه)	H(t) (متر)
۰	۰/۶۴
۱	۰/۶۱۷
۲	۰/۴۹۱
۳	۰/۴۳۳
۴	۰/۳۸۵
۵	۰/۳۴
۶	۰/۳۰۵
۷	۰/۲۶۸
۸	۰/۲۴۱
۹	۰/۲۱۱
۱۰	۰/۱۸۹
۱۱	۰/۱۶۹
۱۲	۰/۱۴۷
۱۳	۰/۱۳
۱۴	۰/۱۱۵
۱۵	۰/۱۰۱
۱۶	۰/۰۸۹
۱۷	۰/۰۷۸
۱۸	۰/۰۶۸

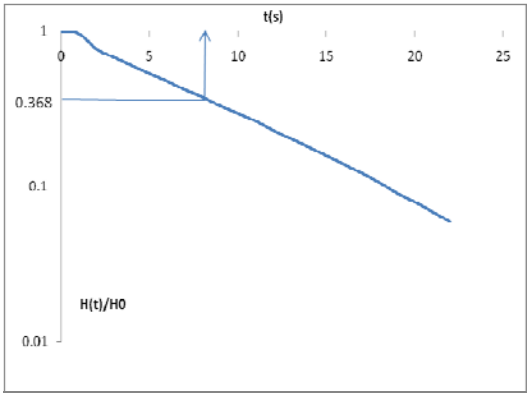
۱۹	۰/۰۵۸
۲۰	۰/۰۵۱
۲۱	۰/۰۴۴
۲۲	۰/۰۳۸
۲۳	۰/۰۳۲

حل:

با ترسیم t (خطی روی محور افقی) و $\frac{H(t)}{H_0}$ (لگاریتمی روی محور قائم) خواهیم داشت :

$r_s = 10cm \qquad r_c = 2.55cm \qquad l_e = 300cm \qquad l_w = 10.3m$

$H_0 = 0.64m \qquad H = 15m$



$$\frac{H(t)}{H_0} = 0.368 \rightarrow t_1 = 7.9s$$

$$\psi = \frac{r_c}{l_e} = \frac{10}{300} = 0.0333$$

$$\frac{l_w + l_e}{l_e} = \frac{10.3 + 3}{3} = 4.33$$

با استفاده از جدول ۹-۱ مقدار $p = 0.325$ بدست می آید.

$$K = \frac{r_c^2}{2 l_e t_1 p} = \frac{2.55^2}{2 \times 300 \times 7.9 \times 0.325} = 0.004224 cm/s = 3.65 m/day$$

۱۰

ضرائب افت، ظرفیت ویژه و چاههای ناقص

توضیحات:

ظرفیت ویژه چاه: عبارت است از نسبت دبی چاه به افت سطح آب اندازه گیری شده در چاه.
میزان این افت از مجموع افت های ناشی از تشکیلات زمین شناسی (تابعی از دبی) و افت های موضعی در اثر ورود آب از طریق لوله مشبک به چاه (تابعی از دبی به توان n). بنابراین:

$$S_d = B_f.Q + C_f.Q^n \qquad (۱-۱۰)$$

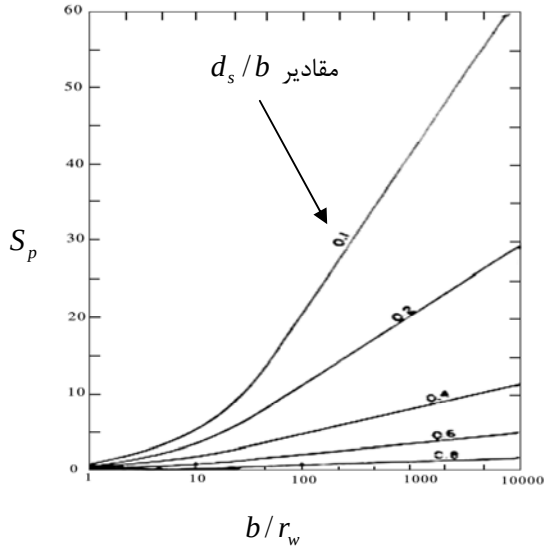
که مقادیر n, C_f, B_f بایستی از طریق آزمایشات پمپاژ به دست آید. ظرفیت ویژه یک چاه در حالت ماندگار ثابت و در حالت غیر ماندگار با افزایش زمان کاهش می یابد.

چاه ناقص: در لایه هایی که ضخامت آنان زیاد است حفر چاه کامل مقرون به صرفه نبوده و چاه به صورت ناقص حفر می شود. بنابراین جریان آب به سمت چاه علاوه بر محیط چاه از کف آن نیز وارد چاه می شود. در این حالت خطوط جریان افقی نیست. بنابراین چون طول مسیر جریان زیاد می شود، افت جریان بیشتر از چاه کامل بوده و با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$S_d)_p = S_d)_f + \Delta S \qquad (۲-۱۰)$$

$$\Delta S = \frac{Q}{2\pi T} S_p \qquad (۳-۱۰)$$

در روابط فوق اندیسهای p و f بترتیب برای چاه ناقص و کامل است. برای محاسبه S_p از شکل ۱۰-۱ استفاده می شود. در این شکل d_s طول قسمت مشبک لوله می باشد.



شکل ۱۰-۱ منحنی تعیین S_p در چاههای ناقص

علاوه بر شکل ۱۰-۱ برای محاسبه S_p در سفره های آزاد و تحت فشار به صورت زیر نیز مـی توان عمل کرد:

الف) برای سفره های تحت فشار:

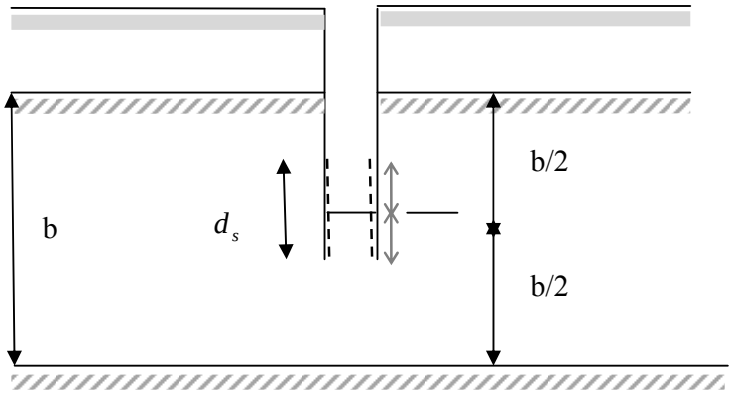
حالت اول: اگرکل لوله جدار در لایه آبده به صورت مشبک استفاده شده است. در این حالـت از رابطه زیر استفاده می شود:

$$S_p = \frac{1-P}{P} Ln \frac{(1-P)d_s}{r_w} \qquad (۴-۱۰)$$

که در رابطه فوق $P = \frac{d_s}{b}$

حالت دوم: مطابق شکل ۱۰-۲ و از رابطه زیر استفاده می شود:

$$S_p = \frac{1-P}{P} Ln \frac{(1-P)d_s}{2r_w} \qquad (۵-۱۰)$$



شکل ۱۰-۲ شکل مربوط به رابطه ۱۰-۵

ب) برای سفره های آزاد:

در این حالت از روابط زیر استفاده می شود:

$$S_d^2)_p = S_f^2)_f + \Delta S \qquad (۶-۱۰)$$

$$\Delta S = \frac{Q}{\pi K} S_P \qquad (۷-۱۰)$$

که در رابطه فوق برای محاسبه S_p از رابطه ۱۰-۴ استفاده می شود.

مسائل:

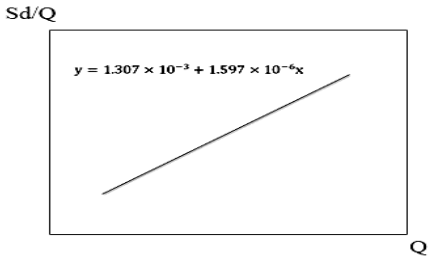
۱۰-۱) مقادیر افت سطح آب در یک چاه به ازای دبی های مختلف به صورت زیر است. با فرض n برابر با ۲ ضرائب افت (C_f, B_f) را تعیین کنید.

افت (متر)	۱/۱۴	۲/۶۶	۵/۵۷	۸/۸۲	۱۳/۵۴	۱۸/۷۹	۲۳/۶۷
دبی (متر مکعب بر روز)	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰

حل:

$$S_d = B_f.Q + C_f.Q^2 \rightarrow \frac{S_d}{Q} = B_f + C_f.Q$$

بنابراین اگر مقادیر $\frac{S_d}{Q}$ در مقابل Q ترسیم شود، خطی حاصل می شود که شیب آن C_f و عرض از مبدا آن B_f **است.**



$B_f = 1.307\times10^{-3} day/m^2, C_f = 1.597\times10^{-6} day^2/m^5$

۱۰-۲) برای تعیین ضرائب n, B_f, C_f سه چاه مشاهده ایی حفر شده است. دبی این چاهها برابر با ۱/۷، ۳/۴ و ۵/۱ متر مکعب بر دقیقه و ظرفیت ویژه آنها به ترتیب برابر با ۰/۵۱۲۸، ۰/۴۰۷ و ۰/۳۳۱۷ متر مربع بر دقیقه است. مطلوبست است ضرائب مذکور .

حل:

داده های این مسئله را در معادله $\frac{S_d}{Q} = B_f + C_f.Q^{n-1}$ قرار داده تا دستگاه سه معادله و سه مجهولی زیر بدست آید:

$$\frac{1}{0.5128} = B_f + C_f(1.7)^{n-1}$$
$$\frac{1}{0.407} = B_f + C_f(3.4)^{n-1}$$
$$\frac{1}{0.3317} = B_f + C_f(5.1)^{n-1}$$

اگر معادله اول از معادله دوم و معادله دوم از معادله سوم کسر شود معادلات زیر بدست می آید:

$$\frac{1}{0.407} - \frac{1}{0.5128} = C_f(3.4^{n-1} - 1.7^{n-1})$$
$$\frac{1}{0.3317} - \frac{1}{0.407} = C_f(5.1^{n-1} - 3.4^{n-1})$$

اگر دو معادله فوق بر هم تقسیم شود معادله زیر بدست می آید:

$$0.9088 = \frac{1-0.5^{n-1}}{1.5^{n-1}-1}$$

معادله فوق باسعی و خطا قابل حل است و جواب نهایی $n = 2.184$ می باشد. با قرار دادن این مقدار در سایر معادلات $C_f = 0.2126$ و $B_f = 1.503$ بدست می آید.

۱۰-۳) مقادیر افت سطح آب در یک چاه به ازای دبی های مختلف به صورت زیر است.

مطلوبست ضرائب n, B_f, C_f

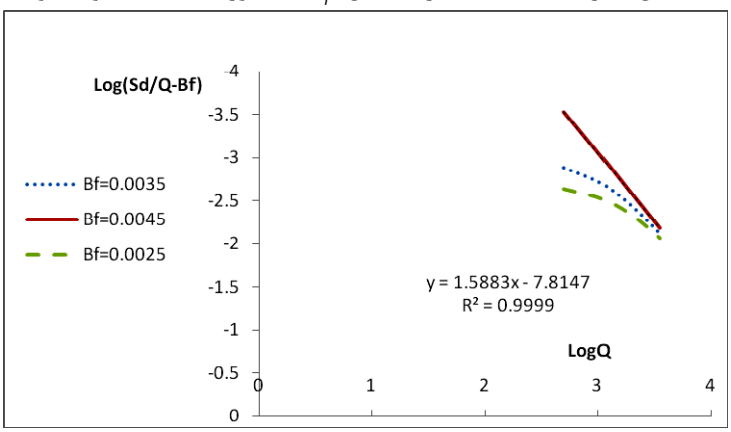
افت(متر)	۲/۴	۵/۳۸	۹/۲۸	۱۴/۳۶	۲۰/۸۲	۲۸/۸۷	۳۸/۷
دبی (متر مکعب بر روز)	۵۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۰۰۰	۳۵۰۰

حل:

$$\frac{S_d}{Q} = B_f + C_f.Q^{n-1} \rightarrow \frac{S_d}{Q} - B_f = C_f.Q^{n-1} \rightarrow$$

$$Log(S_d/Q - B_f) = LogC_f + (n-1)LogQ$$

بنابراین اگر $LogQ$ در مقابل $Log(S_d/Q-B_f)$ بـه ازای مقـادیر مختلـف B_f ترسـیم شود نتیجه آن به ازای فقط یک مقدار مشخص B_f به صورت یک خط خواهد بود:



بنابراین $B_f = 0.0045$ و با توجه به شیب خط بدست امده می توان نوشت:

$$n-1 = 1.588 \rightarrow n = 2.588$$

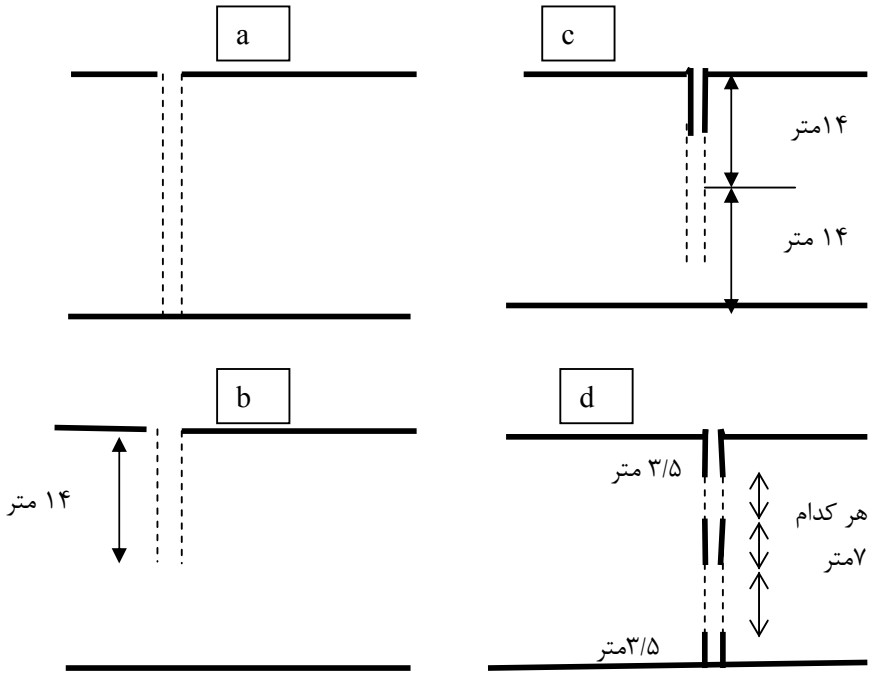
برای محاسبه C_f یک نقطه از مشاهدات انتخاب کرده (مثلا به ازای دبی ۲۰۰۰متر مکعب بر

روز و افت ۱۴/۳۶ متر) و به صورت زیر در در معادله ۱۰-۱ جایگزین می شود:

$$14.36 = 0.0045(2000) + C_f (2000)^{2.588} \rightarrow C_f = 1.5\times10^{-8}$$

۱۰-۴) در چهار حالت زیر ظرفیت ویژه چاهها را با هم مقایسه کنید.

$$(r_e = 150m, r_w = 0.5m, b = 28m)$$



حل:

حالت **a** :

$$S_d = \frac{Q}{2\pi T} Ln\frac{r_e}{r_w} = \frac{Q}{2\pi T} Ln\frac{150}{0.5} = 0.9078\frac{Q}{T} \rightarrow \frac{Q}{S_d} = 1.1016T$$

حالت b:

$$d_s = 14m, P = \frac{d_s}{b} = \frac{14}{28} = 0.5$$

$$S_d = \frac{Q}{2\pi T} Ln \frac{r_e}{r_w} + \frac{Q}{2\pi T} \frac{1-P}{P} Ln \frac{(1-P)d_s}{r_w} = 1.3278 \frac{Q}{T}$$

$$\text{ظرفیت ویژه} = \frac{Q}{S_d} = 0.753T$$

حالت c:

$$S_d = \frac{Q}{2\pi T} Ln \frac{r_e}{r_w} + \frac{Q}{2\pi T} \frac{1-P}{P} Ln \frac{(1-P)d_s}{2r_w} = 1.2175 \frac{Q}{T}$$

$$\text{ظرفیت ویژه} = \frac{Q}{S_d} = 0.8214T$$

حالت d:

این حالت معادل وقتی است که سفره ای به ضخامت ۱۴ متر وجود داشته باشدو یک چاه ناقص دارای لوله مشبکی به طول $d_s = 7m$ در وسط باشد. (البته این مربوط به محاسبه S_p می باشد)

$$b = 14m, d_s = 7m, p = \frac{d_s}{b} = \frac{7}{14} = 0.5$$

$$S_d = \frac{Q}{2\pi T} Ln \frac{r_e}{r_w} + \frac{Q}{2\pi T} \frac{1-P}{P} Ln \frac{(1-P)d_s}{2r_w} = 1.1072 \frac{Q}{T}$$

$$\text{ظرفیت ویژه} = \frac{Q}{S_d} = 0.9032T$$

بنابراین ترتیب ظرفیت ویژه عبارتند از :a,d,c,b

۱۱

بهینه سازی درآبهای زیرزمینی

توضیحات:

بهینه سازی شاخه ای از علم ریاضی کاربردی است که در چند ساله اخیر مورد توجه محققین مختلفی قرار گرفته و تئوریهای مختلفی برای آن ارائه شده است، به طوری که تقریباً برای کلیه شاخه های مهندسی قابل استفاده می باشد. با بکارگیری روشهای بهینه سازی می توان به یک طرح بهینه دست یافت. یکی از مهمترین مزایای روشهای بهینه سازی که موجب شده است امروزه مورد توجه اغلب طراحان و مهندسین قرار گیرد، بخصوص در طرحهایی که متغیرهای زیادی را شامل می شوند، امکان استفاده از تکنیکهای حل عددی و خودکار سازی طراحی توسط رایانه می باشد. یک مدل بهینه سازی شامل سه مجموعه از عناصر می باشد که عبارتند از:

۱- متغیرهای تصمیم گیری و پارامترها:

این متغیرها مجهولاتی هستند که باید از روی جواب مدل بهینه سازی معین شوند. مثلا میزان برداشت آبهای زیرزمینی. پارامترها یا متغیرهای کنترل شده کمیت هایی هستند که مقدار آنها معلوم است. مثلا ضخامت لایه آبده.

۲- محدودیتها:

برای بحساب آوردن محدودیتهای فیزیکی یک پدیده، مدل باید متضمن قیودی باشد که متغیرهای تصمیم گیری را در حد مقادیر مجاز آنها محدود کند که این امر معمولاً بوسیله توابع ریاضی مقید کننده بیان می شود. مثلا میزان تخلیه حداکثر برابر با میزان تغذیه باشد.

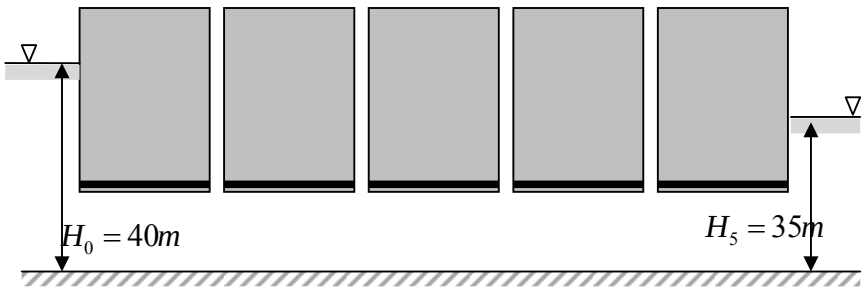
۳- تابع هدف:

این تابع میزان سودمندی پدیده را به صورت تابعی ریاضی از متغیرهای تصمیم گیری

دستگاه تعریف می کند. به عبارت دیگر تابع هدف تابعی است که بایستی بیشینه یا کمینه گردد. بطور کلی جواب بهینه برای مدل، زمانی به دست می آید که مقادیر متناظر متغیرهای تصمیم گیری ضمن صدق نمودن در همه قیود بهترین مقدار تابع هدف را به دست آورد. برای محاسبات بهینه سازی نرم افزار های مختلفی وجود دارد که یکی از آنها نرم افزار Lingo می باشد.

مسائل:

۱۱-۱) در سفره تحت فشار زیر با ضریب قابلیت انتقال ۱۰۰۰ متر مربع در روز، چهار چاه به فواصل مساوی ۸۰ متر حفر شده اند. اگر حداقل شدت استحصال آب از این سفره ۵۰۰ میلی متر در روز باشد، به کمک بهینه سازی مقادیر ارتفاع سطح آب و شدت تخلیه در هر چاه را بگونه ای محاسبه کنید که مجموع مقادیر ارتفاع سطح آب در چاهها بیشینه شود.



حل:

$\Delta x = 80m, H_0 = 40m, H_5 = 35m, R_{\min} = 500mm/day$

معادله مربوط به جریان یک بعدی ماندگار در سفره های تحت فشار به صورت زیر است که بایستی عبارت دیفرانسیلی آن منفصل شود:

$$\frac{d^2H^2}{dx^2} = \frac{R}{T}, R = \frac{Q}{(\Delta x)^2}$$

$$\frac{H_{i-1} - 2H_i + H_{i+1}}{(\Delta x)^2} = \frac{R_i}{T} \rightarrow$$

$$H_{i-1} - 2H_i + H_{i+1} - R_i(\Delta x)^2 / T = 0$$

قیود مدل بهینه سازی با قرار دادن i از یک تا چهار به صورت زیر بدست می آید:

$$i = 1 \rightarrow H_0 - 2H_1 + H_2 - R_1(\Delta x)^2 / T = 0$$

$$\rightarrow -2H_1 + H_2 - 6.4R_1 = -40$$

$$i = 2 \rightarrow H_1 - 2H_2 + H_3 - R_2(\Delta x)^2 / T = 0$$

$$\rightarrow H_1 - 2H_2 + H_3 - 6.4R_2 = 0$$

$$i = 3 \rightarrow H_2 - 2H_3 + H_4 - R_3(\Delta x)^2 / T = 0$$

$$\rightarrow H_2 - 2H_3 + H_4 - 6.4R_3 = 0$$

$$i = 4 \rightarrow H_3 - 2H_4 + H_5 - R_4(\Delta x)^2 / T = 0$$

$$\rightarrow H_3 - 2H_4 - 6.4R_4 = -35$$

سایر قیود به شرح زیر می باشد:

$$R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \geq R_{\min}$$

$$R_1, R_2, R_3, R_4 > 0$$

$$H_1, H_2, H_3, H_4 > 0$$

$$H_1 \leq 40, H_2 \leq H_1, H_3 \leq H_2, H_4 \leq H_3, H_4 \geq 35$$

تابع هدف به صورت زیر است که بایستی بیشینه شود:

$$F = H_1 + H_2 + H_3 + H_4$$

مجهولات مدل به شرح زیر است:

$$R_1, R_2, R_3, R_4, H_1, H_2, H_3, H_4$$

ادامه کار با وارد کردن تابع هدف، قیود و پارامترها در برنامه Lingo به صورت زیر انجام

خواهد شد:

```
dx=80;
T=1000;
ho=40;
h5=35;
Rmin=.5;
max=h1+h2+h3+h4;
-2*h1+h2-6.4*R1+40=0;
h1-2*h2+h3-6.4*R2=0;
h2-2*h3+h4-6.4*R3=0;
h3-2*h4-6.4*R4+35=0;
R1+R2+R3+R4>=Rmin;
h1>0;
h2>0;
h3>0;
h4>0;
R1>0;
R2>0;
R3>0;
R4>0;
h1<=ho;
h2<=h1;
h3<=h2;
h4<=h3;
h4>=h5;
```

جواب این برنامه به صورت زیر می باشد:

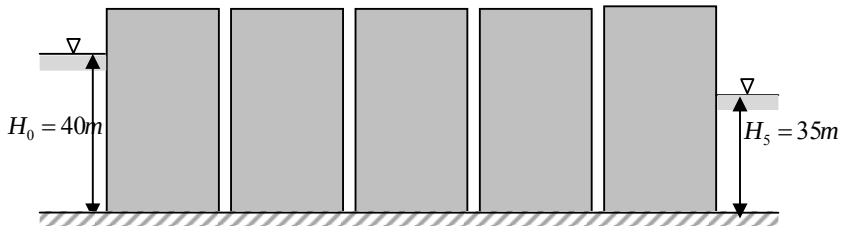
$$H_1 = 36.8, H_2 = 36.2, H_3 = 35.6, H_4 = 35m$$

$$R_1 = 0.40625, R_2 = R_3 = 0, R_4 = 0.0937m/day$$

بنابراین مقادیر دبی چاه ها به صورت زیر محاسبه می شود($R = \frac{Q}{(\Delta x)^2}$):

$$Q_1 = 30, Q_2 = Q_3 = 0, Q_4 = 7lit/s$$

۱۱-۲) در سفره آزاد زیر با هدایت هیدرولیکی ۱۵۰ متر در روز، چهار چاه بـه فواصـل مسـاوی ۸۰ متر حفر شده اند. اگر حداقل شدت استحصال آب از این سفره ۵۰۰ میلی متر در روز باشد، به کمک بهینه سازی مقادیر ارتفاع سطح آب و شدت تخلیه در هر چـاه را بگونـه ای محاسـبه کنید که مجموع مقادیر ارتفاع سطح آب در چاه ها بیشینه شود.



حل:

$$\Delta x = 80m, H_0 = 40m, H_5 = 35m, R_{\min} = 500mm/day$$

معادله مربوط به جریان یک بعدی ماندگار در سفره های آزاد به صورت زیر اسـت کـه بایسـتی عبارت دیفرانسیلی آن منفصل شود:

$$\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{2R}{K}, R = \frac{Q}{(\Delta x)^2}, V = H^2$$

$$V_0 = 40^2 = 1600, V_5 = 35^2 = 1225m^2$$

$$\frac{V_{i-1} - 2V_i + V_{i+1}}{(\Delta x)^2} = \frac{2R_i}{K} \rightarrow$$

$$V_{i-1} - 2V_i + V_{i+1} - 2R_i(\Delta x)^2 / K = 0$$

قیود مدل بهینه سازی با قرار دادن i از یک تا چهار به صورت زیر بدست می آید:

$$i = 1 \rightarrow V_0 - 2V_1 + V_2 - 2R_1(\Delta x)^2 / K = 0$$

$$\rightarrow -2V_1 + V_2 - 85.3R_1 = -1600$$

$$i=2 \rightarrow V_1-2V_2+V_3-85.3R_2=0$$
$$i=3 \rightarrow V_2-2V_3+V_4-85.3R_3=0$$
$$i=4 \rightarrow V_3-2V_4+V_5-85.3R_4=0$$
$$\rightarrow -2V_4+V_3-85.3R_4=-1225$$

سایر قیود به شرح زیر می باشد:

$$R_1+R_2+R_3+R_4 \geq R_{\min}$$
$$R_1,R_2,R_3,R_4>0$$
$$V_1,V_2,V_3,V_4>0$$
$$V_1 \leq 1600, V_2 \leq V_1, V_3 \leq V_2, V_4 \leq V_3, V_4 \geq 1225$$

تابع هدف به صورت زیر است که بایستی بیشینه شود:

$$F=V_1+V_2+V_3+V_4$$

مجهولات :

$$R_1,R_2,R_3,R_4,V_1,V_2,V_3,V_4$$

ادامه کار با وارد کردن تابع هدف، قیود و پارامترها در برنامه Lingo به صورت زیر انجام خواهد شد:

```
dx=80;
k=150;
vo=40^2;
v5=35^2;
Rmin=0.5;
max=v1+v2+v3+v4;
-2*v1+v2-85.3*R1+1600=0;
v1-2*v2+v3-85.3*R2=0;
v2-2*v3+v4-85.3*R3=0;
v3-2*v4-85.3*R4+1225=0;
R1+R2+R3+R4>Rmin;
v1>0;
```

v2>0;
v3>0;
v4>0;
R1>0;
R2>0;
R3>0;
R4>0;
v1<vo;
v2<v1;
v3<v2;
v4<v3;
v4>v5;

جواب این برنامه به صورت زیر می باشد:

$V_1 = 1516.47, V_2 = 1432.94, V_3 = 1349.41, V_4 = 1265.88 m^2$

$R_1 = R_2 = R_3 = 0, R_4 = 0.5 m/day$

پس از بدست آمدن مقادیر V با جذرگیری از آنها مقادیر H به صورت زیر بدست می آید:

$H_1 = 38.94, H_2 = 37.85, H_3 = 36.73, H_4 = 35.58 m$

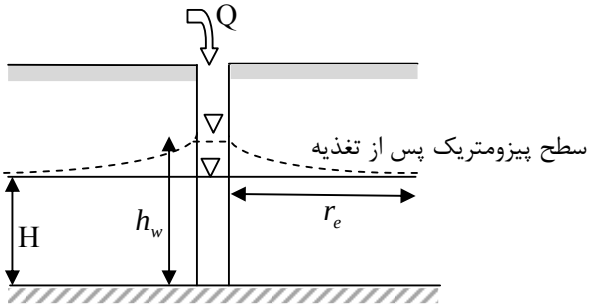
بنابراین مقادیر دبی چاهها به صورت زیر محاسبه می شود($R = \frac{Q}{(\Delta x)^2}$):

$Q_1 = Q_2 = Q_3 = 0, Q_4 = 37 lit/s$

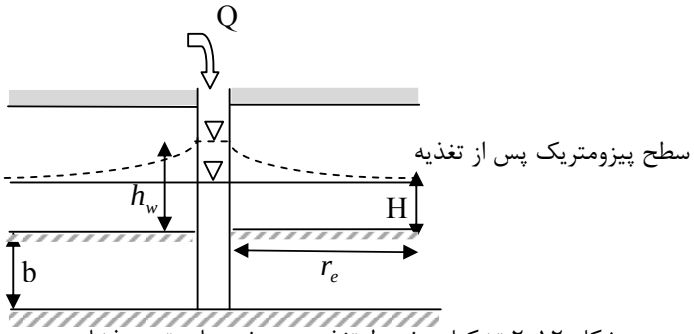
۱۲

تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی

تغذیه مصنوعی آبهای زیرزمینی عبارتند از حرکت طبیعی آبهای سطحی بـه داخـل تشـکیلات زیرزمین بوسیله بعضی از روش های سـازه ای. ایـن کـار بوسـیله پخـش سـیلاب یـا تغییـرات مصنوعی شرایط طبیعی انجام می شود. به طور کلی تغذیه مصنوعی به روش های حوضچه ای، جوی و پشته ای، سیلابی و چاه تغذیه انجام مـی شـود. در روش اخیـر آب از طریـق چاههـای تغذیه وارد آبهای زیرزمینی شده که نتیجه آن بالا آمدن سطح ایستایی یا رقوم پیزومتریک می شود. در این حالت به جای مخروط افت، مخروط تغذیه (شکلهای ۱۲-۱ و ۱۲-۲) حاصـل مـی شود و از روابط جریان شعاعی به سمت چاه (فصل ۶) می توان استفاده نمود.



شکل ۱۲-۱ تشکیل مخروط تغذیه در سفره های آزاد



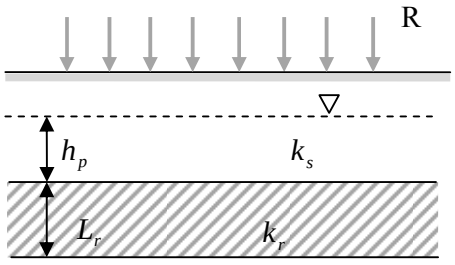
شکل ۱۲-۲ تشکیل مخروط تغذیه در سفره های تحت فشار

محاسبه میزان بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در اثر تغذیه مصنوعی:

الف) مطابق شکل ۱۲-۳ اگر یک لایه با نفوذپذیری کم با ضخامت L_r و هدایت هیدرولیکی k_r در زیر زمین وجود داشته باشد و خاک بالای آن دارای هدایت هیدرولیکی k_s داشته باشد میزان بالاآمدگی آب تحت شدت تغذیه مصنوعی R برابر است با h_p که از رابطه زیر قابل محاسبه است:

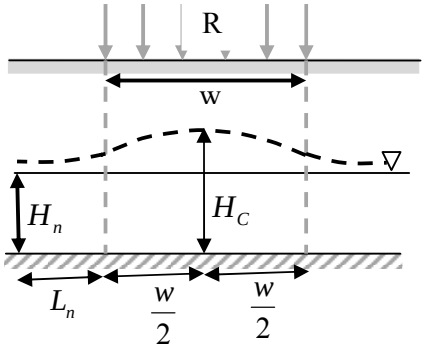
$$h_p = L_r \frac{R/k_r - 1}{1 - R/k_s} \qquad (۱-۱۲)$$

رابطه فوق با این فرض صادق است که $k_r < R < k_s$



شکل ۱۲-۳ تغذیه مصنوعی بالای یک لایه با نفوذپذیری کم

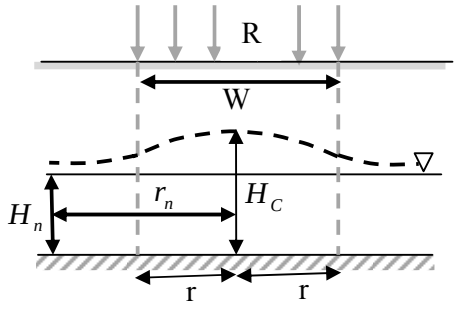
ب) برای یک حوضچه مستطیل شکل (طول آن حداقل ۵ برابر عرض آن باشد) مطابق شکل ۱۲-۴ از رابطه ۱۲-۲ استفاده می شود.



شکل ۱۲-۴ تغذیه از طریق حوضچه تغذیه مستطیلی

$$H_c = H_n + \frac{RW}{2T}\left(\frac{W}{4} + L_n\right) \qquad (۲-۱۲)$$

ج) برای یک حوضچه تغذیه دایره ای شکل مطابق شکل ۱۲-۵ از رابطه ۱۲-۳ استفاده می شود.

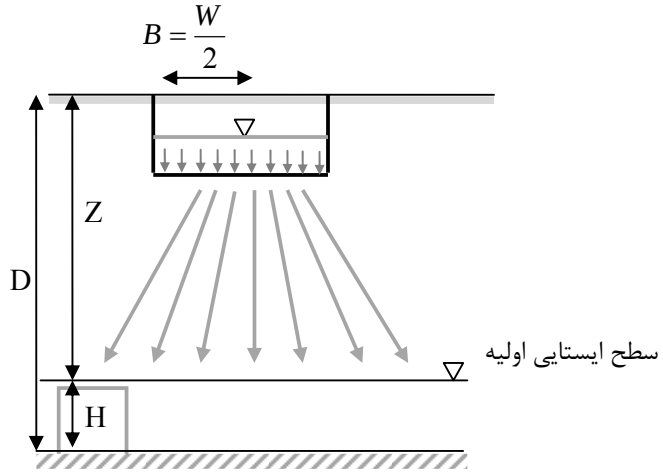


شکل ۱۲-۵ تغذیه از طریق حوضچه تغذیه دایره ای

$$H_c = H_n + \frac{Rr^2}{4T}\left(1 + 2Ln\frac{r_n}{r}\right) \qquad (۳-۱۲)$$

تعیین فاصله مناسب سطح ایستایی تا سطح زمین برای تغذیه مصنوعی:

الف) برای یک حوضچه مستطیل شکل به طول L و عرض W: مطابق شکل ۱۲-۶ از رابطه ۱۲-۴ استفاده می شود.



شکل ۱۲-۶ فاصله مناسب سطح ایستایی تا سطح زمین برای تغذیه مصنوعی

$$Z = B\left(\lambda_y - 1\right)\sqrt{\frac{2\lambda_x}{\lambda_y + 1}} \qquad (۴-۱۲)$$

که $\lambda_x = \frac{R}{K_x}$ و $\lambda_y = \frac{R}{K_y}$

ب) برای یک حوضچه دایره ای شکل *به شعاع r*: در این حالت از ۱۲-۵ استفاده می شود.

$$Z = r\left(\lambda_y - 1\right)\sqrt{\frac{\lambda_r \ln \lambda_y}{2\left(\lambda_y^2 - 1\right)}} \qquad (۱۲-۵)$$

که $\lambda_r = \frac{R}{K_r}$

در روابط ۱۲-۴ و ۱۲-۵ λ_y باید بزرگتر از یک باشد.

مسائل:

۱۲-۱) یک لایه با نفوذپذیری کم ۰/۰۲۶ فوت در روز با ضخامت ۱۰ فوت در زیر زمین قرار دارد. خاک بالای این لایه دارای هدایت هیدرولیکی ۵/۶ فوت در روز می باشد. میزان تغذیه سالیانه برابر با ۳۲/۸۵ فوت است. در اثر این تغذیه، سطح آب روی لایه مذکور چقدر بالا می آید.

حل:

$$R = 32.85\ ft/year = 0.09\ ft/day, L_r = 10\ ft$$
$$k_s = 5.6\ ft/day \quad \text{و} \quad k_r = 0.026\ ft/day$$
$$h_p = L_r \frac{R/k_r - 1}{1 - R/k_s} = 10\frac{\frac{0.09}{0.026} - 1}{1 - \frac{0.09}{5.6}} = 25.02\ ft$$

۱۲-۲) یک حوضچه تغذیه مستطیلی بطول ۲۵۰۰ و عرض ۳۰۰ متر مفروض است. در طول سال حجمی برابر با ۶۳ میلیون مترمکعب در آن نفوذ می کند. ضریب انتقال سفره ۲۲۰۰ متر مربع در روز و ضخامت لایه اشباع ۲۰ متر است. اگر حداکثر میزان بالاآمدگی ۳۸ متر باشد،

شعاع تاثیر تغذیه مصنوعی را محاسبه کنید.

حل:

$$L = 2500m, W = 300m, V = 63\times10^6 m^3$$
$$T = 2200m^2/day, H_n = 20m, H_c = 38m$$
$$R = \frac{V}{A} = \frac{V}{WL} = \frac{63\times10^6}{300\times2500} = 84m/year = 0.23m/day$$
$$H_c = H_n + \frac{RW}{2T}\left(\frac{W}{4} + L_n\right)$$
$$\rightarrow 38 = 20 + \frac{0.23\times300}{2\times2200}\left(\frac{300}{4} + L_n\right) \rightarrow L_n = 1073m$$

بنابراین شعاع تاثیر بر اساس شکل ۱۲-۴ برابر است با:

$$L_n + \frac{W}{2} = 1073 + \frac{300}{2} = 1223m$$

۱۲-۳) یک حوضچه تغذیه دایره ای شکل بشعاع ۵۰۰ متر مفروض است. فاصله سطح زمین تا سطح ایستائی ۷۳ متر و شدت تغذیه ۰/۱۴ متر در روز است. در اثر تغذیه حداقل فاصله سطح ایستادیی تا سطح زمین ۱۰ متر می باشد. اگر ضریب قابلیت انتقال ۴۴۰ متر مربع در روز باشد، شعاع تاثیر تغذیه مصنوعی را محاسبه کنید.

حل:

$$r = 500m, R = 0.14m/day, T = 440m^2/day$$
$$H_c - H_n = 73 - 10 = 63m$$
$$H_c - H_n = \frac{Rr^2}{4T}\left(1 + 2Ln\frac{r_n}{r}\right)$$

$$63 = \frac{0.14 \times 500^2}{4 \times 440}\left(1 + 2Ln\frac{r_n}{500}\right) \rightarrow r_n = 1478m$$

۱۲-۴) یک حوضچه تغذیه مستطیلی بطول ۱۸۰ و عرض ۲۰ فوت مفروض است. شدت تغذیه برابر با ۳/۶ فوت در روز و هدایت هیدرولیکی افقی و عمودی ۱/۸ متر در روز است. مطلوبست فاصله مورد نیاز سطح ایستایی تا سطح زمین.

حل:

$$L = 180\,ft, W = 20\,ft, R = 3.6\,ft/day, K_x = K_y = 1.8\,ft/day$$

$$B = \frac{W}{2} = \frac{20}{2} = 10 \quad ft$$

$$\lambda_y = \lambda_x = \frac{R}{K_x} = \frac{3.6}{1.8} = 2$$

$$Z = B\left(\lambda_y - 1\right)\sqrt{\frac{2\lambda_x}{\lambda_y + 1}}$$

$$Z = 10\ (2 - 1)\sqrt{\frac{2 \times 2}{2 + 1}} = 11.54 \quad ft$$

۱۲-۵) یک حوضچه تغذیه دایره ای شکل بشعاع ۷۲ فوت مفروض است. شدت تغذیه برابر با ۱/۶ اینچ در ساعت و هدایت هیدرولیکی ۱/۶ فوت در روز است. مطلوبست فاصله مورد نیاز سطح ایستایی تا سطح زمین.

حل:

$$r = 72\,ft, R = 1.6inch/h, K = 1.6\,ft/day = 0.8inch/h$$

$$\lambda_y = \lambda_r = \frac{R}{K} = \frac{1.6}{0.8} = 2$$

$$Z = r\left(\lambda_y - 1\right)\sqrt{\frac{\lambda_r \ln \lambda_y}{2\left(\lambda_y^2 - 1\right)}}$$

$$\rightarrow Z = 72\left(2 - 1\right)\sqrt{\frac{2 \ln 2}{2\left(2^2 - 1\right)}} = 34.6\ ft$$

۱۲-۶) قرار است یک حوضچه تغذیه دایره ای شکل برای تغذیه مصنوعی احداث شود. اگر فاصله سطح زمین تا سطح ایستایی ۵ متر و هدایت هیدرولیکی ۱۰ متر در روز و شدت تغذیه ۶ متر در روز باشد، شعاع حوضچه را چقدر باید انتخاب نمود.

حل:

$$Z = 5m, K = 5m/day, \lambda_y = \lambda_r = \frac{R}{K} = \frac{6}{5} = 1.2$$

$$5 = r(1.2-1)\sqrt{\frac{1.2Ln1.2}{2(1.2^2-1)}} \rightarrow r = 50m$$

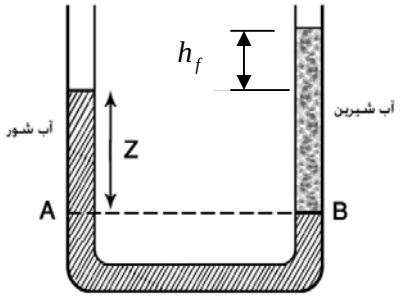
۱۳

تداخل آبهای شور با لایه های آبده

توضیحات:

ورود آبهای شور به لایه های آبده به طرق مختلفی ممکن است اتفـاق افتـد از جملـه ورود آب اقیانوس ها به لایه های آبده ساحلی و آبیاری با آبهـای غیـر متعـارف و پسـآب کارخانـه هـا و فاضلابها .

اگر یک لوله U شکل به صورت شکل ۱۳-۱ در نظر گرفته شود که در یک طرف آن آب شـور و در طرف دیگر آن آب شیرین باشد می توان نوشت:

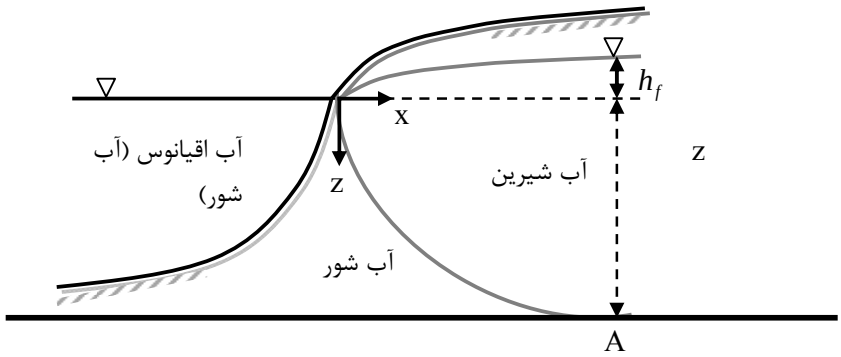


شکل ۱۳-۱ ارتباط بین آب شور و شیرین

$$P_A = P_B \rightarrow \rho_s g z = \rho_f g(z + h_f) \rightarrow z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \qquad (۱-۱۳)$$

که ρ_s و ρ_f به ترتیب جرم مخصوص آب شور و شیرین است.

حال می توان از این بحث با توجه به شکل ۱۳-۲ برای آبهای زیرزمینی ساحلی که در کنار آب شور قرار دارد استفاده کرد.



شکل ۱۳-۲ سطح مشترک بین آب شور و شیرین

آب شور به سمت لایه آبده پیشروی می کند و یک مرزی بین آنها مطابق شکل ۱۳-۲ ایجاد شود این مرز سطح مشترک آب شور و شیرین می باشد. گایبن و هرزبرگ[1] رابطه زیر برای مرز مذکور ارائه نمودند:

$$z^2 = \frac{2\rho_f .q.x}{(\rho_s - \rho_f)K} \qquad (۴-۱۳)$$

که q عبارتست از دبی جریان از یک لایه آبده شیرین ساحلی به طرف دریا در واحد طول و K هدایت هیدرولیکی لایه آبده ساحلی می باشد.

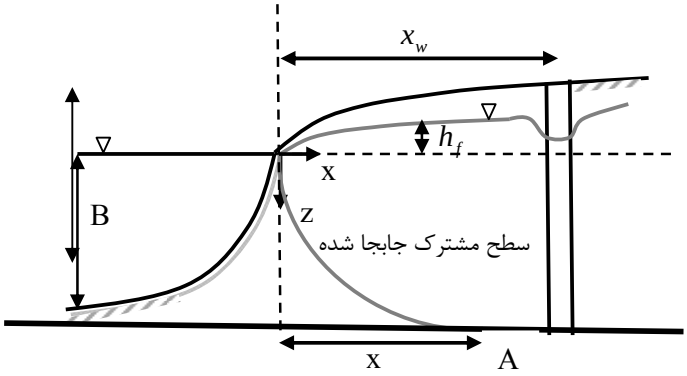
در نقطه ای مثل A روی این مرز فشاری که آب شور وارد می کند برابر است با $\rho_s.g.z$ که به سمت بالا ایجاد می شود و فشاری که آب شیرین وارد می کند برابر است با

5- Ghyben & Herzberg

$\rho_f . g(z + h_f)$ که به سمت پایین ایجاد می شود، برای حفظ تعادل این دو فشار مساوی است بنابراین می توان نوشت $z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f$. بنابراین به ازای یک h_f مشخص می توان عمق آب شیرین را پیدا نمود که همان $z + h_f$ است. اگر در ساحل چاهی حفر شود تا با آب شور تداخل نکند بایستی کف چاه بالاتر از مرز بین آب شور و شیرین قرار گیرد.

تاثیر چاه روی سطح مشترک آب شور و شیرین:

اگر از فاصله x_w از اقیانوس چاهی با دبی Q_w حفر شود، در این حالت سطح مشترک به سمت چاه حرکت کرده (شکل ۱۳-۳) و موقعیت نقطه A را می توان از رابطه ۱۳-۵ بدست آورد.



شکل ۱۳-۳ جابجایی سطح مشترک آب شور و شیرین در اثر پمپاژ

$$\frac{1}{2}(1+\delta)\frac{B^2}{\delta^2} = \frac{q}{K}x + \frac{Q_w}{4\pi K} Ln\left[\frac{x - x_w}{x + x_w}\right]^2 \qquad (۵-۱۳)$$

که $\delta = \dfrac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f}$

حداکثر دبی چاه که تحت تاثیر آب شور قرار نمی گیرد از رابطه زیر به دست می آید:

$$Q_w = \mu.x_w.q \qquad (۶-۱۳)$$

که μ از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\lambda = 2(1-\frac{\mu}{\pi})^{0.5} + \frac{\mu}{\pi} Ln\left[\frac{1-(1-\mu/\pi)^{0.5}}{1+(1-\mu/\pi)^{0.5}}\right] \qquad (۷-۱۳)$$

که λ از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\lambda = \frac{KB^2}{qx_w}\left(\frac{1+\delta}{\delta^2}\right) \qquad (۸-۱۳)$$

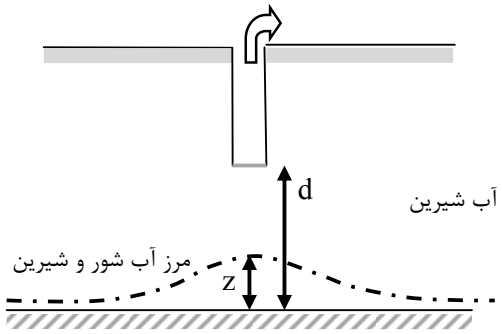
بالا آمدگی مخروط آب شور در حین پمپاژ:

هنگامی که چاهی که در یک لایه آبده شیرین که زیر آن یک سقره آب شور قرار گرفته در حال پمپاژ باشد، در اثر پمپاژ آب شور به صورت مخروطی شکل به سمت بالا پیشروی می کند(شکل ۱۳-۴) که میزان این پیشروی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$z = \frac{Q_w \rho_f}{2\pi dK(\rho_s - \rho_f)} \qquad (۹-۱۳)$$

برای اینکه آب شور وارد چاه نشود پیشنهاد می شود که در رابطه ۱۳-۹ $Z = d/2$ باشد در آنصورت حداکثر دبی چاه به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$Q_{\max} = \frac{\pi d^2 K(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f} \qquad (۱۰-۱۳)$$



شکل ۱۳-۴ بالا آمدگی مخروط آب شور در حین پمپاژ

مسائل:

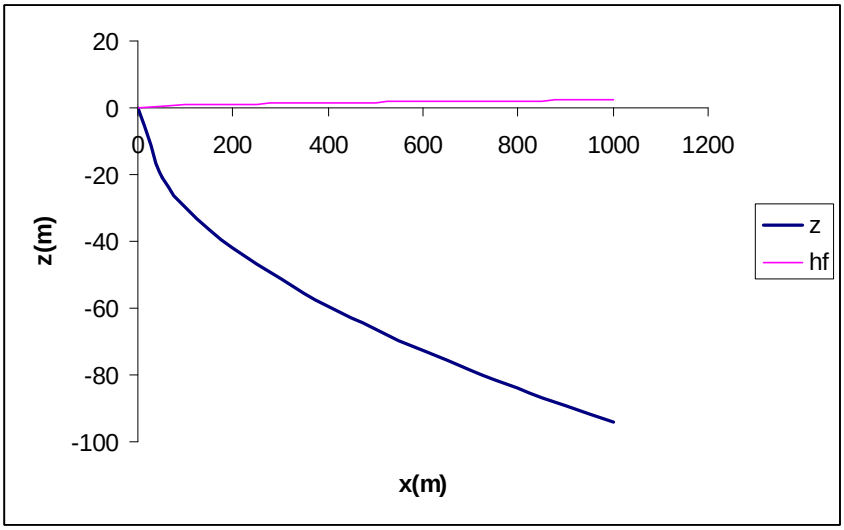
۱۳-۱) دبی جریان از یک لایه آبده شیرین ساحلی به طرف دریا در واحد طول ۱/۵ متر مکعب در روز است. هدایت هیدرولیکی لایه آبده ۱۳/۶ متر در روز می باشد. شکل سطح مشترک بین آب شیرین و شور و پروفیل سطح آب را تا فاصله ۱۰۰۰ متری از دریا ترسیم نمائید.(جرم مخصوص آب شیرین ۱ و آب شور ۱/۰۲۵ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد)

حل:

$$z^2 = \frac{2\rho_f .q.x}{(\rho_s - \rho_f)K} \rightarrow z = \sqrt{\frac{2\times 1\times 1.5x}{(1.025-1)\times 13.6}} \rightarrow z = 2.97\sqrt{x}$$

$$z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \rightarrow z = \frac{1}{1.025-1} h_f \rightarrow h_f = \frac{z}{40}$$

این توابع به صورت زیر رسم شده اند:



۱۳-۲) در مسئله قبل اگر یک لایه نفوذناپذیر در فاصله ۵۷ متری از سطح دریا واقع شده باشد، سطح مشترک در چه فاصله ای از دریا به لایه نفوذ ناپذیر برخورد می کند.

حل:

$$z = \sqrt{\frac{2\rho_f .q.x}{(\rho_s - \rho_f)K}} \rightarrow 57 = \sqrt{\frac{2\times 1\times 1.5x}{(1.025-1)\times 13.6}} \rightarrow x = 368.2m$$

۱۳-۳) در مسئله قبل اگر در فاصله ۸۰۰ متری از دریا چاهی با دبی ۵ لیتر در ثانیه در حال پمپاژ باشد، میزان جابجائی سطح مشترک را محاسبه کنید.

حل:

$Q_w = 5lit/s = 432m^3/day, B = 57m, q = 1.5m^3/day/m, K = 13.6m/day$

$x_w = 800m$

$$\delta = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} = \frac{1}{1.025-1} = 40$$

$$\frac{1}{2}(1+40)\frac{75^2}{40^2} = \frac{1.5}{13.6}x + \frac{432}{4\pi \times 13.6} Ln\left[\frac{x-800}{x+800}\right]^2 \rightarrow x_w = 433m$$

میزان جابه جایی سطح مشترک : $433\text{-}368=65m$

۱۳-۴) در مسئله قبل آیا با دبی مذکور، آب شور وارد چاه می شود؟ (با محاسبه نشان دهید)

حل:

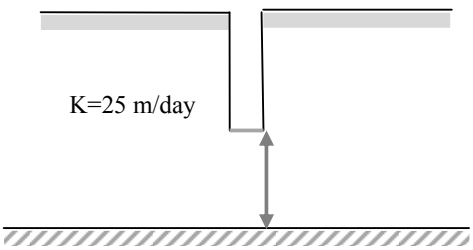
$$\lambda = \frac{13.6 \times 57^2}{1.5 \times 800}\left(\frac{1+40}{40^2}\right) = 0.943$$

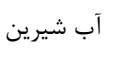
$$0.943 = 2(1-\frac{\mu}{\pi})^{0.5} + \frac{\mu}{\pi} Ln\left[\frac{1-(1-\mu/\pi)^{0.5}}{1+(1-\mu/\pi)^{0.5}}\right] \rightarrow \mu = 0.947$$

$$Q_w = \mu.x_w/q = 0.947 \times 800 \times 1.5 = 1136m^3/day \succ 432$$

بنابراین آب شور وارد چاه نمی شود.

۱۳-۵) یک چاه ناقصی در یک لایه آزاد شیرین حفر شده است. زیر این لایه یک لایه آب شور قرار دارد. رقوم کف چاه ۲۵ متر و رقوم مرز بین آب شور و شیرین قبل از پمپاژ ۱۲ متر می باشد. هدایت هیدرولیکی لایه آبده ۲۵ متر در روز است. دبی مجاز پمپاژ را که سبب شور شدن آب چاه نمی شود را محاسبه کنید.





حل:

$$Q_{\max} = \frac{\pi d^2 K(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f} = \frac{3.14 \times 13^2 \times 25(1.025-1)}{1} = 332 m^3/day$$

۱۳-۶) اگر در مسئله قبل دبی چاه ۴۵۰ متر مکعب در روز باشد، طول چاه را حداقل چقدر باید کاهش داد تا آب شور وارد چاه نشود.

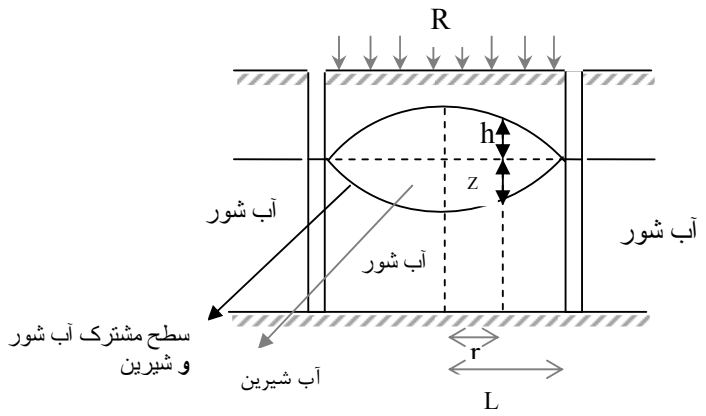
حل:

$$Q_{\max} = \frac{\pi d^2 K(\rho_s - \rho_f)}{\rho_f} \rightarrow 450 = \frac{3.14 d^2 \times 25 \times (1.025-1)}{1}$$

$$\rightarrow d = 15.1m$$

بنابراین حداقل کاهش طول چاه ۱۳-۱۵/۱ یعنی ۲/۱ متر می باشد.

۱۳-۷) یک جزیره بشعاع L با آبهای شور احاطه شده است. اگر شدت تغذیه این جزیره با آب شیرین R باشد، رابطه ای بدست آورید که بوسیله آن بتوان سطح مشترک آب شور و شیرین را ترسیم نمود.



حل:

طبق حل مسئله ۶-۳ در شعاع r مقدار دبی بصورت زیر بدست می آید :

$$Q = \pi r^2 R \qquad (1)$$

از طرفی بر اساس قانون دارسی می توان نوشت:

$$Q = -2\pi r(z+h)K\frac{dh}{dr} \qquad (2)$$

$$(1),(2) \rightarrow \pi r^2 R = -2\pi r(z+h)K\frac{dh}{dr} \qquad (3)$$

$$h = \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} z \rightarrow h = \frac{z}{\delta} \rightarrow dh = \frac{dz}{\delta} \qquad (4)$$

$$(3),(4) \rightarrow \pi r^2 R = -2\pi r(z+h)K\frac{dz}{\delta dr} \rightarrow rdr = \frac{-2K(1+1/\delta)}{\delta R} zdz$$

$$\rightarrow \frac{r^2}{2} = \frac{-2K(1+1/\delta)}{\delta R}\frac{z^2}{2} + c \qquad (5)$$

$$\left|\begin{matrix} r = L \\ z = 0 \end{matrix}\right. \rightarrow c = \frac{L^2}{2} \qquad (6)$$

$$(5),(6) \rightarrow \frac{r^2}{2} = \frac{-2K(1+1/\delta)}{\delta R}\frac{z^2}{2} + \frac{L^2}{2}$$

$$\rightarrow z^2 = \frac{(L^2 - r^2)\delta^2 R}{2K(1+\delta)}$$

مقدار $z_{\max}$ با قرار دادن $r = 0$ در معادله فوق به صورت زیر بدست می آید:

$$z_{\max}^2 = \frac{L^2\delta^2 R}{2K(1+\delta)}$$

فهرست مراجع:

الف) منابع فارسی

۱- شایان نژاد، م. ۱۳۷۸. اصول طراحی سیستمهای زهکشی، انتشارات دانشگاه شهرکرد.
۲- شمسایی، ا. ۱۳۷۶. هیدرولیک جریان در محیط های متخلخل- جلد دوم: مهندسی آب های زیر زمینی، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
۳- محمودیان شوشتری، م. ۱۳۹۲. هیدرولیک آبهای زیرزمینی، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ دوم.

ب) منابع انگلیسی

1. Bear, J.1979. Hydraulics of Groundwater, McGraw-Hill, New York.
2. Harr, M.E. 1962, Groundwater and seepage, McGraw-Hill, New York.
3. Huisman, L., Groundwater Recovery- Problems and Their Solutions, Delft University.
4. Marino, M.A. and J.N. Luthin,1982, Seepage and Groundwater,Elsevier, New York.
5. Raghunath, H.M. 2007. Groundwater.
6. Rushton, K.R. 2003. Groundwater Hydrology, John Wiley and Sons Ltd,England.
7. Todd, D.K. and L.W. Mays. 2005. Groundwater Hydrology, John Wiley and Sons ,New York.