نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال هفدهم، شماره ۴۷، زمستان ۹۶

نقش گسل فعال در سطح تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز شهرچای- دشت ارومیه

دریافت مقاله: ۹۶/۶/۲۴ پذیرش نهایی: ۹۶/۹/۲۱

صفحات: ۷۵-۶۱

طیبه کیانی: استادیار ژئومورفولوژی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی[۱].
tayebeh.kiani@gmail.com
زهرا یوسفی: کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.
yousefi.zahra@gmail.com

چکیده

در این مقاله مطالعه‌ای در حوضه آبریز رودخانه شهرچای در باختر دریاچه ارومیه و شمال زون ساختاری، رسوبی سنندج - سیرجان انجام شد. هدف این پژوهش شناخت مناطقی است که سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی آن بالاتر است. برای نیل به این هدف، اقدام به درونیابی سطح تراز آب زیرزمینی حوضه با استفاده از داده‌های چاه‌های پیزومتریک شد، سپس نتایج با موقعیت گسل‌ها و داده‌های لرزه‌زمین‌ساختی موجود تطبیق داده شد. علاوه بر شکستگی‌ها، نقش ویژگی‌های طبیعی حوضه مانند شیب دامنه، لیتولوژی، جنس خاک، زمین‌شناسی، بارش و نوع کاربری زمین در افت وخیز سطح تراز آب‌های زیرزمینی بررسی شد. بررسی‌های انجام شده حداقل ۴ الگوی متفاوت حرکت آب‌های زیرزمینی را در گستره حوضه نشان داد. به جزعامل گسل،سایر معیارها به تنهایی نقش چندانی در سطح تراز آب زیرزمینی ندارند. بخش باختری سطح ایستابی در پهنه‌ی بسیارکم پهنه‌بندی قرار دارد که دارای کوهستان‌های مرتفع با شیب بسیار زیاد، بارش زیاد، فاقد شکستگی-های کواترنری و با کاربری مرتع است. بخش خاوری در پهنه‌ی متوسط و زیاد سطح ایستابی قرار دارد، فقط بخشی از سواحل دریاچه ارومیه در این پهنه‌بندی دارای سطح ایستابی بسیار زیاد، با شیب بسیار کم، بارش‌های محلی متوسط، نفوذپذیری زیاد،گسل‌های پراکنده کواترنری و با کاربری باغ وشهر است. اما مرکز حوضه جزو پهنه‌بندی بسیار زیاد قرارگرفته که دارای نفوذپذیری بسیار کم، شیب زیاد، بارش متوسط و مخلوطی از کاربری باغ، جنگل و مرتع است. مرکز حوضه بر روی پهنه‌ای با شدت لرزه‌خیزی و تراکم گسل‌های کواترنری بالا قراردارد. تنها دلیل بالا بودن سطح ایستابی در مرکز حوضه در منطقه سیلوانه وجود گسل‌های فعال و شدت لرزه‌خیزی بالا است.

کلیدواژگان: آب زیرزمینی، سطح ایستابی،گسل فعال، لرزه، زمین‌ساخت، مدیریت.

---

۱. **مسئول مقاله:** تهران، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم جغرافیایی، گروه ژئومورفولوژی. ۰۹۱۲۸۱۰۸۲۸۹

مقدمه

در بسیاری از حوضه‌های مناطق خشک و نیمه خشک مانند کشور ایران، ضرورت تهیه آب تمیز، کافی و ارزان برای صنعت، کشاورزی و مصرف انسان، منجر به بهره‌برداری بالایی از سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. در نتیجه مشکلاتی از قبیل خالی شدن ذخیره آب زیرزمینی، فرونشست و شکستگی زمین به وقوع می‌پیوندد. اگر استفاده از منابع آب زیرزمینی به درستی مدیریت نشود مشکلات و هزینه‌های اقتصادی جبران‌ناپذیری در پی خواهد داشت. اگر به این مسائل مشکلات دیگری از قبیل عدم توجه به موقعیت استقرار چاه‌های پیزومتریک (مانند ایجاد چاه بر روی خطوط گسلی) و الگوهای گوناگون حرکت آب زیرزمینی نیز اضافه شود صدمات و خسارات ناشی از اینگونه بهره‌برداری چندین برابر می‌شود.

ایران سرزمینی خشک و بیابانی با نزولات جوی بسیار کم بوده که میزان بارندگی در آن کمتر از یک سوم بارندگی در سطح دنیاست (علیزاده ۱۳۸۵). بنابراین به دلیل کمبود منابع آب سطحی، پمپاژ بیش از حد از سفره‌های آب زیرزمینی در کشور امری رایج است. این امر در مورد حوضه آبریز شهرچای نیز صدق می‌کند. به دلیل اینکه رودخانه اصلی این حوضه از مرکز شهر ارومیه می‌گذرد آب آشامیدنی و آب صنعتی و کشاورزی شهرستان ارومیه از این حوضه (چه به صورت استفاده از آب سطحی توسط رودخانه شهرچای و چه به صورت استفاده از آب زیرزمینی توسط ایجاد چاه‌های پیزومتریک و چشمه‌ها) تأمین می‌شود. در این حوضه چاه‌های متعددی وجود دارند که بر روی خطوط گسلی منطبق شده‌اند. گسل و سایر عوامل مورفولوژیک بر الگوی جریان آب زیرزمینی تاثیر زیاد دارد.

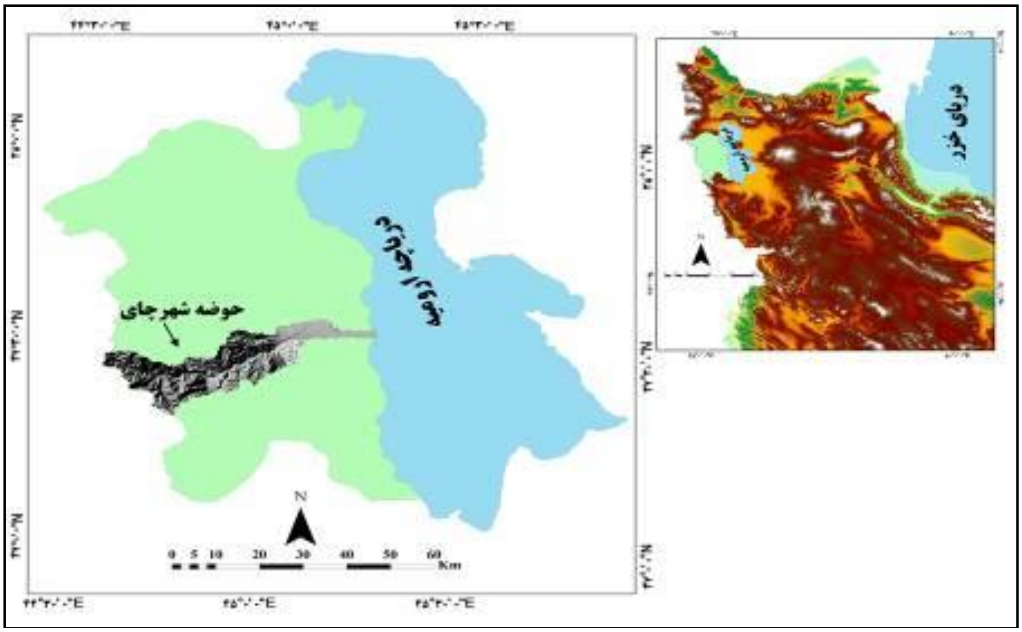
در رابطه با اثر گسل بر سفره‌های آب زیرزمینی و همچنین مدیریت آب زیرزمینی پژوهش‌های مختلفی انجام شده است. بررسی وضعیت زمین‌شناسی، ژئوهیدرولوژی و کیفیت آب زیرزمینی در نزدیکی گسل هلندال در حوضه آبریز موهاوی در شهرستان سان برناردینو کالیفرنیا نشان داد گسل هلندال مانع از جریان آب زیرزمینی در آبخوان عمیق‌تر منطقه‌ای شده ولی در آبخوانی که در دشت سیلابی قرار دارد جریان آب زیرزمینی برقرار است و در حال جریان از آبخوان دشت سیلابی به سمت آبخوان عمیق‌تر منطقه است(Stamos,et al, 2003).

بررسی تغییر شکل و تنش ناشی از پمپاژ آب زیرزمینی نیز نشان می‌دهد که تغییر شکل زمین و تنش ناشی از پمپاژ آب زیرزمینی توسط گسل کنترل می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پمپاژ باعث چرخش پادساعتگرد از صفحه گسل در پایین دیواره گسلی و در حال تغییر شکل توسط گسل است(Hernández& Burbey , 2012).

در حوضه آبریز شهرچای، به نظر می‌رسد گسل فعال، الگوی جریان سفره‌های آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار داده است و همچنین شدت و ضعف سطح ایستابی آب زیرزمینی توسط گسل فعال و شدت لرزه‌خیزی کنترل می‌شود. بنابراین شناسایی مسیر حرکت آب زیرزمینی و همچنین توجه و برنامه‌ریزی برای چاه‌هایی که بر روی خطوط گسلی ایجاد شده‌اند بسیار ضروری است. هدف این مطالعه بررسی اثر گسل فعال بر روی جریان آب زیرزمینی حوضه شهرچای است. حرکت الگوهای گوناگون سفره‌های آب زیرزمینی و همچنین شدت و ضعف سطح ایستابی آب زیرزمینی که تحت تأثیر گسل فعال قرار دارند از مهمترین اهداف این پژوهش می‌باشد.

روش تحقیق

برای ارزیابی نقش گسل فعال بر روی جریان آب زیرزمینی، در ابتدا معیارهای مختلف تأثیرگذار شناسایی شدند و هریک از معیارها در محیط ArcMap به رستر تبدیل شده و با توجه به میزان تاثیرشان در آب زیرزمینی ارزش‌گذاری شدند. وضعیت زمین‌شناسی، کاربری اراضی، لیتولوژی، نوع خاک، میزان بارش و شیب منطقه به عنوان عوامل تأثیرگذار در مقایسه با گسل فعال مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین از داده‌های چاه-های پیزومتریک، طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲ استفاده شد(سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی). در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار ArcGis اقدام به درونیابی سطح ایستابی آب زیرزمینی در حوضه آبریز رودخانه شهرچای شد و سپس به هر یک از معیارها ارزش عددی داده شد و در نهایت با استفاده از مدل saw پهنه‌بندی انجام گرفت و میزان تاثیر هریک از عوامل موثر در سطح تراز آب زیرزمینی در حوضه شهرچای مشخص شد. حوضه آبریز شهرچای در شمال باختری ایران، در یک زون زمین‌ساختی برخوردی بین دو پلیت (plate) اورازیا و عربی واقع شده است (آقانباتی،۱۳۸۳). و به صورت یک ناحیه فرونشسته زمین‌ساختی (depression) در پست‌ترین فرونشست آذربایجان قرار داشته که در اثر عملکرد گسل تبریز در خاور و گسل ارومیه در باختر ایجاد شده است. حوضه آبریز شهرچای در طول جغرافیایی ۴۴ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۴ درجه و ۳۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۵ دقیقه می‌باشد. در این پژوهش حوضه شهرچای با آگاهی قبلی و با توجه به این که این حوضه مرکز شهرستان ارومیه را نیز در برمی‌گیرد و آب مورد نیاز شهرستان از طریق این حوضه تأمین می‌شود، انتخاب شد و مورد مشاهده میدانی و تحلیل قرار گرفت.

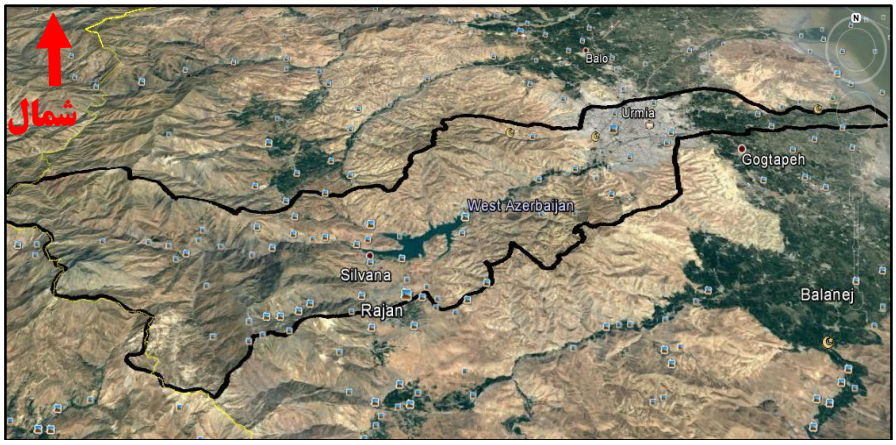


شکل(۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز شهرچای

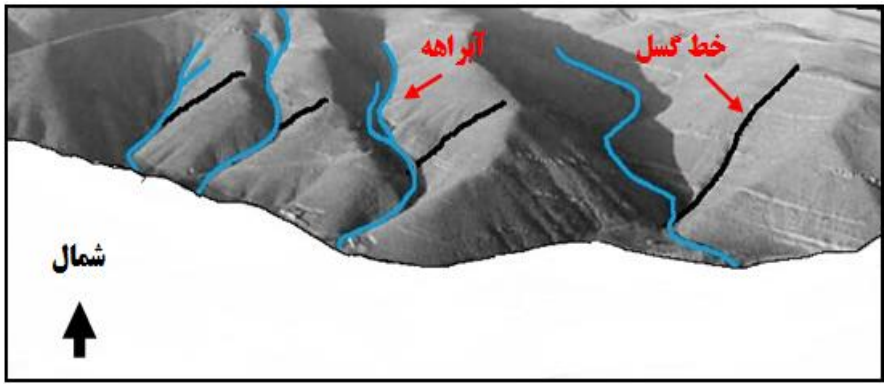
نتایج

از نظر ساختمانی منطقه ارومیه طی دوران اول و آغاز دوران دوم به صورت یک سطح مسطح بوده و در پایان مزوزوئیک و آغاز دوران سوم به یک منطقه کوهزایی بسیار متحرک تبدیل شده است و طبق مطالعات زمین-شناسان متعدد پویاترین منطقه ایران محسوب می‌شود. حرکات زمین‌ساختی تا دوران چهارم ادامه یافته و شکستگی‌ها و گسل‌هایی را در منطقه به وجود آورده است(آقانباتی،۱۳۸۳).

تحلیل و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای از منطقه این مسأله را تداعی می‌کند که منطقه کوهستانی به شدت تحت تأثیر ساختمان و زمین‌ساخت قرارگرفته و به وسیله گسل‌های متعدد حالتی به هم ریخته پیدا کرده است. بطور کلی گسل‌ها کوهستان را بالا رانده‌اند و این بالاراندگی تا مرزحوضه‌ها پیش رفته است به نظر می‌رسد توالی پلکانی کوهستان به سمت باختر، نوع تیپیکی از گسلهای پیانویی پی در پی را به وجود آورده باشد(شکل ۲). علت اصلی اختلاف ارتفاع ناگهانی مربوط به همین پدیده می‌باشد. اگر این گسل‌ها را که در امتداد ناهمواری-های کوهستان ظاهر شده‌اند گسل‌های طولی کوهستان بنامیم گسل‌های دیگری که تقریبا عمود برآنها هستند نیز شناسایی می‌شوند که اغلب رودها عموما برآن‌ها منطبق شده و براساس تحمیل خط شکست گسل‌ها جهت‌گیری کلی پیدا کرده اند؛ شهرچای از جمله این رودها می‌باشد. عدم تجانس‌هایی که در میزان دبی و سیلاب‌های اغلب ایستگاه‌های واقع در مسیر این رودها به وجود آمده‌اند را می‌توان به وجود این مجموعه گسلی و ساختمان سنگ‌شناختی منطقه استناد داد. دره شهرچای و دره‌های مختلف آن از قبیل دره کوه کرد دره-هایی هستند که بر روی خطوط گسله مستقر شده و بی‌نظمی شدیدی را در جهت و نوع اتصال آبراهه‌ها به دره‌ها ایجاد نموده‌اند. نفوذ آب از خارج به داخل حوضه به احتمال زیاد از طریق همین گسلها ممکن می‌گردد. جهت بیشتر این گسل‌ها شمالی و جنوبی عمود بر روند کلی ناهمواری‌های منطقه است و بعضی از گسل‌ها جهت شمال‌غربی ـ جنوب‌شرقی دارند و عمود بر گسل‌های شمالی ـ جنوبی هستند. بر روی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ حوضه شهرچای حدود ۱۷۷ گسل اصلی و فرعی نشان داده شده است که طول تقریبی آن‌ها بین ۱ الی ۱۳ کیلومتر است. بعضی از این گسل‌ها دقیقا از شمال تا جنوب حوضه کشیدگی داشته است. طولانی‌ترین گسل تقریبا ۱۳ کیلومتر طول دارد و از گسل‌های اصلی و یک گسل رورانده در منطقه می‌باشد و از باختر به خاور منطقه در نزدیک روستای جرمی امتداد دارد. عمود بر همین گسل، گسل دیگری به طول تقریبا ۱۰ کیلومتر از شمال تا جنوب روستای جرمی می‌گذرد، تعداد گسل‌ها در این قسمت نشان دهنده حرکات زمین‌ساختی در دوران‌های مختلف می‌باشد که منطقه را به شدت تحت تاثیر قرار داده است. تراکم گسل‌های کواترنری در منطقه سیلوانه به اوج می‌رسد که یکی از مناطق زلزله‌خیز کشور است(شکل ۳).



شکل(۲). تصویر گوگل ارث از محدوده حوضه آبریز رودخانه شهرچای



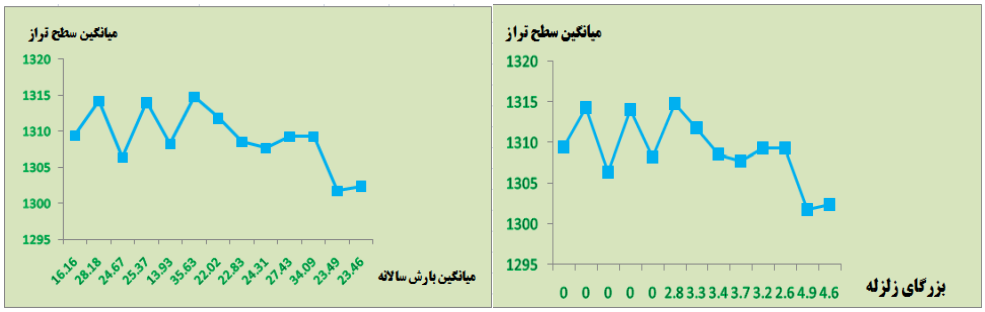
شکل (۳). نمایی از خط گسل رورانده در بخش سیلوانه حوضه شهرچای

مقایسه‌ی نسبی میزان خطر زمین‌لرزه در نقاط مختلف ایران؛ نشان می‌دهد که حوضه شهرچای در یکی از استان‌های زلزله‌خیز ایران واقع شده است. از زلزله‌های اخیری که در ارومیه رخ داده است می‌توان به زلزله سال ۱۳۰۰ق. زلزله ۴ ریشتری فروردین ۸۷ به مرکزیت سیلوانه، زلزله مرداد ۹۱ که دنباله زلزله اهر و ورزقان بود، و زلزله ۴٫۶ ریشتری در مهرماه سال ۹۲ به مرکزیت سیلوانه اشاره کرد. بررسی میزان بارش سال‌های ۸۰ تا ۹۲ و مقایسه آن با سطح تراز آب زیرزمینی و همچنین بررسی شدت لرزه‌خیزی در حوضه نقش مهم گسل را در سطح تراز آب زیرزمینی ثابت می‌کند. به طور تقریبی در سال‌هایی که میزان بارش زیاد بوده ولی فعالیت زمین‌ساختی اندک بوده است سطح تراز آب زیرزمینی بالا بوده است در واقع آب زیرزمینی در عمق زیاد جریان داشته است مانند سال ۸۱ یا ۸۵ که میزان بارش ۲۸٫۱۸میلیمتر در سال ۸۱ و ۳۵٫۶۳ میلیمتردر سال ۸۵ بوده سطح تراز به ترتیب ۱۳۱۴٫۲۴ و ۱۳۱۴٫۷۸ متر بوده است ولی در سال‌های ۸۷، ۹۱ و ۹۲ به دلیل وقوع زلزله‌های نسبتا شدید در منطقه سطح تراز به شکل قابل توجهی پایین آمده و عمق آب زیرزمینی بالا قرار گرفته است با وجود میزان بارش کم در سال‌های ۸۷، ۹۱ و ۹۲ نسبت به سال‌های ۸۱ و ۸۵ به دلیل فعالیت بالای زمین‌ساختی، آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین جریان داشته است (اطلاعات مربوط به شدت لرزه-خیزی در طی سال‌های ۸۰ تا ۸۴ در اختیار نبود).

جدول(۱). بزرگی زلزله و میانگین بارش سالانه حوضه شهرچای

سال	بزرگی زلزله	میانگین سطح تراز	میانگین بارش سالانه (سازمان هواشناسی کشور)
۸۰	۰	۱۳۰۹,۴۲	۱۶,۱۶
۸۱	۰	۱۳۱۴,۲۴	۲۸,۱۸
۸۲	۰	۱۳۰۶,۳۶	۲۴,۶۷
۸۳	۰	۱۳۱۳,۹۹	۲۵,۳۷
۸۴	۰	۱۳۰۸,۲۳	۱۳,۹۳
۸۵	۲,۸	۱۳۱۴,۷۸	۳۵,۶۳
۸۶	۳,۳	۱۳۱۱,۸۴	۲۲,۰۲
۸۷	۳,۴	۱۳۰۸,۵۵	۲۲,۸۳
۸۸	۳,۷	۱۳۰۷,۶۹	۲۴,۳۱
۸۹	۳,۲	۱۳۰۹,۲۸	۲۷,۴۳
۹۰	۲,۶	۱۳۰۹,۳۱	۳۴,۰۹
۹۱	۴,۹	۱۳۰۱,۷۵	۲۳,۴۹
۹۲	۴,۶	۱۳۰۲,۳۶	۲۳,۴۶

تغییرات سطح تراز نسبت به میزان بارش و بزرگای زلزله در نمودار مشاهده می‌شود. هرچه سطح تراز عدد بالاتری رانشان بدهد سطح ایستابی پایین است یعنی آب زیرزمینی در عمق بیشتری جریان دارد و برعکس هرچه سطح تراز عدد پایینی را نشان بدهد سطح ایستابی بالاست و آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین جریان دارد.



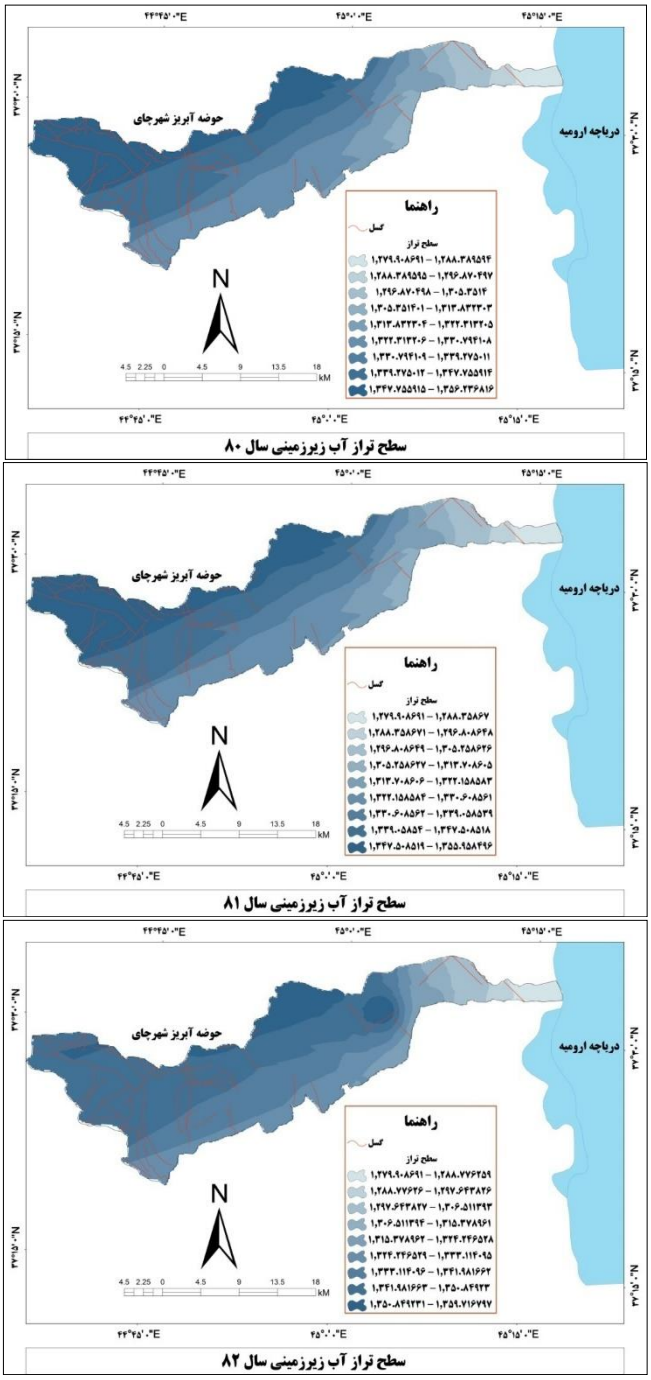
شکل (۴). تغییرات سطح ترازآب زیرزمینی با توجه به بزرگای زلزله و میانگین بارش سالانه

(میانگین بارش سالانه از سایت سازمان هواشناسی کشور برگرفته شده است)

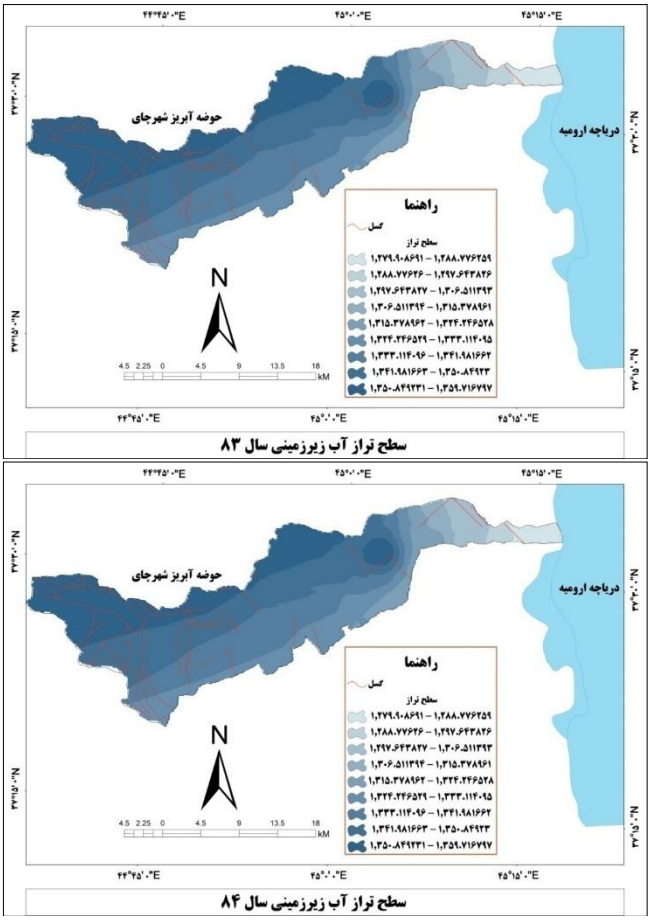
تغییرات مربوط به سطح تراز چاه‌های پیزومتریک در طی سال‌های ۸۰ تا ۹۲ در اشکال(۵ تا۱۰) قابل مشاهده است. الگوهای مختلف حرکت آب زیرزمینی در این نقشه‌ها ارایه شده است. در بخش‌هایی از حوضه که شکستگی قرار دارد حرکت آب زیرزمینی و جابجایی آن به وضوح مشاهده می‌شود.

نقشه‌های حرکت الگوی متفاوت آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های چاه‌های پیزومتریک تهیه شد. در ابتدا موقعیت چاه‌های پیزومتریک به دست آمد سپس با استفاده از روش درونیابی، سطح تراز مربوط به هرچاه، در

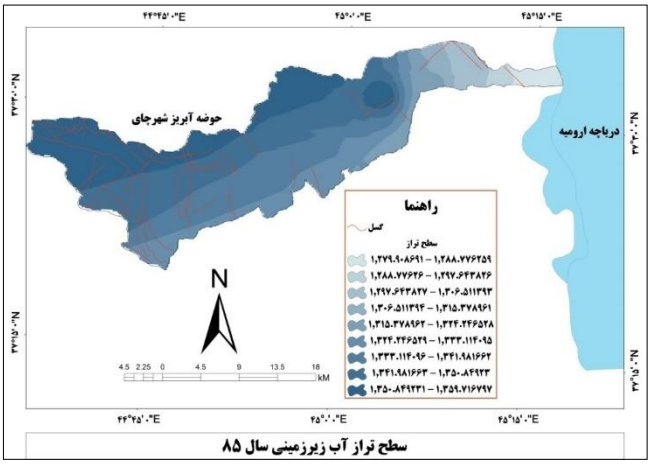
سال‌های مختلف برای کل حوضه به دست آمد که حداقل ۴ حرکت متفاوت آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. گسل‌های نمایش داده شده بر روی نقشه خطوط شکستگی اصلی در محدوده می باشد.

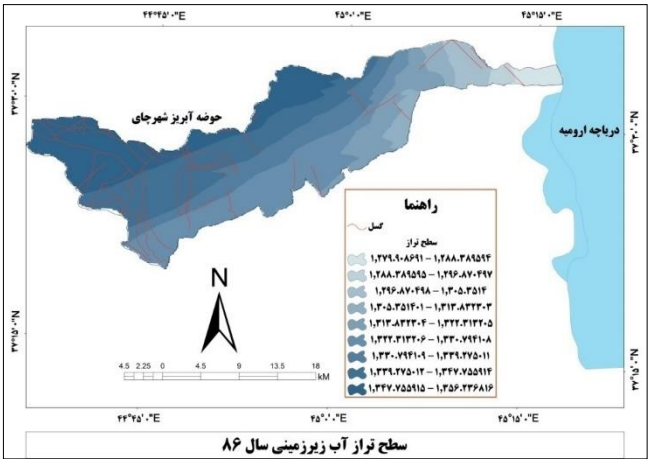


شکل(۵). الگوی حرکت آب زیرزمینی در سال‌های۸۰، ۸۱ و ۸۲

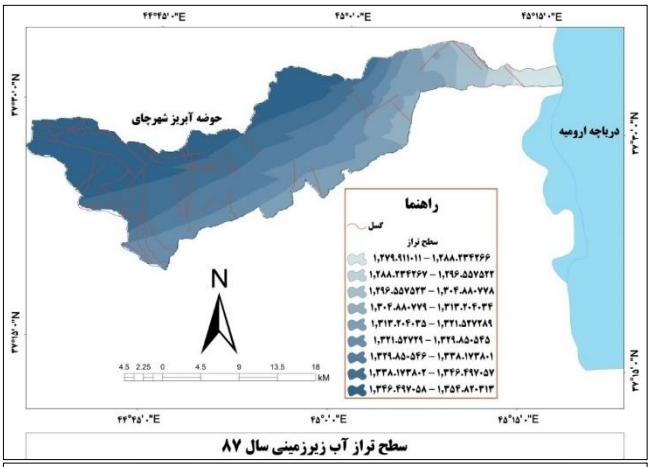


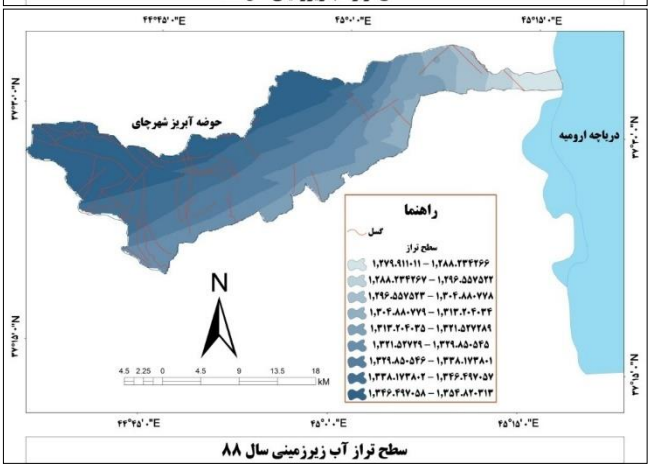
شکل(۶). الگوی حرکت آب زیرزمینی در سال‌های ۸۳ و ۸۴



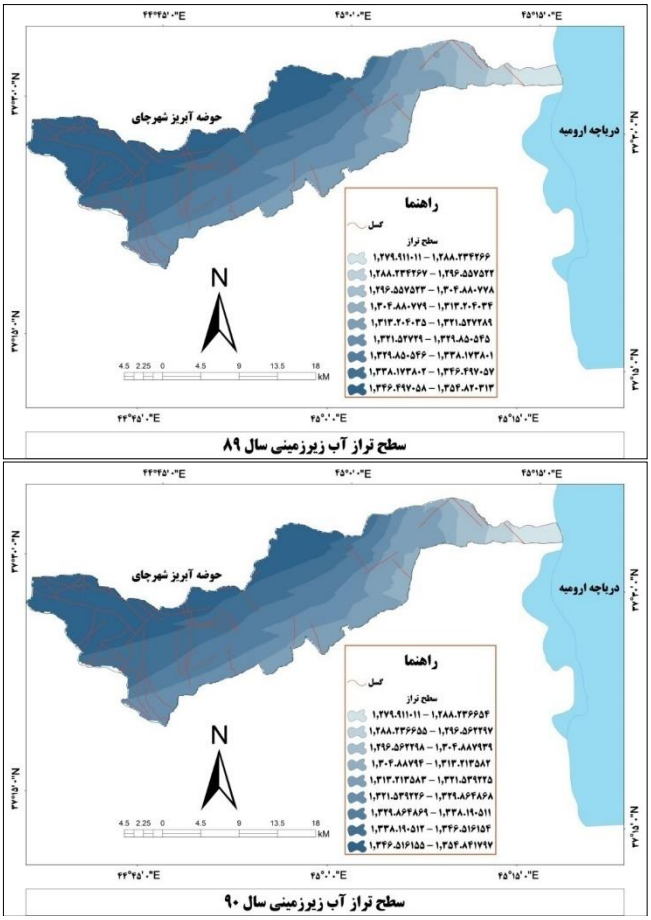


شکل(۷). الگوی حرکت آب زیرزمینی در سال‌های ۸۵ و ۸۶

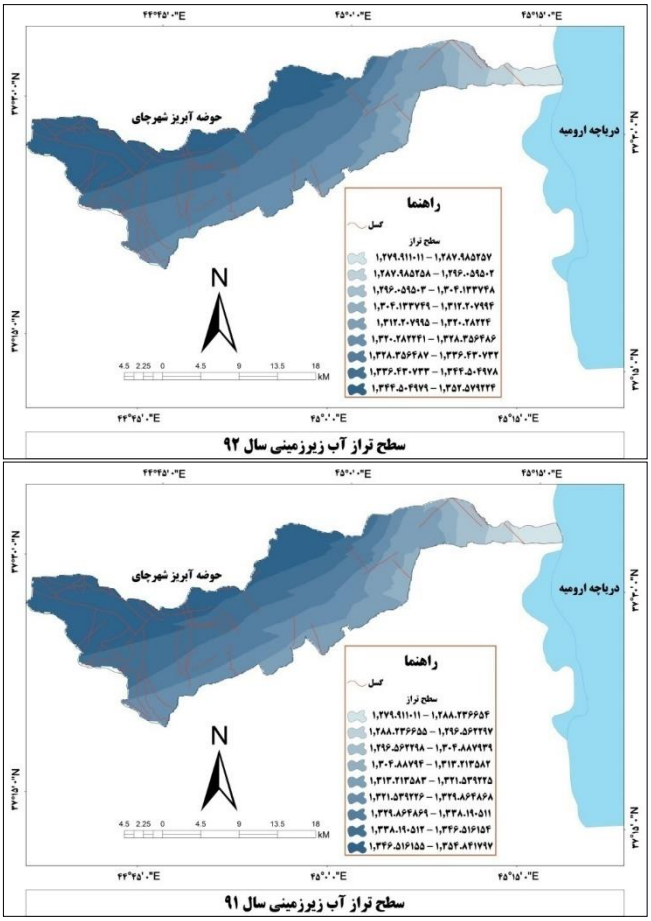




شکل(۸). الگوی حرکت آب زیرزمینی در سال‌های ۸۷ و ۸۸



شکل(۹). الگوی حرکت آب زیرزمینی در سال‌های ۸۹ و ۹۰



شکل(۱۰). الگوی حرکت آب زیرزمینی در سال ۹۱ و ۹۲

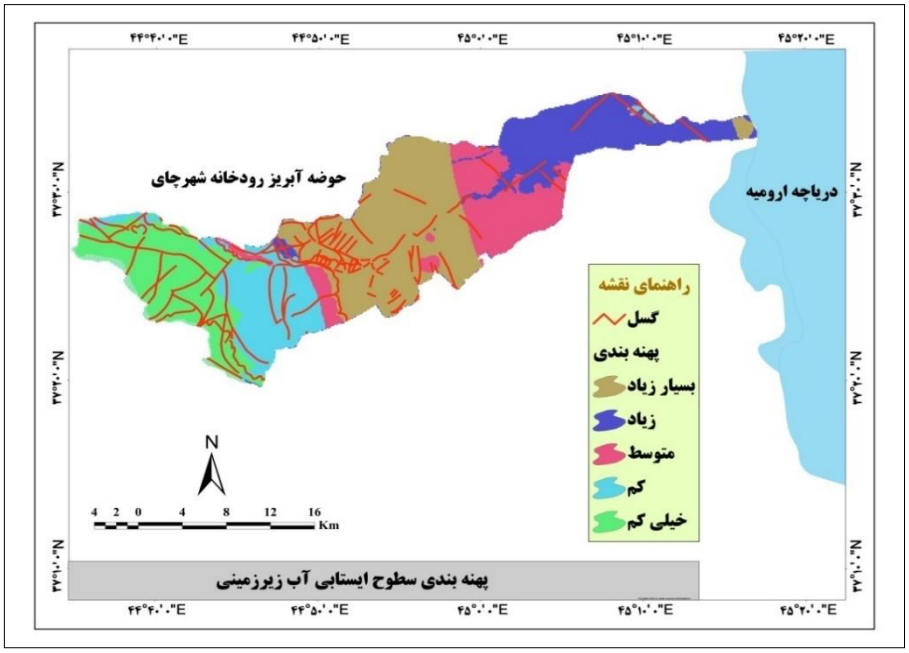
همانطور که در نقشه‌های مربوط به الگوی حرکت آب زیرزمینی مشاهده می‌شود، سطح ایستابی آب زیرزمینی در سال‌های ۸۰ و ۸۱ در بخش شرقی حوضه پایین بوده ولی در بخش غربی و شمالی حوضه میزان سطح ایستابی بالا بوده است. در سال ۸۲ الگوی حرکت کاملا تغییر می‌کند و یک افت تقریبا زیاد آب زیرزمینی در کل حوضه به وجود می‌آید فقط در نقطه کوچکی در بخش شرقی و شمالی حوضه میزان سطح ایستابی بالا بوده است. در سال ۸۳ الگوی دیگری در حوضه برقرار می‌شود. طبق این الگو افت سطح ایستابی آب زیرزمینی به مرکز و جنوب حوضه کشیده می‌شود. این الگو در جنوب و مرکز حوضه سطح تراز بسیار بالایی را نشان می-دهد در واقع میزان آب زیرزمینی به شدت کاهش پیدا کرده است و در بخش بسیار کوچکی از حوضه در شمال آن سطح ایستابی بالا بوده است. الگوی حرکت آب زیرزمینی در سال‌های ۸۴ و ۸۵ به الگوی سال ۸۲ شباهت زیادی دارد فقط در سال‌های ۸۴ و ۸۵ گوشه شمال غربی حوضه سطح ایستابی بالایی را نسبت به سال ۸۲ نشان می‌دهد. الگوی حرکت آب زیرزمینی طی سال‌های ۸۶ تا ۹۲ با آهنگ تقریبا یکسانی در جریان بوده است. در این سال‌ها میزان سطح ایستابی به طور قابل ملاحظه‌ای بالا آمده و سطح تراز پایین رفته است. به عبارتی آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین جریان داشته است. به نظر می‌رسد دلیل تغییرات شدید در حرکت

آب زیرزمینی در این حوضه، به ویژه در مرکز حوضه (منطقه سیلوانه) وجود گسلهای فعال و تغییرات شدید در حرکات زمین‌ساختی این منطقه باشد.

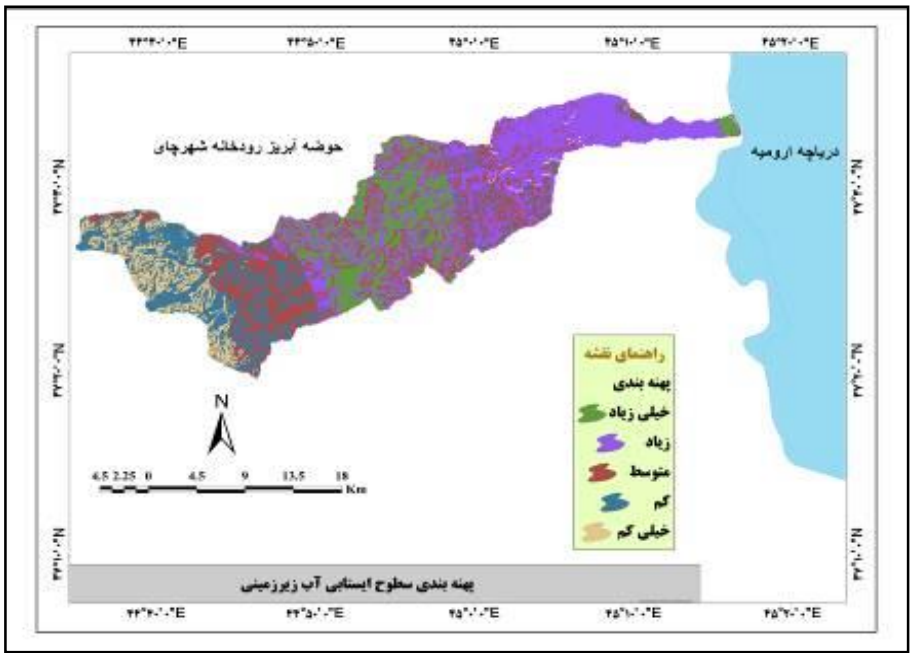
نتیجه‌گیری

مقایسه ای که بین ۶ عامل طبیعی حوضه شامل معیارهای زمین‌شناسی، لیتولوژی، جنس خاک، نوع کاربری اراضی، شیب و بارش با گسل انجام شد نشان داد که هیچ یک از این عوامل به غیر از گسل به تنهایی در افت و خیز سطح آب زیرزمینی موثر نیستند. و شکستگی‌های گسلی اصلی‌ترین نقش را در این حوضه در رابطه با آب زیرزمینی برعهده دارند. درابتدا نقش همه عوامل گفته شده در بالا مثبت در نظر گرفته شد اما خروجی مربوط به مدل saw، نتیجه متفاوتی را ثابت کرد. نقشه پهنه‌بندی میزان تأثیرپذیری سطح تراز آب زیرزمینی برای حوضه شهرچای، یکبار با تاثیر شیب و یکبار بدون تاثیر شیب در حوضه انجام شد. همانطور که مشاهده می-شود شیب هم مانند سایر عوامل نقش چندانی در میزان سطح تراز آب زیرزمینی ندارد اشکال(۱۲ و ۱۳).

مقایسه عوامل موثر در سطح تراز آب زیرزمینی نشان داد که در بین عوامل موثر، وجود گسل فعال و شدت لرزه‌خیزی منطقه در میزان افت و خیز سطح تراز نقش بسیار زیادی دارد. همچنین الگوهای متفاوت حرکت آب زیرزمینی از وجود گسل فعال تأثیر پذیرفته است. برای نمونه با توجه به داده‌های لرزه‌زمین‌ساختی موجود برای سال‌های ۸۶ تا ۹۲ و همچنین طبق زمین‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌های رخ داده در این سال‌ها، می‌توان گفت که الگوی حرکت آب زیرزمینی در این حوضه کاملا از وجود گسل فعال و همچنین بزرگای زلزله متأثر است. مطابقت گسل فعال سیلوانه و زلزله‌های رخ داده در حوضه با مرکزیت سیلوانه، با افت و خیز سطح تراز آب زیرزمینی در مرکز و شمال حوضه، تاثیرپذیری حرکت آب زیرزمینی را از گسل فعال تایید می‌کند شکل (۱۴). بررسی ها نشان می‌دهد بخش شرقی حوضه با وجود اینکه به دریاچه ارومیه نزدیکتر است و از آبرفت‌های دریاچه تشکیل شده و جنس سنگ بستر نفوذپذیرتری دارد در پهنه تأثیر زیاد و متوسط قرار گرفته ولی مرکز حوضه به دلیل وجود گسل‌ها و شکستگی‌های زیاد در پهنه تأثیر بسیار زیاد قرار دارد در حالی که مرکز حوضه جنس خاک نفوذناپذیرتری نسبت به بخش شرقی حوضه دارد. مرکز حوضه شهرچای در بخش سیلوانه قرار دارد. محدوده سیلوانه در یک موقعیت لرزه‌خیزی بالا قرار گرفته است به طوری که اکثر زمین‌لرزه‌های به وقوع پیوسته در دشت ارومیه با مرکزیت سیلوانه اتفاق می‌افتد.



شکل (۱۳). پهنه‌بندی سطح تراز آب زیرزمینی با تاثیرپذیری از گسل بدون اعمال اثر شیب
(تراکم شکستگی ها را در مرکز حوضه در منطقه سیلوانه ملاحظه می‌کنید)



شکل(۱۴).پهنه‌بندی سطح تراز آب زیرزمینی با تاثیرپذیری از گسل
(با اعمال اثر شیب)

منابع

اصغری سراسکانرود، صیاد، ۱۳۹۲، **بررسی و تحلیل الگوهای متفاوت رودخانه شهر چای ارومیه**، دو فصلنامه ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران، شماره اول، بهار و تابستان ۹۲.

آقانباتی، سیدعلی، ۱۳۸۳، **زمین‌شناسی ایران**، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده از شرکت مهندسی منابع آب، سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان باختری.

آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده از سایت سازمان هواشناسی کشور

آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده از سایت پژوهشگاه زلزله شناسی دانشگاه تهران

بساوند، مهدی، ۱۳۹۱، **گسلش جنبا و نقش آن در شکل‌گیری و هندسه دشت‌ها: پاره گسله‌های میاندربند و سنجابی (شمال باختری کرمانشاه) و دشت‌های میاندربند و روانسر ـ سنجابی**، کارشناسی ارشد، سازمان زمین‌شناسی کشور.

بیاتی، مریم، ۱۳۸۸، **تحلیل اثرات فعالیت‌های نئوتکتونیکی در نیمرخ طولی رودخانه‌های حوضه قرنقوچای واقع در دامنه‌های شرقی سهند**، فضای جغرافیایی. ۲۷: ۷۹ – ۱۱۳.

حاجی‌زاده، فوزیه، ۱۳۷۵، **ژئومورفولوژی حوضه آبریز شهرچای در منطقه ارومیه**، کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.

زارع، مهدی، **لرزه خیزی و ساختارهای پهنه دریاچه ارومیه :بررسی احتمال القای رخداد زمین‌لرزه اصلی بعدی**،۱۳۹۳، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

سلیمانی آزاد، شهریار؛ شکری، محمدعلی؛ سرتیپی، عبدالحمید، ۱۳۹۳، **گسلش جنبا در گستره پیرامون دریاچه ارومیه، شمال باختری ایران**، سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین.

علیزاده، امین، ۱۳۸۰، **اصول هیدرولوژی کاربردی**، انتشارات آستان قدس.

کرمی، فریبا، **ارزیابی ژئومورفیک فعالیت‌های تکتونیکی در حوضه زهکشی سعید چای**، پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۹: ۶۷ – ۸۲.

نظری، حمید؛ رتیز ج- اف؛ سلامتی، ر؛ طالبیان، م، **بازنگری در ماهیت ساختاری پرتگاه‌های جنوب تهران («ری» و «کهریزک»)**، رشد آموزش زمین‌شناسی: بهار ۱۳۸۸- شماره ۵۶.

ولدی، مونا، **ارزیابی فعالیت زمین‌ساختی حوضه آبریز بادآورد (نورآباد - لرستان) با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک**، کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، ۱۳۹۲.

یوسفی، زهرا، ۱۳۹۴، **اثرات زمین‌ساخت در شکل‌گیری و مورفولوژی حوضه آبریز شهرچای ارومیه**، کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی.

Burbank, D.W., Anderson, R.S., 2008, Tectonic Geomorphology, Blackwell Publishing Ltd. pp 274.

Christina L. Stamos,2003, **Geologic Setting, Geohydrology and Ground- Water Quality near the Helendale Fault in the Mojave River Basin, San Bernardino County, California,** U.S. Geologic survey water-resources investigations report 03-4069

Dale R. Dailey,2012, **GEOPHYSICAL AND REMOTE SENSING APPLICATION FOR BETTER UNDERSTANDING OF THE STRUCTURAL CONTROLS ON GROUNDWATER FLOW IN THE LUCERNE VALLEY, CALIFORNIA,** Master's Theses, Western Michigan University.

Keller, E.A., Pinter, N. 1996, **Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape**, Prentice-Hall Inc., pp 338.

N.S. Virdi & G.Philip, 2005, **Neotectonic activity in the Outer Himalaya of Himachal Pradesh, in & around Paonta Sahib**: A morphotectonic approach.

R. El Hamdouni,et al,2007, **Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain)**.

Ghasemi, A., Talbot, C.J., 2006, **A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran)**, Journal of Asian Earth Sciences 26, pp. 683–693

Martin Hernandez-Marin, Thomas J.Burbey,2012, **Fault-controlled deformation and stress from pumping-induced groundwater flow,** Journal of Hydrology**.**