مجله آمایش جغرافیایی فضا، دورهٔ ۱۱، شمارهٔ ۴، پیاپی ۴۲، زمستان ۱۴۰۰
صص. ۵۶-۴۱

http://doi.org/10.30488/GPS.2021.245005.3291

ارزیابی بوم‌شناختی جهت برنامه‌ریزی استفادهٔ بهینه از سرزمین مطالعهٔ موردی:حوضهٔ آبخیز طالقان

فاطمه محبی [۱]- دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
فرهاد حسینعلی – استادیار گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، تهران، ایران
علی اصغر آل شیخ – استاد گروه مهندسی GIS دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، ایران
امیرحسین کاظم – کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۵ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶**

چکیده

آدمی در طول تاریخ همواره برای تأمین نیازهای اصلی خود به محیط زیست خود متکی بوده است اما اثراتی را بر سرزمین به خاطر اعمال مدیریت‌ها و مداخلات درست یا نادرست وارد می‌نماید؛ به همین جهت، بررسی توان بوم‌شناختی برای توسعهٔ آینده سرزمین اهمیت می‌یابد. از طرفی توسعهٔ پایدار هنگامی محقق می‌شود که از سرزمین به تناسب ظرفیت‌های آن استفاده گردد. این مسئله در حوضهٔ آبخیز طالقان که دارای قابلیت‌های بالقوه فراوان و تنوع زیست‌محیطی است، اهمیت دوچندان دارد و شایسته است از این قابلیت‌ها به شکل بهینه استفاده شود. به همین منظور فرآیند ارزیابی بوم‌شناختی جهت تعیین مطلوبیت این حوضه برای گسترش کاربری‌های جنگلداری، اکوتوریسم گسترده و کاربری شهری و روستایی با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره و GIS انجام گردید. فرآیند عملی پژوهش پس از مطالعات کتابخانه‌ای، جمع‌آوری و پردازش اطلاعات مورد نیاز آغاز گردید. تمامی معیارها براساس مدل اکولوژیک دکتر مخدوم استخراج شد، میزان مطلوبیت هر معیار، جداگانه برای هر کاربری و با تشکیل تابع عضویت فازی به‌دست آمد؛ سپس با استفاده از نظرات کارشناسان و با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبیAHP، وزن معیارها تعیین شدند. در مرحلهٔ بعد عملیات همپوشانی نقشه‌های معیار کاربری بهینه انجام گردید و در نهایت محدودیت‌های حوضهٔ آبخیز از آن خارج شدند. نتیجهٔ نهایی به صورت نقشه‌هایی است که منطقهٔ مورد مطالعه را برای توسعهٔ انواع کاربری‌های مورد نظر ارزیابی کرده است. طبق نتایج به‌دست آمده ۹٪ از مساحت حوضه برای توسعهٔ شهری و روستایی، ۵٪ برای کاربری اکوتوریسم گسترده و ۸۶٪ برای کاربری جنگلداری مناسب است؛ همچنین ۷۰٪ از مساحت حوضه برای توسعهٔ شهری، ۸۵٪ برای کاربری اکوتوریسم گسترده و ۱۲٪ برای کاربری جنگلداری نامناسب ارزیابی شدند. توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین تحلیل کرد که حوضهٔ آبخیز طالقان با داشتن محدودیت به لحاظ دارا بودن شیب بالا، ارتفاع زیاد و پتانسیل لرزه‌خیزی نسبتا زیاد، از لحاظ طبیعی قابلیت محدودی جهت توسعه در حوزهٔ شهر و روستا و همچنین صنعت اکوتوریسم دارد.

واژگان کلیدی: ارزیابی بوم‌شناختی، حوضهٔ آبخیز طالقان، GIS، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی.

۱. نویسنده مسئول
Email: Bmohebi85@gmail.com

مقدمه

با پیشرفت سریع دنیای کنونی در تمام زمینه‌ها، نیاز بشر نیز در حال گسترش است. این توسعهٔ روزافزون به همراه استفاده از زمین، بدون در نظر گرفتن تفاوت‌های اکولوژیکی و پتانسیل‌های محیطی، باعث پیامدهای ناگواری همچون فرسایش خاک، بیابان‌زایی، کاهش سطح مراتع و جنگل‌ها و ... می‌شود (قنواتی و دلفانی گودرزی،۱۳۹۲:۴۶). برنامه‌ریزی زمین بر بنیاد این فرض استوار شده که تعاملی بین نیازهای اجتماعی، نیازهای استفاده‌کنندگان و ویژگی‌های فیزیکی و محیط طبیعی هر عرصه (شیب، منظر، نور خورشید، خاک، پوشش گیاهی و جانوری) وجود دارد (شمسی‌پور و همکاران،۱۳۹۲:۶۲). با افزایش جمعیت، دخالت‌های انسان در طبیعت و بهره‌برداری مداوم از منابع محیط زیستی به منظور تأمین نیازهای فزایندهٔ جوامع، به تدریج توان جذب و ترمیم زیست سپهر به شدت کاهش یافته است. با وجود نقش و کارکرد حیاتی اکوسیستم‌های طبیعی در چرخه حیات، در بسیاری از کشورها به خصوص کشورهای در حال توسعه این اکوسیستم‌ها در شرایط نامطلوبی به سر می‌برند. علت اصلی این رویداد را می‌توان در عدم شناخت جایگاه واقعی و حیاتی آن‌ها و تصمیمات کوته‌بینانه و غیرکارشناسی در فرآیند بهره‌برداری ناپایدار از آنها جستجو نمود؛ اگرچه فعالیت‌های مختلف و نتایج حاصل از آن برای ادامهٔ زیست انسان لازم است و وجود آن برای جامعه یک امر ضروری و نبودن آن به عنوان یک نقیصه محسوب می‌شود ولی توسعهٔ انواع کاربری در مناطق بدون توان، تمرکز شدید آن در یک منطقه و همچنین عدم توزیع آن در مناطق مناسب و بهره‌برداری بیش از حد منابع و امکانات، اثرات زیان‌بخش و نامطلوبی را به بار خواهد آورد.

قابلیت‌سنجی اکولوژیک که در گذشته با عبارت توسعهٔ سازگار با محیط و سپس با توسعهٔ محیط زیست خوانده می‌شد، امروزه به توسعهٔ پایدار معروف شده است. ارزیابی توان زیست‌محیطی و تعیین توان بالقوه و تخصیص کاربری‌های متناسب با آن، روشی است که می‌تواند میان توان طبیعی محیط، نیاز جوامع و فعالیت‌های انسان در فضا یک رابطهٔ منطقی و سازگاری پایدار به وجود آورد (مجنونیان، ۱۳۸۰). ارزیابی توان اکولوژیک یکی از موضوعات و چالش‌های مورد بحث در آمایش سرزمین است که به سنجش موجودی و توان نهفتهٔ سرزمین با ملاک‌ها و معیارهای مشخص اشاره دارد (آل‌شیخ، ۱۳۸۵:۲). بدین ترتیب می‌توان ضمن حفاظت از تنوع زیستی، از سایر مناطق سرزمین بهره‌برداری یا بهره‌وری متناسب به صورتی مستمر و پایدار به عمل آورد.

امروزه بسیاری از شهرهای کشور ما با توجه به گسترش نامحدود و بدون برنامهٔ خود سبب دست‌اندازی به محیط‌های طبیعی و از بین بردن آنها شده‌اند و در هر دورهٔ زمانی و یا در هر مکانی که ایجاد گردیده‌اند در پیامد استقرار خود مشکلاتی را نیز در محیط زیست ایجاد نموده‌اند (دشتی و همکاران،۱۳۹۶:۶۱). توسعهٔ مناسب هنگامی محقق می‌شود که سرزمین به تناسب قابلیت‌های آن به کار گرفته شود (پورجعفر و همکاران،۱۳۹۱:۱۳). آمایش سرزمین، استفادهٔ بهینه و عقلانی و پی بردن به ارزش‌های فضا برای کارکردهای مؤثر اقتصادی و اجتماعی است (پوراحمد،۱۳۸۰:۴۸۰). از مهمترین ویژگی‌های آن می‌توان به مسائل آینده‌نگری، دورنگری و نتیجه‌گیری‌های مکانی، از درونمایه‌های راهبرد توسعهٔ ملی و عامل پیوند برنامه‌های کلان و برنامه‌های منطقه‌ای اشاره کرد (بحرینی و کریمی،۱۳۹۲:۳۴۰)؛ در نتیجه یکی از موضوعات اساسی در فرآیند آمایش سرزمین ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین است که به عنوان پایه و اساس آمایش سرزمین یا طرح‌ریزی محیط زیست برای کشورهایی شمرده می‌شود که در صدد دستیابی به توسعهٔ پایدار همراه با حفظ منافع نسل‌های آتی هستند (Radcliff,1994:13).

در شهرستان طالقان با توجه به ویژگی‌ها و جذابیت‌های طبیعی و موقعیت منحصر به فرد جغرافیایی، در سال‌های اخیر شاهد توسعهٔ سکونتگاه‌های شهری و روستایی بدون توجه به قابلیت‌ها و محدویت‌های اراضی هستیم. هر روز سطح بیشتری از زمین‌های مرغوب این شهرستان از بین رفته یا تبدیل به اراضی ساخته‌شده با کاربری‌های شهری و

تفرجگاهی می‌شود. با توجه به این موضوع و لزوم توجه به قابلیت‌ها و محدویت‌های این حوزه، می‌توان با انجام فرآیند ارزیابی اکولوژیکی، راه حل مناسبی برای مقابله با بحران‌های زیست‌محیطی نوظهور و شیوه‌ای کارآمد برای نیل به اهداف توسعهٔ پایدار یافت که به ابزار مدیریت توسعه در مراحل برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری نیز تبدیل شود. امروزه برای ارزیابی زیست‌محیطی سرزمین به منظور توسعهٔ انواع کاربری‌ها در فضای برنامه‌ریزی از مدل‌های ریاضی نیز استفاده می‌شود. اقدام جدید شامل استفاده از مدل‌های ریاضی در ارزیابی زیست‌محیطی و به کارگیری روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در تعیین وزن و اهمیت نسبی و کار با اطلاعات مکانی در محیط GIS[2] است. AHP که از مهم‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM[3]) است اولین بار توسط ساعتی برای تخصیص منابع کمیاب و نیازهای برنامه‌ریزی معرفی شد (Saaty,1994). تلفیق GIS و AHP دارای مزایای بسیاری جهت مکانیابی و پهنه‌بندی انواع فعالیت‌ها و ارزیابی‌های زیست‌محیطی است و به خوبی از طریق آن می‌توان مناطق مناسب و نامناسب را به منظور استقرار انواع فعالیت‌ها در زمینه‌های کشاورزی، منابع طبیعی، سنجش قابلیت اراضی، آمایش سرزمین و غیره که دارای بُعد مکانی و فضایی هستند، تعیین نمود (فرجی‌سبکبار،۱۳۸۴). برای ارزیابی توان بوم‌شناختی سرزمین به منظور توسعه انواع کاربری‌ها در یک فضای برنامه‌ریزی سال‌هاست که از روش سیستمی ابداعی مک‌هارگ[4](مخدوم) در مقیاس جهانی با اصلاحات خاص منطقه‌ای استفاده می‌شود. در روش ابداعی مک‌هارگ که به روش همپوشانی (نقشه‌سازی) نیز شناخته می‌شود، با روی هم قراردادن تعدادی نقشه شفاف که فاکتورهای محیطی و شکل زمین در آنها رسم گردیده می‌توان مناطق تحت تأثیر و برخی از اثرات آشکار را شناسایی نمود.

آکینچی[5] و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی تناسب زمین‌ها برای اجرای کاربری کشاورزی به دلیل احداث سه سد بزرگ در ترکیه با استفاده از نرم‌افزار GIS و روشAHP پرداختند و مشخص گردید که این منطقه بیشترین تأثیر منفی را از فاکتور شیب دریافت می‌کند که همین امر روی عمق خاک و فرسایش نیز تأثیرگذار بوده است. در پژوهش انجام‌شده توسط پنگ[6]و همکاران (۲۰۱۴)، که به ارزیابی زیست‌محیطی چند شهر در کشور چین با استفاده از روش AHP و GIS جهت کاربری دامپروری پرداختند، نتایج نشان‌دهندهٔ تناسب بسیار زیاد این مناطق و در نتیجه داشتن توان بالقوه برای توسعهٔ کاربری مذکور است. راجوویچ و بولاتویچ[7] (۲۰۱۷)، طبقه‌بندی پتانسیل‌های طبیعی و توسعهٔ پایدار را بررسی کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که فقط از طریق اصول توسعهٔ پایدار می‌توان به رشد پیوسته رسید و نیازهای آتی را برطرف کرد. احمدی‌زاده و همکاران (۱۳۷۷) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های اکولوژیک، برنامه جامع کاربری استان خراسان را انجام داده‌اند. آنها با استفاده از تحلیل همپوشانی سیستم با توجه به مدل‌های آمایش سرزمین، طبقات نقشه‌های مختلف را کدگذاری کرده و سپس به ارزیابی توان اکولوژیک استان خراسان پرداختند. شمسی‌پور و همکاران(۱۳۹۲)، به ارزیابی و تحلیل توان اکولوژیک در جهت توسعهٔ گردشگری با استفاده از ۱۳ معیار و بهره گیری از فرآیند تحلیل شبکه ای به تهیه نقشهٔ توان اکولوژیک پرداخته‌اند که بنابر نتایج، قسمت‌های شرقی، شمالی و جنوبی در امتداد رشته کوههای زاگرس توان اکولوژیک بالایی برای گردشگری تفرج گسترده دارند، با حرکت به سمت غرب از ارزش اکولوژیک منطقه کاسته می‌شود. پورخباز و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی توان بوم‌شناختی منطقه خائیز بهبهان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط GIS پرداختند که نتایج نشان‌دهندهٔ تناسب تنها ۳

1 .Analytic Hierarchy Process
2 .Geographic Information System
3 .Multiple-criteria decision-making
4 .Ian L. McHarg
5 .Akinci
6 .Peng
7. Rajović, & Bulatović

درصد از منطقه برای کاربری کشاورزی است. ترکمانی و همکاران(۱۳۹۷) در پژوهشی با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، اقدام به پهنه‌بندی شهرستان میانه به لحاظ توان اکولوژیکی نموده‌اند و در یک نتیجه‌گیری کلی اذعان داشتند که شهرستان میانه از نظر پتانسیل اکوتوریسم، تفاوت قابل توجهی بین بخش‌ها و مناطق مختلف آن وجود دارد. حسین‌زاده و همکاران(۱۳۹۸)، به ارزیابی توان اکولوژیک فضای جغرافیایی شهرستان کنگاور با مدل اکولوژیکی مخدوم و با روش چندترکیبی در ارتباط با کاربری‌های شهری، روستایی و صنعتی، بر پایه ویژگی‌های محیط طبیعی پرداختند.

بررسی پیشینهٔ پژوهش نشان می‌دهد که جهت بالا بردن دقت ارزیابی‌های زیست محیطی، روش‌های ریاضی و وزن‌دهی فاکتورها در فرآیندهای ارزیابی سرزمین رواج پیدا کردند که در این میان AHP به دلیل سادگی و نیز کارایی بسیاری که داشت به یکی از محبوب‌ترین روش‌ها تبدیل شد و محققان بسیاری کارایی مناسب آن در ارزیابی سرزمین را بیان نموده‌اند؛ همچنین می‌توان اظهار داشت علی‌رقم مطالعات انجام شده در حوزهٔ ارزیابی بوم‌شناختی، همچنان بررسی ظرفیت‌های طبیعی و انسانی حوضهٔ آبخیز طالقان که دارای قابلیت‌ها و توان‌های بالقوه فراوان است، جهت برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های توسعهٔ آتی و پایدار منطقه‌ای، ضروری به نظر می‌رسد.

مبانی نظری

ارزیابی زیست‌محیطی

ارزیابی توان محیط زیست (چه توان بوم‌شناختی، چه توان اقتصادی و اجتماعی آن) عبارت از برآورد استفاده ممکن انسان از سرزمین برای کاربری‌های کشاورزی، مرتع‌داری، جنگل‌داری، پارک‌داری (حفاظت، توریسم)، آبزی‌پروری، امور نظامی و مهندسی و توسعهٔ شهری، صنعتی و روستایی در چارچوب استفاده‌های کشاورزی، صنعت، خدمات و بازرگانی است (مخدوم، ۱۳۸۴: ۲۵).

ارزیابی بوم‌شناختی

توان بوم‌شناختی، توان بالقوهٔ سرزمین در رابطه با قابلیت‌های اکولوژیکی آن برای توسعه تعریف می‌گردد. ارزیابی بوم‌شناختی یکی از روش‌های تعیین کاربری‌های بهینهٔ اراضی است که در آن ابتدا با تهیه نقشهٔ یگان‌های زیست محیطی که از تلفیق نقشه‌های طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، خاک و پوشش گیاهی به‌دست می‌آید و سپس با تجزیه و تحلیل سیستمی عوامل پایدار و ناپایدار بوم‌شناختی سرزمین، توان انواع کاربری‌ها، ارزیابی می‌گردد.

روش‌های ارزیابی چند معیاره

در روش‌های ارزیابی چند عامله، منابعی که هم در تجزیه و تحلیل و جمع‌بندی داده‌ها یعنی تجزیه سرزمین به واحدها نقش داشته و هم در ساختن مدل‌های اکولوژیکی به کار گرفته می‌شوند بیش از دو عامل هستند.

اساس روش چند عامله بر رهیافت تجزیه و تحلیل سیستمی استوار است (مخدوم، ۱۳۸۴). در این روش، فرض اصلی آن است که در یک اقلیم معین و سنگ مادر معین، شکل زمین عامل اصلی تحول‌پذیری خاک و رستنی‌ها می‌باشد و می‌توان رابطهٔ بین این سه منبع را پیدا نموده، سرزمین را به واحدهایی که در آن ارتباط موزونی بین شکل زمین، خاک و رستنی‌ها وجود دارد، تجزیه نمود. فرآیند اجرای روش ارزیابی شامل چهار مرحلهٔ زیر است:

۱- مرحلهٔ شناسایی منابع و کاربرد آنها شامل تشریح کارکرد محیط زیست طبیعی برای جامعه؛

۲- مرحلهٔارزیابی بوم‌شناختی شامل تشریح پارامترهای محیط زیست طبیعی در رابطه با کاربرد آنان؛

۳- مرحلهٔ تجزیهٔ ارتباطات بوم‌شناختی شامل تشریح خطرات حاصله از فعالیت‌های جنبی اجتماعی بر کاربری محیط زیست؛

۴ –مرحلهٔ ارزیابی اقتصادی و اجتماعی و تجزیه و تحلیل ناسازگاری‌ها شامل تشریح گروه‌های سازگار و ناسازگار در رابطه با کاربری‌ها.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP)

روش‌های متعددی برای وزن‌دهی نسبی و بیان اهمیت مشخصه‌ها نسبت به یکدیگر وجود دارد. این روش‌ها در سهولت استفاده، دقت، میزان درک توسط تصمیم‌گیرندگان و داشتن مبنای نظری با هم تفاوت دارند. روش مقایسه دو به دو به دلیل داشتن مبنای نظری قوی، دقت بالا و سهولت استفاده، دارا بودن اعتبار و درستی و دقت نتیجه یکی از معتبرترین و پرکاربردترین روش‌هاست (Malczewski,1999).

در این روش ابتدا ماتریس مقایسه‌ای تشکیل شده و مشخصه‌ها به‌صورت زوجی مقایسه و وزن (ارزش) نسبی آنها به‌طور نظری تعیین می‌شود. نسبت‌های یادشده با مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ بیان می‌شود(Saaty, 1980).

تعیین ضریب اهمیت گزینه‌ها

با استفاده از مقیاس ۹ کمیتی ساعتی و ماتریس‌های ارزیابی، ارجحیت هر یک از معیارها به ترتیب زیر مورد قضاوت قرار می‌گیرد:

جدول شماره ۱. ماتریس زوجی معیارها برای مسأله مورد نظر

تعریف	اهمیت برابر	اهمیت برابر تا متوسط	اهمیت متوسط	اهمیت متوسط تا قوی متوسط	اهمیت قوی	اهمیت قوی تا بسیار قوی	اهمیت بسیار قوی	اهمیت بسیار قوی تا فوق العاده قوی	اهمیت فوق العاده قوی
میزان اهمیت	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹

مجموعه‌های فازی

مجموعه‌های فازی[1] مجموعه‌ها یا رده‌های بدون مرزهای تند هستند که انتقال بین عضویت و غیر عضویت یک مکان در مجموعه به صورت تدریجی می‌باشد. یک مجموعه فازی به وسیله درجه عضویت فازی که دارای دامنه صفر (غیر عضویت) تا یک (عضویت کامل) است، مشخص می‌گردد. به عنوان مثال فرض می‌نماییم شیب ۱۰ درصد دارای عضویت صفر و شیب ۲۵ درصد دارای عضویت ۱ باشد. عضویت فازی مقادیر بین ۱۰ و ۲۵ درصد می‌تواند برای کاربری ویژه به صورت تدریجی از صفر تا ۱ افزایش یابد. در مجموعه‌های کلاسیک یا ترد مقادیر عضویت به صورت ناگهانی بیت صفر تا یک تغییر می‌نمایند.

درارزیابی چندمعیاره، تابع عضویت مجموعه فازی برای یکنواخت و استانداردسازی معیارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر این اساس، با تشخیص نوع عضویت هر یک از فاکتورها، می‌توان از تابع آن جهت تبدیل دامنهٔ اعداد فاکتور به دامنهٔ استاندارد۰–۲۵۵ استفاده کرد. با این کار هم داده‌ها استاندارد شده و هم رابطهٔ عضویت و مطلوبیت آنها نیز دخالت داده می‌شود.

روش پژوهش

در راستای انجام فرآیند ارزیابی، نخست تمامی اطلاعات ضروری جمع‌آوری و لایه‌های مورد نیاز برای ارزیابی هر کاربری دسته‌بندی گردید. تمامی لایه‌های اطلاعاتی شامل خطوط منحنی میزان منطقه، بافت خاک، سنگ بستر، تراکم پوشش گیاهی، حساسیت به فرسایش خاک، گسل‌ها و کاربری اراضی منطقه از دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران

1 .Fazzy set

تهیه گردید. در مرحلهٔ بعد بر اساس مدل اکولوژیکی تعریف شده توسط دکتر مخدوم برای ایران، تمامی لایه‌های مربوط به هر کاربری مورد ارزیابی قرار گرفت و با ساختن تابع عضویت فازی به مقادیر موجود در هر لایه بر اساس میزان مطلوبیت تعریف شده در مدل مذکور، ارزش عددی بین صفر تا ۱ اختصاص پیدا کرد. درنتیجه خروجی تابع به صورت نقشه‌ای است که تمام نقاط آن بر اساس میزان مطلوبیت از نظر معیار مورد بررسی در هر کاربری، دارای ارزش عددی بین صفر تا یک خواهد بود. در پژوهش پیش رو، کل محدودهٔ مورد مطالعه در رابطه با معیار اقلیم، در یک طبقه قرار می‌گیرد و بنابراین در روند پیاده‌سازی مدل ارزیابی توان اکولوژیک، بی‌اثر بوده و در نظر گرفته نخواهد شد.

پس از این مرحله به منظور تعیین وزن هر کدام از معیارها به روش AHP، پرسش‌نامه‌هایی طراحی و در آن میزان ارجحیت هر معیار نسبت به معیار دیگر برای کاربری‌های مختلف توسط تعدادی از کارشناسان مرتبط سنجیده شد. نتیجهٔ این امر در نرم‌افزار Expert Choice منجر به تعیین وزن هر معیار برای هر کاربری گردید. در مرحله بعد به منظور تعیین مطلوبیت برای هر کاربری هدف، از وزن‌های تعیین‌شده توسط روش AHP برای معیارهای مؤثر در هر کاربری استفاده شد و در فرآیند تلفیق لایه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS به کار گرفته شد. درنهایت لایه‌های محدودیت برای توسعهٔ هر کاربری در مطلوبیت نهایی اعمال گردید. لایه محدودیت برای کاربری جنگل شامل اراضی مسکونی و شهری، برای کاربری اکوتوریسم گسل و برای توسعهٔ شهری گسل و بعضی از واحدهای کاربری اراضی محسوب می‌شود.

خروجی تابع ادغام لایه‌ها، به صورت نقشه‌ای است که در همهٔ نقاط آن میزان مطلوبیت احداث کاربری مورد نظر به صورت عددی بین صفر و یک بیان می‌شود. عملیات ارزیابی بر اساس مدل‌های اکولوژیک در زیر شرح داده می‌شود:

مدل اکولوژیکی کاربری جنگل

این مدل برای نشان‌دادن توان و درجهٔ مرغوبیت سرزمین برای کاربری جنگلداری میباشد.در این مدل، سرزمین بر اساس فاکتورهای شیب، ارتفاع از سطح دریا، بافت و نوع خاک، تراکم پوشش درختی و گیاهی و سنگ بستر به هفت طبقه از لحاظ مطلوبیت تقسیم می‌شود.

جدول شماره ۲. معیارها، زیر معیارها و نحوهٔ طبقه‌بندی در فرآیند ارزیابی مدل برای کاربری جنگلداری

معیار	زیرمعیار	طبقه‌بندی لایه‌ها				
		طبقه ۱	طبقه ۲	طبقه ۳	طبقه ۴	طبقه ۵
توپوگرافی	درصد شیب	۰–۲۵	۲۵–۳۵	۳۵–۴۵	۴۵–۵۵	۵۵–۷۵
	ارتفاع(متر)	۰–۱۰۰	۱۰۰–۱۰۰۰	۱۰۰۰–۱۴۰۰	۱۴۰۰–۱۸۰۰	۱۸۰۰–۲۶۰۰
	جهت	شمالی	شمالی	-	-	-
خاک	بافت خاک	رسی- لومی	لومی –رسی	لومی–رسی	لومی–شنی یا لومی–رسی	لومی–شنی
	فرسایش پذیری خاک	خیلی کم	کم	متوسط	متوسط	زیاد
سنگ مادر	-	آهک یا رس	آهک،رس،آذرین،خاک آبرفتی	سنگ آهک،سنگ رس،گرانیت،آذرین بیرونی و شیست،خاک‌های آبرفتی،دشت سیلابی	سنگ آهک،سنگ رس، گرانیت توده ای، آذرین بیرونی،شیست،ماسه سنگ،لس،آبرفت	سنگ آهک،سنگ رس،گرانیت توده ای، آذرین بیرونی،شیست،ماسه سنگ،لس،آبرفت
اقلیم	بارندگی و درجه حرارت	دمای متوسط در فصل رشد	دمای خیلی بالا یا خیلی پایین در فصل رشد	نامتعادل- دمای خیلی بالا یا خیلی پایین	نامتعادل	نامتعادل
پوشش گیاهی	تراکم پوشش گیاهی	بیش از ۸۰درصد	تا۸۰درصد	تا۷۰درصد	تا۶۰درصد	تا۴۰ درصد

مدل اکولوژیکی اکوتوریسم گسترده

تفرج یا توریسم گسترده شامل آن دسته از تفرج‌هاست که نیاز به توسعه ندارند مانند : شنا، کوهنوردی، ماهیگیری،

تماشای حیوانات، صحراگردی و... (مخدوم،۱۳۸۰). درپژوهش پیش رو، کل محدودهٔ مورد مطالعه در رابطه با معیار اقلیم، در یک طبقه قرار می‌گیرد و بنابراین در روند پیاده‌سازی مدل ارزیابی توان اکولوژیک، بی‌اثر بوده و در نظر گرفته نخواهد شد.

جدول شماره ۳. معیارها، زیر معیارها و نحوهٔ طبقه‌بندی در فرآیند ارزیابی مدل برای کاربری اکوتوریسم

معیار	زیر معیار	طبقه‌بندی لایه		
		طبقه یک	طبقه دو	طبقه سه
توپوگرافی	درصد شیب	۲۵ -۰	۵۰- ۲۵	بیش از ۵۰
خاک	بافت خاک	لومی	شنی، لومی·رسی،رسی-لومی	-
اقلیم	درجه حرارت(فصل بهار و تابستان)	۲۵ -۲۱	۳۰ -۲۵	-
	تعداد روزهای آفتابی در ماه(فصل بهار و تابستان)	بیش از۱۵روز	۷-۱۵روز	-

مدل اکولوژیکی توسعهٔ شهر و روستا

ارزیابی زیست‌محیطی برای توسعهٔ شهری و روستایی با اهداف زیر انجام می‌پذیرد (مخدوم،۱۳۸۰):

- ❖ مناطقی بدین منظور انتخاب شوند که برای وزن ساختمان‌ها تکیه‌گاه پایدار و متعادلی فراهم نمایند.
- ❖ پسماندها، پساب‌ها، زباله‌ها و هوای آلودهٔ منتجه از ساخته شده‌ها را جذب و تجزیه نمایند.
- ❖ منظر، نما و فضای سبز دلخواهی از جهت زیباشناختی و جذب آلودگی هوا و صدا فراهم آورند.

بر این اساس در مدل اکولوژیکی توسعهٔ شهر و روستا، فاکتورهای اقلیم، شیب، ارتفاع از سطح دریا، جهات جغرافیایی، سنگ مادر، خاک، کمیت منابع آب و تراکم پوشش گیاهی برای پی بردن به درجهٔ مطلوبیت منطقه برای این کاربری در نظر گرفته می‌شود.

جدول شماره ۴. معیارها، زیرمعیارها و نحوهٔ طبقه‌بندی در فرآیند ارزیابی مدل برای کاربری توسعهٔ شهری و روستایی

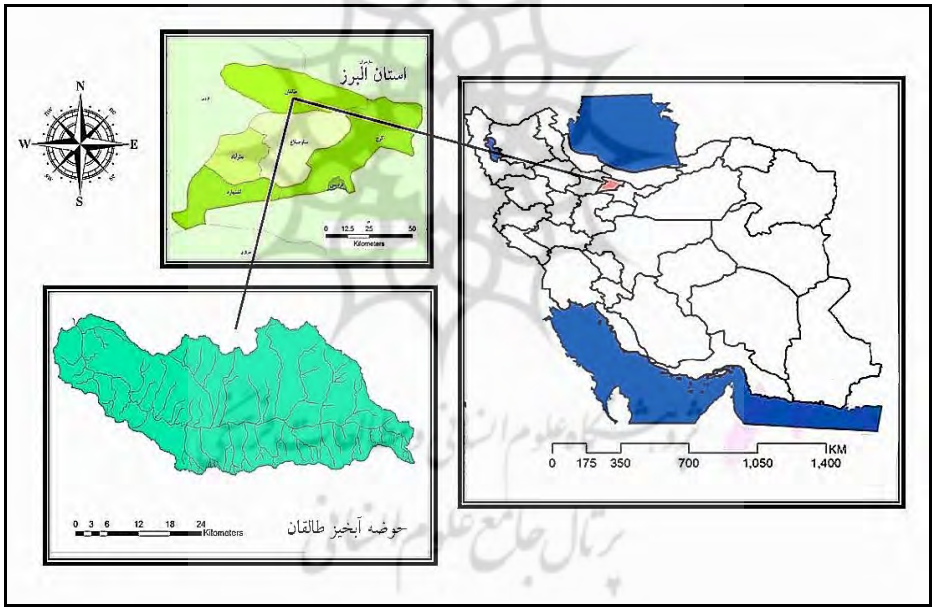
معیار	زیر معیار	طبقه‌بندی لایه		
		طبقه ۱	طبقه ۲	طبقه ۳
توپوگرافی	درجهٔ شیب	تا۶	۹- ۶	بیش از ۹
	ارتفاع(متر)	۱۲۰۰- ۴۰۰	۴۰۰-۰و۱۸۰۰-۱۲۰۰	بیش از ۱۸۰۰
	جهت	جنوبی	غربی-شرقی	شمالی
خاک	بافت خاک	لومی،لومی -رسی	شنی،شنی-لومی،لومی کم عمق	شنی، رسی
	فرسایش پذیری خاک	کم	متوسط	زیاد
سنگ مادر	-	ماسه سنگ-بازالت-رسوبات آبرفتی	آهک-رس-گرانیت-توف-روانه بین چین-لس آبرفتی	مارن-شیست تپه ماسه ای
اقلیم	بارندگی(میلی متردرسال)	۸۰۰ -۵۰۰	هر اقلیم و آب و هوا	نامناسب
	درجه حرارت	۲۴- ۱۸	هر اقلیم و آب و هوا	نامناسب
پوشش گیاهی	تراکم پوشش گیاهی	کمتر از ۳۰ درصد	۳۰-۶۰ درصد	بیش از ۶۰ درصد

محدوده موردمطالعه

ناحیهٔ طالقان در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات البرز مرکزی واقع شده‌است. در شمال قلل و گردنه‌هایی طالقان را از مازندران جدا می‌کند. ارتفاعات جنوبی طالقان، این منطقه را از دشت قزوین جدا نموده است. شهر طالقان در منطقه‌ای ییلاقی در میان رشته کوه البرز قرار گرفته و از چهار دهستان به نام‌های میان طالقان، پایین طالقان، کنار رود و جوستان تشکیل شده است.

حوضهٔآبخیز طالقان در ۱۳۰ کیلومتری شمال غربی تهران قرار گرفته و مساحت آن ۱۳۲۵ کیلومتر مربع است. مختصات جغرافیایی این حوضه برابر طول بین ۵۰ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی و عرض بین ۳۶ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی است. ارتفاع متوسط حوزهٔ طالقان ۲۲۲۷ متر از سطح دریاست.

منطقهٔ طالقان در زون زمین‌شناسی البرز و زیر زون البرز مرکزی قرار دارد و از نظر زلزله‌خیزی فعال به شمار می‌آید. گسل‌های مهم حوضه شامل: گسل طالقان، گسل کندوان و چند گسل فرعی دیگر می‌باشد(فیض‌نیا و جعفری،۱۳۸۱). میانگین درجه حرارت سالیانه در طالقان حدود ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد، متوسط حداکثر دمای سالانه ۱۷/۴ درجه سانتی-گراد ، متوسط حداقل دمای سالانه ۴/۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی ۲۰ ساله ۴۸۵ میلی‌متر است. منطقهٔ طالقان دارای آب و هوای کوهستانی مرطوب و سرد (زمستان‌های سرد و پر برف و تابستان‌های خنک) می‌باشد. حداکثر بارندگی در فصل زمستان و بهار (فروردین و اردیبهشت) است و به علت کوهستانی بودن منطقه و ارتفاع زیاد، زمستان‌های طولانی دارد. سهم جمعیتی شهرستان طالقان نسبت به کل استان البرز از حدود ۱ درصد در سال ۱۳۷۵، به ۱/۳ درصد در سال ۱۳۸۵ ، ۱/۲ درصد در سال ۱۳۹۰ و در نهایت به۰/۶۱ در سال ۱۳۹۵رسیده است. این امر حکایت از سهم کم-جمعیتی این شهرستان در جمعیت استان دارد؛ همچنین این موضوع می‌تواند بیشتر به دلیل خوابگاهی بودن این شهرستان باشد.



شکل شماره ۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

بحث و یافته‌ها

در این پژوهش مراحل عملی ارزیابی بوم‌شناختی بدین ترتیب انجام گردید:

الف- ابتدا مسئلهٔ مورد بررسی به یک ساختار سلسله‌مراتبی تبدیل گردید که شامل یک سلسله‌مراتب سه سطحی یعنی هدف، معیارها و گزینه‌ها می‌باشد (قدسی پور،۱۳۷۹). معیارها و شاخص‌های مؤثر با توجه به تحقیقات انجام‌شده و مدل اکولوژیک دکتر مخدوم، شرایط طبیعی منطقه و داده‌های موجود و در دسترس محدودهٔ مورد مطالعه تعیین گردید (جداول ۳،۲و۴).

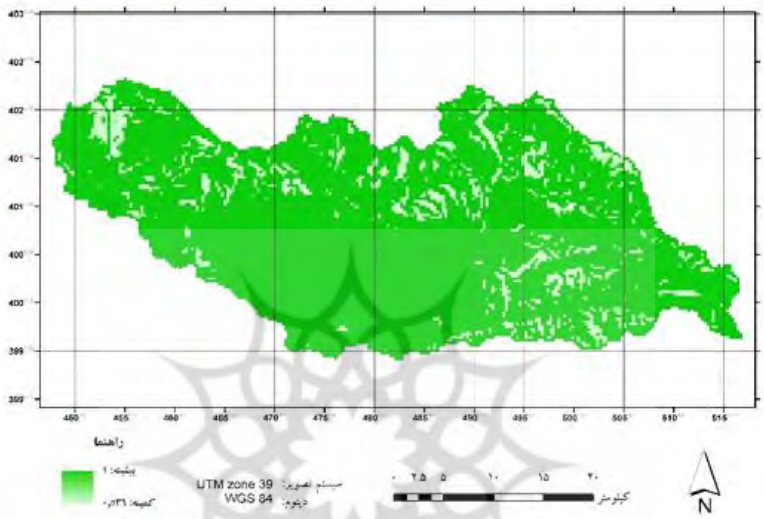
بدین صورت که برای لایه‌های شیب و ارتفاع از سطح دریا، برای هر کاربری، ابتدا تابع عضویت فازی جهت تعیین مطلوبیت آن معیار تشکیل گردید، سپس با استفاده از تابع شرطی در نرم‌افزار ArcGIS این مقادیر به لایه‌ها اختصاص

پیدا کرد(اشکال ۶-۲). برای لایه‌های دارای مقادیر غیر عددی مانند نقشهٔ بافت خاک، ارزش عددی بین صفر تا یک بر اساس اطلاعات توصیفی، برای هر کدام از نقشه‌های ذکر شده تعیین شد و به جدول اطلاعات توصیفی مربوطه وارد گردید.

تابع عضویت فازی شیب(درصد) برای کاربری جنگلداری به شرح رابطهٔ (۱) است.

رابطه (۱)

$$\mu_{slope}\begin{cases} 1-\left(\frac{slope}{75}\right) & 0 < slope < 75 \\ 0 & slope \geq 75 \end{cases}$$

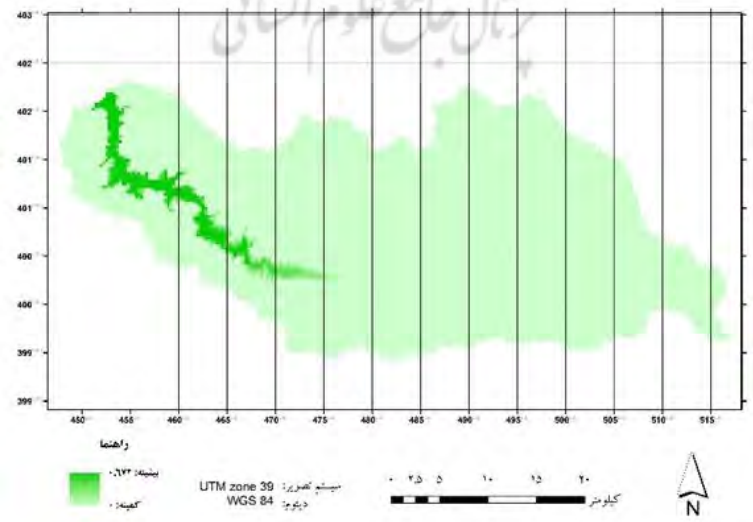


شکل شماره ۲. مطلوبیت شیب – کاربری جنگلداری

همچنین تابع عضویت فازی ارتفاع از سطح دریا (متر) برای کاربری جنگلداری به قرار رابطهٔ (۲) است.

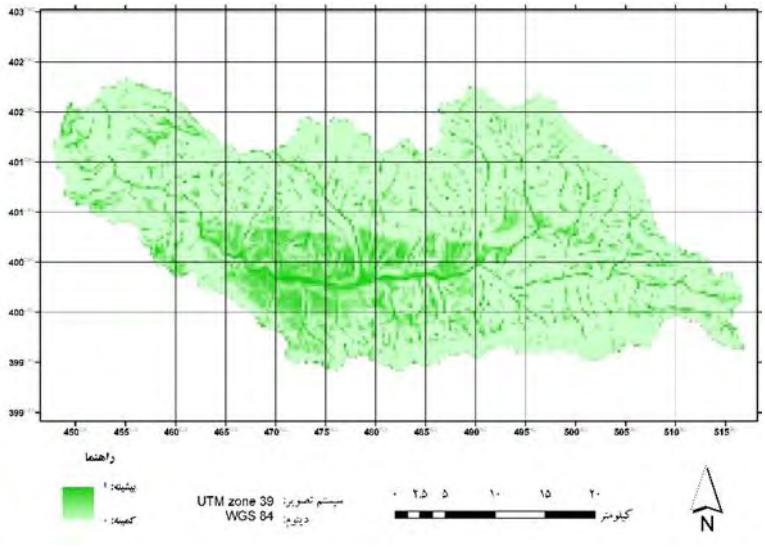
رابطه (۲)

$$\mu_{E}\begin{cases} 1-\left(\frac{elevation}{2600}\right) & 0 < elevation < 2600 \\ 0 & elevation \geq 2600 \end{cases}$$



شکل شماره ۳. مطلوبیت ارتفاع از سطح دریا - کاربری جنگلداری

تابع عضویت فازی شیب(درصد) برای کاربری اکوتوریسم گسترده به قرار رابطهٔ (۳) خواهد بود.

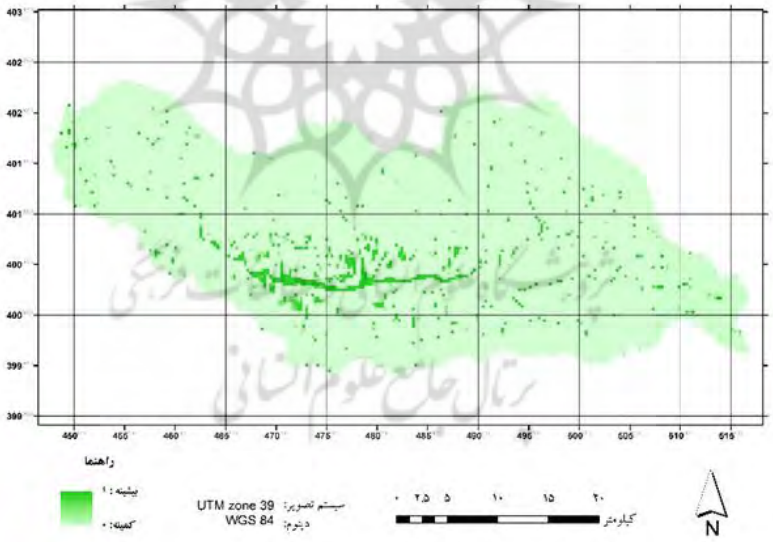


شکل شماره ۴. مطلوبیت شیب -کاربری اکوتوریسم

از طرف دیگر تابع عضویت فازی شیب (برحسب درجه) برای کاربری شهری و روستایی به ترتیب رابطهٔ (۴) است.

رابطه (۴)

$$\mu_{slope}\begin{cases}1-\left(\frac{slope}{9}\right) & 0<slope<9\\ 0 & slope\geq 9\end{cases}$$

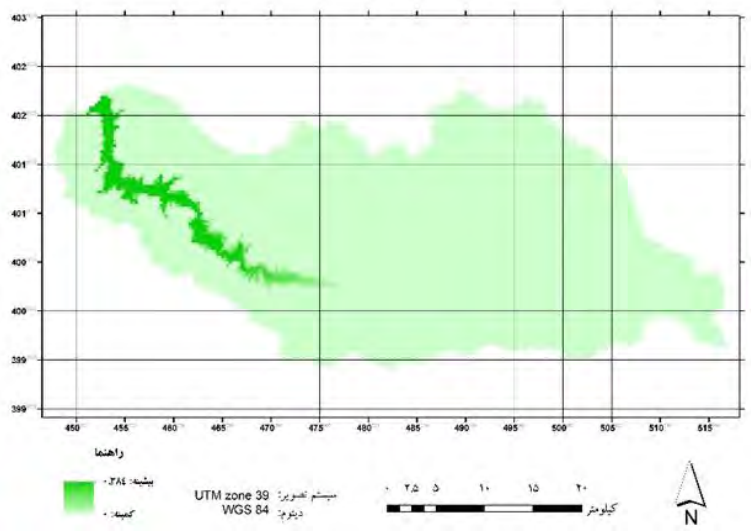


شکل شماره ۵. مطلوبیت شیب – توسعهٔ شهر و روستا

همچنین تابع عضویت فازی ارتفاع از سطح دریا(متر) برای کاربری شهری و روستایی به شرح رابطهٔ (۵) است.

رابطه (۵)

$$\mu_E\begin{cases}1 & 400\leq elevation\leq 1200\\ \left(\frac{elevation}{400}\right) & 0\leq elevation\leq 400\\ 1-\left(\frac{elevation-1200}{1800-1200}\right) & 1200\leq elevation\leq 1800\end{cases}$$



شکل شماره ۶. مطلوبیت ارتفاع از سطح دریا - توسعهٔ شهر و روستا

ب- تعیین ضریب اهمیت معیارها: با استفاده از مقیاس ۹ کمیتی ساعتی و ماتریس‌های ارزیابی، ارجحیت هر یک از معیارها به ترتیب زیر مورد قضاوت قرار گرفته است:

به منظور تعیین وزن‌های AHP برای هر کدام از کاربری‌ها، ابتدا پرسش‌نامه‌هایی تهیه و در اختیار کارشناسان قرار گرفت؛ سپس بر همین اساس و با استفاده از نرم‌افزار Expert choice وزن‌های مربوط به هر کدام از معیارها برای سه کاربری مد نظر تعیین گردید.

جدول شماره ۵. وزن معیارهای به‌دست‌آمده برای کاربری جنگلداری در AHP

معیار	وزن	معیار	وزن
شیب	۰/۳۳	تراکم پوشش گیاهی	۰/۰۲۴
جهت شیب	۰/۲۳	بافت خاک	۰/۱۰۶
فرسایش‌پذیری خاک	۰/۰۷۱	اقلیم	۰/۰۴۰
سنگ مادر	۰/۰۴۱	ارتفاع از سطح دریا	۰/۱۵۷

جدول شماره ۶. وزن معیارهای به‌دست‌آمده برای کاربری اکوتوریسم گسترده در AHP

معیار	وزن	معیار	وزن
شیب	۰/۵۴۰	اقلیم	۰/۱۶۳
بافت خاک	۰/۲۹۷	-	

جدول شماره ۷. وزن معیارهای به‌دست‌آمده برای کاربری توسعهٔ شهری و روستایی در AHP

معیار	وزن	معیار	وزن
شیب	۰/۳۵۶	اقلیم	۰/۰۹۰
جهت شیب	۰/۱۰۲	بافت خاک	۰/۱۵۹
سنگ مادر	۰/۱۵۹	ارتفاع از سطح دریا	۰/۰۴۴
تراکم پوشش گیاهی	۰/۰۵۸	ضریب فرسایش‌پذیری خاک	۰/۰۳۴

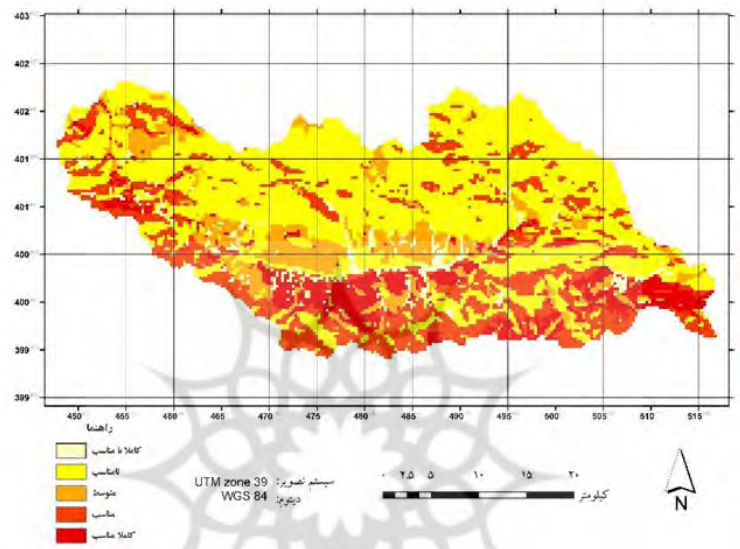
در نهایت ضریب اصلی و نهایی عناصر و شاخص‌های مد نظر جهت ارزیابی زیست محیطی آبخیز طالقان در راستای کاربری‌های یاد شده و با نظرخواهی از کارشناسان مربوطه تعیین گردید. در این پژوهش به بررسی میزان اهمیت هر یک از معیارها و شاخص‌ها به صورت مقایسات زوجی و با استفاده از مقیاس عددی ۱ تا ۹ پرداخته شد و به این صورت

وزن نهایی کلی برای لایه‌ها تعیین گردید (جداول ۷-۵).

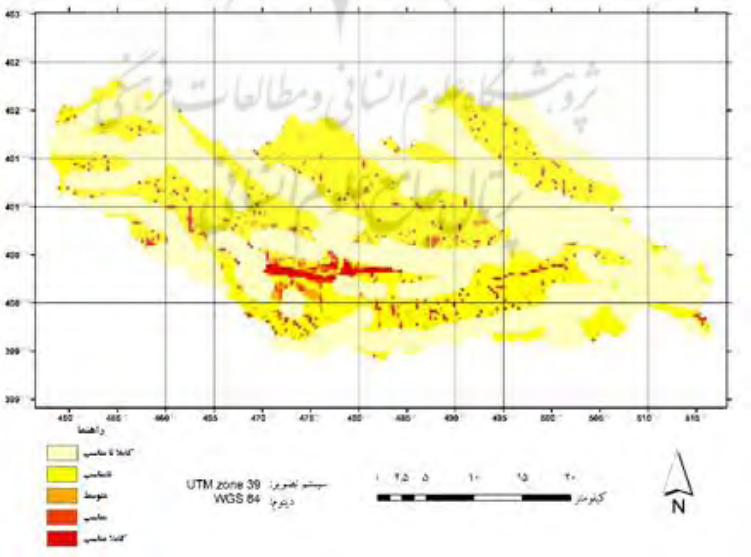
ج-پس از تهیهٔ هر کدام از نقشه و لایه‌های لازم در فرایند ارزیابی و تعیین وزن نهـایی آنهـا بـا اسـتفاده از روشAHP، هرکدام از نقشه‌ها با وزن مختص به خود در محیط GIS تلفیق شدند.

نقشه‌های توان اکولوژیک آبخیز طالقان

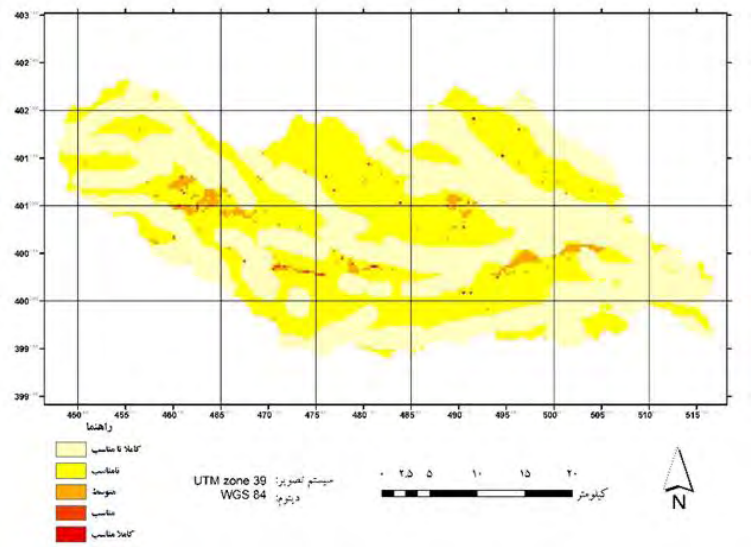
حال با توجه به وزن‌های به‌دست‌آمده از جداول ۷-۵، نقشه‌های توان اکولوژیـک آبخیـز طالقـان در زمینـهٔ جنگلـداری، توریسم و توسعهٔ شهری تهیه شد و خروجی نهایی به صورت نقشه‌های توان بوم‌شناختی کاربری‌های مورد نظر به‌دسـت-آمد (اشکال ۹-۷).



شکل شماره ۷. توان بوم‌شناختی جنگلداری

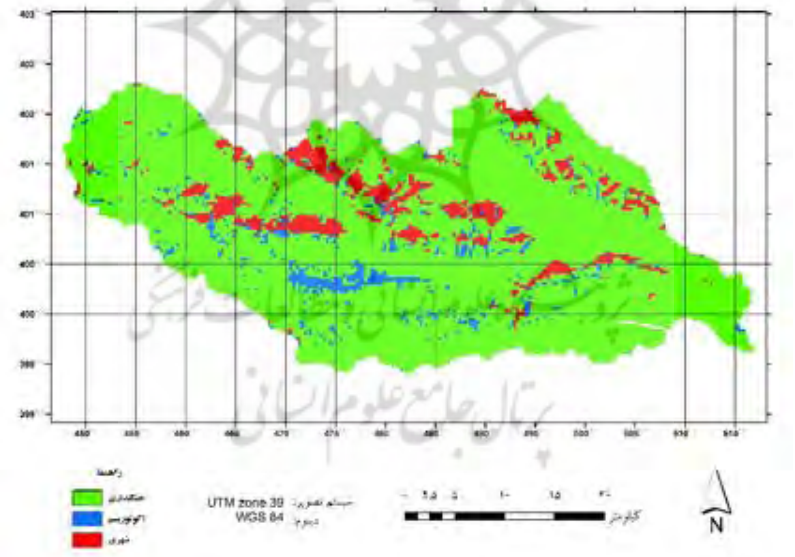


شکل شماره ۸. توان بوم‌شناختی اکوتوریسم گسترده



شکل ۹- توان بوم‌شناختی توسعهٔ شهری

پس از تعیین توان بوم‌شناختی حوضه در ارتباط با کاربری‌های جنگلداری، اکوتوریسم و شهری و روستایی، به منظور نمایش بهتر عرصه‌های با قابلیت بالای توسعهٔ مرتبط با کاربری‌های مذکور نسبت به تهیه نقشهٔ تخصیص بهترین کاربری در سطح حوضه با در نظرگرفتن بالاترین مقدار عددی توان بوم‌شناختی هر کاربری، اقدام گردید.



شکل ۱۰- نقشهٔ تخصیص بهینه کاربری‌ها در سطح حوضه بر مبنای بالاترین توان بوم‌شناختی

در جدول ۸، میزان مساحت با تناسب بالا برای هر یک از کاربری‌های جنگلداری، اکوتوریسم و شهری و روستایی در حوضهٔ آبخیز طالقان تعیین گردیده است. با توجه به اعداد به‌دست‌آمده از این جدول و با در نظر گرفتن همهٔ معیارهای مطرح شده، می‌توان اظهار داشت که کمترین توان بوم‌شناختی جهت توسعهٔ آتی منطقه مربوط به کاربری اکوتوریسم و در مقابل، سطح قابل توجهی از منطقه دارای ظرفیت بالای بوم‌شناختی جهت توسعهٔ کاربری جنگلداری می‌باشد.

جدول شماره ۸. مساحت هر کاربری در حوضه بر اساس بالاترین توان بوم‌شناختی آن‌ها در رقابت با سایر کاربری‌ها

کاربری‌ها	مساحت کاربری حائز بالاترین توان (کیلومتر مربع)
جنگلداری	۱۰۶۱/۷۷
اکوتوریسم	۶۴/۳۹
شهری و روستایی	۱۰۶/۴۳

نتیجه‌گیری

با ارزیابی‌های انجام‌شده در این پژوهش می‌توان چنین نتیجه گرفت که راهبرد سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در تلفیق با GIS می‌تواند چهارچوب مناسبی را برای حل مسائل پیچیدهٔ تصمیم‌گیری(به‌ویژه در تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری فضایی) فراهم کند، از این‌رو به‌کارگیری این راهبرد جهت پژوهش‌های ارزیابی بوم‌شناختی توصیه می‌گردد.

با بررسی پیشینهٔ پژوهش، از جمله پژوهشی که توسط ترکمانی و همکاران(۱۳۹۸)، یارمحمدی و همکاران(۱۳۹۷) و شمسی‌پور و همکاران(۱۳۹۲)، انجام گرفته است، می‌توان اظهار داشت، غالب پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه، تنها به ارزیابی توان اکولوژیکی منطقه در راستای توسعهٔ کاربری واحد پرداخته‌اند و ارزیابی تلفیقی کاربری‌هادر راستای تخصیص بهترین کاربری به نقاط مختلف واقع در محدودهٔ مطالعاتی، انجام نپذیرفته است.

در بررسی حوضهٔ آبخیز طالقان توان بوم‌شناختی با استفاده از مدل اکولوژیکی مخدوم، با روش ارزیابی چندمعیاره و با به‌کارگیری روشAHP، بررسی گردید.

نتایج حاصل از ارزیابی توان بوم‌شناختی حوضهٔآبخیز طالقان نشان می‌دهد که ۸۶درصد از مساحت حوضه، جهت توسعهٔ جنگلداری، ۵درصد، جهت گسترش اکوتوریسم و ۹ درصد جهت توسعهٔ کاربری شهری و روستایی مناسب هستند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان چنین تحلیل کرد که حوضهٔ آبخیز طالقان با داشتن محدودیت به لحاظ دارا بودن شیب بالا، ارتفاع زیاد و پتانسیل لرزه‌خیزی نسبتا زیاد، از لحاظ طبیعی قابلیت محدودی جهت توسعه در حوزهٔ شهر و روستا و همچنین صنعت اکوتوریسم دارد. آنچه از بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش و پژوهش‌های مشابه بر می‌آید این است که علی‌رغم وجود محدودیت‌های محیطی، می‌توان با شناخت صحیح از توان‌های بالقوه درعرصه‌های دارای قابلیت‌های طبیعی بالا، ضمن بهره‌برداری صحیح از منابع طبیعی به رشد و توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی منطقه جهت توسعه و آبادانی آن کمک شایان توجهی کرد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، پیشنهادها زیر مطرح می‌گردد:

با توجه به توان نسبتاً خوب از نظر کاربری جنگلداری، در زمینهٔ جنگلکاری صنعتی در مناطق با مطلوبیت مناسب از این نظر، برنامه‌ریزی انجام گیرد.

در خصوص نحوهٔاستفاده از اراضی منطقه با توجه به توان‌های برآوردی در مناطقی که استفادهٔ شدید از سرزمین اتفاق می‌افتد، کاربری‌ها به مناطقی که استفادهٔ متوسط یا کم از سرزمین می‌شود هدایت شوند تا در جهت استفادهٔ پایدار و مستمر از منابع محیطی و اصل توسعهٔ پایدار و درخور سرزمین گام برداشته شود.

با توجه به روند رو به رشد صنعت گردشگری و توسعهٔ سکونتگاههای دائمی و موقت در منطقهٔ طالقان، در سال‌های اخیر، توجه به توسعهٔ مناطق انسان ساخت بیش از پیش نمایان می‌شود؛ لذا پیشنهاد می‌گردد توجه ویژه‌ای به استقرار مناطق مسکونی و گردشگری در پهنه‌های مناسب و نیمه‌مناسب، گردد.

از عواملی که باعث تخریب و از بین رفتن خاک و پوشش گیاهی می‌گردد عدم استفادهٔ صحیح از اراضی است. با توجه به این‌که هر قسمت از اراضی منطقه جهت بهره‌دهی خاصی آمادگی دارد، بنابراین لازم است که اینگونه اراضی طبق نقشه قابلیت اراضی استفاده گردد و این مسئله توسط ارگان‌های فعال به‌خصوص مروجین کشاورزی و منابع طبیعی روشن

گردد.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

۱) ابراهیمی، بهروز؛ معماریان خلیل آباد، هادی؛ تاجبخش، سید محمد؛ آقاخانی، افشار (۱۳۹۹) ارزیابی توان اکولوژیک واحدهای هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز به منظور اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری. مطالعه موردی: حوضه آبخیز دشت مختاران، بیرجند، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره۱۰، شماره ۳۶، صص.۱۴۶-۱۲۳.

۲) احمدی زاده، سعید؛ زارع، علیرضا؛ داوری، محمدرضا؛ قوامی، مهران (۱۳۷۷) برنامه‌ریزی استان خراسان با استفاده از مدل‌های اکولوژیک و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک ۷۸ ، انتشارات سازمان نقشه برداری کشور، تهران.

۳) آل شیخ، علی اصغر (۱۳۸۵) طراحی مدل جدیدی برای ارزیابی توان اکولوژیکی ایران در توسعهٔ خدمات شهری ایران، همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.

۴) پورجعفر، محمدرضا؛ منتظرالمهدی، مهدی؛ رنجبر، احسان؛ کبیری، رضا (۱۳۹۱) ارزیابی توان اکولوژیکی به منظور تعیین عرصه‌های مناسب توسعه در محدودهٔ شهر جدید سهند، نشریه جغرافیا و توسعه، دورهٔ ۱۰، شماره ۲۸، صص.۲۲-۱۱.

۵) ترکمانی، حجت؛ طاهرخانی، علیرضا؛ فلاح‌پور، سجاد (۱۳۹۷) ارزیابی توان اکولوژیکی شهرستان میانه در راستای توسعهٔ اکوتوریسم با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره۱۹، شماره ۵۵، صص. ۲۳۲ -۲۱۵.

۶) حسین‌زاده، محمدمهدی؛ رحمن‌آبادی، حسن؛ میرباقری، بابک (۱۳۹۸) ارزیابی توان اکولوژیک فضای جغرافیایی شهرستان کنگاور بر پایه ویژگی‌های محیط طبیعی، مجله آمایش سرزمین، دوره ۱۲، شماره ۱، صص.۵۲-۲۹.

۷) داداش پور، هاشم؛ رضائی راد، هادی؛ السادات مطهری، زینب (۱۳۹۵) سنجش توان اکولوژیک جهت رشد و توسعه کالبدی و محدوده پیرامونی شهر سبزوار با استفاده از منطق IHWP، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۶، شماره۲۲، صص.۵۸-۴۳.

۸) دشتی، سولماز؛ عماری، سحر؛ مرشدی، جعفر (۱۳۹۶) ارزیابی توان اکولوژیک به منظور توسعهٔ شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی(مطالعه موردی:جزیره مینو)، انسان و محیط زیست، دورهٔ ۱۵،شماره۱، صص.۷۰-۶۱.

۹) رضاپور، نفیسه و علی‌خواه اصل، مرضیه (۱۳۹۶) ارزیابی توان اکولوژیکی منطقهٔحفاظت شدهٔ آق‌داغ برای کاربری جنگلداری، فصلنامهٔ اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۶، شماره ۱۰۲، صص.۲۱۶-۲۰۵.

۱۰) عزیزان، محمدصادق؛ نقدی، فریده؛ ملازاده، مهدی (۱۳۹۵) ارزیابی توان اکولوژیک حاشیه شهر تبریز به منظور توسعهٔ پایدار شهری با رویکرد MCE، مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال ۴، شماره ۱۳، صص.۱۲۸-۱۱۳.

۱۱) فرجی‌سبکبار، حسنعلی (۱۳۸۴) مکان‌یابی واحدهای خدمات بازرگانی با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۷دوره شماره ۵۱، صص.۱۳۸-۱۲۵.

۱۲) فیض نیا، سادات و جعفری، محمد (۱۳۸۱) مطالعه خاکشناسی منطقه طالقان با روش زمین شناسی، مجله منابع طبیعی، جلد ۵۵، شماره ۳، صص.۳۳۳-۳۰۵.

۱۳) قدسی‌پور، سیدحسن (۱۳۷۹) فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبیAHP، چاپ ۱، تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۱۴) قنواتی، عزت الله و گودرزی دلفانی، فاطمه (۱۳۹۲) مکان‌یابی بهینه توسعهٔ شهری با تأکید بر پارامترهای طبیعی بااستفاده از مدل تلفیقی فازیAHP، دو فصلنامهٔ ژئومورفولوژی کاربردی ایران، دورهٔ ۱، شماره ۱، صص.۶۰-۴۵.

۱۵) کرمی، امید؛ حسینی‌نصر، سیدمحمد؛ جلیلوند، حمید؛ میریعقوب‌زاده، میرمحسن (۱۳۹۰) ارزیابی زیست‌محیطی حوضهٔ آبخیز بابلرود برای جنگلداری بااستفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، دوره ۱۹، شماره ۱، صص. ۲۲-۱.

۱۶) کرمی، امید؛ حسینی‌نصر، سیدمحمد؛ جلیلوند، حمید؛ میریعقوب‌زاده، میرمحسن (۱۳۹۲) کاربرد فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی در ارزیابی توان اراضی حوضهٔآبخیز بابلرود برای مرتعداری، فصلنامهٔ تحقیقات مرتع و بیابان

ایران، دورهٔ ۲، شماره۱، صص.۱۱۴-۱۰۱.

۱۷) کریمی، کیوان و بحرینی، سیدحسین (۱۳۹۲) برنامه‌ریزی محیطی برای توسعهٔ زمین: دستورالعملی برای طراحی و برنامه‌ریزی محلی پایدار، چاپ چهارم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۱۸) مجنونیان، هنریک (۱۳۸۰) ارزیابی توان زیست‌محیطی پناهگاه حیات‌وحش لوندویل، مجله محیط‌شناسی، شماره۲۷، صص.۳۳-۲۳.

۱۹) مخدوم، مجید (۱۳۹۳) شالودهٔ آمایش سرزمین، چاپ چهاردهم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران .

۲۰) وبگاه سازمان حفاظت محیط زیست.(www.doe.ir)

21) Akinci, H. & Özalp, Turgut B. (2013) Agricultural land use suitablility analysis using GIS and AHP technique, Computers and Electronics in Agriculture, No. 97, pp.71-82.

22) Annells, R.S. & Arthurton, R.S. & Bazley, R.A.B. & Davies, R.G. & Hamedi, M.A.R. & Rahimzadeh, F. (1977) Geological map of Iran, Shakran sheet 6162. Tehran, Geological Survey of Iran, scale 1:100,000.

23) Dedual, E. (1967) Zur Geologie des mittleren und unteren Karaj-Tales, Zntral-Elborz (Iran). Zurich, Eidgen.Tech. Hochsch, Univ. Zurich, Mitt.Geol.Inst.

24) Kangas, J. (1992) Multiple-use planning of forest resources by using the analytic hierarchy process. Scand. J. For. Res, 7, International Journal of Remote Sensing, Vol.19, pp.259-268

25) Kusumoarto, A. & Ernawati, A. (2018) Ecological Carrying Capacity Analysis of Ecotourism Objects in Salak II Resort Area, Halimun Salak National Park, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 145, No. 1, pp. 12-19.

26) Loi, N.K. & Tuan, V.M. (2008) Integration OF GIS and AHP techniques for land use suitability analysis in Di Linh district – Upstream Dong Nai watershed – Vietnam. Fortrop II International Conference Tropical Forestry Change in a Changing World.

27) Malczewski, J. (2004) GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview, Journal of Progress in Planning, Vol.62, No.1, pp.3-65.

28) Mansir, A. (2007) A Geographic Information System (GIS) and Multi-Criteria Analysis for Sustainable Tourism Planning, A project submitted in fulfillment of the requirements for the award of the degree of Master of Science (Planning-Information Technology), Faculty of Built Environment Universiti Teknologi Malaysia,.

29) Moller, R. & Heinrich, Z.& Nachbave, M. (1997) The Use of Geographical Information and Ecosystems Approach in Environmental Planning in part of Northern Karanataka.

30) Peng, L. & Chen, W. & Li, M. & Bai, Y. & Pan,Y. (2014) GIS-based study of the spatial distribution suitability of livestock and poultry farming: The case of Putian, Fujian, china, Computer and Electronic in Agriculture, No. 108, pp.183-190

31) Radklift, M. (1994) Sustainable Development, Center of Planning and Agro Economic Studies,Tehran, Agriculture Ministry.

32) Rajović, G. & Bulatović, J. (2017) Natural resources, classification of natural potential,sustainable development, World News of Natural Sciences, Vol.6, pp.3-20.

33) Reshmidevi, T.V. & Eldho, T.L. & Jana, R. (2009) A GIS-integrated Fuzzy Rule-based Inference System for Land Suitability Evaluation in Agricultural Watersheds, Agricultutal Systems, Vol.101, pp. 101-109.

34) Saaty, T.L. (1994) How to make a decision: the analytic hierarchy process, Interfaces, Vol.48, No.1, pp.9-26.