پهنه‌بندی خطر فرونشست زمین با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، ناحیه مورد مطالعه (شهر بوئین‌زهرا)

دکتر صمدشادفر[۱]، دکتر اسماعیل نصیری[۲*]، سکینه چیتگر[۳]، علی احمدی[۴]

[۱] استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

[۲] استادیار استادیار جغرافیا وبرنامه ریزی شهری دانشگاه پیام نور

[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه پیام نوربوئین زهرا

[۴] دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری دانشگاه پیام نور تهران

چکیده

بهره‌برداری بیش از اندازه از منابع آب های زیرزمینی در درازمدت منجر به خسارت های قابل‌توجه به‌ویژه از نظر اقتصادی و بر اثر پدیده فرونشست زمین خواهد گردید. از اینرو این تحقیق باهدف علل شناسایی علل فرونشست زمین و تعیین نقاطی که دچار فرونشست شده در منطقه بوئین‌زهرای مرکزی انجام شده است. بدین منظور، در ابتدا نقشه منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. سپس عملیات میدانی جهت به نقشه در آوردن نقشه پراکنش فرونشست به کمک GPS انجام گرفت. در مرحله بعد برای تحلیل اطلاعات از روش AHP استفاده شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که فاکتور برداشت بی‌رویه با ضریب ۴۸۸۲/. در درجه اول و عامل سنگ‌شناسی با ضریب ۰/۲۴۴۵ در درجه دوم اهمیت در ایجاد فرونشست منطقه است. همچنین نتایج نشان داد که ۵۵٪ از مساحت منطقه در پهنه‌بندی با خطر نسبتا زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.

کلید واژه‌ها: فرونشست زمین، پهنه‌بندی، بوئین‌زهرای مرکزی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی

۱- مقدمه و بیان مسئله

آسیب‌پذیری به‌عنوان میزان آسیب منتج (۰ تا ۱۰۰) درصد از پدیده‌های به ذات مخاطره‌آمیز می‌باشد (Charles, 2006: 2) و فرآیندی است که پایداری اجتماع را برای رویارویی و برخورد با رخدادها کاهش می‌دهد (شریفی کیا و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۷). البتّه، ارزیابی آن گام مهمی در مدیریت مخاطرات محسوب می‌گردد

* نویسنده عهده دار مکاتبات: esmael.nasiri@yahoo.com

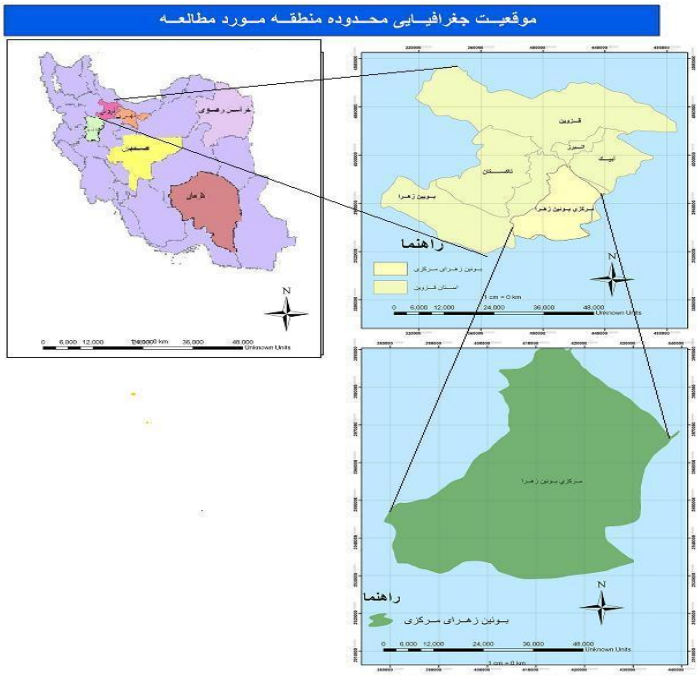
(Hu, 2009: 269) که در مراحل مقابله با خطر به‌عنوان گام سوم در نظر گرفته می‌شود (HSE, 2011: 2) مخاطرات طبیعی از جمله عواملی هستند که سالانه با رویداد خود باعث ایجاد خسارت های جانی و مالی فراوانی در بیشتر مناطق جهان از جمله ایران می‌شوند. اگر در رابطه با اقدامات کاهش خطر احتمالی این مخاطرات، شناخت بیشتری صورت می‌گرفت بدون شک زندگی بسیاری حفظ می‌شد (کریمی و دیگران، ۱۱۳۹۲: ۳۸). در دهه‌های اخیر نیاز رو به رشدی نسبت به بررسی و تحلیل رفتارهای زمین به‌عنوان نظامی پویا چه در سطح و چه در زیر سطح در حال شکل‌گیری است (Cloetingh, 2000: 170) این رفتارها زمانی که منجر به بروز تغییرات در روند عادی زندگی بشر شده و ایجاد آسیب نماید از حساسیت ویژه‌ای برخوردار خواهد بود. از مخاطراتی که بشر در دهه‌های اخیر به‌ویژه در دشت های آبرفتی با آن دست‌به‌گریبان بوده فرونشست است رگه پدیده به‌عنوان رفتار مورفولوژیک (Glopper, 1989: 49& USD 1974, Stephen, 2011: 2) و مخاطره‌آمیز سطح زمین منتج از عملکرد عوامل طبیعی و انسانی (Galloway et al., 2001: 2573) ظهور طیف وسیعی از عوارض، همانند بی‌نظمی های مورفولوژیکی، خسارت به تأسیسات انسان‌ساخت (ساختمان، بزرگراه‌ها، خیابان‌ها و معابر (Chieh et al., 2010: 123) باند فرودگاهی (Clanton & Amsbury, 1975: 151) ، شبکه آب رسانی بخش کشاورزی، اثرات زیرسطحی مانند کاهش حجم آبخوان (Galloway et al., Clanton & Amsbury, 1975: 151, 1998 Chieh et al., 2010: 123) اختلال در الگوی جریان های هیدرولوژیک (Barends, Brouwer and scroder 1995:18) تداخل آب شور و شیرین (Chen et al., 2010: 124) و تخریب مستحدثات زیرسطحی هم چون قنات‌ها، شبکه‌های آب رسانی مدرن، شبکه سوخت و آب رسانی، تونل‌های شهری و معادن (Thomas, 1983: 20) را می‌تواند به دنبال داشته باشد. در بسیاری از نقاط جهان و همچنین مناطقی از ایران مثل دشت های رفسنجان، مهیاز، اصفهان، کبودرآهنگ همدان، یزد، سیرجان، گرگان مواردی از فرو چاله‌ها مشاهده و گزارش شده است. زیرا منابع آب زیرزمینی در بخش های بزرگی از ایران مرکزی، شرق و جنوب ایران به‌عنوان تنها منبع تأمین آب جهت مصارف کشاورزی، شرب و صنعتی محسوب می‌شوند. در این مناطق وجود اقلیم نیمه‌خشک و خشک به دلیل بارندگی ناکافی رخداد خشک‌سالی‌های درازمدت و نبود رودخانه‌های دائمی سبب شده تا بیش از ۹۰٪ نیاز آبی آن از طریق سفره‌های آب زیرزمینی تأمین گردد (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۶: ۴۳۲۰). در طول ۳۰ سال از ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۱ دست کم ۱۵ متر از عمق سفره‌های آب زیرزمینی در ایران کاسته شده است؛ یعنی به طور متوسط در هر سال نیم متر سطح آبخوان در کشور پایین رفته است رخدادی که منجر به فرونشست زمین و برجای ماندن خسارت‌های هنگفت به تأسیسات زیربنایی کشور شده است و مطابق گزارش‌های موجود میزان فرونشست زمین ناشی از افت سطح آبخوان در برخی مناطق کشور به ۵۰ سانتی متر در سال هم رسیده است که بسیار خطرناک و کم نظیر در سطح جهان است. در حقیقت از این منطقه تنها می‌توان مناطقی در شمال چین و ایالت کالیفرنیا آمریکا را با وضعیت بحرانی ایران قابل‌مقایسه دانست (اسکانی کزازی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۲). فرونشست می‌تواند آسیب جدی به واحدهای صنعتی و منازل مسکونی وارد کند. تجربه فرونشست زمین بر اثر بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در نقاط مختلف جهان به‌خصوص در دشت‌های ایران نشان داده که این مناطق با خسارت‌های جبران‌ناپذیری روبه رو هستند. حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق به علت خشک‌سالی‌های چند سال اخیر و تأسیس چاه‌های جدید موجب کاهش تدریجی منابع آب افت سطح آب، شور و

لم‌یزرع شدن مزارع، خشک شدن بسیاری از چاه‌ها و در نتیجه باعث نشست سطح زمین در اراضی جنوب غربی دشت تهران شده است (تردست و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۴).

در منطقه بوئین‌زهرای مرکزی بیشتر فرونشست منطقه در حوزه‌های قرار دارد که چاه‌های آب در آن زیاد است. بنابراین مطالعه عوامل موثر در وقوع فرونشست و تفکیک پهنه‌های پرخطر با استفاده از روش AHP اهداف این تحقیق را تشکیل می‌دهد.

۲- محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در شرق و جنوب شرقی شهرستان بوئین‌زهرا واقع‌شده و جزء بخش بوئین‌زهرای مرکزی می‌باشد. شهر بوئین‌زهرا که بخش مرکزی آن هست دارای مختصات جغرافیایی به طول جغرافیایی حداقل ۴۹ درجه و ۵۶ دقیقه و حداکثر ۱۹ درجه ۵۰ دقیقه و عرض ۳۵ درجه و ۲۳ دقیقه حداقل و حداکثر ۳۶ درجه و ۱۰ دقیقه هست. منطقه به سه قسمت زهرای بالا و زهرا پایین و سگزآباد تقسیم شده است. ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۸۰۹ می‌باشد. شهرستان بوئین‌زهرا در واحد زمین ساختی چهارگوش ساوه قرار دارد. از لحاظ عارضه‌نگاری به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می‌شود. قسمت شمالی آن دشت نسبتاً صاف و همواری است که از رسوبات آبرفتی عصر حاضر (کواترنر) تشکیل شده است. بخش جنوبی این قسمت از لحاظ زمین‌شناسی متعلق به گرمخانه مرکزی و قسمتی از کمربند آتش‌فشانی غرب ایران است که بیشتر تحت عنوان ارومیه دختر مصطلح است و به‌موازات گرمخانه زاگرس از شمال غربی تا جنوب شرق امتداد دارد و از شمال به چین‌خوردگی البرز محدود است (سازمان زمین‌شناسی ۱۳۹۰). سطح آب های زیرزمینی در غرب شهر بوئین‌زهرا بالاتر از سطح آب‌های زیرزمینی شرق شهر می‌باشد؛ و این مهم باعث گردید که فعالیت‌های کشاورزی در اراضی غربی شهر بوئین‌زهرا و در اطراف روستای سگزآباد رونق گیرد و شمال شهر تا رودخانه خر رود سطح آب های زیرزمینی به علت موقعیت آن بالا باشد ولی آب آن شور است و در شمال شرقی و شرق شهر بعد از مزرعه غمچین آباد آب شور و کم باشد ولی در جنوب شهر عمدتاً آب شور و بسیار کم می‌باشد (سازمان آب منطقه‌ای استان قزوین ۱۳۹۱). میانگین مجموع بارش ۵ ساله ایستگاه بویین‌زهرا از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰، ۲۵۷ میلی متر بوده است. آب و هوای این منطقه؛ معتدل مایل به گرم و خشک است.



شکل (۱) نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان قزوین وکشورایران (منبع: یافته‌های تحقیق)

۳- مبانی نظری تحقیق

فرونشست زمین عبارت است از فروریزش ناگهانی یا تدریجی سطح زمین به سمت پایین که با جابجایی های ناچیز افقی نیز همراه باشد. فرونشست منطقه‌ای زمین به دلیل افت سطح آب زیرزمینی عمدتاً در رسوبات تحکیم نیافته یا نیمه تحکیم یافته که در مجاورت لایه‌های شن و ماسه قرار دارد صورت می‌گیرد (صالحی و دیگران، ۱۳۹۲: ۴۸). به طور کلی عوامل مختلفی باعث پدیده فرونشست می‌شود، ولی در بسیاری مناطق برداشت بی‌رویه آب از سفره‌های زیرزمینی موجبات فرونشست زمین را فراهم می‌آورد (بهنیافر و دیگران، ۱۳۸۹: ۱۳۲).

فرونشست و شکاف های زمین که به آهستگی و به‌تدریج گسترش می‌یابند شاید همان تأثیر خطرهای ناگهانی و فاجعه‌بار مانند سیل و زلزله را نداشته باشد. در منطقه در حال فرونشست شاید خرابی به میزان گسترده مشاهده نشده، حتی آثار سطحی حاصل از آن نیز به‌راحتی قابل‌تشخیص نباشد بااین‌وجود به طور معمول خسارت های ناشی از فرونشست‌ها و شکاف های زمین ترمیم‌ناپذیر پرهزینه و مخرب باشد به‌عنوان نمونه فرونشست‌ها می‌توانند به تخریب سیستم های آبیاری و خاک های حاصل خیز کشاورزی (با پایین آوردن تخلخل آنها) منجر شوند. خسارت به چاه‌ها در منطقه‌های فرونشست روستایی و شهری به طور کامل متداول بوده موجب خرابی چاه‌ها و ایجاد پدیده‌ای می‌شود که در اصطلاح به آن رشد چاله می‌گویند در این پدیده به نظر می‌رسد که لوله چاه از سطح زمین بالاآمده درحالی‌که لوله ثابت بوده و این سطح زمین است که پایین رفته است. مناطق شهری به دلیل تراکم جمعیت، ساختمان‌ها و شریان های حیاتی به طور ویژه آسیب‌پذیرتر می‌باشند. این پدیده می‌تواند به خیابان‌ها، پل‌ها و بزرگراه‌ها آسیب‌زده خطوط آب رسانی گاز و فاضلاب را مختل کرده به پی ساختمان‌ها آسیب رسانده موجب ترک در آنها گردد. به‌عنوان نمونه خطوط راه‌آهن، سدهای خاکی، تصفیه‌خانه‌ها و کانال‌ها از آسیب‌پذیری زیادتری

برخوردار هستند. به طور کلی هر سازه‌ای که در مسیر شکل‌گیری شکاف یا فرو چاله واقع شده باشد در معرض آسیب بیشتری قرار دارد. پدیده فرونشست با ایجاد تغییر در وضعیت عارضه‌نگاری منطقه می‌تواند سبب بروز تغییرات چشمگیری در هیدرولوژی منطقه شود. به‌عنوان مثال در این مناطق ممکن است سیلاب‌های عظیم و مخربی به وقوع بپیوندد درحالی‌که قبل از ایجاد فرونشست از هیچ سابقه‌ای برخوردار نبوده است. از سوی دیگر این پدیده می‌تواند با ایجاد تغییر در وضعیت زمین آبشناختی منطقه از قبل جهت و سرعت جریان آب زیرزمینی، بیلان آب زیرزمینی و غیره آبر طبقهٔ آبکیسه ناهنجار بیشتری در پی داشته باشد. هرچند این روزها نرخ فرونشست در دشت‌ها چندان خطرناک به نظر نمی‌رسد اما با توجه به پیش‌بینی‌های میان‌مدت هواشناسی در زمینه تغییرات اقلیمی مبنی بر کاهش بارندگی طی چند ۱۰ سال آینده نشان می‌دهد که کاهش بارندگی، گسترش خشک‌سالی، کاهش منابع آب زیرزمینی و در نهایت افزایش نرخ فرونشست از خطرات جدی پیش‌روی مردم ایران خواهد بود که موجب می‌شود شهرهای اطراف در صورت بروز زلزله ۴ تا ۵ ریشتری خطرساز شوند؛ بنابراین فرونشینی زمین را یکی از انواع مخاطرات طبیعی قلمداد نموده‌اند. به طور کلی عوامل مختلفی باعث وقوع پدیده فرونشست می‌شود، ولی در بسیاری از مناطق برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی به‌ویژه در حوضه‌هایی که با نهشته‌های آبرفتی – دریایی کم عمق یا دریاچه‌ای تحکیم نیافته انباشته گشته‌اند، به تشست و یا فروریزش سطح زمین منجر شود (بهنیافر و دیگران، ۱۳۸۹: ۱۳۲).

۴- روش‌شناسی

مواد مورد استفاده در این تحقیق مبتنی بر مطالعات و بررسی‌های کتابخانه‌ای، نقشه‌های عارضه‌نگاری، نقشه‌های زمین‌شناسی و عملیات میدانی بوده است. روال کار به این صورت بوده است که بعد از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و نقشه عامل‌های فرونشست منطقه آنها را طبقه‌بندی کردیم و بعد ارتباط هر یک از آنها را با فرونشست منطقه با استفاده از مدل AHP و عوامل موثر به‌صورت زوجی، باهم مقایسه و وزن هر یک از عوامل که نشان‌دهنده میزان تأثیر آنها است محاسبه شده است. آنگاه با توجه به مقادیر کمی نقشه وزنی هر عامل تهیه و در نهایت اقدام به پهنه‌بندی نقاط فرونشست با استفاده از لایه‌های وزنی و ضریب وزنی هر یک از عوامل گردیده است.

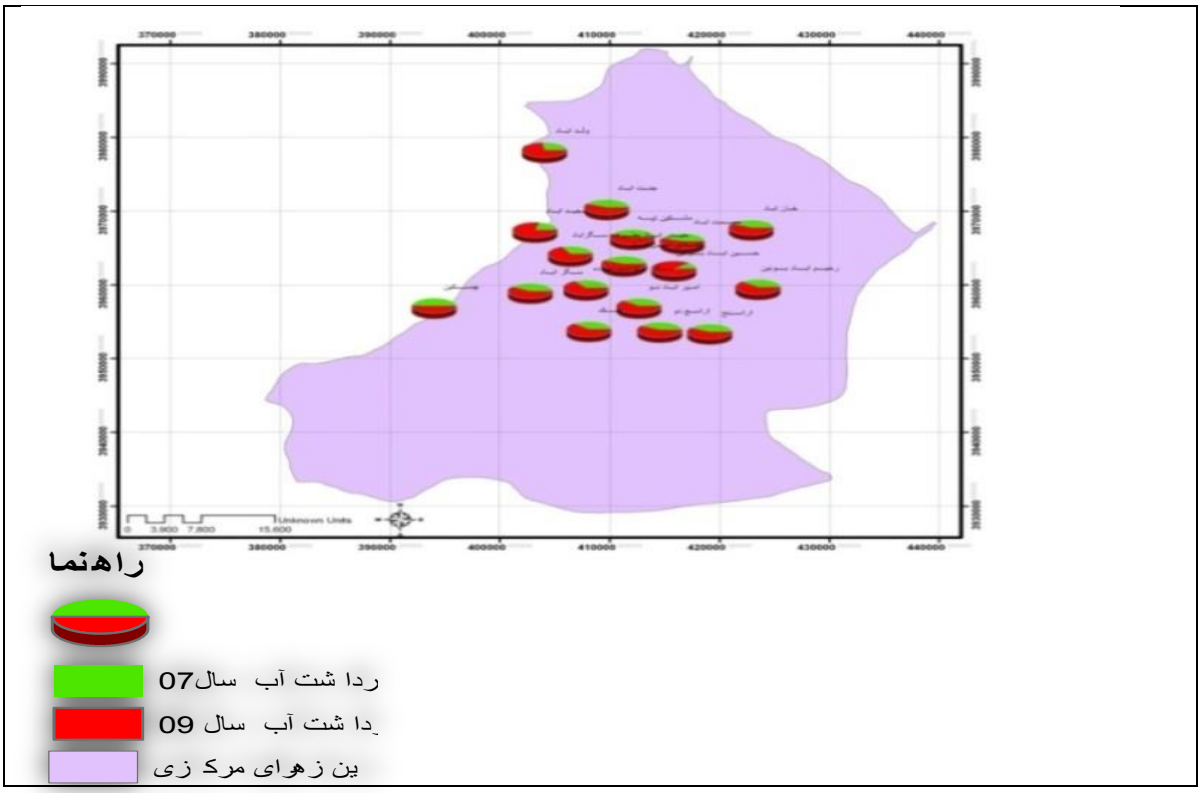
۵- یافته‌های تحقیق

با توجه به مبانی نظری تحقیق، متغیرهای بسیار زیادی در وقوع فرونشست نقش دارند. در این تحقیق از بین متغیرهای موثر ۵ عامل برداشت بی‌رویه، سنگ‌شناسی، شیب، ارتفاع و فاصله از گسل به‌عنوان مهم‌ترین و موثرترین عوامل تأثیرگذار انتخاب شده است.

۵-۱- برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی

یکی از دلایل فرونشست و ترک‌خوردگی زمین مربوط به‌عکس العمل طبیعی آن در مقابل بره برداری بیش از اندازه از منابع آب های زیرزمینی است. در صورت افت ممتد سطح آب، افزایش تجمعی تراکم تأخیری لایه‌های

زمین به وقوع می‌پیوندد. تأخیر در آغاز عملیات کنترل سطح آب، نشست بیشتری را به دنبال خواهد داشت و نشست رخ داده در این مناطق معمولاً برگشت‌ناپذیر خواهد بود. با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از برداشت سطح آب ۲۰ چاه در ۲۰ روستا از سال ۵۷ و بعضی‌ها از سال ۸۰ تا سال ۹۰ و منطبق کردن اطلاعات هردو جدول بر روی نقشه محدوده بوئین‌زهرای مرکزی با استفاده از نرم‌افزار GIS نقشه زیر تهیه شده است که در آن به خوبی مشخص است که مقادیر برداشت سطح آب از سال ۷۰ تا ۹۰ افزایش زیادی داشته است.



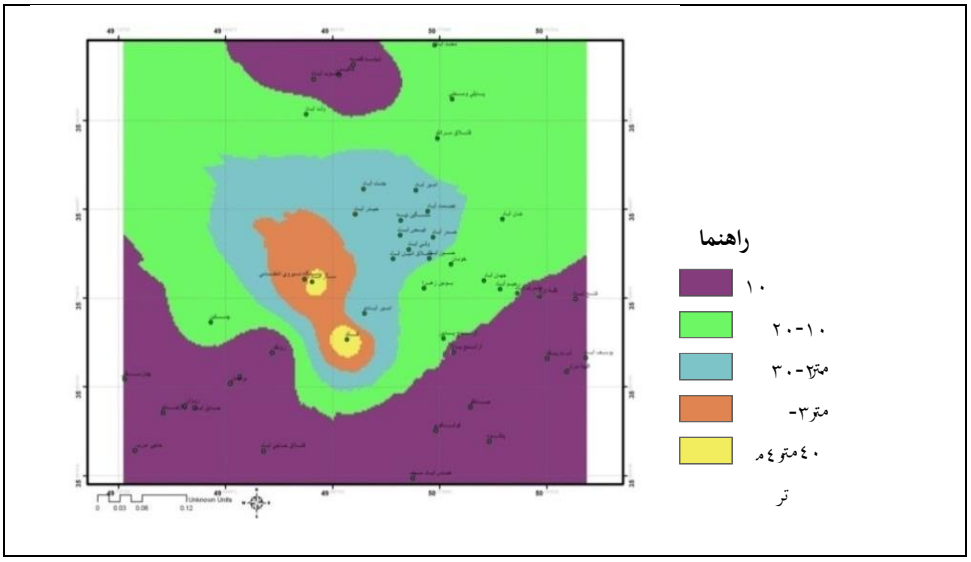
شکل (۲) نقشه مقایسه برداشت آب بین سال ۷۰ تا ۹۰ محدوده منطقه مورد مطالعه (منبع: یافته‌های تحقیق)

و همچنین مشاهده میدانی در منطقه و ثبت مقادیر افت آب چاه‌ها در محدوده و ثبت طول عرض نقاط مشاهده‌شده با استفاده از نرم‌افزار GIS و عملیات درون‌یابی IDW[1] نقشه افت سطح آب تهیه شده است و بعد نقشه مورد نظر به ۵ کلاسه [2] تقسیم شده است.

ملاحظه می‌گردد که هرساله برداشت سطح آب افزایش می‌یابد. سالانه سطح آب ۱/۵ تا ۲ متر اما در بعضی نقاط ۲ تا ۳ متر پایین می رود. به همین دلیل کشاورزان هرسال برای آبیاری زمین های خود مشکل کم آبی زیادی روبه رو می‌شوند و مجبورند دست به حفاری چاه یا چاه‌های غیرمجاز بزنند. با استفاده از کلاسه‌بندی نقشه افت سطح آب ۳ که به ۴ کلاسه تقسیم‌شده می‌توان طبق طبقه‌بندی زیر نقاط شهری و روستایی را از لحاظ میزان افت سطح آب طبقه‌بندی کرد: افت **۱۰ متر**– منطقه صنعتی اراسنج، شیشه قلعه، یعقوب‌آباد، پتکوه، عباس‌آباد، رستم‌آباد و رودک

[1] inverse distance weight
[2] reclassify

در افت کمتر از ۱۰ متر قرار دارد. **افت ۱۰ تا ۲۰**- روستای زلیخا، رحیم‌آباد کارخانه آجرپزی، جهان‌آباد، خونان، شهر بوئین‌زهرا، ولدآباد، وسطی، آراسنج بالا، چسکین در افت ۱۰ تا ۲۰ مترقراردارند. **افت ۲۰ تا ۳۰**- روستای محمدآباد، امیرآباد، صدرآباد، حسین‌آباد، مشکین تپه، جنت‌آباد، قدیم آباد، سگزآباد، عصمت آباد، مشکین تپه، حیدرآباد، فیض‌آباد، ولی‌آباد، امین‌آباد و قسمتی از سگزآباد در افت بین ۲۰ تا ۳۰ متر قرار دارند. افت **۴۰ متر به بالا**- قسمتی از سگزآباد در بیش از ۴۰ متر قرار دارد.



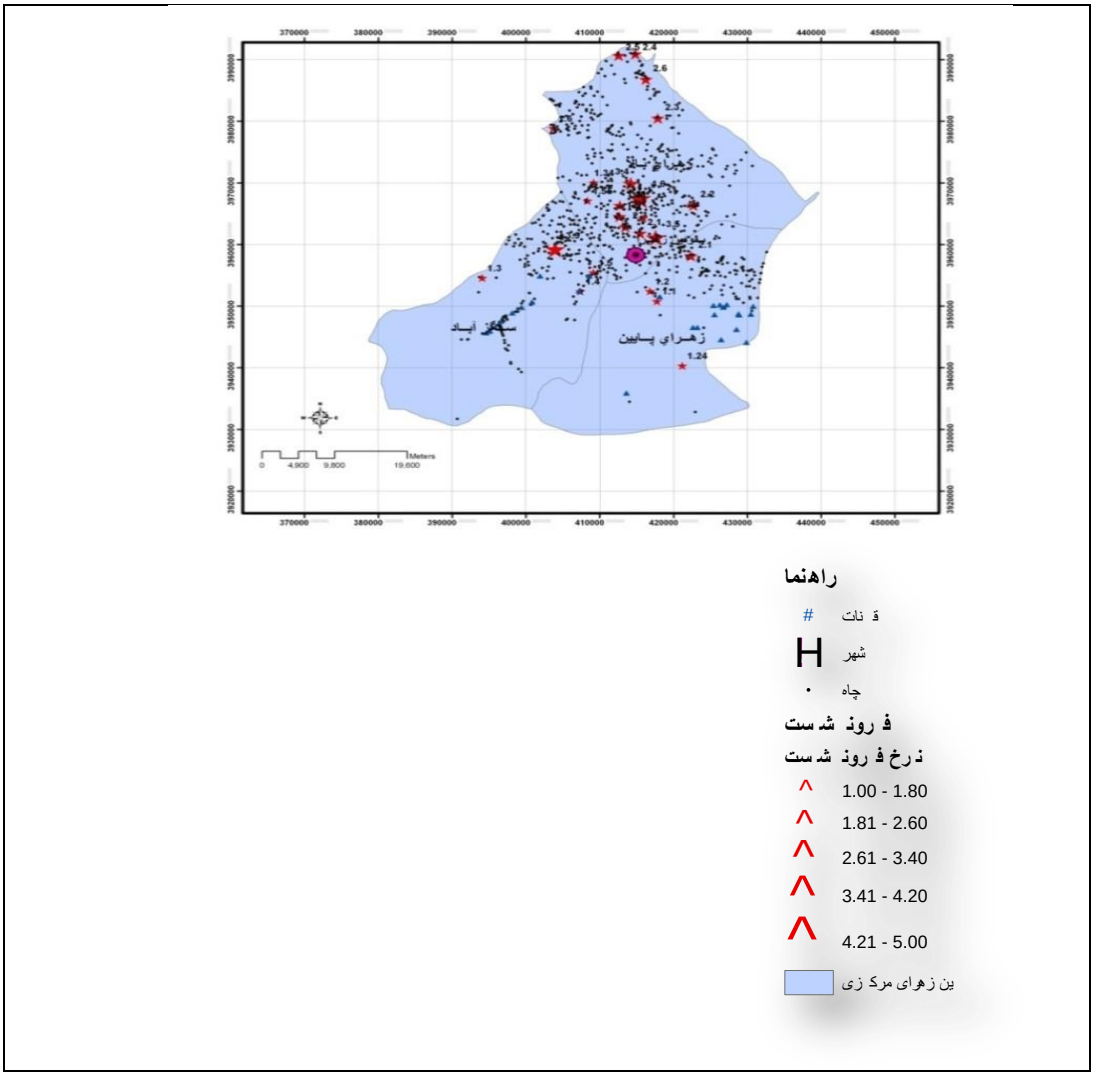
شکل (۳) نقشه افت سطح آب در محدوده مورد مطالعه (منبع: یافته‌های تحقیق)

جدول ۱- توزیع طبقات برداشت بی‌رویه و میزان مساحت فرونشست شده در منطقه مرکزی بوئین‌زهرا

برداشت بی‌رویه	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)	تعدادچاه	فرونشست (تعداد)	فرونشست (درصد)
بوئین‌زهرای بالا	۷۲۰۵۲۹۱۴۶.۲۳	٪۳۷	۵۴۶	۱۴	٪۶۶
سگزآباد	۶۷۵۱۷۶۱۸۰.۴۳۱	٪۳۲	۲۱۷	۶	٪۲۰
بوئین‌زهرای پایین	۶۵۶۹۳۲۰۱۸.۷۵۷	٪۳۱	۱۴۱	۴	٪۱۴

مأخذ: یافته‌های تحقیق

از مطالعه ارتباط بین متغیر برداشت بی‌رویه آب های زیرزمینی با فرونشست و همچنین با منطبق کردن نقاط فرونشست با چاه‌ها و قنات محدوده مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار GIS نقشه شماره ۳ تهیه شده است. این نقشه نشان می‌دهد مناطقی که چاه آب یا قنات بیشتری دارند به علت برداشت بی‌رویه از منابع زیرزمینی آن فرونشست در این مناطق بیشتر رخ داده است. بیشترین نقاط نشست در بوئین‌زهرای بالا به خاطر تعداد چاه زیاد و برداشت بیش‌ازحد از آب های زیرزمینی می‌باشد (جدول شماره ۱ و نقشه شماره ۴)



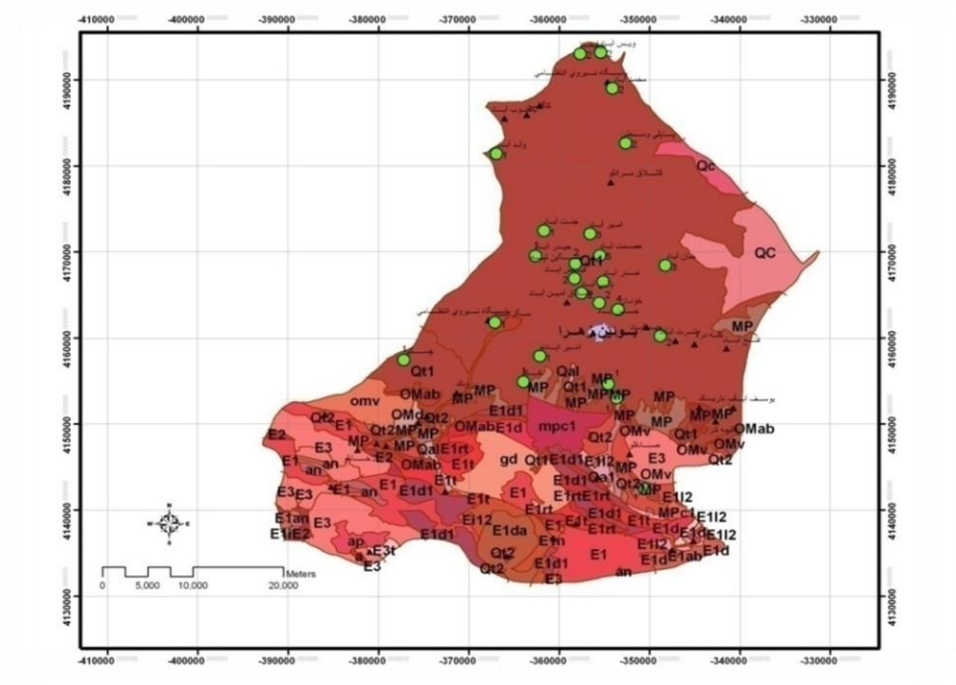
شکل (۴) نقشه- نقاط فرونشست محدوده منطقه مورد مطالعه (منبع: یافته‌های تحقیق)

۵-۲- سنگ‌شناسی

لایه زمین‌شناسی، با رقومی کردن نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی که تهیه شده است. **مطالعه** ارتباط بین متغیر سنگ‌شناسی با فرونشست نشان داد که باوجود اینکه کل منطقه شامل ۲۹ نوع واحد سنگ‌شناسی است، اما بیشتر مناطق تحت تأثیر فرونشست در ۹ واحد سنگ‌شناسی قرار گرفته است.

Qt1 که بیش از ۵۱ درصد فرونشست منطقه در این واحد سنگ‌شناسی قرار می‌گیرند این واحد شامل پادگانه‌های آبرفتی و مخروط افکنه های کهن در پای کوه‌ها است. این ته نشست‌ها از کنگلومرای نیمه سخت شده با میان لایه‌های رسی - ماسه‌ای تشکیل شده است. لایه‌های کنگلومرا اغلب افقی بوده و به طور محلی، شیب کمی که مربوط به عارضه‌نگاری اولیه است، نشان می‌دهند. در این ناحیه شهر بوئین‌زهرا و روستاهای امیراباد، تفک، چسکین، سگزآباد، خونان، حسین‌آباد، ولی‌آباد، حیدرآباد، عصمت آباد، خان‌آباد، امیراباد، جنت‌آباد، فیض‌آباد، قشلاق مرانلو،

ولدآباد، پاپلی وسطی، محمدآباد، یعقوب‌آباد و آراسنج قرار دارند و اکثر جمعیت منطقه در این نوع واحد سنگی قرار دارند. بیشترین فرونشست در واحد سن Qt1 قرارگرفته است.



شکل (۵) نقشه- سنگ‌شناسی محدوده منطقه مورد مطالعه (منبع: یافته‌های تحقیق)

جدول شماره ۲ توزیع طبقات سنگ‌شناسی و میزان مساحت فرونشست شده در منطقه مرکز بوئین‌زهرا

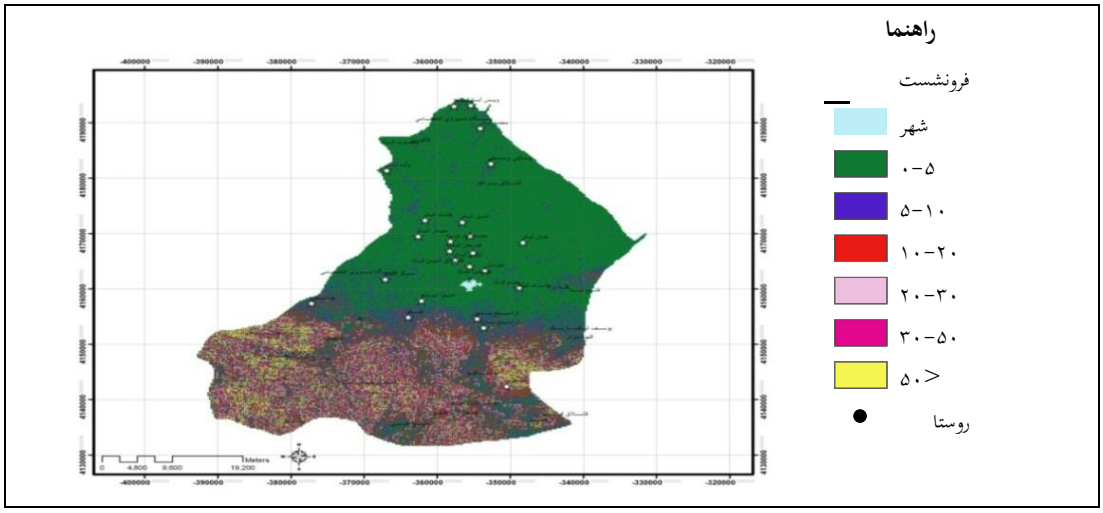
سنگ‌شناسی	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)	فرونشست (تعداد)	فرونشست (درصد)
۱Qt	۱۰۵۲۸۳.۵۵	۲.۳۱۱	۱۶	۵۱.۶۱
۲Qt	۴۷۴۳.۶۸	۵۱.۲۹۲	۱	۳.۲۲
Qc	۹۶۰۷.۲۱	۴.۶۸۱	۱	۳.۲۲
Omv	۴۲۵۹.۵۴	۲.۰۷۶	۱	۳.۲۲
Omab	۳۱۴۷.۹۰	۱.۵۳۴	۱	۳.۲۲
Mp	۶۹۳۹	۳.۳۸۱	۲	۶.۴۵
E3	۱۴۸۵۰.۹۶	۷.۲۳۶	۲	۶.۴۵
Elt	۴۰۳۵.۶۷	۱.۹۶۷	۲	۶.۴۵
E1l3	۱۴۵۶.۴۹	۰.۷۱۰	۲	۶.۴۵
E1	۱۳۴۶۰.۸۴	۶.۵۵۸	۳	۹.۶۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۵-۳- شیب

شیب، سرعت فرسایش شکل زمین را از طریق خصوصیات موروفولوژی تحت تأثیر قرار می‌دهد. نقشه شیب با استفاده از نقشه DEM منطقه در محیط GIS و با استفاده از نرم‌افزار WIS IL تهیه گردید. شیب حاصل به ۶

کلاس شیب شامل ۵-۰، ۱۰-۵، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰، ۵۰-۳۰، ۵۰< تقسیم شده است که اکثر نقاط فرونشست درشیب ۵-۰ قرار دارد.



شکل (۶) نقشه- شیب محدوده منطقه مورد مطالعه (مأخذ: یافته‌های تحقیق)

جدول شماره ۳ توزیع طبقات شیب و میزان مساحت فرونشست در منطقه مرکز بوئین‌زهرا

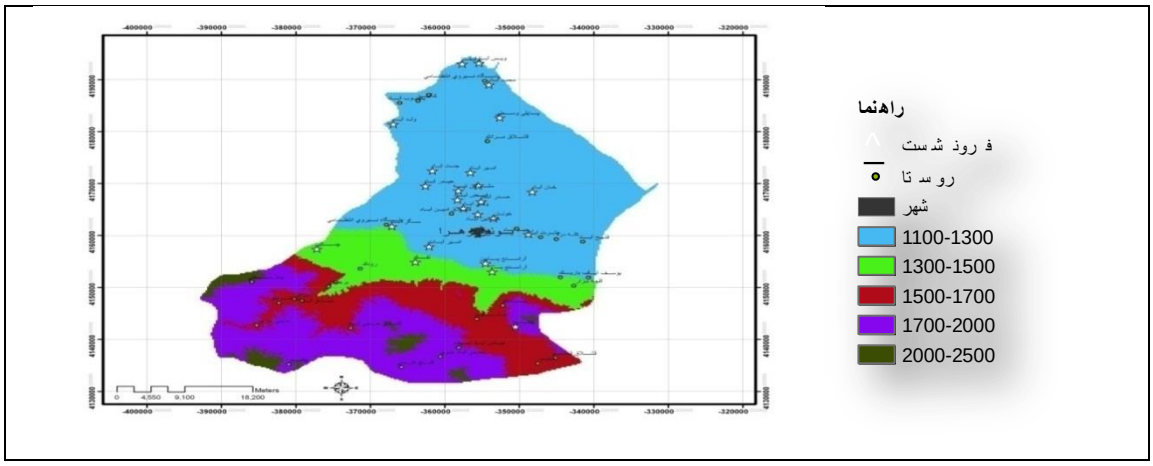
طبقات شیب	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)	فرونشست (تعداد)	فرونشست (درصد)
۰-۵	۱۴۴۰۱۶.۶۵	۷۰.۱۶	۲۳	۷۴.۱۹
۵-۱۰	۱۸۷۲۰	۹.۱۱	۳	۹.۶۷
۱۰-۲۰	۱۸۰۳۸.۲۵	۸.۷۸	۱	۳.۲۲
۲۰-۳۰	۹۲۱۵	۴.۴۸	۲	۶.۴۵
۳۰-۵۰	۹۵۵۵	۴.۶۵	۵	۱۶.۱۲
>۵۰	۵۷۱۸.۵	۲.۷۸	۲	۶.۴۵

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۵-۴ ارتفاع

ارتفاع، فاصله منطقه نسبت به سطح دریا نشان می‌دهد. نقشه ارتفاع با استفاده از نقشه DEM منطقه در محیط GIS و با استفاده از نرم‌افزار ILWIS تهیه گردید. ارتفاع حاصل به ۵ کلاس ارتفاع شامل:

۱۳۰۰-۱۵۰۰،۱۱۰۰ -۱۳۰۰، ۱۵۰۰-۱۷۰۰، ۱۷۰۰-۲۰۰۰، ۲۰۰۰-۲۵۰۰ اکثر نقاط فرونشست در ارتفاع ۱۳۰۰-۱۱۰۰ قرار دارد.



شکل (۷) نقشه- ارتفاع محدوده منطقه مورد مطالعه (مأخذ: یافته‌های تحقیق)

جدول شماره ۴: توزیع طبقات ارتفاع و میزان مساحت فرونشست شده در منطقه مرکز بوئین‌زهرا

طبقات ارتفاعی	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)	فرونشست (تعداد)	فرونشست (درصد)
۱۱۰۰–۱۳۰۰	۱۰۰۶۶۵.۶۸	۴۹.۰۴	۱۳	۴۱.۹۴
۱۳۰۰–۱۵۰۰	۲۴۵۸۴.۷۲	۱۱.۹۷	۶	۱۹.۳۵
۱۵۰۰–۱۷۰۰	۳۱۰۵۸.۶۴	۱۵.۱۳	۸	۲۵.۸۰
۱۷۰۰–۲۰۰۰	۴۳۵۸۷.۶۸	۲۱.۲۳	۳	۹.۶۸
۲۰۰۰–۲۵۰۰	۵۳۶۶.۶۸	۲.۶۱	۱	۳.۲۳

منبع: یافته‌های تحقیق

۵-۵- فاصله از گسل

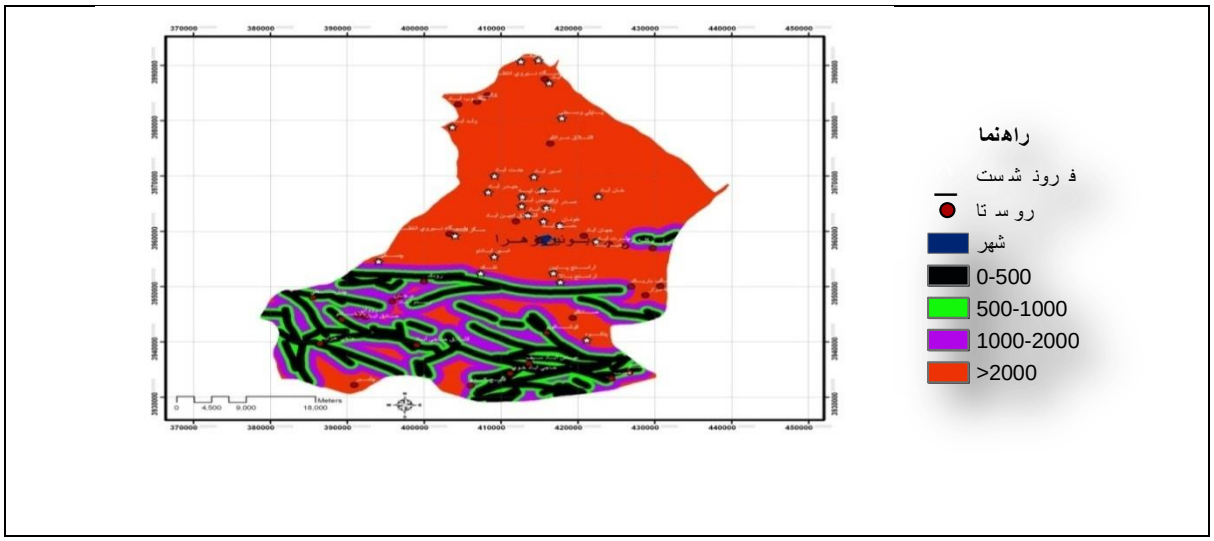
وضعیت و رفتار گسل‌ها و نقش آن‌ها در رخداد یا تشدید پدیده فرونشست زمین همچنین نقش ساختارهای زمین‌شناسی از جمله وضعیت سنگ کف و ضخامت آبرفت از جمله عواملی هستند که در بررسی پدیده فرونشست زمین کمتر مورد توجه قرارگرفته‌اند. گسل های فعال افزون بر توانایی ایجاد زمین‌لرزه در پدید آوردن مسائل ژئوتکنیکی نقش موثری دارند. از دید ژئوتکنیکی وجود گسل های فعال بسیار حائز اهمیت خواهد بود زیرا واکنش آن‌ها در برابر جریان آب زیرزمینی، خود می‌تواند دربردارنده پیامدهایی دیگر باشد. گسل منطقه در محیط GIS و با استفاده از نرم‌افزار ILWIS تهیه گردید. شهر بوئین‌زهرا و بیشتر روستاها در فاصله بیشتر از ۲۰۰۰ متر از گسل واقع شده است و روستای چنارسفلی، بالاخانلو فحاجی عرب، قوشاقلو، قشلاق حاجی عرب، حاجی آبادخوی، قشلاق قشلو در فاصله ۵۰۰ متری از گسل واقع شدند که کمترین فاصله را از گسل دارند. با تلفیق نقشه فاصله از گسل با نقشه فرونشست منطقه نشان می‌دهد که اکثر نقاط فرونشست در فاصله ۲۰۰۰< قرار دارد. گسل حاصل به ۴ کلاس گسل شامل تقسیم می‌شود.

۵۰۰–۰، ۱۰۰۰–۵۰۰، ۲۰۰۰–۱۰۰۰، ۲۰۰۰< ج

جدول شماره ۵ توزیع طبقات فاصله از گسل و میزان مساحت فرونشست شده در منطقه مرکز بوئین‌زهرا

فاصله از گسل	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)	فرونشست (تعداد)	فرونشست (درصد)
۰-۵۰۰	۳۵۴۱۲.۹	۱۷.۲۵	۳	۹.۶۸
۵۰۰-۱۰۰۰	۲۳۵۶۲.۵	۱۱.۴۸	۲	۶.۴۵
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۳۰۱۶۴.۶	۱۴.۷۰	۹	۲۹.۰۳
>۲۰۰۰	۱۱۶۱۲۳.۴	۵۶.۵۷	۱۷	۵۴.۸۴

مأخذ: یافته‌های تحقیق



شکل (۸) نقشه- فاصله از گسل محدوده منطقه مورد مطالعه (مأخذ: یافته‌های تحقیق)

۶-۵ پهنه‌بندی فرونشست زمین در بوئین‌زهرا مرکزی

پس از اینکه متغیرهای برداشت بی‌رویه، سنگ‌شناسی، شیب، ارتفاع، فاصله از گسل در محیط سیستم های اطلاعات جغرافیایی، تهیه و رقومی گردیدند اقدام به مقایسه زوجی عوامل گردید. در این تحقیق از روش میانگین حسابی جهت محاسبه وزن هر عامل از ماتریس مقایسه زوجی استفاده شده است. میانگین هر سطر نشان‌دهنده ضریب وزنی هر عامل است. ضریب وزنی همواره مقداری کمتر از واحد می‌باشد که بیانگر اولویت هر عامل نسبت به سایر عوامل هست (شاد فر، ۱۳۸۴: ۲۳). با تقسیم هر عضو از ماتریس فوق بر مجموع ستون خودش، جدول ماتریسی حاصل گردید که میانگین هر سطر از آن، ضریب وزنی آن عامل بوده و اولویت هر کدام از عوامل مؤثر در بروز فرونشست بر اساس متوسط وزنی در منطقهٔ را نسبت به سایر عوامل در نظر گرفته‌شده، نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول زیر مشاهده می‌شود، عامل برداشت بی‌رویه با ضریب a1= ۰/۴۸۸۲در میان پنج عامل در نظر گرفته‌شده، بیشترین درجه اهمیت را در ایجاد فرونشست منطقه داشته و بعد از آن، عامل سنگ‌شناسی a2= ۰/۲۴۴۵، شیب با ضریب a3= ۰/۱۵۱۲، ارتفاع با ضریب a4= /1274 و فاصله از گسل با ضریب a5= ۰/۰۳۵۷ به ترتیب در ایجاد فرونشست منطقه تأثیرگذار بودند. به‌منظور تولید نقشه پهنه‌های پرمخاطره وفاکتورنرخ فرونشست مستخرج از تداخل نگار به‌عنوان فاکتور عامل در زایش مخاطره به تحلیل گر سیستم در محیط GIS به تحلیل گر

سیستم در محیط جی وارد شد. نقشه خروجی معرف سلول های واجد ارزش متفاوت از فاکتور زایش مخاطره است. با آنالیز داده‌ها و استفاده از الگوی تحلیل فضایی و نمونه‌سازی رستری IDW آب‌نمک اساس دسته‌بندی سلول‌های معرفی شده نقشه خروجی به ۴ کلاسه[1] که مبتنی بر نرخ

فرونشست است تهیه گردید[2]. مساحت کل منطقه مورد مطالعه ۲۰۵۲.۶۳.۴. است بادی‌های برنجی نقشه شماره ۹ فرونشست نشان می‌دهد قریب به ۴۲۶۲۱ مترمربع مساحت در محدوده مورد مطالعه در پهنه خطرقراردارد.

جدول ۶: ضریب وزنی هر عامل

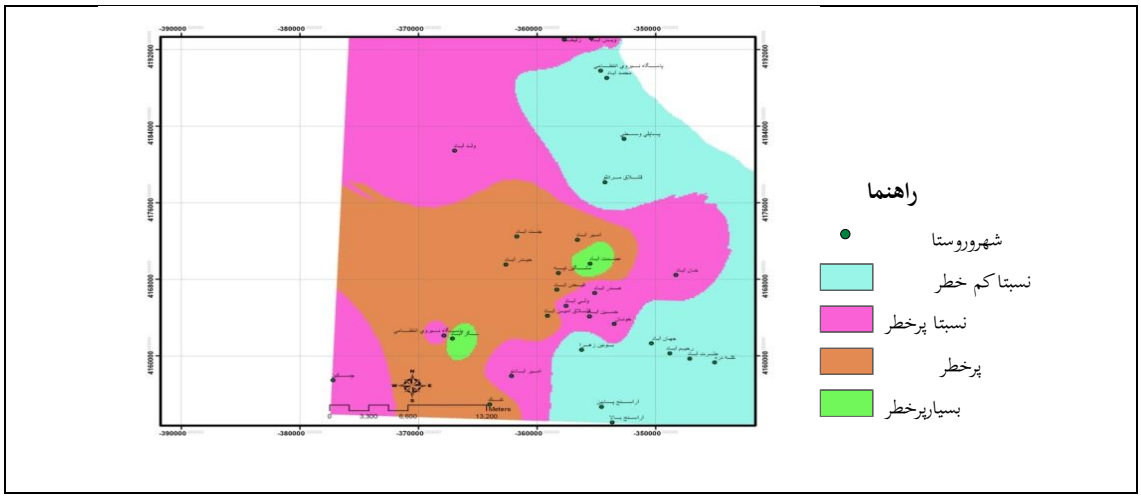
	برداشت بی‌رویه از آب چاهای زیرزمینی	سنگ‌شناسی	شیب	ارتفاع	فاصله از گسل	متوسط
برداشت بی‌رویه از آب چاه‌های زیرزمینی	۰/۵۵۲۴	۰/۶۳۲۹	۰/۵۲۹۱	۰/۳۹۳۴	۰/۳۳۳۳	۰/۴۸۸۲
سنگ‌شناسی	۰/۱۸۲۳	۰/۲۱۰۹	۰/۳۱۷۴	۰/۲۶۲۲	۰/۲۵	۰/۲۴۴۵
شیب	۰/۱۱۰۴	۰/۰۶۹۶	۰/۱۰۵۸	۰/۲۶۲۲	۰/۲۰۸۳	۰/۱۵۱۲
ارتفاع	۰/۰۸۸۳	۰/۰۵۲۷	۰/۲۶۴	۰/۰۶۵۵	۰/۱۶۶۶	۰/۱۲۷۴
فاصله از گسل	۰/۰۶۶۲	۰/۰۳۳۷	۰/۰۲۱۱	۰/۰۱۶۳	۰/۰۴۱۶	۰/۰۳۵۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۷ طبقه‌بندی عرصه فرونشست

درصد	مساحت (مترمربع) فرونشست	عرصه خطر
٪۳۲	۲۰۶۳۳	عرصه نسبتاً خطر
٪۳۷	۲۳۹۹۳	عرصه نسبتاً پرخطر
٪۲۶	۱۷۸۰۷	عرصه پرخطر
٪۵	۸۲۱	عرصه بسیار پرخطر

مأخذ: یافته‌های تحقیق



شکل ۹: نقشه:پهنه‌بندی فرونشست در محدوده مورد مطالعه (منبع: یافته‌های تحقیق)

[1] reclassify
[2] inverse distance weight

۶- نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاصل نشان می‌دهد که بیشترین میزان فرونشست در منطقه با استفاده از مقایسه زوجی عوامل و بررسی ضرایب وزنی عوامل در روش AHP و مطالعه نقشه‌ها و لایه‌های تهیه‌شده در GIS و خصوصیات منطقه و جمع‌بندی عوامل و نظریه‌های کارشناسی نشان داد که عامل برداشت بی‌رویه با ضریب وزنی ۴۸۸۲٪ بیشترین تأثیر را در ایجاد فرونشست در منطقه بوئین‌زهرای مرکزی در بین عوامل در نظر گرفته‌شده یعنی سنگ‌شناسی، شیب، ارتفاع و فاصله از گسل کسب نموده‌اند؛ بنابراین در تعیین اولویت بین عوامل مذکور در ایجاد فرونشست مهمترین عامل محسوب شده است. عامل برداشت بی‌رویه از آب های زیرزمینی مهمترین عامل و فاکتور سنگ‌شناسی به‌عنوان دومین عامل شناخته شده است. کلیه فرونشست های منطقه در طبقه شیب ۰-۵ و در ارتفاع ۱۱۰۰-۱۳۰۰ و در ۲۰۰۰ متری از گسل رخ داده است. همچنین نقشه پهنه‌بندی نشان می‌دهد که ۱۸۶۲۸ مترمربع از مساحت منطقه یعنی ۳۱٪ درصد آن در کلاسه پرخطر بسیار پرخطرقراردارد.

۷- پیشنهادها

۱- با توجه به اینکه اکثر نقاط نشست در جنس سنگ‌های پادگان‌های آبرفتی قرار دارد بهتر است در این منطقه دیگر مجوز حفر چاه آب داده نشود.

۲- تعیین تکلیف چاه‌های غیرمجاز و جلوگیری از برداشت های بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی از چاه‌های دارای مجوز

۳- باید با ارائه الگوی کشت که بتوان یک مدیریت منطقی را در دشت حاکم کرد و در مناطقی که کم آبی جدی است هیچ ضرورتی ندارد محصولاتی که مصرف آب فراوان و ارزش‌افزوده کمی دارد را تولید کنند و منابع ارزشمند را هدر دهند.

۴- با کشت محصولاتی که آب کمی مصرف می‌کنند می‌توان به سمت توسعه کشت گلخانه‌ای حرکت کرد و می‌توان به حفظ جایگاه کشاورزی و برای جلوگیری از مشکلات احتمالی ناگزیریم به‌صورت علمی و کارشناسی مانند بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته حرکت کنیم تا از انفال و نعمت های خدادادی نیز صیانت شود.

۵- تولید محصولات اندامگانی، توسعه آبیاری مدرن، مکانیزه کردن کشاورزی، توجه به کشت بدون خاک از شیوه‌های نوینی است که می‌تواند مصرف منابع آبی را به حداقل برساند که در این میان اگر الگوی کشت هر دشت در کشور مشخص شود می‌تواند ما را از بحران نجات دهد

۶- تصفیه آب فاضلاب شهر قزوین که در اول جاده بوئین‌زهرا مستقر است که می‌توان از آن برای مصارف کشاورزی استفاده کرد.

۷-با توجه به اینکه روش AHP یعنی اهمیت عوامل روش خوبی در ارزیابی مهم‌ترین عامل در فرونشست است، بهتر است در سایر مناطق نیز مورد آزمون قرار بگیرد.

منابع و مأخذ:

۱- بهنیافر، ابوالفضل، قنبرزاده، هادی و اشراقی، علی، ۱۳۸۹، بررسی عوامل مؤثر در فرونشستهای دشت مشهد و پیامدهای ژئومورفیک آن، فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری چشم‌انداز زاگرس، سال دوم، شماره ۵، صص، ۱۳۱- ۱۴۶.

۲- صالحی، رضا، غفوری، محمد، لشکری پور، غلامرضا و مریم دهقانی، ۱۳۹۲، بررسی فرونشست دشت مهیار جنوبی با استفاده از روش تداخل سنجی راداری، فصلنامه مهندسی آبیاری و آب، سال سوم، شماره ۱۱، صص ۴۷ -۵۷ .

۳- اسکانی کزازی، غلامحسین، لاله سیاه پیرانی، میترا، حامدی، مریم،۱۳۸۹، فرونشست زمین، بحران، ریسک و مدیریت آن، همایش ملی جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، صفحه ۱۲.

۴- تردست، علی، موسوی،مرتضی، بلورچی، محمدجواد، شمشکی، امیر،۱۳۹۰، فرونشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی در جنوب غربی تهران چهارمین کنفرانس مدیریت منابع ایران.

۵- سازمان خاک‌شناسی استان قزوین.

۶- سازمان آب منطقه‌ای استان قزوین .۱۳۹۱

۷- سازمان زمین‌شناسی کشور.

۸- شادفر، صمد. ۱۳۸۴. ارزیابی تحلیلی مدل های کمی زمین‌لغزش پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران. ص ۲۲۵.

۹- شریفی کیا، محمد، ۱۳۸۹، تبیین فاجعه‌آفرینی ناشی از پدیده فرونشست در اراضی و دشت‌های مسکون کشور، مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد سوم شماره ۳ و ۴، صص ۴۳ – ۵۸ .

۱۰- کریمی، مرتضی، قنبری، علی‌اصغر و امیری، شهرام، ۱۳۹۲، سنجش خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری از پدیده فرونشست زمین، مطالعه موردی؛ منطقه ۱۸ تهران، مجله برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا) سال سوم، شماره ۸، صص، ۳۷- ۵۶ .

۱۱- لشکری پور، غلامرضا رستمی بارانی، حمیدرضا و صداقتخواهی، ح،۱۳۸۶، ارزیابی زیست‌محیطی نشست منطقه‌ای زمین بر اثر افت سطح آب زیرزمینی در دشت‌های بحرانی ایران. مجموعه مقالات اولین کنگره زمین‌شناسی کاربردی ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، جلد اول، ص ۴۳۲.

12- Charles, 2006, Comprehensive Risk Assessment for Natural Hazards, WorldMeteorological Organization, 91p.

13- Cloetingh a, Yu.Y. Podlachikov a,b, 2000, Perspectives on tectonic modeling, Tectonophysics, 320, pp 173 169.

14- Hu Beibei, Jun Zhou, Jun Wang, Zhenlou Chen, Dongqi Wang, Shiyuan Xu. 2009, Risk assessment of land subsidence at Tianjin coastal area in China, Environ Earth Sci 276 59: 269.

15- Chen Chieh-Hung. Wang Chung-Ho. Hsu Ya-Ju. Yu Shui-Beih. Kuo Long-Chen. 2010, Correlation between groundwater level and altitude variations in land subsidence area of the Choshuichi Alluvial Fan, Taiwan, Engineering Geology, 115, pp 122-131.

16- Clanton, U.S. and Amsbury, D.L, 1975, Active faults in southeastern Harris County,Texas: Environmental Geology, v. 1,p p. 154 149.

17- Galloway, D.L. Hudnut, K.W. Ingebritsen, S.E. Philips, S.P. Peltzer, G. Rogez, F.Rosen, P.A. 1998, Detection of aquifer system compaction and land subsidence using interferometric synthetic

aperture radar, Antelope Valley, Mojave Desert, Califor- nia.Water Resource. Res. 34, pp 2585 2573.
18- Berends F.B. J. Frits J. J. Brouwer, H.,Frans Schroder, 1995,Proceedings of the Fifth International Symposium on Land Subsidence, held at The Hague, TheNetherlands, No 234, pp, 16-20 October.
19- Chen, Y.Q. Zhang, G. B. Ding, X.L. and Li, Z.L, 2002, Monitoring Earth SurfaceDeformations with InSAR Technology Principle and Some critical Issues, Journal ofGeospatial Engineering, Vol. 2, No. 1, pp. 3-21.
20- Galloway, 2011, geological subsidence interest group conference, proceeding of technical meeting, Galveston, Texas, November, pp 27-29.
21- Barends F.B. J. Frits J. J. Brouwer, H.,Frans Schroder, 1995,Proceedings of the Fifth International Symposium on Land Subsidence, held at The Hague, TheNetherlands, No 234, pp, 16-20 October.
22- Hu Beibei, Jun Zhou, Jun Wang, Zhenlou Chen, Dongqi Wang, Shiyuan Xu. 2009, Risk assessment of land subsidence at Tianjin coastal area in China, Environ Earth Sci 276 59: 269.