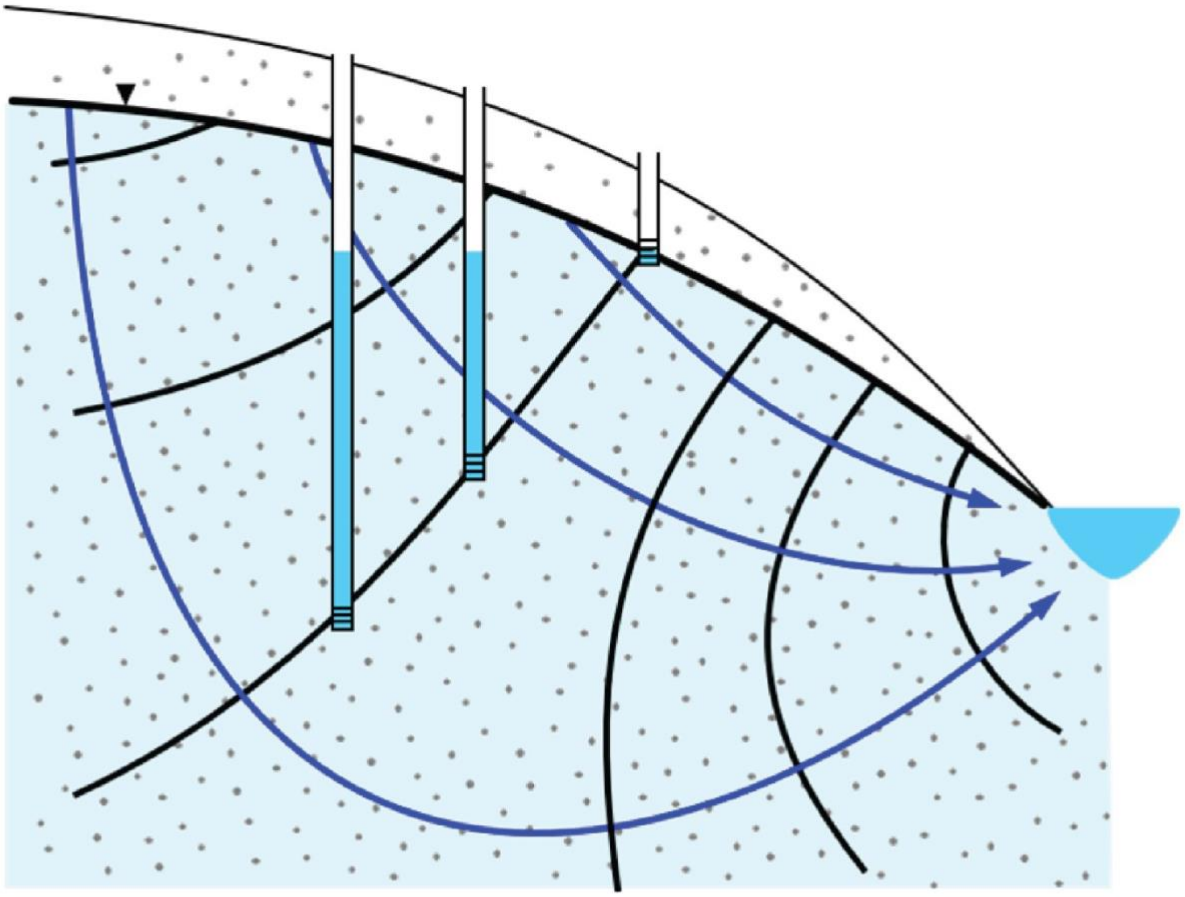


درک مفهومی و بصری بار هیدرولیکی و جریان آب‌زیرزمینی

اندرو کوهن و جان چری

مترجم: عطاءاله جودوی

THE GROUNDWATER PROJECT

درک مفهومی و بصری بار هیدرولیکی و جریان آب‌زیرزمینی

The Groundwater Project

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

اندرو کوهن
موسسه فناوری نیوجرسی

نیوآرک، نیوجرسی، ایالات متحده آمریکا

جان چری
مرکز تحقیقات آبهای زیرزمینی G360
گوئلف، انتاریو، کانادا

مترجم: عطاءاله جودوی
مرکز آموزش عالی کاشمر
کاشمر، خراسان رضوی، ایران

درک مفهومی و بصری بار هیدرولیکی و جریان آب‌زیرزمینی

The Groundwater Project
گوئلف، انتاریو، کانادا

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

تمامی حقوق محفوظ است. این نشریه بوسیله قوانین حق تکثیر (کپی رایت) محافظت می‌شود. هیچ بخشی از این کتاب را نمی‌توان به هیچ شکل و وسیله‌ای بدون اجازه کتبی از نویسندگان تکثیر کرد (برای درخواست مجوز با این ایمیل مکاتبه کنید: permissions@gw project.org). توزیع و تکثیر با اهداف تجاری اکیدا ممنوع است.

آثار تهیه شده در The Groundwater Project را می‌توان به‌صورت رایگان از gw-project.org دانلود کرد. قرار دادن آثار تهیه شده در The Groundwater Project در وب‌سایت‌های دیگر و ارسال مستقیم فایل کتابها به دیگران مجاز نیست.

حق نشر (Copyright © 2020) در اختیار اندرو کوهن و جان چری (نویسندگان) می‌باشد.

منتشر شده توسط The Groundwater Project، گوئلف، انتاریو، کانادا، 2020.

درک مفهومی و بصری بار هیدرولیکی و جریان آب‌زیرزمینی

اندرو کوهن و جان چری، گوئلف، انتاریو، کانادا، 2020.

شماره استاندارد بین‌المللی کتاب ISBN: 978-1-77470-052-5

مترجم: عطاءاله جودوی، مشهد، خراسان رضوی، ایران، 1400.

58 صفحه

سردبیران: جان چری و الین پوئتر

هیئت مدیره: جان چری، پال شی، اینک کالویج، استفان موران، اورتن دی الیویرا و الین پوئتر

کمیته راهبری: جان چری، یین فان، آلن فریز، پال شی، اینک کالویج، داگلاس مک کی، استفان موران، اورتن دی الیویرا، بث پارکر، الین پوئتر، وارن وود، یان ژنگ

تصویر روی جلد: کوهن و چری، 2020

تقدیم نامه

اهدا شده به منظور انتشار دانش آب‌زیرزمینی.

معرفی The Groundwater Project

مجموعه اعضا و شرکای برنامه آب سازمان ملل متحد (UN-Water) موضوع سالانه خود را چند سال پیشتر تعیین می‌کنند. موضوع روز جهانی آب در تاریخ 22 مارس 2022، "آب‌زیرزمینی: نادیدنی را دیدنی کنیم" خواهد بود. این موضوع بهانه رونمایی‌ی اولین کتابهای Groundwater Project (GW-Project) در سال 2020 میلادی شد که هدف از آن برجسته کردن و مورد توجه قراردادن آب‌زیرزمینی بود.

The GW-Project به عنوان یک سازمان غیرانتفاعی (ثبت شده در کانادا در سال 2019) متعهد است که به پیشرفت در آموزش کمک کند و رویکرد جدیدی در ایجاد و انتشار دانش برای فهم و حل مشکلات ارائه کند. *پروژه آب‌زیرزمینی* وب سایت https://gw-project.org را به عنوان یک پلتفرم جهانی برای دموکراتیک‌سازی دانش آب‌زیرزمینی اداره می‌کند و بر این اساس بنا شده است که:

"دانش باید رایگان باشد و بهترین دانش، دانش رایگان است."

مأموریت The GW-Project ارائه مطالب آموزشی جذاب، با کیفیت بالا و دسترسی آسان و رایگان در زبانهای مختلف، به همه کسانی است که می‌خواهند درباره آب‌زیرزمینی بیاموزند و درک کنند که چگونه آب‌زیرزمینی با زندگی انسان، سامانه‌های بوم‌شناختی و محیط زیست ارتباط دارد و باعث حفظ آنها می‌شود. این یک نوع جدید از تلاشهای آموزشی جهانی است که بصورت داوطلبانه توسط افراد حرفه‌ای نظیر دانشگاهیان، مشاوران و بازنشستگان از رشته‌های مختلف انجام می‌شود. در حال حاضر، صدها داوطلب از بیش از دویست سازمان از چهارده کشور و شش قاره در این پروژه مشارکت دارند. این مشارکت روندی رو به گسترش دارد.

The GW-Project یک کوشش مداوم است که با انتشار برخط (آنلاین) صدها کتاب در طول سالهای آینده، ابتدا به زبان انگلیسی و سپس به زبانهای دیگر، برای دریافت و استفاده در هر جایی که اینترنت در دسترس است، ادامه خواهد یافت. همچنین انتشارات The GW-Project شامل محصولات تکمیلی دیگر مانند فیلم، سخنرانی، نمایش آزمایشگاهی و دیگر ابزارهای یادگیری به همراه فراهم آوردن دسترسی به نرم افزارهایی برای پشتیبانی از فرایند آموزش می‌شود که البته شامل قوانین حق نشر نمی‌شوند.

The GW-Project موجودیتی زنده و پویا دارد، بنابراین ویرایش‌های بعدی کتاب‌ها نیز منتشر خواهد شد. از کاربران دعوت می‌شود اصلاحات را پیشنهاد دهند.

ما از شما برای عضویت در جامعه The GW-Project تشکر می‌کنیم. امیدواریم که در مورد تجربه‌تان از خواندن کتابها و مطالب مربوطه بشنویم. ما از ایده‌ها و افراد داوطلب استقبال می‌کنیم.

کمیته راهبری The GW-Project، اکتبر 2020

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

پیشگفتار

علم آب‌زیرزمینی پیچیده بوده و برای درک جامع موضـــوعات آن به انواع مختلفی از اطلاعات نیاز دارد. اما اساسی‌ترین و مهمترین این اطلاعات بار هیدرولیکی (یا هد) است. بار هیدرولیکی، ارتفاع آب در چاه نسبت به یک سطح افقی مشخص (مبنای ارتفاعی) مانند سطح دریا است. هنگامی که بار هیدرولیکی با ویژگی‌های اساسی زمین‌شناختی مانند هدایت هیدرولیکی در چارچوب قانون (قاعده) دارسی ترکیب شود، می‌توان در مورد جهت جریان آب‌زیرزمینی استنباط کرد، و این یک نقطه شروع برای بررسی انواع شرایط آب‌زیرزمینی است. برای اندازه گیری بار هیدرولیکی، ما یک چاه تا سطح ایستابی حفر می‌کنیم. برای سامانه‌های آب‌زیرزمینی (آبخوان‌های) عمیق، یک چاه عمیق حفر می‌شود بطوریکه لوله جدار چاه نفوذناپذیر است و فقط قسمت انتهایی لوله به سامانه آب‌زیرزمینی (آبخوان) راه دارد. در نتیجه آب از قسمت انتهایی لوله وارد چاه می‌شود و بالا می‌آید تا به یک سطح پایدار برسد.

هدف این کتاب، توسعه درک مفهومی از بار هیدرولیکی و گسترش تولیایی تجسم جریان آب‌زیرزمینی در فضای یک و دو بعدی بر اساس داده‌های بار هیدرولیکی و اطلاعات مربوط به شرایط زمین‌شناسی مانند هدایت هیدرولیکی است. به منظور کمک کردن به توسعه بینش آب‌زیرزمینی، از تصاویر (شماتیک) ساده‌ای استفاده شده است که هرکدام از آنها مانند جزئی از یک پازل تصویری هستند. پس از مطالعه و درک کردن شکلها و تمرینهای متوالی در یک زمینه، خواننده آماده تفسیر داده‌های بار هیدرولیکی از سامانه‌های آب‌زیرزمینی مشابه می‌شود. خواننده کتاب باید بتواند به عنوان پاسخ به مسائل متنوع مربوط به بار هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی، نمودارهایی ترسیم کند. این کتاب هنگامی تاثیرگذارتر خواهد بود که همراه با دیگر کتاب The GW-Project «خواص هیدروژئولوژیکی مواد زمین و اصول جریان آب‌زیرزمینی[1]» (وسنر و پوئتر، 2020) مورد استفاده قرار گیرد.

نویسنده این کتاب، یک هیدروژئولوژیست مشاور با تجربه زیاد و دارای علاقه خاص به طراحی شکل‌ها برای نمایش موثرتر اطلاعات آب‌زیرزمینی در ابعاد چندگانه است و درسهای هیدروژئولوژی آلاینده‌ها را در سطح دانشگاه تدریس کرده است.

جان چری، رهبر The Groundwater Project

گوئلف، انتاریو، کانادا، اکتبر 2020

[1] Hydrogeologic Properties of Earth Materials and Principles of Groundwater Flow (Woessner and Poeter, 2020)

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

پیشگفتار نسخه فارسی

در این کتاب، مفاهیم پایه‌ای هیدرولیک آب‌زیرزمینی مانند بار هیدرولیکی، خطوط هم‌پتانسیل، گرادیان هیدرولیکی و جهت جریان آب‌زیرزمینی در قالب شکلهای شماتیک و نمودار توضیح داده شده‌اند. در واقع سعی شده است با ارائه مثالهای متعدد در مقیاس‌های آزمایشگاهی و آبخوان‌های فرضی، چگونگی تغییرات بار هیدرولیکی در جهت افقی و عمودی در آبخوانهای آزاد و محصور، لایه‌های نیمه‌نفوذپذیر و آبخوان‌های نشتی با رسم شکل و نمودار آموزش داده شود. این کتاب به علت سادگی و اهمیت مفاهیم مطرح شده در آن، می‌تواند مورد استفاده دانشجویان و عموم افرادی که به فراگیری دانش آب‌زیرزمینی علاقه‌مند هستند قرار گیرد.

این کتاب با هدف ایجاد دسترسی رایگان و جامعه‌پذیر کردن علم آب‌زیرزمینی بین فارسی‌زبانان به منظور درک مفاهیم و قابل مشاهده کردن آبهای زیرزمینی و در نهایت دستیابی به اهداف مدیریت یکپارچه منابع آب و توسعه پایدار به زبان فارسی ترجمه شده است.

امید است با داوطلب شدن در The GW-Project و ترجمه دیگر کتابها و آثار این پروژه، فرصتی برای گسترش دانش آب‌زیرزمینی و خدمت به جامعه ایجاد شود.

از مطالب کتاب لذت ببرید و سفر خوبی به دنیای جذاب آب‌زیرزمینی داشته باشید!!

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

مقدمه

انگیزه نگارش این کتاب از تجربه نویسندگان در تدریس هیدروژئولوژی ریشه می‌گیرد. به طور خاص ما (نویسندگان کتاب) دریافته‌ایم که بنیادی‌ترین پایه‌های علم آب‌زیرزمینی، یعنی بار هیدرولیکی و قانون دارسی، اگرچه در شکل ریاضی ساده است، اما تجسم و درک آن برای اغلب دانشجویان چالش برانگیز است. از طرفی، این مهارت (توانایی تجسم و درک بار هیدرولیکی و قانون دارسی) برای تفسیر داده‌های هیدروژئولوژیکی مورد نیاز و ضروری است. با توجه به قدرت آموزش تصویری، ما نگاره‌های متعددی را ارائه می‌دهیم که بار هیدرولیکی را به ویژگیهای زمین‌شناختی در سناریوهای مختلف جریان در محیط متخلخل مرتبط می‌کند. پس از مطالعه سلسله شکلها و تمرینهای مربوطه، خواننده آماده تفسیر داده‌های واقعی بار هیدرولیکی می‌شود که از سامانه‌های آب‌زیرزمینی در مطالعات میدانی جمع‌آوری شده‌اند. تمرینات، بجای حل معادلات، نیازمند تامل و ادغام مفاهیم هستند.

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

تقدیر و تشکر

از افراد زیر به دلیل نقد و بررسیهای کامل و سودبخش بر این کتاب تشکر می‌کنیم:

- پیتر گری، نائب رئیس و هیدروژئولوژیست ارشد شرکت مشاور MTE، کانادا؛
- جانا لوویسون، دانشیار، موسسه تحقیقات آب‌زیرزمینی G360، دانشکده مهندسی ، دانشگاه گوئلف؛
- الکو لوکاس، مدیر موسسه مطالعات آبهای زیرزمینی (IGS) ، دانشگاه فری استیت، آفریقای جنوبی؛
- جسیکا مایر، استادیار، گروه علوم زمین و محیط زیست، دانشگاه آیووا؛
- گای پاتریک، مدیر شرکت مشاور پاتریک، بریتیش کلمبیا، کانادا ؛
- الیشا پرساد، دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه گوئلف؛
- کامینی سینگها، استاد گروه زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی، مدرسه معادن کلرادو، ایالات متحده آمریکا؛
- هیو وایتلی، استاد مدعو، دانشگاه گوئلف، کانادا؛ و
- ویلیام ووسنر، استاد ممتاز بازنشسته هیدروژئولوژی، دانشگاه مونتانا، مونتانا، ایالات متحده آمریکا.

همچنین از آماندا سیلز و النن دایک که هر دو جزئی از The GW-Project هستند برای ویرایش و ویراستاری این کتاب و از آلین پوئتر (داوطلب The GW-Project از مدرسه معدن کلرادو، ایالات متحده آمریکا) برای ویراستاری و صفحه‌آرایی آن سپاسگزاریم.

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

قدردانی مترجم

از اندرو کوهن (نویسنده) برای تشویق من به ترجمه این کتاب به فارسی و از دکتر ابوالفضل رضایی (عضو هیات علمی دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان) برای بررسی و ویرایش نسخه فارسی سپاسگزاری می‌کنم. همچنین قدردان استادانی هستم که در راه گسترش علم هیدروژئولوژی در ایران تلاش نموده‌اند بویژه آقایان دکتر محمد زارع، دکتر عزت‌اله رئیسی و دکتر نوذر سامانی (اساتید ممتاز بازنشسته دانشگاه شیراز، ایران).

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

فهرست

تقدیم نامه IV
معرفی THE GROUNDWATER PROJECT IV
پیشگفتار V
پیشگفتار نسخه فارسی VI
مقدمه VII
تقدیر و تشکر VIII
قدردانی مترجم IX
1 سرشت و هدف این کتاب 1
2 مفاهیم اساسی 2
1.2 قانون دارسی 2
2.2 گرادیان بار هیدرولیکی به عنوان نمودگاه سایر متغیرها و شرایط 6
نمونه مساله 1 8
3.2 مولفه‌های بار هیدرولیکی 8
نمونه مساله 2 12
3 نمودارهای بار هیدرولیکی بر اساس قانون دارسی 13
4 خطوط هم‌پتانسیل و جهت جریان 19
1.4 ملاحظات کلی 19
نمونه مسئله 3 21
5 جریان پایدار در محیط اشباع در مقیاس واقعی 23
1.5 هیدرولیک جریان در آبخوان‌های محصور 24
نمونه مساله 4 25
2.5 هیدرولیک جریان در آبخوان آزاد 26
نمونه مسأله 5 28
نمونه مساله 6 32
نمونه مساله 7 32
نمونه مساله 8 33
نمونه مساله 9 33
3.5 آبخوانها و لایه‌های نیمه‌تراوا 34
نمونه مسئله 10 37
نمونه مسئله 11 38
نمونه مسئله 12 39
6 خلاصه مطالب کتاب 40
7 پاسخ نمونه مساله‌ها 41
نمونه مساله 1 41
نمونه مساله 2 42
نمونه مساله 3 43

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

نمونه مساله 4 44

نمونه مسأله 5 45
نمونه مساله 6 46
نمونه مساله 7 48
نمونه مساله 8 49
نمونه مساله 9 50
نمونه مسئله 10 51
نمونه مسئله 11 52
نمونه مسئله 12 54

8 منابع 56

درباره نویسندگان 57

درباره مترجم 57

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

1 سرشت و هدف این کتاب

این کتاب، مفاهیم بنیادین علم آب‌زیرزمینی را معرفی می‌کند. بویژه بنیانهای قانون دارسی، بار هیدرولیکی، گرادیان (شیب) هیدرولیکی و خطوط هم‌تانسیل، با حداقل ریاضیات و به یک روش مفهومی و بصری ارائه شده است تا بینش و درک اولیه تبدیل به دانش شود.

این کتاب با اثر واسنر و پوئتر (2020)[1] که مفاهیم بنیادین علم آب‌زیرزمینی را با زیربنای ریاضیاتی ارائه می‌دهد، به خوبی جفت می‌شود. این کتاب، آزمایش و قانون دارسی را بر پایه مفهوم گرادیان هیدرولیکی بیان می‌کند و بار هیدرولیکی را در کنار هدایت هیدرولیکی را به عنوان شاخصهای اصلی درک جریان (آب‌زیرزمینی) معرفی می‌کند. از نظر مفهومی، کتاب نشان می‌دهد که پیزومترها، چاه‌هایی هستند که برای اندازه‌گیری بار هیدرولیکی استفاده می‌شوند. تأکید ابتدا بر جریان یک بعدی و بعد دو بعدی جریان پایدار[2] و اشباع قرارگرفته تا نشان دهد که چگونه توزیع بارهیدرولیکی و گرادیان هیدرولیکی در ناحیه اشباع زیر زمین تحت تأثیر تغییرات هدایت هیدرولیکی و مرزهای گستره جریان[3] قرار می‌گیرد. همچنین بر نشان دادن این موضوع تأکید شده است که چگونه نیمرخ‌ها یا مقاطع بار هیدرولیکی (توزیع عمودی بار هیدرولیکی) و خطوط هم‌پتانسیل برای استنباط جهت جریان آب‌زیرزمینی در آبخوانها که جریان به طور کلی افقی است و در لایه‌های نیمه‌ناتراوا[4] (نشتی) که جریان عموما عمودی هستند، به‌کار می‌روند. در این کتاب در مورد شبکه‌های جریان[5] بصورت عمیق بحث نمی‌شود، اما بدلیل اهمیت آنها برای علم آب‌زیرزمینی، برخی شکل‌ها نشان‌دهنده شبکه‌های جریان است که در آن سطح آب‌زیرزمینی، خطوط هم‌پتانسیل (در نمای نقشه و مقاطع/نیمرخ‌ها) و خطوط جریان به تصویر کشیده شده است. دیگر کتاب پروژه آب‌زیرزمینی که توسط پوئتر و شی (2020)[6] تالیف شده است، شبکه‌های جریان و نحوه ایجاد آنها توضیح می‌دهد. به طور کلی، این کتاب هر آن چیزی که برای تجسم الگوهای جریان آب‌زیرزمینی بر اساس ارتفاع آب اندازه‌گیری شده در چاه‌ها و با در نظر گرفتن ویژگیهای اساسی زمین شناسی لازم است را در اختیار دانشجویان قرار می دهد. از آنجا که مقدار بار هیدرولیکی را می‌توان نسبتاً آسان و با حداقل عدم قطعیت در عمل (با اندازه‌گیری میدانی) بدست آورد، درک ماهیت مکانی داده‌های بار هیدرولیکی (در سه بعد) برای توسعه تفکر هیدروژئولوژیکی کلیدی است. این کتاب دربردارنده مجموعه‌ای از شکلهای شماتیک ساده به همراه توضیحاتی هست که نکات خاصی را نشان می‌دهند. علاوه بر این، مسائل و مثالهایی در سراسر کتاب ارائه شده است که هر کدام دارای یک شکل همراه با سوالاتی است که در مورد آنچه شکل نشان می‌دهد و/یا نیاز به طرح توسط دانشجو دارد، پرسیده می‌شود. پاسخ سوالات در انتهای کتاب به همراه توضیحی در مورد پاسخ صحیح ارائه شده است. برای سوالات چند گزینه‌ای، دلیل نادرست بودن سایر گزینه‌ها ارائه می‌شود، که فرصتی برای درک عمیقتر را فراهم می‌کند. مسائل کتاب نیازمند تفکر و ادغام مفاهیم است نه حل معادلات.

---

[1] Woessner and Poeter (2020)

[2] steady

[3] flow domain

[4] aquitard

[5] flow nets

[6] Poeter and Hsieh (2020)

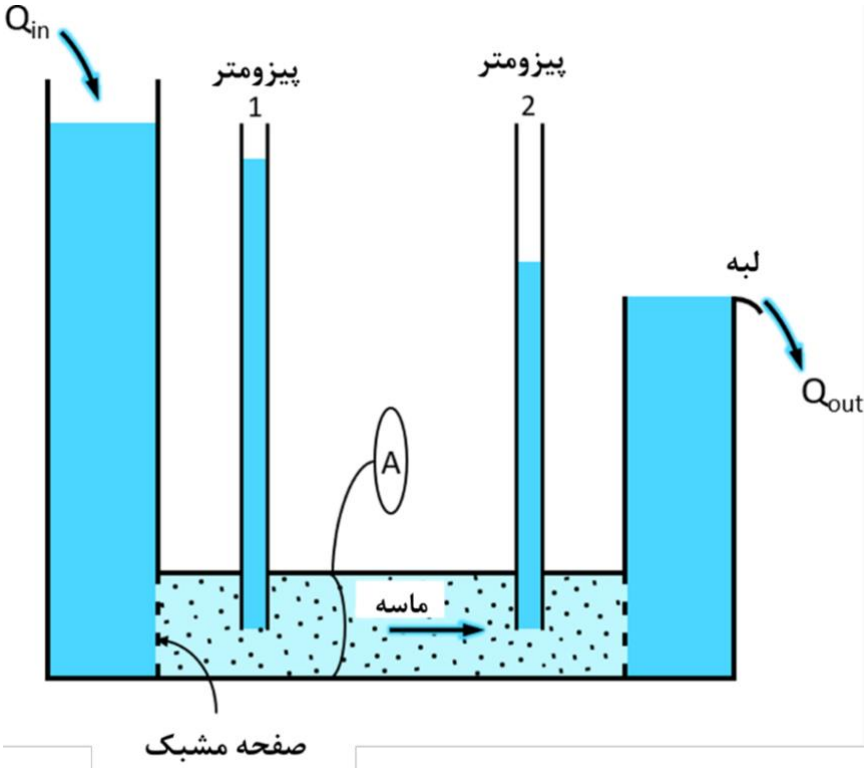
The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

2 مفاهیم اساسی

1.2 قانون دارسی

در سال 1856، هنری دارسی نتایج آزمایشات ستون ماسه‌ای را که برای درک بهتر اصول جریان آب در فیلترها انجام داده بود منتشر کرد که در طراحی سامانه‌های تامین آب در دیژون فرانسه استفاده شده بود (دارسی ، 1856). در نتیجه این آزمایشات، دارسی یک رابطه ریاضی کشف کرد که جریان آب را به گرادیان (شیب) هیدرولیکی ارتباط می‌داد. این رابطه ریاضی اکنون به عنوان قانون دارسی شناخته می شود که معادله اساسی توصیف کننده جریان سیال در محیط متخلخل، از جمله آب‌زیرزمینی است. او کشف کرد که سرعت جریان آب درون یک ستون ماسه‌ای تابع خطی از تلفات بار هیدرولیکی در سراسر فیلتر ماسه‌ای است، نه فقط اینکه تابع تفاوت فشار آب باشد. قانون دارسی علاوه بر ارتباط آن با هیدرولوژی آب‌زیرزمینی، مبنای بسیاری از رشته های علوم و مهندسی از جمله علوم خاک، مهندسی عمران، مهندسی نفت و مهندسی شیمی را شکل می‌دهد. قانون دارسی علاوه بر اینکه پایه‌ای برای درک و پیش‌بینی رفتار جریان آب‌زیرزمینی است، مبنای تفسیر اندازه‌گیریهایی مانند سطح آب در چاه‌ها نیز بشمار می‌رود.

دستگاه آزمایشگاهی نشان داده شده در شکل (1) را در نظر بگیرید. اگرچه شکل آن با دستگاه دارسی یکسان نیست، اما روابط هیدرولیکی و ریاضیاتی آن مشابه آزمایش دارسی است.



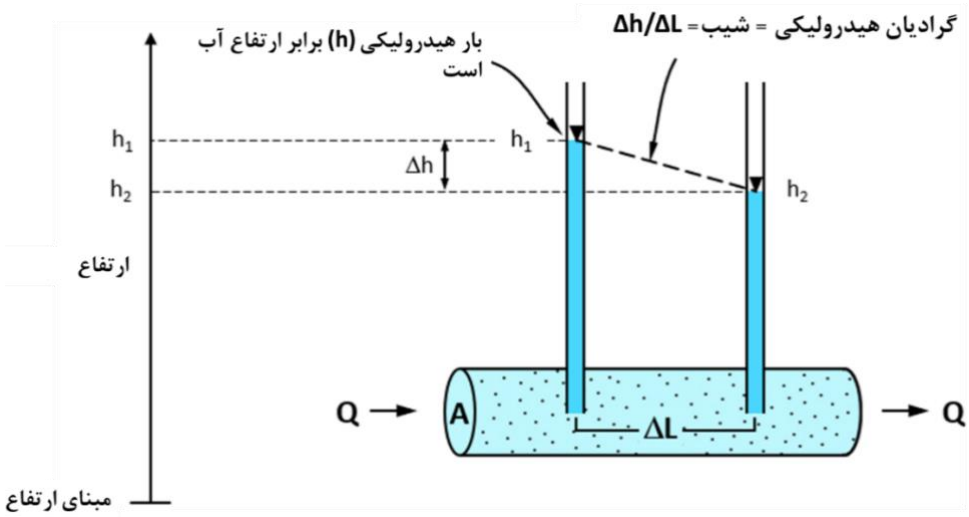
شکل 1 - دستگاه آزمایشگاهی برای نشان دادن قانون دارسی. *A* سطح مقطع استوانه (سیلندر) ماسه‌ای است، *Qin* جریان ورودی به دستگاه و *Qout* جریان خروجی از دستگاه است (کوهن و چری ، 2020).

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

این دستگاه از یک استوانه با سطح مقطع A تشکیل شده است که با یک ماده متخلخل مانند ماسه پر شده است. آب به آرامی به مخزن سمت چپ وارد می‌شود و به تدریج به درون استوانه پر از ماسه جریان می‌یابد تا جایی که منافذ ماسه به طور کامل اشباع شوند. سطح آب در هر مخزن همچنان بالا می‌رود تا اینکه سطح آب در مخزن سمت راست به بالای آن برسد و سرریز شود. به این ترتیب، اگرچه آب همچنان به مخزن چپ وارد می‌شود، اما ارتفاع ستون آب در سمت راست ثابت می‌ماند. سطح آب در مخزن چپ همچنان افزایش می‌یابد تا اینکه دبی ورودی (Q_{in})، با دبی خروجی (Q_{out}) برابر شود، در آن زمان ارتفاع آب در هر دو مخزن ثابت می‌شود. یعنی شرایط جریان پایدار برقرار می‌شود و Q، نرخ جریان حجمی (دبی) عبوری از استوانه است (یعنی حجم آب در واحد زمان مانند متر مکعب در ثانیه، گالن در دقیقه، لیتر در ثانیه).

پیزومترها (که در این آزمایش، لوله‌های توخالی با قطر کوچک هستند) به داخل استوانه وارد می‌شوند. انتهای بالایی هر پیزومتر بطور مستقیم با محیط بیرونی (اتمسفر) ارتباط دارد و قسمت پایینی آن طوری مشبک شده است که فقط آب بتواند وارد شود، اما دانه‌های ماسه وارد نشوند. بعد از وارد کردن پیزومترها، سطح آب در هر پیزومتر تا یک ارتفاع پایدار افزایش می‌یابد. ارتفاع آب اندازه‌گیری شده در هر پیزومتر نشان دهنده بار هیدرولیکی در نقطه اندازه‌گیری است که در این حالت انتهای باز پیزومتر درون ماسه است. بعداً، اجزای مختلف بار هیدرولیکی در محیط متخلخل را بررسی می‌کنیم که شامل فشار در نقطه اندازه‌گیری به دلیل ستون آب بالای آن و ارتفاع نقطه اندازه‌گیری می‌شود. همانطور که در ادامه بحث خواهیم کرد، اندازه‌گیری فشار به تنهایی برای ارزیابی شرایط آب‌زیرزمینی کافی نیست.

شکل (2) نمایش مختصر از آزمایشی است که چارچوبی برای توصیف قانون دارسی ارائه می‌دهد. اگر یک مبنای دلخواه را در ارتفاع $z = 0$ (به عنوان مثال، میانگین سطح دریا) در نظر بگیریم، ارتفاع آب در پیزومترها h_1 و h_2 و فاصله بین پیزومترها ΔL است.



شکل 2 - تصویر شیب (گرادیان) هیدرولیکی بر اساس دو نقطه اندازه‌گیری. گرادیان هیدرولیکی با فاصله بین پیزومترها و تفاوت بار هیدرولیکی تعریف می‌شود (کوهن و چری ، 2020).

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

قانون دارسی (معادله 1) بیان می‌کند که نرخ جریان حجمی (دبی، Q)، متناسب است با: (1) تفاوت بار هیدرولیکی در فاصله ΔL، (2) ضریب K (هدایت هیدرولیکی)، محدودیتی برای جریان است که توسط محیط جامد (ماسه در این مثال) و چگالی و ویسکوزیته (گِران‌رَوی) سیال جاری در محیط متخلخل (آب در این مثال) اعمال می‌شود، و (3) سطح مقطع عمود بر جهت جریان:

$$Q = -K\frac{(h_2 - h_1)}{\Delta L}A \qquad (1)$$

علامت منفی بیانگر این واقعیت است که ما جریان را در جهت کاهش بار هیدرولیکی (جریان آب از ارتفاع بالاتر به ارتفاع پایینتر)، مثبت در نظر می‌گیریم. به عنوان مثال، در شکل 2، عبارت h_2-h_1 منفی است، بنابراین اعمال علامت منفی به مقدار مثبت Q منتج می‌شود.

ماهیت و ویژگیهای هدایت هیدرولیکی در کتاب دیگر The GW-Project که توسط واسنر و پوئتر (2020) تالیف شده است ارائه شده است. اصطلاح $(h_2$-$h_1)/\Delta L$ می‌تواند بصورت کلی‌تر به عنوان گرادیان (شیب) هیدرولیکی همانطور که در رابطه (2) نشان داده شده بیان شود:

$$\Delta h/\Delta L \qquad (2)$$

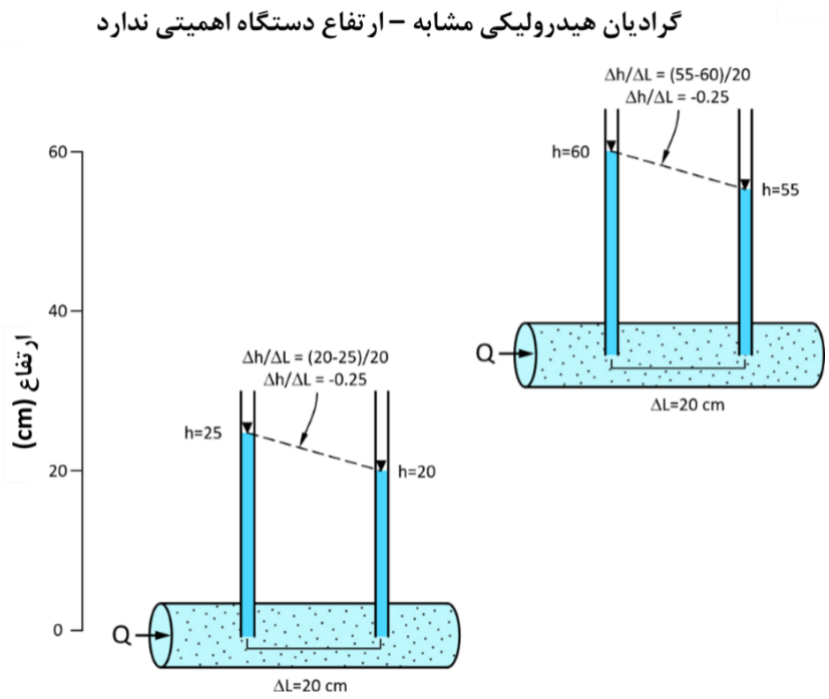
گرادیان هیدرولیکی معمولا با علامت i در فرمول‌ها نشان داده می‌شود که نشان دهنده شیب خط چین در شکل (2) می‌باشد. در نتیجه، قانون دارسی را میتوان به شکل رابطه زیر نوشت:

$$Q = -KiA \qquad (3)$$

قانون دارسی در شرایط جریان آرام (غیر آشفته) اعمال می‌شود، به این معنی که سرعت جریان آب به اندازه کافی کند است که ذرات آب در حین حرکت در حفره‌های به‌هم پیوسته محیط متخلخل مسیرهای متقاطع را طی نمی‌کنند. منظور ما از "ذره آب" مجموعه‌ای از مولکول‌های آب است که حجم بسیار کمی را اشغال کرده به‌طوری که می‌تواند بدون اینکه مولکول‌ها از هم جدا شوند از طریق شبکه به هم پیوسته فضاهای منفذی حرکت کند. این حجم ممکن است بطور حدودی یک میکرومتر مکعب یا کمتر باشد. قانون دارسی توسط واسنر و پوئتر (2020) با جزئیات مورد بحث قرار گرفته است.

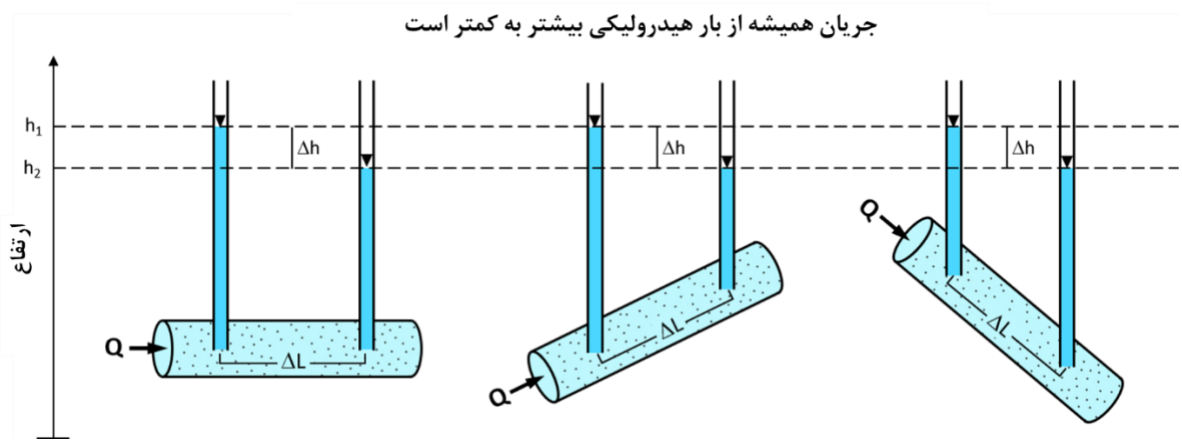
در رابطه با قانون دارسی (معادله 3)، توجه داشته باشید که گرادیان هیدرولیکی از ارتفاع مطلق سطح آب مستقل است. همانطور که در شکل (3) نشان داده شده است، گرادیان فقط بر اساس تفاوت نسبی بار هیدرولیکی است و نه بر اساس مقدار هر بار هیدرولیکی.

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید



شکل 3 - تصویر نشان می‌دهد که گرادیان هیدرولیکی *(Δh/ΔL)* به ارتفاع مطلق وابسته نیست. گرادیان فقط به تفاوت نسبی بار هیدرولیکی وابسته می‌باشد (کوهن و چری ، 2020).

علاوه بر آن، قانون دارسی مستقل از جهت (زاویه) دستگاه عمل می‌کند، زیرا جریان در جهت گرادیان هیدرولیکی رخ می‌دهد. به عنوان مثال، همانطور که در شکل 4 نشان داده شده است، میزان گرادیان هیدرولیکی در همه دستگاه‌ها یکسان است و جهت جریان همیشه موازی دستگاه است.



شکل 4 - دستگاه‌های با جهت مختلف و با گرادیان هیدرولیکی یکسان: میزان گرادیان (Δh/ΔL)) در هر مورد یکسان است و جهت گرادیان در هر مورد موازی لوله است. قانون دارسی مستقل از جهت دستگاه است، بنابراین نرخ جریان (Q) در هر مورد یکسان و جهت جریان موازی با دستگاه است (کوهن و چری ، 2020).

شکل 4 همچنین جنبه مهمی را در مورد نحوه تفسیر اندازه‌گیری گرادیان هیدرولیکی نشان می‌دهد. در موارد نشان داده شده در بالا، گرادیان با ΔL تعریف می‌شود که فاصله بین اندازه‌گیریها در ***امتداد***

مسیر جریان است. با این حال، در عمل، هنگامی که سطح آب را در چاه‌های موجود اندازه‌گیری می‌کنیم یا چاه‌های جدیدی را برای اندازه‌گیری گرادیان هیدرولیکی نصب می‌کنیم، ممکن است جهت جریان را ندانیم (در واقع، جهت جریان یکی از اساسی‌ترین ویژگیهای آب‌زیرزمینی است که سعی داریم آن را مشخص کنیم). موارد مختلف نشان داده شده در شکل 4 را در نظر بگیرید. اگر نتوانیم جهت (زاویه) استوانه را مشاهده کنیم، تنها چیزی که می‌توانیم از اندازه‌گیریهای بار هیدرولیکی بدست آوریم این است که مولفه‌ای از جریان در جهت افقی (به سمت راست) وجود دارد، و به روشنی ممکن است که جریان دارای یک مولفه بالا یا پایین (مولفه عمودی) نیز باشد. در واقع، ما می‌توانیم موردی را تصور کنیم که شیب استوانه حتی بیشتر از موارد نشان داده شده باشد، بطوری که جریان تقریباً عمودی باشد. این تمرین ذهنی به یک ملاحظات اساسی اشاره می‌کند که برای تفسیر داده های بار هیدرولیکی جهت استنباط جهت جریان مورد نیاز است. به این معنا که ما باید در مورد سایر عوامل موثر بر جریان، دانش یا مفروضاتی داشته باشیم. در این مورد، جهت‌گیری مرزهای محدود کننده (یعنی کناره های استوانه) است، که چنین دانشی چارچوبی را فراهم می‌کند که بر اساس آن می‌توانیم داده‌های بار هیدرولیکی را تفسیر کنیم. بعداً در این کتاب ، ما عوامل دیگری را در مورد تفسیر ارتفاع سطح آب در چاه‌ها، مانند تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی و مکان و نوع مناطق تغذیه و تخلیه، مورد بحث قرار می‌دهیم، زیرا برای تفسیر صحیح داده‌های بار هیدرولیکی باید این موارد در نظر گرفته شود.

2.2 گرادیان بار هیدرولیکی به عنوان نمودگاه سایر متغیرها و شرایط

گرادیان هیدرولیکی ($\Delta h/\Delta L$) اغلب به زبان ریاضی بصورت دیفرانسیلی dh/dL بیان می‌شود. بازآرایی قانون دارسی با استفاده از این فرمول نشان می‌دهد که شیب هیدرولیکی تابعی از Q، K و A است:

$$-\frac{dh}{dL} = \frac{Q}{KA} \tag{4}$$

بنابراین، تغییر در هر یک از این متغیرها به صورت تغییر در گرادیان هیدرولیکی ظاهر می‌شود:

$$-dh/dL \propto Q \tag{5}$$

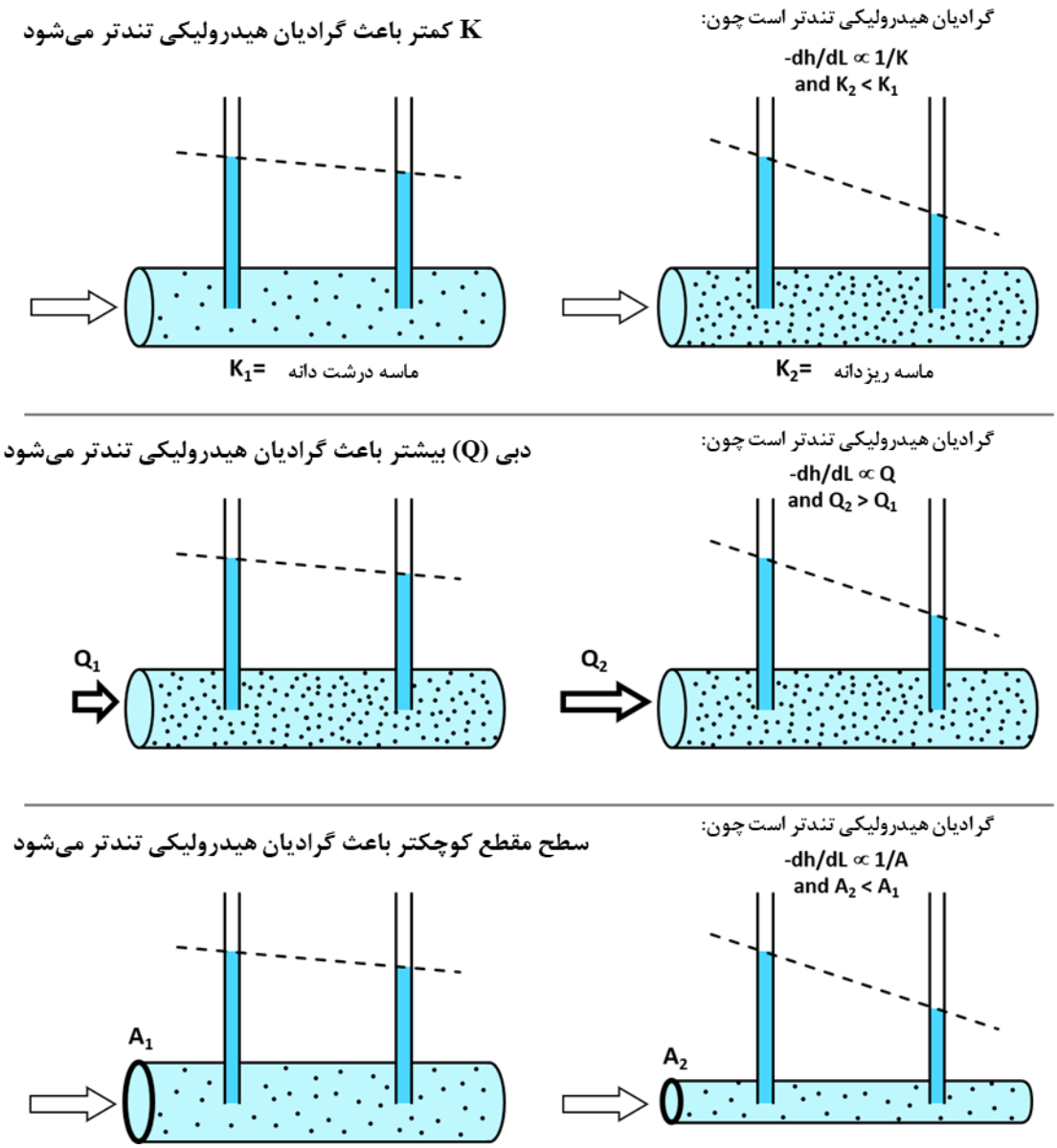
$$-dh/dL \propto 1/K \tag{6}$$

$$-dh/dL \propto 1/A \tag{7}$$

همانطور که قبلاً توضیح داده شد، علامت منفی به این دلیل است که آب از بار هیدرولیکی بالاتر به بار پایین‌تر جریان می‌یابد. عبارت $-dh/dL$ نشان دهنده شیب کاهش بار در جهت جریان است.

شکل 5 این مفهوم را با استفاده از سه سناریوی متفاوت به طور خلاصه بیان می‌کند. گرادیان هیدرولیکی که معمولاً از طریق سطح آب در چاه‌ها اندازه‌گیری می‌شود، پارامتر کنترل کننده‌ای جهت جریان نیست. در عوض، گرادیان هیدرولیکی نمود اثرات ترکیبی هندسه سامانه (آبخوان)، خواص هیدروژئولوژیکی و سرعت جریان اعمال شده به سامانه است.

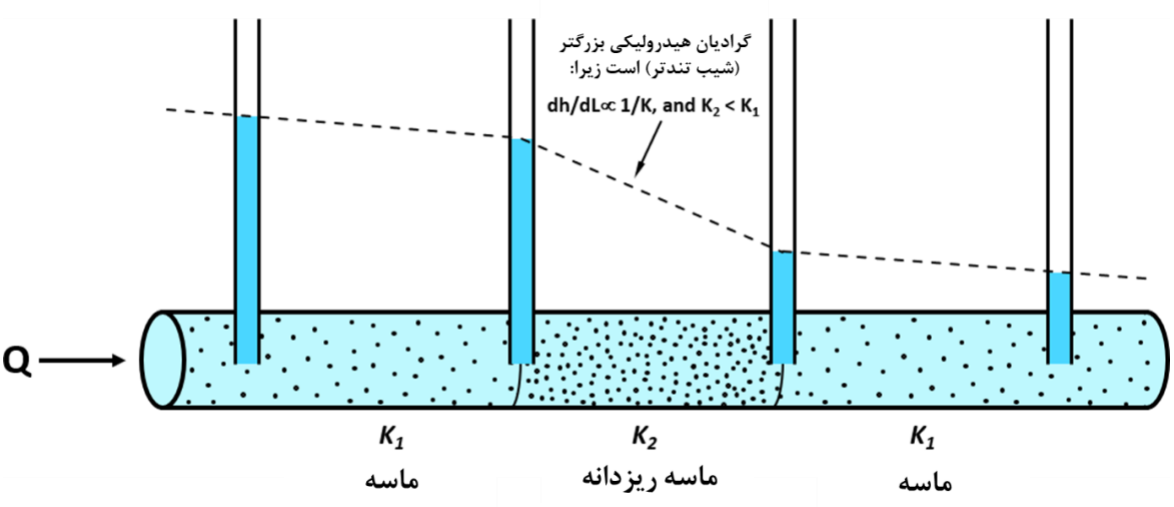
The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید



شکل 5 - نمایش وابسته بودن گرادیان هیدرولیکی به هدایت هیدرولیکی، نرخ جریان و مساحت. در هر مورد، گرادیان مطابق با تناسبات تعریف شده توسط قانون دارسی تغییر می‌کند (کوهن و چری ، 2020).

در مثال نشـان داده شـده در شـکل (6)، $K_2 < K_1$ در حالی که Q و A ثابت هسـتند. Q در هر مکانی در امتداد لوله یکسان است زیرا جرم پایدار است. بنابراین، همانطور که توسط قانون دارسی نشان داده شده اسـت، گرادیان در ناحیه K_2 باید تندتر از سـایر مناطق باشـد. این سـناریوی سـاده نمونه ای از *ناهمگنی*[1] است. در این مثال، هدایت هیدرولیکی یکنواخت نیست.

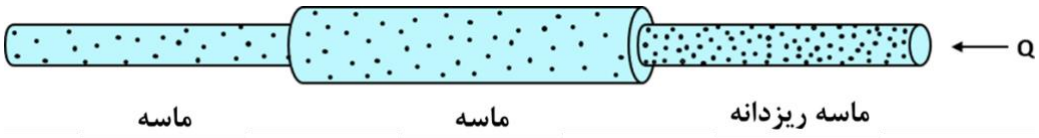
[1] heterogeneity



شکل 6 - تغییر در گرادیان هیدرولیکی به دلیل تغییر در هدایت هیدرولیکی. در این حالت، گرادیان در مقطع با K کمتر، تندتر است، زیرا **شیب** با K رابطه معکوس دارد (کوهن و چری، 2020).

نمونه مساله 1

گرادیان هیدرولیکی افقی را در راستای دستگاه به شیوه‌ای شبیه به شکل 6 رسم کنید (نیازی به دانستن مقادیر واقعی بار هیدرولیکی نیست، بنابراین می‌توانید مقادیر نسبی خود را ایجاد کنید).



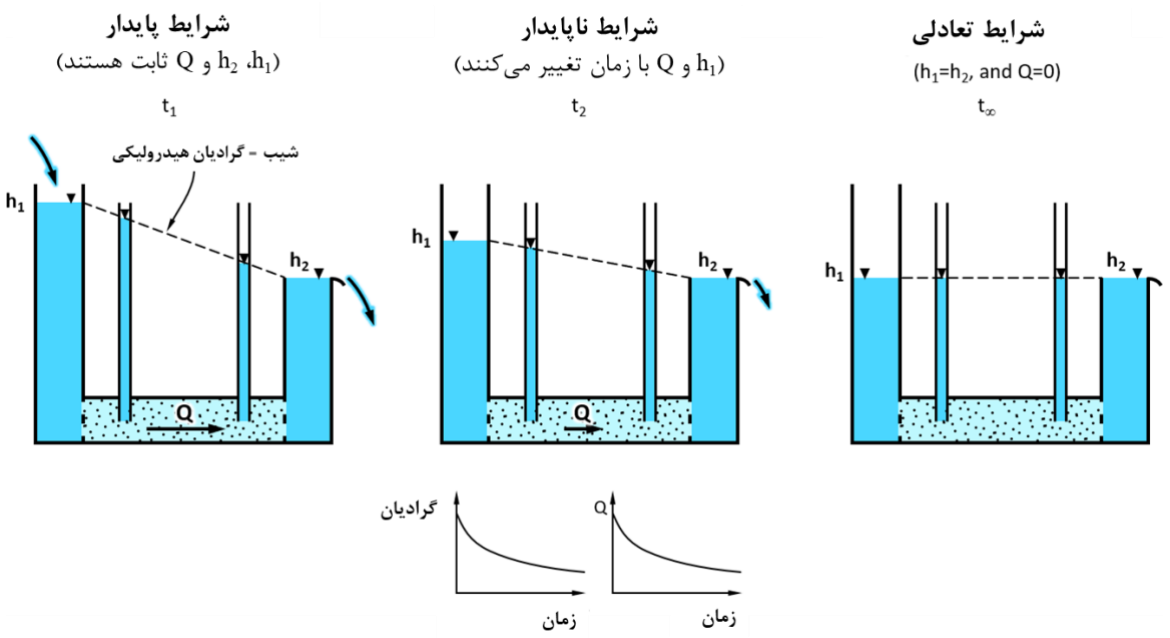
برای یافتن پاسخ اینجا را کلیک کنید

3.2 مولفه‌های بار هیدرولیکی

شکل 7 فرم تغییر یافته مجموعه آزمایشی است که قبلاً در شکل 1 توضیح داده شد. اگر آب به مخزن سمت چپ وارد نشود، گرادیان هیدرولیکی شروع به کاهش یافتن می‌کند و جریان درون استوانه (Q_{out}) نیز مطابق قانون دارسی به تدریج کاهش می‌یابد. این شرایط جریان وابسته به زمان، *شرایط ناپایدار*[1] نامیده می‌شود که برای مثال در مدل‌سازی جریان آب‌زیرزمینی و آزمایشهای پمپاژ با این شرایط روبرو می‌شویم. در سناریوی *ناپایدار* که در شکل 7 نشان داده شده است، h_1 و Q_{out} را می‌توان به عنوان تابعی از زمان (بصورت f (t)) بیان کرد که اغلب به شکل ریاضیاتی $h_1 = f(t)$ و $Q_{out} = f(t)$ نمایش داده

[1] *transient conditions*

می‌شوند. در انتهای آزمایش، سطح آب در هر دو طرف متعادل و گرادیان هیدرولیکی برابر صفر می‌شود و بنابراین جریان آب داخل استوانه متوقف شده و آب ساکن می‌شود.

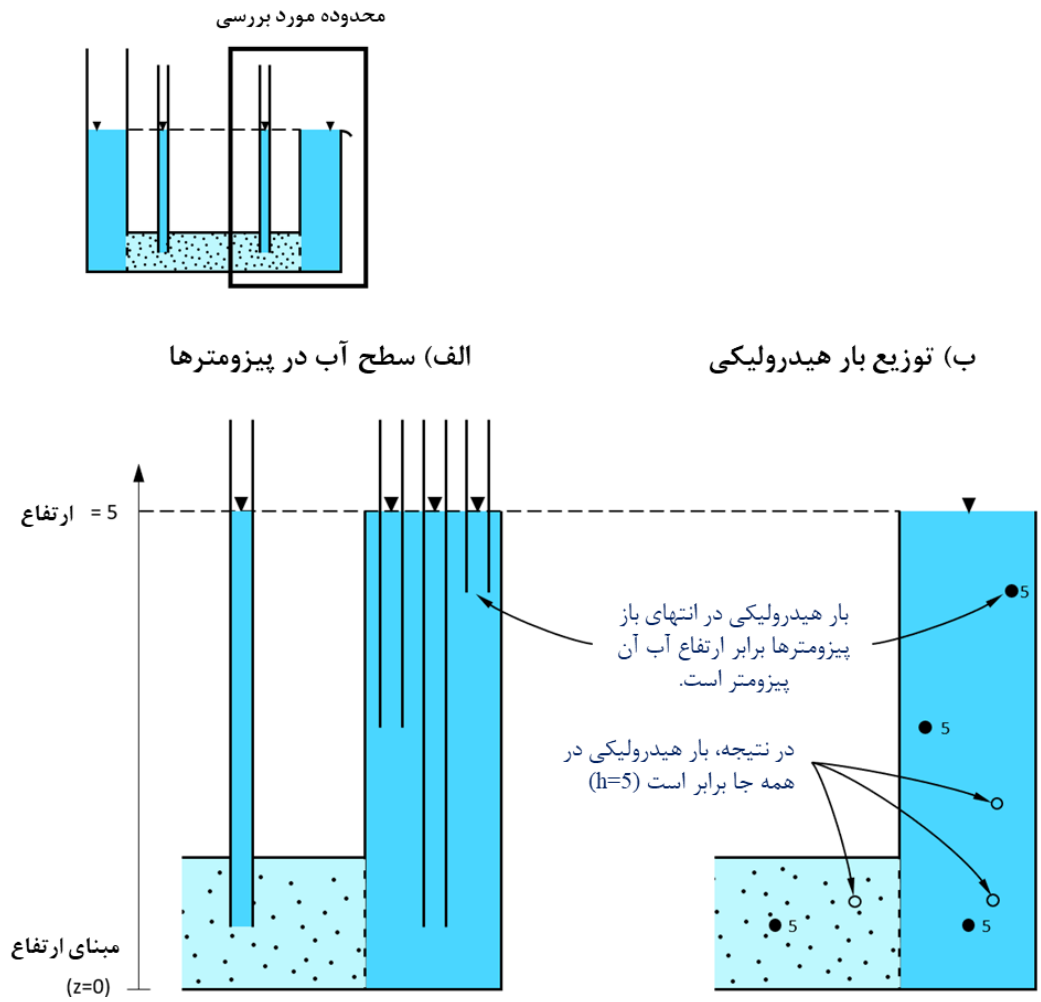


شکل 7 - شرایط مختلف بار هیدرولیکی و جریان. جریان پایدار (t_1) و تعادل هیدرولیکی (t_∞) به ترتیب جریان ثابت و شرایط بدون جریان را تعریف می‌کنند، در حالی که حالت میانی (t_2)، وضعیت ناپایدار است که شرایط با گذر زمان تغییر می‌کند (کوهن و چری ، 2020).

اگر در وضعیت تعادل هیدرولیکی (t_∞) در شکل 7، پیزومترهایی را در اعماق مختلف به داخل مخزن سمت راست وارد کنید (شکل 8)، سطح آب در همه پیزومترها (با عمق مختلف) برابر با سطح آب در مخزن است. احتمالا این موضوع مطابق حدس و گمان ما باشد، زیرا مشابه قرار دادن نی در یک لیوان آب است: مهم نیست که نی در چه عمقی قرار داده شود، سطح آب داخل نی همیشه مساوی با ارتفاع آب در لیوان خواهد بود. توجه داشته باشید که اگر قطر نی‌ها به اندازه کافی کوچک باشد، ممکن است آب به دلیل عملکرد مویینگی به سمت بالا کشیده شود و از سطح آب اطراف بالاتر قرار گیرد. البته در عمل، قطر چاه‌ها (پیزومترها و چاه‌های مشاهده‌ای واقعی) آنقدر کوچک نیستند که اثر مویینگی ایجاد شود. از آنجا که *نقطه اندازه‌گیری* انتهای باز پیزومتر در آب است، این تمرین نشان می‌دهد که بار هیدرولیکی در همه جا یکسان است و بار هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در نقطه انتهای باز پیزومتر برابر ارتفاعی است که آب در پیزومتر بالا می‌رود. شکل (8) توزیع بار هیدرولیکی در این آزمایش را نشان می‌دهد. بار هیدرولیکی بدون در نظر گرفتن عمق اندازه‌گیری (محل قرار گیری انتهای پیزومتر) در همه جا پنج سانتی‌متر است.

توزیع بار هیدرولیکی با جزئیات بیشتری در **بخش‌های** 3 و 4 **با** موضوع تهیه نقشه‌های کانتوری بار هیدرولیکی و مقاطع خطوط هم‌پتانسیل مورد بحث قرار گرفته است که برای استنباط جهت و میزان جریان آب‌زیرزمینی استفاده می‌شود.

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید



شکل 8 - استفاده از پیزومترها برای اندازه گیری توزیع بار هیدرولیکی. در این آزمایش، همانطور که سطح آب مشابه در همه پیزومترها نشان می‌دهد، بار هیدرولیکی در همه جا یکسان است (کوهن و چری ، 2020).

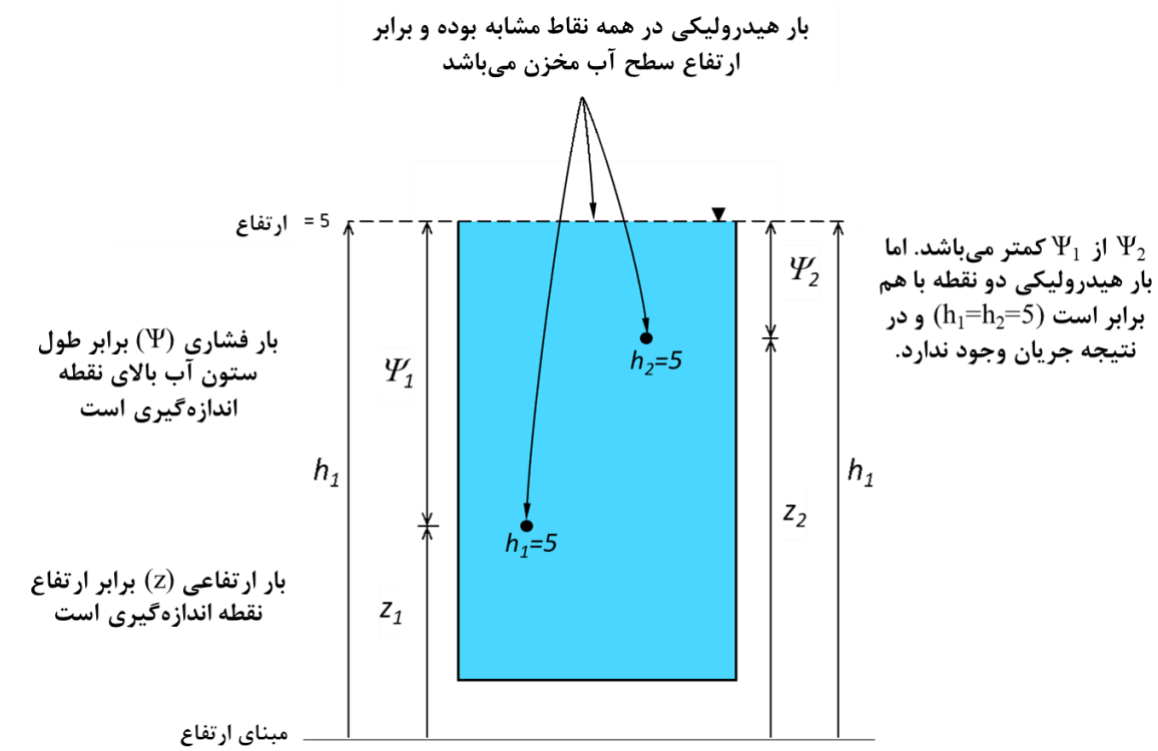
شکل (9) اجزای بار هیدرولیکی را در یک مخزن آب در شرایط ایستا نشان می‌دهد. بار هیدرولیکی (h) در هر مکان مجموع ارتفاع نقطه اندازه‌گیری و ارتفاع ستون آب بالای آن نقطه است. از آنجا که مولفه دوم (ارتفاع ستون آب بالای آن نقطه) متناسب با فشار ستون آب است، اغلب آن را بار فشاری (Ψ_i) می‌نامند، در حالی که ارتفاع نقطه اندازه‌گیری را بار ارتفاعی (z_i) می‌نامند:

$$h_i = \Psi_i + z_i \qquad (8)$$

در مورد جریان در منطقه اشباع، ارتفاع سطح آب در پیزومتر برای ما مورد توجه است و چیزی که خواننده باید مطمئن باشد درک کرده این است که: بار هیدرولیکی در یک محیط اشباع (آبخوان) برابر با ارتفاع سطح آب در چاهی است که در آن حفر شده، که آن چاه عملاً یک پیزومتر است.

بار هیدرولیکی در شکل (9) در همه جا یکسان است. بر این اساس، گرادیان هیدرولیکی در همه جا صفر است به طوری که ارتفاع آب در پیزومترها برابر خواهد بود. با این حال، بار فشاری (Ψ) در پیزومترها متفاوت است زیرا متناسب با ارتفاع ستون آب در هر پیزومتر است. این مثال ساده نشان می‌دهد که نباید از بار فشاری برای نتیجه گرفتن در مورد جریان آب استفاده کرد.

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

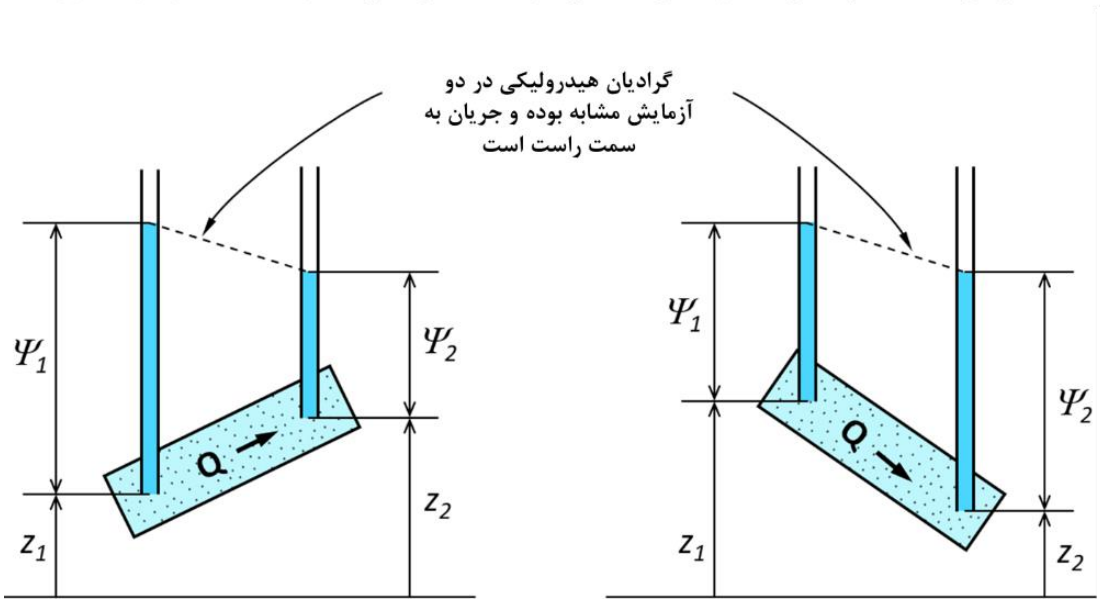


شکل 9 - بار هیدرولیکی در یک مکان خاص تابعی از ارتفاع نقطه اندازه گیری (*z*) و ارتفاع آب بالای نقطه اندازه گیری (*Ψ*) است. هر نقطه در ارتفاع متفاوتی قرار دارد، اما آنها دارای بار هیدرولیکی یکسانی هستند زیرا مجموع بار فشاری و بار ارتفاعی (*z+Ψ*) در هر دو نقطه برابر پنج می‌باشد (*$h_1 = h_2$*) که با ارتفاع سطح آب مخزن برابر است (کوهن و چری، 2020).

همین اصل در مورد جریان نیز صدق می‌کند. به عنوان مثال، شکل 10 نشان می‌دهد که جهت کاهش بار فشاری (*Ψ*) در دستگاه‌ها مخالف یکدیگر است، اما جهت جریان و شیب هیدرولیکی در آنها یکسان است. از این رو، شکل (10) بطور واضح نشان می‌دهد که بار فشاری به تنهایی جهت جریان را تعیین نمی‌کند، بلکه برای تعیین جهت جریان نیاز به ارزیابی بار هیدرولیکی است که با ارتفاع آب در پیزومترها مشخص می‌شود.

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

جهت جریان فقط به گرادیان هیدرولیکی بستگی دارد نه به گرادیان فشار (اختلاف در بار فشاری)

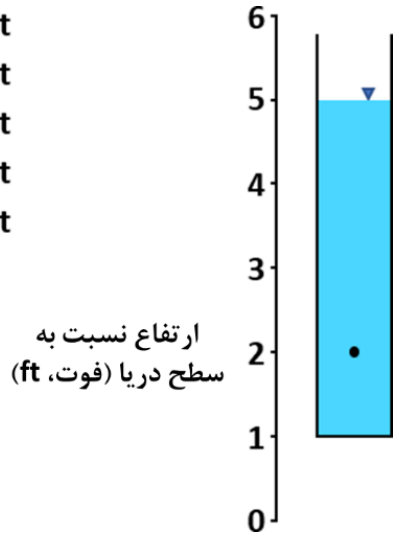


شکل 10 - دستگاهی که نشان می‌دهد تغییر شیب یک استوانه پر شده از ماسه باعث تغییر اجزای بار ارتفاعی و بار فشاری می‌شود، اما بار هیدرولیکی، شیب هیدرولیکی و جهت و میزان جریان ثابت می‌ماند (کوهن و چری ، 2020).

نمونه مساله 2

بار هیدرولیکی برای نقاط (a، b، c، d، و e) در ارتفاع مختلف از ستون آب به چه میزان است؟

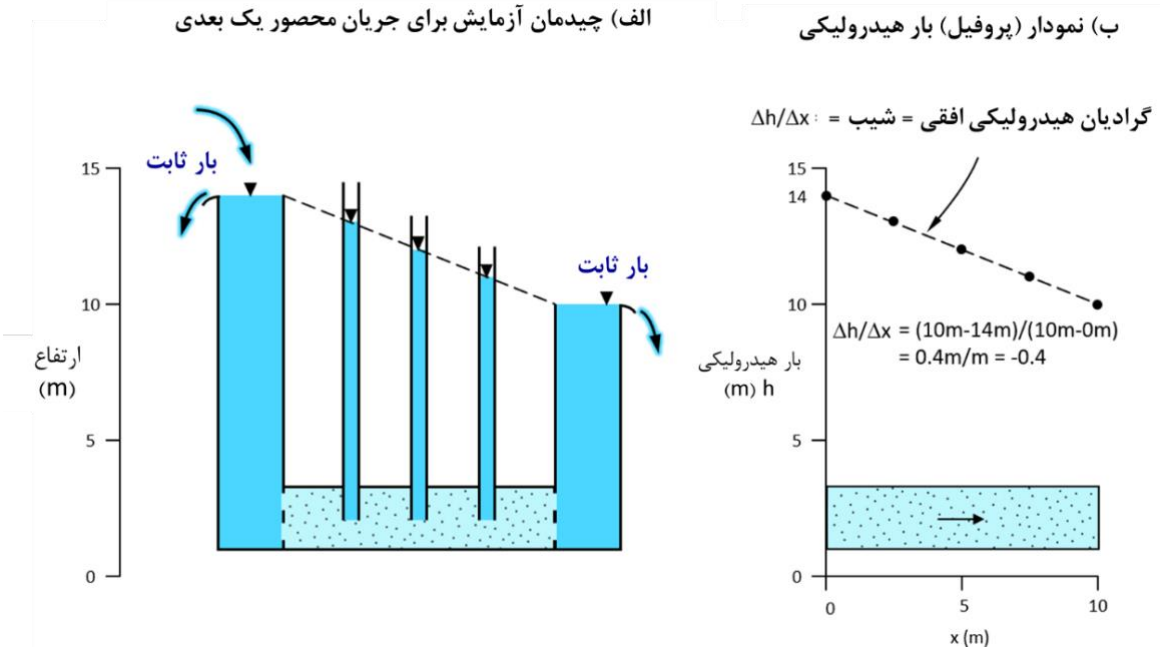
a. 1 ft
b. 2 ft
c. 3 ft
d. 4 ft
e. 5 ft



برای یافتن پاسخ اینجا را کلیک کنید

3 نمودارهای بار هیدرولیکی بر اساس قانون دارسی

اجازه دهید دوباره سناریوی حالت پایدار را که در شکل (11الف) نشان داده شده است در نظر بگیریم. در این حالت، سطح آب در هر دو مخزن ثابت می‌ماند به طوری که هر طرف استوانه دارای مواد متخلخل (ماسه) دارای یک بار هیدرولیکی ثابت است و تفاوت در بار هیدرولیکی، جریان را ایجاد می‌کند (یعنی آب از منطقه‌ای با انرژی پتانسیل بالاتر به منطقه‌ای با انرژی پتانسیل کمتر جریان دارد). مطابق با قانون دارسی، یک گرادیان هیدرولیکی در محیط متخلخل وجود دارد و آب از چپ به راست جریان می‌یابد. همانطور که در نمودار (پروفیل) بار هیدرولیکی نشان داده شده است گرادیان هیدرولیکی در این مثال برابر 0.4- است (شکل 11ب). منظور از نمودار یا پروفیل بار هیدرولیکی، رسم تغییرات بار هیدرولیکی در برابر فاصله (افقی یا عمودی) است.

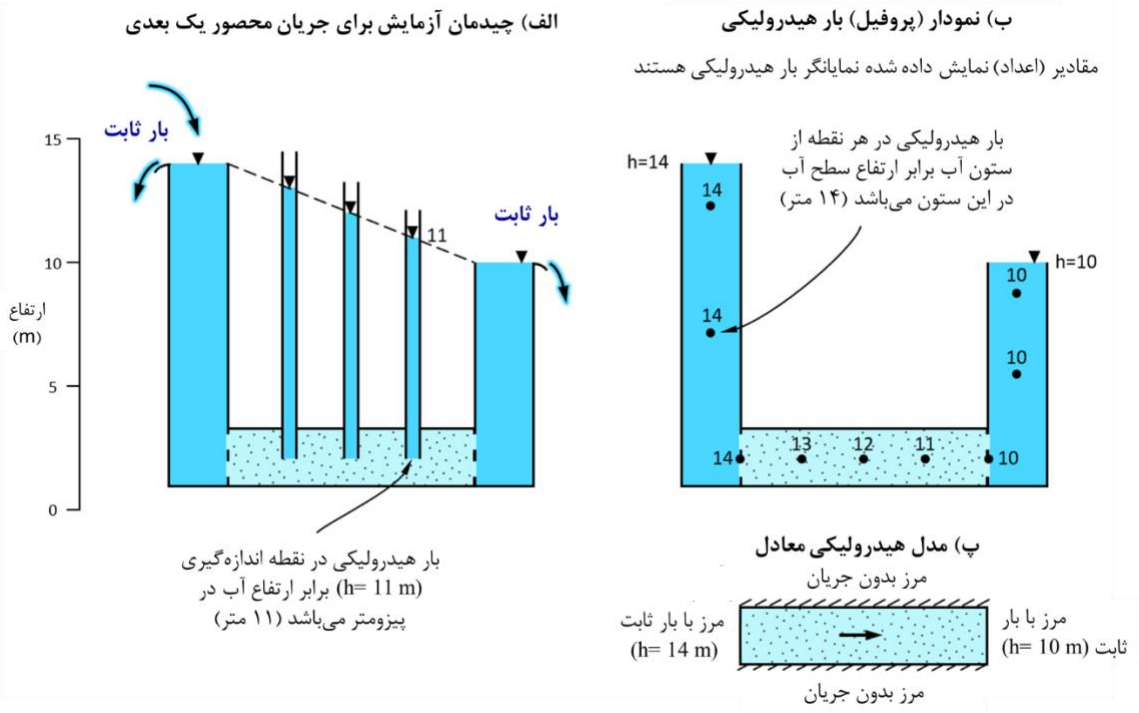


شکل 11 - نمایش جریان افقی در حالت پایدار و گرادیان افقی مربوطه. آب مطابق با جهت کاهش انرژی پتانسیل که توسط نمودار (پروفیل) بار هیدرولیکی بیان می‌شود از چپ به راست جریان می‌یابد: الف) چیدمان آزمایش و ب) پروفیل بار هیدرولیکی (کوهن و چری ، 2020).

توجه داشته باشید همانطور که در شکل (12) نشان داده شده است، بار هیدرولیکی در اعماق مختلف هر مخزن آب یکنواخت است. بار هیدرولیکی در هر نقطه اندازه‌گیری در پیزومتر با ارتفاع آب در آن پیزومتر برابر است. از لحاظ تئوری، به علت وجود مولفه عمودی جریان در مخزن، گرادیان هیدرولیکی عمودی ناچیزی (و شاید غیر قابل اندازه‌گیری) در هر مخزن وجود دارد. اما با توجه به سرعت آهسته جریان و اصطکاک کم ایجاد شده بوسیله کناره‌های مخزن، تفاوت بار هیدرولیکی در سراسر مخزن ناچیز است. بنابراین، در عمل می‌توان نمودار (پروفیل) بار هیدرولیکی را در هر مخزن آب یکنواخت در نظر گرفت.

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

این آزمایش فرصتی را برای معرفی برخی از مفاهیم ساده مدل‌سازی هیدرولیکی فراهم می‌آورد که به عنوان *مدل هیدرولیکی معادل*[1] نمایش داده می‌شود (شکل 12ج).

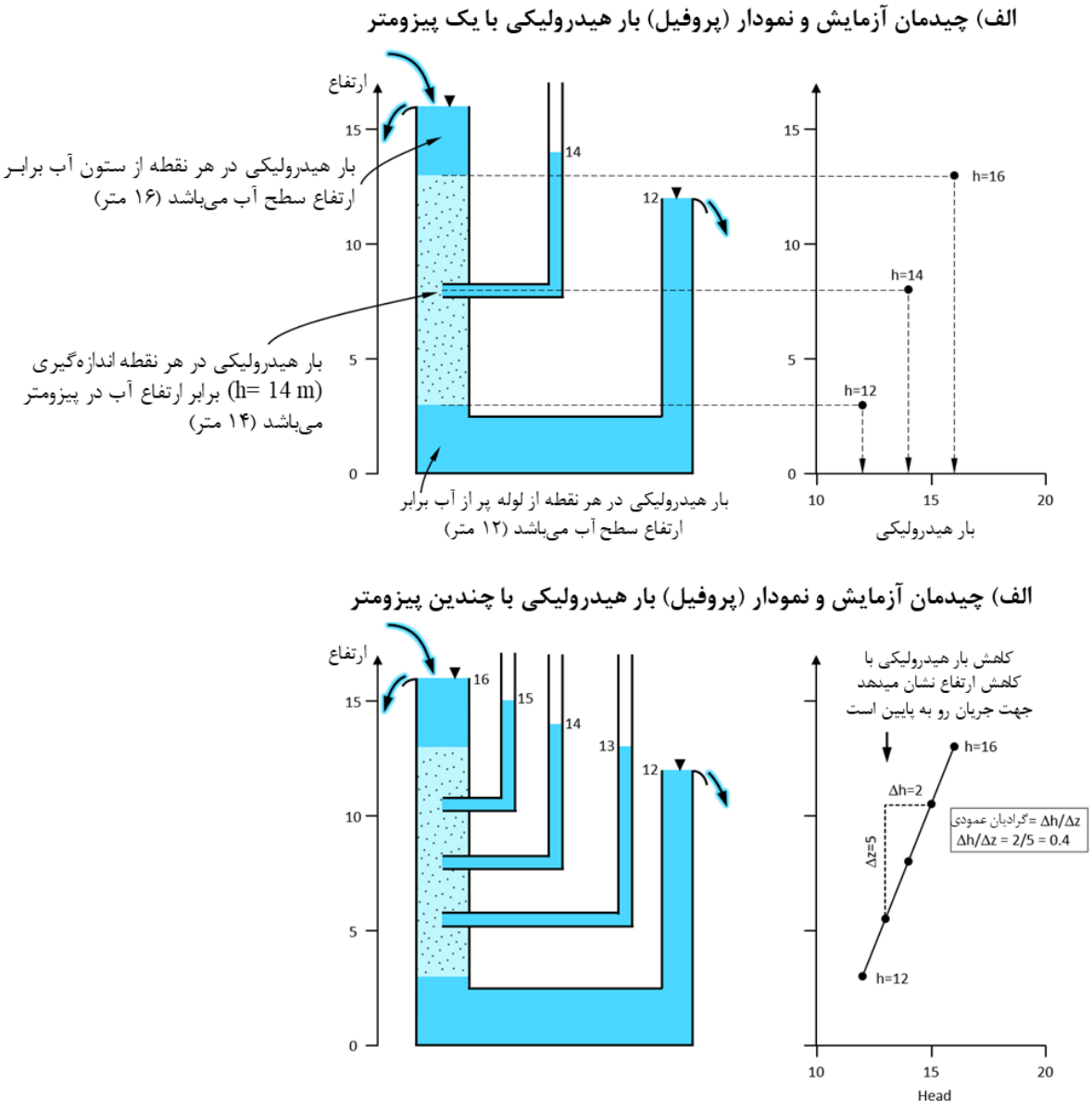


شکل 12 - رابطه بین اندازه‌گیریها در پیزومتر، توزیع بار هیدرولیکی و شرایط مرزی مرتبط با آزمایش. این یک آزمایش در حالت پایدار برای یک سامانه با مرزهای با بار ثابت است (کوهن و چری ، 2020).

شکل (13الف) همان آزمایش را نشان می‌دهد اما در شرایطی که استوانه ماسه عمودی است. در این حالت، ترسیم بار هیدرولیکی به عنوان تابعی از ارتفاع انجام می‌شود (شکل 13 ب). در این آزمایش، بار هیدرولیکی با کاهش ارتفاع کاهش می‌یابد. در نتیجه، گرادیان هیدرولیکی مثبت است (0.4+)، در حالی که گرادیان در دستگاه افقی منفی (0.4-) بود (شکل 11). این تفاوت در علامت گرادیان هیدرولیکی (+ و -) صرفاً بدلیل استفاده از ارتفاع به عنوان مختصات فضایی بوجود آمده است. قانون دارسی در این مورد هم اعمال می‌شود و آب در جهت کاهش بار هیدرولیکی به سمت پایین جریان می‌یابد.

[1] equivalent hydraulic model

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید



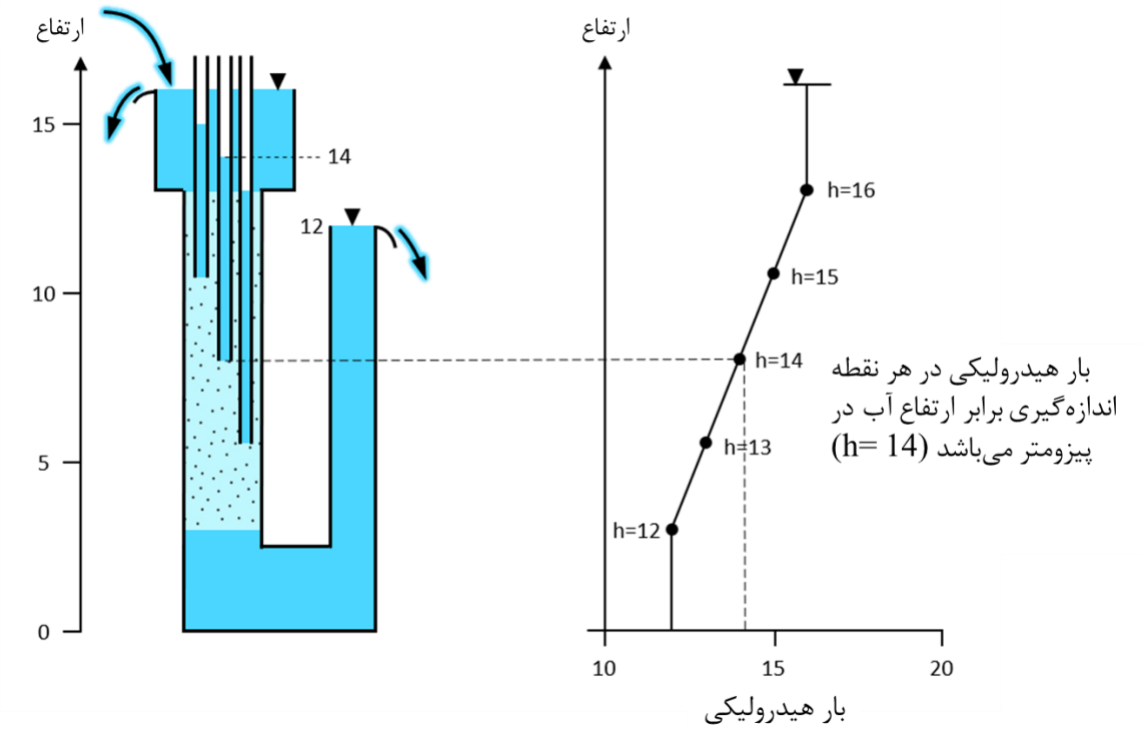
شکل 13 - نمایش جریان عمودی و نمودار بار هیدرولیکی مربوط به آن: نمودار بار هیدرولیکی بر اساس سطح آب اندازه‌گیری شده در پیزومترها و نقاط اندازه‌گیری مربوط به آنها رسم شده است. انتهای باز هر پیزومتر درون ستون ماسه قرار گرفته است. آب از بار هیدرولیکی بالاتر به بار پایینتر و به سمت پایین جریان می‌یابد (کوهن و چری ، 2020).

شکل (14) یک نسخه تغییر یافته از دستگاه چند پیزومتری است که در شکل (13ب) نشان داده شده است. در شکل (14)، چند پیزومتر با فاصله بسیار کمی در یک حفره کنار هم قرار گرفته‌اند و بار هیدرولیکی را در اعماق مختلف اندازه‌گیری می‌کنند. در واقع، انتهای باز هر پیزومتر (نقطه اندازه‌گیری) در ارتفاع (عمق) مختلفی قرار دارد. به این نوع پیزومترها "لانه‌ای[1]" گفته می‌شود.

[1] nested

gw-project.org دانلود رایگان از – The GROUNDWATER PROJECT
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

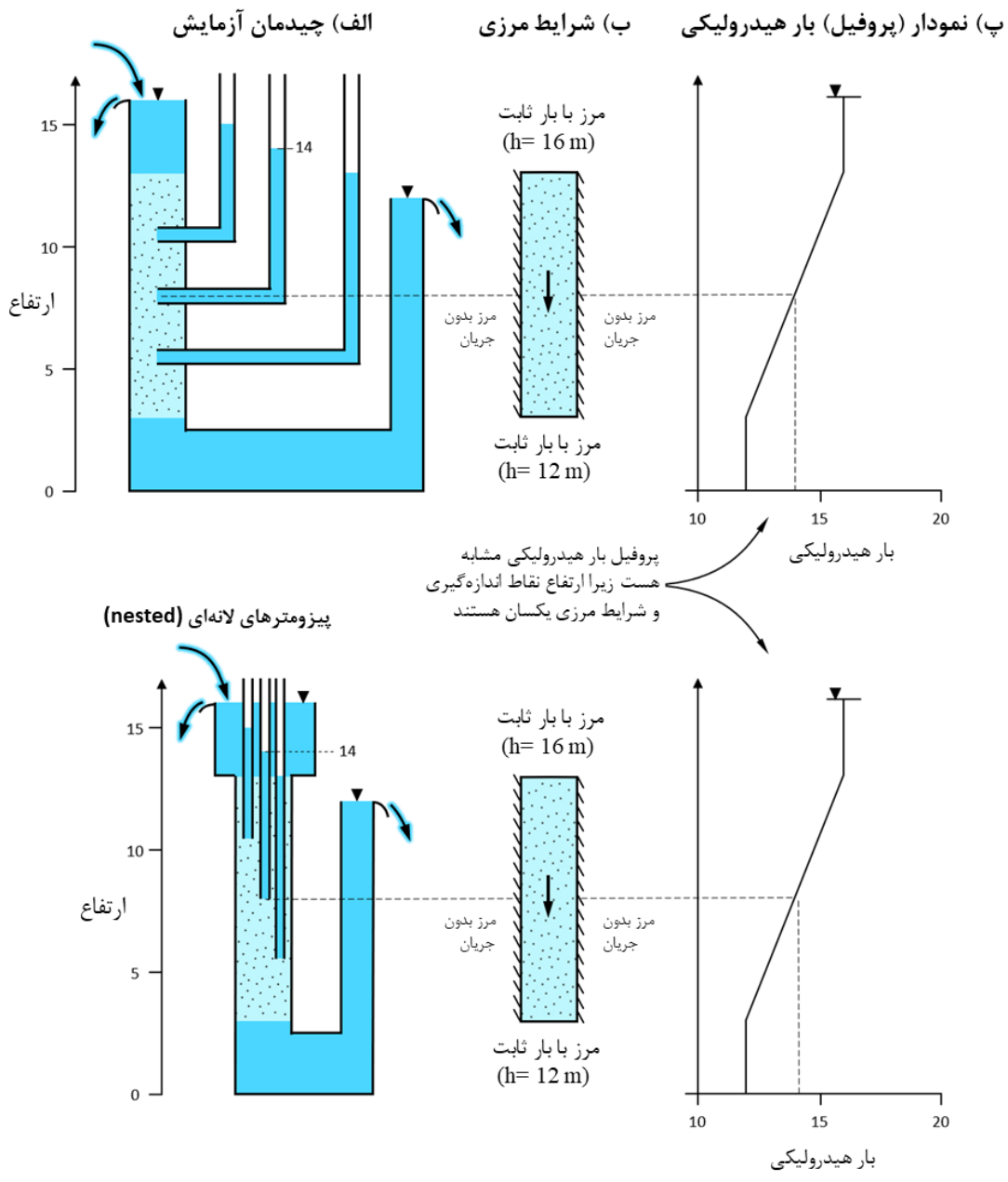
نحوه آزمایش و نمودار بار هیدرولیکی با استفاده از پیزومترهای لانه‌ای



شکل 14 - نمودار بار هیدرولیکی با استفاده از پیزومترهای لانه‌ای اگرچه پیزومترها نزدیک یکدیگر قرار دارند و سطح آب آنها به سمت راست کاهش می‌یابد، اما اندازه‌گیری‌ها در واقع نماینده تغییرات عمودی بار هیدرولیکی هستند، زیرا جریان به دلیل هندسه استوانه (شکل دستگاه) عمودی است. دقت شود هر نقطه اندازه‌گیری در یک عمق متفاوت قرار گرفته است (کوهن و چری ، 2020).

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

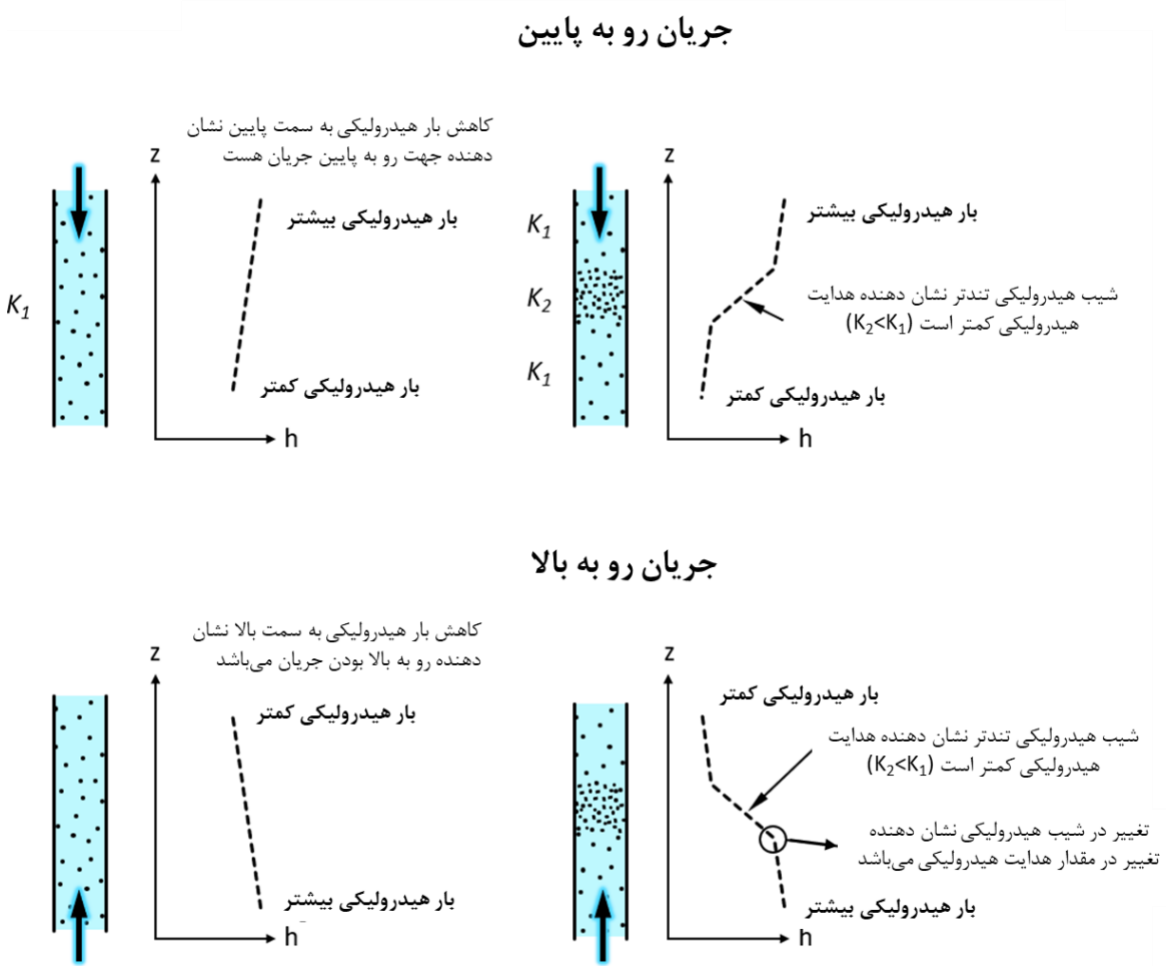
شـــکل (15) نمودار (پروفیل) بار هیدرولیکی اندازه‌گیری شـــده با پیزومترهای شـــکل (13ب) را با پیزومترهای لانه‌ای در شـکل (14) مقایسـه می‌کند. همانطور که مشـاهده می‌شـود نمودار بار هیدرولیکی برای هر دو حالت مشابه هستند، زیرا نقاط اندازه‌گیری و شرایط مرزی یکسان هستند.



شکل 15 - مقایسه نمودارهای بار هیدرولیکی حاصل از آرایش مختلف پیزومترها: الف) نحوه انجام آزمایش. ب) شرایط مرزی، پ) نمودار بار هیدرولیکی. نمودارهای بار هیدرولیکی یکسان هستند، زیرا نقاط اندازه گیری و شرایط مرزی یکسان هستند (کوهن و چری ، 2020).

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

شـــکل (16) چند مثال از گرادیان هیدرولیکی عمودی برای جریان یک بعدی رو به پایین و بالا را نشان می‌دهد. رابطه بین گرادیان هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی $(-dh/dL \propto 1/K)$ در این مثالها نیز برقرار است.



شکل 16 – نمودارهای تغییرات عمودی بار هیدرولیکی برای سناریوهای جریان رو به پایین و رو به بالا. هر نمودار جهت جریان را مشخص می‌کند و تغییرات در گرادیان (شیب هیدرولیکی) نشان دهنده تغییر در هدایت هیدرولیکی است (کوهن و چری ، 2020).

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

4 خطوط هم‌پتانسیل و جهت جریان

با توجه به اینکه مفهوم گرادیان (شیب) هیدرولیکی و این واقعیت که آب‌زیرزمینی از مکانهای با بار هیدرولیکی بیشتر به مناطق با بار هیدرولیکی کمتر سرازیر می‌شود، در بالا توضیح داده شد، هدف این بخش معرفی چگونگی نمایان شدن گرادیان هیدرولیکی در قالب خطوط هم‌پتانسیل است، که معمولاً به شکل کانتورهای هم‌پتانسیل (خطوط هم‌تراز) در نقشه‌ها و برش‌های عرضی (مقاطع عرضی یا نیمرخ) ترسیم می‌شوند. اینها به نوبه خود وسیله‌ای برای استنباط جهت و اندازه گرادیان هیدرولیکی و جهت جریان فراهم می‌کنند. درک چگونگی ایجاد و تفسیر نقشه‌های کانتوری هم‌پتانسیل و برش عرضی خطوط هم‌پتانسیل برای مدیریت بهینه منابع آب‌زیرزمینی ضروری است.

این بخش می‌تواند به عنوان مقدمه‌ای بر مبحث شبکه‌های جریان باشد. نحوه ایجاد و نمایش گرافیکی شبکه‌های جریان در دیگر کتاب The GW-Project توسط پوئتر و شی (2020) ارائه شده است که در آن ویژگیهای عمومی خطوط هم‌پتانسیل و جهت جریان مربوط به آنها برای شرایط مختلف هیدروژئولوژیکی معرفی شده است. کتاب حاضر، در مورد رابطه بین نمودارهای بار هیدرولیکی و کانتورهای هم‌پتانسیل بحث می‌کند.

مباحث خطوط هم‌پتانسیل، جهت جریان و گرادیان که در این بخش ارائه شده برای شرایط همسانگرد (ایزوتروپیک) معتبر است ($K_x=K_y=K_z$)، این بدان معناست که هدایت هیدرولیکی در جهات مختلف، دارای مقدار یکسانی است. این ساده‌سازی (فرض همسانگرد بودن محیط) صرفا یک موضوع قراردادی نیست، بلکه ما را قادر می‌سازد تا مفاهیم اساسی را که پایه و اساس شرایط پیچیده‌تری هستند را درک کنیم. در واقع، هنگامی که سامانه‌های هیدروژئولوژیکی واقعی را تجزیه و تحلیل می‌کنیم، در ابتدا اغلب ما همسانگردی را فرض می‌کنیم و همیشه لازم نیست از این ساده‌سازی فراتر برویم. البته این فرض ممکن است کنار گذاشته شود تا *شرایط ناهمسانگردی*[1] که در آن K در همه جهات یکسان نیست، در نظر گرفته شود (واسنر و پوئتر، 2020).

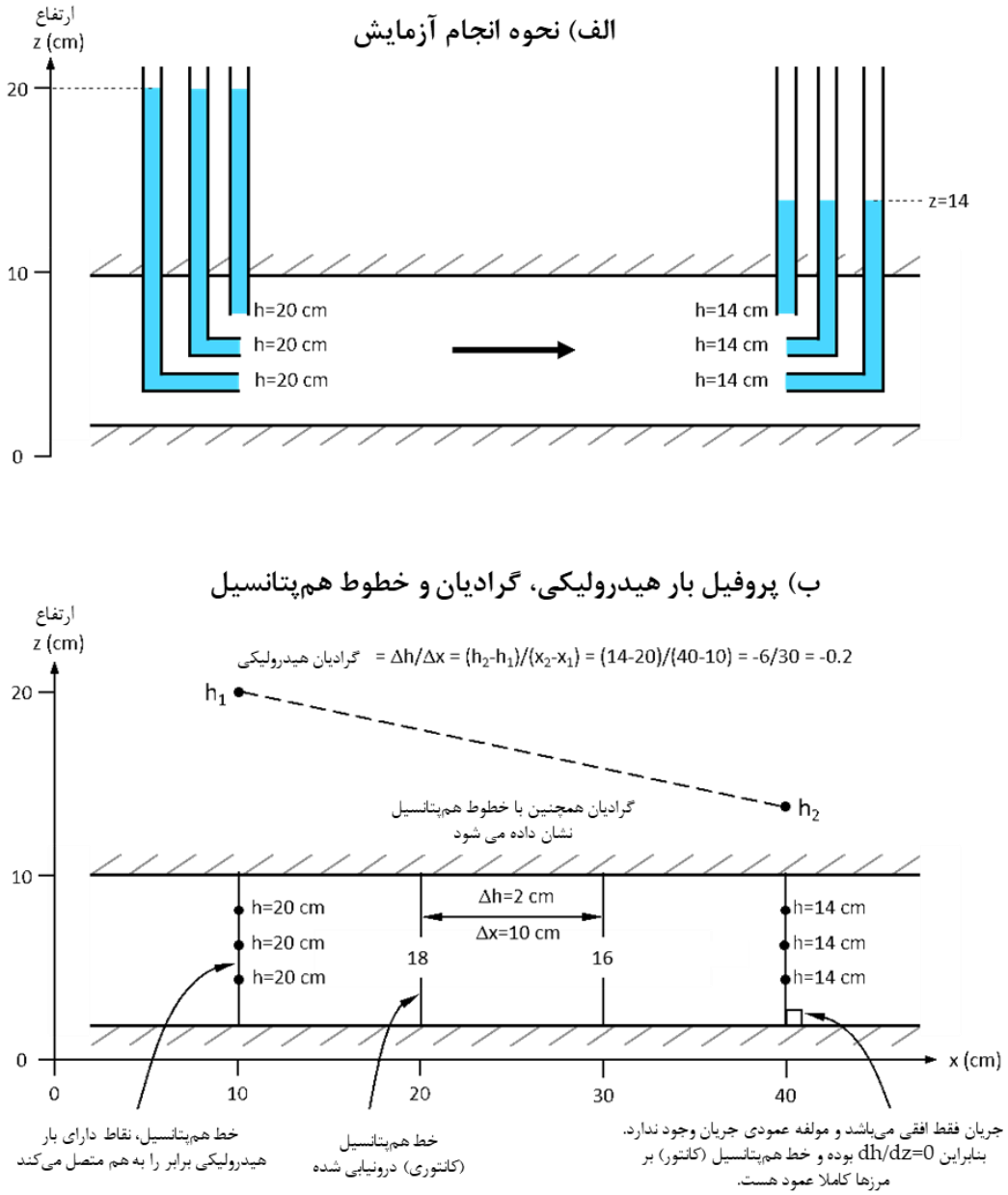
1.4 ملاحظات کلی

اجازه دهید ابتدا یک آزمایش ساده را برای نشان دادن برخی از اساسی‌ترین جنبه‌های خطوط هم‌پتانسیل و جهت جریان مربوط به آنها (برای یک محیط همسانگرد) در نظر بگیریم. همانطور که در شکل (17) نشان داده شده است، پیزومترها در اعماق مختلف در دو طرف یک استوانه افقی پر شده از مواد متخلخل اشباع از آب قرار داده شده‌اند. آب درون استوانه در شرایط آرام[2] جریان می‌یابد یا به عبارت دیگر، آب طبق قانون دارسی جریان دارد. از آنجا که سطح آب در یک پیزومتر نشان دهنده بار هیدرولیکی در نقطه اندازه گیری است (انتهای باز در پایین هر پیزومتر)، بار هیدرولیکی در هر سه نقطه در سمت چپ استوانه (x_1=10 cm) برابر 20 سانتی متر است (h_1=20 cm). به طور مشابه، بار هیدرولیکی در هر سه نقطه در سمت راست استوانه (x_2=40 cm)، 14 سانتی متر (h_2=14 cm) است. همانطور که در شکل 17ب نشان داده شده است، یک خط (کانتور) هم‌پتانسیل، نقاط دارای بار هیدرولیکی مساوی را به هم متصل می‌کند. به بیان دیگر، بار هیدرولیکی در همه نقاط یک *خط هم‌پتانسیل* برابر است. بر این اساس،

[1] anisotropic

[2] laminar

هیچ گرادیانی در امتداد خط هم‌پتانسیل وجود ندارد و بردار گرادیان هیدرولیکی باید عمود به خط کانتور باشد. به عبارت دیگر، در شرایط همسانگرد (ایزوتروپیک)، جهت جریان عمود بر خطوط هم‌پتانسیل است.



شکل 17 - بار هیدرولیکی و خطوط کانتور هم‌پتانسیل برای جریان یک بعدی: الف) نحوه انجام آزمایش، و ب) پروفیل بار هیدرولیکی، گرادیان هیدرولیکی و خطوط هم‌پتانسیل. اندازه‌گیری در پیزومترها امکان رسم خطوط هم‌پتانسیل را فراهم می‌کند که جهت جریان (به سمت راست از بار هیدرولیکی بالاتر به سمت بار هیدرولیکی کمتر) و گرادیان هیدرولیکی را نشان می‌دهند (کوهن و چری ، 2020).

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

اندازه‌گیری‌ها در نقاط مختلف نشـان می‌دهد که گرادیان هیدرولیکی در جهت z صـفر اسـت. به این معنی که بار هیدرولیکی در جهت z تغییر نمی‌کند ($\Delta h/\Delta z=0$)، این موضـوع با این واقعیت مطابقت دارد که آب به دلیل وجود جداره‌های نفوذناپذیر ("مرزهای بدون جریان"[1]) اسـتوانه افقی نمی‌تواند در جهت عمودی جریان یابد. عمود بودن خطوط هم‌پتانسـیل (کانتورها) بر مرزهای بدون جریان نشـان دهنده نبود گرادیان هیدرولیکی عمودی در مجاورت این مرزها است.

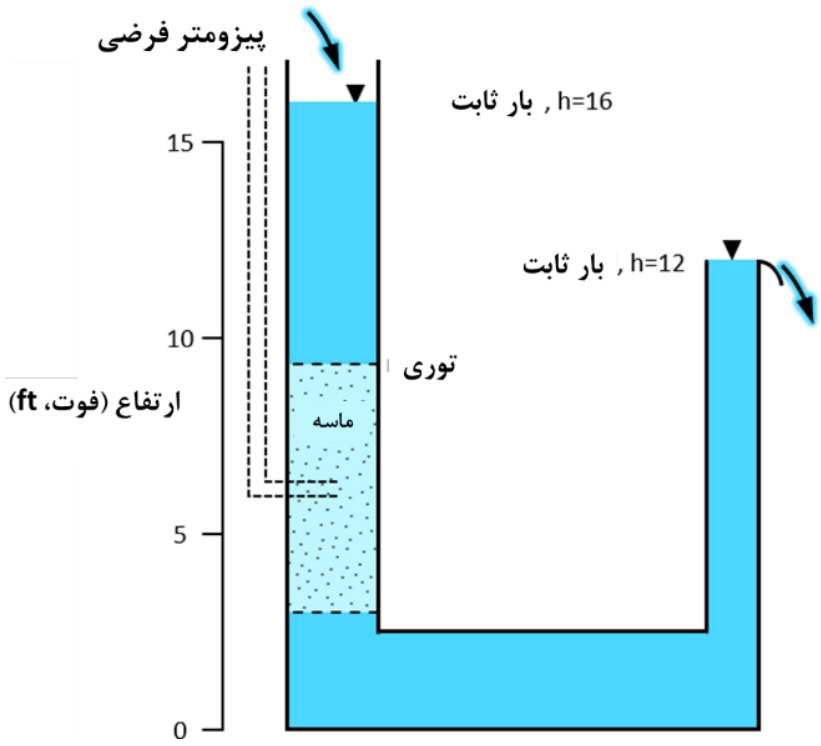
شکل 17 همچنین نمودار تغییرات بار هیدرولیکی در جهت افقی (گرادیان هیدرولیکی افقی) را نشان می‌دهد. توجه داشـته باشـید که گرادیان هیدرولیکی را می‌توان هم با اسـتفاده از پروفیل بار هیدرولیکی و هم با استفاده از خطوط هم‌پتانسیل اندازه گیری کرد.

اگر تفاوت بار هیدرولیکی بین دو مجموعه پیزومترها (دو سر استوانه) کمتر بود، گرادیان هیدرولیکی کوچکتر شده و در نتیجه نمودار بار هیدرولیکی دارای شیب کمتری و فاصله بین کانتورها از 2 سانتی‌متر فعلی بیشتر می‌شد.

نمونه مسئله 3

الف) خطوط هم‌پتانسیل را در **ماسه** با فواصل 1 فوت ترسیم کنید.

ب) آب در پیزومتر فرضی تا چه ارتفاعی بالا می‌آید؟

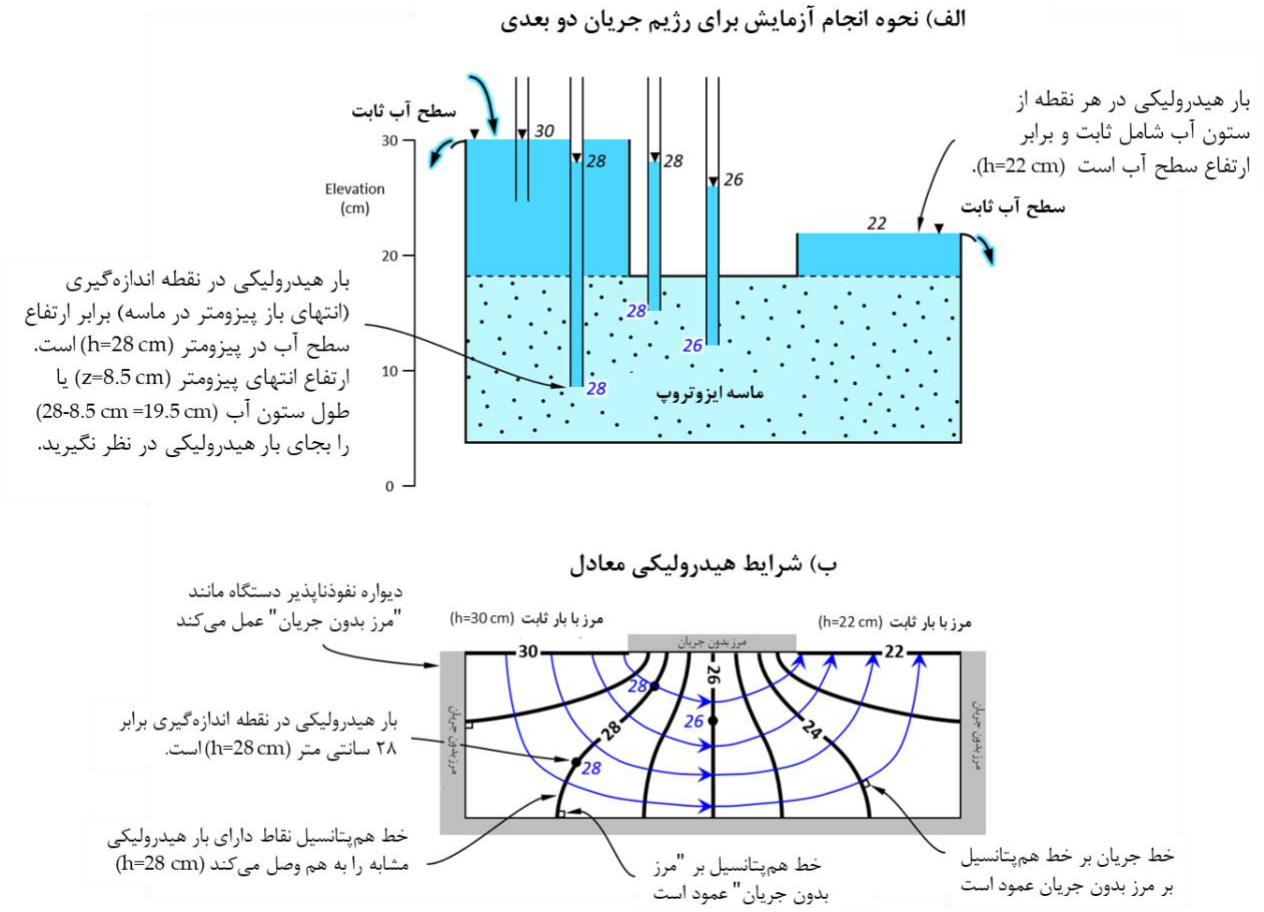


برای یافتن پاسخ اینجا را کلیک کنید

[1] no-flow boundaries

دانلود رایگان از gw-project.org – The GROUNDWATER PROJECT
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

در حال حاضر که عناصر اساسی خطوط (کانتورهای) هم‌پتانسیل برای جریان یک بعدی و جهت جریان آب‌زیرزمینی مربوطه توضیح داده شد، در شکل 18، نحوه انجام آزمایش و نمایش هیدرولیکی مربوط به جریان دو بعدی را ملاحظه کنید. مطابق انتظار ما و بر اساس بار هیدرولیکی در مرزهای با بار ثابت، جریان بطور کلی از چپ به راست است. همچنین انتظار می‌رود به دلیل هندسه سیستم و موقعیت شرایط مرزی، مولفه عمودی جریان نیز وجود داشته باشد. مانند گذشته، خطوط هم‌پتانسیل با زاویه 90 درجه به مرزهای بدون جریان عمود می‌شوند. علاوه بر این، خطوط کانتوری هم‌پتانسیل در مرزهای بار ثابت (مخازن راست و چپ) با ارتفاع سطح آب در آن مرزها (مخازن) مشخص می‌شود، که در شکل (12) نشان داده شد. همچنین توجه داشته باشید، از آنجا که محیط متخلخل همسانگرد (ایزوتروپ) است، خطوط جریان بر خطوط هم‌پتانسیل عمود هستند.



شکل 18 - دستگاه آزمایشگاهی برای نشان دادن جریان دو بعدی: الف) نحوه آزمایش رژیم جریان دو بعدی و ب) شرایط هیدرولیکی معادل. شرایط مرزی توسط نحوه آزمایش و طراحی دستگاه تعیین شده‌اند. هندسه جریان و خطوط هم‌پتانسیل نیز توسط موقعیت و نوع مرزها تعیین می‌شوند (کوهن و چری، 2020).

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

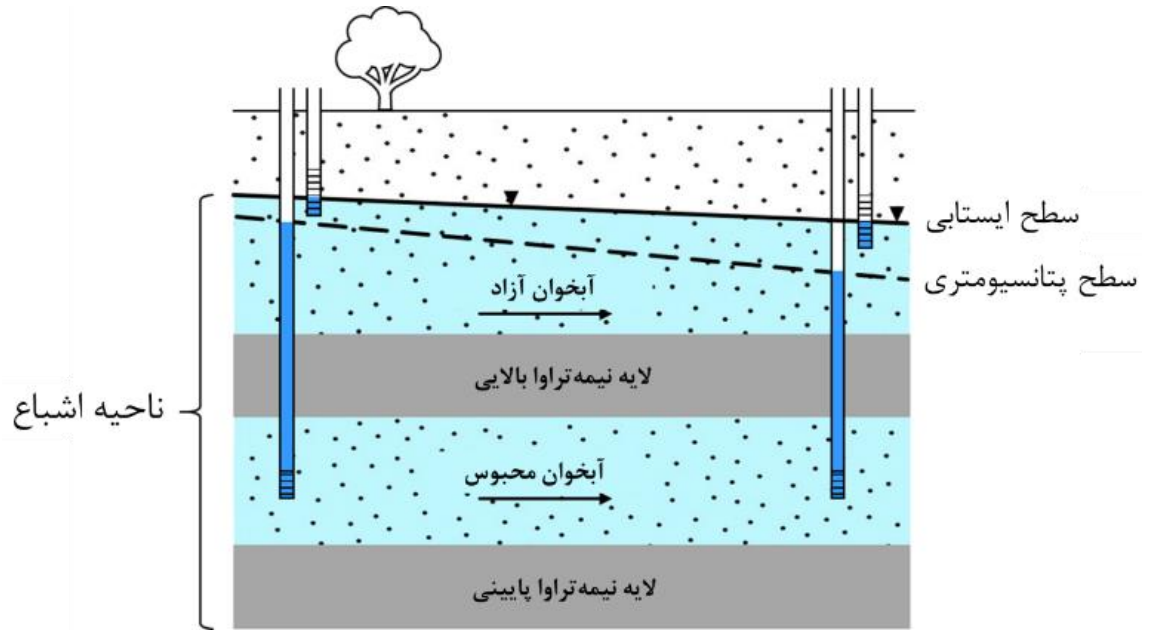
5 جریان پایدار در محیط اشباع در مقیاس واقعی

همانطور که در شکل (19) نمایش داده شده است، در مقیاس واقعی (روی زمین)، بار هیدرولیکی را می‌توان با استفاده از انواع مختلف چاه (که جداگانه، یا به‌صورت خوشه‌ای، یا در یک مکان اما در عمقهای مختلف نصب شده‌اند) اندازه‌گیری کرد. چاه‌های آب‌زیرزمینی اساساً نسخه‌های بزرگ شده پیزومترهای آزمایشگاهی هستند که ما برای نشان دادن قانون دارسی در بخشهای پیشین استفاده کردیم. در بخشهای بعدی کتاب، رابطه بار هیدرولیکی و جریان در منطقه اشباع در سه نوع اصلی سازندهای هیدروژئولوژیکی (آبخوان محصور[1]، لایه نیمه‌تراوا[2]، آبخوان غیرمحصور/آزاد[3]) ارائه شده است.

یک *آبخوان محصور* در بالا و پایین توسط یک *لایه نیمه تراوا* محدود شده، که یک سازند نیمه نفوذپذیر است که جریان بین آبخوان‌های فوقانی و/یا زیرین را محدود می‌کند.

ارتفاع سطح آب در چاهی که در آبخوان محصور قرار گرفته است، بیشتر از ارتفاع مرز بین لایه نیمه تراوای بالایی و لایه آبخوان است. درون‌یابی ارتفاع آب اندازه گیری شده در چاه‌ها حفر شده در آبخوان محصور، *سطح پتانسیومتری* [4] را تولید می‌کند.

آبخوان آزاد فقط در قاعده خود (مرز پایینی) توسط یک لایه ناتراوا یا نیمه‌تراوا محدود می‌شود. مرز بالایی آبخوان آزاد، *سطح ایستابی*[5] است، که برابر سطح آب در چاهی است که فقط به اندازه کافی عمیق است تا به قسمت اشباع آبخوان آزاد برسد و به سطح آب برخورد کند.



شکل 19 - مقطع عرضی شماتیک یک آبخوان محصور (محبوس) و یک آبخوان آزاد که توسط یک لایه نیمه‌تراوا از هم جدا شده‌اند. آبخوان محصور، آبخوان آزاد و لایه نیمه‌تراوا اشباع از آب بوده و بنابراین به صورت هیدرولیکی به هم مرتبط هستند (کوهن و چری ، 2020).

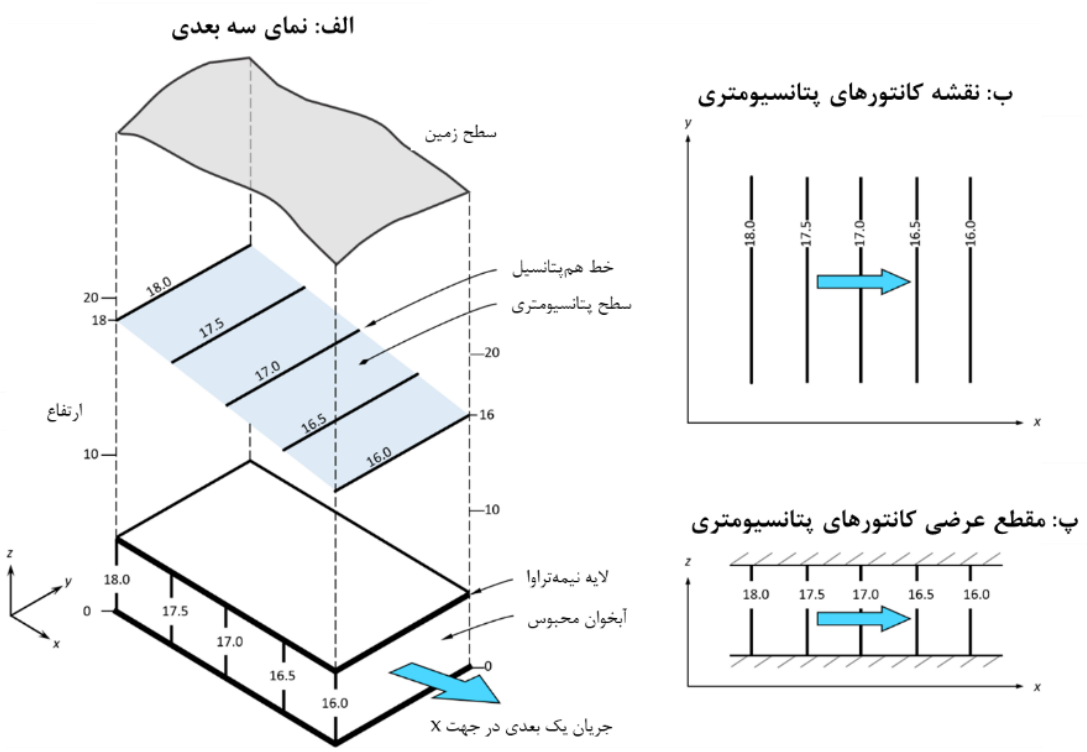
[1] confined aquifer
[2] aquitard
[3] unconfined aquifer
[4] potentiometric surface
[5] water table

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

1.5 هیدرولیک جریان در آبخوان‌های محصور

مجموعه آزمایشاتی که در بخشهای قبلی برای نشان دادن مفاهیم بار هیدرولیکی و جریان ارائه شد شبیه به شرایط یک آبخوان محصور است، زیرا یک آبخوان محصور با لایه‌هایی با هدایت هیدرولیکی پایین نسبت به آبخوان محدود شده است. وقتی لایه‌های محصورکننده هدایت هیدرولیکی بسیار کمتری نسبت به آبخوان دارند، لایه‌های محصورکننده شبیه به *مرزهای بدون جریان*[1] عمل می‌کنند، زیرا جریان در این لایه‌ها، ناچیز و محدود است که آنها را به مرزهای نفوذناپذیر دستگاه‌هایی که در بخشهای قبلی ارائه شد مشابه می‌کند. البته در شرایط طبیعی، در صورت وجود گرادیان در لایه نیمه‌تراوا، مقداری آب می‌تواند مطابق با قانون دارسی از این لایه‌ها عبور کند.

اساس جریان در آبخوانهای محصور، مفهوم *سطح پتانسیومتری*[2] است. شکل (20) نشان می‌دهد که چرا این عبارت برای شرایط آبخوان محصور کاربرد دارد. *سطح پتانسیومتری* در واقع یک سطح فرضی است (شکل 20الف) که می‌توان آن را با استفاده از *خطوط (کانتورهای) هم‌پتانسیل*[3] که در صفحه x-y مشاهده می‌شود نمایش داد (شکل 20ب). ما قبلاً با نمایش خطوط هم‌پتانسیل در نیمرخ‌ها (مقاطع عرضی) آشنا شده‌ایم (شکل 20پ). اثرات لایه نیمه‌تراوا بر جریان در آبخوان محصور در «بخش 5-3» ارائه شده است.



شکل 20 - خطوط هم‌پتانسیل برای یک آبخوان محصور در نماهای مختلف نشان داده شده است: الف) نمای سه بعدی ؛ ب) نقشه، و پ) مقطع عرضی. در نقشه (نمای از بالا)، سطح پتانسیومتری را می‌توان با استفاده از خطوط هم‌پتانسیل به شیوه‌ای شبیه خطوط کانتوری ارتفاع نشان داد که برای نشان دادن توپوگرافی سطح زمین استفاده می‌شود (کوهن و چری ، 2020).

[1] no-flow boundaries

[2] potentiometric surface

[3] equipotential contours

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

نمونه مساله 4

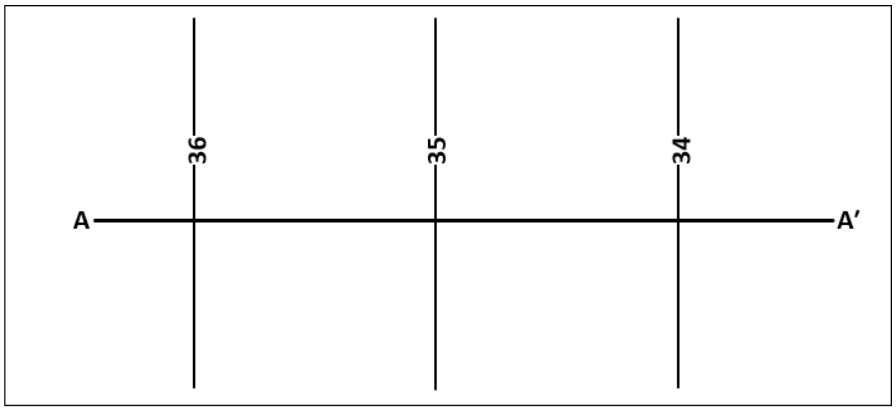
شکلهای مربوط به این مسئله یک نقشه خطوط هم‌پتانسیل از یک آبخوان محصور و مقطع عرضی در طول خط A-A′ را نشان می‌دهد. عمق سطح آب در چاهی که در شکل نشان داده شده (نسبت به سطح زمین) چقدر است؟ توضیح دهید.

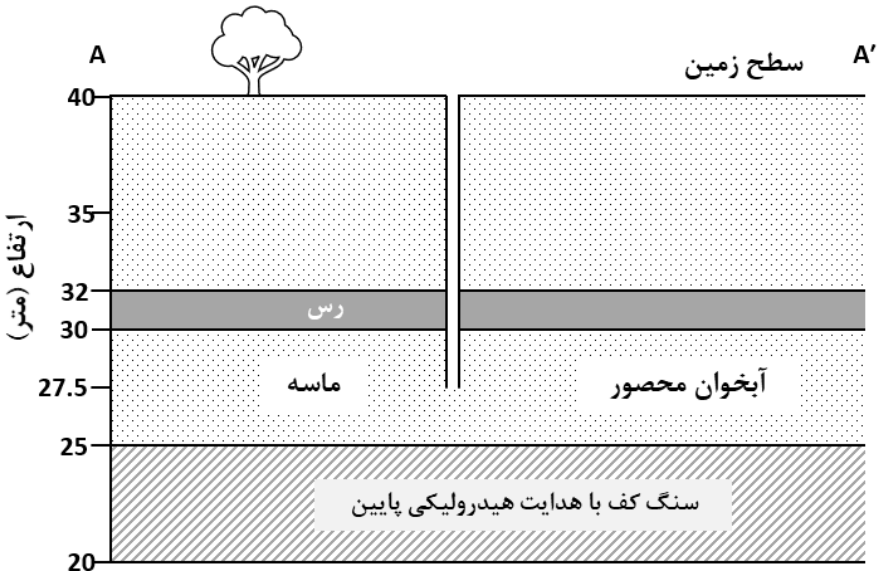
الف) 3 متر

ب) 5 متر

پ) 7/5 متر

ت) 10 متر



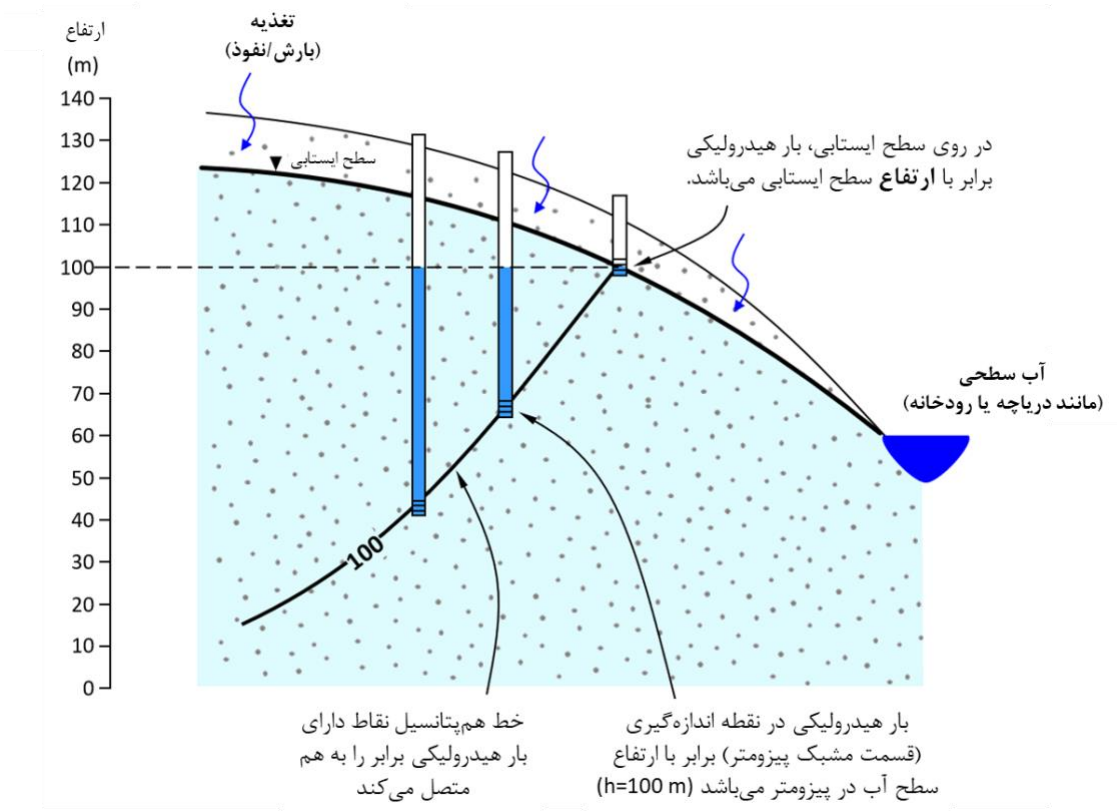


برای یافتن پاسخ اینجا را کلیک کنید

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

2.5 هیدرولیک جریان در آبخوان آزاد

جریان آب‌زیرزمینی در آبخوان‌های آزاد از همان اصول سفره‌های محصور پیروی می‌کند. مفهومی که در این آبخوان‌ها اضافه شده، ارتفاع سطح بالایی ناحیه اشباع یا همان "سطح ایستابی[1]" است، که برابر ارتفاع آب در چاهی است که به سطح آب برخورد کرده است. به عنوان مثال در شکل (21)، بار هیدرولیکی برای سطح آب در محل چاه کم عمق، 100 متر است. مطابق با بحثهای قبلی ما، یک خط هم‌پتانسیل نقاطی که دارای بار هیدرولیکی برابر هستند را به هم متصل می‌کند. بار هیدرولیکی درون چاه‌ها (پیزومترها) اندازه‌گیری شده‌اند. *سطح ایستابی یک خط هم‌پتانسیل نیست*، زیرا در نقاط و ارتفاع‌های مختلف دارای بار هیدرولیکی متفاوتی است.

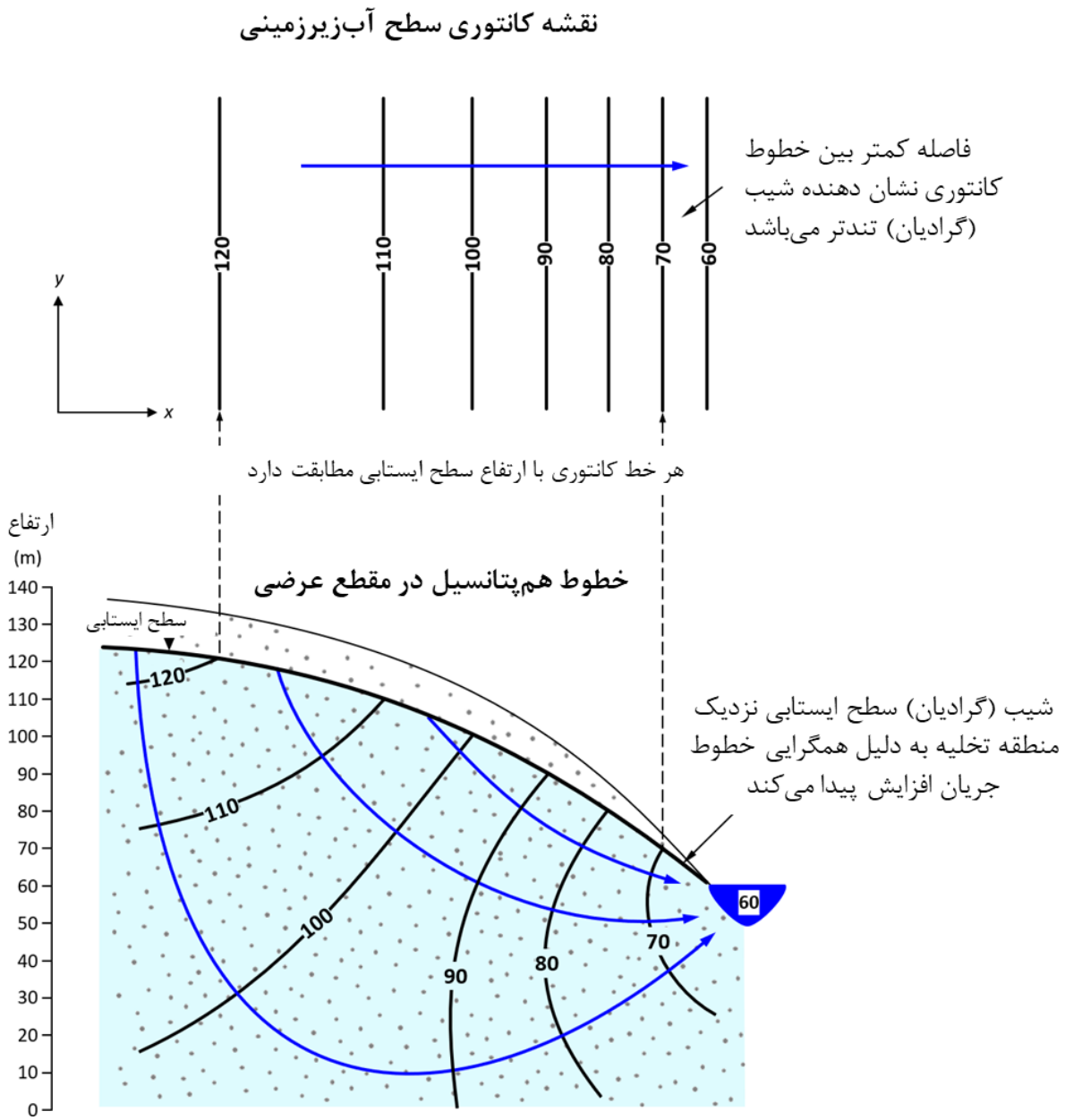


شکل 21 - خطوط هم‌پتانسیل در یک آبخوان آزاد. خطوط کانتوری نقاطی که دارای بار هیدرولیکی برابر هستند را به هم متصل می‌کند و تا نقطه‌ای از سطح ایستابی که ارتفاعی برابر با آن بار هیدرولیکی دارد، ادامه می‌یابد (کوهن و چری ، 2020).

شکل (22) نشان می‌دهد که سطح آب را می‌توان در نمای نقشه نیز نشان داد. هر خط کانتوری یک ارتفاع سطح آب را نشان می‌دهد. همچنین توجه داشته باشید که گرادیان سطح آب در جهت جریان افزایش می‌یابد (سطح آب دارای شیب بیشتر و فاصله خطوط کانتور کمتر می‌شود). همانطور که قبلاً در شکل (5) نشان داده شده است، دلیل این پدیده همگرا شدن خطوط جریان و کاهش سطح مقطع جریان است.

[1] water table

gw-project.org دانلود رایگان از – The GROUNDWATER PROJECT
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

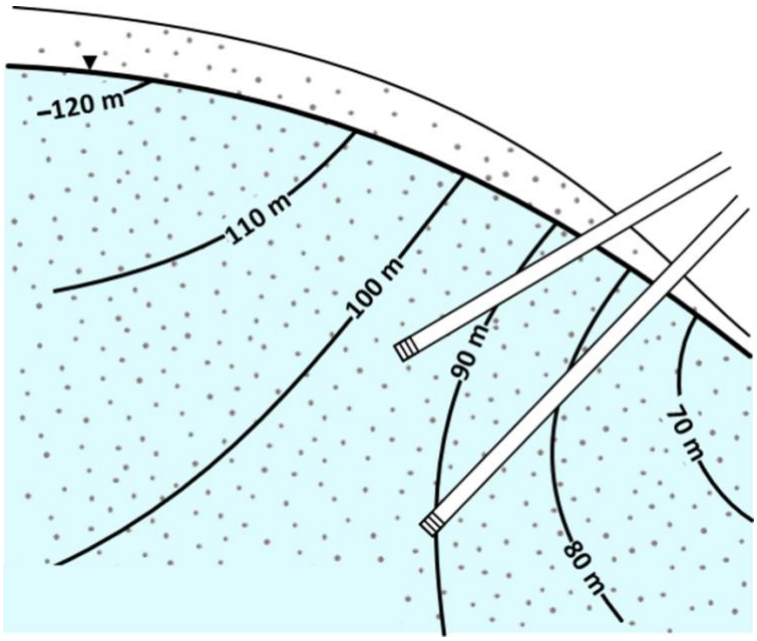


شکل 22 - مقطع عرضی خطوط هم‌پتانسیل، جهت جریان آب‌زیرزمینی (پیکان‌های آبی) و نقشه کانتوری سطح آب در یک آبخوان آزاد فرضی. نقشه کانتوری نشان دهنده توپوگرافی سطح آب است و می‌تواند جهت استنباط جهت کلی جریان مورد استفاده قرار گیرد. هندسه جریان در زیر سطح آب بر اساس خطوط هم‌پتانسیل در مقطع عرضی تعیین می‌شود (کوهن و چری، 2020).

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

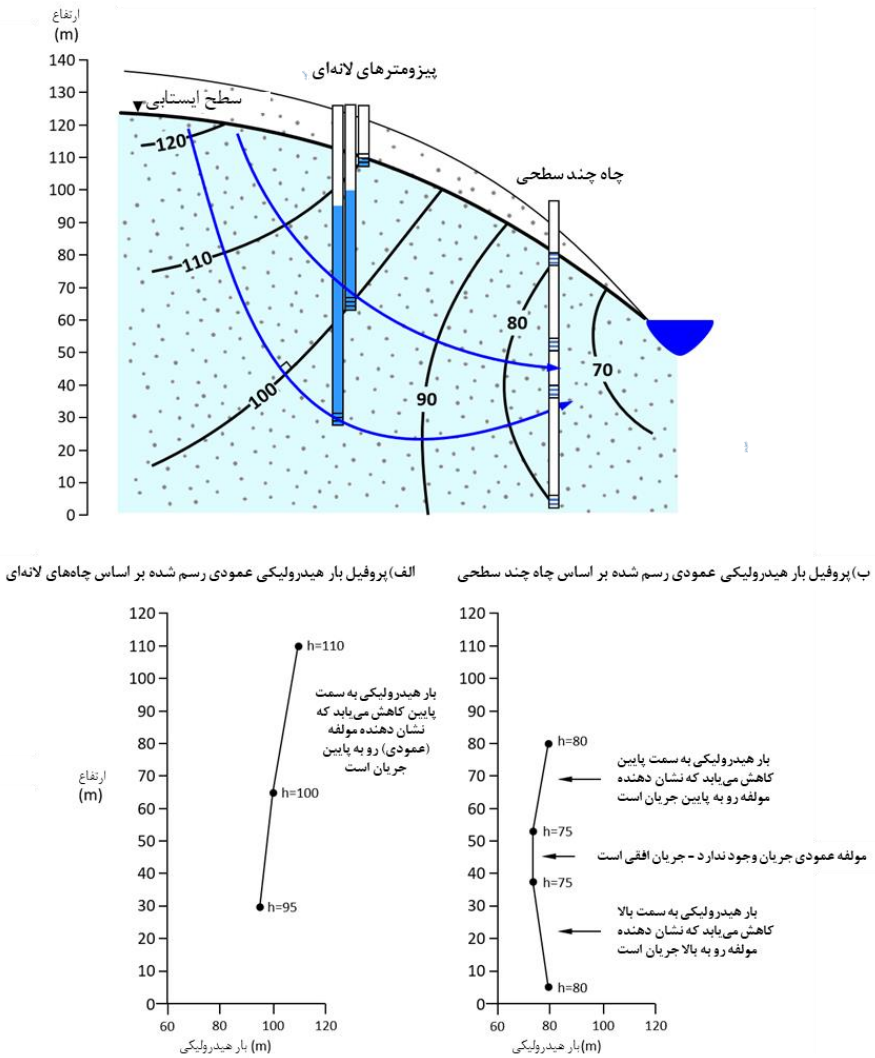
نمونه مسأله 5

ارتفاع آب در چاه‌های مورب (زاویه غیر 90 درجه نسبت به افق) به چه میزان است؟



برای یافتن پاسخ اینجا را کلیک کنید

شـــکل (23) نمودار تغییرات عمودی بار هیدرولیکی اندازه‌گیری شـــده در چاه‌های لانه‌ای[1] را نشـــان می‌دهد. این داده‌ها را می‌توان در چاه‌های چند ســـطحی (چند قســـمتی)[2] نیز اندازه‌گیری کرد. نکته مهم این اســـت که شـــکل نشـــان می‌دهد اگرچه گرادیان عمودی در یک محل وجود دارد، جریان دارای مولفه افقی نیز می‌باشـــد. یعنی از مشـــاهده یک گرادیان عمودی در یک نقطه نمی توانیم نتیجه‌گیری کنیم که جریان کاملاً بصورت عمودی بوده و مولفه جریان افقی صفر است.[3]



شکل 23 - نمونه‌ای از نمودار تغییرات عمودی بار هیدرولیکی در یک آبخوان آزاد فرضی (کوهن و چری ، 2020).

خطوط هم‌پتانسـیل و هندسـه جریان در آبخوان آزاد نشـان داده شـده در شـکل (23)، نمایانگر وجود یک مرز عمودی بدون‌جریان در سمت چپ آبخوان است. این مرز باعث ایجاد جریان عمودی قابل توجهی

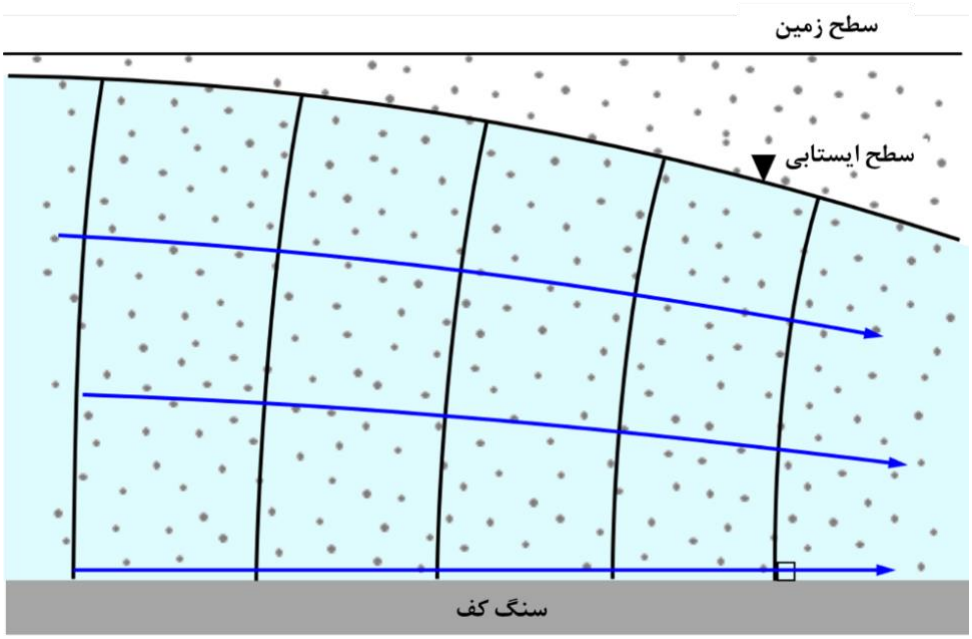
[1] nested

[2] multilevel (multiport)

[3] دقت شود دسته چاه‌ها در سمت چپ یا چاه چندسطحی سمت راست، تغییرات عمودی بار هیدرولیکی در یک نقطه روی زمین را نشان می‌دهد. برای آگاهی از وجود مولفه افقی جریان، اندازه‌گیری سطح آب در دو نقطه از آبخوان که فاصله افقی قابل توجهی دارند ضروری است. ***(توضیحات مترجم)***

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

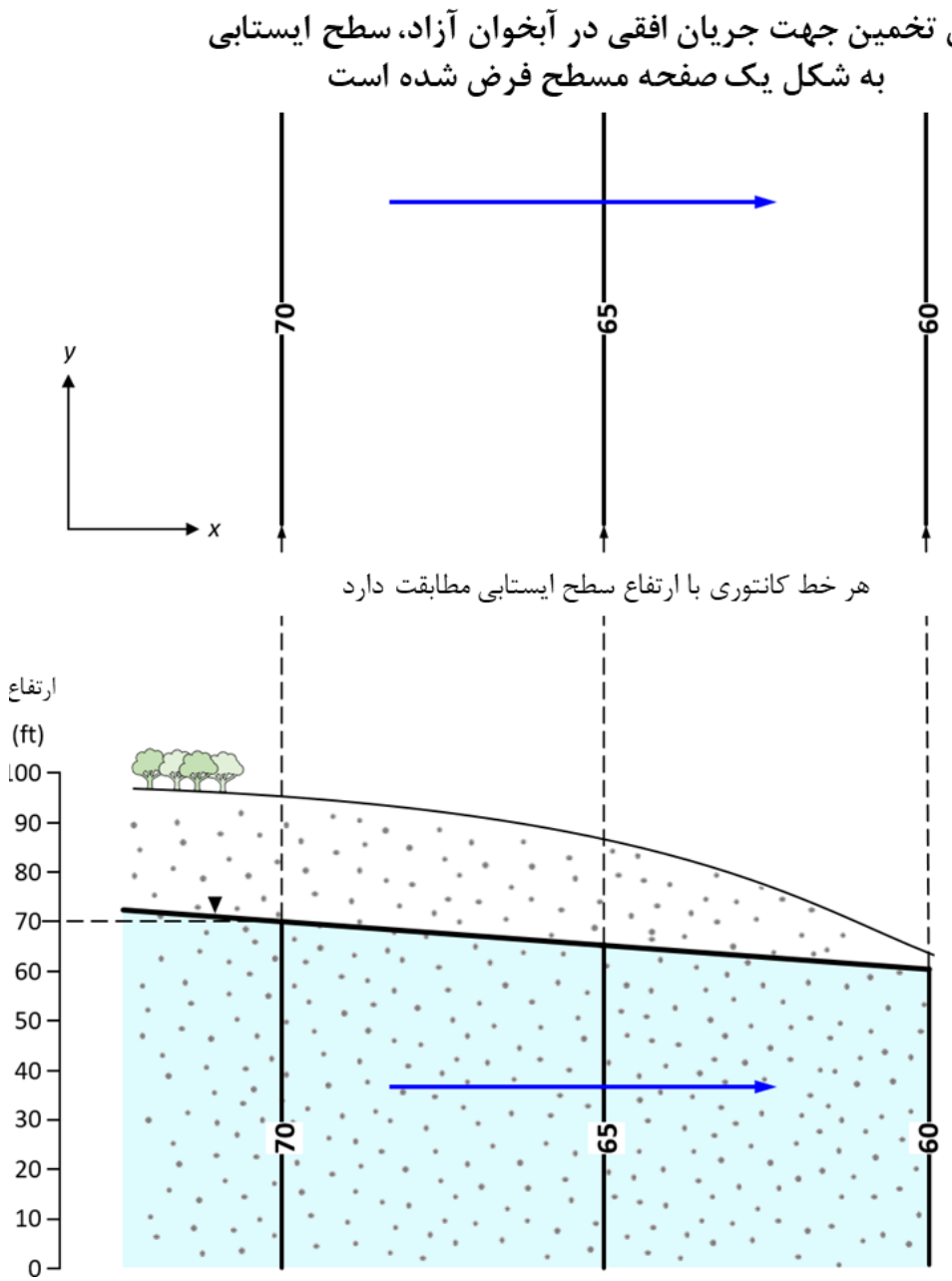
در آن منطقه می‌شود (برای مشاهده دستگاه آزمایشگاهی مشابه این مثال، به شکل 18 مراجعه کنید). همانطور که در شکل (24) نشان داده شده است، در بسیاری از موارد، مرز بدون‌جریان ممکن است در فاصله دوری از منطقه مورد مطالعه ما قرار گرفته باشد و در نتیجه جریان در منطقه مورد نظر، عمدتا افقی باشد.



شکل 24 - جریان عمدتا افقی در یک آبخوان آزاد. خطوط هم‌پتانسیل به لایه کم‌تراوای زیرین عمود هستند، که دارای هدایت هیدرولیکی (K) بسیار پایینی است به گونه‌ای که به عنوان یک مرز بدون‌جریان عمل می‌کند (کوهن و چری ، 2020).

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

در عمل، اغلب فرض می‌شود جریان در آبخوان‌های آزاد کاملا افقی است، به ویژه هنگامی که در یک مقیاس کوچک و دور از مرزها مطالعه انجام می‌شود (شکل 25).

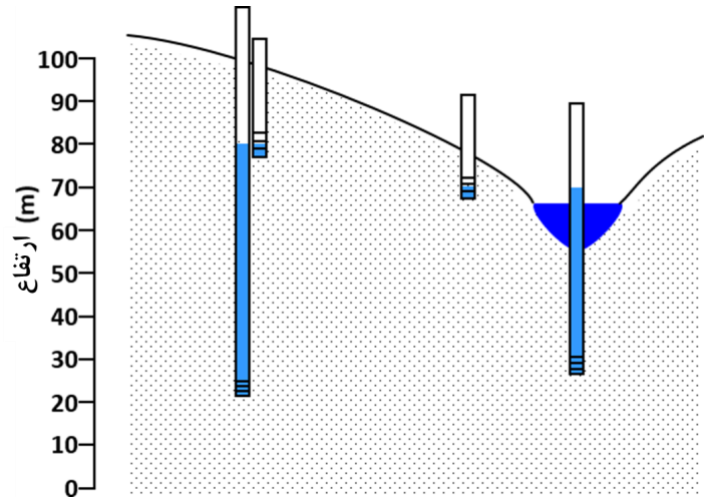


شکل 25 - در مقطع عرضی، سطح ایستابی به شکل یک صفحه کاملا مسطح نمایش داده شده و جریان غالب، افقی فرض شده است (کوهن و چری ، 2020).

نمونه مساله 6

الف) سطح ایستابی را رسم کنید.

ب) خطوط هم‌پتانسیل 70، 75 و 80 متر را رسم کرده و چند خط جریان را نیز رسم کنید.

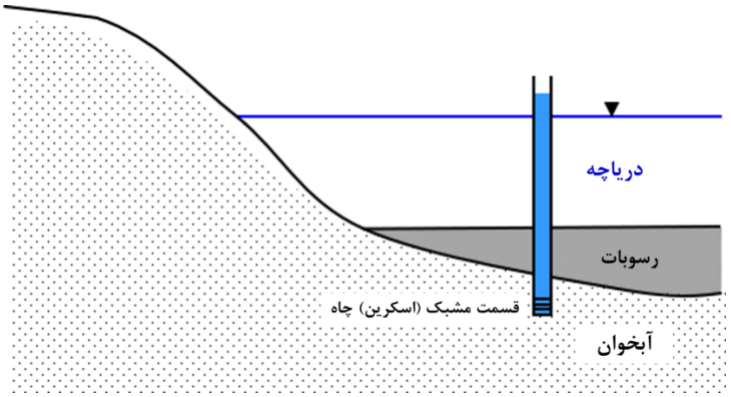


برای یافتن پاسخ اینجا را کلیک کنید

نمونه مساله 7

الف) همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است، سطح آب در یک پیزومتر حفر شده در یک آبخوان مستقر در رسوبات کف دریاچه، نمایش داده شده است. رسوبات کف دریاچه هدایت هیدرولیکی نسبتا کمی دارند. آب از طریق سوبات کف دریاچه به سمت بالا جریان دارد یا پایین؟ توضیح دهید.

ب) یک نمودار شماتیک (بدون عدد و مقدار) از تغییرات عمودی بار هیدرولیکی بین سطح آب دریاچه تا قسمت انتهایی چاه که مشبک هست، ترسیم کنید.



برای یافتن پاسخ اینجا را کلیک کنید

نمونه مساله 8

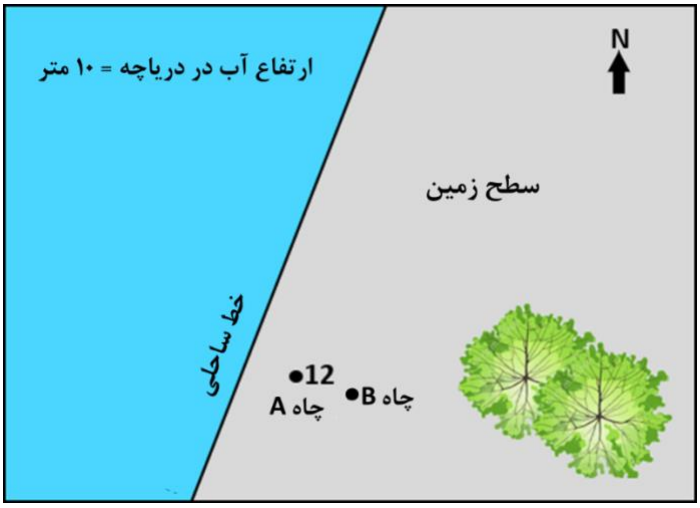
شکل زیر، یک نقشه شامل دریاچه و خط ساحلی است. ارتفاع سطح آب در چاه A، 12 متر است. با فرض مسطح بودن سطح ایستابی (یک صفحه شیب‌دار)، ارتفاع سطح آب در چاه B چقدر است؟

الف) 12 متر

ب) 13 متر

پ) 14 متر

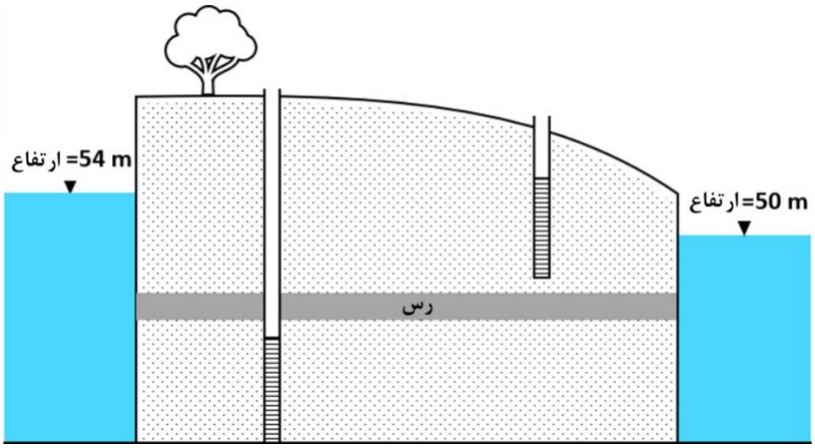
ت) مقداری بین 12 و 13 متر



برای یافتن پاسخ اینجا را کلیک کنید

نمونه مساله 9

ارتفاع سطح آب را در هر چاه برآورد کنید. آیا در لایه نیمه‌تراوای رسی جریان عمودی وجود دارد؟
(راهنمایی: تغییرات سطح ایستابی را خطی فرض کنید)

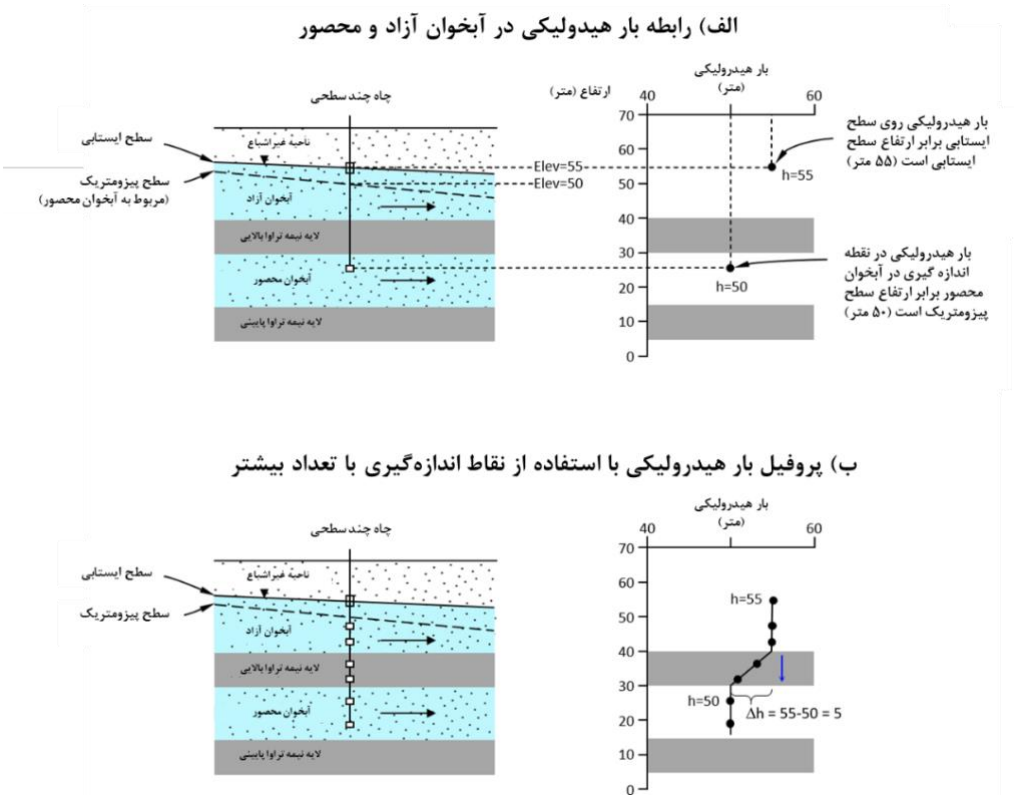


برای یافتن پاسخ اینجا را کلیک کنید

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

3.5 آبخوانها و لایه‌های نیمه‌تراوا

سناریوهای جریان و گرادیان هیدرولیکی که در شکلهای قبلی نشان داده شد، در آبخوان‌هایی که توسط یک لایه نیمه‌تراوا از هم جدا شده‌اند نیز وجود دارد. همانطور که در شکل (26) نشان داده شده است، گرادیان افقی در آبخوان آزاد و آبخوان محصور به ترتیب توسط سطح ایستابی و *سطح پتانسیومتری*[1] مشخص شده است. در شکل (26)، بار هیدرولیکی در هر دو آبخوان به سمت راست کاهش می‌یابد و بر این اساس، آب‌زیرزمینی به سمت راست جریان می‌یابد. با این حال، همانطور که مقطع عرضی (شکل 26) نشان می‌دهد، بار هیدرولیکی در بالا و پایین لایه نیمه‌تراوا یکسان نیست. این مقادیر بار هیدرولیکی بر اساس سطح ایستابی در آبخوان آزاد و سطح پتانسیومتری در آبخوان محصور بدست آمده است. در شکل (26الف)، سطح ایستابی و سطح پتانسیومتری (در مقطع عرضی آبخوان) در شکل سمت چپ و بار هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در دو دریچه پیزومتر در نمودار سمت راست، نشان داده شده است. شکل (26ب) همان وضعیت شکل (26الف) را با استفاده از یک چاه (پیزومتر) چند دریچه‌ای با تعداد نقاط اندازه‌گیری بیشتر نشان می‌دهد.



شکل 26 - نمونه‌ای از جریان افقی و پروفیل بار هیدرولیکی عمودی در: الف) آبخوان آزاد و ب) آبخوان محصور و گرادیان عمودی در لایه نیمه‌تراوا (کوهن و چری ، 2020).

نمودار سمت راست شکل (26ب)، پروفیل گرادیان هیدرولیکی عمودی در لایه نیمه‌تراوا را نشان می‌دهد. بار هیدرولیکی در لایه نیمه‌تراوا تغییر قابل توجهی دارد، که نشان دهنده ناحیه‌ای با هدایت هیدرولیکی پایین است. گرادیان بار هیدرولیکی عمودی نشان می‌دهد که اگرچه بیشتر جریان در آبخوانهای آزاد و محصور افقی است، اما بخشی (هرچند نسبتاً کوچک) از جریان آب از طریق لایه

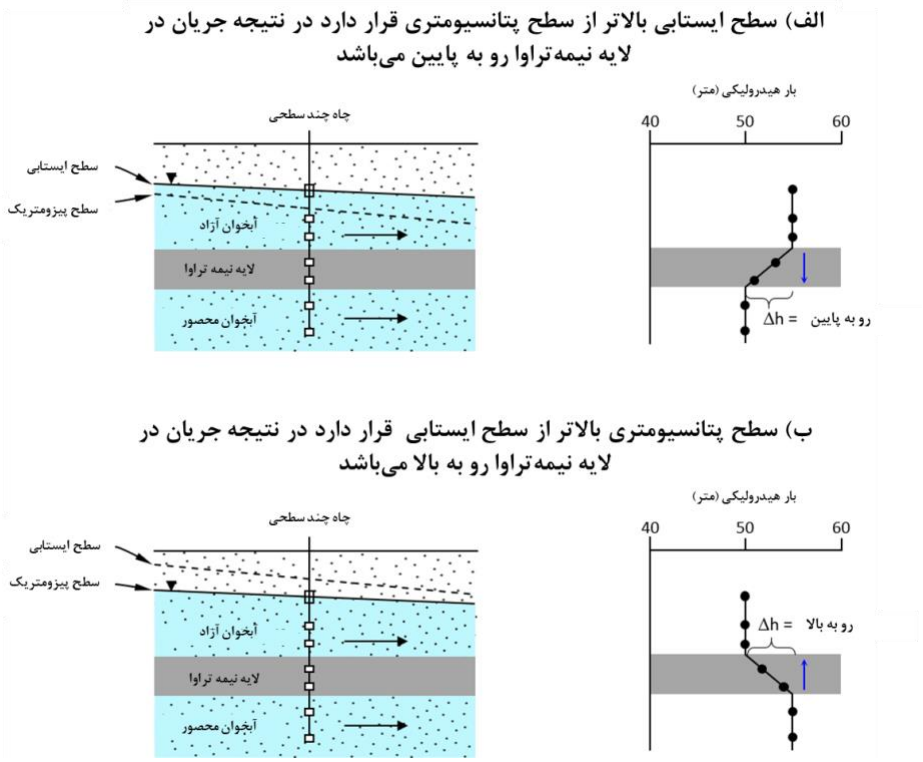
[1] potentiometric surface

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

نیمه‌تراوا به سمت پایین حرکت می‌کند (از بار هیدرولیکی بالاتر به پایین‌تر). همانطور که قبلاً ذکر شد، توجه به این نکته ضروری است که وجود گرادیان عمودی لزوماً به این معنی نیست که جریان از طریق لایه نیمه‌تراوا کاملا عمودی است. بلکه نشان می‌دهد که مولفه عمودی جریان وجود دارد.

اگر از وجود لایه نیمه‌تراوا (لایه با K پایین) اطلاع نداشته باشیم، بارهای هیدرولیکی نشان داده شده در شکل (26الف) می‌تواند به عنوان نشانه‌ای از جریان رو به پایین در کل منطقه اشباع تفسیر شود، زیرا بار هیدرولیکی در منطقه کم عمق‌تر (h = 55 متر) از منطقه عمیق‌تر (h = 50 متر) بالاتر است. این امر نشان می‌دهد برای تفسیر صحیح داده‌های بار هیدرولیکی، باید شناختی از عوارض زمین‌شناختی و ویژگیهای آبخوان وجود داشته باشد.

شکل (27) نشان می‌دهد که جهت جریان در لایه نیمه‌تراوا به اختلاف ارتفاع سطح آب و سطح پتانسیومتری بستگی دارد.

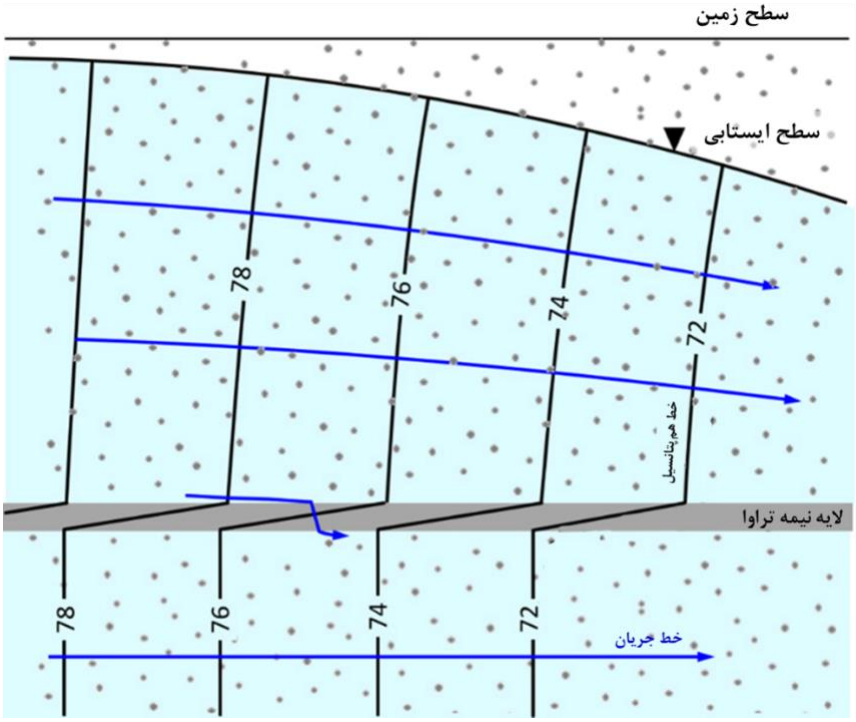


شکل 27 - پروفیل بار هیدرولیکی در لایه نیمه‌تراوا در حالت الف) جریان رو به پایین و ب) جریان رو به بالا

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

همانطور که قبلاً اشاره شد، لایه نیمه‌تراوا یک سازند نیمه نفوذپذیر است که جریان بین آبخوانهای بالایی و/یا زیرین را محدود می‌کند. این لایه ممکن است از خاک یا سنگ با هدایت هیدرولیکی بسیار کم تشکیل شده باشد که تقریباً تمام جریان آب‌زیرزمینی بین آبخوانها را محدود می‌کند. در مجاورت منطقه تغذیه یا تخلیه، مولفه عمودی جریان آب‌زیرزمینی در هر دو آبخوان آزاد و محصور می‌تواند حتی با وجود لایه نیمه‌تراوا، قابل توجه باشد.

در برخی موارد، هدایت هیدرولیکی لایه نیمه‌تراوا محدودیت کمتری ایجاد می‌کند و ممکن است آب‌زیرزمینی بتواند بین آبخوانهای بالایی و زیرین جریان یابد. چنین تشکیلاتی ممکن است به عنوان *لایه نشتی*[1] شناخته شود. در هر صورت، لایه نیمه‌تراوا به طور کامل اشباع از آب بوده و بنابراین ارتباط هیدرولیکی بین آبخوانهای بالایی و زیرین وجود دارد. در نتیجه، همانطور که در شکل 28 نشان داده شده است، گرادیان هیدرولیکی در لایه نیمه‌تراوا وجود دارد.

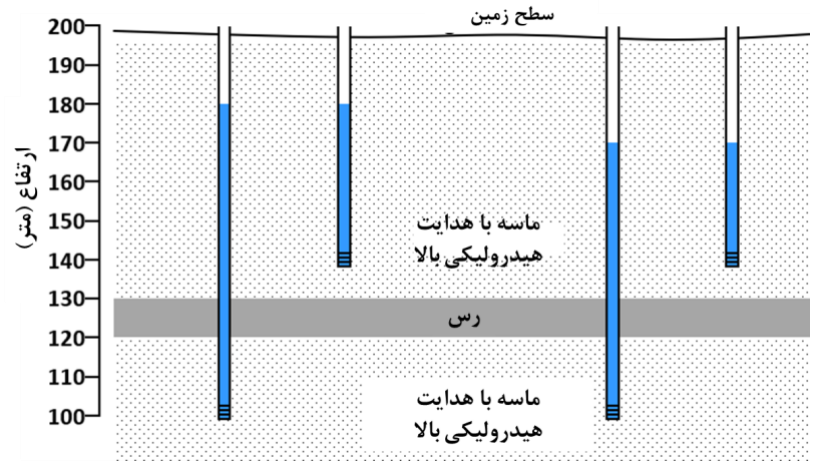


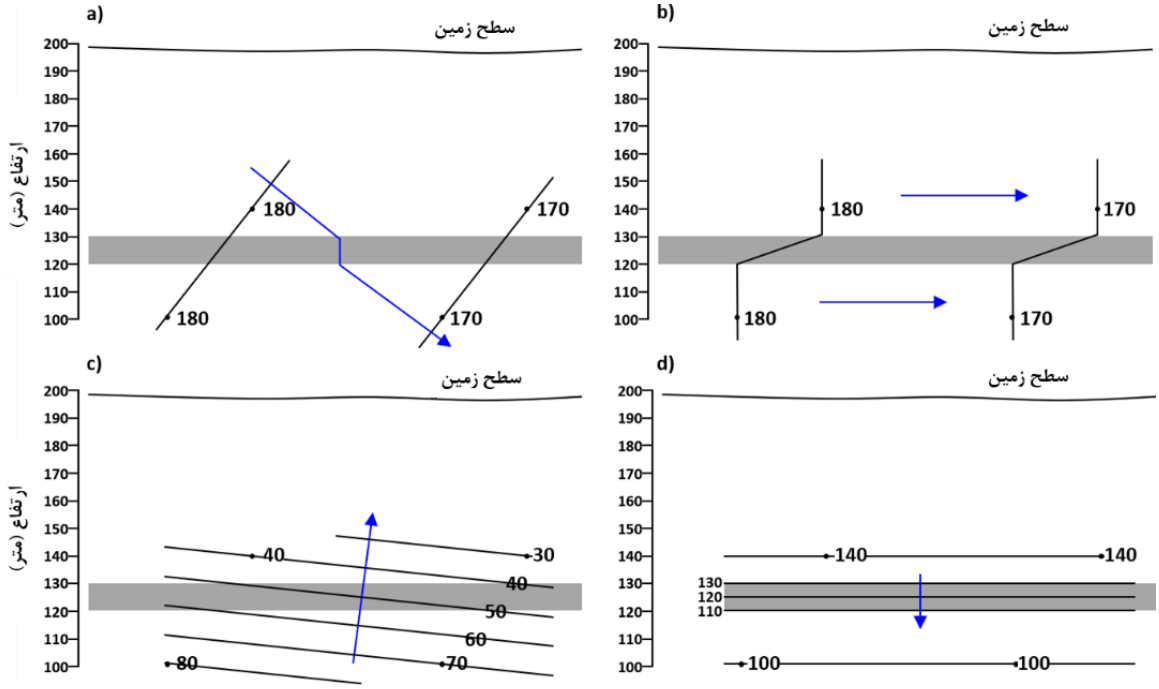
شکل 28 - خطوط کانتوری پتانسیومتری (هم‌پتانسیل) در یک آبخوان آزاد و محصور که با یک لایه نیمه‌تراوا از هم جدا شده‌اند (کوهن و چری، 2020).

[1] leaky aquitard

نمونه مسئله 10

بر اساس داده‌های سطح آب نشان داده شده، کدام شکل، شماتیک بهتری را از خطوط هم‌پتانسیل و جهت جریان ارائه می‌دهد؟





برای یافتن پاسخ اینجا را کلیک کنید

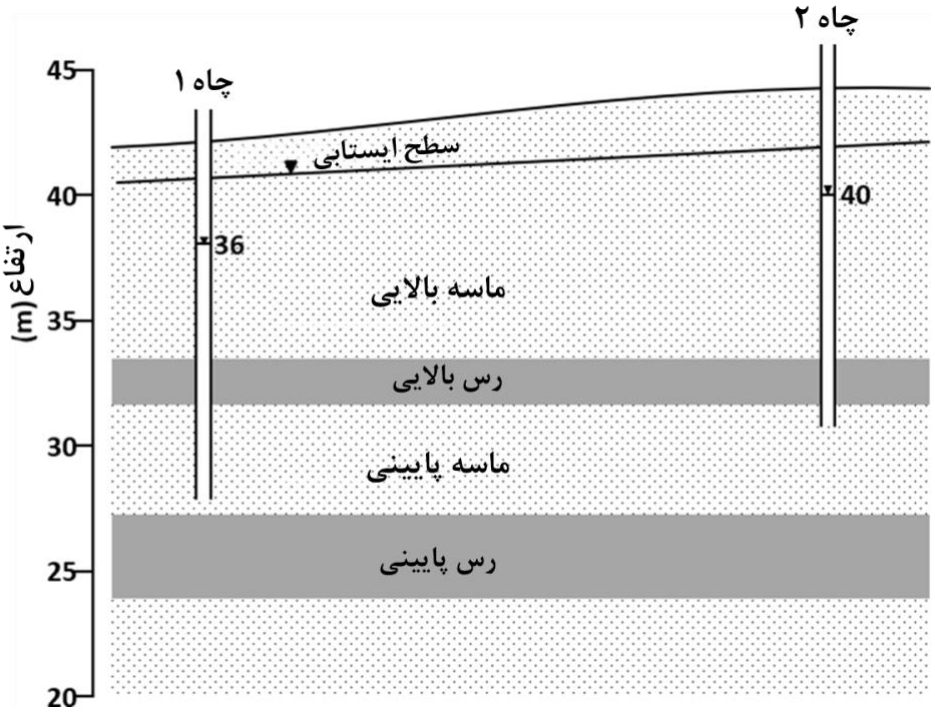
نمونه مسئله 11

الف) در واحد ماسه‌ای زیرین، خطوط (کانتورهای) هم‌پتانسیل را با فواصل 1 متر ترسیم کنید.

ب) سطح پتانسیومتری را رسم کنید.

پ) جهت جریان آب‌زیرزمینی در لایه رسی بالایی چگونه است؟

ت) نمودار تغییرات عمودی بار هیدرولیکی را در مجاورت چاه 2 ترسیم کنید.



برای یافتن پاسخ اینجا را کلیک کنید

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

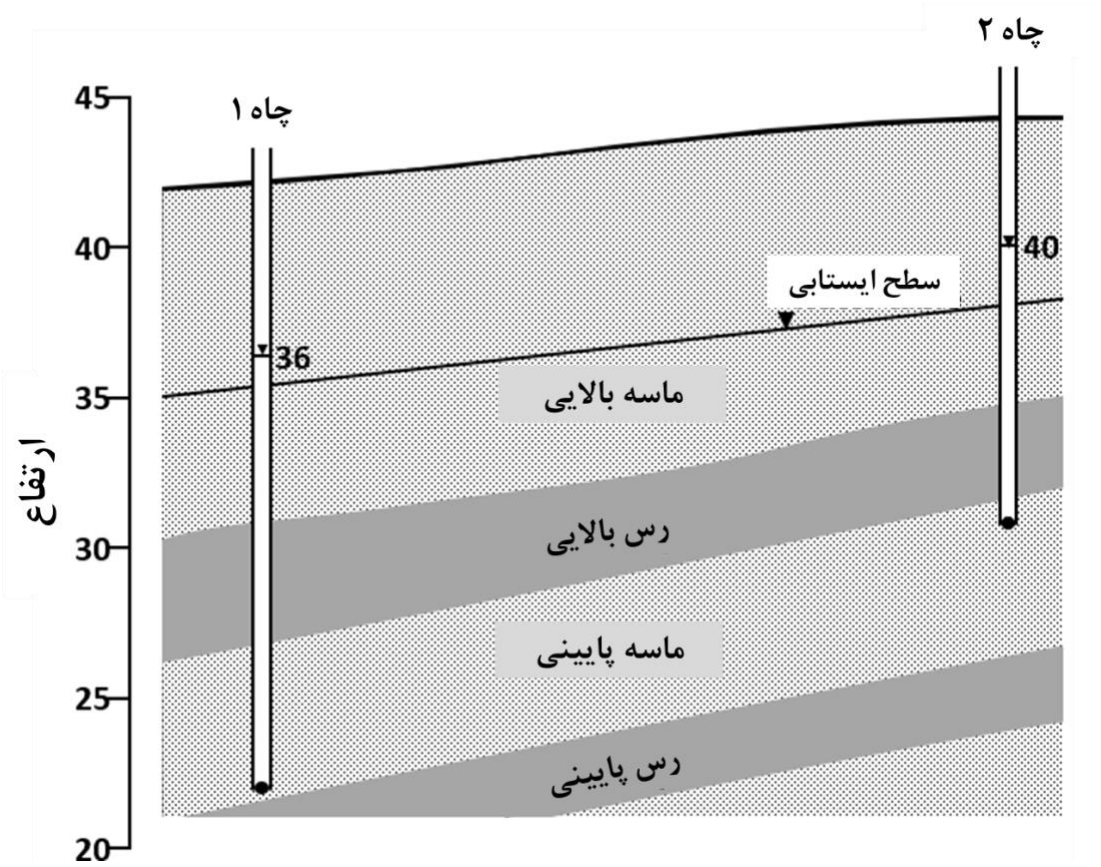
نمونه مسئله 12

الف) در واحد ماسه‌ای زیرین، خطوط (کانتورهای) هم‌پتانسیل را با فواصل 1 متر ترسیم کنید.

ب) سطح پتانسیومتری را رسم کنید.

پ) جهت جریان آب‌زیرزمینی در لایه رسی بالایی چگونه است؟

ت) نمودار تغییرات عمودی بار هیدرولیکی را در مجاورت چاه 2 ترسیم کنید.

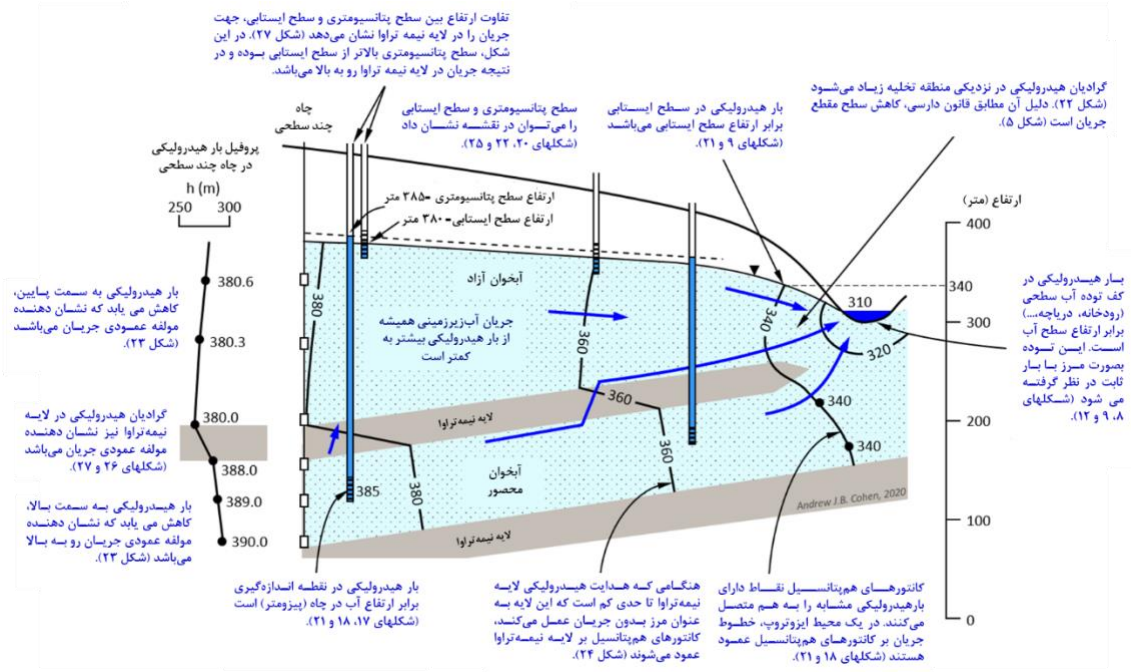


برای یافتن پاسخ اینجا را کلیک کنید

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

6 خلاصه مطالب کتاب

هدف این کتاب، معرفی مفاهیم پایه‌ای و مهم در علم آب‌زیرزمینی، مخصوصا مبانی قانون دارسی در شرایط پایدار، اشباع و همسان می‌باشد. مفاهیم بار هیدرولیکی، گرادیان هیدرولیکی، خطوط هم‌پتانسیل و جریان آب در مقیاس آزمایشگاهی که مشابه آن در آبخوانها و لایه‌های نیمه‌تراوا وجود دارد به همراه نمایش این مفاهیم در مقیاس میدانی (واقعی) ارائه شده است. این مطالب به صورت مفهومی بیان شده است. در این روش، مفاهیم و پدیده‌ها با حداقل جزئیات ریاضیاتی و بوسیله شکلهای متعدد توضیح داده شده‌اند که دارای توضیحاتی داخل خود بوده که ویژگیها و پدیده‌های کلیدی را نشان می‌دهند. شکل (29)، برخی از اجزای کلیدی ارائه شده در این کتاب را بطور خلاصه نشان می‌دهد. همچنین در این شکل، به تعدادی از دیگر شکلهای کتاب که جزئیات بیشتری را در مورد مفاهیم ارائه می‌دهند ارجاع داده شده است. خواندن کل کتاب و مطالعه همه شکلها مفیدتر است، زیرا شکلها بصورت بهم پیوسته ارائه شده‌اند و برای ارائه درک عمیق‌تری از مبانی و بازنمود آنها در سامانه‌های آب‌زیرزمینی بر شکلهای پیش از خود تکیه دارند.



شکل 29 - خلاصه‌ای از مفاهیم ارائه شده در این کتاب (کوهن و چری، 2020).

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

7 پاسخ نمونه مساله‌ها

نمونه مساله 1

سوال: گرادیان هیدرولیکی افقی را در راستای دستگاه رسم کنید.

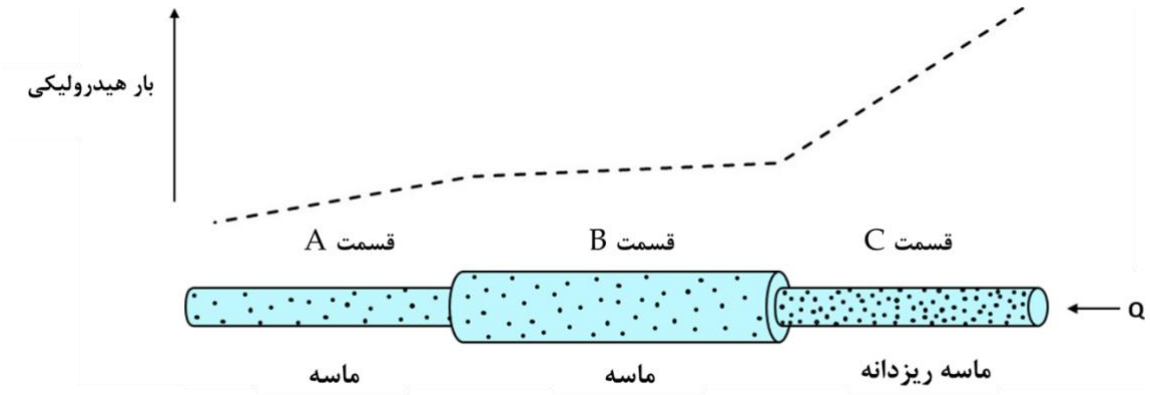
پاسخ:

• جریان از راست به چپ است. بنابراین، بار هیدرولیکی به سمت چپ کاهش می یابد.

• گرادیان هیدرولیکی باید در قسمت A بیشتر از قسمت B باشد، زیرا سطح مقطع بخش A کمتر از بخش B است، در حالی که هر دو بخش دارای K یکسان هستند.

• گرادیان در قسمت C تندتر از بخش A است، زیرا K در بخش C کمتر از بخش A است، در حالی که هر دو بخش سطح مقطع یکسانی دارند.

• گرادیان در بخش C از بقیه بخشها تندتر است، زیرا کمترین K و کوچکترین سطح مقطع را دارد.



برگشت به نمونه مساله 1

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

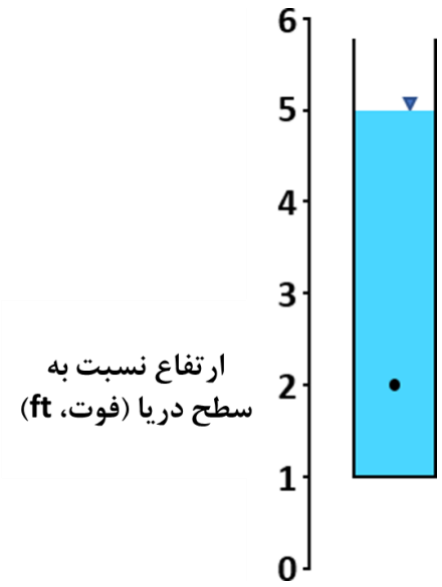
نمونه مساله 2

سوال: بار هیدرولیکی برای نقاط (a، b، c، d، e) در ارتفاع مختلف از ستون آب به چه میزان است؟

a) 1 ft
b) 2 ft
c) 3 ft
d) 4 ft
e) 5 ft

پاسخ:

پاسخ صحیح، پنج فوت است. زیرا در همه جای یک ستون آب ایستا (بدون جریان)، بار هیدرولیکی برابر با ارتفاع سطح آب است. بار هیدرولیکی برابر 1 فوت نیست، زیرا بار هیدرولیکی برابر ارتفاع کف ستون آب نیست. بار هیدرولیکی 2 فوت نیست، زیرا بار هیدرولیکی در ستون آب با ارتفاع نقطه اندازه گیری برابر نیست. بار هیدرولیکی 3 فوت نیست، زیرا بار هیدرولیکی برابر ارتفاع ستون آب بالای نقطه اندازه گیری نیست. بار هیدرولیکی 4 فوت نیست، زیرا بار هیدرولیکی نشان دهنده طول کل ستون آب نیست.



برگشت به نمونه مساله 2 ↑

نمونه مساله 3

سوال:

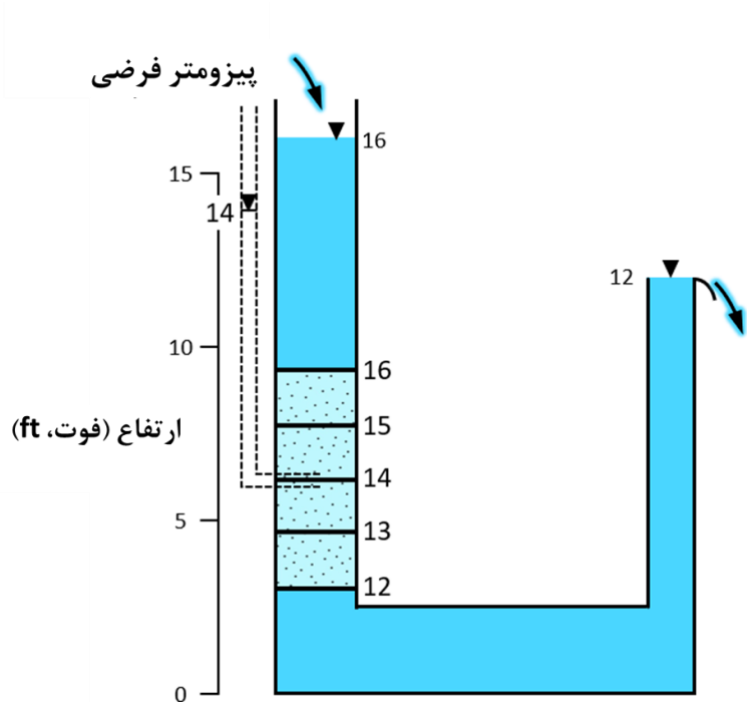
الف) خطوط هم‌پتانسیل را در **ماسه** با فواصل 1 فوت ترسیم کنید.

ب) در پیزومتر فرضی، آب تا چه ارتفاعی بالا می‌آید؟

پاسخ:

الف) مقادیر بار هیدرولیکی در بالا و پایین ستون ماسه‌ای برابر با سطح آب در ستون آبی است که به انتهای محیط متخلخل متصل شده (یعنی 16 فوت برای قسمت بالایی و 12 فوت برای پایین ستون ماسه‌ای). با توجه به هندسه استوانه، جریان باید در ستون ماسه‌ای عمودی و خطوط هم‌پتانسیل باید افقی باشند (خطوط هم‌پتانسیل عمود بر جهت جریان و عمود بر مرزهای بدون جریان هستند). گرادیان هیدرولیکی با فاصله بین خطوط کانتور مشخص می شود. در این مورد، به دلیل همگن بودن محیط، خطوط به طور مساوی از هم فاصله دارند.

ب) سطح آب در پیزومتر برابر بار هیدرولیکی در نقطه اندازه‌گیری (انتهای باز پیزومتر در ماسه) است. بنابراین، سطح آب در پیزومتر فرضی 14 فوت می‌باشد.



برگشت به نمونه مساله 3 ↑

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

نمونه مساله 4

سوال: شکلها یک نقشه خطوط هم‌پتانسیل از یک آبخوان محصور و مقطع عرضی در طول خط A-′A را نشان می‌دهند. عمق سطح آب در چاهی که در شکل نشان داده شده (نسبت به سطح زمین) چقدر است؟ توضیح دهید.

الف) 3 متر

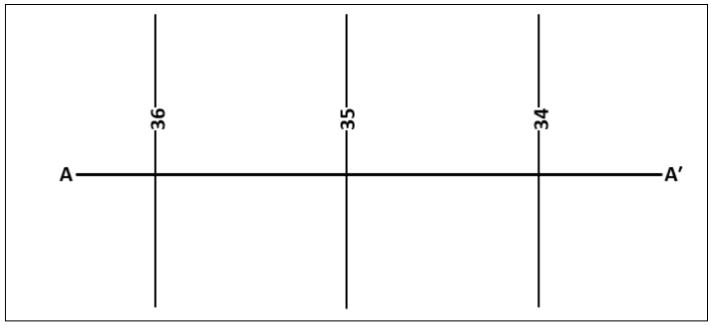
ب) 5 متر

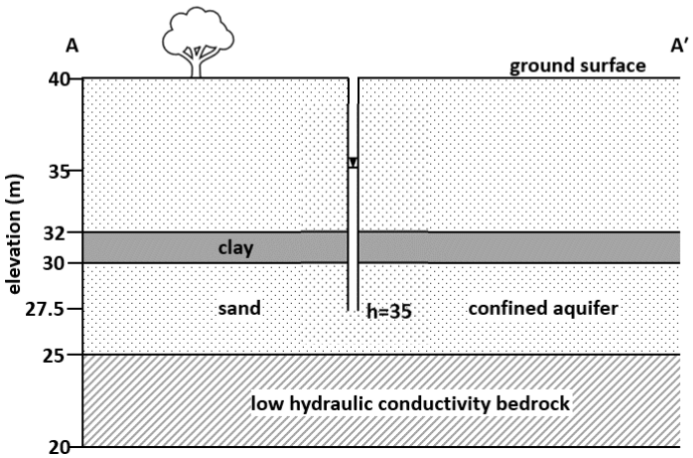
پ) 7/5 متر

ت) 10 متر

پاسخ:

پاسخ صحیح، عمق 5 متر است. زیرا بار هیدرولیکی در موقعیت چاه، 35 متر است (همانطور که در نقشه کانتور هم‌پتانسیل نشان داده شده است). از آنجا که سطح آب در یک چاه برابر با بار هیدرولیکی است، ارتفاع سطح آب در چاه باید 35 متر باشد. همچنین با توجه به اینکه ارتفاع سطح زمین 40 متر است، عمق آب باید 5 متر (5 = 35 -40) باشد.





برگشت به نمونه مساله 4 ↑

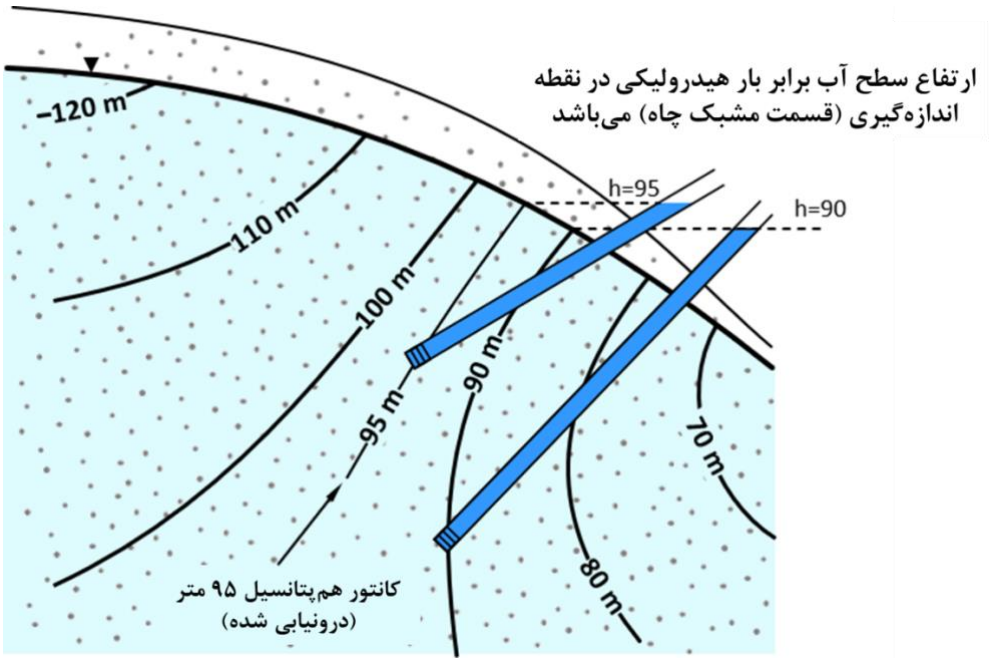
The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

نمونه مسأله 5

سوال: ارتفاع آب در چاه‌های مورب به چه میزان است؟

پاسخ:

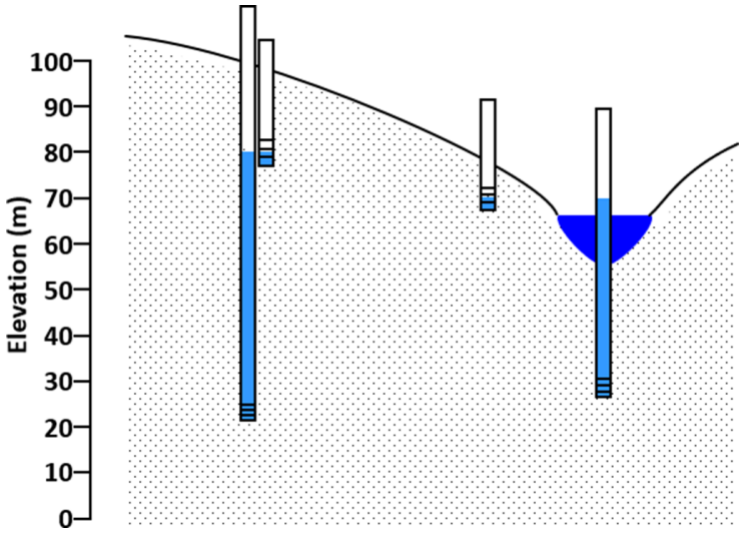
سطح آب برابر با بار هیدرولیکی در نقطه اندازه‌گیری (قسمت مشبک) است که با خط کانتور هم‌پتانسیل نشان داده می‌شود. زاویه حفر پیزومتر هیچ اهمیتی ندارد.



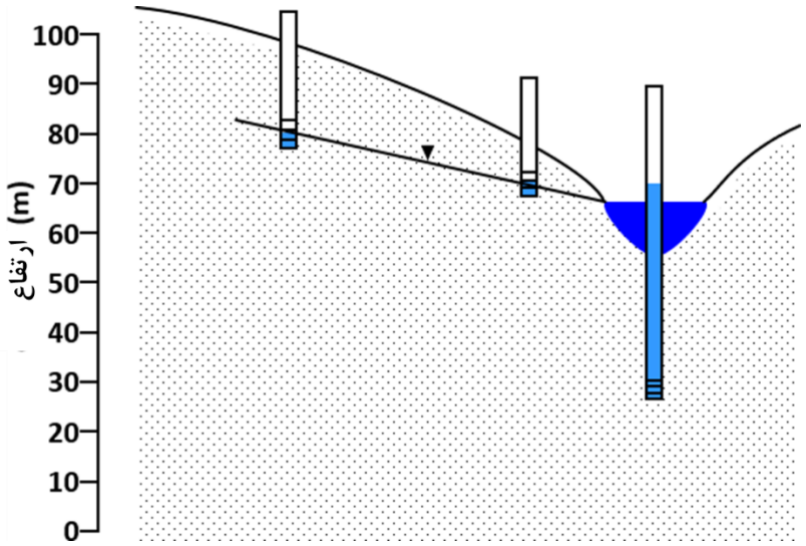
برگشت به نمونه مساله 5 ↑

نمونه مساله 6

سوال: سطح ایستابی را ترسیم کنید. همچنین خطوط هم‌پتانسیل 70، 75 و 80 متر را رسم کرده و چند خط جریان را نیز رسم کنید.

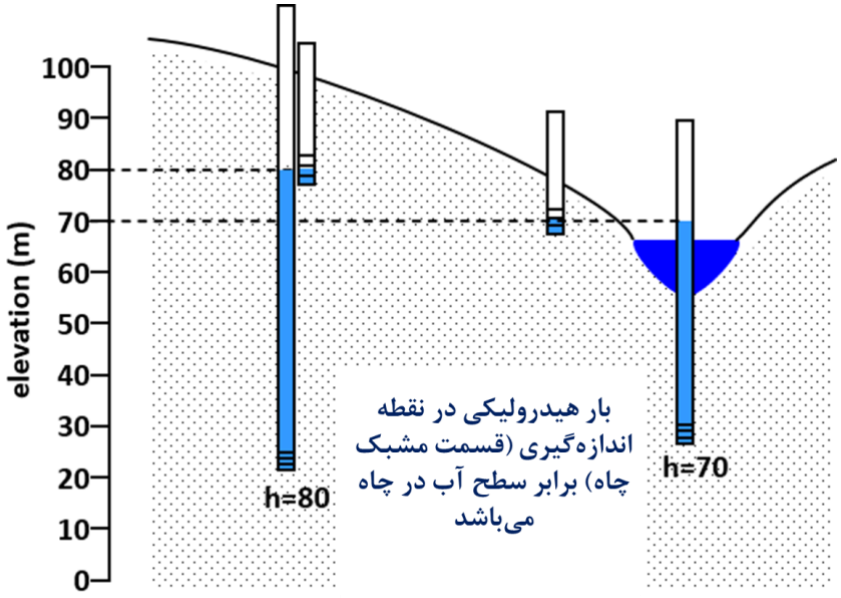


گام 1: سطح آب در چاه‌های کم عمق در داخل محدوده اسکرین (لوله مشبک) قرار دارد. بنابراین، سطح‌آب‌ها مربوط به یک آبخوان آزاد هستند. *سطح ایستابی* را می‌توان با درون‌یابی این داده‌ها و همچنین استفاده از ارتفاع سطح آب پیکره *آب سطحی* نزدیک آنها تولید کرد.

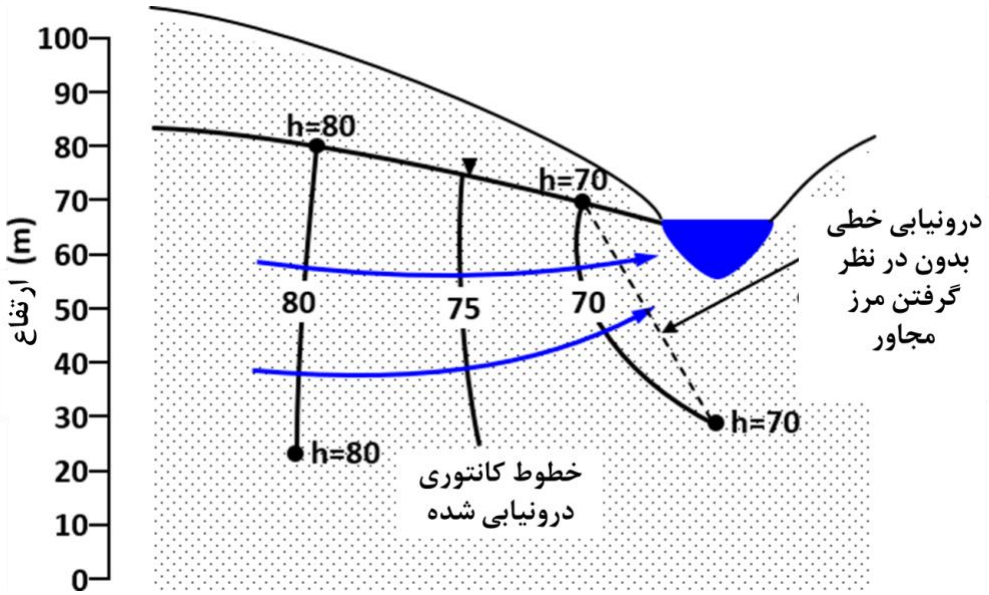


گام 2: مقدار بار هیدرولیکی را برای هر نقطه اندازه گیری (قسمت مشبکه لوله چاه) تعیین کنید. بار هیدرولیکی برابر ارتفاع سطح آب در پیزومترها است.

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید



گام 3: با استفاده از توزیع بار هیدرولیکی حاصل از مرحله قبل، نقاط با بار هیدرولیکی برابر را به هم متصل کرده و/یا موقعیت خطوط هم‌پتانسیل را با درونیابی بین مقادیر تخمین بزنید. علاوه بر این، هندسه جریان را با توجه به ویژگی‌های منطقه حدس بزنید. در این مثال، ما انتظار همگرایی جریان به سمت *پیکره آب سطحی* (مرز هیدرولیکی) را داریم، بنابراین خطوط هم‌پتانسیل به جای اتصال با یک خط مستقیم، منحنی هستند. خطوط جریان را عمود بر خطوط هم‌پتانسیل ترسیم کنید.



برگشت به نمونه مساله 6

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

نمونه مساله 7

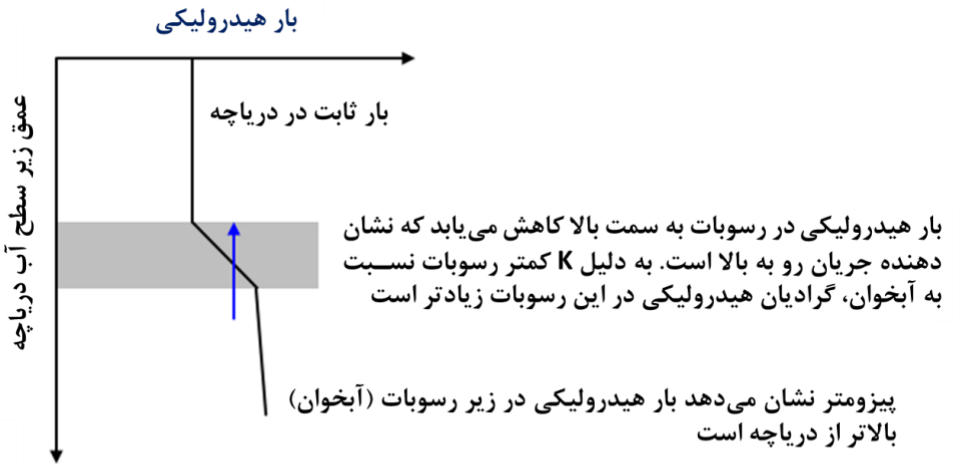
سوال‌ها:

الف) سطح آب در یک پیزومتر که در آبخوان زیر رسوبات کف دریاچه حفر شده ، نمایش داده شده است. رسوبات کف دریاچه هدایت هیدرولیکی نسبتا کمی دارند. آب از طریق سوبات کف دریاچه به سمت بالا جریان دارد یا پایین؟ توضیح دهید.

ب) یک نمودار شماتیک (بدون عدد و مقدار) از تغییرات عمودی بار هیدرولیکی بین سطح آب دریاچه تا قسمت انتهایی چاه که مشبک هست ترسیم کنید.

پاسخ بخش الف: بار هیدرولیکی در نقطه اندازه‌گیری (قسمت مشبک چاه، اسکرین) در پیزومتر برابر با ارتفاع سطح آب در پیزومتر است. بار هیدرولیکی در تمام اعماق دریاچه برابر با ارتفاع سطح دریاچه است. بنابراین، بار هیدرولیکی در آبخوان زیر رسوبات، بالاتر از بالای رسوبات (دریاچه) است، بنابراین جریان از طریق رسوبات به سمت بالا حرکت می‌کند (از بار بالاتر به بار پایینتر).

پاسخ بخش ب: نمودار تغییرات عمودی (پروفیل) بار هیدرولیکی، بار ثابت را در دریاچه و گرادیان رو به بالا در رسوبات را نشان می‌دهد. گرادیان هیدرولیکی در آبخوان نیز دارای مولفه عمودی رو به بالا است، اما چون هدایت هیدرولیکی (K) بیشتر است، گرادیان در آبخوان نسبت به رسوبات شیب کمتری دارد.



توضیح: فلش آبی رنگ بصورت شماتیک مولفه عمودی جریان (رو به بالا) را نشان می‌دهد

برگشت به نمونه مساله 7

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

نمونه مساله 8

سوال: یک نقشه شامل دریاچه و خط ساحلی در شکل نمایش داده شده است. ارتفاع سطح آب در چاه A ، 12 متر است. با فرض مسطح بودن سطح ایستابی (یک صفحه شیب‌دار)، ارتفاع سطح آب در چاه B چقدر است؟

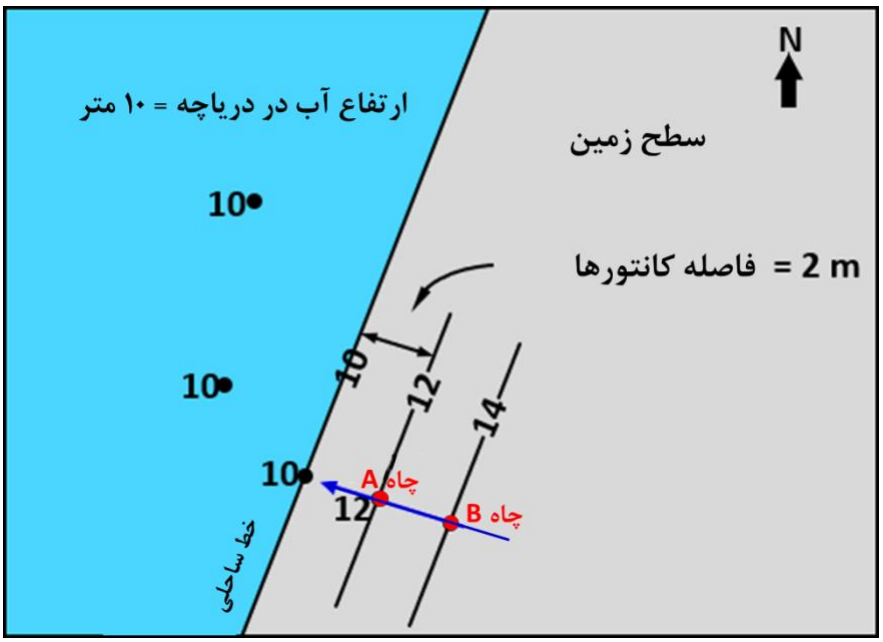
الف) 12 متر

ب) 13 متر

پ) 14 متر

ت) مقداری بین 12 و 13 متر

پاسخ: سطح آب دریاچه افقی است. بنابراین، بار هیدرولیکی در همه جای دریاچه، از جمله در طول خط ساحلی، یکسان است. از آنجا که جریان عمود بر خطوط هم‌پتانسیل است و سطح ایستابی به شکل مسطح (بدون انحنا) فرض شده است، کانتورهای با فاصله 2 متر به سمت چاه B برون‌یابی و در نتیجه سطح آب 14 متر در چاه B محاسبه می‌شود.



برگشت به نمونه مساله 8

نمونه مساله 9

سوال: ارتفاع سطح آب در هر چاه را برآورد کنید. آیا در لایه نیمه‌تراوای رسی جریان عمودی وجود دارد؟

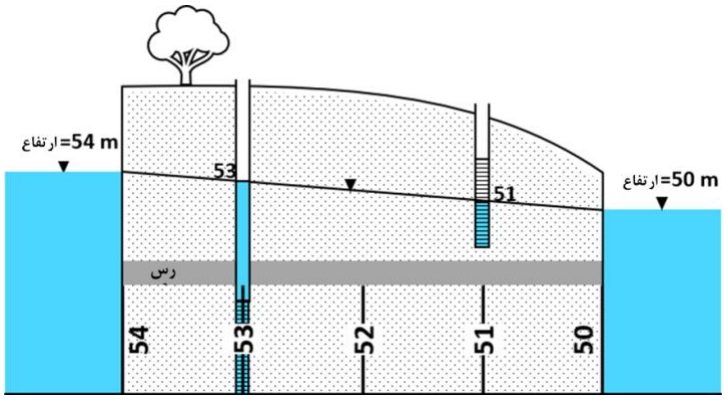
پاسخ:

گام 1: به عنوان یک تقریب، فرض کنید که تغییرات سطح ایستابی، خطی است. با درون یابی خطی، سطح آب در مرکز 52 متر است. چاه سمت راست نصف فاصله از سمت راست تا وسط است، بنابراین سطح آب در چاه سمت راست 51 متر است. به طور مشابه، ارتفاع سطح آب در محل چاه سمت چپ 53 متر است.

گام 2: آبخوان محصور افقی (زیر لایه رسی) از هر دو طرف با مرزهای با بار ثابت در تماس است و مقادیر بار هیدرولیکی مرزها با ارتفاع سطح آب در هر پیکره آبی مطابقت دارد (برای دیدن موارد مشابه به شکلهای 12 و 17 مراجعه کنید). بر اساس هندسه آبخوان محصور و موقعیت مرزهای جانبی (طرف راست و چپ آبخوان) جریان افقی است.

گام 3: محیط همگن است، بنابراین گرادیان و فاصله بین خطوط هم‌پتانسیل ثابت است. فاصله بین خطوط و مقادیر آنها با درون‌یابی خطی تعیین می‌شود.

گام 4: قسمت مشبک چاه سمت چپ در آبخوان محصور قرار گرفته و بار هیدرولیکی آن 53 متر است (همانطور که توسط خط هم‌پتانسیل نشان داده شده است). در همین مکان، ارتفاع سطح آب نیز 53 متر است. ما با فرض کاهش خطی سطح ایستابی، مسئله را ساده کردیم، با این وجود می‌دانیم در واقعیت به دلیل کاهش سطح مقطع جریان در سمت راست، گرادیان تندتری وجود خواهد داشت (همانطور که در شکل 22 نشان داده شده است). از آنجا که ما فرض می‌کنیم که یک گرادیان خطی در هر دو آبخوان محصور و آزاد وجود دارد، بار هیدرولیکی در هر مکان در بالا و پایین *لایه رسی* یکسان خواهد بود. در نتیجه، گرادیان هیدرولیکی عمودی و جریان عمودی درون *لایه رسی* وجود ندارد.

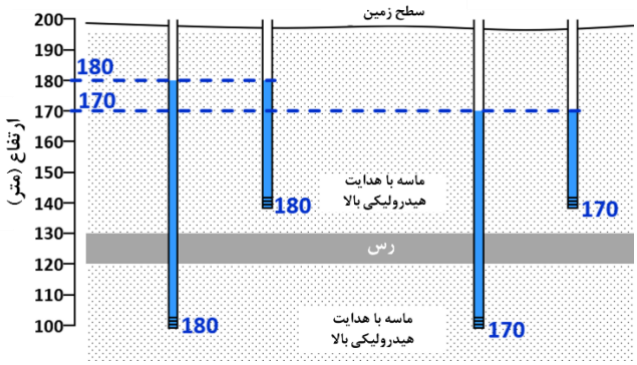


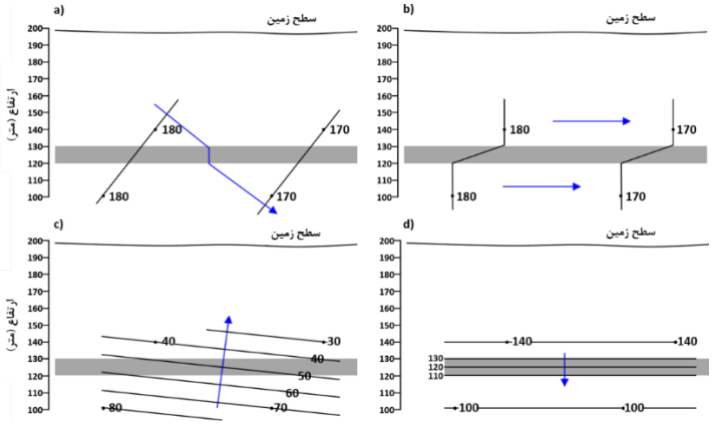
برگشت به نمونه مساله 9 ↑

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

نمونه مسئله 10

سوال: بر اساس داده‌های سطح آب نشان داده شده، کدام شکل، شماتیک بهتری از خطوط هم‌پتانسیل و جهت جریان ارائه می‌دهد؟





پاسخ: پاسخ صحیح گزینه "b" است. بار هیدرولیکی برای هر قسمت مشبک چاه، برابر با ارتفاع سطح آب در هر چاه است. بر اساس داده‌های بار هیدرولیکی در لایه‌های ماسه‌ای (آبخوان‌ها)، بار هیدرولیکی به سمت راست کاهش می‌یابد و جریان عمودی به دلیل لایه نیمه‌تراوا محدود می‌شود. بر این اساس، جریان در لایه‌های ماسه‌ای عمدتا افقی است، و خطوط هم‌پتانسیل نیز تقریبا عمودی هستند زیرا خطوط جریان در محیطهای همسان‌گرد (ایزوتروپ) به خطوط هم‌پتانسیل عمود هستند.

گزینه "الف" به این دلیل پاسخ صحیح نیست که خطوط هم‌پتانسیل در بالا و پایین لایه با K پایین (نیمه‌تراوا) دارای شکستگی نیست و مولفه عمودی جریان وجود دارد (شکل 28 را ببینید).

گزینه "پ" نمی‌تواند پاسخ صحیح باشد، زیرا مقادیر بار هیدرولیکی رسم شده در نقاط اندازه گیری صحیح نیست. آنها نشان دهنده ارتفاع ستون آب در هر چاه هستند.

گزینه "ت" نمی‌تواند پاسخ صحیح باشد، زیرا مقادیر بار هیدرولیکی رسم شده در نقاط اندازه گیری صحیح نیست. در عوض، آنها ارتفاع نقاط اندازه گیری را نشان میدهند.

برگشت به نمونه مساله 10

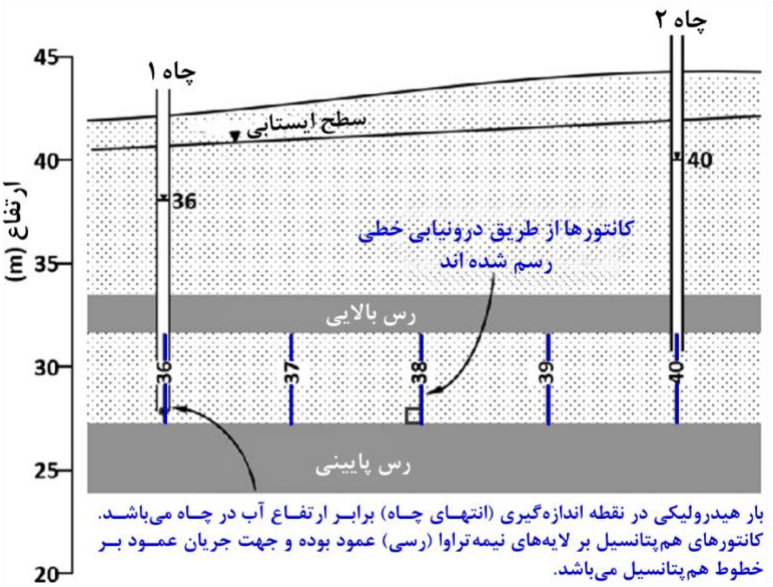
The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

نمونه مسئله 11

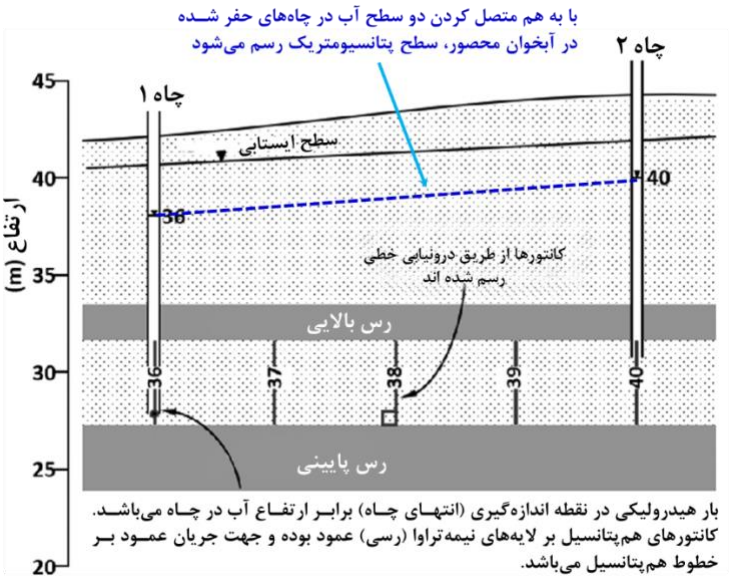
سوال:

الف) در واحد ماسه‌ای زیرین، خطوط (کانتورهای) هم‌پتانسیل را با فواصل 1 متر ترسیم کنید.
ب) سطح پتانسیومتری را رسم کنید.
پ) جهت جریان آب‌زیرزمینی در لایه رسی بالایی چگونه است؟
ت) نمودار تغییرات عمودی بار هیدرولیکی را در مجاورت چاه 2 ترسیم کنید.

پاسخ 11 الف:

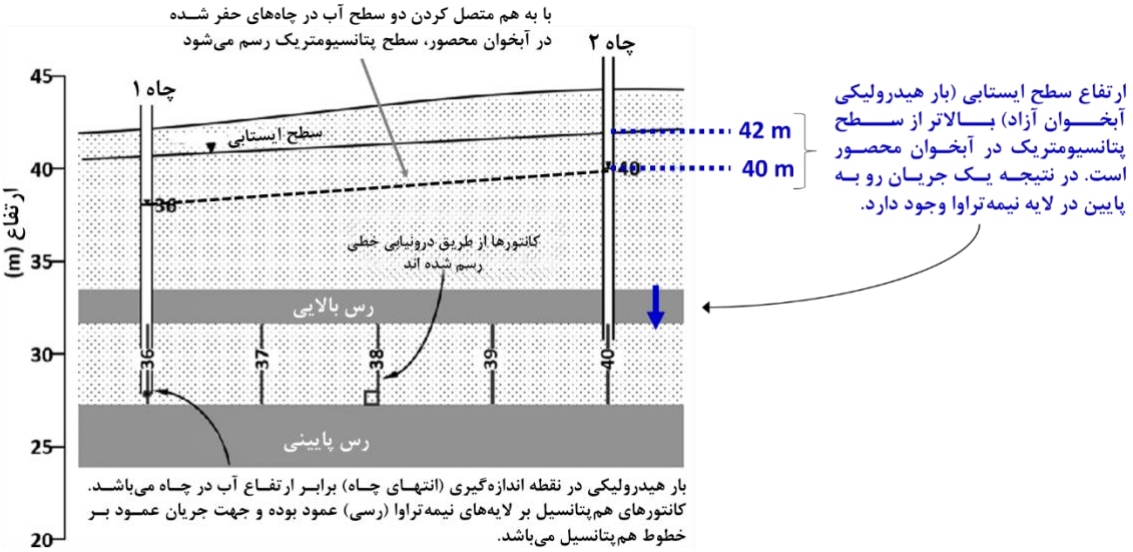


پاسخ 11ب:

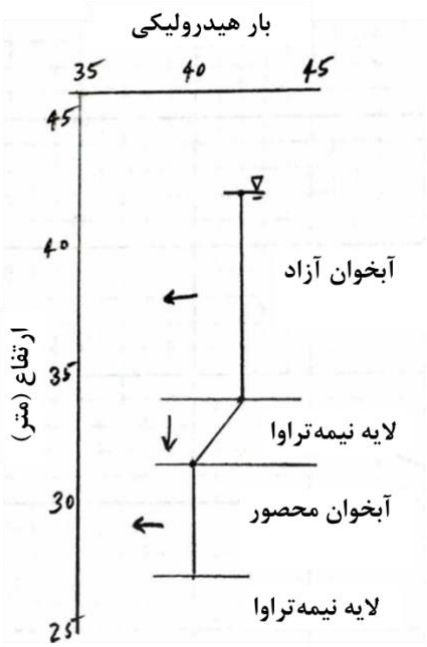


The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

پاسخ 11پ:



پاسخ 11ت:



برگشت به نمونه مساله 11 ↑

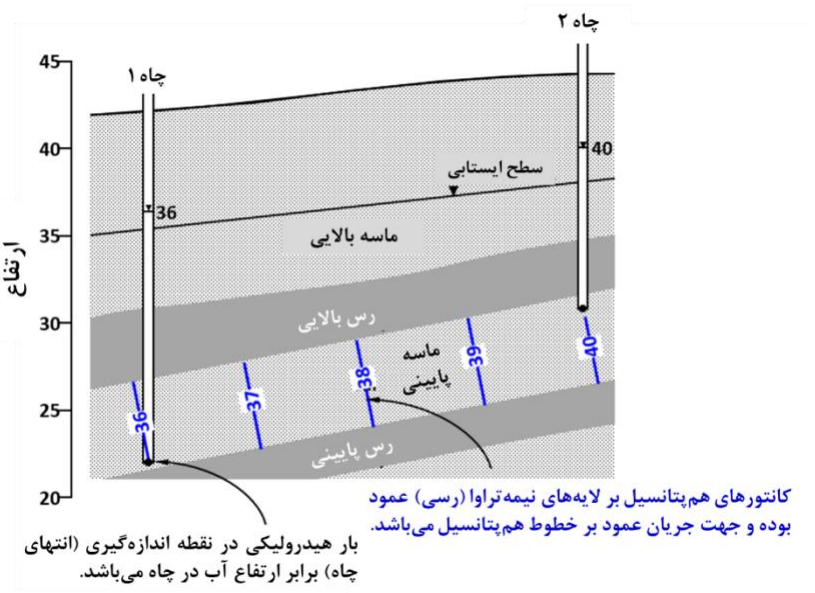
The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

نمونه مسئله 12

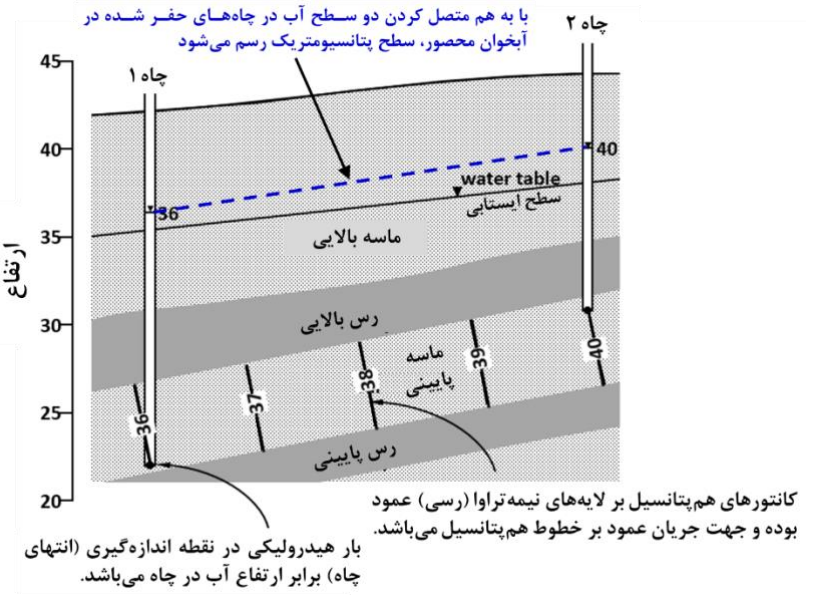
سوال:

الف) در واحد ماسه‌ای زیرین، خطوط (کانتورهای) هم‌پتانسیل را با فواصل 1 متر ترسیم کنید.
ب) سطح پتانسیومتری را رسم کنید.
پ) جهت جریان آب‌زیرزمینی در لایه رسی بالایی چگونه است؟
ت) نمودار تغییرات عمودی بار هیدرولیکی را در مجاورت چاه 2 ترسیم کنید.

پاسخ 12 الف:

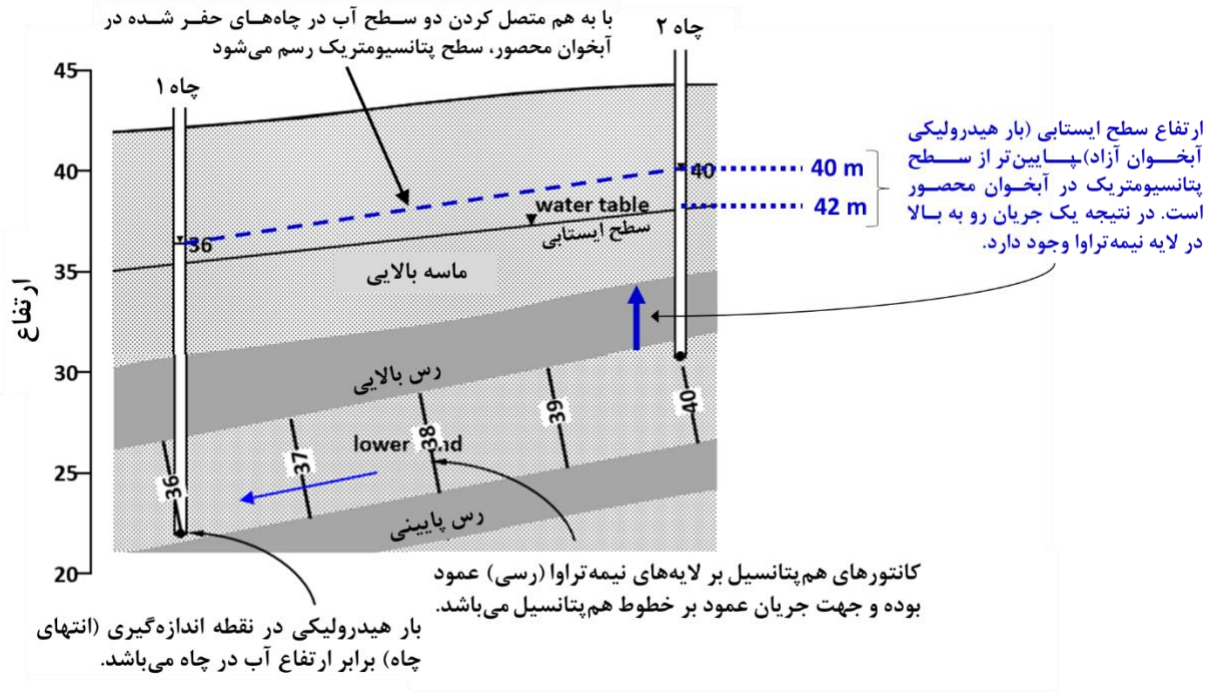


پاسخ 12 ب:

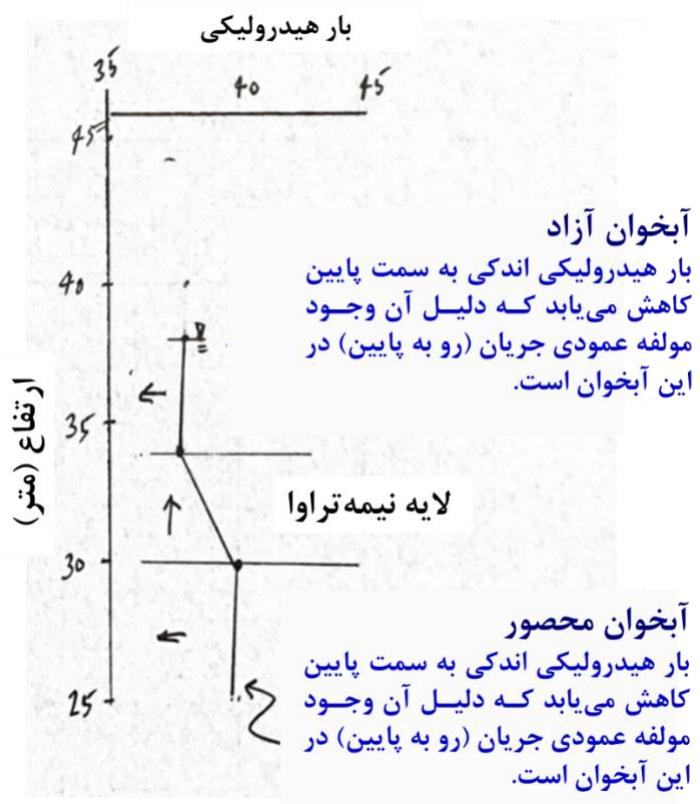


The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

پاسخ 12 پ:



پاسخ 12 ت:



برگشت به نمونه مساله 12 ↑

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

8 منابع

Darcy, H., 1856, Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon [The Public Fountains of the City of Dijon]. Dalmont, Paris.

Woessner, William W., and Eileen P. Poeter, 2020, Hydrogeologic Properties of Earth Materials and Principles of Groundwater Flow. The Groundwater Project. https://gw-project.org/books/hydrogeologic-properties-of-earth-materials-and-principles-of-groundwater-flow/↗.

Poeter, E., and P. Hsieh, 2020, Groundwater Flow Nets. The Groundwater Project. https://gw-project.org/books/graphical-construction-of-groundwater-flow-nets/↗.

دانلود رایگان از gw-project.org – *The GROUNDWATER PROJECT*
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

درباره نویسندگان

دکتر اندرو کوهن مدرک دکتری خود را در رشته عمران و محیط زیست از دانشگاه کالیفرنیا در برکلی و مدرک کارشناسی خود را در رشته منابع آب از دانشکده علوم زمین دانشگاه ایالتی نیویورک در اونینتا اخذ کرده است. فعالیتهای او بر خصوصیات هیدروژئولوژیکی مکانهای آلوده و مدل‌سازی انتقال و سرنوشت آلاینده‌ها در خاک، آبهای زیرزمینی، آبهای سطحی و رسوبات متمرکز است. او پیش از نقش فعلی خود به عنوان یک هیدروژئولوژیست با تخصص در زمینه آلاینده‌ها در صنعت مشاوره زیست محیطی، در آزمایشگاه ملی لارنس برکلی همکار تحقیقاتی بود، جایی که بر روی تعیین خصوصیات و مدلسازی آب‌زیرزمینی در محیط سنگی درز و شکاف دار تمرکز داشت. همچنین او در موسسه فناوری نیوجرسی به تدریس هیدروژئولوژی آلاینده‌ها می‌پردازد.

دکتر جان چری پس از تحصیل در ایالات متحده آمریکا و گذراندن پسادکتری در فرانسه، در سال 1971 برای تحقیقات میدانی در مورد انتقال و سرنوشت آلاینده های موجود در آبهای زیرزمینی و پاکسازی آنها به دانشگاه واترلو پیوست. او به همراه **فریز** نویسنده کتاب "آب‌زیرزمینی" (1979) و نویسنده/ویراستار چندین فصل از کتاب "Dense Chlorrated Solutions... in Groundwater" (1996) می‌باشد. وی مدیر موسس کنسرسیوم دانشگاه برای تحقیقات آلودگی آبهای زیرزمینی است. او همچنین در مرکز تحقیقات آبهای زیرزمینی G360 ، دانشگاه گوئلف، در تحقیقات مربوط به فن آوریهای پایش آب‌زیرزمینی و تعیین محل چاه‌ها در نقاط امن و فاقد آلودگی برای مردم روستایی در مناطق دور افتاده شرکت می‌کند. وی بین سالهای 2012 تا 2014 رئیس هیئت متخصصین کانادایی در زمینه تأثیرات زیست محیطی توسعه گاز شیل بود. وی همچنین یک عضو خارجی آکادمی مهندسی ایالات متحده می‌باشد. دکتر جان چری در سال 2016 جایزه آب لی کوان یو (Lee Kwan Yew Water Prize) و در سال 2020 جایزه آب استکهلم را دریافت کرد.

درباره مترجم

دکتر عطاءاله جودوی تحصیلات خود را در رشته هیدروژئولوژی در دانشگاه شیراز (ایران) به اتمام رسانده است. وی سابقه فعالیت در شرکتهای مهندسی مشاور و مرکز پژوهشی آب و محیط زیست شرق (EWERI) و مشارکت در پروژه‌های متعدد در زمینه مطالعات آب‌زیرزمینی، مدل‌سازی جریان و انتقال جرم در آبخوان، کیفیت و آلودگی آبهای زیرزمینی، بیلان آب و مدیریت منابع آب را دارد. وی در حال حاضر به عنوان عضو هیات علمی و پژوهشگر در مرکز آموزش عالی کاشمر در کشور ایران فعالیت می‌کند.

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید

The GROUNDWATER PROJECT – دانلود رایگان از gw-project.org
لطفا بجای انتشار فایل کتاب، لینک وب‌سایت gw-project.org را به اشتراک بگذارید