

مقایسه مدل‌های Fuzzy AHP باکلی و ANP در ارزیابی توان جنگلداری (مطالعه موردی: حاشیه شهر بهبهان)

وحید رحیمی^۱، حمیدرضا پورخباز^{۲*}، حسین اقدر^۳ و فاطمه محمدیاری^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۹)

چکیده

سطح جنگل‌های زاگرس به‌طور دایم در خطر تخریب است. از اینرو باید مدیریتی بر باقی‌مانده این جنگل‌ها اعمال شود که مبتنی بر ارزیابی توان اکولوژیک باشد. ارزیابی سرزمین در واقع شامل پیش‌بینی یا سنجش کیفیت سرزمین برای یک کاربری خاص از نظر تولید، آسیب‌پذیری و نیازمندی‌های مدیریت است. بر این اساس در این تحقیق به ارزیابی توان اکولوژیک حاشیه شهر بهبهان برای کاربری جنگلداری پرداخته شد. بعد از انجام مطالعات پایه و تهیه نقشه‌های موضوعی منطقه شامل معیارهای خاک، اقلیم، فیزیوگرافی، پوشش گیاهی و سنگ بستر، از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی Fuzzy AHP باکلی و ANP جهت استانداردسازی و تعیین وزن معیارها استفاده گردید. در نهایت، مدل اکولوژیک توان منطقه برای الویت‌بندی کاربری جنگلداری ارائه و نقشه نهایی ارزیابی با استفاده از مدل WLC در هفت طبقه برای منطقه آماده گردید. نتایج نشان داد، در روش ANP، ۵۵/۵۸ درصد از مساحت منطقه برای کاربری اراضی جنگلداری مساعد است که به واقعیت نزدیک‌تر است، در صورتی که در روش Fuzzy AHP، ۹۵/۲۳ درصد از مساحت منطقه مساعد به‌دست آمد. در نهایت، چنین نتیجه‌گیری شد که روش ANP انعطاف‌پذیری بیشتر و قابلیت بالاتری در تعیین مناطق مناسب برای کاربری جنگلداری دارد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی زیست محیطی، مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره، کاربری جنگلداری، مدل ترکیب خطی وزنی، سامانه اطلاعات جغرافیایی

۱. گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان

۳. گروه علوم، دانشکده علوم دانشگاه شهید چمران اهواز

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Pourkhabbaz@yahoo.com

مقدمه

یکی از دغدغه‌های اصلی بشر تصمیم‌گیری در ارتباط با نوع استفاده از اراضی بوده است. با افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش نیازهای غذایی و اقتصادی آن (۱۸)، از توانایی‌های بالقوه زمین به صورت نامناسب استفاده گشته و بنابراین جنگل‌ها، مراتع و اراضی کشاورزی به مناطق صنعتی و شهری تغییر کاربری داده‌اند (۱۶). کشور ایران از لحاظ مساحت یک درصد از مساحت دنیا و بیش از یک درصد جمعیت جهان را دارا می‌باشد اما در حوزه جنگل از لحاظ مساحت از ۰/۳۶ درصد تجاوز نمی‌کند و همین سطح کم نیز همیشه در حال تهدید است (۱۲). بنابراین، شناخت ظرفیت تولید اراضی و اختصاص آن به بهترین و سودآورترین نوع کاربری از اهمیت خاصی برخوردار است (۲۷). برنامه‌ریزی برای استفاده بهینه از اراضی موجب می‌شود تا ضمن حداکثر بهره‌وری از زمین، منابع طبیعی برای استفاده آیندگان نیز محفوظ بماند (۳). هم‌چنین، تعیین کاربری‌های مناسب برای اراضی به منظور استفاده بهینه از سرزمین و جلوگیری از تخریب در اثر افزایش جمعیت می‌تواند گامی موثر در استراتژی توسعه پایدار باشد (۳۰).

برای ارزیابی توان اکولوژیکی سرزمین به منظور توسعه انواع کاربری‌ها سال‌هاست از روش سیستمی ابداعی مک هارگ استفاده می‌شود. در این روش که ارزیابی توان سرزمین را با استفاده از روی هم گذاری ساده لایه‌های جغرافیایی به روش دستی انجام می‌دهد، در مقایسه با روش‌های رایانه‌ای زمان زیادی لازم است (۱۱). بدین جهت استفاده از سخت‌افزارها و نرم‌افزارها در عصر حاضر جهت تصمیم‌گیری استفاده از اراضی، با توجه به حجم زیاد داده‌ها و تسهیلات فنی در رابطه با پردازش هندسی و گرافیکی و مدیریت این داده‌ها در سریع‌ترین زمان متداول گردیده است. در این بین سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌تواند اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی زمین را، به همراه اطلاعات توصیفی آن، ذخیره و به طور همزمان جهت طراحی و برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار دهد (۱۴) و با در نظر گرفتن تمامی پارامترها به طور همزمان،

سبب صرفه‌جویی در زمان و هزینه مالی گردد (۳۵). با این خصوصیات برای تعیین توان اکولوژیک و روی هم گذاری لایه‌ها و طبقه‌بندی امروزه این نرم‌افزار بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۰). در امر تصمیم‌گیری و ارزیابی توان، بحث عدم قطعیت موجب استفاده از منطق فازی به عنوان منطق مدل‌سازی ریاضی فرآیندهای غیردقیق و مبهم، که بستری را برای مدل‌سازی در شرایط عدم اطمینان فراهم می‌سازد، شده است (۱۱، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۱). علاوه بر این، در چند سال اخیر استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (Multiple Criteria Decision Making) برای ارزیابی توان اراضی به منظور اهمیت دادن به فاکتورها متداول گردیده است (۲، ۷، ۹، ۲۳ و ۳۴). اما در خصوص ارزیابی توان کاربری جنگلداری تحقیقات اندکی با مدل‌های FAHP (Fuzzy و ANP (Analytic Network Process) Analytic Hierarchy Process) انجام گرفته است. امیری و همکاران (۲) در ارزیابی توان کاربری جنگلداری در بخشی از شمال کشور از پارامترهای اکولوژیک از جمله فیزیوگرافی، سنگ مادر، عوامل اقلیمی و تراکم پوشش گیاهی استفاده و سپس با فازی‌سازی این پارامترها به کمک توابع عضویت خطی و غیرخطی و وزن‌دهی‌شان به روش AHP (Analytic Hierarchy Process)، نقشه نهایی ارزیابی منطقه را در محیط GIS ارائه دادند. سعیدی و نجفی (۸) جهت تعیین الویت خروج دام از جنگل در حوزه آبخیز دو گیلان، به کمک تصمیم‌سازی گروهی و با استفاده از فرایند ANP معیارها و زیرمعیارهای مورد نظر را وزن‌دهی و الویت‌بندی نمودند. خاشعی سیوکی و همکاران (۵) نقشه پهنه‌بندی شاخص‌های کمی و کیفی دشت نیشابور را جهت ارزیابی پتانسیل استحصال آب و زیاری و همکاران (۶) نیز مکان‌یابی عرصه‌های مناسب فضای سبز شهری تهران با روش FAHP انجام دادند. مرادزاده و همکاران (۱۵) ارزیابی توان اکولوژیک توسعه جنگلی منطقه دادآباد لرستان را با در نظر گرفتن شاخص‌های شیب، جهت، ارتفاع و مشخصه‌های خاک انجام دادند. در این ارتباط جهت

به‌روش (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) FAHP و (Analytic Network Process) ANP در مسائل توان اکولوژیک جنگلداری، چندان همه‌گیر نشده است. هدف تحقیق حاضر، ارزیابی تناسب اراضی منطقه بهبهان جهت تعیین کاربری جنگلداری با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی و مقایسه نتایج آن دو با یکدیگر است.

روش Fuzzy AHP باکلی

روش Fuzzy AHP ارائه شده توسط باکلی، شکل تعمیم یافته‌ای از روش AHP کلاسیک است. در این روش برای مقایسه زوجی گزینه‌ها از اعداد فازی دوزنقه‌ای و برای به‌دست آوردن وزن‌ها و ارجحیت‌ها از روش میانگین‌گیری هندسی استفاده می‌شود. این روش به‌سادگی به حالت فازی قابل تعمیم است (۱۰). اعداد فازی دوزنقه‌ای به‌منظور مدیریت و کار کردن با داده‌هایی که عدم قطعیت ذاتی دارند، انتخاب می‌گردند. الگوریتم روش باکلی را می‌توان در قالب چهار گام زیر بیان کرد (۲۶):

گام اول- اهمیت نسبی معیارها با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی، ارزیابی و برآورد می‌شود. تبدیل متغیرهای زبانی به اعداد فازی دوزنقه‌ای برای ارزیابی اهمیت معیارها در جدول ۱ آمده است.

گام دوم- با استفاده از عمل میانگین‌گیری، اعداد فازی دوزنقه‌ای به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$\tilde{c}_{jk} = \frac{1}{k} \left[\tilde{c}_{jk}^1 (+) \tilde{c}_{jk}^2 \dots (+) \tilde{c}_{jk}^k \right] \quad [1]$$

در اینجا نظرات و عملکردهای انفرادی کارشناسان گروه‌بندی می‌شود، که k تعداد کارشناسان و \tilde{c}_{jk} ارزیابی k امین تصمیم‌گیرنده بین معیارهای j ام و k ام در ماتریس مقایسه زوجی است.

گام سوم- وزن‌های فازی \tilde{w}_j به‌صورت رابطه (۲) محاسبه می‌گردد:

$$\tilde{a}_j = \left[\prod_{k=1}^n \tilde{a}_{jk} \right]^{1/n} \quad \text{و} \quad \sum_{j=1}^n \tilde{a}_j \quad [2]$$

ارزش دادن به لایه‌ها از منطق بولین و برای وزن‌دهی لایه‌ها از مدل AHP استفاده نمودند و در نهایت جهت تهیه لایه نهایی ارزیابی از نرم‌افزار GIS استفاده کردند. کرمی و همکاران (۱۱) برای مدل‌سازی بهینه کاربری اراضی جنگلداری در حوزه آبخیز بابل‌رود از داده‌ها و نقشه‌های اکولوژیکی از جمله شیب، جهت، زمین‌شناسی، گونه‌های گیاهی، تراکم پوشش گیاهی، دما و بارندگی استفاده و جهت وزن‌دهی لایه‌ها، تکنیک ترکیبی تصمیم‌گیری چند معیاره سلسله‌مراتبی (AHP) را نیز به لایه‌ها اعمال نمودند و در نهایت در محیط GIS کلیه نقشه‌ها روی هم گذاری گردید و نقشه نهایی ارزیابی به‌دست آمد. پورخباز و همکاران (۴) جهت پیاده‌سازی مدل آمایش کشاورزی در منطقه قزوین ابتدا پارامترهای اکولوژیک مورد نیاز را تعیین و سپس با کمک مدل ANP وزن‌دهی نمودند. در مرحله آخر با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی SAW در محیط GIS لایه نهایی ارزیابی منطقه تهیه گردید. فوآ و مینوا (۲۹) جهت برنامه‌ریزی جنگل‌های Kinabalu مالزی از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره براساس GIS استفاده نمودند. در این تحقیق ابتدا پارامترهای آب، خاک، تنوع زیستی و توان بالقوه تعیین و سپس جهت وزن‌دهی پارامترها از روش AHP و جهت استانداردسازی آنها از روش بی‌مقیاس سازی فازی استفاده گردید. گرین و همکاران (۲۵) از تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و GIS برای کاربری جنگلداری و مدیریت جنگل استفاده نمودند و این روش‌ها را برای هر دو مورد مقایسه کردند. اهمیت و توانایی تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره از جمله AHP، FAHP، ANP و FANP (Fuzzy Analytic Network Process) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در پژوهش‌های مختلف دیگر نیز بارز است (۲۲، ۲۸ و ۳۱). بررسی پیشنهاد پژوهش‌شان می‌دهد، علی‌رغم اینکه ارزیابی توان اکولوژیک و آمایش سرزمین، امروزه دارای دامنه علمی وسیعی بوده و تصمیم‌گیری برای آنها مستلزم درنظر گرفتن معیارهای متعدد است، اما استفاده از تکنیک‌های ریاضی تصمیم‌گیری

حال، به منظور استانداردسازی وزن‌های قطعی رابطه (۵) به کار برده می‌شود:

$$w_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j}, \quad j=1,2,\dots,n \quad [5]$$

روش ANP

فرایند تحلیل شبکه‌ای چون حالت عمومی AHP و شکل گسترده آن است، بنابراین تمام ویژگی‌های مثبت آن از جمله سادگی، انعطاف‌پذیری، به کارگیری معیارهای کمی و کیفی به طور همزمان، و قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها را دارا بوده و مضافاً می‌تواند ارتباطات پیچیده (وابستگی‌های متقابل و بازخورد) بین و میان عناصر تصمیم را با به کارگیری ساختار شبکه‌ای به جای ساختار سلسله مراتبی در نظر بگیرد (۲۴).

در روش ANP، وابستگی‌ها و بازخوردهای بین معیارها و زیر معیارها بررسی شده و نتایج واقعی‌تر نسبت به ساختار سلسله مراتبی ارائه می‌شود. بدین منظور پس از تدوین مدل شبکه‌ای، مقایسه‌های زوجی بین معیارها و زیر معیارهای وابسته یا دارای اثر متقابل با استفاده از مقیاس ارجحیت ۱ تا ۹ انجام می‌شود (جدول ۲). برای اجرای روش ANP پس از تلفیق نظرات کارشناسی، نتایج وارد نرم افزار Super Decision 2.0.8 می‌گردد. این فن دارای مراحل مختلف است. ابتدا وزن‌های ماتریس‌های مختلف وارد یک سوپر ماتریس می‌شود و سوپر ماتریس غیروزی (اولیه) به دست می‌آید. حال برای ایجاد سوپر ماتریس وزنی، هر یک از عناصر خوشه‌های ستونی سوپر ماتریس غیروزی در بردار اهمیت نسبی آن خوشه (از ماتریس خوشه‌ای) ضرب می‌گردد و سوپر ماتریس وزنی تصادفی/ احتمالی به دست می‌آید که جمع عناصر ستونی آن یک است. سپس سوپر ماتریس وزنی به توان حدی می‌رسد که تأثیر نسبی درازمدت هر یک از عناصر آن در یکدیگر حاصل شود. این کار را ادامه داده تا همه عناصر هر سطر سوپر ماتریس با هم برابر گردد یعنی ماتریس هم‌گرا شود. در نهایت کنترل نرخ

جدول ۱. مقیاس ارزیابی فازی

تعریف زبانی	امتیاز فازی
کاملاً قوی	(۵/۲، ۳، ۷/۲، ۴)
خیلی قوی	(۲، ۵/۲، ۳، ۷/۲)
نسبتاً قوی	(۳/۲، ۲، ۵/۲، ۳)
کمی قوی	(۱، ۳/۲، ۲، ۵/۲)
یکسان	(۱، ۱، ۱، ۱)
کمی ضعیف	(۲/۵، ۱/۲، ۲/۳، ۱)
نسبتاً ضعیف	(۱/۳، ۲/۵، ۱/۲، ۲/۳)
خیلی ضعیف	(۲/۷، ۱/۳، ۲/۵، ۱/۲)
کاملاً ضعیف	(۱/۴، ۲/۷، ۱/۳، ۲/۵)

جدول ۲. سیستم استاندارد نمره دهی در روش ANP

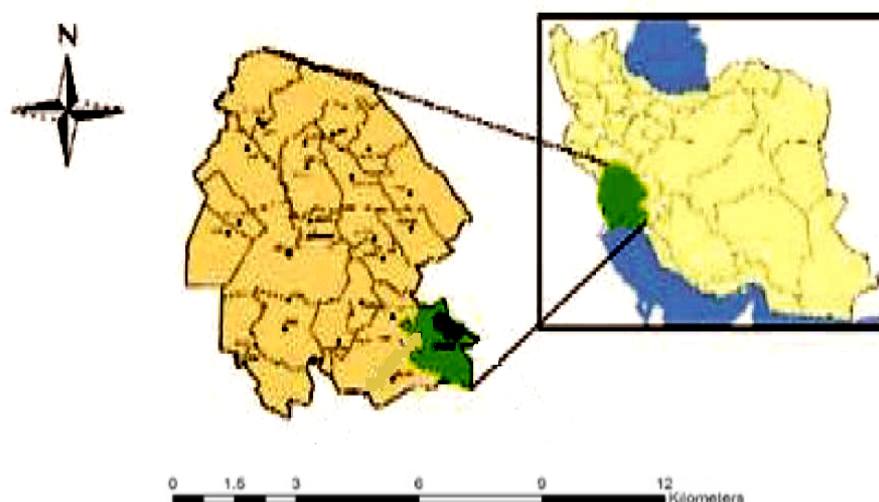
ترجیحات	عدد
دارای اهمیت با برتری کامل	۹
دارای اهمیت با برتری خیلی زیاد	۷
دارای اهمیت با برتری	۵
دارای کمی اهمیت با برتری	۳
دارای اهمیت با برتری یکسان	۱
ترجیحات بین فواصل فوق	۲ و ۴ و ۶ و ۸

به طور مشابه می‌توان b_j, c_j, d_j و a_j را نیز تعریف کرد. سپس وزن‌های فازی w_j به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود (۱۷).

$$\widetilde{w}_j = \left(\frac{a_j}{d}, \frac{b_j}{c}, \frac{c_j}{b}, \frac{d_j}{a} \right) \quad \forall j \quad [3]$$

گام چهارم- وزن‌های فازی دوزنقه‌ای، غیر فازی و نرمال سازی شد. به منظور غیرفازی سازی اعداد فازی دوزنقه‌ای، از رابطه (۴) استفاده می‌شود:

$$w_j = \frac{\frac{a_j}{d} + 2\left(\frac{b_j}{c} + \frac{c_j}{b}\right) + \frac{d_j}{a}}{6} \quad [4]$$



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی

این مطالعه، از روش‌های تصمیم‌گیری FAHP باکلی و ANP استفاده گردید. بدین ترتیب، مطالعه حاضر از نوع کاربردی و روش جمع‌آوری اطلاعات به دو شکل اسنادی (کتابخانه‌ای) و میدانی (پیمایشی) انجام گرفت، هم‌چنین از نرم‌افزارهای Surfer11 و Super Decision 2.0.8، Excel 2010، ArcGIS10 استفاده گردید. لایه DEM (Digital Elevation Model) منطقه از کدهای سازمان نقشه‌برداری به شماره‌های NWH. DGN 60512، SEH. DGN 60512، SWH. DGN 60512، NEH. DGN 60512 با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ به دست آمد. برای تهیه و طبقه‌بندی مجدد (Reclassification) لایه شیب از لایه DEM رستری منطقه استفاده شد. پیش از انجام عملیات ادغام نقشه‌ها، لازم است که کلیه لایه‌های مورد استفاده از اعداد و مقادیر معیار ارائه شده استاندارد شوند تا با استفاده از قواعد تصمیم‌گیری قابلیت ادغام داشته باشند. پس از آماده‌سازی و تهیه لایه‌های اطلاعاتی براساس روند نما، برای اجرای روش ANP و FAHP ابتدا لایه‌های اطلاعاتی به صورت رستری وارد محیط GIS شده و تحلیل‌های مکانی اولیه بر روی آنها انجام گرفت. سپس به منظور بی‌بعد کردن لایه‌های رستری از روش فازی و تعیین توابع عضویت استفاده و وزن‌های به دست آمده از دو روش ANP و FAHP بر روی لایه‌های فازی اعمال شد. نقشه‌هایی

ناسازگاری (Inconsistency, R) قضاوت‌ها دارای اهمیت است، که اگر از ۰/۱ فراتر رود، آن قضاوت ناسازگار بوده و بایستی در آن تجدید نظر کرد. به طور کلی با داشتن n عنصر، $n(n-1)/2$ قضاوت مورد نیاز است تا اعضای شبکه مقایسه زوجی شوند، الزاماً نباید تمام اعضاء گروه تصمیم‌گیری کلیه ارزیابی‌ها را انجام دهند.

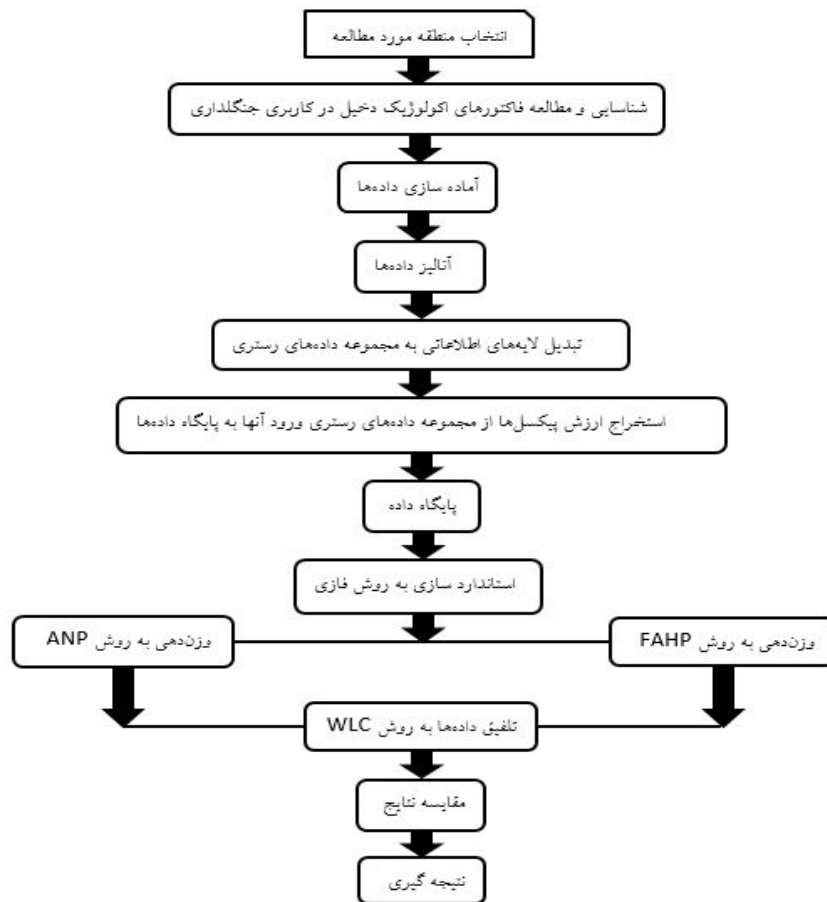
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه خائیز بین طول جغرافیایی $50^{\circ} 19'$ تا $50^{\circ} 29'$ شرقی و عرض جغرافیایی $30^{\circ} 36'$ تا $30^{\circ} 37'$ شمالی در شهرستان بهبهان، واقع در استان خوزستان قرار دارد و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۹۸۸ متر است. مساحت منطقه ۱۲۰ کیلومتر مربع و اقلیم منطقه براساس روش دومارتن خشک می‌باشد. (شکل ۱).

روش تحقیق

پارامترهای اکولوژیک مؤثر در کاربری جنگلداری در هفت طبقه مدل اکولوژیک حرفی ایران (۱۳)، به یک نسبت در تعیین طبقات این مدل نقش دارند، لذا برای وزن‌دهی این پارامترها در



شکل ۲. مراحل اجرای مدل‌سازی توان اکولوژیک کاربری جنگلداری

ارجحیت (۰/۱) هستند. ساختمان خاک نیز شامل سه نوع تحول یافته (بیشترین وزن)، نیمه تحول یافته و کم تحول یافته (کمترین وزن) است. لایه بارش از فرمول گرادیان $P=0.3H+208.66$ با ضریب همبستگی ۰/۷۵ و لایه دما از فرمول گرادیان $T=26.33-0.004H$ با ضریب همبستگی ۰/۹۶ به دست آمد (جدول ۳). مراحل اجرای تحقیق در شکل ۲ نشان داده شده است.

به منظور تلفیق لایه‌ها از روش مدل هم‌پوشانی شاخص یا ترکیب خطی وزنی (Weighted Linear Combination method) با کمک رابطه (۶) استفاده گردید.

$$A_i = \sum w_j x_{ij} \quad , \quad \sum w_j = 1 \quad [6]$$

که: A_i امتیاز گزینه i ام و x_{ij} نمره گزینه i ام در مورد صفت j ام و w_j وزن صفت j ام می‌باشد. این روش متداول‌ترین

چون بافت، زهکشی، ساختمان و عمق خاک، زمین‌شناسی و تیپ پوشش گیاهی که ساختاری کیفی دارند، به فرمت رستری با ساختار کمی تبدیل شدند. برای استانداردسازی این پارامترهای گسسته از نظرات کارشناسان استفاده گردید، به طوری که منطقه مورد نظر دارای بافت‌های لومی، لومی رسی، لومی شنی، سیلتی لومی، رسی و رسی شنی بوده که بافت خاک لومی بیشترین ارجحیت (۰/۹) و بافت لومی شنی کمترین ارجحیت (۰/۱) را به خود اختصاص داد. زهکشی خاک منطقه دارای سه نوع کامل، متوسط و کم می‌باشد که با توجه به مدل حرفی اکولوژیک ایران، به زهکشی کامل بیشترین ارجحیت (۰/۹) و زهکشی ناقص، کمترین ارجحیت (۰/۱) نسبت داده شد. عمق خاک منطقه از نوع عمیق، نیمه عمیق و سطحی و کم عمق می‌باشد که به ترتیب دارای بیشترین (۰/۹) تا کمترین

جدول ۳. ایستگاه‌های سینوپتیک مجاور حوزه آبخیز تنگ بالنگستان

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نوع ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (m)	متوسط بارندگی سالانه (mm)	متوسط درجه حرارت سالانه
بهبهان	۴۹°۴۱'	۳۰°۳۶'	سینوپتیک	۳۱۳	۳۱۹/۲۷	۲۴/۹۵
گچساران	۵۰°۴۶'	۳۰°۲۶'	سینوپتیک	۶۹۹/۵	۳۴۸/۲۲	۲۲/۹۴
دهدشت	۵۰°۳۵'	۳۰°۴۷'	سینوپتیک	۷۹۳/۵	۵۱۲/۱۶	۲۲/۷

جدول ۴. استاندارد سازی معیارهای پیوسته به روش فازی

معیار	نوع تابع	شکل تابع	نقاط کنترل			
			a	b	c	d
دما	خطی	ذوزنقه‌ای	۰	۱۸	۲۱	۲۴
ارتفاع از سطح دریا	خطی	نزولی	-	-	۱۰۰۰	۲۸۰۰
بارش	خطی	صعودی	۰	۵۰۰	-	-
شیب	خطی	نزولی	-	-	۴۵	۱۰۰

مدل برای انجام مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی می‌باشد.

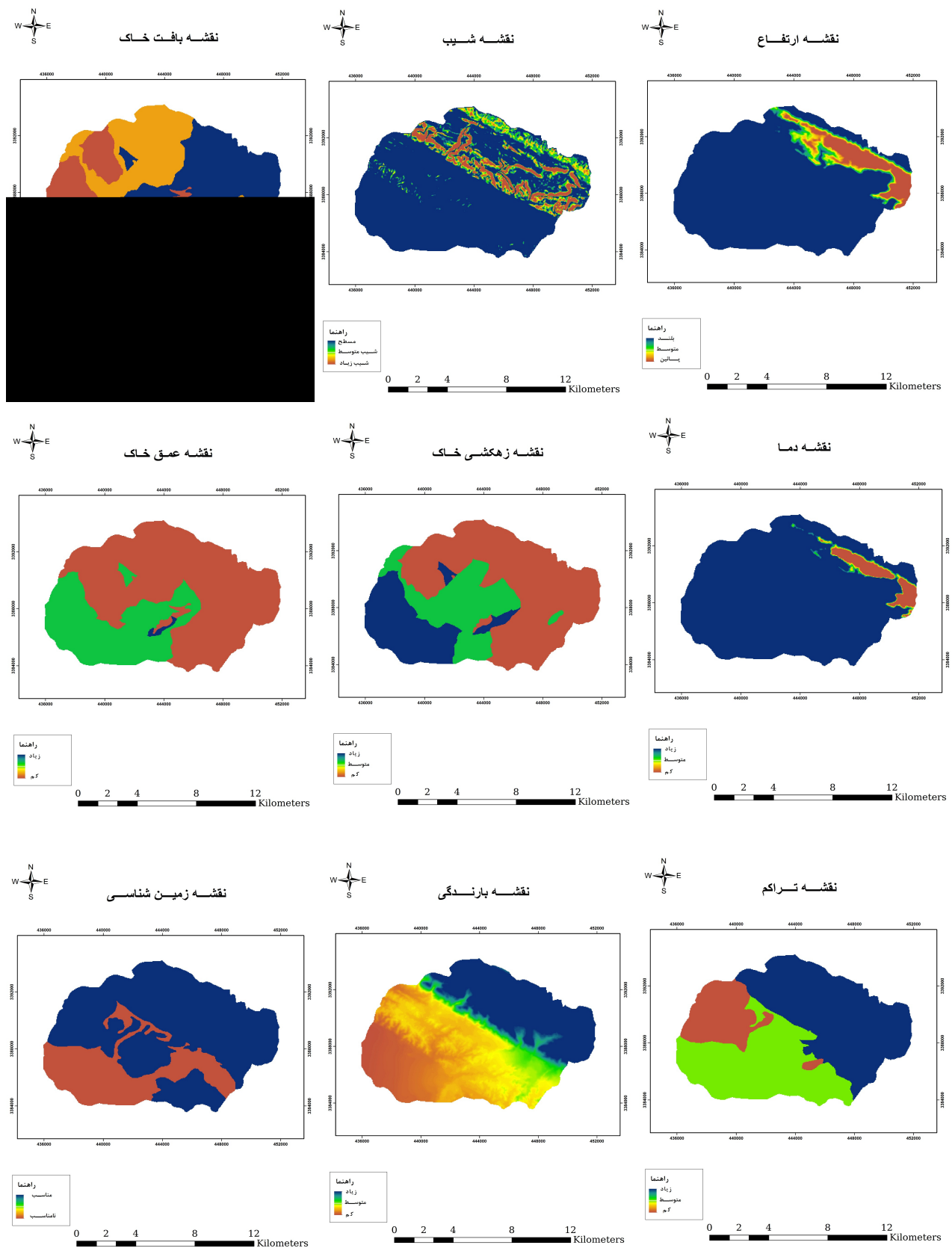
نتایج و بحث

با توجه به ویژگی‌های اکولوژیک محیط برای کاربری جنگلداری، به تعیین پهنه‌های مناسب برای آن پرداخته شد. بدین منظور پس از آماده سازی لایه‌های اولیه، جهت استانداردسازی لایه‌های پیوسته دما، بارش و شیب از توابع عضویت فازی در محیط ArcGIS 10 استفاده گردید. بر روی لایه دما تابع عضویت خطی ذوزنقه‌ای، لایه بارش تابع عضویت خطی افزایشی و لایه‌های شیب و ارتفاع از سطح دریا تابع عضویت خطی کاهشی اعمال شد (جدول ۴). بعد از استانداردسازی کلیه لایه‌ها (گسسته و پیوسته) (شکل ۳)، با استفاده از مدل FAHP و ANP مقایسات زوجی توسط کارشناسان انجام گرفت و وزن‌های مربوط به هریک از معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در ارزیابی توان کاربری جنگلداری محاسبه گردید (جداول ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹).

همان‌طور که از جدول ۵ نتیجه می‌شود وزن فازی معیارها

در روش FAHP برای به‌کارگیری آسان در لایه‌های مربوطه غیرفازی گردیدند. بنابراین، مشاهده می‌گردد که معیارهای فیزیوگرافی و زمین‌شناسی منطقه به‌ترتیب بالاترین و کم‌ترین وزن و اهمیت را نسبت به سایر معیارها دارند. وزن زیر معیارهای مربوطه نیز با نظرات کارشناسی و با کمک اعداد فازی به‌دست آمد (جدول ۶).

همان‌طور که مشاهده می‌شود زیر معیارهای دما، ارتفاع و تیپ گیاهی بالاترین و زیر معیارهای بارش، شیب و تراکم گیاهی کمترین وزن را به‌خود اختصاص دادند، و در بین معیارهای خاک، زیر معیارهای بافت و زهکشی به ترتیب دارای بیشترین و کمترین تاثیرگذاری می‌باشند. سپس، با ضرب وزن‌های نهایی این معیارها در لایه‌های فازی، نقشه‌های فازی موزون به‌دست آمد. برای اجرای روش ANP، بعد از ضرب هر یک از عناصر خوشه‌های ستونی سوپرماتریس غیروزی در بردار اهمیت نسبی آن خوشه (از ماتریس خوشه‌ای)، سوپرماتریس وزنی تصادفی / احتمالی به‌دست آمد که جمع عناصر ستونی آن یک است (جدول ۷).



شکل ۳. نقشه‌های فازی معیارهای اکولوژیک منطقه مطالعاتی

جدول ۵. ارزیابی FAHP معیارهای اکولوژیک کاربری جنگلداری

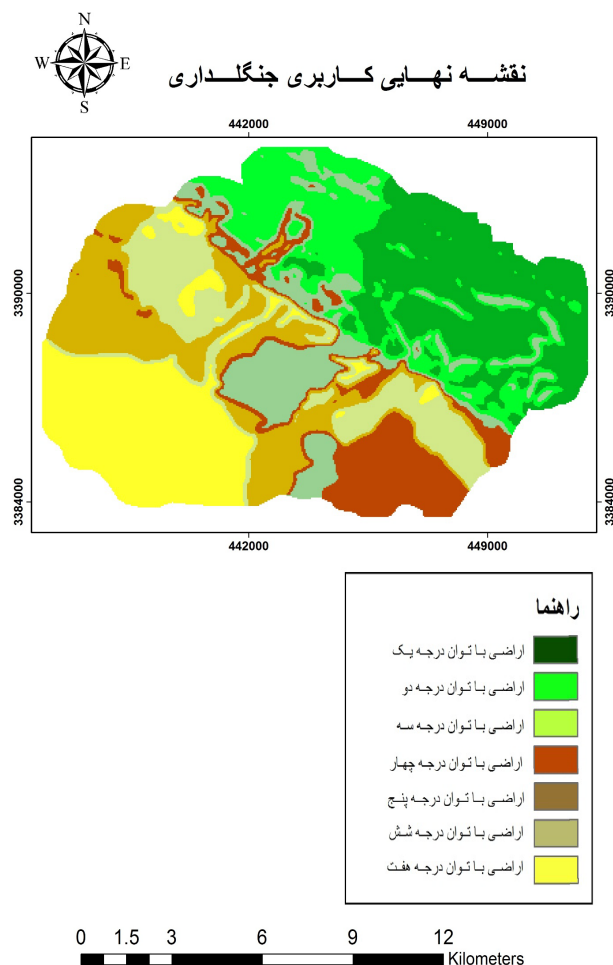
وزن نهایی	وزن‌های فازی	زمین‌شناسی	پوشش گیاهی	فیزیوگرافی	اقلیم	خاک	معیار
۰/۱۶	۲۸، ۰/۱۹، ۰/۱۳، ۰/۰۹	۱، ۳/۲، ۲، ۵/۲	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲، ۲/۳	۲/۷، ۱/۳، ۲/۵، ۱/۲	۳/۲، ۲، ۵/۲، ۳	۱، ۱، ۱، ۱	خاک
۰/۱۳	۰/۲۲، ۰/۱۵، ۰/۱۰، ۰/۰۷	۱، ۳/۲، ۲، ۵/۲	۲/۵، ۱/۲، ۲، ۳، ۱	۲/۷، ۱/۳، ۲/۵، ۱/۲	۱، ۱، ۱، ۱	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲، ۲/۳	اقلیم
۰/۳۹	۰/۶۴، ۰/۴۶، ۰/۳۴، ۰/۲۴	۲، ۵/۲، ۳، ۷/۲	۲، ۵/۲، ۳، ۷/۲	۱، ۱، ۱، ۱	۲، ۵/۲، ۳، ۷/۲	۲، ۵/۲، ۳، ۷/۲	فیزیوگرافی
۰/۲۲	۰/۳۸، ۰/۲۷، ۰/۱۹، ۰/۱۳	۳/۲، ۲، ۵/۲، ۳	۱، ۱، ۱، ۱	۲/۷، ۱/۳، ۲/۵، ۱/۲	۱، ۳/۲، ۲، ۵/۲	۳/۲، ۲، ۵/۲، ۳	پوشش گیاهی
۰/۱۰	۰/۱۹، ۰/۱۲، ۰/۰۸، ۰/۰۶	۱، ۱، ۱، ۱	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲، ۲/۳	۲/۷، ۱/۳، ۲/۵، ۱/۲	۲/۵، ۱/۲، ۲، ۳، ۱	۲/۵، ۱/۲، ۲، ۳، ۱	زمین‌شناسی

جدول ۶. ارزیابی زیر معیارهای اکولوژیک کاربری جنگلداری با روش FAHP

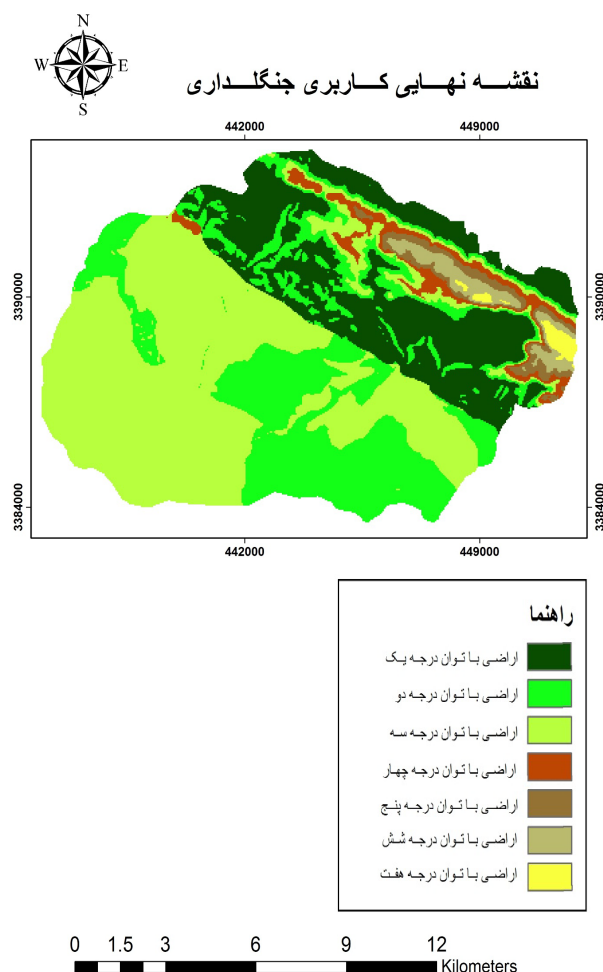
وزن نهایی	وزن‌های فازی	زیر معیارها	معیار اصلی	وزن نهایی	وزن‌های فازی	زیر معیارها	معیار اصلی
۰/۷	۰/۴۸، ۰/۶۲، ۰/۷۷، ۰/۹۶	دما	اقلیم	۰/۳۲	۰/۱۸، ۰/۲۷، ۰/۴۰، ۰/۵۸	بافت	خاک
۰/۳	۰/۲۳، ۰/۲۸، ۰/۳۵، ۰/۴۵	بارش					
۰/۷۳	۰/۵۵، ۰/۶۷، ۰/۸۰، ۰/۹۶	تپ	پوشش گیاهی	۰/۲۷	۰/۱۵، ۰/۲۳، ۰/۳۳، ۰/۴۹	ساختمان	
۰/۲۷	۰/۲۱، ۰/۲۴، ۰/۲۹، ۰/۳۶	تراکم		۰/۱۱	۰/۰۷، ۰/۰۹، ۰/۱۳، ۰/۲۰	عمق	
۰/۲۷	۰/۲۱، ۰/۲۴، ۰/۲۹، ۰/۳۶	شیب	فیزیوگرافی	۰/۰۹	۰/۰۵، ۰/۰۷، ۰/۱۰، ۰/۱۶	زهکشی	فرسایش
۰/۷۳	۰/۵۵، ۰/۶۷، ۰/۸۰، ۰/۹۶	ارتفاع		۰/۲۰	۰/۱۱، ۰/۱۶، ۰/۲۴، ۰/۳۸	فرسایش	

جدول ۷. سوپر ماتریس وزنی

زمین	پوشش گیاهی		اقلیم		فیزیوگرافی				خاک		خوشه‌ها و گره‌ها	
	سنگ بستر	تراکم	تیپ	بارش	دما	شیب	ارتفاع	زهکشی	ساختمان	عمق	بافت	(معیارها و زیر معیارها)
۰/۲۷۴	۰/۵	۰	۰/۱۸۳	۰/۱۸۳	۰/۱۸۳	۰/۲۸۸	۰	۰/۳۱۶	۰	۰	۰	بافت
۰/۰۳۸	۰	۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰/۰۴۸	۰	۰/۰۳۱	۰	۰	۰	عمق
۰/۱۶۵	۰	۰	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۴	۰	۰/۱۵۲	۰	۰	۰	ساختمان
۰/۰۲۱	۰	۰	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۲۲	۰/۲۵	۰	۰/۵	۰/۵	۰/۵	زهکشی
۰	۰	۰	۰	۰	۰/۴۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	ارتفاع
۰	۰	۰	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۹۳	۰	۰/۱۸۷	۰	۰	۰	۰	شیب
۰	۰	۰/۰۶۲	۰	۰	۰	۰	۰/۰۴۱	۰	۰	۰	۰	دما
۰	۰	۰/۴۳۷	۰	۰	۰	۰	۰/۲۰۸	۰	۰	۰	۰	بارش
۰/۴۳۷	۰/۵	۰	۰/۲۹۱	۰/۲۹۱	۰/۲۹۱	۰/۴۳۷	۰/۲۱۸	۰/۴۳۷	۰/۴۳۷	۰/۴۳۷	۰/۴۳۷	تیپ
۰/۰۶۲	۰	۰/۵	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	تراکم
۰	۰	۰	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۱۹۴	۰	۰/۰۶۲	۰	۰	۰	۰	سنگ بستر



شکل ۵. نقشه نهایی کاربری جنگلداری با استفاده از مدل ANP



شکل ۴. نقشه نهایی کاربری جنگلداری با استفاده از مدل FAHP

$$F_1 = E(1,2,3,4,5) + So(1,2,3,4,5,6,7) + Cp(5,6,7) + Ct(2) + Li(2,7) + Pte(8,9,11,12) + Es(1,2) + Ps_1(1) + Pdr(1,2) + Bvc(1,2) + Vgo(1)$$

مشخصه‌ها: E ارتفاع از سطح دریا، So درصد شیب، Cp میزان بارندگی، Ct عمق خاک، Li سنگ مادری، Pte بافت خاک، Es فرسایش خاک، Ps_1 ساختمان خاک، Pdr زهکشی خاک، Bvc تیپ گیاهی، Vgo درصد تراکم پوشش گیاهی می‌باشند.

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که منطقه مورد مطالعه دارای هر هفت طبقه مدل جنگلداری است. مساحت کلاس‌های توان منطقه (جدول ۱۰) در نقشه‌های زون بندی نهایی نشان می‌دهد که از مجموع کل مساحت منطقه به‌روش ANP، ۱۸/۷۳ درصد دارای توان درجه یک و ۰/۸۶ درصد دارای توان درجه هفت

جدول ۸ سوپرماتریس وزنی را نشان می‌دهد که به توان حدی رسیده و همه عناصر هر سطر سوپرماتریس با هم برابر گردید یعنی ماتریس هم‌گرا شده است.

نتایج به‌دست آمده از جدول ۹ نشان می‌دهد که در روش ANP معیار تیپ گیاهی بالاترین وزن و معیار ارتفاع کمترین وزن را دارند.

در پایان پس از به‌دست آوردن وزن نهایی هر لایه به‌دو روش ANP و FAHP، لایه‌های رستری وزنی براساس تابع (۱) جمع شدند تا نقشه نهایی تناسب به‌دست آید (شکل‌های ۴ و ۵).

تابع (۱): مدل خطی ترکیب وزنی لایه‌ها در منطقه مورد مطالعه برای طبقه یک جنگلداری

جدول ۸. سوپر مائریس حد

زمین	پوشش گیاهی			بیوکلیماتولوژی			فیزیوگرافی			خاک			خوشه‌ها و گره‌ها		
	تراکم	تیپ گیاهی	تراکم	تیپ	بارش	دما	شیب	ارتفاع	زهکشی	ساختمان	عمق	بافت	(معیارها و زیر معیارها)	بافت	عمق
سنگ بستر	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵	بافت	۰/۱۶۵	۰/۱۶۵
	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	عمق	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹
	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱	ساختمان	۰/۰۴۱	۰/۰۴۱
	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱	زهکشی	۰/۱۱۱	۰/۱۱۱
	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	ارتفاع	۰	۰
	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲	شیب	۰/۰۱۲	۰/۰۱۲
	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	دما	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸
	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	بارش	۰/۱۳	۰/۱۳
	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶	تیپ	۰/۲۹۶	۰/۲۹۶
	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸	تراکم	۰/۱۷۸	۰/۱۷۸
	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶	سنگ	۰/۰۳۶	۰/۰۳۶
													بستر		

جدول ۹. وزن نهایی معیارها با روش ANP

معیارها	بافت خاک	عمق خاک	ساختمان خاک	زهکشی خاک	بارش	شیب	دما	تیپ گیاهی	تراکم	ارتفاع	زمین
وزن نهایی	۰/۱۶۵	۰/۰۰۹	۰/۰۴۱	۰/۱۱۱	۰/۱۳۰	۰/۰۱۳	۰/۰۱۹	۰/۲۹۷	۰/۱۸۷	۰/۰۰۱	۰/۰۳۶

جدول ۱۰. مساحت کلاس‌های توان کشاورزی حاصل از روش ANP و FAHP

کلاس‌ها	روش FAHP		روش ANP	
	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)
اراضی درجه یک	۲۶/۷۴	۲۲/۲۵	۲۲/۵۱	۱۸/۷۳
اراضی درجه دو	۳۶/۴۸	۳۰/۳۵	۱۵/۶۲	۱۳
اراضی درجه سه	۴۷/۴۱	۳۹/۴۴	۱۴/۵۲	۱۲/۰۸
اراضی درجه چهار	۳/۸۳	۳/۱۹	۱۴/۱۵	۱۱/۷۷
اراضی درجه پنج	۲/۴۵	۲/۰۴	۲۲/۲۸	۱۸/۵۴
اراضی درجه شش	۲/۴۸	۲/۰۶	۳۰/۰۸	۲۵/۰۲
اراضی درجه هفت	۰/۸۱	۰/۶۷	۱/۰۴	۰/۸۶
جمع	۱۲۰/۲	٪ ۱۰۰	۱۲۰/۲	٪ ۱۰۰

برای جنگلداری می‌باشد و به روش FAHP، ۲۲/۲۵ درصد دارای توان درجه یک و ۰/۶۷ درصد دارای توان درجه هفت است. به‌طور کلی مناطق مناسب برای این کاربری (مجموع کلاس‌های یک تا چهار) در دو روش ANP و FAHP به‌ترتیب ۵۵/۵۸ و ۹۵/۲۳ می‌باشد.

توجه به نقشه‌های نهایی به‌دست آمده از هر دو روش و تجزیه و تحلیل آنها در Google Earth نشان می‌دهد مناطقی که از نظر معیارهای اکولوژیکی دارای شباهت یکسان بودند در روش ANP در یک طبقه اما در روش FAHP در دو طبقه متفاوت قرار گرفته‌اند که این با واقعیت موجود سازگار نیست. امیری و همکاران (۲) ارزیابی توان جنگلداری را با پارامترهای اکولوژیکی مشابه به‌منظور پیاده‌سازی مدل موردنظر انجام دادند و مشابه تحقیق حاضر نتیجه گرفتند که وزن‌دهی و فازی نمودن معیارها به کمک مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در امر ارزیابی سرزمین نقش بسزایی دارد. در تحقیق مرادزاده و همکاران (۱۵) به‌منظور ارزیابی توان جنگلداری پارامترهای اکولوژیک مشابه با این تحقیق در نظر گرفته شد. در این تحقیق نیز اهمیت وزن‌دهی پارامترها و استفاده از توانایی GIS در امر ترکیب و روی هم گذاری لایه‌ها نمایان است. زیاری و همکاران (۶) به‌منظور تعیین مکان‌های مناسب برای فضا‌های سبز شهری به این نتیجه رسیدند که بدون وزن‌دهی به معیارها به نتایج

مطلوبی نمی‌توان رسید، ضمناً با توجه به نظرات غیرقطعی کارشناسان و برای رسیدن به نتایج بهینه همانند تحقیق حاضر از مدل تصمیم‌گیری FAHP استفاده نمودند. در تحقیقی مشابه ولف‌اسلحتر و همکاران (۳۷) نیز در مقایسه بین مدل‌های تصمیم‌گیری AHP و ANP در زمینه مدیریت جنگل‌ها به نتایج مشابه دست یافتند و به این نتیجه رسیدند که با توجه به پیچیدگی مسئله کاربری اراضی، کاربرد روش ANP نسبت به AHP دارای اولویت است و در مطالعه‌ای دیگر توسط ولف‌اسلحتر و واسیک (۳۶) بر پایه مدیریت پایدار جنگل (SFM)، مشابه تحقیق حاضر به برتری مدل ANP در مدیریت منابع طبیعی دست یافت. تحقیقات دیگر از جمله اشرفی‌پور (۱)، تسایی و چوو (۳۲) و تسنگ (۳۳) مشابه مطالعه حاضر بر کاربرد مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در امر برنامه‌ریزی و ارزیابی توان سرزمین تأکید دارند. یکی از محدودیت‌های روش FAHP این است که ضرایب اهمیت هر سطح را لزوماً براساس سطح بالاتر مشخص می‌کند و ارتباط داخلی بین عناصر را ممکن نمی‌سازد. با توجه به جامعیت روش ANP جهت استفاده در مسائل پیچیده تصمیم‌گیری (۱۰) خصوصاً در مدیریت منابع طبیعی در بسیاری از مطالعات، نتیجه می‌شود روش ANP نسبت به روش FAHP از بسیاری جهات برتری دارد. مقایسه نتایج در Google Earth نیز این موضوع را تایید می‌نماید، زیرا

که مناطق دارای پارامترهای اکولوژیک مشابه که بایستی در یک طبقه قرار گیرند، در مدل FAHP در طبقات مختلف دیده می‌شود.

نتیجه‌گیری

از آنجا که اصول مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح در منابع طبیعی، بر پایه شناخت استعدادها و ارزیابی توان اکولوژیک اکوسیستم استوار است، آگاهی از این استعدادها و تعیین پتانسیل منابع مذکور می‌تواند راه‌گشای تهیه و اجرای طرح‌های کاربردی و عملی نظیر توریسم، جنگلداری، کشاورزی و غیره به‌منظور نیل به اهداف اقتصادی و حمایتی و حفاظتی باشد. از اینرو، در این تحقیق، مدل اکولوژیک کاربری جنگلداری با نگرش همه‌جانبه به کلیه فاکتورهای اکولوژیک در منطقه خائیز به‌عنوان واحد برنامه‌ریزی و مدیریت سرزمین مدنظر بوده است. در این راستا مطالعه و آماده‌سازی فاکتورهای فیزیکی و زیستی انجام گرفت. بررسی دقیق نتایج حاصل و مقایسه با وضعیت منطقه، گویای آن است که در نواحی گسترده با توان درجه یک تا چهار، شرایط برای این کاربری مساعد است. با توجه به نتایج موجود، مناطق غربی و جنوبی منطقه با زهکشی کم خاک، سازند کوآترنری، تراکم پوشش گیاهی کم و دارای تیپ گیاهی بیشتر

علفی، مناسب برای کاربری جنگلداری نمی‌باشد ولی در مناطق شمالی و شمال شرقی این منطقه که دارای زهکشی زیاد، خاک کم تحول یافته، سازند آسماری و تراکم پوشش درختی با درصد پوشش بالای ۶۰ درصد شامل گونه‌های غالب *Qercus brantii* و *Ziziphus spina-chriti* می‌باشد، مناسب برای کاربری جنگلداری است. هم‌چنین، نتایج کنترل طبقات مدل جنگلداری در این مطالعه، ضمن تأیید مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (FAHP) در منطقه مورد مطالعه، مشخص نمود که بهترین روش جهت ارزیابی، روش ANP است که عمل ارزیابی اکولوژیک سرزمین را با دقت بیشتری مدلسازی کرده و تطابق بیشتری با واقعیت زمینی داشت. لذا، با منطق به‌کار رفته در روش‌های مورد استفاده برای وزن‌دهی به لایه‌ها (FAHP و ANP)، به‌واسطه کاهش بحث عدم قطعیت در مرحله تصمیم‌گیری، با توجه به نتایج موجود می‌توان گفت که اعتماد به روش ANP می‌تواند بیشتر باشد. هم‌چنین، با مقایسه نتایج به‌دست آمده در نرم‌افزار Google Earth و بررسی‌های میدانی می‌توان گفت، نتایج روش ANP به واقعیت نزدیک‌تر است و به این وسیله پشتیبانی لازم را برای تصمیم‌گیرندگان و مدیران محیط زیست به‌عمل می‌آورد.

منابع مورد استفاده

۱. اشرفی‌پور، ر. ۱۳۸۶. آمایش حوضه آبخیز دوهزار تنکابن با هدف توسعه اکوتوریسم. رساله دکتری رشته جنگلداری. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران.
۲. امیری، م. ج.، س. غ. جلالی، ع. سلمان ماهینی، س. م. حسینی و ف. آذری دهکردی. ۱۳۸۸. ارزیابی توان اکولوژیکی جنگل‌های حوضه‌های آبخیز دوهزار و سه هزار شمال ایران با استفاده از GIS. فصلنامه محیط‌شناسی، ۳۵ (۵۰): ۳۳-۴۴.
۳. ایوبی، ش. ا. و ا. جلالیان. ۱۳۸۹. ارزیابی اراضی (کاربری‌های کشاورزی و منابع طبیعی). مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ۳۸۵ ص.
۴. پورخباز، ح. ر.، س. جوانمردی، ا. ر. یآوری و ح. ع. فرجی سبک‌بار. ۱۳۹۲. کاربرد روش تصمیم‌گیری چند معیاره و مدل تلفیقی ANP-DEMATEL در آنالیز تناسب اراضی کشاورزی (مطالعه موردی: دشت قزوین). فصلنامه محیط‌شناسی، ۳۹ (۳): ۱۶۴-۱۵۱.
۵. خاشعی سیوکی، ع.، ب. قهرمان و م. کوچک‌زاده. ۱۳۹۰. ارزیابی پتانسیل استحصال آب از آبخوان از روش فرآیند تحلیل سلسله

- مراتبی فازی (مطالعه موردی: دشت نیشابور). *مجله پژوهش آب ایران*، ۵(۹): ۱۷۱-۱۸۰.
۶. زیاری، ک.، م. شادمان رودپشتی، س. حسن‌پور و ا. مصطفایی. ۱۳۹۲. مکان‌یابی عرصه‌های مناسب فضای سبز شهری با استفاده از روش ترکیبی AHP و فازی در محیط GIS (مطالعه موردی: منطقه ۱۴ شهرداری کلان شهر تهران). *فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی*، ۱۳(۴۳): ۱۹-۳۸.
۷. سالاری، م.، ه. معاضد و ف. رادمنش. ۱۳۹۱. مکان‌یابی محل دفن پسماند شهری با استفاده از مدل FUZZY AHP در محیط GIS (مطالعه موردی: شهر شیراز). *مجله طلوع بهداشت*، ۳۴(۱): ۹۶-۱۰۹.
۸. سعیدی، ح. ر. و ا. نجفی. ۱۳۸۹. کاربرد فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در تعیین اولویت خروج دام از جنگل و ساماندهی جنگل‌نشینان (مطالعه موردی: سری باباکوه، حوضه آبخیز دوگیلان). *مجله جنگل ایران*، ۲(۴): ۳۰۹-۳۲۱.
۹. سفینیان، ع. و ل. خداکرمی. ۱۳۹۰. تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی فازی. *آمایش سرزمین*، ۳(۴): ۱۹۵-۱۱۴.
۱۰. عطائی، م. ۱۳۸۹. تصمیم‌گیری چند معیاره. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ۳۴۸ ص.
۱۱. کرمی، ا.، س. م. حسینی نصر، ح. جلیوند و م. ح. میریعقوب‌زاده. ۱۳۹۱. ارزیابی توان اکولوژیکی حوضه آبخیز بابل رود برای جنگلداری با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. *مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۱۹(۱): ۱-۲۲.
۱۲. لاجوردی، س. ۱۳۸۱. منابع طبیعی در جهان. *مجله جنگل و مرتع*، ۵۷: ۷۷-۷۹.
۱۳. مخدوم، م. ۱۳۹۰. شالوده آمایش سرزمین. انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۳۰۰ ص.
۱۴. مخدوم، م.، ع. ا. درویش‌صفت، ه. جعفرزاده و ع. مخدوم. ۱۳۹۰. ارزیابی و برنامه‌ریزی محیط زیست با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی. انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۳۰۹ ص.
۱۵. مرادزاده، ف.، س. بابایی کفایی و ا. متاجی. ۱۳۹۰. ارزیابی توان اکولوژیکی توسعه جنگل با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) (مطالعه موردی: منطقه دادآباد در استان لرستان). *مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده*، ۲(۴): ۱۱-۲۲.
16. Akinci, H., A. Y. Özalp and B. Turgut. 2013. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture* 97: 71-82.
17. Ananda, J. and G. Herath. 2009. A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning. *Ecological Economics* 68(10): 2535-2548.
18. Badenko, V. and D. Kurtener. 2004. Fuzzy Modelling in GIS Environment to Support Sustainable Land Use Planning. Paper presented at the 7th AGILE Conference on Geographic Information Science, 29 April-1 May 2004, Heraklion, Greece, 333-342.
19. Bhattacharya, A., J. Geraghty and P. Young. 2010. Supplier selection paradigm: An integrated hierarchical QFD methodology under multiple-criteria environment. *Applied Soft Computing* 10(4): 1013-1027.
20. Brown, G. and C. M. Raymond. 2014. Methods for identifying land use conflict potential using participatory mapping. *Landscape and Urban Planning* 122: 196-208.
21. Chen, C. T., C. T. Lin, and S. F. Huang. 2006. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. *International Journal of Production Economics* 102(2): 289-301.
22. Chen, Y., J. Yu and S. Khan. 2013. The spatial framework for weight sensitivity analysis in AHP-based multi-criteria decision making. *Environmental Modelling and Software* 48: 129-140.
23. Deng, H. 1999. Multicriteria analysis with fuzzy pairwise comparison. *International Journal of Approximate Reasoning* 21(3): 215-231.
24. García-Melón, M., J. Ferrís-Oñate, J. Aznar-Bellver, P. Aragonés-Beltrán and R. Poveda-Bautista. 2008. Farmland appraisal based on the analytic network process. *Journal of Global Optimization* 42(2): 143-155.
25. Greene, R., J. E. Luther, R. Devillers and B. Eddy. 2010. An approach to GIS-based multiple criteria decision analysis that integrates exploration and evaluation phases: Case study in a forest-dominated landscape. *Forest Ecology and Management* 260(12): 2102-2114.
26. Kaya, T. and C. Kahraman. 2011. An integrated fuzzy AHP-ELECTRE methodology for environmental impact

- assessment. *Expert Systems with Applications* 38(7): 8553-8562.
27. Liang, S., X. Li and J. Wang. 2012. Land cover and land use changes. PP. 703-772 .Liang, S., X. Li and J. Wang (Eds.), Advanced Remote Sensing. Academic Press. Boston
28. Othman, A. N. and S. N. Naim. 2012. GIS based multi-criteria decision making for landslide hazard zonation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 35: 595-602.
29. Phua, M. H. and M. Minowa. 2005. A GIS-based multi-criteria decision making approach to forest conservation planning at a landscape scale: a case study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia. *Landscape and Urban Planning* 71: 207-222.
30. Prato, T. 2007. Evaluating land use plans under uncertainty. *Land Use Policy* 24(1): 165-174.
31. Sánchez-Lozano, J. M., J. Teruel-Solano, P. L. Soto-Elvira and M. Socorro García-Cascales. 2013. Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 24(0): 544-556.
32. Tsai, W. H. and W. C. Chou. 2009. Selecting management systems for sustainable development in SMEs: A novel hybrid model based on DEMATEL, ANP, and ZOGP. *Expert Systems with Applications* 36: 1444-1458.
33. Tseng, M. L. 2011. Importance–performance analysis of municipal solid waste management in uncertainty. *Environmental Monitoring and Assessment* 172: 171-187.
34. Tseng, M. L. 2011. Using a hybrid MCDM model to evaluate firm environmental knowledge management in uncertainty. *Applied Soft Computing* 11(1): 1340-1352.
35. Tweed, S. O., M. Leblanc, J. A. Webb and M. W. Lubczynski. 2007. Remote sensing and GIS for mapping groundwater recharge and discharge areas in salinity prone catchments, southeastern Australia. *Hydrogeology Journal* 15(1): 75-96 .
36. Wolfslehner, B. and H. Vacik. 2008. Evaluating sustainable forest management strategies with the Analytic Network Process in a Pressure-State-Response framework. *Journal of Environmental Management* 88: 1-10.
37. Wolfslehner, B., H. Vacik and M. J. Lexer. 2005. Application of the analytic network process in multi-criteria analysis of sustainable forest management. *Forest Ecology and Management* 207: 157-170.