پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال چهارم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹٤
صص. ٤٤-۲۹

ارزیابی اثرات انتقال آب بین حوضه‌ای بر مخازن آب زیرزمینی و نشست زمین (مطالعه موردی: انتقال آب رودخانه زاب به دریاچه ارومیه)

عزت‌الله قنواتی– دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران
سعید خضری– دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، ایران
داود طالب‌پور اصل* – دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۰۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۷/۲۹

چکیده

در سال‌های اخیر تشدید پدیدهٔ خشکسالی و مدیریت نادرست منابع آب، موجب افت شدید تراز آب دریاچهٔ ارومیه در شمال‌غرب ایران و بروز پیامدهای منفی زیست‌محیطی شده است. لذا به‌منظور پیشگیری از بروز چنین مشکلاتی، طرح انتقال آب رودخانهٔ زاب به حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دست مطالعه و اجرا قرارگرفته است. هدف این مقاله ارزیابی تأثیرات اجرای این پروژه بر وضعیت مخازن آب زیرزمینی دشت پیرانشهر و مورفولوژی زمین در حوضهٔ مبدأ می‌باشد. داده‌های مورداستفاده شامل تصاویر GDEM ماهوارهٔ ASTER باقدرت تفکیک ۱۵ متر، داده‌های اقلیمی، آمار مرتبط با هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقهٔ موردمطالعه و داده‌های ساختمانی و لیتولوژیکی استخراج شده از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ می‌باشد. همچنین برای تکمیل سایر داده‌ها و انطباق نتایج با وضع موجود، عملیات میدانی انجام‌شده است. روش تحقیق عمدتاً بر پایه روش تحلیلی استوار بوده است. نتایج نشان می‌دهد که روند افت تراز آب زیرزمینی دشت پیرانشهر در پایین‌دست سد سیلوه، در دوره پس از انتقال آب به حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه تشدید خواهد شد. به‌طوری‌که بعد از اجرای پروژه تراز آب زیرزمینی تا ۲/۹۲ متر کاهش خواهد یافت. پیش‌بینی می‌شود، ازآنجاکه دشت پیرانشهر بر رسوبات جوان آبرفتی مربوط به دوره کواترنر منطبق است، در حاشیه شمالی و غربی دشت که منطبق بر رأس مخروط‌افکنه‌ها و رسوبات دانه‌درشت است، نشست زمین به‌صورت ناگهانی و در پایین‌دست دشت که منطبق بر قاعده مخروط‌افکنه‌ها و رسوبات مارن و رس است نشست زمین به‌صورت تدریجی رخ دهد. همچنین ازآنجاکه گسل‌های فراوان ازجمله گسل سراسری زاگرس از جنوب غربی آبخوان پیرانشهر می‌گذرد، پیش‌بینی می‌شود نشست زمین و ایجاد شکاف در این بخش از حوضه تشدید شود.

واژگان کلیدی: حوضهٔ رودخانهٔ زاب، انتقال آب بین حوضه‌ای، ژئومورفولوژی، فرونشست، دریاچه ارومیه.

* نویسنده مسئول: ۰۸۷۳۳۷۷۹۹۶۷
E-mail: d.talebpour@uok.ac.ir

مقدمه

برای غلبه بر کمبود آب، انتقال بین حوضه‌ای آب از طریق مرزهای بین‌المللی، ملی، منطقه‌ای و محلی، برای تأمین افزایش تقاضا در بخش کشاورزی، صنعت، برق‌آبی، خانگی و زیست‌محیطی، به‌منظور توسعه اقتصادی و اجتماعی انجام می‌شود(مریدسادات و همکاران، ۱۳۹۰). در سال‌های اخیر تشدید پدیدهٔ خشکسالی و مدیریت نادرست منابع آب، موجب افت شدید تراز آب دریاچهٔ ارومیه در شمال‌غرب ایران و بروز پیامدهای منفی زیست‌محیطی شده است(رضازاده و عباسی، ۱۳۹۲). لذا به‌منظور پیشگیری از بروز چنین مشکلاتی، طرح انتقال آب رودخانهٔ زاب به حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دست مطالعه و اجرا قرارگرفته است. این پروژه بر روی رودخانهٔ زاب کوچک و شاخه‌های بالادست آن اجرا می‌شود. پتانسیل منابع آب موجود در این طرح بر پایه آمار و اطلاعات به میزان ۸۷۰ میلیون مترمکعب تخمین زده می‌شود(اخباری و همکاران، ۱۳۸۵) که در قالب سیستم جمع‌آوری و تونل‌های انتقال از دریاچهٔ سدهای مخزنی کانی سیو و سیلوه به حوضهٔ رودخانهٔ گادر و درنهایت دریاچهٔ ارومیه صورت می‌گیرد. این انتقال علیرغم رفع برخی کمبودها می‌تواند منشأ تغییرات زیادی در حوضه‌های مبدأ و مقصد باشد که باید از دیدگاه‌های مختلف ازجمله ژئومورفولوژی مورد ارزیابی قرار گیرد.

اگرچه قدمت انتقال آب به صدها سال پیش‌بر می‌گردد، ولی ضرورت طرح این موضوع از ۲۰۰ سال پیش تاکنون بیشتر احساس شده است. اجرای کارگاه‌ها و همایش‌های بین‌المللی و ملی باهدف بررسی مسائل انتقال بین حوضه‌ای آب، تأکیدی بر این موضوع است(حلبیان و شبانکاری، ۱۳۸۹). در سال‌های اخیر به دلیل تغییراتی که پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در حوضه‌های مبدأ و مقصد به وجود آورده‌اند، محققان تلاش کرده‌اند اثرات این پروژه‌ها را از دیدگاه‌های مختلف موردبررسی قرار دهند. درمجموع نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد، علی‌رغم رفع کمبود آب در حوضهٔ مقصد در کوتاه‌مدت، اجرای پروژه‌های انتقال آب می‌تواند چالش‌هایی را به‌ویژه در حوضهٔ مبدأ به همراه داشته باشد. ازجمله این چالش‌ها، تأثیر منفی انتقال آب بین حوضه‌ای بر مخازن آب زیرزمینی در حوضهٔ مبدأ است. یکی از منابع مهم تغذیه‌کننده مخازن آب زیرزمینی، رودخانه‌ها هستند، با کاهش حجم جریان رود، حجم آب‌های زیرزمینی منطقه نیز کاهش می‌یابد(نادریان‌فر و همکاران، ۱۳۹۰). بر اساس مطالعات کاهش جریانات سطحی در دشت‌های شمال استان همدان باعث افت تراز آب‌های زیرزمینی در این ناحیه شده است(شمسی‌پور و حبیبی، ۱۳۸۶). یکی از پیامدهای انتقال آب بین حوضه‌ای کاهش حجم جریانات سطحی در حوضهٔ مبدأ است. کرستیان و لان‌شنگ(۱۹۹۹) و شائو و وانگ(۲۰۰۳) هرکدام در تحقیقات جداگانه‌ای به بیان مشکلات زمین‌شناسی محیطی پروژه انتقال آب از جنوب به شمال شامل رودخانه یانگ تسه و حوضهٔ رودخانه زرد در کشور چین پرداخته و به این نتیجه رسیدند که پروژه انتقال آب از جنوب به شمال چین موسوم به مسیر میانه، باعث بروز مشکلات متعدد زیست‌محیطی- زمین‌شناسی شده است. این پروژه باعث شور شدن و باتلاقی شدن خاک ناشی از بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی در اثر نشت کانال در حوضهٔ مقصد و فرونشست سطحی، سقوط و شکاف زمین در حوضهٔ مبدأ شده است.

کنَپ و همکاران(۲۰۰۳) با ارزیابی تجربی اثرات انتقال آب بر سیستم مخازن آب زیرزمینی و تولیدات کشاورزی در منطقه کِرن واقع در ایالت کالیفرنیا دریافتند، ازآنجاکه بسیاری از مناطق کشاورزی به‌شدت به سفره‌های آب زیرزمینی متکی هستند، انتقال آب‌های سطحی از این مناطق به خارج از حوضه به‌منظور استفاده شهری و زیست‌محیطی موجب افزایش برداشت از آبخوان و به‌تبع تشدید افت تراز آب زیرزمینی خواهد شد. این در حالی است که اجرای طرح، تغذیه مجدد آن را کاهش خواهد داد. آن‌ها دریافتند که مدیریت اقتصادی کارآمد تنها در شرایطی خاص می‌تواند برخی از عواقب نامطلوب انتقال آب را کاهش دهد.

همچنین آتشخوار و همکاران(۱۳۹۱) به بررسی وضعیت آبخوان‌هایی پرداختند که تحت تأثیر پروژه انتقال آب از سرشاخه‌های رود کارون به مناطق مرکزی ایران از طریق تونل بهشت‌آباد قرار می‌گیرند. نتایج تحقیق نشان داد که

دشت‌های شهرکرد، کیار شلمزار و جونقان که در محل برخورد تونل می‌باشند، دارای شرایط بحرانی هستند به‌گونه‌ای که حفر تونل بهشت‌آباد ۶۶ میلیون مترمکعب در سال از آبدهی چشمه‌ها و قنوات موجود در محدوده مسیر تونل خواهد کاست و این امر موجب کاهش آبدهی چاه‌های آب دشت‌های مذکور به میزان ۵۰ میلیون مترمکعب در سال گردیده و احتمال نشست زمین را افزایش می‌دهد.

خلیلی و همکاران(۱۳۹۱) به بررسی نقش تغییر اقلیم بر انتقال آب بین حوضه‌ای از زاب به دریاچهٔ ارومیه پرداختند. آنان روند جریان رودخانهٔ زاب را در سه مقطع زمانی ماهانه، فصلی و سالانه با روش من-کندال و کندال فصلی در سطوح معنی‌داری ۱٪ و ۱۰٪ مورد آزمون قراردادند و به این نتیجه رسیدند که جریان رودخانهٔ زاب در مدت ۳۰ سال گذشته و در سه مقیاس زمانی، روند نزولی معناداری دارد و با توجه به روند افزایشی درجه حرارت در منطقه، انتقال بی‌رویه آب از این حوضه به دریاچهٔ ارومیه نتایج مخربی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضهٔ زاب و محیطزیست منطقه خواهد گذاشت.

امامی(۱۳۹۱) چالش‌های زمین‌شناختی اجزای مختلف پروژه ملی انتقال آب بهشت‌آباد به فلات مرکزی ایران را موردبررسی قرارداد و به این نتیجه رسید که عبور مسیر تونل از مرز پهنه‌های زمین ساختی زاگرس مرتفع و سنندج-سیرجان که در بر دارنده ۱۰ سیستم گسلی با بیش از ۲۵ شاخه اصلی و بیش از همین تعداد گسل فرعی می‌باشد همراه با کارستیفیکاسیون گسترده سازند سروک(دوران دوم زمین‌شناسی)، موجب بر هم‌خوردن تعادل هیدروژئولوژیکی آبخوان-های کارستیک و حتی آبرفتی شرق استان شده و خشک شدن چشمه‌ها و چاه‌های کارستیک مهمی مانند چشمه سلم، پل تلفریک و چشمهٔ آب شرب روستای سلم، چشمهٔ وقت و ساعت ولری، چاه آب شرب فرخ شهر و منابع آب دشت شهرکرد و خراجی را موجب خواهد شد.

ووراکیج‌تامرونگ و کلاکی(۲۰۱۳) به مطالعه انتقال آب بین حوضه‌ای از طریق رودخانهٔ تِز و اثرات آن بر مخازن آب زیرزمینی در کشور انگلستان پرداختند. نتایج نشان داد که از کل میزان آب رهاشده از سد کاو گرین در حدود ۱۷/۵ درصد به‌صورت موقت در کناره‌های رود ذخیره می‌شود. علاوه بر این، مناطق ۴ و ۵ مدل رودخانه شامل نواحی پایین‌دست آن، با مقدار قابل‌توجهی رسوب‌گذاری آبرفت، از بهترین سایت‌های ذخیره‌سازی با مقادیر ۴/۵ و ۶/۷ درصد از کل آب رهاشده از مخزن بود.

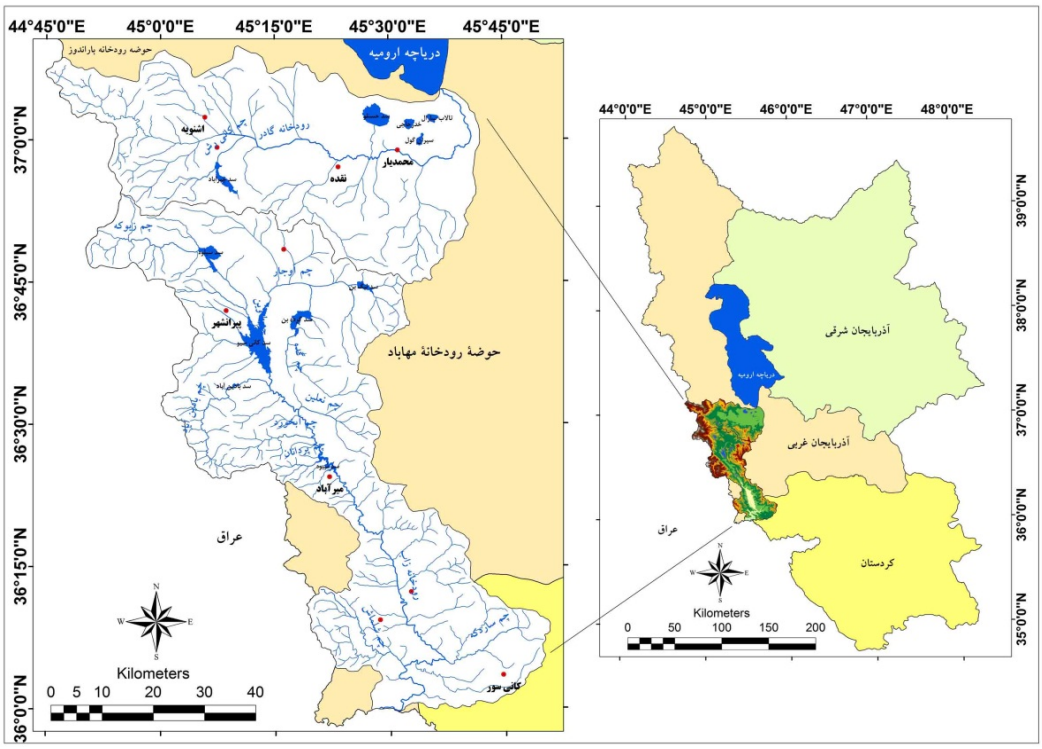
همچنین(هی[1]، ۱۹۸۶)، (الیزابت[2]، ۲۰۰۰)، (حسن و ماتت[3]، ۲۰۰۶)، هانتر[4]، ۲۰۰۹)، (یان و همکاران[5]، ۲۰۱۰) و (گوهری و همکاران،۲۰۱۳) هرکدام در مقالات جداگانه‌ای به بررسی پیامدهای انتقال آب بین حوضه‌ای پرداخته‌اند که در آن‌ها، بیشتر از زاویه زیست‌محیطی و مسائل اجتماعی – اقتصادی به پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای پرداخته‌شده است. در این تحقیق تلاش گردیده است تا از دیدگاه ژئومورفولوژی، به پیامدهای کاهش جریان آب در حوضهٔ رودخانهٔ زاب(مبدأ) ناشی از اجرای پروژه انتقال آب از حوضهٔ آبریز رودخانهٔ زاب به دریاچهٔ ارومیه و تأثیر آن بر وضعیت مخازن آب زیرزمینی دشت پیرانشهر و مورفولوژی زمین پرداخته شود. تا با شناسایی این چالش‌ها، و ارائه راهکارهای مناسب، خسارت اجرای این طرح به حداقل و مزایای آن به حداکثر برسد.

معرفی حوضهٔ موردمطالعه

حوضهٔ آبریز رودخانهٔ زاب، به‌عنوان حوضهٔ مبدأ، و حوضهٔ آبریز رودخانهٔ گادَر، در مرز شمالی حوضهٔ آبریز زاب به‌عنوان حوضهٔ مقصد، در جنوب غربی استان آذربایجان غربی قرار دارند. ازنظر مختصات جغرافیایی حوضهٔ زاب بین ˝۳۰ ´۵۹ °۳۵

[1]. Hey
[2]. Elizabeth
[3]. Hassan & Matete
[4]. Hanter
[5]. Yan and et al

تا ″۲۰ ′۵۴ °۳۶ عرض شمالی و ″۱۰ ′۵۰ °۴۴ تا ″۴۰ ′۵۰ °۴۵ طول شرقی و حوضهٔ گادر بیـن ″۴۵ ′۴۴ °۳۶ تا ″۵۵ ′۹ °۳۷ عرض شمالی و ″۵۰ ′۴۴ °۴۴ تا ″۵ ′۴۲ °۴۵ طول شرقی واقع‌شده‌اند. مساحت حوضهٔ زاب تا محل تلاقی رود چومان ۳۳۸۳/۱۱ و حوضهٔ گادر ۲۲۲۵/۱۲ کیلومترمربع می‌باشد(شکل ۱).



شکل۱: موقعیت جغرافیایی حوضه‌های آبریز زاب و گادَر

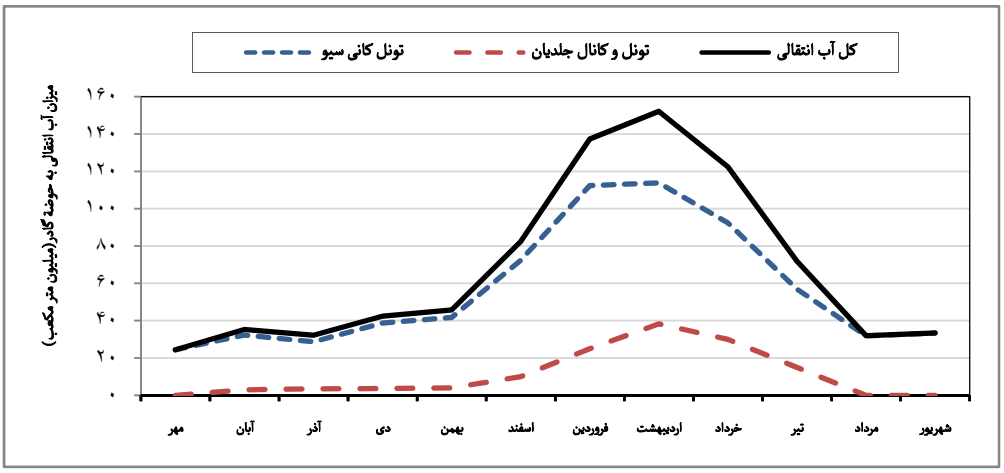
رودخانهٔ زاب از ارتفاعات سیاه کوه واقع در مرز ایران و عراق به نام رود لاوین سرچشمه می‌گیرد با دریافت شاخه‌های زیوکه، تمرچین، قلعه‌تراش، آوجار، بادین‌آباد، نعلین، آبخورده، پردانان و در مرز ایران و عراق در نزدیکی آبادی هرزنه، پس از دریافت شاخه پرآب چومان، وارد خاک عراق می‌شود. حداکثر جریان ماهانه رودخانهٔ زاب به میزان ۱۳۳/۶ مترمکعب بر ثانیه و معادل ۳۵۷/۸۳۴ میلیون مترمکعب در اردیبهشت‌ماه و حداقل جریان ماهانه ۸/۱ مترمکعب در ثانیه و معادل ۵۶/۷۶۵ میلیون مترمکعب در شهریورماه در ایستگاه هیدرومتری گرژال بوده است. بیشترین جریان سالانه رود زاب در همین ایستگاه ۴۵/۱ مترمکعب بر ثانیه و برابر ۱۴۲۲/۲۷۴ میلیون مترمکعب و کمترین جریان سالانه ۸/۴ مترمکعب بر ثانیه و معادل ۲۶۴/۹۰۲ میلیون مترمکعب در سال است(شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۳). ازنظر اقلیمی این منطقه، یکی از بیشینه‌های بارشی در غرب ایران می‌باشد میزان بارش سالانه ۷۰۱/۵ میلی‌متر و میانگین دما ۱۱/۹ درجه سلسیوس است.

از دیدگاه تقسیمات واحدهای ساختمانی- رسوبی ایران، حوضهٔ آبریز رودخانه‌های زاب و گادَر در محدوده کمربند دگرگونی و افیولیتی زون سنندج- سیرجان می‌باشد. این زون یکی از فعال‌ترین و ناآرام‌ترین واحدهای ساختمانی ایران می‌باشد و مراحل مهم دگرگونی را تحمل کرده است(خضری و همکاران، ۱۳۸۵). رخنمون‌های منطقه را سنگ‌های گوناگونی ازلحاظ ترکیب و سن پدید آورده است که به‌طور عمده دربرگیرنده سنگ‌های آذرین، رسوبی، دگرگونی از پرکامبرین تا عهد حاضر است. واحدهای کربناته و سنگ‌های ولکانیک به علت پایداری در برابر فرسایش بلندترین ارتفاعات منطقه را ساخته‌اند، حال‌آنکه واحدهای شیلی و ماسه‌ای نقاط پست منطقه را پدید آورده‌اند. فشارهای وارده بر منطقه باعث شکستگی‌های فراوان شده است. ازجمله این گسل‌ها، گسل فعال پیرانشهر می‌باشد که درواقع دنبالهٔ گسل سرتاسری زاگرس بوده و به طول ۹۰ کیلومتر از پیرانشهر تا سردشت امتداد دارد(قهرودی و همکاران، ۱۳۹۲).

دشت پیرانشهر از آبرفت‌های کواترنر پوشیده شده است. نهشته‌های آبرفتی این دشت حاصل فعالیت رودخانه زاب و سیلاب‌های فصلی رودخانه‌هایی نظیر لاوین و شاخه‌های فرعی دیگر از ارتفاعات سیاه‌کوه و رودخانه‌های لگ بن و گده از کوه‌های میدان استر می‌باشد.

معرّفی پروژه انتقال آب بین حوضه‌ای

به‌طورکلی پروژه انتقال آب از حوضهٔ آبریز رودخانهٔ زاب به دریاچهٔ ارومیه شامل مجموعه طرح‌های سیستم جمع‌آوری آب از شاخه‌های بالادست رودخانهٔ زاب و همچنین تونل‌های انتقال از دریاچهٔ سدهای مخزنی کانی سیو و سیلوه به حوضهٔ رودخانهٔ گادر و درنهایت دریاچهٔ ارومیه می‌باشد. بر اساس این طرح، مقدار بهینه کل آب انتقالی از حوضهٔ زاب به حوضه گادَر به‌طور متوسط، سالانه ۸۱۱/۳ میلیون مترمکعب است که ۶۷۸/۸ میلیون مترمکعب آن با استفاده از تونل کانی‌سیو و بقیه آن از طریق تونل جلدیان انتقال داده می‌شود. در این حالت متوسط سالیانه آب خروجی از مرز ۸۱۷/۲ میلیون مترمکعب خواهد بود(طبری و یزدی[1]، ۲۰۱۴) (شکل ۲). مدت‌زمان اجرای پروژه پنج سال تعیین‌شده است که در صورت جلوگیری از هرگونه اتلاف وقت و اعتبار رسانی به‌موقع تا سال ۱۳۹۶ به بهره‌برداری خواهد رسید.

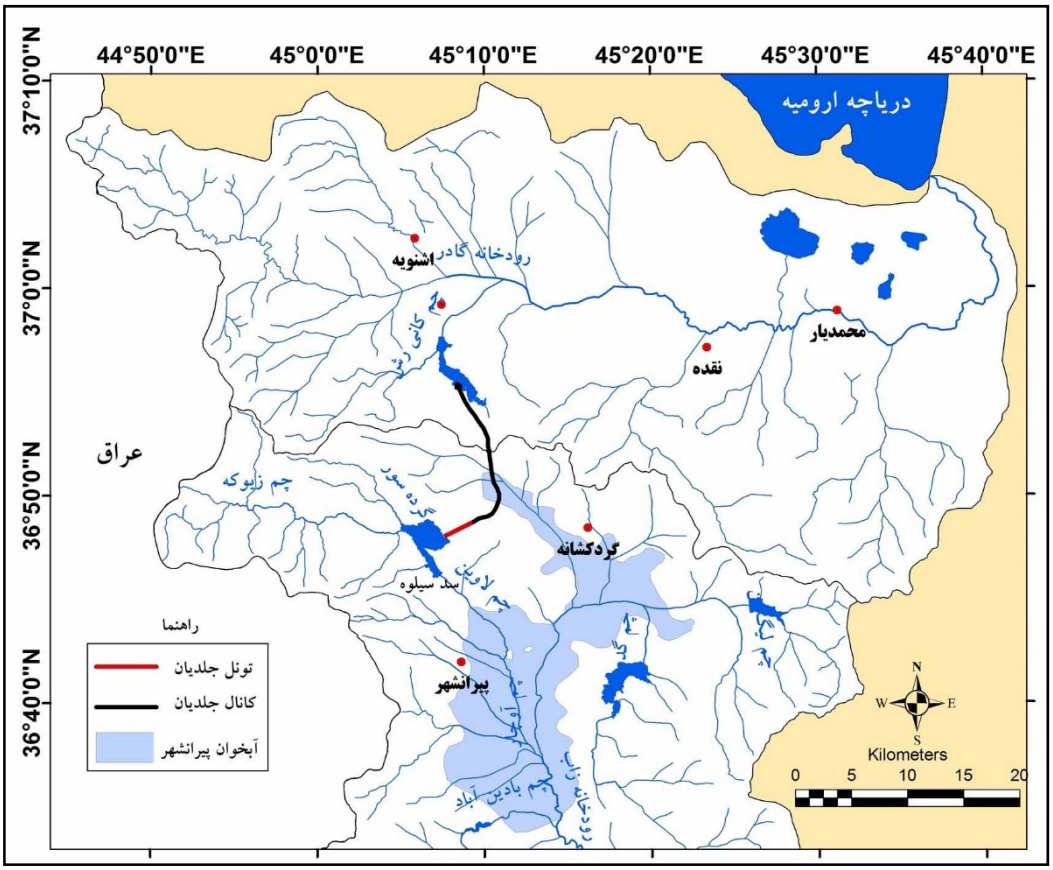


شکل۲: متوسط بلندمدت میزان بهینه آب انتقالی از حوضهٔ رودخانهٔ زاب به حوضهٔ رودخانهٔ گادَر به میلیون مترمکعب (طبری و یزدی۲، ۲۰۱٤)

بخشی از این پروژه که موضوع موردمطالعه این تحقیق می‌باشد شامل انتقال آب از سد سیلوه به رودخانهٔ گادر است(شکل۳).

مطابق این طرح با احداث سد مخزنی سیلوه بر روی رودخانهٔ لاوین در ۱۳ کیلومتری شمال شهر پیرانشهر، با گنجایش ۱۶۳ میلیون مترمکعب، سالانه ۱۳۲/۵ میلیون مترمکعب آب از طریق حفر تونلی به طول ۸۴۱ متر و کانال جلدیان به طول ۲۱ کیلومتر، به سد چپرآباد بر روی رود کانی‌رَش در حوضهٔ رودخانهٔ گادَر منتقل می‌گردد. آبخوان پیرانشهر در زیر دشت پیرانشهر و در پایین‌دست سد سیلوه به وسعت ۲۲۵ کیلومترمربع واقع‌شده است.

[1] . Tabari & Yazdi
[2] . Tabari & Yazdi



شکل۳: نقشه طرح انتقال آب از سرشاخه لاوین در حوضه زاب به حوضهٔ رود گادر و موقعیت آبخوان پیرانشهر.

مواد و روش تحقیق

روش تحقیق عمدتاً بر پایه روش تحلیلی استوار بوده است. داده‌ها، لایه‌های اطلاعاتی و مدارک موردنیاز این تحقیق به شرح ذیل می‌باشند که به‌منظور گردآوری آن‌ها از طریق روش کتابخانه‌ای، مراجعه به سازمان‌ها وادارات، سایت‌های اینترنتی و مشاهدات میدانی، اقدام شده است:

- تصاویر *GDEM* ماهوارهٔ *ASTER* باقدرت تفکیک ۱۵ متر که لایه‌های رستری سطوح ارتفاعی، زیر حوضه‌ها، شیب و جهت شیب دامنه‌ها در حوضه با اندازه پیکسل‌های ۲۰ متر از آن تهیه گردیده است.
- داده‌های اقلیمی ازجمله آمار بارش حوضه از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه استخراج شده است.
- آمار مرتبط با هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقهٔ موردمطالعه، از شرکت مدیریت منابع آب ایران دریافت شده است.
- داده‌های ساختمانی و لیتولوژیکی که از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ اشنویه، سیلوانه و پیرانشهر استخراج شده است.
- همچنین برای تکمیل سایر داده‌ها و انطباق نتایج با وضع موجود، عملیات میدانی انجام‌شده است.

در این راستا، به‌منظور ارزیابی رابطه بین حجم دبی رودخانهٔ لاوین و تراز آب زیرزمینی دشت پیرانشهر و پیش‌بینی میزان تغییرات، از روش‌های مختلف رگرسیون دومتغیره برای تهیه مدل‌های رگرسیونی استفاده شد. به همین منظور از نتایج آنالیز داده‌های دبی رودخانهٔ لاوین و تراز آب‌های زیرزمینی حاصل از ۲۰ چاه پیزومتریک در محدوده آبخوان پیرانشهر در یک دور ۱۲ ساله(۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳) استفاده‌شده است.

جدول ۱: آمار تراز آب زیرزمینی دشت پیرانشهر و حجم دبی رودخانهٔ لاوین در یک دور ۱۲ ساله(۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳)

سال آبی	حجم جریان/میلیون مترمکعب	میانگین تراز آب چاه/متر
۱۳۸۱-۸۲	۲۷۰/۰۰	۱۴۳۱/۵۸
۱۳۸۲-۸۳	۲۴۴/۴۴	۱۴۳۱/۶۲
۱۳۸۳-۸۴	۲۳۰/۲۹	۱۴۳۱/۰۴
۱۳۸۴-۸۵	۱۶۵/۹۹	۱۴۳۰/۳۲
۱۳۸۵-۸۶	۲۵۲/۱۱	۱۴۳۰/۹۰
۱۳۸۶-۸۷	۱۶۱/۲۵	۱۴۳۰/۳۹
۱۳۸۷-۸۸	۱۷۸/۶۰	۱۴۲۹/۶۲
۱۳۸۸-۸۹	۲۰۸/۹۰	۱۴۲۸/۷۳
۱۳۸۹-۹۰	۸۶/۱۲	۱۴۲۸/۰۷
۱۳۹۰-۹۱	۱۶۵/۵	۱۴۲۶/۷۹
۱۳۹۱-۹۲	۱۲۹/۲۵	۱۴۲۶/۶۳
۱۳۹۲-۹۳	۹۳/۶۵	۱۴۲۶/۴۱
میانگین	۱۸۲/۱۷۵	۱۴۲۹/۳۴

مآخذ: شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، ۱۳۹۳.

و سپس به‌صورت معادلات زیر، اقدام به تعیین انواع مدل‌های رگرسیونی دومتغیره در حالت‌های گوناگون خطی، لگاریتمی، معکوس، توانی، نمایی، درجه‌دو، درجه سه، منحنی رشد، ترکیبی و حالت S با کمک نرم‌افزار SPSS18 گردید:

مدل خطی Linear…….$Y = b_o + b_1 x$

مدل لگاریتمی Logarithmic….. $Y = b_o + b_1 \, log \, x$

مدل معکوس Inverse…….. $Y = b_o + b_1/x$

مدل درجه دوم Quadratic……$Y = b_o + b_1 x + b_2 x^2$

مدل چرخهٔ سوم Cubic…….. $Y = b_o + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3$

مدل ترکیبی Compound…….. $Y = b_o \, b_1 x$

مدل توانی Power…….. $Y = b_o x^{b1}$

شکل S مدل S…….. $Y = e^{bo+b1/x}$

مدل منحنی رشد Growth…….. $Y = e^{bo+b1x}$

مدل نمایی Exponential…….. $Y = b_o e^{b1x}$

همچنین به‌منظور نرمال‌سازی داده‌ها از دو آزمون کلموگروف- اسمیرنوف و شاپیرو- ویلک استفاده‌شده است.

جهت پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی دشت پیرانشهر از روش تحلیل مکانی و فضایی استفاده‌شده است که در آن با در نظر گرفتن جهت، مکان و فاصله نمونه‌ها، همبستگی و وابستگی فضایی الگوهای فضایی محاسبه و همچنین توزیع فضایی و قوانین پراکندگی متغیرهای سازمان‌یافته اندازه‌گیری شده است. از میان روش‌های مختلف تحلیل مکانی و فضایی، از روش درون‌یابی وزنی معکوس فاصله(IDW[1]) در محیط ArcGIS بهره گرفته شد. فرض اساس این روش بر آن است که با افزایش فاصله، میزان تأثیر پارامترها در برآورد واحد سطح کاهش می‌یابد. بدین ترتیب که به

[1]. Inverse Distance Weighted

نقاط نزدیک محل نمونه وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتری اختصاص می‌یابد. با استفاده از تابع زیر می‌توان مقادیر مربوط به نقاط مختلف را به دست آورد(ذبیحی و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۰۷):

$$z = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{z_i}{d_i^m}}{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{d_i^m}}$$

که در آن:

z_i : مقادیر نمونه؛

d_i : فاصله اقلیدسی هر مکان تا محل نمونه؛

m : عامل توان(اصطکاک فاصله)؛

n : تعداد نقاط نمونه.

در فرآیند تأیید و انتخاب مدل‌های رگرسیونی به‌منظور پیش‌بینی افت تراز آب زیرزمینی، از معیارهای مهم ارزیابی خطای نسبی تخمین(RE) به درصد، مجذور میانگین مربعات خطا(RMSE)، ضریب همبستگی(R^2) و درنهایت ضریب کارایی(CE) به‌صورت ارائه‌شده در روابط زیر، استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^{i-1}(Qo-Qe)^2}{n}} \qquad RE = \left|\frac{Qo-Qe}{Qo}\right| \times 100 \qquad CE = \frac{\frac{1}{n}\sum_1^{i-1}(Qo-\overline{Qo})^2 - \frac{1}{n}\sum_1^{i-1}(Qo-Qe)^2}{\frac{1}{n}\sum_1^{i-1}(Qo-\overline{Qo})^2}$$

که در آن‌ها:

Qo = مقدار مشاهده‌ای متغیر وابسته؛

Qe = مقدار تخمینی متغیر وابسته؛

$\overline{\mathrm{Qo}}$ = میانگین مقادیر مشاهده‌ای؛

n = تعداد مشاهدات می‌باشد(قضاوی و همکاران، ۱۳۹۲).

و درنهایت از طریق بررسی ویژگی‌های ساختمانی و لیتولوژیکی حوضه و انجام عملیات میدانی، نواحی مستعد نشست زمین شناسایی گردید.

نتایج و بحث

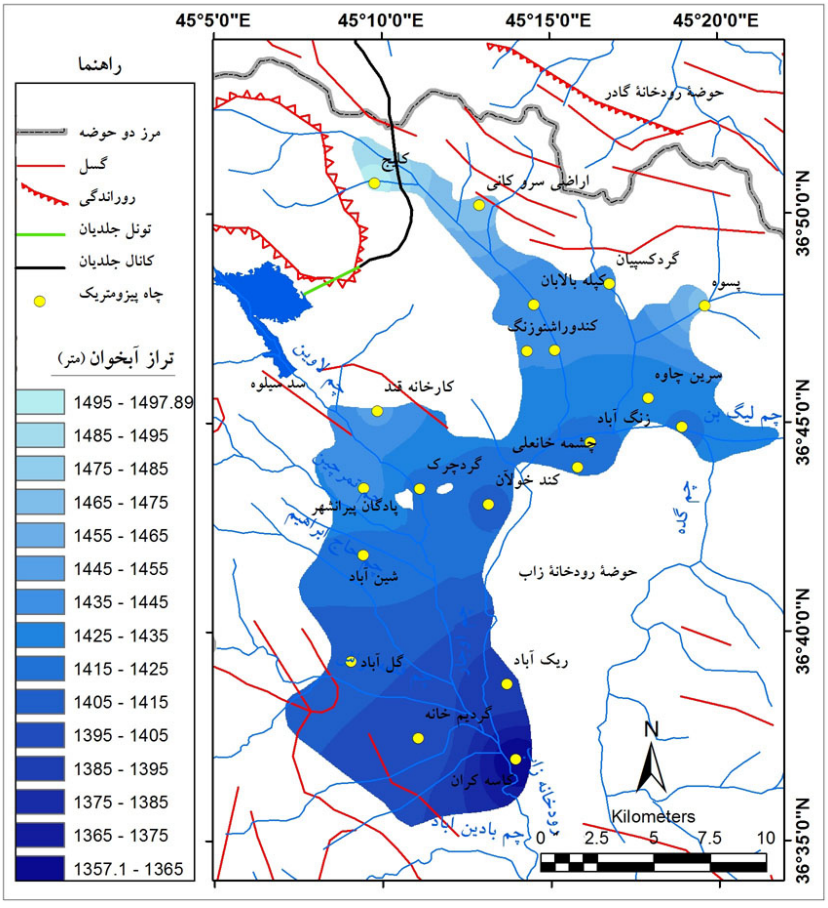
منابع آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی، سیستم‌های پیوسته‌ای هستند که به‌طور دائم باهم در فعل‌وانفعال می‌باشند، آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی منابعی مجزا و منفک از هم نیستند بلکه از منظرهای مختلفی همچون فیزیوگرافیک و آب و هوایی باهم در ارتباط و تبادل هستند(Sophocleous, 2002). در محدوده موردمطالعه، جایی که سیستم آب‌های سطحی توسط پروژه انتقال آب بین حوضه‌ای تحت تأثیر قرار می‌گیرد، سؤال این است که در اثر انتقال بخش عمده‌ای از حجم جریانات سطحی در حوضهٔ مبدأ، چه تغییراتی در حجم منابع آب زیرزمینی و مورفولوژی زمین در پایین‌دست پروژه، اتفاق می‌افتد؟

متوسط آمار حجم دبی رودخانهٔ لاوین در یک دور ۲۲ ساله(۱۳۷۲ تا ۱۳۹۳) در حدود ۱۹۶/۳۹ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که پس از اجرای پروژه انتقال آب به حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه، این میزان به ۶۳/۸۹ میلیون مترمکعب کاهش خواهد یافت(جدول ۲).

جدول۲: متوسط دبی رودخانهٔ لاوین در ایستگاه سیلوه در یک دور ۲۲ ساله(۱۳۷۲ تا ۱۳۹۳) و حجم دبی آن بعد از اجرای پروژه

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	میانگین سالانه
حجم دبی به میلیون مترمکعب	۲/۸۹	۶/۱۰	۴/۴۸	۴/۲۶	۴/۳۳	۸/۲۳	۲۱/۸۴	۵۹/۰۴	۵۵/۹۷	۲۰/۲۱	۶/۰۰	۳/۰۴	۱۹۶/۳۹
مقدار بهینه انتقال از طریق تونل جلدیان	۰/۰۰	۳/۰۰	۳/۵۰	۳/۷۰	۴/۰۰	۸/۰۰	۲۰/۰۰	۴۱/۳۰	۳۴/۰۰	۱۵/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۳۲/۵۰
حجم جریان پس از اجرای پروژه	۲/۸۹	۳/۱۰	۰/۹۸	۰/۵۶	۰/۳۳	۰/۲۳	۱/۸۴	۱۷/۷۴	۲۱/۹۷	۵/۲۱	۶/۰۰	۳/۰۴	۶۳/۸۹

بر اساس روش درون‌یابی وزنی معکوس فاصله(IDW[1]) سطوح ارتفاعی آب زیرزمینی دشت پیرانشهر در شکل ۴ نشان داده‌شده است. مطابق نقشه تراز آب زیرزمینی در بخش شمالی آبخوان ۱۴۹۵ متر و در بخش جنوبی آبخوان ۱۳۵۷ متر ارتفاع دارد. بنابراین جهت جریان آب زیرزمینی عمدتاً از جهت جریان‌های سطحی و شیب توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند. بر همین اساس، ازآنجاکه دشت پیرانشهر به لحاظ توپوگرافی نامتقارن است و رودخانهٔ زاب در کناره‌های شرقی دشت جریان دارد، جهت جریان آب زیرزمینی در دشت پیرانشهر از شمال و شمال‌غرب و غرب به سمت جنوب و شرق و درنهایت رودخانهٔ زاب می‌باشد.



شکل٤: نقشه پراکندگی چاه‌های پیزومتریک و سطوح ارتفاعی آب زیرزمینی دشت پیرانشهر.

همچنین داده‌ها با استفاده از دو آزمون کلموگروف- اسمیرنوف و شاپیرو- ویلک نرمال‌سازی گردید.

[1]. Inverse Distance Weighted

جدول ۳: نرمال‌سازی داده‌ها با استفاده از دو آزمون کلموگروف- اسمیرنوف و شاپیرو- ویلک

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
دبی رود لاوین	۰/۱۲۰	۱۲	*۰/۲۰۰	۰/۹۴۹	۱۲	۰/۶۲۵
تراز آب زیرزمینی	۰/۱۹۲	۱۲	*۰/۲۰۰	۰/۸۸۹	۱۲	۰/۱۱۴

*. This is a lower bound of the true significance. a. Lilliefors Significance Correction

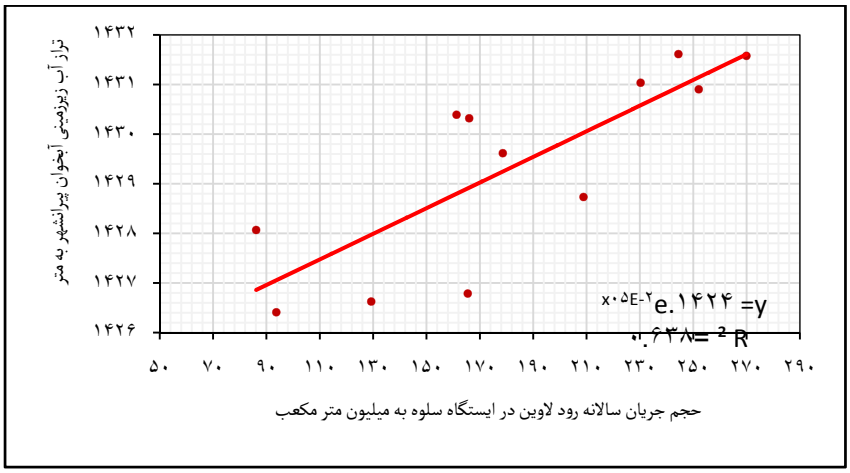
با توجه به جدول ۳ و مقادیر سطح معنی‌داری sig که در هر دو آزمون کلموگروف- اسمیرنوف و شاپیرو- ویلک، بیشتر از ۰/۰۵ شده است، فرض نرمال بودن توزیع متغیرهای دبی جریان و تراز آب زیرزمینی تأیید می‌شود.

نتایج حاصل از انواع مدل‌های رگرسیون دومتغیره به‌منظور ارزیابی رابطه بین حجم دبی رودخانهٔ لاوین و تراز آب زیرزمینی دشت پیرانشهر و پیش‌بینی میزان تغییرات در جدول ۴ آورده شده است که اعتبار نهایی مدل‌های به‌دست‌آمده با توجه به مقادیر قابل‌قبول خطای تخمین کمتر، مقادیر مجذور میانگین مربعات خطای کوچک‌تر، ضریب همبستگی بیشتر و ضریب کارایی بالاتر و نزدیک به یک، ارزیابی گردیده است.

جدول٤: متغیرهای آماری مربوط به ارزیابی روش‌های مختلف رگرسیون دومتغیره بین مقادیر حجم دبی و تراز آب زیرزمینی

models	R	R Square	Adjusted R Square	F	sig	Constant	b1	b2	b3	RE	RMSE	CE
Linear	۰/۷۹۹	۰/۶۳۹	۰/۶۰۳	۱۷/۶۹۱	۰/۰۰۲	۱۴۲۵	۰/۰۲۶	-	-	۰/۰۶۷	۱/۱۹۴	۰/۵۹۴
Logarithmic	۰/۷۷۵	۰/۶۰۰	۰/۵۶۰	۱۵/۰۲۶	۰/۰۰۳	۱۴۰۸	۴/۰۶۰	-	-	۰/۸۵۸	۱۲/۳۵۱	-۴۲/۴۷۱
Inverse	۰/۷۲۶	۰/۵۲۶	۰/۴۷۹	۱۱/۱۱۹	۰/۰۰۸	۱۴۳۳	-۵۵۰/۲۵۲	-	-	۰/۰۷۳	۱/۳۱۰	۰/۵۱۱
Quadratic	۰/۸۰۱	۰/۶۴۲	۰/۵۶۳	۸/۰۷۵	۰/۰۱۰	۱۴۲۶	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۰۳۳۹	-	۰/۰۶۸	۱/۲۰۷	۰/۵۸۵
Cubic	۰/۸۰۶	۰/۶۵۰	۰/۵۱۹	۴/۹۵۲	۰/۰۳۱	۱۴۳۱	-۰/۰۹۳	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۰۰۰۱۲	۰/۸۰۳	۱۳/۲۳۷	-۴۸/۹۳۶
Compound	۰/۷۹۹	۰/۶۳۹	۰/۶۰۳	۱۷/۶۷۸	۰/۰۰۲	۱۴۲۵	۱/۰۰۰	-	-	۰/۳۰۳	۴/۷۲۷	-۵/۳۶۹
Power	۰/۷۷۵	۰/۶۰۰	۰/۵۶۰	۱۵/۰۱۹	۰/۰۰۳	۱۴۰۹	۰/۰۰۳	-	-	۰/۱۱۲	۱/۹۷۸	-۰/۱۱۵
S	۰/۷۲۶	۰/۵۲۶	۰/۴۷۹	۱۱/۱۱۶	۰/۰۰۸	۷/۲۶۷	-۰/۳۸۵	-	-	۱/۹۶۶	۲۸/۱۲۸	-۲۲۴/۴۶۵
Growth	۰/۷۹۹	۰/۶۳۹	۰/۶۰۳	۱۷/۶۷۸	۰/۰۰۲	۷/۲۶۲	۰/۰۰۰۰۱۸	-	-	۱/۸۹۸	۲۷/۱۵۸	-۲۰۹/۱۸۱
Exponential	۰/۷۹۹	**۰/٦۳۹**	۰/۶۰۳	۱۷/۶۷۸	۰/۰۰۲	۱۴۲۵	۰/۰۰۰۰۱۸	-	-	**۰/۰٦٦**	**۱/۱۷۷**	**۰/٦۰۵**

با توجه به جدول۴ می‌توان استنباط نمود با در نظر گرفتن ضریب همبستگی و ضریب کارایی بیشتر و مقادیر خطای نسبی تخمین و مجذور میانگین مربعات خطای کمتر، «معادله نمایی» جهت نمایش میزان همبستگی میان حجم دبی رودخانهٔ لاوین و تراز آب زیرزمینی در دشت پیرانشهر قابلیت بیشتری دارد. گرچه استفاده از «معادله خطی» نیز با پذیرش سطح بیشتر خطا قابل‌استفاده است اما نظر به این‌که هدف، رسیدن به مدل‌های بهینه می‌باشد، لذا مدلی که از ضریب کارایی و همبستگی بیشتر و خطای کمتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار باشد، انتخاب و به کار گرفته می‌شود(شکل ۵).



شکل۵: رابطه دبی رودخانهٔ لاوین و سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی در یک دور ۱۲ ساله(۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳) با استفاده از معادله نمایی.

$$Y = 1424.6e^{2E-05x} = 1424.6 \times 2.711^{(0.00002\times 63.89)} = 1426.4166$$

نظر به اینکه میانگین تراز آب‌های زیرزمینی آبخوان پیرانشهر در یک دور ۱۲ ساله ۱۴۲۹/۳۴ متر از سطح دریای آزاد می‌باشد(جدول ۱). پس از اجرای پروژه انتقال آب از سد سیلوه به حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه، و کاهش حجم دبی رودخانهٔ لاوین از ۱۹۶/۳۹ به ۶۳/۸۹ میلیون مترمکعب، تراز آب‌های زیرزمینی به‌طور متوسط در حدود ۲/۹۲ متر پایین رفته و به ۱۴۲۶/۴۱۶۶ متر کاهش خواهد یافت. لازم به ذکر است رودخانهٔ لاوین تنها جریان سطحی دشت پیرانشهر نیست بلکه از سمت شمال‌شرق حوضه، رودخانهٔ آوجار که از به هم پیوستن دوشاخه مهم چم گده و چم لگ بن تشکیل می‌شود تمام دشت پیرانشهر را طی نموده و در انتهای دشت به رود لاوین می‌پیوندد(شکل ۴). بنابراین توجیه‌پذیر خواهد بود باوجوداینکه بیش از ۶۷٪ از جریان آب رود لاوین به حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه منتقل خواهد شد ۲/۹۲ متر از تراز آب‌های زیرزمینی دشت پیرانشهر کاهش خواهد یافت. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج تحقیق کَنپ و همکاران(۲۰۰۳) مبنی بر تشدید افت تراز آب زیرزمینی در منطقه کِرن واقع در ایالت کالیفرنیا در اثر انتقال آب به حوضهٔ مجاور به‌منظور استفاده شهری و زیست‌محیطی، انطباق دارد.

آتشخوار و همکاران(۱۳۹۱) نیز در مطالعات خود به نتایج مشابهی دست یافتند. آنان پیش‌بینی کردند در اثر اجرای پروژه بهشت‌آباد، تراز آب زیرزمینی دشت‌های شهرکرد، کیار شلمزار و جونقان کاهش می‌یابد به‌گونه‌ای که ۶۶ میلیون مترمکعب در سال از آبدهی چشمه‌ها و قنوات و ۵۰ میلیون مترمکعب آبدهی چاه‌های آب دشت‌های مذکور در محدوده مسیر تونل کاهش خواهد یافت.

نتایج اندازه‌گیری‌های ماهانه سطح آب زیرزمینی به‌وسیله چاه‌های مشاهده‌ای در سال‌های آبی ۸۲-۱۳۸۱ الی ۹۳-۱۳۹۲ نشان‌دهنده افت ممتد سطح آب زیرزمینی بوده است، به‌طوری‌که افت تجمعی تراز آب در این دور ۱۲ ساله معادل ۵/۲ متر و متوسط سالانه آن ۴۳/۳ سانتیمتر گزارش‌شده است(شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، ۱۳۹۳).

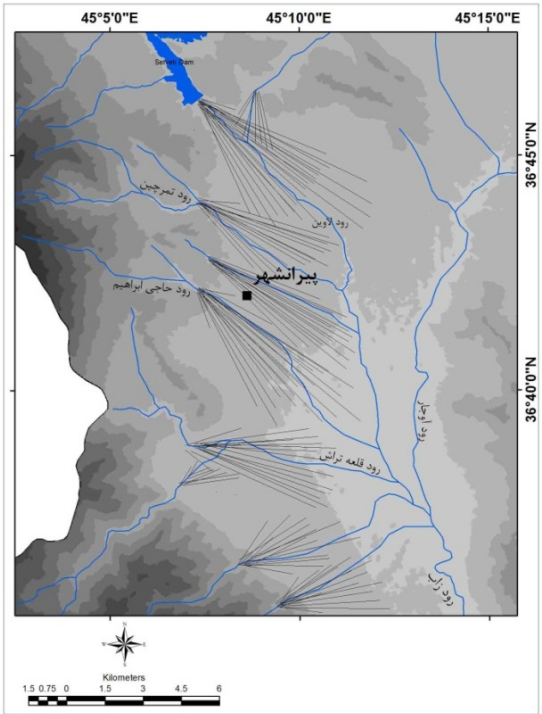
کاهش تراز ذخایر آب زیرزمینی مهم‌ترین علت فرونشینی سطح زمین است. استخراج آب موجب کاهش فشار آن در مخزن زیرزمینی می‌گردد و مستقیماً به افزایش تنش مؤثر یا فشار دانه به دانه و تراکم(فشردگی) منجر می‌شود. لایه‌های رسی ریزدانه بسیار تراکم پذیرند، اما تنظیم فشار تخلخل آن‌ها کند، وابسته به زمان و دائمی است(رنجبر و جعفری، ۱۳۸۸، ۱۶۲).

در ایران رسوبات آبرفتی جدید مربوط به دور کواترنر دارای بافت سست و فرسایش‌پذیر هستند. جنس سنگ کف منطقهٔ موردمطالعه از نوع نهشته‌های رسوبی پلیوکواترنر است که از کنگلومرای سست بامیان لایه‌های ماسه، سیلت و

رس است. دشت پیرانشهر روی رسوبات آبرفتی کواترنری قرارگرفته است. این رسوبات به شکل رسوبات رودخانه‌ای و پادگانه‌های آبرفتی بوده و از قطعات گراول و ماسه در حاشیه دشت و در محل تماس با کوهستان تا سیلت و رس در قاعده مخروط‌افکنه‌ها تشکیل‌شده‌اند که جنس قطعات آن‌ها از تمام واحدهای سنگی موجود در ارتفاعات منطقه می-باشد(رضازاده و عباسی، ۱۳۹۲).

به‌طورکلی این دشت مشتمل بر تعداد زیادی مخروط‌افکنه است که در محل خروج رودهای آوجار، لاوین، تمرچین، حاج ابراهیم ، قلعه تراش و سوغانلو از کوهستان و ورود آن‌ها به دشت پیرانشهر به وجود آمده‌اند(شکل ۶). حاشیه شمال، شمال‌غرب و غربی دشت پیرانشهر که منطبق بر رأس مخروط‌افکنه‌ها می‌باشد از رسوبات آبرفتی دانه‌درشت و منفصل تشکیل‌شده است. در این بخش از دشت پیرانشهر به علت وجود سفره‌های ماسه‌ای، کاهش تراز آب زیرزمینی، می‌تواند موجب نشست سطح زمین به‌صورت ناگهانی گردد. هر چه در جهت شیب توپوگرافی از رأس مخروط‌افکنه‌ها به سمت قاعده آن‌ها پیش می‌رویم از قطر ذرات رسوبی کاسته شده به‌طوری‌که در بخش شرقی و جنوبی دشت، خاک‌های رسی و مارنی سطح منطقه را پوشانیده‌اند. خاک‌های رسی به علت پوکی و تخلخل زیاد مقدار نشست بیشتری دارند و با کاهش فشار آب منفذی و به نسبت افزایش تنش مؤثر، میزان فرونشینی افزایش می‌یابد ولی به دلیل ریز بودن ذرات خاک، پدیدهٔ نشست زمین در این بخش از دشت تدریجی خواهد بود.

با توجه به اینکه کناره‌های دشت پیرانشهر در محل کوهپایه‌ها دارای شیبی در حدود ۳ تا ۴ درصد می‌باشد و از طرف دیگر لایه‌های فوقانی دشت پیرانشهر از رسوبات جوان کواترنر تشکیل‌شده است و چندان یکنواخت و مستحکم نیست در صورت بروز مخاطره نشست زمین، ممکن است مؤلفه‌های حرکت افقی نیز ایجاد شود.

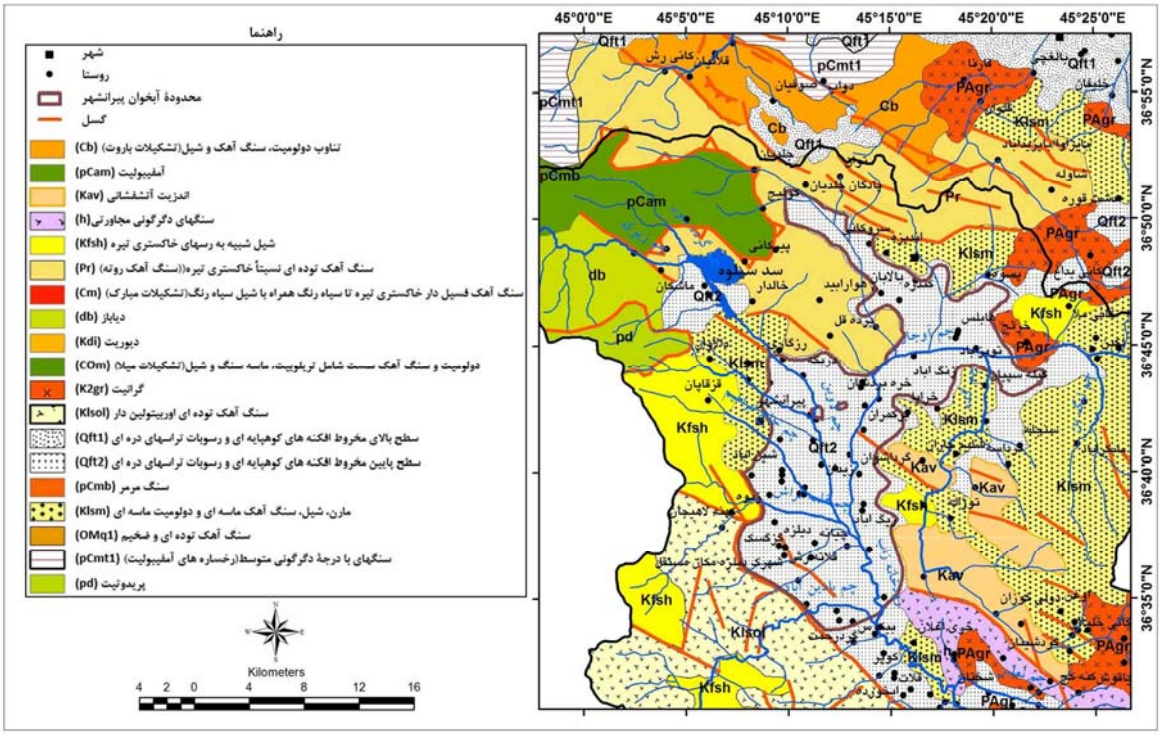


شکل ٦: موقعیت مخروط افکنه‌ها در حاشیه غربی دشت پیرانشهر

بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی آبخوان پیرانشهر که در امتداد سراشیبی‌های تند و در مجاور ارتفاعات محدودکننده دشت پیرانشهر قرار دارند منطبق بر گسل مهم پیرانشهر است. این گسل امتداد شمال‌غربی گسل سرتاسری زاگرس می-باشد که به طول بیش از ۱۰۰ کیلومتر از فاصله حدود یک کیلومتری شرق ساختگاه بند بادین‌آباد و روستاهای گزگسک، گل‌آباد و کاسوره‌ده با راستای N130E عبور می‌کند، و در این راستا واحدهای کواترنری در بخش شرقی را در کنار واحدهای سنگی به سن کرتاسه در بخش غربی قرار می‌دهد(شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۳). پس از اجرای

پروژه انتقال آب از حوضهٔ آبریز زاب به دریاچهٔ ارومیه و افت سطح آب زیرزمینی، پیش‌بینی می‌شود در این بخش از حوضه و در امتداد خط کنیک، شکاف‌های طولی کششی در زمین ایجاد شوند. این شکاف‌های کششی را می‌توان به افزایش خطی پدیدهٔ نشست از حاشیه ارتفاعات به سمت مرکز دشت نسبت داد. در این رابطه آنچه بیشتر نگران‌کننده خواهد بود موقعیت جغرافیایی شهر پیرانشهر است. این شهر دقیقاً در محل تماس ارتفاعات غربی با دشت پیرانشهر(خط کنیک) واقع‌شده است. در صورت نشست زمین و ایجاد شکاف در این بخش از حاشیه دشت، خسارات سنگینی به ساختمان‌ها و تأسیسات شهری وارد خواهد شد.

همچنین در بخش انتهایی مخزن سد کانی‌سیو و شمال روستای گرداشوان، گسل جدیدی بر پایه مطالعه عکس‌های هوایی و کنترل صحرایی شناسایی‌شده است. راستای این گسل NW-SE است که در فاصله میان دو کوه ساکان و جوزان، جداکننده کنگلومرای کرتاسه و پلمه سنگ‌های کرتاسه می‌باشد و زینواره مشخصی را میان دو کوه به وجود آورده است(شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۳). این گسل در راستای شمال‌غربی، آبرفت‌های جوان دور کواترنر را قطع می‌نماید. لذا ناپایداری این گسل می‌تواند پدیدهٔ نشست زمین در این بخش از آبخوان پیرانشهر را تسهیل نماید(شکل ۷). پدیده نشست معمولاً بلافاصله با خروج سیال رخ نمی‌دهد بلکه در زمان طولانی‌تر از برداشت آب اتفاق می‌افتد(Scott, 1979). مقدار نشست زمین‌بر اساس شرایط زمین‌شناسی منطقه و میزان فشار متغیر است که دامنه این تغییرات به ضخامت و تراکم‌پذیری لایه‌ها، طول زمان بارگذاری، درجه و نوع استرس بستگی دارد.



شکل۷: نقشه زمین‌شناسی محدوده موردمطالعه(اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ پیرانشهر)

گرچه ممکن است در مناطق در حال فرونشست، خرابی به میزان گسترده مشاهده نشود و حتی آثار سطحی حاصل از آن نیز به‌راحتی قابل‌تشخیص نباشد، اما بااین‌وجود به‌طورمعمول خسارت‌های ناشی از فرونشست‌ها و شکاف‌های زمین ترمیم‌ناپذیر، پرهزینه و مخرب می‌باشند. به‌عنوان نمونه فرونشست‌های احتمالی دشت پیرانشهر می‌توانند موجب تخریب سیستم‌های آبیاری و خاک‌های حاصلخیز کشاورزی(با پایین آوردن تخلخل آن‌ها)، خسارت به چاه‌ها در منطقه‌های فرونشست روستایی و شهری، تغییر هیدرولوژی منطقه و ایجاد سیلاب شوند.

از طرف دیگر اگرچه در اثر بالا آمدن سطح آب، ذخایر ثابت دوباره تجدید می‌گردد، ولی باید در نظر داشت که افت سطح آب زیرزمینی باعث نشست رسوبات(در ناحیه‌ای که افت صورت گرفته) و کاهش تخلخل آن‌ها می‌گردد. بنابراین بالا آمدن سطح آب نمی‌تواند ذخایر ازدست‌رفته را کامل نماید که این مسئله به دلیل کاهش تخلخل و ضریب ذخیره آبخوان در ناحیه افت است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که روند افت تراز آب زیرزمینی دشت پیرانشهر در پایین‌دست سد سیلوه، در دوره پس از انتقال آب به حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه تشدید خواهد شد. به‌طوری‌که بعد از اجرای پروژه تراز آب زیرزمینی تا ۲/۹۲ متر کاهش خواهد یافت این در حالی است که آب‌های زیرزمینی منطقه از یک‌روند کاهشی ۴۳/۳ سانتی‌متر در سال برخوردار است و این خود می‌تواند بحران را تشدید نماید. ازآنجاکه یکی از واکنش‌های طبیعی در برابر کاهش تراز آب زیرزمینی، نشست زمین است، از طرف دیگر دشت پیرانشهر بر رسوبات جوان آبرفتی مربوط به دوره کواترنر منطبق است، پیش‌بینی می‌شود حاشیه شمالی و غربی دشت که منطبق بر رأس مخروط‌افکنه‌ها و رسوبات دانه‌درشت است، نشست زمین به‌صورت ناگهانی و پایین‌دست دشت که منطبق بر قاعده مخروط‌افکنه‌ها و رسوبات مارن و رس است نشست زمین به‌صورت تدریجی خواهد بود. همچنین با استناد به گسل‌های فراوان ازجمله گسل سرتاسری زاگرس که از جنوب آبخوان پیرانشهر می‌گذرد، پیش‌بینی می‌شود نشست زمین و ایجاد شکاف در این بخش از حوضه افزایش یابد.

علاوه بر مخاطره نشست زمین، کاهش تراز آب زیرزمینی دشت پیرانشهر می‌تواند اثرات منفی زیست‌محیطی و اقتصادی–اجتماعی عدیده‌ای در قالب خشک شدن چشمه‌ها، خاک کشاورزی، کاهش سطح زیر کشت و به‌تبع آن کاهش بازده محصولات کشاورزی منطقه و درنهایت مهاجرت مردم به علت کاهش منبع درآمد، در حوضهٔ مبدأ به همراه داشته باشد. این در حالی است که شغل اکثر ساکنان این منطقه کشاورزی است و حیات آن‌ها وابسته به جریان رود زاب و آب‌های زیرزمینی منطقه است.

پیشنهادات

- با توجه به اینکه پدیدهٔ نشست زمین در دشت پیرانشهر عکس‌العملی طبیعی در مقابل کاهش تراز آب‌های زیرزمینی خواهد بود و یکی از دلایل آن اجرای پروژه انتقال آب بین حوضه‌ای می‌باشد، پیشنهاد می‌گردد، با انجام آزمایش-های صحرایی و آزمایشگاهی رفتار لایه‌های تحکیم‌پذیر به‌صورت دقیق مشخص و از پارامترهای به‌دست‌آمده برای آنالیز نشست منطقه‌ای استفاده گردد.
- انتقال آب بین حوضه‌ای و تأثیرات آن بر مخازن آب زیرزمینی، گرچه می‌تواند پاره‌ای از دلایل ترک‌خوردگی را توجیه نماید لیکن دستیابی به علت ایجاد شکاف در هر منطقه باید با بررسی همه جانبهٔ عوارض سطحی، زیرزمینی و ساختمانی آن منطقه توأم باشد. با کاهش جریانات سطحی در حوضهٔ آبریز زاب ناشی از اجرای پروژه و پیش‌بینی کاهش تراز آب زیرزمینی آبخوان پیرانشهر، انجام تحقیقات بیشتر درزمینه علل و پیش‌بینی محل ترک‌خوردگی که در آینده ممکن است اتفاق افتد، ضروری به نظر می‌رسد.
- در راستای جلوگیری از بر هم زدن موازنه محیطزیست، که حاصل برقراری تعادل میان تأثیرات متقابل فرآیند و فرم در مدت‌زمان طولانی است، باید در نحوه نگرش و برداشت ما از آب تغییر اساسی به وجود آید و مدیریت جامع آب به‌عنوان یک مسئولیت منطقه‌ای و ملّی باقدرت تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی قوی اعمال گردد.

- پیشنهاد می‌گردد، طرح انتقال آب از حوضهٔ آبریز رودخانهٔ زاب به دریاچهٔ ارومیه علاوه بر تأکید بر مدیریت محیطزیست و کیفیت منابع آب، با در نظر گرفتن ملاحظات ژئومورفولوژیکی در چهارچوب دیدگاه سیستمی، مجدداً مورد ارزیابی قرار گیرد.

منابع

- آتشخوار، فاطمه، عفت زمانی و ناهید پورعبدالله، ۱۳۹۱، وضعیت ناپایدار آبخوان‌های مسیر انتقال آب و متأثر از عواقب تونل بهشت‌آباد، همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای(چالش‌ها و فرصت‌ها)، شهرکرد، دانشگاه آزد اسلامی واحد شهرکرد.
- اخباری، محمد، عطاالله عبدی و حسین مختاری هشی، ۱۳۸۶، بررسی پیامدهای انتقال آب رودخانه‌های مرزی به حوضه‌های داخلی مورد: رودخانهٔ زاب کوچک، همایش مرز، ارومیه.
- امامی، سیدنعیم، ۱۳۹۱، چالش‌های زمین‌شناختی پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای(مطالعه موردی: طرح انتقال آب بهشت‌آباد به فلات مرکزی)، همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای(چالش‌ها و فرصت‌ها)، شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد.
- خضری، سعید، شهرام روستایی و عبدالحمید رجایی، ۱۳۸۵، پهنه‌بندی و تحلیل سلولی ناپایداری دامنه‌ای در بخش مرکزی حوضهٔ آبریز رودخانهٔ زاب، نشریهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۲۲، ص ۱۴۸.
- خلیلی، کیوان، فرشاد احمدی، ایمان فروزنده و جواد بهمنش، ۱۳۹۱، نقش تغییر اقلیم بر انتقال آب بین حوضه-ای(مطالعه موردی حوضهٔ زاب و دریاچهٔ ارومیه)، همایش ملی انتقال آب بین حوضه‌ای(چالش‌ها و فرصت‌ها)، شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد.
- ذبیحی، علیرضا، کریم سلیمانی، مرتضی شعبانی و صادق آبروش، ۱۳۹۰، بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین‌آماری(مطالعه موردی: استان قم)، مجلهٔ پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۸، ص ۱۰۷.
- رضازاده، علیرضا و مهدی عباسی، ۱۳۹۲، تونل انتقال آب گلاس جهت احیای دریاچهٔ ارومیه، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگرهٔ بین‌المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- رنجبر، محسن و نسرین جعفری، ۱۳۸۸، بررسی عوامل مؤثر در فرونشست زمین دشت اشتهارد، مجله جغرافیا (نشریه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، شماره ۱۸ و ۱۹، ص ص ۱۶۶-۱۵۵.
- شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۳، سد مخزنی در حال اجرای کانی سیو، سامانهٔ اطلاع‌رسانی معاونت طرح و توسعه(http://www.tarh-agrw.ir/).
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، ۱۳۹۳، آمار مربوط به هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت پیرانشهر.
- شمسی‌پور، علی‌اکبر و کیومرث حبیبی، ۱۳۸۶، ارزیابی اثرات خشکسالیها بر منابع آب‌های زیرزمینی(مطالعه موردی دشت‌های شمال همدان)، همایش ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.
- قضاوی، رضا، زهره ابراهیمی خوسفی، محمدرضا اختصاصی، سید زین‌العابدین حسینی، محسن ابراهیمی خوسفی و محمدحسن زاده نفوتی، ۱۳۹۲، مقایسهٔ روش‌های مختلف رگرسیون دومتغیره در شناسایی رخساره‌های کویری بر اساس روابط مؤلفه‌های خاک با داده‌های ماهواره‌ای. مورد شناسایی: پلایای ابرکوه-استان یزد، نشریهٔ جغرافیا و آمایش شهری، شماره ۹، ص ص ۱۲۱-۱۱۱.
- قهرودی تالی، منیژه، محمدرضا ثروتی و رسول حسنی قارنایی، ۱۳۹۲، تحلیل ناپایداری‌های حاصل از نهشته‌های یخچالی در حوضهٔ رود زاب کوچک، فصلنامهٔ علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، شماره ۴۳، ص ۶.
- مریدسادات، محمد، حسین صمدی بروجنی، هاجر طاهری سودجانی و محسن پولادگر، ۱۳۹۰، الزامات توسعه پایدار در طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای«مطالعه موردی: انتقال آب بهشت‌آباد به فلات مرکزی ایران»، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر.

- نادریان فر، محمد، حسین انصاری، علی‌نقی ضیائی و کامران داوری، ۱۳۸۹، بررسی روند تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی درحوضه آبریز نیشابور تحت شرایط اقلیمی مختلف، فصلنامهٔ مهندسی آبیاری و آب، شماره ۳، ص ص ۳۷-۲۲.
- *Elizabeth, A. J., 2000, the response of the two interrelated river components, geomorphology and riparian vegetation, to inter basin water transfers in the ORANGE-FISH-SUNDAYS River inter basin transfer scheme. Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science, Rhodes University, Grahamstown.*
- *Gohari, A., Eslamian, S., Mirchi, A., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A. & Madani, K., 2013, Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can backfire. Journal of Hydrology, Vol. 491, pp. 23–39.*
- *Hey R.D., 1986, River response to inter basin water transfers Craig goch Feasibility study, Journal of Hydrology (Amsterdam), No. 4, pp. 407-422.*
- *Hunter, A. M. S., 2009, A Review of the fluvial geomorphology monitoring of the receiving streams of the MOOI-MGENI river transfer scheme Phase 1, Submitted in partial fulfillment of the academic requirements for a degree of Master of Environment and Development in the Centre for Environment, Agricultural and Development, School of Environmental Sciences University of KwaZulu-Natal.*
- *Knapp, K.C., Weinberg, M., Howitt, R. & Posnikoff, J.F., 2003, Water transfers, agriculture, and groundwater management: a dynamic economic analysis. Journal of Environmental Management, No. 67, pp. 291–301.*
- *Lansheng, W., & Christian, M., 1999, a study on the environmental geology of the Middle Route Project of the South–North water transfer, Journal of Engineering Geology Vol: 51, Pp.: 153–165.*
- *Mohammad Rezapour Tabari, M. & Yazdi, A., 2014, Conjunctive Use of Surface and Groundwater with Inter-Basin Transfer Approach: Case Study Piranshahr, Journal of Water Resource Management, Vol: 28, Pp.: 1887-1906.*
- *Matete, M. & Hassan, R., 2006, Analysis integrated ecological economics accounting approach to evaluation of inter-basin water transfers: An application to the Lesotho Highlands Water Project, Journal of Ecological Economics, Vol. 60, pp. 246 – 259.*
- *Rowntree, K.M. & Dollar, E.S.J., 1996, Contemporary channel processes, In, Lewis, C.A., (Ed.), the geomorphology of the Eastern Cape, South Africa, Grocott and Sherry, Graham's town, pp. 33-51.*
- *Scott, R.F., 1979, Subsidence- revaluation and prediction of subsidence, Ed. By Saxema, S, K, Proc. Cnof. ASCE, Gainsville, PP. 1-25.*
- *Shao, X., Wang, H. & Wang, Z., 2003, Interbasin transfer projects and their implications: A China case study, Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing, China.*
- *Sophocleous, M., 2002, Interaction between Ground Water and Surface Water: The State of the Science. Journal of Hydrogeology, No. 10, pp. 52-56.*
- *Worakijthamrong, S. & Cluckie, I., 2013, Groundwater–river interaction and management in the context of inter-basin transfers, Journal of Environ Earth Sci, No. 70, pp. 2039–2045.*
- *Yan, D. H., Wang, H., Li, H. H., Wang, G., Qin, T. L., Wang, D. Y. & Wang, L. H., 2012, Quantitative analysis on the environmental impact of large-scale water transfer project on water resource area in a changing environment. Journal of Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 16, pp. 2685–2702.*