

علل تشکیل و توسعه شکاف های بزرگ دشت سملقان و اثر شکافها بر افت کیفی آب زیرزمینی

عباس کنگی^{۱*} سمیه سلیمانی^۲ سمانه مممدی^۳ و مهدی رضایی^۴

(۱) دانشیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شاهرود، kangiabas@hotmail.com

(۲) کارشناس شرکت آب منطقه ای خراسان شمالی

(۳) کارشناس ارشد آب زیرزمینی دانشگاه صنعتی شاهرود

(۴) کارشناس ارشد شرکت زغالسنگ البرز شرقی

(*) عهده‌دار مکاتبات

چکیده

تشکیل شکاف های بزرگ دشت سملقان با راستای شمال شرق - جنوب غرب از سال ۱۳۷۹ آغاز گردیده و در حال توسعه می باشد. این شکاف ها در شمال غرب دشت، در محدوده حداکثر افت سطح آب زیرزمینی و در فاصله ۳ کیلومتری شهر قاضی متمرکز گردیده اند. عوامل متعدد در تشکیل، کنترل و توسعه شکاف های بزرگ دشت سملقان تاثیر داشته اند. هم راستا و منطبق بودن شکاف ها با گسل فعال باغ نوده دلالت بر تاثیر این گسل در ایجاد درز و شکاف های اولیه و احتمالاً فاقد رخنمون سطحی دارد. بهره برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی با افت سالانه ۸۰ سانتیمتری در بخش غربی دشت و پی آمد آن فرونشست محدود دشت به عنوان یک محرک اولیه، ظهور درز و ترکهای ناشی از گسل در سطح زمین را سبب شده است. اختلاف ضخامت آبرفت در دو سوی گسل و فرونشست ناهمگن سطح زمین تظاهر سطحی شکاف ها را تشدید نموده است. در نهایت ورود جریان سیلاب های ناشی از بارندگی به داخل شکاف ها و تماس آب با خاکهای دارای پتانسیل رمبندگی در عمق ۵ تا ۱۰ متری، توسعه ناگهانی شکاف ها و در نتیجه افت کیفیت آب زیرزمینی چاه های هم راستا با شکاف ها را سبب شده است.

واژه‌های کلیدی: دشت سملقان، شکاف های بزرگ دشت، افت کیفیت آب زیرزمینی،

۱- مقدمه

طولانی بر نوع خاصی از خاکهای رسی و در ایجاد این نوع شکاف ها تاثیر دارد. همچنین فرم هندسی توسعه شکاف ها، بصورت دایره ای، پلکانی، متقاطع و بی نظم و غالباً تحت تاثیر عوامل تشکیل دهنده آن می باشد.

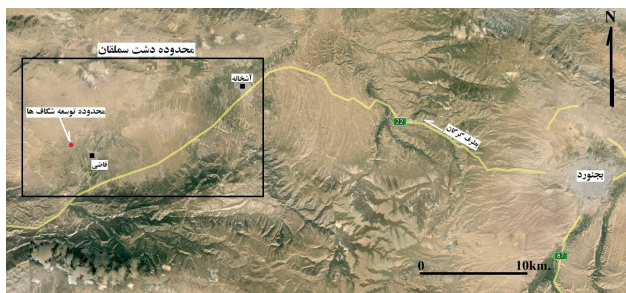
در ایران فرونشست زمین برای نخستین بار در سال ۱۳۴۶ در دشت رفسنجان گزارش شده است. اما تشکیل و توسعه شکاف های بزرگ دشت ها مربوط به دو دهه اخیر می باشد. دشت های مهیار، رفسنجان، کبودر آهنگ، دامغان، مشهد، نیشابور، عنبرآباد جیرفت، کاشمر و

طی چند دهه اخیر توسعه شکاف های بزرگ دشت و خسارات ناشی از آن در بسیاری از نقاط جهان مانند مکزیکوسیتی، مناطقی از چین، تایلند، ژاپن، آمریکا، شهر کلکته هندوستان، جنوب غرب تایوان و شانگهای چین، گزارش شده است (Ruilin, ۲۰۰۶). این شکاف ها دارای ۱ تا ۵ متر پهنا، ۲ تا ۱۰ متر عمق و دهها تا صدها متر طول می باشند. عوامل مختلف از جمله فرونشست ناشی از افت سطح آب زیرزمینی، فعالیت گسلها، رمبندگی خاک، اثر خشک سالی های

تصویر ۱- خسارات ناشی از توسعه شکاف های بزرگ به مناطق مسکونی (روستای خورزان جنوب دامغان)

۲- موقعیت و مشخصات محدوده مورد مطالعه:

دشت سملقان با روند شمال شرق - جنوب غرب بخشی از یکی از زیر حوضه های جنوبی رودخانه اترک بوده و از لحاظ تقسیمات سیاسی جزء استان خراسان شمالی محسوب می گردد. جاده بجنورد - گرگان از دشت سملقان و از فاصله نزدیک شکاف های ایجاد شده در دشت عبور می کند. راه دستیابی به دشت سملقان و شکاف های بزرگ دشت از طریق جاده اصلی بجنورد - گرگان میسر می باشد. سپس با طی مسافت حدود ۱۷ کیومتر به سمت جنوب غرب آشخانه، از طریق جاده آسفالت به شهر قاضی می رسیم. شکاف های بزرگ دشت سملقان در فاصله ۳ کیلومتری شمال غرب شهر قاضی و در مجاور چاه پیرومتر باغ نوده با طول جغرافیایی ۴۹، ۴۲، ۵۶ و عرض جغرافیایی ۲۰، ۳۰، ۳۷ واقع شده است (تصویر ۲).



تصویر ۲- موقعیت توسعه شکاف ها نسبت به دشت سملقان.

۳- مدل تکتونیکی ماکم بر منطقه مورد مطالعه:

دشت سملقان در پهنه کپه داغ غربی واقع گردیده است. تغییر شکلهای عمومی در غرب کپه داغ، نتیجه تطابق حرکت سپر عربستان در مقابل پایداری صفحه اوراسیا می باشد. این شرایط چهره های تکتونیکی متفاوتی را خلق نموده که ترکیب آنها وضعیت زمین شناسی کنونی این منطقه را ایجاد کرده است. بطور کلی پهنه کپه داغ غربی بین دو زون گسلی امتداد لغز عشق آباد در شمال و سیستم گسلهای امتداد لغز شاهرود در جنوب قرار دارد. زون گسل عشق آباد با پرتگاه های ژئومورفولوژیک خطی، جابجایی راست لغز این گسل را بصورت واضح نشان می دهد. اما سیستم گسل شاهرود در بخش جنوبی کپه داغ غربی، با شرایطی متفاوت جابجایی چپ گرد گسل ها را به نمایش گذاشته است. این دو پهنه گسلی، کوتاه شدگی شمالی جنوبی،

بسیاری موارد دیگر از جمله این مناطقی هستند (لشگرپور و همکاران ۱۳۸۷). تشکیل شکاف های بزرگ و فرونشست دشت ها در سالهای اخیر معضلات زیادی برای مناطق مسکونی، زمین های کشاورزی، کانال های آبرسانی، چاه های آب، جاده ها، خطوط انتقال نیرو و .. بوجود آورده است (تصویر ۱).

دشت سملقان یکی از دشتهای حاصلخیز استان خراسان شمالی می باشد. در این دشت سالانه بالغ بر ۶۳ میلیون متر مکعب آب توسط ۱۱۸ حلقه چاه، ۱۵ رشته قنات و ۱۹۹ دهانه چشمه از آبهای زیرزمینی تخلیه می گردد که بیش از ۹۰ درصد آن به مصرف کشاورزی و ۱۰ درصد باقیمانده در بخش های شرب و صنعت مورد استفاده قرار می گیرد. طی سالهای اخیر مجموعه ای از شکاف های بزرگ در شمال غرب دشت سملقان بوجود آمده که در حال حاضر نیز در حال توسعه می باشد. بیشترین تمرکز شکاف های این دشت در نزدیک شهر قاضی و باغ نوده در فاصله ۱۷ کیلومتری جنوب غرب شهر آشخانه قرار دارد.

هدف از اجرای این تحقیق بررسی ارتباط بین عوامل مختلف از جمله افت سطح آب زیرزمینی، فرونشست زمین، خصوصیات مکانیکی خاک، عوامل اقلیمی، فعالیتهای تکتونیکی و ... در ایجاد شکاف های بزرگ دشت سملقان و تاثیر آن بر افت کیفیت آب زیرزمینی است.



کنگی و محمدی: علل تشکیل و توسعه شکاف های بزرگ دشت سملقان و اثر شکافها بر افت کیفی آب زیرزمینی

شکل ۴- موقعیت گسل آشخانه در شمال دشت سملقان
(Bretis et al., ۲۰۱۲).

۵- تاریخچه تشکیل شکاف های بزرگ دشت سملقان:

بر اساس گزارشات افراد محلی حدود ۶۰ تا ۷۰ سال پیش تعداد اندکی شکاف های بزرگ در شمال غرب دشت سملقان (زمین های گرجی) هم زمان با بارندگی های شدید ایجاد شده است. این شکاف ها قبل از حفر چاه های عمیق و آغار پمپاژ گسترده از منابع آب زیرزمینی ایجاد شده است. اما تشکیل و توسعه گسترده شکاف های بزرگ دشت سملقان هم زمان با بارندگی های شدید سال ۱۳۷۹ و جاری شدن سیل، در مجاور چاه پیزومتر باغ نوده (۳ کیلومتری شمال غرب شهر قاضی) ایجاد شده و طی سالهای بعد توسعه یافته و خسارات زیادی را به همراه داشته است (شکل ۵). دومین مرحله تشکیل شکاف ها در شهریور ماه سال ۱۳۹۰ هم زمان با بارندگی ها و جریان سیلاب در سطح دشت ایجاد شده است. شکاف های جدید در دو سوی چاه پیزومتر باغ نوده به سمت شمال شرق (زمین های بنیاد مستضعفان) و جنوب غرب (زمین های گرجی) توسعه یافته است. ایجاد این شکاف ها طی سالهای اخیر، مشکلات عمده برای کشاورزان، نگرانی اهالی روستاهای مجاور و توجه جدی مسئولین را به همراه داشته است.

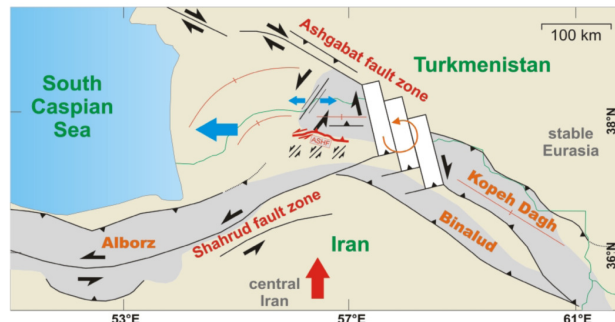


تصویر ۵- نمایی از توسعه شکاف های بزرگ دشت.

۶- وضعیت هندسی و روند توسعه شکاف های دشت سملقان

شکاف های بزرگ دشت سملقان با راستای شمال شرق - جنوب غرب و بصورت پلکانی با طول ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر، باز شدگی ۱ تا ۴ متر، عمق ۱۰ تا ۱۵ متر و فواصل ۵۰ متر نسبت به یکدیگر، تشکیل شده اند (شکل ۶). جدیدترین شکاف های دشت سملقان طی ۲ سال گذشته در مجاور زمینهای گرجی و کانال انتقال آب تپه گاو توسعه یافته است. بنابراین شکاف های دشت سملقان با طرح پلکانی و هم

کشیدگی بطرف غرب کپه داغ و چرخش خلاف عقربه های ساعت در مرکز کپه داغ را در بر گرفته اند (شکل ۳). این فرایند یک طویل شدگی عمومی را در امتداد کل منطقه کوهستانی کپه داغ به همراه دارد (Bretis et al., ۲۰۱۲).

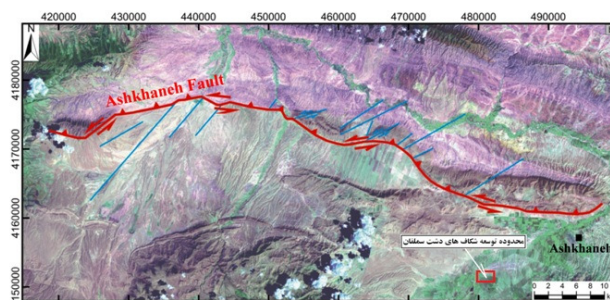


تصویر ۳- مدل تکتونیکی رشته کوه های کپه داغ / بینالود و جنوب شرق دریای خزر (Bretis et al., ۲۰۱۲).

۴- زمین شناسی عمومی دشت سملقان

بخش شمالی و جنوبی دشت سملقان توسط نهشته های مزوزوئیک (سنگ آهک های سازند تریگان - کرتاسه) پوشیده شده است. بخش شرقی و غربی دشت توسط کنگلومراهای نئوژن و برونزدگی های بخش مرکزی دشت شیل های سازند خانگیران می باشد. این دشت در منطقه ای تکتونیکی تحت تاثیر دو گسل اصلی آشخانه در شمال و شوقان در جنوب با راستای شرقی غربی قرار دارد (شکل ۴). عملکرد این دو گسل فعال تاثیر مهمی بر نهشته های کواترنری دشت های منطقه از جمله دشت سملقان دارد. این تاثیرات بصورت نشانه های ژئومورفولوژیک، تغییرات در شرایط آب زیرزمینی و ... تظاهر نموده است.

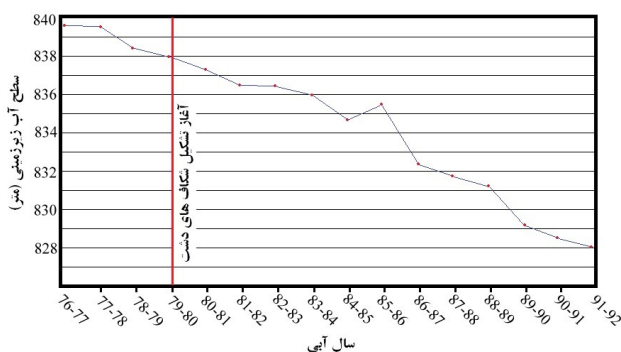
دشت سملقان در جنوبی گسل نیرومند و فعال آشخانه با راستای شرقی - غربی و مکانیسم رورانده قرار دارد. شاخه های فرعی گسل آشخانه با راستای شمال شرق - جنوب غرب و مکانیسم امتداد لغز راست گرد وارد دشت سملقان شده است. در جنوب دشت سملقان گسل چمن بید با راستای شرقی غربی و مکانیسم رورانده قرار دارد.



بطور کلی، شکاف های بزرگ دشت ها تحت تاثیر عوامل مختلف تشکیل، کنترل و توسعه می یابند. هر یک از انواع شکاف ها دارای فرم هندسی و شرایط توسعه متفاوت می باشند. بنابراین، ارزیابی پارامترهای موثر بر تشکیل این شکاف ها و شناسایی مکانهای مستعد برای توسعه آنها جهت ارائه راهکارهای مناسب ضروری است.

۷-۱- تغییرات سطح آب زیرزمینی و اثرات آن بر نشست زمین در محدوده توسعه شکاف های دشت سملقان:

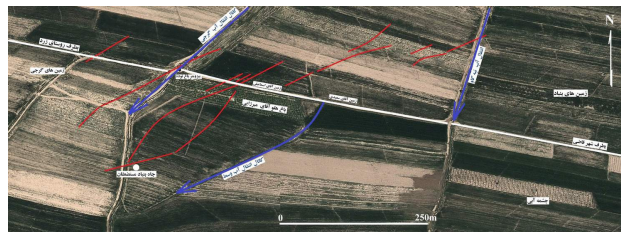
بطور کلی از نشست می توان تحت عنوان حرکات زمین یاد کرد که در اثر برداشت زیاد آب زیرزمینی ایجاد می شود که به تحکیم رسوبات نسبت داده می شود. تحکیم نتیجه ای از افزایش استرس موثر می باشد. فشار کل در نهشته های اشباع یا کمی اشباع توسط ساختمان دانه ها و آب روزه ای تحمل می شود (Bell, ۱۹۹۹). کاهش سطح آب زیرزمینی منجر به کاهش فشار آب منفذی و در نتیجه انتقال تدریجی استرس از آب منفذی به دانه ها می گردد. طبق تحقیقات اسکات (Scott) ۱۹۷۹ کاهش فشار آب منفذی بلافاصله با خروج سیال رخ نمی دهد بلکه در یک پریود طولانی تر از برداشت اتفاق می افتد. علاوه بر افزایش فشار، ضخامت و تراکم پذیری نهشته و طول زمان بارگذاری و درجه و نوع استرس اعمال شده در نشست موثر است (Lofgren, ۱۹۶۹).



شکل ۷ - تغییرات سطح آب زیرزمینی چاه پیژومتر باغ نوده و ارتباط آن با آغاز توسعه شکاف های بزرگ دشت.

در محدوده دشت سملقان افت سطح آب زیرزمینی در بخش شرقی و غربی دشت با دو شرایط متفاوت رخ داده است. در چاه پیژومتر باغ نوده (بخش غربی دشت و محدوده توسعه شکاف های بزرگ)، از سال آبی ۷۶-۷۷ تا سال آبی ۹۱-۹۲ در طی یک دوره ۱۵ ساله ۱۲ متر افت سطح آب زیرزمینی ثبت شده است (شکل ۷). به عبارت دیگر هر سال بطور متوسط شاهد ۸۰ سانتیمتر افت سطح آب زیرزمینی می باشیم.

راستا با وضعیت هندسی عمومی به سمت شمال شرق دشت و روستای کلاته قنبر در جنوب شرق دشت در حال توسعه می باشد (کنگی و همکاران ۱۳۹۲).



شکل ۶ - طرح هندسی شکاف های دشت سملقان.

۷-۲- علل تشکیل و توسعه شکاف های بزرگ دشت سملقان

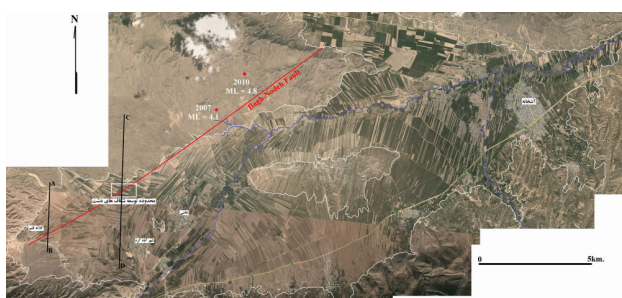
علاوه بر فرونشست ناشی از افت سطح آب زیرزمینی عوامل دیگری از جمله خشک سالی های طولانی مدت، رهمبندگی خاک، فعالیت های تکنیکی و بسیاری از موارد دیگر در تشکیل شکاف های بزرگ دشت ها دخالت دارند. هرچند انجمن های علمی توسعه و بهره برداری از زمین، با اثرات ناشی از پمپاژ آب زیرزمینی آشنا هستند، اما دانسته های ما در باره علل و عوامل کنترل کننده شکاف های بزرگ دشت ها بسیار اندک است (Harris, ۲۰۰۴). معمولا شکاف های بزرگ ناشی از پمپاژ آب زیرزمینی و فرونشست دشت، طولی، مستقیم، عمیق و منطبق بر محیط کاسه در حال فرونشست دشت می باشند (Harris, ۲۰۰۴). به عنوان مثال شکاف های دشت نیشابور در طی سالهای اخیر در شهر فیروزه (غرب دشت)، روستای قاسمی (جنوب دشت) و روستای جیلو (شرق دشت) دقیقا منطبق با کاسه در حال فرونشست دشت توسعه یافته اند.

شکاف های بزرگ ناشی از خشک شدگی، Giant Desiccation Cracks (GDC) تحت تاثیر چروکیدگی خاکهای غنی از کانیهای رسی خصوصا مونت مورینیت سرشار از سدیم ایجاد می شوند. این شکاف ها بصورت پلیگونیهای همانند ترکهای گلی، اما با مقیاس بسیار بزرگتر در سطح زمین ظاهر می شوند. در اغلب موارد این شکاف ها پس از خشک سالی های مداوم در زیر سطح زمین ایجاد می شوند. پس از بارندگی و مرطوب شدن خاکهای سطحی و کاهش استحکام ساختاری، خاکهای سطحی به داخل شکاف ها فرو ریخته و سبب ظاهر شدن آنها در سطح زمین می شود. این شکاف های بزرگ دارای ۱ تا ۳ متر پهنا، ۵ تا ۱۰ متر عمق و طول ۵۰ تا ۲۰۰ متر می باشند (Harris, ۲۰۰۴).

تصویر ۸ - نگاره حاصل از پردازش داده های ماهواره ای رادار در شیوه InSAR در بازه زمانی ۱۷۵ روزه.

۷-۳- تغییرات ناگهانی توپوگرافی سنگ کف در محدوده تشکیل شکاف های بزرگ دشت سملقان

بررسی های ژئوفیزیکی به منظور تکمیل و رفع پیچیدگی های موجود در برداشتهای زمین شناسی، ویژگیهای کمی و کیفی آب و شناسایی مورفولوژی سنگ کف دشت از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برای نیل به اهداف یاد شده، عملیات ژئوالکتریک دشت سملقان در دو مرحله جداگانه طی سالهای ۱۳۷۶ و ۱۳۸۲ انجام شده است (مهندسی مشاور آبمنوس توس ۱۳۸۲). در مرحله دوم ۴۹ سونداژ الکتریکی بر روی ۵ پروفیل با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی اجرا گردیده که دو پروفیل AB و CD در بخش غربی دشت از محدوده توسعه شکاف ها (غرب شهر قاضی) عبور کرده است (تصویر ۸). بررسی پروفیل های مورد نظر عبور یک گسل از بین سونداژهای ۵ و ۶ (پروفیل CD) که دقیقاً در محدوده توسعه شکاف ها می باشد را تایید می کند. در این مقاله گسل مورد نظر به نام گسل باغ نوده نامگذاری شده است (تصویر ۹). در محدوده عبور پروفیل CD اختلاف ضخامت قابل توجهی در دو سوی گسل مشاهده می گردد. این اختلاف ضخامت بصورت پابین افتادگی بخش شرقی گسل و ایجاد پله در مورفولوژی سنگ کف نمایان شده است. این تفاوت در دو سوی گسل باغ نوده، اختلاف میزان نشست در دو سوی گسل و در نتیجه حساسیت بالای محدوده توسعه شکاف ها به فرونشست را سبب شده است. به عبارت دیگر به دلیل ناهمگنی تشست زمین در دو سوی گسل باغ نوده، فرونشست بسیار اندک زمین با ظهور شکاف هایی هم راستا با گسل همراه خواهد بود (کنگی و همکاران ۱۳۹۲).



تصویر ۸ - موقعیت گسل باغ نوده نسبت به محدوده تشکیل شکاف های بزرگ و پروفیل های ژئوالکتریک AB و CD در محدوده دشت

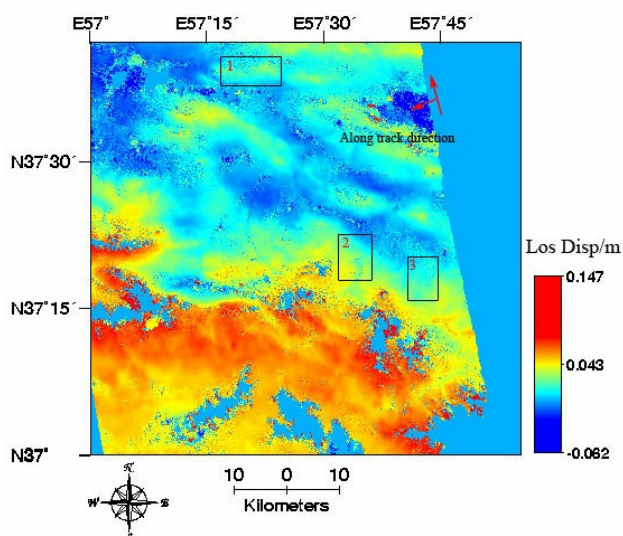
بدون شک این میزان افت سطح آب زیرزمینی در یک دوره زمانی محدود پیامدهای فراوانی از جمله نشست زمین را به همراه خواهد داشت. این در حالی است که در سایر چاه های پیزومتر بخش غربی دشت سملقان در دوره زمانی مشابه میزان افت سطح آب زیرزمینی بین ۲ تا ۴ متر متغیر می باشد.

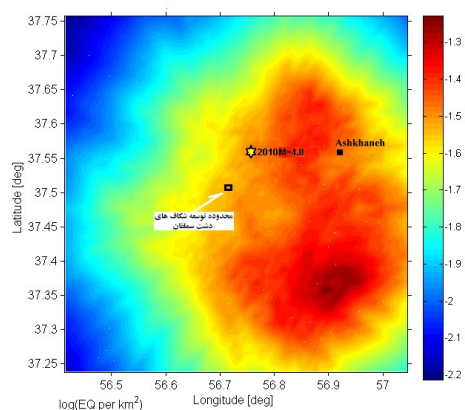
۷-۲- سنجش از دور

با استفاده از داده های ماهواره ای رادار در شیوه InSAR، پیرامون دشت سملقان یک منطقه فرونشست در بخش غربی دشت شناسایی شده است. این نتیجه از تحلیل داده های ماهواره ای مورد نظر و مدل ارتفاعی رقومی منطقه با استفاده از برنامه نرم افزاری روی پک (ROI-pac software) بدست آمده است. با این که سعی شده تا حد امکان با اجرای روشهای ویژه میزان نوفه (noise) در داده های ورودی کاهش یابد، در محدوده دشت سملقان با افزایش دوره زمانبندی افزایش میزان نوفه، اطلاعات خروجی (information) به قدری مخدوش می شود که برای دوره زمانی بزرگتر از یک سال بیشتر سطح پهنه فاقد اطلاعات می گردد. به نظر می رسد که ایجاد این مشکل در رابطه با فعالیتهای کشاورزی منطقه است.

در شیوه InSAR با پردازش دو نگاره رادار حاصل از سنجنده ماهواره ای در مقطع زمانی مورد نظر، مناطقی که دچار جابجایی شده باشند با ایجاد باندهای طیف رنگی از آبی به صورتی نسبت به مناطق با ثبات تفکیک می گردند.

با تحلیل طیفهای رنگی حاصل از پردازش داده های ماهواره ای، نقشه میزان فرونشست در دوره های زمانی ۱۷۵ روزه تهیه شده است (تصویر ۸). بر اساس این نقشه ها ۳ تا ۵ سانتیمتر بر سال نشست در بخش غربی دشت سملقان برآورد شده است.





تصویر ۱۱- تراکم رویداد زمین لرزه ها در محدوده دشت سملقان

۷-۵- اثرات ناشی از ورود جریان سیلاب ها به داخل شکاف

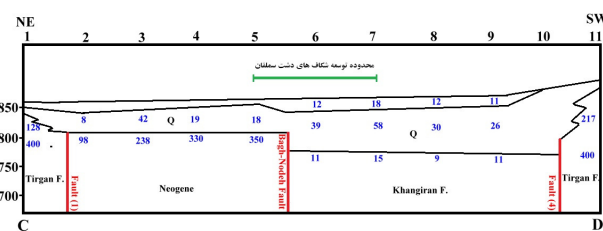
های بزرگ دشت سملقان:

چند مرحله توسعه ناگهانی شکاف های بزرگ دشت سملقان پس از بارندگی های شدید و جاری شدن سیلاب در سطح دشت ایجاد شده است. در این شرایط جریان سیلاب به داخل شکاف های بزرگ راه یافته و لایه های زیرین خاک را در تماس با آب قرار داده است (تصویر ۱۱). بدون شک این شرایط خاکهای مشکل دار زیر سطحی که دارای پتانسیل رمبندگی، تورم و ... می باشند را فعال نموده و عملکرد آنها فرایند توسعه شکاف ها را تحت تاثیر قرار داده است (کنگی و همکاران ۱۳۹۲).



تصویر ۱۱ - ورود جریان سیلاب به داخل شکاف های بزرگ دشت.

علاوه بر اثرات نامطلوب ناشی از فعال شدن خاکهای مشکل دار در اثر جریان یافتن سیلاب ها به داخل شکاف ها، این فرایند خسارت به چاه های آب و افت کیفیت آب زیرزمینی را به همراه دارد. به عنوان مثال در سال ۱۳۷۹ هم زمان با تشکیل شکاف ها، سیلاب های ناشی



تصویر ۹ - پروفیل ژئوالکتریک CD مربوط به مرحله دوم عملیات ژئوفیزیک

۷-۴- اثرات ناشی از فعالیت گسل باغ نوده بر تشکیل شکاف

های بزرگ دشت سملقان:

گسل باغ نوده با راستای شمال شرق - جنوب غرب یکی از شاخه های گسل اصلی آشنخانه می باشد. این گسل طی ۵ سال گذشته ۲ فعالیت لرزه ای به بزرگی ۴.۸ و ۴.۱ ریشتر داشته است. بعلاوه شکاف های بزرگ دشت سملقان نیز مطابق بر موقعیت گسل و هم راستا با آن در حال توسعه می باشند. رویداد چند زمین لرزه با بزرگی متوسط در راستای گسل باغ نوده و هم راستا بودن شکاف ها با امتداد گسل، این احتمال را تقویت می کند که وقوع زمین لرزه ها و لغزش در امتداد این گسل مجموعه ای از ترکها و شکاف های زیر سطحی را در پهنه گسل ایجاد نموده است (کنگی و همکاران ۱۳۹۲). این شکاف ها غالباً زیرسطحی و فاقد رخنمون در سطح زمین می باشند (تصویر ۱۰). بعلاوه بایستی توجه داشت که نرخ بالای فعالیت لرزه ای در محدوده مورد مطالعه T به عنوان یک عامل تعیین کننده رویدادهای طبیعی منطقه را تحت تاثیر قرار داده است.



شکل ۱۰- تشکیل شکاف های زیر سطحی فاقد رخنمون در سطح زمین.

در سطح زمین باشد (Yuan & Wang ۲۰۰۹). برای شناسایی خاکهای رمنده، معیارهای تجربی، آزمایشات آزمایشگاهی و آزمایشات محلی توسعه یافته اند. در این مقاله نتایج آزمایش تحکیم مضائف و حدود اتربرگ خاک به عنوان دو پارامتر اساسی در ارزیابی نقش رمندهگی خاک در توسعه شکاف های بزرگ بخش غربی دشت سملقان مورد استفاده قرار گرفته است.

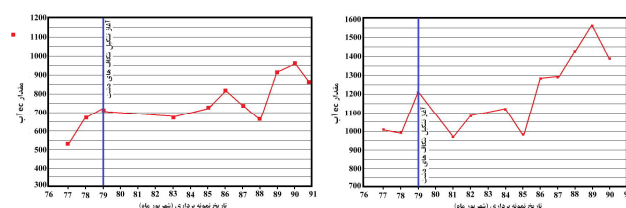
Jennings & Knight (۱۹۷۵) آزمایشی را برای شناسایی خاکهای رمنده ارائه کرده اند که امروزه فرم اصلاح شده آن بصورت استاندارد در آمده است (ASTM D۵۳۳۳, ۱۹۹۶). در این آزمایش نمونه خاک در دستگاه تحکیم تا سطح تنش مورد نظر بارگذاری می گردد و سپس تحت تنش ثابت، نمونه دچار جذب آب شده و درصد کرنش تک محوری آن به عنوان نشان رمندهگی آن سطح تنش خاک معرفی می شود. نتایج حاصل از ۱۹ مورد آزمایش تحکیم مضاعف بر روی نمونه های حاصل از حفاریهای ژئوتکنیکی در سطح دشت سملقان، حکایت از آن دارد که در اغلب موارد خاکهای با پتانسیل رمندهگی بالا ($3-5\%cp$) در عمق ۵ تا ۱۰ متری دشت سملقان قرار دارند. همچنین نتایج آزمایش تحکیم مضاعف بر روی ۲ نمونه دست نخورده از دیواره شکاف های بخش غربی دشت سملقان نیز حکایت از پتانسیل رمندهگی بالا ($4-5\% CP$) خاک در عمق ۴ تا ۵ متری دارد.

۷-۶-۱- رابطه محدود اتربرگ و شاخص رمندهگی خاک در دشت سملقان

حدود اتربرگ از جمله معیارهای تجربی با قابلیت حصول ساده است که از دیر باز مورد توجه محققان بوده است. برای نخستین بار Dudley (۱۹۷۰) خاکهای دارای حد روانی کمتر از ۴۵ و نشان

خمیری کمتر از ۲۵ را دارای پتانسیل رمندهگی معرفی نموده است. به منظور بررسی اولیه قابلیت رمندهگی خاک در محدوده دشت سملقان، از حدود اتربرگ استفاده گردیده است. بدین منظور اطلاعات مربوط به ۷۵ نمونه مورد آزمایش مربوط به گمانه های حفاری شده در محدوده شهرهای آشنخانه، قاضی و سایر مناطق دشت سملقان مورد تحلیل قرار گرفت (شکل ۱۳). همچنین اطلاعات حدود اتربرگ مربوط به ۱۲ نمونه تهیه شده از بخش های مختلف دیواره شکاف های بزرگ محدوده چاه پیزومتر قاضی در تحلیل استفاده شده است. نتایج حاصل از نمونه های دارای پتانسیل رمندهگی حد روانی بین ۲۵-۳۵ و حد خمیری بین ۱۰-۲۰ را نشان می دهد. بنابراین در هیچ یک از این نمونه ها شرایط Dudley (۱۹۷۰) نقض نشده است.

از بارندگی شدید وارد شکاف های دشت سملقان (محدوده چاه پیزومتر باغ نوده) گردید. جریان آب علاوه بر توسعه ناگهانی شکاف ها، خروج آب بصورت آرتزین از چاه بنیاد مستضعفان در فاصله ۲۵۰ متری مکان ورود سیلاب و تخریب این چاه را به همراه داشته است. بنابراین ورود جریان سیلاب به داخل شکاف ها از طریق شبکه درز و ترکهای زیر سطحی جریان یافته و در صورت وجود چاه های آب در مسیر توسعه شکاف ها خسارات گسترده ای را به چاه های آب وارد می کند. همچنین تماس مستقیم آب با لایه های گچی موجود در دیواره شکاف ها کیفیت آب را تحت تاثیر قرار می دهد. بررسی تغییرات وضعیت شیمیایی آب در چاه های بخش غربی دشت سملقان دلالت بر آن دارد که طی سالهای اخیر کیفیت شیمیایی آب هم راستا با گسل باغ نوده و مسیر توسعه شکاف های دشت به شدت کاهش یافته است. به عنوان مثال تغییرات ec آب چاه حسن نامجو که در راستای توسعه شکاف ها قرار دارد بسیار شدید بوده است. بطوری که ec آب این چاه در زمان توسعه شکاف ها ۱۰۰۰ و در حال حاضر حدود ۱۵۰۰ می باشد. این در حالی است که ec آب در چاه شهر آباد (هیئت) با فاصله ای مشابه اما عمود بر راستای توسعه شکاف ها تغییرات چندانی را نشان نمی دهد. ec آب این چاه در زمان آغاز تشکیل شکاف ها (۱۳۷۹) برابر ۷۰۰ و در حال حاضر حدود ۹۰۰ می باشد (تصویر ۱۲).



تصویر ۱۲ - تغییرات ec آب چاه حسن نامجو (سمت راست) و چاه شهرآباد (سمت چپ) نسبت به زمان آغاز توسعه شکاف ها.

۷-۶-۲ نقش رمندهگی (Collapsibility) خاک در توسعه شکاف های دشت سملقان

رمندهگی به ریزش ناگهانی خاک در اثر از دست رفتن مقاومت عامل پیوند دهنده ذرات خاک اطلاق می شود و میزان رمندهگی ایجاد شده وابسته به نسبت تخلخل اولیه خاک است (Jennings & Knight, ۱۹۷۵). برخی از نهشته های رسی-سیلتی مستعد کاهش حجم قابل ملاحظه یا فروریزش در هنگام اشباع شدن می باشند. بنابراین، تماس آب با خاکهای مستعد رمندهگی ممکن است موجب وقوع پیوستن نشست های ناگهانی همراه با توسعه شکاف های بزرگ

۱- هرچند طی سالهای اخیر، با نگاهی بسیار ساده، در اغلب موارد علت اصلی تشکیل شکاف های بزرگ دشت ها، افت سطح آب زیرزمینی گزارش شده است. اما شواهد به دست آمده در دشت سملقان نشان می دهد علاوه بر فرونشست ناشی از افت سطح آب زیرزمینی که می تواند به عنوان یک محرک اولیه عمل کند، پارامترهای متعددی تشکیل، کنترل و توسعه شکاف های بزرگ یک دشت را تحت تاثیر قرار می دهند.

۲- عبور گسل فعال باغ نوده از بخش غربی دشت سملقان و فعالیتهای لرزه ای ناشی از آن مجموعه ای از ترکهای های کوچک و بزرگ را در نهشته های آبرفتی ایجاد نموده که اغلب آنها زیر سطحی و فاقد رخنمون می باشند.

۳- بهره برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی و پی آمد آن افت سالانه ۸۰ سانتیمتری در بخش غربی دشت، فرونشست سطح زمین را به همراه داشته است.

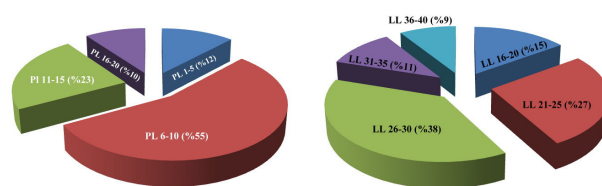
۴- اختلاف ضخامت آبرفت در دوسوی گسل باغ نوده، فرونشست ناهمگن دشت و در نتیجه ظاهر شدن درز و شکاف های قدیمی در سطح زمین را سبب شده است. به عبارت دیگر، دشت سملقان به فرونشست زمین بسیار حساس و احتمال تشکیل شکاف های بزرگ در محل پله های گسلی سنگ کف دشت وجود دارد.

۵- ورود جریان سیلاب های ناشی از بارندگی به داخل شکاف ها سطحی، تماس آب با خاکهای دارای پتانسیل رմبندگی در عمق ۵ تا ۱۰ متری را ممکن نموده است. فروریزش ناشی از رմبندگی خاک توسعه ناگهانی شکاف ها را هم راستا با امتداد گسل باغ نوده سبب شده است.

۶- تماس مستقیم آب با لایه های گچی موجود در دیواره شکاف ها کیفیت آب زیرزمینی را تحت تاثیر قرار داده به گونه ای افزایش شدید ec آب چاههای هم راستا با توسعه شکاف ها را سبب شده است.

۹- پیشنهادات:

۱- راهکار اصلی توقف توسعه شکاف های بزرگ دشت سملقان کنترل پمپاژ بیش از حد منابع آب زیرزمینی است. این هدف با استفاده از اصلاح الگوی کشت، حذف کشت های با نیاز آبی بالا ، نصب کتورهای حجمی دقیق و هوشمند و استفاده از روش های آبیاری نوین در محدوده های پر خطر دشت ممکن می باشد.

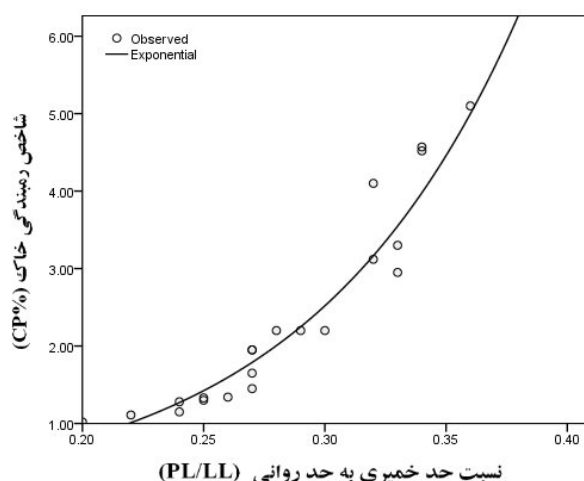


تصویر ۱۳- فراوانی حدود اتربرگ مربوط به ۸۷ نمونه آزمایش شده در گمانه های دشت سملقان.

با توجه به دشواریهای نمونه برداری دست نخورده و پر هزینه بودن آزمایش تحکیم مضاعف، استفاده از فرمولهای تجربی بسیار سودمند است. بدین منظور نتایج حاصل از ۱۹ مورد آزمایش تحکیم مضاعف خاکهای با پتانسیل رմبندگی بالا ($cp = 3-5\%$) در دشت سملقان با نسبت حد خمیری به حد روانی همان نمونه ها مورد آنالیز قرار گرفته است. نمودار حاصل از این تحلیل با همبستگی بالا بیانگر قابلیت تبدیل حدود اتربرگ به شاخص رմبندگی می باشد (شکل ۱۴). بدین ترتیب با در دست داشتن حدود اتربرگ خاک و فرمول تجربی شماره ۱ می توان شاخص رմبندگی خاک در دشت سملقان را بصورت مقدماتی و در حد قابل قبول محاسبه نمود (کنگی و همکاران ۱۳۹۲).

فرمول شماره (۱)

$$CP (\%) = 0.082 * (e^{*(11.419 * a)}) \quad a = PL/LL$$



تصویر ۱۴- نمودار شاخص رմبندگی خاک به نسبت حد خمیری به حد روانی.

۸- نتیجه گیری:

Bretlis, B., Grasemann, B., and Conradi, F., ۲۰۱۲, An active fault zone in the western Kopeh Dagh (Iran). *Austrian Journal of Earth Sciences*, V. ۱۰۵, ۹۵-۱۰۷.

Dudley, J., ۱۹۷۰, Review of collapsing soil. *Journal of Soil Mechanics and Foundation Divisions. ASCE*, Vol. ۱۹۶, No. SM۳.

Harris, R.C., ۲۰۰۴, Giant desiccation cracks in Arizona: Arizona Geological Survey Open-File Report ۰۴-۰۱ (OFR ۰۴-۰۱), ۹۳.

Jennings, J. E., & Knight, K., ۱۹۷۵, "A Guide to construction or with materials exhibiting additional settlement due to collapse of grain structure", ۶th Regional Conference for Africa On Soil Mechanics & Foundation Engineering, Durban, South Africa, ۸th September, pp: ۹۹-۱۰۵.

Lofgern, B.E., ۱۹۶۹, Field measurement of aquifer system compaction, Sanjoaquin Balley, California, U.S.A. Proc, Tokyo Symp. On Land Subsidence, IASH-UNSCO, ۲۷۲-۲۸۴.

Ruilin, H., ۲۰۰۶, Urban land subsidence in China, Pro. of ۱۰th IAEG Congress, Nottingham, UK, Paper number ۷۸۶.

Scott, R.F., ۱۹۷۹, Subsidence-revaluation and prediction of subsidence. (eds.) Saxema, S.K., Proc. Conf. ASCE, Gainsville, ۱-۲۵.

Yuan, Z.X. , Wang, L.M., ۲۰۰۹, **Collapsibility** and seismic settlement of loess. *Engineering Geology*, Vol. ۱۰۵, Issues ۱-۲, ۲۳ P. ۱۱۹-۱۲۳.

۲- به منظور جلوگیری از ورود آب ناشی از آبیاری زمین های کشاورزی، حریم شکاف ها (بین چاه پیزومتر باغ نوده و چشمه آبی) به عنوان منطقه ممنوعه کشاورزی، جهت کشت گلخانه ای اختصاصی داده شود. بعلاوه عبور کانالهای انتقال آب (تپه گاو، وسط و گرجی) از محدوده شکاف ها بوسیله لوله های فلزی انجام شود.

۳- به منظور جلوگیری از ورود سیلاب های ناشی از بارندگی به داخل شکاف ها، در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه، بوسیله عملیات بهسازی، مسیر آبراهه ها به خارج از محدوده تشکیل و توسعه شکاف ها هدایت شود.

۱۰- تشکر و قدردانی

تحقیق حاصل ثمره قرارداد پژوهشی منعقد شده مورخ ۱۳۹۲/۲/۲۱ با کد پروژه KNW۹۱۱۴۶ میان شرکت دانش بنیان پژوهشگران رویدادهای طبیعی (وابسته به دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود) در مقام مشاور و شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان شمالی (کمیته تحقیقات) در حکم کارفرما می باشد. بدین وسیله از مدیریت محترم شرکت آب منطقه ای خراسان شمالی و کلیه افرادی که شرایط مناسب جهت انجام این تحقیق را فراهم نموده اند سپاسگزاری می شود.

مراجع

لشگرپور، غ.ر.، غفوری، م. کاظمی گلیان ر.، ۱۳۸۷، بررسی نشست زمین در دشت نیشابور و ارتباط آن با افت سطح آب های زیرزمینی. شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی (کمیته تحقیقات). ۲۱ صفحه.

کنگی، ع.، گنجویان، م.ع.، ۱۳۹۲، بررسی علل تشکیل شکاف های بزرگ در دشت سملقان و اثر شکافها بر افت کیفی آب زیرزمینی، شرکت آب منطقه ای خراسان شمالی (کمیته تحقیقات) ۱۲۳ صفحه.

مهندسی مشاور آبنموس توس ۱۳۸۲، مطالعات نیمه تفصیلی دشت سملقان، جلد دوم (زمین شناسی - آبهای زیرزمینی) شرکت آب منطقه ای خراسان.

ASTM., ۱۹۹۲, Test method for measurement of collapse potential of soils. D ۵۳۳۳-۹۲ (reapproved ۱۹۹۶). West Conshohocken.

Bell, F.G., ۱۹۹۹, Geological Hazards. Their Assessment, Avoidance and Mitigation, Department of Geology and Applied Geology, University of Natal, Durban, South Africa.