مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره ششم، شماره بیستم و چهارم، تابستان ۱۳۹۵

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۱۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۴/۱۹

صص ۳۸-۲۱

بررسی فرونشست زمین، چشم‌اندازها وتحوّلات ژئومورفولوژی ناشی از آن در دشت‌های تراکمی مطالعه‌ی موردی: دشت نیشابور

جعفر رکنی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی - دانشگاه فردوسی مشهد

سیدرضا حسین‌زاده*، دانشیار گروه ژئومورفولوژی - دانشگاه فردوسی مشهد

غلامرضا لشکری پور، استاد گروه زمین‌شناسی - دانشگاه فردوسی مشهد

سعداله ولایتی، استاد بازنشسته‌ی گروه جغرافیا - دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

فرونشینی سطح زمین از جمله مخاطرات محیطی است که بشر در دهه‌های اخیر به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در دشت‌های آبرفتی با آن مواجه شده است. این پدیده همانند سایر مخاطرات مانند زلزله، خشک‌سالی، سیل، طوفان و لغزش از جمله موانع توسعه اقتصادی- اجتماعی و عمرانی به‌شمار می‌رود. دشت نیشابور از جمله مهم‌ترین دشت‌های استان خراسان رضوی از نظر کشاورزی و تراکم جمعیتی است که با اقلیمی خشک و نیمه‌خشک در شمال‌شرق ایران قرار دارد. در این مقاله با توجّه به افت سطح آب‌های زیرزمینی که حاصل آن نشست زمین و ایجاد شکاف در بخش‌های مختلف این دشت بوده، تغییرات ژئومورفولوژیکی دشت و شکاف‌ها و ترک‌های حاصل از فرونشست زمین بررسی شده است. در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای Landsat و Spot و نرم‌افزارهای Surfer, ArcGIS و Excel در تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شده است. هم‌چنین با پیمایش‌های صحرایی و اندازه‌گیری تعدادی از عوارض ژئومورفیک، در نهایت به تقسیم‌بندی عوارض و علل ایجاد فرم‌های ژئومورفیک حاصل از نشست زمین پرداخته شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که افت شدید آب زیرزمینی در سال‌های اخیر منجر به بروز مخاطره‌ی ژئومورفولوژیکی فرونشست در این دشت شده است. بر اثر این نشست، ترک‌ها و شکاف‌هایی در دشت با اشکال و عمق و طول متفاوت ایجاد گردیده است. تغییرات این اشکال در طول زمان موجب ایجاد فرم‌های متفاوت و عوارض متعددی به‌ویژه در شمال غرب، جنوب و جنوب شرق دشت گردیده که شامل شکاف‌های طولی ممتد، شکاف‌های منقطع، حفرات مدوّر، چاله‌های وسیع و فروچاله‌ها بوده که این عوارض باعث تخریب برخی از اراضی کشاورزی و کانال‌های آبیاری شده، هم‌چنین باعث تغییر شیب زمین در برخی نواحی و تهدید شبکه‌های انتقال نفت و گاز و سایر تأسیسات عمرانی از جمله خط آهن سراسری تهران به مشهد و کاهش برگشت‌ناپذیر ظرفیت مخزن آب‌خانه شده است.

واژگان کلیدی: فرونشست زمین، شکاف‌خوردگی زمین، تحوّلات ژئومورفولوژی، دشت نیشابور.

نویسنده‌ی مسئول: ۰۹۱۵۳۱۱۷۳۲۵ * Email: srhosszadeh@um.ac.ir

این مقاله برگرفته از رساله‌ی دکتری با عنوان: تجزیه و تحلیل ویژگی‌های مورفولوژیکی فرونشست زمین و تحلیل فضایی آن (مطالعه موردی: دشت نیشابور) می‌باشد.

۱- مقدمه

مخاطرات محیطی که طیف وسیعی از مخاطرات کاملاً طبیعی تا مخاطرات حاصل از فعّالیّت‌های انسانی را شامل می‌شود، از جمله موانع و عوامل بازدارنده‌ی توسعه در مناطق مختلف می‌باشد که به محیط زیست وارد می‌شود. فرونشست زمین از جمله مخاطرات محیطی است که امروزه برخی از دشت‌های ایران را تهدید می‌کند. از نظر تعریف، فرونشینی تدریجی و ناگهانی سطح زمین، پدیده‌ای است که تحت تأثیر تحوّلات طبیعی و مصنوعی صورت می‌گیرد و صدمات ناشی از این نوع فرونشینی‌ها گاهی می‌تواند فاجعه‌بار باشد (رنجبر و جعفری، ۱۳۸۸: ۱۵۵). انسان با بهره‌برداری غیراصولی و غیرمنطقی از منابع طبیعی بر شدّت و تعداد این مخاطرات افزوده است. هر چند علّت اصلی فرونشست زمین با توجّه به مطالعات صورت گرفته در دشت‌های ایران که مستعد این پدیده می‌باشد، حاکی از عواملی هم‌چون افت سطح سیالات زیرزمینی، انحلال تشکیلات زیرسطحی و ریزش کارست گزارش شده، لیکن دیگر فعّالیّت‌های بشری هم‌چون تغییر کاربری زمین، احداث، بهره‌برداری و یا بارگذاری سازه‌های مهندسی، زهکشی خاک‌های آلی، معدن‌کاری زیرسطحی و یا پمپاژ نفت نیز از جمله دلایل وقوع فرونشست محسوب می‌شود (اسکانی‌کزازی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲).

در ایالات متحده‌ی آمریکا بیش از ۱۷۰۰۰ مایل مربع در ۴۵ ایالت به‌وسیله‌ی فرونشست زمین تحت تاثیر قرار گرفته و بیش از ۸۰ درصد نشست‌ها متأثّر از برداشت بی‌رویه‌ی آب‌های زیرزمینی بوده است (گالووی و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۷۷).[1]

بر اساس اطّلاعات کارگروه فرونشست در سازمان یونسکو[2]قدیمی‌ترین فرونشست شناخته شده در ایالت آلاباما‌ی آمریکا در سال ۱۹۰۰ میلادی به وقوع پیوسته است. از دیدگاه یونسکو، این پدیده عبارتست از: فروریزش یا نشست سطح زمین که به علل متفاوت و در مقیاس بزرگ روی داده و به‌طور معمول همراه با حرکات عمودی رو به پایین زمین است. جابه‌جایی‌های عمودی هم‌چنین می‌تواند با بردار اندک افقی نیز همراه باشد (پولند، ۱۹۸۴: ۳۰۵).[3]

اوّلین فرونشست شناسایی‌شده در اثر بهره‌برداری و برداشت بی‌رویه‌ی از آب‌های زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی در ایالت کالیفرنیای آمریکا و در ناحیه‌ی سانتاکلارا[4]رخ داده است (همان، ۱۹۸۴). یکی از بهترین نمونه‌های فرونشست زمین در اثر برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در دنیا ناحیه‌ای به‌نام درّه‌ی "سان جاکوئین[5]" در کالیفرنیای آمریکا می‌باشد که فرونشستی برابر با ۹ متر در بین سال‌های ۱۹۲۵ تا ۱۹۷۵ در نقطه‌ی بیشینه‌ی آن گزارش شده است (همان، ۱۹۸۴).

امروزه رخداد فرونشست زمین در بیش از ۱۵۰ شهر مهم جهان و از جمله مشهد گزارش شده است و در بسیاری از نقاط مانند: مکزیک، استرالیا، کلمبیا، چین، آمریکا، تایلند، هند، ژاپن، ایران، ایتالیا، هلند، ونزوئلا، مصر، عربستان سعودی، انگلستان، فرانسه، فلسطین اشغالی، لهستان و سوئد فرونشست زمین اتفاق افتاده است(لشکری‌پور و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۲۱[6]، هو، ۲۰۰۶: ۸ [7]هو و همکاران، ۲۰۰۴: ۶۵[8]) برای نمونه چن و همکاران از تصاویر راداری برای بررسی نشست زمین در پکن در کشور چین استفاده نمودند (چن و همکاران: ۲۰۱۶[9]).

در حال حاضر از میان ۴۳ مخاطره‌ی زمین‌شناختی شناخته شده در دنیا، ۳۲ مورد در ایران رخ داده است که می‌توان گفت در بین آن‌ها ۵ مخاطره‌ی زمین‌شناختی اصلی شامل: زمین‌لرزه، سیل، زمین‌لغزش، خشک‌سالی و فرونشست زمین کشور ما را به طور جدّی تهدید می‌کند.

1- Galloway, Jones and Ingebritsen, 1999
2- IHP
3- Poland, 1984
4- Santa Clara
5- San Juaquin
6- Lashkaripour, Ghafoori and Mossavi Maddah, 2014
7- Hu, 2004
8- Hu, Yue, Wang, 2006
9- Chen, Tomás, Li and et al. 2016

اوّلین دشتی که در آن نشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی گزارش گردیده است دشت رفسنجان (۱۳۴۶) بوده که به‌ازای هر ۱۰ متر افت سطح آب زیرزمینی حدود ۴۱ سانتی‌متر نشست سطح زمین گزارش شده است (عباس‌نژاد، ۱۳۷۷: ۳۰۳).

در سه دهه‌ی اخیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی دشت کاشمر باعث افت بیش از ۱۹ متر در سطح آب زیرزمینی شده و هر ساله حدود ۱۶ میلیون مترمکعب بر کسری حجم مخزن افزوده می‌شود (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۵). سطح آب زیرزمینی در دشت کاشان نیز دارای روندی کاهنده است؛ به‌طوری‌که در طی ۱۹ سال (۱۳۶۹-۱۳۸۸) به میزان ۱۰/۱ متر افت داشته و میزان افت متوسط سالانه آن ۵۳ سانتی‌متر گزارش شده است (مصلحی و قاضی فرد، ۱۳۸۹). در دشت معین‌آباد ورامین و جنوب باختری تهران (مناطق ۱۸ و ۱۹ شهرداری) نشست‌هایی رخ داده که مرتبط با افت سفره‌ی آب زیرزمینی بوده است (شمشکی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳۹).

با توجّه به فراگیر شدن مخاطره‌ی محیطی فرونشست زمین در بسیاری از دشت‌های بحرانی کشور که هم‌اکنون تعداد دشت‌های بحرانی بر اساس گزارشات به۳۰۰ دشت می‌رسد، لزوم بررسی این مخاطره و پیامدهای ژئومورفولوژیکی آن حائز اهمّیّت است. در این میان در دشت نیشابور با کسری مخزن ۱۴۸ میلیون مترمکعب در سال (آمار سال ۱۳۹۲) نشست زمین رخ داده است. این دشت در سال‌های اخیر به علّت برداشت زیاد از آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی با مشکل افت شدید سطح آب زیرزمینی مواجه شده است. شکاف‌های ایجاد شده در بخش‌هایی از این دشت موجب بروز نارسایی‌ها و مشکلات عمده‌ای برای ساکنین مخصوصاً کشاورزان گردیده است. مطالعات مربوط به نشست زمین از دیدگاه‌های مختلف توسط برخی از محققین در دشت نیشابور انجام شده است. برای نمونه نامقی و همکاران روند تغییرات نرخ نشست حاصل از تصاویر ماهواره‌ای InSAR و افت سطح آب برای چاه‌های پیزومتری واقع در محدوده‌ی نشست در دشت نیشابور را مورد تحلیل قرار دادند (نامقی و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۳). لشکری‌پور و همکاران رابطه‌ی بین نشست زمین و افت سطح آب زیرزمینی و ایجاد شکاف‌های بزرگ کششی در این دشت را بررسی نمودند.

دشت نیشابور بعد از دشت مشهد، از لحاظ ذخیره‌ی آب زیرزمینی و نیز به لحاظ حاصل‌خیزی، مهم‌ترین دشت استان خراسان رضوی است. ساکنین این دشت همواره به آب زیرزمینی متّکی بوده‌اند. حجم نفوذ و استخراج آب در نقاط مختلف آبخانه متفاوت می‌باشد. عواملی از جمله بالا بودن میزان تبخیر، کمی و توزیع نامناسب بارش و برداشت بی‌رویه‌ی توسط چاه‌های عمیق و... مسائل و مشکلاتی در منابع آبی این آب‌خانه به وجود آورده است. این دشت از سال ۱۳۷۱ به بعد به‌طور متوسط هر ساله با حدود ۰/۵ تا ۲ متر افت سطح آب زیرزمینی مواجه بوده است. کل تخلیه‌ی دشت ۷۸۸ میلیون مترمکعب محاسبه شده، که حدود ۹۵٪ آن به مصارف کشاورزی می‌رسد (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۰۸۲).

در مطالعات فرونشست زمین کم‌تر به تغییرات ژئومورفولوژی دشت‌ها توجّه شده و مطالعات انجام شده در این خصوص بسیار محدود است. در این زمینه می‌توان به مطالعات صالحی و همکاران (۱۳۹۰) اشاره کرد که با بررسی شکاف‌های حاصل از فرونشست زمین در دشت مهیار جنوبی در شمال شهرضای استان اصفهان و تأثیر آن بر زمین‌های کشاورزی پرداخته‌اند. هم‌چنین شریفی‌کیا و همکاران (۱۳۹۲) میزان آسیب‌پذیری بافت‌های شهری را در برابر مخاطره فرونشست بررسی کرده‌اند. افضلی (۱۳۹۲) نیز مطالعات خود را بر روی عوارض ژئومورفولوژی حاصل از نشست زمین در دشت دامغان معطوف کرده‌اند.

در این مقاله تغییرات ژئومورفولوژیکی حاصل از وقوع مخاطره‌ی محیطی فرونشست مورد بررسی قرار گرفته و ابعاد مختلف خسارت‌های وارده معرفی گردیده می‌شود.

۲- مبانی نظری

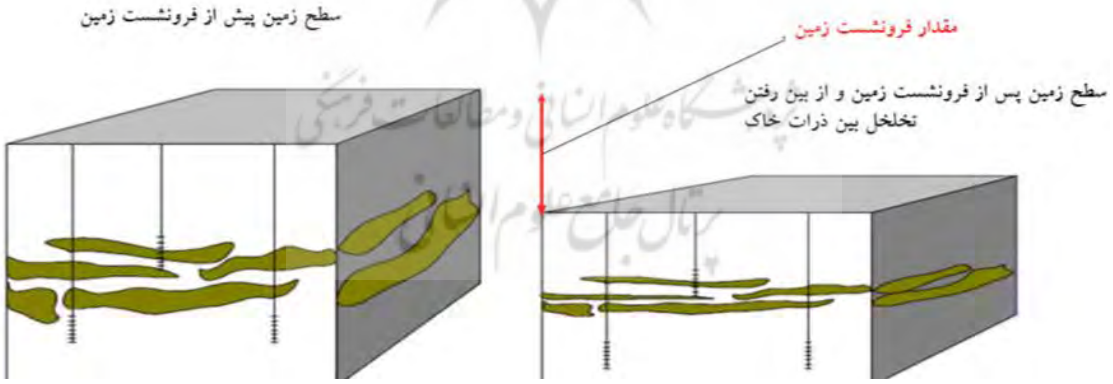
نیازهای روزافزون انسان به آب از یک‌سو وکمبود آن از سوی دیگر به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، او را متوجّه توسعه بهره‌برداری هر چه بیش‌تر از منابع آب، به‌خصوص منابع آب زیرزمینی نمود. با پیشرفت تکنولوژی، استحصال آب بیش‌تر به‌ویژه از طریق چاه روزبه‌روز افزایش یافت از جمله پیامدهای افت سطح آب زیرزمینی و کسری

مخزن علاوه بر مسائل و مشکلات زیاد اقتصادی و اجتماعی، شور شدن تدریجی آب، نشست سطح زمین، کاهش آبدهی چاه‌های حفر شده، خشک شدن قنات‌ها، کمبود تأمین آب کافی برای مصارف شرب و صنعتی و... خواهد بود.

حفاظت منابع آب، بهره‌برداری‌های بهینه و مصرف درست آن نقش حساسی در توسعه‌ی پایدار اجتماعی، باروری اقتصادی، رفاه و امنیت عمومی یک ملت دارد. شناخت و بهره‌برداری اصولی از آن می‌تواند نقش اساسی در شکوفایی و رشد اقتصادی ملت‌ها داشته باشد؛ در حالی‌که مدیریت غیراصولی و برداشت بی‌رویه از آن خسارات جبران‌ناپذیری به محیط زیست و اقتصاد یک کشور وارد خواهد نمود که از جمله این عوارض فرونشست زمین است.

فرونشست‌ها انواع متعددی دارند که عمدتاً بر اثر کاهش فشار هیدرواستاتیک به صورت موضعی رخ می‌دهند. نوع اوّل نشست زمین ناشی از بارگذاری می‌باشد که ممکن است به صورت الاستیک باشد و بلافاصله بعد از اعمال بارگذاری صورت می‌گیرد و مقدار آن بستگی به مقدار بار اعمال شده و جنس زمین دارد. این نوع نشست معمولاً در خاک‌های درشت دانه رخ می‌دهد. نوع دوم نشست زمین به صورت پلاستیک بوده که در خاک‌های ریزدانه به وقوع می‌پیوندد و به علّت خروج آب از لابه‌لای ذرّات خاک صورت می‌گیرد و به آن عملکرد تحکیم خاک‌دانه می‌گویند. برخلاف نوع اوّل این نشست آنی نبوده، بلکه تدریجی و در طول زمان رخ می‌دهد که برداشت آب زیرزمینی و خالی شدن فضاهای بین خاک‌دانه‌ها از آب یکی از علل اصلی این نشست است. نوع سوم شامل نشست‌های محلی و طبیعی زمین است که مرتبط با فضاهای خالی در زیرزمین، مناطق کارستی و شبه‌کارستی و معدن‌کاوی است. این فضاها به طور طبیعی یا به وسیله‌ی انسان ایجاد می‌شود و منجر به کاهش فشار هیدرواستاتیک و نشست زمین می‌گردد. مسیر قنات‌های قدیمی، معدن‌کاوی توسط انسان، حفرات زیرزمینی کارستی و شبه‌کارستی و انحلال سنگ‌های کربناته منجر به کاهش مقاومت زمین و فروریختگی موضعی می‌شود (بهنیافر و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳۵).

سنگ‌های زیرین آب‌خانه که با آب اشباع نباشند، ممکن است بر اثر وزن سنگ‌های بالایی فشرده شوند. این کاهش حجم سنگ‌ها، دائماً ظرفیت نگهداری آب در این لایه‌ها را کاهش می‌دهد و هم‌زمان با فشرده شدن سنگ‌های زیرین ممکن است نشست سطح زمین در آن به‌وقوع بپیوندد. در مکان‌هایی که سطح آب در اعماق زمین به شدّت کاهش پیدا کرده است، کاهش سطح زمین ممکن است چندین متر باشد (مونته گومری، ۱۹۵۱: ۲۳۹).[10]



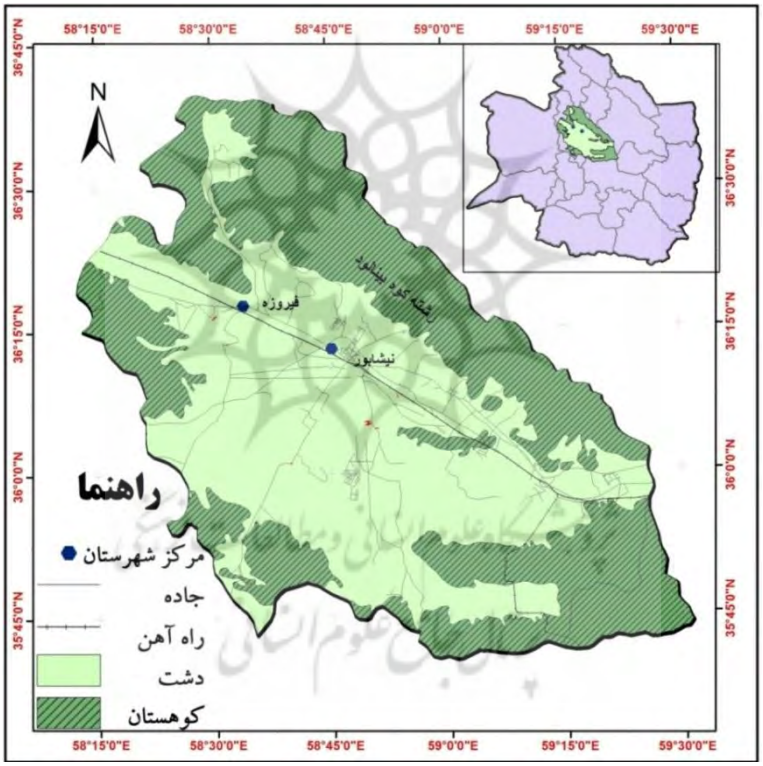
شکل ۱: تصویر شماتیکی از فرونشست زمین در اثر برداشت آب زیرزمینی

با برداشت بیش از حد آب زیرزمینی، سطح ایستابی لایه آب‌دار پایین می‌رود و فشار هیدروستاتیک کاهش می‌یابد و در نتیجه امکان دارد که زمین آن منطقه نشست کند. نشست زمین ممکن است خسارات فراوانی به مناطق مسکونی، تأسیسات زیربنایی، سیستم‌های آبیاری مزارع و تجهیزات آبرسانی و چاه‌ها وارد آورد. اگرچه با تغذیه مصنوعی می‌توان تاحدودی از نشست زمین جلوگیری نمود (کردوانی، ۱۳۷۴: ۲۲۷).

10- Montgomery, 1951

۳- منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت نیشابور با طول حدود ۹۰ کیلومتر و عرض متوسط حدود ۳۶ کیلومتر در جهت جنوب شرق- شمال غرب گسترش دارد. این دشت با ۳۴۷۷ کیلومتر مربع ۴۷/۴۴ درصد مساحت حوضه‌ی آبریز دشت نیشابور بوده که بخشی از حوضه‌ی آبریز کویر مرکزی در شمال شرق ایران را تشکیل می‌دهد. ارتفاعات مهم و بلند بینالود عمدتاً در شمال دشت و ارتفاعات و توپوگرافی پست در جنوب و غرب این دشت حدود منطقه‌ی مورد مطالعه را تعیین می‌نماید. شهر تاریخی نیشابور عمده‌ترین مرکز جمعیتی این دشت است، لیکن شهرها و نقاط روستایی متعددی نیز در سرتاسر دشت وجود دارند. ارتفاع متوسط حوضه در حدود ۱۹۰۰ متری از سطح دریا می‌باشد. حوضه‌ی آبریز نیشابور تقریباً به صورت مستطیل شکل با طول حدود ۱۲۵ کیلومتر (در جهت شمال غرب -جنوب شرق) و عرض متوسط ۶۰ کیلومتر می‌باشد. حوضه‌ی آبریز نیشابور از نظر موقعیت جغرافیایی در طول جغرافیایی ´۱۷ °۵۸ تا ´۳۰ °۵۹ شمالی و عرض جغرافیایی ´۴۰ °۳۵ تا ´۳۹ °۳۶ واقع شده است. در شکل (۲) نقشه‌ی حوضه‌ی آبریز شامل محدوده دشت و ارتفاعات نشان داده شده است. حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه به ترتیب با ۳۳۰۵ متر و ۱۰۵۰ متر در قلّه‌ی بینالود و خروجی رودخانه‌ی کال شور واقع شده است (ولایتی، ۱۳۷۸: ۱۱۹).



شکل ۲: موقعیّت دشت نیشابور و حوضه‌ی آبریز آن در استان خراسان رضوی

میانگین سالیانه‌ی دما در یک دوره‌ی ۲۴ ساله در ایستگاه نیشابور ۱۴/۵ درجه‌ی سلسیوس محاسبه گردیده است. متوسط بارندگی درازمدت در ایستگاه نیشابور (۱۳۴۹-۱۳۹۴) ۲۵۰/۴۳ میلی‌متر می‌باشد (سایت شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۴) با این‌حال می‌توان گفت بارندگی در سطح حوضه متغیر است؛ به‌طوری‌که در ارتفاعات بینالود به حداکثر ۶۰۰ میلی‌متر نیز می‌رسد.

۴- مواد و روش‌ها

این پژوهش به روش تاریخی و از نوع تحلیلی توصیفی انجام شده و اندازه‌گیری‌های صحرایی جهت جمع‌آوری داده‌ها و استفاده از نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای و در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها و مشاهدات میدانی مبنای روش کار بوده است. بدین صورت که ابتدا با مطالعه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در طول زمان، روند تغییرات دشت بررسی شده و از نرم‌افزار ArcGIS جهت ایجاد یک بانک اطّلاعاتی و تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شده و نرم‌افزار Surfer 11 در ترسیم نقشه‌های تراز آب زیرزمینی در بازه‌های ۵ ساله از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۳ استفاده شده است. سپس با تلفیق اطّلاعات آب‌خانه و تراز آب زیرزمینی دشت نیشابور و محل برداشت آب‌های زیرزمینی با ترک‌های ایجاد شده در بخش-های مختلف دشت، هم‌چنین تغییرات و روند گسترش این ترک‌ها به تجزیه و تحلیل و نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

۵- بحث و نتایج

۵-۱- ژئومورفولوژی دشت نیشابور

دشت نیشابور در دامنه‌ی جنوبی رشته‌کوه بینالود واقع شده است. این دشت از شرق به بلندی‌های لیلاجوق و یال‌پلنگ و از جنوب به تپه‌ماهورهای نیزه‌بند، سیاه‌کوه و کوه‌سنگ محدود می‌شود. منابع آبی موجود در دشت نیشابور شامل: رودها، قنات‌ها، چشمه‌ها و چاه‌ها هستند. چاه‌ها منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز منطقه بوده که از آب‌خانه‌ی دشت نیشابور تغذیه می‌شوند. در این دشت قنوات نیز در زهکشی آب‌زیرزمینی نقش دارند.

نهشته‌های عمدتاً آبرفتی و بعضاً بادرفتی در بخش مرکزی این دشت گسترش دارد. این نهشته‌ها شامل: تراس و آبرفت‌های قدیمی، تراس، مخروط‌افکنه‌ها و آبرفت‌های جدید، تپه‌های ماسه‌ای و پهنه‌های رسی می‌باشد. رسوبات بستری در مسیر آبراهه‌های اصلی دشت (کال شور) گسترش دارد. مخروط‌افکنه‌ها در بخش شمالی دشت حاصل از ورود رودهای نشأت گرفته از ارتفاعات بینالود در سرتاسر دامنه‌ی جنوبی بینالود گسترش دارد. این بخش به‌همراه نهشته‌های آبرفتی جدید تشکیل‌دهنده‌ی مخزن اصلی سفره‌ی آب زیرزمینی دشت نیشابور می‌باشد.

آبراهه‌های اصلی واقع در ارتفاعات شمالی و جنوبی دشت با روند شمال غرب– جنوب شرق و در جهت شیب عمومی دشت به صورت مسیل جریان داشته و وارد گستره‌ی عمومی دشت نیشابور می‌گردد. مخروط‌افکنه‌های تشکیل شده در پای دامنه‌های جنوبی بینالود در شمال دشت، گسترش بیش‌تری داشته، لیکن در محلّ ورود آبراهه‌ها در جنوب دشت نیز مخروط‌افکنه‌ها به صورت محدود تشکیل شده است.

ارتفاعات پست و قدرت کم فرسایش‌پذیری آب‌های جاری در بخش جنوبی دشت باعث شده تا نهشته‌های قدیمی که از فرسایش واحدهای قدیمی‌تر راسب شده‌اند، کم‌تر تحت تأثیر فرسایش‌های بعدی واقع شده و گستره خود را حفظ کرده‌اند.

ذرّات متشکله‌ی نهشته‌های جوان‌تر در حاشیه شمال دشت که در پای ارتفاعات بینالود واقع شده در حدّ سیلت، ماسه، رس و نیز شن و قلوه‌سنگ می‌باشند. این نهشته‌ها به سبب توپوگرافی ملایم و شیب خیلی کم، زمین‌های مناسب را جهت کشاورزی فراهم نموده است. به نظر می‌رسد ضخامت زیاد این نهشته‌ها و قرارگیری آن‌ها بر روی سنگ بستر با نفوذپذیری کم، مخزن ذخیره‌ی آبرفتی مناسبی در دشت نیشابور به وجود آورده است.

تصویر ماهواره‌ای دشت نیشابور مخروط‌افکنه‌های زیادی را در حاشیه‌ی ارتفاعات دشت به‌خصوص در بخش شمالی آن نشان می‌دهد. این مخروط‌افکنه‌ها به سبب ورود رودخانه‌ها و آبراهه‌های اصلی و تقریباً موازی از ارتفاعات شمالی به صورتی گسترش یافته که از مرکز مخروط‌افکنه‌ی هر رودخانه به سمت یکدیگر بافت رسوبات متشکله نیز ریزتر می‌گردد. اکثر مخروط‌افکنه‌های این ناحیه شیب حدود ۳ درجه (شیب متوسط) دارند و در رأس مخروط‌افکنه‌ها تراس‌ها و پادگانه-های آبرفتی با ارتفاع ۵ تا ۱۵ متر نشان از فعّالیّت تکتونیکی دوران چهارم دارد (رکنی،۱۳۹۰: ۱۱۹).

نهشته‌های بادرفتی بخش دیگری از رسوبات دشت را در بخش جنوب و جنوب‌غرب تشکیل می‌دهد. این رسوبات حدود ۱ الی ۲ درصد دشت را فراگرفته است، لیکن دارای جورشدگی خوب بوده و حاصل بادهای شدید منطقه‌ی داورزن و سبزوار می‌باشد که هم‌اکنون با کاشت درختچه‌های تاغ به‌طور چشم‌گیری مهار شده است.

پهنه‌های رسی این دشت همان‌طورکه در تصاویر ماهواره‌ای نیز به‌خوبی مشهود است، محدود به بستر عریض کال شور بوده که به سبب شیب نسبتاً کم و موانعی از قبیل رخنمون‌های نئوژن در مسیر عبور، محیط‌های مناسبی جهت ماندگاری جریان‌های سطحی بوده و پهنه‌های رسی را برجای گذاشته است. گستره‌ی این واحد هم‌اکنون زیر کشت محصولات کشاورزی واقع شده است. آبرفت‌های جوان و یا رسوبات بستری کال‌شور عمدتاً از ماسه، شن، ریگ و سنگ‌ریزه و گاهاً قطعات و گراول‌های سنگی تشکیل شده و ساختار گسسته‌ای را جهت تغذیه‌ی مناسب آب‌خانه به وجود آورده است.

۵-۲- بررسی علل تشدید فرونشینی

عوامل متعددی در کنترل عمق سطح آب زیرزمینی دخیل هستند. میزان تغذیه، شرایط تغذیه، توپوگرافی، سطح زمین، موانع هیدرولیکی، موقعیّت زهکش‌ها، چشمه‌ها و... از مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده‌ی عمق آب زیرزمینی می‌باشند. تعیین عمق آب زیرزمینی برای توسعه‌ی بهره‌برداری، محاسبه تبخیر از آب زیرزمینی، بررسی کیفیّت آن و شناسایی عامل‌های شوری، مطالعات فرونشست و کشاورزی بسیار مهم است. فرونشست به‌طور عمده در اثر برداشت آب زیرزمینی بیش از توان طبیعی آب‌خانه اتفاق می‌افتد و هرگونه افزایش یا کاهش برداشت آب زیرزمینی در نوسانات عمق آب زیرزمینی نمود پیدا می‌کند. به همین دلیل تغییرات عمق آب زیرزمینی برای بررسی نشست زمین از اهمّیّت زیادی برخوردار است. در این قسمت با آنالیز نقشه‌های هم‌افت سطح آب زیرزمینی و منحنی‌های تراز سطح ایستابی در دشت وضعیت نشست زمین و ترک‌های به وجود آمده در مناطقی از دشت را بررسی شده است.

با خروج آب از آب‌خانه‌ی دشت نیشابور که عمدتاً با حفاری چاه‌ها صورت می‌گیرد، به تدریج عمق آب کاهش یافته و این سبب افزایش تنش مؤثّر می‌گردد. افزایش تنش مؤثّر در لایه‌های ریزدانه‌ی آبدار[11]تحکیم نیافته یا نیمه‌تحکیمی موجود در آب‌خانه باعث زهکشی آب این لایه ها و در نهایت کاهش حجم آن و نشست زمین می‌گردد.

۵-۳- آب‌خانه‌های آبرفتی دشت نیشابور

در محدوده‌ی مورد مطالعه با توجّه به گزارشات شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی و گزارش نهایی بررسی نشست زمین در دشت نیشابور و ارتباط آن با افت سطح آب‌های زیرزمینی که توسط دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۸۷ انجام شده است، ۵ آب‌خانه در دشت نیشابور شناسایی شده است (لشکری پور، ۱۳۸۷: ۴۲). این آب‌خانه‌ها از ضخامت‌های مختلف لایه‌های آب‌دار و عمق متفاوت سنگ کف و سطح آب زیرزمینی برخوردار هستند که مشخصات آن‌ها در جدول شماره‌ی (۱) آمده است. لازم به توضیح است که آب‌خانه‌های جنوبی، شرقی و شمالی (در شرق آبخانه اصلی دشت) با آب‌خانه‌ی اصلی دشت نیشابور دارای ارتباط هیدرولیکی بوده و به عنوان آب‌خانه‌ی دشت نیشابور نامبرده می‌شود. تنها آب‌خانه‌ی کوچک و محدود بینالود و پیوه‌ژن فاقد ارتباط هیدرولیکی با آب‌خانه‌ی اصلی است.

بررسی کمّی و کیفی سفره‌ی آب زیرزمینی در آب‌خانه‌های دشت نیشابور هشدار می‌دهد که با روند فعلی بهره‌برداری و استمرار آن منابع آب زیرزمینی به طور فزاینده‌ای محدود می‌گردد. حجم تغذیه و تخلیه‌ی آب در این دشت و مخصوصاً در پی خشک‌سالی‌های سال‌های اخیر نابرابر بوده و در نقاط مختلف آب‌خانه متفاوت می‌باشد، عواملی از جمله کاهش نزولات جوّی، بالابودن پتانسیل تبخیر و برداشت بی‌رویه توسط چاه‌های عمیق و سایر عوامل مرتبط باعث عدم تعادل و بروز بیلان منفی در این آب‌خانه‌ها گردیده است.

11- Aquitard

جدول ۱: خلاصه‌ی مشخصات آب‌خانه‌های آبرفتی دشت نیشابور

آب‌خانه‌ی آبرفتی	وسعت (km^2)	چاه بهره برداری عمیق					چاه مشاهده‌ای	
		تعداد	تخلیه (mm^3)	متوسط عمق چاه (متر)	متوسط آبدهی لحظه ای (l/s)	متوسط کارکرد (ساعت)	تعداد در آب‌خانه	متوسط عمق سطح آب (متر) اسفند ۸۵
جنوبی	۱۸۰	۶۴	۵۰/۳	۱۶۰	۳۲	۶۸۸۳	–	–
شرقی	۴۰۰	۲۷۰	۲۳۰	۱۲۵	۳۳/۲	۷۱۳۳	۱۱	۸۹/۱
بینالود	۹۰	۴۸	۷	۸۰	۱۲	۳۲۷۸	–	–
شمالی	۴۰۰	۴۳۶	۲۰۴	۱۴۵	۲۲/۳	۵۸۵۴	۷	۴۷/۲
اصلی	۲۳۲۲	۸۱۹	۴۸۱	۱۲۰	۲۴/۸	۶۶۴۴	۳۹	۵۱

منبع: دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۵۷

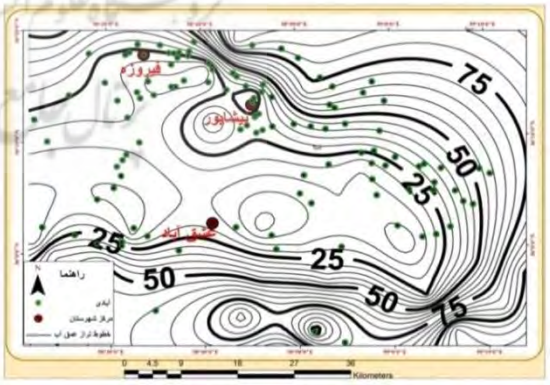
از این دشت طبق گزارشات شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، سالانه ۷۶۱ میلیون مترمکعب آب برداشت می‌شود که حدود ۹۱/۴ درصد آن به مصارف کشاورزی می‌رسد، این در حالی است که بیش از ۷۰ درصد کشت‌ها در این دشت آبی بوده که با وضعیت شرایط کم آبی هم‌خوانی ندارد.

نقشه‌های تراز آب زیرزمینی در محدوده‌ی دشت نیشابور با استفاده از داده‌های چاه‌های مشاهده‌ای دشت که از سازمان آب منطقه‌ای خراسان رضوی دریافت شده، پس از انجام تصحیحات لازم توسط نرم‌افزار Surfer 11 درون‌یابی و ترسیم شده است. این نقشه‌ها در بازه‌ی زمانی ۱۰ سال و در فاصله‌ی سال‌های ۶۵ تا ۹۳ در شکل‌های ۳تا ۶ نشان داده شده است. این نقشه‌ها نیز مؤیّد کاهش سطح آب‌های زیر زمینی می‌باشد. با توجّه به منحنی وضعیت سطح ایستابی در آب‌خانه‌ی دشت نیشابور ملاحظه می‌گردد که از سال ۱۳۶۵ تا حال حاضر افت سطح ایستابی هم به صورت تدریجی و هم به صورت ناگهانی تداوم داشته است.

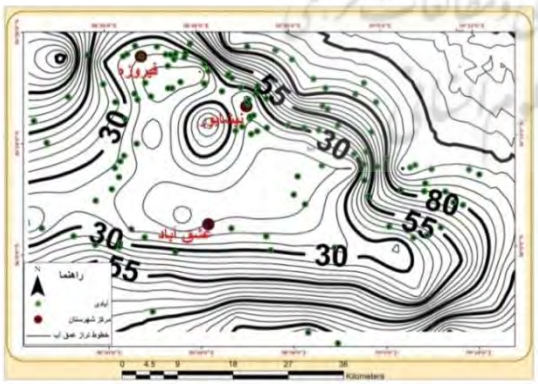
بررسی نقشه‌های فوق، افت سطح آب زیرزمینی را در دشت نیشابور به شرح ذیل نشان می‌دهد:

سال ۶۵ تا ۷۵ = میانگین ۱۵ متر سال ۷۵ تا ۸۵ = میانگین ۱۸ متر

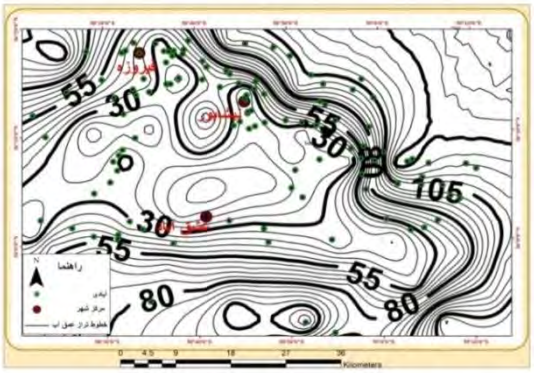
سال ۸۵ تا ۹۳ = میانگین ۱۰ متر میانگین افت سالانه سطح آب = ۱/۴ متر



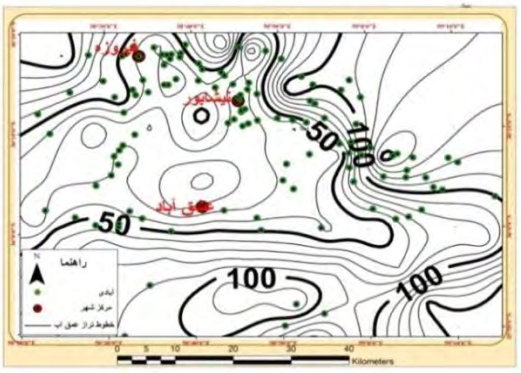
شکل۳: تراز آب زیرزمینی محدوده‌ی دشت نیشابور در سال ۱۳۶۵



شکل۴: تراز آب زیرزمینی محدوده‌ی دشت نیشابور در سال ۱۳۷۵



شکل ۵: تراز آب زیرزمینی محدوده دشت نیشابور در سال ۱۳۸۵



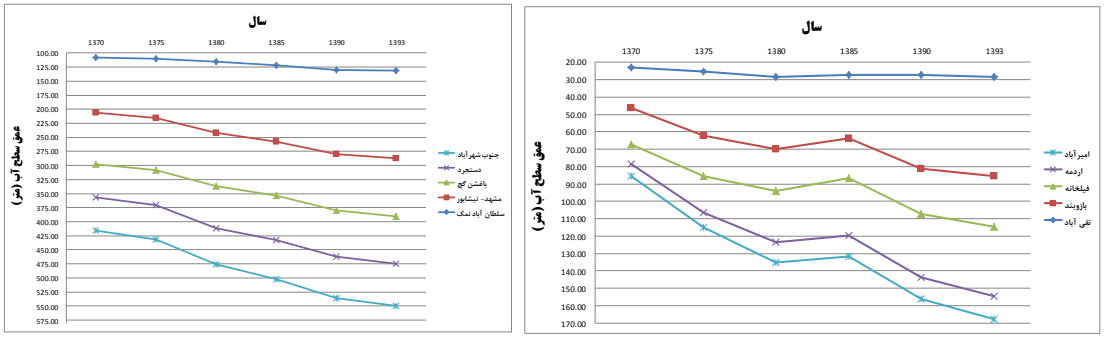
شکل ۶: تراز آب زیرزمینی محدوده‌ی دشت نیشابور در سال ۱۳۹۳

به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود افت سطح آب زیرزمینی در این دشت در یک دوره‌ی ۳۰ ساله ۴۳ متر می‌باشد و این نشان می‌دهد به‌طور میانگین هر سال دشت نیشابور ۱/۴ متر افت سطح آب داشته است.

مازاد برداشت سالانه آب از منابع غیرقابل تجدید دشت نیشابور به بیش از ۱۴۷ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۲ رسیده است و این امر باعث شده میانگین افت سطح ایستابی در دشت نیشابور سالانه به ۶۰ سانتی‌متر تا ۲۰۰ سانتی‌متر برسد که این مسئله می‌تواند خطر گسترش فرونشست و ایجاد شکاف‌ها را در قسمت‌های متفاوت دشت تشدید نماید. خشک‌سالی‌های اخیر موجب شده است که کشاورزان آب بیش‌تری را از آب‌خانه‌ی دشت برداشت نموده و متوسط سطح آب در دشت دارای نرخ شدیدتری شود.

جدول ۲: تعدادی از چاه‌های پیزومتری دشت نیشابور و عمق سطح آب آن‌ها در بازه‌ی ۲۳ ساله

نام چاه پیزومتری	عرض جغرافیایی (X)	طول جغرافیایی (Y)	متراژ سطح آب در چاه					
			سال ۷۰	سال ۷۵	سال ۸۰	سال ۸۵	سال ۹۰	سال ۹۳
دستجرد	۶۷۸۲۸۴	۳۹۹۴۰۶۲	۵۹	۶۲/۶۳	۷۴/۵۸	۷۸/۷	۸۲/۳۷	۸۴/۱۱
سلطان آباد نمک	۷۰۶۰۱۲	۳۹۷۸۸۹۳	۱۰۷/۵۸	۱۰۹/۹۸	۱۱۵	۱۲۱/۵۲	۱۲۹/۶۸	۱۳۱/۲۸
فیلخانه	۶۶۷۴۲۱	۴۰۰۴۶۷۰	۲۰/۹۵	۲۳/۴۴	۲۳/۹۱	۲۲/۹۱	۲۶/۰۳	۲۸/۸۸
مشهد- نیشابور	۶۸۲۷۸۹	۳۹۹۹۰۵۱	۹۸/۳	۱۰۵/۵	۱۲۷/۳۵	۱۳۵/۸	۱۴۹/۶۵	۱۵۵/۹
کنار کال شور	۶۵۱۹۹۲	۳۹۹۵۰۶۴	۳/۸	۴/۲	۴/۳	۴/۵۱	۴	۵/۴۸
تقی آباد	۶۴۳۸۹۶	۴۰۱۹۹۰۱	۲۳	۲۵/۳۸	۲۸/۲۳	۲۷/۱۸	۲۷/۳۷	۲۸/۴۸
محمدآباد خرابه	۶۴۲۳۸۵	۴۰۰۴۷۷۹	۶/۹۱	۹/۹۸	۱۵/۲۶	۱۲/۲۸	۱۶/۴۵	۱۸/۰۸
بازوبند	۶۳۷۸۰۶	۴۰۰۱۰۰۰۷	۳۲/۰۸	۳۶/۷۹	۴۱/۸۶	۳۶/۴۹	۵۳/۸۸	۵۷/۰۷
باغشن گچ	۶۵۵۲۱۶	۴۰۱۹۸۷۶	۹۲/۳۵	۹۲/۵۸	۹۴/۴۱	۹۶/۷۳	۱۰۰/۵۷	۱۰۳/۱۷
اردمه	۶۳۸۸۲۰	۳۹۸۸۰۹۵	۱۱/۳۵	۲۰/۹۶	۲۹/۵۳	۳۲/۹۸	۳۶/۳۸	۴۰/۰۹
امیرآباد	۶۴۷۲۹۷	۳۹۹۰۳۷۶	۶/۹۸	۸/۳۸	۱۱/۵	۱۱/۹۵	۱۲/۵۹	۱۳/۳۶
جنوب شهرآباد	۶۳۳۸۳۵	۳۹۸۲۸۰۵	۵۸/۳۵	۶۰/۶۵	۶۴/۶۴	۶۹/۳۱	۷۴/۱۴	۷۵/۵۵



شکل ۷: هیدروگراف تعدادی از چاه‌های پیزومتری دشت نیشابور در بازه ۲۳ ساله

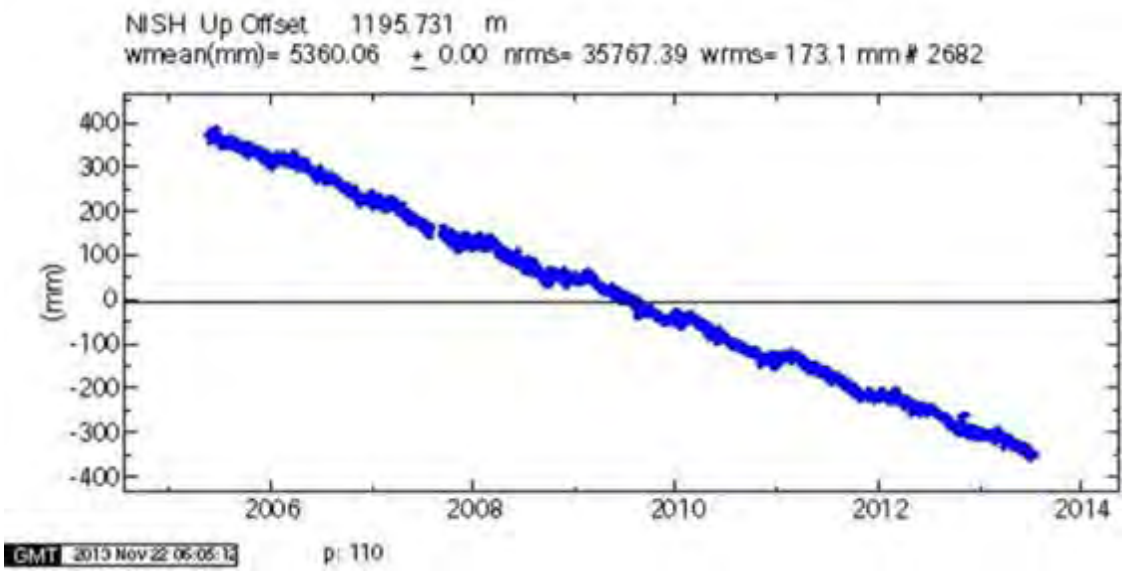
فرونشست زمین باعث مشکلات بسیاری می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به تغییرات در ارتفاع و شیب رودخانه‌ها، کانال‌ها و آبراهه‌ها هم‌چنین آسیب‌دیدگی پل‌ها، جاده‌ها خطوط راه‌آهن، شبکه آبراهه‌ها، فاضلاب‌های بهداشتی، کانال‌ها، سدها و راه و آسیب به ساختمان‌های دولتی و خصوصی و شکست دیواره چاه‌ها از طریق نیروهای تولید شده بر اثر تراکم مواد ریزدانه در سیستم آب‌خانه و در برخی از مناطق ساحلی نتیجه فرونشست زمین حرکت آب بر اثر جزر و مد به مناطق کم‌ارتفاع که قبلاً بالاتر از سطح بالای جزر و مد بوده‌اند، اشاره کرد (لیک، ۲۰۱۳).[۱۲]

بررسی‌ها نشان می‌دهد افت زیاد آب‌های زیرزمینی می‌تواند موجب نشست زمین در دشت نیشابور شود، لیک (۲۰۱۳) در مقاله‌ی خود در سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا[۱۳] به چند روش برای پایش فرونشست زمین اشاره کرده است. وی اساسی‌ترین رویکرد کاربرد GPS در بررسی تغییرات ارتفاعی سطح زمین می‌داند. روش دیگر استفاده از داده‌های مربوط به ثبت تراکم یا کشیدگی عمودی رسوبات بوده و روش سوم نظارت و پایش فرونشست استفاده از داده‌های ماهواره‌ای InSAR و تداخل سنجی داده‌های راداری می‌باشد.

برای اندازه‌گیری نشست دشت نیشابور، سازمان نقشه‌برداری کشور در تاریخ ۱۳۸۴/۳/۳ ایستگاه دائم GPS را در محدوده‌ی مورد مطالعه نصب کرده است. این ایستگاه در محل ایستگاه هواشناسی نیشابور با مختصات ۵۸ درجه و ۴۹ دقیقه و ۱۲ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه ۱۲ دقیقه و ۲۵ ثانیه عرض جغرافیایی قرار دارد. این ایستگاه در پایان هرروز به وقت گرینویچ اطّلاعات خود را از طریق تلفن به مرکز داده‌ها در مشهد منتقل کرده و در این مرکز با تلفیق داده‌های این ایستگاه با داده‌های سایر ایستگاه‌ها تلفیق و میزان نشست در سری‌های مختلف زمانی مشخص می‌کند. شکل شماره (۸) نشست زمین را در فاصله‌ی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ به مقدار ۸۰ سانتی‌متر در ایستگاه GPS نشان می‌دهد.

پرتال جامع علوم انسانی

12- Leake, S.A.
13- www.USGS.gov



شکل ۸: نمودار بردار سرعت فرونشست دشت نیشابور(برگرفته از شبکه‌ی GPS دائمی ایران)

۵-۴- اشکال و فرم های جدید حاصل از فرونشست زمین

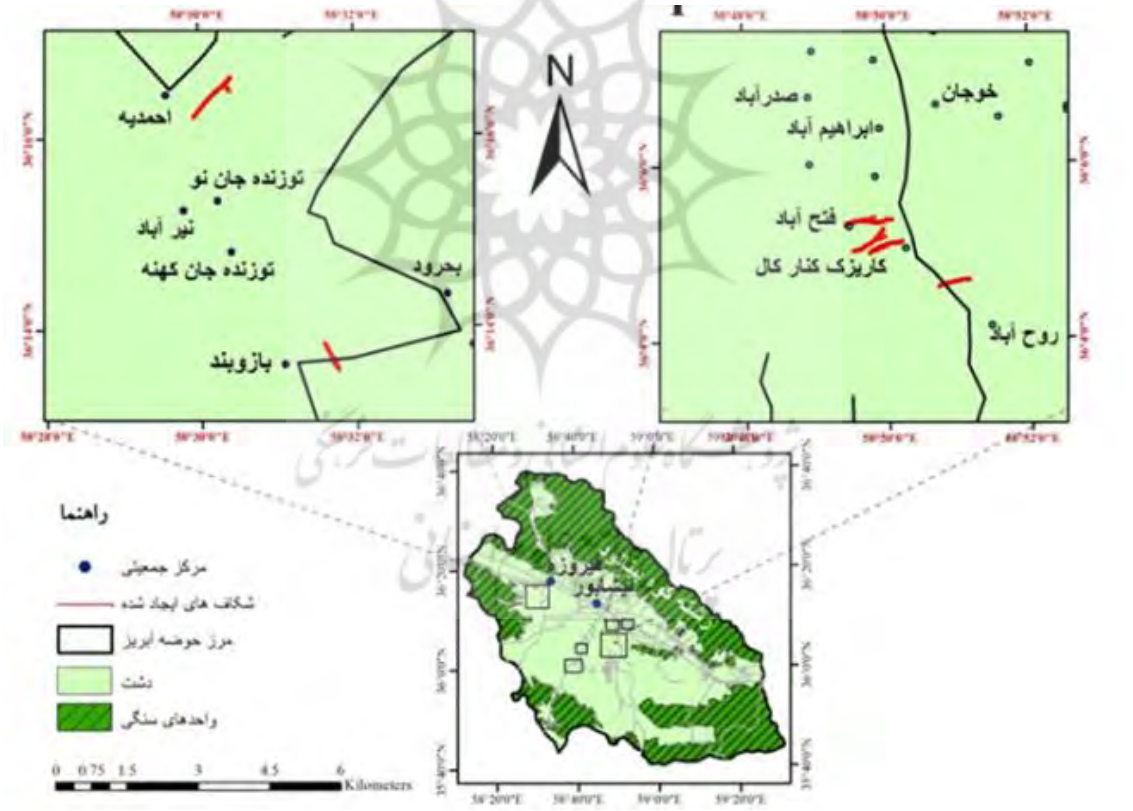
درنتیجه‌ی فرونشست سراسری دشت نیشابور فرونشست‌هایی به صورت حفره‌ای و به ارتفاع بیش از ۵ تا ۶ متر در اراضی کشاورزی به وجودآمده و هم‌چنین بعضاً ترک‌هایی در حاشیه‌ی فرونشست کلی دشت حادث گشته است. جدول (۳) موقعیّت و وضعیّت شکاف‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۳: مشخصات و موقعیّت تعدادی از شکاف‌های ایجاد شده بر اثر فرونشست دشت نیشابور

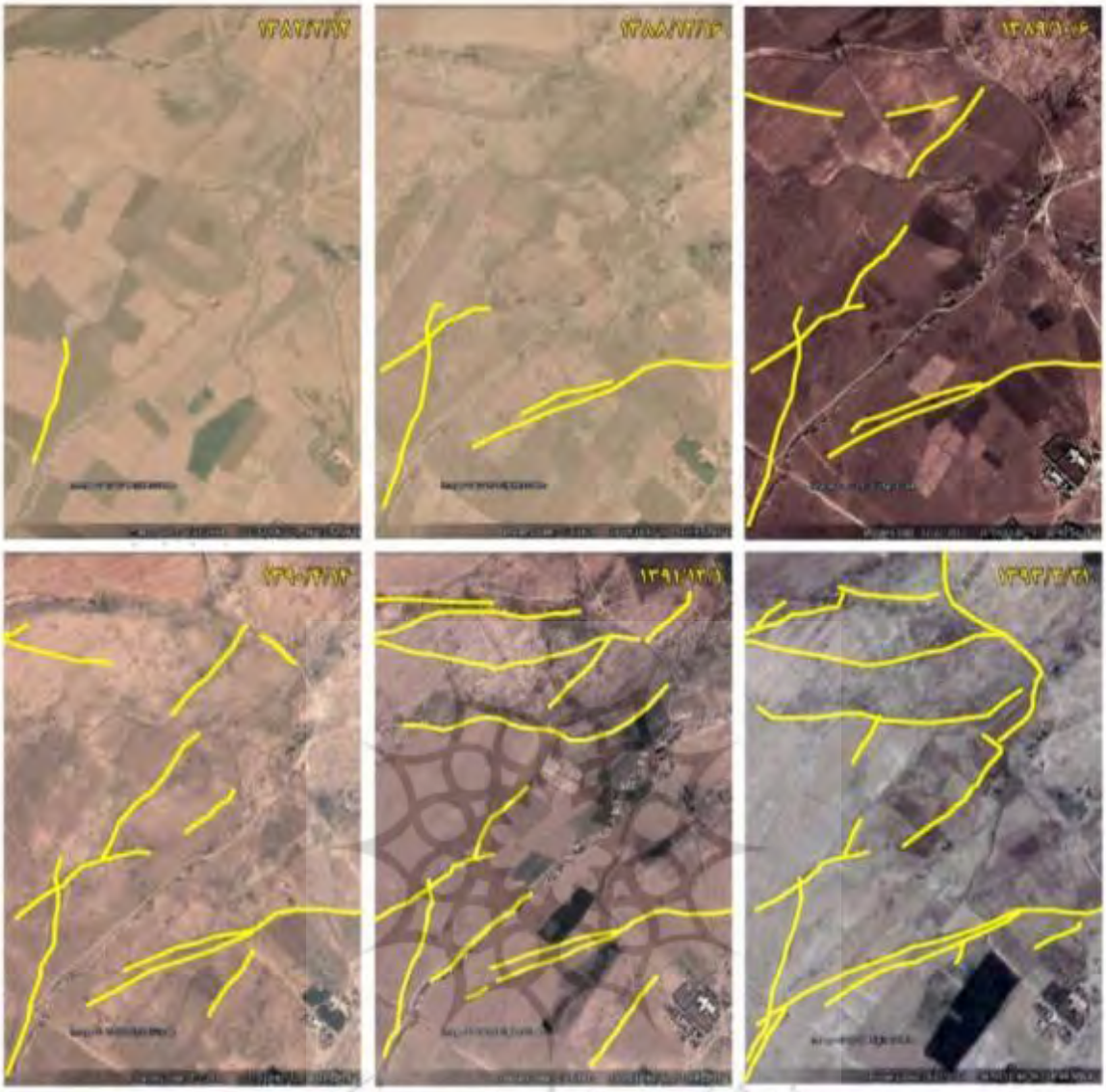
ردیف	موقعیت شکاف	مختصات محل عبور شکاف		امتداد شکاف	طول شکاف (متر)
۱	جاده‌ی نیشابور به کاشمر- بعد از شهر عشق آباد	۵۸ ۳۹ ۴۸/۷ ۳۶ ۰۱ ۰۳/۹		شمال غرب- جنوب شرق	۱۷۱
				شمال غرب- جنوب شرق	۱۴۱
۲	شمال شرق روستای بازوبند	۵۸ ۳۱ ۴۳/۲ ۳۶ ۱۳ ۳۷/۳		شمال غرب- جنوب شرق	۱۸۳+۱۲۶+۱۳۱
۳	شمال شرق روستای احمدیه جاده‌ی قدیم نیشابور- سبزوار	۵۸ ۳۰ ۱۹/۷ ۳۶ ۱۶ ۳۲/۵		شمال شرق- جنوب غرب	۱۸۰+۱۱۸۸
۴	شمال روستای کاریزک کنار کال	۵۸ ۴۹ ۵۷/۱۵ ۳۶ ۰۵ ۳/۳	ترک A	شرقی- غربی شمال شرق- جنوب غرب	۳۳۰+۷۵۷
		۵۸ ۴۹ ۳۷/۵ ۳۶ ۰۵ ۰۱	ترک B	شمال شرق- جنوب غرب	۱۹۲+۸۲۳
		۵۸ ۴۹ ۵۲/۳ ۳۶ ۰۵ ۱۹/۶	ترک C	شرقی- غربی	۳۸۶+۱۰۱۳
		۵۸ ۴۹ ۴۱/۱ ۳۶ ۰۵ ۲۱/۵	ترک D	شرقی- غربی	۳۱۶

				شمال شرق- جنوب شرق	
۵	شرق و جنوب شرق روستای بشرو	۵۸ ۵۳ ۴۲ ۳۶ ۰۸ ۰/۲۱		شمال غرب- جنوب شرق شمال – جنوب	۹۴۳
۶	جنوب روستای کریم آباد	۵۸ ۴۸ ۲۵/۲۰ ۳۶ ۰۸ ۲۲/۱		شمال شرق- جنوب غرب	۵۵
۷	مسیر جاده‌ی روح آباد	۵۸ ۵۰ ۵۷/۱۶ ۳۶ ۰۴ ۳۸/۸		شرقی – غربی	۶۸۰
۸	مسیر جاده‌ی عشق آباد	۵۸ ۴۲ ۰۸ ۳۶ ۰۴ ۱۲		شمال شرق- جنوب غرب	۶۰

در سال‌های اخیر گسترش محدوده‌ی فرونشست و پیشروی شکاف‌های حاصل از آن‌ها در زمین‌های کشاورزی و کانال‌های آبیاری باعث غیرقابل استفاده شدن بخش زیادی از زمین‌های کشاورزی واقع در این منطقه شده است. شکل شماره‌ی (۱۰) تغییرات و روند شکاف‌ها درحدفاصل سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳ از روی تصاویر Google Earth را نشان می‌دهد.



شکل ۹: نقشه‌ی برخی از شکاف‌های ایجاد شده در دشت نیشابور



شکل ۱۰: تغییرات و روند تشکیل شکاف در بخشی از محدوده‌ی مطالعاتی از ۱۳۹۳-۱۳۸۲ (ترک‌ها با رنگ زرد مشخص شد)

۵-۵- چشم اندازهای ناشی از فرونشینی زمین

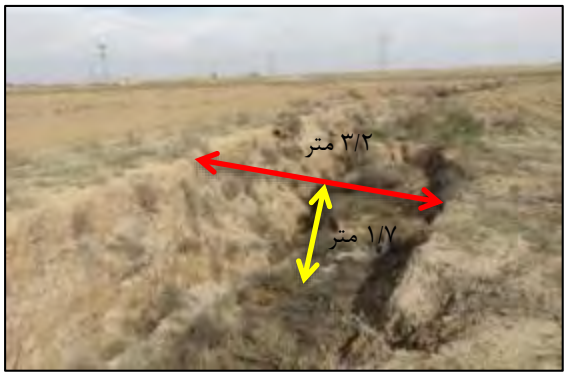
فرونشست ناشی از استخراج منابع آب زیرزمینی می‌تواند خسارات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بالایی را در پی داشته باشد. نوع، وسعت و شدّت این خسارات بستگی به میزان فرونشست و منطقه‌ی تحت تأثیر آن دارد.

نشست زمین در دشت نیشابور سبب بروز شکاف‌های بهم پیوسته با طول‌های متفاوت شده که در زمان‌های مختلفی شکل گرفته‌اند. حفرات با فاصله نزدیک به هم در رسوبات کواترنری و در امتداد توپوگرافی مشخصی قرار دارند. در بررسی دیواره‌ی شکاف‌ها لایه‌هایی از سیلت و رس مشاهده می‌شود. این لایه‌ها به راحتی می‌تواند متأثّر ار فرسایش آبی قرار گیرد و چنان‌چه پس از بروز باران‌های شدید آب در داخل شکاف‌ها و در جهت شیب توپوگرافی جریان یابد، باعث شسته شدن دیواره‌ها و فرسایش بیش‌تر شده و در نهایت منجر به تشکیل آبکند[۴]می‌گردد. عمق گالی‌ها از ۲ تا ۳ متر و عرض آن‌ها بعضاً تا ۳ متر می‌باشد. نمونه‌هایی از آبکندهای تشکیل شده در شمال غرب روستای کاریزک کنار کال دیده می‌شود (شکل شماره‌ی ۱۰ و ۱۱).

---

1 -Gally 4

شکل ۱۱: شکاف ایجاد شده در مراحل اوّلیه و قبل از فرسایش



شکل ۱۲: شکاف ایجاد شده پس از فرسایش و بازشدگی

در بررسی انجام شده بر روی اشکال و فرم‌های ناشی از پدیده‌ی فرونشست در این دشت به موارد مختلفی به شرح ذیل می‌توان اشاره کرد:

۱- شکاف‌های طولی ممتد که در بخش‌های زیادی از حاشیه‌ی دشت نیشابور مشاهده می‌شوند، از به‌هم پیوستن شکاف‌های منقطع و دارای یک امتداد مشخص به وجود می‌آیند.

در مناطق مختلف از دشت نیشابور و با توجّه به پیمایش‌های میدانی در مناطق مختلف و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شکاف‌های حاشیه‌ی فرونشست دشت برداشت گردیده است. این شکاف‌ها با عرض از چند سانتی‌متر تا ۳ متر در بخش-هایی مشاهده می‌شود، برخی از این شکاف‌ها بعضاً تا ۱۲ متر عمق دارد. روند یکسان این شکاف‌ها مخصوصاً در شمال روستای کاریزک کنار کال تمایل به بازشدگی را نشان می‌دهد.

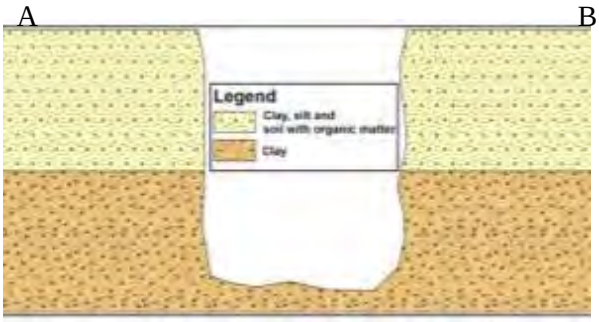
۲- شکاف‌های منقطع که مرحله‌ی ابتدایی ایجاد شکاف‌های طولی ممتد هستند، پس از بارش باران و وقوع سیلاب و سرازیر شدن سیلاب به داخل آن‌ها و با توجّه به پیوستگی حفرات در زیرزمین به تدریج ریزش کرده و شکاف‌های طولی ممتد را به وجود می‌آورند.

۳- حفرات مدوّر که حاصل فرونشینی طبقات زیرین بوده و در بخش‌هایی از حواشی دشت دیده می‌شود. این حفرات دارای قطر ۲ تا ۵ متر نیز دیده شده است. معمولاً حفرات به وجود آمده در یک راستا دیده می‌شوند و بعضاً ممکن است بر اثر گسترش این حفرات اشکال و فرم‌های دیگری در این مناطق به وجود آیند.

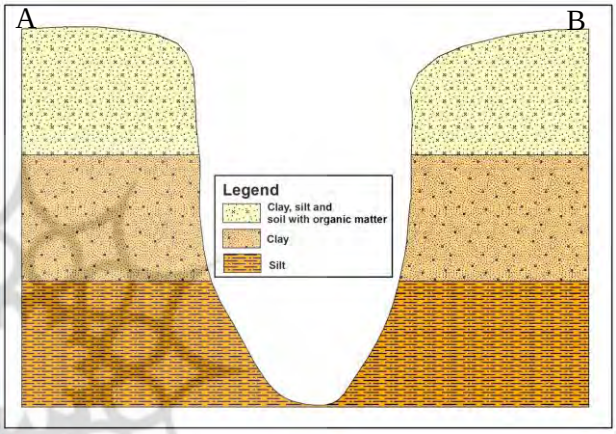
۴- چاله‌های وسیع ناشی از فرونشینی که اغلب در مجاورت چاه‌های قنات‌های موجود در این دشت به وجود آمده و بعضاً مناظر تپه‌ماهورمانندی را به وجود می‌آورند. هر چند این فرم‌ها در محدوده‌ی مطالعاتی زیاد دیده نشده است، لیکن می‌توان پیش‌بینی کرد با ادامه‌ی روند فرونشینی و تخریب بیش‌تر در زمین‌های کشاورزی و حوالی قنوات، دامنه گسترش این اشکال متصوّر باشد.

۵- فروچاله‌ها از ریخت‌های دیگر در این ناحیه می‌باشد که در امتداد یکدیگر تشکیل شده و در حالت پیشرفته، این فروچاله‌ها تبدیل به شکاف می‌شوند (شکل شماره‌ی ۱۳). فروچاله‌ها را می‌توان حفره‌های مدوّری گفت که حاصل فرونشینی و فرسایش لایه‌های زیرین می‌باشند.

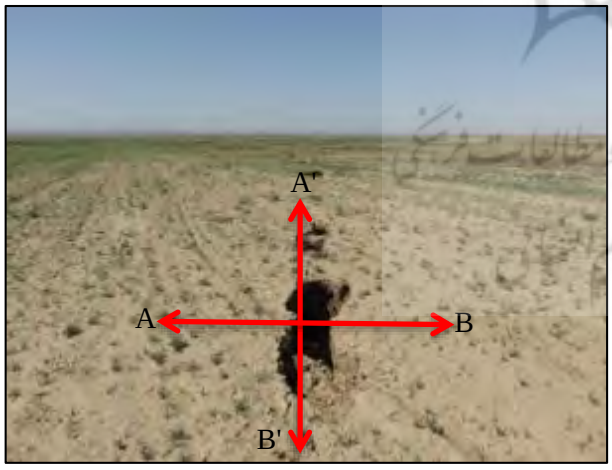
سایر فرم‌های مناطق دارای فرونشست شامل شکاف‌های منفرد و حفره‌های ستاره‌ای‌شکل هر کدام به صورت محدود و در مجاورت اشکال و فرم‌های نام برده شده و منطقه‌ی فرونشست دیده می‌شود.

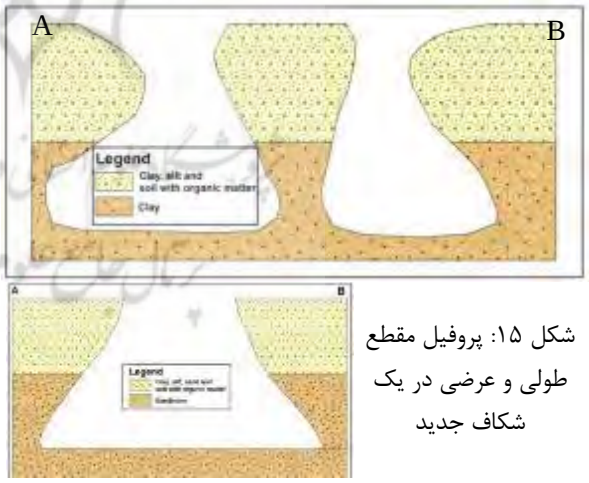


شکل ۱۳: شکاف ایجاد شده و پروفیل مقطع عرضی آن

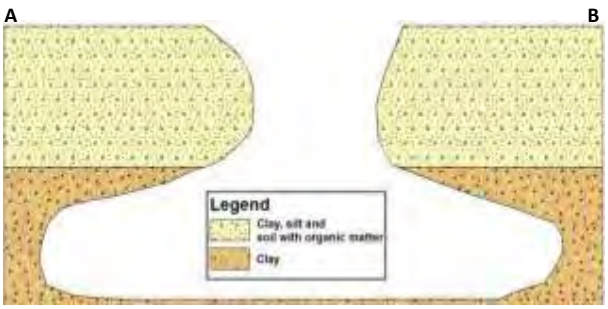


شکل ۱۴: شکاف عمیق و پروفیل مقطع عرضی آن





شکل ۱۵: پروفیل مقطع طولی و عرضی در یک شکاف جدید



شکل ۱۶: پروفیل یک فروچاله در امتداد فروچاله دیگر

علل فرونشست زمین در آب‌خانه‌ی نیشابور تغییر آرایش کانی‌های رسی لایه‌های آبدار ریزدانه و تحکیم آن در اثر افزایش تنش مؤثّر ناشی از افت سطح آب‌های زیرزمینی است. این فرآیند در نهایت کاهش ظرفیت مخازن آب زیرزمینی و نشست زمین را در پی دارد. نشست زمین در این دشت می‌تواند باعث تغیر جهت جریان‌های سطحی و زیرسطحی گردد. تغییر شیب در زمین‌های کشاورزی و ایجاد شیب معکوس کانال‌های کشاورزی در برخی نقاط دشت مشهود می‌باشد که مشکلات عدیده‌ای برای آبیاری کشاورزی سبب شده است. علاوه بر این، نشست زمین در این دشت شکاف‌های بزرگ کششی ایجاد نمونه که طول برخی از آن‌ها به چندین کیلومتر و عمق آن‌ها به بیش از ۱۰ متر می‌رسد. این شکاف‌ها که به آهستگی و در مواردی به‌طور ناگهانی گسترش می‌یابند، بعضاً ترمیم‌ناپذیر، پرهزینه و مخرّب هستند و خسارات عمده‌ای برای تأسیسات سطحی شامل خطوط نفت و گاز و جاده‌ها، خطوط راه‌آهن و دکل‌ها و ابنیه‌ها وارد می‌نمایند. در شکل ۱۷ نمونه‌ای از آسیب این شکاف‌ها در جاده و زمین‌های کشاورزی دشت نیشابور نشان داده شده است.

شکل ۱۷: نمونه از آسیب شکاف‌ها ناشی ار نشست زمین در جاده و زمین‌های کشاورزی دشت نیشابور

۶- نتیجه گیری

یافته‌های این پژوهش مؤیّد کاهش تراز آب زیرزمینی و به تبع آن فرونشست زمین و نقش آن در پیدایش ترک‌ها و شکاف‌ها در دشت نیشابور می‌باشد. تحلیل به عمل آمده بر روی نقشه‌های تراز آب زیرزمینی در ۲۸ سال گذشته نشان-دهنده‌ی میانگین افت سالانه سطح آب زیرزمینی ۰/۲۵ متر در این دشت است. افت آب زیرزمینی منجر به کاهش حجم آب‌خانه و باعث ظهور فروچاله‌ها و ترک‌هایی در نقاطی از دشت نیشابور شده است.

علل فرونشست زمین در آب‌خانه‌ی نیشابور، تغییر آرایش کانی‌های رسی لایه‌های آبدار ریزدانه و تحکیم آن در اثر افزایش تنش مؤثّر ناشی از افت سطح آب‌های زیرزمینی است. این فرآیند در نهایت کاهش ظرفیت مخازن آب زیرزمینی و نشست زمین و ایجاد شکاف را در پی دارد. این شکاف‌ها که به آهستگی و در مواردی به‌طور ناگهانی گسترش می‌یابند، بعضاً ترمیم‌ناپذیر، پرهزینه و مخرّب هستند و خسارات عمده‌ای برای تأسیسات سطحی شامل خطوط نفت و گاز و جاده‌ها، خطوط راه‌آهن و دکل‌ها و ابنیه‌ها وارد می‌نمایند.

مهم‌ترین پیامدهای ژئومورفیک و اشکال ناشی از این فرونشست‌ها به‌ویژه در شمال غرب، جنوب و جنوب‌شرق دشت در پنج گروه دسته‌بندی شده که شامل: شکاف‌های طولی ممتد، شکاف‌های منقطع، حفرات مدوّر، چاله‌های وسیع و فروچاله‌ها بوده که باعث تخریب اراضی کشاورزی و کانال‌های آبیاری، هم‌چنین تغییر شیب زمین در برخی نواحی گردیده است.

شبکه‌های انتقال آب و خطوط انتقال نفت و گاز و سایر تأسیسات عمرانی از جمله خط آهن سراسری تهران به مشهد در مناطقی از دشت در معرض جدّی خطر نشست زمین و شکاف‌های حاصل از آن می‌باشد. کاهش حجم و فضای نگه‌داشت آب از دیگر پیامد های حاصل از فرونشست در دشت‌های تراکمی است. این مشکل غیرقابل جبران بوده و در صورت کاهش برداشت آب زیرزمینی و یا افزایش نزولات جوّی در آینده به دلیل کاهش حجم مخزن، غیرقابل برگشت است و می‌تواند باعث بروز مخاطرات محیطی متعددی در این نواحی گردد. جهت کنترل نشست زمین، مدیریت بهینه‌ی منابع آب زیرزمینی این منطقه ضروری می‌باشد. در این راستا تغییر الگوی کشت و اصلاح سیستم آبیاری سنّتی و استفاده از روش‌های آبیاری مدرن یکی از راه‌کارهایی است که می‌تواند از گسترش تغییرات در سطح دشت، جلوگیری کرده و باعث کاهش خسارت در این ناحیه گردد.

۷- منابع

۱. اسکانی‌کزازی، غلامحسین، حامدی، مریم، لاله سیاه پیرانی، میترا (۱۳۸۹). فرونشست زمین، بحران، ریسک و مدیریت آن، مجموعه مقالات همایش ملی جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر.

۲. افضلی، عباسعلی، شریفی‌کیا، محمد، شایان، سیاوش (۱۳۹۲). ارزیابی آسیب پذیری زیرساخت‌ها و سکونت‌گاه‌ها از پدیده‌ی فرونشست زمین در دامغان، دو فصلنامه‌ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران، سال اوّل، شماره اوّل، صص ۸۵-۷۰.

۳. بهنیافر، ابوالفضل، قنبرزاده، هادی، اشراقی، علی (۱۳۸۹). بررسی عوامل مؤثّر در فرونشست‌های دشت مشهد و پیامدهای ژئومورفیک آن، فصلنامه‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس، سال دوم، شماره‌ی ۵، صص ۱۴۶-۱۳۲.

۴. خلیلی‌زاده، مجتبی، موغلی، مرضیه، سبحانی، عبدالصمد (۱۳۸۷). بررسی نقش مطالعات ژئومرفولوژی در تحلیل هیدروگرافی حوضه‌های آبخیز، فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، سال اوّل، شماره یک، صص ۱۱۸-۱۰۱.

۵. رکنی، جعفر (۱۳۹۰). تأثیر فرایندهای مورفوتکتونیکی در شکل‌گیری مخروط‌افکنه‌های دامنه‌ی جنوبی بینالود، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، صص۱۴۱-۱۱۹.

۶. رنجبر، محسن، جعفری، نسرین (۱۳۸۸). بررسی عوامل مؤثّر در فرونشست زمین دشت اشتهار، فصلنامه‌ی جغرافیا، شماره‌ی ۱۸ و ۱۹، صص ۱۶۶-۱۵۵.

۷. شریفی‌کیا، محمد، مال امیری، نعمت، سیاوشی، شایان (۱۳۹۲). سنجش میزان آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر مخاطره فرونشست زمین (مطالعه‌ی موردی بخشی از جنوب شهر تهران)، مجلّه‌ی جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره‌ی پنجم، صص ۱۰۶-۹۱.

۸. شمشکی، امیر، بلورچی، محمدجواد، انصاری‌مقدم، فرهاد (۱۳۸۴). بررسی فرونشست زمین در دشت تهران- شهریار (گزارش نخست)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، صص ۷۴-۱.

۹. صالحی اسفندرانی، رضا، غفوری، محمد، لشکری‌پور، غلامرضا، دهبان، مریم (۱۳۹۲). بررسی فرونشست دشت مهیار جنوبی، با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، مهندسی آبیاری و آب ایران، دوره‌ی ۳ شماره‌ی ۱۱، صص ۵۷-۴۷.

۱۰. عباس‌نژاد، احمد (۱۳۷۷). بررسی شرایط و مسائل زمین‌شناسی محیط زیست دشت رفسنجان، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، صص ۳۱۰-۳۰۳.

۱۱. کردوانی، پرویز (۱۳۷۴). ژئوهیدرولوژی در جغرافیا، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۱۲. لشکری‌پور، غلامرضا (۱۳۸۷). بررسی نشست زمین در دشت نیشابور و ارتباط با افت سطح آب‌های زیرزمینی، طرح پژوهشی شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۳. لشکری‌پور، غلامرضا، غفوری، محمد، کاظمی‌گلیان، رمضان، دم‌شناس، مهدی (۱۳۸۶). نشست زمین در اثر افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت نیشابور، پنجمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، صص ۱۰۹۲-۱۰۸۲.

۱۴. مصلحی، علی، قاضی فرد، اکبر (۱۳۸۹). بررسی فرونشست زمین و پهنه‌بندی خطر فرونشست در دشت کاشان، همایش ملی عمران و توسعه‌ی پایدار، استهبان: دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان.

۱۵. نامقی، هادی، حسینی، سیدمحمود، شریفی محمدباقر (۱۳۹۲). ارائه‌ی روشی تحلیلی برای تخمین عوامل مؤثّر بر نشست زمین با استفاده از داده های صحرایی و تصاویر InSAR در دشت نیشابور، مجلّه‌ی زمین‌شناسی مهندسی، شماره‌ی ۶، صص ۵۰- ۳۳.

۱۶. ولایتی، سعداله (۱۳۷۸). بررسی عوامل مؤثّر بر تغییرات کیفی آبخوان نیشابور، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۱۴۹، ص ۱۳۴-۱۱۹.

17. Chen, M., Tomás, R., Li, Z., Motagh , M., Li , T., Hu, L., Gong , H., Li, X., Yu, J., Gong, X., (2016). Imaging Land Subsidence Induced by Groundwater Extraction in Beijing (China) Using Satellite Radar Interferometry, Remote Sens, Volume 8(6), 468, doi:10.3390/rs8060468.
18. Galloway, D., Jones, D.R., Ingebritsen, S.E., editors (1999). Land subsidence in the United States, Geological Survey, U.S. Dept. of the Interior, U.S. Geological Survey, 1182, pp.177.
19. Hu, R.L., (2006). Urban land subsidence in China, IAEG, Paper No.786, 8P.
20. Hu, R.L., Yue, Z.Q., Wang, L.C., Wang, S.J., (2004). Review on current status and challenging issues of land subsidence in China, Engineering Geology, Volume 76, pp 65- 77.
21. Lashkaripour, G.R., Ghafoori, M. Mossavi Maddah, S.M., (2014). An investigation on the mechanism of land subsidence in the northwest of mashhad city, NE Iran, Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, Volume (5), Number (3), pp 321-327.
22. Leake, S.A., (2013). URL http://geochange.er.usgs.gov/sw/changes/anthropogenic/subside.
23. Leake, S.A., (2010). Human impacts on the landscape-land subsidence from ground-water. pumping, in Impact of climate change and land use in the southwestern United States: Online.
24. Montgomery, C. W., (1951). Environmental geology, Sixth Edition, McGraw - Hill Companien, pp 239-240.
25. Poland, J.F., ed. (1984). Guidebook to studies of land subsidence due to ground - water withdrawal, Volume 40 of UNESCO, Working Group 8.4, Studied and Reports in Hydrology, Paris, France, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, pp 305.
26. http://geochange.er.usgs.gov/sw/changes/anthropogenic/subside/ Accessed September 29, 2015.
27. http://www.ipgn.ncc.org.ir Accessed September 15, 2013.
28. http://news.moe.org.ir Accessed November 18, 2014.