مطالعات زمین شناسی
جلد ۱، شماره ۱، زمستان ۱۳۸۷

Geological Studies
Vol. 1, No. 1, Winter 2009

بررسی علل تشکیل شکافها و فرونشست زمین در غرب دشت کاشمر

غلام رضا لشکری‌پور*، محمد غفوری، حمیدرضا رستمی بارانی
گروه زمین شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

*پست الکترونیک: lashkaripour@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

دشت کاشمر در بخش شمال شرقی حوضه آبریز کویر مرکزی ایران واقع شده و یکی از دشتهای مهم و حاصلخیز استان خراسان رضوی است. از نظر اقلیمی این دشت دارای اقلیم نیمه‌خشک تا خشک می‌باشد. در دهه‌های اخیر توسعه سریع کشاورزی همراه با رشد سریع جمعیت و افزایش نیاز آبی باعث استحصال بی‌رویه و افت سطح آب زیرزمینی در این دشت شده است. برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی این دشت سبب افت سالیانه حدود ۰/۸ متر سطح آبهای زیرزمینی همراه با کسری مخزن به میزان ۱۲۱/۴ میلیون مترمکعب گردیده است. افت ممتد سطح آب زیرزمینی موجب شده تا این دشت در زمره دشتهای بحرانی استان قرار گیرد. در این راستا پدیده فرونشست سطح زمین ناشی از افت سطح آبهای زیرزمینی در بخشهای غربی دشت به طور محسوس مشاهده می‌گردد. افت شدید سطح آب زیرزمینی و وجود خاکهای ریزدانه در روستاهای عظیم‌آباد، ظاهرآباد، ظفررود، فیروزآباد، کلاته‌شادی و کندر سبب ایجاد پدیده فرونشست زمین و ایجاد شکاف و ترکهای طولی در سطح زمین گردیده است. در این مقاله ارتباط افت سطح آب زیرزمینی و وقوع پدیده فرونشست منطقه‌ای سطح زمین به همراه علل و سازوکار تشکیل شکافها در غرب دشت کاشمر مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: شکافهای زمین، فرونشست سطح زمین، افت سطح آب زیرزمینی، دشت کاشمر.

مقدمه

منابع آب زیرزمینی در بخشهای بزرگی از ایران مرکزی، شرق و جنوب ایران به عنوان تنها منبع تأمین آب جهت مصارف کشاورزی، شرب و صنعتی محسوب می‌شود. در این مناطق وجود اقلیمهای نیمه‌خشک و خشک به دلیل بارندگی نامناسب، وقوع خشکسالیهای درازمدت و نبود رودخانه‌های دائمی سبب شده تا بیش از ۹۰ درصد نیاز آبی آن از طریق سفره‌های آب زیرزمینی تأمین گردد. حتی در برخی نقاط آب زیرزمینی به عنوان تنها منبع آب موجود جهت مصارف شرب و کشاورزی است. یکی از مشکلات مهم در ارتباط با برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های زیرزمینی، افت ممتد سطح آب و متراکم شدن لایه‌ها و رسوبات سفره است. تراکم سفره (Aquifer compaction) بر خصوصیات هیدرودینامیکی سفره تأثیر گذاشته و باعث کاهش نفوذپذیری و افت ضریب ذخیره آن خواهد شد. این پدیده علاوه بر ناپایداری زمین موجب کاهش دائمی حجم مخزن سفره و به هم خوردن تعادل طبیعی آن می‌گردد. در این صورت سفره آب زیرزمینی از حالت پویا و دینامیک خارج شده و جزو دشتهای بحرانی قرار می‌گیرد. چنین دشتهایی مستعدترین مناطق برای وقوع پدیده فرونشست منطقه‌ای سطح زمین می‌باشند (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۶a).

فرونشست منطقه‌ای سطح زمین شامل فروریزش یا نشست رو به پایین سطح زمین است که می‌تواند دارای بردار جابه‌جایی افقی اندکی نیز باشد. این حرکت از نظر شدت، وسعت و میزان مناطق درگیر محدود نیست. فرونشست در اثر پدیده‌های طبیعی زمین شناختی مختلف مانند انحلال، حرکت آرام پوسته، خروج گدازه از پوسته جامد زمین، ذوب شدن لایه‌های منجمد دائمی در اعماق زمین و تراکم نهشته‌ها (NRC، ۱۹۹۱)، ریزش فروچاله‌ها و یا فعالیتهای انسانی نظیر معدن‌کاری زیرزمینی، استخراج نفت و زه‌کشی خاکهای ارگانیک (USGS، ۱۹۹۹) نیز ایجاد می‌شود. با وجود این مهمترین علت فرونشست منطقه‌ای سطح زمین در حوضه‌های رسوبی مناطق خشک و نیمه‌خشک، تراکم سفره‌های آب زیرزمینی در اثر پمپاژ بی‌رویه از این منابع است (پاخکو و همکاران، ۲۰۰۶). این وضعیت به ویژه در جایی که پمپاژ بی‌رویه از سفره‌های آب‌دار ماسه‌ای متخلخل که به صورت بین لایه‌ای با لایه‌های آب‌دار رسی نفوذناپذیر قرار دارد بسیار حاد بوده و موجب فرونشست گسترده می‌شود(لیو و همکاران، ۲۰۰۶).

فرونشست منطقه‌ای سطح زمین بر اثر افت سطح آب زیرزمینی دارای اهمیت خاصی است. زیرا این پدیده غالباً در وسعت بسیار زیادی اتفاق می‌افتد (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۶a). در صورت افت ممتد سطح آب، افزایش تجمعی تراکم تأخیری لایه‌های زمین به وقوع می‌پیوندد. تأخیر در آغاز عملیات کنترل سطح آب، نشست بیشتری را به دنبال خواهد داشت و نشست رخ داده در این مناطق معمولاً برگشت ناپذیر خواهد بود (حمیدی، ۱۳۸۰).

فرونشست زمین به طور معمول بلافاصله با خروج سیال رخ نمی‌دهد بلکه در زمانی طولانی‌تر از برداشت اتفاق می‌افتد (اسکات، ۱۹۷۹). مقدار فرونشست زمین برای هر ۱۰ متر افت سطح آب زیرزمینی معمولاً بین ۱ تا ۵۰ سانتی‌متر متغیر است. دامنه این تغییرات به ضخامت و تراکم‌پذیری لایه‌ها، طول زمان بارگذاری، درجه و نوع تنش وارده بستگی دارد (لافگرن، ۱۹۶۹). میزان فرو نشست زمین برای دشت رفسنجان حدود ۱۰ درصد افت سطح آبهای زیرزمینی توسط موسوی و همکاران (۲۰۰۱) و بین ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر به ازای هر متر افت سطح آب توسط سلیمانی و همکارن (۲۰۰۸) گزارش شده است. این پدیده به صورت بالقوه می‌تواند باعث مشکلاتی مانند ایجاد درز و شکاف در سطح زمین، تخریب سیستمهای آبیاری و کاهش حاصل‌خیزی خاک، لوله‌زایی (بالا آمدن لوله‌های آب از سطح زمین)، فرورفتن تدریجی دکلها و سازه‌ها، ریزش و کج شدن جداره چاهها، تغییر شیب رودخانه‌ها و جاده‌ها، تغییر شیب سطح زمین و افزایش سیل‌خیزی منطقه گردد (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۶a).

به طور کلی شکافهای طولی زمین با زمینهای در حال فرونشست مرتبط می‌باشند (هولزر، ۱۹۸۹). تشکیل شکافهای کششی طولی در نتیجه افزایش خطی فرونشست از حاشیه ارتفاعات به سمت مرکز دشت است (هرمن، ۱۹۷۸). هرگاه نیروی ناشی از وزن طبقات بالای سطح ایستابی بر مقاومت موادی که بر روی آبخوان هستند غلبه نمایند، باعث ایجاد شکاف در سطح زمین می‌شود. از ویژگیهای شاخص شکافهای کششی طولی، تشکیل آنها در رسوبات کواترنری است. به طورکلی فرسایش آبی به راحتی بر این شکافها تأثیر گذاشته و گاهی گودالهای بزرگی را تشکیل می‌دهند. در مواردی نیز ساختارهای زمین شناختی مانند گسلها شرایط را برای ایجاد شکافها فراهم می‌کنند و محل به وقوع پیوستن آنها را کنترل و یا دیکته می‌نماید.

پیشینه تحقیق

در مقیاس جهانی، خطر فرونشست زمین بر اثر افت سطح آب در بین سالهای ۱۹۵۰-۱۹۷۰ که همزمان با صنعتی شدن و رشد شهرنشینی است به اوج خود رسید (والتام، ۱۹۸۹). گزارشهای متعددی از فرونشست زمین خصوصاً از نقاط خشک وکم باران در سراسر جهان ارائه گردیده است (لارسون و همکاران، ۲۰۰۱؛ استیروس، ۲۰۰۱؛ کارمیناتی و مارتینلی، ۲۰۰۲؛ هو و همکارن، ۲۰۰۲ و پاچکو، ۲۰۰۶). این پدیده در گذشته در بسیاری از نقاط دنیا مانند مکزیکوسیتی، تایلند، ژاپن و امریکا (ژو و ایساکی، ۲۰۰۳)، بانکوک (ژو و ایساکی، ۲۰۰۳)، شانگهای (کوآنلانگ، ۲۰۰۶) و نقاط دیگری از چین رخ داده است. هو و همکاران (۲۰۰۴)، عنوان نموده‌اند که این پدیده در بیش از ۱۵۰ شهر جهان گزارش شده است.

یکی از مهمترین فرونشستهای منطقه‌ای سطح زمین در جهان در اثر بهره‌برداری بی‌رویه از آبهای زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی در ایالت کالیفرنیا در امریکا گزارش شده است. تا سال ۱۹۶۹ مقدار نشست در این ایالت در یک نقطه از آن ۸/۸ متر گزارش گردید. (پولند، ۱۹۸۱). سپس به وسیله کنترل پمپاژ در این منطقه از میزان نشست زمین کاسته شد. اما در خشکسالیهای سالهای ۱۹۷۶ تا ۱۹۷۷ و ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۴ به دلیل برداشت زیاد دوباره میزان نشست افزایش یافت، به طوری که تا سال ۱۹۹۴ با افت ۵۰ متری سطح آب زیرزمینی فرونشستی در حدود ۱۰ متر رخ داد (لارسون و همکاران، ۲۰۰۱). با ادامه روند برداشت آب در پایان سال ۲۰۰۴ در یک نقطه دشت به صورت نمونه فرونشست حدود ۱۵ متری سطح زمین اندازه‌گیری شده است (بلورچی، ۱۳۸۴).

در ایران اولین بار فرونشست زمین در دشت رفسنجان در سال ۱۳۴۶ همراه با پدیده لوله‌زایی در چاههای کشاورزی گزارش شده است (حسینی میلانی، ۱۳۷۳). در سالهای بعد با نصب GPS و رفتارسنجی سطح زمین، مقدار نشستهای رخ داده و تناسب آن با میزان برداشت آب مشخص شده است (موسوی و همکاران، ۲۰۰۱). در سالهای اخیر پدیده فرونشست منطقه‌ای زمین در ارتباط با افت سطح آبهای زیرزمینی در بسیاری از دیگر دشتهای کشور از جمله در دشت سیرجان (عباس‌نژاد، ۱۳۷۷)، زرند و کرمان (رحمانیان، ۱۳۶۵)، اردکان یزد (عالمی، ۱۳۸۱)، فامینین ـ کبودرآهنگ همدان (امیری و همکاران، ۱۳۸۳، خورسندی آقایی و عبدالی، ۱۳۸۵)، معین‌آباد ـ ورامین (شمشکی و انتظام سلطانی، ۱۳۸۴)، تهران ـ شهریار (بلورچی، ۱۳۸۴ و علی‌پور و همکاران، ۲۰۰۸) گزارش شده است. در استان خراسان رضوی نیز نشست زمین ناشی از افت سطح آبهای زیرزمینی در دشتهای کاشمر (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۵)، نیشابور (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۶c)، مشهد (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۴، ۱۳۸۶b و متق و همکاران، ۲۰۰۷) مشاهده شده است.

دشت کاشمر یکی از مهمترین دشتهای حاصلخیز استان خراسان رضوی است. این دشت فاقد رودخانه دائمی است. اهمیت سفره آب زیرزمینی این دشت به دلیل تأمین آب مورد نیاز کشاورزی منطقه به میزان ۱۰۵ میلیون مترمکعب در سال است. در اثر بهره‌برداری بی‌رویه و غیر مجاز از منابع آب زیرزمینی آن، سطح آب زیرزمینی به طور ممتد پایین رفته و با کسری مخزن مواجه شده است. در سال ۱۳۶۱ این دشت از طرف وزارت نیرو جزو دشتهای ممنوعه اعلام گردید. طبق محاسبات تا سال ۱۳۸۵، کسری مخزن آن ۱۲۱/۴ میلیون متر مکعب محاسبه شده و هر سال حدود ۱۵ میلیون متر مکعب بر کسری آن افزوده می‌گردد (شرکت

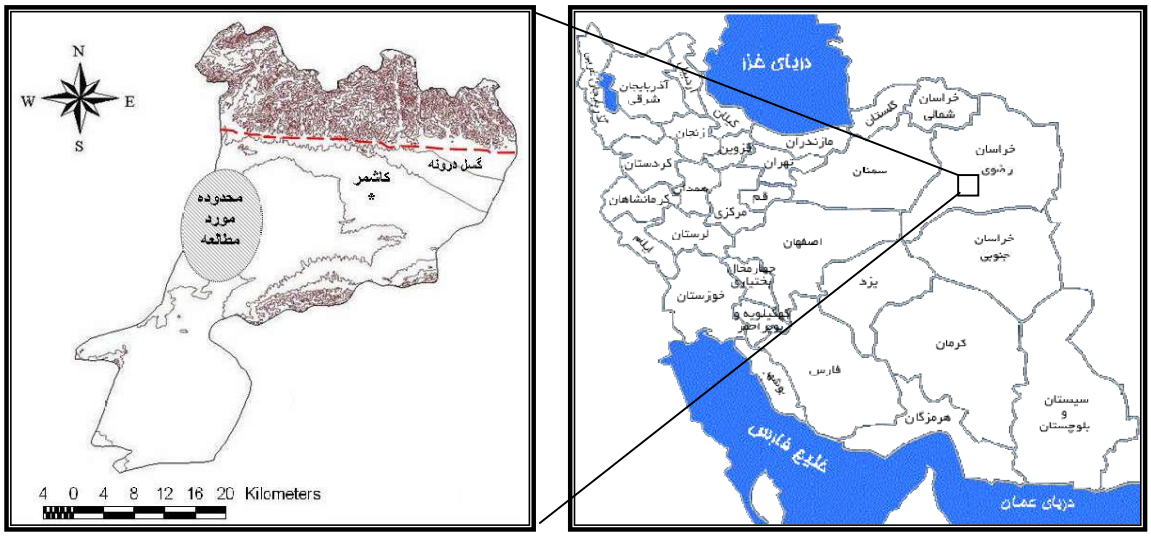
سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۶). علاوه بر این، افت ممتد و سریع سطح آب زیرزمینی سبب کاهش آب‌دهی چاه‌های آب منطقه شده است. در فاصله سالهای ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۲ کاهش ۴۰٪ در آب‌دهی چاههای این منطقه گزارش شده است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۳).

به دنبال این امر شکافهای کششی طویلی در بخشهای غربی دشت به وجود آمده که ضمن خسارت به زمینهای کشاورزی، چاههای آب، آسیب دیدن تجهیزات انتقال آب، جاده‌ها و سایر تأسیسات، موجب نگرانی ساکنان منطقه و مسؤولان استان شده است (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۵).

موقعیت جغرافیایی منطقه و آب وهوا

دشت کاشمر به عنوان بخشی از حوضه آبریز کاشمر با مختصات طول جغرافیایی '۳۴°۵۱ تا '۵۷°۵۴ شرقی و '۳۵°۲۸ تا '۵۸°۳۹ عرض شمالی در جنوب استان خراسان رضوی قرار دارد. این حوضه در بخش شمال شرقی حوضه آبریز کویر مرکزی ایران قرار داشته و دارای وسعت ۲۰۴۵/۸ کیلومترمربع است. حدود ۱۲۲۱/۱ کیلومترمربع از این حوضه را دشت کاشمر تشکیل می‌دهد (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۴a). در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در دشت کاشمر نشان داده شده است.

حوضه آبریز کاشمر دارای اقلیم نیمه‌خشک تا خشک است. متوسط بارندگی محاسبه شده این حوضه ۱۹۰/۶ میلی‌متر بوده که این میزان در دشت ۱۸۱/۸ میلی‌متر و در ارتفاعات ۲۰۰ میلی‌متر گزارش شده است (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۴a). در این منطقه ریزش باران عمدتاً محدود به فصل زمستان و بهار و معمولاً بارندگیها به صورت رگباری همراه با رعد و برق و ایجاد سیلاب است.



شکل ۱: محدوده مورد مطالعه در دشت کاشمر

روش تحقیق

این بررسی و پژوهش بر اساس مشاهدات، اندازه‌گیریها، تجزیه و تحلیل صحرایی استوار است. در ابتدا بعد از تعیین محدوده مورد مطالعه و شناسایی ویژگیهای طبیعی آن، از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، گزارشهای هیدروژئولوژی و اطلاعات اقلیمی ایستگاههای

پیرامون حوضه جهت تهیه اطلاعات پایه استفاده گردید. بر اساس بازدیدهای میدانی و بررسی نقشه‌های مذکور عوامل موثر در وقوع این پدیده مانند تغییرات سطح آبهای زیرزمینی با استفاده از هیدروگراف واحد دشت، ساختارهای زمین شناسی منطقه و نوع رسوبات شناسایی شد. همچنین پارامترهایی مانند میزان متراژ حفاری چاهها، میزان آب‌دهی و ماسه‌دهی چاهها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. علاوه بر آن وضعیت لایه‌های رسوبی و سنگ کف سفره آب زیرزمینی از نظر ضخامت، دانه‌بندی با توجه به اطلاعات حفاری پیزومترها (لوگ چاههای پیزومتری) و داده‌های ژئوالکتریک مشخص گردید. در نهایت سازوکار وقوع پدیده شکافهای زمین با توجه به نتایج حاصل از موقعیت، هندسه، شکل، نوع خاک و عمق شکافها شناسایی گردید.

علل تشکیل شکافها

منطقه‌ای که شکاف در آن شکل گرفته از نظر وضعیت رخساره‌های رسوبی، زمین‌شناسی ساختمانی و آب زمین‌شناختی از مشخصات و پیچیدگیهای خاصی برخوردار است. لذا جهت شناخت عوامل ایجاد کننده و شناسایی سازوکار تشکیل شکاف در غرب دشت موارد زیر مورد بررسی قرار گرفت.

مورفولوژی شکافها

شکافهای کششی در غرب دشت کاشمر به دو صورت وجود دارد: ترکهای کوچک شعاعی در نزدیکی محل چاههای بهره‌برداری آب کشاورزی و شکافهای کششی طولی با درازای زیاد که گاهی اندازه آنها به چند صدمتر می‌رسد. این شکافها دارای راستای کلی غربی ـ شرقی تا شمال غربی ـ جنوب شرقی می‌باشند. گسترش آنها در نزدیکی روستاهای عظیم‌آباد، ظاهرآباد و کندر به حداکثر مقدار خود می‌رسد. اولین بازشدگی ترکها از حدود ۶ سال پیش شروع به شکل‌گیری نموده و سپس به دو طرف گسترش یافته است. در انتهای این ترکها سوراخهای متعددی با عمق زیاد وجود دارد که به وسیله آنها می‌توان جهت پیش‌روی شکافها را تشخیص داد. این نوع شکافها تمایل به گسترش دارند و در ابعاد و تعداد افزایش می‌یابند. توسعه و شکل‌گیری آنها از ۳ سال پیش سرعت بیشتری گرفته است. بیشترین عمق مشاهده شده در این شکافها حدود ۴/۵ تا ۵ متر است. با توجه به نبود تغییر شکلهای فشارشی و برشی (مانند چین‌خوردگی) در محل شکافها، به نظر می‌رسد این شکافها در ابتدا بر اثر تنشهای کششی ساده تشکیل گردیده و بعد از مدتی تحت تأثیر فرسایش، به خصوص فرسایش آبی عریض‌تر شده‌اند. در شکل ۲ تصاویر تشکیل شکافهای کششی طولی و در شکل ۳ تصویر عملکرد سریع فرسایش آبی در نمونه‌ای از این شکافها نشان داده شده است. شکافهایی که در زمینهای کشاورزی ایجاد می‌شود، برای جلوگیری از هدر رفتن آب و همچنین تسطیح زمین سریعاً توسط کشاورزان پر و به آب بسته می‌شوند. با وجود این اغلب شکافها دوباره در سطح زمین ظاهر شده و حتی کشاورزان و روستاییان محلی گزارش نموده‌اند که برخی از این شکافها پس از ۲۴ تا ۴۸ ساعت با صدای مهیبی فروریخته و شکاف دوباره آشکار می‌گردد. در بعضی مواقع این پرشدگی تا بارندگی بعدی دوام می‌یابد ولی دوباره امتداد و توسعه شکافها در روی زمین نمایان می‌گردد. این امر حاکی از آن است که عوامل به وجود آورنده این شکافها هنوز فعال بوده و حاکی از بی‌ثمر بودن این تمهیدات سطحی است.

زمین شناسی

از دیدگاه زمین شناسی، حوضه آبریز دشت کاشمر بر

اساس تقسیم بندی نبوی (۱۳۵۶) در بخشی از زون ایران مرکزی قرار می‌گیرد. دشت کاشمر به صورت یک ناودیس با محور شرقی ـ غربی است که ادامه سلسله جبال البرز ارتفاعات شمالی آن را تشکیل می‌دهد. رخنمونهای سنگی حاشیه شمالی دشت بیشتر شامل شیستهای متامورفیک پرموـ کربونیفر است. در نواحی جنوبی رسوبات رسی، مارنی و گچی با سن میوسن وجود دارد. گسل درونه به طول تقریبی ۷۰۰ کیلومتر در حد فاصل سازندهای سنگی نواحی شمالی و دشت واقع شده است. این گسل نقش مهمی در تغذیه و تشکیل سفره آب زیرزمینی با افقهای آبرفتی ضخیم فراهم نموده است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۷۵). در شکل ۴ نقشه زمین شناسی حوضه آبریز کاشمر که در آن گسل درونه در شمال دشت مشخص بوده نشان داده شده است.

ضخامت رسوبات آبرفتی در محدوده مطالعاتی بر اساس اطلاعات حاصل از حفاری پیزومترها بین چند تا ۳۰۰ متر در نوسان است به طوری که به سمت شمال و در حد فاصل روستاهای محمودآباد و ایرج‌آباد مقدار ضخامت آبرفت به بیش از ۳۰۰ متر می‌رسد. این در حالی است که در سمت ارتفاعات جنوبی با بالا آمدن تدریجی سنگ کف از ضحامت آبرفت کاسته می‌شود. در ضلع شرقی ضخامت آبرفت بین ۷۰ تا ۱۵۰ متر در نوسان است (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۴b).

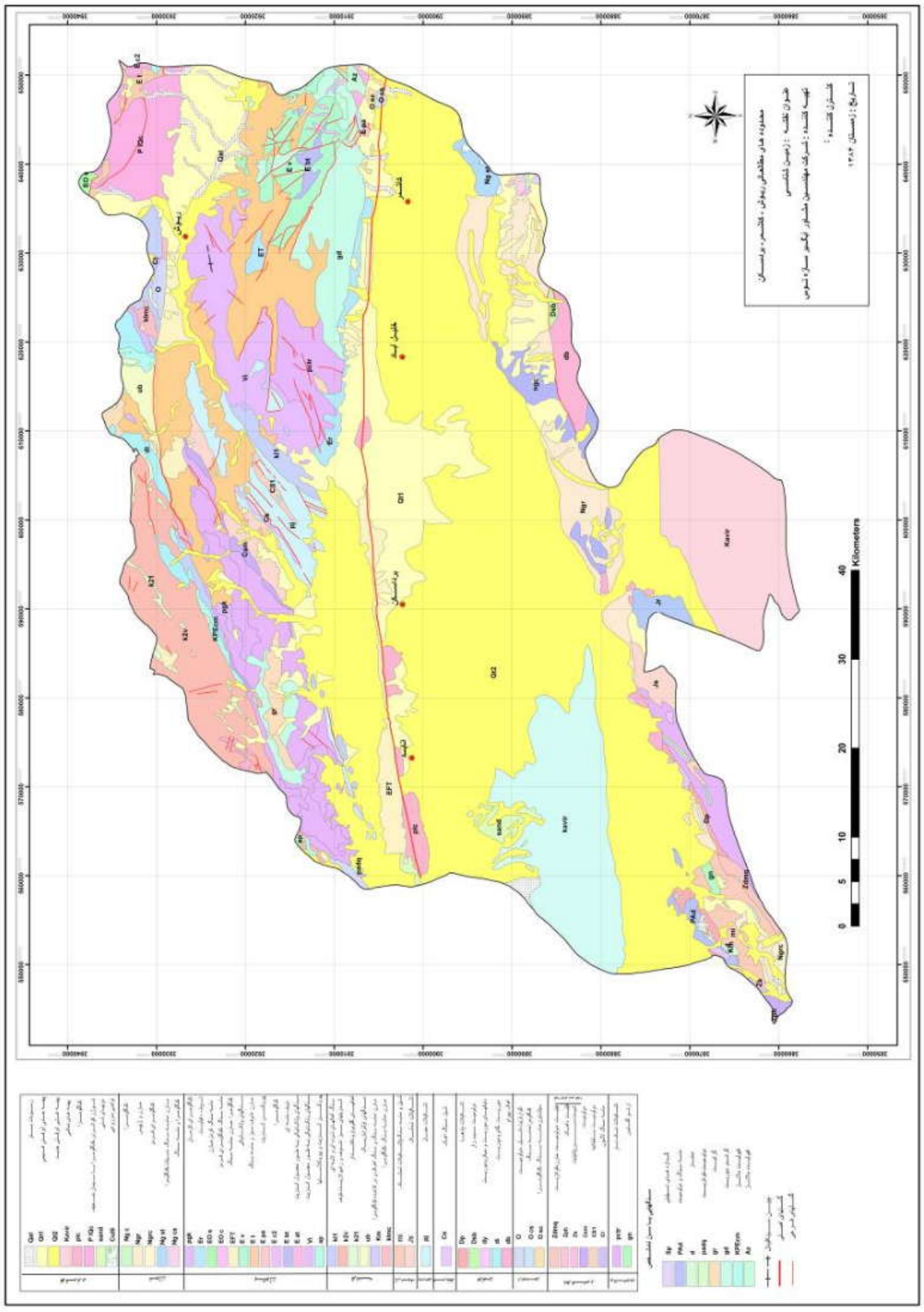
شکل ۲: شکافهای کششی طولی زمین در غرب دشت کاشمر، در تصویر الف) تشکیل شکاف طولی و در تصویر ب) مورفولوژی سطح صاف و بدون چین‌خورده دیواره یک شکاف کششی نشان داده شده است.

شکل ۳: عملکرد سریع فرسایش آبی بر شکافها و تبدیل آنها به گالی

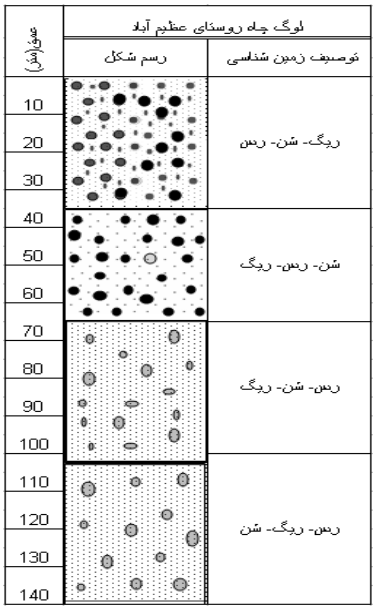
این رسوبات از لایه‌هایی با دانه‌بندی متفاوت تشکیل شده‌اند. بر اساس اطلاعات حاصل از لوگ پیزومترها و چاههای حفاری شده، لایه سطحی متشکل از قلوه سنگ، سنگ، شن و رس می‌باشد. با افزایش عمق تناوب افقهای آبرفتی با دانه‌بندی ریز و درشت مشاهده می‌گردد. در عمق، رس میو-پلیوسن به عنوان سنگ بستر سفره آب زیرزمینی محسوب می‌گردد. در توزیع دانه‌بندی آبرفتهای دشت، لیتولوژی سازندها، رژیم بارندگی و جریانهای سیلابی، مورفولوژی و توپوگرافی ارتفاعات و تکتونیک منطقه نقش داشته است به طوری که جنس طبقات آبرفتی که بر روی سنگ کف قرار گرفته‌اند، از شمال به سمت جنوب دشت تغییر رخساره داده و به تدریج درصد کانیهای رسی افزایش می‌یابد. در شکل ۵ نمونه‌ای از لوگ زمین‌شناسی چاههای غرب دشت در محل وقوع شکافهای کششی ارائه شده است.

هیدروژئولوژی

نتایج حاصل از حفاریها و مطالعات ژئوالکتریک نشان می‌دهد که در آبرفت دشت کاشمر تنها یک سفره آزاد تشکیل شده است. بیشترین ضخامت آبرفت دشت در بخش شمالی و حدود ۴۰۰ متر به صورت منحنیهای متحدالمرکز با تقعری به سمت ارتفاعات شمالی دشت است. از این ناحیه به سمت جنوب از عمق سنگ کف کاسته می‌شود. با توجه به موقعیت سنگ کف، بررسی عمق و وضعیت چاه‌های حفر شده، سطح آب زیرزمینی در نواحی شمالی پایین‌تر و به طرف جنوب و با کاهش ضخامت رسوبات کم عمق‌تر است به طوری که سطح برخورد به آب در سال ۱۳۸۵ در چاههای نواحی شمالی بیشتر از ۱۵۰ متر و در نواحی جنوبی کمتر از ۵۰ متر بوده است (ترشیزیان و برزکار، ۱۳۸۶). میزان قابلیت انتقال آب زیرزمینی در قسمتهای جنوب غربی دشت (اطراف محل تشکیل شکافها) کمتر از ۱۰۰ مترمربع بر روز است. این میزان در دیگر بخشهای سفره دشت بیشتر از ۱۰۰۰ مترمربع بر روز محاسبه شده است. میزان ضریب ذخیره سفره در شمال دشت از ۱۰ درصد بیشتر بوده، ولی در قسمتهای جنوبی و خصوصاً جنوب غربی دشت میزان آن به کمتر از ۱ درصد می‌رسد. این شواهد بر ریزدانه بودن این قسمت از سفره دلالت دارد.



شکل ۴: نقشه زمین شناسی حوضه آبریز کاشمر (شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان رضوی، ۱۳۸۴)



شکل ۵: نمونه لوگ چاههای غرب دشت کاشمر

تراز آب زیرزمینی

حداکثر رقوم خط تراز آب زیرزمینی در حاشیه شمال شرقی به مقدار بیش از ۱۰۶۰ متر و حداقل خط تراز به مقدار ۸۶۰ متر از سطح آزاد آب دریاها در بخش جنوب غربی دشت قرار دارد. با وجود این جهت جریان آب زیرزمینی تقریباً در مطابقت با شیب عمومی دشت است. ولی به علت تغییر رخساره و در نتیجه تغییر در میزان نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی، تغییرات عمق سنگ کف به ویژه نقش گسل درونه در زه‌کشی آبهای زیرزمینی منطقه، آب زیرزمینی به سمت این گسل متمایل شده به نحوی که در غرب آن جهت جریان به طور محلی از غرب به سمت شرق است. لذا در حاشیه جنوبی گسل درونه و محل تشکیل شکافها در غرب دشت، محدوده‌ای (مطابق شکل ۱) وجود دارد که سهم ورودی آب زیرزمینی به آن بسیار کم است. بنابراین حتی بهره‌برداری کم از سفره در این محدوده می‌تواند سبب افت شدید در سطح آب زیرزمینی شود.

بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی

در این دشت هیچ رودخانه دائمی وجود ندارد، لذا تأمین آب مورد نیاز کشاورزان وابستگی شدیدی به منابع آب زیرزمینی دارد. تخلیه اصلی سفره دشت کاشمر توسط چاهها، قناتها و چشمه‌ها صورت می‌گیرد. بر اساس مدارک اطلاعات پایه منابع آب استان در سال ۱۳۸۵ تعداد کل چاههای موجود در دشت ۴۳۴ حلقه، قناتها ۷۱ رشته و چشمه‌ها ۶۳ دهنه می‌باشد (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۶).

طبق محاسبات بیلان آب زیرزمینی آبخوان، بر اساس آخرین دوره آماربرداری در سال ۱۳۸۲-۱۳۸۳، کل برداشت از منابع آب زیرزمینی سالانه ۱۱۲/۵ میلیون مترمکعب بوده که از این مقدار ۱۰۸ میلیون مترمکعب توسط چاههای عمیق و نیمه عمیق و ۰/۱۶۲ میلیون مترمکعب از طریق چشمه‌ها و بقیه توسط قنوات تخلیه می‌گردد. در مجموع عوامل تغذیه کننده آبخوان ۹۷/۱۸ میلیون مترمکعب محاسبه شده است. در نتیجه رقمی معادل

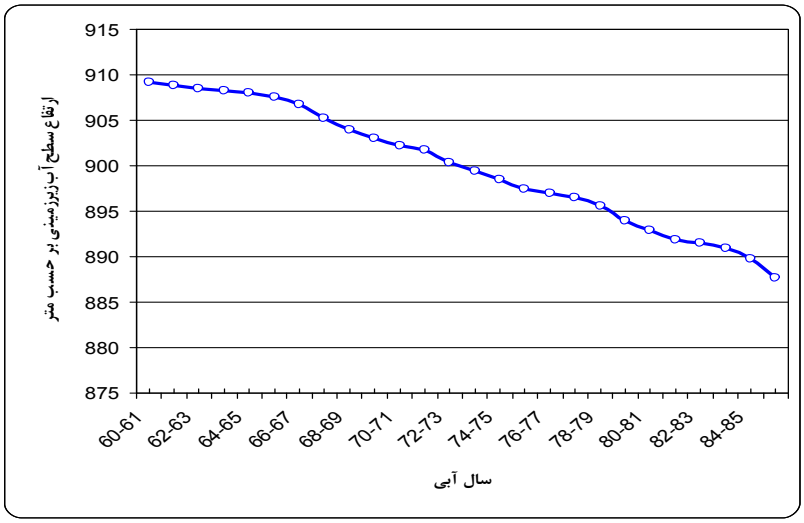
۱۵/۳۲ میلیون مترمکعب در سال از حجم آب زیرزمینی کاسته می‌شود (جدول۱). از آبهای استحصالی در آخرین سال آماری ۹۴/۷٪ برای مصارف کشاورزی، ۲/۵٪ برای شرب، ۰/۳٪ برای صنعت و ۲/۵٪ باقی‌مانده مصرف نامشخص داشته است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۴).

نوسانات سالیانه سطح سفره آب زیرزمینی

میزان تغییرات ذخیره مخزن سفره آب زیرزمینی با استفاده از آمار چاههای پیزومتری و روش زمین آمار کراگینگ هیدروگراف واحد ۲۶ ساله آبی ۶۰-۶۱ تا ۸۵-۸۶ رسم گردیده است (شکل ۶). بر اساس این هیدروگراف، سطح آب زیرزمینی سفره دارای روند نزولی بوده و در این مدت حدود ۲۱/۵ متر افت نموده است. متوسط افت سالیانه این دوره حدود ۰/۸ متر محاسبه شده است. کاهش حجم مخزن آبخوان در این مدت ۱۲۱/۴ میلیون مترمکعب محاسبه شده است.

جدول ۱: خلاصه نتایج محاسبه بیلان آب زیرزمینی دشت کاشمر در سال آبی ۸۲-۸۳

اجزاء بیلان	تغذیه سالیانه (میلیون متر مکعب)	تخلیه سالیانه (میلیون متر مکعب)
تغذیه حاصل از جریانهای ورودی آب زیرزمینی	۶۵.۱۲	
تغذیه حاصل از نفوذ مستقیم ریزشهای جوی	۴.۷۳	
تغذیه حاصل از نفوذ سیلابها و جریانهای سطحی	۱.۹	
تغذیه حاصل از نفوذ آب برگشتی شرب و صنعت	۲.۲۸	
تغذیه حاصل از نفوذ آب برگشتی کشاورزی	۲۳.۱۵	
مجموع عوامل تغذیه در محدوده بیلان	۹۷.۱۸	
خروج آب از مقاطع زیرزمینی		۴.۱
تخلیه از طریق منابع بهره‌برداری		۱۰۸.۴
تبخیر از سطح آب زیرزمینی		...
مجموع عوامل تخلیه در محدوده بیلان		۱۱۲.۵
نتیجه بیلان		-۱۵.۳۲



شکل ۶: نمودار هیدروگراف واحد دشت

آب‌دهی چاهها

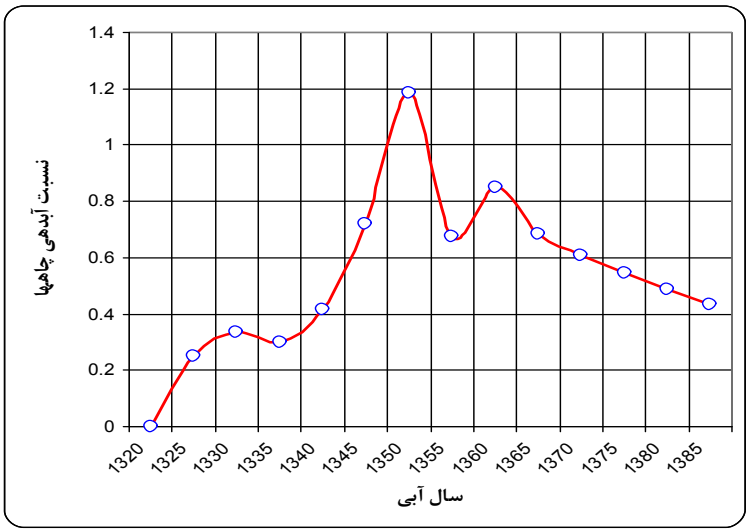
در اثر بهره‌برداری بیش از حد و افت ۲۱/۵ متر از سطح آب زیرزمینی در طی ۲۶ سال اخیر، میزان آب‌دهی چاههای منطقه به شدت کاهش یافته است. کشاورزان در مواردی با مجوز شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی اقدام به کف‌کنی و عمیق سازی چاهها و یا حفر چاههای جدید با عمق زیاد در مجاور چاههای قدیمی نموده‌اند. بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی توسط چاهها در این دشت در سال ۱۳۴۵، ۱۸ میلیون مترمکعب بوده و در سال ۱۳۸۵، ۱۰۸ میلیون مترمکعب گزارش گردیده است (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۶). با توجه به جدول ۲ ملاحظه می‌شود در طی این مدت اگرچه تعداد چاهها ۱۰ برابر افزایش یافته است ولی میزان آب استحصالی حدود ۶ برابر افزایش یافته است. این وضعیت نشان دهنده کاهش آب‌دهی چاههای کشاورزی به دلیل افت سطح آب زیرزمینی است. برای درک بیشتر موضوع کاهش آب‌دهی چاهها، نسبت آب‌دهی چاه‌های بهره‌برداری (میزان آب‌دهی چاهها/ تعداد چاهها) با توجه به اطلاعات جدول ۲ از سال ۱۳۲۰ تا سال ۱۳۸۵ رسم گردید. چنان که در شکل ۷ مشخص است، نسبت آب‌دهی چاه‌ای بهره‌برداری به ویژه در طی ۲۰ سال اخیر روند نزولی داشته است.

ساز وکار تشکیل شکافها

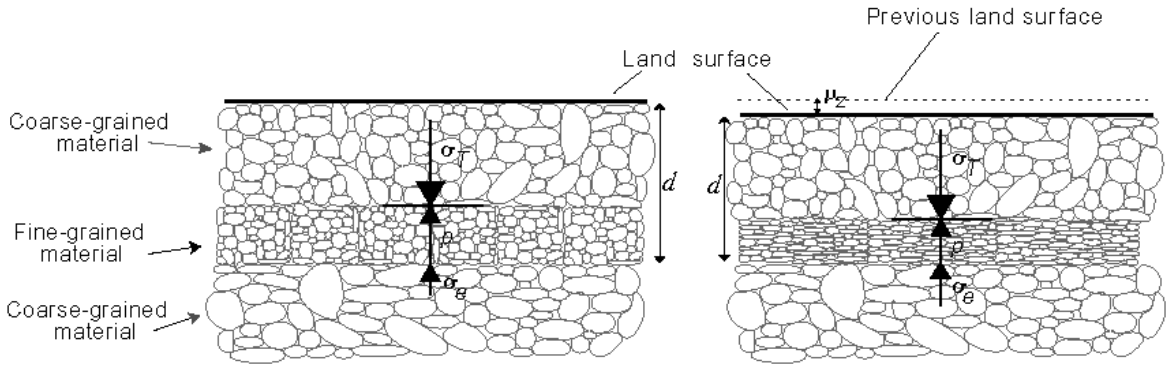
نشست زمین در قسمتهای غربی دشت کاشمر در اثر افت سطح آبهای زیرزمینی اتفاق افتاده است. در این عمل تراکم برگشت ناپذیر (Nonrecoverable compaction) در قسمتهایی از سفره که از خاکهای ریزدانه تشکیل شده‌اند رخ داده است. البته این عمل زمان بر بوده و به آهستگی انجام می‌گیرد. در اثر آن زه‌کشی آب از لایه ریزدانه به دلیل افت فشار هیدرولیکی (در اثر افت سطح آب) انجام می‌پذیرد. در چنین شرایطی به دلیل افزایش تنش مؤثر (اعمال تنشهایی بیش از آن چه که قبلاً تحمل نموده) تراکم غیرالاستیک در خاک رخ داده و آرایش دانه‌های خاک به هم خورده و آرایش جدید باعث کاهش حجم و ضخامت عمودی لایه و در نهایت نشست زمین گردیده است (شکل ۸).

جدول ۲: میزان آب استحصالی توسط چاههای بهره‌برداری

سال	میزان آب استحصالی (میلیون متر مکعب)	تعداد چاهها
۱۳۲۰	۰	۰
۱۳۲۵	۰/۵	۲
۱۳۳۰	۱	۳
۱۳۳۵	۱/۲	۴
۱۳۴۰	۵	۱۲
۱۳۴۵	۱۸	۲۵
۱۳۵۰	۳۸	۳۲
۱۳۵۵	۵۰	۷۴
۱۳۶۰	۹۰	۱۰۶
۱۳۶۵	۹۵	۱۳۹
۱۳۷۰	۹۸	۱۶۱
۱۳۷۵	۱۰۰	۱۸۴
۱۳۸۰	۱۰۵	۲۱۵
۱۳۸۵	۱۰۸	۲۴۸



شکل ۷: نمودار وضعیت نسبت آبدهی چاهها

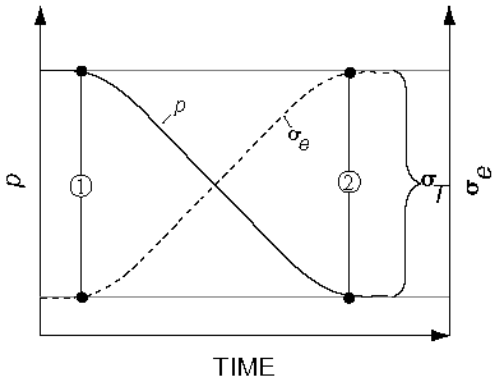


شکل ۸: کاهش حجم لایه ریزدانه و نازک شدن آن در اثر زه‌کشی

افزایش فشار هیدرواستاتیک براساس قانون ساده ترزاقی بر طبق رابطه زیر استوار است.

$$\sigma_e = \sigma_T - p$$

که در این رابطه σ_e تنش موثر، σ_T تنش کل و p فشار آب می‌باشد. بنابراین کاهش فشار آب منفذی باعث افزایش تنش موثر می‌گردد (شکل ۹).



شکل ۹: رابطه بین تنش کل و موثر

شکافهای ایجاد شده در این قسمت از دشت شکافهای کششی ساده می‌باشد که ابتدا با طول و بازشدگی کمی ظاهر شده و همزمان با نشست بیشتر زمین توسعه می‌یابند. این شکافها در اطراف روستاهای ظاهرآباد، عظیم‌آباد ظفررود، کلاته شادی و کندر در حال حاضر به طول بیش از چند صدمتر و با بازشدگی چندین متر مشاهده می‌شوند. گسل درونه از جمله ساختهای مهم زمین‌شناسی منطقه است که سبب تغییر رخساره رسوبی در محل تشکیل شکافها گردیده است، به طوری که در این قسمت از دشت تغییر رخساره رسوبی از مواد دانه درشت به مواد دانه‌ریز (به طور عمده سیلت و رس) تشخیص داده شده است؛ به نحوی که برداشت اندک آبهای زیرزمینی در این بخش سبب فرونشست بیشتری نسبت به سایر مناطق می‌گردد. تفاوت نرخ نشستهای ایجاد شده موجب تشکیل شکافهای طولی با سازوکار کششی ساده شده است. البته عملکرد فرسایش زیرزمینی به ویژه در محل تغییر رخساره‌های رسوبی از شدت بیشتری برخوردار است. عمق زیاد شکافها و ماسه‌دهی چاههای آب کشاورزی حفر شده در مجاورت این شکافها نیز مؤید این مسأله است. فرسایش آبی، سست بودن دیواره‌های سیلتی ـ رسی شکافها به همراه دست‌کاری آن به وسیله کشاورزان محلی (پرکردن با خاک و به آب بستن آنها) از جمله عواملی هستند که به عریض‌تر شدن شکافها و تبدیل آنها به گودال و گالی کمک کرده است.

نتیجه‌گیری

ایجاد شکافهای کششی طولی در غرب دشت کاشمر در رابطه با نشستهای ناهمگن سطح زمین در نتیجه افت سطح آبهای زیرزمینی و کاهش فشار هیدرواستاتیک در محیطی است که دارای تغییر رخساره از رسوبات درشت‌تر به دانه ریزتر است.

گسل درونه از جمله ساختارهای زمین‌شناختی است که تغییر رخساره از رسوبات درشت‌تر به دانه ریزتر و تغییر سنگ کف و در نهایت در وقوع پیوستن شکافهای کششی نقش داشته است.

مهمترین علت ایجاد شکافها در این قسمت از دشت به دلیل تراکم برگشت‌ناپذیر در قسمتهایی از آبخوان با خاکهای ریزدانه تحکیم نیافته یا نیمه تحکیمی است. این عمل در اثر زه‌کشی آب از لایه ریزدانه به دلیل افزایش تنش مؤثر در اثر افت فشار هیدرولیکی است. در چنین شرایطی آرایش دانه‌های خاک به هم خورده و چیدمان جدید باعث کاهش حجم و ضخامت عمودی لایه و در نهایت نشست زمین گردیده است.

به منظور کنترل پدیده فرونشست زمین، کنترل برداشت و اعمال مدیریت مناسب، با تغییر الگوی کشت و عدم کشت محصولات غیر راهبردی، آموزش کشاورزان و اصلاح سیستمهای آبیاری به منظور تعدیل برداشت از سفره‌های بحرانی ضروری است.

همچنین به منظور تقویت آبخوان برای جلوگیری از افت بیشتر سطح آب زیرزمینی، در صورت امکان انتقال آب از حوضه‌های مجاور و انجام طرحهای تغذیه مصنوعی در این دشت از اولویت خاصی برخوردار بوده و باید مورد بررسی قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

این تحقیق تحت پروژه شماره ۱۲/پ مورخ ۸۷/۱/۲۰ دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شده است. بدین وسیله نویسندگان مقاله بر خود لازم می دانند تا از حمایت مالی دانشکده جهت اجرای این پروژه تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

امیری، م.، نظری‌پویا، ه.، مظاهری، ح.، ۱۳۸۳. علل و مکانیسم وقوع فروچاله‌ها در دشت فامنین ـ کبودرآهنگ. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۸۷-۱۷۲:۷۳.

بلورچی، م. ج.، ۱۳۸۴. احتمال فرونشست زمین در اراضی وسیعی از تهران. پایگاه خبری شریف نیوز.

ترشیزیان، ح.، برزکار، الف.گ.، ۱۳۸۶. نقش گسل کویر بزرگ (درونه) در وضعیت سفره‌های آب زیرزمینی دشت کاشمر. مجموعه مقالات اولین کنگره زمین‌شناسی کاربردی ایران، مشهد، ص ۱۲۳۴-۱۲۳۷.

حسینی‌میلانی، م. ۱۳۷۳. اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و اثرات آن. مجموعه مقالات کنفرانس ملی منابع آب زیرزمینی، سیرجان، ص ۹۸-۹۱.

حمیدی، ب.، ۱۳۸۰. تحکیم سه بعدی زمین در یکی از طرحهای استان خوزستان. مجموعه مقالات نخستین کنفرانس به‌سازی زمین، تهران، ص ۸۳-۷۶.

خورسندی آقایی، الف.، عبدالی، م.، ۱۳۸۵. بررسی پدیده فرونشینی زمین دشت همدان با دیدگاه متفاوت، مطالعه موردی: فرونشینی زمین طرح تغذیه مصنوعی جنوب نیروگاه. مجموعه مقالات دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، ص ۱۴۱-۱۳۵.

رحمانیان، د. ۱۳۶۵. نشست زمین و ایجاد شکاف بر اثر تخلیه آبهای زیرزمینی در کرمان. مجله آب، ۴۲-۶:۳۵.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۷۵. گزارش مطالعات زمین شناسی دشت کاشمر. ۱۳۸ ص.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۳. گزارش تعیین عمق مجاز حفاری در چاههای کشاورزی دشت کاشمر. کمیته تحقیقات کاربردی.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۴. گزارش مطالعات هیدروژئولوژی دشت کاشمر. ۲۶۵ صفحه.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۸۶. آمار سالهای ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۶. بانک اطلاعات معاونت مطالعات پایه منابع آب.

شمشکی، الف.، انتظام‌سلطانی، الف.، ۱۳۸۴. سازوکار علل تشکیل شکافهای زمین در منطقه معین آباد ــ ورامین. چهارمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، تهران، ص ۱۹۱-۱۷۸.

عالمی، الف.، ۱۳۸۱. بررسی علل نشست در دشت یزد ـ اردکان. مجموعه مقالات سومین همایش بین المللی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، تهران، ص ۴۳۴-۴۲۹.

عباس‌نژاد، الف.، ۱۳۷۷. بررسی شرایط و مسائل زمین شناسی محیط زیست دشت رفسنجان. فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، مشهد، ص ۳۱۰-۳۰۳.

لشکری‌پور، غ. ر.، غفوری، م.، سویزی، ز.، پیوندی، ز.، ۱۳۸۴. افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد. مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، اصفهان، ص ۱۳۲-۱۲۴.

لشکری‌پور، غ. ر.، رستمی بارانی، ح. ر.، کهندل، الف، ترشیزی، ح.، ۱۳۸۵. افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت

کاشمر. مجموعه مقالات دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، ص ۲۴۳۸-۲۴۲۸.

لشکری‌پور، غ. ر.، رستمی بارانی، ح. ر.، صداقت‌خواهی، ح.، (a)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، ص ۴۳۲۸-۴۳۲۰.

لشکری پور، غ. ر.، غفوری، م.، باقرپور، الف، طالبیان، س. ل.، (b)۱۳۸۶. تأثیر افت سطح آب زیرزمینی در نشست زمین: مطالعه موردی. مجموعه مقالات اولین کنگره زمین شناسی کاربردی ایران، مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، جلد دوم، ص۹۲۲-۹۱۶.

لشکری پور، غ.ر.، غفوری، م.، کاظمی گلیان، ر.، دم شناس، م.، (c)۱۳۸۶. نشست زمین در اثر افت سطح آبهای زیرزمینی در دشت نیشابور. پنجمین همایش زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، ص ۱۰۹۲-۱۰۸۲.

مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار،(a)۱۳۸۴. گزارش طرح مدل ریاضی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی کاشمر. جلد اول، گزارش هواشناسی.

مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار،(b)۱۳۸۴. گزارش طرح مدل ریاضی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی کاشمر. جلد ششم، گزارش مدل ریاضی.

نبوی، محمد حسن (۱۳۵۶)، دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی کشور.

هرمن، بوئر، ۱۹۷۸. هیدرولوژی آبهای زیرزمینی (ترجمه لطفی صدیق، احمد). انتشارات دانشگاه صنعتی سهند، ۱۸۴ ص.

Alipour, A., Motagh, M., Sharifi, M., & Walter, T.R., 2008. Satellite radar interferometry time series analysis of land subsidence caused by groundwater overexploitation in Tehran, Iran. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-10684.

Carminati, E., & Martinelli, G., 2002. Subsidence rates in the Po Plain, northern Italy: the relative impact of natural and anthropogenic causation. *Engineering Geology*, 66:241-255.

Holzer, T.H., 1989. State and local response to damaging land subsidence in United States urban areas. *Engineering Geology*, 27:449-466.

Hu, R.L., Wang, S.J., Lee, C.F., & Li, M.L., 2002. Characteristics and trends of land subsidence in Tanggu, Tianjin, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 61:213-225.

Hu, R.L., Yue, Z.Q., Wang, L.C., & Wang, S.J., 2004. Review on current status and challenging issues of and subsidence in China. *Engineering Geology*, 76:65-77.

Larson. K.J., Basagaoglu, H., & Marino, M.A., 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, 242:79-102.

Liu, C.W., Lin, W.S. & Cheng, L.H., 2006. Estimation of land subsidence caused by loss of smectite-interlayer water in shallow aquifer systems. *Hydrogeology Journal*, 14:508-525.

Lofgern, B.E., 1969. Field measurement of aquifer system compaction, Sanjoaquin Balley, California, U.S.A. *Proc, Tokyo Symp. on Land Subsidence*, IASH-UNSCO, 272-284.

Motagh, M., Djamour, Y., Walter, T.R., Wetzel, H.U., Zschau, J., & Arabi, S., 2007. Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran, results from InSAR, leveling and GPS. *Geophysical Journal International*, 168:518-526.

Mousavi, S.M, Shamsai, A., El Naggar, M.H., & Khamehchian, M., 2001. A GPS-based monitoring program of land subsidence due to groundwater withdrawal in Iran. *Can. J. Civ. Eng*. 28:452–464.

NRC. 1991. Mitigating losses from land subsidence in the United States, In: Pacheco, j., Rojas, E., Arroyo, M., Yutsis, v., & Ochoa, G., Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley, Mexico.

Pacheco, J., Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutsis, V., & Ochoa, G., 2006. Delimitation of ground failure zones due to land subsidence usind gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley, Mexico. *Engineering Geology*, 84:143-160.

Phien-wej, N., Giao, P.H., & Nutalaya, P., 2006. Land subsidence in Bangkok, Thailand. *Engineering Geology*, 82,187-201

Poland, J.F., 1981. The occurrence and control of land subsidence due to groundwater withdrawal with special reference to the San Joaquin and Santa Clara Valleys, California, *Ph.D Dissetation, Stanford University*, Palo Alto, California.

Quanlong, W., 2006. Land subsidence and water management in Shanghai, *Master thesis, Delft University*, Netherlands.

Scott, R.F., 1979. Subsidence-revaluation and prediction of subsidence. (eds.) Saxema, S.K., *Proc. Conf. ASCE, Gainsville*, 1-25.

Solaimani, K., & Mortazavi, S.M., 2008. Investigation of land subsidence and its consequences of large groundwater withdrawal in Rafsanjan, Iran. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11:265-269.

Stiros, S.C., 2001. Subsidence of the Thessaloniki (northern Greece) coastal plain, 1960-1999. *Engineering Geology*, 61:243-256.

USGS. 1999. Land subsidence in the United States. In: Pacheco, J., Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutsis, V., Ochoa, G., Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley, Mexico.

Waltham, A.C. 1989. Ground subsidence. *Blackie & Son Limites*.

Zhou, G.Y., & Esaki, T.J., 2003. GIS based spatial and predication system development for regional land subsidence hazard mitigation. *Environmental Geology*, 44:665-678.

An investigation on the mechanism of earth-fissures and land subsidence in the western part of Kashmar Plain

***Lashkaripour, G.R., Ghafoori, M., Rostami Barani, H.R.**
Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

***E-mail: lashkaripour@ferdowsi.um.ac.ir**

Abstract

Kashmar Plain in the north eastern part of Central Iranian Kavir Catchment is one of the important and agricultural prosperity plain in Khorasan-e-Razavi Province. This plain located in a semi-arid to arid area. In the last decades, fast agricultural expansion coupled with rapid population growth has tremendously increased pressure on the ground water resources. Over-exploitation of the ground water resources leads to a decline of ground water levels as 0.8 m/year and the total depletion in ground water resource is estimated to be about 121.4 milion m^3. Increasing in pumping rate of ground water resources has led to decline in ground water level and the plain listed as a critical plain in the province. Declining of groundwater and existing of fine-grained soil in Azim-Abad, Zaher-Abad, Zafar-rod Firooz-Abad, Kalatahshadi and Kondor villages have caused aquifer compaction and land subsidence in this area. This paper deals with the relation between declining of ground water level, earth-fissure and land subsidence based on the available data in this part of the plain.

Keyword: Earth-fissures, land subsidence, declining of groundwater level, Kashmar Plain.