

## ارتباط هیدرولیکی رودخانه آغمیون و آبخوان دشت سراب (استان آذربایجان شرقی)

حمیدرضا ناصری<sup>۱</sup>، علی سعیدی\*<sup>۲</sup>، فرشادعلیجانی<sup>۳</sup>، علی اکبر شهسواری<sup>۴</sup>

۱-استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳-استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۴-کارشناس ارشد، جهاد دانشگاهی واحد شهید بهشتی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۷/۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۳/۱۲

### چکیده

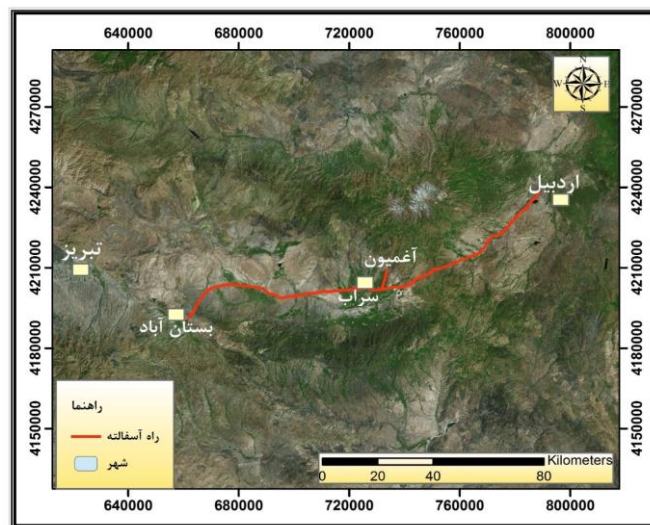
در این تحقیق ارتباط هیدرولیکی رودخانه آغمیون و آبخوان سراب در حد فاصل روستاهای سهزاب و آغمیون در استان آذربایجان شرقی با استفاده از مینی پیزومتر بررسی شده است. این پژوهش با توجه به کشاورزی و دامداری گسترده در دشت سراب و برای جلوگیری از به وجود آمدن مشکل در تامین آب آشامیدنی سالم و تضمین کیفیت آب آبخوان سراب انجام شد. در این پژوهش هشت ایستگاه در طول رودخانه مشخص و طی چهار دوره، از مهر ماه سال ۱۳۹۴ تا تیر ماه ۱۳۹۵ شیب هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی با نصب مینی پیزومتر در ایستگاه‌های تعیین شده اندازه‌گیری شد. به منظور مشخص شدن صحت مقادیر هدایت هیدرولیکی به دست آمده با مینی پیزومتر، از رسوبات بستر رودخانه نمونه‌برداری شد و در آزمایشگاه به روش بار ثابت بار دیگر هدایت هیدرولیکی به دست آورده شد و مقدار آب مبادله شده بین رودخانه و آبخوان با استفاده از قانون داری محاسبه شده است. با توجه به نتایج این تحقیق، بین رودخانه آغمیون و آبخوان دشت سراب در تمام ایستگاه‌های اندازه‌گیری ارتباط هیدرولیکی وجود دارد. در فصول کم بارش (تابستان و پاییز) نرخ نفوذ آب از رودخانه به آبخوان بیشتر ولی در زمستان و بهار کمتر بوده است. به‌طور کلی، رودخانه آغمیون آبخوان دشت سراب را تغذیه می‌کند که مقدار تغذیه حدود ۵/۱۸۲ میلیون متر مکعب بر سال است.

**واژه‌های کلیدی:** مینی پیزومتر، ارتباط هیدرولیکی، آب مبادله شده، آبخوان سراب، رودخانه آغمیون.

## مقدمه

آب زیرزمینی در حقیقت منبع اصلی آب شیرین است. این منبع در برخی از مناطق بخش زیادی از آب نهرها و رودخانه‌ها را تامین می‌کند و نقش بالایی در سلامت و تنوع گونه‌های گیاهی در جنگل‌ها، رودخانه‌ها و تالاب‌ها دارد (وینتر، ۲۰۰۷). در این راستا، توجه بین‌المللی به صورت روز افزون به سوی نحوه مدیریت بهینه منابع آب زیرزمینی و ارتباط آن به آب‌های سطحی (وینتر، ۲۰۰۷) و مدیریت توأم آب‌های سطحی و زیرزمینی جلب شده است. تقریباً در همه اکوسیستم‌ها آب زیرزمینی و آب سطحی ارتباط تنگاتنگی با هم دارند و به هم وابسته‌اند. آب زیرزمینی نقش اساسی در تداوم جریان، شیمی و دمای نهرها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها ایفا می‌کند، از سوی دیگر آب سطحی می‌تواند به‌عنوان تغذیه کننده آب زیرزمینی در برخی مناطق عمل کند (روزنبری و لایف، ۲۰۰۸).

کمی‌سازی ارتباط هیدرولیکی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌تواند نقش بالایی در این مدیریت ایفا کند. با توجه به کشاورزی و دامداری گسترده در دشت سراب و برای جلوگیری از به وجود آمدن مشکل در تامین آب آشامیدنی سالم و تضمین کیفیت آن بررسی ارتباط آب‌های سطحی و زیرزمینی این دشت ضروری به نظر می‌رسد. به همین منظور یکی از رودخانه‌های دشت سراب به نام رودخانه آغمیون برای پژوهش انتخاب شد. این رودخانه از رودهای پر آب دشت محسوب می‌شود و آب‌دهی قابل توجهی دارد. نام رودخانه آغمیون از روستای آغمیون برگرفته شده است. این روستا در دامنه جنوبی کوه سبلان در ۱۳ کیلومتری خاور شهر سراب و در  $28^{\circ} 58' 37''$  طول جغرافیایی و  $57^{\circ} 38' 47''$  عرض جغرافیایی واقع شده است. فاصله روستای آغمیون از شهرهای تبریز و اردبیل به ترتیب ۱۳۹ و ۷۵ کیلومتر می‌باشد (شکل ۱).



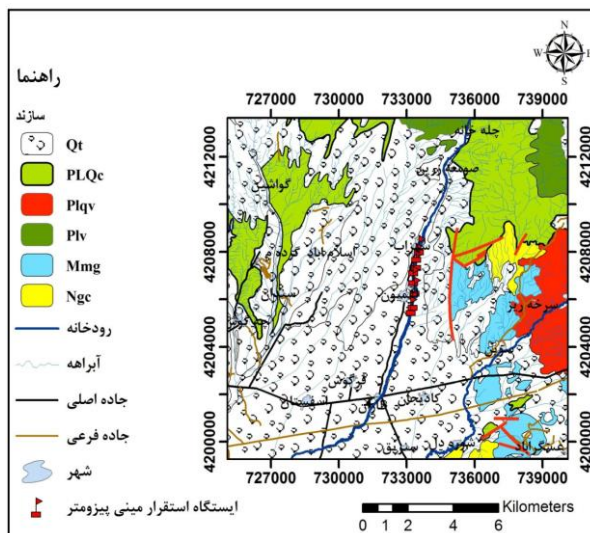
شکل ۱: موقعیت روستای آغمیون و راه دسترسی به منطقه (گوگل ارث)

نهشته‌های کوتاه‌تری بخش زیادی از مسیر رودخانه آغمیون را به خود اختصاص داده است (شکل ۲). سازندهای زمین‌شناسی که در منطقه برونزد دارند، به ترتیب سنی از قدیم به جدید شامل، کنگلومرا و ماسه سنگ به سن پلیومیوسن (Ngc)، مارن ژیبسی ماسه سنگ‌دار به سن میوسن (Mmg)،

دشت سراب نسبتاً وسیع و شکل کشیده‌ای دارد. این کشیدگی در جهت شرقی - غربی است و از جنوب و شمال به دو رشته‌کوه مرتفع محدوده می‌شود. بر طبق پهنه‌بندی زمین‌شناسی ایران توسط آقائاتی (۱۳۸۳)، گستره مورد مطالعه جزئی از ایران مرکزی محسوب می‌شود. در منطقه

هر چند این احتمال وجود دارد که دره‌ی سهزاب که رودخانه آغمیون در آن جاری است یک دره گسلی باشد.

ولکانیک‌های پلیوسن (Plv)، کنگلومرا و ولکانیک-های پلیوکواترنر (Plqv) و (PLqc) و پادگانه‌های آبرفتی (Qt) به سن کواترنر است. در نزدیکی روستای آغمیون گسل خاصی شناسایی نشده است



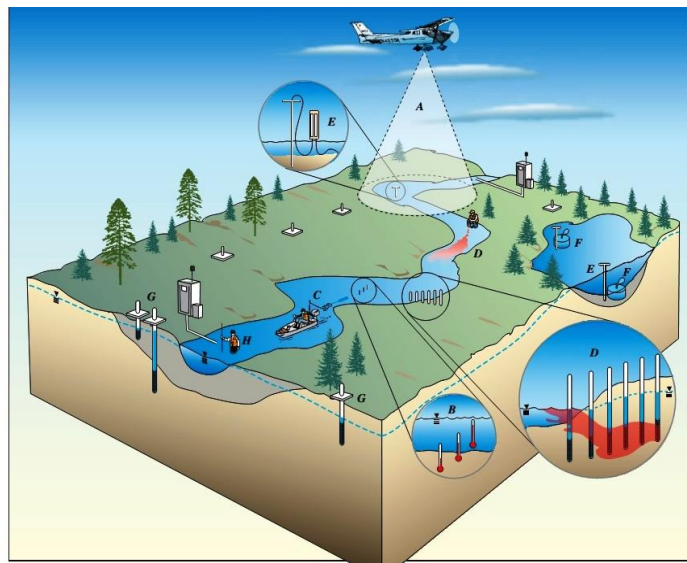
شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه آغمیون و محل استقرار مینی پیزومتر (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۲)

## مواد و روش‌ها

روش‌های زیادی برای تعیین میزان تبادل آب‌های سطحی و زیرزمینی و محل آن‌ها وجود دارد که از بین آنها می‌توان به روش‌های شناسایی در یک منطقه وسیع مانند آزمون ردیاب رنگی، عکس‌های هوایی، کاوشگر با هدایت ویژه الکتریکی و اندازه-گیری تخلیه آب سطحی اشاره کرد. این روش‌ها را می‌توان به صورت تکمیلی با ابزارهای شناسایی در نواحی کوچک‌تر مانند مینی پیزومتر، نشت سنج و شناساگرهای بیولوژیکی به کار برد. در حالت کلی با مقایسه تراز آب سطحی و سطح آب زیرزمینی می‌توان جهت جریان را مشخص کرد به این نحو که اگر تراز آب سطحی بالاتر از سطح آب زیرزمینی باشد و لایه نفوذ ناپذیر بین آب سطحی و زیرزمینی وجود نداشته باشد، جهت از آب سطحی به آب زیرزمینی خواهد بود. در حالت عکس یعنی وقتی

که سطح آب زیرزمینی بالاتر از تراز آب سطحی باشد و لایه نفوذ ناپذیر بین آب سطحی و زیرزمینی وجود نداشته باشد، جهت از آب زیرزمینی به سوی آب سطحی خواهد بود. هم‌چنین با استفاده از تراز سطح آب می‌توان اطلاعات لازم در مورد تعیین شیب هیدرولیکی مابین آب سطحی و آب زیرزمینی را به دست آورد (روزنبری و وینتر، ۱۹۹۷). اندازه-گیری دبی جریان سطحی در دو نقطه از رودخانه می‌تواند در تعیین میزان تبادل آبی کمک کند. اگر مقدار جریان رودخانه در بازه اندازه‌گیری افزایش یافت، آبخوان به رودخانه آب می‌دهد. اما اگر جریان در بازه اندازه‌گیری کاهش یافت، آب سطحی به داخل آبخوان نفوذ می‌کند. با این وجود، باید توجه داشت که ممکن است در طی مسیر آب به داخل و خارج رودخانه انتقال داده شود (روزنبری و لاباف، ۲۰۰۸). میزان تبادل آب را نیز می‌توان با استفاده

به ثبت مکرر اندازه‌گیری در دوره زمانی مورد نظر و ثبت تغییرات زمانی می‌سازد. در برخی از روش‌های اندازه‌گیری، به منظور تعیین میزان تبادل آب بین توده‌های آب سطحی و آب زیرزمینی از دستگاه‌های هیدرومتری نصب شده و داده‌های موجود استفاده می‌شود، محقق برای تکمیل داده‌ها از چاه یا چاه‌های مشاهده‌ای نیز استفاده می‌کند. روش‌های دیگر نیاز به محاسبات و مشاهدات ویژه‌ای از ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی دارند (روزنبری و لایف، ۲۰۰۸) (شکل ۳).



شکل ۳: خلاصه روش‌های به کار رفته در اندازه‌گیری یا تخمین جریان آب مابین آب سطحی و آب زیرزمینی. روش‌های نمایش داده‌شده شامل (A) تصاویر و عکس‌های هوایی مادون قرمز، (B) برداشت پروفیل حرارتی، (C) استفاده از پروب‌های هدایت الکتریکی ویژه، (D) ردیاب‌ها، (E) پتانسیومانومترهای هیدرولیکی، (F) نشست سنج، (G) شبکه‌های چاه، (H) اندازه‌گیری‌های جریان رودخانه (وینتر، ۲۰۰۷).

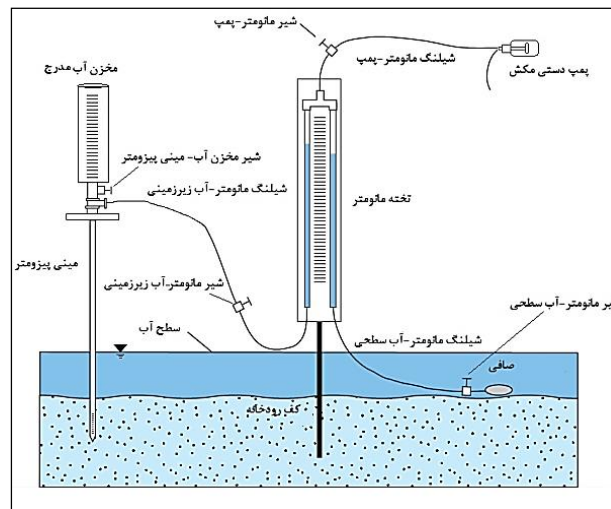
### نتایج

در عرض رودخانه به دست می‌آید (وینتر و همکاران، ۱۹۸۸). مینی‌پیزومتر در ماسه و رسوبات درشت، بهتر کار می‌کند. در شکل ۴ اجزای یک مینی‌پیزومتر به صورت شماتیک نمایش داده شده است. به‌طور کلی چهار کاربرد اصلی مینی‌پیزومتر عبارت است از: اندازه‌گیری گرادیان هیدرولیکی عمودی بین آب سطحی و آب زیرزمینی، برآورد هدایت هیدرولیکی رسوبات بستر رودخانه و دریاچه، پایش نیمرخ‌های حرارتی رسوبات بستر و نمونه‌برداری کیفی از آب زیرزمینی. مینی

آزمایش ردیاب رنگی<sup>۱</sup> یا با استفاده از دیگر ردیاب‌ها محاسبه کرد (روزنبری و لایف، ۲۰۰۸). در بسیاری از موارد، میزان آب مبادله شده مابین آب سطحی و آب زیرزمینی در مقیاس زمانی روز، هفته و ماه تغییر می‌کند بنابراین جهت جریان تبادل نیز ممکن است به‌صورت فصلی یا در طی وقوع سیلاب تغییر کند. استفاده از این روش برای محاسبه مقدار آب مبادله شده بسیار پیچیده است ولی امکان‌پذیر می‌باشد. دستگاه‌های اندازه‌گیر که با ثبت‌کننده داده یا لاگرهای داده تجهیز شده‌اند، محققان را قادر

در این پژوهش از مینی‌پیزومتر استفاده شده است. مینی‌پیزومتر یک چاه مشاهده‌ای قابل حمل با قطر کوچک است که گاهی از آن به پتانسیومانومتر هیدرولیکی<sup>۲</sup> یاد می‌شود. این دستگاه‌ها سرعت عمودی را زیر بستر مشخص می‌کنند. با استفاده از این دستگاه هدایت هیدرولیکی و گرادیان هیدرولیکی را به‌دست می‌آورند و سپس سرعت عمودی را محاسبه می‌کنند. با ضرب کردن سرعت در مساحت عرض رودخانه دبی عمودی مبادله شده

پیزومترها ابزارهایی کارآمد و به راحتی قابل استفاده می‌باشند.



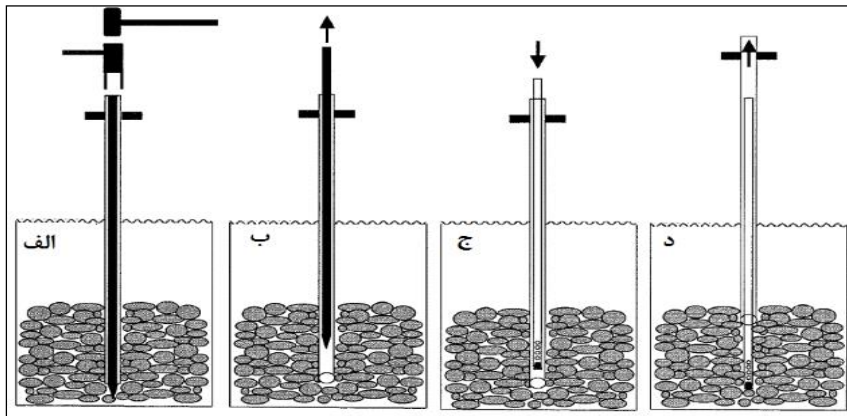
شکل ۴: طرح کلی مینی پیزومتر برای اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی و هدایت هیدرولیکی (شهسواری و همکاران، ۱۳۹۵)

آب درون مانومتر در تراز مناسب قرار گیرد، شیر مانومتر-پمپ را که متصل به پمپ مکش است و شیر مانومتر-آب سطحی را که متصل به لوله منتهی به رودخانه می‌باشد، باز می‌شود. پس از آن، پمپ کرده و کمی صبر می‌شود تا لوله متصل به رودخانه از آب کاملاً 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 باقی مانده با آب داخل پیزومتر پر شود. زمانی که لوله پیزومتر نیز پر شد، با کف دست، به صفحه مانومتر چند ضربه وارد می‌شود تا حباب‌های هوا و رسوب گرفتار شده در داخل لوله، خارج شود. زمانی که هر دو لوله مانومتر از آب پر شد، شیر مانومتر-پمپ بسته می‌شود و هم‌زمان عمل پمپ کردن متوقف می‌شود. شیر مانومتر-پمپ اندکی باز می‌شود تا هوا وارد مانومتر شود به طوری که سطح آب در هر دو لوله پایین رود (فصل مشترک هوا و آب). بعد از آن مانومتر را به حالت عمودی نگه داشته و اجازه داده می‌شود تا سطح آب در هر دو لوله مانومتر به

روش نصب و توسعه مینی پیزومتر: ابتدا مانومتر توسط پایه‌ای که به آن متصل شده است، درون رودخانه مستقر می‌شود. سپس میله فولادی نوک تیز در داخل یک لوله فلزی توخالی T شکل، قرار داده می‌شود و از طریق یک چکش، گوه‌ای به داخل رسوبات بستر رودخانه تا عمق مورد نظر (۳۰-۵۰ سانتی‌متر) کوبیده می‌شود. آنگاه میله فولادی را خارج کرده و یک لوله به‌عنوان مینی پیزومتر وارد لوله جدار فلزی می‌شود. پس از آن با احتیاط و در حالی که مینی پیزومتر با دست نگه داشته شده، لوله فلزی خارجی را بیرون کشیده تا مینی پیزومتر با رسوبات ارتباط برقرار کند. مراحل نصب مینی پیزومتر در شکل ۵ نشان داده شده است. پس از نصب مینی پیزومتر در رودخانه، نوبت به برقراری اتصالات بین مانومتر و پیزومتر می‌رسد. یکی از شیلنگ‌های مانومتر را به لوله پیزومتر متصل کرده و شیلنگ دیگر مانومتر را وارد رودخانه کرده به طوری که روی بستر رودخانه قرار گیرد. سپس با یک پمپ دستی مقداری آب از داخل مینی پیزومتر پمپاژ یا به داخل آن کشیده می‌شود برای این که

متناظر آب سطحی یا آب زیرزمینی پایین تر یا بالاتر می‌رود (شهسواری و همکاران، ۱۳۹۵).

حالت پایدار برسد. براساس این که رودخانه، دهنده یا گیرنده باشد، سطح آب در هر یک از لوله‌های



شکل ۵: مکانیسم نصب مینی‌پیزومتر: 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) مینی‌پیزومتر در محل نگه داشته می‌شود؛ درحالی که لوله جدار به طرف بالا کشیده می‌شود (باکستر و همکاران، ۲۰۰۳).

سطح آب داخل و خارج پیزومتر انجام می‌شود. وجود یک اختلاف مشخص بین سطح آب داخل و خارج پیزومتر، بیانگر مسدود و نفوذناپذیر بودن کامل بدنه پیزومتر می‌باشد. روش دیگر برای کنترل عدم ورود آب رودخانه به داخل پیزومتر، پمپاژ آب از داخل پیزومتر از طریق یک پمپ پرستالتیک و اندازه‌گیری اکسیژن محلول، هم‌چنین هدایت الکتریکی ویژه آب تخلیه شده می‌باشد. در صورت عدم ارتباط آب داخل پیزومتر با آب رودخانه، مقدار EC آب داخل پیزومتر باید بیشتر و مقدار اکسیژن محلول آن کمتر از آب رودخانه باشد. اگر سطح آب و کیفیت آب سطحی و پیزومتر یکسان باشد، بیانگر آن است که آب رودخانه از طریق منافذ ایجاد شده در لوله جدار وارد پیزومتر می‌شود. در چنین مواقعی باید رسوبات اطراف پیزومتر دوباره کوبیده شود. اگر این کار کافی نبود، می‌توان پیزومتر را تا عمق بیش‌تری داخل رسوبات فرو کرد و اجازه داد تا رسوبات به‌طور طبیعی ظرف مدت چند هفته ته نشین شوند و بعد از آن دوباره آزمایش‌های یاد شده را تکرار کرد.

نصب مینی‌پیزومتر سبب به هم ریختگی و بی‌نظمی رسوبات پیرامون لوله جدار می‌شود؛ از این رو به منظور برداشتن رسوبات جمع شده در لوله جدار یا بخش مشبک آن، بایستی تمامی پیزومترها پس از نصب، توسعه داده شوند. به منظور توسعه پیزومترها از یک پمپ تراوشی دستی استفاده می‌شود. با شروع پمپاژ، رسوبات داخل پیزومتر تخلیه می‌شود. سپس جهت پمپاژ تغییر داده می‌شود؛ به‌طوری که این بار آب از رودخانه به داخل پیزومتر پمپاژ شود. این عمل آن‌قدر تکرار می‌شود تا آب خروجی از پیزومتر، عاری از هرگونه رسوب و تمیز شود. در صورتی که رسوبات بستر رودخانه، دانه‌ریز از نوع سیلت و رس باشند، فرایند توسعه بایستی شدیدتر و مدت زمان بیش‌تری به طول انجامد. پس از توسعه پیزومتر، به‌منظور اطمینان از ارتباط هیدرولیکی پیزومتر با رسوبات پیرامون خود، پیزومتر با آب رودخانه پر می‌شود و صبر کرده تا سطح آب داخل پیزومتر به سطح تعادل خود برسد. هم‌چنین باید جدا بودن پیزومتر و رودخانه، از نظر هیدرولیکی کنترل شود. این کار از طریق مقایسه

وارد شدن آب به رسوبات، سطح آب پایین می‌آید و ارتفاع آب 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 نخست را رسم کرد. این اختلاف بار جبران نشده، از ارزش نرمالیزه ۱ (۱۰۰٪) شروع می‌شود و با شروع آزمایش کاهش می‌یابد. این مقادیر در محور مختصات عمودی در مقیاس لگاریتمی رسم می‌شوند. محور مختصات افقی نشان‌دهنده زمان خواندن‌های صورت گرفته در صحرا است که از صفر شروع می‌شود و با پایان یافتن آزمایش پایان می‌یابد. با رسم بهترین خط برازش بر روی نقاط رسم شده در محور مختصات، معادله برازش، به دست می‌آید که در محاسبه تأخیر زمان پایه  $T_0$  به کار می‌رود که به‌عنوان نقطه‌ای که در آن نسبت اختلاف بار جبران نشده برابر با ۳۷٪ است، تعریف می‌شود (رابطه ۲).

رابطه ۲

$$k = \frac{r_e^2 \ln\left(\frac{L_e}{R_w}\right)}{2 L_e T_0}$$

که در آن 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 تا آب به ۳۷ درصد سطح آغازین افت کند. در شکل ۶ نمودار محاسبه هدایت هیدرولیکی به روش هورسلو ارائه شده است. در این نمودار زمان پایه ۱۰ ثانیه برخورد شده است و هدایت هیدرولیکی براساس رابطه ۲، ۲/۱ متر بر روز محاسبه شده است.

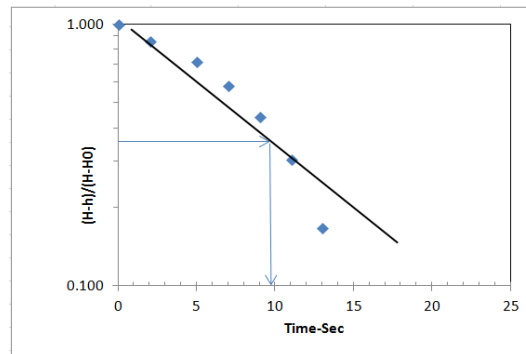
اندازه‌گیری گرادیان هیدرولیکی با مینی‌پیزومتر: یکی از روش‌های متداول جهت اندازه‌گیری گرادیان هیدرولیکی نصب مینی‌پیزومتر می‌باشد. از طریق اندازه‌گیری، اختلاف بار هیدرولیکی بین سطح آب رودخانه ( $h_s$ ) و سطح آب داخل مینی‌پیزومتر ( $h_g$ )، محاسبه شده که با تقسیم این عدد بر فاصله عمودی بین بخش مشبک مینی‌پیزومتر و بستر رودخانه ( $L$ )، گرادیان هیدرولیکی عمودی در بستر رودخانه به دست خواهد آمد (رابطه ۱).

رابطه ۱

$$L / (h_s - h_g) = \text{گرادیان هیدرولیکی عمودی}$$

اختلاف بار هیدرولیکی بین سطح آب زیرزمینی در داخل مینی‌پیزومتر و سطح آب رودخانه با استفاده از مانومتر یا چاه موقعیت سنج<sup>۱</sup> قرائت می‌شود.

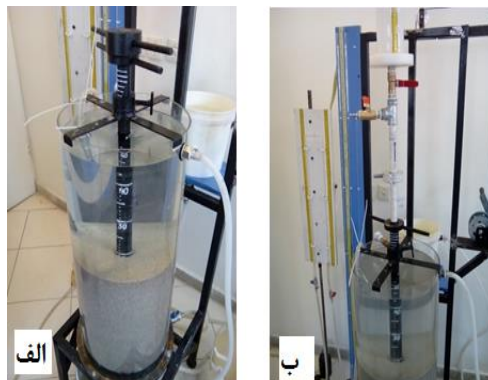
محاسبه هدایت هیدرولیکی با مینی‌پیزومتر: هدایت هیدرولیکی رسوبات کف آبخوان را می‌توان با استفاده از روش آزمون اسلاگ محاسبه کرد. دو روش معمول در این محاسبه عبارت‌اند از: روش هورسلو (۱۹۵۱) و بوور و رایس (۱۹۷۶) که با جمع‌آوری داده‌های صحرائی صورت می‌گیرند؛ به‌طور مثال در روش هورسلو از تراوا سنج بارافتان استفاده 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 تراوا سنج، 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 تراوا سنج و وارد شدن به رسوبات کف رودخانه از طریق بخش مشبک لوله می‌شود. با



شکل ۶: نمونه‌ای از نمودار هورسلو برای تعیین هدایت هیدرولیکی در رودخانه آغمیون - سراب.

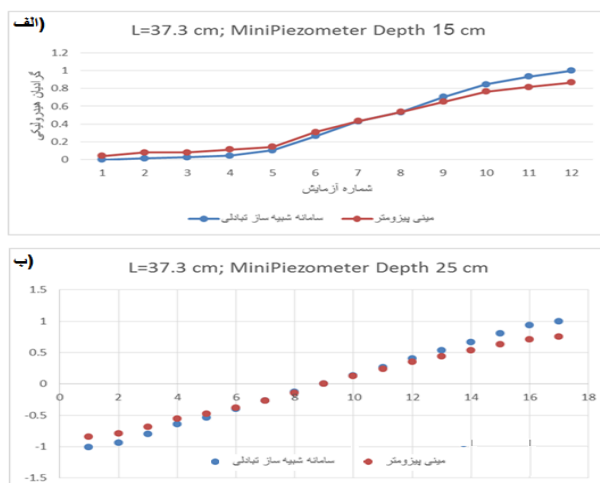
جریان نیز در آن می‌تواند رو به پایین یا رو به بالا باشد. با کنترل تراز آب یا به عبارت دیگر با کنترل بار فشار در دو سوی یک ستون یا مخزن متخلخل که تراوش از خلال آن صورت می‌گیرد، می‌توان الگوی جریان لایه‌ای کنترل شده در جهت موردنظر را در آزمایشگاه ایجاد کرد. با تغییر تراز یکی از منابع با بار ثابت، می‌توان بزرگی جریان را نیز کنترل کرد. از این رو سامانه سنجش آزمایشگاهی به گونه‌ای طراحی شده که گستره قابل توجهی از اختلاف بار فشار بین منابع سطحی و زیرزمینی را بتوان در جهت‌های رو به بالا و رو به پایین در یک محیط متخلخل ایجاد و کنترل کرد. در شکل ۷ مراحل یکی آزمایش‌های اندازه‌گیری گرادیان هیدرولیکی ارائه شده است. هم‌چنین، مقایسه‌ای از تغییرات گرادیان هیدرولیکی اندازه‌گیری شده توسط سامانه شبیه‌ساز تبادل رودخانه و آبخوان و هم‌چنین دستگاه مینی‌پیزومتر، در شکل ۸ ارائه شده است.

صحت سنجی مینی‌پیزومتر مینی: اصولاً عملکرد کلیه ابزارهای سنجش و اندازه‌گیری می‌بایست مورد ارزیابی و تأیید قرار گیرد و به صورت دوره‌ای تنظیم و کالیبره شود. در این راستا بدیهی است که علاوه بر طراحی مینی‌پیزومترها، کیفیت ساخت و استهلاک هم در عملکرد آن‌ها تأثیرگذار است و بایستی صحت عملکرد این دستگاه‌ها به صورت دوره‌ای انجام شود. در طی این پژوهش یک سامانه مرجع برای شبیه‌سازی فیزیکی شرایط صحرائی و تثبیت پارامترها برای بررسی عملکرد مینی‌پیزومتر طراحی و ساخته شده است (شهبواری و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به این که محیط کاربری مینی‌پیزومترها، سیستم‌های تبدالی آب سطحی و زیرزمینی می‌باشند، در چنین سیستم‌های تبدالی، گرادیان هیدرولیکی مشخصی بین یک منبع سطحی و یک منبع زیرزمینی برقرار است. رسوبات بستر رودخانه، محیط تراوش آب است و جهت



شکل ۷: کوبیدن مینی‌پیزومتر در مخزن متخلخل سامانه تبدالی رودخانه و آبخوان، و اندازه‌گیری گرادیان هیدرولیکی.





شکل ۸: مقایسه‌ای از تغییرات گرادین هیدرولیکی اندازه‌گیری شده توسط سامانه شبیه‌ساز تبادل رودخانه و آبخوان، و دستگاه مینی‌پیزومتر. الف) عمق نفوذ ۱۵ سانتی‌متر. ب) عمق نفوذ ۲۵ سانتی‌متر. (شهسواری و همکاران، ۱۳۹۵).

گرادین هیدرولیکی به دست آورده شده با مینی پیزومتر در جدول ۱ آورده شده است. در تعدادی از ایستگاه‌ها به علت برودت هوا (برداشت دوم) و خشک شدن (برداشت چهارم) رودخانه اندازه‌گیری گرادین هیدرولیکی بین رودخانه و آبخوان فراهم نشده است.

پس از ساخت و اطمینان از صحت عملکرد، مینی پیزومتر در هشت نقطه از رودخانه آغمیون مستقر شد و در چهار نوبت (فصل) مقدار گرادین هیدرولیکی بین رودخانه و آبخوان به دست آورده شد (شکل ۹). بازه مکانی این پژوهش از پل روستای سهزاب تا کمی بعد از روستای آغمیون و بازه زمانی مهر ۹۴ تا مهر ۹۵ بوده است. مقدار



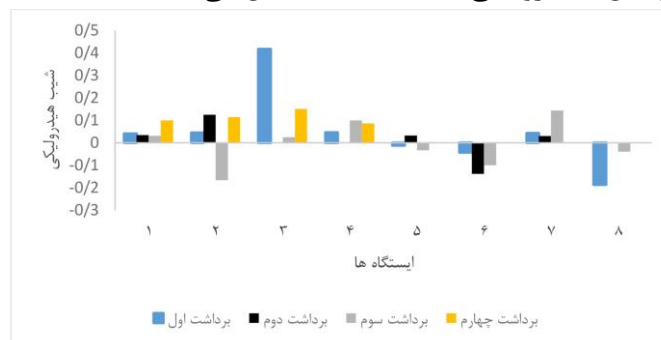
شکل ۹: برداشت شیب هیدرولیکی بین رودخانه آغمیون و آبخوان سراب طی چهار دوره نمونه‌برداری در طول مسیر رودخانه در بازه زمانی ۹۴/۷/۱۹ تا ۱۳۹۵/۴/۱۵.

جدول ۱: مقدار شیب هیدرولیکی بین رودخانه آغمیون و آبخوان سراب در طی هشت برداشت در بازه زمانی مهر ماه ۹۴ تا تیر ماه ۹۵، مقادیر منفی نشان‌دهنده تغذیه رودخانه توسط آبخوان و مقادیر مثبت نشان‌دهنده تغذیه آبخوان توسط رودخانه است. مختصات جغرافیایی در زون ۳۹ واقع شده است.

	مختصات جغرافیایی UTM X	مختصات جغرافیایی UTM Y	شیب هیدرولیکی برداشت اول	شیب هیدرولیکی برداشت دوم	شیب هیدرولیکی برداشت سوم	شیب هیدرولیکی برداشت چهارم
ایستگاه اول	۷۳۳۵۰۴	۴۲۰۰۲۶۰	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۰
ایستگاه دوم	۷۳۳۴۰۰	۴۲۰۷۹۹۰	۰/۰۴	۰/۱۳	-۰/۱۶	۰/۱۱
ایستگاه سوم	۷۳۳۴۶۹	۴۲۰۷۶۲۳	۰/۴۲	-	۰/۰۲	۰/۷۵
ایستگاه چهارم	۷۳۳۳۴۱	۴۲۰۷۳۹۸	۰/۰۵	-	۰/۱	۰/۰۸
ایستگاه پنجم	۷۳۳۳۳۲	۴۲۰۶۹۸۰	-۰/۰۱	۰/۰۳	-۰/۰۳	-
ایستگاه ششم	۷۳۳۳۹۷	۴۲۰۶۵۳۱	-۰/۰۴	-۰/۱۴	-۰/۱	-
ایستگاه هفتم	۷۳۳۳۱۲	۴۲۰۵۹۴۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۱۴	-
ایستگاه هشتم	۷۳۳۲۲۳	۴۲۰۵۷۲۶	-۰/۱۹	-	-۰/۰۴	-

(بخش‌های بالایی) و در ایستگاه‌هایی که تراز سطح ایستابی بالاتر بود، گرادیان هیدرولیکی منفی (بخش‌های پایینی) در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی در مسیر رودخانه آغمیون: شیب هیدرولیکی یا گرادیان هیدرولیکی در بستر رودخانه از اختلاف بار بین آب سطحی و زیرزمینی ناشی می‌شود. هر چه اختلاف بار بیشتر باشد، شیب هیدرولیکی بیشتر است. شکل ۱۰ مقدار شیب هیدرولیکی را برای هشت ایستگاه در طول چهار دوره برداشت نمایش می‌دهد. مطابق این شکل ایستگاه سوم در برداشت اول بیشترین گرادیان هیدرولیکی مثبت و ایستگاه هشت در برداشت اول بیشترین گرادیان هیدرولیکی منفی را نشان می‌دهند.

تعیین جهت تبادل آبی بین رودخانه آغمیون و آبخوان سراب: مقایسه تراز سطح آب درون مانومتر با سطح آب رودخانه نشان‌دهنده وجود ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه و آبخوان است و داشتن تراز بالاتر به معنای خروج آب و تراز پایین‌تر به معنای ورود آب است پس با استفاده از مینی پیزومتر می‌توان جهت تبادل را تعیین کرد (شکل ۱۰). اگر سطح آب درون مانومتر در بخش منتهی به شلنگ آب رودخانه بالاتر باشد، جهت حرکت آب از رودخانه به سمت آبخوان است. اگر سطح آب درون مانومتر در بخش منتهی به شلنگ آب زیرزمینی بالاتر باشد، جهت حرکت آب از آبخوان به رودخانه است. بنابراین در این پژوهش در ایستگاه‌هایی که تراز سطح آب رودخانه بالاتر بود گرادیان هیدرولیکی مثبت



شکل ۱۰: تغییرات شیب هیدرولیکی اندازه‌گیری شده توسط مینی پیزومتر در چهار دوره نمونه‌برداری در هشت ایستگاه اندازه‌گیری طی سال آبی ۹۴-۹۵ در مسیر رودخانه آغمیون در حدفاصل روستای سهزاب و روستای آغمیون.

نشد (جدول ۲). به منظور ارزیابی صحت مقدار هدایت هیدرولیکی به دست آمده از داده‌های مینی‌پیزومتر، از رسوبات بستر رودخانه نمونه برداری شد و در آزمایشگاه پارس پی‌آزما به روش بار ثابت مقدار واقعی هدایت هیدرولیکی به دست آورده شد. در این روش کمترین مقدار هدایت هیدرولیکی رسوبات ۳۹/۱ متر بر روز که مربوط به بخش‌های پایانی رودخانه (ایستگاه‌های پنجم تا هشتم) و بیشترین مقدار آن ۴۱/۳ متر بر روز که مربوط به بخش‌های ابتدایی رودخانه (ایستگاه‌های اول تا چهارم) به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۲: مقدار هدایت هیدرولیکی (m/day) به دست آورده شده با مینی‌پیزومتر در طول مسیر رودخانه آغمیون طی برداشت اول، ساحل چپ و راست رودخانه

شماره ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
ساحل راست	۱.۰	۰.۲	۰.۳	۱.۹	۰.۱	۱.۶	۰.۶	۱.۳
ساحل چپ		۰.۳	۰.۲	۰.۱		۲.۱	۱.۶	

جدول ۳: مقدار هدایت هیدرولیکی (m/day) در مسیر رودخانه آغمیون به دست آمده در آزمایشگاه

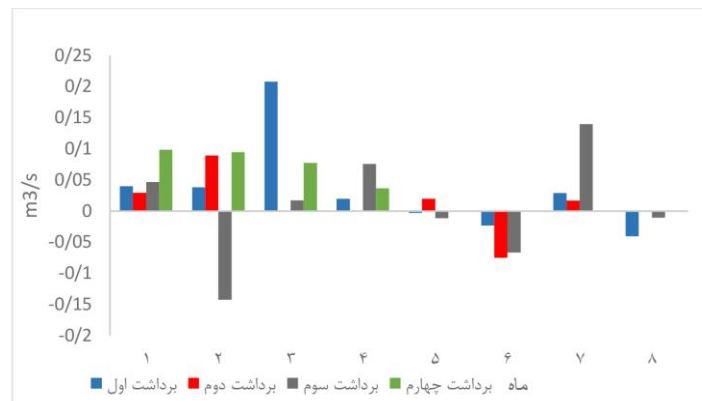
شماره ایستگاه	هدایت هیدرولیکی
اول تا چهارم	۴۱.۰۴
پنجم تا هشتم	۳۹.۱

هیدرولیکی رسوبات با نمونه برداری و اندازه‌گیری در آزمایشگاه به دست آمد. برای به دست آوردن مقدار آب مبادله شده بین رودخانه و آبخوان ابتدا سرعت عمودی نفوذ آب در هر ایستگاه محاسبه شد، بعد از آن با استفاده از قانون داریسی رابطه ۳، مقدار آب مبادله شده در هشت ایستگاه از رودخانه محاسبه شد (شکل ۱۱).

$$Q=KAI$$

برآورد مقدار آب مبادله شده بین رودخانه آغمیون و آبخوان دشت سراب: مقدار و الگوی تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی نتیجه رابطه بین نفوذ از نزولات جوی، تبادل آب سطحی و زیرزمینی و جریان‌های ورودی و خروجی زیرزمینی است (لین و همکاران، ۲۰۰۹). برای ارزیابی کمی مقدار تبادل در منطقه آغمیون و اندازه‌گیری گرادیان هیدرولیکی مینی‌پیزومتر مورد استفاده قرار گرفت. هدایت

کننده رودخانه است. بخش عمده رودخانه آغمیون آبخوان دشت سراب را تغذیه می‌کند. بیشترین مقدار نفوذ آب از بستر رودخانه مربوط به ایستگاه سوم در برداشت اول و بیشترین مقدار تراوش آب از آبخوان به رودخانه به ایستگاه دوم و برداشت سوم مربوط است (شکل ۱۱).

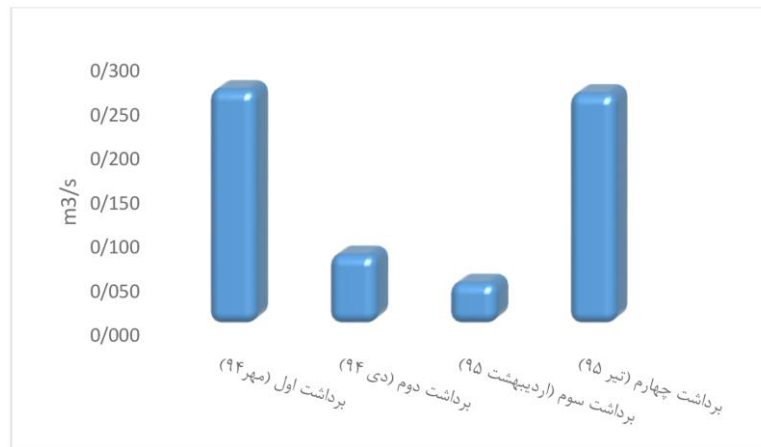


شکل ۱۱: نمودار تغییرات مقدار آب مبادله شده بین رودخانه آغمیون و آبخوان سراب به ازای واحد سطح بستر رودخانه، اندازه‌گیری شده با مینی پیژومتر در چهار دوره نمونه‌برداری در هشت ایستگاه اندازه‌گیری طی سال آبی ۹۴-۹۵ در حفاصل روستاهای سهزاب و آغمیون.

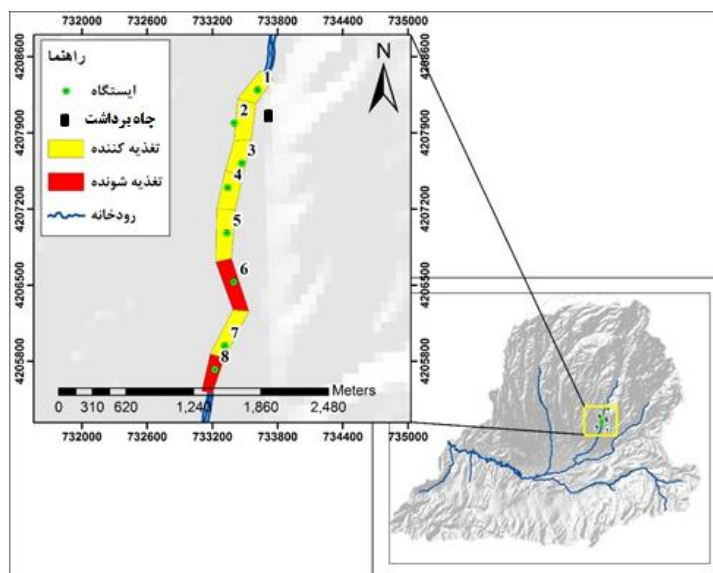
کشاورزی می‌تواند دلیل اصلی کاهش گرادیان هیدرولیکی و به دنبال آن کم شدن نرخ تغذیه آبخوان باشد. در تیر ماه هم مثل دوره‌های قبلی رودخانه تغذیه کننده آبخوان است. مقدار آب نفوذ کرده از بستر رودخانه نسبت به آبان کمتر شده است اما در واقع در ایستگاه‌هایی که اندازه‌گیری صورت گرفته است (به جز ایستگاه دوم) نسبت به آبان ماه افزایش یافته است. در این برداشت به علت گرمای هوا در این ماه رودخانه از ایستگاه چهارم به بعد خشک شده است. در این برداشت از یک چاه در نزدیکی ایستگاه دوم آب برداشت می‌شده است که علت زیاد شدن نرخ نفوذ ایستگاه‌های اول و دوم نسبت به سایر برداشت‌ها استفاده از این چاه آب بوده است. در شکل ۱۳ دهنده یا گیرنده بودن بخش‌های رودخانه به صورت نمایشی و برای تمام دوره‌ها نمایش داده شده است.

در این رابطه  $Q$  دبی (مترمکعب بر ثانیه)،  $K$  هدایت هیدرولیکی (متر بر ثانیه)،  $A$  سطح مقطع رودخانه (مترمربع)،  $I$  شیب هیدرولیکی را نشان می‌دهد. با جمع دبی تبادلی هر مقطع دبی کل تبادلی مسیر رودخانه به دست آمده است. در شکل ۱۱ مقدار مثبت نشان دهنده اینکه رودخانه تغذیه کننده و مقدار منفی، نشان دهنده اینکه آبخوان تغذیه

طبق شکل ۱۲ مقدار آب مبادله شده بین رودخانه و آبخوان در تمامی برداشت‌ها مثبت است یعنی رودخانه تغذیه کننده آبخوان است. در برداشت اول در مهر ماه ۹۴ انجام شد، مقدار آب نفوذی از بستر رودخانه بیشتر از برداشت‌های دیگر بوده است، عدم بارش و برداشت زیاد آب در فصل تابستان و اوایل پاییز می‌تواند دلیل اصلی آن باشد. در دی ماه ۹۴ میزان آب نفوذی نسبت به مهر ماه کمتر شده، دلیل آن شروع بالا آمدن سطح ایستابی در فصل زمستان و متوقف شدن برداشت آب از آبخوان برای مصرف کشاورزی است. لازم به ذکر است در این برداشت امکان اندازه‌گیری شیب هیدرولیکی در سه نقطه از رودخانه به دلیل برودت هوا فراهم نشد و مقدار آب مبادله شده مربوط به پنج ایستگاه می‌باشد. در اردیبهشت ماه ۹۵ مقدار تغذیه آبخوان از رودخانه کم شده است. بالا آمدن سطح ایستابی در این فصل، بارش باران و آب برگشتی از زمین‌های



شکل ۱۲: مقدار آب مبادله شده بین رودخانه آغمیون و آبخوان سراب طی چهار دوره برداشت در بازه زمانی مهر ۱۳۹۴ تا تیر ۱۳۹۵.



شکل ۱۳: نمایش ایستگاه‌های استقرار مینی پیزومتر و مقاطع تغذیه کننده و تغذیه شونده (تمام برداشت‌ها) در طول مسیر رودخانه

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از به کارگیری مینی پیزومتر نشان داد که مینی پیزومترها ابزار مناسبی برای تخمین گرادیان هیدرولیکی و تعیین جهت تبادل آبی بین رودخانه و آبخوان هستند. مشکل استفاده از مینی پیزومتر در منطقه مورد مطالعه، ناتوانی مینی پیزومتر استفاده شده برای تعیین هدایت

هیدرولیکی رسوبات بستر رودخانه بوده است، از طرفی مینی پیزومترها مقادیر نقطه‌ای برای گرادیان هیدرولیکی ارائه می‌کنند. بنابراین اگر در رودخانه‌ای ناهمگنی زیادی بین رسوبات باشد بهتر است شیب هیدرولیکی به کل بستر رودخانه تعمیم داده نشود. در منطقه آغمیون تصور بر آن بود که رودخانه آغمیون در تمام مسیر تغذیه کننده آبخوان

می‌یابد پس مقدار آب نفوذ کرده از بستر رودخانه در زمستان و بهار بسیار بیشتر از فصول تابستان و پاییز است. با احتساب میانگین آب مبادله شده، در طول سال حدود ۵/۱۸۲ میلیون متر مکعب آب از رودخانه به آبخوان سراب نفوذ می‌کند.

### پانوش

1-Dye-tracer tests

2-hydraulic potentiomanometer

-شهسواری، ع.، نجیبی، م.آ.، خدایی، ک. و هاتفی، ر.، ۱۳۹۵. روش‌های اندازه‌گیری تبادل آب سطحی و زیرزمینی، پژوهشکده علوم پایه کاربردی دانشگاه شهید بهشتی، ۲۴۷ ص.

-فاریابی، م.، ۱۳۹۴. بررسی برهم‌کنش آب زیرزمینی و رودخانه با استفاده از روش‌های کیفی بخش شمالی محدوده دزفول- اندیمشک، رساله دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۸۱ ص.

است. با انجام این پژوهش مشخص شد آبخوان سراب نیز رودخانه آغمیون را تغذیه می‌کند. برای مثال در مقطع‌های ششم، هشتم (تمام برداشت‌ها) و ایستگاه دوم (اردیبهشت ماه) قابل مشاهده است. علاوه بر این با افزایش دبی رودخانه در فصول پر آب (زمستان و بهار) تراز سطح ایستابی آبخوان بالا می‌آید بنابراین شیب هیدرولیکی بین رودخانه و آبخوان و مقدار تغذیه آبخوان از رودخانه کاهش

### منابع

-آقاناتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.

-سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۲. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سراب.

-شهسواری، ع.، خدایی، ک.، دلخواهی، ب.، اسدیان، ف.، نجیبی، م.ا. و هاتفی، ر.، ۱۳۹۵. طراحی و ساخت مینی پیزومتر برای اندازه‌گیری میزان تبادل آب سطحی و زیرزمینی، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۳۵، ص ۶۱-۷۳.

-Alley, W.M., Reilly, T.E. and Franke, O.L., 1999. Sustainability of ground-water resources, US Department of the Interior, US Geological Survey, v. 1186, p. 284-298.

-Banks, W.S.L., Paylor, R.L. and Hughes, W.B., 1996. Using thermal-infrared imagery to delineate ground-water discharge, *Ground Water*, v. 34(3), p. 434-443.

-Baxter, C., Hauer, F.R. and Woessner, W.W., 2003. Measuring groundwater-stream water exchange: new techniques for installing minipiezometers and estimating hydraulic conductivity, *Transactions of the American Fisheries Society*, v. 132(3), p. 493-502.

-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*, v. 12(3), p. 423-428.

-Carr, M.R. and Winter, T.C., 1980. An annotated bibliography of devices developed for direct measurement of seepage), US Dept, of the Interior, Geological Survey, No. 80-344.

-Harvey, F.E., Lee, D.R., Rudolph, D.L. and Frappe, S.K., 1997. Locating groundwater discharge in large lakes using bottom sediment electrical conductivity mapping, *Water Resources Research*, v. 33(11), p. 2609-2615.

- Harvey, J.W. and Wagner, B.J., 2000. Quantifying hydrologic interactions between streams and their subsurface hyporheic zones, p. 3-44.
- Hill, M.C., Lennon, G.P., Brown, G.A., Hebson, C.S. and Rheaume, S.J., 1992. Geohydrology and simulation of groundwater flow in the valley-fill deposits in the Ramapo River Valley, New Jersey: U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report, v. 99, p. 90-4151.
- Hvorslev, M.J., 1951. Time lag and soil permeability in ground-water observations, No. WES-BULL-36, 248 p.
- Lapham, W.W., 1989. Use of temperature profiles beneath streams to determine rates of vertical ground water flow and vertical hydraulic conductivity, U.S. Geological Survey, Water Supply Paper, No. 2337, 482 p.
- Lin, Y.F., Wang, J. and Valocchi, A.J., 2009. PRO-GRADE: GIS toolkits for groundwater recharge and discharge estimation, *Ground Water*, v. 47(1), p. 122-128.
- Mull, D.S., Smoot, J.L. and Liebermann, T.D., 1988. Dye tracing techniques used to determine ground-water flow in a carbonate aquifer system near Elizabethtown, Kentucky, US Geological Survey, No.87-4174, 4174 p.
- Pluhowski, E.J., 1972. Clear-cutting and its effect on the water temperature of a small stream in northern Virginia, US Geological Survey Professional Papers C, 800, p. C257-C262.
- Rosenberry, D.O. and Winter, T.C., 1997. Dynamics of water-table fluctuations in an upland between two prairie-pothole wetlands in North Dakota, *Journal of Hydrology*, v. 191(1), p. 266-289.
- Rosenberry, D.O. and Labaugh, J.W., 2008. Field techniques for estimating water fluxes between surface water and ground water, U.S. Geological Survey Techniques and Methods 4– D2, p. 128.
- Rosenberry, D.O., Striegl, R.G. and Hudson, D.C., 2000. Plants as indicators of focused ground water discharge to a northern Minnesota lake, *Ground Water*, v. 38(2), p. 296-303.
- Taylor, J.I. and Stingelin, R.W., 1969. Infrared Imaging for Water Resources Studies, *Journal of the Hydraulics Division*, v. 95(1), p. 175-190.
- Winter, T.C., 1998. Ground water and surface water: a single resource. DIANE Publishing Inc, v. 1139, 374 p.
- Winter, T.C., 2007. The Role of Ground Water in Generating Streamflow in Headwater Areas and in Maintaining Base Flow, *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, v. 43(1), p. 15-25.