

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

عزت‌الله فتواتی - دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران  
سعید خضری - دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، ایران  
داود طالب‌پور اصل \* - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران

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

### چکیده

در سال‌های اخیر تشدید پدیده خشکسالی و مدیریت نادرست منابع آب، موجب افت شدید تراز آب دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران و بروز پیامدهای منفی زیست‌محیطی شده است. لذا به منظور پیشگیری از بروز چنین مشکلاتی، طرح انتقال آب رودخانه زاب به حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دست مطالعه و اجرا قرار گرفته است. هدف این مقاله ارزیابی تأثیرات اجرای این پروژه بر وضعیت مخازن آب زیرزمینی دشت پیرانشهر و مورفولوژی زمین در حوضه مبدأ می‌باشد. داده‌های مورد استفاده شامل تصاویر ماهواره ASTER با قدرت تفکیک ۱۵ متر، داده‌های اقلیمی، آمار مرتبط با هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه مورد مطالعه 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 انجام شده است. روش تحقیق عمدتاً بر پایه روش تحلیلی استوار بوده است. نتایج نشان می‌دهد که روند افت تراز آب زیرزمینی دشت پیرانشهر در پایین دست سد سیلوه، در دوره پس از انتقال آب به حوضه دریاچه ارومیه تشدید خواهد شد. به طوری که بعد از اجرای پروژه تراز آب زیرزمینی تا ۲/۹۲ متر کاهش خواهد یافت. پیش‌بینی می‌شود، از آنجاکه دشت پیرانشهر بر رسوبات جوان آبرفتی مربوط به دوره کواترنر منطبق است، در حاشیه شمالی و غربی دشت که منطبق بر رأس مخروط افکنه‌ها و رسوبات دانه درشت است، نشست زمین به صورت ناگهانی و در پایین دست دشت که منطبق بر قاعده مخروط افکنه‌ها و رسوبات مارن و رس است نشست زمین به صورت تدریجی رخ دهد. همچنین از آنجاکه گسل‌های فراوان از جمله 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: حوضه رودخانه زاب، انتقال آب بین حوضه‌ای، ژئومورفولوژی، فرونشست، دریاچه ارومیه.

## 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 (میریدسات و همکاران، ۱۳۹۰). در سال‌های اخیر تشدید پدیده خشکسالی و مدیریت نادرست منابع آب، موجب افت شدید تراز آب دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران و بروز پیامدهای منفی زیست‌محیطی شده است (رضازاده و عباسی، ۱۳۹۲). لذا به‌منظور پیشگیری از بروز چنین مشکلاتی، طرح انتقال آب رودخانه زاب به حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دست مطالعه و اجرا قرار گرفته است. این پروژه بر روی رودخانه 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 دریاچه سدهای مخزنی کانی سیو و سیلوه به حوضه رودخانه گادر و در نهایت دریاچه ارومیه صورت می‌گیرد. این انتقال علیرغم رفع برخی کمبودها می‌تواند منشأ تغییرات زیادی در حوضه‌های مبدأ و مقصد باشد که باید از دیدگاه‌های مختلف از جمله ژئومورفولوژی مورد ارزیابی قرار گیرد.

اگرچه قدمت انتقال آب به صدها سال پیش بر 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 مورد بررسی قرار دهند. در مجموع نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد، علی‌رغم رفع کمبود آب در حوضه مقصد در کوتاه‌مدت، اجرای پروژه‌های انتقال آب می‌تواند چالش‌هایی را به‌ویژه در حوضه مبدأ به همراه داشته باشد. از جمله این چالش‌ها، تأثیر منفی انتقال آب بین حوضه‌ای بر مخازن آب زیرزمینی در حوضه مبدأ است. یکی از منابع مهم تغذیه‌کننده مخازن آب زیرزمینی، رودخانه‌ها هستند، با کاهش حجم جریان رود، حجم آب‌های زیرزمینی منطقه نیز کاهش می‌یابد (نادریان فر 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 حوضه مبدأ است. کرسیتیان 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 حوضه 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 حوضه مقصد و فرونشست سطحی، سقوط و شکاف زمین در حوضه مبدأ شده است.

کنپ 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، از آنجاکه 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 به گونه‌ای که حفر تونل بهشت‌آباد ۶۶ میلیون مترمکعب در سال از آبدهی چشمه‌ها و قنوت 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 دریاچه ارومیه پرداختند. آنان روند جریان رودخانه 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 قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که جریان رودخانه 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 دریاچه ارومیه نتایج مخربی بر منابع آب سطحی و زیرزمینی حوضه زاب و محیط‌زیست منطقه خواهد گذاشت.

امامی (۱۳۹۱) چالش‌های زمین‌شناختی اجزای مختلف پروژه ملی انتقال آب بهشت‌آباد به فلات مرکزی ایران را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که عبور مسیر تونل از مرز پهنه‌های زمین‌ساختی زاگرس مرتفع و سنج-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 برهم‌خوردن 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 چشمه آب شرب روستای سلم، چشمه وقت و ساعت ولری، چاه آب شرب فرخ شهر و منابع آب دشت شهرکرد و خراچی را موجب خواهد شد.

ووراکیک تامرونک و کلاکی (۲۰۱۳) به مطالعه انتقال آب بین حوضه‌ای از طریق رودخانه تیز 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 به صورت موقت در کناره‌های رود ذخیره می‌شود. علاوه بر این، مناطق ۴ و ۵ مدل رودخانه شامل نواحی پایین دست آن، با مقدار قابل توجهی رسوب‌گذاری آبرفت، از بهترین سایت‌های ذخیره‌سازی با مقادیر ۴/۵ و ۶/۷ درصد از کل آب ره‌اشده از مخزن بود.

همچنین (هی<sup>۱</sup>، ۱۹۸۶)، (الیزابت<sup>۲</sup>، ۲۰۰۰)، (حسن و ماتت<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶)، (هانتر<sup>۴</sup>، ۲۰۰۹)، (یان و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰) و (گوهری و همکاران، ۲۰۱۳) هر کدام 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 پرداخته شده است. در این تحقیق تلاش گردیده است تا از دیدگاه ژئومورفولوژی، به پیامدهای کاهش جریان آب در حوضه رودخانه زاب (مبدأ) ناشی از اجرای پروژه انتقال آب از حوضه آبریز رودخانه زاب به دریاچه 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 حوضه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه زاب، به عنوان حوضه مبدأ، و حوضه آبریز رودخانه گادر، در مرز شمالی حوضه آبریز زاب به عنوان حوضه مقصد، در جنوب غربی استان آذربایجان غربی قرار دارند. از نظر مختصات جغرافیایی حوضه زاب بین ۳۵° ۵۹' ۳۰" و

1. Hey

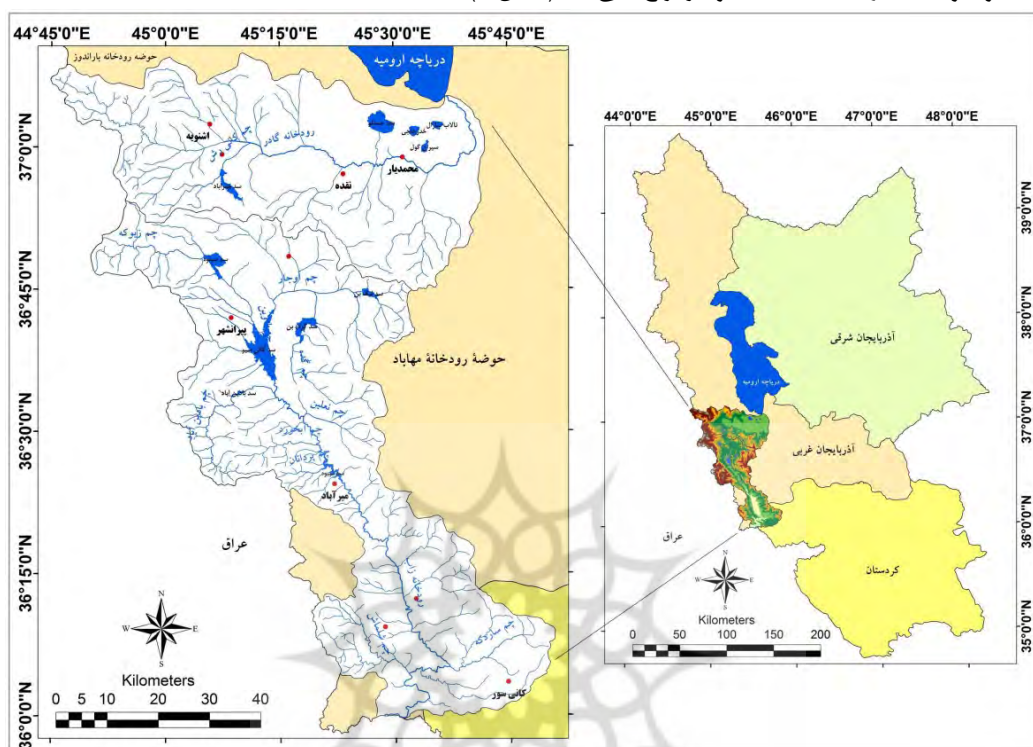
2. Elizabeth

3. Hassan & Matete

4. Hanter

5. Yan and et al

تا  $36^{\circ} 20' 54''$  عرض شمالی و  $44^{\circ} 50' 10''$  تا  $45^{\circ} 50' 40''$  طول شرقی و حوضه گادر بین  $36^{\circ} 44' 45''$  تا  $36^{\circ} 55' 9''$  عرض شمالی و  $44^{\circ} 44' 50''$  تا  $45^{\circ} 42' 5''$  طول شرقی واقع شده‌اند. مساحت حوضه زاب تا محل تلاقی رود چومان  $3383/11$  و حوضه گادر  $2225/12$  کیلومترمربع می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه‌های آبریز زاب و گادر

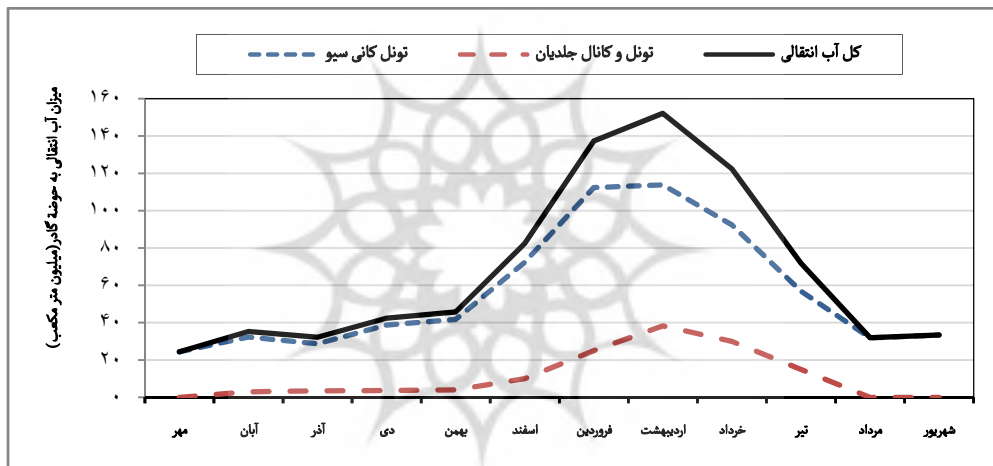
رودخانه زاب از ارتفاعات سیاه کوه واقع در مرز ایران و عراق به نام رود لایون سرچشمه می‌گیرد با دریافت شاخه‌های زیوکه، تمرچین، قلعه‌تراش، أوجار، بادین‌آباد، نعلین، آبخورده، پردانان و در مرز ایران و عراق در نزدیکی آبادی هرزنه، پس از دریافت شاخه پرآب چومان، وارد خاک عراق می‌شود. حداکثر جریان ماهانه رودخانه زاب به میزان  $133/6$  مترمکعب بر ثانیه و معادل  $357/834$  میلیون مترمکعب در اردیبهشت‌ماه و حداقل جریان ماهانه  $8/1$  مترمکعب در ثانیه و معادل  $56/765$  میلیون مترمکعب در شهریورماه در ایستگاه هیدرومتری گرزال بوده است. بیشترین جریان سالانه رود زاب در همین ایستگاه  $45/1$  مترمکعب بر ثانیه و برابر  $1422/274$  میلیون مترمکعب و کمترین جریان سالانه  $8/4$  مترمکعب بر ثانیه و معادل  $264/902$  میلیون مترمکعب در سال است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۳). از نظر اقلیمی این منطقه، یکی از بیشینه‌های بارشی در غرب ایران می‌باشد میزان بارش سالانه  $70/5$  میلی‌متر و میانگین دما  $11/9$  درجه سلسیوس است.

از دیدگاه تقسیمات واحدهای ساختمانی- رسوبی ایران، حوضه آبریز رودخانه‌های زاب و گادر 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 از لحاظ 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، حال آنکه واحدهای شیلی و ماسه‌ای نقاط پست منطقه را پدید آورده‌اند. فشارهای وارده بر منطقه باعث شکستگی‌های فراوان شده است. از جمله این گسل‌ها، گسل فعال پیرانشهر می‌باشد که در واقع دنباله 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 لاورین و شاخه‌های فرعی دیگر از ارتفاعات سیاه‌کوه و رودخانه‌های لگ بن و گده از کوه‌های میدان استر می‌باشد.

### معرفی پروژه انتقال آب بین حوضه‌ای

به‌طور کلی پروژه انتقال آب از حوضه آبریز رودخانه زاب به دریاچه ارومیه شامل مجموعه طرح‌های سیستم جمع‌آوری آب از شاخه‌های بالادست رودخانه زاب و همچنین تونل‌های انتقال از دریاچه سدهای مخزنی کانی سیو و سیلوه به حوضه رودخانه گادر و در نهایت دریاچه ارومیه می‌باشد. بر اساس این طرح، مقدار بهینه کل آب انتقالی از حوضه زاب به حوضه گادر به‌طور متوسط، سالانه  $811/3$  میلیون مترمکعب است که  $678/8$  میلیون مترمکعب آن با استفاده از تونل کانی‌سیو و بقیه آن از طریق تونل جلدیان انتقال داده می‌شود. در این حالت متوسط سالانه آب خروجی از مرز  $817/2$  میلیون مترمکعب خواهد بود (طبری و یزدی<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴) (شکل ۲). مدت‌زمان اجرای پروژه پنج سال تعیین شده است که در صورت جلوگیری از هرگونه اتلاف وقت و اعتبار رسانی به‌موقع تا سال ۱۳۹۶ به بهره‌برداری خواهد رسید.



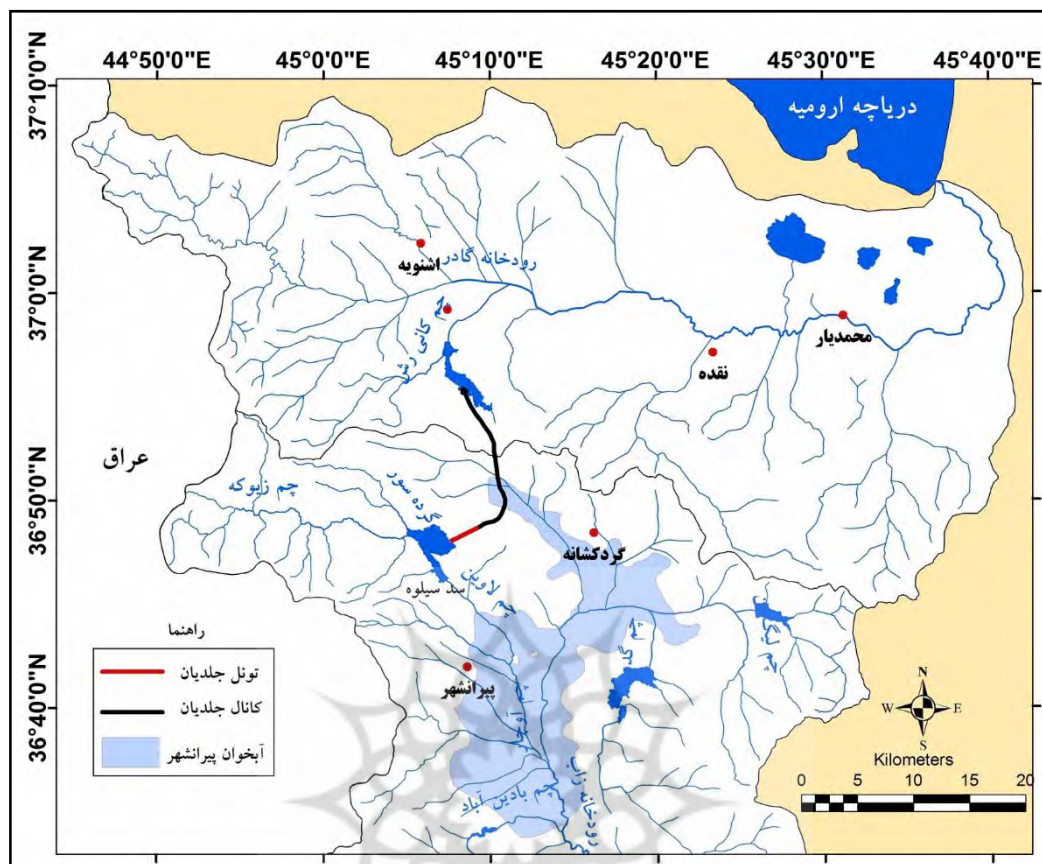
شکل ۲: متوسط بلندمدت میزان بهینه آب انتقالی از حوضه رودخانه زاب به حوضه رودخانه گادر به میلیون مترمکعب (طبری و یزدی، ۲۰۱۴)

بخشی از این پروژه که موضوع مورد مطالعه این تحقیق می‌باشد شامل انتقال آب از سد سیلوه به رودخانه گادر است (شکل ۳).

مطابق این طرح با احداث سد مخزنی سیلوه بر روی رودخانه لاورین در ۱۳ کیلومتری شمال شهر پیرانشهر، با گنجایش ۱۶۳ میلیون مترمکعب، سالانه  $132/5$  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 حوضه رودخانه گادر منتقل می‌گردد. آبخوان پیرانشهر در زیر دشت پیرانشهر و در پایین‌دست سد سیلوه به وسعت ۲۲۵ کیلومتر مربع واقع شده است.

<sup>۱</sup> . Tabari & Yazdi

<sup>۲</sup> . Tabari & Yazdi



شکل ۳: نقشه طرح انتقال آب از سرشاخه لاین در حوضه زاب به حوضه 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 و ادارات، سایت‌های اینترنتی و مشاهدات میدانی، اقدام شده است:

- تصاویر ماهواره‌ای *GDEM* با قدرت 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 از جمله آمار بارش حوضه از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه استخراج شده است.
  - آمار مرتبط با هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، 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 انجام شده است.
- در این راستا، به‌منظور ارزیابی رابطه بین حجم دبی رودخانه لاین و تراز آب زیرزمینی دشت پیرانشهر و پیش‌بینی میزان تغییرات، از روش‌های مختلف رگرسیون دو متغیره برای تهیه مدل‌های رگرسیونی استفاده شد. به همین منظور از نتایج آنالیز داده‌های دبی رودخانه لاین و تراز آب‌های زیرزمینی حاصل از ۲۰ چاه پیزومتریک در محدوده آبخوان پیرانشهر در یک دور ۱۲ ساله (۱۳۸۱ تا ۱۳۹۳) استفاده شده است.

جدول ۱: آمار تراز آب زیرزمینی دشت پیرانشهر و حجم دبی رودخانه لارین 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

مأخذ: شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، ۱۳۹۳.

و سپس به صورت 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:

Linear.....  $Y = b_0 + b_1x$  مدل خطی  
 Logarithmic.....  $Y = b_0 + b_1 \log x$  مدل لگاریتمی  
 Inverse.....  $Y = b_0 + b_1/x$  مدل معکوس  
 Quadratic.....  $Y = b_0 + b_1x + b_2x^2$  مدل درجه دوم  
 Cubic.....  $Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3$  مدل چرخه سوم  
 Compound.....  $Y = b_0 b_1x$  مدل ترکیبی  
 Power.....  $Y = b_0x^{b1}$  مدل توانی  
 S.....  $Y = e^{b_0+b_1/x}$  مدل S شکل  
 Growth.....  $Y = e^{b_0+b_1x}$  مدل منحنی رشد  
 Exponential.....  $Y = b_0e^{b1x}$  مدل نمایی

همچنین به منظور نرمال‌سازی داده‌ها از دو آزمون کلموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک استفاده شده است. جهت پهنه‌بندی آب‌های زیرزمینی دشت پیرانشهر از روش تحلیل مکانی و فضایی استفاده شده 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<sup>1</sup>) 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

<sup>1</sup>. 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 به منظور 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) به صورت ارائه شده در روابط زیر، استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i-1} (Q_o - Q_e)^2}{n}} \quad RE = \left| \frac{Q_o - Q_e}{Q_o} \right| \times 100 \quad CE = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i-1} (Q_o - \bar{Q}_o)^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i-1} (Q_o - Q_e)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i-1} (Q_o - \bar{Q}_o)^2}$$

که در آن‌ها:

$Q_o$  = مقدار مشاهده‌ای متغیر وابسته؛

$Q_e$  = مقدار تخمینی متغیر وابسته؛

$\bar{Q}_o$  = 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 به طور دائم باهم در فعل و انفعال 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 مورد مطالعه، 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 حوضه مبدأ، چه تغییراتی در حجم منابع آب زیرزمینی و مورفولوژی زمین در پایین دست پروژه، اتفاق می‌افتد؟

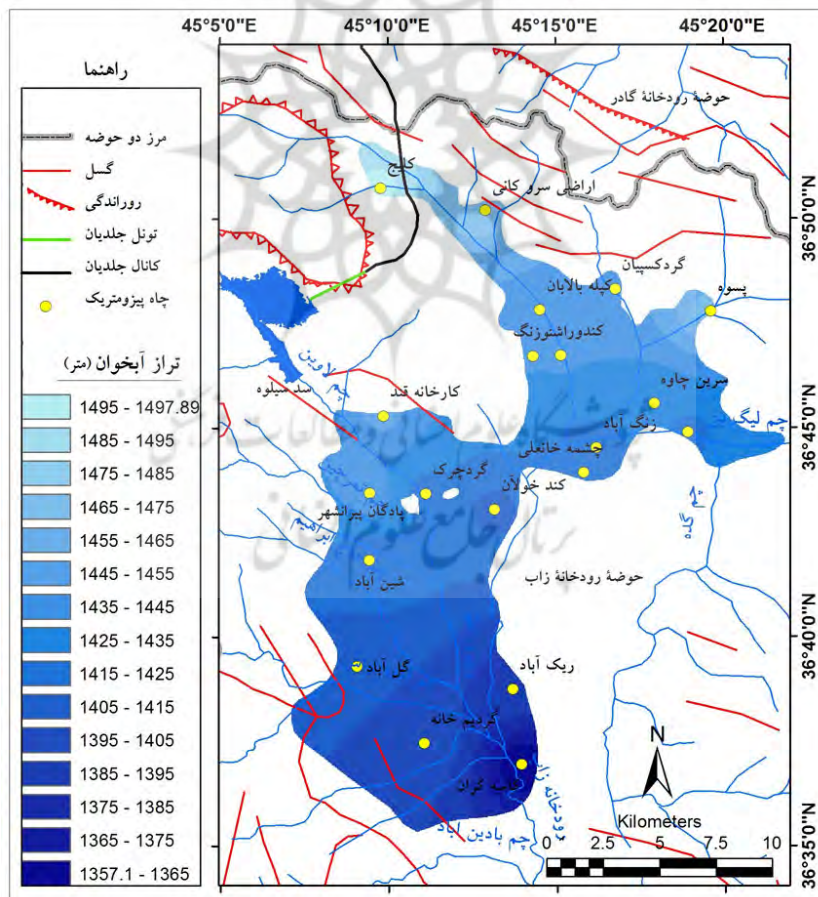
متوسط آمار حجم دبی رودخانه لاورین در یک دور ۲۲ ساله (۱۳۷۲ تا ۱۳۹۳) در حدود ۱۹۶/۳۹ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد که پس از اجرای پروژه انتقال آب به حوضه دریاچه ارومیه، این میزان به ۶۳/۸۹ میلیون مترمکعب کاهش خواهد یافت (جدول ۲).



جدول ۲: متوسط دبی رودخانه لاین در ایستگاه سیلوه در یک دور ۲۲ ساله (۱۳۷۲ تا ۱۳۹۳) و حجم دبی آن بعد از اجرای پروژه

میانگین سالانه	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر
۱۹۶/۳۹	۳/۰۴	۶/۰۰	۲۰/۲۱	۵۵/۹۷	۵۹/۰۴	۲۱/۸۴	۸/۲۳	۴/۳۳	۴/۲۶	۴/۴۸	۶/۱۰	۲/۸۹
۱۳۲/۵۰	-/۰۰	-/۰۰	۱۵/۰۰	۳۴/۰۰	۴۱/۳۰	۲۰/۰۰	۸/۰۰	۴/۰۰	۳/۷۰	۳/۵۰	۳/۰۰	-/۰۰
۶۳/۸۹	۳/۰۴	۶/۰۰	۵/۲۱	۲۱/۹۷	۱۷/۷۴	۱/۸۴	-/۲۳	-/۳۳	-/۵۶	-/۹۸	۳/۱۰	۲/۸۹

بر اساس روش درونیابی وزنی معکوس فاصله<sup>۱</sup> (IDW) سطوح ارتفاعی آب زیرزمینی دشت پیرانشهر در شکل ۴ نشان داده شده 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، از آنجاکه دشت پیرانشهر به لحاظ توپوگرافی نامتقارن است و رودخانه زاب در کناره‌های شرقی دشت جریان دارد، جهت جریان آب زیرزمینی در دشت پیرانشهر از شمال و شمال غرب و غرب به سمت جنوب و شرق و در نهایت رودخانه زاب می‌باشد.



شکل ۴: 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.

<sup>1</sup>. Inverse Distance Weighted

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

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
دبی رود لایون	۰/۱۲۰	۱۲	*۰/۲۰۰	۰/۹۴۹	۱۲	۰/۶۲۵
تراز آب	۰/۱۹۲	۱۲	*۰/۲۰۰	۰/۸۸۹	۱۲	۰/۱۱۴
زیرزمینی						

\* . This is a lower bound of the true significance.

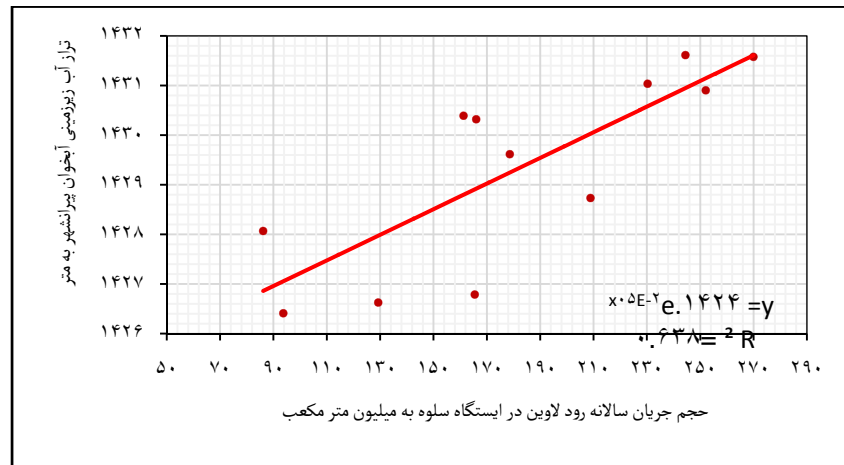
a. Lilliefors Significance Correction

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 به منظور ارزیابی رابطه بین حجم دبی رودخانه لایون و تراز آب زیرزمینی دشت پیرانشهر و پیش‌بینی میزان تغییرات در جدول ۴ آورده شده است که اعتبار نهایی مدل‌های به دست آمده با توجه به مقادیر قابل قبول خطای تخمین کمتر، مقادیر مجذور میانگین مربعات خطای کوچک‌تر، ضریب همبستگی بیشتر و ضریب کارایی بالاتر و نزدیک به یک، ارزیابی گردیده است.

جدول ۴: 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	-۵۵/۲۵۲	-	-	۰/۰۷۳	۱/۳۱۰	-۱/۵۱۱
Quadratic	۰/۸۰۱	۰/۶۴۲	۰/۵۶۳	۸/۰۷۵	۰/۰۱۰	۱۴۲۶	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۰۳۳۹	-	۰/۰۶۸	۱/۲۰۷	-۱/۵۸۵
Cubic	۰/۸۰۶	۰/۶۵۰	۰/۵۱۹	۴/۹۵۲	۰/۰۳۱	۱۴۳۱	-۰/۰۹۳	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۰۰۰۱۲	۰/۸۰۳	۱۳/۳۳۷	-۴۸/۹۳۶
Compound	۰/۷۹۹	۰/۶۳۹	۰/۶۰۳	۱۷/۶۷۸	۰/۰۰۲	۱۴۲۵	۱/۰۰۰	-	-	۰/۳۰۳	۴/۲۲۷	-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	۰/۶۳۹	۰/۶۰۳	۱۷/۶۷۸	۰/۰۰۲	۱۴۲۵	۰/۰۰۰۰۱۸	-	-	۰/۰۶۶	۱/۱۷۷	۰/۶۰۵

با توجه به جدول ۴ 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 رودخانه لایون و تراز آب زیرزمینی در دشت پیرانشهر قابلیت بیشتری دارد. گرچه استفاده از «معادله خطی» نیز با پذیرش سطح بیشتر خطا قابل استفاده است اما نظر به این که 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).



شکل ۵: رابطه دبی رودخانه لاورین 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 حوضه دریاچه ارومیه، و کاهش حجم دبی رودخانه لاورین 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 رودخانه لاورین تنها جریان سطحی دشت پیرانشهر نیست بلکه از سمت شمال شرق حوضه، رودخانه 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 لاورین می‌پیوندد (شکل ۴). بنابراین توجه‌پذیر خواهد بود باوجود اینکه بیش از ۶۷٪ از جریان آب رود لاورین به حوضه دریاچه 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 حوضه 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، کبار شلمزار و چونقان 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.

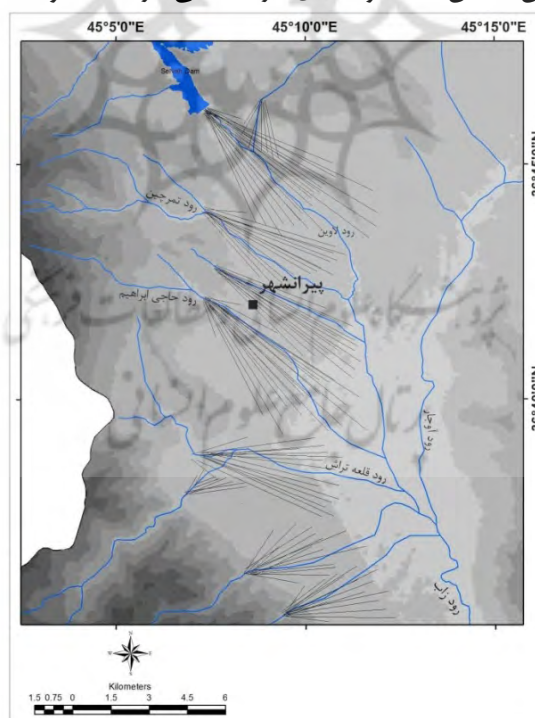
نتایج اندازه‌گیری‌های ماهانه سطح آب زیرزمینی به‌وسیله چاه‌های مشاهده‌ای در سال‌های آبی ۸۲-۱۳۸۱ الی ۹۳-۱۳۹۲ نشان‌دهنده افت ممتد سطح آب زیرزمینی بوده است، به‌طوری‌که افت تجمعی تراز آب در این دور ۱۲ ساله معادل ۵/۲ متر و متوسط سالانه آن ۴۳/۳ سانتیمتر گزارش شده است (شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، ۱۳۹۳). 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 تراکم‌پذیرند، 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 منطقه مورد مطالعه از نوع نهشته‌های رسوبی پلیوکواترنر است که از کنگلومرای سست بامیان لایه‌های ماسه، سیلت و

رس است. دشت پیرانشهر روی رسوبات آبرفتی کواترنری قرار گرفته 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 تشکیل شده‌اند که جنس قطعات آن‌ها از تمام واحدهای سنگی موجود در ارتفاعات منطقه می‌باشد (رضازاده و عباسی، ۱۳۹۲).

به‌طور کلی این دشت مشتمل بر تعداد زیادی مخروط‌افکنه است که در محل خروج رودهای آوجار، لاین، 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 تشکیل شده 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 به طوری که 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، پدیده 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 کواترنری تشکیل شده است و چندان یکنواخت و مستحکم نیست در صورت بروز مخاطره نشست زمین، ممکن است مؤلفه‌های حرکت افقی نیز ایجاد شود.

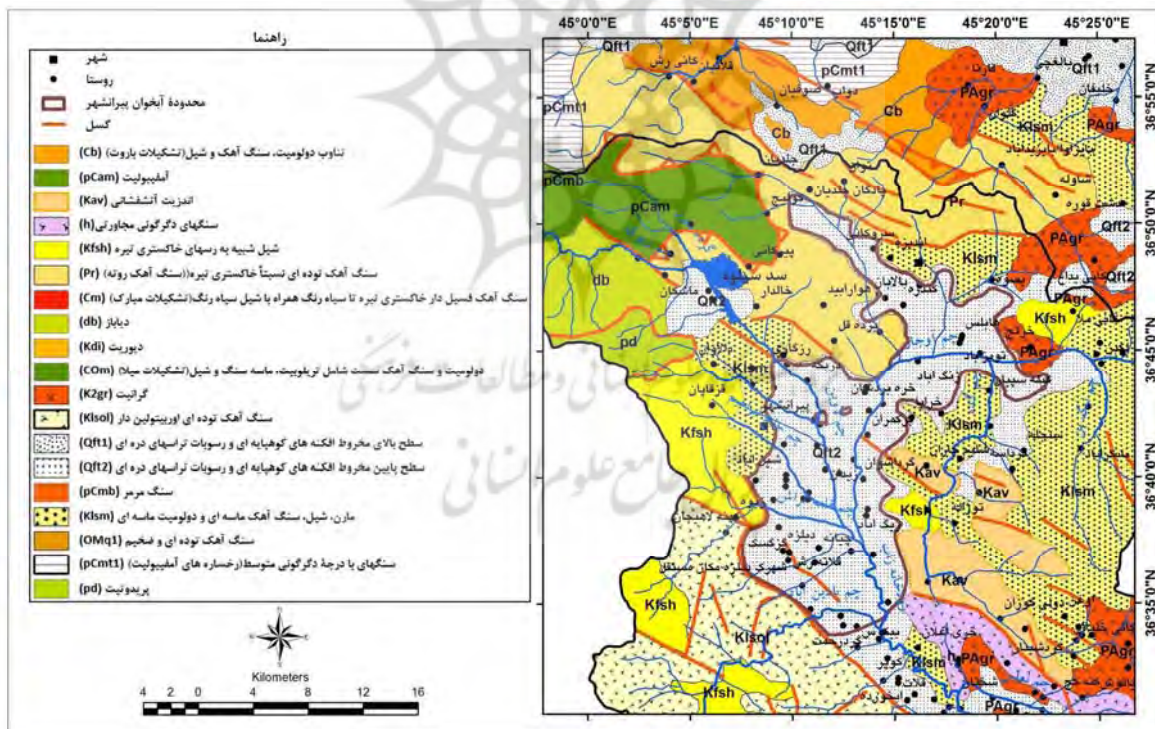


شکل ۶: موقعیت مخروط‌افکنه‌ها در حاشیه غربی دشت پیرانشهر

بخش‌های جنوب و جنوب‌غربی آبخوان پیرانشهر که در امتداد سراسیبه‌های تند و در مجاور ارتفاعات محدودکننده دشت پیرانشهر قرار دارند منطبق بر گسل مهم پیرانشهر است. این گسل امتداد شمال‌غربی گسل سرتاسری زاگرس می‌باشد 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 حوضه آبریز زاب به دریاچه 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 پدیده 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) واقع شده 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 صحرائی شناسایی شده 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 کواترن را قطع می‌نماید. لذا ناپایداری این گسل می‌تواند پدیده 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 زمین بر 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.



شکل ۷: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (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 به راحتی قابل تشخیص نباشد، اما باین وجود به‌طور معمول 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 حوضه دریاچه ارومیه تشدید خواهد شد. به طوری که 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. از آنجا که 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 به صورت ناگهانی و پایین‌دست دشت که منطبق بر قاعده مخروط‌افکنه‌ها و رسوبات مارن و رس است نشست زمین به صورت تدریجی خواهد بود. همچنین با استناد به گسل‌های فراوان از جمله 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 عیدیه‌ای در قالب خشک شدن چشمه‌ها، خاک کشاورزی، کاهش سطح زیر کشت و به تبع آن کاهش بازده محصولات کشاورزی منطقه و درنهایت مهاجرت مردم به علت کاهش منبع درآمد، در حوضه 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 پدیده 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 آزمایش‌های صحرائی و آزمایشگاهی رفتار لایه‌های تحکیم‌پذیر به صورت 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 جانبه عوارض سطحی، زیرزمینی و ساختمانی آن منطقه توأم باشد. با کاهش جریان‌ات سطحی در حوضه آبریز زاب ناشی از اجرای پروژه و پیش‌بینی کاهش تراز آب زیرزمینی آبخوان پیرانشهر، انجام تحقیقات بیشتر در زمینه علل و پیش‌بینی محل ترک‌خوردگی که در آینده ممکن است اتفاق افتد، ضروری به نظر می‌رسد.
- در راستای جلوگیری از برهم 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 ملی با قدرت تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی قوی اعمال گردد.

- پیشنهاد می‌گردد، طرح انتقال آب از حوضه آبریز رودخانه زاب به دریاچه 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 آزاد اسلامی واحد شهرکرد.
- اخباری، محمد، عطاالله عبدی و حسین مختاری هشی، ۱۳۸۶، بررسی پیامدهای انتقال آب رودخانه‌های مرزی به حوضه‌های داخلی مورد: رودخانه 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 حوضه آبریز رودخانه زاب، نشریه 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 حوضه زاب و دریاچه 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)، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۸، ص ۱۰۷.
- رضازاده، علیرضا و مهدی عباسی، ۱۳۹۲، تونل انتقال آب گلاس جهت احیای دریاچه ارومیه، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره 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 ۱۶۶-۱۵۵.
- شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۳، سد مخزنی در حال اجرای کانی سیو، سامانه 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، مقایسه روش‌های مختلف رگرسیون دومتغیره در شناسایی رخساره‌های کویری بر اساس روابط مؤلفه‌های خاک با داده‌های ماهواره‌ای. مورد شناسایی: پلایای ابرکوه-استان یزد، نشریه جغرافیا و آمایش شهری، شماره ۹، ص ۱۲۱-۱۱۱.
- قهرودی تالی، منیژه، محمدرضا ثروتی و رسول حسنی قارنابی، ۱۳۹۲، تحلیل ناپایداری‌های حاصل از نهشته‌های یخچالی در حوضه رود زاب کوچک، فصلنامه 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، فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، شماره ۳، 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, Gainesville, 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.*