



## شناسایی روستاهای در معرض خطر فرونشست در دشت اردبیل با استفاده از تحلیل شبکه‌ای - فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی

مقاله پژوهشی

بهرام ایمانی، جعفر جعفرزاده

دریافت: ۱۸ اردیبهشت ۱۴۰۰ / بازنگری: ۶ مرداد ۱۴۰۰ / پذیرش: ۲۰ مرداد ۱۴۰۰

دسترسی اینترنتی: ۲۸ مرداد ۱۴۰۰ / دسترسی چاپی: ۱ خرداد ۱۴۰۱

### چکیده

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه دشت اردبیل بین عرض جغرافیای شمالی ۳۸ درجه و ۰۵ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۰۳ دقیقه و طول جغرافیای شرقی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه در بخش شمال غربی در مرکز استان اردبیل قرار گرفته است. برای بررسی وضعیت آب زیرزمینی دشت، از داده‌های سی‌وهشت چاه مشاهده‌ای که از سازمان آب منطقه‌ای اردبیل تهیه شده‌اند و در سطح دشت قرار گرفته‌اند استفاده شده است. نخست با استفاده از آمار ۳۰ ساله ۶۵ چاه مشاهده‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه پتانسیل افت آب برای منطقه تهیه شد. سپس با استفاده از مدل داتال فازی اقدام به جمع‌آوری و مدل‌سازی نظرات کارشناسان شد. این روش از جمله روش‌های مفهومی برای ساختار سازی مسئله‌های تصمیم‌گیری به شمار می‌رود. فن داتال بر پایه نظریه گراف ایجاد شده است و در این روش ما می‌توانیم معیارها را به دو گروه معیارهای علت و معیارهای معلول تقسیم‌بندی کنیم تا شناخت بیش‌تری از روابط بین علت و معلول به دست آوریم و در نهایت بتوانیم یک شبکه‌ای از روابط متقابل را ایجاد نماییم. در نهایت بعد از ایجاد ماتریس روابط کلی و با توجه به اندازه حد آستانه تعریف شده، ماتریس روابط نهایی را ایجاد می‌کنیم که در این ماتریس عدد صفر به معنی عدم وجود رابطه و عدد یک به معنی وجود رابطه میان دو معیار هست. با استفاده از ماتریس روابط نهایی اقدام به نظرسنجی از

پیشینه و هدف در سال‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی و همچنین فقدان نظارت در حفر چاه‌های کشاورزی بسیاری از سفره‌های زیرزمینی کشور مورد برداشت غیراصولی قرار گرفته‌اند که این امر موجب منفی شدن بیلان این آبخوان‌ها شده است تا جایی که بنا بر گزارش سازمان زمین‌شناسی بیشتر دشت‌های کشور دچار افت سطح آب زیرزمینی شده‌اند. یکی از مخاطراتی که به دلیل عملکرد تدریجی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد پدیده فرونشست است که در سال‌های اخیر به علت افزایش بهره‌برداری از سفره‌های زیرزمینی مهم در دشت‌های بارز کشور به صورت مشکلی فراگیر نمایان شده است. در این تحقیق تلاش شده است که امکان وقوع پدیده فرونشست و خطرات احتمالی آن به‌عنوان یک تهدید در انجام پروژه‌های انسانی و همچنین سکونت‌گاه‌های روستایی در محدوده دشت اردبیل مورد بررسی قرار گیرد.

بهرام ایمانی (✉) <sup>۱</sup>، جعفر جعفرزاده <sup>۲</sup>

۱. دانشیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه

محقق اردبیلی، ایران

۲. مربی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گروه برنامه ریزی روستایی

و شهری، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [imani\\_b@uma.ac.ir](mailto:imani_b@uma.ac.ir)

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.2.4.4>

از آنجایی که تمامی نقشه‌های لایه‌های مبنا در پنج طبقه، باز طبقه‌بندی شده و وزن متناسب با هر طبقه مطابق با وضعیت لایه‌ها داده شده بود، نقشه نهایی نیز در پنج طبقه، طبقه‌بندی و وزن دهی شد که بنا بر نظر کارشناسان و اساتید به شرح زیر به دست آمده است؛ (۱) مناطق با خطر پایین، (۲) مناطق با خطر متوسط، (۳) خطر بالا، (۴) مناطق در معرض آسیب، (۵) مناطق بحرانی. در نهایت با استفاده از نقشه نهایی ارزیابی وضعیت خطر فرونشست دشت اردبیل و نیز رتبه‌بندی به دست آمده از نظرات کارشناسان ذی‌ربط، نقشه نهایی تحلیل وضعیت خطر فرونشست دشت اردبیل تهیه شد. همچنین نقشه وضعیت چاه‌های عمیق در محدوده دشت اردبیل و پراکندگی آن در سطح دهستان‌ها را نشان می‌دهد، ملاحظه می‌شود که بیشترین پراکندگی و تمرکز چاه‌های عمیق در سمت شرق دشت در محدوده دهستان‌های ویلکیج مرکزی و فولادلوی شمالی قرار گرفته است که این وضعیت موقعیت پراکندگی چاه‌های عمیق به خوبی وضعیت متناسب بودن پراکندگی چاه‌های عمیق با مناطق در معرض خطر فرونشست را نشان می‌دهد.

**نتیجه‌گیری** دهستان‌های ویلکیج مرکزی، فولادلوی شمالی و دهستان شرقی بیشترین سطح آسیب‌پذیری را از لحاظ وضعیت خطر فرونشست دارند. وضعیت بحرانی خطر فرونشست در این سه دهستان بیشترین مقدار را دارد. همچنین دهستان کلخوران و آغبلاغ آقاجان خان از وضعیت متوسط به سمت وضعیت در معرض آسیب پیش می‌روند که نیازمند دقت بیشتری در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب این دهستان‌ها هست. همچنین یک رابطه قوی بین نحوه پراکندگی چاه‌های عمیق در سطح دشت اردبیل و مناطق در معرض خطر بالای فرونشست وجود دارد. با توجه به نتایج به دست آمده، زیرمعیار وضعیت آب‌های زیرزمینی با وزن ۰/۳۸ بیشترین تاثیر را در وضعیت خطر فرونشست دشت اردبیل ایجاد کرده است. این وزن با بررسی سایر لایه‌های مرتبط با وضعیت آب زیرزمینی و لایه پراکندگی جمعیت، نشان دهنده تاثیر زیاد این زیرمعیار است.

**واژه‌های کلیدی:** فرونشست، تحلیل فازی، آبخوان، سیستم اطلاعات جغرافیایی، دشت اردبیل

خبرگان در مورد اندازه تأثیر عوامل بر یکدیگر با توجه به وابستگی آن‌ها به هم می‌نماییم. بعد از آنکه داده‌ها از سازمان‌های مربوط تهیه شد اقدام به تشکیل پایگاه داده برای اطلاعات موجود در محیط نرم‌افزار ArcCatalog کرده و سپس نقشه‌های مربوط به این داده‌ها را در نرم‌افزار ArcGIS ایجاد شد. بعد از اینکه وزن لایه‌های مختلف با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای فازی به دست آمد، وارد نرم‌افزار ArcGIS شده و وزن‌های هر زیر معیار را در نقشه‌ای که برای هر لایه مورد نظر ایجاد کرده بودیم ضرب کرده و در نهایت نقشه‌ها را باهم جمع کردیم تا یک نقشه نهایی به دست آمد. نقشه نهایی نشان‌دهنده مناطقی از دشت اردبیل است که از نظر خطر فرونشست طبقه‌بندی شده و در پنج طبقه از لحاظ وضعیت خطر با طیف رنگی نشان داده شد. بعد ناحیه‌ای که افت شدید آب داشت انتخاب و با نقشه پراکندگی چاه‌های عمیق مقایسه شد. در مرحله آخر با استفاده از مدل‌های پیشرفته و ترکیبی فازی و تحلیل شبکه‌ای در محیط نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی هر یک از لایه‌های حساسیت رسوبات و افت سطح آب تعیین عضویت و با استفاده از هم‌پوشانی خطی فازی نقشه حساسیت منطقه به پدیده فرونشست در پنج کلاس حساسیت بسیار بالا، حساسیت بالا، حساسیت متوسط، حساسیت پایین و حساسیت بسیار پایین تهیه شد. برای تهیه نقشه نهایی وضعیت خطر فرونشست در محدوده دشت اردبیل ابتدا وزن‌های به دست آمده برای هر زیر فاکتور را در نقشه‌های فازی شده آن زیر فاکتور ضرب کرده و سپس با استفاده از ابزار Raster Calculator این نقشه‌های وزن‌دار تجمیع شدند. در نقشه فازی نهایی ارزیابی وضعیت خطر فرونشست دشت اردبیل با طیف‌های رنگی از آبی که پایین‌ترین حد را نشان می‌دهد به سمت قرمز که بیشترین مقدار را نشان می‌دهد، در تغییر است. رنگ آبی مناطق با خطر پایین و رنگ قرمز مناطق با خطر بالا را از نظر خطر فرونشست در محدوده دشت اردبیل و روستاهای واقع در این محدوده نشان می‌دهد.

**نتایج و بحث** پس از به دست آوردن نقشه اولیه ارزیابی وضعیت خطر فرونشست و مناطق در معرض خطر فرونشست دشت اردبیل، نقشه نهایی بررسی وضعیت دشت اردبیل از لحاظ خطر فرونشست زمین، با توجه به وزن‌ها و لایه‌های به دست آمده تهیه شده است.

## مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی و هم‌چنین فقدان نظارت در حفر چاه‌های کشاورزی بسیاری از سفره‌های زیرزمینی کشور مورد برداشت غیراصولی قرار گرفته‌اند که این امر موجب منفی شدن بیلان این آبخوان‌ها شده است تا جایی که بنا بر گزارش سازمان زمین‌شناسی بیشتر دشت‌های کشور دچار افت سطح آب زیرزمینی شده‌اند (۱۰). گذشته از این امر که آب‌های زیرزمینی یک ثروت ملی و استراتژیک محسوب شده و باید در برداشت از آن‌ها برنامه‌ریزی دقیق‌تری انجام گیرد، پدیده فرونشست ناشی از افت زیاد آب در دشت‌ها نیز می‌تواند مورد توجه قرار گیرد (۱۱). در تعریف پدیده فرونشست می‌توان گفت که فرونشست عبارت است از حرکت به سمت پایین سطح زمین که می‌تواند با اندکی حالت افقی همراه باشد (۵ و ۱۸). پدیده فرونشست هم می‌تواند علت طبیعی داشته باشد مانند انحلال، حرکت آرام پوسته، ذوب شدن لایه‌های منجمد دائمی در اعماق زمین و ریزش فرو چاله‌ها و هم می‌تواند در اثر فعالیت‌های انسانی مانند کاوش معدن، زهکشی خاک‌های ارگانیک و افت سطح آب سفره‌های زیرزمینی در اثر استفاده بی‌رویه صورت گیرد (۱۱). آب‌های زیرزمینی منبع بسیار مهمی برای تأمین آب مصرفی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب دشت اردبیل است. از این رو، بررسی تغییرات منابع آب زیرزمینی در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار این منابع و هم‌چنین کاهش خطرات ناشی از برداشت بی‌رویه اهمیت فراوانی دارد (۱۹). راهکارهای مناسب برای مدیریت بحران ناشی از آب و هم‌چنین سازگاری با مسئله کمبود آب، نیازمند شناخت و اطلاع داشتن از نحوه وقوع و تهدیدهای ناشی از آن بر منابع آب موجود خواهد بود (۱۳ و ۱۴). دانشور و ثوقی و همکاران (۶) در تحقیقی به بررسی تأثیر خشک‌سالی در تراز آب زیرزمینی دشت اردبیل پرداخته و در این تحقیق از روش آزمون من-کندال استفاده کرده‌اند. ایشان در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که تغییرات بارندگی در این دشت دارای روندی معنی‌دار نبوده است. آن‌ها در این پژوهش اعلام کردند که

کاهش سطح ایستابی آب چاه‌های دشت به علت کمبود بارش نبوده است بلکه به دلیل برداشت بی‌رویه آب از چاه‌های عمیق واقع در دشت بوده است. عابدینی (۱) یکی از دلایل وجود فرونشست در دشت اردبیل را تغییرات اقلیمی و برداشت غیراصولی از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق دشت اعلام کرده است. ایشان در تحقیق خود به این نتیجه رسیده‌اند که افزایش نسبی دما و کاهش بارش و به دنبال آن برداشت غیراصولی از منابع آب زیرزمینی دشت اردبیل یکی از مهم‌ترین عوامل رخداد پدیده فرونشست در این دشت می‌تواند باشد. جعفر زاده و همکاران (۱۴) در تحقیقی به ارزیابی منابع آب این دشت پرداخته و مناطق در معرض برداشت بی‌رویه و غیراصولی از منابع آب زیرزمینی را مکان‌یابی کرده است. بر اساس تحقیق ایشان مناطقی از جنوب شرق و هم‌چنین قسمت‌هایی از شرق این دشت در معرض آسیب خطرات ناشی از برداشت غیراصولی از منابع آب قرار گرفته‌اند. قره‌چلو (۹) در تحقیقی به ارزیابی میزان فرونشست زمین در ارتباط با آب‌های زیرزمینی به کمک داده ماهواره‌های راداری سنتینل-۱ و الوس-۱ در محدوده مطالعاتی دشت مشهد پرداخته است. ایشان در این تحقیق به این نتیجه رسیده‌اند که با تطبیق نقشه هم‌افت سطح آب زیرزمینی در دشت مشهد با موقعیت چاه‌های شناسایی شده در منطقه فرونشست یافته مشخص شد، بیش‌ترین افت سطح آب مربوط به منطقه فرونشست یافته هست. در نتیجه بیش‌ترین فرونشست در قسمتی از دشت که بیش‌ترین افت سطح آب زیرزمینی داشت رخ داده است. آروین و همکاران (۳) در تحقیق خود به مدل‌سازی مکانی فرونشست زمین در جنوب حوزه آبخیز میناب با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. در تحقیق ایشان تحلیل خودهمبستگی فضایی و شاخص موران خوشه‌ای بودن رخداد فرونشست تحت تأثیر تغییرات سطح آب در منطقه مورد مطالعه را به میزان ۰/۹۲۵ نشان داد. هم‌چنین بالا بودن امتیاز توزیع نرمال استاندارد (Z) و پایین بودن مقدار سطح معنی‌داری نشان‌دهنده رابطه خودهمبستگی قوی ۱/۸۹ و ۰/۰۶ بین عناصر مورد مطالعه است. مختار و همکاران (۱۷) در

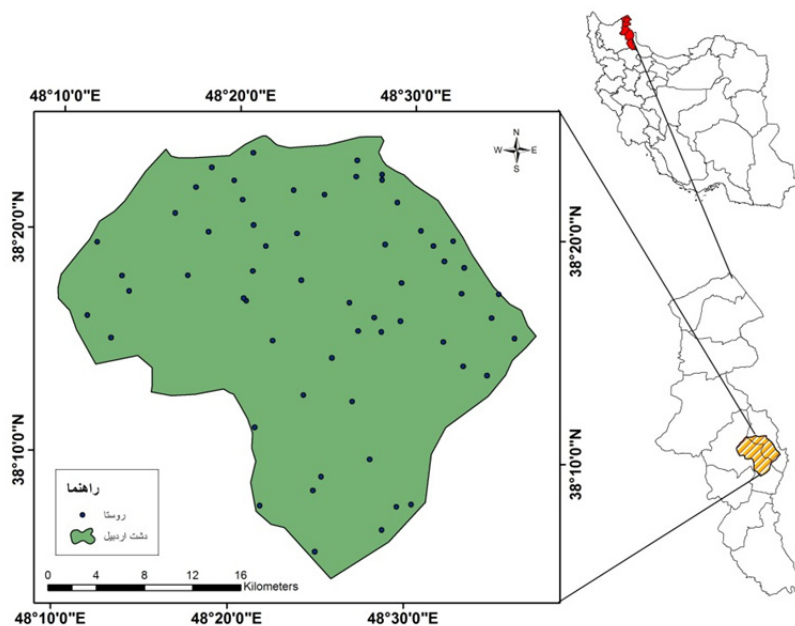
یک تهدید در انجام پروژه‌های انسانی و همچنین سکونت‌گاه‌های روستایی در محدوده دشت اردبیل است. لذا انتظار می‌رود روستاهای در معرض خطر پدیده فرونشست در محدوده دشت اردبیل تا حدودی مشخص شده و از وقوع خطرات احتمالی در آینده جلوگیری به عمل آید.

### روش تحقیق

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دشت اردبیل بین عرض جغرافیای شمالی  $38^{\circ} 05'$  تا  $38^{\circ} 30'$  و طول جغرافیای شرقی  $48^{\circ} 15'$  تا  $48^{\circ} 35'$  در بخش شمال غربی در مرکز استان اردبیل قرار گرفته است. این دشت دارای ارتفاعی در حدود ۱۳۶۰ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد بوده و وسعت کنونی آن در حدود ۸۲۱ کیلومتر مربع (۸۲۱۰۰ هکتار) هست (شکل ۱). در سطح دشت اردبیل دو شهر اردبیل و آبی بیگلو که دارای سه بخش، ده دهستان و شصت قریه هست و در کل جمعیتی در حدود ۱۳۰ هزار نفر دارد. شهر اردبیل مرکز استان اردبیل در غرب این دشت جای گرفته است.

تحقیق خود به مدل‌سازی خطر وقوع فرونشست زمین با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی پرداختند. اصغری سرکان رود و همکاران (۴) در پژوهشی به بررسی ارتباط تغییرات کاربری اراضی دشت اردبیل با میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی پرداخته‌اند که نتیجه تحقیق ایشان حاکی از ارتباط معنادار میان تغییرات محسوس کاربری اراضی به سمت کاربری زمین زراعی آبی و برداشت بیش‌ازحد از سفره‌های آب زیرزمینی است. ایترری و همکاران (۱۲) به بررسی پدیده فرونشست از طریق ماهواره سنتینل در محدوده موآزیان پرداخته‌اند. آن‌ها با استفاده از روش فوکوزونو به بررسی نحوه مطالعه فرونشست پرداخته‌اند. اقبال حسین و همکاران (۷) در تحقیقی به بررسی میزان نرخ وقوع زمین‌لرزه در گسل آناتولی شمالی و تأثیر آن بر فرونشست پرداخته‌اند. نتایج این مفهوم را پشتیبانی می‌کنند که مشاهدات ژئودتیکی کوتاه‌مدت می‌توانند مستقیماً به ارزیابی خطر لرزه‌ای درازمدت کمک کنند و حاکی از آن است که ویسکوزیته‌های پوسته کمتر که از مطالعات پس‌لرزه‌ای حاصل می‌شود، نماینده پوسته پایین در مقیاس‌های مکانی و زمانی نیستند. هدف از ارائه این پژوهش بررسی امکان وقوع پدیده فرونشست و خطرات احتمالی آن به‌عنوان



شکل ۱. موقعیت دشت اردبیل در استان اردبیل

Fig. 1. Location of Ardabil plain in Ardabil province

منابع موجود آب زیرزمینی

پراکندگی و تعداد چاه‌های عمیق، نیمه عمیق، چشمه و قنات موجود در سطح دشت اردبیل در جدول ۱ و همچنین شکل ۲ نشان داده شده است. میزان برداشت مجموع سالیانه از این منابع آبی به منظور آبیاری در حدود ۱۳۰ میلیون مترمکعب در سال بوده و میزان برداشت سالیانه از چشمه‌ها و قنات

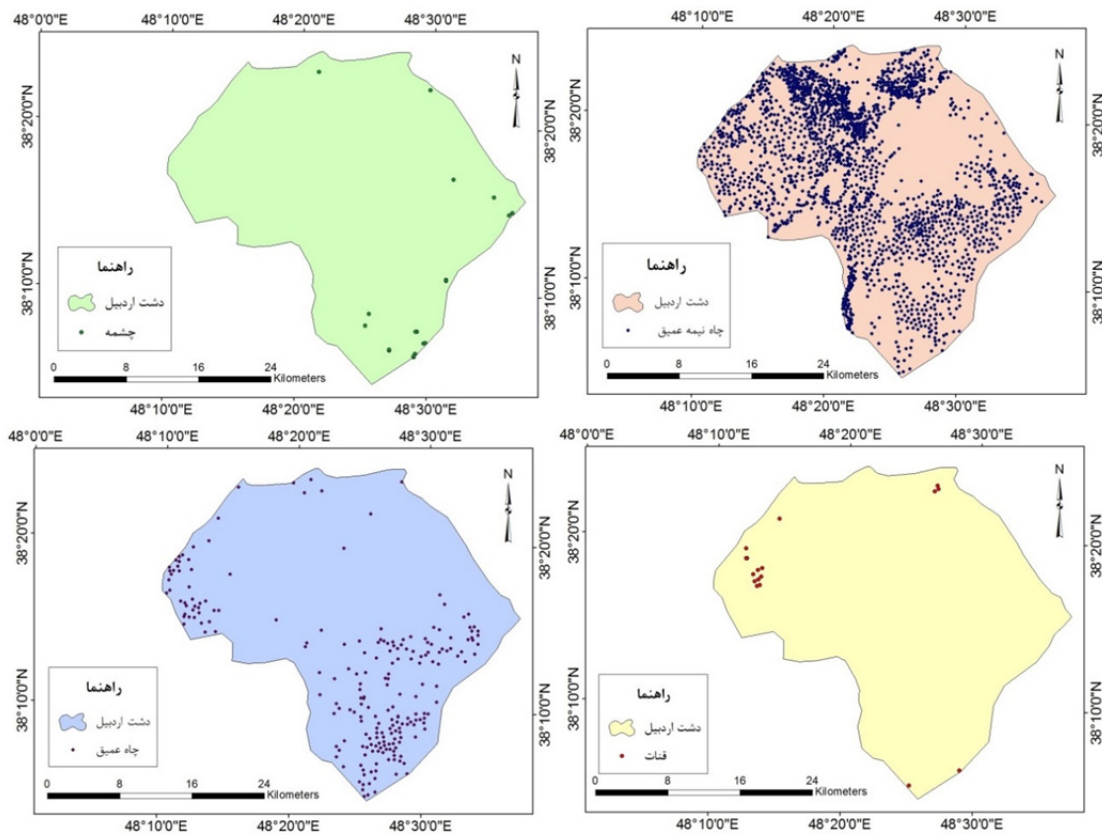
برای آبیاری دشت به ترتیب در حدود ۱/۳ و ۰/۹۵ میلیون مترمکعب هست (۲).

برای بررسی وضعیت آب زیرزمینی دشت، از داده‌های ۳۸ چاه مشاهده‌ای که از سازمان آب منطقه‌ای اردبیل تهیه شده‌اند و در سطح دشت قرار گرفته‌اند استفاده شده است. نام محلی این چاه‌ها و نیز مختصات جغرافیایی و سطح ایستابی آن‌ها و نیز ارتفاع این چاه‌ها از سطح دریا که به صورت تراز نشان داده می‌شود، در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱. میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی برای تأمین نیازهای آبی کشاورزی

Table 1. Extraction of groundwater resources for agricultural water needs

چاه		چشمه		قنات	
تعداد (حلقه)	حجم برداشت سالانه (مترمکعب)	تعداد (دهنه)	حجم برداشت سالانه (مترمکعب)	تعداد (رشته)	حجم برداشت سالانه (مترمکعب)
۲۴۴۵	۱۷۷۱۲۷۰۸۸	۲۰	۱۱۶۰۶۸۸	۱۷	۸۶۰۰۷۵



شکل ۲. پراکندگی چاه‌های نیمه عمیق، عمیق، چشمه و قنات در محدوده دشت اردبیل

Fig. 2. Distribution of semi-deep, deep wells, springs and aqueducts within the Ardabil plain

جدول ۲. نقاط نمونه برداری و مختصات چاه‌های مشاهده‌ای محدوده دشت اردبیل به همراه سطح ایستایی آن‌ها

Table 2. Sampling point and coordinates of observation wells in Ardabil plain along with their water table

نقاط نمونه برداری	UTMy	UTMx	سطح آب (متر)	تراز (متر)
اراضی آراللوی بزرگ	۴۲۲۵۶۸۶	۲۷۳۶۵۹	۲۹/۱۲	۱۳۸۹/۵۳
اراضی جبه‌دار	۴۲۵۰۳۸۱	۲۵۷۳۱۶	۳/۲۳	۱۳۰۸/۹۲
اراضی حسن باری	۴۲۳۷۱۳۶	۲۵۸۷۱۱	۳/۲۰	۱۳۷۳/۳۶
اراضی خلیل آباد	۴۲۲۷۶۴۴	۲۸۱۲۰۱	۴۵/۹۰	۱۳۹۱/۸۸
اراضی رضی آباد	۴۲۲۹۴۲۹	۲۶۹۷۱۰	۲۶/۶۰	۱۳۶۲/۶۶
اراضی قره حسنلو-آقا باقر	۴۲۳۷۲۳۱	۲۷۴۳۷۸	۲۶/۸۳	۱۳۳۳/۰۵
اراضی کرکوق	۴۲۴۴۴۲۹	۲۶۷۸۸۴	۷/۹۲	۱۳۱۸/۹۳
اراضی مرنی	۴۲۳۶۱۳۱	۲۸۶۶۵۷	۳۸	۱۳۴۷/۹۵
اراضی میرزا رحیم لو	۴۲۳۹۶۹۷	۲۷۴۷۲۷	۱۹/۷۲	۱۳۲۴/۴۹
اراضی نوشهر	۴۲۲۱۵۶۰	۲۷۴۳۷۰	۳۰/۱۴	۱۴۶۰/۴۵
اراضی نوشهر-کرکان	۴۲۲۲۴۴۴	۲۷۸۰۴۷	۱۳/۴۲	۱۴۴۷/۴۵
اراضی آغبلاغ رستم خان	۴۲۳۵۷۹۲	۲۷۴۵۵۸	۳۱/۴۲	۱۳۳۴
انزاب پایین	۴۲۴۹۰۴۳	۲۶۷۱۹۴	۴/۰۶	۱۳۸۰/۴۱
ایمیتچه	۴۲۳۹۷۴۰	۲۵۲۹۸۰	۴/۶	۱۴۳۴/۲۲
آقا زمانکندی	۴۲۵۳۵۲۸	۲۷۰۶۲۴	۸/۰۵	۱۴۲۳/۳۴
باروق	۴۲۴۳۵۵۰	۲۵۳۴۵۰	۶/۸۲	۱۴۲۱/۴۴
پیراقوم	۴۲۳۱۲۶۷	۲۷۳۰۸۲	۴۹/۳	۱۳۵۶/۲۷
تازه کندشرف آباد	۴۲۴۶۸۶۰	۲۶۱۹۰۰	۴/۹۲	۱۳۱۴/۸۹
تپراقلو	۴۲۳۰۵۲۹	۲۷۷۳۷۱	۶۲/۹۹	۱۳۷۳/۴۵
خلیفه لو-شیخ	۴۲۳۸۱۰۴	۲۸۰۸۹۲	۳۳/۲۳	۱۳۳۲/۹۵
خلیل آباد	۴۲۲۶۲۲۸	۲۷۸۲۲۶	۷۱/۰۱	۱۴۰۱/۶۹
روبروی فرودگاه	۴۲۴۶۹۶۵	۲۷۳۵۸۸	۵/۹۵	۱۳۱۲/۱۵
سربند	۴۲۴۹۷۰۰	۲۷۲۱۶۷	۲/۷۲	۱۳۰۸/۶۵
سعید آباد	۴۲۴۲۴۷۴	۲۸۴۴۹۹	۶/۳۸	۱۳۱۹/۵۲
سلطان آباد	۴۲۴۲۳۷۶	۲۶۸۵۶۶	۹/۱۹	۱۳۲۰/۹۴
سهراهی مهمان دوست	۴۲۳۲۴۷۵	۲۶۶۸۸۸	۲۱/۴۸	۱۳۴۸/۳۲
سهراهی طالب قشلاقی	۴۲۵۳۵۱۰	۲۵۸۴۳۴	۱۰/۸۸	۱۳۰۲/۹۸
صومعه-روبروی مرغداری	۴۲۴۳۶۷۸	۲۵۸۴۷۲	۱۰/۹۷	۱۳۴۹/۳۹
قره لر	۴۲۴۱۵۴۰	۲۷۳۲۳۸	۱۷/۵۹	۱۳۲۲/۶۴
کلخوران شیخ	۴۲۴۱۳۸۹	۲۶۳۵۲۱	۷/۹۷	۱۳۲۹/۸۶
کلخوران فولادلو	۴۲۲۱۶۴۰	۲۸۰۰۲۰	۰/۳۴	۱۴۵۶/۸۲
کنازق	۴۲۴۹۸۶۹	۲۷۷۴۳۰	۵/۴۵	۱۳۲۲/۰۷
گلی جدید	۴۲۴۶۱۱۶	۲۸۲۲۲۳	۴/۵۲	۱۳۱۵/۷۵
نوران	۴۲۳۵۲۵۰	۲۵۴۸۵۰	۴/۷۱	۱۴۰۶/۸۵
نوشهر	۴۲۱۸۴۸۶	۲۷۳۴۶۷	۳۵/۴۵	۱۵۰۵/۶۱
هیر	۴۲۱۸۲۵۶	۲۷۸۸۸۵	۳۹/۷۴	۱۵۲۸/۹۷
یاجلو	۴۲۵۶۶۱۸	۲۶۶۵۷۴	۵/۸۰	۱۳۶۸/۵
ینگجه-جگرکندی	۴۲۴۹۴۵۷	۲۷۹۷۰۶	۲/۲۱	۱۳۲۰

## منطق فازی

خواسته می‌شود که با استفاده از اعداد و نسبت‌های دقیق به مقایسه زوجی ویژگی‌های هم‌سطح در یک ساختار شبکه‌ای بپردازد. نسبت‌های ارائه‌شده توسط فرد متخصص، ماتریس مقایسات زوجی را به وجود می‌آورد که با محاسبه ماتریس مقادیر ویژه آن، وزن هر کدام از مشخصه‌های هم‌سطح به دست می‌آید؛ بنابراین در مرحله جمع‌آوری نظرات خبرگان از گویه‌های بیانی ملموس و متداول در پرسشنامه مقایسات زوجی ANP فازی به‌علاوه نسبت‌های قطعی رایج در ANP سنتی استفاده شده است. اعداد فازی مورد استفاده در این تحقیق به‌منظور تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی که توسط لی و همکاران (۱۶) پیشنهاد شده است (جدول ۳).

تئوری فازی اولین بار در سال ۱۳۵۸ توسط پروفیسور لطفی زاده دانشمند ایرانی عرضه شد. این نظریه از زمان ارائه تا به امروز گسترش و توسعه فراوانی یافته و کاربردهای گوناگون در زمینه‌های مختلف به دست آورده است. تئوری فازی نظریه‌ای است که برای اقدام در شرایط عدم اطمینان یا عدم قطعیت ارائه شده است. توابع عضویت فازی نوع مثلثی و مقایسات نسبی را برای اولین بار پدریکز و لارهوورن در سال ۱۹۸۳ ابداع نمودند. هم‌چنین برای اولین بار لارهوورن و پدریکز در سال ۱۹۸۳ توابع عضویت فازی نوع مثلثی و مقایسات نسبی را مطرح نمودند (۲۱). در روش کلاسیک شبکه‌ای که توسط ساعتی (۲۰) معرفی شد از فرد یا افراد متخصص و خبره

جدول ۳. مقیاس‌های زبانی برای بیان درجه اهمیت فازی

Table 3. Linguistic scales to express the degree of fuzzy significance

اعداد فازی مثلثی	اعداد قطعی متناظر
کاملاً یکسان	(۱،۱،۳)
اهمیت برابر	(۱،۳،۵)
نسبتاً مهم‌تر	(۳،۵،۷)
مهم‌تر	(۵،۷،۹)
خیلی مهم‌تر	(۷،۹،۹)

علت و معیارهای معلول تقسیم‌بندی کنیم تا شناخت بیشتری از روابط بین علت و معلول به دست آوریم و در نهایت بتوانیم یک شبکه‌ای از روابط متقابل را ایجاد نماییم. گراف‌های فن دمتال جزو گراف‌های جهت‌دار یا دیاگراف محسوب می‌شوند که می‌توان روابط متقابل جهت‌دار بین علت و معلول را به‌صورت گراف یا ماتریس نمایش داد (۱۶). در این تحقیق به دو منظور از فن دمتال فازی استفاده شده است. نخست برای به دست آوردن ماتریس وابستگی‌ها بین عوامل و سپس برای شناسایی عوامل علت. مراحل اجرای این روش به در حالت کلی به‌صورت شکل ۳ است (۲۷).

## فرآیند روش دمتال فازی

هرگاه با مسائلی پیچیده‌ای سروکار داشته باشیم، کشف رابطه بین شاخص‌های مسئله اهمیت فراوانی دارد. در مدل‌های گوناگون مانند مدل شبکه‌ای، با یک شبکه از این روابط متقابل روبرو می‌شویم. ساختن الگوی مناسب برای بررسی رابطه بین این شاخص‌ها از موضوعات مهمی است که محققان با آن سروکار دارند. یکی از این روش‌های مناسب برای الگوسازی، به‌کارگیری روش دمتال است (۲۲ و ۲۳). این روش از جمله روش‌های مفهومی برای ساختار سازی مسئله‌های تصمیم‌گیری به شمار می‌رود. فن دمتال بر پایه نظریه گراف ایجاد شده است و در این روش ما می‌توانیم معیارها را به دو گروه معیارهای



شکل ۳. الگوریتم فرایند روش دماتل فازی

Fig. 3. Fuzzy Dematel method process algorithm

نامفی است و درایه  $a_{ij}$  نشان‌دهنده یک عدد فازی از نوع مثلثی هست (۲۸). این درایه نمایانگر تأثیر مستقیم عامل  $i$  بر روی  $j$  هست. وقتی  $i=j$  شود، مؤلفه‌های قطری ماتریس، برابر با صفر خواهد شد (۲۷).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad [1]$$

مرحله اول: به دست آوردن ماتریس روابط مستقیم بین عوامل سیستم

متخصصان به وسیله به‌کارگیری متغیرهای زبانی و متغیرهای عددی که در جدول ۴ نشان داده شده است، نظرات خود را در خصوص اثر مستقیم عوامل اصلی بر روی یکدیگر، بیان می‌کنند. با تبدیل کردن برآوردهای زبانی به عدد فازی منطبق با این جدول، ماتریس رابطه مستقیم اولیه  $A=[a_{ij}]$  ایجاد می‌شود که در این ماتریس،  $A$  نمایانگر یک ماتریس  $n \times n$



جدول ۴. متغیرهای زبانی و اعداد فازی متناسب با آن (۱۶)

Table 4. Linguistic variables and corresponding fuzzy numbers (16)

اعداد فازی مثلثی متناظر	اعداد قطعی	متغیر زبانی
(۰,۰,۰/۲۵)	۰	بی تأثیر
(۰,۰/۲۵,۰/۵)	۱	تأثیر خیلی کم
(۰/۲۵,۰/۵,۰/۷۵)	۲	تأثیر کم
(۰/۵,۱,۰/۷۵)	۳	تأثیر زیاد
(۰/۱,۱,۷۵)	۴	تأثیر خیلی زیاد

مرحله دوم: غیرفازی کردن ماتریس مستقیم اولیه بر اساس

روش CFCS

مرحله سوم: محاسبه مقدار نرمال شده نهایی.

[۸]

$$x_{ij}^k = [xls_{ij}^k(1 - xls_{ij}^k) + xus_{ij}^k + (xus_{ij}^k * xus_{ij}^k)] / (1 + xus_{ij}^k - xls_{ij}^k)$$

مرحله چهارم: به دست آوردن عدد قطعی (تبدیل شده از

عدد فازی) ارزیابی  $k$  امین خبره.

$$BNP_{ij}^k = \min l_{ij}^k + x_{ij}^k \Delta_{min}^{max} \quad [9]$$

مرحله پنجم: به دست آوردن عدد تجمیعی از طریق

میانگین گیری اعداد قطعی تمامی  $k$  ارزیابی.

$$a_{ij} = \frac{1}{k} \sum_{1 \leq k \leq K} BNP_{ij}^k \quad [10]$$

بعد از غیرفازی کردن و جمع کردن نظرات کارشناسان،

ماتریس اولیه رابطه مستقیم تجمعی با استفاده از اعداد قطعی

که نشان دهنده میزان تأثیر مستقیم فاکتور  $i$  بر روی فاکتور  $j$

است، صورت می پذیرد. در این تحقیق، با توجه به اهداف

تحقیق احتیاجی به سنجش میزان تأثیر عوامل بر یکدیگر

نیست.

نرمال سازی ماتریس روابط مستقیم

در این مرحله، ماتریس رابطه مستقیم اولیه نرمال می شود.

ماتریس نرمال شده رابطه مستقیم  $(X = [x_{ij}]_{n \times n})$  از رابطه

۱۱ محاسبه گردید.

برای فازی زدایی ماتریس مستقیم اولیه از روش CFCS

(Converting Fuzzy Data into Crisp Scores) استفاده

می شود که توسط تیزنگ و همکاران (۲۴) معرفی شده است.

فرض کنید  $Z_{ij}^k = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$  که در آن  $(1 \leq k \leq K)$

ارزیابی فازی است که  $k$  امین خبره درباره میزان تأثیر عامل  $i$

بر روی عامل  $j$  ارائه کرده است. بر اساس روش CFCS، فازی

زدایی در پنج مرحله انجام می گیرد:

مرحله اول: استاندارد سازی اعداد فازی.

$$xl_{ij}^k = (l_{ij}^k - \min_{1 \leq k \leq K} l_{ij}^k) / \Delta_{min}^{max} \quad [2]$$

$$xm_{ij}^k = (m_{ij}^k - \min_{1 \leq k \leq K} m_{ij}^k) / \Delta_{min}^{max} \quad [3]$$

$$xu_{ij}^k = (u_{ij}^k - \min_{1 \leq k \leq K} u_{ij}^k) / \Delta_{min}^{max} \quad [4]$$

$$\Delta_{min}^{max} = \max u_{ij}^k - \min l_{ij}^k \quad [5]$$

مرحله دوم: محاسبه مقادیر نرمال چپ و راست.

$$xsl_{ij}^k = xm_{ij}^k / (1 + xm_{ij}^k - xl_{ij}^k) \quad [6]$$

$$xus_{ij}^k = xu_{ij}^k / (1 + xu_{ij}^k - xm_{ij}^k) \quad [7]$$

### بخش دوم: محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی

بعد از آنکه داده‌ها از سازمان‌های مربوط تهیه شد اقدام به تشکیل پایگاه داده برای اطلاعات موجود در محیط ArcCatalog کرده و سپس نقشه‌های مربوط به این داده‌ها را در نرم‌افزار ArcGIS ایجاد می‌کنیم.

### وزن دادن به لایه به روش وزن دهی ساده تجمعی

روش وزن دادن به لایه‌ها با روش تجمعی ساده (Simple Additive Weighting) روشی است که در مبحث تصمیم‌گیری‌های چند معیاری به کار می‌رود. روش وزن دهی ساده تجمعی بر اساس سامانه اطلاعات جغرافیایی شامل

تعریفی از مجموع معیارها، استانداردسازی هر لایه، وارد کردن وزن و ایجاد امتیازهای نهایی هر مورد است (۲۵). این روش یکی از روش‌هایی است که از ابتدای به‌کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی در تصمیم‌گیری‌های چند معیاری به کار گرفته شده است به طوری که با در نظر گرفتن بردار  $W_j$  که همان وزن‌های اهمیت شاخص‌هاست، نقشه نهایی  $A$  بر اساس رابطه ۱۶ ایجاد می‌گردد.

$$A = \sum_j^n W_j \cdot X_{ij} \quad [16]$$

### وزن دهی با روش فاصله معکوس وزنی

روش وزن دهی معکوس فاصله (Inverse Distance Weight) یکی از روش‌هایی است که در مطالعات مربوط به رشته‌های جغرافیایی از آن زیاد استفاده می‌شود. به نقاط نزدیک محل نمونه وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتر اختصاص می‌یابد. تمامی روش‌های درون‌یابی بر مبنای این فرضیه توسعه یافته‌اند که نقاط نزدیک‌تر به یکدیگر نسبت به نقاط دورتر، همبستگی و شباهت بیشتری دارند. رابطه کلی روش مذکور به صورت رابطه ۱۷ هست که در آن  $Z(s_i)$  مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت  $i$ th است و  $\lambda_i$  اندازه وزن مقدار

$$X = s \times A \quad s = \min \left[ \frac{1}{\max_i \sum_{j=1}^n a_{ij}}, \frac{1}{\max_j \sum_{i=1}^n a_{ij}} \right] \quad [11]$$

### ایجاد ماتریس روابط کلی

همه دنباله‌های نامتناهی از تأثیر مستقیم و غیرمستقیم فاکتورها بر روی یکدیگر به صورت یک تصاعد هندسی و با استفاده از قوانین گراف‌ها، محاسبه می‌گردد. در نهایت مجموع این تصاعد هندسی، ماتریس رابطه کلی  $T$  را به وجود می‌آورد که در آن  $I$ ، یک ماتریس واحد با اندازه  $n \times n$  است (۲۶).

$$\begin{aligned} T &= X + X^2 + \dots + X^k \quad [12] \\ &= X(I + X + X^2 + \dots + X^{k-1})(I - X)(I - X)^{-1} \\ &= X(I - X^k)(I - X)^{-1} \end{aligned}$$

به شرط این که  $\lim_{k \rightarrow \infty} X^k = [0]_{n \times n}$ ، ماتریس رابطه کلی از طریق رابطه ۱۳ به دست می‌آید:

$$T = X(I - X)^{-1} \quad [13]$$

مرحله سوم: محاسبه مجموع ردیف‌ها و ستون‌های ماتریس رابطه کلی  $T$  و شناسایی عوامل آن؛

$$c_j = \sum_{0 \leq i \leq n} t_{ij} \quad [14]$$

$$r_i = \sum_{0 \leq j \leq n} t_{ij} \quad [15]$$

بعد از ایجاد ماتریس روابط کلی  $T$  (۱۵) و با توجه به اندازه حد آستانه تعریف شده، ماتریس روابط نهایی را ایجاد می‌کنیم که در این ماتریس عدد صفر به معنی عدم وجود رابطه و عدد یک به معنی وجود رابطه میان دو معیار هست. این ماتریس، ماتریس  $Tr$  نام دارد. با استفاده از ماتریس  $Tr$  اقدام به نظرسنجی از خبرگان در مورد اندازه تأثیر عوامل بر یکدیگر با توجه به وابستگی آن‌ها به هم می‌نماییم.

### مراحل روش تحلیل شبکه‌ای فازی

در مرحله اول انجام کار برای به دست آوردن روابط میان زیرمعیارهای پژوهش و پس از انجام جلسه بحث گروهی و تبادل نظر با متخصصان جامعه آماری و با استفاده از جدول ایجاد شده برای شناسایی این روابط، وابستگی و تعامل نه شاخص عملکرد به صورت یک جدول تعاملات و وابستگی‌ها به دست آمد. بر این اساس، ارزیابی خطر فرونشست دشت اردبیل از چهار معیار اصلی که هر یک شامل زیرمعیارهایی است، تشکیل می‌گردد که این معیارهای اصلی عبارت‌اند از؛ عوامل طبیعی، عوامل وابسته به آب، عوامل کشاورزی، عوامل انسانی. از میان زیر معیارهای شناسایی شده، شیب (S1)، خاک (S2) و زمین‌شناسی (S3) مربوط به معیار اول، وضعیت بارندگی (S4)، وضعیت آب‌های زیرزمینی (S5) مربوط به معیار دوم، سطح زیر کشت محصولات کشاورزی (S6) و نیاز آبی سالانه محصولات (S7) مربوط به معیار سوم، میزان جمعیت محدوده این دشت (S8) مربوط به معیار چهارم هست. برای ساختار سازی و تهیه مدل مفهومی برای شناسایی رابطه بین معیارها از روش دماثل فازی استفاده شد. از زیرمعیارهای استخراج شده در مرحله قبل، ابتدا پرسشنامه‌ای طراحی گردید و در اختیار جامعه آماری مرتبط قرار گرفت. به صورتی که سطرها و ستون‌های ماتریس این پرسش‌نامه را همان زیرمعیارها تشکیل می‌دهند. ماتریس اولیه (پرنشده) در اختیار متخصصان قرار گرفت و از آن‌ها خواسته شد با مقایسه زوجی هریک از عوامل واقع بر هر سطر ماتریس، با تک‌تک عوامل واقع بر ستون‌های ماتریس، شدت تأثیر عوامل سطری بر عوامل ستونی را به صورت عددی بین صفر تا چهار طبق جدول ۳ در خانه‌های مربوط به آن‌ها درج نمایند. پس از جمع کردن نظر کارشناسان، از نظرات آنان میانگین حسابی گرفته شده و روش دماثل فازی بر روی ماتریس‌های زوجی تکمیل شده از سوی متخصصین در این زمینه محاسبه شد. جدول ۵ زیرمعیارهای مورد استفاده و جدول ۶ ماتریس روابط کلی را که پس از به‌کارگیری روش دماثل فازی محاسبه شده است را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری شده در همان موقعیت است.  $S_i$  موقعیت پیش‌بینی و  $N$  میزان تعداد نقاط اندازه‌گیری شده یا معلوم است.

$$\hat{Z} = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad [17]$$

### روش درونیابی کریجینگ

روش درونیابی کریجینگ با کمترین مقدار واریانس برآورد، کار درونیابی را انجام می‌دهد که مقدار خطای آن بستگی به مشخصات ساختار فضایی دارد. به منظور انتخاب بهترین مدل درونیابی با روش کریجینگ باید میانگین خطای استاندارد نزدیک به صفر بوده و اندازه میانگین جذر مربعات خطا (RMSE) کمترین مقدار را داشته باشد و میانگین جذر مربع خطای استاندارد (RMSS) تقریباً یک باشد. کریجینگ معمولی از رابطه ۱۸ محاسبه می‌شود (۸).

$$Z(s) = \mu + \varepsilon(s) \quad [18]$$

در این رابطه،  $\mu$  ضریب ثابت مجهول هست. کریجینگ معمولی در داده‌هایی که دارای روند محلی یا مقطعی بوده می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. با استفاده از ابزار Cross validation روشی انتخاب می‌شود که دارای کمترین میزان RMSE باشند (۱۱).

بعدا اینکه وزن لایه‌های مختلف با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای فازی به دست آمد، وارد نرم‌افزار ArcGIS شده و وزن‌های هر زیر معیار را در نقشه‌ای که برای هر لایه مورد نظر ایجاد کرده بودیم ضرب کرده و در نهایت نقشه‌ها را باهم جمع می‌کنیم تا یک نقشه نهایی به دست آوریم. نقشه نهایی نشان‌دهنده مناطقی از دشت اردبیل است که از نظر خطر فرونشست طبقه‌بندی شده و در پنج طبقه از لحاظ وضعیت خطر با طیف رنگی نشان داده می‌شود.

نقشه‌های فازی شده نقشه‌های اولیه

قبل محاسبه شدند به دست آمده است. شکل‌های ۴ تا ۹ این نقشه‌ها را نشان می‌دهد.

در این بخش نقشه‌های فازی شده برای نقشه‌های اولیه تولید شده است. این نقشه‌ها بر اساس وزن‌هایی که در مرحله

جدول ۵. زیرمعیارهای اصلی پژوهش برای تکنیک دماتل

Table 5. The main research criteria for Dematel technique

S5 = نیاز آبی سالانه محصولات	S3 = وضعیت آب‌های زیرزمینی	S3 = زمین‌شناسی	S2 = خاک‌شناسی	S1 = شیب
S6 = تراکم جمعیت	S4 = سطح زیر کشت محصولات کشاورزی	S2 = وضعیت بارش		

جدول ۶. ماتریس روابط کلی بین زیرمعیارها

Table 6. General relations matrix between sub-criteria

عناصر	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
S1	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰
S2	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱
S3	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱
S4	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰
S5	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱
S6	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰
S7	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰
S8	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱

بر اساس سوپر ماتریس، مراحل محاسبه وزن مؤلفه‌ها عبارت‌انداز:

مراحل به دست آوردن وزن مؤلفه‌ها با تحلیل شبکه‌ای فازی

جدول ۷. ماتریس اوزان نهایی معیارها نسبت به بررسی وضعیت فرونشست

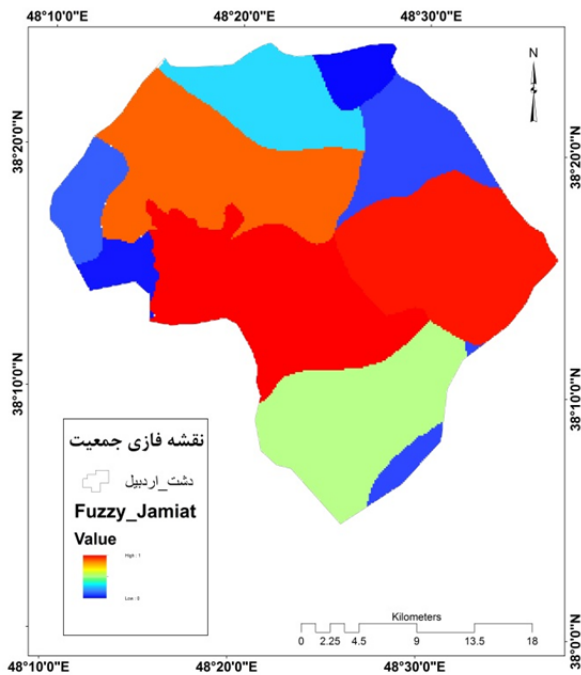
Table 7. Matrix of final weights of criteria for subsidence status

رتبه	مؤلفه	وزن فازی نهایی	وزن قطعی نهایی مؤلفه‌ها
۳	عوامل کشاورزی	(۰/۲۱، ۰/۱۸۴، ۰/۳۲۷)	۰/۱۷۵
۴	عوامل طبیعی	(۰/۱۸۸، ۰/۲۵۱، ۰/۳۴۹)	۰/۲۵۱
۱	عوامل هیدرولوژیکی	(۰/۱۴۵، ۰/۳۴۲، ۰/۶۱۲)	۰/۳۸۰
۲	عوامل انسانی	(۰/۱۷۸، ۰/۲۴۵، ۰/۳۱۶)	۰/۲۴۶

جدول ۸. ماتریس اوزان نهایی زیر معیارها نسبت به بررسی فرونشست

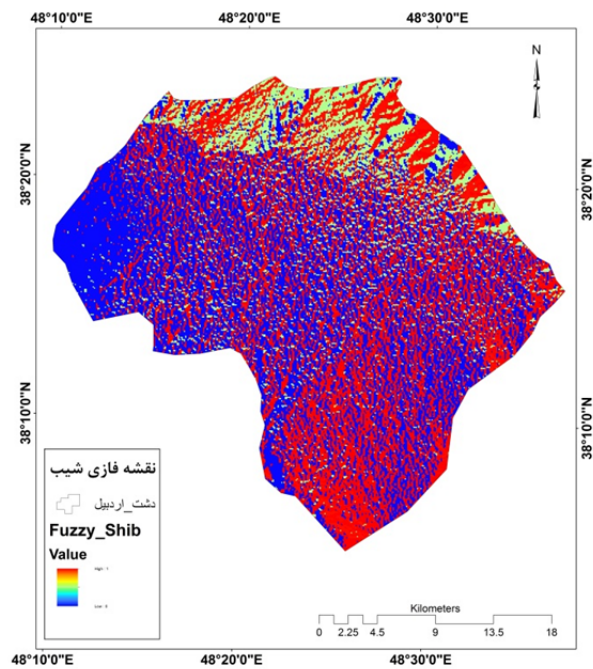
Table 8. Matrix of final weights below the criteria for subsidence study

مؤلفه	وزن فازی نهایی	رتبه	وزن قطعی نهایی مؤلفه‌ها
بارندگی	(۰/۰۴۳، ۰/۱۱۲، ۰/۳۲۹)	۴	۰/۲۵۲
سطح زیر کشت	(۰/۰۶۱، ۰/۱۶۷، ۰/۴۶۹)	۵	۰/۱۹۸
شیب	(۰/۰۱۱، ۰/۰۲۸، ۰/۰۸۸)	۷	۰/۱۴۶
خاک‌شناسی	(۰/۰۴۲، ۰/۰۷۸، ۰/۰۲۴)	۳	۰/۳۴۸
زمین‌شناسی	(۰/۰۱۸، ۰/۲۲۸، ۰/۱۸۴)	۸	۰/۰۸۵
وضعیت آب‌های زیرزمینی	(۰/۰۰۸، ۰/۲۰۹، ۰/۵۲۵)	۱	۰/۳۸
جمعیت	(۰/۰۳۶، ۰/۱۱۱، ۰/۳۴۳)	۲	۰/۳۵۷
نیاز آبی سالانه محصولات	(۰/۰۲۸، ۰/۰۹۶، ۰/۳۱۴)	۶	۰/۱۸۵



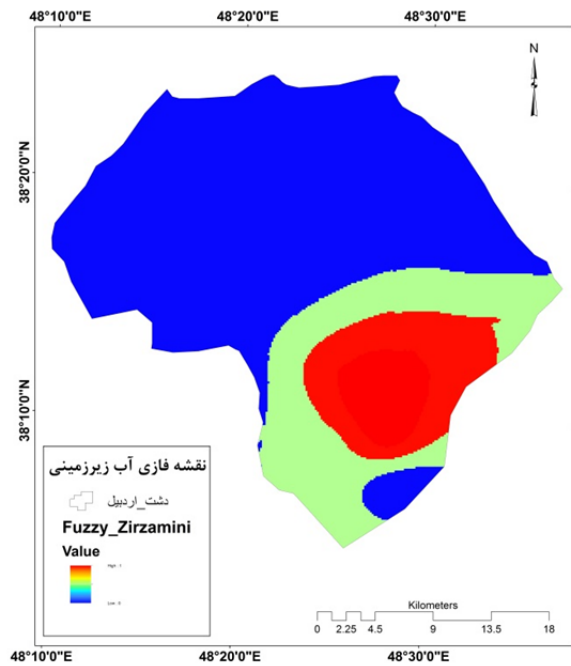
شکل ۵. نقشه فازی جمعیت

Fig. 5. Fuzzy population map

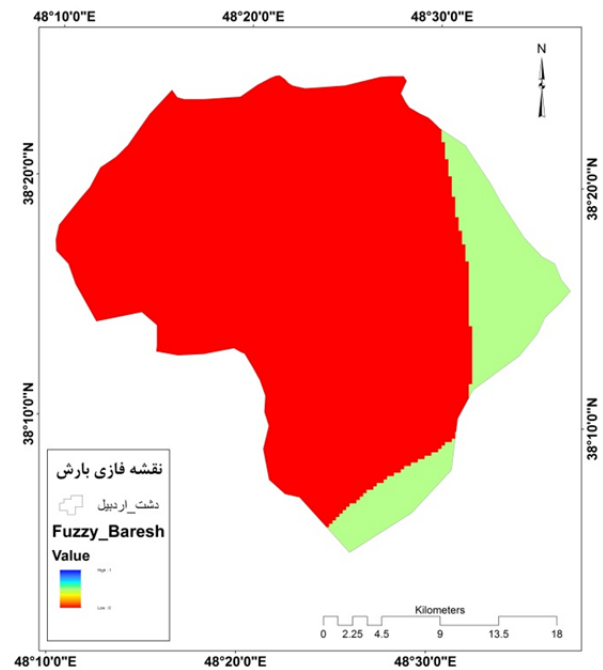


شکل ۴. نقشه فازی شیب

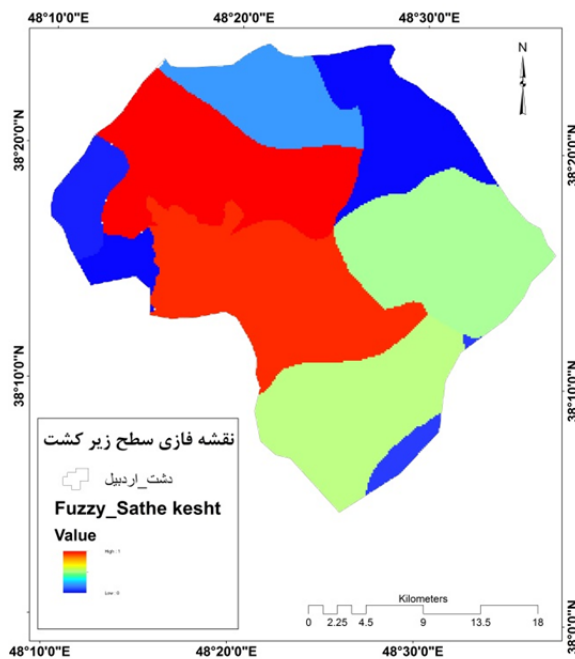
Fig. 4. Fuzzy slope map



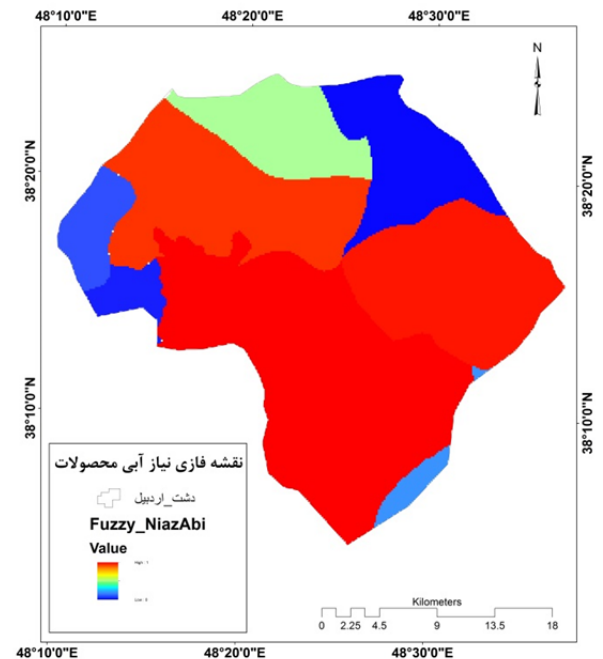
شکل ۷. نقشه فازی وضعیت آب زیرزمینی  
Fig. 7. Fuzzy map of groundwater status



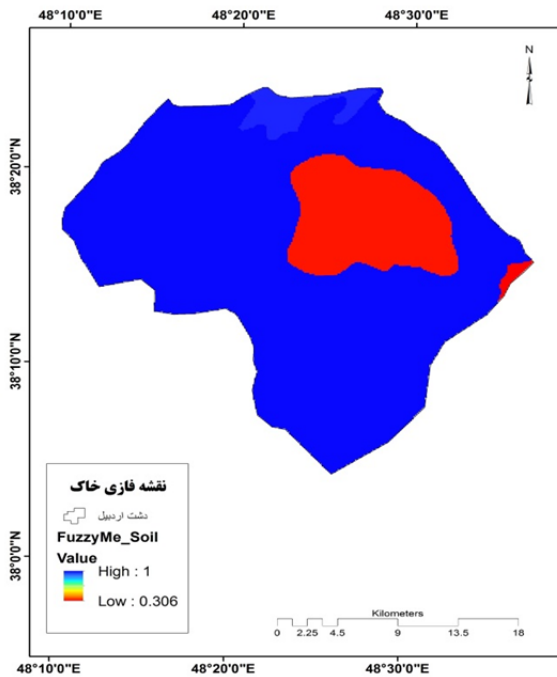
شکل ۶. نقشه فازی وضعیت بارش  
Fig. 6. Fuzzy map of precipitation status



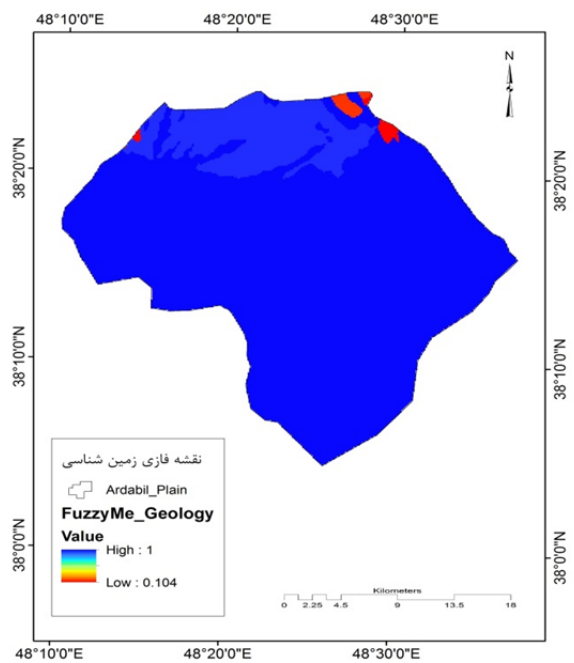
شکل ۹. نقشه فازی سطح زیر کشت  
Fig. 9. Fuzzy map of the area under cultivation



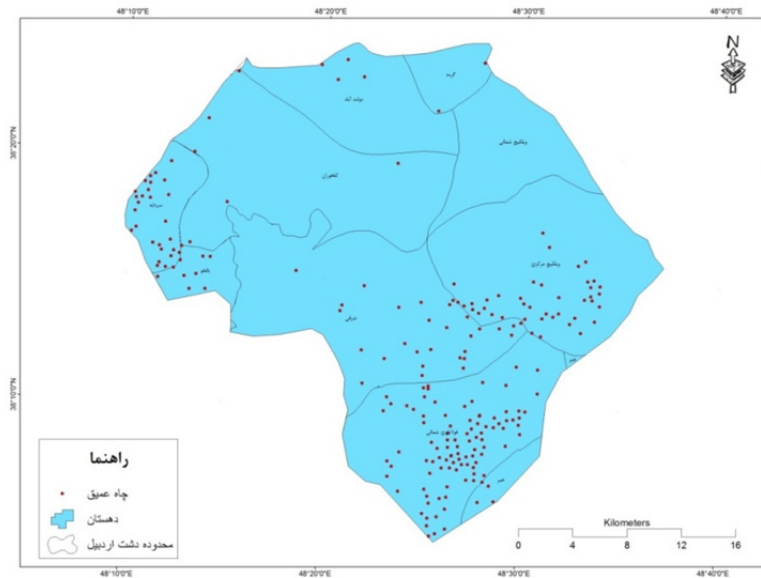
شکل ۸. نقشه فازی نیاز آبی محصولات  
Fig. 8. Fuzzy map of water requirements of products



شکل ۱۱. نقشه فازی سطح خاک  
Fig. 11. Fuzzy map of Soil



شکل ۱۰. نقشه فازی زمین شناسی  
Fig. 10. Fuzzy map of the Geology



شکل ۱۲. نقشه پراکنندگی و تمرکز چاه‌های عمیق در سطح دشت اردبیل  
Fig. 12. Scattering and concentration map of deep wells in Ardabil plain

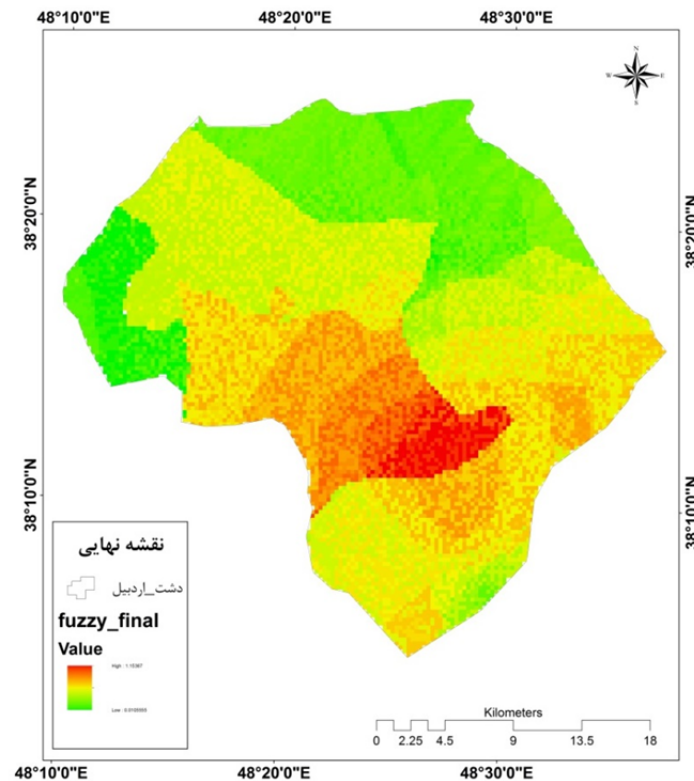
سپس با استفاده از ابزار RasterCalculator این نقشه‌های وزن‌دار تجمیع شدند. شکل ۱۳ نقشه فازی نهایی ارزیابی وضعیت خطر فرونشست دشت اردبیل را نشان می‌دهد. در این نقشه، طیف‌های رنگی از آبی که پایین‌ترین حد را نشان

## نتایج

برای تهیه نقشه نهایی وضعیت خطر فرونشست در محدوده دشت اردبیل ابتدا وزن‌های به‌دست‌آمده برای هر زیر فاکتور را در نقشه‌های فازی شده آن زیر فاکتور ضرب کرده و

با خطر بالا را از نظر خطر فرونشست در محدوده دشت اردبیل و روستاهای واقع در این محدوده نشان می‌دهد.

می‌دهد به سمت قرمز که بیش‌ترین مقدار را نشان می‌دهد در تغییر است. رنگ آبی مناطق با خطر پایین و رنگ قرمز مناطق

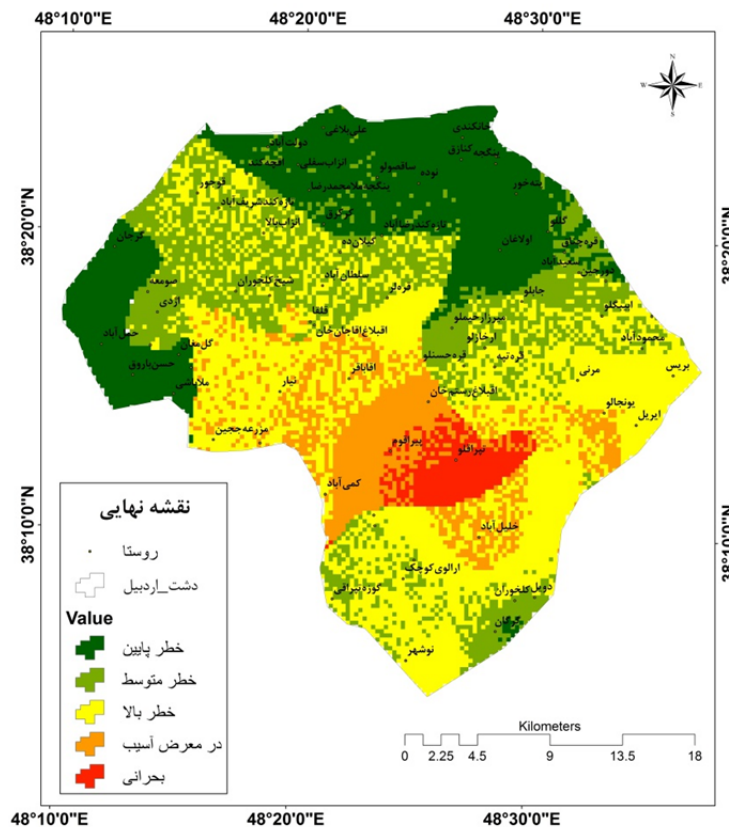


شکل ۱۳. نقشه نهایی فازی بررسی خطر فرونشست دشت اردبیل  
Fig. 13. Fuzzy final map of subsidence risk of Ardabil plain

ذی‌ربط، نقشه نهایی تحلیل وضعیت خطر فرونشست دشت اردبیل تهیه شد. این نقشه وضعیت خطر فرونشست دشت اردبیل را در پنج سطح نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل ۱۲ که نقشه وضعیت چاه‌های عمیق در محدوده دشت اردبیل و پراکندگی آن در سطح دهستان‌ها را نشان می‌دهد، ملاحظه می‌شود که بیش‌ترین پراکندگی و تمرکز چاه‌های عمیق در سمت شرق دشت در محدوده دهستان‌های ویلکیج مرکزی و فولادلوی شمالی قرار گرفته است که این وضعیت موقعیت پراکندگی چاه‌های عمیق با توجه به نقشه شکل ۱۴ به‌خوبی وضعیت متناسب بودن پراکندگی چاه‌های عمیق با مناطق در معرض خطر فرونشست را نشان می‌دهد.

پس از به دست آوردن نقشه اولیه ارزیابی وضعیت خطر فرونشست و مناطق در معرض خطر فرونشست دشت اردبیل، نقشه نهایی بررسی وضعیت دشت اردبیل از لحاظ خطر فرونشست زمین، با توجه به وزن‌ها و لایه‌های به‌دست‌آمده تهیه شده است. از آنجایی که تمامی نقشه‌های لایه‌های مینا در پنج طبقه، باز طبقه‌بندی شده و وزن متناسب با هر طبقه مطابق با وضعیت لایه‌ها داده شده بود، نقشه نهایی نیز در پنج طبقه بنا بر نظر کارشناسان (مناطق با خطر پایین، مناطق با خطر متوسط، خطر بالا، مناطق در معرض آسیب، مناطق بحرانی)، طبقه‌بندی و وزن‌دهی شد. در نهایت با استفاده از نقشه نهایی ارزیابی وضعیت خطر فرونشست دشت اردبیل که در شکل ۱۴ آورده شده است و نیز رتبه‌بندی به‌دست‌آمده از نظرات کارشناسان





شکل ۱۴. نقشه تحلیل سطوح حساسیت وضعیت خطر فرونشست دشت اردبیل  
 Fig. 14. Analysis map of sensitivity levels of subsidence hazard status in Ardabil plain

### بحث و نتیجه گیری

نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر فرونشست در منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به یافته‌های تحقیق می‌توان گفت که کاربرد هم‌زمان سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل فازی در برنامه‌ریزی محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از این روش، علوم برنامه‌ریزی محیطی را به صورت کاربردی‌تر و موفق‌تر از همیشه در زمینه مدیریت بحران‌های محیطی مطرح می‌سازد. در نتیجه بهره‌گیری از این روش در مدیریت محیط به برنامه‌ریزان محیطی توصیه می‌گردد. دانشور وثوقی و همکاران (۶) در تحقیق خود به این نتیجه رسیده بودند که روند تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت اردبیل غیر معنی‌دار هست و پایین رفتن تراز سطح آب چاه‌های دشت اردبیل به علت کاهش بارش نبوده بلکه به برداشت بی‌رویه آب از چاه‌های زیرزمینی یا چاه‌های عمیق ارتباط دارد. جعفر زاده و همکاران (۱۳) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که

هدف از این پژوهش شناسایی و پهنه‌بندی پتانسیل وضعیت خطر فرونشست در منطقه دشت اردبیل و استخراج نواحی در معرض خطر فرونشست با استفاده از عوامل تأثیرگذار در منابع آب سطحی و زیرسطحی و عوامل دیگر از طریق روش تحلیل شبکه‌ای فازی و فن‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی بود. فن‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی به علت توانایی بالای آن در مدیریت حجم عظیمی از اطلاعات فضایی و مکانی، ابزاری قدرتمند برای این نوع مطالعات اولیه به شمار می‌رود (۱۵ و ۱۹). علاوه بر این، مدل تحلیل شبکه‌ای فازی توسط برنامه‌ریزان برای حل مشکلات پیچیده‌ای که در امر مدیریت با آن روبرو هستند، به کار گرفته می‌شود؛ بنابراین ادغام فن‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل تحلیل شبکه‌ای فازی می‌تواند به‌عنوان روشی قدرتمند جهت تهیه

می‌کنیم که این دو دهستان بیش‌ترین نیاز آبی سالانه محصولات کشت‌شده را داشته و همین امر باعث افزایش برداشت بی‌رویه و غیراصولی از آب‌های سطحی و زیرسطحی می‌شود که خود می‌تواند دلیلی بر روند افزایش وضعیت در معرض آسیب بودن این دهستان‌ها به علت میزان بالای برداشت از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی باشد. هم‌چنین با کنار هم قرار دادن شکل‌های ۱۲ و ۱۴ به‌وضوح می‌توان مشاهده کرد که یک رابطه قوی بین نحوه پراکندگی چاه‌های عمیق در سطح دشت اردبیل و مناطق در معرض خطر بالای فرونشست وجود دارد. با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۸، زیرمعیار وضعیت آب‌های زیرزمینی با وزن ۰/۳۸ بیش‌ترین تاثیر را در وضعیت خطر فرونشست دشت اردبیل ایجاد کرده است. این وزن با بررسی سایر لایه‌های مرتبط با وضعیت آب زیرزمینی و لایه پراکندگی جمعیت، نشان دهنده تاثیر زیاد این زیرمعیار است.

### تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از طرحی است که با تصویب و حمایت مالی حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا گردیده است.

بیش‌ترین میزان افت آب در قسمت شرق و جنوب شرقی منطقه اتفاق افتاده است که این عامل باعث افزایش خطر فرونشست در این منطقه خواهد شد. جعفرزاده و همکاران (۱۴) در تحقیقات خود نشان دادند که تراز آب زیرزمینی اغلب ایستگاه‌های دشت (به‌غیر از مناطق غرب و شمال غربی) روند منفی معنی‌داری دارد. هم‌چنین بررسی‌های انجام‌شده در تحقیق آن‌ها نشان داده است که تراز آب زیرزمینی اغلب چاه‌های مشاهده‌ای دشت اردبیل روند نزولی داشته به‌طوری‌که شدیدترین افت در شرق دشت مشاهده‌شده است که به نظر می‌رسد کاهش تراز آب زیرزمینی در اغلب ایستگاه‌ها به برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی مربوط باشد. با توجه به شکل ۱۴ ملاحظه می‌شود که دهستان‌های ویلکیج مرکزی، فولادلوی شمالی و دهستان شرقی بیش‌ترین سطح آسیب‌پذیری را از لحاظ وضعیت خطر فرونشست دارند. وضعیت بحرانی خطر فرونشست در این سه دهستان بیش‌ترین مقدار را دارد. هم‌چنین دهستان کلخوران و آغبلاغ آقاجان خان از وضعیت متوسط به سمت وضعیت در معرض آسیب پیش می‌روند که نیازمند دقت بیش‌تری در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب این دهستان‌ها هست. این امر با مشاهده شکل ۸ که نقشه نیاز آبی محصولات کشت‌شده در دشت اردبیل را نشان می‌دهد، بیش‌تر نمود پیدا می‌کند. با توجه به شکل ۸ ملاحظه

### References

1. Abedini M. 2013. Investigating the causes of subsidence in Ardabil plain and its effects in the city. *Natural Geography*, 6(19): 71-84. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=222459>. (In Persian).
2. Agricultural Statistics of Ardabil City (ASAC). 2019. Ardabil Agricultural Jihad Organization. Administration. Water and soil management. 130 p. (In Persian).
3. Arvin A, Vahabzadeh G, Mousavi SR, Bakhtyari Kia M. 2019. Geospatial modeling of land subsidence in the south of the Minab watershed using remote sensing and GIS. *Journal of RS and GIS for Natural Resources (Journal of RS and GIS for Natural Resources)*, 10(3): 19-34. [https://girs.bushehr.iau.ir/article\\_668468.html?lang=en](https://girs.bushehr.iau.ir/article_668468.html?lang=en). (In Persian).
4. Asghari Saraskanroud S, Ghale E, Ebady E. 2021. Investigation of land use changes and its relationship with groundwater level (Case study: Ardabil plain). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(1): 86-106. doi:<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.12.1.5.6>. (In Persian).
5. Bayer B, Simoni A, Mulas M, Corsini A, Schmidt D. 2018. Deformation responses of slow moving landslides to seasonal rainfall in the Northern Apennines, measured by InSAR. *Geomorphology*, 308: 293-306. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.02.020>.
6. Daneshvar Vousoughi F, Dinpashoh Y, Aalami M. 2011. Effect of drought on groundwater level in the past two decades (Case study: Ardebil Plain). *Water and Soil Science*, 21(4): 165-179. (In Persian).
7. Ekbal H, Wright TJ, Walters RJ, Bekaert DPS, Lloyd R, Hooper A. 2018. Constant strain

- accumulation rate between major earthquakes on the North Anatolian Fault. *Nature Communications*, 9(1): 1392. doi:<https://doi.org/10.1038/s41467-018-03739-2>.
8. Esfandiari F, Ghorbani Filabadi R, Nasiri Khiavi A, Mostafazadeh R. 2019. Assessing the accuracy of algebraic and geostatistical techniques to determine the spatial variations of groundwater quality in Boroojen Plain. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(20): 115-130. doi:<https://doi.org/10.22111/jneh.2018.22500.1335>.
  9. Gharechelou S, Akbari Ghoochani H, Golian S, Ganji K. 2021. Evaluation of land subsidence relationship with groundwater depletion using Sentinel-1 and ALOS-1 radar data (Case study: Mashhad plain). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(3): 40-61. doi:<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1400.1.2.3.3.8>. (In Persian).
  10. Haji Hosseinlou h. 2018. Assessing the decrease in the level of ground water table using geographic information system (GIS) (Case study: Khoy plain aquifer). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 7(2): 53-74. doi:<https://doi.org/10.22067/geo.v7i2.67365>. (In Persian).
  11. Imani B, Jafarzadeh J. 2022. Identification of villages at risk of subsidence in Ardabil plain using fuzzy-network analysis in GIS. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 13(2): 15-18. doi:<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.1.3.2.4.4>. (In Persian).
  12. Intrieri E, Raspini F, Fumagalli A, Lu P, Del Conte S, Farina P, Allievi J, Ferretti A, Casagli N. 2018. The Maoxian landslide as seen from space: detecting precursors of failure with Sentinel-1 data. *Landslides*, 15(1): 123-133. doi:<https://doi.org/10.1007/s10346-017-0915-7>.
  13. Jafarzadeh J, Rostamzadeh H, Asadi E. 2017. Modeling temporal of groundwater level using basic techniques of time series analysis (Case study: Ardabil plain). *Water and Soil Science*, 27(4): 185-196. (In Persian).
  14. Jafarzadeh J, Rostamzadeh H, Nikjoo M, Asadi E. 2017. Potential assessment of available water resources of Ardabil plain using fuzzy analytic network process (FANP) in GIS. *Geography and Planning*, 21(61): 145-164. (In Persian).
  15. Junfei C, Yang Y. 2011. A fuzzy ANP-based approach to evaluate region agricultural drought risk. *Procedia Engineering*, 23: 822-827. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2588>.
  16. Li YP, Huang GH, Nie SL. 2010. Planning water resources management systems using a fuzzy-boundary interval-stochastic programming method. *Advances in Water Resources*, 33(9): 1105-1117. doi:<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2010.06.015>.
  17. Mokhtari D, Ebrahimi H, Salmani S. 2019. Land subsidence susceptibility modeling using random forest approach (Case study: Tasuj plane catchment). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(3): 93-105. doi:[https://girs.bushehr.iau.ir/article\\_668475.html?lang=en](https://girs.bushehr.iau.ir/article_668475.html?lang=en). (In Persian).
  18. Nas B, Berkay A. 2010. Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160(1): 215-227. doi:<https://doi.org/10.1007/s10661-008-0689-4>.
  19. Rostamzadeh H, Asadi E, Jararzadeh J. 2015. Evaluation of the groundwater table using multi-criteria decision making and spatial analysis, case study: Ardebil plain. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 2(1): 31-42. doi:<https://doi.org/10.18869/acadpub.jsaeh.2.1.31>. (In Persian).
  20. Saaty TL. 2007. Multi-decisions decision-making: In addition to wheeling and dealing, our national political bodies need a formal approach for prioritization. *Mathematical and Computer Modelling*, 46(7): 1001-1016. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mcm.2007.03.023>.
  21. Shahid SU, Iqbal J, Hasnain G. 2014. Groundwater quality assessment and its correlation with gastroenteritis using GIS: a case study of Rawal Town, Rawalpindi, Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(11): 7525-7537. doi:<https://doi.org/10.1007/s10661-014-3945-9>.
  22. Shieh J-I, Wu H-H, Huang K-K. 2010. A DEMATEL method in identifying key success factors of hospital service quality. *Knowledge-Based Systems*, 23(3): 277-282. doi:<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2010.01.013>.
  23. Shrestha S, Nakamura T, Magome J, Aihara Y, Kondo N, Haramoto E, Malla B, Shindo J, Nishida K. 2018. Groundwater use and diarrhoea in urban Nepal: novel application of a geostatistical interpolation technique linking environmental and epidemiologic survey data. *International Health*, 10(5): 324-332.
  24. Tzeng G-H, Chiang C-H, Li C-W. 2007. Evaluating intertwined effects in e-learning programs: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL. *Expert Systems with Applications*, 32(4): 1028-1044. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.02.004>.
  25. Wang Y-J. 2020. Combining quality function deployment with simple additive weighting for interval-valued fuzzy multi-criteria decision-making with dependent evaluation criteria. *Soft Computing*, 24(10): 7757-7767. doi:<https://doi.org/10.1007/s00500-019-04394-5>.

26. Wu W-W. 2008. Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach. *Expert Systems with Applications*, 35(3): 828-835. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.07.025>.
27. Zhou Q, Huang W, Zhang Y. 2011. Identifying critical success factors in emergency management using a fuzzy DEMATEL method. *Safety Science*, 49(2): 243-252. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2010.08.005>.
28. Zhou X, Shi Y, Deng X, Deng Y. 2017. D-DEMATEL: A new method to identify critical success factors in emergency management. *Safety Science*, 91: 93-104. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.06.014>.



## Identification of villages at risk of subsidence in Ardabil plain using fuzzy-network analysis in GIS

**Bahram Imani, Jafar Jafarzadeh**

Received: 8 May 2021 / Received in revised form 28 July 2021 / Accepted: 11 August 2021  
Available online 19 August 2021 / Available print 22 May 2022

### Abstract

**Background and Objective** In recent years, due to climate change and drought, as well as the lack of supervision in digging agricultural wells, many of the country's aquifers have been harvested improperly, which has led to a negative balance of these aquifers to the extent that, according to the Geological Survey, most of the country's plains have experienced a drop in groundwater levels. Today, the study, planning and planning to reduce the risks of natural hazards is one of the main issues of officials and planners of countries. One of the hazards that are less considered due to gradual performance is the phenomenon of subsidence, which in recent years due to increased use of important aquifers in the plains of the country has become a pervasive problem. In this research, an attempt has been made to investigate the possibility of subsidence and its possible dangers as a threat to human projects as well as rural settlements in the Ardabil plain.

**B. Imani**<sup>1</sup>, **J. Jafarzadeh**<sup>2</sup>

1. Associate Professor, Department of Geography and Rural Planning, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
2. Instructor, Department of Geography and Rural and Urban Planning, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

e-mail: [imani\\_b@uma.ac.ir](mailto:imani_b@uma.ac.ir)  
<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.2.4.4>

**Materials and Methods** The study area of Ardabil plain is located between the latitude of thirty-eight degrees and thirty minutes north latitude to thirty-eight degrees and thirty minutes and the longitude of east geography forty-eight degrees and fifteen minutes to forty-eight degrees and thirty-five minutes in the northwestern part of Ardabil province. To investigate the groundwater status of the plain, data from 38 observation wells prepared by the Ardabil Regional Water Organization and located at the plain level have been used. First, using 30-year statistics of 65 observation wells and GIS, a water potential drop map for the region was prepared. Then, using fuzzy Dematel model, experts' opinions were collected and modeled. This method is one of the conceptual methods for structuring decision problems. The Dematel technique is based on graph theory, and in this way we can divide the criteria into two groups of cause and effect criteria to gain a better understanding of the cause-and-effect relationship and finally be able to create a network of interrelationships. Finally, after creating the general relationship matrix and according to the defined threshold size, we create the final relationship matrix in which the number zero means no relationship and the number one means the relationship between two criteria. Using the final relations matrix, we conduct a survey of experts on the extent to which factors affect each other with respect to their interdependence.

After the data was obtained from the relevant organizations, a database was created for the information in the ArcCatalog software environment, and then maps related to this data were created in ArcGIS software. After the weights of the different layers were obtained using the fuzzy network analysis method, they entered the ArcGIS software and multiplied the weights of each sub-criterion in the map we created for each layer and finally gathered the maps together to get a final map. The final map shows the areas of Ardabil plain that are classified in terms of subsidence risk and in five categories in terms of danger status were shown with color spectrum. Then, the area with severe water loss was selected and compared with the scattering map of deep wells. In the last step, using advanced and fuzzy hybrid models and network analysis in the software environment of GIS, each of the layers of sediment sensitivity and water level drop membership is determined and using fuzzy linear overlap, the area sensitivity map to subsidence in five classes of very sensitivity High, high sensitivity, medium sensitivity, low sensitivity and very low sensitivity were prepared. To prepare the final map of subsidence risk status in Ardabil plain, first the obtained weights for each sub-factor were multiplied in the fuzzy maps of that sub-factor and then these weighted maps were aggregated using the Raster Calculator tool. The final fuzzy map of subsidence risk assessment of Ardabil plain is changing with the color spectrum changes from blue, which represents the lowest, to red, which represents the highest. The blue color indicates low risk areas and the red color indicates high risk areas in terms of subsidence risk in Ardabil plain and villages located in this area.

**Results and Discussion** After obtaining the initial plan to assess the subsidence risk status and areas at risk of subsidence in Ardabil plain, the final map to assess the status of Ardabil plain in terms of land subsidence risk has been prepared according to the

weights and layers obtained. Since all the base layer maps were reclassified into five layers and the weight corresponding to each layer was given according to the condition of the layers, the final map was classified and weighted into five layers, which according to experts and professors is as follows; 1) Low risk areas, 2) Medium risk areas, 3) High risk, 4) Damaged areas, 5) Critical areas. Finally, using the final map of Ardabil plain subsidence risk assessment, as well as the ranking obtained from the opinions of relevant experts, the final map of Ardabil plain subsidence risk analysis was prepared. Also, the map of deep wells in Ardabil plain and its distribution in rural areas, it can be seen that the highest distribution and concentration of deep wells in the eastern part of the plain is in Wilkij e Markazi and Fooladloo e Shomali villages. This situation shows the scattering position of deep wells showing the proportionality of the scattering of deep wells in areas at risk of subsidence.

**Conclusion** Wilkij e Markazi, Fooladloo e Shomali, and Fooladloo e Sharghi have the highest levels of vulnerability in terms of subsidence risk status. The critical situation of landslide risk is the highest in these three villages. Also, Kalkhoran and Aghbalagh Aqajan Khan villages are moving from a moderate to a vulnerable situation, which requires more care in managing and planning the water resources of these villages. Also, there is a strong relationship between the distribution of deep wells in the Ardabil plain and areas at high risk of subsidence. Also, according to the results obtained the groundwater status sub-criterion with a weight of 0.38 has the greatest impact on the subsidence risk of Ardabil plain. This weight shows the high impact of this sub-criterion by examining other layers related to groundwater status and population dispersion layer.

**Keywords:** Subsidence, Fuzzy analysis, Aquifer, Geographic Information System (GIS), Ardabil Plain