فصلنامه علوم محیطی، دوره چهاردهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵

۵۱-۶۸

ارائه مدل پیشنهادیEMOLUP با رویکردی جدید در آمایش سرزمین کشور (گام اول: ارزیابی توان اکولوژیک کاربری‌های مختلف)

مسعود مسعودی[۱*] و پرویز جوکار[۲]

[۱] دانشیار گروه مهندسی منابع‌طبیعی و محیط‌زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز
[۲] دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۲۶

چکیده

آمایش سرزمین علمی است که با توجه به ویژگی‌های اکولوژیک سرزمین و شرایط اقتصادی اجتماعی آن، نوع استفاده بهینه از سرزمین را مشخص می‌سازد. غالب روش‌های ارزیابی توان مورد بررسی مانند روش‌های ارائه‌شده توسط سازمان فائو و همچنین روش اکولوژیکی آمایش سرزمین در ایران با توجه به نوع نگرش به محیط و بررسی اجزای آن و نیز برآورد توان بدون پیش‌داوری و تنها بر اساس توان ذاتی سرزمین استوار است. لیکن این نگرش‌های محض به محیط، شرایط فعلی منطقه را نادیده گرفته و برآوردی ناقص در توان واقعی آن به‌عمل می‌آورند. در این تحقیق توان‌های اکولوژیک با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و با مدل پیشنهادیEMOLUP (ارزیابی بر اساس روش‌های میانگین هندسی و کالیبره آن) بررسی شده است. سپس مقایسه‌ای بین مدل‌های توان اکولوژیک رایج در ایران، اصلاح‌شده آن و میانگین حسابی برای کاربری‌های مختلف صورت گرفته است. نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی EMOLUP از قابلیت بالاتری برای برآورد توان واقعی سرزمین در شهرستان جهرم با اقلیم خشک و نیمه‌خشک برخوردار است.

کلمات کلیدی: ارزیابی توان، مدل پیشنهادی، مدل اکولوژیک، میانگین هندسی، EMOLUP .

Suggestion the Proposed Model of EMOLUP, with New Approach in Land Use Planning (Step One: Ecological Capability Evaluation for Different Land Uses)

Masoud Masoudi[1*] & Parviz Jokar[2]

[1] Associate Professor, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz
[2] Former MSc. Student, Department of Natural Resources and Environmental Engineering, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz

Abstract

Land use planning is a science that specifies the optimized use of land based on its ecological and socio-economic characteristics. Most assessment methods such as that used by FAO, the Iranian method of land capability survey of the environment and its components and also evaluation calculations without prejudice are all based solely on the inherent territory. However, these methods ignore socio-economic factors and estimate land capability incompletely. In this study, we survey the land capability evaluation using GIS and the EMOLUP (geometric mean and calibration methods) model. Then, comparison was undertaken between the different capability evaluation models, such as makhdoum, its revision and arithmetic method for different uses. The results showed that the proposed model (EMOLUP) has higher accuracy for estimating the real capability in the arid and semi-arid study area.

Keyword: Capability assessment, Proposed model, Ecological model, Geometric mean, EMOLUP.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: masoudi@shirazu.ac.ir

۱- مقدمه

دست‌یابی به توسعه پایدار و استفاده بهینه از منابع، در گرو شناخت دقیق از امکانات، توان‌ها و محدودیت‌هایی است که در رسیدن به وضع مطلوب با آن مواجهیم. در بسیاری از مناطق ایران، انتخاب کاربری و مدیریت زمین بدون توجه به توان سرزمین انجام می‌شود که سبب اتلاف سرمایه و کاهش ظرفیت محیطی می‌شود. در این راستا نقش آمایش در مدیریت بهینه این منابع عظیم از اهمیت زیادی برخوردار است و می‌تواند با توجه به ویژگی‌های اکولوژیک سرزمین و شرایط اقتصادی-اجتماعی آن، نوع استفاده بهینه از سرزمین را مشخص سازد. در ایران برای دستیابی به آمایش سرزمین، روش ارزیابی توان اکولوژیک محیط زیست، چندعامله است و ارزیابی و طبقه‌بندی سرزمین با مقایسه بین ویژگی‌های اکولوژیک واحدهای زیست-محیطی و مدل‌های اکولوژیک ایران انجام می‌شود.

با این حال روش‌ها و تکنیک‌های ارائه شده ارزیابی توان اکولوژیک با توجه به نوع نگرش به محیط و بررسی اجزای آن و نیز برآورد توان بدون پیش‌داوری و تنها بر اساس توان ذاتی سرزمین استوار است. در فرآیند مدل‌سازی ارزیابی توان اکولوژیک با مدل‌های اکولوژیک رایج در ایران [۱]، ۸ کلاسه آمریکایی، ۶ کلاسه تناسب اراضی [۲]، استوری [۳] و روش‌های مشابه، درجه مرغوبیت پارامترها به صورت طبقه‌ای مشخص می‌شود. سپس نقشه نهایی توان بر اساس شاخص‌های مؤثر در توان کاربری مورد نظر، پهنه‌بندی می‌شود. در مرحله تصمیم‌گیری، نقشه نهایی با روش منطق بولین ارزیابی می‌شوند. این دیدگاه در مورد ارزیابی توان، که در اکولوژی قانون مینیمم لبیگ (حداکثر محدودیت) نامیده می‌شود واحدهایی که از لحاظ یک لایه اطلاعاتی تا حدی نامناسب باشند، شانس انتخاب را به کلی از دست می‌دهند (بر اساس این قانون، کمبود یا عدم وجود یک عنصر ضروری، در جایی که بقیه عناصر موجود باشند، مانع تولید محصول می‌شود). همچنین در این روش ممکن است که واحدهایی با خصوصیات متفاوت در یک کلاس قرار گیرند.

در روش استوری [۳] هم که ارزیابی بر اساس ضرب استوار است، تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند و به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک که همان درجات عضویت اعضا در مجموعه فازی هستند باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد کوچک‌تر و به سمت صفر میل کند. در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد. به همین دلیل این دیدگاه حساسیت بالایی در مکان‌یابی اعمال می‌کند [۴ و ۵]. در روش‌های مبتنی بر دیدگاه جمع یا میانگین حسابی (مانند ارزیابی چندمعیاره، بدون بحث وزن‌دهی)، در نقشه خروجی بر خلاف ضرب فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت ۱ میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد. به همین دلیل این دیدگاه حساسیت پایینی در مکان‌یابی اعمال می‌کند [۶]. این خصوصیات موجب عدم انطباق توان سرزمین با ویژگی‌های واقعی سرزمین و کاربری‌هایی خواهد شد که از مهم‌ترین مسائل هستند [۷].

از این‌رو این نگرش‌های محض به محیط، عوامل اقتصادی اجتماعی (شرایط فعلی عرصه) را نادیده گرفته و برآوردی ناقص در توان واقعی سرزمین به‌عمل می‌آورند. با این تفاسیر ایجاد مدلی با در نظرگیری عوامل اکولوژیکی و شرایط فعلی عرصه (برای کالیبره مدل) در این بحث ضرورت پیدا خواهد کرد. پژوهش‌های زیادی در بحث توان سرزمین انجام شده که به چند مورد اشاره می‌شود.

اصطلاح آمایش سرزمین برای اولین بار در سال ۱۹۴۹ میلادی به‌وسیله فرانسوی‌ها برای حل مشکلات اقتصادی مانند تعدیل تمرکز (تمرکززدایی از پاریس) و توزیع بهینه فعالیت‌ها متناسب با قابلیت نواحی به‌کار رفت. اساس مکتب اروپایی برحسب اطلاعات اقتصادی و اجتماعی استوار است. به دلیل ناکارآمدی مکتب اروپایی در اجرای برنامه‌های همه‌جانبه آمایش در جهان و اینکه همه پارامترها را در نظر نمی‌گرفت در اواخر دهه ۱۹۵۰ و اوایل دهه ۱۹۶۰ مکتب جدیدی به نام مکتب انگلوساکسون به‌وجود آمد که به ارزیابی همه‌جانبه سرزمین با هماهنگی چهار پارامتر توان اکولوژیکی، تکنولوژی، نیروی انسانی و منابع مالی می‌پردازد. از کشورهای با آمایش سرزمین به روش انگلوساکسون می‌توان به آلمان، هلند، کانادا، آمریکا، استرالیا، کره، ژاپن و ایران اشاره کرد. در ایران از مهم‌ترین اقدامات انجام شده ارائه مدل اکولوژیک کاربری‌های اراضی [۱] است که نقطه عطفی در فرآیند آمایش سرزمین به حساب می‌آید و سپس با همکاری درویش‌صفت و جعفرزاده، مدل‌های حرفی به صورت مناسب‌تری برای استفاده در سیستم اطلاعات جغرافیایی ارائه شد [۸]. با پیشرفت در فناوری به‌خصوص سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور مطالعات بیشتر و دقیق‌تری در زمینه‌های مختلف مانند ارزیابی چندمعیاره [۹ و ۱۰]، استفاده از تصاویر

ماهواره‌ای برای بررسی تغییرات کاربری [۱۱] و استفاده از الگوریتم‌های پیچیده مانند الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی [۱۲] می‌توان اشاره کرد.

در خارج از ایران دوکوچائف در سال‌های ۱۸۴۶ تا ۱۹۰۳ میلادی، تئوری منطقه‌ای را برای طبقه‌بندی خاک‌های روسیه ارائه کرد. وی پایه‌گذار رویکرد علمی مبحث ارزیابی اراضی قلمداد می‌شود [۲]. پس از آن به تدریج روش‌های مختلف ارزیابی سرزمین براساس شرایط منطقه‌ای در نقاط مختلف جهان شکل گرفت که از مهم‌ترین آنها می‌توان به روش‌های ارزیابی موجود در ایران و برزیل اشاره کرد. مک‌هارگ روش سیستمی ادغام نقشه‌ها را ابداع کرد که منجر به نقطه عطفی در آمایش شد [۱۳]. با این حال متأسفانه به دلیل عدم هماهنگی در ساختار روش‌ها، تبادل اطلاعات بین کشورها غیرممکن می‌نمود؛ از این رو سازمان فائو چارچوبی برای ارزیابی اراضی تهیه و آن را تحت عنوان نشریه شماره ۳۲ منتشر کرد[۱۴]. در ضمن این سازمان در رویکرد جدید خود در ۱۹۹۷ اشاره کرد که قابلیت سرزمین برای یک کاربری به شرایط بیوفیزیکال و اقتصادی-اجتماعی بستگی دارد. از روش‌های ارزیابی توان با سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور می‌توان به تحقیقات مختلف [۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸ و ۱۹] اشاره کرد.

در مورد شهرستان جهرم نیز از آنجا که پتانسیل بالایی در کاربری‌های اراضی به‌ویژه اراضی کشاورزی دارد باید با محاسبات دقیق نسبت به برآورد توان واقعی محیط و بالطبع جلوگیری از چالش‌های اقتصادی-اجتماعی ایجاد شده اقدام شود. اراضی منابع طبیعی (جنگل و مرتع) این شهرستان نیز باید از جنبه حفاظتی و اقدامات انجام‌شده چه در مرحله ارزیابی و چه در مرحله اجرا بررسی شود.

تحقیق فوق با استفاده از مدل پیشنهادی EMOLUP[1] و مقایسه آن با سایر روش‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی، در گام اول (مقاله حاضر) به ارزیابی توان اکولوژیک کاربری‌های اراضی مختلف در منطقه مطالعاتی می‌پردازد و در گام دوم با توجه به شرایط اقتصادی-اجتماعی و بهره‌گیری از نقشه‌های توان اکولوژیک مناسب به اولویت‌بندی و آمایش کاربری‌ها در منطقه می‌پردازد تا از این طریق بتوان نوع نگرش به آمایش سرزمین را به سمت تلفیقی از شرایط اکولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی بهینه سوق داد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده و قلمروی مورد بررسی

شهرستان جهرم به مرکزیت شهر جهرم با وسعت ۵۷۳۷ کیلومتر مربع ۴/۶۸ درصد از کل مساحت خاکی استان فارس را به خود اختصاص داده است. این شهرستان در محدوده عرض جغرافیایی ´۲۸°۱۸ تا ´۲۹°۶ و طول جغرافیایی ´۵۲°۴۵ تا ´۵۴°۴ قرار گرفته است. اقلیم منطقه گرم، خشک و نیمه‌خشک و در مناطق کوهستانی معتدل است. کشاورزی و باغداری در این شهرستان به‌صورت سنتی و نیمه‌صنعتی است اما به علت موقعیت خاص جغرافیایی، باغداری پایه اصلی اقتصاد این شهرستان را تشکیل می‌دهد. شهر جهرم مرکز شهرستان نیز جز پرجمعیت‌ترین شهرهای استان محسوب می‌شود [۲۰]. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

۲-۲- روش تحقیق

روش تحقیق در این پژوهش از نوع "توصیفی-تحلیلی" است و برای جمع‌آوری داده‌ها از ابزار کتابخانه‌ای و مطالعات و مشاهدات میدانی استفاده شده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز با نرم‌افزارهای ArcGis9.3، ENVI4.7 و EXCEL صورت گرفته است.

۲-۲-۱- فرآیند مدل‌سازی

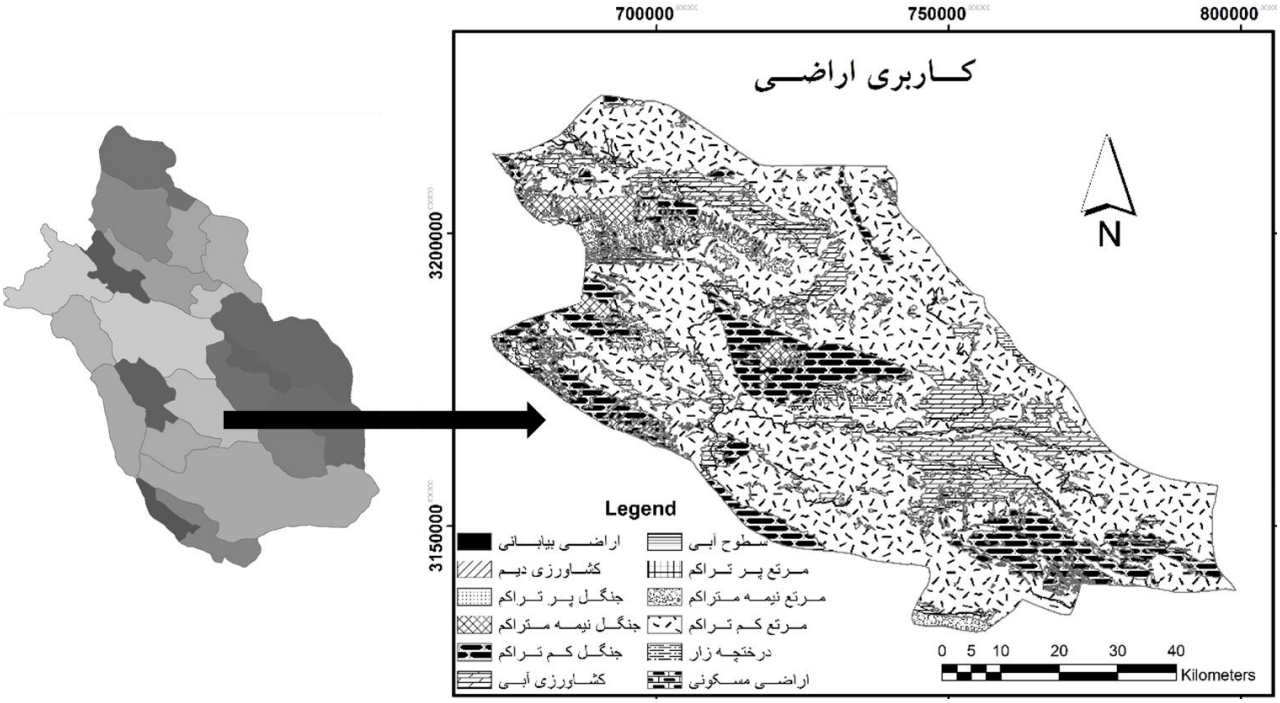
مراحلی که برای ساخت مدل‌ها باید به صورت سیستماتیک اجرا شود [۲۱] عبارتند از:

۲-۲-۱-۱- تعریف و شناخت مسئله (پرداختن به علت اصلی مسئله)

مرحله تعیین مسائل و اهداف، حیاتی‌ترین و اولین مرحله هر فعالیتی است. این مسائل باید مشخص بوده و به طور صریح بیان شود.

۲-۲-۱-۲- جمع‌آوری داده‌ها

در این پژوهش شاخص‌های زیادی در ارزیابی و آمایش سرزمین منطقه ارزیابی شد که غالباً به شکل نقشه‌های موضوعی و رقومی شده مورد بررسی قرار گرفت. پس از تهیه داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی، این داده‌ها وارد سامانه اطلاعات جغرافیایی گشت تا محاسبات مورد نیاز با توجه به الگوریتم‌های تعیین‌شده برای محاسبه شاخص‌ها و ارزیابی تناسب صورت گیرد. شایان ذکر است که داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل نقشه‌های توپوگرافی، خاک، زمین شناسی، پوشش گیاهی، منابع آب، اقلیم و... است که از سازمان‌های مربوطه در استان فارس تهیه و جمع آوری شده است.



شکل۱- موقعیت شهرستان جهرم در استان فارس

۲-۲-۱-۳- مشخص کردن معیارها و شاخص‌های ارزیابی

یکی از مسائل مهم ساخت مدل، گزینش متغیرهایی است که باید در مدل گنجانیده شود. بدیهی است که مدل باید قادر به بارزسازی پدیده‌های مورد نظر مدل‌ساز باشد؛ پس از تعیین متغیرها، تصمیمات لازم درباره نحوه طبقه‌بندی متغیرها گرفته شود. گزینش روش‌های خاص برای طبقه‌بندی در ارتباط تنگاتنگ با هدف مدل است. در این تحقیق با در نظرگرفتن شرایط منطقه مطالعاتی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، و همچنین برای ایجاد هماهنگی در ساختار طبقات، دامنه طبقات پارامترها در مدل‌های اکولوژیکی فائو (استفاده‌شده در کاربری‌های کشاورزی و منابع طبیعی) و مدل اکولوژیک رایج در ایران باز طبقه‌بندی شد.

در این راستا کاربری‌های کشاورزی (آبی و دیم) و منابع طبیعی (جنگل و مرتع) بر اساس متغیرهای تعریف‌شده در مدل‌های اکولوژیک رایج در ایران (۷ طبقه‌ای) و مدل‌های فائو (۶ طبقه‌ای) به ۴ طبقه (طبقه ۱: مناسب؛ طبقه ۲: نیمه‌مناسب؛ طبقه ۳: ضعیف و طبقه۴: نامناسب) معادل با طبقات تعریف‌شده، و کاربری توسعه و اکوتوریسم بر اساس متغیرهای تعریف‌شده در مدل اکولوژیک رایج در ایران به ۳ طبقه (طبقه ۱: مناسب؛ طبقه ۲: نیمه‌مناسب؛ طبقه ۳: ضعیف و نامناسب) طبقه‌بندی شدند. این شاخص‌ها در جداول ۱ و ۲ نمایان است.

جدول ۱ بیانگر شاخص‌های مربوط به کاربری‌های انسان‌ساخت و منابع طبیعی است. همانطور که مشخص است، شاخص‌های کاربری کشاورزی آبی برای هم باغبانی و زراعت چیدمان شده است. لازم به ذکر است که در کاربری کشاورزی آبی و توسعه، شاخص آب قابل‌استفاده در واحدهای هیدرولوژیک و معیار تخریب منابع آب در واحد دشت مورد بررسی واقع شد [۲۲]. شاخص شوری و درصد سدیم قابل تبادل نیز به صورت کمی قابل ارزیابی است (شوری (EC بر حسب ds/m): <۸ کم، ۱۶-۸ متوسط،۳۲-۱۶ شدید،>۳۲ خیلی شدید و میزان قلیائیت (ESP) :<۱۵ کم،۳۰-۱۵ متوسط،۵۰-۳۰ شدید،>۵۰ خیلی شدید). همچنین در کاربری‌های منابع طبیعی با توجه به شرایط اکولوژیکی منطقه و به لحاظ حفاظتی نیز بررسی شده است (جدول۱ و ۲). شایان ذکر است که در روش میانگین هندسی برای کاربری جنگل‌داری که متعاقبا شرح داده می‌شود، معیار خاک و زمین‌شناسی به‌علت تأثیر سنگ بستر بر ریشه‌دهی درختان، با هم در نظر گرفته شدند [۲۳].

۲-۲-۱-۴- فرموله کردن مدل و ایجاد ارتباط بین معیارها و شاخص‌ها

مرحله بعدی ساخت مدل، مستلزم توصیف فرضیه (یا فرضیات) رفتار سیستم و تفسیر این فرضیه به شکل ریاضی یا نمادی است. این مرحله مستلزم گزینش مناسب‌ترین تکنیک‌های ریاضی خواهد بود و این تکنیک‌های ریاضی را بدون اطلاعات تکنیکی مناسب نباید به کار گرفت. خصوصیات مدل در زبان ریاضی معمولاً شامل پارامترهای گوناگونی است که به روابط مدل، بعد می‌دهند (یعنی پارامترها مقدار تغییرات یک متغیر را در رابطه با دیگر تغییرات تعیین می‌کنند). نحوه ارزیابی و امتیازدهی در تحقیق فعلی با ۴ روش اعمال می‌شود:

۲-۲-۱-۴-۱- مدل اکولوژیک رایج در ایران [۱]

این مدل‌ها با در نظرگیری طبقات تعریف‌شده در مدل اکولوژیک رایج در ایران بر اساس منطق بولین انجام شد.

۲-۲-۱-۴-۲- مدل اصلاح‌شده پیشنهادی بر اساس منطق بولین (حداکثر محدودیت)

این مدل‌ها با در نظر گرفتن طبقات تعریف‌شده پیشنهادی (کشاورزی و منابع طبیعی ۴ طبقه؛ توسعه و اکوتوریسم ۳ طبقه) با رویکرد منطق بولین ایجاد شد.

جدول ۱- شاخص‌های مؤثر و فاصله طبقات پیشنهادی آنها برای کاربری‌های مختلف (معیار توپوگرافی)

شاخص		کشاورزی آبی	کشاورزی دیم	مرتع‌داری	جنگل‌داری	توسعه	اکوتوریسم متمرکز	طبقات توان
درصد شیب		۸-۰ (زراعت: ۵-۰)	۵-۰	۱۵-۰	۳۵-۰ (جنگل حفاظتی: ۵۵-۰)	۱۵-۰	۱۵-۰	۱
		۱۵-۸ (زراعت: ۸-۵)	۱۵-۵	۲۵-۱۵	۵۵-۳۵ (حفاظتی: ۶۵-۵۵)	۳۰-۱۵	۳۰-۱۵	۲
		۳۰-۱۵ (زراعت:۱۵-۸)	۲۵-۱۵	۴۰-۲۵	۶۵-۵۵ (حفاظتی: >۶۵)	۳۰<	۳۰<	۳
		۳۰< (زراعت: >۱۵)	۲۵<	۴۰< (در اراضی کوهستانی)	۶۵< (حفاظتی: -)	-	-	۴
ارتفاع (متر) و تیپ اراضی		دشت (زراعت: دشت (تیپ‌های ۴،۵،۶ و ۷)) - (زراعت: تیپ‌های۳، ۸ و ۹ (شامل فلات‌ها و تراس‌های فوقانی و مخروط‌افکنه))	دشت	-	۱۰۰۰-۰ (حفاظتی: ۱۸۰۰-۰)	دشت‌های دامنه‌ای، دشت‌های رسوبی و دشت پست.	-	۱
			-	-	۱۸۰۰-۱۰۰۰ (حفاظتی: ۲۶۰۰-۱۸۰۰)	فلات‌ها و تراس‌های فوقانی(تیپ۳)، مخروط افکنه و واریزه(تیپ ۸و۹).	-	۲
		تپه	تپه	-	۲۶۰۰-۱۸۰۰ (حفاظتی: >۲۶۰۰)	تپه، کوه و دشت سیلابی	-	۳
		کوه (زراعت: تپه و کوه)	کوه	-	۲۶۰۰< (حفاظتی: -)	-	-	۴

ادامه جدول ۱- شاخص‌های مؤثر و فاصله طبقات پیشنهادی آنها برای کاربری‌های مختلف (معیار اقلیم)

شاخص		کشاورزی آبی	کشاورزی دیم	مرتع‌داری	جنگل‌داری	توسعه	اکوتوریسم متمرکز	طبقات توان
اقلیم و موارد دیگر	اقلیمی	نیمه خشک تا مرطوب	-	-	-	رطوبت نسبی (٪) ۷۰-۴۰/۱	۱۵< ^{۲}	۱
		خشک	-	-	-	۸۰-۷۰ یا >۴۰	۱۵-۷	۲
		فراخشک	-	-	-	۸۰<	۷ >	۳
		-	-	-	-	-	-	۴
میانگین سرعت باد (کیلومتر در ساعت)		-	-	-	-	۳۵-۱	-	۱
		-	-	-	-	۶۰-۳۶	-	۲
		-	-	-	-	۶۰<	-	۳
خطر خشکسالی		کم	کم	کم	-	-	-	۱
		متوسط	متوسط	متوسط	-	-	-	۲
		شدید و خیلی شدید	شدید و خیلی شدید	شدید و خیلی شدید	-	-	-	۳
		-	-	-	-	-	-	۴
بارش		-	۴۰۰<	۴۰۰<	۸۰۰<	۸۰۰-۵۰۱	-	۱
		-	۴۰۰-۲۰۱	۴۰۰-۲۰۱	۸۰۰-۵۰۱	۵۰۰-۵۱ یا >۸۰۰	-	۲
		-	۲۰۰-۵۱	۲۰۰-۵۱	۵۰۰-۲۰۱	۵۰>	-	۳
		-	۵۰>	۵۰>	۲۰۰>	-	-	۴
دما		-	-	-	۲۱-۱۸	۲۴-۱۸	۲۴/۱-۲۱ ^{۳}	۱
		-	-	-	۳۰-۲۱ یا >۱۸	۳۰-۲۴ یا>۱۸	۳۰-۲۱/۱ یا ۲۴/۱-۳۰	۲
		-	-	-	۳۰<	۳۰<	۳۰> یا ۱۸>	۳
		-	-	-	-	-	-	۴

ادامه جدول ۱- شاخص‌های مؤثر و فاصله طبقات پیشنهادی آنها برای کاربری‌های مختلف (معیار خاک)

شاخص	کشاورزی آبی	کشاورزی دیم	مرتع‌داری	جنگل‌داری	توسعه	اکوتوریسم متمرکز	طبقات توان
بافت	اکثر بافت‌ها (شامل سبک، متوسط و سنگین)	اکثر بافت‌ها (شامل سبک، متوسط و سنگین)	اکثر بافت‌ها (شامل سبک، متوسط و سنگین)	سنگین، متوسط و سبک	غالباً متوسط	غالباً متوسط	۱
	درشت (مانند شن درشت لومی و شن ریز)	درشت (مانند شن درشت لومی و شن ریز)	درشت (مانند شن درشت لومی و شن ریز)	درشت و خیلی درشت	غالباً سبک	درشت، سبک و سنگین	۲
	خیلی درشت (شنی و شن درشت)	خیلی درشت (شنی و شن درشت)	خیلی درشت (شنی و شن درشت)	-	غالباً سنگین،رگوسول و لیتوسول	خیلی سنگین	۳
	-	-	-	-	-	-	۴
درصد سنگریزه	۰-۳۵	۰-۳۵	۰-۳۵	۱۵≥	۰-۲۵	-	۱
	۳۵-۷۵	۳۵-۷۵	۳۵-۷۵	۱۶-۵۰	۲۶-۵۰	-	۲
	۷۵<	-	۷۵<	۵۱<	۵۰<	-	۳
	-	۷۵<	-	-	-	-	۴
عمق (cm)	عمیق (>۸۰)	عمیق (>۸۰)	نیمه‌عمیق تا عمیق (>۵۰)	عمیق (>۸۰)	عمیق (>۸۰)	عمیق	۱
	نیمه‌عمیق (۵۰-۸۰)	نیمه‌عمیق (۵۰-۸۰)	کم‌عمق (۲۵-۵۰)	نیمه‌عمیق (۵۰-۸۰)	نیمه‌عمیق (۵۰-۸۰)	نیمه‌عمیق	۲
	کم‌عمق (۲۵-۵۰)	کم‌عمق (۲۵-۵۰)	خیلی کم (<۲۵)	کم‌عمق تا خیلی کم عمق (<۵۰)	کم‌عمق (<۵۰)	کم عمق	۳
	خیلی کم تا بدون خاک(<۲۵)	خیلی کم تا بدون خاک(<۲۵)	بدون خاک(۰)	بدون خاک(۰)	-	-	۴
زهکشی (نفوذپذیری سانتی متر بر ساعت)	آهسته تا سریع (۰/۱-۲۵)	آهسته تا سریع (۰/۱-۲۵)	آهسته تا سریع (۰/۱-۲۵)	زهکشی خوب تا متوسط (۰/۱-۲۵)	خوب(۶-۲)	خوب(۶-۲)	۱
	خیلی سریع یا خیلی آهسته (<۰/۱ یا >۲۵)	خیلی سریع یا خیلی آهسته (<۰/۱ یا >۲۵)	خیلی سریع یا خیلی آهسته (<۰/۱ یا >۲۵)	زهکشی ناقص یا فقیر (<۰/۱ یا >۲۵)	متوسط (۲-۰/۱ یا ۲۵-۶)	ضعیف تا متوسط (۲-۰/۱ یا ۲۵-۶)	۲
	-	-	-	-	ضعیف (<۰/۱ یا >۲۵)	نامناسب (<۰/۱ یا >۲۵)	۳
	-	-	-	-	-	-	۴
فرسایش خاک	کم	کم	کم	کم	کم	-	۱
	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	-	۲
	شدید	شدید	شدید و خیلی شدید	شدید و خیلی شدید	شدید و خیلی شدید	-	۳
	خیلی شدید	خیلی شدید	-	-	-	-	۴
شوری و قلیاییت	کم	کم	کم	-	-	-	۱
	متوسط	متوسط	متوسط	-	-	-	۲
	شدید	شدید	شدید و خیلی شدید	-	-	-	۳
	خیلی شدید	خیلی شدید	-	-	-	-	۴
حاصلخیزی/ماده آلی)	خوب (>۱/۵)	خوب تا متوسط (>۱)	خوب تا متوسط (>۱)	خوب (>۱/۵)	-	خوب و متوسط(>۱)	۱
	متوسط (۱/۵-۱)	کم (۱)	کم (۱)	متوسط (۱/۵-۱)	-	ضعیف (۱)	۲
	کم و خیلی کم(<۱)	خیلی کم(<۱)	خیلی کم(<۱)	کم (۱)	-	خیلی ضعیف(<۱)	۳
	-	-	-	خیلی کم(<۱)	-	-	۴
ساختمان (تحول یافتگی)	تحول‌یافته (دانه‌ای)	-	-	تحول‌یافته (دانه‌ای)	تحول‌یافته	تحول‌یافته	۱
	نیمه‌تحول‌یافته	-	-	نیمه‌تحول‌یافته	نیمه‌تحول‌یافته	نیمه‌تحول‌یافته	۲
	کم	-	-	کم	کم	کم	۳
	تحول‌نیافته (فاقد ساختمان)	-	-	تحول‌نیافته (فاقد ساختمان)	-	-	۴

ادامه جدول ۱- شاخص‌های مؤثر و فاصله طبقات پیشنهادی آنها برای کاربری‌های مختلف (معیار آب (در واحدهای هیدرولوژیک) و تخریب منابع آب (دشت))

شاخص	کشاورزی آبی	کشاورزی دیم	مرتع‌داری	جنگل‌داری	توسعه	اکوتوریسم متمرکز	طبقات توان
میزان آب قابل استفاده	$m^3/ha/year$)۳۰۰۰< (زراعت: >۴۰۰۰)	-	-	-	۲۲۵< (L/day)	(L/day) ۴۰≤	۱
	۳۰۰۰-۱۵۰۰ (زراعت: ۴۰۰۰-۱۵۰۰)	-	-	-	۲۲۵-۱۵۰	۳۹/۹-۱۲	۲
	۱۵۰۰>	-	-	-	۱۵۰>	۱۲>	۳
	اراضی فاقد منابع آب	-	-	-	-	-	۴
افت کمی آب (cm/y)	۰-۲۰	-	-	-	-	-	۱
	۲۰-۳۰	-	-	-	-	-	۲
	۳۰<	-	-	-	-	-	۳
	-	-	-	-	-	-	۴
EC(µmho/cm)	۰-۷۵۰	-	-	-	-	-	۱
	۷۵۰-۲۲۵۰	-	-	-	-	-	۲
	۲۲۵۰<	-	-	-	-	-	۳
	-	-	-	-	-	-	۴
SAR	۰-۱۸	-	-	-	-	-	۱
	۱۸-۲۶	-	-	-	-	-	۲
	۲۶<	-	-	-	-	-	۳
	-	-	-	-	-	-	۴

ادامه جدول ۱- شاخص‌های مؤثر و فاصله طبقات پیشنهادی آنها برای کاربری‌های مختلف (معیار پوشش گیاهی)

شاخص	کشاورزی آبی	کشاورزی دیم	مرتع‌داری	جنگل‌داری	توسعه	اکوتوریسم متمرکز	طبقات توان
درصد تاج‌پوشش (درختی و علفی)	-	-	۵۰< (علفی)	۱۰۰-۷۶(درختی)	۲۵-۰ (منابع طبیعی)	مناطق جنگلی با تراکم۸۰-۵۰	۱
	-	-	۵۰-۲۵	۷۵-۲۶	۵۰-۲۶	مناطق جنگلی با تراکم ۵۰-۵	۲
	-	-	۲۵-۵	۲۵-۵	۵۰<، کشتزار آبی	مراتع فقیر، مسکونی، بیابانی، بستر رودخانه، جنگل<۸۰٪	۳
	-	-	۵>	۵>	-	-	۴
تیپ پوشش	-	-	-	جنگل	-	-	۱
	-	-	-	-	-	-	۲
	-	-	-	مرتع خوب و متوسط	-	-	۳
	-	-	-	بیابان و مرتع ضعیف	-	-	۴
میزان علوفه خشک در سال (کیلوگرم در هکتار)	-	-	۵۰۰ <		-	-	۱
	-	-	۵۰۰ - ۳۵۰		-	-	۲
	-	-	۳۵۰ >		-	-	۳
	-	-	-		-	-	۴

جدول۲- دو شاخص معیار پوشش گیاهی (صرفاً برای جنگل‌داری تجاری) و معیارهای زمین‌شناسی و حفاظت برای کاربری‌های جنگل، توسعه و اکوتوریسم متمرکز

شاخص		جنگل‌داری	توسعه	اکوتوریسم	طبقه توان
ارزش گونه‌های گیاهی		چوب درجه یک	-	-	۱
		چوب درجه دو			۲
		چوب درجه سه			۳
		غیر تجاری			۴
رویش سالانه در هکتار(متر مکعب)		۵<	-	-	۱
		۲/۱-۵			۲
		۲>			۳
		-			۴
زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی		سنگ آهک و آهک دولومیتی، سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی حدواسط ائوسن ایران،شیل و رس‌سنگ و کنگلومرا و مارن تیپ۱، افیولیت آمیزه‌ای رنگی، دشت سیلابی.	ماسه‌سنگ، افیولیت آمیزه‌ای رنگی،رسوبات فلات قاره	سنگ‌های آذرین و آتشفشانی، گرانیت، افیولیت آمیزه‌ای رنگی(چرت)،تپه ماسه‌ای، رسوبات فلات قاره	۱
		گرانیت،ماسه سنگ،لس، شیست و گنیس و آمفیبولیت	سنگ آهک و آهک دولومیتی، سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی حد واسط ائوسن ایران،گرانیت، مخروط‌افکنه، شیل و رس‌سنگ وکنگلومرا، پادگانه آبرفتی، لس.	سنگ آهک و آهک دولومیتی، ماسه سنگ، شیست، گنیس، آمفیبولیت، لس، کوارتزیت، مخروط افکنه، دشت سیلابی، پادگانه آبرفتی.	۲
		مارن تیپ2، مخروط افکنه، پادگانه آبرفتی، تپه ماسه‌ای، رسوبات فلات قاره	مارن، شیست و گنیس و آمفیبولیت، نمک طعام به صورت گنبدهای نمکی و قشر نمکی، مرمر کلسیتی و دولومیتی،تپه ماسه‌ای، گنبد ژیپسی، کوارتزیت و گسل : حریم گسل(اصلی۱kmو فرعی۳۰۰ m) و بستر خشک رودخانه، مسیل و آبراهه‌های طبیعی(حریم رودخانه تا شعاع۱۰۰۰m)	مارن، شیل، رس‌سنگ، کنگلومرا، گنبدهای نمکی، کویر نمکی، گنبد گچی (ژیپسی)، مرمر کلسیتی و دولومیتی	۳
		نمک طعام به صورت گنبدهای نمکی و قشر نمکی، گنبد ژیپسی، مرمر کلسیتی و دولومیتی،کوارتزیت	-	-	۴
حفاظت		-	-	پارک جنگلی طبیعت و دست‌کاشت، پارک طبیعت، پارک ملی، منطقه حفاظت‌شده، اندوختگاه زیست‌سپهر، میراث جهانی، آثار باستانی و تاریخی و ملی و زیارتی	۱
		-	-	-	۲
		-	-	ذخیره‌گاه جنگلی، پناهگاه حیات وحش، آثار طبیعی ملی	۳

۲-۲-۱-۴-۳- روش پیشنهادی میانگین هندسی

مدل پیشنهادیEMOLUP یک مدل ارزیابی توان اکولوژیک و آمایش سرزمین است. در این روش هر یک از شاخص‌ها در مدل طبقه‌بندی می‌شوند و به جای امتیازدهی بر اساس منطق بولین، طبقات نرخ‌گذاری کمی می‌شوند. بدین صورت که به هر شاخص بر حسب تعداد کلاس‌های تعریف‌شده و اهمیت در هر طبقه، امتیازی بین ۰ تا ۳ (کاربری ۴ کلاسه) و ۰ تا ۲ (کاربری ۳ کلاسه) داده می‌شود؛ که محدوده صفر بیانگر عدم توان محدوده مورد نظر برای کاربری مورد نظر و ۲ (کاربری ۳ کلاسه) و ۳ (کاربری ۴ کلاسه) نیز بیانگر بهترین محدوده برای آن کاربری است. سپس بر اساس معادله ۱ و ۲ ابتدا شاخص‌های مرتبط با هر معیار در همدیگر ضرب می‌شوند تا معیار مربوطه حاصل شود. در گام بعد معیارها در همدیگر ضرب می‌شوند و طبقه توان بر اساس محدوده‌های کمی در جدول ۳ و ۴ مشخص می‌شود.

$$X_1= [(Layer_1) \times (layer_2)\ldots\times (Layer_n)]^{1/n} \quad (۱)$$

در رابطه فوق X1 معیار تعریف شده در هر کاربری، Layer شاخص‌های مرتبط با معیار و n تعداد شاخص است.

$$X_2= [(Layer_1) \times (layer_2)\ldots\times (Layer_n)]^{1/n} \quad (۲)$$

در رابطه فوق X_2 امتیاز نهایی در هر کاربری، Layer معیار و n تعداد معیار است.

جدول۳- نحوه امتیازدهی طبقات توان بر اساس رویکرد کمی در روش میانگین هندسی (کاربری‌های ۴ طبقه‌ای)

طبقه توان	۱ (مناسب)	۲ (نیمه مناسب)	۳ (توان کم)	۴ (نامناسب)
دامنه ارزش عددی	۳-۲/۵	۲/۴۹-۱/۵	۱/۴۹-۰/۵	۰/۵>

جدول۴- نحوه امتیازدهی طبقات توان بر اساس رویکرد کمی در روش میانگین هندسی (کاربری‌های ۳ طبقه‌ای)

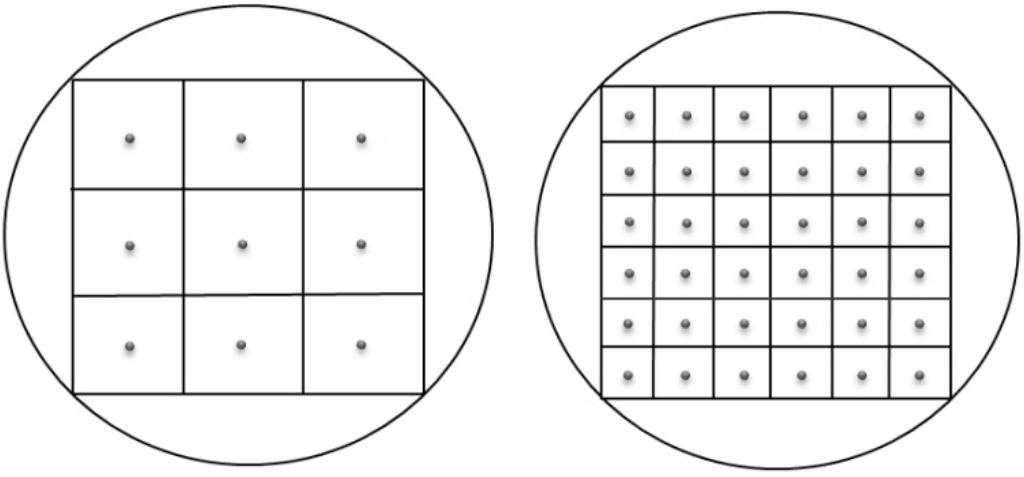
طبقه توان	۱ (مناسب)	۲ (نیمه مناسب)	۳ (کم تا نامناسب)
دامنه ارزش عددی	۲-۱/۵	۱/۴۹-۰/۵	۰/۵>

۲-۲-۱-۴-۴- روش میانگین حسابی: در این روش به جای ضرب هندسی شاخص‌ها و معیارها، بر اساس میانگین حسابی شاخص‌های هر مدل کاربری، ارزیابی صورت می‌گیرد و طبقه توان بر اساس محدوده‌های جدول ۳ و ۴ مشخص می‌شود.

۲-۲-۱-۵- بررسی صحت[۴] و عملکرد مدل طرح‌ریزی‌شده

در این تحقیق برای بیان صحت یک نقشه به صورت کمی می‌توان آن را به صورت پیکسل به پیکسل با واقعیت زمینی مقایسه و نتایج را در جدولی به نام جدول ماتریس خطا[۵] [۲۴] درج کرد. طبقات نقشه طبقه‌بندی شده در ردیف‌های جدول و واقعیت زمینی در ستون‌های جدول درج می‌شود. به این ترتیب تعداد پیکسل‌هایی (نقاط) که درست طبقه‌بندی شده‌اند در قطر جدول قرار خواهند گرفت. بر پایه این جدول می‌توان معیارهای کمی نظیر صحت کلی[۶]، ضریب کاپا[۷] و ضریب درون‌طبقه‌ای[۸] و ... را برای بیان صحت محاسبه کرد. ضریب درون‌طبقه‌ای برای طبقات مهم‌تر (مناسب) ماتریس خطا (جدول۵) که نمونه بیشتری گرفته شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

نحوه نمونه‌گیری از طبقات واقعیت زمینی ماتریس (نقشه کاربری فعلی) به صورت تصادفی سیستماتیک است و به‌علت توزیع پراکنده طبقات در شهرستان، بر اساس شکل ۲ از طبقاتی که از اهمیت بالاتر و شرایط اکولوژیکی مناسب‌تری در ماتریس برخوردار هستند (مانند اراضی کشاورزی با تولید بالا در کاربری کشاورزی)، نمونه بیشتری گرفته شد. وسعت طبقات نیز در بررسی صحت در نظر گرفته شد [۲۵]. سپس نقاط واقعیت زمینی (ستون ماتریس) با نقشه‌های توان اکولوژیک (ردیف ماتریس) تلفیق شدند و در نهایت در جدول ماتریس خطا (توافق) ارزیابی دقت صورت گرفت.



اراضی کشاورزی با تولید بالا　　اراضی کشاورزی با تولید ضعیف

شکل ۲- نحوه نمونه‌گیری از طبقات ماتریس خطا برای طبقات مهم‌تر نسبت به سایر طبقات

جدول۵- ارزیابی صحت کاربری‌های مختلف بر اساس تفکیک طبقات مناسب و نامناسب کاربری فعلی در جدول ماتریس خطا بر اساس منطقه بررسی‌شده

طبقه / کاربری	مناسب و نیمه‌مناسب (خوب)	ضعیف	نامناسب
کشاورزی آبی	اراضی کشاورزی با تولید (بر اساس تصاویر NDVI) بالاتر از میانگین	اراضی کشاورزی با تولید ضعیف، اراضی منابع طبیعی تپه	اراضی بایر (شامل اراضی سنگلاخی کوه و بیابان) و شور
کشاورزی دیم	اراضی کشاورزی با تولید بالاتر از میانگین	اراضی کشاورزی با تولید ضعیف، اراضی بایر و شور	
جنگل حفاظتی	جنگل F_1 (پرتراکم) و F_2 (نیمه‌متراکم)	جنگل F_3 (کم‌تراکم)	R_3 (مرتع ضعیف)، اراضی شور و بیابان
مرتع حفاظتی	مرتع (پرتراکم) R_1 و (نیمه‌متراکم)R_2	مرتع ضعیف R_3، اراضی شور و بیابان	
توسعه	شهر اصلی یا درجه۱ (جهرم)، شهرهای فرعی و روستا (به‌عنوان طبقه متوسط)	اراضی شور و بیابان، سنگلاخی	

جدول ۶- شاخص‌های ارزیابی صحت برای بررسی روش‌های ارزیابی توان اکولوژیک کاربری‌های مختلف

کاربری	مدل / شاخص ارزیابی	اکولوژیک ایران	حداکثر محدودیت	میانگین		
				حسابی	هندسی	کالیبره
کشاورزی آبی	صحت کلی(٪)	۷۰	۶۸	۳۸	۷۳	۸۷
	ضریب کاپا	۰/۵۶	۰/۵۲	۰	۰/۵۵	۰/۷۹
	ضریب درون‌منطقه‌ای	۰/۸۵	۰/۴۳	۰/۶۱	۱/۴۳	۳/۸
کشاورزی دیم	صحت کلی(٪)	۹۱	۸۸	۴۵	۸۵	۸۸
	ضریب کاپا	۰/۸۱	۰/۷۵	۰	۰/۷۱	۰/۷۶
	ضریب درون‌منطقه‌ای	۳/۸۸	۲/۷۳	۰/۸۳	۲/۵۹	۳/۰۴
مرتع‌داری	صحت کلی(٪)	۷۰	۷۳	۳۰	۳۲	۸۷
	ضریب کاپا	۰	۰/۱۳	۰	۰/۰۲	۰/۷۳
	ضریب درون‌منطقه‌ای	۰	۰/۱	۰/۴۲	۰/۴۴	۲/۲۹
جنگل‌داری	صحت کلی(٪)	۵۴	۷۴	۲۲	۷۲	۹۴
	ضریب کاپا	۰/۰۶	۰/۵۸	۰	۰/۵۵	۰/۹۰
	ضریب درون‌منطقه‌ای	۰	۰	۰/۳۲	۰/۸۲	۱۱/۳۱
توسعه	صحت کلی(٪)	۵۴	۵۴	۴۲	۸۶	۸۷
	ضریب کاپا	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۷۵	۰/۷۷
	ضریب درون‌منطقه‌ای	۰	۰	۳/۹۳	۴/۳۶	۴/۵۶

۲-۲-۱-۶- کالیبره پیشنهادی مدل‌ها

برای واسنجی مدل با توجه به نتایج شاخص‌های صحت در طبقات ماتریس خطا و توجه به نقشه توان و نقشه‌های موضوعی و همچنین الگوی مکانی کاربری، دامنه ارزش عددی طبقات و همچنین آستانه اکولوژیکی شاخص‌ها طوری تغییر داده می‌شود تا دقت مدل افزایش یابد و نتایج به واقعیت زمینی (به‌ویژه طبقات مناسب) نزدیک شود. این دیدگاه که نقشه‌های توان را بر اساس وضعیت فعلی (در این تحقیق کاربری فعلی) پدیده مورد نظر در منطقه کالیبره می‌نماید، در مدل‌هایی مانند مدل ارزیابی تخریب مدالوس نیز مشاهده می‌شود [۲۶]. یکی از دلایل مهم کالیبره پیشنهادی دستیابی به آستانه (مرز) ایده‌آل است.

۳- نتایج و بحث

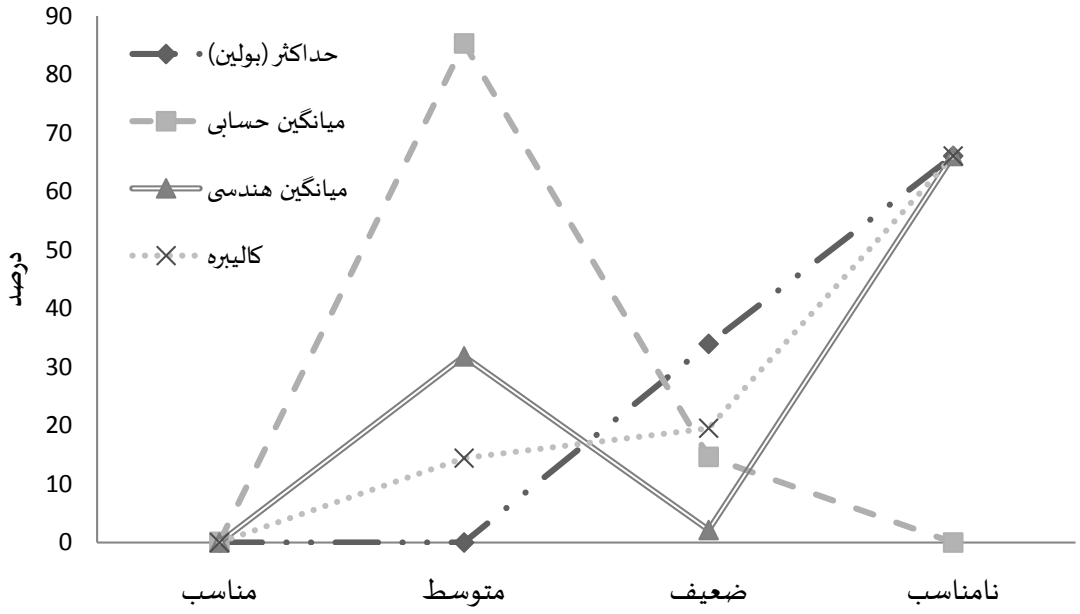
نتایج مربوط به ارزیابی توان اکولوژیک کاربری‌های مختلف شامل کشاورزی آبی و دیم، مرتع‌داری و جنگل‌داری با رویکرد حفاظتی و توسعه در جدول ۶ نمایش داده شده است. شایان ذکر است که در ارزیابی دقت، طبقات مناسب تا نامناسب کاربری فعلی (جدول ۵) به‌عنوان ستون‌های ماتریس، معادل و همتراز با طبقات پیش‌بینی‌شده توان

(ردیف‌های ماتریس) در هر مدل در نظر گرفته شد. تفسیر نتایج در قسمت بحث ارائه شده است.

شکل ۳ نمودار درصد گسترش طبقات توان با روش‌های مختلف را در کاربری جنگل نمایش می‌دهد. به طور کلی در روش میانگین حسابی غالب منطقه به سمت طبقات خوب و در روش‌های مبتنی بر منطق بولین (مدل اکولوژیک رایج در ایران و حداکثر محدودیت) غالب منطقه به سمت طبقات نامناسب سوق پیدا کرده و روش‌های مبتنی بر میانگین هندسی و کالیبره بین سایر روش‌ها قرار گرفته است.

این نکته در مورد سایر کاربری‌های بررسی شده نیز صادق است.

شکل ۴ نقشه‌های توان اکولوژیک با روش‌های ارزیابی توان مختلف شامل روش اکولوژیکی رایج در ایران، حداکثر محدودیت، میانگین حسابی، میانگین هندسی و در نهایت کالیبره را در کاربری جنگل (به عنوان نمونه) و با ۴ طبقه نشان می‌دهد . شکل ۵ نیز بیانگر بهترین نقشه‌های توان اکولوژیک کاربری‌ها به لحاظ الگوی مکانی و ارزیابی صحت با توجه به نتایج به‌دست آمده است .



شکل ۳- مقایسه درصد طبقات توان در روش‌های ارزیابی توان اکولوژیک (۴ طبقه‌ای) کاربری جنگل

در مورد کاربری‌های اراضی (منابع طبیعی، انسان ساخت)، عمده تغییرات اعمال‌شده در فرآیند مدل‌سازی کاربری‌ها که منجر به افزایش صحت شده به طور خلاصه ذکر می‌شوند:

۳-۱- کاربری‌های منابع طبیعی (جنگل و مرتع)

- تغییر دامنه و تعداد طبقات،
- کاهش تعداد طبقات از ۷ به ۴ طبقه،
- افزایش دامنه شاخص‌های اکولوژیکی (به‌ویژه شاخص‌های محدودکننده) مانند معیار توپوگرافی و عمق خاک (جدول۱)،
- حذف معیار توپوگرافی (شاخص درصد شیب و ارتفاع از سطح دریا)،
- تغییر دامنه‌های کمی تعریف‌شده برای کالیبره (جدول۳).

با تغییرات اعمال شده در آستانه کاربری‌های منابع طبیعی، مدل به واقعیت زمینی (به‌ویژه طبقات مناسب) نزدیکی شایانی پیدا کرده است. گفتنی است که تغییر در دامنه و حذف معیاری مانند توپوگرافی که به دسترسی انسان مرتبط می‌شود به تغییر مدل به سمت رویکرد حفاظتی می‌انجامد که با شرایط منطقه بررسی‌شده سازگاری بالایی دارد. بر اساس جدول۶، دقت روش حداکثر محدودیت (تغییرات اعمال‌شده) و میانگین هندسی نسبت به مدل اکولوژیک بهتر و بالاترین دقت مربوط به روش کالیبره است. پایین‌ترین دقت مربوط به روش میانگین حسابی است.

به‌عبارت دیگر در رویکرد حذف معیار توپوگرافی (جدول۶) که از نظر ارزش حفاظتی (اکولوژیکی و اقتصادی) اراضی منابع طبیعی بررسی شده، این دسته اراضی با پوشش تراکمی (فعلی) خوب و متوسط غالباً با مناطق با توان‌های

خوب و متوسط (ارزش حفاظتی بالا) مرتبط (تطابق) و اراضی با پوشش تراکمی (فعلی) ضعیف غالباً با مناطق با توان‌های ضعیف (ارزش حفاظتی پایین) مرتبط شده است (شکل‌های ۱و۵).

شایان ذکر است که در مورد منابع طبیعی (جنگل و مرتع)، گونه‌هایی که در منطقه مستقر هستند گونه‌های بومی منطقه محسوب می‌شوند که با مجموعی از شرایط اکولوژیکی منطقه سازگاری یافته‌اند. از این‌رو روش ارزیابی صورت‌گرفته باید منطبق با این شرایط باشد. این تحقیق نشان داد که روش منطق بولین (البته با تغییرات اعمال‌شده) نزدیکی شایانی با شرایط واقعیت زمینی پیدا کرده است. به‌عبارتی در رویکرد منطق بولین، مکان‌های دارای تناسب برای کاربری را در درجات تناسب کمتر ارزیابی می‌کند که البته از نظر جمع‌نگری به عوامل به آنچه در طبیعت اتفاق می‌افتد نیز نزدیک‌تر است. این موضوع با تحقیق سنایی و همکاران [۲۷] منطبق است. البته باید ذکر کرد که روش‌های میانگین هندسی و کالیبره پیشنهادی (با تغییر در آستانه اکولوژیکی و دامنه کمی) نیز توانسته است این پیش‌بینی در مورد واقعیت زمینی را در حد بسیار مطلوب‌تر ارائه کند. باید یادآوری کرد که روش میانگین هندسی به‌علت عدم وجود محاسبه سخت‌گیرانه منطق بولین، در مناطق با تراکم بالا سازگاری بیشتری دارد. این مهم در شاخص ضریب درون طبقه‌ای نمایان است.

۳-۲- کاربری‌های انسان‌ساخت (کشاورزی، توسعه)

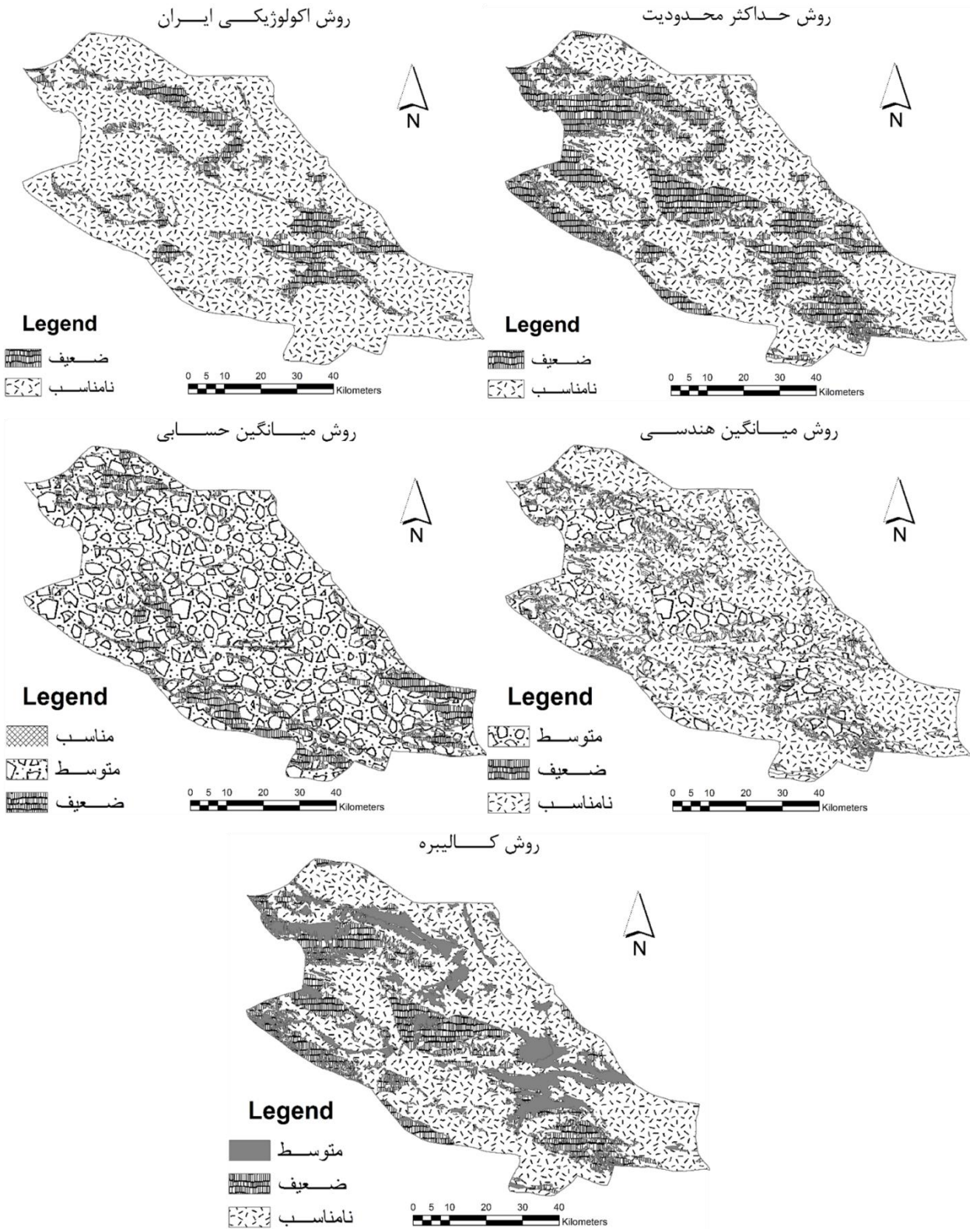
- تغییر دامنه و تعداد طبقات (کشاورزی)،
- کاهش تعداد طبقات از ۷ به ۴ طبقه (کشاورزی)،
- افزودن شاخص‌های خشک‌سالی به مدل کشاورزی و تخریب منابع آب [۲۲]، به مدل کشاورزی آبی،
- حذف شاخص ارتفاع از سطح دریا و افزودن شاخص تیپ اراضی (بر اساس مدل اکولوژیک رایج در ایران) در کنار شاخص درصد شیب،
- تغییر دامنه‌های کمی تعریف‌شده (جدول ۳ و ۴).

با تغییرات اعمال‌شده در کاربری‌های انسان‌ساخت، مدل به واقعیت زمینی (به‌ویژه طبقات مناسب) نزدیکی شایانی پیدا کرده است. همچنین در مدل کاربری کشاورزی آبی بر اساس نتایجی که با معیارهای مؤثر بر آن به دست آمد، مشخص شد با در نظرگیری شاخص‌های مهم مانند خشک‌سالی و تخریب منابع آب زیرزمینی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که شرایط مناسبی نیز به لحاظ این پارامترها وجود ندارد دقت مدل (ماتریس) بهبود می‌یابد. به‌طوری‌که در تحقیقی که سپهر و همکاران [۲۸] برای ارزیابی بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بر اساس مدل مدالوس انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که با توجه به اینکه مدل مدالوس برای مناطق مدیترانه‌ای تنظیم شده است، لذا برای تدوین مجدد آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک باید معیار آب زیرزمینی بررسی و جدی گرفته شود.

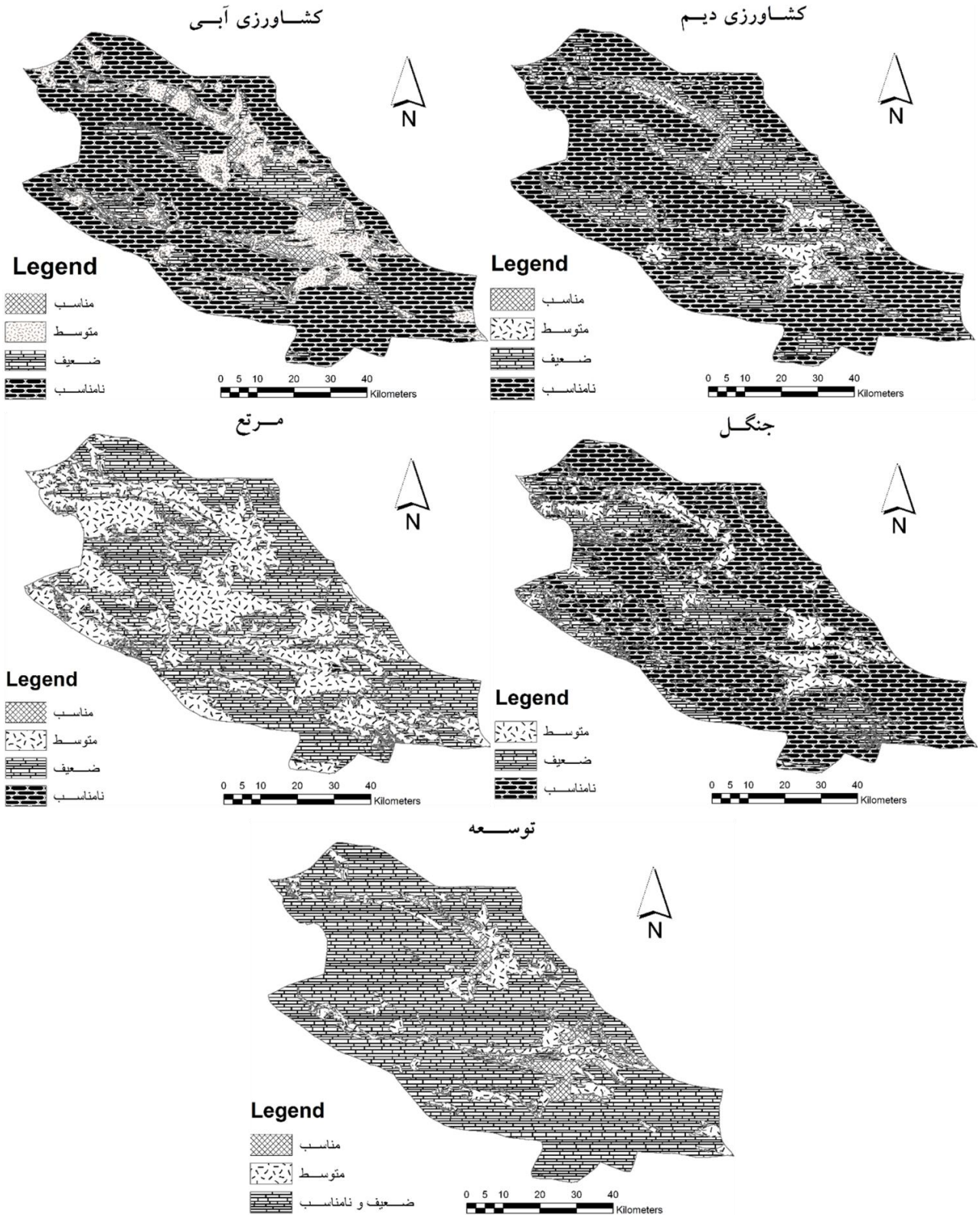
در مدل کاربری توسعه شهری و صنعتی دقت مدل در شرایط میانگین هندسی از مدل اکولوژیک رایج در ایران بهتر شد (گفتنی است روش حداکثر محدودیت با تغییر معیار توپوگرافی دارای دقت برابر نسبت به مدل اکولوژیک رایج در ایران شد). در تحقیقی که منوری و همکاران [۲۹] برای ارزیابی توان اکولوژیک منطقهٔ حوضه آبخیز زاخرد در قسمت شمال غرب شهرستان شیراز و شرق شهرستان کازرون در استان فارس را انجام دادند، معلوم شد که با در نظر گرفتن تمامی پارامترهای اکولوژیکی، کل منطقه برای توسعه شهری نامناسب است ولی با حذف پارامتر ارتفاع از ۷۵ یگان محیط‌زیستی ایجاد شده در منطقه، حدود ۹۱/۵۱٪ حوضه برای توسعه شهری دارای توان نامناسب است.

در مدل کاربری کشاورزی دیم به نظر می‌رسد با توجه به کمبود بارش در منطقه به عنوان عامل محدودکننده عمل کرده و مدل با منطق بولین که در درجات تناسب کمتر ارزیابی شده، دقت بالاتری دارد. مساحت بسیار کم این اراضی (کاربری فعلی) نیز گویای این مطلب است. البته روش میانگین هندسی نیز تفاوت چندانی ندارد و در اجرای این مدل رعایت مسائل زیست‌محیطی باید در اولویت باشد. پایین‌ترین دقت در کاربری‌های انسان‌ساخت مربوط به میانگین حسابی است.

از دیدگاه کلی و بدون شرایط کالیبره (تغییر دامنه کمی)، روش میانگین هندسی (به خصوص کاربری‌های انسان‌ساخت در مقایسه با کاربری‌های طبیعی) دارای بیشترین دقت است. در مورد کاربری‌های انسان‌ساخت، شرایط طوری است که عوامل اقتصادی اجتماعی هم‌وزن و گاهی مهم‌تر از عوامل اکولوژیکی در استقرار این کاربری‌ها نقش دارد. در این تحقیق نیز با میانگین‌گیری از عوامل اکولوژیکی مؤثر در این کاربری‌ها و تغییرات اعمال‌شده، به این دیدگاه نزدیکی شایانی پیدا کرده است که نتایج آن با تحقیق فلاح شمسی [۳۰] انطباق دارد.



شکل۴- نقشه‌های توان اکولوژیک کاربری جنگل با مدل اکولوژیک رایج در ایران، اصلاح شده (حداکثر محدودیت)، میانگین حسابی، هندسی و کالیبره



شکل۵- نقشه‌های توان اکولوژیک کاربری‌های مختلف با بهترین دقت

بازه کالیبره‌ای که برای کاربری‌ها در نظر گرفته شده است، غالباً با تغییر محدوده کمی طبقات ضعیف (و متوسط برای کاربری توسعه) از ۱/۵-۰/۵ به ۱/۷۵-۰/۵ انجام شده است. ازاین‌رو می‌توان گفت که حد بالای کالیبره طبقات مورد نظر کاربری‌ها در شهرستان جهرم با یک اقلیم خشک و نیمه‌خشک ۱/۷۵ است. با در نظرگیری این بازه و در نظرگیری شرایط منطقه‌ای، مدل‌ها از بالاترین دقت نسبت به سایر روش‌ها برخوردار هستند.

به‌طور کلی بر اساس نتایج به‌دست آمده می‌توان اذعان داشت که در مناطقی که پتانسیل بالایی برای یک کاربری دارند روش میانگین هندسی (یا کالیبره) و در مناطقی که دارای خطرات زیست‌محیطی هستند (مانند کاربری دیم در این تحقیق) روش بولین یا حداکثر محدودیت تأثیر بسزایی در برآورد توان واقعی سرزمین دارند.

با نگاهی دیگر به مقاله بر اساس جدول ۷، بین روش‌های اکولوژیک، پیشنهادی و MCE مقایسه‌ای شده است.

جدول۷- مقایسه خصوصیات ساختاری مدل اکولوژیک رایج در ایران، MCE و پیشنهادی

اکولوژیک	MCE	پیشنهادی
ارزیابی کیفی	ارزیابی کمی	ارزیابی کمی
کارشناس محور	کارشناس محور	کارشناس محور
فاقد وزن	دارای وزن	عدم نیاز به وزن
ریسک پایین	تصمیم‌گیری بالا	کاهش ریسک

همان‌طور که در جداول ۶ و ۷ مشخص شده است، در روش‌های مبتنی بر دیدگاه جمع یا میانگین حسابی (مانند ارزیابی چندمعیاره، بدون بحث وزن‌دهی)، در نقشه خروجی بر خلاف ضرب فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد .به همین دلیل این دیدگاه حساسیت پایینی در مکان‌یابی اعمال می‌کند. نتایج این تحقیق با محمودی [۶] و قدیمی و همکاران [۴] مطابقت دارد. روش‌های اکولوژیک (فائو، استوری، مدل اکولوژیک ایران و...) روش‌هایی کیفی و سخت‌گیرانه‌اند که غالب منطقه به سمت طبقات با درجه تناسب کم سوق پیدا کرده است (منطبق با تحقیقات بارو و همکاران [۳۱]، باجا و همکاران [۳۲]، ایلالم و همکاران [۱۵]، دیویدسون و همکاران [۳۳] و نجفی‌نژاد و همکاران [۱۰]).

به‌عبارت دیگر، روش‌های فوق بیشتر نگرش محدودیتی نسبت به ارزیابی سرزمین دارند. درصورتی‌که مدل توان اکولوژیک باید علاوه بر شرایط محدودیت‌زا بیانگر کلیماکس یا توان واقعی یک اکوسیستم نیز باشد. این شرایط کلیماکس که بیانگر توان بالقوه یک کاربری است را می‌توان در شرایط بالفعل آن جست‌وجو کرد. یعنی اگر یک کاربری حاضر در سرزمین توانسته مستقر شود، امکانات و شرایط تبدیل بالقوه به بالفعل وجود داشته است و مدل نیز باید قادر به تشخیص آن باشد. این تحقیق نشان داد که مدل پیشنهادی هم رویکرد مکان‌یابی صحیح‌تری نسبت به شرایط بالفعل و بالقوه ایفا می‌کند و هم عوامل محدودیت‌زا را در پهنه‌بندی سرزمین دخالت می‌دهد. به نوعی مدل پیشنهادی یک سیستم اکولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی (شرایط فعلی عرصه) ساده است که شرایط اکولوژیک و اقتصادی- اجتماعی را همزمان مورد بررسی قرار می‌دهد.

شایان ذکر است که مدل پیشنهادی و به‌ویژه کالیبره آن شیوه خاصی از مدل‌سازی پویا را ارائه می‌کند که با تغییر مکانی (پارامترهای اکولوژیک) و زمانی قابل تغییر است. همچنین شیوه مدل‌سازی پیشنهادی، یک رویکرد تلفیقی از دیدگاه‌های کارشناس ارزیاب و دانش بومی افراد را تداعی می‌کند که این مهم موجب می‌شود در فرآیند ارزیابی صرفه‌جویی قابل‌توجهی در هزینه و زمان (به‌خصوص عدم نیاز به فرآیند وزن‌دهی) صورت گیرد. این دیدگاه با تحقیقات بابایی و همکاران [۳۴] منطبق است.

شایان ذکر است که در روش میانگین هندسی و تعیین معیار، تأثیر معیارهایی مانند خاک با تعداد شاخص بیشتر را نسبت به معیارهایی مانند توپوگرافی با شاخص کمتر (مثلاً ۲ شاخص) کاهش می‌دهد. بدین ترتیب وزن هر دو معیار خاک و توپوگرافی معادل در نظر گرفته می‌شود که این مسئله در مدل‌های اکولوژیک چندمعیاره مشاهده نمی‌شود. همچنین با قرار دادن عدد صفر در معادله، بازه‌های اکولوژیکی که برای زمین ایجاد محدودیت یا خطر می‌کند (مانند شوری خیلی شدید) با فرآیند ضرب هندسی، به سمت نامناسب میل می‌کند. با این رویکرد نگرشی که طرفداران حداکثر محدودیت (بولین) نسبت به مدل‌سازی و عوامل محدودکننده دارند، نیز لحاظ می‌شود که در این

مورد با مدل‌های مطرح مانند چندمعیاره نیز همخوانی دارد. شایان یادآوری است که مدل پیشنهادی نیز خود نوعی روش ارزیابی چندمعیاره است.

در روش‌های چندمعیاره تصمیم‌گیری (مانند روش پیشنهادی) به جای تهیه واحد کاری، ارزیابی را برحسب پیکسل‌ها انجام می‌دهند که نتایج دقیق‌تری نیز کسب می‌کنند. این رویکرد در تحقیقات مبتنی بر تصمیم‌گیری چندمعیاره نیز مشاهده می‌شود [۳۵ و ۱۰]. به‌عبارتی، در مناطقی که به خصوص تنوع زیادی دارند با تهیه واحد کاری، بسیاری از جزئیات نقشه‌ها در طی فرآیند ادغام نقشه‌ها حذف خواهد شد.

۴- نتیجه‌گیری

در فرآیند مدل‌سازی بایستی آنچه که در طبیعت در حال رخ دادن است، چه به لحاظ اکولوژیکی و چه به لحاظ اقتصادی-اجتماعی به مدل القا شود. به‌عبارتی فرد در فرآیند مدل‌سازی باید پیچیدگی‌های محیطی به همراه درک و نحوه استفاده انسان از آن را در زبان ریاضی بگنجاند تا یک مدل پویا ایجاد شود. همچنین انعطاف‌پذیری مدل، نسبت به آنچه در ویژگی‌های زیست‌محیطی یک کاربری قابل انتظار است، در کالیبره آن خواهد بود. ازاین‌رو در حالت کالیبره مدل (تغییر بازه‌های اکولوژیک یا بازه‌های کمی)، امکان تغییر بازه‌ها منطبق با شرایط کاربری منطقه و آستانه‌های اکولوژیکی مناسب (مانند شهر درجه۱ یا اراضی کشاورزی با تولید بالا) و مورد نیاز جامعه وجود خواهد داشت. این نوع نگرش به آمایش سرزمین نه فقط صرفاً به مسائل اقتصادی اجتماعی بلکه به شرایط محیطی نیز توجه شایانی دارد.

نکته بسیار مهم که در ارزیابی صحت مدل‌ها انجام شد این است که از شرایط فعلی (به‌ویژه طبقات مناسب) و الگوی مکانی آن در صحت سنجی و کالیبره مدل‌ها استفاده شد تا به شرایط ایده‌آل نزدیک شود. با این رویکرد کالیبره بر اساس شرایط فعلی مناسب (مانند کشاورزی با تولید بالا)، الگوی مکانی شبیه‌سازی‌شده به سایر قسمت‌های سرزمین تسری پیدا می‌کند و این مهم موجب کاهش قابل‌توجهی در ریسک سرزمین می‌شود.

یک نکته مهم که در مورد مدل‌های آمایش سرزمین (مدل‌های اکولوژیک و...) باید یادآور شد، دیدگاه نسبی آنها در ارزیابی توان واقعی سرزمین است. در این پژوهش به بررسی ارزیابی توان واقعی سرزمین بر اساس تلفیقی از توان بالقوه و توان بالفعل آن پرداخته شد تا پویایی مدل (مکانی و زمانی) افزایش یابد.

در واقع برنامه‌ریزی برای بهترین استفاده از سرزمین ایده جدیدی نیست. در طول سال‌ها، کشاورزان برای فصول پی در پی برنامه‌ریزی می‌کردند تا درباره این که چه چیز کشت کنند و آن را کجا بکارند تصمیم بگیرند. تصمیمات آن‌ها مبتنی بر نیازهای خودشان، دانش و فناوری آنها از زمین، نیروی کار و سرمایه قابل دسترس بود. ازاین‌رو نمی‌توان نقش و اهمیت دانش بومی در فرآیند آمایش سرزمین را نادیده گرفت و در این فرایند برنامه‌ریزان و مردم باید در کنار هم قرار گیرند. درک این واقعیت در اجرای هر چه بهتر طرح‌های آبخیزداری و زیست‌محیطی منطبق با نیازهای جامعه بسیار اهمیت دارد.

پیشنهادات

- افزودن روند تخریب و تغییر سرزمین به مدل‌ها و ... برای اجرای صحیح‌تر آمایش در بازه ۱۰ تا ۲۰ سال آینده،
- کمی کردن شاخص‌ها تا حد امکان،
- توجه ویژه در انجام ارزیابی توان اکولوژیک با مدل پیشنهادی،
- توجه ویژه در استقرار کاربری‌ها در پهنه‌های مناسب و نیمه‌مناسب مدل پیشنهادشده،
- انجام مدل پیشنهادی در مناطق با اقلیم‌های مختلف برای به قطعیت رسیدن،
- اجرای برنامه جامع آمایش سرزمین در منطقه با تأمین زیرساخت‌ها، خدمات رفاهی، آموزشی و زیربنایی برای دست‌یابی به عدالت اجتماعی.

پی‌نوشت‌ها

[1] Eco- Socioeconomic Model Of Land Use Planning

[۲] روزهای آفتابی در ماه (۶ ماهه اول سال)

[۳] دما در ۶ ماهه اول سال

[4] Validation

[5] Error Matrix

[6] Overall Accuracy

[7] Kappa Coefficient

[8] Inclass Coefficient

منابع

[1] Makhdoum M. Principles of Land Use Planning. University of Tehran**; 2006**. p. 289 **[In Persian]**

[2] Ayoubi Sh, Jalalian A. Land evaluation (Agriculture and Natural Resources). Isfahan: Isfahan University of Technology; **2006. [In Persian]**

[3] Storie R. Storie index soil rating. OaHand University of California, division of agricultural sciences, special publication; **1987; 32** (3), 10 pp.

[4] Ghadimi M, Hosseini M, Pourghasemi HR, Moradi HR. Protection Modeling of Manesht and Ghalarang Protected Areas Using Fuzzy logic. Environmental Sciences; **2011; 8**: 85-106. **[In Persian]**

[5] Soltani MJ. Locating of Areas Prone to Operation of Floodwater Using GIS. M.S.c.: Faculty of Civil Engineering, Khaje Nasir Toosi University of Technology; **2001. [In Persian]**

[6] Mahmoodi M. Introduce and study of Advantages and disadvantages of integrated models (Boolean, fuzzy) in GIS. Conference of urban GIS, Shomal University, Amol, Iran; **2007. [In Persian]**

[7] Malczewski J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. Progress in Planning; **2004; 62**: 3–65.

[8] Makhduom M, Darvishsefat A, Jafarzadeh H, Makhdom A. Environmental Evaluation and Planning by Geographic Information System. University of Tehran; **2009**. p. 304 **[In Persian]**

[9] Mirkatooli J, Kanani MR. Land Capability Evaluation Of Urban Development Using MCDM And GIS (A Case Study: Sari Township). Human Geography Research; **2010; 43**: 75-88**. [In Persian]**

[10] Najafinezhad A, Pishdad Soleimanabad L, Salmanmahini A. Comparison of the efficiency of systematic and multi objective land allocation methods for land use planning using Geographic Information System. Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science; **2013, 4**:1-11. **[In Persian]**

[11] Ghorbani R, Pourmohammadi MR, Mahmoodzadeh H. Environmental Approach in Modeling Land use change in Tabriz city using Multi-temporal satellite images, MCE and Markov chain (1984-2038). Urban studies; **2014; 2**: 13-30. **[In Persian]**

[12] Zarei R, Alsheikh A. Modeling Of Urban Development Using CA And Genetic Algoritm (A Case Study: Shiraz City). Urban Planning; **2012; 3**: 1-16. **[In Persian]**

[13] McHarg IL. Design with Nature. Wiley, New York; **1969.**

[14] FAO. A framework for land evaluation. FAO soil's bulletin No 32, Rome (Italy); **1976**. p. 72.

[15] Elaalem M, Comber A, Fisher P. Land Suitability Analysis comparing Boolean logic with fuzzy analytic hierarchy process. Accuracy 2010 Symposium, July 20-23, Leicester, UK; **2010**; 245-247.

[16] Eldrandaly K.h. Integrating Gene Expression programming and Geographic Information system for solving Multi site land use allocation problem. American Journal of Applied Sciences; **2009; 6**: 1021-1027.

[17] Luino F, Turconi L, Petrea C, Nigrelli G. Uncorrected land-use planning highlighted by flooding: the Alba case study (Piedmont, Italy). Natural Hazards and Earth Systems Science Journal; **2012; 12**: 2329–2346.

[18] Mansir A. A geogeraphic information system (GIS) and multi-criteria analysis for sustainable tourism planning; **2007**.

[19] Oyinloye M, Kufoniyi O. Application of IKONOS Satellite Images in Monitoring of Urban Landuse Change in Ikeja, GRA, Lagos, Nigeria. International Journal of Engineering Science Invention; **2013; 2**: 1-10.

[20] Gholami M, Rastegar M. Study and Analyze the Spatial Distribution of the Urban Population of Fars Province Using the First Indicators of Urban and Focus. Urban Planning; **2010; 1**: 117-130. **[In Persian]**

[21] Ekhtesasi MR, Sepehr A. Methods and Models of Desertification Assessment and Mapping. Yazd University; **2011**. p. 286. **[In Persian]**

[22] Ahmadi H. Iranian Model of Desertification Potential Assessment. Faculty of Natural Resources, University of Tehran; **2004. [In Persian]**

[23] Schor H J, Gray DH. Land-forming: an environmental approach to hillside development, mine reclamation and watershed restoration. John Wiley & Sons**; 2007**. p. 368.

[24] Congalton RG. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. Remote Sensing of Environment**; 1991; 37**: 35-46.

[25] Fallahshamsi SR. Accuracy Assessment of Satellite Based Maps Using Sampling. M.Sc: Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran; **1997. [In Persian]**

[26] Kosmas C, Poesen J, Briassouli H. Key indicators of desertification at the Environmentally Sensitive Areas (ESA) scale, The Medalus Project: Mediterranean Desertification and Land Use. Manual on Key Indicators of Desertification and Mapping Environmentally Sensitive Areas to Desertification. Project report. European Commission; **1999.**

[27] Sanaee M, Fallah Shamsi SR, Ferdowsi Asemanjerdi H. Multi-criteria land evaluation, using WLC and OWA strategies to select suitable site of forage plantation (Case study; Zakherd, Fars). Rangeland; **2010; 4**: 216-227. **[In Persian]**

[28] Sepehr A, Hassanli AM, Ekhtesasi M R, Jamali JB. Quantitative assessment of desertification in south of Iran using MEDALUS method. Environmental Monitoring and Assessment Journal; **2007; 134**: 243-254.

[29] Monavari SM, Shariat SM, Sabzghabai GH. Land Capability Evaluation Of Urban Development Using GIS (A Case Study: Zakhard Watershed); **2009; 12**: 199-208**. [In Persian]**

[30] Fallahshamsi S.R. Economic Evaluation of Different Land uses in Kalibar - chai Forest - covered Watershed, Using Linear Programming and Geographical Information Systems. Ph.D.: Natural Resource Faculty, Tehran University, Karaj; **2004. [In Persian]**

[31] Burrough PA, MacMallin RA, van Deursen W. Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observations and topography. Journal of Soil Science; **1992; 43**: 193-210.

[32] Baja S, Chapman DM, Dragovich D. A conceptual model for defining and assessing land management units using a Fuzzy modeling approach in GIS Environment. Environmental Management; **2006; 29**: 647-661.

[33] Davidson DA, Theocharopoulos SP, Bloksma RJ. A land evaluation project in Greece using GIS and based on Boolean and Fuzzy set methodologies. International Journal Geographic Information System; **1994; 8**: 369-384.

[34] Babaie S. Environmental evaluation for forest land Classification by using of GIS (Case study in Kazem-rood Watershed, North of Iran). Journal of Agricultural Sciences; **2006; 12**: 67-80. **[In Persian]**

[35] Amiri MJ, Salman Mahini A, Jalali GH, Hosseini M, Azari Dehkordi F. A Comparison of Maps Overlay Systemic Method and Boolean-Fuzzy Logic in the Ecological Capability Evaluation of No. 33 and 34 Watershed Forests in Northern Iran. Environmental Sciences Journal; **2010; 7**: 109-124**. [In Persian]**