

مطالعه تأثیر نوسانات سطح آب زیرزمینی بر پدیده فرونشست در منطقه قلعه (آذربایجان شرقی، تسوج)^۱

علی محمد خورشید دوست^۱

رباب رزمی^۲

نسیم معالی اهری^۳

کریم عباس‌زاده^۴

چکیده

فرونشینی پدیده‌ای طبیعی است که رخداد آن می‌تواند بر الگوی جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی و کیفیت منابع آبی تأثیر منفی داشته باشد. همچنین باعث تحمیل خسارت بر تأسیسات زیربنایی و علت تبعات اقتصادی و اجتماعی گردد. در مقاله حاضر از داده‌های سطوح پیژومتری طی ۱۱ سال دوره آماری موجود در منطقه قلعه در تسوج در بخش شمال شرقی دریاچه ارومیه بهره گرفته شد. مطالعه سطح آب زیرزمینی نشان داد که طی این سال‌ها میزان سطح آب زیرزمینی حدود ۲۵ متر کاهش یافته است. لذا با توجه به میزان کاهش قابل توجه سطح آب زیرزمینی، به بررسی احتمال وقوع پدیده فرونشست زمین در منطقه پرداخته شد. بدین منظور از نقشه‌های ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و گسل‌ها و لوگ‌های حفاری استفاده گردید. تلفیق و تحلیل نقشه‌ها توسط نرم‌افزار ARC GIS و تهیه نقشه‌های ایزوپیز برای هر یک از ماه‌های سال و سالانه با استفاده از نرم‌افزار Surfer Win و انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی مقادیر سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی نشان داد که طی

۱- استاد گروه آب‌وهواشناسی دانشگاه تبریز و دانشگاه آزاد اسلامی اهر و نویسنده مسئول. Email: khorshid@tabrizu.ac.ir

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، اهر.

۳- دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری.

۴- کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، هیدرولوژی.

۱۱ سال آمار موجود، میزان فروروشست زمین در برخی از قسمت‌های منطقه از جمله روستای قلعه به وقوع پیوسته است که این فروروشست را می‌توان به افت سطح آب‌های زیرزمینی نسبت داد.

واژگان کلیدی: تغییرات مکانی-زمانی، سطح ایستابی، فروروشست، نقشه‌های ایزوپیز، منطقه قلعه تسوج.

مقدمه

یکی از مخاطراتی که بشر طی دهه‌های اخیر به‌ویژه در دشت‌های آبرفتی با آن مواجه بوده، پدیده فروروشست می‌باشد (افضلی و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۲). این پدیده، یکی از پدیده‌های مخرب زمین‌شناختی می‌باشد که در نتیجه فشردگی لایه‌های خاکی زمین رخ می‌دهد. طبق اصل ترزاقی^۵ (۱۹۴۳)، با نقل از حجت‌نیا و ریاحی، (۱۳۹۱: ۵۵)، استخراج آب زیرزمینی باعث کاهش فشار آب حفره‌ای و افزایش تنش موثر خاک در لایه‌های زیرین می‌گردد که این امر منجر به پدیده تحکیم خاک و رخداد پدیده فروروشست می‌گردد (محسن باقری و همکاران ۱۳۹۱: ۱۲). از عواقب این پدیده می‌توان به ایجاد درزو شکاف در سطح زمین، تخریب سیستم‌های آبیاری و کاهش حاصل‌خیزی خاک، فروریختن تدریجی دکل‌ها و سازه‌ها، ریزش و کج شدن جداره چاه‌ها، تغییر شیب سطح زمین و افزایش سیل‌خیزی منطقه، افزایش آسیب‌پذیری منطقه نسبت به خشکسالی و غیره اشاره کرد (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۶: ۴۳۲۸-۴۳۲۰).

پدیده مذکور فرآیندی است طبیعی که از مخاطرات محیطی بوده؛ بیش‌تر در اثر پدیده‌های طبیعی زمین‌شناختی مختلف مانند انحلال، حرکت آرام پیوسته، ریزش فروچاله‌ها و یا فعالیت‌های انسانی نظیر معدن‌کاری زیرزمینی، استخراج نفت و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی تشدید می‌شود (لشکری پور، ۱۳۸۷، ۹۶). افت سطح آب زیرزمینی در اکثر نقاط جهان، به‌ویژه آفریقای شمالی، آسیای مرکزی و جنوبی، خاورمیانه، چین شمالی، آمریکای

شمالی و استرالیا و به‌طور محلی در دیگر مناطق جهان مشاهده می‌گردد. مطالعات دانشمندان در مناطق مختلف جهان نظیر ای سونگ و جیان هوا^۶ (۱۹۹۴) در چین، یاماموتو^۷ (۱۹۹۵: ۷۶۱-۷۵۱) در ژاپن، قالووا^۸ و همکاران (۱۹۹۵: ۲۵۸۵-۲۵۷۳) در دره انتلیه^۹ در بیابان موجاو در کالیفرنیا، سون^{۱۰} و همکاران (۱۹۹۹: ۸۴۶-۸۳۱) در منطقه جنوبی نیوجرسی در امریکا، لارسون^{۱۱} و همکاران (۲۰۰۱: ۱۰۲-۷۹) در شهر لاس بانوس کتلمنا^{۱۲} در کالیفرنیا، باربی^{۱۳} (۲۰۰۲: ۵۳۸-۵۲۵) در لاس وگاس امریکا، چای^{۱۴} و همکاران (۲۰۰۴، ۱۴۷-۱۴۳) در شانگهای چین، کاربونین^{۱۵} و همکاران (۲۰۰۴: ۳۵۳-۳۴۵) در ونیز ایتالیا، تیاتینی^{۱۶} (۲۰۰۵، ۸۴۶-۸۳۱) در منطقه راونا^{۱۷} در ایتالیا، زکستر^{۱۸} و همکاران (۲۰۰۵: ۴۰۴-۳۹۶) در بخش جنوبی آمریکا، فی‌ین‌وج^{۱۹} (۲۰۰۶، ۲۰۱-۱۸۷) در شهر بانکوک تایلند، مارفای و کینگ^{۲۰} (۲۰۰۷: ۶۵۹-۶۵۱) در اندونزی، کینگ شای^{۲۱} و همکاران (۲۰۰۷: ۴۰-۲۷) در منطقه سو کسی چانگ^{۲۲} چین، ژانگ^{۲۳} و همکاران (۲۰۰۸: ۷۶۲-۷۵۱) در بخش جنوبی دلتای یانگ تسه در چین، عابدین^{۲۴} و همکاران (۲۰۰۸: ۳۲-۲۳) در جاکارتای اندونزی، چن^{۲۵} و همکاران (۲۰۱۰: ۱۳۱-۱۲۲) در منطقه چوشیچی^{۲۶} در تایوان، مودونی^{۲۷} و

-
- 6- Aisong&Jianhua
 - 7- Yamamoto
 - 8- Gallowa
 - 9- Antelope
 - 10- Sun
 - 11- Larson
 - 12- Los Banos-Kettleman
 - 13- Burbey
 - 14- CHAI
 - 15- Carbognin
 - 16- Teatini
 - 17- Ravenna
 - 18- Zektser
 - 19- Phien-wej
 - 20- Marfai and king
 - 21- Qing Shi
 - 22- Su-Xi-Chang
 - 23- Zhang
 - 24- Abidin
 - 25- Chen

همکاران (۲۰۱۳: ۷۱-۵۹) در منطقه بولوگنا^{۲۸} در ایتالیا، چاوسارد^{۲۹} و همکاران (۲۰۱۴: ۱۰۶-۹۴) در مکزیک، ژینگ ژیان^{۳۰} و همکاران (۲۰۱۴: ۱۶۴-۱۵۵) در منطقه شمال چین، فرونشست ایجاد شده در مناطق مورد مطالعه را ناشی از برداشت بی‌رویه آب‌های زیر زمینی دانسته‌اند.

در ایران فرونشست زمین اولین بار در دشت رفسنجان در سال ۱۳۴۶ با پدیده برون‌زدگی لوله‌ها در چاه‌های کشاورزی گزارش شده است (حسینی میلانی، ۱۳۷۳)، به نقل از لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۱-۹۵). اما در سال‌های اخیر فرونشست زمین به دلایل مختلفی از جمله وقوع خشکسالی‌های متوالی و استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق کشور مشاهده شده است. از جمله می‌توان به مطالعات شفیعی ثابت (۱۳۷۳) در کرمان، رفسنجان و سیرجان، مهری (۱۳۸۳) در دشت سبزووار، لشکری‌پور و همکاران (۱۳۸۷: ۱۱۱-۹۵) در غرب دشت کاشمر، علی‌آبادی (۱۳۸۷) در دشت سبزووار، زنجیر و جعفری (۱۳۸۸: ۱۶۶-۱۵۵) در دشت اشتهارد در غرب تهران، توفیق و طباطبائی عقدا (۱۳۸۸: ۷۲-۶۷) در منطقه رفسنجان، معالی اهری (۱۳۹۰: ۱۰۹) در دشت اردبیل، آمیغی و همکاران (۱۳۸۹: ۱۶۴-۱۵۷) در دشت یزد-اردکان، صالحی و همکاران (۱۳۹۰) در دشت مهیار، زارع مهرجردی (۱۳۹۰) در منطقه رستاق جنوب میبد در شمال غرب یزد، شمشکی و همکاران (۱۳۹۰: ۱۴۲-۱۳۷) در دشت هشتگرد در استان تهران، اسکانی (۱۳۹۰: ۲۸-۲۵) در دشت سمنان و سوزنده‌پور و همکاران (۱۳۹۱) در منطقه طرق ایبازن ر نظنز، مرتضوی‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) در دشت ابرکوه، کریمی و همکاران (۱۳۹۲: ۵۶-۳۷) در منطقه ۱۸ تهران، میرزایی باروجی (۱۳۹۳: ۱۷۵-۱۷۱) در اطراف دریاچه ارومیه اشاره کرد.

26- Choshuichi

27- Modoni

28- Bologna

29- Chaussard

30- Xing-xian

هر چند در گذشته علت اصلی فرونشینی استفاده از آبیاری چاه‌ها جهت استفاده در مزارع و دشت‌ها قلمداد می‌شده است اما در آینده با افزایش رشد جمعیت در شهرها خسارت ناشی از فرونشست به دلایل مختلف نظیر استفاده از منابع آب زیرزمینی برای مصارف صنعتی و خانگی، استفاده از آب‌ها در نیروگاه‌های برق و بیش‌تر خواهد بود. با توجه به کاهش سطح آب دریاچه ارومیه طی سال‌های اخیر و تأثیرات زیست محیطی آن در محیط اطرافش در این تحقیق تلاش گردید تا به مطالعه پدیده مذکور در منطقه قلعه در تسوج واقع در شمال شرق دریاچه ارومیه بپردازیم.

محدوده مورد مطالعه

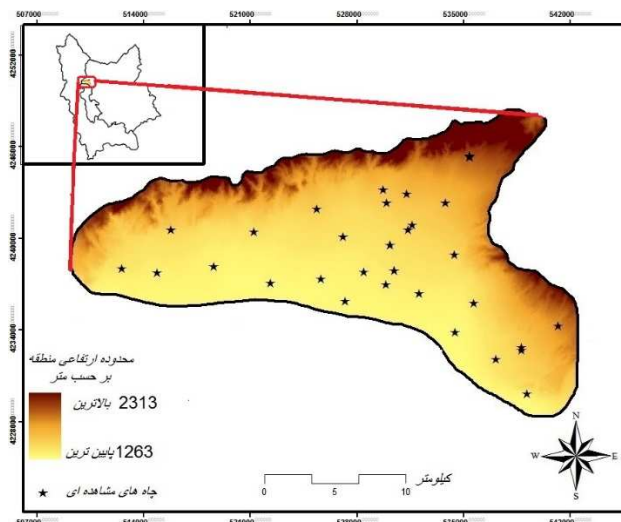
روستای قلعه تسوج در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ۴۵ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی در شمال غرب ایران، ساحل شمال شرقی دریاچه ارومیه و جنوب شهرستان تسوج واقع شده است. مساحت منطقه ۳۷۹،۷۷ کیلومتر مربع می‌باشد. موقعیت منطقه همراه با طیف ارتفاعی آن در شکل (۱) ارائه شده است. این منطقه به دلیل استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی طی سال‌های اخیر و از طرف دیگر کاهش سطح آب دریاچه ارومیه، با افت شدید آب مواجه شده است. از طرف دیگر برداشت زیاد آب‌های زیرزمینی منطقه احتمال پیشروی جبهه آب شور دریاچه را هم افزایش داده است.

مواد و روش‌ها

مهم‌ترین هدف این تحقیق تأثیر برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی منطقه به صورت چاه، قنات و چشمه، بر فرونشینی زمین می‌باشد. لذا در ابتدا بعد از تعیین محدوده مورد مطالعه، جهت شناخت ویژگی‌های زمین‌شناختی منطقه، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه شد. همچنین برای بررسی اشکال و فرایندهای ژئومورفیک موجود در منطقه، نقشه ژئومورفولوژی، نقشه رقمی ارتفاع (DEM) تهیه گردید. موقعیت توپوگرافی محدوده مورد مطالعه در چهار برگه شامل برگه تسوج، شرفخانه، قره‌باغ و دیزج دیز واقع شده بود که برای استفاده از این برگه‌ها ابتدا چهار نقشه توسط نرم‌افزار Raster Stitch موزاییک شده و نقشه واحد منطقه جهت برش محدوده مورد مطالعه تهیه

گردید. همچنین وضعیت لایه‌های رسوبی و سنگ کف از نظر ضخامت دانه‌بندی با توجه به اطلاعات لوگ‌های حفاری چاه‌های پیژومتری مورد بررسی قرار گرفت.

دومین نوع داده‌هایی که در تحقیق مورد استفاده قرار گرفت، داده‌های آماری اندازه‌گیری شده مربوط به سطح ایستابی منطقه است. بدین منظور از داده‌های حداکثر ۳۰ حلقه چاه حفاری شده در منطقه طی دوره آماری ۱۳۸۰-۱۳۹۰ بهره گرفته شد. از آنجا که امار سطح ایستابی چاه‌ها در مدت محدود ۱۵ ساله و کمتر بود و همچنین داده‌های موجود در ابتدای دوره آماری کمبودها و نواقص زیادی داشت. لذا از داده‌های آماری تنها ۱۱ ساله استفاده گردد. شایان ذکر است که اطلاعات موجود با استفاده از تکنیک‌های زمین آمار به صورت پهنه‌ای درآمد.



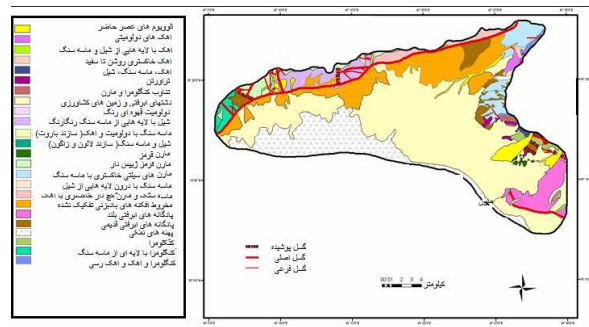
شکل (۱) موقعیت جغرافیایی چاه‌های مورد استفاده در منطقه قلعه تسوج

به منظور ایجاد نقشه‌های پهنه‌ای، ابتدا در محیط نرم‌افزاری Surfer Win یک شبکه طوری به ابعاد یاخته‌ای 50×100 (سطر \times ستون) بر منطقه برازنده گردید. سپس با تکنیک میان‌یابی کریجینگ برای هر گره از شبکه سطح ایستابی برآورد شد. بدین طریق برای هر

ماه از هر سال یک نقشه سطح ایستابی و در کل به تعداد ۱۳۲ نقشه تولید شد. جهت شناسایی مناطق مشابه از لحاظ سطح پیرومتری، از روش طبقه‌بندی خوشه‌ای استفاده شد. بدین منظور نقشه‌های پیرومتری هر یک از ماه‌های سال تهیه شد. سپس نقشه‌ها به عدد تبدیل گردیده و با استفاده از این داده‌ها یک ماتریس به ابعاد ۲۷۰۹×۱۴۲ ایجاد شد. در مرحله بعد تحلیل خوشه‌ای بر روی داده‌ها اعمال گردید. از آنجا که پدیده فرونشست زمین بلافاصله بعد از برداشت سیال (آب زیرزمینی) رخ نمی‌دهد بلکه در زمانی طولانی‌تر از برداشت اتفاق می‌افتد که این امر بستگی به ضخامت و تراکم‌پذیری لایه‌ها، طول زمان بارگذاری، درجه و نوع تنش وارده، نوع خاک، ویژگی‌های زمین‌شناختی و ساختمانی منطقه دارد لذا در ادامه به بررسی ویژگی‌های زمین‌ساختی و ژئومورفولوژیکی منطقه پرداخته می‌شود تا احتمال تأثیر آن‌ها بر وقوع فرونشست در منطقه مورد بررسی قرار گیرد.

ویژگی‌های ژئومورفیک

دشت تسوج یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دامنه‌های جنوبی میشو میباشد که ساختار زمین‌شناسی آن تحت تأثیر رشته کوه‌های میشو و تکتونیک آن و چاله ساختمانی دریاچه ارومیه است. دشت تسوج قسمتی از ساختمان زمین‌شناسی شمال غرب ایران با روند شرقی-غربی است که سازندهای دوران‌های پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک در ساختمان زمین‌های آن دخالت داشته و بر اثر عوامل مختلف آتشفشانی و تکتونیک در طی دوران‌های مختلف، به‌شدت گسل خورده و شکسته‌اند (بهنام‌فر، ۱۳۸۲: فاقد شماره صفحه).



شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه تسوج)

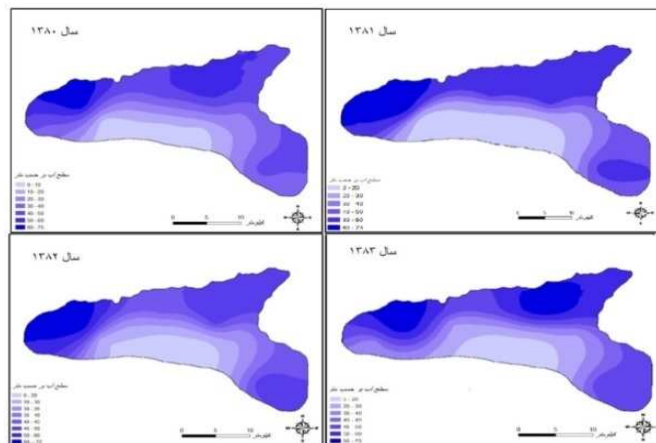
در شکل (۲) دیده می‌شود که گسل‌های بزرگ با راستای شمال شرقی - جنوب غربی و غربی - شرقی در قسمت شرق و شمالی منطقه ایجاد شده‌اند. گسل تسوج و گسل شرفخانه - شبستر، از گسل‌های فعال در منطقه است که با راستای شرقی - غربی در حد فاصل کوه‌های میشوو دریاچه ارومیه وجود دارد و رسوب‌های جوان را گسسته است. این گسل‌ها از روند گسل اصلی تبریز پیروی می‌کنند (بهنام فر - ۱۳۸۲: فاقد شماره صفحه). گسل اصلی این منطقه گسل تسوج است. این گسل با طول تقریبی ۴۷ کیلومتر در شمال شهر تسوج قرار دارد. روند عمومی آن ۷۵ درجه بوده ساز و کار آن چپ بر است. وجود این گسل با توجه به اینکه بین سازندهای سخت در شمال و سازندهای سست در جنوب آن، می‌تواند در کنار سایر عوامل، عامل مؤثری در تشدید عملکرد فرونشینی زمین در منطقه به‌ویژه بخش‌های جنوبی آن باشد.

بر اساس شکل (۳) که در آن نقشه ژئومورفولوژی منطقه ارائه شده است، دشت تسوج یک دشت نیمه‌بسته بوده و تنها از جهت جنوب با حوضه آبریز ارومیه ارتباط دارد. این دشت از نظر ژئومورفولوژیکی یک دشت تراکمی پوشیده از رسوبات دوره کواترنر و جدید است که از یک طرف به کوه‌های کم ارتفاع و تپه‌های فرسوده و از طرف دیگر به حوضه آبریز ارومیه منتهی می‌گردد. در محل تماس کوه پایه به دشت سر وجود گسل شرقی-غربی تسوج باعث ایجاد لندفرمی خاص در منطقه شده به‌طوری که رنگ و جنس رسوبات در بالادست

از جمله عوامل انسانی که بر لندفرم منطقه تأثیر گذاشته، وجود قنات‌های متعدد در قسمت مرکزی دشت تسوج و بر روی مخروط افکنه‌ها و آبرفت‌های جدید است که آب تعدادی از این قنات‌ها خشک شده‌اند. وجود این قنات‌های خشک و نیمه‌خشک می‌تواند شاهدهی بر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در منطقه به‌ویژه در بخش‌های مرکزی آن باشد که بر اساس مطالعات انجام شده بیش‌ترین میزان افت سطح آب زیرزمینی و میزان فرونشست زمین هم در این بخش بوده است.

یافته‌ها و بحث

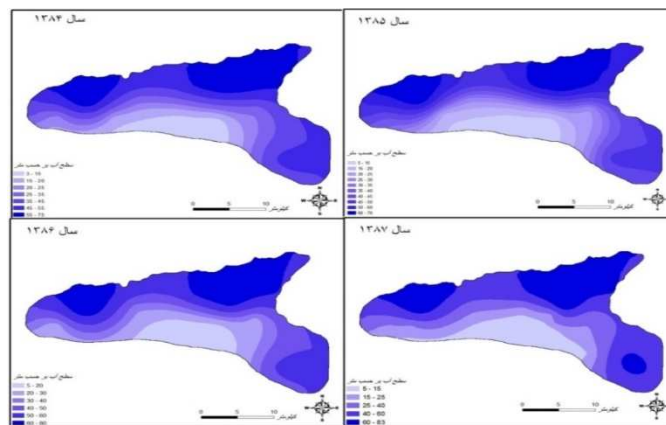
تغییرات مکانی - زمانی سطح ایستابی منطقه



شکل (۴) نقشه ایزوپیز آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه از سال ۱۳۸۰-۱۳۸۳

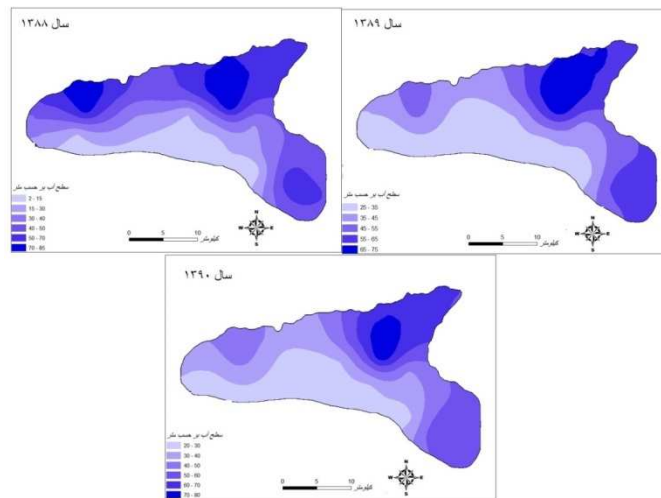
برای مطالعه چگونگی حرکت آب در زیرزمین و کسب اطلاعات مفید دیگر در مورد لایه‌های آبدار، نقشه‌های سطح ایستابی (پیزومتریک) تهیه شد. در این پژوهش، برای به دست آوردن نقشه‌های ایزوپیز طی ۱۱ سال آمار موجود در منطقه قلعه در تسوج، با استفاده از داده‌های ۳۰ حلقه چاه مشاهده‌ای و روش میان‌یابی در محیط نرم‌افزار GisArc نقشه‌های ایزوپیز سالانه تهیه گردیده و در شکل‌های ۴ تا ۶ ارائه شدند.

بر اساس این نقشه‌ها در کلیه سال‌ها از ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ بخش جنوبی منطقه با شدت و ضعف‌های متفاوتی سطح ایستایی بالایی داشته است. در بخش دامنه‌ها و کوهپایه‌ها به دلیل پایین‌تر بودن سنگ کف (بر اساس لوگ حفاری ارائه شده توسط سازمان آب منطقه‌ای) سطح پیژومتری پایین‌تر بوده است. با این وجود سطح آب طی ۱۱ سال مورد مطالعه نوساناتی را به خود دیده است. عمق سطح ایستاباز سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ کاهش یافته و به اعماق پایین‌تری از سطح زمین رسیده است. مشاهده می‌شود که در سال ۱۳۸۰ حداکثر ارتفاع آب در بخش‌های جنوبی منطقه تا عمق ۱۰ متری از سطح زمین بوده که به سمت بخش‌های شمالی و شرق و غرب عمق سطح پیژومتری بیش‌تر شده و به ۶۰ متر هم می‌رسد. اما طی سالیان متمادی نوساناتی نیز داشته و حداکثر ارتفاع پیژومتری از سطح زمین ۲۰-۱۵ متر و حداقل ارتفاع هم بین ۷۵-۸۵ متر متغیر بوده است. مهم‌ترین پدیده قابل توجه در نقشه‌های ایزوپیز، افت قابل توجه سطح آب طی دو سال ۹۰ و ۸۹ می‌باشد که در این سال‌ها سطح آب در بخش‌های جنوبی منطقه از ۱۰ متر در سال ۱۳۸۰ به ۳۵ متر در سال ۸۹ و ۳۰ متر در سال ۱۳۹۰ کاهش یافته است. به عبارت دیگر طی ۱۰ سال در حدود ۲۵ متر کاهش یافته است. از ماه‌های اول سال ۱۳۸۰ تا ماه‌های آخر ۱۳۹۰ عمق سطح آب بیش‌تر شده و از ۳۰ متر در مهرماه ۱۳۸۰ به ۴۲/۵ متر در ماه آخر یعنی شهریور ۱۳۹۰ رسیده است.



شکل (۵) نقشه ایزوپیز آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه از سال ۱۳۸۴-۱۳۸۷

این مسئله شدت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و عدم تغذیه مناسب آب‌های مذکور را نشان می‌دهد. از طرف دیگر بر گستره پهنه‌ای که با کاهش سطح ایستابی مواجه هستند افزوده شده است. این افزایش بیش‌تر به سمت بخش‌های غربی و شرقی منطقه می‌باشد.



شکل (۶) نقشه ایزوییز آب‌های زیرزمینی محدوده مورد مطالعه از سال ۱۳۸۸-۱۳۹۰

با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و هم‌چنین لوگ‌های حفاری اخذ شده از سازمان آب منطقه‌ای استان که نمونه‌ای از آن در شکل (۷) ارائه شده؛ علت پایین بودن سطح عمق آب در نیمه شمالی منطقه وجود لایه‌های غیرقابل نفوذ در سطوح پایین تری نسبت به قسمت مرکزی و جنوبی دشت است. سنگ بستر در این محدوده در ۱۰۵ تا ۱۲۰ متری عمق زمین گسترده شده‌اند. بنابراین وجود عمق زیاد سنگ بستر و هم‌چنین وجود گسل شرقی - غربی تسوج و گسل‌های متعددی که باعث ایجاد هورست و گرابن‌های متعدد در قسمت شمالی دشت شده، می‌تواند عاملی برای پایین بودن سطح آب باشد. از طرفی در قسمت جنوبی و جنوب شرقی منطقه زیر لایه آبرفتی جدید، لایه کنگلومرا و در زیر آن لایه رسوبات دوره میوسنبا ضخامت حدود ۱۰۰ الی ۱۵۰ متر (شامل مارن قرمز) قرار گرفته است (شکل ۲). مارن لایه‌ای است که به آن سیمان طبیعی گفته می‌شود و در زمین‌شناسی به‌عنوان یک

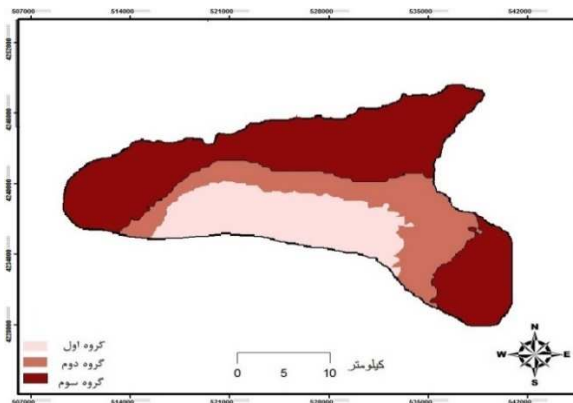
لایه نفوذ ناپذیر معرفی می‌شود که سنگ کف چاه‌های قسمت جنوبی دشت را تشکیل می‌دهد. با توجه به لوگ‌های حفاری عمق سنگ کف در این قسمت بین ۳۸ تا ۵۰ متر بوده که رفته رفته به سمت شمالی و شرقی دشت بر میزان آن افزوده می‌شود. به این دلیل نیز سطح ایستابی آب‌ها در این قسمت بالاتر از قسمت شمالی آن است.



شکل (۷) لوگ حفاری مربوط به چاه مشاهده‌ای شهرستان تسوج (منطقه قلعه مراغوش)

پهنه‌بندی تغییرپذیری سطوح پیزومتری

با انجام تحلیل خوشه بر روی داده‌های یاخته‌ای سطوح پیزومتری آب در منطقه، سه گروه برای پهنه‌بندی تغییرپذیری سطوح پیزومتری مناسب تشخیص داده شد که در شکل (۸) ارائه گردید. ویژگی‌های هر گروه به تفکیک در ادامه آورده می‌شود.



شکل (۸) پهنه‌بندی تغییر پذیری سطوح پیژومتري محدوده مورد مطالعه

ویژگی‌های گروه اول

این گروه سواحل شمال شرقی دریاچه ارومیه را در برمی‌گیرد. بخش عمده‌ای از این منطقه از پهنه‌های نمکی و دشت‌های آبرفتی پوشیده شده است. به دلیل ویژگی آبرفتی منطقه و به تبع آن وجود سفره‌های زیرزمینی متعدد مردم بیش‌ترین بهره‌وری از آب‌های زیرزمینی را به صورت قنات و چاه در این بخش داشته‌اند. به طوری که تمرکز اصلی قنات‌ها در بخش شرقی این محدوده مشاهده می‌شود. سطح ایستابی طی ۱۱ سال دوره آماری مورد مطالعه در این بخش با وجود تغذیه مناسب شبکه‌های هیدروگرافی با شدت و ضعف‌های متفاوت در نوسان بوده است. بالاترین عمق سطح آب در این بخش به ۲۰-۸ متر از سطح زمین می‌رسد.

ویژگی‌های گروه دوم

بخش اعظم منطقه واقع در این گروه (شکل ۸) از نظر زمین‌شناسی توسط دشت‌های آبرفتی و زمین‌های کشاورزی پوشیده شده است. بیش‌تر مناطق مسکونی از جمله شهرستان تسوج و روستاهای دیزج شیخ‌مرجان، قره‌تپه، قلعه مراغوش در این گروه واقع شده است. مهم‌ترین ویژگی این گروه وسعت زیاد زمین‌های کشاورزی است که به دلیل موقعیت دشت سری منطقه و تعدد مخروط افکنه‌ها که باعث تغذیه مناسب سفره‌های آب زیرزمینی

می‌شود، کشاورزی نیز بیش‌ترین گسترش را داراست. شبکه هیدروگرافی منطقه به‌طور عمده توسط آبراهه‌های اصلی پوشش داده شده است. عمق سطح آب در این بخش نسبت به بخش اول کاهش داشته و به ۲۰-۵۰ متری از سطح زمین رسیده است.

ویژگی‌های گروه سوم

به‌دلیل قرارگیری این گروه در دامنه و موقعیت پای‌کوهی که ناشی از فعالیت‌های زمین‌ساختی بوده است، این بخش (قسمت‌هایی از شمال و شرق دشت تسوج) از تنوع زمین‌شناسی برخوردار بوده و گروه‌های مختلفی از واحدهای لیتولوژی در آن دیده می‌شود. مهم‌ترین ویژگی این منطقه، قرارگیری گسل اصلی تسوج در منطقه است که دارای روند شمال شرقی، جنوب غربی است. وجود گسل‌های متعدد در منطقه باعث شکسته شدن واحدهای زمین شده است. چنانکه در شکل (۳) دیده می‌شود؛ در این بخش پدیده‌های مورفولوژی فراوانی قابل مشاهده است از آن جمله می‌توان به وجود تپه‌های فرسوده، واریزه‌های متعدد، تراس‌های رودخانه‌ای و پادگانه‌ها اشاره کرد. یکی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد منطقه شیب زیاد آن است که به بیش از ۵۰ درصد هم می‌رسد. سطح آب زیر زمینی نیز در این بخش به پایین‌ترین حد خود رسیده که به ۷۵-۸۰ کیلومتری سطح زمین می‌رسد.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی فرونشست زمین و علل آن در منطقه قلعه در تسوج است. لذا تلاش گردید تا با استفاده از روش‌های مناسب آماری و با بهره‌گیری از نقشه‌ها و داده‌های موجود به بررسی پدیده مذکور پرداخته شود. بررسی نقشه‌ها نشان‌دهنده افت تدریجی سطح ایستابی از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ می‌باشد، به‌ویژه طی دو سال آخر که میزان کاهش هم به‌صورت عمودی (عمق سطح ایستابی) هم به صورت افقی (گستره مکانی) محرز بوده است. بیش‌ترین گستره کاهش در محدوده گروه اول یعنی بخش جنوبی منطقه بوده است. این مسئله شدت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و عدم تغذیه مناسب آب‌های مذکور در بخش‌های یاد شده را نشان می‌دهد. به‌دلیل کاهش سطح آب و افزایش خلل و

فرج خاک، بافت خاک به تدریج فشرده شده و باعث کاهش حجم و ضخامت عمودی لایه‌های زمین و در نتیجه نشست زمین در برخی از قسمت‌های منطقه (از جمله روستای قلعه مراغوش) گردیده که خود می‌تواند دلیلی بر فرونشینی زمین در ابعادی گسترده‌تر و فاجعه‌آمیزتر در منطقه باشد. فرونشست زمین می‌تواند باعث ایجاد خسارات در خیابان‌ها، بزرگ راه‌ها، پل‌ها، آسیب به اماکن عمومی و زیربنای ساختمان‌های مهم شهری شود. باتوجه به وجود خطرات ناشی از این پدیده، کنترل برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و عدم احداث چاه‌های جدید، جلوگیری از کشت بی‌رویه محصولات کشاورزی با نیاز آبی فراوان، اصلاح سیستم کشت و سیستم بهره‌برداری از آب‌ها جهت مصارف گوناگون در منطقه لازم و ضروری می‌نماید.

منابع

- آمیغ‌پی، معصومه؛ سیاوش، عربی و علی طالبی (۱۳۸۹)، «بررسی فرونشست یزد با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری و ترازیابی دقیق»، *علوم زمین*، شماره ۷۷، صص ۱۶۴-۱۵۷.
- اسکانی، غلامحسین (۱۳۹۰)، «بررسی علل فرونشست زمین در دشت سمنان»، *مجله علوم زمین و معدن*، شماره ۶۰، صص ۲۸-۲۵.
- اسکانی کزازی، غلامحسین؛ لاله سیاه‌پیرانی، میترا و مریم حامدی (۱۳۸۹)، «فرونشست زمین، بحران، ریسک و مدیریت آن»، همایش ملی جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری با عنوان فضای جغرافیایی، رویکرد آمایشی، مدیریت محیط، دانشگاه آزاد اسلام شهر، تهران، ایران.
- افضلی، عباس‌علی؛ محمد، شریفی‌کیا و سیاوش شایان (۱۳۹۲)، «ارزیابی آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها و سکونتگاه‌ها از پدیده فرونشست زمین در دشت مغان» *دوفصل‌نامه ژئومورفولوژی کاربردی ایران*، صص ۷۳-۶۱.
- بهنام‌فر، حمیدرضا (۱۳۸۲)، «بررسی و تحلیل فعالیت‌های زمین‌ساختی در منطقه تسوج»، *هشتمین همایش سالانه انجمن زمین‌شناسی ایران*.
- توفیق، محمدمحسن و طاها طباطبائی عقدا (۱۳۸۸)، «پیش‌بینی نشست منطقه‌ای زمین به روش محاسبه برگشتی و تأثیر نشست بر شبکه فاضلاب»، *مجله آب و فاضلاب*، شماره ۱، صص ۶۷-۷۲.
- حجت‌نیا، پریسا و محمدعلی ریاحی (۱۳۹۱)، «برآورد فشار منفذی با استفاده از داده‌های لرزه‌ای بازتابی در یک میدان نفتی»، *فیزیک زمین و فضا*، دوره ۳۸، شماره ۳، صص ۶۱-۵۳.
- رنجبر، محسن و نسرین جعفری (۱۳۸۸)، «بررسی عوامل موثر در فرونشست زمین در دشت اشتهارد»، *مجله جغرافیا*، شماره ۱۸ و ۱۹، صص ۱۶۶-۱۵۵.
- زارع مهرجردی، احمدعلی (۱۳۹۰)، «بررسی پدیده نشست زمین و شکستگی‌های موجود در منطقه رستاق در جنوب میبد»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، پیاپی ۴۳، شماره ۳.

سوزنده‌پور، فاطمه و محمدتقی دستورانی (۱۳۹۱)، «بررسی رابطه بین افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در منطقه طرق ایازن (نطنز)» دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، ایران.

شفیعی‌ثابت، بهنام (۱۳۷۳)، «مدل کردن نشست منطقه‌ای زمین در اثر پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی»، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی.

شمشکی، امیر؛ یوسف، محمدی و محمدجواد بلورچی (۱۳۹۰)، «شناسایی آبخوان تحت فشار و نقش آن در شکل‌گیری فرونشست زمین در دشت هشتگرد»، علوم زمین، سال ۲۰، شماره ۷۹، صص ۱۴۲-۱۳۷.

صالحی، رضا؛ غفوری، محمد؛ غلامرضا، لشکری‌پور و مریم دهقانی (۱۳۹۰)، «بررسی فرونشست دشت مهبیار جنوبی و تاثیر شکاف‌های ناشی از آن بر زمین‌های کشاورزی» هفتمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

علی‌آبادی، فاطمه (۱۳۸۷)، «بررسی علل فرونشست زمین در دشت سبزوار»، رساله کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده علوم انسانی.

کریمی، مرتضی؛ قنبری، علی‌اصغر و شهرام امیری (۱۳۹۲)، «سنجش خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری از پدیده فرونشست زمین (مطالعه موردی منطقه ۱۸ تهران)»، برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، سال سوم، شماره اول، پیاپی ۸، صص ۵۶-۳۷.

لشکری‌پور، غلامرضا؛ رستمی‌بارانی، حمیدرضا و صداقت‌خواهی (۱۳۸۶)، «ارزیابی زیست محیطی نشست منطقه‌ای زمین بر اثر افت سطح آب زیرزمینی در دشت‌های بحرانی ایران»، مجموعه مقالات اولین کنگره زمین‌شناسی کاربردی ایران-مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، جلد اول، صص ۴۳۲۸-۴۳۲۰.

لشکری‌پور، غلامرضا؛ غفوری؛ محمد، حمیدرضا رستمی‌بارانی (۱۳۸۷)، «بررسی علل تشکیل شکاف‌ها و فرونشست زمین در غرب دشت کاشمر»، مطالعات زمین‌شناسی، جلد ۱، شماره ۱، صص ۹۵-۱۱۱.

معالی‌اهری، نسیم (۱۳۹۰)، «بررسی فرونشست زمین در دشت اردبیل»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده علوم انسانی، ص ۱۰۹.

مهری، فاطمه (۱۳۸۳)، «بررسی تنگناهای مؤثر بر توسعه فیزیکی شهر سبزوار»، رساله کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی.

مرتضوی‌زاده، فاطمه‌سادات؛ فتاحی؛ امیرعلی و سیدامیر شمس‌نیا (۱۳۹۲)، «افت سطح آب‌های زیرزمینی و فرونشست در دشت ابرکوه»، دومین همایش ملی توسعه پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک، ابرکوه، ایران.

میرزایی باروجی، امیر (۱۳۹۳)، «بررسی رابطه بین تغییرات نشست زمین و داده‌های درجه حرارت در نواحی اطراف دریاچه ارومیه»، مجموعه مقالات شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، ایران، ۲۳-۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۳، صص ۱۷۵-۱۷۱.

پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور www.ngdir.ir.

شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی www.azarwater.ir.

Aisong, Deng. JuJianhua (1994), "Land subsidence, sinkhole collapse and earth fissure occurrence and control in China", *Hydrological Sciences -Journal- des Sciences Hydrologiques*, 39. 3.

Abidin, Hasanuddin Z, Rochman Djaja2, Dudy Darmawan, SamsulHadi, Arifin Akbar, H. Rajiyowiryono, Y. Sudibyoy I. Meilano, M. A. Kasuma, J. Kahar And CecepSubarya (2001), "Land Subsidence of Jakarta (Indonesia) and its Geodetic Monitoring System", *Natural Hazards*, 23: Pp.365-387

Abidin, Hasanuddin Z, H. Andreas RochmanDjajaDudyDarmawan M. Gamal (2008), "Land subsidence characteristics of Jakarta between 1997 and 2005, as estimated using GPS surveys", *GPS Solute*, 12: Pp. 23-32.

Burbey, Thomas J. (2002), "The influence of faults in basin-fill deposits on land subsidence, as Vegas Valley, Nevada, USA", *Hydrogeology Journal*, 10: Pp. 525-538

- Carbognin, Laura, Pietro Teatini, Luigi Tosi (2004), "Eustace and land subsidence in the Venice Lagoon at the beginning of the new millennium", *Journal of Marine Systems*, 51, Pp.345-353.
- CHAI, J.-C. CHAI, S. -L. SHEN, H.-H. ZHU, X.-L. ZHANG (2004), "Land subsidence due to groundwater drawdown in Shanghai", *Geotechnique*, 54, No. 2, Pp.143-147.
- Chen, Chieh-Hung, Chung-Ho Wang, Ya-Ju Hsu, Shui-Beih Yu, Long-Chen Kuo (2010), "Correlation between groundwater level and altitude variations in land subsidence area of the Choshuichi Alluvial Fan, Taiwan", *Engineering Geology*, 115 , Pp.122-131.
- Chaussard, Estelle, Shimon Wdowinski, Enrique Cabral-Cano, Falk Amelung, (2014), "Land subsidence in central Mexico detected by ALOS InSAR time-series", *Remote Sensing of Environment*, 140, Pp. 94-106.
- Gallowa, D.L., K.W. Hudnut, S.E. Ingebritsen, S.P. Phillips, G. Peltzer, F. Rogez, P.A. Rosen (1998), "Detection of aquifer system compaction and land subsidence using interferometry synthetic aperture radar, Antelope Valley, Mojave Desert, California", *Water Resources Research*, Vol. 34, Nl. 10, Pp.2573-2585.
- Larson, K.J. Larson, H. Bas, ag̃aog̃lu, M.A. Marino (2001), "Prediction of optimal safe ground water yield and land subsidence in the Los Banos-Kettleman City area, California, using a calibrated numerical simulation model", *Journal of Hydrology*, 242 , Pp.79-102.
- Marfai, MuhAris, Lorenz King (2007), "Monitoring land subsidence in Semarang, Indonesia", *Environ Geol*, 53: Pp. 651-659.
- Marfai, MuhAris, Lorenz King (2007), Monitoring land subsidence in Semarang, Indonesia" *Environ Geol*, 53: Pp.651-659.
- Modoni, G.G. Darini, R.L. Spacagna, M. Saroli, G. Russo, P. Croce (2013), "Spatial analysis of land subsidence induced by groundwater withdrawal", *Engineering Geology*, 167, Pp.5971.
- Phien-wej, N, P.H. Giao, P. Nutalaya, (2006), "Land subsidence in Bangkok, Thailand", *Engineering Geology*, 82, Pp.187-201.

- Qing Shi, Xiao, Yu-QunXue, Shu-Jun Ye, Ji-Chun Wu, Yun Zhang, Jun Yu, (2007), "Characterization of land subsidence induced by groundwater withdrawals in Su-Xi-Chang area, China", *Environ Geol*, 52:27-40.
- Soki, Yamamoto (1995), "Recent trend of land subsidence in Japan" Land Subsidence (Proceedings of the Fifth International Symposium on Land Subsidence, The Hague), October, IAHS Publ. No. 234.
- Sun, H.D. Grandstaff R. Shagam, (1999), "Land subsidence due to groundwater withdrawal: potential damage of subsidence and sea level rise in southern New Jersey, USA", *Environmental Geology* 37(4).
- Teatini, P, M. Ferronato, G. Gambolati, W. Bertoni, M. Gonella (2005), "A century of land subsidence in Ravenna, Italy", *Environ Geol*, 47, Pp. 831-846.
- Xing-xian, CHEN, LUO Zu-jiang, ZHOU Shi-ling (2014) "Influences of soil hydraulic and mechanical parameters on land subsidence and ground fissures caused by groundwater exploitation", *Journal of Hydrodynamics*, 26(1), Pp.155-164.
- Zhang, Yun, Yu-QunXue, Ji-Chun Wu, Jun Yu, Zi-Xin Wei, Qin-Fen Li (2008) "Land subsidence and earth fissures due to groundwater withdrawal in the Southern Yangtse Delta, China", *Environ Geol*, 55: Pp.751-762.
- Zektser, S.H.A. Loa'iciga, J.T. Wolf (2005), "Environmental impacts of groundwater overdraft: selected case studies in the southwestern United States", *Environmental Geology*, 47: Pp. 396-404.