# پیش‌بینی مکان‌های در معرض خطر فرونشست دشت کرمانشاه با استفاده از مدل فازی

امجد ملکی[1]، پیمان رضایی[2*]

۱- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲-کارشناسی‌ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران

دریافت:۹۴/۱/۱۹ پذیرش: ۹۴/۶/۱

## چکیده

مقابله با مخاطرات محیطی همواره از دغدغه‌های اساسی مسئولان و برنامه‌ریزان هر کشور است. یکی از مخاطراتی که متاسفأنه به دلیل عملکرد تدریجی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد فرونشست است که درسال‌های اخیر به علت افزایش بهره‌برداری از آب‌خوان‌های کشور به‌صورت مشکلی شایع درآمده است. در این تحقیق تلاش شده است که امکان وقوع پدیده فرونشست و خطرات احتمالی آن به‌عنوان یک تهدید جهت پروژه‌های انسانی در محدوده دشت کرمانشاه مورد بررسی قرار گیرد. نخست با استفاده از آمار ۲۲ ساله ۶۵ چاه مطالعاتی و سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه افت آب برای منطقه تهیه شد. سپس ناحیه‌ای که افت شدید آب داشت انتخاب و گمانه زمین‌شناسی چاه‌های مطالعاتی این محدوده جهت شناسایی بافت رسوب مورد مطالعه قرار گرفت و نقشه حساسیت رسوبات به ایجاد پدیده فرونشست تهیه شد. درمرحله آخر با استفاده ازمدل فازی درمحیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی هر یک از لایه‌های حساسیت رسوبات و افت سطح آب تعیین عضویت و با استفاده از هم‌پوشانی گامای فازی نقشه حسایت منطقه به پدیده فرونشست در سه کلاس حساسیت زیاد، حساسیت متوسط و حساسیت کم تهیه شد. براساس نقشه یادشده، در شرق شهر کرمانشاه در جنوب و شرق روستای ده‌پهن که افت آب‌های زیرزمینی زیاد و همچنین رسوبات دانه‌ریز است، خطر پدیده فرونشست بیشتر از سایر نقاط منطقه است.

واژه های کلیدی: فرونشت، افت آب زیرزمینی، گمانه زمین‌شناسی، دشت کرمانشاه.

*.نویسنده مسئول مقاله: E-mail:pe.rezaee@yahoo.com

[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی و خشکسالی و همچنین فقدان نظارت در حفر چاه‌های کشاورزی بسیاری ازآب‌خوان‌های کشور مورد برداشت غیراصولی و بدون برنامه قرار گرفته‌اند که این امرموجب منفی‌شدن بیلان این آب‌خوان‌ها شده است، تا جایی که بنابر گزارش سازمان زمین‌شناسی بیشتر دشت‌های کشور دچار افت سطح آب زیرزمینی شده‌اند. علاوه‌بر این‌که آب‌های زیرزمینی یک ثروت ملی و استراتژیک محسوب می‌شوند و باید در برداشت از آن‌ها برنامه‌ریزی دقیق‌تری انجام گیرد، افت زیاد آب در دشت‌ها نیز می‌تواند موجب پدیده فرونشست شود.

فرونشست عبارت است از نشست روبه پایین سطح زمین که می‌تواند با بردار اندک افقی همراه باشد (طاهری‌تیزرو، ۹۵، ۱۳۸۷). فرونشست می‌تواند علت طبیعی داشته باشد مانند انحلال، حرکت آرام پوسته، ذوب‌شدن لایه‌های منجمد دائمی در اعماق زمین و ریزش فروچاله‌ها و هم می‌تواند در اثر فعالیت‌های انسانی مانند معدن‌کاوی، زهکشی خاک‌های ارگانیک و افت سطح آب سفره‌های آب در اثر استفاده بی‌رویه صورت گیرد (وانگ ۲۰۰۸، آل‌خمیس و همکاران ۱۳۸۵، خالدی ۱۳۸۰). سرعت وقوع این پدیده با توجه به نوع آن متغییر است. ریزش یک فروچاله کارستی سریع انجام می‌گیرد، ولی نشست زمین به دلیل افت آب زیرزمینی امری تدریجی است. در ایران نشست‌های حاصل ازفروچاه‌ها در مناطقی مانند فامنین همدان گزارش شده است، ولی بنا به نظر کارشناسان بیشتر فرونشست‌های ایران برای تراکم سفره‌های آب زیرزمینی در اثر پمپاژ بی‌رویه است (پاخکو و همکاران، ۲۰۰۶:۱٤۳). میان مقدار تخلیه آب از سفره‌ها و تنش وارده بر رسوبات سفره‌ها رابطه (۱) برقرار است.

$$P_i=P_T-P_H \qquad (۱)$$

دراین رابطه $P_i$ تنش مؤثر، $P_t$ تنش کلی و $P_h$ فشار هیدرولیکی آب است. همان‌گونه که مشهود است افزایش بهره‌برداری سبب کاهش فشار هیدرودینامیکی و در نتیجه افزایش تنش مؤثر بر رسوبات و ایجاد نشست در زمین می‌شود. اگر جنس رسوبات رس و سیلت باشد به دلیل این‌که حالت الاستسیته ندارند، پس از خروج آب، خاک آرایش جدید می‌گیرد. هنگامی که فشار هیدرولیکی آب کم می‌شود موجب برهم خوردن تعادل و افزایش فشار حاصل از رسوبات



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

بالایی می‌شود، به‌طوری که تخلخل رسوبات با جورشدگی مجدد کاهش یافته و متراکم می‌شود. تراکم در رسوبات می‌تواند سبب ایجاد ترک‌های طولی به موازات دشت یا ایجاد ترک‌هایی در ابنیه و حتی تخریب آن‌ها شود، همچنین پدیده لوله‌زایی در چاه‌ها و یا تخریب دیواره چاه و ایجاد فروچاله‌هایی در سطح زمین می‌تواند از دیگر آثار فرونشست باشد. از دیگر عوارض فرونشست برهم‌خوردن شیب لوله‌ها و کانال‌های انتقال‌آب، فاضلاب و ... است که به دلیل تفاوت در مقدار نشست در قسمت‌های مختلف یک مسیر لوله به‌وجود می‌آید.

مدیریت فرونشست باید در سه مرحله انجام گیرد.

پیش‌بینی مکان و ماهیت فرونشینی پیش از حدوث آن و استفاده از این دانش جهت برنامه‌ریزی توسعه امور سطحی زمین در آینده، در مکان امن و جلوگیری ازفرونشینی طرح‌های توسعه پیشین.

چاره‌اندیشی درخصوص آثار فرونشینی از طریق حفظ و بقای تراز سطح زمین یا کاهش مقدار فرونشینی یا اصلاح سطح زمین.

کاهش آثار فرونشینی حاصل از توسعه امور سطحی زمین با طرح و برنامه‌ریزی دقیق و امور حفاظتی (گودرزی‌نژاد، ۱۷۰، ۱۳۷۷).

تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که فرونشست در سرتاسر دنیا همواره به‌عنوان تهدیدی جدی جهت پروژه‌های انسانی مطرح بوده است. در ایالت کالیفرنیا در اثر برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی، قسمت‌هایی از دشت تا سال ۱۹٦۹ تا حدود ۸/۸ متر افت داشته است (پولند، ۱۹۸۱:۲۷٤). در همین ایالت پس از طی یک دوره ۲۵ ساله، تا سال ۱۹۹٤، به دلیل افت ۵۰ متری سطح سفره آب، سطح زمین تا حدود ۱۰ متر فرونشست داشته است (لارسون و همکاران، ۷۹، ۲۰۰۱).

در کشور نخستین بار پدیده فرونشست با مشاهده پدیده لوله‌زایی در چاه‌های کشاورزی دشت رفسنجان (حسینی‌میلانی، ۹۸، ۱۳٤٦) گزارش شده است، ولی به نظر می‌رسد به دلیل برداشت بی‌رویه از سطح سفره‌ها توسط چاه‌های کشاورزی درسال‌های اخیر و به تبع آن افت سطح سفره‌ها به تازگی شاهد تحقیقات بیشتری در رابطه با فرونشست در سطح کشور مواجه هستیم که همگی نشان‌دهنده وضعیت بحرانی درسطح بیشتر دشت‌های کشور است. در دشت هشتگرد یک آب‌خوان تحت فشار در زیر و یک آب‌خوان آزاد روی آن قرار دارد. تغذیه



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

آب‌خوان تحت فشار زیرین فقط از طریق آب‌خوان بالایی ممکن است، ولی حجم برداشت از آن در سال‌های اخیر چند برابر شده که این امر سبب فرونشست در قسمت‌هایی از این دشت شده است (شمشکی و همکاران، ۱۲۷، ۱۳۸۷)

افت شدید آب‌های زیرزمینی به میزان ۸/ ۰متر در سال و وجود رسوبات ریزدانه در غرب دشت کاشمر مسبب اصلی فرونشست در این دشت شناخته شده است (لشکری‌پور و همکاران، ۹۵:۱۳۸۷). وجود کوره‌های قنات و کاهش سطح آب زیرزمینی در اثر استفاده بی‌رویه و وجود سازندهای تبخیری از مؤثرترین عوامل فرونشست زمین در اشتهارد است (رنجبر و همکاران، ۱۵۵، ۱۳۸۸).

در تحقیقی دیگر با استفاده از تکنیک راداری اینفرامتری مشخص شد که سفره آب دشت مشهد سالیانه ۱/٤۷ متر افت دارد و بیشترین فرونشست‌ها و اشکال ژئومورفولوژیک مربوط به آن‌ها در بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی این دشت وجود آمده است (اشراقی و بهنیافر، ۹، ۱۳۸۸)، همچنین با استفاده از تلفیق لایه‌های لیتولوژی، هیدرولوژی، ژئومورفولوژی و... پدیده فرونشست را برای دشت اردبیل پیش‌بینی کردند (امیراحمدی وهمکاران، ۲۰، ۱۳۸۹). ایشان به این نتیجه رسیدند که در آینده احتمال وقوع فرونشست در جنوب شرقی و غرب در این دشت وجود دارد.

با توجه به مسائل بیان‌شده و همچنین اهمیت موضوع، نخست افت سطح سفره آب زیرزمینی در دشت کرمانشاه، سپس مناطقی که دارای افت شدید است و همچنین علت این افت و رابطه آن با تغییرات اقلیمی چند سال اخیر مورد بررسی قرار گرفته و در مرحله بعد با بررسی جنس رسوبات مناطقی که افت شدید سطح آب داشته‌اند، مناطقی که افت شدید سطح آب داشته و هم جنس رسوبات مساعد پدیده فرونشست باشد با نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی شناسایی شده و خطرات احتمالی پدیده فرونشست برای منابع انسانی محدوده مورد شناسایی قرار گیرد.

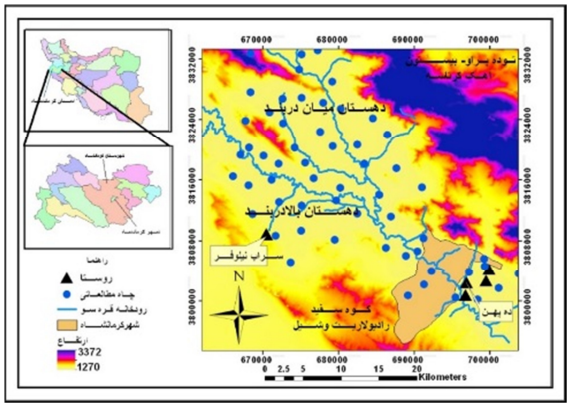
## ۲- معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مختصات عرض جغرافیایی ۳٤/۱۸ درجه در جنوب، ۳٤/٤۱ در شمال،



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

طول جغرافیایی ٤٦/٤٢ در غرب و ٤٧/١٥ در شرق محدود شده است. این منطقه شامل قسمت شمال، شمال‌غرب و غرب شهرستان کرمانشاه می‌شود. منطقه توسط رودخانه قره‌سوکه از سرشاخه‌های حوضه کرخه زهکشی می‌شود. میانگین بارش سالانه در شمال‌غرب منطقه در ایستگاه سینوپتیک روانسر ٥٢٧ میلی‌متر، در غرب منطقه ایستگاه باران‌سنجی سراب نیلوفر ٤١٦ میلی‌متر و در شرق منطقه در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه ٤٤٠/٩ میلی‌متر است (شکل ١).




**شکل ١** موقعیت منطقه مورد مطالعه دراستان کرمانشاه

## ٣- زمین‌شناسی منطقه

در شمال منطقه سیستم کوهستانی پرآو- بیستون با قله‌های طاق بستان و پرآو قرار دارد. جنس این سیتم از آهک توده‌ای یک‌پارچه متعلق به ژوراسیک و کرتاسه است که مملو از درز و شکاف و شکستگی است (علائی، ١٤٤، ١٣٨٢). شیب عمومی این توده تقریباً ٥٠درصد و دارای ارتفاعات بالای ٢٠٠٠ متر و پتانسیل خوبی از نظر منابع آبی است. در جنوب منطقه رشته کوهستانی کوه سفید واقع است که بلندترین قله آن ٢٨٥٠ متر ارتفاع دارد. جنس این توده در قسمت‌هایی از رادیو لاریت‌های ناحیه عمیق دریایی و در برخی ازنقاط از ماسه‌سنگ، شیل و آهک تشکیل شده است. دشت کرمانشاه در بین ارتفاعات یادشده واقع شده، جنس کف دشت از رادیو لاریت است که به‌وسیله رسوبات دوره کواترنر که ضخامت آن در شمال دشت به ٢٠٠ متر



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

می‌رسد پوشیده شده است (شکل ۱).

## ۴- داده‌ها و روش‌ها

### ۴-۱- داده‌ها

در این تحقیق از نقشه رقومی ارتفاع ۳۰ متر سازمان نقشه‌برداری و همچنین نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشوراستفاده شده است.

جهت تهیه نقشه افت سطح آب دشت کرمانشاه آمار سطح آب ٦٥ چاه مطالعاتی منطقه از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۳۹۲ از بخش مطالعات سازمان آب منطقه‌ای غرب تهیه شد، همچنین جهت تهیه نقشه حساسیت رسوبات، گمانه ۱۲ حلقه از چاه‌های بهره‌برداری و مطالعاتی منطقه از بخش تحقیقات اداره آب منطقه‌ای غرب تهیه شد.

مدل‌سازی این تحقیق درمحیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی ورژن ۱۰ انجام گرفت. در این تحقیق از دو تکنیک درون‌یابی جهت تهیه نقشه افت آب و حساسیت رسوبات و همچنین هم‌پوشانی فازی جهت تولید نقشه نهایی امکان وقوع فرونشست استفاده شد.

## ۵- روش تحقیق

تحقیق حاضر در سه مرحله مشخص انجام گرفته است. نخست با توجه به اطلاعات چاه‌های پیزومتریک منطقه نقشه افت آب در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه و سپس جنس رسوبات در محدوده‌های دارای افت شدید با مطالعه گمانه زمین‌شناسی چاه‌های بهره‌برداری اقدام به شناسایی و با استفاده از اطلاعات جنس رسوب، نقشه حساسیت رسوبات به پدیده فرونشست تهیه شد. در مرحله آخر با استفاده ازمدل هم‌پوشانی فازی درمحیط نرم‌افزار Arc GIS و با توجه به نقشه افت سطح آب و نقشه حساسیت بافت زمین، مناطق مساعد فرونشست شناسایی شد.

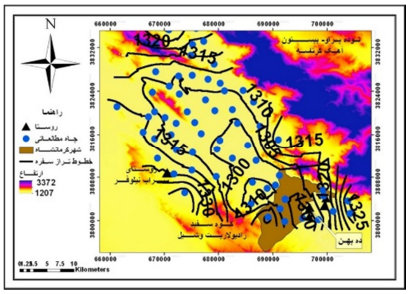
## ۶- تهیه نقشه افت آب

با توجه به این‌که در عملیات درون‌یابی فرض بر نرمال‌بودن داده‌هاست (قهرودی، ۷۰:۱۳۸۷)، در ابتدا داده‌های مربوط به سطح تراز آب در سال ۱۳۷۰ و ۱۳۹۲ از نظر توزیع فضایی و نرمال‌بودن

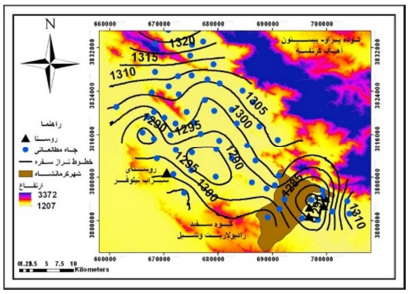


[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

با روش‌های واریوگرافی مورد بررسی قرار گرفتند و پس از تشخیص چولگی در آن‌ها و نرمال‌شدن توسط تبدیل لگاریتم، داده‌ها با روش‌های کریجینگ و IDW درون‌یابی شدند. در مرحله بعد سطوح درون‌یابی‌شده از نظر ریشه مربع متوسط خطاها (RMSE) مورد مقایسه قرارگرفتند (جدول ۱) و پس از بررسی داده‌ها مشخص شد که بهترین مدل جهت میان‌یابی داده‌ها درسال ۱۳۷۰ مدل ایستا[1] درروش کریجینگ معمولی[2] و بهترین مدل جهت درون‌یابی داده‌های سال ۱۳۹۲ مدل IDW با توان ۵ است که در نهایت دو نقشه تراز سطح آب درسال‌های۱۳۷۰ و ۱۳۹۲ تهیه شد. در ادامه از تفاضل نقشه سطح آب در سال ۱۳۷۰ (شکل۲) و نقشه سطح آب درسال ۱۳۹۲ (شکل ۳) نقشه افت آب دوره ۲۲ساله در پنج کلاس افت خیلی‌شدید، شدید، متوسط، کم و خیلی‌کم تهیه شد (شکل ۸).




**شکل ۲** نقشه سطح آب در سال ۱۳۷۰




**شکل ۳** نقشه سطح آب در سال ۱۳۹۲

**جدول ۱** اطلاعات مربوط به خطاهای پیش‌بینی درتهیه نقشه افت آب درسال‌های۱۳۷۰ و ۱۳۹۲

| روش | مدل | ریشه مربع متوسط خطاها ۱۳۷۰ | ریشه مربع متوسط خطاها ۱۳۹۲ |
|---|---|---|---|
| کریجینگ معمولی | Stable | ٤/۱۸ | ۱۰/۷۲ |
| کریجینگ معمولی | Spherical | ٤/۳٤ | ۹/۷۲ |
| کریجینگ معمولی | Gaussian | ۵/۲۸ | ۱۰/۷۲ |
| کریجینگ معمولی | Exponential | ٤/۳٦ | ۱۰/٤۳ |

1. Stable
2– Ordinary Kriging



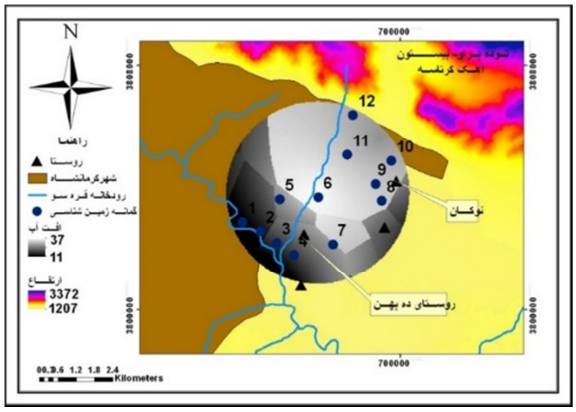
[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

**ادامه جدول ۱**

| روش | مدل | ریشه مربع متوسط خطاها ۱۳۷۰ | ریشه مربع متوسط خطاها ۱۳۹۲ |
|---|---|---|---|
| کریجینگ معمولی | Circular | ٤/٦٤ | ۹/۷٦ |
| IDW | توان ۲ | ٥/٦٨ | ۱۰/۷۲ |
| IDW | توان ۳ | ٤/۹۱ | ۹/۲۱ |
| IDW | توان ٤ | ٤/٥٠ | ۸/۷۰ |
| IDW | توان ٥ | ٤/۲۹ | ۸/٤۹ |

## ۷- بررسی گمانه زمین‌شناسی چاه‌های منطقه

با توجه به نقشه افت آب به‌دست‌آمده در مرحله نخست، مرحله دوم تحقیق محدوده ۱۲ حلقه از چاهای بهره‌برداری و مطالعاتی شرق و شمال‌شرق شهر کرمانشاه که دارای بیشترین افت آب بود (۳۰-۳۸ متر) جهت بررسی بافت رسوبات و بررسی میدانی انتخاب (شکل ٤)، و گمانه زمین‌شناسی چاه‌های یادشده از اداره آب منطقه‌ای غرب تهیه شد.




**شکل ۴** نقشه منطقه افت شدید آب و موقعیت گمانه‌های زمین‌شناسی منطقه

با مطالعه گمانه چاه‌های یادشده و همچنین بازدیدهای مکانی، بافت رسوبات ۱۲ حلقه گمانه



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

زمین‌شناسی ایجاد شده در محدوده افت شدید آب در بازه زمانی تحقیق مشخص گردید.

جهت تهیه نقشه حساسیت رسوبات منطقه به پدیده فرونشست، پس از بررسی دقیق گمانه‌های زمین‌شناسی محدوده انتخاب‌شده (محدوده افت شدید سطح آب)، به هر یک از بافت‌های رسوب دارای ارزش کیفی، یک ارزش کمی داده شد (جدول ۲)؛ یعنی به رسوبات دانه‌ریز در گمانه ٤ ارزش کمی ۳، به رسوبات ماسه و شن در گمانه‌های شماره ۸- ۱ ارزش ۲، و به رسوبات حاوی گراول و تخته‌سنگ در دامنه ارتفاعات شمال منطقه و روستاهای نوکان و تنگ کنشت مربوط به چاه‌های شماره ۹-۱۲ ارزش ۱ داده، و با استفاده ازعملیات درون‌یابی نقشه حساسیت رسوبات به پدیده فرونشست تهیه شد (شکل ۹).

**جدول ۲** ارزش‌دهی کمی به جنس رسوبات گمانه زمین‌شناسی ۱۲ حلقه از چاه‌های مطالعاتی محدوده انتخاب‌شده (محدوده افت شدید سطح آب)

| شماره چاه | جنس رسوبات | ارزش |
|---|---|---|
| ٤ | رس و سیلت | ۳ |
| ۲-۸-۷-٦-٥-۳-۱ | ماسه و گراول | ۲ |
| ۹-۱۰-۱۱-۱۲ | گراول و تخته سنگ | ۱ |

(منبع: واحدمطالعات سازمان آب منطقه‌ای غرب)

## ۸- مدل‌سازی فرونشست

در سومین و آخرین مرحله از تحقیق احتمال وقوع پدیده فرونشست منطقه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از تکنیک استنتاج فازی مدل‌سازی شد. بدین‌منظور از لایه‌های تهیه‌شده در مراحل پیشین (نقشه افت آب و حساسیت رسوبات به فرونشست) جهت تهیه نقشه امکان وقوع فرونشست درمنطقه موردمطالعه استفاده شد.

در نخستین مرحله از فازی‌سازی نقشه‌های رستری افت آب و حساسیت رسوب تعیین عضویت فازی شد. یک مجموعه فازی براساس رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$A = \{(x, \mu x): x \epsilon X)\} \quad (۲)$$

در مدل فازی تمام لایه‌های موجود دارای ارزشی بین صفر تا یک می‌شوند. در نقشه افت آب، افت ۳۸ متر دارای ارزش یک و کمترین مقدار افت در منطقه دارای ارزش صفر می‌شود



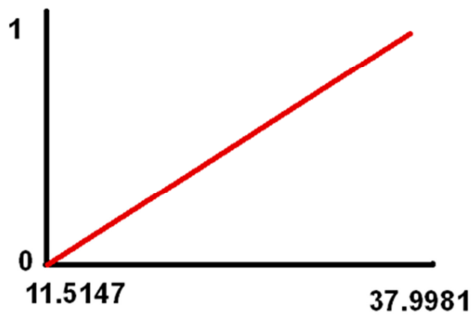
[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

(شکل ۵) به این فرایند تعیین عضویت فازی لایه‌ها می‌گویند.

$$x = 11.5147 \rightarrow 0$$

$$x = 37.9981 \rightarrow 1$$

$$11.5147 < x > 37.9981 \rightarrow \frac{\mathrm{x} - 11.5147}{37.9981 - 11.5147} \qquad (۳)$$




**شکل ۵** تعیین عضویت فازی لایه افت آب

پس از این که عضویت لایه‌ها تعیین شد (شکل‌های ٦، ٧)، عملیات هم‌پوشانی[1] روی لایه‌ها انجام گرفت. هم‌پوشانی در سیستم اطلاعات جغرافیایی با روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد که می‌توان به روش منطقی یابولین، هم‌پوشانی ریاضی که در مدل AHP استفاده می‌شود و هم‌پوشانی فازی اشاره کرد. هم‌پوشانی فازی نیز باروش‌های مختلف انجام می‌پذیرد که بنا به نیاز و اهداف پروژه انتخاب می‌شوند مانند تابع اجتماع[2]، اشتراک[3]، جمع[4]، ضرب[5] و گامای فازی که هر یک خصوصیات خاص خود را دارد.

در این تحقیق لایه‌ها با روش‌های مختلف مورد هم‌پوشانی قرار گرفت و در نهایت با توجه به هم‌خوانی برداشت‌های میدانی از منطقه با نقشه تهیه شده در روش گاما یا همان اپراتور این

1. Overlay
2. or
3. and
4. Sum
5. Product

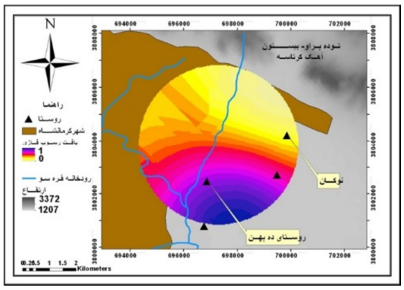


[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

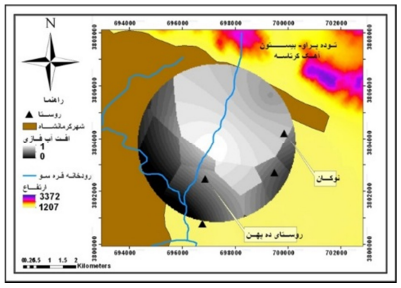
روش که تلفیقی از ضرب و جمع فازی است جهت عملیات هم‌پوشانی انتخاب شد.

$$\text{operator} = \left( \left(1 - \prod_{i=1}^{n} (1-\mu_i)\right)^{\gamma} \times \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_i\right)^{1-\gamma} \right) \quad (٤)$$

درجه گامای انتخابی (لاندا) نیز ۰/۷ انتخاب شد که توان جمع فازی در تابع فوق است و درنهایت نقشه امکان وقوع پدیده فرونشست در سه کلاس زیاد، متوسط و کم تهیه شد (شکل ۱۰).



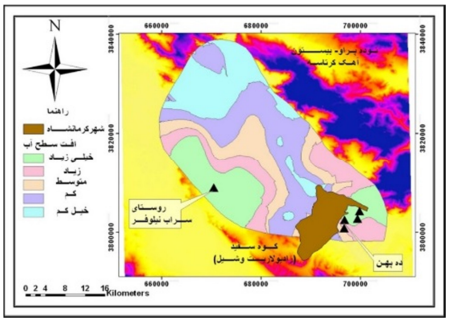

**شکل ۶** تعیین عضویت لایه بافت رسوبات




**شکل ۷** تعیین عضویت لایه افت سطح آب

## ۹- بحث و یافته‌های تحقیق

با توجه به محاسبات انجام‌شده در بخش نخست تحقیق از تفاضل نقشه افت آب در سال ۱۳۷۰ با نقشه افت آب در سال ۱۳۹۲ نقشه افت ۲۲ ساله سطح آب دشت کرمانشاه در پنج کلاس افت خیلی‌شدید، شدید، متوسط، کم و خیلی‌کم تهیه شد (شکل ۸).




**شکل ۸** نقشه نهایی افت سطح آب در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۷۲



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

با بررسی نقشه شکل ۸، مطالعات میدانی و بررسی آمار چاه‌های بهره‌برداری منطقه موارد زیر مشخص شد.

در بازه زمانی یادشده مناطقی از دشت کرمانشاه مانند دهستان میان دربند دارای افت خیلی‌کم (۵ متر) است که با توجه به کاهش میانگین بارش ۳۰ سال اخیر کرمانشاه از ۵۰۰ میلی‌متر به ٤۰۰ میلی‌متر، همچنین تغییر رژیم بارش از برف به باران این مقدار افت سفره آب منطقی به نظر می‌رسد.

غرب دشت کرمانشاه، حوالی روستای سراب نیلوفر، در دهستان بالا دربند افت شدید سطح سفره را شاهد هستیم که پس از بررسی آمار چاه‌های بهره‌برداری مشخص شد. تعداد چاه‌های کشاورزی در منطقه از ۳۷ چاه در سال ۱۳۷۲ به ۳۰۰ چاه در سال ۱۳۹۲ افزایش یافت که نشان‌دهنده برداشت بیش از حد در این ناحیه جهت مصارف کشاورزی بوده و می‌تواند افت ۲٦ متری سطح سفره آب در این ناحیه را توجیه کند.

شرق شهر کرمانشاه، در حوالی روستاهای ده‌پهن و نوکان سطح سفره آب تا حدود ۳۸ متر افت داشته است. بابررسی‌های مکانی و تحلیل آمار چاه‌های بهره‌برداری منطقه مشخص شد که در محدوده یادشده در سال‌های اخیر تعداد زیادی چاه شرب جهت استفاده شهر کرمانشاه احداث شده است، همچنین در این منطقه تعداد زیادی پادگان نظامی و مراکز صنعتی وجود دارد که همگی از چاه‌های عمیق استفاده می‌کنند.

علاوه‌بر موارد بالا، در سال‌های اخیر تعداد زیادی چاه کشاورزی در روستاهای ده‌پهن و نوکان حفر شده است.

با بررسی نقشه حساسیت رسوبات به پدیده فرونشست (شکل ۹) مشخص شد که بافت رسوبات تحت تأثیر دو عامل کوهستان‌های شمال منطقه و زهکش اصلی دشت، یعنی رودخانه قره‌سو قرار دارد، به‌طوری که برخی از مناطق در مجاورت رودخانه قره‌سو بافت رسوبات تا عمق زیادی به‌صورت ماسه و شن است (چاه‌های ۱–۳) که به پدیده فرونشست حساسیت زیادی ندارند. از سوی دیگر با نزدیک شدن به ارتفاعات شمال دشت که عمدتاً از آهک تشکیل‌یافته در پروفیل طولی خاک می‌توان مقدار زیادی تخته‌سنگ و قلوه‌سنگ یافت (چاه‌های ۹–۱۲) که این رسوبات نیز حساسیت کمی به فرونشست دارند. در پایین‌دست ارتفاعات منطقه در جنوب

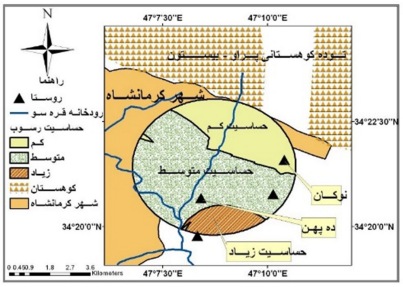


[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

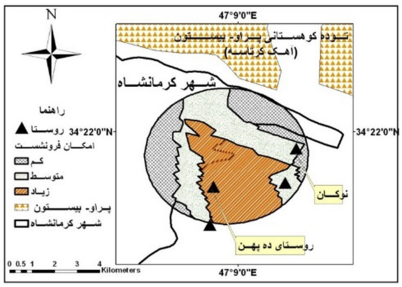
روستای ده‌پهن رسوبات دانه‌ریز فراوانی از رس و سیلت وجود دارد (چاه ۱). این منطقه از حیث ارتفاع در پایین‌دست رودخانه قره‌سو قرار دارد. احتمالاً منشأ این رسوبات دانه‌ریز سیلاب‌های این رودخانه است که این رسوبات حساسیت زیادی برای پدیده فرونشست در منطقه به وجود آورده است (شکل ۹).

یافته‌های نهایی از انطباق نتایج بخش نخست و دوم تحقیق درخصوص پیش‌بینی خطر فرونشست را می‌توان به شرح زیر بیان کرد. نتیجه بررسی منطقه از نظر افت سطح سفره (شکل ۸) و حساسیت رسوبات (شکل ۹)، تهیه نقشه امکان وقوع فرونشست منطقه در سه کلاس امکان زیاد، متوسط و کم است (شکل ۱۰).

با بررسی این نقشه ( شکل ۱۰) مشخص شد مناطقی مانند حاشیه رودخانه قره‌سو و دامنه ارتفاعات شمال منطقه که دارای بافت درشت و گراولی است، اگرچه افت شدید سطح آب دارد، ولی بافت رسوبات آن‌ها می‌تواند از خطر وقوع فرونشست بکاهد. در نقشه حساسیت تهیه‌شده این مناطق به‌عنوان مناطق دارای حساسیت کم شناخته شده است. در مقابل مناطقی مانند جنوب، شرق و شمال روستای ده‌پهن حوالی چاه شماره ٤ که در فاصله بینابین ارتفاعات شمال منطقه ورودخانه قره‌سو قرار دارد و تا عمق زیادی از رسوبات دانه‌ریز تشکیل‌شده حساسیت زیادی به پدیده فرونشست دارد.




**شکل ۹** نقشه حساسیت رسوبات محدوده انتخاب‌شده (منطقه افت شدید آب)




**شکل ۱۰** نقشه امکان وقوع فرونشست در منطقه منتخب به پدیده فرونشست (شمال وشمال‌شرق شهر کرمانشاه با بیشترین افت سطح آب)



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

## ۱۰- نتیجه‌گیری

با توجه به آن‌چه بیان شد می‌توان نتیجه گرفت که دشت کرمانشاه نیز مانند بسیاری از دشت‌های کشور از نظر افت سطح آب شرایط نامطلوبی را تجربه می‌کند، به‌گونه‌ای که در یک بازه زمانی کوتاه ۲۲ ساله برخی از نقاط این دشت مانند شرق شهر کرمانشاه با افت ۳۸ متری سطح آب مواجه بوده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر می‌توان نتیجه گرفت که همان‌گونه که در شرق شهر کرمانشاه شاهد استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در بخش شرب هستیم می‌تواند سبب افت شدید سطح سفره‌ها شود، به‌طوری‌که افت سطح آب در حوالی روستای ده‌پهن و نوکان، محل تجمع چاه‌های شرب شهر کرمانشاه، از منطقه سراب نیلوفر، یکی از قطب‌های کشاورزی دشت کرمانشاه، بیشتر است. پیشنهاد می‌شود چاه‌های دیگری در سطح دشت کرمانشاه جهت تهیه آب آشامیدنی این شهر طراحی شود تا تمرکز این چاه‌ها در یک منطقه مانند ده‌پهن سبب ایجاد مشکلات و بروز مخاطراتی مانند فرونشست و ... نشود. از سوی دیگر با توجه به رشد فیزیکی روستای ده‌پهن در سال‌های اخیر و تبدیل آن به یکی از ده شهر کرمانشاه، همچنین وجود رسوبات با بافت ریز مانند سیلت و رس پدیده فرونشست می‌تواند به‌عنوان تهدیدی جدی برای بافت شهری در این محدوده از شهر محسوب و باید درخصوص برداشت آب از این منطقه برنامه‌ریزی دقیق‌تری انجام شود. این منطقه در نقشه امکان وقوع فرونشست یادشده دارای حساسیت خیلی زیاد است. با بررسی میدانی از منطقه مشخص شد که ایستگاه راه‌آهن غرب کشور نیز در این ناحیه در دست احداث است که این مسأله نیز می‌تواند سبب ایجاد تنش به ناحیه مورد نظر و افزایش احتمال وقوع پدیده فرونشست و تهدید امنیت این پروژه باشد.

براساس پیشینه تحقیق، محققان زیادی فرونشست و عوامل به‌وجودآورنده آن را بررسی کردند، ولی در بیشتر این تحقیقات پس از وقوع فرونشست و نمود نشانه‌های آن و یا بروز مشکلات به بررسی علل آن پرداخته شده است. برای نمونه اشراقی در تحقیقی دریافت که دلیل فرونشست دشت مشهد افت ۳۰ متری سفره آب در ٢٤ سال اخیر بوده است (اشراقی، ۹، ۱۳۸۸). زارع‌مهرجردی پس از بررسی درز و ترک‌های ایجادشده در دشت یزد دریافت که دلیل این درزها در اثر افت فشار پیزومتریک رسوبات به میزان سه متر در سال بوده است (مهرجردی، ۱۵۵، ۱۳۹۰). در تحقیقی دیگر لشگری‌پور پس از بررسی فرونشست واقع‌شده در دشت کاشمر به این نتیجه



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

رسید که افت سطح سفره آب به همراه ریزدانه‌بودن رسوبات این دشت دلیل اصلی فرونشست است (لشگری‌پور، ۹۵، ۱۳۸۷). با توجه به این‌که تاکنون شاهد پدیده فرونشست حاد در سطح استان کرمانشاه نبودیم، نتایج این تحقیق درخصوص امکان پدیده فرونشست وسیع و خطرناک پیش از وقوع در سطح دشت‌های این استان برای کارشناسان می‌تواند هشداری جدی باشد.

## ۱۱- منابع


- آل‌خمیس، رضا، سعید کریمی‌نسب و فرزاد آریانا، «بررسی تأثیر نشست حاصل از تخلیه آب زیرزمینی بر تخریب لوله جداره چاه‌ها»، *مجله آب و فاضلاب*، ش ٦٠، صص ٧٧-٨٧، ١٣٨٥.
- اشراقی، علی، ابوالفضل بهنیافر، «ارتباط فرونشست‌های دشت مشهد با افت آب زیرزمینی»، *مجله علوم جغرافیایی*، ش ١٣، ١٤ بهار و تابستان، صص ٩-٢٦، ١٣٨٨.
- امیراحمدی، ابوالقاسم، نسیم معالی‌اهری و طیبه احمدی، «تعیین مناطق فرونشست احتمالی دشت اردبیل با استفاده از GIS»، *نشریه علمی و پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ١٧، ش ٤٦، صص ١-٢٣، زمستان ١٣٩٢.
- خالدی، شهریار، *بلایای طبیعی*، انتشارات شهید بهشتی، ١٣٨٠.
- خزائی، علی، *نقش عوامل زمین ریخت‌شناسی درگستره سیلاب‌های دشت کرمانشاه*، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه رازی کرمانشاه، مهر ١٣٨٦.
- حسینی‌میلانی، م، «اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و اثرات آن»، *مجموعه مقالات کنفرانس ملی منابع آب زیرزمینی*، سیرجان، صص ٩١- ٩٨، ١٣٧٣.
- طاهری‌تیزرو، عبداله، *آب‌های زیرزمینی*، انتشارات دانشگاه رازی، چاپ دوم، ١٣٨٧.
- رنجبر، محسن، نسرین جعفری، «بررسی عوامل مؤثر در فرونشست زمین در دشت اشتهارد»، *جغرافیا (نشریه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)*، دوره جدید سال ششم، صص ١٥٥-١٦٥، ش ١٨، ١٩ پاییز و زمستان، ١٣٨٨.
- شمشکی، امیر، یوسف محمدی، محمدجواد بلورچی، «شناسایی پهنه آب‌خوان تحت فشار و نقش آن در شکل‌گیری فرونشست زمین در دشت هشتگرد»، *علوم زمین*، سال بیستم، ش




[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

۷۹، صص ۱۲۷-۱٤۲، بهار، ۱۳۹۰.

- علائی‌طالقانی، محمود، *ژئومورفولوژی ایران*، نشر قومس، چاپ دوم، ۱۳۸۲.
- قهرودی‌تالی، منیژه، *درآمدی بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی*، انتشارات پیام‌نور، نسخه آزمایشی.
- گودرزی‌نژاد، شاپور، *ژئومورفولوژی و مدیریت محیط*، نشر سمت، جلد اول، ۱۳۷۷.
- لشکری‌پور، غلامرضا، محمد غفوری و حمیدرضا رستمی‌بارانی، «بررسی علل تشکیل شکاف‌ها و فرونشست زمین در دشت کاشمر»، *مطالعات زمین‌شناسی*، جلد ۱، ش ۱، صص ۹۵-۱۱۱، ۱۳۸۷.
- مهرجردی، زارع، «بررسی پدیده نشست زمین و شکستیگی‌های موجود در منطقه رستاق جنوب میبد»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ش ۳، پاییز، صص ۱۵۵-۱٦٦، ۱۳۹۰.
- Alaee Taleghani, M., *Geomorphology of Iran*, Ghoomes Publications, 2nd Ed., 1382. [in Persian]
- Alkhamis, R., S. Karimi Nasab & F. Aryana, "Investigating the Effect of Land Subsidence Due to Groundwater Discharges on Well Casing Damage", *Journal of Water*, pp. 77-87, 1385. [in Persian]
- Amirahmadi, T., N. Moaliahari & T. Ahmadi, "Determining Areas of Potential Subsidqaence Plain in Ardebil Using GIS», *Journal of Geography and Planning*, pp. 1-23, 1392, [in Persian]
- Eshraghi, A. & A. Behniyafar, "The Relationship between Subsidence in Mashhad Plains with Drop in Groundwater", *Journal of Geographical Sciences*, 13 & 14 Spring and Summer, pp. 9-26, 1388. [in Persian]
- Ghohrodi Tali, M., *Introduction to GIS*, Payam Noor Publications. [in Persian]
- Godarzi Nejad, S., *Geomorphology and Management of Environment*, SAMT Publications, 1377. [in Persian]
- Hosayni Milani, M., "Overdraft of Groundwater Source and its Effects", *Proceedings of the National Conference on Groundwater Resources,* Sirjan, pp. 91-98, 1373. [in Persian]
- Johnston, Kevin, *Using Arc GIS Geostatistical Analyst*, 2001-2004.



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]

- Khaledi, S., *Natural Disasters*, Shahid Beheshti Publications, 1380. [in Persian]
- Khazaee, A., *Effect of Geomorphological Factors in Flood in Plains of Kermanshah*, Master's Thesis, University of Kermanshah Razi, 1386. [in Persian]
- Larson, K. J., H. Basagaoglu & M. A. Marino, "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*, No. 242, pp. 79-102, 2001.
- Lashkaripour, G., M. Ghafori & H. Rostami Barani, "Investigation of the Causes of Formation of the Cracks and Land Subsidence in Kashmar Plain", *Geological Studies*, pp. 95-111, 1387. [in Persian]
- Mehrjerdi, Z., "Investigating the Causes of the Formation of cracks and Land Subsidence in Rustag Region in South Maybod", *Geography and Environmental Planning*, pp. 155-166, 1390. [in Persian]
- Pacheco, J., J. Arzate, E. Rojas, M. Arroyo, V. Yutsis & G. Ochoa, "Delimitation of Ground Failure Zones Due to Land Subsidence Using Gravity Data and Finite Element Modeling in the Queretaro Valley, Mexico", *Journal of Engineering Geology*, pp. 143-16, 2006.
- Poland, J. F., *The Occurrence and Control of Land Subsidence Due to Groundwater Withdrawal with Special Reference to the San Joaquin and Santa Clara Valleys*, California, Ph.D Dissetation, Stanford University, Palo Alto, California, 1981.
- Rangbar, M. & N. Gafari, "Study of Factors Effective in Land Subsidence in Eshtehard Plain", *Journal of Scientific Community of Geography of Iran*, pp. 155-165, 1388. [in Persian]
- Shemshaki, A., Y. Mohamadi, & M. Bolourchi, "Identifying Areas of Aquifer Pressure and Its Role in Formation of Land Subsidence in Hashtgerd Plain", *Journal of Earth Sciences,* spring, pp. 127-142, 1390. [in Persian]
- Taheri Tizro, A., *Groundwater*, University of Kermanshah Razi Publications, 2nd Ed., 1387. [in Persian]



[ Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-10-12 ]