فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال نهم، شماره سی و پنجم، پاییز ۱۳۹۴، صفحات ۷۳-۶۱

طراحی و ساخت مینی‌پیزومتر برای اندازه‌گیری میزان تبادل آب سطحی و زیرزمینی

علی اکبر شهسواری [۱و*]، کمال خدائی[۱]، بهزاد دلخواهی[۲]، راحله هاتفی[۳]، فرهاد اسدیان[۳] و سید محمد امین نجیبی[۴]

۱. استادیار پژوهشی گروه زمین‌شناسی محیطی، پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاددانشگاهی
۲. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
۳. مربی پژوهشی گروه زمین‌شناسی محیطی، پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاددانشگاهی
۴. کارشناس عمران آب پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاددانشگاهی

تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۱۸
تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۱۷

چکیده

بررسی تبادل آب‌های سطحی و زیرزمینی یکی از چالش‌های مهم هیدروژئولوژیست‌ها است. برای محاسبه میزان تبادل آب سطحی و زیرزمینی، برآورد شیب هیدرولیکی بین دو منبع آب سطحی و زیرزمینی و تخمین هدایت هیدرولیکی رسوبات کف رودخانه مورد نیاز است. مینی‌پیزومترها تجهیزات ساده‌ای برای اندازه‌گیری جهت جریان و شیب هیدرولیکی بین منابع آب زیرمینی و آب سطحی هستند. مینی‌پیزومترها که غالباً به‌صورت موقت نصب می‌شوند، کوچک مقیاس شده همان پیزومترهایی هستند که به‌طور معمول برای اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی به‌کار می‌روند و با تلفیق اندازه‌گیری‌های سطح آب رودخانه می‌توان از آن‌ها برای تعیین جهت جریان استفاده کرد. مینی‌پیزومترها به‌ویژه در جاهایی که اندازه‌گیری‌های زیادی مورد نیاز است، کاربرد دارند. نمونه‌های خارجی و تجاری مینی‌پیزومترها از بازار قابل تهیه هستند که مستلزم صرف هزینه‌های زیادی است. هدف اصلی مقاله حاضر، طراحی و ساخت مینی‌پیزومتر برای تعیین میزان تبادل آب بین رودخانه و آب زیرزمینی است. در این مطالعه، براساس طرح تهیه شده از مینی‌پیزومتر و استفاده از وسایلی ساده و در دسترس نظیر لوله استیل، لوله آهنی، میله فولادی، شیلنگ شفاف پلاستیکی، شیر گازی، پمپ مکش دستی، چکش، لوله شیشه‌ای U شکل، تخته مدرج مانومتر و استوانه مدرج پلاستیکی شفاف، اقدام به ساخت آن شده و با موفقیت در رودخانه سولقان در غرب تهران مورد آزمایش قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: مینی‌پیزومتر، تبادل آب سطحی و آب زیرزمینی.

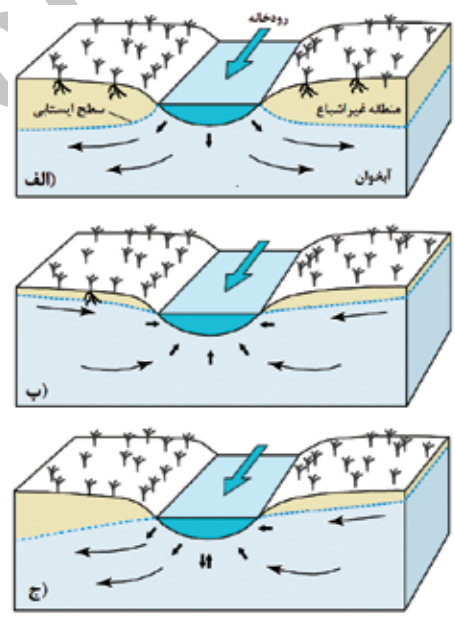
مقدمه

تبادل مستقیم آب بین رودخانه و آب زیرزمینی به سه شکل اصلی صورت می‌گیرد. رودخانه‌ها از یک طرف می‌توانند آب را از جریان آب زیرزمینی از طریق رسوبات کف رودخانه بگیرند، و از طرف دیگر آب خود را از طریق

* نویسنده مرتبط aliakbar.shahsavari@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

رسوبات کف رودخانه از دست دهند یا ممکن است هر دوحالت در رودخانه اتفاق بیفتد، بدین صورت‌که در بعضی جاها آب بگیرند و در جای دیگری از همان رودخانه آب از دست بدهند (Winter et al., 1988). سفره آب زیرزمینی و رودخانه برحسب شرایط ژئومورفولوژیکی، جوی و اقلیمی منطقه با هم تعامل داشته و در معرض تغذیه یا تخلیه قرار می‌گیرند. اگر تراز آب زیرزمینی در مجاورت رودخانه بالاتر از تراز آب رودخانه باشد، در این حالت جریان از طرف آبخوان به رودخانه برقرار خواهد شد. حال اگر جریان برعکس شود، یعنی تراز آب رودخانه بالاتر از تراز آب زیرزمینی باشد، در این صورت آب از رودخانه به طرف آبخوان جریان می‌یابد. به‌طور کلی نرخ تبادل آب بین رودخانه و آبخوان به شیب هیدرولیکی عمودی بین رودخانه و آب زیرزمینی و هدایت هیدرولیکی عمودی رسوبات کف رودخانه بستگی دارد (شکل ۱).



شکل ۱. حالت‌های مختلف تبادل آب سطحی و زیرزمینی الف) رودخانه دهنده، ب) رودخانه گیرنده، ج) رودخانه دهنده - گیرنده

ارتباط بین آب سطحی و زیرزمینی به آب‌های داخلی محدود نمی‌شود. این ارتباط در مناطق ساحلی که امکان نفوذ آب شور به آب زیرزمینی وجود دارد نیز مورد مطالعه قرار گرفته است (Barlow and Wild, 2002). علاوه بر موضوع مصرف آب برای شرب، توجه زیادی به آب زیرزمینی تخلیه شده به دریاها و خلیج‌ها از منظر کیفیت و کمیت آب شده است (Bokuniewicz, 1980; Moore, 1996 and 1999; Linderfelt and Turner, 2001). از تخلیه آب شیرین زیرزمینی به دریاها و خلیج‌ها تحت عنوان تخلیه زیردریایی نام برده می‌شود که در حفاظت از گونه‌های گیاهی و جانوری اهمیت زیادی دارد (Johannes, 1980; Simmons et al. 1992; Corbett et al., 2000) نیترات موجود در آب زیرزمینی تخلیه شده به آب‌های ساحلی موجب تغذیه این آب‌ها می‌شود (Johannes, 1980; Johannes and Hearn, 1985; Valiela et al., 1990; Taniguchi et al., 2003). برداشت آب زیرزمینی در نزدیکی ساحل می‌تواند موجب کاهش تخلیه آب زیرزمینی به آب‌های ساحلی شده و شرایط محیطی آن‌ها را تغییر دهد (Simmons et al., 1992). برخی از ریف‌های مرجانی ممکن است از کاهش تخلیه آب زیرزمینی به دریا صدمه ببینند (Simmons et al., 1992).

مینی‌پیزومترها تجهیزات ساده‌ای برای اندازه‌گیری جهت جریان و شیب هیدرولیکی بین منابع آب زیرزمینی و آب سطحی هستند. مینی‌پیزومترها که غالباً به‌صورت موقت نصب می‌شوند، کوچک مقیاس شده همان پیزومترهایی هستند که به‌طور معمول برای اندازه‌گیری بار آبی به‌کار می‌روند. با تلفیق اندازه‌گیری‌های بار آبی رودخانه و بار آبی آبخوان، می‌توان جهت جریان آب را تعیین کرد. مینی‌پیزومترها به‌ویژه در جاهایی که اندازه‌گیری‌های زیادی مورد نیاز است، هزینه اهمیت زیادی دارد و دسترسی به سایت‌ها محدود است، کاربرد دارند. در واقع مینی‌پیزومتر یا پیزومتر درون آبی، یک چاه مشاهده‌ای قابل حمل با قطر کوچک است که به‌منظور پایش عمق آب زیرزمینی، درجه حرارت آب موجود در رسوبات بستر، خواص هیدرولیکی رسوب و جمع‌آوری نمونه‌های کیفی آب زیرزمینی، مستقیماً در داخل توده آب سطحی نصب می‌گردد. مینی‌پیزومتر یکی از ابزارهای متعدد موجود جهت تشخیص توزیع، زمان، حجم و کیفیت آب زیرزمینی تبادل شده به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و دیگر توده‌های آب سطحی می‌باشد. نمونه‌های خارجی و تجاری مینی‌پیزومترها با قیمت زیاد قابل خریداری هستند.

Archive of SID
www.SID.ir

به‌طور مثال نمونه‌های مینی‌پیزومتر شرکت کانادایی Solinst با قیمتی در حدود ۲۰۰ دلار در بازار وجود دارد که تنها بار آبی آب زیرزمینی را اندازه‌گیری می‌کند. همان‌گونه که در این مقاله ارائه شده است می‌توان آن‌ها را به راحتی و با هزینه کم با استفاده از وسایل در دسترس در فروشگاه‌ها ساخت و برای اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی بین آب سطحی و آب زیرزمینی و هدایت هیدرولیکی رسوبات کف رودخانه مورد استفاده قرار داد. هدف اصلی مقاله حاضر، طراحی و ساخت مینی‌پیزومتر برای تعیین میزان تبادل آبی بین رودخانه و آب زیرزمینی است. بدیهی است که به‌منظور محاسبه میزان تبادل آب سطحی و زیرزمینی می‌بایست شیب هیدرولیکی بین دو منبع آب سطحی و زیرزمینی مذکور و هدایت هیدرولیکی رسوبات کف رودخانه مورد محاسبه قرار گیرد.

به‌طور کلی تعیین میزان تبادل آب زیرزمینی و آب سطحی (که شامل رودخانه‌ها و دریاچه‌ها می‌باشد) از کاربردهای مینی‌پیزومتر است که به نوبه خود در مدیریت یکپارچه منابع آب نقش مهمی دارد. به‌طور مثال، در تهیه بیلان آب زیرزمینی و در مناطقی که رودخانه و دریاچه سهم مهمی در تامین نیاز آبی دارند می‌توان میزان تبادل بین آب سطحی و زیرزمینی را در طول دوره بیلان که یکی از اجزای اصلی معادله بیلان است به‌طور دقیق تعیین کرد.

از آنجاکه هم سفره آب زیرزمینی و هم آب‌های سطحی از منابع اصلی تأمین آب کشاورزی و مصرفی هستند، اطلاع از میزان آب قابل دسترس و آب ذخیره شده در این منابع در طول سال آبی جهت مدیریت منابع آبی منطقه بسیار ضروری است. بدین منظور می‌توان با به‌دست آوردن میزان نشت، قسمت‌های مختلف رودخانه را از نظر کمیت و کیفیت تغذیه یا تخلیه شناسایی کرد. از نتایج این شناسایی می‌توان در برنامه‌ریزی برداشت از آب زیرزمینی به‌گونه‌ای که رودخانه و سفره آب زیرزمینی در تعامل با یکدیگر بتوانند این برداشت‌ها را جبران کنند، استفاده کرد (Doppler et al., 2007).

مانومترها جهت اندازه‌گیری اختلاف بارهای کوچک و یا زمانی که امواج یا تلاطم آب، اندازه‌گیری دقیق سطح آب توسط متر فلزی را دچار مشکل می‌کند، استفاده می‌شوند. در برخی مواقع استفاده از تخته مانومتر تنها روش عملی جهت اندازه‌گیری اختلاف سطح آب بین رودخانه و آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین جهت اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی عمودی در پیزومترهای لوله‌ای نصب شده در بخش‌های زه‌رسان رودخانه یا نواحی که پیزومتر در تماس مستقیم طولانی مدت با رودخانه نمی‌باشد، استفاده از تخته مانومتر مناسب است. تخته مانومتر شامل یک تخته فلزی یا چوبی، یک لوله شفاف U‌شکل، یک پمپ دستی مکش و لوله اتصالات و سه شیر برای باز و بسته نگه داشتن جریان آب است (شکل۲). از مانومتر می‌توان جهت اندازه‌گیری اختلاف بار یک سانتی‌متر تا ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده نمود. به‌منظور اطمینان از عدم نشتی هوا و کارکرد درست دستگاه، بهتر است در شروع هر دوره اندازه‌گیری یا در طول دوره، مانومتر آزمایش و واسنجی شود. ساده‌ترین راه برای این کار، قرار دادن دو سطل هم‌اندازه حاوی آب در مجاورت هم بر روی یک سطح صاف است. یکی از سطل‌ها باید دارای آب بیشتری باشد تا یک اختلاف سطح مشخص در دو سطل به‌وجود آید. سپس لوله‌های پلاستیکی مانومتر داخل سطل‌ها قرار گرفته، پمپ برای چند لحظه روشن و سپس خاموش می‌شود. در ادامه لوله متصل به پمپ از بالای مانومتر جدا شده و فاصله بالای هر سطل تا سطح آب داخل آن با کمک یک خط‌کش اندازه‌گیری می‌شود. اختلاف سطح آب دو سطل در مانومتر نیز اندازه‌گیری می‌شود. در صورت دقیق بودن مانومتر، اختلاف سطح آب به‌دست آمده در دو روش بایستی مشابه هم باشد.

کاربرد مینی‌پیزومترها

به‌طور کلی مینی‌پیزومترها جهت بررسی و مطالعه تبادلات آبی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. چهار کاربرد اصلی مینی‌پیزومتر عبارت است از (Sinclair and Pitz, 2013):

- اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی عمودی بین یک توده آب سطحی و آب زیرزمینی نزدیک به آن،
- برآورد هدایت هیدرولیکی رسوبات بستر رودخانه، دریاچه یا دیگر رسوبات،
- پایش نیمرخ‌های حرارتی رسوبات بستر و

Archive of SID

www.SID.ir

- نمونه‌برداری کیفی از آب زیرزمینی.

مواد و روش‌ها

جنس مینی‌پیزومترها

مینی‌پیزومترها را می‌توان از مواد متنوعی شامل فولاد (ضد زنگ یا گالوانیزه)، PVC و لوله (شلنگ) پلی‌اتیلن انعطاف‌پذیر ساخت. انتخاب هر یک از مواد فوق بستگی به اهداف طرح، بودجه و امکانات موجود دارد. در جدول ۱ تناسب مواد تشکیل‌دهنده مینی‌پیزومتر برای کاربردهای مختلف ارائه شده است. همانطورکه در جدول ۱ قابل مشاهده است پیزومترهای فولادی و PVC برای اغلب کاربردها مناسب می‌باشند. پیزومترهای لوله‌ای جهت برخی از مصارف از جمله پایش پیوسته سطح آب یا درجه حرارت و آزمایش‌های هیدرولیکی مناسب نیستند. از نظر هزینه ساخت نیز پیزومترهای فولادی پرهزینه و پیزومترهای PVC کم هزینه‌تر هستند.

جدول ۱. مقایسه تناسب جنس مینی‌پیزومتر برای کاربردهای مختلف (Sinclair and Pitz، 2013)

جنس مورد استفاده	هزینه مواد و ساخت	امنیت	انعطاف‌پذیری در طراحی	قابلیت انجام آزمایش‌های هیدرولیکی بستر	قابلیت پایش متناوب بار آبی	قابلیت پایش دائمی دما و بار آبی	قابلیت پایش کیفیت آب
لوله پلی‌اتیلن انعطاف‌پذیر	✓	ض- خ	خ - ع	ض	ع	ض	ع
لوله PVC	✓	ض- خ	خ - ع	خ	ع	ع	ع
لوله فولادی ضدزنگ یا گالوانیزه	✓	خ - ع	خ - ع	ع	ع	ع	خ - ع

ض= ضعیف، خ= خوب، ع= عالی.

مواد و ابزار مورد نیاز

لوله استیل با قطر داخلی ۲۴ میلی‌متر
میله فولادی به قطر ۱۵ میلی‌متر
شیر گازی ۴ عدد
چکش ۵ کیلوگرمی
تخته مدرج مانومتر
لوله آهنی به قطر داخلی ۲۸ میلی‌متر
شیلنگ شفاف پلاستیکی ۳ متر
پمپ مکش دستی
لوله شیشه‌ای U شکل
استوانه مدرج پلاستیکی شفاف به حجم ۲ لیتر

طراحی و ساخت مینی‌پیزومتر

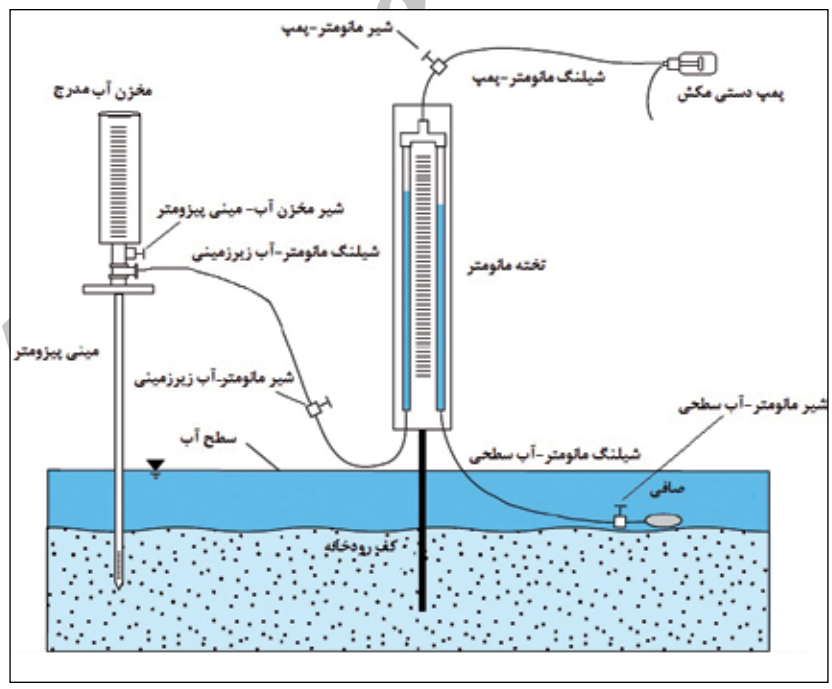
هیدروژئولوژیست‌ها از روش‌های متعددی برای ارزیابی برهم‌کنش آب زیرزمینی و آب سطحی در دشت‌های آبرفتی استفاده می‌کنند. معمولاً ترکیبی از این روش‌ها، درک بهتری از سیستم جریان ایجاد می‌کند. رایج‌ترین این روش‌ها عبارتند از: اندازه‌گیری جریان[1]، کانال اندازه‌گیری دبی[2]، اندازه‌گیری تراز تاج[3]، مینی‌پیزومترها و چاه‌ها، اندازه‌گیری تراوش، مطالعات دما، مطالعات ردیاب‌ها و تعادل ماده شیمیایی. تنوع آزمایش‌های مورد نیاز در تعیین تبادل آب سطحی و زیرزمینی در شرایط گوناگون، دلیلی بر نیاز به روش‌هایی است که بتوان با آن‌ها این جریان را کمی‌سازی و تشریح کرد. روش دقیق انتخابی برای هر یک از شرایط به ویژگی‌های هیدرولوژیکی، فیزیکی و مقیاس محل مطالعه دارد و در هر یک از این روش‌ها عدم قطعیت‌هایی وجود دارد.

توسعه ابزار و وسایلی برای اندازه گیری مستقیم تبادلات

1. Stream gauging
2. Parshall flume
3. Crest-stage gauging

Archive of SID
www.SID.ir

جریان بین رودخانه و آبخوان، از اواسط دهه ۱۹۶۰ آغاز شده است. Fokkens and Welienberg (1968) از یک مانومتر به‌عنوان بخشی از یک سنجنده[1] پتانسیل هیدرولیکی برای اندازه‌گیری پتانسیل هیدرولیکی خاک اشباع استفاده کردند ولی در مورد جزئیات ساخت و نحوه عملکرد وسیله، اطلاعاتی منتشر نکردند. Lee and Cherry (1978) جزئیات نسبتاً کامل‌تری درباره طراحی و نصب مینی‌پیزومترها منتشر کردند؛ آن‌ها ذکر کردند که از طریق متصل کردن یک مانومتر به مینی‌پیزومتر می‌توان اختلاف بار هیدرولیکی بین آب سطحی و زیرزمینی را محاسبه کرد. یکی از کامل‌ترین مقالات در مورد طراحی و استفاده از مینی‌پیزومترها توسط Winter et al. (1988) ارائه شده است؛ وی از یک مانومتر متصل به مینی‌پیزومتر برای اندازه‌گیری اختلاف بار هیدرولیکی بین رودخانه و آبخوان استفاده کرد و وسیله ساخته شده را پتانسیومانومتر[2] نامید. در طی سال‌های اخیر، روش‌ها و دستورالعمل‌های متعددی در مورد به‌کارگیری مینی‌پیزومترها جهت اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی عمودی[3] (VHG) ارائه شده است (Wanty and Winter، 2000 ؛ Baxter et al.، 2003). در مطالعه حاضر برای اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی عمودی و هدایت هیدرولیکی رسوبات کف رودخانه، مینی‌پیزومتری طراحی شده است که با استفاده از وسایل ابتدایی و در دسترس، قابل تهیه و ساخت است. در تحقیق حاضر با استفاده از وسایلی که قبلاً ذکر گردید و بر اساس طرح تهیه شده، اقدام به ساخت مینی‌پیزومتر شده است. طراحی دستگاه به‌گونه‌ای صورت گرفته است که با قرارگیری یک سه راهی در بالای مینی‌پیزومتر که محل اتصال مینی‌پیزومتر به شیلنگ مانومتر-آب زیرزمینی و مخزن آب مدرج است، می‌توان با باز و بسته کردن شیرهای مربوطه اقدام به آزمایش شیب هیدرولیکی یا هدایت هیدرولیکی کرد (شکل ۲). پس از طراحی و ساخت مینی‌پیزومتر و برای سنجش صحت عملکرد، این دستگاه در رودخانه سولقان واقع در غرب تهران مورد استفاده قرار گرفت که نتیجه خوبی حاصل شد.



شکل۲. طرح کلی مینی‌پیزومتر برای اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی

1. Probe
2. Potentiomanometer
3. Vertical Hydraulic Gradient

www.SID.ir

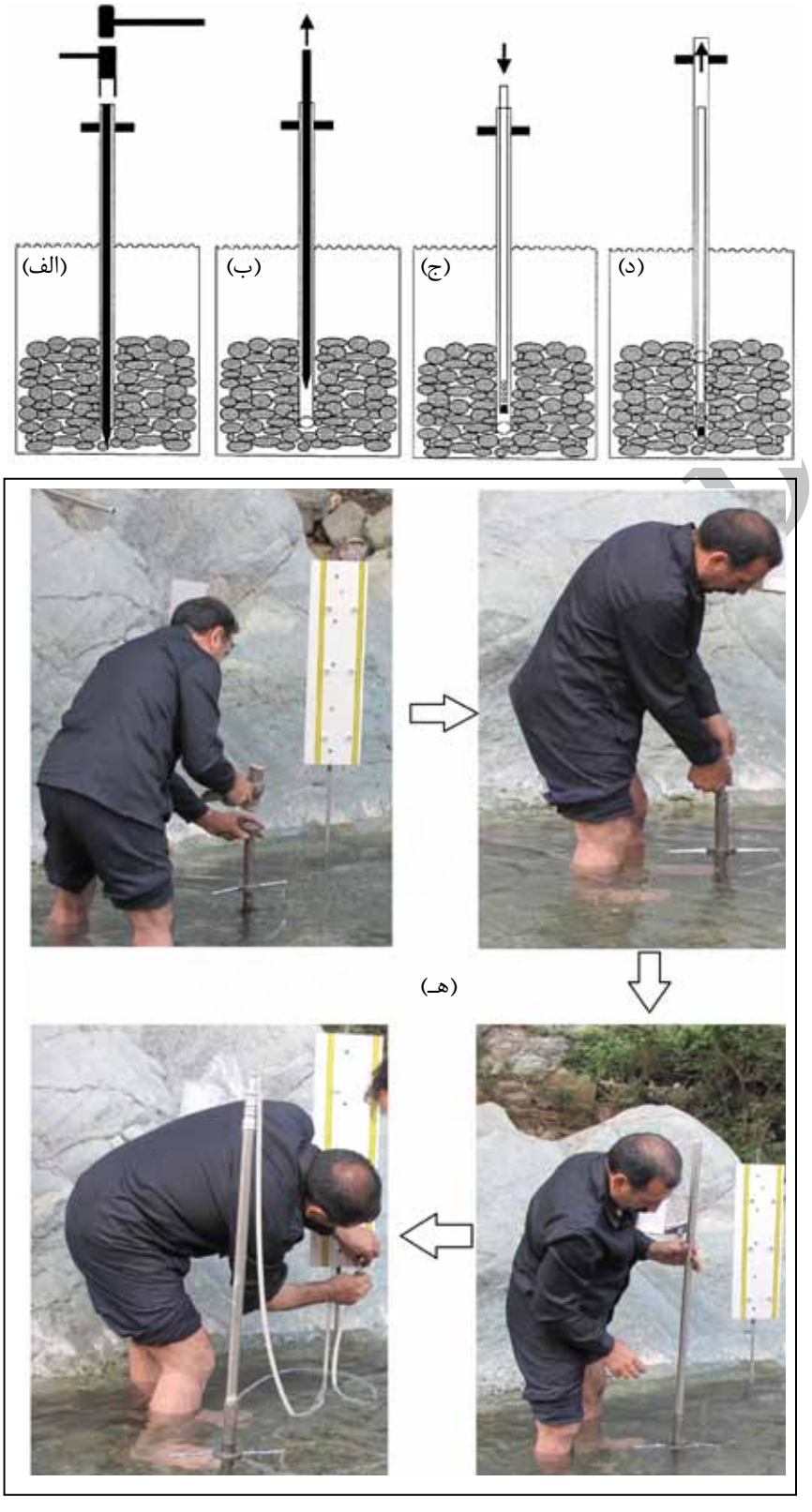
روش نصب مینی‌پیزومتر

ابتدا تخته مانومتر به همراه لوله U شکل شفاف از طریق میله‌ای که به آن متصل شـده در رودخانه به‌طور عمودی نگه داشته می‌شود. سپس میله‌ای فولادی با نوک تیزی در داخل یـک لوله فلزی توخالی T شـکل قرار گرفتـه و از طریق یک چکش گوه‌ای به داخل رسـوبات بستر رودخانه تا عمق مورد نظر کوبیده می‌شود. سپس میله فولادی خارج شده و یک لوله فلزی یا پلاستیکی شفاف و یا PVC به‌عنوان مینی‌پیزومتر وارد لوله جدار فلزی می‌شـود. پس از آن با احتیاط و درحالی که مینی پیزومتر با دست نگه داشته شده است، لوله فلزی خارج شده و اطراف لوله مینی پیزومتر با رسوبات پر می‌شود. مراحل نصب مینی‌پیزومتر در شکل ۳ نشان داده شده است.

پـس از نصب مینی‌پیزومتر در رودخانه نوبت به برقراری اتصـالات بیـن مانومتـر و مینی‌پیزومتر می‌رسـد. یکی از شـیلنگ‌های پائینی مانومتر طوری به لوله پیزومتر متصل می‌شـود که محکم و آب‌بند باشد. شیلنگ دوم مانومتر زیر سطح آب رودخانه قرار می‌گیرد. توجه شود که این شیلنگ مستقیماً روی سطح رسـوب واقع نشود چون ممکن است رسـوبات ریزدانـه لوله مانومتر را مسـدود کنند. همچنین می‌توان با تعبیه یک صافی در انتهای شیلنگ درون رودخانه از این مشکل جلوگیری کرد. سپس برای اطمینان از اتصال هیدرولیکی مینی‌پیزومتر با آبخوان، از طریق یک پمپ دستی مکش یا یک سـرنگ ۶۰ میلی‌متری، مقـداری آب از داخل مینی‌پیزومتر پمپاژ یا به داخل آن تزریق می‌شود. با تکرار این عمل علاوه‌بر اطمینـان از اتصال هیدرولیکی مینی‌پیزومتر با آبخوان، از گرفتگی منافذ اسـکرین نیز جلوگیری خواهد شد. در ادامه شـیر مانومتر-پمپ که متصل به پمپ مکش بوده و شیر مانومتر- آب سطحی که متصل به لوله منتهی به رودخانه است، باز می‌شود. سپس پمپاژ شروع شده و اجازه داده می‌شـود تا لوله متصل به رودخانه کاملاً از آب پر شود به‌طوری‌که هیچ حباب یا رسـوبی داخل لوله وجود نداشته باشـد. زمانی‌که لوله آب سطحی کاملاً پر شد، به آهستگی شـیر مانومتر- آب زیرزمینی باز می‌شود تا لوله باقیمانده با آب داخل مینی‌پیزومتر پر شود. زمانی‌که لوله مینی‌پیزومتر نیز پر شد، با کف دست محکم به صفحه مانومتر چند ضربه وارد می‌شـود تا حباب‌های هوا و رسوب موجود داخل لوله خارج شـود. زمانی‌که هر دو لوله مانومتر از آب پر شد؛ شیر مانومتر-پمپ بسـته شـده و همزمان عمـل پمپاژ متوقف می‌شود. سپس شیر مانومتر-پمپ اندکی باز می‌شود تا هوا وارد مانومتر شده و سطح آب در هر دو لوله پائین رود (فصل مشترک هوا و آب). بعد از آن مانومتر به حالت عمودی نگه داشته شده و اجازه داده می‌شود تا سطح آب در هر دو لوله مانومتر به حالت پایدار برسد. براساس این‌که رودخانه دهنده یا گیرنده باشد، سطح آب در هر یک از لوله‌های متناظر آب سطحی یا آب زیرزمینی پایین‌تر یا بالاتر می‌رود. در صورتی‌که پیزومتر در رسوبات ریزدانه با نفوذپذیری کم نصب شده باشد استفاده از مانومتر مناسب نخواهد بود؛ زیرا پمپاژ و پرکردن لوله مانومتر می‌تواند سـبب خشک شدن پیزومتر شده و یا ممکن است شرایط بار آبی به‌وجود آمده در دوره زمانی مورد انتظار به حالت تعادل برنگردد. سپس در محل هر پیزومتر، جهت حرکت آب نشـان داده شده توسط مانومتر و اختلاف فاصله آب بین دو لوله مانومتر ثبت می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۳. مکانیسم نصب مینی پیزومتر الف) ضربه زدن به لوله جدار و میله محرک به‌طور هم‌زمان از طریق یک محافظ چکشی و وارد کردن آن به داخل بستر رودخانه، ب) میله محرک فولادی خارج می‌شود ولی جدار محافظ قرار گرفته در محل نگه داشته می‌شود، ج) مینی‌پیزومتر به داخل لوله جدار وارد می‌شود، د) مینی پیزومتر در محل نگه داشته می‌شود درحالی‌که لوله جدار به طرف بالا کشیده می‌شود (Baxter et al., 2003)، هـ) برقراری اتصالات مانومتر ساخته شده در رودخانه سولقان تهران

www.SID.ir

توسعه و تکمیل مینی‌پیزومتر

نصب مینی‌پیزومتر سبب بهم ریختگی و بی‌نظمی رسوبات پیرامون لوله جدار می‌شود. لذا به‌منظور برداشت رسوباتی که در لوله جدار یا بخش مشبک آن جمع شده‌اند؛ بایستی تمامی مینی‌پیزومترها پس از نصب، توسعه داده شوند. از طریق انجام این کار می‌توان مطمئن شد که مینی‌پیزومتر دارای ارتباط هیدرولیکی با رسوبات پیرامون خود است. در صورتی‌که هدف از به‌کارگیری مینی‌پیزومتر، آزمایش یا ارزیابی خواص هیدرولیکی رسوبات باشد، باید قبل از توسعه مینی‌پیزومتر این آزمایش‌ها انجام شود.

به‌منظور توسعه مینی‌پیزومترهای فولادی یا PVC با قطر یک اینچ یا بزرگتر، از یک پمپ تراوشی دستی و یک لوله پلی‌اتیلن به طول ۳ تا ۳/۵ متر و قطر ۰/۵ اینچ استفاده می‌شود. توسعه این مینی‌پیزومترها با اتصال یک سر لوله پلی‌اتیلن به ورودی پمپ تراوشی و انتهای دیگر به داخل مینی‌پیزومتر (تا جائی‌که به انتهای مینی‌پیزومتر برسد) آغاز می‌شود. با شروع پمپاژ، رسوبات داخل مینی‌پیزومتر تخلیه خواهند شد. سپس جهت پمپاژ تغییر داده می‌شود تا این بار آب از رودخانه به داخل مینی‌پیزومتر پمپاژ شود. این عمل آنقدر تکرار می‌شود تا آب خروجی از مینی‌پیزومتر عاری از هرگونه رسوب شده و تمیز گردد. در صورتی‌که رسوبات بستر رودخانه، ریزدانه از نوع سیلت و رس باشند، فرآیند توسعه بایستی شدیدتر شده و مدت زمان بیشتری به طول انجامد. در چنین مواردی به‌منظور شبیه‌سازی عمل سنبه‌زنی، لوله پلی‌اتیلن داخل مینی‌پیزومتر (در حین پمپاژ) چند بار سریع بالا و پائین و تکان داده می‌شود. مینی‌پیزومترهای فولادی یا PVC با قطر کوچک‌تر از یک اینچ به طرز مشابهی با استفاده از یک پمپ پریستالتیک[1] و یک لوله پلی اتیلن به طول ۲/۵ تا ۳ متر و قطر ۰/۲۵ اینچ توسعه داده می‌شوند. پس از توسعه مینی‌پیزومتر به‌منظور اطمینان از ارتباط هیدرولیکی مینی‌پیزومتر با رسوبات پیرامون خود، مینی‌پیزومتر با آب رودخانه پر شده و زمان کافی برای به تعادل رسیدن سطح آب داخل مینی‌پیزومتر داده می‌شود. همچنین باید کنترل شود که از نظر هیدرولیکی آیا مینی‌پیزومتر از رودخانه جدا است یا خیر. این کار از طریق مقایسه سطح آب داخل و خارج مینی‌پیزومتر انجام می‌شود. وجود یک اختلاف مشخص بین سطح آب داخل و خارج مینی‌پیزومتر بیانگر انسداد و نفوذناپذیری کامل بدنه مینی‌پیزومتر است.

یک روش دیگر جهت کنترل عدم ورود آب رودخانه به داخل مینی‌پیزومتر، پمپاژ آب از داخل مینی‌پیزومتر از طریق یک پمپ پریستالتیک و اندازه‌گیری اکسیژن محلول و هدایت الکتریکی ویژه آب تخلیه شده می‌باشد. در صورت نبود ارتباط آب داخل مینی‌پیزومتر با آب رودخانه، مقدار هدایت الکتریکی آب داخل مینی‌پیزومتر باید بیشتر و مقدار اکسیژن محلول آن کمتر از آب رودخانه باشد. اگر سطح آب و کیفیت آب سطحی و مینی‌پیزومتر یکسان باشد بیانگر این مطلب است که آب رودخانه از طریق منافذ ایجاد شده در لوله جدار وارد مینی‌پیزومتر می‌گردد. در چنین مواقعی می‌بایست رسوبات اطراف مینی‌پیزومتر مجدداً محکم شوند. اگر این کار کافی نبود می‌توان مینی‌پیزومتر را تا عمق بیشتری داخل رسوبات فرو کرده و اجازه داد تا رسوبات به‌طور طبیعی ظرف مدت چند هفته ته‌نشین و بعد از آن آزمایش‌های فوق مجدداً تکرار شود.

اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی عمودی (VHG)

تعیین شیب هیدرولیکی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی نیازمند اندازه‌گیری سطح آب در این دو منبع است. یکی از روش‌های متداول برای این کار نصب یک مینی‌پیزومتر مستقیماً در داخل رسوبات بستر رودخانه است. از طریق اندازه‌گیری اختلاف بار هیدرولیکی بین سطح آب رودخانه (h_s) و سطح آب داخل مینی‌پیزومتر (h_g) اندازه‌گیری شده و تقسیم این عدد بر فاصله عمودی بین قسمت مشبک مینی‌پیزومتر و بستر رودخانه (dl) (شکل ۴)، شیب هیدرولیکی عمودی[2] در بستر رودخانه به‌دست خواهد آمد (رابطه ۱).

$$VHG = (h_s - h_g) / dl \qquad \text{رابطه ۱}$$

اختلاف بار هیدرولیکی بین سطح آب زیرزمینی در داخل مینی پیزومتر و سطح آب رودخانه (dh) از طریق یکی از روش‌های زیر قابل محاسبه است:

- مانومتر[3]: یک لوله پلاستیکی شفاف، مینی‌پیزومتر را به یک تخته مانومتر مدرج عمودی متصل کرده و یک لوله

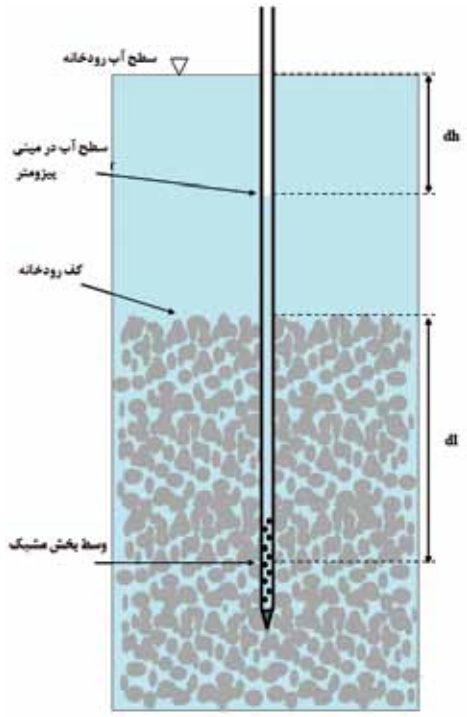
1. Peristaltic pump
2. Vertical Hydraulic Gradient
3. Manometer

Archive of SID

www.SID.ir

پلاستیکی دیگر از مانومتر به داخل رودخانه کشیده می‌شود (Lee and Cherry، 1978؛ Winter et al.، 1988). آب سطحی و زیرزمینی به کمک یک پمپ خلاء به داخل مانومتر کشیده شده و اختلاف سطح آب مستقیماً از روی صفحه مدرج مانومتر قرائت می‌شود.

- چاه ساکن[1]: یک لوله توخالی است که به‌صورت عمود بر جریان آب رودخانه به جدار مینی‌پیزومتر متصل می‌گردد (Baxter et al.، 2003). با استفاده از این لوله، خطاهای ناشی از تاثیر امواج و جریانات سطحی در قرائت سطح آب رودخانه برطرف می‌شود. سطح آب داخل مینی‌پیزومتر و چاه ساکن از طریق متر فلزی یا عمق‌سنج الکتریکی و وسایل دیگر نسبت به یک سطح مبناء واحد (مثلاً یک نقطه مشخص در بالای مینی‌پیزومتر) اندازه‌گیری می‌شود. همچنین جهت بررسی تغییرات زمانی شیب هیدرولیکی از ثبات‌های اتوماتیک مانند سنسورها و ترانسدیوسرهای فشار استفاده می‌شود. در صورتی‌که از لوله پلاستیکی شفاف و مدرج برای مینی‌پیزومتر و چاه ساکن استفاده شود، می‌توان مستقیماً اختلاف سطح آب را قرائت کرد.



شکل ۴. مشخصات هندسی مینی‌پیزومتر در محاسبه شیب هیدرولیکی

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی رسوبات کف رودخانه

هدایت هیدرولیکی رسوبات کف آبخوان را می‌توان با استفاده از روش آزمون اسلاگ[2] محاسبه کرد. دو روش معمول در این محاسبه عبارتند از: روش Hvorslev (1951) و Bouwer and Rice (1976) که با جمع‌آوری داده‌های صحرایی صورت می‌گیرند. به‌طور مثال در روش Hvorslev از تراواسنج بار افتان استفاده می‌شود که در آن آب از ستون در حال پایین آمدن است و در انتهای ستون به رسوبات کف رودخانه یا نمونه مورد آزمایش از طریق فیلتر تعبیه شده در انتهای ستون وارد می‌شود. در صحرا مخزن تراواسنج بالای رودخانه قرار می‌گیرد که موجب ایجاد اختلاف ارتفاع بین آب مخزن و سطح آب رودخانه می‌شود. این اختلاف ارتفاع موجب رانده شدن آب به پایین تراواسنج و ورود به رسوبات کف رودخانه از طریق بخش مشبک لوله می‌شود. با وارد شدن آب به رسوبات، سطح آب پایین می‌آید و اختلاف ارتفاع کم می‌شود. با جمع‌آوری اندازه‌گیری‌های صورت گرفته از سطح آب در حال پایین آمدن در مخزن آب می‌توان نسبت اختلاف ارتفاع در هر نقطه در زمان به اختلاف بار اولیه را رسم نمود. این اختلاف بار جبران نشده از ارزش نرمالیزه ۱ (۱۰۰٪) شروع شده و با شروع آزمایش کاهش می‌یابد. این مقادیر در محور مختصات عمودی در مقیاس لگاریتمی رسم می‌شوند. محور مختصات افقی نشان‌دهنده زمان قرائت‌های صورت گرفته در صحرا است که از صفر شروع شده و با پایان یافتن آزمایش خاتمه می‌یابد. با رسم بهترین خط برازش بر روی نقاط رسم شده در محور مختصات، معادله برازش به‌دست می‌آید که در محاسبه تاخیر زمان پایه[3] (T_0) به‌کار می‌رود و به‌عنوان نقطه‌ای که در آن نسبت اختلاف بار جبران نشده برابر با ۳۷/. است تعریف می‌شود (رابطه ۲).

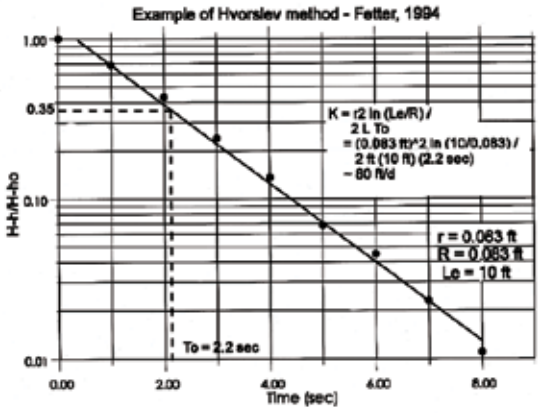
$$k = \frac{r_e^2 \ln \frac{L_e}{R_w}}{2 L_e T_0}$$

رابطه ۲

1. Stilling well
2. Slug test
3. Basic time lag

Archive of SID
www.SID.ir

که در آن r_e شعاع مخزن آب (سانتی‌متر)، L_e طول بخش مشبک (سانتی‌متر)، R_w شعاع بخش مشبک (سانتی‌متر) و T_0 (ثانیه) مدت زمانی است که طول می‌کشد آب به ۳۷ درصد سطح اولیه افت کند. در شکل ۵ نمونه‌ای از محاسبات هدایت هیدرولیکی به روش Hvorslev (1951) ارائه شده است.



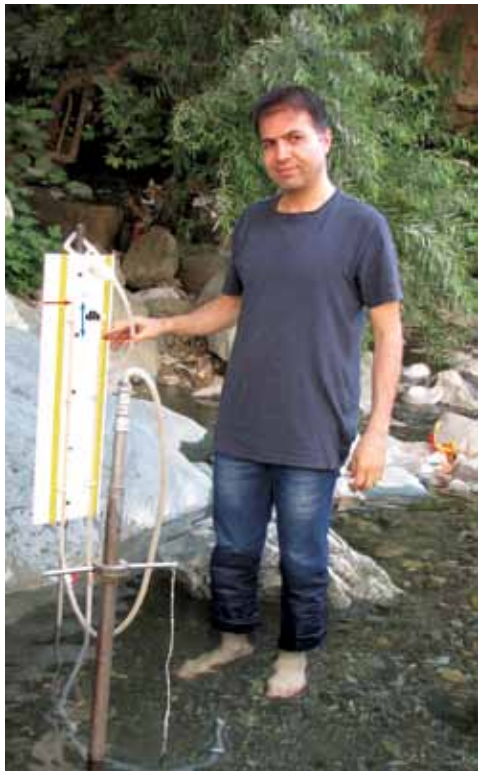
شکل ۵. نمونه‌ای از دیاگرام Hvorslev (1951) برای تعیین هدایت هیدرولیکی

نتایج و بحث

پس از نصب مینی‌پیزومتر در رودخانه آغمیون، اقدام به اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی با ۳ بار تکرار شده است. نتایج اندازه‌گیری‌ها در جدول۲ ارائه شده است. به‌طور مثال براساس اندازه‌گیری صورت گرفته از اختلاف بار آبی بین آب رودخانه و آب زیرزمینی (سانتی‌متر ۱۰=dh) و فاصله عمودی بین قسمت مشبک مینی‌پیزومتر و بستر رودخانه (سانتی‌متر ۸۰=dl)، شیب هیدرولیکی بین آب رودخانه و آب زیرزمینی ۱۳ درصد محاسبه شده است (شکل ۶). نتایج حاصل از تکرارها نشان داد که تغییرات شیب هیدرولیکی کم و در نتیجه کارکرد مینی‌پیزومتر ساخته شده قابل قبول است.

جدول ۲. نتایج اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی در سه تکرار

تکرار	$h_s - h_g$ (cm)	dl (cm)	شیب هیدرولیکی (٪)
۱	۱۰	۸	۱۳
۲	۹	۸	۱۵
۳	۱۰	۸	۱۳



شکل ۶. مینی‌پیزومتر نصب شده در رودخانه سولقان تهران و تعیین جهت جریان (رودخانه دهنده) و اختلاف بار هیدرولیکی رودخانه و آب زیرزمینی (dh)

نکات مهمی که می‌بایست در مرحله نصب مینی‌پیزومتر و قرائت‌ها مورد توجه قرار داد، در ادامه ارائه شده است. بهترین مکان برای نصب مینی‌پیزومترها نواحی با جریان آرام و حواشی رودخانه است تا از اثرات سیلاب‌ها و صدمه رسیدن به ابزار ممانعت شود. علاوه‌بر این، مرفولوژی رودخانه هم در انتخاب محل مناسب باید مدنظر قرار گیرد. جهت صحت‌سنجی مینی‌پیزومترها باید نتایج به‌دست آمده از آن‌ها با نتایج اندازه‌گیری‌های مستقل اختلاف بار هیدرولیکی آب سطحی و زیرزمینی مقایسه شود. به‌عنوان مثال، اختلاف بار هیدرولیکی در یک پیزومتر نزدیک رودخانه و سطح تراز اندازه‌گیری شده رودخانه، باید با اختلاف بار هیدرولیکی به‌دست آمده از مینی‌پیزومتر برابر باشد. از طریق نصب دو یا تعداد بیشتری مینی‌پیزومتر در یک نقطه از رودخانه، در عمق‌های مختلف و با کمک بار هیدرولیکی در پیزومترهای حاشیه رودخانه، امکان ترسیم شبکه جریان در کف رودخانه و در نتیجه محاسبه شیب هیدرولیکی افقی و میزان جریان تبادلی (در صورت مشخص بودن هدایت هیدرولیکی) نیز

Archive of SID
www.SID.ir

مقدور خواهد شد. برای لحاظ کردن تاثیر ناهمگنی رسوبات بستر رودخانه، می‌توان از تعداد بیشتری مینی‌پیزومتر و با فواصل کمتر استفاده کرد.

از طریق اندازه‌گیری و ثبت تغییرات زمانی شیب هیدرولیکی بین رودخانه-آبخوان، می‌توان تاثیر تغذیه‌های فصلی، رگبارهای ناگهانی، سدهای بالادست و یا برداشت از آب زیرزمینی و سطحی را بر روی تبادلات آبخوان-رودخانه مشخص کرد. نکته‌ای که در این محاسبات می‌بایست مدنظر داشت وجود لنزها و عدسی‌های دانه‌درشت گراول و شن و ماسه در میان رسوبات ریزدانه بستر رودخانه است که مسیرهای ترجیحی را برای تبادل آبخوان-رودخانه به‌وجود می‌آورند.

به‌منظور اطمینان از محکم بودن اتصالات و درپوش‌ها، می‌توان از یک جفت آچار لوله استفاده کرد. همچنین از نوارهای تفلون مخصوص لوله برای مسدود کردن تمامی درز و شکاف‌ها و اتصالاتی که احتمال نشت آب از آن‌ها وجود دارد، استفاده می‌شود. اگر هدف از نصب مینی‌پیزومتر نمونه‌برداری کیفی است؛ از به‌کار بردن بتونه یا سایر مواد مسدود کننده که باعث تغییر کیفیت آب داخل مینی پیزومتر خواهند شد خودداری گردد.

در هنگام کوبیدن، تا جای ممکن لوله جدار به حالت عمودی نگه داشته شود. اگر در حین کوبیدن لوله جدار از حالت عمودی خارج شد، بهتر است بیرون کشیده شده و چند سانتی‌متر دورتر دوباره کوبیده شود.

مینی‌پیزومترها در مقایسه با دیگر روش‌های صحرایی، گران نیستند و ساخت و تهیه آن‌ها نسبتاً آسان و راحت است و مخصوصاً جهت شناسایی، تایید نتایج اجرای پروژه‌های نشت و بهینه‌سازی موقعیت پهنه‌های نشت منطقه مفیدند. در صورت استفاده صحیح، مانومتر قادر به سنجش دقیق اختلاف در بار هیدرولیکی (در بازه ۱ تا ۱۰۰ سانتی‌متر) است که شیب هیدرولیکی در یک موقعیت نقطه‌ای در بستر رودخانه را نشان می‌دهد.

اشکال اصلی مینی‌پیزومترهای درون رودخانه‌ای این است که به‌طور منفرد اطلاعات را تنها برای یک نقطه در داخل بستر رودخانه فراهم می‌کنند. بنابراین، تعداد زیادی مینی‌پیزومتر برای توصیف کافی توزیع طولی و جهت (مثبت و منفی) شیب هیدرولیکی بستر رودخانه نیاز هست. برد مانومتر برای سنجش اختلافات کوچک بار هیدرولیکی (در بازه ۰ تا ۱ سانتی‌متر) خوب نیست و نیاز به توجه کافی در کسب اطمینان از آب‌بندی مناسب در اطراف مینی‌پیزومتر می‌باشد تا بتوان اختلاف بار هیدرولیکی را اندازه‌گیری کرد. پس از کوبیدن لوله جدار و قرارگیری مینی‌پیزومتر در آن، نیاز به بالا کشیدن لوله جدار است که باید دقت کافی در این مرحله صورت گیرد زیرا در غیر این صورت فاصله‌ای بین جدار مینی‌پیزومتر و رسوبات کف رودخانه ایجاد می‌شود که موجب نفوذ آب رودخانه به اعماق رسوبات کف و اختلاط این دو منبع آبی می‌شود که خود سبب ایجاد خطا در اندازه‌گیری اختلاف بار هیدرولیکی می‌شود.

نتیجه‌گیری

تعیین میزان تبادل آب سطحی و زیرزمینی برای بسیاری از محققین و به‌ویژه هیدروژئولوژیست‌ها اهمیت زیادی دارد. در دیگر کشورها، مینی‌پیزومتر به‌طور گسترده در تعیین این پارامتر به عنوان ابزاری مناسب مورد استفاده قرار گرفته است. نمونه‌های تجاری و آماده خارجی این ابزار با قیمت گران وجود دارد. از طرف دیگر نمونه‌های تجاری آماده این مینی‌پیزومترها در ایران وجود ندارند و می‌بایست آن‌ها را به‌طور سفارشی وارد کشور کرد. نتایج این مطالعه نشان داد، می‌توان با تهیه و ساخت آن با استفاده از مواد اولیه ارزان و در دسترس با قیمت تمام شده بسیار پایین‌تر، اقدام به تعیین میزان تبادل آب‌های سطحی و زیرزمینی کرد. در این مطالعه، مینی‌پیزومتر طراحی و ساخته شد که بتوان با استفاده از آن هر دو پارامتر شیب هیدرولیکی بین آب سطحی و آب زیرزمینی و هدایت هیدرولیکی رسوبات کف رودخانه را با اندکی تغییر در اتصالات دستگاه محاسبه نمود. در حالی‌که در نمونه‌های خارجی، غالباً تنها پارامتر شیب هیدرولیکی قابل اندازه‌گیری است و برای سنجش میزان نشت بین این دو منبع آبی از تراواسنج‌ها استفاده می‌شود. پس از تهیه

Archive of SID

www.SID.ir

ایـــن مینی‌پیزومتر اقدام به آزمایش آن برای ارزیابی کارکرد و دقت آن در رودخانه سولقان تهران گردید. شیب هیدرولیکی به‌دســـت آمده از ۳ اندازه‌گیری (تکرار) انجام شده به ترتیب ۱۳، ۱۵ و ۱۳ محاســـبه گردید. نتایج نشـــان می‌دهد مینی پیزومتر ساخته شده از دقت قابل قبولی برخوردار است.

منابع

- Barlow, P.M. and Wild, E.C., 2002. Bibliography on the Occurrence and Intrusion of Saltwater in Aquifers Along the Atlantic Coast of The United States, Open-file Report, 37.
- Baxter, C., Hauer, FR., Woessner, WW., 2003. Measuring groundwater-stream water exchange: new techniques for installing minipiezometers and estimating hydraulic conductivity. Transactions of the American Fisheries Society, 132, 493-502.
- Bokuniewicz, H.J., 1980. Sand transport at the floor of Long Island Sound. Advances in Geophysics, 22, 107-128.
- Bouwer, H. and Rice, R.C., 1976. A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells. Water Resources Research, 12, 3, 423-428.
- Corbett, D.R., Dillon, K., Burnett W., and Chanton, J., 2000. Estimating the groundwater contribution into Florida Bay via natural tracers, 222Rn and CH4 , Limnology and Oceanography, 45, 7, 1546-1557.
- Doppler, T., Hendricks Franssen, H.J., Kaiser, H.P., Kuhlman, U. and Stauffer, F., 2007. Field evidence of a dynamic leakage coefficient for modelling river-aquifer interactions, Journal of Hydrology, 347, 1-2, 177-187.
- Fokkens, B., and J. Welienberg, 1968. Measuring the hydraulic potential of groundwater with the hydraulic potential probe, Journal of Hydrology, 6, 306-313.
- Hvorslev, MJ., 1951. Time lag and soil permeability in groundwater observations; U.S. Army Corps. of Engineers, Waterways Experiment Station: Washington, D.C., 50.
- Johannes, R.E., 1980. The ecological significance of the submarine discharge of groundwater. Marine Ecology Progress Series, 3, 365-373.
- Johannes, R.E. and Hearn, C.J., 1985. The effect of submarine groundwater discharge on nutrient and salinity regimes in a coastal lagoon off Perth, Western Australia. Estuarine Coastal Shelf Science, 21, 789-800.
- Lee, DR. and Cherry, JA., 1978. A field exercise on groundwater flow using seepage meters and minipiezometers, Journal of Geological Education, 27, 6-10.
- Linderfelt, W.R. and Turner, J.V., 2001. Interaction between shallow groundwater, saline surface water and nutrient discharge in a seasonal estuary: the Swan-Canning system. Hydrology Process. 15, 2631-2653.
- Moore, W.S., 1999. The subterranean estuary: A reaction zone of ground water and sea water. Marine Chemistry, 65, 111-125.
- Moore, W.S., 1996. Large groundwater inputs to coastal waters revealed by 226Ra enrichments. Nature, 380, 612-614.
- Simmons, R.C., Gold, A.J. and Groffman, P.M., 1992. Nitrate dynamics in riparian forests: groundwater studies. Journal of Environmental Quality, 21, 656-665.
- Sinclair, K. and Pitz C., 2013. Standard Operating Procedure for Installing, Monitoring, and Decommissioning Hand-driven in Water Piezometers. Washington State Department of Ecology, version 2, 77.
- Taniguchi, M., Burnett, W.C., Smith, C.F., Paulsen, R.J., O'Rourke, D., Krupa, S.L.

Archive of SID

www.SID.ir

and Christoff, J.L., 2003. Spatial and temporal distributions of submarine groundwater discharge rates obtained from various types of seepage meters at a site in the Northeastern Gulf of Mexico, Biogeochemistry, 66, 35-53.

- Valiela, I., Foreman, K., LaMontagne, M., Hersh, D., Costa, J., Peckol, P., DeMeo-Andreson, B.D., Avanzo, C., Babione, M., Sham, C.H., Brawley, J. and Lajtha, K., 1992. Couplings of watersheds and coastal waters: Sources and consequences of nutrient enrichment in Waquoit Bay, Massachusetts. Estuaries, 15, 443-457.

- Wanty, R.B. and Winter, T.C., 2000. A simple device for measuring differences in hydraulic head between surface water and shallow ground water, U.S. Geological Survey Fact Sheet, FS-077-00.

- Winter, T.C., LaBaugh, J.W. and Rosenberry, D.O., 1988. The design and use of a hydraulic potentiomanometer for direct measurement of differences in hydraulic head between groundwater and surface water: Limnology and Oceanography, 33, 5, 1209-1214.

Archive of SID

www.SID.ir