

طراحی مدل اکولوژیک کشاورزی و مرتعداری سرزمین

با رویکرد Fuzzy AHP

(مطالعه موردی: شهرستان اشتهارد)

- ❖ پویان دهقان؛ دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ حسین آذر نیوند*؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ حسن خسروی؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ غلامرضا زهتاییان؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ❖ علیرضا مقدم نیا؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

کاهش بیش از حد توان منابع طبیعی یکی از چالش‌های بسیار مهمی است که بشر در قرن اخیر با آن روبرو است. بهره‌برداری مناسب از اراضی و مدیریت اصولی کاربری اراضی بر اساس توان اکولوژیکی آن، نقش مهمی در راستای نیل به توسعه پایدار دارد. از این رو جهت دستیابی به توسعه پایدار و به‌منظور استفاده مناسب از اراضی، باید گرایش‌ها به سمت برنامه‌ریزی و بهره‌برداری اصولی از منابع و بر اساس توان آن‌ها باشد. بنابراین از آنجا که کشاورزی آثار محیط زیستی فراوانی بر مناطق شهری دارد، ارزیابی اراضی کشاورزی ضرورت پیدا می‌کند. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی توان اکولوژیکی اراضی شهرستان اشتهارد از منظر کشاورزی و مرتعداری می‌باشد. به این منظور با استفاده از معیارهای اکولوژیکی و نیز با به کارگیری روش‌های Fuzzy AHP، Fuzzy و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) توان اکولوژیکی اراضی شهرستان اشتهارد مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت استانداردسازی لایه‌ها از روش Fuzzy و نیز برای اختصاص دادن وزن به هر یک از شاخص‌های مورد استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (Fuzzy AHP) استفاده گردید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اراضی با توان اکولوژیکی درجه یک با ۱/۵۰ درصد و اراضی درجه چهار با ۲۵/۳۶ درصد کمترین و بیشترین درصد از کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شوند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل در این تحقیق نشان‌دهنده کارایی بالای روش Fuzzy AHP در ارزیابی توان اکولوژیکی منطقه است و می‌توان آن را با تغییرات لازم برای سایر مناطق و همچنین دیگر فعالیت‌های مکان‌یابی مورد استفاده قرار داد.

کلید واژه‌گان: توان اکولوژیک، آمایش سرزمین، Fuzzy AHP، GIS

۱. مقدمه

امروزه با استقرار کشاورزی و انقلاب صنعتی، امکانات به زیر کشت بردن اراضی فراهم گردیده و تولیدات غذایی به میزان بسیار زیادی افزایش یافته است، با این وجود هنوز هم سطوح وسیعی از اراضی جدید به زیر کشت برده می شوند [۸]. کاهش بیش از حد توان منابع طبیعی به همراه سایر عوامل مانند رشد فزاینده جمعیت، افزایش آلودگی ها، رشد صنعتی و توزیع نامتعادل منابع از جمله بزرگترین چالش هایی هستند که بشر در قرن اخیر با آن مواجه است [۱۱]. انسان در مواجهه با محیط اطراف خود روش های مناسبی را اتخاذ نکرده و با منفعت جویی و بهره برداری ناپایدار، سبب تخریب محیط زیست می شود. این الگوی غیر اصولی استفاده از اراضی، تخریب و آلودگی منابع را در پی خواهد داشت. از این رو جهت جلوگیری از تخریب سرزمین و بهره برداری مناسب از اراضی باید هر منطقه بر اساس استعداد و توان اکولوژیک آن مورد استفاده قرار گیرد. ارزیابی توان اکولوژیک هر سرزمین به عنوان یکی از ابزارهای مهم در راستای توسعه پایدار، به دنبال بررسی توان موجود در سرزمین بر اساس معیارهای مشخص و از پیش طراحی شده می باشد. بنابراین ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین در یک منطقه به مفهوم بررسی قابلیت های بالقوه آن سرزمین در قالب کاربری های مورد انتظار است.

ارزیابی اکولوژیک در گذشته "توسعه سازگار با محیط زیست" و سپس "توسعه محیط زیست" خوانده می شده است و امروزه به توسعه پایدار معروف شده است. در مباحث توسعه پایدار، ابعاد مختلفی از رابطه میان توسعه و محیط زیست آشکار می گردد که از مهم ترین آنها می توان به ضرورت درون زایی فرایند توسعه، به رسمیت شناختن نقش مردم در فرایند توسعه و نیز توجه به توان اکولوژیک محیط زیست اشاره نمود [۵].

امروزه روش های متفاوتی جهت ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین وجود دارد که این هر یک از این روش ها با ساختن ضابطه هایی در قالب مدل های اکولوژیک برای هر نوع کاربری، آنها را مورد ارزیابی قرار

می دهند. به این مفهوم که اول برای هر نوع کاربری، بسته به شرایط منطقه ای، مدل های اکولوژیک ساخته می شوند و سپس ویژگی های اکولوژیک جمع بندی شده در هر واحد سرزمین با مدل های اکولوژیک یاد شده مقایسه و توان سرزمین نسبت به آن مدل برای هر نوع کاربری ارزیابی می شود [۹].

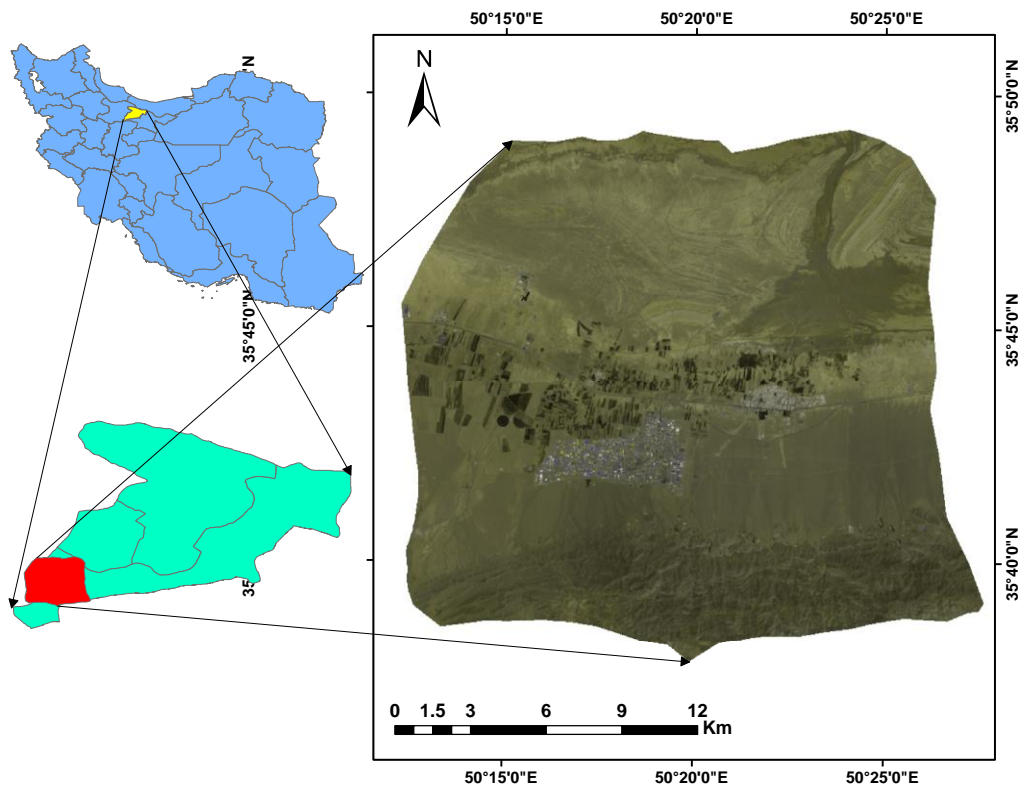
در زمینه ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین پژوهش های متنوع و مختلفی از گذشته تا حال در مناطق متفاوت صورت گرفته است. در تحقیقی یک مدل اکولوژیک کشاورزی را با در نظر گرفتن ۸ معیار و با استفاده از روش تلفیقی PROMETHEE II و Fuzzy-AHP در شهرستان مرودشت ارائه شد. در این مطالعه، برای تعیین وزن های هر یک از عوامل تأثیرگذار در ارزیابی توان اکولوژیک کشاورزی، از فرایند تحلیل سلسله مراتب فازی (Fuzzy AHP) استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که منطقه مورد مطالعه دارای هر هفت طبقه کشاورزی و مرتعداری مدل مخدوم می باشد [۱۳]. در پژوهشی دیگر با بکارگیری روش های تصمیم گیری چند معیاره فازی، به ارزیابی تناسب اراضی برای توسعه کاربری های کشاورزی و مرتع در حوزه آبخیز سد قشلاق استان کردستان پرداختند. نتایج نشان داد که با کاربرد منطق فازی در ارزیابی سرزمین، ارزش گذاری معیارهای تصمیم گیری و پهنه بندی سرزمین از دیدگاه اکولوژیک می تواند با سهولت و دقت بیشتری انجام پذیرد [۱]. مطالعه ای با رویکرد تلفیقی سیستم های استنتاج فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به ارزیابی توان کشاورزی حوزه آبخیز بنگال غربی پرداخت. در این پژوهش برای ارزیابی توان کشاورزی منطقه مطالعاتی، از دو روش ترکیب خطی وزنی و روش ترکیبی یاگر^۱ استفاده شد. نتایج نشان داد که روش ترکیبی یاگر مناسب تر از روش ترکیب خطی وزنی می باشد. نتایج حاصل از ادغام سامانه استنتاج فازی با GIS حاکی از توانایی این روش در بررسی حجم زیادی از اطلاعات و همچنین کارا بودن جهت ارزیابی توان

¹ Yager

را برای برنامه‌ریزی زیست محیطی فراهم می‌کند. بهره‌برداری بهینه و مناسب بر اساس توان اکولوژیکی هر سرزمین، نقش مهمی در مدیریت محیط زیست و جلوگیری از تخریب آن در راستای توسعه پایدار دارد. از آنجایی که کشاورزی یکی از مهمترین بخش‌های اقتصادی هر جامعه می‌باشد و نقش مؤثری در راستای رسیدن به توسعه پایدار داشته و از طرفی می‌تواند آثار زیست محیطی بزرگی بر نواحی حاشیه شهرها داشته باشد، ارزیابی اراضی کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین از این رو، به منظور ساماندهی بهتر اراضی، به بررسی توان اکولوژیکی اراضی شهرستان اشتهارد و تعیین تناسب این اراضی برای فعالیت‌های کشاورزی و همچنین اراضی مناسب جهت فعالیت‌های مرتعداری پرداخته شد تا از این طریق کمک شایانی به برنامه‌ریزی جهت نیل به توسعه پایدار نمود.

اکولوژیکی کشاورزی است [۱۵]. در مقاله‌ای تحت عنوان سامانه اطلاعات جغرافیایی و تجزیه و تحلیل چند معیاره برای برنامه‌ریزی مناسب گردشگری، از روش AHP و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد و ارزش و نوع زیستی تالابی در مالزی برای حفاظت و توسعه را مورد بررسی قرار گرفت [۱۱]. معیارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل کلاس سنی درخت، فصل برداشت، میزان گیاهان در معرض خطر، مجاورت زیستگاه در استفاده از سرزمین طبیعی- پوشش گیاهی، مناطق زیستگاه و کیفیت آب بود. نتایج حاکی از توانایی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)^۱ در تلفیق با GIS به منظور برنامه‌ریزی گردشگری است.

ارزیابی توان اکولوژیکی به عنوان هسته مطالعات زیست محیطی بوده و با هشدار بحران‌های محتمل، بستر مناسبی



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

^۱ Multi Criteria Decision Making

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۳۹۶۳۷ هکتار در بخش مرکزی شهرستان اشتهارد با مختصات $32^{\circ} 12' 50''$ تا $38^{\circ} 27' 50''$ طول شرقی و $50^{\circ} 37' 50''$ تا $50^{\circ} 49' 50''$ عرض شمالی واقع شده است. با توجه به نقشه ارتفاع منطقه، دامنه تغییرات ارتفاع بین ۱۱۳۱ متر (کمترین ارتفاع) تا ۱۹۸۶ متر (بیشترین ارتفاع) از سطح دریا می‌باشد. مقدار بارندگی سالانه در این منطقه ۱۸۰ میلی‌متر می‌باشد و از نظر پراکنش زمانی و مکانی یکسان نبوده و حداکثر آن در زمستان و پاییز رخ می‌دهد [۶]. منطقه مورد مطالعه جزء مناطق خشک بوده و از نقطه نظر تقسیمات ژئوبوتانیکی به روش پابو در ناحیه استپی سرد قرار می‌گیرد که در اکثر بخش‌های آن محدودیت‌های محیطی به‌خصوص ادافیکی و اقلیمی شدت زیادی داشته و موجب فقر پوشش گیاهی شده است. به دلیل این که در این منطقه اراضی زراعی به شکل گسترده رها شده‌اند و یکی از عوامل تشدید بیابان‌زایی در منطقه می‌باشند، این مطالعه انجام شد. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

۲.۲. روش تحقیق

در مطالعه حاضر مجموعه داده‌های ۸ معیار انتخابی برای منطقه اشتهارد، از منابع مختلف به دست آمد. نقشه شیب و ارتفاع با استفاده از مدل رقومی ارتفاع تهیه شد. نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه مطالعاتی از طریق طبقه‌بندی و تفسیر تصاویر ماهواره لندست ۸ با قدرت TM چند طیفی سال ۲۰۱۵ سنجنده تفکیک مکانی ۳۰ متر به دست آمد. لایه اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس اقلیم نمای دومارتن تهیه شد. همچنین لایه اطلاعاتی مربوط به مؤلفه‌های خاک پس از نمونه برداری از منطقه و بررسی در آزمایش به دست آمد. همچنین نقشه نوع پوشش گیاهی از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ مؤسسه تحقیقات آب و خاک استخراج گردید. رقومی‌سازی نقشه‌های تهیه شده

در نرم‌افزار Arc GIS 10.3 انجام شد. جهت اجرای نقشه‌های زهکشی خاک، فرسایش‌پذیری خاک، بافت خاک، نوع پوشش گیاهی و اقلیم که ساختاری کیفی دارند، باید به فرمت رستری با ساختار کمی تبدیل شوند.

۱.۲.۲. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی

یکی از معروف‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است [۱۴]. این روش توسط توماس ساعتی^۱ در دهه ۱۹۷۰ میلادی ابداع شد [۴]. تحلیل سلسله‌مراتبی بر مبنای مقایسات زوجی است که قضاوت را آسان و دقت محاسبات را زیاد می‌کند. ورودی این روش، ماتریس مقایسه زوجی است که درایه‌های آن میزان اهمیت نسبی معیارها را بیان می‌کند. این مقایسه‌ها برای به دست آوردن وزن معیارها و اولویت‌های مربوط به کلاس‌های مختلف انجام می‌شود [۳]. از مزایای این روش آن است که دارای مبنای نظری قوی است و بر اصول بدیهی بنا شده است [۷]. هنگامی که در تصمیم‌گیری، چند گزینه و شاخص وجود دارد، این روش می‌تواند مفید باشد. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری مواجهه است می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌توانند کمی و کیفی باشند.

اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم‌گیرنده کار خود را با ترسیم درخت سلسله‌مراتبی تصمیم آغاز می‌کند. درخت سلسله‌مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را در قالب یک ساختار سلسله‌مراتب نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها یا همان معیارها را در راستای انتخاب گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی قرار داده و نشان می‌دهد. در نهایت فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به گونه‌ای ماتریس‌های حاصل از مقایسات زوجی را با یکدیگر

¹ Saaty

سطح یک: نشان دهنده شاخص‌ها یا معیارهای

تصمیم‌گیری است.

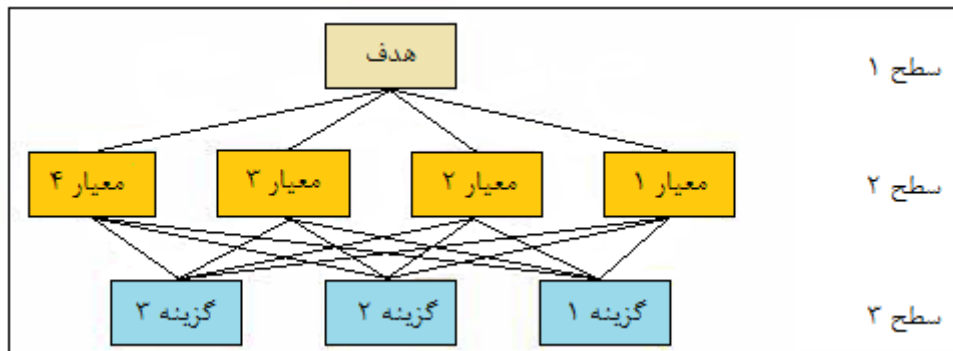
سطح دو: نشان دهنده گزینه‌های اولویت‌بندی است.

تلفیق می‌کند که تصمیم بهینه حاصل گردد.

همانطور که در شکل ۲ آمده است، در یک ساختار

سلسله مراتبی حداقل سه سطح زیر وجود دارد:

سطح صفر: نشان دهنده هدف تصمیم‌گیری است.



شکل ۲: ساختار تحلیل سلسله مراتبی

الف) مدل‌سازی یا تعیین ساختار سلسله مراتبی

در این مرحله، مسئله و هدف تصمیم‌گیری به صورت سلسله مراتبی یا سطوحی از عناصر تصمیم تبدیل می‌شود که با هم در ارتباط می‌باشند. عناصر تصمیم شامل شاخص‌های تصمیم‌گیری و گزینه‌های تصمیم می‌باشند. سطح بالا بیانگر هدف اصلی فرایند تصمیم‌گیری است. سطح دوم، نشان دهنده شاخص‌های عمده و اساسی که ممکن است به شاخص‌های فرعی و جزئی‌تر در سطح بعدی نیز شکسته شوند و همچنین سطح آخر بیانگر گزینه‌های تصمیم می‌باشد.

ب) قضاوت یا انجام مقایسات زوجی

پس از طراحی سلسله مراتب مسئله تصمیم، باید مجموعه ماتریس‌ها که به طور عددی اهمیت یا ارجحیت نسبی شاخص‌ها را نسبت به یکدیگر و هر گزینه تصمیم را با توجه به شاخص‌ها نسبت به سایر گزینه‌ها اندازه‌گیری می‌شوند، ایجاد نمود. این کار با انجام مقایسات دو به دو بین عناصر تصمیم (مقایسه زوجی) و از طریق تخصیص امتیازات عددی (بین ۱ تا ۹) که بیانگر ارجحیت یا اهمیت بین دو عنصر تصمیم است، صورت می‌گیرد. تعداد

۲.۲.۲. اصول فرایند تحلیل سلسله مراتبی

توماس ساعتی چهار اصل زیر را به عنوان اصول فرایند تحلیل سلسله مراتبی بیان نموده و کلیه محاسبات، قوانین و مقررات را بر این اصول بنا نهاده است:

(۱) **شرط معکوس:** اگر ترجیح عنصر A بر عنصر B برابر n باشد، ترجیح عنصر B بر عنصر A برابر $1/n$ خواهد بود.

(۲) **همگنی:** عنصر A با عنصر B باید همگن و قابل قیاس باشند. به بیان دیگر برتری عنصر A بر عنصر B نمی‌تواند بی‌نهایت یا صفر باشد.

(۳) **وابستگی:** هر عنصر سلسله مراتبی به عنصر سطح بالاتر خود می‌تواند وابسته باشد و به صورت خطی این وابستگی تا بالاترین سطح می‌تواند ادامه داشته باشد.

(۴) **انتظارات:** هر گاه تغییر در ساختار سلسله مراتبی رخ دهد، فرایند ارزیابی باید مجدداً انجام گیرد.

به کارگیری روش AHP مستلزم مراحل عمده زیر می‌باشد:

مقایسات زوجی از طریق رابطه زیر تعیین می‌گردد:

جدول ۱ مقادیر عددی ترجیحات و جدول ۲ مقایسات زوجی شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

$$(۱) \quad n(n-1)/2 = \text{تعداد مقایسات زوجی}$$

جدول ۱. مقدار عددی ترجیحات برای مقایسات زوجی

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)	
۹	Extremely preferred	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	Very strongly preferred	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	Strongly preferred	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	Moderately preferred	کمی مرجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر
۱	Equally preferred	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۸،۶،۴،۲		ترجیحات بینابینی

جدول ۲. مقایسه زوجی شاخص‌ها

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
A ₁	1	a	b	c
A ₂	1/a	1	d	e
A ₃	1/b	1/d	1	f
A ₄	1/c	1/e	1/f	1

۲.۲.۲.۲. محاسبه وزن نهایی

برای محاسبه وزن نهایی کافی است مجموع حاصل ضرب‌های وزن گزینه‌ها بر اساس هر یک از معیارها را در وزن آن معیارها بر اساس رابطه ۲ به دست آوریم:

$$P_i = \sum W_{aj} \times W_{cj} \quad (۲)$$

در این رابطه P نشان‌دهنده اولویت گزینه نام و W_{aj} نشان دهنده وزن مربوط به هر گزینه بر اساس هر معیار یا شاخص W_{cj} نشان‌دهنده وزن مربوط به هر معیار است.

۳.۲.۲.۲. وزن‌دهی معیارها با استفاده از روش

Fuzzy AHP باکلی

روش Fuzzy AHP ارائه شده توسط باکلی^۲، شکل تعمیم‌یافته‌ای از روش AHP کلاسیک است. در این روش

ج) محاسبه وزن‌ها و بررسی وضعیت سازگاری

ماتریس‌ها

تعیین وزن عناصر تصمیم نسبت به هم شامل دو مرحله است:

(۱) وزن نسبی

(۲) وزن نهایی

۱.۲.۲.۲. محاسبه وزن نسبی

محاسبه وزن نسبی به روش میانگین هندسی به این شرح است که ابتدا ارجحیت‌های نسبی یا محاسبه میانگین هندسی ردیف‌های ماتریس‌های مقایسات زوجی انجام شده و سپس این ارجحیت‌ها نرمال می‌شوند. ضرایب حاصل از این فرایند نشان‌دهنده اهمیت نسبی هر یک از عناصر ماتریس هستند.

^۱ Görener

^۲ Buckley

محاسبه می‌شود. برای این کار ابتدا میانگین هر سطر از ماتریس‌های مقایسه‌ای زوجی با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\bar{Z} = (\bar{a}_{i1}, \bar{a}_{i2}, \bar{a}_{i3} \dots \bar{a}_{in})^{1/n} \quad (5)$$

سپس وزن فازی (\bar{w}_j) از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\bar{w}_i = \bar{Z}_i \times (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \bar{Z}_3 + \dots + \bar{Z}_n)^{-1} \quad (6)$$

عملگرهای ضرب و جمع در روابط فوق، عملگرهای فازی هستند.

مرحله سوم: در این مرحله با ترکیب ارجحیت‌ها و وزن‌های به دست آمده در مرحله قبل، U_i با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌گردد.

$$U_i = \sum_{j=1}^n \bar{w}_j f_{ij} \quad (7)$$

شکل ۳ مراحل پیاده‌سازی مدل پیشنهادی برای ارزیابی توان اکولوژیکی از نظر کشاورزی را نشان می‌دهد.

جهت مقایسه زوجی گزینه‌ها از اعداد فازی و برای به دست آوردن وزن‌ها و ارجحیت‌ها از روش میانگین‌گیری هندسی استفاده می‌شود. این روش به سادگی به حالت فازی قابل تعمیم است و همچنین جواب یگانه‌ای برای ماتریس مقایسه‌ای زوجی تعیین می‌کند. الگوریتم روش باکلی را می‌توان در قالب سه مرحله زیر بیان کرد:

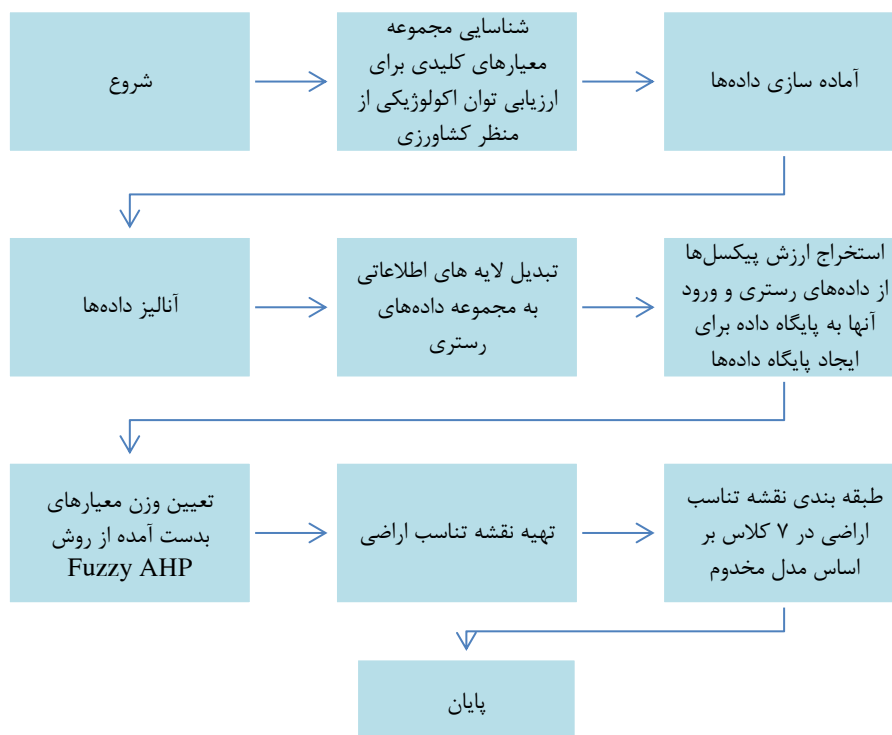
مرحله اول: در این مرحله ماتریس‌های مقایسه‌ای زوجی توسط شخص تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود. عناصر این ماتریس‌ها، اعداد فازی دوزنقه‌ای خواهند بود. چنانچه ارجحیت عنصر i بر عنصر j ام را به صورت زیر نشان دهیم،

$$\bar{a}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij}) \quad (3)$$

آن‌گاه ارجحیت عنصر j بر عنصر i ام به صورت زیر خواهد بود:

$$\bar{a}_{ji} = \left(\frac{1}{a_{ij}}, \frac{1}{b_{ij}}, \frac{1}{c_{ij}}, \frac{1}{d_{ij}} \right) \quad (4)$$

مرحله دوم: در این مرحله، وزن‌های فازی (\bar{w}_j)



شکل ۳. مراحل پیاده‌سازی مدل پیشنهادی برای ارزیابی توان اکولوژیکی از نظر کشاورزی

۳. نتایج

ذخیره شدند.

پردازش و تحلیل داده‌ها در این تحقیق با توجه به مشخصه‌های نوع پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی، ارتفاع، شیب، اقلیم، بافت خاک، زهکشی خاک و فرسایش پذیری خاک صورت گرفته است. ابتدا ۸ لایه اطلاعاتی به صورت رستری وارد محیط GIS شده و تحلیل‌های مکانی اولیه بر روی آنها انجام گرفت. سپس مقادیر پیکسل‌های مجموعه داده‌های رستری مرتبط با معیارهای ارزیابی توان اکولوژیکی کشاورزی و مرتعداری، استخراج شدند و در ۸ رسته جداگانه در پایگاه داده

۱.۳. فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی

برای فازی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، نقشه‌های هر کدام از شاخص‌های مورد استفاده با استفاده از نرم‌افزارهای ArcMap 10.3 در مقیاس صفر تا یک فازی شدند.

برای فازی‌سازی نقشه‌ها ابتدا باید همه نقشه‌ها به صورت کمی طبقه‌بندی شوند. برای این منظور به هر کلاس از نقشه‌ها از بین صفر تا ۱۰۰ امتیازدهی شد. امتیاز هر کلاس از نقشه‌ها در جداول ۳ تا ۱۰ آورده شده است.

جدول ۳. امتیازدهی کلاس‌های شاخص نوع پوشش گیاهی در روش فازی‌سازی

نوع پوشش گیاهی	کلاس	کشاورزی دیم	کشاورزی آبی	مرتع	اراضی شور	اراضی دیم رهاشده	اراضی شهری
	امتیاز	۷۵	۹۰	۶۵	۱۵	۵۰	۲

جدول ۴. امتیازدهی کلاس‌های شاخص تراکم گیاهی در روش فازی‌سازی

تراکم گیاهی	کلاس	۰	۰-۰/۰۴	۰/۰۴-۰/۰۸	۰/۰۸-۰/۱۲	۰/۱۲-۰/۱۴	۰/۱۴<
	امتیاز	۳۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰

جدول ۵. امتیازدهی کلاس‌های شاخص ارتفاع در روش فازی‌سازی

ارتفاع	کلاس	۱۱۰۰-۱۲۰۰	۱۲۰۰-۱۳۰۰	۱۳۰۰-۱۴۰۰	۱۴۰۰-۱۵۰۰	۱۵۰۰-۱۶۰۰	۱۶۰۰-۱۷۰۰	۱۷۰۰-۱۸۰۰	۱۸۰۰-۱۹۰۰	۱۹۰۰-۲۰۰۰
	امتیاز	۹۰	۸۰	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰

جدول ۶. امتیازدهی کلاس‌های شاخص شیب در روش فازی‌سازی

شیب	کلاس	۰-۲	۲-۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	۱۵-۳۰	۳۰<
	امتیاز	۹۰	۸۰	۷۰	۶۰	۳۰	۱۵

جدول ۷. امتیازدهی کلاس‌های شاخص اقلیم در روش فازی‌سازی

اقلیم	کلاس	خشک	نیمه‌خشک	مدیترانه‌ای	نیمه‌مرطوب
	امتیاز	۱۵	۴۰	۶۰	۹۰

جدول ۸. امتیازدهی کلاس‌های شاخص بافت خاک در روش فازی‌سازی

بافت خاک	کلاس	مارن	شنی	شنی لومی	لومی شنی	لومی رسی شنی	شهری
	امتیاز	۲۰	۳۰	۴۰	۸۰	۹۰	۲

جدول ۹. امتیازدهی کلاس‌های شاخص زهکشی خاک در روش فازی سازی

شهری	خیلی سریع	متوسط	مارن	کلاس	زهکشی خاک
۲	۲۰	۸۰	۲۰	امتیاز	

جدول ۱۰. امتیازدهی کلاس‌های شاخص فرسایش پذیری خاک در روش فازی سازی

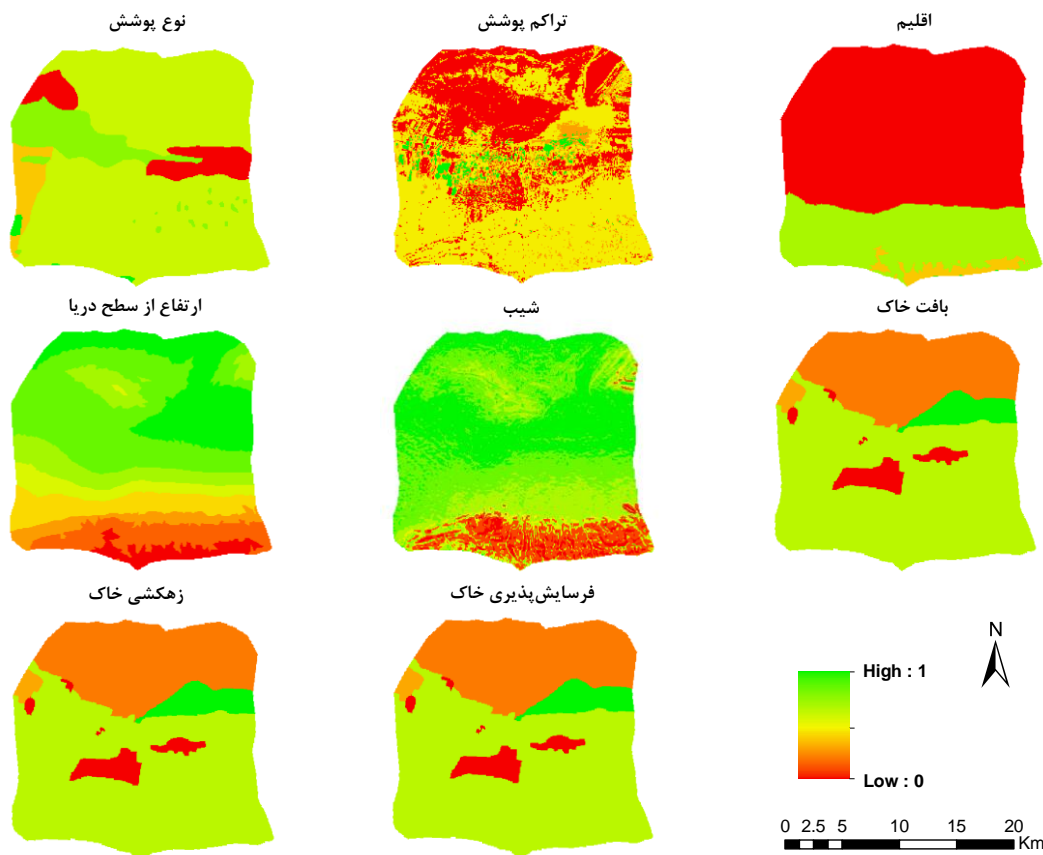
شهری	متوسط	کم	خیلی کم	مارن	کلاس	فرسایش پذیری خاک
۲	۶۰	۸۰	۹۰	۲۰	امتیاز	

در شکل ۴ لایه‌های ورودی برای اجرای مدل پیشنهادی برای ارزیابی توان اکولوژیکی کشاورزی شهرستان اشتهارد نشان داده شده است.

سپس از رابطه زیر برای فازی سازی تمامی لایه‌ها در نرم‌افزار ArcMap 10.3 استفاده گردید تا ارزش همه نقشه‌ها بین ۰ تا ۱ قرار گیرد.

(۸)

$$\text{ارزش حدافل - ارزش هر پیکسل از نقشه} = \frac{\text{ارزش هر پیکسل نقشه فازی}}{\text{ارزش حدافل - ارزش حداکثر}}$$



شکل ۴. لایه‌های فازی شده ورودی برای اجرای مدل ارزیابی توان اکولوژیکی کشاورزی و مرتعداری

۲.۳. محاسبه وزن شاخص‌ها در روش AHP

برای محاسبه وزن شاخص‌ها، ابتدا ماتریس مقایسه زوجی بر اساس نظر کارشناسان تهیه گردید. سپس طی

مراحل زیر وزن مربوط به هر شاخص محاسبه گردید.
مرحله اول: مطابق جدول ۱۱ مجموع هر یک از ستون‌ها به دست آمد.

جدول ۱۱. ماتریس مقایسه زوجی شاخص‌ها بر اساس نظر کارشناسان و جمع هر ستون

نوع پوشش گیاهی	تراکم پوشش گیاهی	ارتفاع	شیب	اقلیم	بافت خاک	زهکشی خاک	فرسایش پذیری خاک
۱	۴/۱۵	۳/۸۲	۳/۶۲	۴/۲۹	۵/۲۷	۴/۸۱	۴/۰۹
۰/۲۹	۱	۳/۶۳	۴/۰۹	۳/۹۰	۳/۸۷	۴/۴	۵
۱/۳۰	۱/۴۸	۱	۳/۰۶	۴/۴۷	۲/۸۵	۳/۱۴	۴/۲۸
۰/۸۸	۱/۳۶	۰/۷۵	۱	۲/۱۰	۲/۲۵	۱/۹۲	۲/۰۴
۱/۹۵	۱/۸۴	۰/۹۶	۲/۵۳	۱	۳/۹	۳/۹۶	۴/۴۳
۰/۲۲	۰/۵۸	۰/۹۵	۱/۹۱	۰/۷۵	۱	۴/۳۱	۴/۰۶
۰/۲۴	۰/۶۳	۱/۰۹	۲/۳۶	۰/۹۰	۰/۵۱	۱	۲/۱۵
۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۷۴	۱/۷۰	۰/۸۰	۰/۷۵	۱/۲۵	۱
۶/۰۶	۱۱/۲۹	۱۲/۹۴	۲۰/۲۵	۱۸/۲۱	۲۰/۳۹	۲۴/۷۹	۲۹/۰۳

مرحله دوم: داده‌های نرمال شده از تقسیم مقدار

عددی هر عنصر از ماتریس به جمع کل ستون همان عنصر به دست آمد.

مرحله سوم: میانگین عناصر در هر ردیف به دست

آمد که همان وزن هر شاخص می‌باشد (جدول ۱۲).

جدول ۱۲. نرمال‌سازی هر عنصر و میانگین هر ردیف

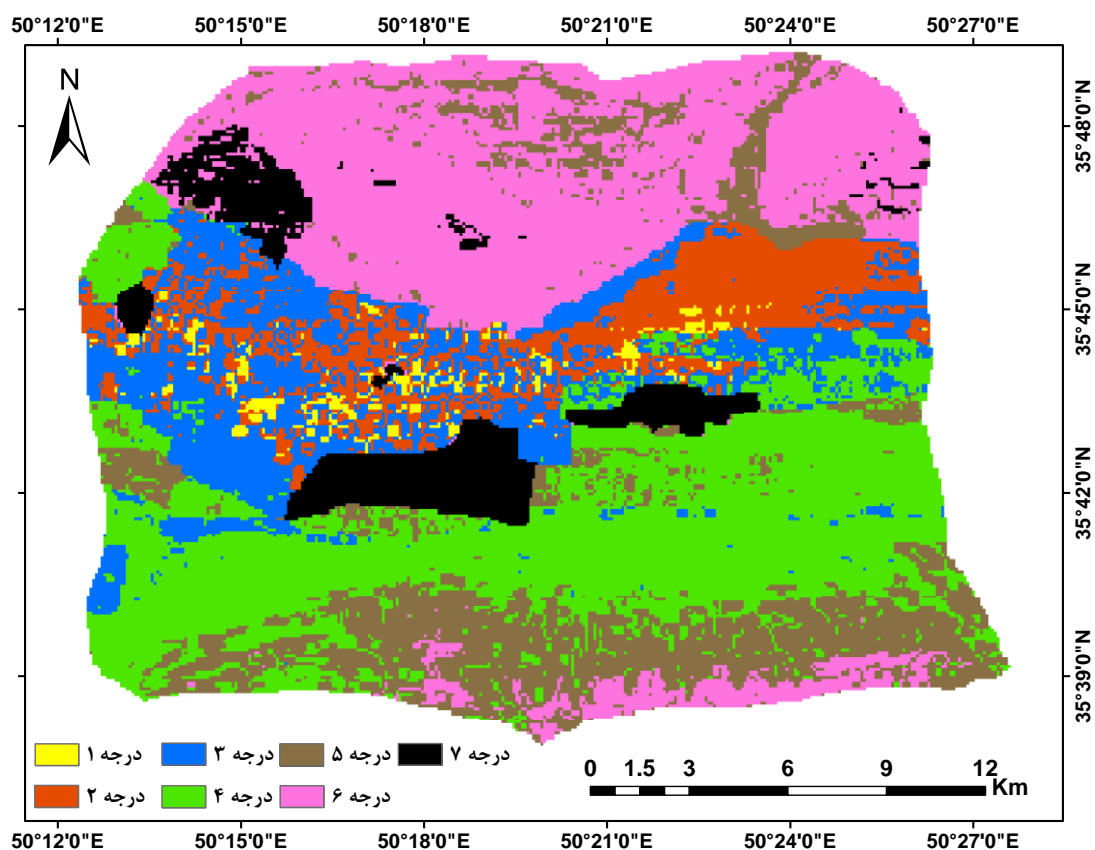
نوع پوشش گیاهی	تراکم پوشش گیاهی	ارتفاع	شیب	اقلیم	بافت خاک	زهکشی خاک	فرسایش پذیری خاک	جمع	میانگین (وزن)
۰/۱۷	۰/۳۷	۰/۳۰	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۲۱	۱/۹۰	۰/۲۴
۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۲۸	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۷	۱/۳۷	۰/۱۷
۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۵	۱/۲۳	۰/۱۵
۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۷۵	۰/۱۰
۰/۳۳	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۱۵	۱/۲۴	۰/۱۶
۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۶۶	۰/۰۸
۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۴۸	۰/۰۶
۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۳۶	۰/۰۴
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۸	۱

سپس با استفاده از وزن‌های به دست آمده از روش AHP، در محیط ArcMap 10.3 به هر کدام از نقشه‌ها وزن‌های مربوط به همان نقشه داده شد و نقشه فازی نهایی به صورت رستری به دست آمد. سپس برای جداسازی مناطق شهری از منطق بولین (صفر و یک)

استفاده شد، بدین ترتیب که به مناطق شهری ارزش صفر و به سایر مناطق ارزش یک تعلق یافت. همچنین به اراضی شورزار به علت محدودیت مربوط به شوری (هدایت الکتریکی خاک ۶۲/۶ دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر) ارزش ۰/۱ اختصاص یافت.

کلاس از درجه یک تا درجه هفت طبقه بندی گردیده است که در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنین در جدول ۱۳ مساحت این هفت کلاس بر حسب هکتار و درصد نشان داده شده است.

در پایان با ضرب نقشه فازی نهایی در نقشه اراضی شهری، نقشه نهایی ارزیابی توان اکولوژیک اراضی برای فعالیت‌های کشاورزی در منطقه اشتهارد به دست آمد. نقشه تناسب اراضی از نظر کشاورزی و مرتعداری به ۷



شکل ۵. نقشه نهایی ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین جهت کشاورزی در منطقه اشتهارد

جدول ۱۳. مساحت و درصد هر طبقه از اراضی منطقه مطالعاتی

درصد	مساحت (هکتار)	طبقه‌ها
۱/۵۰	۵۹۳	اراضی درجه یک
۹/۵۷	۳۷۹۳	اراضی درجه دو
۱۲/۵۴	۴۹۶۹	اراضی درجه سه
۲۵/۳۶	۱۰۰۵۷	اراضی درجه چهار
۱۶/۱۴	۶۳۹۸	اراضی درجه پنج
۲۴/۶۹	۹۷۸۶	اراضی درجه شش
۱۰/۲۰	۴۰۴۱	اراضی درجه هفت
۱۰۰	۳۹۶۳۷	جمع

مناطق خواهد شد. بنابراین به منظور توسعه محیط زیست و دستیابی به توسعه پایدار، پیش از برنامه ریزی برای استفاده از سرزمین، باید به ارزیابی توان اکولوژیکی آن در قالب برنامه ریزی های اصولی و منسجم پرداخت، به طوری که از هر سرزمین به تناسب استعدادها و توانمندی های آن استفاده شود. کشاورزی و مرتعداری به دلیل عملکردی که در حفاظت از محیط زیست، امنیت غذایی و نیز تأمین درآمد شاغلان این بخش ها دارد، امروزه به عنوان یکی از موضوعات مهم مطرح می باشد. از این رو در این پژوهش به ارزیابی توان اکولوژیکی از منظر کشاورزی و مرتعداری با در نظر گرفتن شاخص های نوع پوشش گیاهی، تراکم پوشش گیاهی، ارتفاع، شیب، اقلیم، بافت خاک، زهکشی خاک و فرسایش پذیری خاک و با به کارگیری رویکرد Fuzzy AHP و Fuzzy AHP به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی برای برنامه ریزی و مدیریت سرزمین مدنظر بوده است. از روش Fuzzy به منظور استانداردسازی لایه ها و از روش Fuzzy AHP برای اختصاص دادن وزن به هر یک از شاخص ها استفاده گردید.

در این پژوهش نتایج حاصل از روش Fuzzy AHP نشان دهنده این است که این روش در مطالعات آمایش سرزمین و به ویژه در مطالعات مربوط به بررسی و ارزیابی توان اکولوژیکی کارایی مناسبی دارد که با نتایج تحقیقات مشابه مطابقت دارد [۱۲، ۱۳].

با کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی در مراحل مختلف این مطالعه نیز با توجه به مزایا و فواید زیاد این فن آوری، شامل توانایی در ذخیره سازی و دستیابی سریع و کارآمد به داده های مکانی توصیفی و توانایی در کاربرد توابع مختلف، مشخص شد که استفاده از این سامانه در تعیین توان اکولوژیکی اراضی کارایی مناسبی دارد [۲، ۱۲، ۱۳، ۱۴].

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، اراضی با توان اکولوژیکی درجه یک ۱/۵۰ درصد، درجه دو ۹/۵۷ درصد، درجه سه ۱۲/۵۴ درصد، درجه چهار ۲۵/۳۶

بر پایه نقشه طبقه بندی نهایی، از مجموع کل مساحت منطقه اشتهارد، ۵۹۳ هکتار دارای توان درجه یک، ۷۷۰ ۳۷۹۳ هکتار دارای توان درجه دو، ۴۹۶۹ هکتار دارای توان درجه سه، ۱۰۰۵۷ هکتار دارای توان درجه چهار، ۶۳۹۸ هکتار دارای توان درجه پنج، ۹۷۸۶ هکتار دارای توان درجه شش و ۴۰۴۱ هکتار دارای توان درجه هفت را برای کشاورزی دارا هستند.

مدل اکولوژیک کشاورزی و مرتعداری شامل ۷ طبقه توان محیطی می باشد که طبقات ۱ و ۲ نشان دهنده اراضی با توان بالا به جهت فعالیت های کشاورزی، طبقه ۳ کشت دیم و فعالیت های جانبی کشاورزی، طبقات ۴ و ۵ برای فعالیت های مرتعداری و چرای حیات وحش مناسب است.

نتایج پژوهش حاضر نشان می دهد که مناطق با توان کشاورزی ۱ و ۲ به طور عمده از نظر شیب در شیب های ۰ تا ۵ درصد و خاک های با درجه حاصلخیزی بالا (بافت شنی لومی) و با فرسایش کم وجود دارند. در این گونه مناطق، خاک استعداد زیادی برای کشت دایم و منظم محصولات کشاورزی (غلات، دانه های روغنی، سبزی ها، صیفی جات و علوفه) بدون مواجه شدن با خسارت را دارد. نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت مدل به کار برده شده در این مطالعه نشان دهنده این است که بخش زیادی از اراضی با توان اکولوژیکی یک، دو و سه نقشه نهایی، منطبق بر کلاس های کاملاً مناسب هر یک از مشخصه های ورودی در مدل بوده است و این امر رضایت بخش بودن نتایج این مدل را در مطالعات ارزیابی توان اکولوژیکی نشان می دهد.

۴. بحث و نتیجه گیری

اراضی طبیعی در هر منطقه دارای توان اکولوژیکی محدودی برای استفاده بشر می باشد. در برخی از مناطق این محیط های طبیعی با کمترین خسارت، آماده توسعه است و در برخی دیگر از مناطق جزئی ترین توسعه و اقدامی در آن منجر به تخریب محیط زیست در آن

ارزیابی مناسب‌تر توان اکولوژیکی اراضی ارائه می‌گردد:

۱. با توجه به کارایی سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی که دارای سرعت و دقت بالا و هزینه کمی می‌باشند، مطالعه و پژوهش در زمینه ارزیابی توان اراضی بدون استفاده از این سیستم‌ها، نیاز به زمان بیشتری داشته و بررسی‌ها سنتی و نظری خواهند بود.
 ۲. تجزیه و تحلیل چند معیاره Fuzzy و Fuzzy AHP در استفاده از مدل‌های تلفیقی جهت مدل‌سازی و ارزیابی توان اکولوژیک، با افزایش اطمینان و دقت ارزیابی، به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند، از این رو پیشنهاد می‌شود تا از این روش‌ها جهت ارزیابی توان اراضی استفاده شود.
 ۳. به دلیل نزدیک بودن عرصه‌های کشاورزی به مناطق شهری، باید تا تا جایی که می‌شود از گسترش و نفوذ شهرنشینی به اراضی کشاورزی جلوگیری شود.
- درصد، درجه پنج ۱۶/۱۴ درصد، درجه شش ۲۴/۶۹ درصد و درجه هفت ۱۰/۲ درصد از کل منطقه را شامل می‌شود. نتایج نشان داد که بهترین مناطق جهت انجام فعالیت‌های کشاورزی در منطقه مورد مطالعه، اراضی مرکزی و نزدیک به محدوده اراضی شهری بوده و نیز اراضی واقع بر روی دامنه‌های کوه واقع در منطقه؛ منطقه مناسب جهت عملیات مرتعداری بوده در حالی که اراضی واقع در شمال منطقه به سبب وجود تپه‌های مارنی و مناطق جنوبی منطقه به دلیل شیب زیاد، دارای توان کمی جهت انجام امور مربوط به کشاورزی می‌باشد. از این رو و با مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با شرایط موجود در منطقه، گویای آن است که نواحی درجه یک و دو برای کشاورزی مساعد بوده و باید کشاورزی موجود تقویت شود. در منطقه دارای توان درجه سه، دارای شرایط مساعد جهت زراعت و باغداری و نیز تولید علوفه و دامداری جهت عملیات مرتعداری می‌باشد.
- با توجه به مراحل و نتایج به دست آمده در این پژوهش، در این بخش پیشنهادهایی جهت طراحی بهتر و

References

- [1] Ahmadi. M. Gh. F., Sourii. B., Pirbavaghar. M., 2012, Application of Fuzzy MCE Multi-criteria Evaluation Methods for Developing Agricultural and Rangeland Utilization in Gheshlagh Dam Watershed, Wetland Ecobiology, 4 (2), 69-82.
- [2] Ahmadi Sani. N., Babai Kafaki S., Mataji. A., 2011, Ecological Possibility of Ecotourism Activities in the Northern Zagros Forests Using MCDM, GIS and RS, Town and country Planning, Volume 3, Issue 4, Page 45-64
- [3] Azimi hosseini M., Theoretician Momeni. M. H., 2011, Application of GIS in Locating, Tehran, Mehreganeghalam Press.
- [4] Bhattacharya. A., J. Geraghty., P. Young., 2010, Supplier Selection Paradigm: An Integrated Hierarchical QFD Methodology Under Multiple-Criteria Environment, Applied Soft Computing, No. 10, Pp. 1013- 1027.
- [5] Elliott. J. A., (Translated by Roknedin Eftekhari, Alireza Rahimi, Hossein Rahimi), 2000, An Introduction to Sustainable Development in Developing Countries, Iranian Rural Development Institute Press.
- [6] Engineers of Sustainability Consulting and Resources, 2013, Najmabad Industrial town combating desertification plan.
- [7] Ghodsipour. H., 2006, Analytical Hierarchy Process, Tehran, Amirkabir University Press.
- [8] Hamed Shahraki. R., 2004, Investigating the Effect of Agricultural Operation on Degradation of Natural Resources (Case Study: Varamin Plain), Master's Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.

- [9] Makhdoum. M., 2001, Fundamental of land use planning, Fourth edition, University of Tehran Press.
- [10] Mansir. A., 2007, A geographic information system (GIS) and multi-criteria analysis for sustainable tourism planning.
- [11] Mirmohammadi. S. M., 2007, Land Planning and Economic Security Considerations, Tadbir Eghtesad Research Institute, Tehran.
- [12] Motiei Langeroudi. S. H. Nasiri. H, Azizi. A. Mostafaei A., 2011, Modeling the ecological potential of the land from the perspective of agricultural and rangelands using Fuzzy AHP method in GIS environment (Case study: Marvdasht city), *Land use planning Journal*, 4, No. 6, 101-124.
- [13] Nasiri. H., Alavipanah. S. K., Matinfar. H. R. Azizi. A. Hamzeh. M., 2012, implementation of Agricultural ecological model using PROMETHEE II and fuzzy AHP approach in GIS (case study: Marvdasht), *Environmentalology Journal*, 38 (3), 109-122.
- [14] Pourkhabaz., H. R., Aghdar. H., Fr Mohammadyari., Rahimi. V., 2014, Implementation of Agricultural Ecological Model Using AHP and FAHP in GIS Environment (Case study: Khaeiz Behbahan Region), Spatial planning, eighteenth period (4).
- [15] Reshmidevi. T. V., T. L. Eldho., R. Jana., 2009, A GIS-integrated fuzzy rule-based inference system for land suitability evaluation in agricultural watersheds, *Agricultural Systems*, 101: 101 –109.