بررسی فرونشست دشت سمنان ناشی از برداشت آب زیرزمینی

حسین اکبری اریمی[۱]، علی‌اکبر مومنی*[۲] و الهام خراسانی[۳]

۱، ۲- دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود
۳- شرکت آب منطقه‌ای سمنان

نویسنده مسئول:Ali_moomeni@yahoo.com *

دریافت: ۹۷/۱۲/۲۵ پذیرش: ۹۸/۳/۷

چکیده

فرونشست زمین به عنوان یکی از مخاطرات طبیعی بوده که بسیاری از دشت‌های ایران با آن روبرو بوده و باعث تخریب مناطق مسکونی، جاده‌ها، پل‌ها، خطوط انتقال نیرو، زمین‌های کشاورزی، چاه‌ها و پیزومترها شده است. به طور کلی فرونشست ناحیه‌ای متاثر از فعالیت‌های انسانی مانند برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های آب زیرزمینی و شرایط زمین‌شناسی می‌باشد که در صورت بروز می‌تواند آسیب‌های جدی به زیرساخت‌های اقتصادی یک منطقه وارد کند. در چند دهه اخیر توسعه سریع کشاورزی و افزایش نیاز آبی باعث استحصال بی‌رویه و افت سطح آب زیرزمینی در دشت سمنان شده است. در این مقاله نحوه وقوع پدیده فرونشست منطقه‌ای سطح زمین در جنوب و جنوب‌شرق دشت سمنان و پهنه بندی این منطقه از نظر پتانسیل فرونشست زمین، مورد بحث قرار گرفته است. در این پژوهش ابتدا داده‌های مربوط به ۱۸ پیزومتر در طی دوره آماری ۲۴ ساله از اسفند ۱۳۷۲ تا اسفند ۱۳۹۶، برای ترسیم منحنی هم افت و هیدروگراف واحد دشت مورد بررسی قرار گرفته است. هم‌چنین برای تعیین نوع و ضخامت لایه‌های زیرین از داده‌های لاگ پیزومترها، داده‌های مربوط به مطالعات ژئوالکتریک و نقشه زمین‌شناسی استفاده گردیده است. سپس با استفاده از داده‌های منحنی هم‌افت و اطلاعات شرایط لایه‌های زیرسطحی، نقشه پتانسیل فرونشست دشت سمنان تهیه شده است. بررسی‌ها نشان داد که در دوره‌ی مذکور برداشت مداوم از آب زیرزمینی باعث افت ۱۸/۹ متری سطح آب زیرزمینی شده و شرایط را جهت تحکیم میان لایه‌های رسی و فرونشست زمین فراهم کرده است. نقشه پهنه‌بندی خطر رخداد فرونشست نشان می‌دهد که منطقه با پتانسیل بالای فرونشت در این دشت در بخش شمال شرقی دشت و در محدوده جنوب جنوب غربی شهرک صنعتی قرار دارد.

واژه‌های کلیدی: فرونشست زمین، دشت سمنان، افت سطح آب زیرزمینی، سونداژ ژئوالکتریکی

مقدمه

رشد سریع جمعیت و توسعه روزافزون فعالیت‌های اجتماعی، اقتصادی و صنعتی در سال‌های اخیر سبب شده است تا میزان بهره‌برداری از منابع آب به ویژه منابع آب زیرزمینی افزایش پیدا کند. برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به منظور مصارف مختلف کشاورزی، صنعتی و آشامیدنی پیامدهای نامطلوبی را وارد کرده است. از جمله این پیامدها که در اثر برداشت بیش از حد منابع آب و بنابراین افت سطح آب زیرزمینی حادث شده می‌توان به پدیده فرونشست اشاره کرد.

فرونشست زمین[۱] عبارت است از فروریزش یا نشست سطح زمین که به علت‌های متفاوتی در مقیاس بزرگ روی می‌دهد (حداد و خدائیان، ۲۰۰۲). یکی از علل ایجاد فرونشست زمین برداشت بی‌رویه از آبخوان و افت سطح آب است که این پدیده باعث فرونشست زمین به صورت تدریجی در سفره‌های دارای لایه‌های رسی می‌گردد. در اغلب مناطق کشور، به علت فقدان رودخانه‌های دائمی، بخش اعظم نیاز آبی (کشاورزی، صنعت و شرب) از منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود. یکی از مشکلات مهم در ارتباط با برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های زیرزمینی، افت ممتد سطح آب و متراکم شدن لایه‌ها و رسوبات آبخوان است. تراکم آبخوان بر خصوصیات هیدرودینامیکی لایه‌های زمین تاثیر گذاشته و باعث کاهش نفوذپذیری و افت ضریب ذخیره آن خواهد شد. چنین دشت‌هایی مستعدترین مناطق برای وقوع پدیده فرونشست منطقه‌ای سطح زمین می‌باشند. مهم‌ترین علت فرونشست منطقه‌ای سطح زمین در حوضه‌های رسوبی مناطق خشک و نیمه‌خشک، تراکم

[1] Subsidence

سفره‌های آب زیرزمینی در اثر پمپاژ بی‌رویه از این منابع است (پاچکو و همکاران، ۲۰۰۶). این وضعیت به ویژه در جایی که پمپاژ بی‌رویه از سفره‌های آب‌دار ماسه‌ای متخلخل که به صورت بین‌لایه‌ای با لایه‌های آب‌دار رسی نفوذناپذیر قرار دارد بسیار حاد بوده و موجب فرونشست گسترده می‌گردد (لیو و همکاران، ۲۰۰۶). میزان فرونشست زمین برای هر ۱ متر افت سطح آب زیرزمینی معمولا بین ۱ تا ۱۰ سانتی‌متر متغیر است. دامنه این تغییرات به ضخامت و تراکم‌پذیری لایه‌ها، طول زمان بارگذاری، درجه و نوع تنش وارده بستگی دارد (لافگم، ۱۹۶۹).

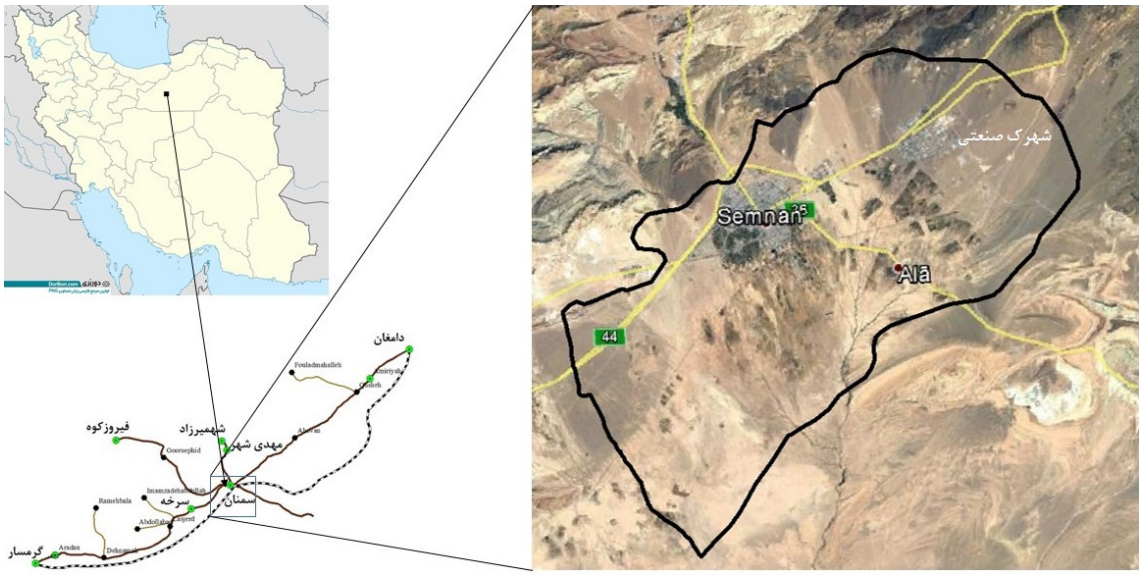
در مقیاس جهانی، خطر فرونشست زمین بر اثر افت سطح آب زیرزمینی در بین سال‌های ۱۹۵۰-۱۹۷۰ که همزمان با صنعتی شدن و رشد شهرنشینی است به اوج خود رسید (والدام، ۱۹۸۹). گزارش‌های متعددی از نقاط خشک و کم باران در سراسر جهان ارائه گردیده است (پاچکو و همکاران، ۲۰۰۶؛ لارسن و همکاران، ۲۰۰۱؛ هو و همکاران، ۲۰۰۲). این پدیده در گذشته در بسیاری از نقاط دنیا مانند مکزیکوسیتی، نقاطی از چین، تایلند، ژاپن، آمریکا (ژئو و اساکی، ۲۰۰۳)، جنوب‌غرب تایوان (چن و همکاران، ۲۰۱۰)، شانگهای چین (رودریگز و همکاران، ۲۰۱۲) و در مناطقی از یونان (نیکوس و همکاران، ۲۰۱۶)، گزارش شده است. نشست منطقه‌ای زمین بر اثر افت سطح آب‌های زیرزمینی در ایران برای اولین بار در سال ۱۳۴۶ در دشت رفسنجان گزارش گردید. میزان نشست به ازای هر متر افت سطح آب‌های زیرزمینی در این دشت بین ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است (عباس‌نژاد، ۱۳۷۷). در این دشت در طول ۳۰ سال (از ۱۹۶۹ تا سال ۱۹۹۹) تعداد چاه‌ها از ۲۰۹ حلقه به ۱۷۹۸ حلقه و میزان برداشت سالانه آب از ۱۴۹ به ۸۳۹ میلیون متر مکعب رسیده است. این برداشت بی‌رویه سبب افت حدود ۲۵ متری سطح آب شده است. در این مدت میزان فرونشست زمین حدود ۱۰ درصد افت سطح آب‌های زیرزمینی گزارش شده است (موسوی و همکاران، ۲۰۰۱). در سال‌های اخیر، فرونشست زمین در دشت‌های زیادی از نقاط خشک و نیمه‌خشک ایران مرکزی و شرق ایران همراه با افت ممتد سطح آب زیرزمینی در اثر پمپاژ بی‌رویه آب جهت مصارف کشاورزی گزارش شده است. آمار دشت‌های کشور که در آن نشست زمین مشاهده شده شامل ۲۰۹ می‌باشد. از جمله این دشت‌ها می‌توان به دشت کاشمر در استان خراسان رضوی (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۸)، دشت اسدآباد در استان همدان (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۶)، دشت بهاباد (شیرافکن و جعفری، ۱۳۹۲)، دشت فامنین همدان (خانلری و همکاران، ۲۰۱۲)، دشت مشهد (موسوی مداح و همکاران، ۱۳۹۲)، دشت تهران (کشاورز بخشایش و همکاران، ۱۳۹۳) دشت مرودشت (میراثی و رهنما ، ۱۳۹۵)، دشت رفسنجان (سلیمانی و مرتضوی، ۲۰۰۸)، جنوب تهران (محمودپور همکاران، ۲۰۱۶) و دشت مهیار در اصفهان (داوودی جم و همکاران، ۲۰۱۵) را نام برد.

مشخصات جغرافیایی، اقلیمی و زمین‌شناسی منطقه

شهرستان سمنان دارای مساحتی در حدود ۲۲۱۲۰ کیلومتر مربع بوده که از غرب به شهرستان گرمسار و بخش فیروزکوه، از شرق به شهرستان دامغان، از جنوب به کویر مرکزی و به شهرستان نائین (استان اصفهان) و از شمال به شهرستان کیاسر (استان مازندران) محدود می‌گردد. محدوده مورد مطالعه دشت سمنان بوده که در بخش جنوبی تا شرقی این شهرستان قرار دارد (شکل ۱). در این منطقه با توجه به وضعیت دمایی و بارشی موجود، می‌توان اقلیم این ناحیه را خشک و نیمه‌خشک دانست. در بررسی وضعیت اقلیمی منطقه، می‌توان به دو دوره کاملا متفاوت و مجزای سرد و گرم پی برد، به طوری که دوره سرد نسبتا کوتاه، شامل ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند، و دوره‌های گرم شامل بقیه‌ی ماه‌های سال می‌باشد. با این وجود فصل خشک و تقریبا فاقد بارش قابل‌توجه منطقه مطبق بر تابستان و ماه‌های گرم سال، و فصل بارش منطبق بر زمستان و ایام سرد سال می‌باشد (محمد علیزاده رفیع، ۱۳۸۷).

دشت سمنان در یال جنوبی رشته کوه البرز و شمال کویر بزرگ ایران واقع شده است. بنابراین از نقطه نظر زمین‌شناسی به زون‌های ساختاری البرز و ایران مرکزی تعلق دارد. منطقه‌ی مورد مطالعه در یک منطقه‌ی فعال تکتونیکی واقع شده است. مهم‌ترین خصوصیات تکتونیکی آن برتری گسلش بر چین‌خوردگی است. همان

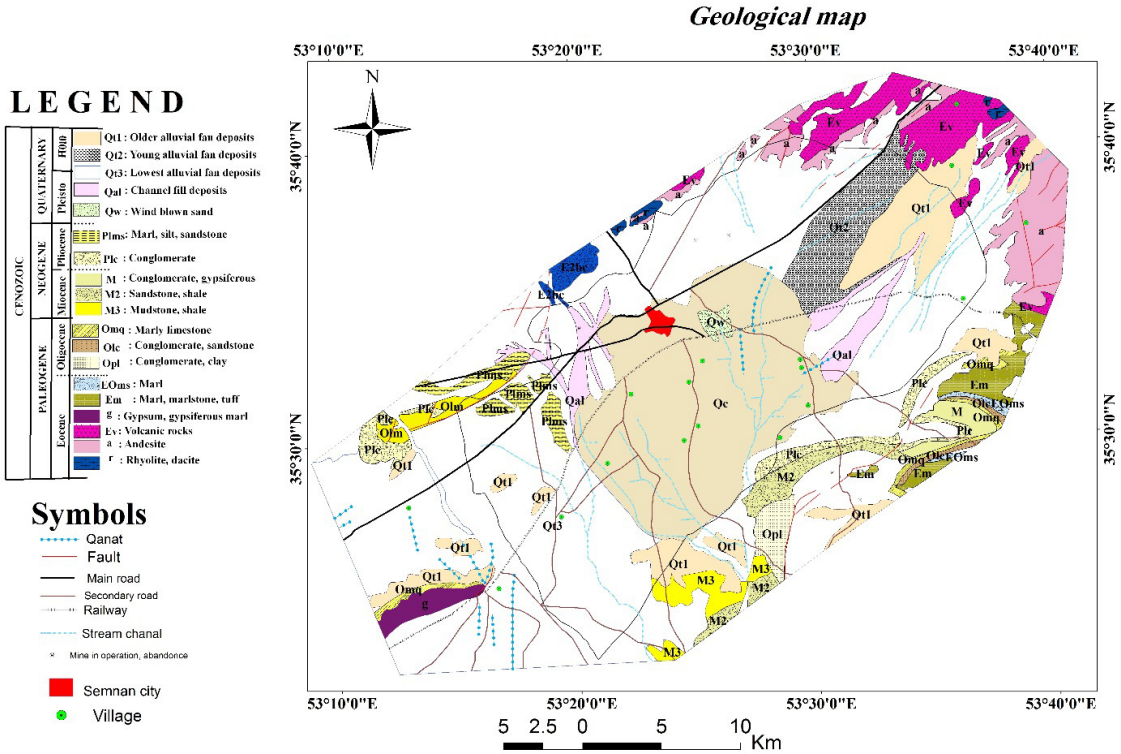
طور که در شکل ۲ دیده می‌شود بخش شمالی دشت را کوه‌های البرز شرقی احاطه کرده که عمدتا متعلق به سازند کرج بوده و از سنگ‌های ولکانیکی (آندزیت و ریولیت) و آذراواری ائوسن تشکیل شده‌اند. بخش جنوبی دشت به لحاظ ساختاری متعلق به ایران مرکزی بوده و رخنمون‌های سنگی آن غالبا از سازندهای قرمز بالایی و قم با لیتولوژی اصلی مارن، شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا می‌باشد. جنس و دانه‌بندی رسوبات در نقاط مختلف وابسته به نوع و شدت فرسایش‌پذیری واحدهای سنگی ارتفاعات و مسافت حمل شده در دشت می‌باشد. بررسی وضعیت ژئومورفولوژی منطقه نشان می‌دهد که شیب دشت از شمال به جنوب تا شمال شرقی به جنوب غربی بوده و جریان‌های فصلی که از ارتفاعات شمالی و شمال شرقی به دشت وارد شده باعث تشکیل مخروط‌افکنه و ته‌نشست رسوبات درشت دانه در بخش‌های شمالی و شرقی شده است و با افزایش فاصله و حرکت به سمت جنوب رسوبات ریزدانه‌تر می‌شوند. حداکثر ضخامت رسوبات آبرفتی حدود ۲۸۰ متر مشاهده شده است. بر اساس مشاهدات زمین‌شناسی به نظر می‌رسد که سنگ کف دشت از مارن‌های میوسن می‌باشد که در بخش شمالی به سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و توف‌های ائوسن تبدیل شده و در سمت غرب به وسیله‌ی کنگلومرایی ائوسن جایگزین می‌شوند.



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی و راه‌های دسترسی به دشت سمنان

مواد و روش‌ها

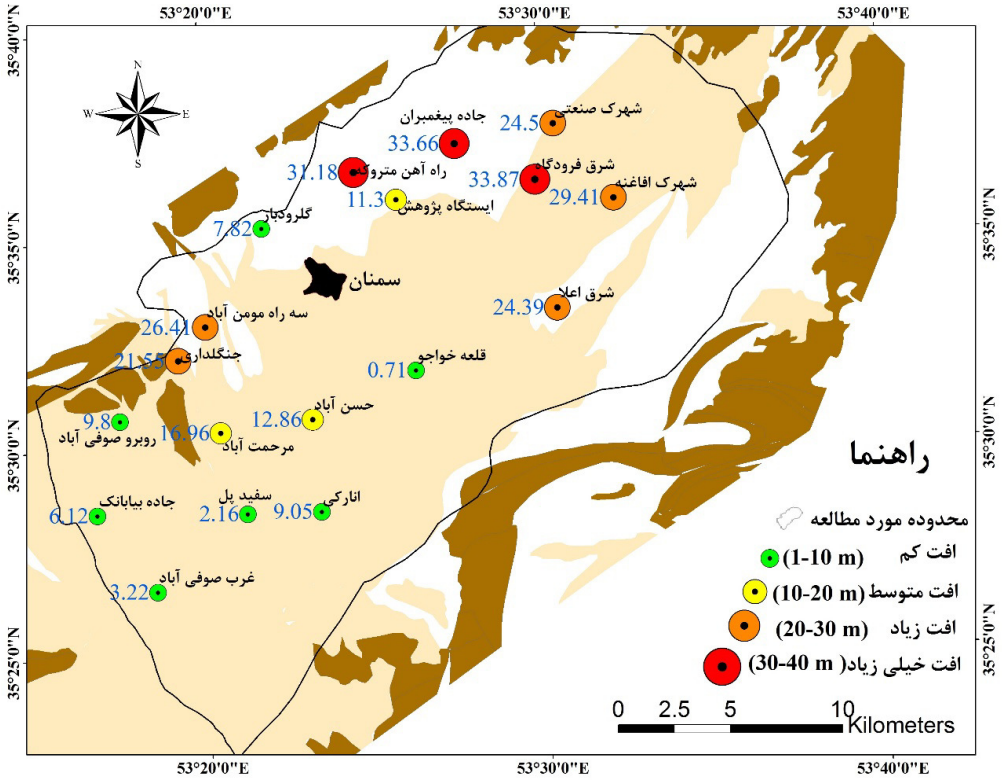
ارزیابی نشست ناحیه‌ای مرتبط با افت سطح آب زیرزمینی معمولا بر اساس دو متغیر اصلی شامل چگونگی و کمیت افت سطح ایستابی در بخش‌های مختلف دشت و شرایط زمین‌شناسی زیرسطحی در دشت، استوار است. به منظور بررسی میزان افت سطح آب زیرزمینی دشت از داده‌های اندازه‌گیری شده طی سال‌های ۱۳۹۶-۱۳۷۲ استفاده شده و کل سطح ایستابی در ۱۸ پیزومتر تعیین شده است. افت کل در محل پیزومترها در جدول (۱) و شکل (۳) ارائه شده است. هم‌چنین با استفاده از اطلاعات پیزومترها در طی دوره ۲۴ سال هیدروگراف واحد دشت و منحنی هم‌افت نیز برای دشت سمنان ترسیم گردیده است. به منظور تهیه نقشه تغییرات ضخامت آبرفت، با استفاده از بازدیدهای صحرایی، لاگ پیزومترها، چاه‌ها و گمانه‌های موجود و سونداژهای ژئوالکتریک انجام شده در نقاط مختلف دشت (مهندسین مشاور سازند آب پارس، ۱۳۸۸) و تلفیق این داده‌ها، ضخامت و نوع آبرفت در دشت تعیین گردیده است. به منظور نشان دادن تغییرات ضخامت و جنس لایه‌ها در دشت از دو مقطع زمین شناسی به نام های AA’ با راستای شمال‌شرقی – جنوب غربی و مقاطع BB’ با راستای شمال‌غربی به جنوب شرقی دشت تهیه گردیده است (شکل ۴).



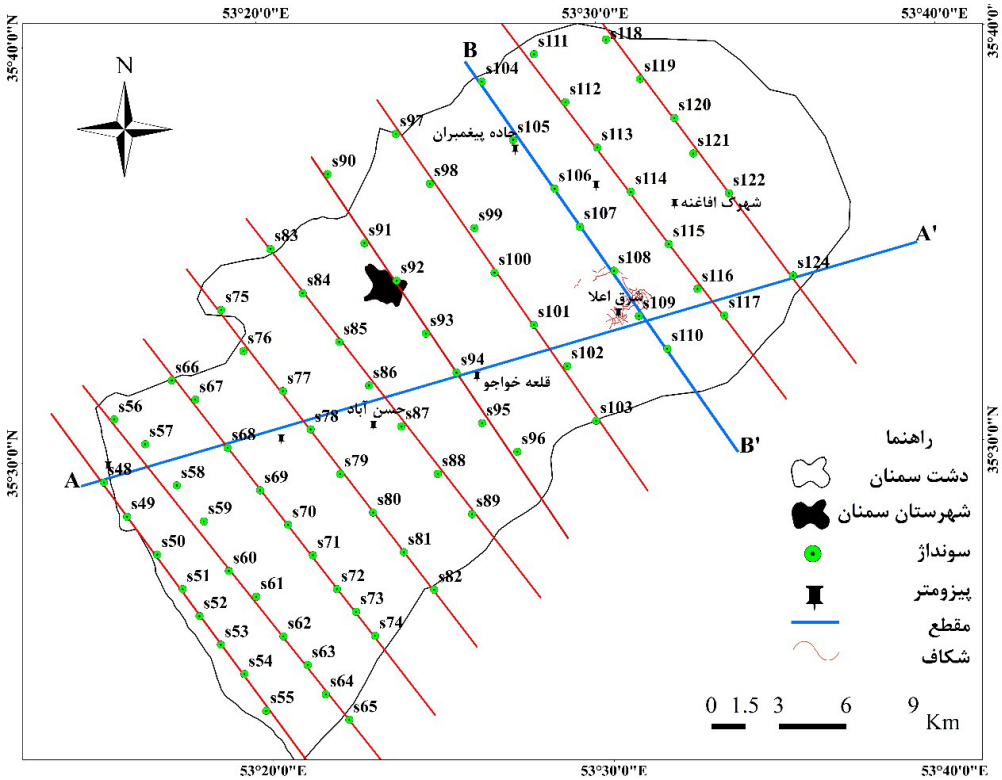
شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ سمنان (حدادان و همکاران، ۱۹۹۴)

جدول ۱. افت سالانه سطح ایستابی در پیزومترهای دشت سمنان (آب منطقه ای سمنان)

نام پیزومتر	دوره آماری	مقدار افت کل (m)	متوسط افت سالانه (m)
غرب صوفی آباد	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۳/۲۲	۰/۱۳
جاده بیابانک	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۶/۲	۰/۲۵
روبه رو جاده صوفی آباد	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۹/۸	۰/۴۰
مرحمت آباد	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۱۶/۹۶	۰/۷۰
سفید پل	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۲/۱۶	۰/۰۹
انارکی	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۹/۰۵	۰/۳۷
حسن آباد	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۱۲/۸۶	۰/۵۳
جنگلداری	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۲۱/۵۵	۰/۸۹
سه راه مومن آباد	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۲۶/۴۱	۱/۱۰
گلرودبار	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۷/۸۲	۰/۳۲
راه آهن متروکه	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۳۱/۱۸	۱/۲۹
ایستگاه پژوهش	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۱۱/۳	۰/۴۷
شرق اعلا	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۲۴/۳۹	۱/۰۱
جاده پیغمبران	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۳۳/۶۶	۱/۴۰
شرق فرودگاه	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۳۳/۸۷	۱/۴۰
شهرک افاغنه	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۲۹/۴۱	۱/۲۲
قلعه خواجو	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۰/۷۶	۰/۰۳
شهرک صنعتی	۱۳۷۲-۱۳۹۶	۲۴/۵	۱/۰۲



شکل ۳. پراکنندگی پیزومترهای موجود در دشت و میزان افت کل در محل پیزومترها در طی ۲۴ سال مورد مطالعه



شکل ۴. نقشه پلان مقاطع سوندآژهای ژئوالکتریکی برداشت شده در دشت سمنان (مهندسین مشاور سازند آب پارس، ۱۳۸۸)

نتایج و بحث

بررسی وضعیت افت سطح آب زیرزمینی

هیدروگراف واحد دشت منحنی است که نشان‌دهنده میانگین تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت در بازه زمانی مشخص می‌باشد. هیدروگراف واحد دشت سمنان بر مبنای پیزومترهای فعال و شبکه تیسن طی دوره ۲۴ سال آبی (اسفند۱۳۷۲ تا اسفند ۱۳۹۶) ترسیم و در شکل (۵) ارائه شده است. هیدروگراف واحد دشت سمنان نشان می‌دهد تراز آب زیرزمینی دشت طی دوره ۲۴ ساله، دارای روند نزولی است. با توجه به هیدروگراف واحد، متوسط تراز آب در اسفند ۱۳۷۲برابر با ۱۰۴۴/۵ متر که با ۱۸/۸۹ متر کاهش به مقدار ۱۰۲۶/۶۱ متر در اسفند ۱۳۹۶ رسیده است. بنابراین افت متوسط سالیانه تراز آب طی دوره ۲۴ ساله برابر با ۱۸/۸۹ متر است که گویای کاهش ذخیره سفره آب زیرزمینی و بیلان منفی دشت می‌باشد.

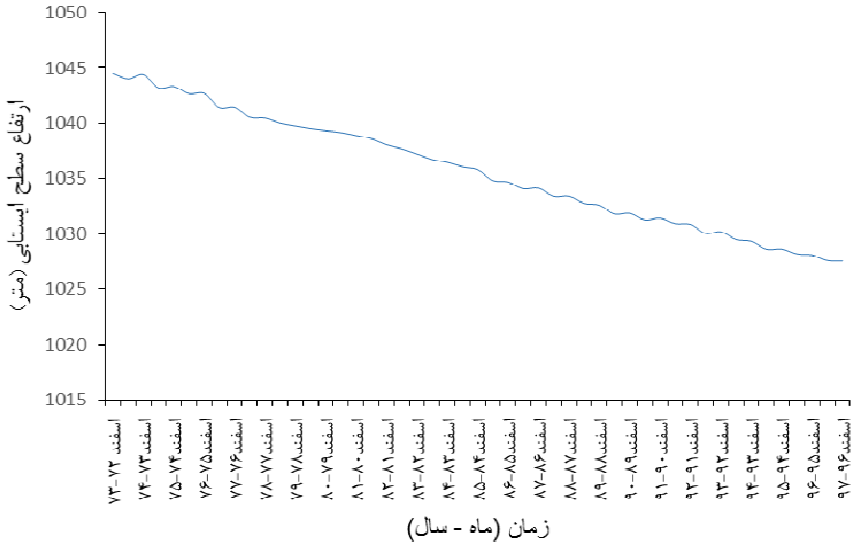
هیدروگراف واحد دشت نشان از افت ۱۸/۹ متری سطح آب در دشت دارد ولی میزان افت در بخش‌های مختلف دشت مشابه نمی‌باشد. به منظور بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت سمنان، نقشه هم‌افت ۲۴ ساله (اسفند ۱۳۷۲ تا اسفند ۱۳۹۶) بر مبنای ۱۸پیزومتر ترسیم شده و بصورت نقشه پهنه‌بندی شده افت سطح آب زیرزمینی در شکل ۶ ارائه گردیده است. با توجه به نقشه هم‌افت ۲۴ ساله دشت، در قسمت شمال‌شرقی دشت که تمرکز چاه‌های کشاورزی بالایی نیز دارد، بیش‌ترین میزان افت مشاهده شده که مقدار بیشنه آن در پیزمتر شرق فرودگاه با ۳۳/۸۷ متر افت بدست آمده است. روند افت سطح آب زیرزمینی به سمت جنوب دشت کاهش می‌یابد و به افت کمتر ۱ متر می‌رسد. به عبارتی هر چه از قسمت شرقی دشت به سمت قسمت غربی دشت می‌رویم مقدار منحنی هم‌افت کاهش می‌یابد. در قسمت غربی دشت در محل پیزومترهای غرب صوفی آباد، قلعه خواجو و سفید پل کمترین افت را نشان می‌دهد که ناشی از تعداد کم چاه‌های بهره‌برداری به دلیل نبود آبخوان مناسب و ریز دانه بودن رسوبات زیر سطحی و کیفیت بد (EC بالا) آب‌های موجود در این منطقه می‌باشد. در محدوده پایین شهر سمنان افت سطح آب زیرزمینی کم بوده این درحالی است که محدوده‌های مجاور این بخش در بخش شرقی و غربی افت قابل‌ملاحظه‌ای را نشان می‌دهند. علت این کاهش افت سطح آب زیرزمینی در بخش جنوبی شهر سمنان را می‌توان به تغذیه بالای این منطقه از طریق فاضلاب شهری که عمدتا به وسیله چاه‌های جذبی حفاری شده در خانه‌ها صورت می‌گیرد، مرتبط دانست. با توجه به مقادیر افت محاسبه شده طی دوره ۲۴ ساله در ۱۸ پیزومتر از اسفند ۱۳۷۲ تا اسفند ۱۳۹۶ متوسط افت در قسمت شرقی دشت بر مبنای پیزومترهای شرق اعلا، شهرک افاغنه، شرق فرودگاه، جاده پیغمبران برابر با ۳۰/۳ متر و در سمت شمالی دشت بر مبنای پیزومترهای ایستگاه پژوهش، راه‌آهن متروکه، گلرودبار، سه راه مومن‌آباد و جنگلداری برابر ۶۵/ ۱۹متر می‌باشد. متوسط افت دوره مزبور در دشت اصلی بر مبنای ۱۸ حلقه پیزومتر ۱۸/۹ متر محاسبه گردیده است.

افت سطح آب‌های زیرزمینی یا به عبارت دیگر کاهش وزن اشباع آبخوان سبب افزایش فشار بین دانه‌ای (تنش موثر) در خاک می‌گردد (مودونی و همکاران، ۲۰۱۳). نتیجه این افزایش فشار دانه‌ای (افزایش تنش موثر) سبب تراکم لایه‌های تراکم‌پذیر خاک و در نهایت نشست ماندگار و غیرقابل برگشت زمین می‌گردد. این نشست تحکیمی زمان بر بوده و به آهستگی به وقوع پیوسته و در اثر آن زهکشی آب از لایه ریزدانه به دلیل افت فشار هیدرولیکی انجام می‌پذیرد. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، در چنین شرایطی یک تراکم پلاستیک به دلیل افزایش تنش موثر در خاک رخ داده و باعث تغییر آرایش ذرات خاک ریزدانه شده و چیدمان جدید باعث کاهش حجم و ضخامت عمودی لایه‌ها و در نهایت نشست می‌گردد (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۸).

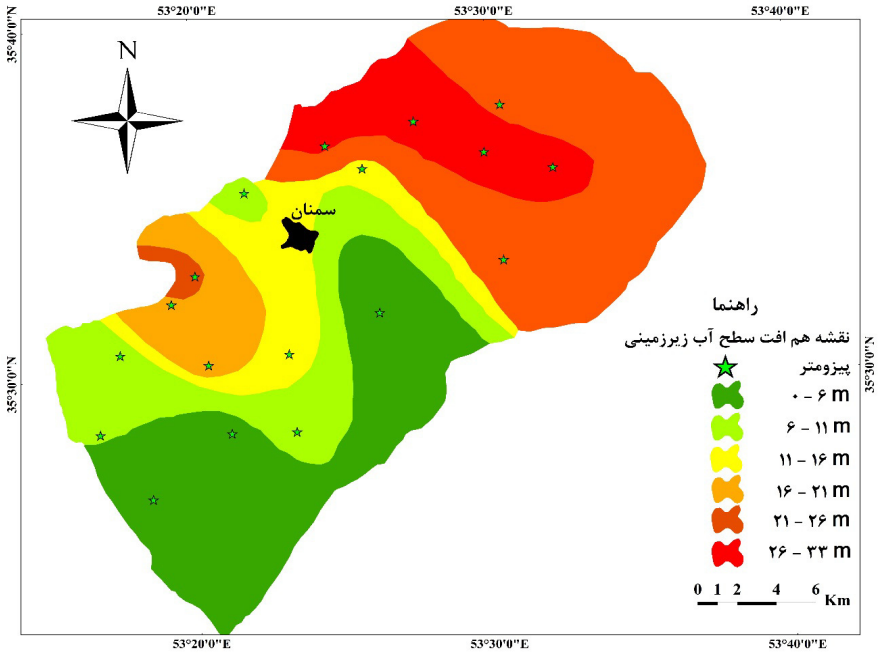
بررسی وضعیت دانه‌بندی و ضخامت رسوبات در دشت سمنان

تغییرات ضخامت و دانه‌بندی رسوبات و جنس و عمق سنگ کف در منطقه در راستای دو نیمرخ در شکل ۸ نشان داده شده است. بررسی اندازه رسوبات دشت بیانگر این مطلب است که در مقطع 'AA جنس سنگ بستر از سنگ‌های آتشفشانی، مارن و آهک تشکیل شده است. قسمت شمال‌شرقی دشت لایه‌ی سطحی متشکل از رسوبات مخروط‌افکنه‌ای درشت دانه که بیش‌تر از شن، ماسه قلوه‌سنگ‌دار تشکیل شده پوشش داده شده است.

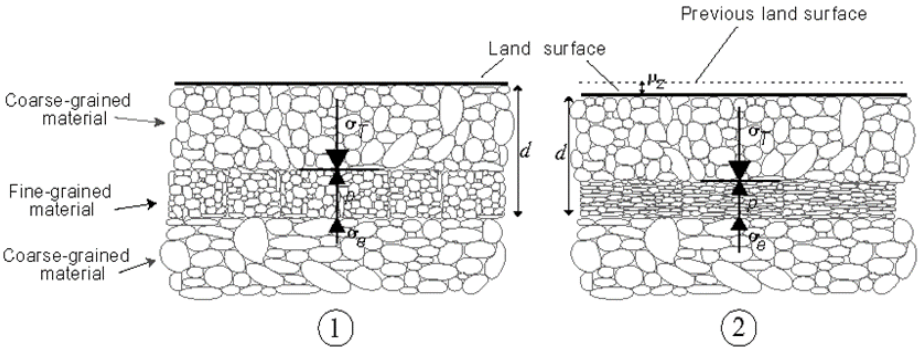
پس از این بخش درشت‌دانه، رسوبات ریزدانه و متوسط دانه قرار داشته که در زیر آن‌ها سنگ بستر آتشفشانی قرار دارد. از این بخش هرچه به سمت مرکز دشت می‌رویم ضخامت لایه‌های ریزدانه به طور کلی بیش‌تر می‌شود. سطح ایستابی در این بخش در سال ۱۳۷۲ تماما در لایه رسی قرار داشته و با افزایش افت در سال ۱۳۹۶ بخشی از آن وارد لایه متوسط دانه شده است. در بخش جنوب غربی دشت (A) رسوبات سطحی درشت دانه بوده که پس از عبور از لایه متوسط دانه دوباره درشت دانه می‌شوند. سنگ کف در این بخش در عمق کمتری واقع بوده و از نوع مارن تا آهک سازند قرمز بالایی می‌باشد. سطح آب زیرزمینی در این بخش عمدتا در سنگ بستر قرار داشته و بنابراین پتانسیل نشست آن کمتر خواهد بود. در واقع عملا فقط لایه‌های مارنی و شیلی پتانسیل نشست داشته و سنگ‌های دیگر عملا نشست نمی‌یابند.



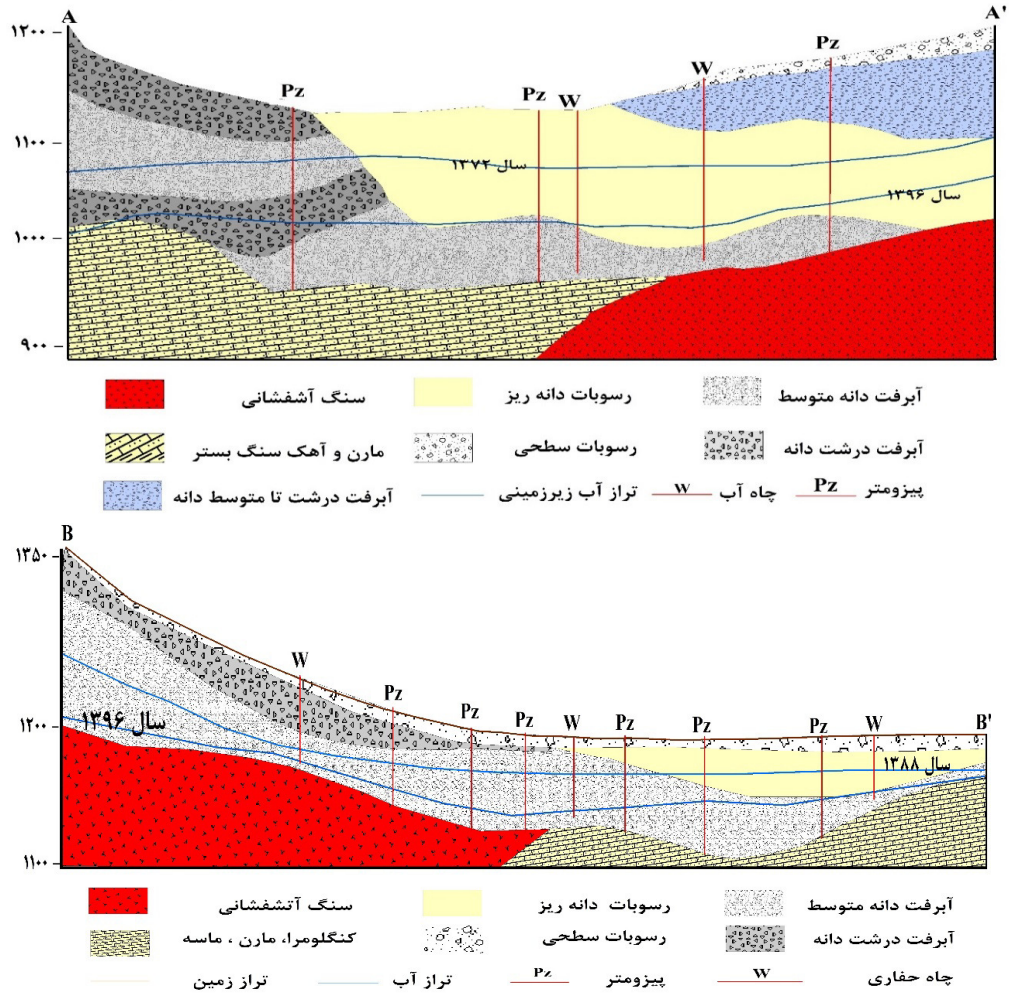
شکل ۵. نمودار هیدروگراف واحد دشت سمنان بین سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶



شکل ۶. نقشه افت سطح آب زیرزمینی (هم‌افت) طی دوره ۲۴ ساله مورد مطالعه در دشت



شکل ۷. کاهش حجم لایه ریزدانه در اثر زهکشی، ۱- قبل از زهکشی و ۲- بعد از زهکشی (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۸۸)



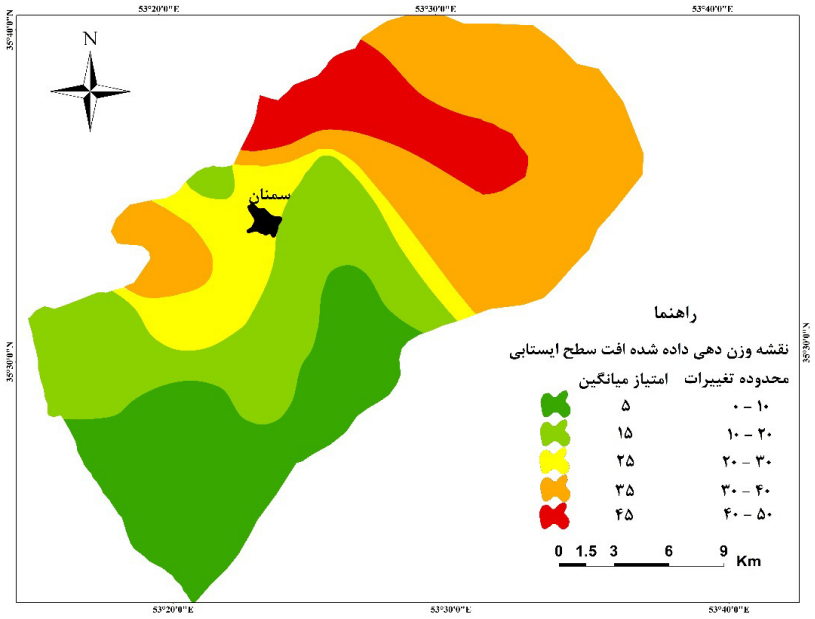
شکل ۸. مقطع زمین‌شناسی AA' با راستای شمال‌شرق – جنوب‌غرب و مقطع زمین‌شناسی BB' با راستای شمال‌غرب – جنوب‌شرق در دشت سمنان

بررسی مقطع BB' نشان می‌دهد که در بخش‌های شمالی دشت رسوبات ریزدانه‌ای که پتانسیل نشست دارند عملا وجود نداشته و توالی رسوبات به این صورت است که پس از عبور از یک بخش خاک سطحی درشت دانه کوهرفتی، آبرفت درشت دانه حضور داشته که پس از این بخش درشت دانه آبرفتی، ضخامت قابل‌توجه‌ای از آبرفت متوسط دانه قرار دارد. این توالی رسوبی بر روی سنگ بستر آتشفشانی ائوسن قرار دارند. تغییرات رسوبات در طول این مقطع نشان می‌دهد که با حرکت از شمال غرب به جنوب شرق (B به B') آبرفت درشت دانه ناشی از

سیلاب‌های فصلی حذف شده و به جای آن یک بخش ریزدانه در بخش‌های جنوبی نمایان می‌گردد. سنگ کف آتشفشانی ائوسن (سازند کرج) خود را به توالی مارن، کنگلومرا و ماسه‌سنگ سازند قرمز بالایی و قم می‌دهد. به علاوه سنگ کف در این بخش دارای ناهمواری قابل‌توجه‌ای بوده و باعث گردیده که ضخامت رسوبات در بخش جنوبی کم و زیاد گردد. بررسی تغییرات سطح ایستابی نشان می‌دهد که میزان تغییرات در بخش شمالی خیلی بیش‌تر از بخش جنوبی بوده است. با این وجود عدم حضور رسوبات ریزدانه از یک طرف و مقاوم بودن سنگ بستر آتشفشانی از طرف دیگر باعث می‌گردد که علی رغم افت قابل‌توجه در این بخش، نشست قابل ملاحظه‌ای اتفاق نیفتد. در بخش جنوبی علی‌رغم افت کم سطح آب زیرزمینی، وجود لایه‌های مارنی در سنگ بستر و رسوبات ریز تا متوسط دانه باعث می‌گردد که نشست تحکیمی این بخش بیش از بخش شمالی باشد. قسمت مرکزی دشت شامل رسوبات دانه‌ریز و رسوبات دانه متوسط آب داری بوده که بخش اعظمی از دشت را دربرمی‌گیرد.

نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست سطح زمین

به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین در دشت سمنان، از نقشه‌ی هم‌افت سطح آب زیرزمینی و نقشه‌ی لیتولوژی دشت سمنان به عنوان نقشه‌های ورودی و از نرم‌افزار Arc GIS برای پردازش آن‌ها استفاده شده است. برای همسان‌سازی امتیاز ناشی آب زیرزمینی با امتیاز لیتولوژی محدوده‌های تغییرات افت سطح ایستابی در ضریب یک و نیم ضرب شد. در ادامه با توجه به داده‌های وزن‌دهی شده افت سطح ایستابی در محل پیزومترها، نقشه‌ی وزن‌دهی شده افت سطح آب زیرزمینی دوباره ترسیم و از طریق ابزار Reclassify به ۵ رده با محدوده تغییرات ۱۰ متری تقسیم گردید. در نهایت به منظور استفاده از این نقشه برای پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین، به هر کدام از این ۵ رده امتیازی برابر با میانگین محدوده تغییرات آن رده داده شد تا عملا نقشه کیفی افت سطح ایستابی به صورت کمی و قابل استفاده در همپوشانی لایه‌ها شود (شکل ۹).

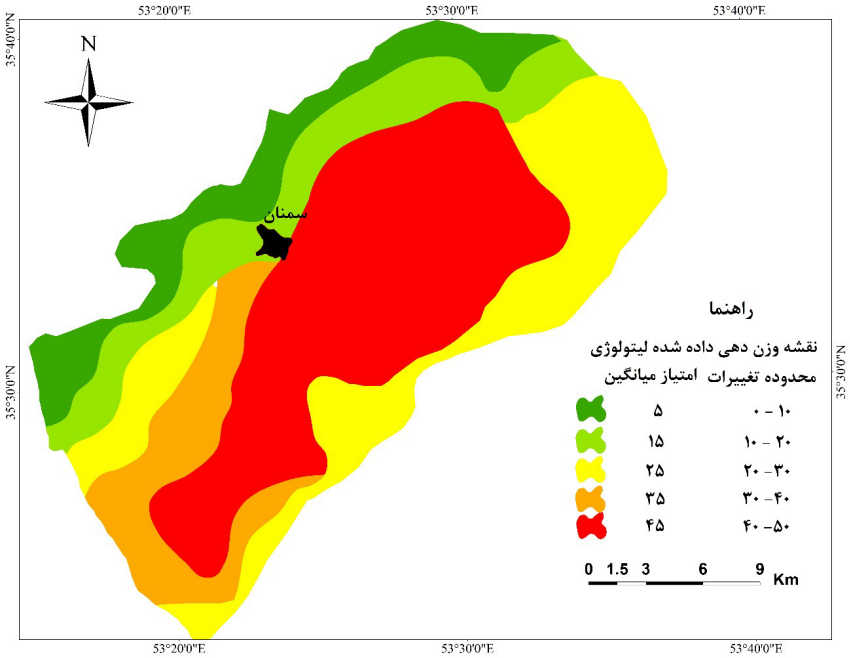


شکل ۹. نقشه زون‌بندی افت سطح آب زیرزمینی

همان‌طور که گفته شده نشست مسئله‌دار مرتبط با افزایش فشار ناشی از افت سطح ایستابی مربوط به نشست تحکیمی خاک‌های ریزدانه می‌باشد. از طرفی لایه‌های متاثر از این افزایش فشار لایه‌هایی هستند که قبلا زیر سطح ایستابی بوده‌اند. بنابراین لایه‌های بالای سطح ایستابی حتی اگر ریزدانه هم باشند تحت تاثیر این افزایش تنش قرار نمی‌گیرند. در این پژوهش خط مبنا سطح ایستابی در سال ۱۳۷۲ در نظر گرفته شده است و به لایه‌های زیر سطح ایستابی بسته به نوع هر لایه یک امتیازی داده شده است. برای لایه ریزدانه امتیاز ۰/۷،

متوسط دانه امتیاز ۰/۵، مارن و شیل ۰/۴، درشت دانه، آهک، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سنگ‌های آتشفشانی به همراه آبرفت درشت دانه امتیاز صفر در نظر گرفته شده و در محل هر سونداژ ضخامت هر لایه زیر سطح ایستابی اولیه در امتیاز مربوط ضرب شده و مجموع این امتیازها به عنوان امتیاز نهایی آن نقطه در نظر گرفته شد. در نهایت برای تمامی نقاط نشان داده شده در شکل ۴، یک امتیاز به عنوان امتیاز نهایی آن نقطه گزارش شده است. برای پهنه‌بندی دشت از نظر پتانسیل وقوع نشست با توجه به شرایط زمین‌شناسی، حداکثر و حداقل امتیاز بدست آمده از هم کسر گردید تا دامنه تغییرات امتیازات لیتولوژی بدست آید و سپس از طریق ابزار کلاس‌بندی، دشت سمنان و به ۵ رده تقسیم شد. برای جمع کردن امتیاز شرایط زمین‌شناسی با افت سطح آب زیرزمینی مشابه با نقشه قبلی متوسط هر رده لیتولوژیکی به عنوان امتیاز آن محدوده در نظر گرفته شد (شکل ۱۰).

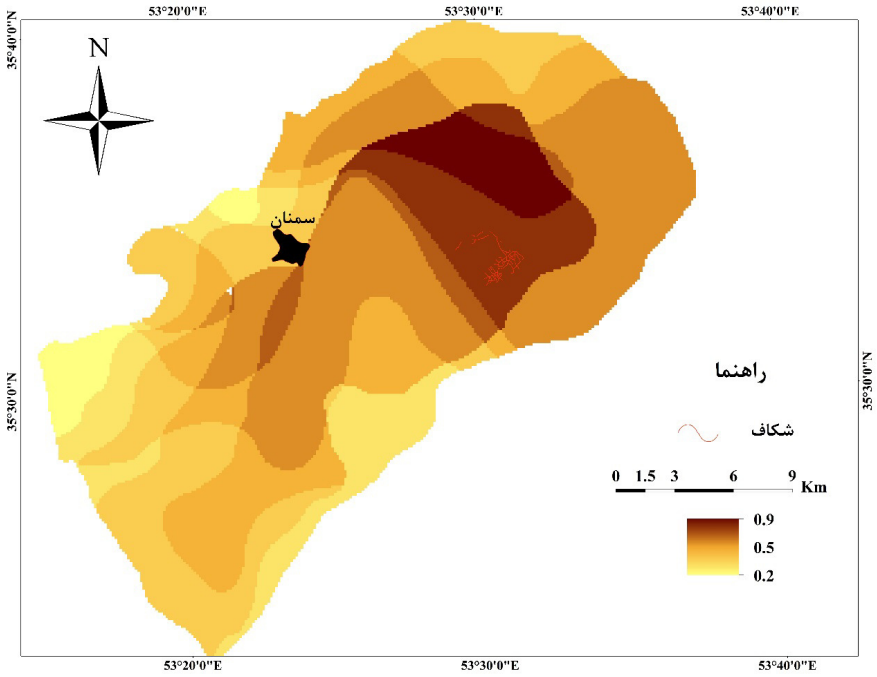
در انتها برای هم‌پوشانی نقشه‌ی افت سطح آب زیرزمینی و نقشه لیتولوژی از ابزار Weighted Sum استفاده شد و نقشه‌های وزن داده شده افت سطح ایستابی و شرایط لیتولوژیکی با یکدیگر جمع شد و نقشه‌ی پتانسیل خطر فرونشت تهیه شد (شکل ۱۱). نقاط دارای امتیاز بیش‌تر پتانسیل فرونشست بیش‌تری دارند. همانطور که در این شکل دیده می‌شود در حد فاصل بین پیزومترهای شهرک افاغنه، شرق فرودگاه و در جنوب جاده پیغمبران بیش‌ترین پتانسیل فرونشست وجود دارد. محدود بعدی پتانسیل فرونشست در حوالی محدوده اول بوده و قسمت‌های نظیر روستای اعلا، شرق پیزومتر ایستگاه پژوهش و اطراف شهرک صنعتی را پوشش می‌دهد. بررسی رشد لوله جدار پیزومتر شرق اعلا به عنوان شاهد صحرایی نشست در این محدوده نشان می‌دهد که نشستی بیش از ۳۰ سانتی‌متر در آن رخ داده است (شکل ۱۲). یک محدود با خطر نشست نسبتا بالا در بخش غربی دشت و محدوده بین روستاهای حسن‌آباد، مرحمت آباد و سه راه مومن آباد دیده می‌شود. بقیه مناطق پتانسیل فرونشست محدودی دارند.



شکل ۱۰. نقشه زون‌بندی شرایط لیتولوژی دشت سمنان

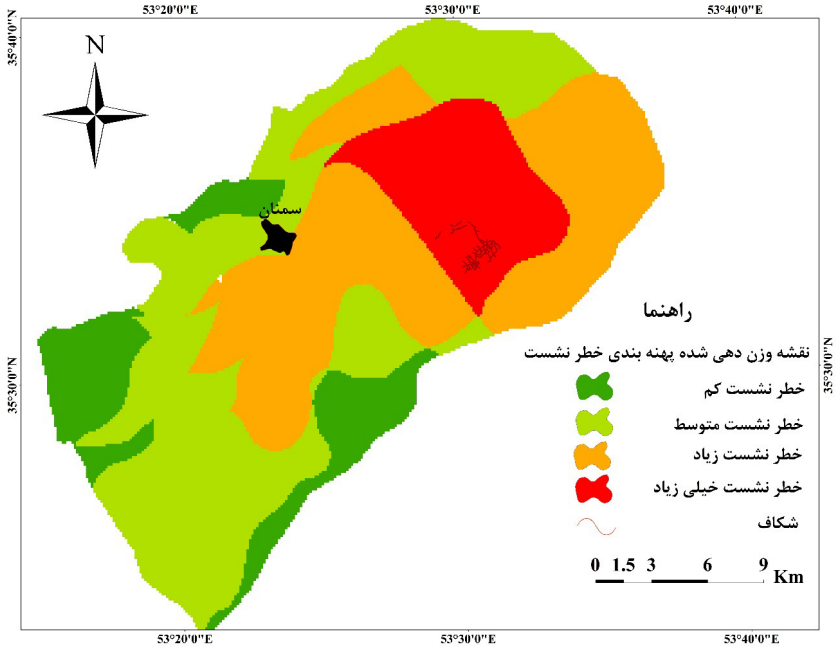
در نهایت به منظور ترسیم نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست، محدوده تغییرات امتیازهای بدست آمده در شکل ۱۱ محاسبه شد و این محدوده تغییرات از طریق ابزار کلاس‌بندی مجدد به ۵ محدوده تبدیل گردید. با توجه به نقشه‌ی بدست آمده پهنه‌بندی خطر نشست سطح زمین در دشت سمنان (شکل ۱۳)، بیش‌ترین مقدار پتانسیل نشست در بخش شرقی شهر سمنان بوده و عناصر ریسک‌پذیر نظیر خطوط انتقال نیرو، خطوط ارتباطی و روستاهای واقع در این بخش دچار مشکلاتی شده یا خواهند شد. و نکته قابل توجه پتانسیل فرونشست

خود شهر سمنان بوده که در رده متوسط قرار دارد. درشت بودن رسوبات زیرسطحی و عدم افت قابل‌توجه سطح ایستابی در زیر شهر سمنان منجر شده که این منطقه پر ریسک در رده خطر متوسط قرار بگیرد. مطابق با این نقشه توسعه شهری در آینده برای شهر سمنان در جهت جنوب و شرق ریسک بلاتری داشته و در صورت مهیا بودن شرایط مورفولوژیکی و فنی، توسعه شهر به سمت شمال توصیه می‌گردد. مناطق مرکزی تا جنوبی دشت نیز علی رغم مهیا بودن شرایط زمین‌شناسی، دچار افت قابل‌ملاحظه سطح ایستابی و به تبع آن افزایش تنش موثر نشده‌اند و در نتیجه خطر نشست زمین در آنجا نیز کم می‌باشند. در قسمت‌های غرب و جنوب غربی دشت سمنان با توجه به این که در این مناطق میزان افت سطح آب زیرزمینی پایین است و از طرفی مناسب بودن شرایط زمین‌شناسی برای رخداد فرونشست نیز در حد متوسط یا ضعیف بوده، در نتیجه پتانسیل رخداد نشست سطح زمین بصورت ضعیف می‌باشد.



شکل ۱۱. نقشه کمی پتانسیل خطر رخداد فرونشست حاصل از هم‌پوشانی نقشه‌های افت سطح آب زیرزمینی و شرایط لیتولوژی

شکل ۱۲. تصاویری از بیرون‌زدگی لوله جدار پیزومترها در شرق اعلا



شکل ۱۳. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر فرونشست زمین در دشت سمنان

نتیجه‌گیری

با توجه به مباحث ارائه شده در این پژوهش، می‌توان نتایج به دست آمده از این تحقیق را در غالب موارد زیر دسته‌بندی کرد:

۱- بررسی میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی در فاصله‌ی بین سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۶ در پیزومترهای دشت سمنان با توجه به هیدروگراف ۲۴ ساله دشت نشان داد که در بیش از ۹۰ درصد این پیزومترها تراز سطح آب افت می‌کند و در اغلب آن‌ها افت آب به طور ممتد انجام می‌گیرد، بطوری که میانگین افت سطح آب زیرزمینی ۱۸/۹ متر بوده و در بازه‌ای بین ۳۳/۸ متر تا صفر متغیر است.

۲- بیش‌ترین میزان افت سطح آب زیرزمینی در بخش شرقی و شمال‌شرقی دشت رخ داده و کمترین مقدار در بخش جنوبی دشت روی داده است.

۳- روند تغییرات ضخامت رسوبات نشان می‌دهد که هر چه از شمال به سمت جنوب دشت حرکت می‌کنیم ضخامت لایه‌های ریزدانه مستعد فرونشست افزایش می‌یابد. بیش‌ترین میزان ضخامت رسوبات ریزدانه دشت در بخش مرکزی تا مرکزی- جنوبی دشت با روندی مشابه با روند غالب دشت مشاهده گردید.

۴- محدوده جنوب‌شرقی شهرستان سمنان و محدوده بین روستای اعلا، شهرک افاغنه، جنوب شهرک صنعتی و جاده پیغمبران و شرق پیزومتر ایستگاه پژوهش، محدوده دارای پتانسیل فرونشست قابل توجه‌ای‌می‌باشد. محدوده شهر سمنان به خاطر تغذیه آب زیرزمینی به وسیله فاضلاب شهری در رده با خطر فرونشست متوسط قرار دارد.

۵- با توجه به نقشه پتانسیل خطر فرونشست به دست آمده، برنامه‌ریزی برای توسعه شهر سمنان بهتر است در راستای شمال و در مرحله بعد به سمت غرب در نظر گرفته بشود. هم‌چنین لازم است با توجه به خطر نشست بالا در بخش شرقی سمنان برنامه‌ای برای پایش آسیب وارده به عناصر ریسک‌پذیر در نظر گرفته شود.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله نویسندگان از شرکت آب منطقه‌ای سمنان به خاطر فراهم نمودن برخی از داده‌های اولیه و هم‌چنین از دانشگاه صنعتی شاهرود به خاطر فراهم نمودن امکان بازدیدهای صحرایی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

شیرافکن. م، جعفری. ه (۱۳۹۲) ارزیابی بیلان هیدرولوژیکی آبخوان بهاباد در استان یزد، هشتمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیطزیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ص، ۵۵-۴۷.

عباس‌نژاد، ا (۱۳۷۷) بررسی شرایط و مسائل زمین‌شناسی محیط‌زیست دشت رفسنجان، فشرده مقالات دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

کشاورز بخشایش، م.، نجفی، ب.، و تلخابلو، م (۱۳۹۳) ارزیابی خطر فرونشست در محدوده مرکزی شهر تهران، هشتمین همایش ملی تخصصی زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور. ص ۱-۷.

لشکری‌پور، غ.، غفوری، م.، مرادی، ط (۱۳۸۶) افت سطح آب‌های زیرزمینی و بررسی نشست زمین در دشت اسدآباد، مجموعه مقالات یازدهمین همایش علوم‌زمین، دانشگاه فردوسی مشهد.

لشکری‌پور، غ. ر.، غفوری، م.، رستمی بارانی، ح. ر (۱۳۸۸) بررسی علل تشکیل شکاف‌ها و فرونشست زمین در غرب دشت کاشمر، مجله مطالعات زمین‌شناسی، جلد ۱، شماره ۱، ۹۵-۱۱۱.

محمد علیزاده رفیع، ب (۱۳۸۷) اصلاح خاک‌های رمبنده به روش تزریق (مطالعه موردی راه‌آهن سمنان- تهران) پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام‌خمینی قزوین.۱۲۲ ص.

موسوی‌مداح. س.م، غفوری.م، لشکری‌پور. غ، افشاری. س (۱۳۹۲) بررسی پدیده نشست زمین و تاثیر آن بر روی گسیختگی لوله‌های جدار چاه‌های آب در محدوده شهر مشهد با استفاده از پهنه‌بندی تغییرات دانه‌بندی لایه‌های زمین، فصل‌نامه علمی- پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، دوره ۴، شماره ۱ - شماره پیاپی ۱۳، ۵۶-۶۶.

مهندسین مشاور سازند آب‌پارس (۱۳۸۸) گزارش مطالعات ژئوالکتریکی دشت سمنان.

میراثی. س و رهنما. ح (۱۳۹۵) تحلیل و ارزیابی پارامترهای موثر بر فرونشست زمین، مجله علمی- پژوهشی عمران مدرس، جلد ۱۶ شماره ۱، ۴۵-۵۴.

Castellazzi, P., Arroyo-Dominquez, N., Martel, R., Calderhead, A. I., Normand, J. C. L., Garfias, J., Rivera, A (2015) Land subsidence in major cities of central Mexico: Interpreting in SAR-derived subsidence mapping with hydrology data, International Journal of Applied observation and Geoin formation, 47: 102-111.

Chen, C. H, Wang, C. H, Hsu, Y. J, Yu, S. B, Kuo, L. C (2010) Correlation between groundwater level and altitude variations in land subsidence area of the Choshuichi Alluvial Fan. Taiwan Engineering Geology, 115: 122-131.

Davoodijam, M., Motagh, M., Momeni, M (2015) Land Subsidence in Mahyar Plain, Central Iran, Investigated Using Envisat SAR Data. In: Kutterer H., Seitz F., Alkhatib H., Schmidt M. (eds) The 1st International Workshop on the Quality of Geodetic Observation and Monitoring Systems (QuGOMS'11). International Association of Geodesy Symposia, Vol 140. Springer, Cham.

Haddad, A., Khodaian, S (2002) Technical Engineering & Soil Mechanics, Tehran, Iran.

Hadaadan, M., Afsharian-Zadeh, A. M., Chaichi, Z (1994) Geological map of Semnan. Geological survy of Iran.

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.

Khanlari, G. R., Heidari, M., Momeni, A., Ahmadi, M., Taleb-Beydokhti, A. R (2012) The effect of groundwater overexploitation on land subsidence and sinkhole occurrences, western Iran. Quarterly journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 45: 447-456

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 smectiteinter layerwater 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.

Mahmoudpour, M., Khamhchiyan, M., Nikudel, M. R., Ghassemi, M. R (2016) Numerical simulation and predication of regional land subsidence caused by groundwater exploitation in the southwest plain of Tehran, Iran. Engineering Geology, 201: 6-28.

Modoni, G., Darini, R. L., Spacagna, M., Saroli, G (2013) Spatial analysis of land subsidence induced by groundwater withdrawal. Engineering Geology, 167: 59-71.

Mousavi, M., Shamsai, A., El Neggar, M. H. and Khamehchian, M (2001) A GPS-based monitoring program of land subsidence due to groundwater withdrawal in Iran. Can. J. Eng, 28: 425-464.

Nikos, S., Loannis, P., Constantinos, L., Paraskevas, T., Anastasia, K., Charalambos, K (2016) Land subsidence rebound detected via multi-temporal InSAR and ground truth data in Kalochori and Sindos regions, Northern Greece. Engineering Geology, 209: 175-186.

Pacheco, J., Arzate, J., Arroye, M., Yutsis, V. and Ochoa, G (2006) Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data and finite element modeling in the Queretaro valley, Mexico. Engineering Geology, 84: 143-160.

Rodríguez, R., Lira, J., Rodríguez, I (2012) Subsidence Risk Due to Groundwater Extraction in Urban Areas Using Fractal Analysis of Satellite Images. Geofísica International, 51(2): 157-167.

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.

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

Zhou, G. Y., and Esaki, T. J (2003) GIS based spatial and predication system development for regional land subsidence hazard mitigation. Environmental Geology, 44(6): 665-678.

Assessment of land subsidence of the Semnan plain due to groundwater extraction

H. Akbari Arimi[1], A. Momeni[2]* and E. Khorasani[3]

1, 2- Faculty of earth sciences, Shahrood University of Thechnology, Shahrood
3- Regional water company of Semnan

* Ali_moomeni@yahoo.com

Recieved: 2019/3/16 Accepted: 2019/5/28

Abstract

Land subsidence is one of natural hazards which is involved with most of plains in Iran and leads to damages of urban area, roads, bridges, power transmission lines, agriculture lands, wells and piezometers. Generally, regional subsidence is depended to human activities such as extraction of groundwater and geological conditions which can induce considerable damages to economical basis of the area if it be occurred. In the last few decades, the rapid development of agriculture and the increase in the need for water has led to overexploitation of groundwater in the Semnan plain. In this paper, the occurrences pattern of regional subsidence phenomenon in the south and south-east of the Semnan plain and also the zoning of this region in terms of the susceptibly of land subsidence have been discussed. In this research at the first step data of 18 piezometers for 24 years period (May 1993-2017) were used to provide iso-potential lines of drawdown groundwater table and unite hydrograph of the plain. Furthermore, for the determination of type and thickness of the subsurface layers some data including piezoelectric log, geoelectric studies and geological map were used. Then, using the drawdown groundwater level map and the subsurface layers conditions map, a subsidence susceptibility map of the Semnan plain was prepared. The results showed that during the period of 1993-2018 continuous extraction of groundwater caused a drop of 18.9 meters of groundwater level and provided conditions for consolidation of clayey layers and land subsidence. The subsidence hazard zonation map indicates that the area with a high potential of subsidence in this plain is located in the northeastern part of the plain and in the south-southwest of the Semnan industrial park.

Keywords: Land subsidence, Semnan plain, groundwater table dropping, geoelectric sounding