

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

علی اکبر شهسواری^۱، 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 زیرزمینی و آب سطحی هستند. مینی‌پیزومترها که غالباً به صورت موقت نصب می‌شوند، کوچک مقیاس شده همان پیزومترهایی هستند که به طور معمول برای اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی به کار 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.

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

مقدمه

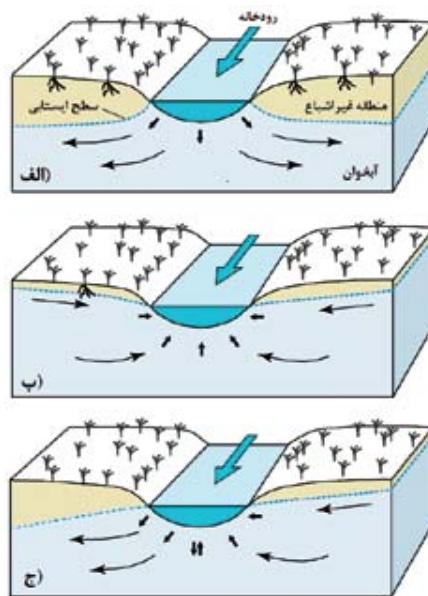
تبادل مستقیم آب بین رودخانه و آب زیرزمینی به

* نویسنده مرتبط aliakbar.shahsavari@gmail.com

تخلیه شده به دریاها و خلیج‌ها از منظر کیفیت و کمیت آب شده است (Bokuniewicz, 1980; Moore, 1996). 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). 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 به صورت موقت نصب می‌شوند، کوچک مقیاس شده همان پیزومترهایی هستند که به طور معمول برای اندازه‌گیری بار آبی به کار 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 به منظور 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.

رسوبات کف رودخانه از دست دهند یا ممکن است هر دو حالت در رودخانه اتفاق بیفتد، بدین صورت که 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. به طور 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

عملی جهت اندازه‌گیری اختلاف سطح آب بین رودخانه و آب زیرزمینی می‌باشد. همچنین جهت اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی عمودی در پیژومترهای لوله‌ای نصب شده در بخش‌های زهرسان رودخانه یا نواحی که پیژومتر 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 U شکل، یک پمپ دستی مکش و لوله اتصالات و سه شیر برای باز و بسته نگه داشتن جریان آب است (شکل ۲). از مانومتر می‌توان جهت اندازه‌گیری اختلاف بار یک سانتی‌متر تا ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده نمود. به‌منظور اطمینان از عدم نشستی 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 مینی‌پیژومترها

به‌طور کلی مینی‌پیژومترها جهت بررسی و مطالعه تبادلات آبی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. چهار کاربرد اصلی مینی‌پیژومتر 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

به‌طور مثال نمونه‌های مینی‌پیژومتر 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 مینی‌پیژومتر 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 مینی‌پیژومتر است که به نوبه خود در مدیریت یکپارچه منابع آب نقش مهمی دارد. به‌طور مثال، در تهیه بیان آب زیرزمینی و در مناطقی که رودخانه و دریاچه سهم مهمی در تأمین نیاز آبی دارند می‌توان میزان تبادل بین آب سطحی و زیرزمینی را در طول دوره بیان که یکی از اجزای اصلی معادله بیان 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

- نمونه برداری کیفی از آب زیرزمینی.

مواد و روش ها

جنس مینی پیزومترها

۱ تناسب مواد تشکیل دهنده مینی پیزومتر برای کاربردهای مختلف ارائه شده است. همانطور که در جدول ۱ قابل مشاهده است پیزومترهای فولادی و PVC برای اغلب کاربردها مناسب می باشند. پیزومترهای لوله ای جهت برخی از مصارف از جمله پایش بیوسسته سطح آب یا درجه حرارت و آزمایش های هیدرولیکی مناسب نیستند. از نظر هزینه ساخت نیز پیزومترهای فولادی پرهزینه و پیزومترهای PVC کم هزینه تر هستند.

مینی پیزومترها را می توان از مواد متنوعی شامل فولاد (ضد زنگ یا گالوانیزه)، PVC و لوله (شلنگ) پلی اتیلن انعطاف پذیر ساخت. انتخاب هر یک از مواد فوق بستگی به اهداف طرح، بودجه و امکانات موجود دارد. در جدول

جدول ۱. مقایسه تناسب جنس مینی پیزومتر برای کاربردهای مختلف (Sinclair and Pitz, 2013)

جنس مورد استفاده	هزینه مواد و ساخت	امنیت	انعطاف پذیری در طراحی	قابلیت انجام آزمایش های هیدرولیکی بستر	قابلیت پایش متناوب بار آبی	قابلیت پایش دائمی دما و بار آبی	قابلیت پایش کیفیت آب
لوله پلی اتیلن انعطاف پذیر	✓	خ-ض	خ-ع	ض	ع	ض	ع
لوله PVC	✓	خ-ض	خ-ع	خ	ع	ع	ع
لوله فولادی ضد زنگ یا گالوانیزه	✓	خ-ع	خ-ع	ع	ع	ع	خ-ع

ض = ضعیف، خ = خوب، ع = عالی.

مواد و ابزار مورد نیاز

لوله آهنی به قطر داخلی ۲۸ میلی متر
شیلنگ شفاف پلاستیکی ۳ متر
پمپ مکش دستی
لوله شیشه ای U شکل
استوانه مدرج پلاستیکی شفاف به حجم ۲ لیتر

لوله استیل با قطر داخلی ۲۴ میلی متر
میله فولادی به قطر ۱۵ میلی متر
شیر گازی ۴ عدد
چکش ۵ کیلوگرمی
تخته مدرج مانومتر

طراحی و ساخت مینی پیزومتر

سطحی و زیرزمینی در شرایط گوناگون، دلیلی بر نیاز به روش هایی است که بتوان با آنها این جریان را کمی سازی و تشریح کرد. روش دقیق انتخابی برای هر یک از شرایط به ویژگی های هیدرولوژیکی، فیزیکی و مقیاس محل مطالعه دارد و در هر یک از این روش ها عدم قطعیت هایی وجود دارد.

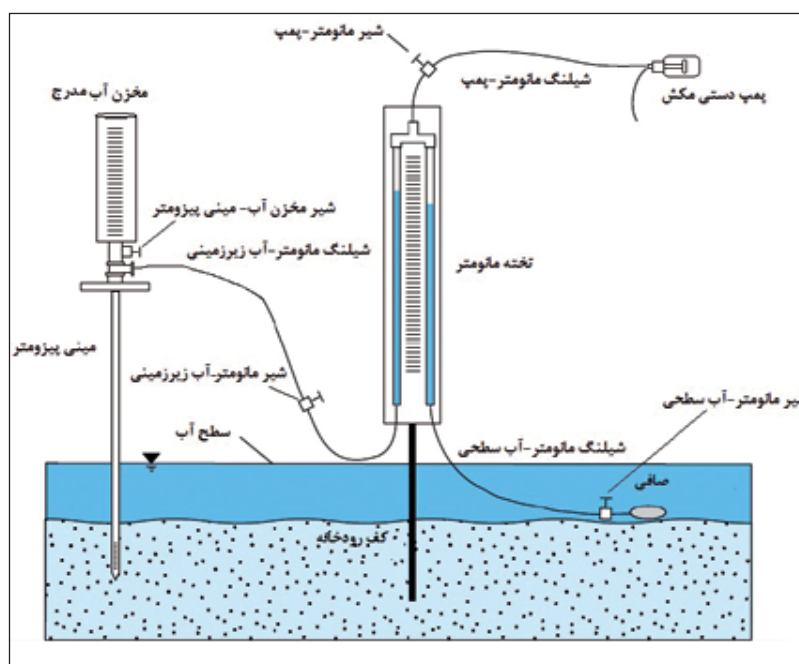
هیدروژئولوژیست ها از روش های متعددی برای ارزیابی برهم کنش آب زیرزمینی و آب سطحی در دشت های آبرفتی استفاده می کنند. معمولاً ترکیبی از این روش ها، درک بهتری از سیستم جریان ایجاد می کند. رایج ترین این روش ها عبارتند از: اندازه گیری جریان^۱، کانال اندازه گیری دی^۲، اندازه گیری تراز تاج^۳، مینی پیزومترها و چاه ها، اندازه گیری تراوش، مطالعات دما، مطالعات ردیاب ها و تعادل ماده شیمیایی. تنوع آزمایش های مورد نیاز در تعیین تبادل آب

توسعه ابزار و وسایلی برای اندازه گیری مستقیم تبادلات

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

شیب هیدرولیکی عمودی^۳ (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، مینی‌پیزومتر 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.

جریان بین رودخانه و آبخوان، از اواسط دهه ۱۹۶۰ آغاز شده است. (Fokkens and Welienberg (1968) از یک مانومتر به‌عنوان بخشی از یک سنجنده 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^۲ نامید. در طی سال‌های اخیر، روش‌ها و دستورالعمل‌های متعددی در مورد به‌کارگیری مینی‌پیزومترها جهت اندازه‌گیری



شکل ۲. طرح کلی مینی‌پیزومتر برای اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی

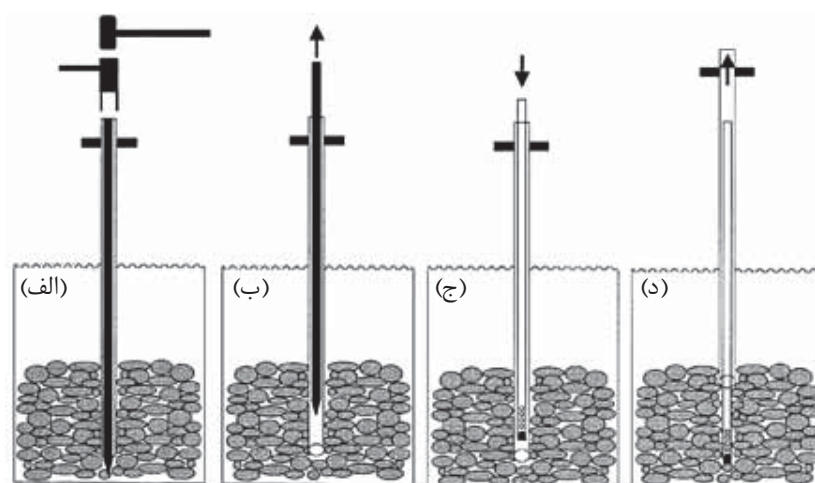
1. Probe
2. Potentiomanometer
3. Vertical Hydraulic Gradient

روش نصب مینی پیزومتر

شد. در ادامه شیر 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 می‌شود تا لوله متصل به رودخانه کاملاً از آب پر شود به طوری که هیچ حباب یا رسوبی داخل لوله وجود نداشته باشد. زمانی که لوله آب سطحی کاملاً پر شد، به آهستگی شیر مانومتر-آب زیرزمینی باز می‌شود تا لوله باقیمانده با آب داخل مینی پیزومتر پر شود. زمانی که لوله مینی پیزومتر نیز پر شد، با کف دست محکم به صفحه مانومتر چند ضربه وارد می‌شود تا حباب‌های هوا و رسوب موجود داخل لوله خارج شود. زمانی که هر دو لوله مانومتر از آب پر شد؛ شیر مانومتر-پمپ بسته شده و همزمان عمل 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 این که رودخانه دهنده یا گیرنده باشد، سطح آب در هر یک از لوله‌های متناظر آب سطحی یا آب زیرزمینی پایین‌تر یا بالاتر می‌رود. در صورتی که پیزومتر در رسوبات ریزدانه با نفوذپذیری کم نصب شده باشد استفاده از مانومتر مناسب نخواهد بود؛ زیرا پمپاژ و پرکردن لوله مانومتر می‌تواند سبب خشک شدن پیزومتر شده و یا ممکن است شرایط بار آبی به وجود آمده در دوره زمانی مورد انتظار به حالت تعادل برنگردد. سپس در محل هر پیزومتر، جهت حرکت آب نشان داده شده توسط مانومتر و اختلاف فاصله آب بین دو لوله مانومتر ثبت می‌شود.

ابتدا تخته مانومتر به همراه لوله U شکل شفاف از طریق میله‌ای که به آن متصل شده در رودخانه به‌طور عمودی نگه داشته می‌شود. سپس میله‌ای فولادی با نوک تیزی در داخل یک لوله فلزی توخالی T شکل قرار گرفته و از طریق یک چکش گوه‌ای به داخل رسوبات بستر رودخانه تا عمق مورد نظر کوبیده می‌شود. سپس میله فولادی خارج شده و یک لوله فلزی یا پلاستیکی شفاف و یا PVC به‌عنوان مینی پیزومتر وارد لوله جدار فلزی می‌شود. 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 مینی پیزومتر در شکل ۳ نشان داده شده است.

پس از نصب مینی پیزومتر در رودخانه نوبت به برقراری اتصالات بین مانومتر و مینی پیزومتر می‌رسد. یکی از شیلنگ‌های پائینی مانومتر طوری به لوله پیزومتر متصل می‌شود که محکم و آب‌بند باشد. شیلنگ دوم مانومتر زیر سطح آب رودخانه قرار می‌گیرد. توجه شود که این شیلنگ مستقیماً روی سطح رسوب واقع نشود چون ممکن است رسوبات ریزدانه لوله مانومتر را مسدود کنند. همچنین می‌توان با تعبیه یک صافی در انتهای شیلنگ درون رودخانه از این مشکل جلوگیری کرد. سپس برای اطمینان از اتصال هیدرولیکی مینی پیزومتر با آبخوان، از طریق یک پمپ دستی مکش یا یک سرنگ ۶۰ میلی‌متری، مقداری آب از داخل مینی پیزومتر پمپاژ یا به داخل آن تزریق می‌شود. با تکرار این عمل علاوه بر اطمینان از اتصال هیدرولیکی مینی پیزومتر با آبخوان، از گرفتگی منافذ اسکرین نیز جلوگیری خواهد



شکل ۳. مکانیسم نصب مینی پیزومتر الف) ضربه زدن به لوله جدار و میله محرک به طور هم زمان از طریق یک محافظ چکشی و وارد کردن آن به داخل بستر رودخانه، ب) میله محرک فولادی خارج می شود ولی جدار محافظ قرار گرفته در محل نگه داشته می شود، ج) مینی پیزومتر به داخل لوله جدار وارد می شود، د) مینی پیزومتر در محل نگه داشته می شود در حالی که لوله جدار به طرف بالا کشیده می شود (Baxter et al., 2003)، ه) برقراری اتصالات مانومتر ساخته شده در رودخانه سولقان تهران

توسعه و تکمیل مینی پیزومتر

نصب مینی پیزومتر سبب بهم ریختگی و بی نظمی رسوبات پیرامون لوله جدار می شود. لذا به منظور برداشت رسوباتی که در لوله جدار یا بخش مشبک آن جمع شده اند؛ بایستی تمامی مینی پیزومترها پس از نصب، توسعه داده شوند. از طریق انجام این کار می توان مطمئن شد که مینی پیزومتر دارای ارتباط هیدرولیکی با رسوبات پیرامون خود است. در صورتی که هدف از به کارگیری مینی پیزومتر، آزمایش یا ارزیابی خواص هیدرولیکی رسوبات باشد، باید قبل از توسعه مینی پیزومتر این آزمایش ها انجام شود.

به منظور توسعه مینی پیزومترهای فولادی یا PVC با قطر یک اینچ یا بزرگتر، از یک پمپ تراوشی دستی و یک لوله پلی اتیلن به طول ۳ تا ۳/۵ متر و قطر ۰/۵ اینچ استفاده می شود. توسعه این مینی پیزومترها با اتصال یک سر لوله پلی اتیلن به ورودی پمپ تراوشی و انتهای دیگر به داخل مینی پیزومتر (تا جایی که به انتهای مینی پیزومتر برسد) آغاز می شود. با شروع پمپاژ، رسوبات داخل مینی پیزومتر تخلیه خواهند شد. سپس جهت پمپاژ تغییر داده می شود تا این بار آب از رودخانه به داخل مینی پیزومتر پمپاژ شود. این عمل آنقدر تکرار می شود تا آب خروجی از مینی پیزومتر عاری از هرگونه رسوب شده و تمیز گردد. در صورتی که 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 به منظور شبیه سازی عمل سنبه زنی، لوله پلی اتیلن داخل مینی پیزومتر (در حین پمپاژ) چند بار سریع بالا و پائین و تکان داده می شود. مینی پیزومترهای فولادی یا PVC با قطر کوچک تر از یک اینچ به طرز مشابهی با استفاده از یک پمپ پریستالتیک^۱ و یک لوله پلی اتیلن به طول ۲/۵ تا ۳ متر و قطر ۰/۲۵ اینچ توسعه داده می شوند. پس از توسعه مینی پیزومتر به منظور اطمینان از ارتباط هیدرولیکی مینی پیزومتر با رسوبات پیرامون خود، مینی پیزومتر با آب رودخانه پر شده و زمان کافی برای به تعادل رسیدن سطح آب داخل مینی پیزومتر داده می شود. همچنین باید کنترل شود که از نظر هیدرولیکی آیا مینی پیزومتر از رودخانه جدا است یا خیر. این کار از طریق مقایسه سطح آب داخل و خارج مینی پیزومتر انجام می شود. وجود یک اختلاف

مشخص بین سطح آب داخل و خارج مینی پیزومتر بیانگر انسداد و نفوذناپذیری کامل بدنه مینی پیزومتر است. یک روش دیگر جهت کنترل عدم ورود آب رودخانه به داخل مینی پیزومتر، پمپاژ آب از داخل مینی پیزومتر از طریق یک پمپ پریستالتیک و اندازه گیری اکسیژن محلول و هدایت الکتریکی ویژه آب تخلیه شده می باشد. در صورت نبود ارتباط آب داخل مینی پیزومتر با آب رودخانه، مقدار هدایت الکتریکی آب داخل مینی پیزومتر باید بیشتر و مقدار اکسیژن محلول آن کمتر از آب رودخانه باشد. اگر سطح آب و کیفیت آب سطحی و مینی پیزومتر یکسان باشد بیانگر این مطلب است که آب رودخانه از طریق منافذ ایجاد شده در لوله جدار وارد مینی پیزومتر می گردد. در چنین مواقعی می بایست رسوبات اطراف مینی پیزومتر مجدداً محکم شوند. اگر این کار کافی نبود می توان مینی پیزومتر را تا عمق بیشتری داخل رسوبات فرو کرده و اجازه داد تا رسوبات به طور طبیعی ظرف مدت چند هفته ته نشین و بعد از آن آزمایش های فوق مجدداً تکرار شود.

اندازه گیری شیب هیدرولیکی عمودی (VHG)

تعیین شیب هیدرولیکی بین آب های سطحی و زیرزمینی نیازمند اندازه گیری سطح آب در این دو منبع است. یکی از روش های متداول برای این کار نصب یک مینی پیزومتر مستقیماً در داخل رسوبات بستر رودخانه است. از طریق اندازه گیری اختلاف بار هیدرولیکی بین سطح آب رودخانه (h_p) و سطح آب داخل مینی پیزومتر (h_g) اندازه گیری شده و تقسیم این عدد بر فاصله عمودی بین قسمت مشبک مینی پیزومتر و بستر رودخانه (dl) (شکل ۴)، شیب هیدرولیکی عمودی^۲ در بستر رودخانه به دست خواهد آمد (رابطه ۱).

$$\text{VHG} = (h_p - h_g) / dl \quad \text{رابطه ۱}$$

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

- مانومتر^۳: یک لوله پلاستیکی شفاف، مینی پیزومتر را به یک تخته مانومتر مدرج عمودی متصل کرده و یک لوله

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

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی رسوبات کف رودخانه

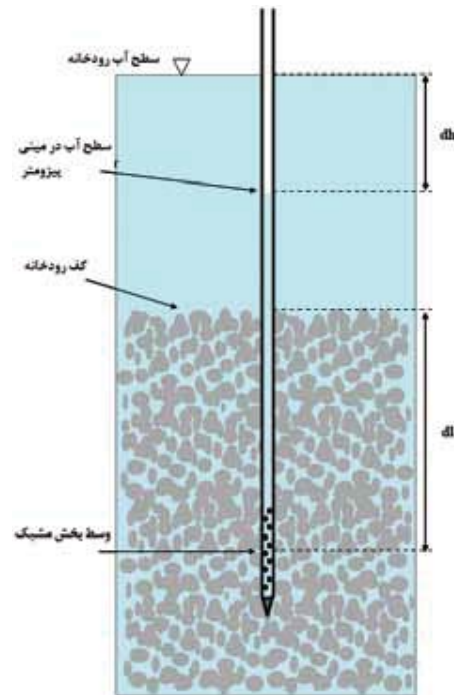
هدایت هیدرولیکی رسوبات کف آبخوان را می‌توان با استفاده از روش آزمون اسلاگ^۲ محاسبه کرد. دو روش معمول در این محاسبه عبارتند از: روش Hvorslev (1951) و Bouwer and Rice (1976) که با جمع‌آوری داده‌های صحرائی صورت می‌گیرند. به‌طور مثال در روش Hvorslev از تراواسنج بار افتان استفاده می‌شود که در آن آب از ستون 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^۳ (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

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^۱: 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 مبنا واحد (مثلاً یک نقطه مشخص در بالای مینی‌پیزومتر) اندازه‌گیری می‌شود. همچنین جهت بررسی تغییرات زمانی شیب هیدرولیکی از تبات‌های اتوماتیک مانند سنسورها و ترانسدیوسرهای فشار استفاده می‌شود. در صورتی که از لوله پلاستیکی شفاف و مدرج برای مینی‌پیزومتر و چاه ساکن استفاده شود، می‌توان مستقیماً اختلاف سطح آب را قرائت کرد.

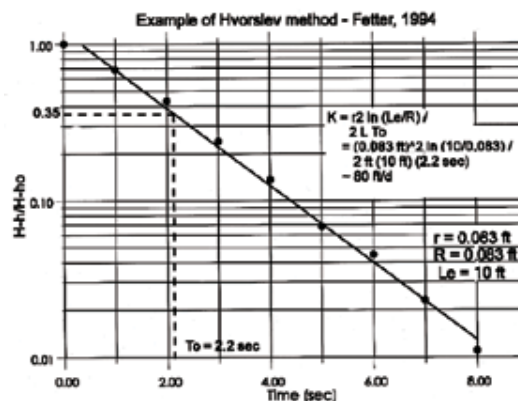


شکل ۴. مشخصات هندسی مینی‌پیزومتر در محاسبه شیب هیدرولیکی



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

که در آن r_e شعاع مخزن آب (سانتی متر)، L_e طول بخش مشبک (سانتی متر)، R_w شعاع بخش مشبک (سانتی متر) و T_0 (ثانیه) مدت زمانی است که طول می کشد 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

نکات مهمی که می بایست در مرحله نصب مینی پیزومتر و قرائت‌ها مورد توجه قرار داد، در ادامه ارائه شده است. بهترین مکان برای نصب مینی پیزومترها نواحی با جریان آرام و حواشی رودخانه است تا از اثرات سیلاب‌ها و صدمه رسیدن به ابزار ممانعت شود. علاوه بر این، مرفولوژی رودخانه هم در انتخاب محل مناسب باید مدنظر قرار گیرد. جهت صحت سنجی مینی پیزومترها باید نتایج به دست آمده از آن‌ها با نتایج اندازه‌گیری‌های مستقل اختلاف بار هیدرولیکی آب سطحی و زیرزمینی مقایسه شود. به عنوان مثال، اختلاف بار هیدرولیکی در یک پیزومتر نزدیک رودخانه و سطح تراز اندازه‌گیری شده رودخانه، باید با اختلاف بار هیدرولیکی به دست آمده از مینی پیزومتر برابر باشد. از طریق نصب دو یا تعداد بیشتری مینی پیزومتر 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 تبدالی (در صورت مشخص بودن هدایت هیدرولیکی) نیز

پس از نصب مینی پیزومتر در رودخانه آغمیون، اقدام به اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی با ۳ بار تکرار شده است. نتایج اندازه‌گیری‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. به طور مثال براساس اندازه‌گیری صورت گرفته از اختلاف بار آبی بین آب رودخانه و آب زیرزمینی (سانتی متر $dh=10$) و فاصله عمودی بین قسمت مشبک مینی پیزومتر و بستر رودخانه (سانتی متر $dl=80$)، 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 مینی پیزومتر ساخته شده قابل قبول است.

جدول ۲. نتایج اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی در سه تکرار

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

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 حالی که 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

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 مینی‌پیزومتر 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

Hydrology, 6, 306-313.

- Hvorslev, M.J., 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, D.R. and Cherry, J.A., 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.

این مینی‌پیزومتر اقدام به آزمایش آن برای ارزیابی کارکرد و دقت آن در رودخانه سولقان تهران گردید. شیب هیدرولیکی به‌دست آمده از ۳ اندازه‌گیری (تکرار) انجام شده به ترتیب ۱۳، ۱۵ و ۱۳ محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد مینی‌پیزومتر ساخته شده از دقت قابل قبولی برخوردار است.

منابع

- Barlow, P.M. and Wild, E.C., 2002. Bibliography on the Occurrence and Intrusion of Salt-water in Aquifers Along the Atlantic Coast of The United States, Open-file Report, 37.

- Baxter, C., Hauer, F.R., Woessner, W.W., 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