

## رفع مشکل استقلال عوامل و عدم قطعیت در ارزیابی توان کشاورزی با استفاده از روش ANPFUZZY (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بیرجند)

الهام یوسفی<sup>۱</sup>، اسماعیل صالحی<sup>۲\*</sup>، سید حمید ظهیری<sup>۳</sup>، احمدرضا یآوری<sup>۴</sup>

۱. دکتری برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست و منابع طبیعی، دانشگاه بیرجند

۲. دانشیار دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۳. استاد دانشکده مهندسی الکترونیک، دانشگاه بیرجند

۴. دانشیار دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۸/۸

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۶/۷

### چکیده

کشاورزی فعالیتی است که به‌طور تنگاتنگ با محیط سروکار دارد و برای داشتن کارایی بالاتر و تناسب بیشتر با محیط‌زیست، نیازمند شناسایی علمی توان روزافزون محیطی است. فرض‌های نادرست در روش‌های ارزیابی موجود-مانند مستقل در نظر گرفتن عوامل اثرگذار و ورودی‌های دقیق-همواره باعث ایجاد خطا در نتایج نهایی ارزیابی کاربری زمین شده است. برای رفع این مشکل، در این پژوهش از روش ANPFUZZY برای ارزیابی توان کشاورزی استفاده شده است. بدین منظور، در ابتدا مجموعه‌ای جامع شامل دوازده عامل از معیارهای اثرگذار شناسایی و سپس برای هر عامل نقشه قابلیت تهیه شد که برای استانداردسازی و وارد کردن عدم قطعیت‌ها فازی‌سازی شد. سپس، برای رد فرض استقلال عوامل و دیدن تعاملات از تکنیک فرایند تحلیل شبکه استفاده شد. در ادامه نقشه کاربری حفاظت به‌عنوان لایه ممنوعیت حذف و با استفاده از ترکیب وزنی خطی نقشه نهایی ارزیابی توان کشاورزی حوضه آبخیز بیرجند تهیه شد. طبق آن، پتانسیل هر پیکسل برای ایجاد کاربری کشاورزی مشخص شد. در انتها نقشه حاصل با نتیجه به‌دست‌آمده با استفاده از تکنیک روی هم‌گذاری ایرانی مقایسه شد. نتایج نشان داد که روش ANPFUZZY با شناسایی جامع‌تری از عواملی تأثیرگذار، وارد کردن عدم قطعیت‌ها، همچنین دیدن تعاملات به نتیجه واقع‌بینانه‌تر و دقیق‌تری دست‌یافته است.

### کلیدواژه

ارزیابی توان کشاورزی، فازی، حفاظت، حوضه آبخیز بیرجند، فرایند تحلیل شبکه.

### ۱. سرآغاز

سرزمین به‌منظور بهره‌برداری درخورد و پایدار از جمیع امکانات انسانی و فضایی سرزمین به‌منظور بهبود وضعیت مادی و معنوی اجتماع در طول زمان. «به‌عبارت ساده‌تر، انسان باید آن استفاده‌ای را از زمین بکند که ویژگی‌های (طبیعی اکولوژیکی) سرزمین دیکته می‌کند. سپس، این ویژگی‌ها را با نیازهای اقتصادی و اجتماعی خود وفق دهد (مخدوم، ۱۳۹۰). ارزیابی توان اکولوژیکی محیط‌زیست، به‌عنوان هسته مطالعات محیط‌زیستی با پیشگیری از

عامل کاهش بیش‌ازحد منابع، استفاده غیرمنطقی انسان از سرزمین است؛ بنابراین، لزوم رعایت نکات آینده‌نگری و ترسیم سیمای آینده توسعه، گرایش‌ها را در زمینه برنامه‌ریزی و بهره‌برداری عقلانی از منابع، توان و پتانسیل مناطق سوق می‌دهد (Sicat et al., 2005). به‌طور کلی، آنچه با عنوان آمایش سرزمین از آن یاد می‌شود عبارت است از: «تنظیم رابطه بین انسان، سرزمین و فعالیت‌های انسان در

## ۲. پیشینه تحقیق

همان‌طور که گفتیم موضوع ارزیابی توان کشاورزی در مسائل آمایش سرزمین موضوعی مهم از ابعاد اقتصادی و محیط‌زیستی است. از این‌رو، همواره مورد توجه پژوهشگران قرار داشته است. در ادامه به تعدادی از این تحقیقات اشاره می‌کنیم.

میرداودی و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی و تعیین توان اکولوژیکی استان مرکزی از نظر کشاورزی و مرتع‌داری پرداختند. زارعی و همکاران (۱۳۸۸) ارزیابی توان محیط‌زیستی مناطق خشک و نیمه‌خشک را با استفاده از توانایی‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بیرجند) بررسی کردند. مینایی (۱۳۸۸) مدل آمایشی کشاورزی را در منطقه فریدون‌شهر با استفاده از منطق (GIS) فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی اجرا کرد. نوروزی اورگانی و همکاران (۱۳۸۹) برای توسعه کشاورزی در ناحیه چغاخور ارزیابی توان‌های محیطی انجام دادند. نوری و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی توان اکولوژیکی محیط در تعیین مناطق مستعد کشاورزی با استفاده از GIS (بخش مرکزی شهرستان کیار) پرداختند. نصیری و همکاران (۱۳۹۰) مدل اکولوژیکی کشاورزی با رویکرد PROMETHEE II و Fuzzy AHP در محیط GIS (مطالعه موردی: شهرستان مرودشت) را اجرا کردند. در این تحقیق برای دستیابی به مدل ارزیابی توان کشاورزی مناسب از تکنیک Fuzzy ANP استفاده شده است. در ادامه توضیحاتی در رابطه با این دو تکنیک آمده است.

## ۱.۲ کاربرد منطق فازی در ارزیابی کاربری زمین

Zhou و Civco (۱۹۹۶) برخی مشکلات در ارتباط با اجرای روش‌های ارزیابی چند معیاره در GIS را این‌گونه بیان می‌دارند: ورودی برای روش‌های ارزیابی چند معیاره GIS معمولاً دارای ابهام، بی‌دقتی و نادروستی است. با وجود این آگاهی، در این روش‌ها فرض می‌شود که داده ورودی دقیق و صحیح است. برخی تلاش‌ها در ارتباط با این

بحران‌های محتمل، بستر مناسبی را برای برنامه‌ریزی محیط‌زیستی فراهم می‌آورد (نصیری و همکاران، ۱۳۹۰). منظور از زراعت، کشت و کار محصولات سالیانه در زمین زراعی یا بین درختان باغ با هدف بهره‌برداری اقتصادی است. بخش کشاورزی، اصلی‌ترین استفاده‌کننده از زمین به‌شمار می‌آید. استفاده از اراضی کشاورزی برای افزایش تولیدات همواره با یوتریفیکاسیون، اسیدی‌شدن و کاهش ذخایر آب‌های زیرزمینی همراه بوده است. بنابراین، برنامه‌ریزی صحیح برای استفاده از زمین‌های کشاورزی به‌گونه‌ای که حداقل آثار منفی را بر آلودگی‌های خاک و آب برجای گذارد، از ضرورت‌های توسعه پایدار به‌شمار می‌آید.

در حوضه آبخیز بیرجند کشاورزی همواره بر اساس تجربه کشاورزان و آمایش و خطا انجام شده است و به‌نظر می‌رسد بتوان با ارزیابی دقیق‌تری به مناطق دارای پتانسیل کشاورزی پایدارتر و کسب درآمد بالاتر از این فعالیت رسید. این مطالعه با هدف شناخت بهتری از توان محیطی منطقه در رابطه با ارزیابی توان کشاورزی به ارزیابی توان کشاورزی حوضه آبخیز بیرجند می‌پردازد. همچنین، یکی از مشکلاتی که در روش‌های ارزیابی معمول وجود داشته است، کم‌بودن دقت در ارزش‌گذاری فضا برای عوامل فاصله‌ای و کشیدن مرز بین کلاس‌های ارزش‌گذاری یا همان دیدگاه صفر و یک، همچنین فرض استقلال عوامل و ندیدن روابط و بازخوردها در فرایند ارزیابی است. در پژوهش حاضر، با هدف رفع این مشکل‌ها برای تعیین ارزیابی توان دقیق‌تر کاربری کشاورزی بر اساس عوامل محیط‌زیستی و عوامل زیربنایی از روش‌های فازی و تکنیک فرایند تحلیل شبکه استفاده شده است. تکنیک فازی برای واردکردن موضوع عدم قطعیت برای بالابردن دقت فرایند ارزیابی، همچنین استانداردسازی عوامل در دامنه‌ای واحد و فرایند تحلیل شبکه برای از بین بردن فرض استقلال عوامل اثرگذار و دیدن بازخوردها و روابط بین عوامل استفاده شده است.

## ۲.۲. وزن‌دهی با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل شبکه<sup>۳</sup> (ANP)

در این پژوهش با توجه به وجود عوامل مختلف مرتبط و طبیعت ذاتی فضایی مشکل، از روش ANP استفاده شده است. فرایند تحلیل شبکه یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه (MADM) است (قدسی‌پور، ۱۳۸۹: ۸۵). روش ANP شکل توسعه‌یافته‌ای از AHP است که قادر است همبستگی‌ها و بازخوردهای موجود بین عناصر مؤثر در تصمیم‌گیری را مدل‌سازی و تمامی تأثیرات درونی اجزای مؤثر در تصمیم‌گیری را منظور و وارد محاسبات کند (Yüksel and Dagdeviren, 2007). چنانچه وابستگی دوطرفه باشد، یعنی وزن معیارها به وزن گزینه‌ها و وزن گزینه‌ها نیز به وزن معیارها وابسته باشد، مسئله دیگر از حالت سلسله‌مراتبی خارج می‌شود و تشکیل شبکه یا سیستمی غیرخطی یا سیستم با بازخورد را می‌دهد (Kurttila and Pesonen, 2000). در این صورت برای محاسبه وزن عناصر نمی‌توان از قوانین و فرمول‌های سلسله‌مراتبی استفاده کرد. در این حالت برای محاسبه وزن عناصر باید از نظریه شبکه‌ها استفاده کرد (Saaty, 1986).

## ۳.۲. ترکیب خطی وزنی<sup>۴</sup>

انتقاد اصلی روش روی هم‌گذاری نقشه‌ها به صورت سنتی به روش‌های نامناسب در استانداردسازی و فرض‌های مستقل غیرقابل‌بازبینی و چک کردن معیارهای تناسب مربوط می‌شود (Hopkins, 1977; Pereira and Duckstein, 1993). در بسیاری از موارد مدل‌های روی هم‌گذاری آنالیز تناسب کاربری زمین به صورت نادرستی به کار می‌رود و نتایج مبهم و مشکوک را ایجاد می‌کند، زیرا آنالیزکنندگان یا تصمیم‌گیرندگان فرضیات پایه را نادیده می‌گیرند یا به آن آگاهی ندارند. Malczewski (۲۰۰۰) بحث‌هایی در رابطه با استفاده نادرست از این روش‌ها داشت و پیشنهاد می‌دهد که عملگرهای کلاسیک بولین و روش‌های WLC پیچیدگی‌های فرایندهای اصولی

مشکل با ترکیب روش‌های چند معیاره در GIS با آنالیز حساسیت<sup>۱</sup> (Lodwick et al., 1990) و آنالیز انتشار خطا<sup>۲</sup> (Heuvelink et al., 1989) انجام شده است. روش دیگر برای مقابله با برداشت‌ها و ابهام در داده‌های ورودی (مقادیر عوامل و اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان)، استفاده از رویکرد منطق فازی است. بنابراین، کاربردهای گوناگون نظریه مجموعه‌های فازی‌سازی (Zadeh, 1965, 1990) موضوع بحث و پژوهش برجسته برای استفاده در سیستم اطلاعات جغرافیایی و تجزیه و تحلیل تناسب کاربری زمین شد (Banai, 1993; Burrough et al., 1992; Goodchild et al., 1993).

مطالعات متعددی از مفهوم تابع عضویت فازی در ارتباط با ارزیابی‌های چند معیاره برای توسعه روش‌های آنالیز تناسب زمین مبتنی بر GIS (Banai, 1993; Jiang and Eastman, 2000) استفاده کرده‌اند. تعدادی از پژوهشگران، از جمله Banai (۱۹۹۳) و رضابنائی Goodchild و همکاران (۱۹۹۳) در روش‌های سنتی بولین مشکلات زیادی را نشان دادند. در مقابل، نظریه مجموعه فازی نشان می‌دهد که گنجاندن یک واحد زمین در یک کلاس، مسئله‌ای از درجه و میزان تعلق است و در طبقه‌بندی دقیق و محدودی بر اساس یک تعریف دقیق نیست.

Jiang و Eastman (۲۰۰۰) اقدامات فازی برای ارزیابی چند معیاره با استفاده از مفهوم میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) را چارچوبی برای تجزیه و تحلیل تناسب زمین بر اساس GIS مطرح کردند. این مطالعات عمدتاً با تمرکز بر طبقه‌بندی زمین و ارزیابی زمین به جای تجزیه و تحلیل تناسب کاربری زمین تعریف شده است. با این حال، بسیاری از جنبه‌های رویکرد منطق فازی در طبقه‌بندی و ارزیابی زمین با مدل‌سازی‌های تناسب کاربری زمین مرتبط است. Murgante و Las Casas (۲۰۰۴) در مقاله‌ای GIS و مجموعه‌های فازی را برای کاربرد در آنالیز تناسب زمین بررسی کردند.

سیاسی بدون در نظر گرفتن عوامل محیط زیستی است و دید جامعی از منطقه و نیرو محرکه های اثرگذار آن از بعد محیط زیستی در اختیار ارزیاب قرار نمی دهد. حوضه آبخیز رودخانه بیرجند در شرق ایران و در استان خراسان جنوبی قرار دارد و شهر بیرجند در مرکز آن قرار گرفته است. این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی بین  $58^{\circ}41'$  تا  $59^{\circ}44'$  طول شرقی و  $32^{\circ}44'$  تا  $33^{\circ}08'$  عرض شمالی قرار گرفته و در قسمت شمالی ارتفاعات باقران واقع شده است. وسعت کل حوضه آبریز در حدود  $3435$  کیلومتر مربع است که  $980$  کیلومتر مربع آن را دشت و باقی را ارتفاعات تشکیل داده است. حداکثر ارتفاع حوضه از سطح دریا  $2720$  متر در ارتفاعات باقران (کوه شاه) و حداقل ارتفاع  $1180$  متر در خروجی دشت (منطقه فدشک) است. دشت بیرجند با میانگین بارش سالانه  $140$  میلی متر و متوسط درجه حرارت  $16/5$  درجه سانتی گراد، بر اساس طبقه بندی های اقلیمی جزء مناطق خشک محسوب می شود. شکل ۱ موقعیت این حوضه را نشان می دهد.

و پایه مشکلات آمایش سرزمین را با تمرکز بر حقایق (که به طور مؤثری در GIS ارائه شود) به جای ترکیبی صحیح از حقایق و قضاوت های ارزشی (که نمایش آن در محیط رایانه ای به طور کلی و در GIS به طور خاص مشکل است) بیش از حد ساده انگارانه کرده است. این محدودیت با ترکیب GIS و روش های تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) حل می شود (Malczewski, 2000). اساس این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی است و با استفاده از GIS و قابلیت های همپوشانی این سیستم اجرا می شود. استفاده از این روش در هر دو نوع قالب رستری و برداری GIS عملی است (عزیزیان و همکاران، ۱۳۹۲). از ویژگی مهم این روش برقراری توازن کامل بین عوامل است.

### ۳. مواد و روش ها

#### ۱.۳ معرفی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبخیز بیرجند است. در مسائل آمایش سرزمین بهترین مرز برای مطالعه، مرز حوضه آبخیز است (مخدوم، ۱۳۹۰)، زیرا مرزهای



شکل ۱. نقشه موقعیت حوضه آبخیز بیرجند

استانداردسازی عوامل در دامنه ای واحد و فرایند تحلیل شبکه برای از بین بردن فرض استقلال عوامل اثرگذار و دیدن بازخوردها و روابط بین عوامل استفاده شده است. در

#### ۲.۳ استفاده از منطق فازی

در این پژوهش تکنیک فازی برای وارد کردن موضوع عدم قطعیت برای بالابردن دقت فرایند ارزیابی، همچنین

(2013). نرخ ناسازگاری<sup>۵</sup> با استفاده از نرم‌افزار برای هر ماتریس مقایسه‌ی زوجی محاسبه و ارائه می‌شود. اگر از ۰/۱ فراتر رود، آن قضاوت ناسازگار است و در نحوه‌ی قضاوت باید تجدیدنظر شود (سعیدی و نجفی، ۱۳۸۹). سوپر ماتریس برای تجزیه و تحلیل وابستگی‌های داخلی میان اجزای سیستم به‌کار می‌رود. اجزای سوپر ماتریس از ماتریس‌های مقایسات زوجی وابستگی‌های درونی حاصل و در آن جایگذاری می‌شود. هر ارزش غیرصفر در ستون سوپر ماتریس نشانگر اهمیت نسبی وزن حاصل از ماتریس‌های مقایسات زوجی وابستگی‌های درونی است (فرجی سبکار و همکاران، ۱۳۹۰؛ ملکی و همکاران، ۱۳۸۹). سوپر ماتریس در حقیقت ماتریسی جزءبندی‌شده است که در آن هر بخش از ماتریس، رابطه‌ی میان دو گره (سطح تصمیم‌گیری) را در کل مسئله‌ی تصمیم‌گیری نشان می‌دهد. در این مطالعه برای تعیین وزن عوامل مؤثر بر ارزیابی توان از فرایند سلسله‌مراتبی (ANP) استفاده شده است.

### ۲.۲.۳. ترکیب خطی وزنی

در این روش هر عامل استاندارد شده در وزن مرتبط با آن ضرب می‌شود. سپس، عوامل با هم جمع می‌شود. زمانی که وزن‌ها برای هر سلول محاسبه شد، تصویر حاصل یکبار دیگر در ممنوعیت‌های بولی ضرب می‌شود تا مناطقی که نباید محاسبه شود خارج گردد. تصویر نهایی، مربوط به محاسبه‌ی ترکیب مطلوبیت در مناطقی است که محدودیتی برای کاربری مورد نظر ندارد. این روش دارای انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به رویکرد بولی است و امکان استانداردسازی معیارها در ساختاری پیوسته را فراهم می‌کند، لذا اطلاعات مهم درباره‌ی درجه‌ی مطلوبیت را حفظ می‌کند، ضمن آنکه امکان اختصاص وزن‌های متفاوت را به عوامل می‌دهد که این کار منجر به جبران عوامل با هم می‌شود (ایستمن، ۱۳۹۰).

این مقاله برای تهیه نقشه‌های فازی شده عوامل اثرگذار از نرم‌افزارهای GIS و Idrisi Selva استفاده شده است.

### ۱.۲.۳. وزن‌دهی با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل شبکه (ANP)

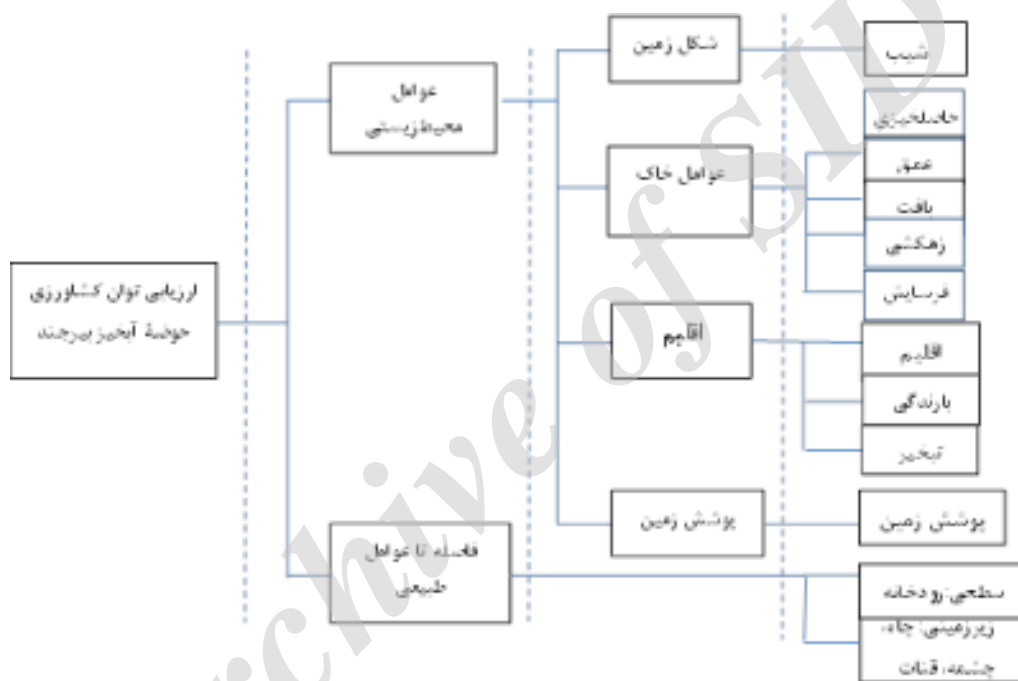
تکنیک ANP با چارچوب جامع و فراگیر، تمامی تعاملات و روابط میان سطوح تصمیم‌گیری و تشکیل‌دهنده ساختار شبکه‌ای را در نظر می‌گیرد. خوشه‌ها معرف سطوح تصمیم‌گیری است و کمان‌ها تعاملات میان سطوح تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد. جهت کمان‌ها وابستگی را مشخص می‌کند (دری و حمزه‌ای، ۱۳۸۹). با توجه به ANP، فاز ساختار مسئله شامل شناسایی گروه‌ها (و یا خوشه‌ی تشکیل شده توسط عناصر مختلف (گره) و تأثیرگذار بر این تصمیم می‌شود (Ferretti and Pomarico, 2013) و حلقه‌ها ارتباط داخلی بین عناصر در یک خوشه یا گروه را نشان می‌دهد (فرج‌زاده و کریم‌پناه، ۱۳۸۷). در مواردی که عناصر یک خوشه روی همه یا بر برخی عناصر خوشه دیگر اثر می‌گذارد (یا از آن اثر می‌پذیرد)، ارتباطی بین دو خوشه ایجاد می‌شود که آن را وابستگی بیرونی می‌نامیم (رحیمی و عشقی، ۱۳۸۷). وابستگی دوسویه بین دو خوشه، چرخه‌ی بازخورد بیان می‌شود و هنگامی که عناصر به عناصر درون خوشه خود مرتبط می‌شود، وابستگی درونی وجود دارد (صادق عمل‌نیک و همکاران، ۱۳۸۹). کاربرد وابستگی‌های درونی و بیرونی در حقیقت بهترین روشی است که می‌توان در شناسایی و معرفی مفاهیم تأثیرگذاری یا تأثیرپذیری در میان خوشه‌ها و عوامل با توجه به عاملی خاص استفاده کرد. با مقایسه‌ی زوجی (دوبه‌دو) و با ترکیب و سنتز قضاوت‌ها، تحلیل نهایی مسئله صورت می‌گیرد و پیش‌بینی نتایج بر اساس اولویت عناصر میسر می‌گردد (محمدی لرد، ۱۳۸۸). طیف مقایسه‌ای نظر خود را در مورد هر جفت از عناصر با پاسخ‌های اهمیت برابر، نسبتاً مهم‌تر، مهم‌تر، بسیار مهم‌تر و بی‌نهایت مهم بیان می‌کند (Ferretti and Pomarico, )

#### ۴. نتایج

##### ۱.۴. ایجاد ساختار مسئله تصمیم و انتخاب معیارها

مجموعه‌ای جامع از معیارهای ارزیابی و منعکس‌کننده همه نگرانی‌های مرتبط با مسئله تصمیم طبق ارزشی متمرکز بر روش تفکر تعریف می‌شود و در آن فرض می‌شود ارزش‌ها عناصر اساسی در آنالیز تصمیم‌گیری است و بر اساس این ارزش‌ها و ساختار معیار، گزینه‌های ممکن

معرفی یا ارزیابی می‌شود ( Ferretti and Pomarico, 2013). با توجه به مطلبی که ذکر شد، مسئله تصمیم با درخت ارزش ساختارمند می‌شود. شکل ۲ این چارچوب را نشان می‌دهد که در آن معیار ارزیابی که دستیابی به این اهداف را تعیین می‌کند معرفی و ارائه می‌شود.



شکل ۲. دسته‌بندی عوامل اثرگذار در ارزیابی توان شهری حوضه آبخیز بیرجند (مأخذ: مخدوم، ۱۳۹۰؛ کریم‌زاده، ۱۳۹۳ و نویسندگان)

##### ۱.۲.۴. عوامل محیط‌زیستی

##### ۲.۲.۴. شکل زمین

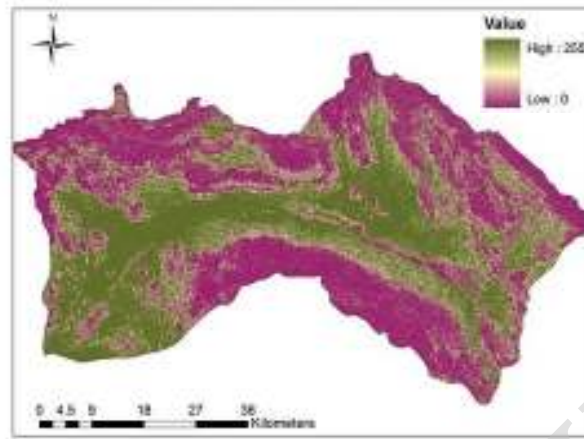
##### ۳.۲.۴. شیب

شیب مهم‌ترین معیار در کاربری کشاورزی آبی است. شیب‌های ۰٪ تا ۸٪ مناسب برای این کاربری است. مطابق شکل ۳، با افزایش شیب، مطلوبیت پیکسل‌ها در کاربری کشاورزی کاهش می‌یابد. از تابع عضویت خطی کاهشی برای مقیاس‌گذاری داده‌ها در محدوده ۰-۲۵۵ استفاده شده است.

##### ۲.۴. تهیه نقشه‌های فازی شده برای هر یک از

##### عوامل

در این مرحله برای هر یک از عوامل اثرگذار شناخته‌شده در مرحله قبل نقشه‌ای بر اساس میزان مطلوبیت آن در هدف مطالعه، یعنی مناطق مناسب برای کاربری کشاورزی، تهیه می‌شود.

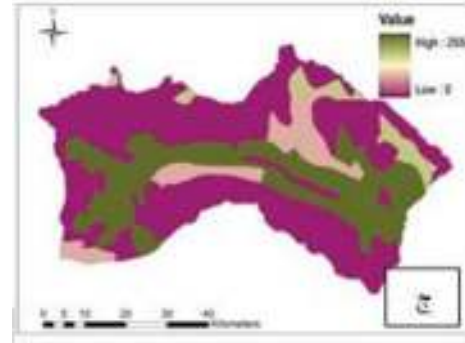
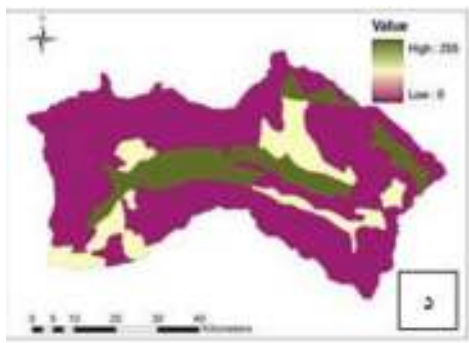
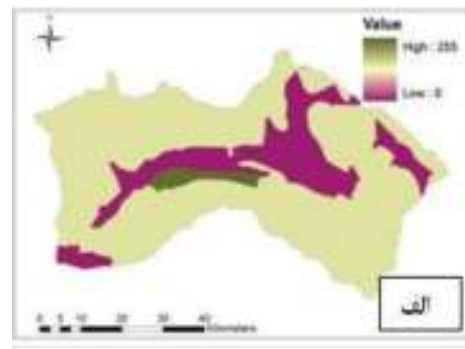
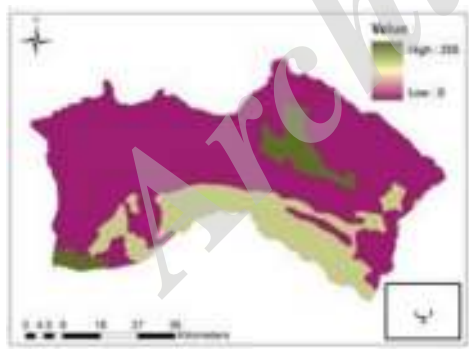


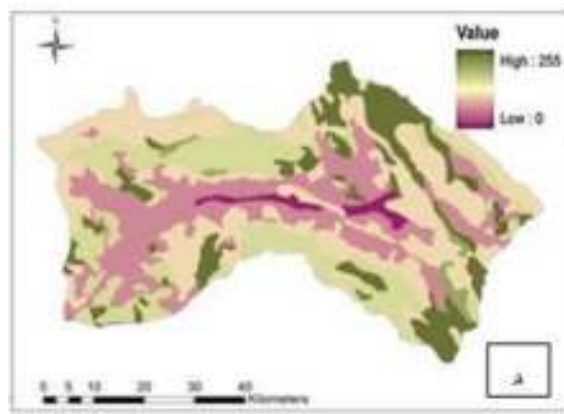
شکل ۳. نقشه فازی شده شیب و مطلوبیت آن در کاربری کشاورزی

این عوامل را نشان می‌دهد. کلاسه‌بندی هر عامل به صورت زیر است: عمق خاک به ترتیب از خیلی عمیق، عمیق تا نیمه عمیق و کم عمق؛ بافت خاک به ترتیب بافت متوسط لومی، لومی سنگریزه دار، شنی عمیق، رسی سنگین تا نیمه سنگین و مختلط؛ زهکشی خوب، متوسط تا خوب و ناقص، فرسایش به ترتیب کم، متوسط و زیاد؛ حاصلخیزی به ترتیب متوسط، متوسط تا کم و کم.

#### ۴.۲.۴. عوامل خاک

عوامل بافت، زهکشی، عمق، فرسایش و حاصلخیزی خاک نقش مؤثری در تعیین تناسب اراضی کشاورزی دارد. نقشه سازی این عوامل به واردسازی درجه هر کاربری بر اساس اطلاعات موجود نیاز دارد. عوامل خاک متغیرهای گسسته است. بعد از کلاسه بندی این عوامل در GIS، در بازه بایت (۰-۲۵۵) بسط داده می‌شود. شکل ۴ فازی سازی





شکل ۴. نقشه فازی شده (الف) زهکشی، (ب) بافت، (ج) حاصلخیزی، (د) عمق و (ه) فرسایش خاک و مطلوبیت آن در کاربری کشاورزی

#### ۵.۲.۴. اقلیم

کشاورزی در منطقه است. برای تهیه آن از خطوط هم‌باران (در دامنه ۱۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر) استفاده شده است. شکل ۵ب نقشه فازی شده آن را نشان می‌دهد.

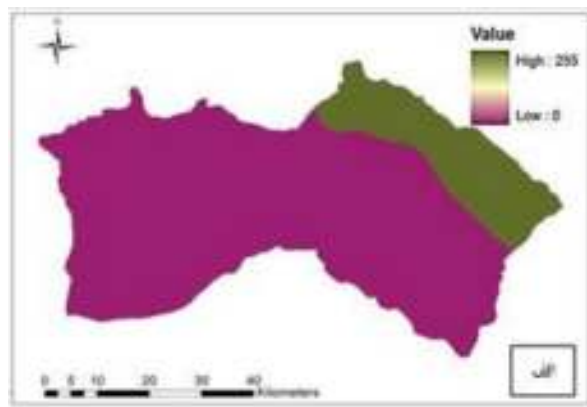
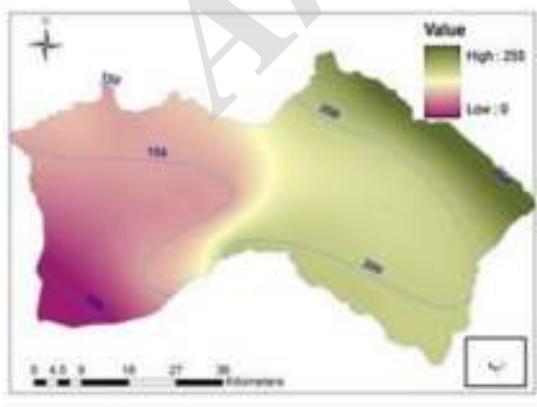
لایه اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی کوپن به دو طبقه گرم و بسیار خشک، و گرم و خشک میانه تقسیم شد. اقلیم متغیری گسسته است و نوع تابع عضویت آن را کاربر تعریف می‌کند و بعد از کلاسه‌بندی این عامل، سپس در بازه بایت (۰-۲۵۵) بسط داده می‌شود. شکل ۵الف نقشه فازی شده آن را نشان می‌دهد.

#### ۷.۲.۴. تبخیر

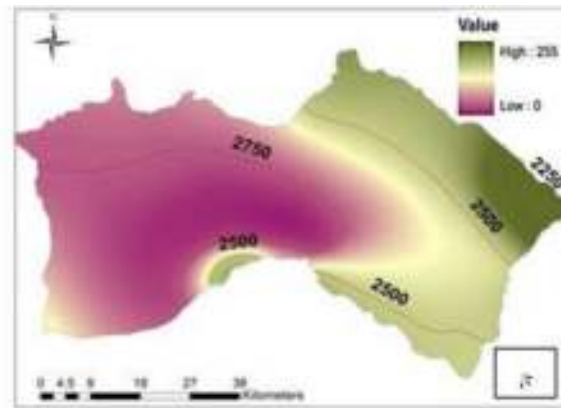
میزان تبخیر بالا عاملی بازدارنده در کاربری کشاورزی محسوب می‌شود. برای تهیه این عامل از خطوط هم‌تبخیر (در دامنه ۲۲۵۰ تا ۲۷۵۰) استفاده شده است. شکل ۵ج نقشه فازی شده آن را نشان می‌دهد.

#### ۶.۲.۴. بارندگی

بارندگی عاملی تأثیرگذار در ایجاد پتانسیل کاربری







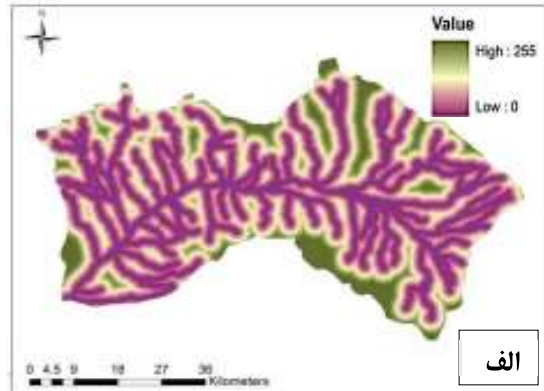
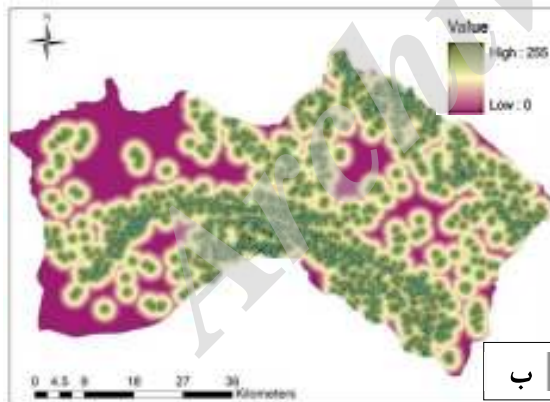
شکل ۵. نقشه فازی شده (الف) نوع اقلیم، (ب) میزان بارندگی و (ج) میزان تبخیر و مطلوبیت آن در کاربری کشاورزی

مقیاس گذاری داده‌ها در محدوده ۰-۲۵۵ استفاده شده است. شکل ۶ الف نقشه فازی شده فاصله از منابع آبی زیرزمینی را نشان می‌دهد. همچنین، با افزایش میزان فاصله از رودخانه میزان مطلوبیت برای کاربری کشاورزی افزایش می‌یابد (شکل ۶ ب).

#### ۸.۲.۴. فاصله تا عوامل طبیعی

##### (الف) فاصله از منابع آبی (سطحی و زیرزمینی)

با توجه به منابع مناسب آبی در منطقه و با هدف دسترسی به منابع آبی برای کاربری کشاورزی، فاصله از منابع آبی زیرزمینی نقشه‌سازی شد. با افزایش فاصله از منابع آبی زیرزمینی، مطلوبیت پیکسل‌ها برای کاربری کشاورزی کاهش می‌یابد. از تابع عضویت خطی کاهشی برای



شکل ۶. نقشه فازی شده (الف) فاصله از بستر رودخانه و (ب) فاصله از چاه، چشمه و قنات در کاربری کشاورزی

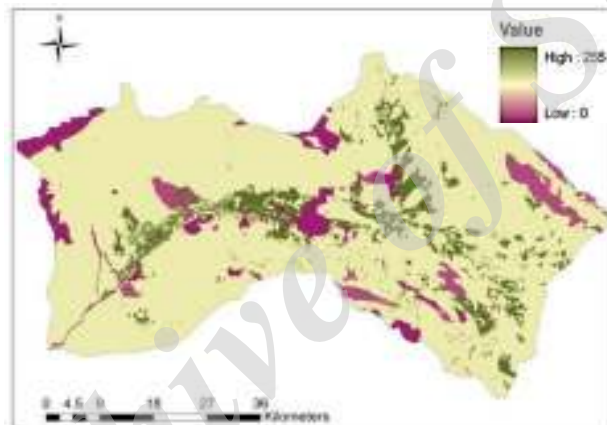
کدگذاری شده پوشش اراضی و شکل ۷ نقشه فازی شده آن را نشان می‌دهد.

#### ۹.۲.۴. پوشش اراضی

پوشش اراضی متغیری گسسته و نوع تابع عضویت آن، تعریف شده کاربر است. بعد از کلاسه‌بندی این عوامل از ۱-۴ به ترتیب خوب تا نامطلوب، سپس در بازه بایت ۰-۲۵۵) بسط داده می‌شود. جدول ۱ کلاس‌های

جدول ۱. تعريف كلاس‌هاى طبقه‌بندي براي عامل نوع پوشش زمين در كاربري كشاورزي

نوع پوشش	كد	نوع پوشش	كد
بدون پوشش سبز و بيرون‌زدگي سنگي	۴	مرتع با تراكم ۰.۲۵-۰.۵٪	۳
درختچه‌زار با تراكم بيش از ۰.۱۰٪	۴	مرتع با تراكم ۰.۲۵-۰.۵۰٪	۲
دق رسي	۴	مرتع با تراكم بيش از ۰.۵۰٪	۴
بستر رودخانه	۴	مسكوني	۴
ديم	۱	زراعت آبي	۳
جنگل دست‌كاشت	۴	اراضي با تراكم كمتر از ۰.۵٪	۱



شكل ۷. نقشه فازی شده نوع پوشش زمين در كاربري كشاورزي

#### ۱۰.۲.۴. تهیه لایه ممنوعیت: کاربری حفاظت

مناطق دارای شیب‌های بالای ۷۰٪، مناطق حفاظت‌شده سازمان محیط‌زیست و مناطق سیل‌خیز (شکل ۸الف) دارای توان برای کاربری حفاظت است، بنابراین توان هیچ نوع کاربری را ندارد و از منطقه مورد مطالعه باید حذف شود. همچنین، طبق نقشه فرسایش خاک، با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه طبقات با فرسایش زیاد وجود ندارد، این عامل از عوامل ممنوعیت حذف شد. تعیین ممنوعیت‌ها و استانداردسازی آنها بر اساس منطق بولین (۰ و ۱) صورت می‌گیرد. شکل ۸الف نقشه مناطق مستعد حفاظت و شکل ۸ب نقشه حاصل از منطق بولین برای ممنوعیت‌ها را نشان می‌دهد.

#### ۳.۴.۳. وزندهی به عوامل با استفاده از تکنیک ANP

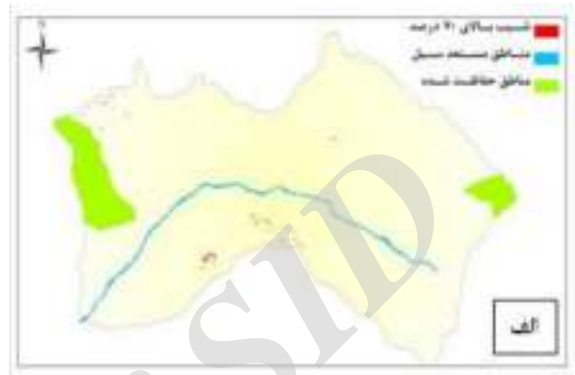
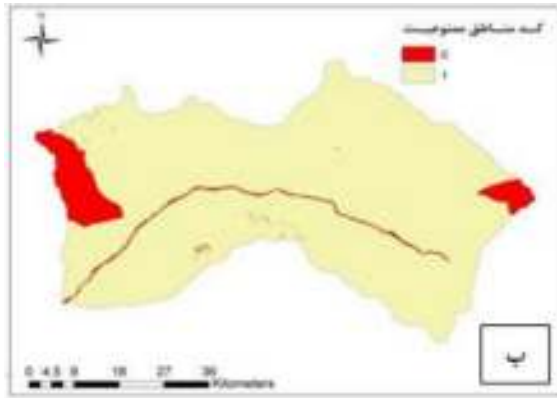
مراحل وزندهی به عوامل با استفاده از تکنیک ANP را می‌توان به سه مرحله اصلی تقسیم کرد (Chen et al., 2010; Neaupane and Piantanakulachi, 2006; Tsai et al., 2010).

#### ۱.۳.۴. ساخت مدل (ساختار شبکه‌ای)

در این مرحله مسئله مورد نظر به ساختاری شبکه‌ای تبدیل می‌شود. طبق شکل ۱، عوامل تأثیرگذار در ارزیابی توان توسعه کشاورزی شناسایی و در نرم‌افزار به صورت شکل ۹ کشیده شد. خوشه‌ها معرف سطوح عوامل و کمان‌ها تعاملات میان سطوح تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد. جهت کمان‌ها وابستگی را مشخص می‌کند. ساختار ANP

است با یک یا تمامی عناصر خوشه‌های دیگر ارتباط داشته باشد. همچنین، ممکن است عناصر درون خوشه بین خودشان ارتباط متقابل داشته باشد.

شناسایی و مدل طراحی می‌شود. مدل ANP از سه سطح تشکیل شده است. سطح اول مربوط به هدف و سطح دوم در رابطه با معیارهاست. عناصر درون یک خوشه ممکن



شکل ۸. الف) نقشه کاربری حفاظت و ب) نقشه استاندارد شده ممنوعیت‌ها حاصل از تابع بولین در کاربری کشاورزی

عناصر در هر ماتریس در مرحله قبل، ماتریس ویژه ناموزون به دست می‌آید. در این ماتریس هر ستون متشکل از گزینه‌های مربوط به هر خوشه است. در هر ستون مقادیر موجود نشان‌دهنده بردار وزن نسبی حاصل از مقایسه‌های زوجی بین گزینه‌ها با توجه به گزینه کنترلی بالایی است. بعد از اینکه ماتریس ویژه ناموزون به دست آمد، در ماتریس به دست آمده ممکن است بعضی ستون‌ها به صورت ستون‌های احتمالی یا به عبارت ساده‌تر حاصل جمع عناصر ستون‌ها برابر ۱ نباشد. در این حالت باید تمام ستون‌ها را نرمال کرد تا حاصل جمع هر ستون برابر با ۱ شود. ماتریس حاصل سوپر ماتریس وزنی نام دارد. در ادامه برای به دست آمدن بردار وزن نهایی، سوپر ماتریس مرتب در خود ضرب می‌شود و این فرایند آنقدر ادامه می‌یابد تا در بازه‌ای قابل قبول ماتریسی همگرا ایجاد شود. به این ماتریس، سوپر ماتریس حدی می‌گویند. تمامی این مراحل با استفاده از نرم‌افزار SuperDecision نسخه 2.0.8 صورت گرفته است.

### ۲.۳.۴. انجام مقایسه‌های زوجی در تعیین رابطه بین عامل‌ها، وابستگی‌های درونی و بازخوردی

گام بعد تعیین رابطه بین خوشه‌ها و گره‌ها و تعیین وزن برای هر یک با پرکردن ماتریس مقایسه زوجی آن و با مقیاس بین ۱ تا ۹ (جدول توماس ال ساعتی) اندازه‌گیری می‌شود. در این مطالعه برای ارزیابی خوشه‌ها و گزینه‌ها، از روش دلفی استفاده شده است که روشی جهت همگرایی ذهنی میان متخصصان است. برای این منظور پرسشنامه‌هایی بین کارشناسان توزیع شد و ایشان با استفاده از مقیاس عددی پیشنهادی ساعتی، به مقایسه زوجی خوشه‌ها و گزینه‌ها نسبت به معیار کنترلی پرداختند. سپس، میزان ناسازگاری قضاوت‌ها بررسی شد. میزان ناسازگاری باید فراتر از ۰/۱ نباشد (Saaty, 1980)، تا قضاوت‌ها قابل قبول باشد. در این مطالعه در تک تک ماتریس‌ها این معیار کمتر از ۰/۱ بوده است.

### ۳.۳.۴. تشکیل سوپر ماتریس و تبدیل آن به سوپر

#### ماتریس حد

با اجتماع بردارهای وزن نسبی به دست آمده از مقایسه‌های





در نهایت نرم افزار وزن های هر عامل را به دست می آورد (شکل ۱۰).

آب و هوا	0.148161
بارندگی	0.045977
تبخیر	0.015606
شیب	0.066268
فاصله تا بستر رودخانه	0.014919
فاصله تا منابع آب	0.022335
بافت خاک	0.058088
حاصلخیزی خاک	0.073269
زهکشی خاک	0.028971
عمق خاک	0.045575
فرسایش خاک	0.074299
پوشش زمین	0.406532

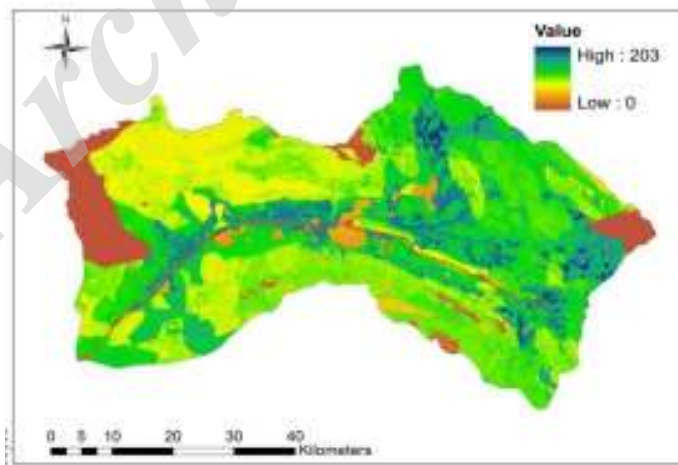
شکل ۱۰. اوزان نهایی برای هر یک از عوامل

فازی عامل و  $C_i$  امتیاز معیار ممنوعیت است.

$$S = \sum_{i=1}^n W_i X_i \Pi C_i \quad (1)$$

#### ۴.۴ ترکیب وزنی خطی

در این مرحله لایه های رستری وزنی بر اساس رابطه ۱ جمع می شود تا نقشه نهایی تناسب به دست آید. در این رابطه  $S$  تناسب کاربری اراضی،  $W_i$  وزن عامل،  $X_i$  ارزش



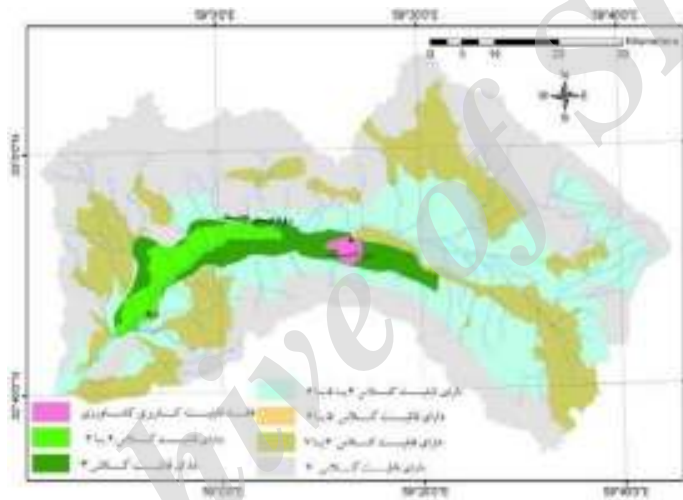
شکل ۱۱. نقشه تناسب اراضی در کاربری کشاورزی با تکنیک ANP FUZZY

نقشه محیط‌زیستی حوضه آبریز بیرجند را به دست آوردند (شکل ۱۲).

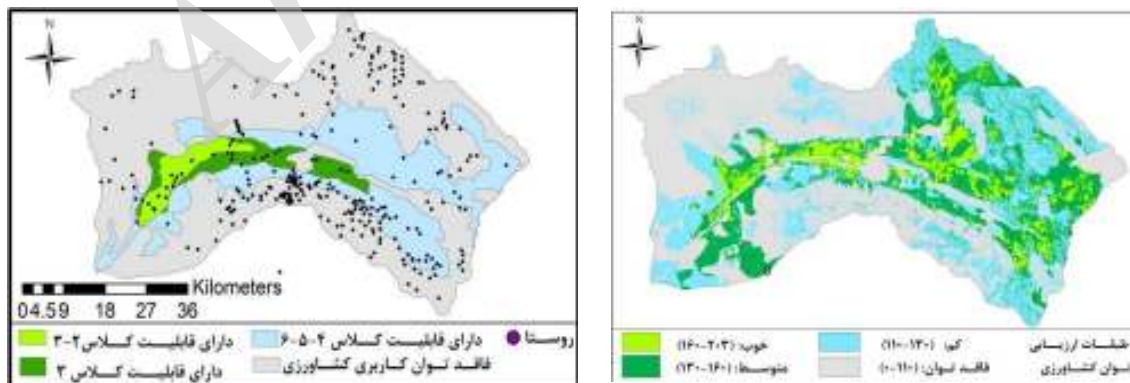
با توجه به نقشه شکل ۱۲، طبقات دارای قابلیت کلاس ۲ تا ۵ قابلیت کاربری کشاورزی در درجات مختلف را دارد، بنابراین برای مقایسه دو روش با حذف کاربری مرتع (کلاس‌های ۶ و ۷) و رقومی کردن نقشه مذکور به نقشه شکل ۱۳ می‌رسیم. با مقایسه آن با نقشه طبقه‌بندی شده حاصل از روش ANP FUZZY شکل ۱۳ الف به نتایج زیر می‌رسیم.

#### ۵.۴. مقایسه روش ارزیابی توان مدل ایرانی با تکنیک ANP FUZZY

زارعی و همکاران (۱۳۸۸) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی توان محیط‌زیستی مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از توانایی‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بیرجند) با استفاده از روش روی هم‌گذاری (مخدوم، ۱۳۷۲ و ۱۳۸۰) از تلفیق پنج نقشه جهت‌های جغرافیایی، شیب، ارتفاع، اجزای واحد اراضی و پوشش گیاهی نقشه نهایی واحدهای محیط‌زیستی و در خاتمه



شکل ۱۲. ارزیابی توان کشاورزی و مرتع‌داری حوضه آبخیز بیرجند با روش روی هم‌گذاری - مدل ایرانی (زارعی و همکاران، ۱۳۸۸)



شکل ۱۳. نقشه ارزیابی توان کشاورزی حوضه آبخیز بیرجند با استفاده از روش (الف) ANP FUZZY و (ب) مدل ایرانی

مذکور در جدول ۵ آمده است.

مساحت‌های اختصاص یافته به هر طبقه برای دو روش

جدول ۵. مقايسه نتايج ارزىابى توان كشاورزى حوضه آبخيز بيرجند با استفاده از روش ANP FUZZY و مدل ايرانى

سهم هر طبقه در روش ANP FUZZY (%)	مساحت طبقات در روش ANP FUZZY (مترمربع)	سهم هر طبقه در روش روى هم گذارى (%)	مساحت طبقات در روش روى هم گذارى (مترمربع)	طبقه داراى توان خوب
۷/۹۳	۲/۲۷۱۶۷۴۳۸۴	۲۱/۳	۹/۱۱۰۱۰۸۳۴۵	
۲۰/۶۶	۶/۷۰۷۸۱۶۲۴۸	۴۰/۴	۷/۱۵۰۷۴۵۳۴۸	طبقه داراى توان متوسط
۸۰/۲۸	۹/۹۸۶۶۲۸۰۱۰	۸۶/۲۵	۹/۸۸۵۸۴۰۲۳۵	طبقه داراى توان كم
۵۹/۴۲	۱۴۵۸۸۹۵۳۸۴	۵۲/۶۶	۰۶/۲۲۷۸۳۲۰۰۹۷	طبقه فاقد توان كشاورزى

عواملى كه باعث ايجاد اين تفاوت در نتيجه شده است شامل موارد زير مى شود. در مطالعه مذكور تنها پنج عامل (جهت هاى جغرافيايى، شيب، ارتفاع، اجزاي واحد اراضى و پوشش گياهمى) بررسى شده است، ولى در اين مقاله دوازده عامل (اقليم، بارندگى، تبخير، شيب، رودخانه، منابع آب، بافت، حاصلخيزى، زهكشى، عمق، فرسايش و پوشش زمين) شناسايى شد. وزن عوامل در مطالعه اول مساوى و در مطالعه دوم بر اساس اهميت، همچنين تعاملات ميان عوامل بوده است. ارزش گذارى لايه ها در هر عامل در روش اول به صورت بولين و در روش دوم فازى بوده است. در نهايت، در اين دو تحقيق به علت اختلاف زمانى برخى عوامل مشترك نيز داراى نقشه هاى متفاوتى است.

### ۵. بحث و نتيجه گيرى

يكى از انتقدهاى وارد و مرسوم به تجزيه و تحليل تناسب كاربرى زمين اين است كه مفروضه هاى دقت داده هاى ورودى غير واقعى است. در آناليز تناسب كاربرى زمين، تهيه اطلاعات دقيق عددى و مورد نياز به روش هاى مرسوم بر اساس منطق-جبر بولين مشكل (يا حتى ناممكن) است. براى مثال، براى برخى فعاليت ها، ممكن است مرزهاى تقسيم قطعى بين مناطق مناسب و نامناسب (براى مثال، در مورد الزام هاى قانونى) وجود نداشته باشد و معمولاً ابهام و عدم دقت در تعريف چنين محدوديت هاى وجود دارد. بنابراين، مسائل مربوط به ابهام، عدم دقت و گنگى بايد

همان طور كه مشخص است در نقشه حاصل از روش روى هم گذارى، مناطق داراى قابليت كلاس ۱ وجود ندارد. در روش AnpFuzzy نيز براى دامنه ارزش هاى ۲۰۳ تا ۲۵۰ هيچ بيكسلى وجود ندارد كه نشان دهنده اشتراك دو مدل است. همچنين، مناطقى كه در روش اول داراى قابليت كلاس ۲ و ۳ است، در روش دوم نيز بيشتري در همان مكان قرار گرفته است و از جواب نسبي مشترك حكايه دارد. ولى از نتايج متفاوت مى توان به اين موضوع اشاره داشت كه سهم تمامى طبقات داراى توان (۲ تا ۶) در روش دوم بيشتري است و طبقه داراى فاقد توان در روش روى هم گذارى بسيار مساحت بيشتري به خود اختصاص داده است. از آنجا كه در مدل مذكور با وجود هر عامل نامناسب منطقه مورد نظر از قابليت كاربرى مذكور خارج مى شود كه احتمالاً به علت عامل شيب سطح وسيعى از منطقه از كاربرى مذكور حذف شد. در حالى كه حوضه آبخيز بيرجند منطقه اى با آب و هواى خشك است و عامل منابع آب (چاه، چشمه، قنات) عامل مهم ترى است و بيشتري روستاهاى منطقه به علت وجود آب شيرين و خاك غير شور و مناسب در مناطق كوهستانى است. همچنين، لايه كاربرى اراضى موجود در روش دوم داراى وزن بالايى است و از لحاظ تعاملات نيز روى بيشتري عوامل تأثير گذار است. اين عامل در ارزىابى اول ديده نشده است. همان طور كه در شكل ۱۳ اب مشخص است بسيارى از روستاها در منطقه فاقد توان كاربرى كشاورزى قرار دارد. اين نشان دهنده اهميت ساير عامل ها در ارزىابى است. بنابراين، مهم ترين



اساس در این تحقیق ابتدا بر اساس دوازده عامل محیط‌زیستی و زیربنایی، همچنین در نظر گرفتن محدودیت‌ها ارزش هر پیکسل از فضای منطقه مورد مطالعه با استفاده از تکنیک Fuzzy ANP برای ایجاد کاربری کشاورزی به دست آمده است. در تهیه این نقشه سعی شده چند نکته رعایت شود:

۱. معیارهای جامعی برای ارزیابی صحیح انتخاب شود.
  ۲. با ورود عدم قطعیت‌ها و استانداردهای تمامی عوامل دقت ارزیابی بالا برده شود.
  ۳. با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه فرض نادرست استقلال عوامل برداشته و بازخوردها و تعاملات در ارزیابی در نظر گرفته می‌شود.
- نقشه اولیه حاصل از ارزیابی چند معیاره در تعیین تناسب اراضی نواحی مناسب برای کاربری کشاورزی در محدوده مورد مطالعه نقشه‌ای است تلفیقی با فرمت رستری و برای مناطقی است که محدودیتی برای توسعه ندارد، و مقادیر آن ارزش‌هایی بین ۰ تا ۲۰۳ را داراست. مناطق با ارزش بالاتر از ۲۰۳ در منطقه وجود ندارد و این موضوع بیانگر این است که مناطق با قابلیت عالی برای کاربری کشاورزی در محدوده موجود نیست. مطلوبیت بیشتر نشان‌دهنده درجه توان بالاتر و مطلوبیت کمتر بیانگر درجه توان پایین‌تر برای کاربری مربوط است. میزان مطلوبیت هر پیکسل بیانگر میزان مطلوبیت عوامل، همچنین وزن‌های اختصاص داده شده به آن‌هاست. در این نقشه تمامی عناصر تصویر (پیکسل‌ها) در طیف رنگی قرار می‌گیرد و انتخاب مکان‌های ویژه برای کاربری کشاورزی را ممکن می‌سازد. بر اساس این روش مشخص شد که  $0.93/0.7$ ،  $0.66/0.2$ ،  $0.8/0.28$ ،  $0.5/0.42$  از منطقه مورد مطالعه به ترتیب دارای توان خوب، متوسط، کم و فاقد توان برای ایجاد کاربری کشاورزی است.

همچنین، در انتها با مقایسه دو روش مدل ایرانی و تکنیک Fuzzy ANP به این نتیجه می‌رسیم که روش ایرانی نگاه ساده‌تری به طبیعت و تعاملات آن داشته است. در

جایگاه مناسبی را در روش‌های تناسب کاربری زمین پیدا کند. این مهم با نظریه مجموعه فازی و منطق فازی (Fisher, 2000; Zadeh, 1965) دست‌یافتنی است. بنابراین، در این تحقیق برای واردسازی موضوع عدم قطعیت‌ها، همچنین استانداردسازی تمامی عوامل در دامنه‌ای واحد از فازی‌سازی عوامل اثرگذار استفاده شده است.

همچنین، در این پژوهش با توجه به وجود عوامل مختلف مرتبط و طبیعت ذاتی فضایی مشکل، از روش ANP استفاده شده است. فرایند تحلیل شبکه یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه (MADM) است (قدسی پور، ۱۳۸۹). روش ANP شکل توسعه یافته‌ای از AHP است که قادر است همبستگی‌ها و بازخوردهای موجود بین عناصر مؤثر در تصمیم‌گیری را مدل‌سازی و تمامی تأثیرات درونی اجزای مؤثر در تصمیم‌گیری را منظور و وارد محاسبات کند (Yüksel and Dagdeviren, 2007). چنانچه وابستگی دوطرفه باشد، یعنی وزن معیارها به وزن گزینه‌ها و وزن گزینه‌ها نیز به وزن معیارها وابسته باشد، مسئله دیگر از حالت سلسله‌مراتبی خارج می‌شود و تشکیل شبکه یا سیستم غیرخطی یا سیستم بابازخورد را می‌دهد (Kurttila and Pesonenand, 2000). در این صورت برای محاسبه وزن عناصر نمی‌توان از قوانین و فرمول‌های سلسله‌مراتبی استفاده کرد و برای محاسبه وزن عناصر باید از نظریه شبکه‌ها استفاده کرد (Saaty, 1986). برای مثال، عامل بافت خاک، کاربری زمین یا پوشش اراضی هر یک جزء عواملی است که بر عوامل دیگر اثر می‌گذارد. این اثرگذاری بیشتر باعث می‌شود وزن عامل بالاتر برود.

ارزیابی توان مهم‌ترین بخش آمایش سرزمین است. در آمایش صحیح، نخست توان منطقه شناسایی، سپس هدف استفاده بر اساس آن مشخص می‌شود. کشاورزی فعالیتی است که به‌طور تنگاتنگ با محیط سروکار دارد و برای داشتن کارایی بالاتر و تناسب بیشتر با محیط‌زیست، نیازمند شناسایی علمی روزافزون توان محیطی است. بر همین

**يادداشت‌ها**

1. Sensitivity analysis
2. Error propagation analysis
3. Analytic Network Process
4. Weighted linear combination (WLC)

روش حاضر با شناسایی جامع‌تری از عوامل تأثیرگذار، وارد کردن عدم قطعیت‌ها با تکنیک فازی، همچنین دیدن تعاملات با تکنیک فرایند تحلیل شبکه به طرحی واقع‌بینانه‌تر و دقیق‌تری می‌رسیم که با موقعیت روستاهای موجود نیز همخوانی بیشتری دارد.

**منابع**

۱. ایستمن، ر. ۱۳۹۰. سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم‌افزار ایدریسی، ترجمه سلمان ماهینی، ع. کامیاب، ح. تهران، چاپ دوم، انتشارات مهر مهدیس.
۲. دری، ب. حمزه‌ای، ا. ۱۳۸۹. تعیین استراتژی پاسخ به ریسک در مدیریت ریسک به وسیله تکنیک ANP (مطالعه موردی: پروژه توسعه میدان نفتی آزادگان شمالی)، مدیریت صنعتی. ۲(۴): ۷۵-۹۲.
۳. رحیمی، س. عشقی، ک. ۱۳۸۷. تعیین ترکیب بهینه منابع انرژی ایران، با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۵(۱۸): ۱۲۳-۱۶۰.
۴. زارعی، ع.ر. میرسیار، م. وثوق، ع. ۱۳۸۸. ارزیابی توان زیست محیطی مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از توانایی‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی حوضه آبخیز بیرجند)، محیط‌شناسی. ۳۵(۵۲): ۳۵-۴۲.
۵. سعیدی، ح. نجفی، ا. ۱۳۸۹. کاربرد فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در تعیین اولویت خروج دام از جنگل و سامان‌دهی جنگل‌نشینان. مجله جنگل ایران، انجمن جنگل‌بانی ایران، ۲(۴): ۳۰۹-۳۲۱.
۶. صادق عمل‌نیک، م. انصاری‌نژاد، ا. انصاری‌نژاد، ص. میری، س. ۱۳۸۹. یافتن روابط علی و معلولی و رتبه‌بندی عوامل بحرانی موفقیت و شکست پروژه‌های پیاده‌سازی سیستم‌های اطلاعاتی به کمک ترکیب روش‌های ANP و DEMATEL فازی گروهی، نشریه تخصصی مهندسی صنایع. ۴۴(۲): ۱۹۵-۲۱۲.
۷. فرج زاده اصل، م. کریم‌پناه، ر. ۱۳۸۷. تحلیل پهنه‌های مناسب توسعه اکو توریسم در استان کردستان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۶۵: ۵-۳۵.
۸. فرجی سبکبار، ح. نصیری، ح. حمزه، م. طالبی، س. رفیعی، ی. ۱۳۹۰. تعیین عرصه‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی بر پایه تلفیق روش‌های ANP و مقایسه زوجی در محیط GIS، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۲۲(۴): ۴۰-۴۸.
۹. قدسی‌پور، س. ۱۳۸۹. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ هشتم.
۱۰. کریم‌زاده، ز. ۱۳۹۳. ارزیابی توان اکولوژیک بخش مرکزی بیرجند بر اساس روش ترکیب خطی وزنی در محیط سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند.
۱۱. محمدی لرد، ع. ۱۳۸۸. فرایندهای تحلیل شبکه‌ای، انتشارات البرز فردانش، تهران.
۱۲. مخدوم، م. ۱۳۹۰. شالوده آمایش سرزمین، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوازدهم.
۱۳. ملکی، م. محقر، ف. کریمی دستجردی، د. ۱۳۸۹. تدوین و ارزیابی استراتژی‌های سازمانی با به‌کارگیری مدل‌های SWOT و فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، مدیریت فرهنگ سازمانی. ۸(۲۱): ۱۵۹-۱۷۶.

۱۴. میردادی، ح. زاهدی پور، ح.ا. مرادی، ح.ر. گودرزی، غ.ر. ۱۳۸۶. بررسی و تعیین توان اکولوژیک استان مرکزی از نظر کشاورزی و مرتعداری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS. *فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران*. ۱۵(۲): ۲۴۲-۲۵۵.
۱۵. مینایی، م. ۱۳۸۸. پیاده‌سازی مدل آمایشی کشاورزی با استفاده از منطق فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) (منطقه مورد مطالعه: فریدون‌شهر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ۱۴۶ ص.
۱۶. نصیری، ح. علوی پناه، ک. متین فر، ح.ر. عزیزی، ع. حمزه، م. ۱۳۹۰. پیاده‌سازی مدل اکولوژیکی کشاورزی با رویکرد PROMETHEE II و Fuzzy AHP در محیط GIS (مطالعه موردی: شهرستان مرودشت)، *محیط‌شناسی*. ۳۵(۵۲): ۳۵-۴۲.
۱۷. نوروزی آورگانی، ا. نوری، ه. ا. کیانی سلمی، ص. ۱۳۸۹. ارزیابی توان‌های محیطی برای توسعه کشاورزی (مطالعه موردی: ناحیه چغاخور، شهرستان بروجن)، *پژوهش‌های روستایی*. ۲: ۹۱-۱۱۶.
۱۸. نوری، ه.ا. صیدایی، ا. کیانی، ص. سلطانی، ز. نوروزی آورگانی، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی توان اکولوژیک محیط برای تعیین مناطق مستعد کشاورزی با استفاده از GIS (بخش مرکزی شهرستان کیار)، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. ۲۱(۱)، شماره پیاپی ۳۷.
19. Banai, R. 1993. Fuzziness in Geographical Information Systems: contributions from the analytic hierarchy process. *International Journal of Geographical Information Science*. 7(4): 315-329.
20. Burrough, P. MacMillan, R. Deursen, W.V. 1992. Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observations and topography. *Journal of Soil Science*, 43(2): 193-210.
21. Chen, Y.Ch. Lien, H.P. Tzeng, G.H. 2010. Measures and evaluation for environment watershed plans using a novel hybrid MCDM model. *Expert systems with applications*. 37(2): 926-938.
22. Ferretti, V. Pomarico, S. (2013). Ecological land suitability analysis through spatial indicators: An application of the Analytic Network Process technique and Ordered Weighted Average approach. *Ecological Indicators*. 34, 507-519.
23. Goodchild, M.F. Parks, B.O. Steyaert, L.T. 1993. *Environmental modeling with GIS*.
24. Heuvelink, G.B. Burrough, P.A. Stein, A. 1989. Propagation of errors in spatial modelling with GIS. *International Journal of Geographical Information System*. 3(4): 303-322.
25. Hopkins, L.D. 1977. Methods for generating land suitability maps: a comparative evaluation. *Journal of the American Institute of Planners*. 43(4): 386-400.
26. Jiang, H. Eastman, J.R. 2000. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*. 14(2): 173-184.
27. Kurttila, M. Pesonen, M. 2000. Utilizing the analytic hierarchy process AHP in SWOT analysis a hybrid method and its application to a forest certification case. *Forest Policy and Economics*, 1: 82-95.
28. Lodwick, W.A. Monson, W. Svoboda, L. 1990. Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical informations systems: suitability analysis. *International Journal of Geographical Information System*. 4(4): 413-428.
29. Malczewski, J. 2000. On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, 4(1): 5-22.
30. Murgante, B. Las Casas, G. 2004. GIS and fuzzy sets for the land suitability analysis Computational Science and Its Applications-ICCSA 2004: 1036-1045.
31. Neaupane, K.M. Piantanakulchai, M. 2006. Analytic network process model for landslide hazard zonation. *Engineering Geology*. 85(3): 281-294

32. Pereira, J.M. Duckstein, L. 1993. A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation. *International Journal of Geographical Information Science*. 7(5): 407-424.
33. Saaty, Tumas L. 1986. Dependence and Independence: from Linear Hierarchy to Nonlinear Networks. *European Journal of operational Reaserch*. 26(3): 105-118.
34. Sicat, R.S., Carranza, E.J.M. Nidumolu, U.B. 2005. Fuzzy modeling of farmers' knowledge for land suitability classification. *Agricultural Systems*, 83: 49-75.
35. Tsai, W.H. Chou, W.C. Lai, C.W. 2010. An effective evaluation model and improvement analysis for national park websites: A case study of Taiwan. *Turism Manage*. 31: 936-952.
36. Yüksel, İ. Dagdeviren, M. 2007. Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis-A case study for a textile firm, *Information Sciences*. 20: 47-62.
37. Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy sets. *Information and control*. 8(3): 338-353.
38. Zadeh, L.A. 1990. Fuzzy sets and systems. *International Journal of General Systems*, 17: 129-138.
39. Zhou, J. Civco, D.L. 1996. Using genetic learning neural networks for spatial decision making in GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(11): 1287-1295.

Archive of SID