

ارزیابی ناپایداری و تخریب اراضی با استفاده از روش‌های فازی، تحلیل سلسله مراتبی و ترکیب خطی وزنی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بختگان فارس)

- ❖ مه‌رو ده‌بزرگی؛ دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ محمد جعفری*؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ آرش ملکیان؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ غلامرضا زهتاییان؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ سیدرشید فلاح‌شمسی؛ دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

چکیده

در کشور ایران، با وجود شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک، استفاده بهینه از منابع محدود آب و خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آنچه به عنوان تخریب سرزمین از آن یاد می‌شود، نتیجه سیاست‌های نادرست در مدیریت اراضی است که نمونه بارز آن در حوزه آبخیز بختگان به چشم می‌خورد. عوامل و دخالت‌های انسانی و نیز تغییر اقلیم و پدیده خشک‌سالی در سال‌های اخیر و نیز بسیاری عوامل دیگر سبب شده تا این حوزه از نظر منابع آبی و خاکی به شدت تخریب شده و حیات تالاب بختگان در معرض نابودی قرار گیرد. در این مطالعه سعی گردید تا ضمن شناسایی عوامل و پارامترهای اکولوژیکی طبیعی و نیز عوامل انسانی مؤثر در تخریب و آسیب‌پذیری حوزه، با استفاده از روش طبقه‌بندی فازی، روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و قابلیت‌های مدل‌سازی سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، از داده‌های حاصل از معیارها و لایه‌های مؤثر استفاده شده و میزان آسیب‌پذیری و تخریب اراضی در سطح حوزه تعیین گردد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد، میزان تخریب و ناپایداری اراضی در سطح حوزه دارای گسترش زیادی (۴۸٪ از مساحت حوزه) است، اما آسیب‌پذیری در بخش‌های مرکزی و پایین دست حوزه و غالباً در محدوده‌های تحت دخالت عوامل انسانی مانند تراکم زیاد جمعیت، مصرف و بهره‌برداری آب در بخش کشاورزی، مدیریت‌های نادرست در کاربری اراضی منطقه و نیز سدها و بندهای احداث شده ایجاد گردیده است و همچنین عوامل و پارامترهای انسانی دارای نقش پررنگ‌تری در تخریب و آسیب‌پذیری منطقه در مقایسه با عوامل اکولوژیکی و محیطی دارا می‌باشند.

کلید واژگان: طبقه بندی فازی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، حوزه آبخیز بختگان.

۱. مقدمه

چگونگی مدیریت منابع آب و خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع زیست محیطی و اکولوژیکی با لحاظ کلیه تمهیدات ذیربط نیازمند شنا سایی عوامل مؤثر در مدیریت این منابع می‌باشد، زیرا تنها در این صورت است که می‌توان اقدام به برنامه‌ریزی و اعمال مدیریت مقتضی نمود. در قسمت‌های مختلف دنیا، به خصوص در کشورهای در حال توسعه، مسائل مرتبط با آب از قبیل کمبود آب، آلودگی آب و افزایش خسارات ناشی از سیل وجود دارد و مسائل تخریب خاک، کمبود مواد غذایی و به دنبال آن گسترش بیماری‌ها را در پی خواهد داشت. همچنین رشد روز افزون جمعیت، توسعه اراضی کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، گسترش صنایع، توزیع ناهمگون زمانی و مکانی آب شیرین به لحاظ کمی و محدودیت‌ها و مشکلات روز افزون کیفی منابع آبی، در بسیاری از کشورها، تأمین آب مطمئن را به یکی از چالش‌های اساسی قرن حاضر تبدیل کرده است [۹]. از مهم‌ترین عوامل تخریب خاک نیز می‌توان به شور شدن خاک، از بین رفتن پوشش گیاهی، تخریب جنگل‌ها و نامناسب بودن سیستم‌های آبیاری اشاره کرد. بیا بانی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشورمان نیز به وفور مشاهده می‌شود و یکی از پیامدهای هدررفت خاک به شمار می‌رود. ایران یکی از ۷ کشور آسیایی است که بیشترین میزان هدررفت خاک را دارد [۵]. بهره‌برداری‌های نادرست و بی‌رویه از منابع سرزمین بارزترین اثر خود را در تالاب‌ها می‌گذارد. تخریب تالاب‌ها هشدار جدی مبنی بر ناپایداری توسعه است. کشور ایران با متوسط بارش ۲۴۰ میلیمتر در سال، در ناحیه خشک و نیمه‌خشک دنیا واقع شده است و با اینکه ۱/۱ درصد از مساحت خشکی‌های جهان را به خود اختصاص داده، فقط ۰/۳۴ درصد از آب‌های موجود در خشکی‌های جهان را در اختیار دارد [۹].

اهمیت جامع‌نگری اکولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی در طرح‌های توسعه، امروزه برای اکثر متخصصان مشخص است. مفاهیم مهم در برنامه‌ریزی نوین شامل دو اصل

هماهنگی با شرایط محیطی و اصل تلفیقی بودن توسعه می‌باشد. بدین ترتیب توسعه باید از نظر توجه به مبانی اکولوژیک و واقعیات اقتصادی-اجتماعی جامع‌نگر بوده و از نظر هماهنگی رشد و توسعه بخش‌های مختلف تلفیقی باشد [۲۹]. در واقع اثرات و روابط بخش‌های مختلف (عوامل محیطی، فیزیکی و اقتصادی-اجتماعی) بر یکدیگر و ارزیابی مشکلات به صورت یکپارچه چالش اصلی برنامه‌ریزی و مدیریت محسوب می‌شود. تعیین آسیب‌پذیری و تخریب اراضی مانند سایر پدیده‌های طبیعی دارای پارامترهای مؤثر متعدد و گوناگون اعم از کمی و کیفی می‌باشد که تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها را به دلیل نقش متفاوت و میزان اثربخشی هر کدام از پارامترها با مشکل مواجه می‌سازد. بنابراین برای حل این مشکل، روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه طراحی شده‌اند که دارای مزایا و معایبی می‌باشند [۱۰]. یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است که به کمک آن می‌توان درخت سلسله مراتبی (هدف، معیارها و گزینه‌ها)، مقایسه زوجی معیارهای مختلف، نرمال سازی و تلفیق کلی نتایج را انجام داد [۲]. برای نرمال سازی عوامل و پارامترهای مؤثر در ارزیابی آسیب‌پذیری و تخریب اراضی روش‌های متعددی وجود دارد که روش طبقه‌بندی فازی از معتبرترین و مهم‌ترین این روش‌ها محسوب می‌شود [۲۷]. الگوریتم‌های منطق فازی از جمله مدل‌های هوشمندی هستند که برای کاربرد در شرایط عدم اطمینان ارائه گردیده است [۱۵]. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم، متغیرها، شاخص‌ها و سیستم‌های نامشخص و مبهم را صورت‌بندی ریاضی بخشد و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط نامطمئن فراهم آورد. یک مجموعه فازی یک تابع عضویت دارد که درجه عضویت بین صفر و یک را به سری اعداد اختصاص می‌دهد. عضویت عبارت است از نمایش درجه‌ای معین از تعلق شیء به مجموعه فازی [۴]. در مطالعه حاضر با توجه به اطلاعات و وضع موجود، از روش ارزیابی چند معیاری فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای اولویت‌بندی میزان اهمیت عوامل شناسایی

بیان گردید که استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و استفاده از معیارهای مناسب در پهنه‌بندی و ارزیابی سرزمین از اهمیت و کارایی زیادی برخوردار است [۲۹]. در تحقیق حاضر، حوزه آبخیز بختگان در استان فارس به دلیل دارا بودن شرایط بحرانی از نظر زیست محیطی از قبیل تخریب و خشکی دریاچه بختگان، تبدیل شدن تالاب به شوره زار، تخریب در بالادست حوزه و تغییر کاربری گسترده اراضی طبیعی به اراضی کشاورزی دیم و آبی و مسکونی، افت سفره‌های زیرزمینی و نشست زمین و بسیاری از عوامل دیگر، باعث شده است تا این منطقه به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیده و علل تخریب در آن تحت بررسی و مدیریت قرار گیرد. از آنجایی که ارزیابی فرآیند تخریب سرزمین بر اساس عوامل اکولوژیکی-انسانی در منطقه مورد مطالعه تا به حال صورت نگرفته است و همچنین به دلیل فقدان نقشه‌های آسیب‌پذیری و تخریب سرزمین در حوزه، سعی گردید تا در تحقیق حاضر با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فازی، ترکیب خطی وزنی و سامانه اطلاعات جغرافیایی به بررسی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در ارزیابی تخریب و ناپایداری اراضی در حوزه آبخیز بختگان پرداخته شده و مناطق تحت تخریب و آسیب‌پذیر در نقشه نهایی مشخص گردد.

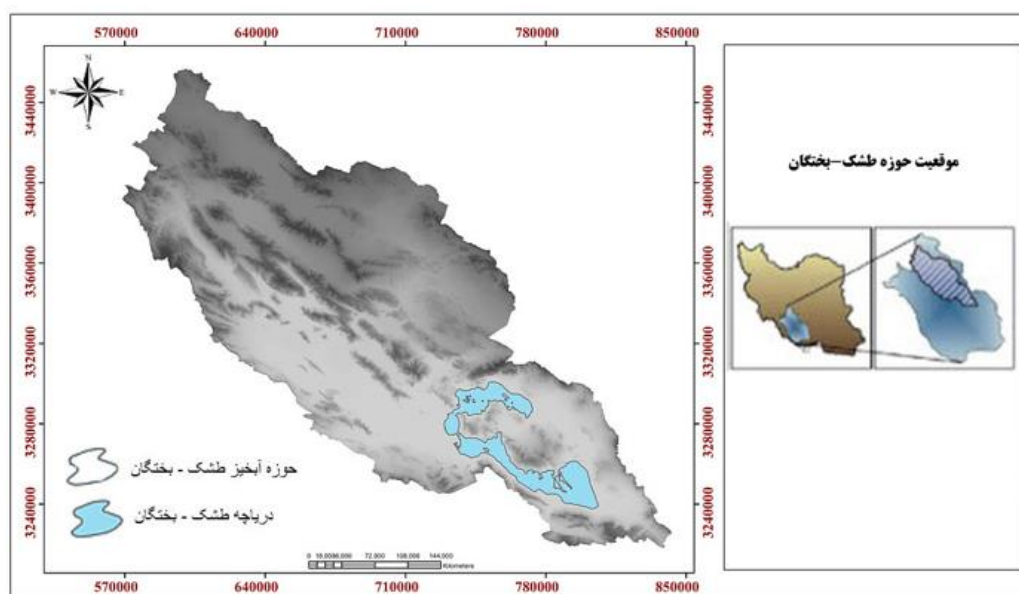
۲. روش شناسی

۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بختگان به مساحت ۲۷۲۴۵ کیلومترمربع واقع در استان فارس بین ۵۱ درجه ۴۲ دقیقه تا ۵۴ درجه ۳۱ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه تا ۳۱ درجه ۱۴ دقیقه عرض شمالی می‌باشد. حوزه آبخیز دریاچه‌های طشک-بختگان، به عنوان یکی از حوزه‌های تلفیق مطالعات کشور، بخش وسیعی از مناطق شرقی، مرکزی، شمالی و شمال غربی استان فارس را تشکیل داده است. این حوزه در راستای شمال غربی - جنوب شرقی و به موازات رشته

شده و نیز سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی برای تهیه نقشه‌ها استفاده گردید. مطالعاتی در ایران و سایر کشورها در این رابطه انجام گرفته است. در پژوهشی جهت ارزیابی قابلیت اراضی در ناحیه حساس به خشکسالی در منطقه غرب بنگال در هند، از سامانه اطلاعات جغرافیایی در تلفیق با تحلیل سلسله مراتبی و ترکیب وزنی خطی استفاده شد. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که این روش یک متد مناسب برای ارزیابی قابلیت سرزمین در مناطق خشک محسوب شده و از انعطاف بالایی برخوردار می‌باشد [۲۳]. همچنین در پژوهشی در رابطه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله مراتبی در ارزیابی توان اراضی در هیمالیا، از ترکیب شاخص‌های محیطی و اقتصادی اجتماعی استفاده گردید. این شاخص‌ها مانند شیب، ارتفاع، پوشش گیاهی، خاکشناسی و فاصله تا منابع آبی و شاخص‌های اقتصادی اجتماعی مانند نوع کاربری اراضی، جمعیت، فاصله تا مناطق پرجمعیت، درآمد و فقر اقتصادی و غیره می‌باشد. نتایج حاصل از پژوهش استفاده از این روش در شناسایی پایداری اراضی بدلیل استفاده از نظرات کارشناسان در شناخت عوامل مؤثر بر تخریب و پایداری منطقه بسیار سودمند و مؤثر می‌داند [۲۱]. در پژوهشی تحت عنوان ارزیابی اکولوژیکی-اقتصادی اجتماعی حساسیت‌پذیری محیط و اراضی در حوزه رودخانه مینجیانگ در چین، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و معیارهای مربوطه اقدام به پهنه‌بندی محیط توسط این پارامترها گردید [۳]. در تحقیق دیگری در حوزه دیوان دره این نتیجه حاصل شد که استفاده از روش فازی و تحلیل سلسله مراتبی AHP و نیز سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در ارزیابی اکولوژیکی سرزمین بسیار کارآمد و مؤثر بوده و از دقت بالایی برخوردار می‌باشد [۱۹]. روش تحلیل سلسله مراتبی برای وزن دهی به معیارها و نیز سامانه اطلاعات جغرافیایی در پهنه‌بندی سرزمین طی پژوهشی در جزیره هرمز مورد استفاده قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که این روش برای ارزیابی روشی بسیار مؤثر و کارآمد محسوب می‌شود [۱]. در نتایج پژوهش انجام گرفته تحت عنوان برنامه‌ریزی‌های منظوردار در سرزمین،

کوه زاگرس گسترش یافته است. در شکل شماره (۱) می‌توان موقعیت محدوده مطالعاتی را مشاهده نمود.



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

۲.۲. داده‌های مورد استفاده

جهت تهیه نقشه آسپ‌پذیری در حوزه مورد مطالعه، می‌بایست عوامل مؤثر، معیارها و زیرمعیارها به صورت لایه‌های نقشه تهیه شده و مورد پردازش و تحلیل قرار گیرد. در این مطالعه از آمار بارش سالیانه متوسط حوزه (۱۳۸۰-۱۳۹۵) سازمان آب منطقه‌ای فارس جهت تهیه لایه اطلاعاتی بارش استفاده گردید. همچنین از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه برای تهیه لایه شیب و جهت استفاده شد. همچنین لایه‌های کاربری اراضی و پوشش گیاهی از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۶ منطقه با استفاده از روش نزدیکترین همسایه استخراج گردیدند. لایه‌های مربوط به خصوصیات خاک توسط نتایج آزمایشگاهی از ۱۶ نمونه خاک برداشت شده در نقاط با پراکنش مناسب در سطح حوزه و در واحدهای اراضی مختلف تهیه شدند. لایه خشکسالی توسط شاخص خشکسالی DPI و بر اساس آمار بارش سالیانه حوزه تهیه گردید، دلیل انتخاب شاخص DPI این

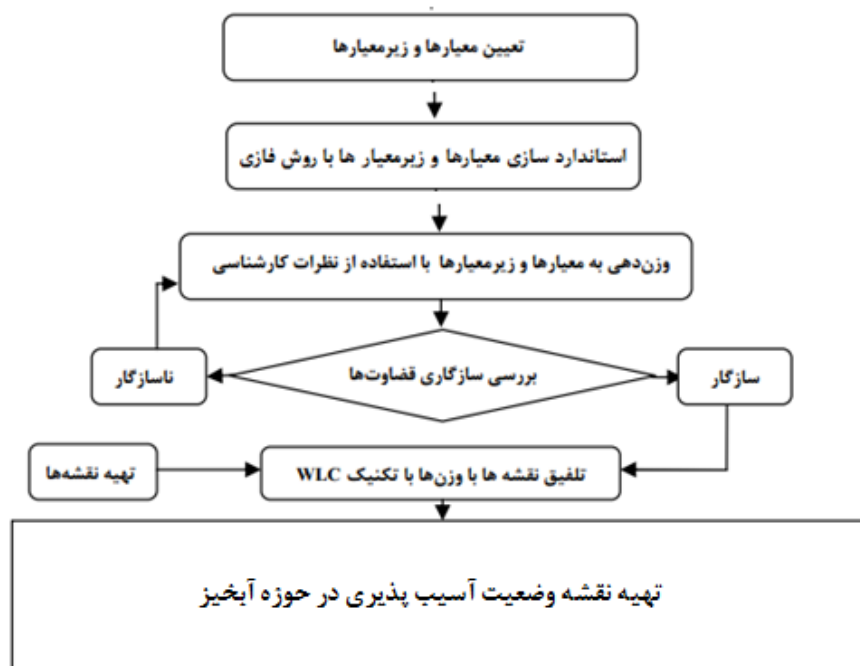
است که این شاخص خشکسالی در مناطق نیمه‌خشک از دقت بالایی برای محاسبه خشکسالی برخوردار می‌باشد [۷]. لایه‌های مربوط به کیفیت آب، بهره‌برداری آب و افت آب زیرزمینی نیز از سازمان آب منطقه‌ای فارس اخذ شدند که در لایه کیفیت آب اطلاعات خصوصیات مربوط به EC و TDS آب آورده شده است. لایه‌های جمعیت و درآمد مردم نیز توسط آمار موجود در مرکز آمار ایران اخذ شده و به صورت شیپ فایل ساخته شده و مورد استفاده گردیده است. در انجام این پژوهش، تهیه شیپ فایل‌ها و نقشه‌های فازی و نیز روش ترکیب وزنی خطی در محیط سامانه اطلاعاتی جغرافیایی و برای انجام تحلیل سلسله مراتبی از نرم افزار Expert Choice 11 استفاده گردید.

۳. روش تحقیق

بر اساس هدف مورد نظر در تحقیق حاضر، که در واقع ارزیابی و برآورد میزان آسیب‌پذیری و ناپایداری حوزه از دیدگاه منابع آب و خاک در حوزه بختگان می‌باشد، یکی

منابع و پارامترها ۲- ارزیابی، تجزیه و تحلیل و محاسبات
۳- ارزیابی و پهنه‌بندی منطقه. در شکل شماره (۲)
فلوچارت روش تحقیق ارائه شده است.

از بهترین و جدیدترین روش‌های ارزیابی توان اکولوژیک
اراضی به کار گرفته شد که روش تحلیل پارامتریک تلفیقی
می‌باشد [۲۹] و شامل چند مرحله است: ۱- شناسایی



شکل ۲. فلوچارت روش تحقیق در پژوهش حاضر

۳.۱. استاندارد سازی

جهت تهیه نقشه آسیب‌پذیری و ادغام نمودن نقشه‌ها، می‌بایست لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در ابتدا استاندارد و همگن شوند. یعنی لایه‌ها با استفاده از قواعد تصمیم‌گیری به مقیاسی تبدیل شوند که بتوان آن‌ها را با یکدیگر تلفیق و ادغام کرد [۱۱]، چرا که برخی از لایه‌ها مانند بارش، دارای مقادیر کمی بوده و برخی از لایه‌ها مانند نوع اقلیم، دارای مقادیر کیفی است و یا برای مثال لایه فاصله تا منابع آبی، فواصل را بررسی نموده است. لذا این لایه‌ها باید در ابتدا همگن شده و با یک استاندارد تهیه شوند. برای انجام این روش، لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده، که در بخش داده‌های مورد استفاده به آن‌ها اشاره گردید، به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی وارد می‌گردند. در مرحله بعد

پس از تعیین هدف در مرحله اول، پارامترها و معیارهای مربوط به هر دسته از منابع بر اساس هدف تحقیق، در ارزیابی آسیب‌پذیری و ناپایداری حوزه مطالعاتی بر اساس مرور منابع و نظرات کارشناسی به دست آمده توسط پرسشنامه‌های خبره برای وزن‌دهی در تحلیل سلسله مراتبی انتخاب گردید. پس از آن که مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه تعریف شد، باید زیرمعیارها نیز بر اساس نیازها و مشکلات کلی حاکم در منطقه تعریف شوند. به‌طوری‌که معیارها در ۶ دسته اقلیم، شکل زمین، خاک، هیدرولوژی، اقتصادی-اجتماعی و پوشش گیاهی انتخاب شده و برای هر یک از معیارها، زیرمعیارهایی انتخاب گردیده است، که در این پژوهش تعداد ۱۹ زیرمعیار آورده شده است. در شکل (۳) این معیارها و زیرمعیارها آورده شده است.

و توابع تبدیل (تبدیل پلی گون به رستر)، به لایه‌های رستری تبدیل شده و همگن می‌گردند.

این لایه‌ها با استفاده از توابع فاصله^۱ برای لایه‌های دارای فاصله مانند فاصله تا منابع آبی، میان یابی (لایه‌های کمی مانند بارش و خشکسالی)، تراکم (مانند لایه تراکم جمعیت)



شکل ۳. معیارها و زیرمعیارهای مورد مطالعه

۳.۲. ایجاد ساختار فازی

یک مجموعه فازی یک تابع عضویت دارد که درجه عضویت بین صفر و یک را به سری اعطا می‌کند. عضویت، درجه‌ای معین از تعلق شیء به مجموعه فازی را نمایش می‌دهد بدین معنی که هر ناحیه، با مقدار عضویت بالاتر از مطلوبیت بالاتری برخوردار است [۴]. در منطق فازی مسأله قطعیت موجود در منطق بولین وجود ندارد و هر لایه در مقیاسی بین صفر و یک درجه‌بندی می‌شود [۱۸]. در مدل فازی به هر یک از پیکسل‌ها در هر نقشه مقداری بین صفر تا یک اختصاص داده می‌شود که بیانگر میزان مناسب بودن محل پیکسل از دیدگاه معیار مربوطه برای هدف مورد نظر می‌باشد [۶]. در رابطه شماره (۱) می‌توان دامنه مورد نظر برای لایه‌های فازی را مشاهده نمود.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x > a \\ (x_{max} - x) / \Delta x & b > x > a \\ 0 & b > x \end{cases} \quad (1)$$

توابع فازی برای استاندارد سازی لایه‌های اطلاعاتی در سیستم اطلاعات جغرافیایی از انواع مختلفی برخوردار می‌باشد. انواع مختلف توابع استاندارد فازی در شکل شماره (۴) ارائه شده است.

همچنین عملگرهای فازی که می‌توانند برای تلفیق نقشه‌های فازی مورد استفاده قرار گیرند عبارتند از:

- عملگر اشتراک فازی که به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{combination} = \min(\mu_a, \mu_b, \mu_c, \dots) \quad (2)$$

که μ_c, μ_b, μ_a بیانگر مقادیر عضویت فازی

¹Distance

- عملگر ضرب فازی که به صورت رابطه زیر تعریف می شود:

$$\mu_{\text{combination}} = \pi \mu_i \quad (۴)$$

در این رابطه μ_i بیانگر مقدار عضویت در نقشه فاکتور i ام است. با استفاده از این عملگر مقادیر عضویت فازی در نقشه خروجی کوچک شده و به سمت صفر میل می کنند. بنابراین ترکیب عوامل اثر کاهشی خواهد داشت.

پیکسل های موجود در یک موقعیت مشخص بر روی نقشه های فاکتور مختلف می باشند.

- عملگر اجتماع فازی که به صورت رابطه زیر تعریف می شود:

$$\mu_{\text{combination}} = \text{MAX} (\mu_a, \mu_b, \mu_c, \dots) \quad (۳)$$

که μ_c, μ_b, μ_a مشابه با رابطه (۲) می باشد.

فرمول تابع فازی	شکل تابع فازی	نوع تابع
$\alpha \mu = \cos^2 \alpha$ $\alpha = (1 - (x - \text{point } a) / (\text{point } b - \text{point } a)) * \pi / 2$ When $x > \text{point } b, \mu = 1$		S شکل افزایشی
$\alpha \mu = \cos^2 \alpha$ $\alpha = (1 - (x - \text{point } a) / (\text{point } b - \text{point } a)) * \pi / 2$ $\alpha = (x - \text{point } c) / (\text{point } d - \text{point } c) * \pi / 2$ When $\text{point } b < x < \text{point } c, \mu = 1$		S شکل متقارن
$\mu = (1 - (x - \text{point } c) * (1 / (\text{point } d - \text{point } c)))$ When $x < \text{point } c, \mu = 1$ When $x > \text{point } d, \mu = 0$		خطی کاهشی

شکل ۴. شکل و فرمول توابع فازی (۱۳)

خبره به دست آمده و ضرایب و وزن های آن ها بر اساس مقایسه دو به دو معیارهای سطح یک و معیارهای سطح دو با هم بر مبنای نتایج پرسشنامه ها، وزن دهی شده و اولویت و ضریب هر معیار تعیین می گردد. بنابراین در این تحقیق، وزن های به دست آمده حاصل نظرات کارشناسی می باشد که توسط پرسشنامه تهیه شده است. برای ایجاد ساختار سلسله مراتبی باید بر اساس روش زیر عمل نمود:

در ساختار سلسله مراتبی AHP تمام معیارها و زیرمعیارهای مورد مطالعه توسط ماتریس زوجی زیر مقایسه می شوند:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (۵)$$

۳.۳. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^۱

روش تحلیل سلسله مراتبی یک روش رایج در تصمیم گیری چندمعیاره محسوب می شود [۱۷]. در این روش مسئله پیچیده به ساختار سلسله مراتبی با المان های تصمیم گیری (هدف، ویژگی، معیار و زیرمعیار و سپس گزینه ها) تقسیم می شود. در روش AHP معیارهای اصلی و زیرمعیارهای انتخاب و فازی شده، توسط روش سیستم تصمیم گیری AHP وزن دهی شده و وزن مربوط به هر کدام تعیین می شود. در این روش، در سطح اول و بالاترین سطح هدف اصلی قرار دارد، در سطح دوم معیارهای مختلف با توجه به هدف قرار دارند و در سطح پایینی نیز زیرمعیارها ایجاد می شوند. لازم به ذکر است که اولویت بندی معیارهای سطح یک و دو از طریق پرسشنامه

^۱Analytic hierarchy process

$$A_i = \sum_{j=1}^n W_j \times X_{ij} \quad (۸)$$

که در این رابطه، W_j وزن شاخص W_j ، X_{ij} مقداری است که مکان i ام در رابطه با شاخص W_j به خود پذیرفته است. به عبارت دیگر، این مقدار می‌تواند بیانگر درجه مناسب بودن مکان i ام در ارتباط با شاخص W_j باشد.

N تعداد کل شاخص‌ها بوده و A_i مقداری است که در نهایت به مکان i ام تعلق می‌گیرد.

در این روش می‌بایست مجموع وزن‌ها برابر یک باشد، که در صورت عدم وجود چنین شرایطی باید در مرحله آخر A_i بر مجموع کل وزن‌ها تقسیم گردد. در این صورت خروجی A_i نیز عددی بین صفر و یک خواهد بود. البته از آنجا که بیشتر یا کمتر بودن مقدار خروجی می‌تواند دلیلی برای مناسبت‌تر بودن یا نامناسب‌تر بودن یک گزینه باشد، می‌توان از نرمال کردن وزن‌ها صرف نظر کرد. در نهایت گزینه ایده آل، گزینه‌ای خواهد بود که دارای بیشترین A_i باشد [۲۰]. روش ترکیب خطی وزنی می‌تواند با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و قابلیت‌های همپوشانی این سامانه اجرا شود. فنون همپوشانی در سامانه اطلاعات جغرافیایی اجازه می‌دهد که برای تولید یک لایه نقشه‌ای ترکیبی (نقشه برون‌داد) با هم ترکیب و تلفیق شوند [۲۵]. بنابراین، بر اساس این روش، لایه‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی فراخوانی شدند. تمامی نقشه‌ها دارای ساختار رستری فازی شده با ابعاد پیکسل ۳۰ متر می‌باشند. در مرحله بعد ضرائب به‌دست آمده از مدل در لایه‌های اطلاعاتی ضرب شده و کلیه نقشه‌های وزن‌دار شده با یکدیگر جمع گردیده و نقشه نهایی آسیب‌پذیری اراضی در منطقه حوزه آبخیز بختگان به‌دست آمد.

۴. نتایج

برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری و ناپایداری سرزمین در حوزه آبخیز بختگان، تعداد پنج معیار بر اساس مرور منابع

که A یک ماتریس مقایسه زوجی است و متشکل از المان‌ها می‌باشد.

شاخص سازگاری برای اطمینان از سازگاری مقایسه زوجی بررسی از طریق فرمول زیر بررسی می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (۶)$$

در رابطه (۵)، RI یک مقدار ثابت است که متناظر با مقدار سازگاری تصادفی متوسط بوده و متناسب با n به دست می‌آید. سپس نسبت سازگاری (CR) از معادله زیر محاسبه می‌شود (۱۴):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (۷)$$

به‌طور کلی اگر نسبت سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسه زوجی سازگاری قابل قبولی دارد و وزن‌های حاصل می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند و در غیر این صورت ماتریس باید تغییر داده شود.

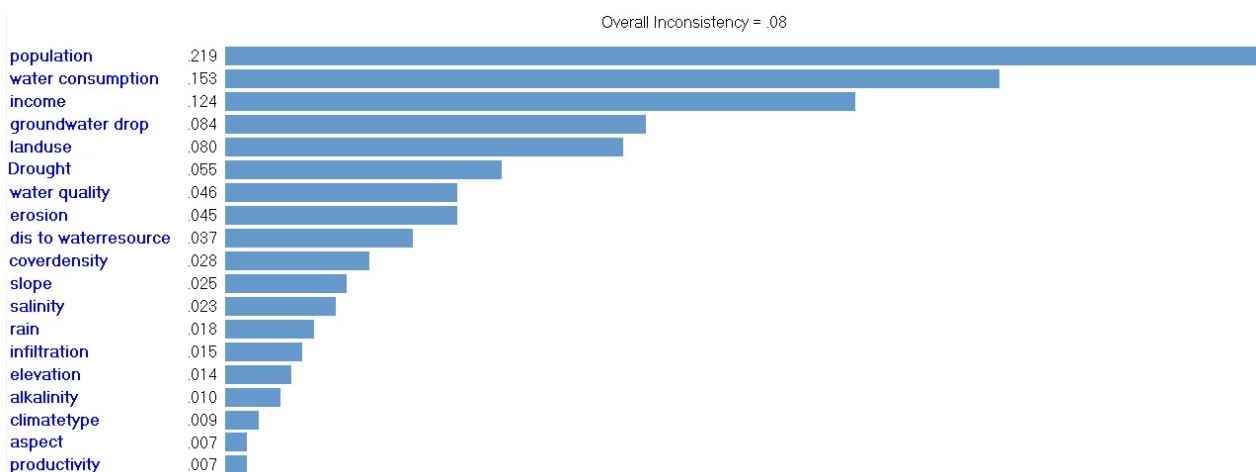
۳.۴. ترکیب وزنی خطی WLC^1

روش ترکیب خطی وزنی رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چندمعیاره است. این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تحلیل گر یا تصمیم‌گیرنده مستقیماً بر مبنای اهمیت نسبی هر معیار مورد بررسی، وزن‌هایی به معیارها می‌دهد. سپس از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن خاصیت، یک مقدار نهایی برای هر گزینه به دست می‌آید. پس از آن که مقدار نهایی هر گزینه مشخص شد، گزینه‌هایی که بیشترین مقدار را داشته باشند، مناسب‌ترین گزینه برای هدف مورد نظر خواهد بود [۲۶]. هدف مورد نظر می‌تواند تعیین تناسب زمین برای یک کاربرد خاص یا ارزیابی پتانسیل یک رخداده ویژه باشد. در این روش قاعده تصمیم‌گیری، مقدار هر گزینه A_i را به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌کند:

¹Weighted linear combination

و نظرات کارشناسان مورد مطالعه قرار گرفت. این معیارها که عوامل آسیب پذیری و ناپایداری حوزه را شناسایی می نمایند شامل: اقلیم، هیدرولوژی، شکل زمین، خاک و اقتصادی-اجتماعی می باشند و همچنین تعداد ۱۹ زیر معیار مؤثر برای هر معیار شناسایی شده و بر مبنای

انتخاب خبره وزن دهی شدند، که به شرح شکل شماره (۵) اولویت بندی شده اند. در شکل زیر وزن های حاصله از مدل تحلیل سلسله مراتبی ارائه شده اس و میزان نرخ سازگاری آن ۰/۰۸ می باشد که قابل قبول است که در جدول شماره (۱) نیز آورده شده است:



شکل ۵. وزن های نهایی زیر معیارها حاصل از مدل تحلیل سلسله مراتبی

جدول ۱. وزن های نسبی و نهایی زیر معیارهای تهیه شده در AHP

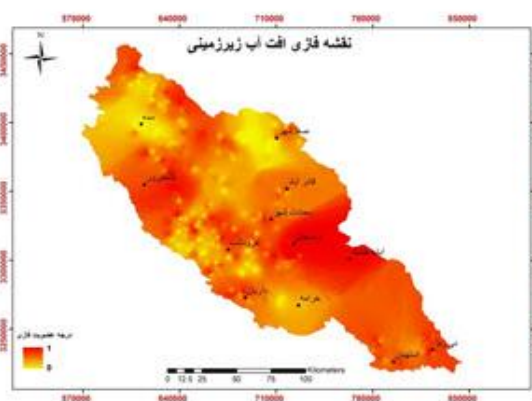
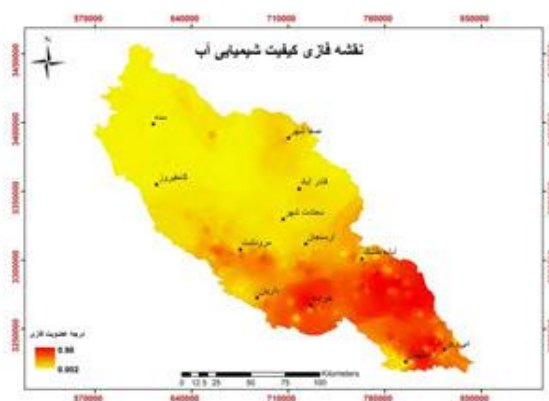
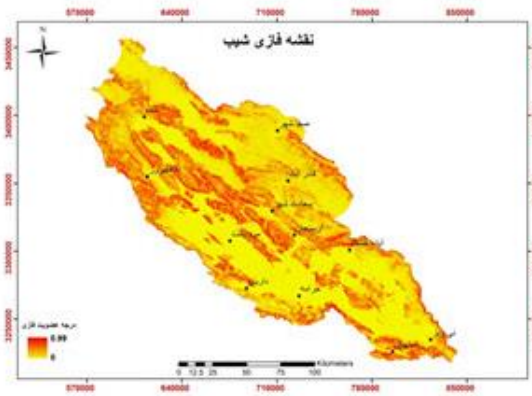
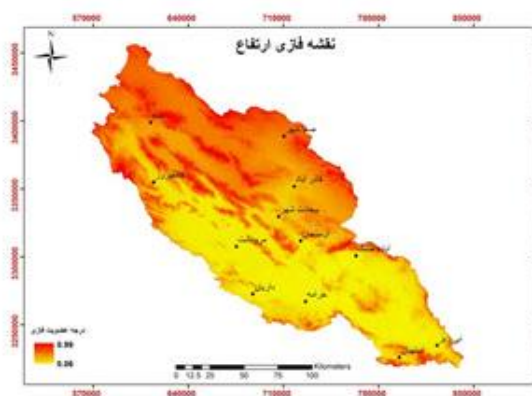
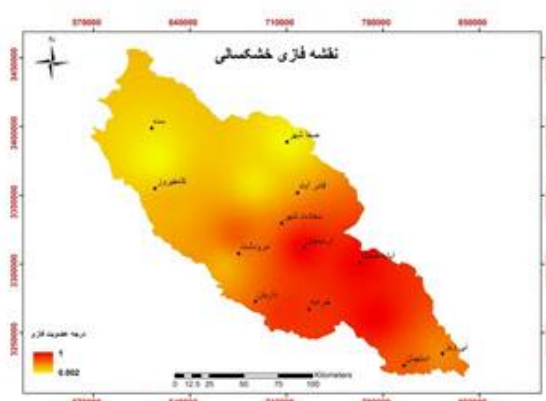
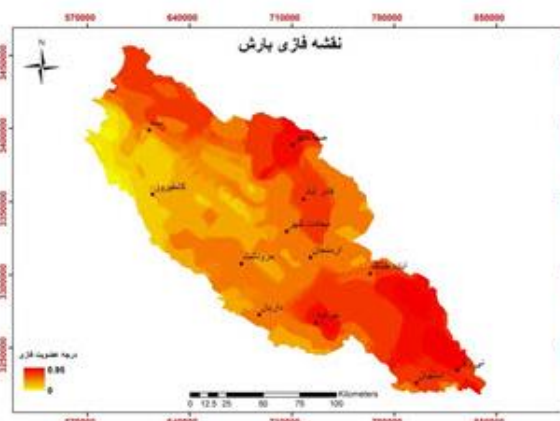
وزن نهایی	زیر معیار	وزن نهایی	زیر معیار
۰/۰۱۸	بارش	۰/۲۱۹	تراکم جمعیت
۰/۰۴۵	فرسایش خاک	۰/۱۵۳	مصرف و بهره برداری آب
۰/۰۱۰	قلیائیت خاک	۰/۱۲۴	درآمد و وضع اقتصادی
۰/۰۱۵	نفوذپذیری خاک	۰/۰۸۴	افت آب زیرزمینی
۰/۰۲۳	شوری خاک	۰/۰۸۰	کاربری اراضی
۰/۰۱۴	ارتفاع	۰/۰۵۵	خشکسالی
۰/۰۰۷	جهت شیب	۰/۰۴۶	کیفیت آب
۰/۰۲۵	شیب	۰/۰۳۷	فاصله تا منابع آبی
۰/۰۰۹	نوع اقلیم	۰/۰۰۷	حاصلخیزی
۱	مجموع	۰/۰۲۸	پوشش گیاهی

در شکل های زیر نقشه های فازی شده برای هر زیر معیار نشان داده شده است که بر اساس روش های ذکر شده در بخش روش تحقیق تهیه و ترسیم گردید. به طوری که اطلاعات لایه ها به صورت شیب فایل وارد

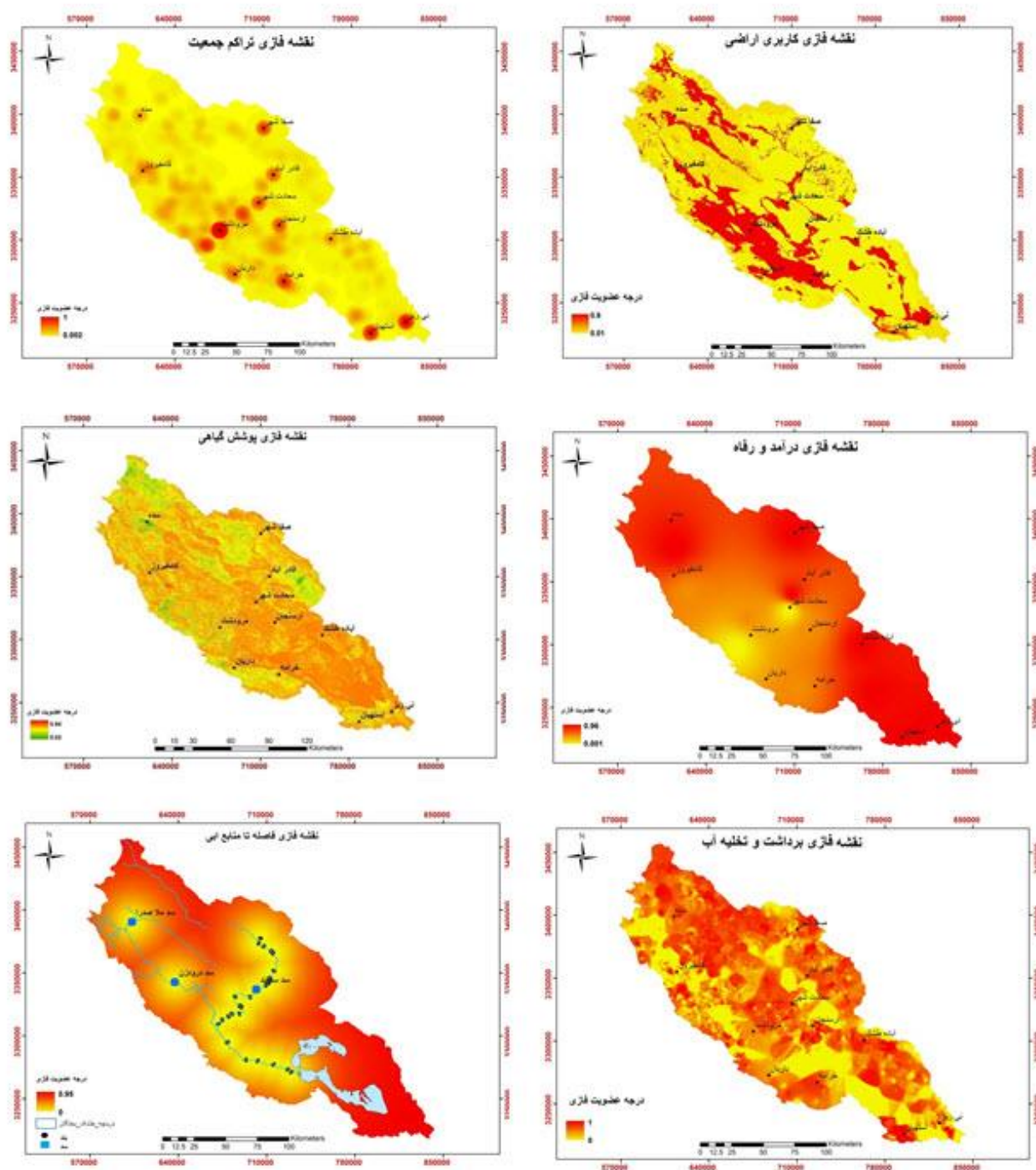
سامانه اطلاعات جغرافیایی شده و با استفاده از ابزار میان یابی و یا تبدیل پلی گون به رستر و یا تراکم، تبدیل به لایه رستری شده و سپس این لایه های رستری با استفاده از توابع فازی کاهشی یا افزایشی به لایه های فازی

که در نقشه به صورت پرنرنگ تر نشان داده شده است و بالعکس هر چه به مقادیر صفر نزدیکتر شویم بر میزان پایداری اراضی افزوده خواهد شد و تخریب کمتر است که با رنگ روشن تر مشخص گردیده است. شکل شماره (۶) نشان دهنده نقشه های فازی زیرمعیارها می باشد.

صفر و یک تبدیل شد. از آنجایی که تعداد نقشه های زیرمعیارها زیاد می باشد، تنها به رسم تعدادی از آنها کفایت می شود. در نقشه های زیر بر اساس توابع فازی افزایشی و کاهششی، هر چه که به مقادیر یک نزدیکتر می شویم بر میزان ناپایداری و آسیب پذیری افزوده شده



شکل ۶. نقشه های فازی زیرمعیارها



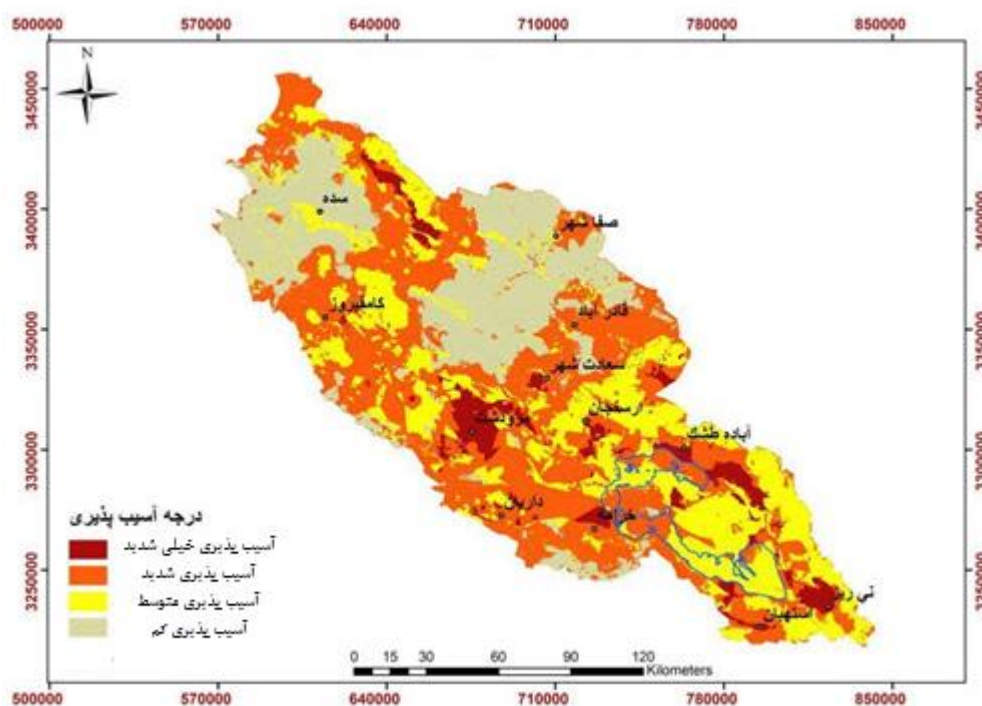
ادامه شکل ۶.

به‌طوری که نقشه‌های محدودیت زیرمعیارها از طریق اعمال وزن‌های به‌دست آمده از مدل AHP، تلفیق می‌گردند. در نهایت نقشه نهایی آسیب‌پذیری اراضی در

در این مرحله با توجه به قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی، از روش ترکیب وزنی خطی، برای تلفیق نقشه‌ها و رسم نقشه تلفیق نهایی استفاده گردید.

آسیب‌پذیری بیشتر و مناطق کم‌رنگ‌تر از آسیب‌پذیری کمتری برخوردار می‌باشد.

منطقه حوزه آبخیز بختگان مطابق شکل شماره (۷) تهیه می‌شود. در این شکل، مناطق پررنگ مناطق دارای



شکل ۷. نقشه نهایی شدت آسیب‌پذیری و تخریب در حوزه آبخیز بختگان

معیار که برای منطقه‌ای لازم باشد را می‌توان با این روش مورد سنجش قرار داد [۱۳]. همچنین در این مطالعه از روش ترکیب خطی وزنی استفاده گردیده است. استفاده از این روش در تحقیق این قابلیت را به تصمیم گیرنده می‌دهد که نقش عوامل تأثیرگذار و حیاتی در منطقه را با ایجاد اهمیت بیشتر در مسئله مورد بررسی قرار دهد و نتیجه حاصله دارای دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد [۲۴]. به علاوه نقش سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و روش فازی- سلسله مراتبی در ارزیابی خصوصیات اراضی بارز و مفید بوده و این روش در فرآیند ارزیابی بسیار مؤثر دانسته شده است [۱۹]. برای انجام مطالعه حاضر، هم از فاکتورهای محیطی و هم عوامل انسانی استفاده شده است که استفاده از این معیارها در

بر اساس نقشه تهیه شده مساحت مربوط به کلاس‌های آسیب‌پذیری خیلی شدید و شدید، ۱۳۳۳۴۰ کیلومترمربع در حوزه بوده که برابر با ۴۸٪ از کل مساحت آن می‌باشد که این میزان برای حوزه رقم بزرگی محسوب می‌شود.

۴. بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصل از پژوهش مشخص گردید که روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از بهترین روش‌ها برای انتخاب پارامترهای مؤثر و وزن‌دهی آن‌ها می‌باشد [۲۲]. همچنین از مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انعطاف پذیری زیاد آن می‌باشد، چراکه هر تعداد معیار و زیر

ارزیابی پایداری اراضی پیشنهاد شده است [۳۹]. همچنین تعدادی از معیارهای منتخب نیز مطابق با عوامل مؤثر در ارزیابی حفاظت اراضی در سایر تحقیقات می‌باشد [۱]. بر اساس نتایج به‌دست آمده از تفسیر نقشه تلفیق نهایی شدت آسیب‌پذیری در حوزه مورد مطالعه، مناطقی که به‌صورت پررنگ تر (قرمز و نارنجی) نشان داده شده است بیشترین میزان ناپایداری را دارا بوده و آسیب‌پذیرتر می‌باشد، مانند مناطق مجاور شهرستان‌های مرودشت، خرامه و سعادتشهر. بر اساس نقشه لایه‌های ورودی، نشان داده شده است که در این مناطق تراکم جمعیت بیشتر می‌باشد، همچنین میزان بهره‌برداری از آب‌های سطحی و زیرزمینی بیشتر بوده و افت آب زیرزمینی بسیار شدید است، همچنین کاربری غالب اراضی از نوع زراعی و زراعی آبی است که فشار بسیار زیادی به منابع آب و خاک وارد می‌سازد و خود این عامل از علل اصلی افت آب زیرزمینی در منطقه و خشک و شور شدن چاه‌ها می‌باشد، که این نتیجه با نتایج حاصل از سایر تحقیقاتی نظیر مطالعه تأثیرات عوامل انسانی بر محیط طبیعی و روند بیابان‌زایی منطبق می‌باشد [۸، ۲۸]. همچنین خشکسالی در این مناطق شدیدتر بوده و در طول سال‌های مطالعه (۱۳۸۰-۱۳۹۵) از بارش کمتری نسبت به سایر مناطق حوزه برخوردار بوده است. در قسمت‌های پایین دست حوزه، کیفیت آب زیر زمینی و سطحی به‌دلیل مجاورت با دریاچه بسیار کاهش داشته و خاک نیز از شوری و قلیائیت بیشتری دارا بوده، نفوذ پذیری خاک برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی بسیار کم بوده است. در این منطقه به‌دلیل فاصله زیاد از منابع آبی مثل سد درودزن و ملا صدرا و نیز به‌دلیل بندهای جدیداً احداث شده، میزان آب سطحی ورودی بسیار کمی داشته و اغلب دچار کم آبی بوده و افزایش خشکی خاک و افزایش فرسایش بادی

را به همراه داشته است. علاوه بر این مسئله و وضعیت بد اقتصادی و درآمد کم مردم در پایین دست باعث فشار بسیار زیاد به منابع آب و خاک و پوشش گیاهی شده است و مراتع را غالباً با وضعیت تخریب‌ساخته مواجه نموده است که وضعیت آسیب‌پذیری و ناپایداری در حوزه را دو چندان نموده است. علاوه بر مسائل ذکر شده، میزان ارتفاع حوزه و نیز شیب در پایین دست حوزه و نیز در مناطقی مانند مرودشت و سعادتشهر، برای کاربری‌های آسیب‌رسان مانند کشاورزی آبی مساعدتر بوده و همین عامل سبب افزایش فشار بر منابع آب و خاک شده است. تمامی این عوامل باعث شده است تا ۴۸ درصد از مساحت حوزه آسیب‌پذیر باشد. اما همان‌طور که در بالا دست حوزه و در مناطقی مانند سده اقلید و صفا شهر مشاهده می‌شود، به‌دلیل افزایش ارتفاعات و کوهستانی بودن و نیز شیب زیاد منطقه، همچنین به‌دلیل افزایش بارش باران و برف و نیز اقلیم مساعدتر، پوشش‌های گیاهی متراکم‌تر از نوع جنگلی و یا مرتعی و کشاورزی دیم وجود داشته و میزان کشاورزی آبی از تراکم بسیار کمتری برخوردار می‌باشد. همچنین کیفیت آب در این مناطق مساعدتر بوده و افت آب زیرزمینی کمتری دارا می‌باشد، همچنین خاک دارای کیفیت بهتر بوده و میزان شوری و قلیائیت بسیار ناچیز می‌باشد، در نهایت میزان ناپایداری اراضی کمتر بوده و شدت آسیب‌پذیری در این منطقه نسبت به پایین دست بسیار کمتر می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج حاصل از وزن‌های تحلیل سلسله‌مراتبی، این نتیجه حاصل شد که عوامل انسانی مانند کاربری، جمعیت، بهره‌برداری منابع و افت آب زیرزمینی و نیز درآمد مردم در ایجاد تخریب و ناپایداری حوزه نسبت به سایر عوامل طبیعی نقش پررنگ‌تری دارا بوده‌اند.

References

- [1] Ahmadi, A., Mohamadian Mosammam, H., Mirzaei, N. (2017). Land Suitability Evaluation to Determine the Appropriate Areas of Development: A Case Study of Hormuz Island. *Journal of ecology*, 7, 518-534.
- [2] Ahmadi, H., Mohammadkhan, SH., Feiznia, S., Ghodoosi, J. (2005). Making a Regional Model for Mass Motion Risk Using Qualitative Features and Analytical Hierarchy of Systems (AHP), Case Study: Talagan Watershed. *Journal of Range and watershed management*, 58.
- [3] AinongLi, AB., AngshengWang, C., ShunlinLiang, B., WancunZhou, A. (2006). Eco-environmental vulnerability evaluation in mountainous region using remote sensing and GIS, A case study in the upper reaches of Minjiang River, China. *Ecological Modelling*, 192, 175-187.
- [4] Almohseen, K. (2009). Drought index assessment for Fatha region with fuzzy logic approach. *Proceedings of the Georgia Water Resources Conference*, At University of Georgia. Athens, Georgia.
- [5] Bayat, N., Rastegar, A., Azizi, F., (2010). Environmental protection and management of Iranian soil resources, *Journal of Regional Planning*, 2, 63-78.
- [6] Beheshtifar, S., Mesgari, M.S., Valdanzoj, M.J., Karimi, M. (2010). Using fuzzy method in GIS in locating Gas power plant, *Journal of civil engineering infrastructures*, 44,4,
- [7] Dehbozorgi, M., Malekian, A., Ehsani, A.H., Keshtkar, A.R. (2012). Evaluating the Effectiveness of Drought Climate Indicators for Drought and Forecast Deterioration and Prognosis Using Artificial Neural Networks, MSc Thesis, International desert research center, Tehran University.
- [8] Fereidooni, M., Vali, A., Panahi, F., Moosavi, S.H., Khosravi, H. (2015). Investigating the role of land use changes on desertification of salt lake boundaries using remote sensing data, *Journal of desert management*, 5, 40-52.
- [9] Ghaemi, A., Karimi, A., (2010). The Necessity of Integrated Water Resources Management, *Analytical Journal of Agricultural Engineering*, 25.
- [10] Godsipour, S.H., (2005). *Analytical Hierarchy Process*, Amir Kabir University Press.
- [11] Heidarzadeh, N., (2001). Locating solid municipal solid waste landfill site using GIS, Master's thesis, Tarbiat Modarres University.
- [12] Eastman, J.R. (2012). *IDRISI Selva manual*. Clark University.
- [13] Karami, O., Hoseininasr, S.M., Jalilvand, H., Miryaghoobzade, M.H. (2013). Determination of the power of Babolrood Basin for different uses using multi-criteria decision-making techniques, *Journal of Watershed Management Research*, 11, 171-181.
- [14] Karimi, M., Arabamiri, M., Alimohammadi, S., (2013). Sensitivity analysis of multivariate weights in assessing hydrocarbon resource potential adequacy by using spatial information system, *Journal of Spatial planning*, 2, 105-128.
- [15] Lotfzadeh, A., (1975). Fuzzy logic and approximate reasoning. *Journal of Synthese*, 30, 407-428.
- [16] LotfiZadeh, A., (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- [17] L. Saaty, T., (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting*, Resource 583-595.
- [18] Malczewski, J., (1999). *GIS and multi criteria Decision Analysis*, John Wiley and so as Inc.
- [19] Noraisefat, I., Jahanbakhsh, B. (2015). Ecological Capability Evaluation to Determine Suitable Areas for Agriculture Using Fuzzy Logic and AHP Technique in GIS (Case study, Divandarreh city). *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 9, 35-43.
- [20] Parhizkar, A., Ghafarigilande, A., (2006). *Geographic Information System and Multi-criteria Decision Analysis*, Samt Publications.
- [21] Pramanik, M.K. (2016). Site suitability analysis for agricultural land use of Darjeeling district using AHP and GIS techniques Model. *Journal of Earth Syst. Environ.* 2:56, DOI 10.1007.
- [22] Sante-Riveira, I., Crecente-Maseda, R., Miranda-Barros, D. (2008). GIS-based planning support system for rural land-use allocation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 63, 257-273.

- [23] Santra, A. & Santra Mitra, SH. (2016). Multi Criteria Decision Analysis for Assessing Crop Suitability in Drought Prone Puruliya District, West Bengal, India, *Journal of Environment* , 5(1) : 7-12.
- [24] Shahabi, Ha., Alaie, M., Hoseini, S.M., Rahimi, A., (2010). Evaluation of hierarchic l analysis and linear weighted composition methods in locating landfill site with emphasis on geomorphic factors, Case study: Saez City, *Quarterly Journal of environment*, 10, 115-135.
- [25] Shahabi, H., Niyazi, CH., (2009). Evaluation of effective factors in locating road rescue stations, National Geo-National Congress 88, Tehran.
- [26] Shahabi, H., Khezri, S., Nayeri, H., (2008). Investigation of effective factors in locating rescue stations of Saez-Sanandaj road using linear weight composition model, Fourth International Conference, Comprehensive crisis management and Passive defense in national stability, Tehran.
- [27] Shamsipoor, A., Sheikhi, M., (2010). zoning of sensitive areas and environmental vulnerability in west of Fars, by fuzzy classification method and hierarchical analysis process, *Physical Geography research quarterly*, 73, 53-68.
- [28] Rashvand, S., Mosafaei, J. (2013). Investigating the effect of human population pressure on the environment, Case study: Qazvin, *Journal of Human and Environment*, 25, 41-55.
- [29] Yavari, A., Bahreini, S.H., (2001). Organizing planning with simple land zoning methods, *Journal of Environmental studies*, 27, 79-97.

