

افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت کاشمر

لشکری پور، غلامرضا، استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

*رستمی بارانی، حمید رضا، دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

کهندل، اصغر، دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

ترشیزی، حسین، دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

دشت کاشمر یکی از مهمترین دشت های حاصلخیز استان خراسان رضوی است. توسعه سریع کشاورزی همراه با رشد سریع جمعیت و افزایش نیازآبی در دهه های اخیر سبب برداشت بی رویه و افت سطح آب زیرزمینی این دشت شده است. افت ممتد سطح آب زیرزمینی سبب شده تا این دشت در زمره دشت های بحرانی استان قرار گیرد. نشست سطح زمین ناشی از افت سطح آب های زیرزمینی در بخش های غربی این دشت به طور محسوس مشاهده می گردد. به طور مثال در روستاهای عظیم آباد، ظاهرآباد، فیروزآباد، کلاته شادی و کندر افت شدید سطح آب زیرزمینی سبب ایجاد پدیده نشست و شکاف و ترک های طولی در سطح زمین شده است. در این مقاله افت سطح آب زیرزمینی و پدیده شکاف های طولی و نشست زمین حاصل از آن در این قسمت از دشت مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

واژگان کلیدی: افت سطح آب زیرزمینی، نشست زمین، شکاف، برداشت بی رویه، دشت کاشمر.

مقدمه

یکی از مشکلات مهم در اثر برداشت بی رویه آب از سفره های آب زیرزمینی افت سطح آب و متراکم شدن لایه ها و رسوبات است. افت سطح آب زیرزمینی موجب کاهش فشار هیدرواستاتیک سفره شده، و بخش جامد یا ساختمان (matrix) سفره پایداری خود را از دست می دهد و باعث فشرده شدن ذرات و از بین رفتن فضاهای مفید بین ذره ای به خصوص در ذرات سیلت و ماسه می گردد (خلخالی ۱۳۷۳). پدیده نشست زمین (Land Subsidence) بطور معمول بلافاصله با خروج سیال رخ نمی دهد بلکه در زمان طولانی تر از برداشت اتفاق می افتد (Scott ۱۹۷۹). مقدار نشست زمین برای هر ده متر افت سطح آب بین ۱ تا ۵۰ سانتیمتر متغیر است که دامنه این تغییرات به ضخامت و تراکم پذیری لایه ها، طول زمان بارگذاری، درجه و نوع استرس بستگی دارد (Lofgren ۱۹۶۹).

پدیده نشست زمین باعث بروز مشکلاتی مانند تخریب ابنیه، لوله زایی (بالا آمدن لوله های آب از سطح زمین)، ریزش جداره چاه ها، ایجاد درز و شکاف در زمین، تغییر شیب زمین، افزایش سیل خیزی، فرو رفتن تدریجی دکل ها و سازه ها، تغییر شیب رودخانه ها و جاده های منطقه می گردد (لشکری پور و همکاران ۱۳۸۴). همچنین ایجاد خسارت های زیادی از جمله باعث گسیختگی سطح جاده ها، شکسته شدن لوله های آبرسانی، کج شدن دکل های برق و ایجاد نشستهای نامتقارن در ساختمانها و در نتیجه ایجاد شکستگی در سازه ها می شود. متراکم شدن بافت خاک باعث کاهش نفوذپذیری در هنگام وقوع



بارندگی خواهد شد که این پدیده علاوه بر پایداری زمین و ساختمانهای موجود موجب غیر قابل استفاده شدن آبخوان در بارندگی های بعدی و برای همیشه منطقه از بهره برداری آبهای زیر زمینی بی نصیب می سازد (حسین میلانی ۱۳۷۳).

در امتداد سراسیابی های تند که در مجاور ارتفاعات محدود کننده حوضه آبریز قرار دارند پدیده شکاف های طولی معمولاً همراه با نشست زمین مشاهده می شوند. این سراسیابی های تند احتمالاً سطوح گسلی مخفی هستند که در حال حاضر به وسیله رسوبات پوشیده شده اند (Schaumann & Ponal, ۱۹۶۹). این شکاف های کششی نتیجه افزایش خطی پدیده نشست از حاشیه ارتفاعات به سمت مرکز دشت می باشد (هرمن ۱۹۷۸).

بیشترین گزارشات نشست زمین در مناطق خشک و کم باران اتفاق می افتد. این پدیده در برخی از شهرهای بزرگ جهان بر اثر برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی گزارش شده است. از جمله می توان به نشست زمین در شهر کلکته هندوستان (Chatterjee, ۲۰۰۶) و بانکوک تایلند اشاره نمود (Phien-wej, ۲۰۰۶). یکی از بزرگترین نشست ها در ایالت کالیفرنیا در اثر بهره برداری بی رویه از آبهای زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی است. مقدار نشست تا سال ۲۰۰۴ در یک نقطه دشت بصورت تیپیک حدود ۱۵ متر اندازه گیری شده است (بلورچی ۱۳۸۳). نشست زمین در گذشته در بسیاری از نقاط دنیا مانند مکزیکو سیتی، چین، ساحل شرقی هند، ایتالیا و آمریکا رخ داده است.

نشست زمین در برخی از استان های ایران به خصوص در سالهای اخیر همراه با افت سطح آب زیر زمینی در تعداد زیادی از آبخوان ها گزارش شده است. مهمترین نشست ها در ایران در دشت های رفسنجان و سیرجان گزارش شده است (شرکت سهامی آب منطقه ای کرمان ۱۳۸۱). علت این نشست ها، برداشت بی رویه آب زیرزمینی به خصوص برای آبیاری اراضی کشاورزی ذکر شده است (Mousavi et al., ۱۹۹۸). میزان نشست های ایجاد شده با افت سطح آب زیرزمینی و حجم آب پمپاژ شده توسط چاههای بهره برداری (در دشت رفسنجان) رابطه مستقیم داشته است (Mousavi et al., ۲۰۰۱).

دشت کاشمر یکی از مهمترین دشتهای حاصلخیز استان خراسان رضوی است. اهمیت این دشت به دلیل تامین آب مورد نیاز کشاورزی منطقه به میزان ۱۰۵ میلیون متر مکعب در سال است در اثر بهره برداری بی رویه و غیر مجاز از منابع آب زیرزمینی دشت، سطح آب زیر زمینی به طور ممتد پائین رفته و با کسری مخزن مواجه شده است. در سال ۱۳۶۱ این دشت از طرف وزارت نیرو جزء دشت های ممنوعه اعلام گردید. طبق گزارشات موجود در سال ۱۳۸۳ این دشت با کسری مخزن بیش از ۸۱/۱ میلیون متر مکعب مواجه شده است (شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان ۱۳۸۳). علاوه بر این هر سال حدود ۱۶ میلیون متر مکعب بر کسری مخزن آن افزوده می گردد (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۴b). در حدفاصل سال های ۱۳۴۶-۱۳۴۷ متوسط افت سطح آب زیرزمینی حدود ۴۷ میلیمتر در سال بوده است. در حالی که در فاصله سال های ۱۳۸۳-۱۳۷۸ متوسط افت سطح آب زیرزمینی حدود ۱۱۰ میلیمتر گزارش شده است (ولایتی و توکلی ۱۳۷۰).



وضعیت جغرافیای و زمین ریخت شناسی

دشت کاشمر با موقعیت $39^{\circ} 58'$ تا $54^{\circ} 57'$ طول شرقی و $34^{\circ} 51'$ تا $35^{\circ} 28'$ عرض شمالی در جنوب استان خراسان رضوی قرار دارد. این حوضه آبریز دارای شکل کشیده ای در امتداد تقریبی شرق به غرب و جنوب غربی است. مساحت کل حوضه آبریز حدود 2045 کیلومتر مربع است. 1120 کیلومتر مربع آنرا پهنه های آبرفتی (دشت) تشکیل می دهد. به طور متوسط ارتفاع دشت 1033 متر از سطح دریا است.

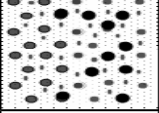
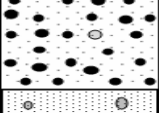
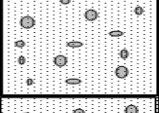
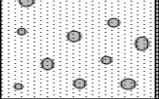
کوه های کمربند، بوغو، آغ کفرو دکن در جنوب شرق و جنوب و کوه های هزارکندرو، کهرریخته، بلاغ، سه باغ دشت و خرزن در شمال دشت مهمترین ارتفاعات منطقه را تشکیل می دهند. رودخانه های فصلی چنار سوخته، تنگ سنگ سوه و شش طراز مهمترین رودخانه های منطقه می باشند. شیب عمومی حوضه آبریز از شمال به جنوب و از شرق به سمت جنوب و جنوب غربی می باشد که از سمت ارتفاعات شمالی تا حاشیه کویر بجستان به ترتیب از 24 تا $5/7$ در هزار کاهش می یابد. شکاف های ایجاد شده در این دشت از دیدگاه موقعیت جغرافیایی عمدتاً در جنوب غربی دشت در حوالی روستاهای ظاهرآباد، فیروزآباد، عظیم آباد، کندر و کلاته شادی قرار گرفته اند.

زمین شناسی منطقه

از دیدگاه زمین شناسی دشت کاشمر جزئی ایالت ساختاری ایران مرکزی است. چرخه آلپی در شکل دهی قالب کنونی دشت و آبخوان زیرزمینی نقش داشته است. در قسمت های شمالی و شمال غرب دشت سنگ های آذرین پرکامبرین و آهک دولومیت پرمین و آهک های ضخیم کرتاسه وجود دارد که نقش مهمی در تغذیه دشت ایفا می کنند. آندزیت های سبزرنگ، دولومیت، گرانیت و توفهای دوران سوم قسمتهای شمال شرق دشت را تشکیل می دهند. در ارتفاعات جنوبی دشت مارنهای قرمز رنگ و گچی نفوژن بر روی سازندهای آهکی و آهکی دولومیتی دونین قرار گرفته است که سبب نامطلوب شدن آبهای زیرزمینی در این ناحیه شده است. رسوبات دوران چهارم در حاشیه قسمت های شمالی تراس ها و مخروط افکنه ها را ایجاد کرده اند.

دشت کاشمر توسط رسوبات کواترنری پوشیده شده است. در کواترنر شاهد دوره های متعدد جریان های شدید و آرام بوده که موجب تشکیل افقهای آبرفتی با دانه بندی ریز و درشت بطور متناوب گردیده است. در توزیع دانه بندی آبرفت لیتولوژی سازند ها، رژیم و پتانسیل بارندگی جریان های سیلابی، مورفولوژی و توپوگرافی ارتفاعات، تکتونیک و زمین شناسی ساختمانی نقش آفرینی می کنند. از شرق، جنوب شرق و شمال به سمت مرکز، جنوب و جنوب غرب از اندازه مواد آبرفتی کاسته می شود. دانه بندی مخروط افکنه ها در ضلع شمالی کاملاً درشت بوده و بتدریج به سمت مرکز دشت از اندازه آنها کاسته می شود. در ضلع جنوب شرق دشت شرایط رسوبگذاری آبرفت متفاوت با حواشی شمالی دشت است، لذا دانه بندی آبرفت متوسط تاریز می باشد. سازند های متنوع آهکی، مارن، کنگلو مرا، توف دانه بندی مخروط افکنه ها در ضلع شمالی دشت است.

جنس سنگ کف رس میوپلیوسن است. سازند های زمین شناسی در حاشیه شمالی شامل ائوسن و شیست های متامورفیک پرموکرینیفیر است. در حاشیه جنوبی رسوبات رسی و مارنی-گچی همراه با شن میوپلیوسن قرار دارد بخش غربی در محل شکاف ها اندازه رسوبات دانه ریز می شود (شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان ۱۳۷۵)، (شکل ۱).

عمق (متر)	لوگ چاه روستای عظیم آباد	
	رسم شکل	توصیف زمین شناسی
10		ریگ- شن- رص
20		
30		
40		شن- رص- ریگ
50		
60		
70		رص- شن- ریگ
80		
90		
100		رص- ریگ- شن
110		
120		
130		
140		

شکل ۱- لاگ زمین شناسی آبرفت های غرب دشت کاشمر (روستای عظیم آباد)

هیدرولوژی و اقلیم منطقه

دشت کاشمر در شمال کویر نمک قرار دارد. که بر مبنای طبقه بندی اقلیمی دو مارتن و آمبرژه به ترتیب دارای اقلیم خشک و بیابانی گرم خفیف است. متوسط بارندگی سالانه محاسبه شده حوضه آبریز ۱۹۰/۶ میلیمتر گزارش شده است. پتانسیل تبخیر و تعرق در ایستگاه سینوپتیک کاشمر ۱۷۰۱ میلیمتر در سال می باشد. ریزش باران محدود به فصل زمستان و بهار و معمولاً بارندگی ها همراه با رعد و برق، رگبار و ایجاد سیلاب است. هیچ رودخانه دائمی در این دشت وجود ندارد و مهمترین رودخانه فصلی آن مسیل شش طراز می باشد (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۴c).

از نظر تغییرات بارندگی سالانه و روند وقوع دوره های خشکسالی و ترسالی نمودار تغییرات میانگین متحرک ترسیم شده است. سال وقوع حد اکثر بارندگی در بسیاری از ایستگاهها سال ۵۵-۵۴ و ۷۱-۷۰ بوده و سال های ۶۳-۶۲ و ۶۴-۶۳ خشکترین سال بر اساس آمار موجود می باشد. بر اساس تحقیق های انجام شده طی سی سال اخیر تقریباً هر ۱۰ سال یک درجه سانتیگراد به دمای متوسط سالانه استان افزوده شده است (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۴a).

هیدرو ژئولوژی



نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیک نشان می‌دهد که در آبرفت دشت کاشمر تنها یک آبخوان آزاد ایجاد شده است. باتوجه به مقاطع ژئوالکتریک بیشترین ضخامت آبرفت در بخش شمالی و حدود ۴۰۰ متر به صورت منحنی‌های متحدالمرکز با تقعری به سمت ارتفاعات شمالی دشت است. از این ناحیه به سمت جوانب از عمق سنگ کف کاسته شده به گونه‌ای که در حاشیه جنوب شرقی و شرق دشت منحنی ضخامت ۸۰ متر شکل گرفته است

بیشترین ضخامت لایه آبدار به میزان ۳۰۰ متر مربوط به بخش مرکزی و نیز شمال غربی آن می‌باشد همچنین حداقل ضخامت لایه آبدار به میزان ۲۰ متر مربوط به جنوب غربی منطقه است. در بخش شرقی دشت ضخامت لایه آبدار در مقایسه با شمال دشت کم بوده و منحنی‌هایی بین ۴۰ تا ۱۰۰ متر در این منطقه گسترش یافته‌اند. عمق سطح آب زیرزمینی در حوالی شهر کاشمر حدود ۷۰ متر و در حوالی روستای ایرج آباد حدود ۱۱۰ متر می‌باشد.

جهت جریان آب زیرزمینی در دشت کاشمر از حوالی شمال و شرق به سمت مرکز و غرب و جنوب غربی و جنوب است، البته تغییرات محلی در جهت عمومی آب زیرزمینی وجود دارد که این تغییرات عمدتاً به علت ضخامت اندک لایه آبدار در پای ارتفاعات و تخلیه چاههای بهره‌بردار است. حداکثر شیب آب زیرزمینی در شرق دشت به مقدار یک درصد بوده ولیکن در بخش مرکزی غربی و جنوب دشت به میزان حدود یک در هزار کاهش می‌یابد.

بیشترین میزان قابلیت انتقال آب زیرزمینی در بخش شمالی در حدود ۱۲۵۰ متر مربع در روز می‌باشد. گسترش منحنی بسته ۱۰۰۰ متر مربع در روز در این منطقه قابل توجه است. در ضلع غربی دشت دارای کمترین میزان ضریب قابلیت انتقال است. بیشترین میزان ضریب ذخیره در شمال و حوالی مرکز دشت تشکیل شده است که با زون ۱۰ درصدی مشخص می‌شود. ولی حوالی شرق، جنوب و غرب دشت از مقدار آن کاسته می‌شود.

افت سطح تراز آب زیرزمینی در دشت

در این بررسی تغییرات عمق سطح آب و نیز تراز آب زیرزمینی مدنظر بوده است. عوامل متعددی در تغییرات مکانی سطح آب زیرزمینی موثرند که از مهمترین آنها می‌توان به خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان وضعیت توپوگرافی و موقعیت مکانی عوامل تغذیه و تخلیه اشاره نمود. الگوی تغییرات برای عمق برخورد به آب در قسمتهای آبخوان در زمان‌های مختلف فاقد تفاوت‌های اساسی است. این الگو بطور کلی متناسب با الگوی معمول در اغلب آبخوان‌های کشور بوده و از پای ارتفاعات به سمت بخش مرکزی و جنوبی دشت کاهش می‌یابد. تنها تفاوت با وضعیت متداول این است که عمق سطح آب در نیمه شرق دشت از ارتفاعات شمالی تا نزدیکی ارتفاعات جنوبی کاهش می‌یابد، این امر ناشی از توپوگرافی سنگ کف است. با توجه به منحنی‌های هم عمق بدست آمده از ۱۹ حلقه‌چاه مشاهده‌ای از هر سو به سمت مرکز جنوب و جنوب غرب از عمق سطح آب زیرزمینی به تدریج کاسته می‌شود. حداکثر عمق برخورد به سطح آب زیرزمینی ۱۲۰ متر در شمال دشت و حداقل منحنی هم عمق سطح آب زیرزمینی در محل جنوب و جنوب غرب دشت با رقمی معادل ۲۰ متر است. حداکثر تراز سطح آب

زیرزمینی در شرق دشت برابر ۱۰۶۰ متر و بتدریج به سمت مرکز و غرب و جنوب غربی دشت از میزان آن کاسته می شود و به ۸۶۰ متر می رسد. تراز سطح آب در حوالی کاشمر ۹۸۰ متر و در بخش مرکزی و جنوبی به ترتیب حدود ۹۳۰ متر و ۸۶۰ متر است.

آبخوان آزاد دشت کاشمر تنها منبع تامین آب مورد نیاز کشاورزان، شرب و صنعتی منطقه است. تخلیه اصلی آبخوان دشت کاشمر توسط چاهها قناتها و چشمه ها صورت می گیرد. طبق آخرین آمار برداری تعداد چاههای موجود در دشت ۲۴۱ حلقه چاه قناتها ۷۱ رشته و چشمه ها ۶۲ دهنه می باشد (شرکت سهامی آب منطقه ای خراسان ۱۳۸۴).

تا پیش از سال ۱۳۲۱ شواهدی از وجود چاههای عمیق در منطقه گزارش نشده است. بر اساس آخرین گزارشات موجود، کل برداشت از منابع آب زیرزمینی دشت سالانه ۱۰۷/۷۳ میلیون متر مکعب محاسبه شده است. از این میزان ۱۰۵/۵ میلیون متر مکعب توسط چاههای عمیق و نیمه عمیق و ۰/۱۶۲ میلیون متر مکعب توسط قنات ها و ۱/۴۶ میلیون متر مکعب از طریق چشمه تخلیه می گردد. طبق محاسبات بیلان سالانه بر اساس مجموعه عوامل تغذیه کننده آبخوان میزان تغذیه آبخوان ۹۲/۴ میلیون متر مکعب است، در نتیجه کسری مخزن رقمی معادل ۱۵/۳۲ میلیون متر مکعب بوده و یا در سال این مقدار از حجم آب زیر زمینی کاسته می شود (مهندسين مشاور آب وتوسعه پایدار، ۱۳۸۴b) (جدول ۱).

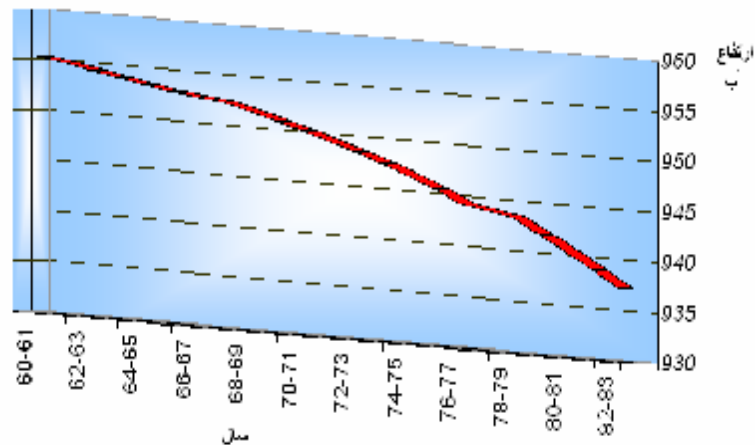
جدول ۱- خلاصه نتایج محاسبات بیلان آب زیرزمینی آبخوان دشت در سال آبی ۸۲-۸۱

تخلیه سالیانه (میلیون متر مکعب)	تغذیه سالیانه (میلیون متر مکعب)	اجزاء بیلان
	62,12	تغذیه حاصل از جریان های ورودی آب زیرزمینی
	4,23	تغذیه حاصل از نفوذ مستقیم ریزش های جوی
	1,75	تغذیه حاصل از نفوذ سیلابها و جریان های سطحی
	2,27	تغذیه حاصل از نفوذ آب برگشتی شرب و صنعت
	22,04	تغذیه حاصل از نفوذ آب برگشتی کشاورزی
	92,4	مجموع عوامل تغذیه در محدوده بیلان
4,05		خروج آب از مقاطع زیرزمینی
103,68		تخلیه از طریق منابع بهره برداری
...		تبخیر از سطح آب زیرزمینی
107,73		مجموع عوامل تخلیه در محدوده بیلان
-15,32		نتیجه بیلان

نتایج اندازه گیری های ماهانه سطح آب زیر زمینی به وسیله چاههای مشاهده ای در فاصله زمانی سالهای آبی ۶۱-۶۰ تا ۸۴-۸۳ نشان دهنده افت ممتد سطح آب زیر زمینی در این دشت است (شکل ۲). بطوریکه افت تجمعی در این مدت حدود ۱۹ متر و متوسط افت سالیانه بین سالهای ۱۳۶۶-۱۳۶۰ ۰،۴ متر و حدفاصل سالهای ۱۳۶۶-۱۳۷۸ ۰،۸ متر و در سالهای ۱۳۷۸-۱۳۸۴ ۱،۱ متر گزارش شده است (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۴b).

آبدهی قناتها نسبت به نوسانات آب زیر زمینی حساس تر از چاهها می باشد. به همین دلیل با پائین رفتن سطح آب زیرزمینی در دشت آبدهی اکثر قنات کاهش یافته است. این نکته لازم به یادآوری است که در سالهای اخیر بعلت برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی سطح آب افت شدید نموده است. بطوریکه از سال ۱۳۶۱ علاوه بر ذخایر دینامیک بخشی از ذخایر ثابت آبخوان نیز مورد بهره برداری قرار گرفته است. این مسئله بعنوان یک تحدید جدی برای دوام آبخوان و تامین آب منطقه بحساب می آید.

هیدروگراف واحد دشت کاشمر



شکل 2- نمودار هیدروگراف واحد دشت کاشمر افت تجمعی در یک دوره 25 ساله

نشست زمین در غرب دشت کاشمر

نشست زمین در دشت کاشمر به دو صورت نشست ناحیه ای و محلی می باشد. نشست محلی به تعداد زیاد ولی عموماً محدود به محل چاههای بهره برداری است. پدیده لوله زایی و ترک های شعاعی در اطراف این چاهها به وضوح قابل مشاهده است. این نوع نشست ها در برخی موارد بدلیل عدم تجهیز مناسب چاه و ورود دزات ریزدانه بداخل چاه و نهایتاً نشست اطراف چاه می باشد.



نشست ناحیه ای زمین در غرب دشت کاشمر (دشت درونه) با وسعت بسیار زیادی در رسوبات ریز دانه آبرفتی این دشت اتفاق افتاده است. ضخامت این رسوبات آبرفتی حدود ۱۰۰ متر است. در اطراف روستاهای ظاهرآباد، فیروزآباد، عظیم آباد، کلاته شادی و جنوب روستای کندر پدیده نشست همراه با شکاف های طولی است. شکاف و ترک ایجاد شده در سطح زمین در محدوده مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است.

یکی از دلایل نشست و ترک خوردگی زمین مربوط به عکس العمل طبیعی آن در مقابل بهره برداری بیش از اندازه از منابع آب های زیرزمینی است. کاهش سطح آب زیرزمینی در سفره موجب تراکم شدن سفره شده، این تراکم نتیجه رابطه ساده بین کاهش سطح ایستابی و افزایش استرس عمودی ناشی از عدم تحمل بار طبقات بالایی توسط آبخوان است. برداشت بی رویه از آب های زیر زمینی در چند دهه اخیر سبب نشست زمین گردیده است. بهره برداری از منابع آب زیر زمینی توسط چاههای بهره برداری در دشت کاشمر در سال ۱۳۴۵ حدود ۱۸ میلیون متر مکعب و در سال ۱۳۸۳، ۱۰۸ میلیون متر مکعب گزارش گردیده است (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۴b) (جدول ۲).

جدول ۲- میزان آب استحصالی توسط چاهها (۱۳۲۰-۱۳۸۳)

سال	میزان آب استحصالی (میلیون متر مکعب)	تعداد چاهها
1320	0	0
1325	0.5	2
1330	1	3
1335	1,2	4
1340	5	12
1345	18	25
1350	38	32
1355	50	74
1360	90	106
1365	95	139
1370	98	161
1375	100	184
1380	105	215
1383	108	241

از آبهای استحصالی در آخرین سال آماری، ۹۴/۷ درصد برای مصارف کشاورزی، ۲/۵ درصد برای شرب و ۰/۳ درصد برای صنعت و ۲/۵ درصد اقیمانده مصرف نامشخص داشته است. جدول ۲ نشان دهنده آن است که اگر چه تعداد چاه‌ها در این سال‌ها ۱۰ برابر افزایش یافته است ولی میزان آب استحصالی حدود ۶ برابر افزایش یافته است. این امر نشان دهنده کاهش آبدهی چاهها بدلیل افت سطح آبهای زیر زمینی و در اثر نشست زمین می‌باشد. که این امر در چاههای بهره برداری کشاورزی غرب و جنوب دشت کاشمر به خوبی دیده می‌شود.

کاهش آبدهی چاه‌های بهره برداری و افزایش هزینه پمپاژ و استحصال آب، ریزش چاه‌ها در محل شکاف‌ها و افزایش قابلیت تخریب و ریزش قنات‌ها، تغییر در جهت جریان آب زیرزمینی با تغییر در جهت نفوذ پذیری مناطق دچار نشست را سبب می‌گردد. علاوه بر این پدیده کاهش زهکشی رودخانه‌ها و افزایش سیلاب، کاهش ضریب ذخیره آبخوان را به همراه دارد. از آثار دیگر نشست زمین نامطلوب شدن کیفیت آبخوان و پیشروی جبهه‌های آب شور در نتیجه کاهش سطح ایستابی است. بوجود آمدن شکاف‌ها هم سبب آلوده شدن آبخوان با آلاینده‌های سطحی از جمله کودهای کشاورزی می‌شود. توسعه شکاف‌ها با ایجاد گالی‌های بزرگ باعث تبدیل زمین‌های حاصلخیز به زمین‌های بایر شده و سبب از بین رفتن دشت‌ها و مزارع و تشدید پدیده کویرزایی در منطقه می‌گردد. آسیب دیدن تجهیزات بهره برداری آب زیرزمینی و کلیه تاسیسات احداث شده از جمله جاده‌های ارتباطی و کج شدن دکل‌های انتقال نیرو از پیامدهای دیگر حاصل از نشست زمین در دشت کاشمر می‌باشد.

مورفولوژی و علل تشکیل شکاف‌ها

به طور کلی نشست زمین در دشت کاشمر سبب شکاف‌های بهم پیوسته با طول‌های متفاوت شده که در زمانهای مختلفی شکل گرفته‌اند. حفرات با فاصله نزدیک به هم و در رسوبات کواترنری در امتداد توپوگرافی منطقه قرار دارند. دیواره‌های این شکاف‌ها سیلتی-رسی بوده که فرسایش آبی به راحتی بر آنها اثر کرده و گاهی تشکیل گودال‌های بزرگ را داده‌اند. حداکثر عمق مشاهده شده شکاف‌ها حدود ۴ متر است. پس از بارندگی با عملکرد فرسایش آبی این شکاف‌ها عریض‌تر و عمیق‌تر می‌شوند. به طور کلی روند شکل‌گیری این شکاف‌ها در یکسال اخیر سرعت گرفته است. در شکل ۳ نمونه‌هایی از این شکاف در قسمت غربی دشت کاشمر نشان داده شده است.

منطقه‌ای که شکاف‌ها در آن شکل گرفته‌اند از نظر دیدگاه تکتونیک حوضه گرابنی بوده که در اثر عملکرد تکتونیک و گسل درونه ایجاد شده است. رسوبات آبرفتی در این قسمت دشت دانه ریز و حاوی سیلت و رس فراوان است. به علت عدم وجود گزارش‌ها و مطالعات دقیق در نحوه ارتباط این شکاف‌ها با گسل‌های فعال و پنهان درون رسوبات آبرفتی نمی‌توان نظر قطعی در این مورد ارائه نمود. لذا با توجه به شواهد موجود مهم‌ترین عامل شکل‌گیری شکاف‌ها افت سطح آب زیرزمینی در اثر پمپاژ بی‌رویه آب توسط چاههای بهره برداری کشاورزی تشخیص داده شده است. روند تشکیل این شکافها نیز در چند سال گذشته همراه با برداشت بیشتر از منابع آب زیرزمینی تشدید شده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در ۳ دهه اخیر برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی دشت کاشمر خصوصا برای اهداف کشاورزی باعث افت بیش از ۱۹ متر در سطح آب زیرزمینی شده است. این امر باعث کسری مخزن به میزان ۸۱/۱ میلیون متر مکعب شده و هر ساله حدود ۱۶ میلیون متر مکعب به کسری حجم مخزن افزوده می شود. پدیده شکاف های طولی، نشست ناحیه ای زمین، کاهش آبدهی چاههای بهره برداری، آسیب دیدن



شکل ۳ نمونه هایی از شکاف کششی ایجاد شده در دشت

تجهیزات آبکشی چاهها و خشک شدن قنات ها و چشمه ها از پیامدهای افت سطح آب زیرزمینی در این دشت می باشد. این مخاطرات بویژه در غرب دشت کاشمر (دشت درونه) مشاهده شده و باعث تهدید کشاورزی منطقه است. این پدیده در اثر مصرف بالای منابع آب از سوی کشاورزان رخ داده است. لذا کنترل و اصلاح میزان پمپاژ آب و استفاده از پمپاژ بهینه ضروری است. همچنین به منظور تقویت آبخوان می توان از طرح های تغذیه مصنوعی در مناطق الویت دار استفاده نمود. برای تعیین دقیق مکانیسم ایجاد و بازشدگی شکاف های طولی پدیده نشست ناحیه ای انجام بررسی های زیر پیشنهاد می گردد.



اندازه‌گیری دقیق نشست زمین با تراز یابی دقیق در یک دوره حداقل یکساله
بررسی‌های ژئوفیزیکی (ترجیحاً ژئوالکتریک) و ژئوتکنیکی بر روی محل شکاف‌ها
انجام مطالعات دقیق تکتونیک در نحوه ارتباط شکاف‌ها با گسل‌های منطقه

مراجع

- بلورچی، محمد جواد (۱۳۸۳). احتمال فرونشست زمین در اراضی وسیعی از تهران، پایگاه خبری شریف نیوز.
حسین میلانی، میر داود (۱۳۷۳). اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و اثرات آن، مجموعه مقالات کنفرانس ملی
منابع آب زیرزمینی، سیرجان.
خلخالی، غلامعلی (۱۳۷۳). ویژگی‌های طبیعی منابع آب زیرزمینی و اهمیت آن در ایران، مجموعه مقالات
کنفرانس ملی منابع آب زیرزمینی، سیرجان.
شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان (۱۳۷۵). گزارش منابع آب دشت کاشمر، ۸۶ صفحه.
شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان (۱۳۸۴). معاونت مطالعات پایه منابع آب، خلاصه منابع آب دشت کاشمر.
شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان (۱۳۸۱). آمار برداری از آب‌های زیرزمینی.
شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان (۱۳۸۱). هیدروگراف واحد دشت‌های استان کرمان، گروه مطالعات آب‌های
زیرزمینی.
مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار (۱۳۸۴a). گزارش هواشناسی دشت کاشمر، شرکت سهامی آب منطقه‌ای
خراسان، ۱۲۳ صفحه.
مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار (۱۳۸۴b). گزارش هیدروژئولوژی دشت کاشمر، شرکت سهامی آب منطقه‌ای
خراسان، ۳۲۶ صفحه.
مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار (۱۳۸۴c). گزارش هیدروژئولوژی دشت کاشمر، شرکت سهامی آب منطقه‌ای
خراسان، ۹۹ صفحه.
لشکری پور، غلامرضا، غفوری، محمد، سویزی، زینب و پیوندی، زکبه (۱۳۸۴). افت سطح آب زیرزمینی و نشست
زمین در دشت مشهد، مجموعه مقالات نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، صفحات (۱۳۲-۱۲۴).
ولایتی، سعید... و توکلی، سعید (۱۳۷۰). منابع و مسائل آب استان خراسان، انتشارات استان قدس.
هرمن، بوئر (۱۹۷۸). هیدروژئولوژی آب‌های زیرزمینی (ترجمه لطفی صدیق، احمد)، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند.
- Chatterjee, R.S., Funeau, B., Rudant, J.P., Roy, P.S., Frison, P.L., Lakhera, R.C., Dahwal, V.K., Saha, R. (۲۰۰۶). Subsidence of Kolkata (Calcutta) city, India during ۱۹۹۰s as observed from spacing differential synthetic aperture radar interferometry (D-InSAR) technique, *Remote Sensing of Environment*, ۱۰۲: ۱۷۶-۱۸۵.
- Lofgren, B.E. (۱۹۶۹). Field measurement of aquifer system compaction, Sanjoquin Balley, California, U.S.A. Proc. of Tokyo, Symp. on Land subsidence, IASH-UNESCO, pp. ۲۷۲-۲۸۴.
- Phien-Wej, N., Giao. P.H., Nutalaya, P. (۲۰۰۶). Land subsidence in Bangkok Thailand, *Engineering Geology*, ۸۲: ۱۸۷-۲۰۱.
- Mousavi. S.M., Shamsai. A., Khamehchian. M., (۱۹۹۸). Land subsidence in Rafsanjan plain, Iran, *Proc. Conf. IAEG*, ۴: ۲۳۹۵-۲۴۰۰.
- Mousavi, S. M., Shamsai, A., El Naggar, M. H., Khamehchian, M. (۲۰۰۱). A GPS-based monitoring program of land subsidence due to groundwater withdrawal in Iran, *Can. J. Civ. Eng.*, ۲۸: ۴۵۲-۴۶۴
- Schaumann, H.H., Poland, J.F., (۱۹۶۹). Land subsidence earth fissures, and ground water withdrawal in south center Arizona, U.S.A. Proc. of Tokyo. Symp. on land subsidence, IASH UNESCO, pp ۲۹۵-۳۰۲.
- Scott, R.F., (۱۹۷۹). Subsidence-revaluation and prediction of subsidence, Ed. By Saxema, S, k., *Proc. Conf. ASCE*, Gainesville, pp ۱-۲۵.