علـوم محـیـطی سال هفتم ، شماره دوم، زمستان ۱۳۸۸
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.7, No.2 , Winter 2010
۱۰۹-۱۲٤

مقایسه روش سیستمی ادغام نقشه‌ها و ترکیب منطق بولین- فازی در ارزیابی توان اکولوژیک جنگل‌های حوضه‌های آبخیز ۳۳ و ۳۴ شمال ایران

محمد جواد امیری[۱*]، عبدالرسول سلمان ماهینی[۲]، سید غلامعلی جلالی[۳]، سید محسن حسینی[۳]، فرود آذری دهکردی[۴]

۱- *دانش‌آموخته دکترای جنگلداری، دانشگاه تربیت مدرس*

۲- *گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان*

۳- *گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس*

٤- *گروه برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران*

چکیده

در این تحقیق از دو روش سیستمی ادغام نقشه‌ها یا روش مک هارگ و سپس ترکیب منطق بولین- فازی جهت ارزیابی توان اکولوژیک کاربری جنگلداری استفاده شده است. جهت ارزیابی توان اکولوژیک رویشگاه جنگلی و برآورد پتانسیل و قابلیت اراضی جنگلی، ابتدا به مطالعه و شناسایی دقیق ویژگی‌های اکولوژیکی رویشگاه از قبیل ارتفاع از سطح دریا، شیب، خاک، سنگ مادر، بارندگی، دما و رطوبت، تراکم پوشش گیاهی، رویش سالانه جنگل، ارزش گونه‌های گیاهی و رویشگاه‌های حساس پرداخته شد. سپس به نقشه سازی آنها در محیط GIS اقدام گردید. ابتدا در حوضه‌های آبخیز ۳۳ و ۳۴ شمال ایران، مدل اکولوژیک جنگلداری مبتنی بر روش تجزیه و تحلیل سیستمی استفاده و توان اکولوژیک این حوضه‌ها بر اساس منطق بولین (Boolean Logic) مشخص گردید. نتایج، حاکی از وجود طبقات ۳، ۵، ۶ و ۷ از طبقات هفت‌گانه مدل جنگلداری ایران بود که سهم طبقه ۳ بیشتر از سایر طبقات به‌دست آمد. در مرحله بعد، منطق بولین- فازی (Boolean-Fuzzy Logic) و وزن‌دهی به پارامترها به روش AHP، جهت ارزیابی توان اکولوژیک حوضه‌های مذکور، برای کاربری جنگلداری اجرا شد که نتایج، حاکی از وجود هر هفت طبقه مدل جنگلداری ایران در منطقه مورد مطالعه بوده است. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد که برای افزایش دقت در تعیین کاربری مناطق جنگلی از روش منطق فازی و وزن دهی به روش AHP استفاده نمود.

کلید واژه‌ها: ارزیابی توان اکولوژیک جنگل، منطق بولین، منطق بولین- فازی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، سامانه اطلاعات جغرافیایی.

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

Mohammad Javad Amiri[1]*, Abdolrasoul Salman Mahini[2], Seyed Gholamali Jalali[3], Seyyed Mohsen Hosseini[3], Froad Azari Dehkordi[4]

1- *PhD in Forestry, Tarbiat Modares University, Tehran.*
2- *Department of Environment, Faculty of Environment, University of Gorgan.*
3- *Department of Forestry, Faculty of Natural resources, University of Tarbiat Modares, Tehran.*
4- *Department of Environmental Planning, Faculty of Environment, University of Tehran.*

Abstract

In this research, two methods were utilized for assessing the ecological capability of forestry: the overlay maps systemic and Boolean-Fuzzy Logic (BFL) methods. To assess the ecological capability of forest land, it is essential to deploy precise ecological factors of a forest ecosystem such as its physiography, topography, altitude, slope, soil, bedrock, precipitation, temperature, and natural factors like vegetation density, annual increment, and the special value of plant species. Therefore, overlay methodology and Boolean logic were used to evaluate the ecological capability of sub watersheds Nos. 33 and 34 that cover an area of 32,526 ha near Tonekabon in Mazandaran Province of Iran. Our findings after using the conventional Boolean Model revealed that there are categories 3, 5, 6, and 7 of forest capability in the area, although the category 3 area was dominant. On the other hand, when the same methodology was used but, instead of the Boolean-Logic (BL) the 'Boolean-Fuzzy-Logic' (BFL) was deployed and after weighting of parameters by Analytical Hierarchy Process (AHP), the seven complete categories for forest layers have been detected in the Geographic Information System (GIS) layers. These findings can emphasize the improvement of BFL methodology against the conventional BL for assessment of the ecological capability of forests in the northern part of Iran.

Keywords: Forest capability assessment, Boolean-Logic, Boolean-Fuzzy-Logic, Analytical Hierarchy Process (AHP), Geographic Information System (GIS).

* Corresponding author. *E-mail Address*: mj_amiri@yahoo.com

مقدمه

یکی از راهکارهای اساسی جهت نیل به اهداف جنگلداری و به حداقل رساندن بحران‌های زیست‌محیطی، برنامه‌ریزی استفاده از جنگل با در نظر گرفتن توان طبیعی آن برای کاربری مورد نظر است (Hosseini *et al*, 2003). ارزیابی توان اکولوژیک[1]، تعیین توان و قابلیت واحدهای اراضی بر اساس ویژگی‌های اکولوژیک سرزمین مانند خاک، شیب، ارتفاع از سطح دریا، جهت دامنه، زمین شناسی و ...، برای ایفای طرح‌های مدیریتی مختلف جنگل مانند (تولید چوب، حفظ آب و خاک، حفظ تنوع زیستی[2] و ...) می‌باشد (Amiri, 2009).

اصول مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح درمنابع 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 به منظور نیل به اهداف اقتصادی و حمایتی و حفاظتی باشد (Naghashzargaran, 2001).

سامانه اطلاعات جغرافیایی ابزار مهمی در برنامه‌ریزی مکانی هستند (Brail, 2001). برنامه‌ریزی مکانی شامل فنون تصمیم‌گیری است که از انواع MCDA[3] و MCE[4] مشتق می‌شود و ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی با روش MCDA، یک ابزار قوی برای برنامه‌ریزی مکانی پدید می‌آورد (Malezewiski, 1999 ; Jankoweki,1955). ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی با منطق فازی[5]، رهیافت نسبتاً جدیدی را برای انتخاب موقعیت و ارزیابی تناسب اراضی ارائه می‌کند (Badenko, 2004).

روش ارزیابی چند معیاره (MCE) یکی از اصولی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری در GIS است (Bogard , 1996). هم‌چنین، در برنامه‌ریزی مکانی روشی از فنون تصمیم‌گیری است که بر پایه کاربرد تئوری منطق فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مفاهیم اساسی تئوری مجموعه فازی، برای اولین بار توسط لطفی‌زاده معرفی گردید (Zadeh, 1965) که پیشرفت تئوری و عملی از آن زمان تاکنون بسیار زیاد بوده است. ارزیابی چند معیاره به عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری فضائی برای برنامه‌ریزی سرزمین به‌کار می‌رود (Wood and Dragicevic, 2006).

روش ارزیابی چند معیاره، ابزاری جهت ساده سازی تصمیم گیری‌های پیچیده است با این توصیف که در تحلیل تصمیم چند معیاره[6] به جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی از چندین معیار سنجش ممکن است استفاده گردد (Asgharpour, 2006). در این روش ابتدا مجموعه‌ای از معیارهای متناسب با هدف یا اهداف تصمیم توسط کارشناسان تعیین، و پس از وزن دهی و اولویت‌بندی به منظور انجام ارزیابی توان و مکان‌یابی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Xue *et al.* , 2007). روش ارزیابی چند معیاره به کارگیری عوامل اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی را با آنالیزهای تناسب تسهیل می‌کند و تلفیق آن با سامانه اطلاعات جغرافیایی، این قابلیت را افزایش داده است (Wood and Dragicevic, 2006).

مرور مطالعات منابع، نشان می‌دهد که ارزیابی توان اکولوژیک جنگل‌ها به روش سیستمی ادغام نقشه‌ها[7] (مک هارگ) انجام می‌شود ولی از منطق فازی و وزن‌دهی به روش سلسله مراتبی تحلیلی (AHP[8]) در چهارچوب ارزیابی به روش ترکیب خطی وزن داده شده (WLC[9])، برای مناطق جنگی در ایران مشاهده نشده است (Adl, 2001). در بررسی عوامل مؤثر در تعیین توان اکولوژیک مناطق جنگلی با استفاده از مدل حرفی جنگلداری ایران باید اذعان داشت که این مدل کلی بوده و برای هر یک از مناطق مورد مطالعه باید کالیبره شود که بر اساس آن در این مطالعه، فاکتورهای مؤثر شناسایی

و یک مدل ویژه ارزیابی و طبقه بندی توان رویشگاه‌های جنگلی پیشنهاد شد. همچنین Bibby و همکاران (۱۹۸۸) با استفاده از روش چند عامله، مدل اکولوژیک قابلیت اراضی برای کاربری جنگلداری در انگلستان را ارائه داده است. در این مدل ارائه شده، هفت طبقه توان برای اراضی در نظر گرفته شده است که به تدریج از طبقه یک به سمت طبقه هفت، مرغوبیت و انعطاف پذیری زمین به ویژه خاک برای تولید محصولات و درختان جنگلی نامناسب می‌شود.

بنابراین در این تحقیق، مقایسه روش سیستمی ادغام نقشه‌ها و ترکیب منطق بولین- فازی[10] در ارزیابی تناسب زمین[11] برای کاربری جنگلداری در حوضه‌های ۳۳ و ۳۴ شمال ایران مد نظر قرار گرفته است. این دو روش با هم متفاوت می‌باشند چون در منطق فازی به فاکتورها وزن داده می‌شود ولی در روش سیستمی ادغام نقشه‌ها، وزن پارامترها یکی فرض می‌شود. همچنین در استفاده از منطق فازی، روش ترکیب جهت ارزیابی کیفیت اراضی، متفاوت از روش سیستمی ادغام نقشه‌ها است (Ranst *et al*., 1996)، در این روش هر پیکسل دارای ارزش صفر یا یک بوده در حالی که در منطق فازی دارای ارزش بین صفر تا ۱ را دارا می‌باشد.

هدف این تحقیق، کاربرد و مقایسه دو روش فوق در تجزیه و تحلیل تناسب اراضی بر پایه سامانه اطلاعات جغرافیایی از طریق روش WLC است که یک روش ارزیابی چند معیاره یا عامل ترکیبی است (Malczewski, 2006). روش ترکیب خطی وزن داده شده ، یکی از متداول‌ترین و ساده‌ترین تکنیک‌ها در تصمیم‌گیری چند معیاره است (Heydarzade, 2001).

در این تحقیق، ارزیابی توان اکولوژیک جنگل در حوضه‌های آبخیز جنگل به عنوان واحد برنامه‌ریزی و مدیریت سرزمین مدنظر بوده است که در این راستا به مطالعه فاکتورهای فیزیکی و زیستی دخیل در کاربری جنگلداری پرداخته شده و سپس با نقشه‌سازی هر یک از این فاکتورها، ارزیابی توان اکولوژیک جنگل بر اساس روش سیستمی ادغام نقشه‌ها و منطق بولین- فازی انجام گردیده است. در جدول شماره ۱ تفاوت‌های دو روش سیستمی ادغام نقشه‌ها و روش منطق‌بولین - فازی، آمده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در حوضه‌های آبخیز جنگلی ۳۳ و ۳۴ شمال کشور تحت عناوین دو هزار و سه هزار در استان مازندران و در جنوب شهرستان تنکابن صورت پذیرفته است. مساحت این حوضه‌ها ۷۷۴۴۳ هکتار به طول جغرافیایی ″۵۷ ′۲۹ °۵۰ و ″۴۳ ′۵۸ °۵۰ شرقی و عرض جغرافیایی ″۲۲ ′۱۹ °۳۶ و ″۲۵ ′۴۵ °۳۶ شمالی می‌باشد. ۴۲٪ سطح این حوضه‌ها یعنی معادل ۳۲۵۲۶ هکتار پوشیده از جنگل است. شکل‌های شماره ۱ و ۲ موقعیت جغرافیایی شهرستان تنکابن و حوضه‌های مورد مطالعه را در

جدول ۱- تفاوت‌های دو روش سیستمی ادغام نقشه‌ها و روش منطق بولین- فازی

روش سیستمی ادغام نقشه‌ها	نظر کارشناس دخالت داده نمی‌شود	Polygon Based	وزن ندارد	فازی نمی‌شود	بعضی از طبقات در منطقه دیده نمی‌شود
روش منطق بولین و فازی	نظر کارشناس دخالت داده می‌شود	Pixel Based	وزن دارد	فازی می‌شود	تمام طبقات در منطقه دیده می‌شود

منبع: (Amiri, 2009)

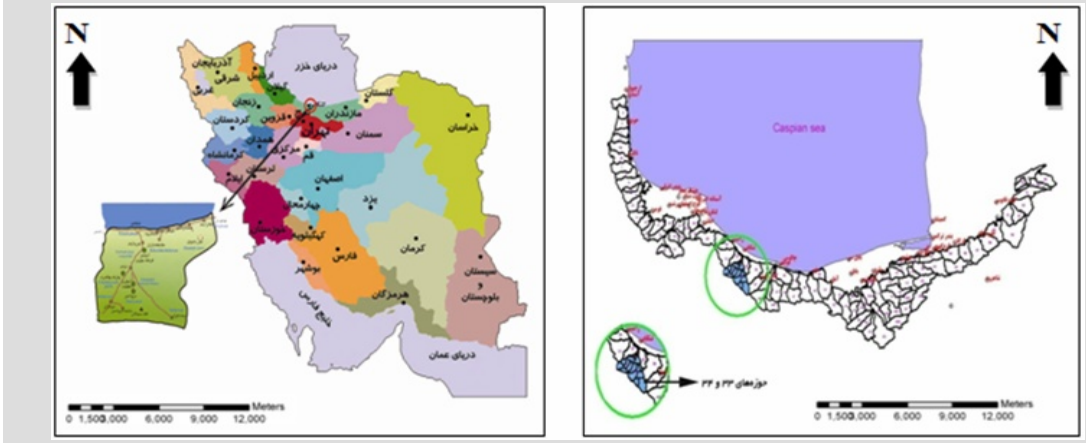
تقسیم‌بندی استانی و هم‌چنین حوضه‌های اصلی شمال کشور نشان می‌دهند.

روش مطالعه

برای ارزیابی و تعیین توان اکولوژیک جنگلداری تعداد زیادی متغیرهای محیط‌زیستی مطرح هستند (Makhdoum, 2004). مدل اکولوژیکی کاربری جنگلداری، شامل هفت طبقه می‌باشد که برای نشان دادن توان و درجه مرغوبیت سرزمین برای کاربری جنگلداری در جنگل‌های طبیعی است (Makhdoum, 1999) و از طبقه اول به هفتم از درجه توان و میزان مرغوبیت جنگل، کاسته می‌شود (Hosseini *et al*, 2003). جهت این ارزیابی و تعیین معادلات آن باید محدودیت‌های موجود مکانی، منطقه‌ای، ملی و حتی بین‌المللی در ارتباط با معیار و نوع کاربری آن لحاظ گردد. در مرحله بعد، لایه‌های اطلاعاتی را با هم به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تلفیق نموده و مناطق مناسب برای کاربری جنگلداری شناسایی گردید.

مناطق مستعد طبقات هفت‌گانه جنگلداری با توجه به تناسب آنها درجه بندی و اولویت بندی شدند و نتایج به دست آمده با واقعیات زمینی تطبیق داده شد. در این تحقیق، برای ارزیابی توان اکولوژیک مناطق جنگلی، از دو رهیافت کلی یعنی روش سیستمی ادغام نقشه‌ها و استفاده از منطق بولین – فازی استفاده شد.

برای اجرای این دو روش، ابتدا شناسایی و مطالعه فاکتورهای اکولوژیک اعم از عوامل فیزیکی و همچنین عوامل زیستی صورت پذیرفت. برخی از مهم‌ترین معیارهای مؤثر به‌کار رفته در این تحقیق شامل ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، ارزش گونه‌های گیاهی، تراکم پوشش گیاهی، رویش سالیانه در هکتار، زهکشی خاک، حاصل‌خیزی خاک و pH خاک می‌باشند که اقدام به رقومی سازی اطلاعات مکانی و توصیفی آنها شد. جداسازی مرز جنگل از غیر جنگل در حوضه‌های مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (IRS LissIII, 2006)، و برای اطمینان بیشتر و افزایش صحت و دقت با پیمایش و بازدید زمینی انجام پذیرفت.



شکل ۱– موقعیت حوضه‌های آبخیز ۳۳ و ۳۴ در حوضه‌های آبخیز شمال کشور

شکل ۲– موقعیت جغرافیایی شهرستان تنکابن و حوضه‌های ۳۳ و ۳۴

اجرای روش سیستمی ادغام نقشه‌ها

در استفاده از این روش، در منطقه جنگلی مورد مطالعه با توجه به ویژگی‌ها و خصوصیات ذکر شده در مدل اکولوژیک کاربری جنگلداری، با توجه به شرایط ارائه شده برای هر یک از طبقات هفت‌گانه این کاربری، برای تمام پارامترها به کمک منطق بولین طبقه‌بندی صورت گرفت. عملیات منطقی در تابع روی هم گذاری، بر پایه جبر بولین استوار است و معمولاً برای تفکیک مناطقی که دارای مجموعه‌ای از شرایط و ویژگی‌های مورد نظر می‌باشند کاربرد دارند. بدین معنی که برای شرایط موجود در هر طبقه منطقه کد ۱ و برای سایر مناطقی که در طبقه نمی‌گنجید کد صفر اطلاق گشت. با این توصیف برای جدا کردن هر یک از طبقات هفت‌گانه جنگلداری بین تمامی فاکتورهای اکولوژیک مربوط به هر طبقه، تقاطع (منطق AND) داده شد. سپس به کمک نرم‌افزارهای سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از این منطق، مدل ارزیابی توان اکولوژیک کاربری جنگلداری برای هر هفت طبقه اجرا گردید. مراحل اجرای این تحقیق در شکل شماره ۳ آورده شده است.

اجرای روش منطق بولین - فازی

با استفاده از منطق بولین - فازی، مدل ارزیابی توان اکولوژیک کاربری جنگلداری اجرا شد. روش اجرایی در این بخش، روش ارزیابی چند معیاره مکانی (MCE) که یکی از روش‌های ارزیابی چند عامله است استفاده گردید. در این روش ابتدا هدف ارزیابی که ارزیابی توان اکولوژیک کاربری جنگلداری در حوضه مورد مطالعه است تعیین شد. سپس معیارهای متناسب با این هدف مشخص و اولویت‌بندی گردید. در واقع علاوه بر هر معیار، درجه اهمیت و ارجحیت آن معیار نسبت به سایر معیارها نیز در فرایند ارزیابی دخالت داده شد. همچنین این روش بر پایه منطق فازی که در برگیرنده طیفی از اعداد یا گستره‌ای از تناسب (۰ تا۱ یا۰ تا ۲۵۵) می‌باشد استوار گشت (Estman, 2006). نقشه‌های معیار در دو نوع نقشه‌های فاکتور و محدودیت مطرح می‌شوند. یک نقشه فاکتور نمایانگر توزیع فضایی صفتی است که به واسطه آن می‌توان درجه دستیابی به هدف ملازم با آن صفت را اندازه گرفت. نقشه‌های مترتب بر محدودیت نیز مناطقی را مشخص می‌کنند که به هیچ وجه قابلیت استفاده برای یک هدف خاص را ندارند (Amiri, 2009).

با توجه به اینکه در اندازه‌گیری صفات، دامنه متنوعی از مقیاس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، بر همین اساس لازم شد که ارزش‌های موجود در لایه‌های معیارهای مختلف، از فرمت، سیستم تصویر، مقیاس و اندازه پیکسل یکسانی برخوردار شوند. به این منظور استانداردسازی هر یک از نقشه‌های معیار که در شکل ۳ آورده شده است، بر اساس دو منطق فازی و بولین صورت پذیرفت (Joss *et al*, 2008). منطق بولین بر مبنای اعداد صحیح ۰ و ۱ بنا شده است که لزوم قطعیت در مورد وجود یا نبود هر پدیده مورد بررسی را مد نظر قرار می‌دهد و در آنها عدد ۰ به معنای غیر قابل قبول بودن یا عدم تناسب پیکسل و عدد ۱ به معنای قابل قبول بودن یا تناسب آن پیکسل در راستای هدف مورد نظر است (Hall *et al*., 1992).

استفاده از منطق فازی به منظور استانداردسازی نقشه‌های فاکتور از روش‌هایی است که امروزه مورد توجه فراوان قرار گرفته است. شایان ذکر است که برای کمی کردن بعضی از پارامترها نظیر عوامل ناپایدار و هم‌چنین کیفی، با رجوع به منابع علمی متعدد (Makhdoum, 2004) که مشخص کننده کیفیت هر یک از این عوامل بوده اند نسبت به عدد دهی اولیه و استانداردسازی آنها اقدام شد. بر خلاف منطق بولین در منطق فازی، می‌توان بین اعدادی مثل ۰ تا ۱ یا ۰ تا ۲۵۵ مجموعه‌ای از اعداد را تصور کرد که هر یک از آنها با یک تابع عضویت تعریف می‌شوند (Heidarzade, 2001). تابع عضویت هر معیار بسته به نوع معیار و کاربری مورد نظر مشخص می‌گردد. تابع عضویت در برگیرنده طیفی از اعداد است که بین حالت قابل قبول و غیر قابل قبول درجات مختلف مقبولیت را نمایش می‌دهند. مقیاس

مورد استفاده در این تحقیق برای تعیین تابع عضویت، مقیاس بایت در بازه ۰ تا ۲۵۵ می‌باشد ، که در این بازه مقدار عضویت بالاتر مطلوبیت بیشتر و مقدار عضویت پائین تر مطلوبیت کمتر را نشان می‌دهد (Nisar *et al*., 2000). پس از انجام مراحل فوق، باید به معیارها بسته به میزان ارزش آنها وزن داده شود. به عبارت دیگر به لایه‌های اطلاعاتی متناسب با درجه اهمیت و تأثیر آنها در انتخاب مکان مناسب وزن داده شد که این وزن دهی، اهمیت هر معیار را نسبت به سایر معیارها نشان می‌دهد. در تصمیم‌گیری چند معیاره به منظور وزن دهی به معیارها، روش‌های گوناگونی وجود دارد. روش بکار رفته در این تحقیق، روش مبتنی بر مقایسه زوجی یا فرآیند سلسله مراتبی (AHP) است که از مؤثرترین فنون مطرح درتصمیم‌گیری مکانی اعم از رویکردهای مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی است (Jiang, 2000). به منظور تعیین وزن معیارها ابتدا ماتریس مربعی مقایسه زوجی معیارها تهیه شد، این ماتریس درجه اهمیت هر فاکتور را نسبت به سایر فاکتورها نشان می‌دهد. سپس برای تعیین اولویت دو به دوی معیارها نسبت به یکدیگر، از نظرات کارشناسی (در این تحقیق از ۲۳ کارشناس استفاده شده است) و یک مقیاس پایه ۹ نقطه‌ای پیوسته مطابق با جدول شماره۲ به کمک نرم افزار Expert Choice مقایسه شده اند. پس از استاندارد سازی نقشه‌های معیار (فاکتورها) و تهیه نقشه محدودیت، مرحله بعد، انجام فرآیند ارزیابی از طریق ترکیب لایه‌های مختلف اطلاعاتی می‌باشد. یکی از متداول‌ترین و ساده‌ترین تکنیک‌ها در تصمیم‌گیری چند معیاره، روش ترکیب خطی وزن داده شده (WLC) است (Davidson *et al*., 1994). هم‌چنین با توجه به اینکه تحلیل وزنی پارامترها، کاربردی‌ترین مدل‌های تحلیل و ارزیابی برای تصمیم‌گیری می‌باشند (Gholamalifard, 2006). بنابراین در تحقیق حاضر نیز از روش «ترکیب خطی وزن داده شده» استفاده گردید که به منظور انجام فرآیند ارزیابی با این روش، ابتدا مطابق رابطه (۱) (Estman, 2006) هر یک از فاکتورها در وزن خود ضرب می‌شوند و سپس با ضرب نمودن تناسب محاسبه شده از فاکتورها در حاصل‌ضرب محدودیت‌ها، نقشه تناسب منطقه برای کاربری مورد نظر به دست خواهد آمد.

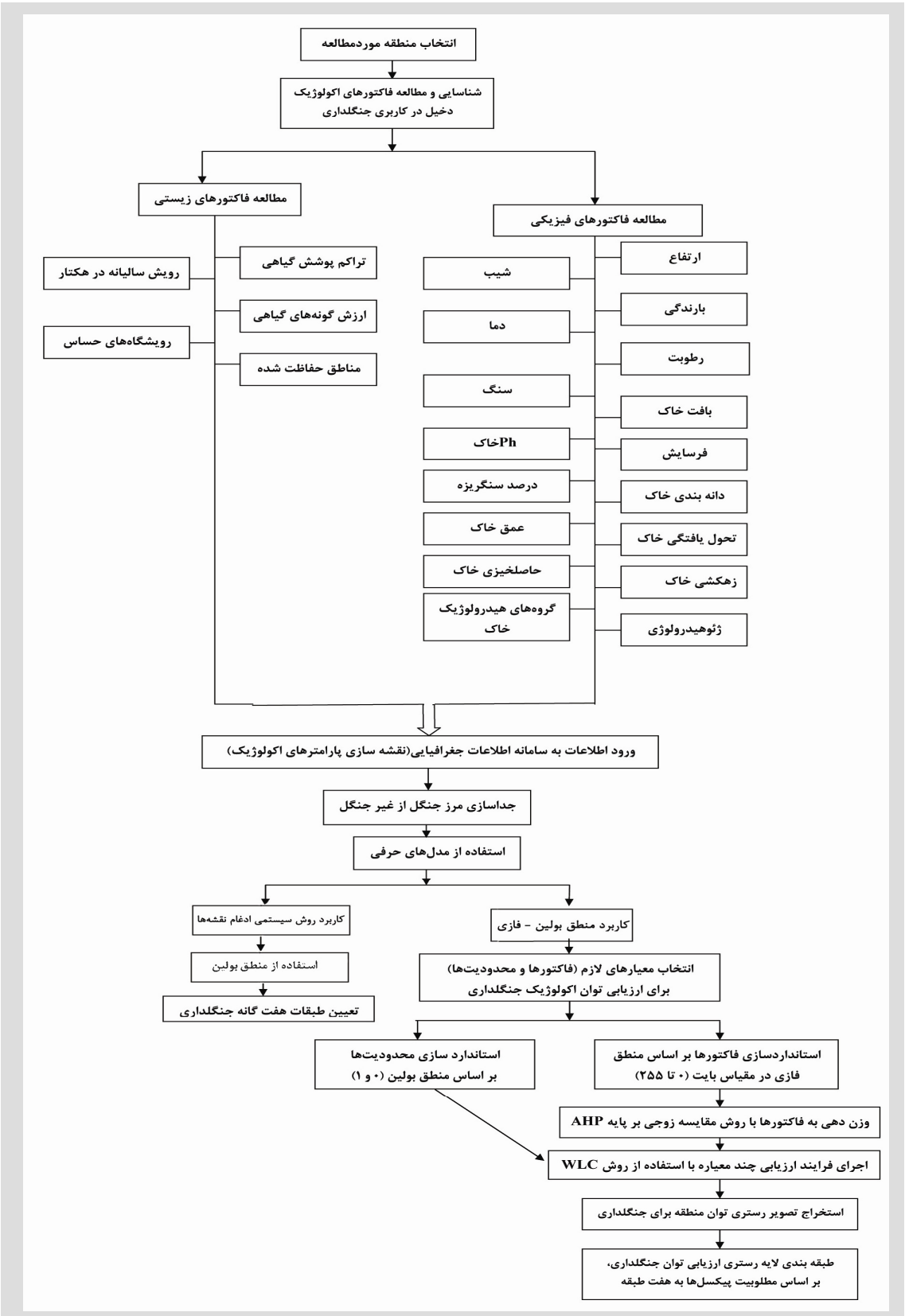
$$s = \sum W_i X_i \prod C_j$$ رابطه (۱)

که در آن: S = مطلوبیت، Wi = وزن فاکتور، Xi= ارزش فازی فاکتور، Cj= امتیاز معیار محدودیت j و Π= نمایه حاصلضرب می‌باشد. پس از تولید نقشه نهایی حاصل از روش فازی، برای هر یک از طبقات ایجاد شده حداقل ۵ نمونه روی زمین گرفته شد تا میزان صحت این روش برآورد گردد.

جدول ۲- مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی

درجه اهمیت	تعریف
۹	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر ۱۰۰ درصد اهمیت دارد.
۷	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر بسیار مهم است.
۵	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر مهم است.
۳	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر قدری مهم است.
۱	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر با ستون از نظر اهمیت مساوی است.
۱/۳	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر قدری کم اهمیت است.
۱/۵	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر کم اهمیت است.
۱/۷	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر بسیار کم اهمیت است.
۱/۹	نسبت به متغیر ستون، متغیر سطر ۱۰۰ درصد بی اهمیت است.
۲، ۴، ۶، ۸، ۱/۲، ۱/۴، ۱/۶ و ۱/۸	ترجیحات بین فواصل فوق

منبع: (Ghodsipour, 2005)



شکل ۳- مراحل اجرای تحقیق ارزیابی توان اکولوژیک به دو روش سیستمی ادغام نقشه‌ها و ترکیب منطق بولین - فازی

نتایج

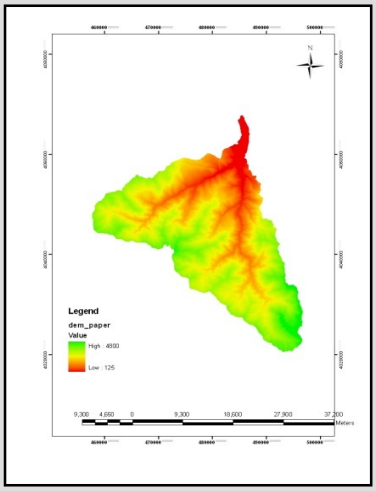
پارامترهـای اکولـوژیکی موجـود در مـدل اکولوژیـک کاربری جنگلداری، شامل هفت طبقه توان بـرای اراضـی جنگلی در نظر گرفته شده اسـت کـه بـه تـدریج از طبقـه یک به سـمت طبقـه هفـت، مرغوبیـت و انعطـاف پـذیری زمین، برای این نوع از کاربری نامناسب می‌شود.

پس از تعیین مرز جنگل بر اساس تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۴) و شناسایی عوامل اکولوژیک مؤثر در کاربری جنگلـداری و نقـشه‌سـازی آنهـا، تمـامی پارامترهـای اکولوژیک منطقه مورد مطالعه بر اساس مرز جنگـل جـدا گردید که به طور نمونه ارتفاع از سطح دریای حوضه ۳۳ و ۳۴ در شکل ۵ و جدا سازی آن بر اساس مرز جنگل در شکل ۶ آورده شده است.

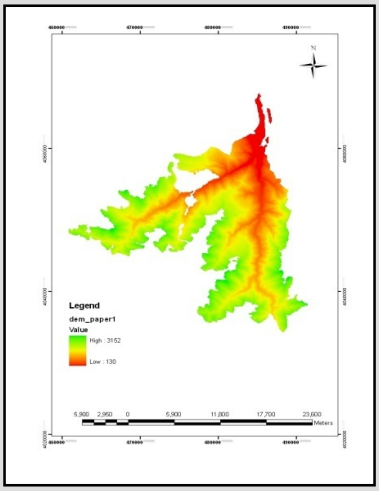
مرحله اول این تحقیق، بر اساس روش سیستمی ادغام نقشه‌ها، برای هر یک از طبقـات هفـت‌گانـه جنگلـداری، منطق بولین به‌کار برده شد. بدین صـورت بـه محـدوده‌ای که مدنظر طبقات اسـت کـد۱ و بـه مـابقی محـدوده، کـد صفر داده شد. به طور نمونه، در شکل‌هـای ۷ و ۸ اجـرای منطق بولین در فاکتور اکولوژیکی درصد تاج پوشش، در طبقات ۱ و ۵ جنگلـداری نـشان داده مـی‌شـود. سـپس بـه کمک سامانه اطلاعات جغرافیـایی و بـا اسـتفاده از منطـق AND، مدل ارزیابی توان اکولوژیک کاربری جنگلداری در منطقه مورد مطالعه اجـرا گردیـد کـه نتـایج حـاکی از وجود طبقـات ۳، ۵، ۶ و ۷ (F3،F5، F6 و F7) جنگلـداری است ولی طبقات ۱، ۲ و ۴ (F1، F2 و F4) در ایـن منطقـه دیـده نـشده اسـت. شـکل ۹، طبقـات موجـود را پـس از اجرای این روش نشان می‌دهد.

در مرحلـه دوم ایـن تحقیـق، جهـت ارزیـابی تـوان اکولوژیـک منطقـه بـرای کـاربری جنگلـداری، از روش ارزیابی چند معیاره مکانی[۱۲] استفاده گردید. در این تحقیق بـا استفاده از نرم افزار Expert Choice وزن فاکتورها، بـر اسـاس مقایسه زوجی بر پایه AHP، به دست آمد (جدول شـماره ۳). سـپس بـر اسـاس منطـق Fuzzy و اسـتفاده از روش ترکیـب خطی وزن داده شـده (WLC) و همچنـین بـا توجـه بـه میـزان آستانه معیارها، نوع (Type) و شـکل (shape) تـابع عـضویت، ارزیابی چند معیاره اجرا شد که شکل ۱۰، نقشه فازی ارتفـاع از سـطح دریـا بـا نـوع تـابع عـضویت Sigmoidal و شـکل کاهشی یکنواخت و همچنین شکل ۱۱، نقشه فـازی درصـد تـاج پوشـش گیـاهی بـا نـوع تـابع عـضویت خطـی و شـکل افزایشی یکنواخت را نشان می‌دهد.

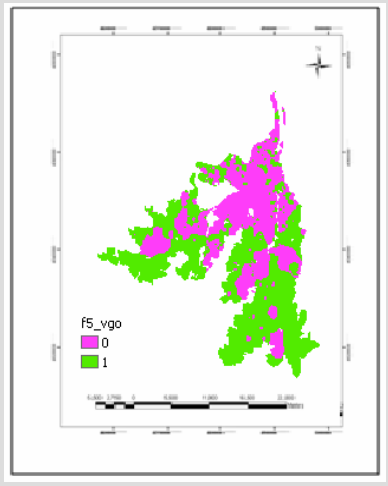
شکل ٤- مرز جنگل مورد مطالعه



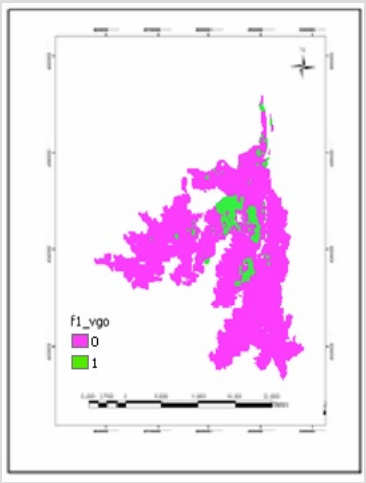
شکل ۵– DEM کل حوضه ۳۳ و ۳۴



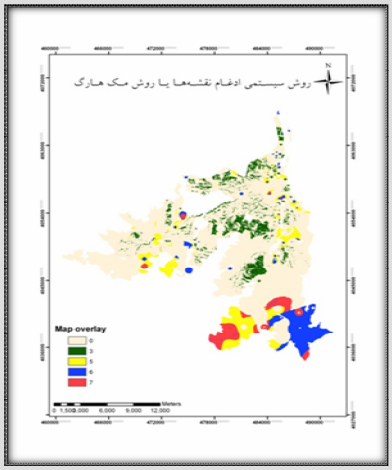
شکل ٦– DEM جنگل منطقه مورد مطالعه



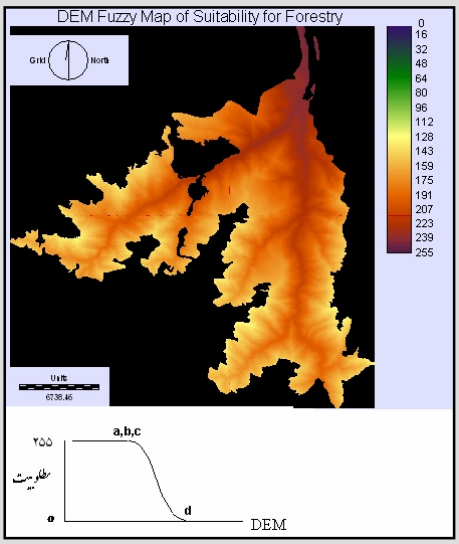
شکل ۷– درصد تاج پوشش درطبقه ۱ جنگلداری با اجرای روش سیستمی ادغام نقشه‌ها



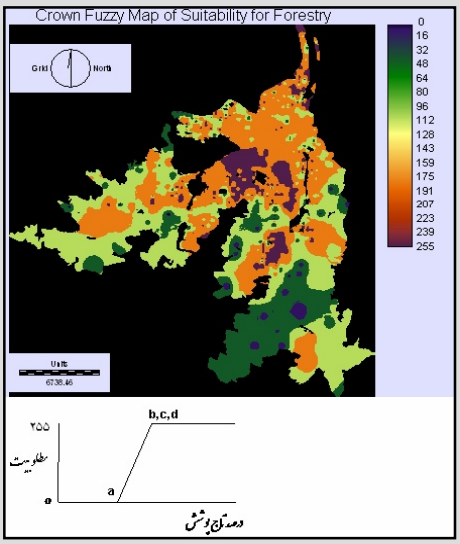
شکل ۸– درصد تاج پوشش درطبقه ۵ جنگلداری با اجرای روش سیستمی ادغام نقشه‌ها



شکل ۹– طبقات ۳ تا ۷ جنگلداری، حاصل اجرای روش سیستمی ادغام نقشه‌ها



شکل ۱۰– نقشه استاندارد شده (فازی شده) DEM با تابع عضویت آن



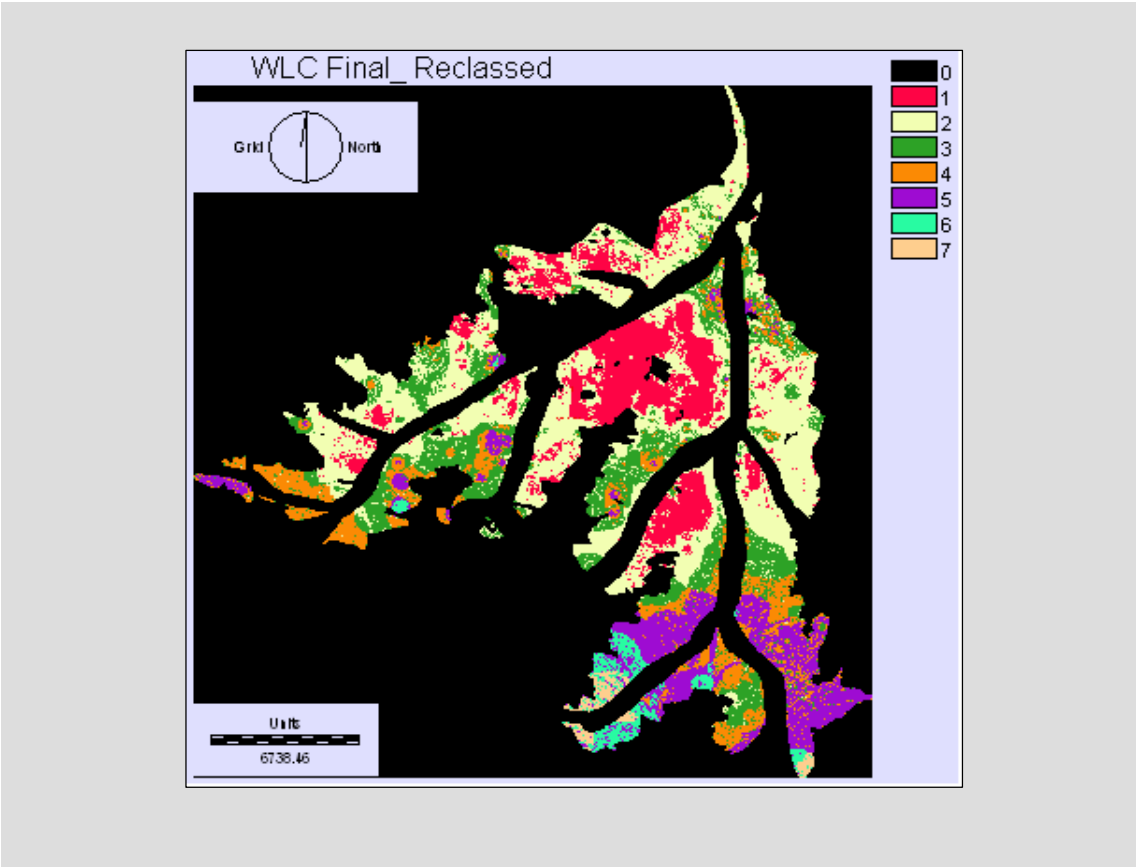
شکل ۱۱– نقشه استاندارد شده (فازی شده) درصد تاج پوشش با تابع عضویت آن

نقشه‌های شماره ۱۰ و ۱۱ نمایانگر لایه‌ای با طیفی از مطلوبیت‌های متفاوت پیکسل‌ها از ۰ تا ۲۵۵ می‌باشند که مطلوبیت بیشتر نشان‌دهنده درجه توان بالاتر و مطلوبیت کمتر بیانگر درجه توان پایین‌تر برای کاربری جنگلداری است. میزان مطلوبیت هر پیکسل تجلی‌بخش میزان مطلوبیت فاکتورها و نیز وزن‌های اختصاص داده شده به آنهاست.

پس از استانداردسازی نقشه‌های معیار (فازی کردن فاکتورهای جدول ۳) و تهیه نقشه محدودیت[۱۳] (براساس ۰ و ۱)، در مرحله بعد با استفاده از رابطه ۱ و وزن فاکتورها، رابطه ۲ (Amiri,2009) تعریف گردید تا ارزیابی از طریق ترکیب لایه‌های مختلف اطلاعاتی با استفاده از فرآیند ارزیابی چند معیاره(WLC) صورت پذیرد. پس از اجرای این روش و طبقه‌بندی ارزش‌های فازی آن، نقشه نهایی حاصل از اجرای منطق فازی که در آن هر هفت طبقه مدل ارزیابی توان اکولوژیک کاربری جنگلداری دیده می‌شود (شکل ۱۲) به‌دست آمد.

Fuzzy_WLC_Map= [(0.0041 * [Fuzzy_e]) + (0.1252*[Fuzzy_so]) + (0.0143 * [Fuzzy_cp]) + (0.0135 * [Fuzzy_ct]) + (0.0085 * [Fuzzy_ch]) + (0.0066 * [Fuzzy_li]) + (0.0194 * [Fuzzy_pte]) + (0.0553 * [Fuzzy_ph]) + (0.1145 * [Fuzzy_es]) + (0.0125 * [Fuzzy_ps1]) + (0.0149 * [Fuzzy_pg]) + (0.0132 * [Fuzzy_pd]) + (0.0145 * [Fuzzy_ps2]) + (0.0635 * [Fuzzy_pf]) + (0.0785* [Fuzzy_pdr]) + (0.011 * [Fuzzy_phg]) + (0.0816 * [Fuzzy_vgo]) + (0.1292 * [Fuzzy_ino]) + (0.2096*[Fuzzy_bvc]) + (0.01 * [Fuzzy_H])] II [Boolean Map]

رابطه(۲)



شکل ۱۲– نقشه نهایی حاصل از اجرای منطق فازی با استفاده از روش WLC

جدول شماره ۳– وزن فاکتورهای اکولوژیک کاربری جنگلداری به دست آمده از این تحقیق

ردیف	فاکتورهای اکولوژیک	وزن	ردیف	فاکتورهای اکولوژیک	وزن
۱	ارزش گونه‌های گیاهی(bvc)	۰/۲۰۹۶	۱۱	سنگریزه خاک (ps2)	۰/۰۱۴۵
۲	حجم (ino)	۰/۱۲۹۲	۱۲	بارندگی (cp)	۰/۰۱۴۳
۳	شیب (so)	۰/۱۲۵۳	۱۳	دما (ct)	۰/۰۱۳۵
۴	فرسایش پذیری (es)	۰/۱۱۴۵	۱۴	عمق خاک (pd)	۰/۰۱۳۲
۵	تراکم تاج پوشش (vgo)	۰/۰۸۱۶	۱۵	تحول یافتگی خاک (ps1)	۰/۰۱۲۵
۶	زهکشی خاک (pdr)	۰/۰۷۸۵	۱۶	گروه هیدرولوژیک خاک (phg)	۰/۰۱۱
۷	حاصل‌خیزی خاک (pf)	۰/۰۶۳۵	۱۷	ژئوهیدرولوژی (H)	۰/۰۱
۸	اسیدیته خاک (ph)	۰/۰۵۵۳	۱۸	رطوبت نسبی (ch)	۰/۰۰۸۵
۹	بافت خاک (pte)	۰/۰۱۹۴	۱۹	سنگ مادری (li)	۰/۰۰۶۶
۱۰	دانه بندی خاک (pg)	۰/۰۱۴۹	۲۰	ارتفاع از سطح دریا (e)	۰/۰۰۴۱
جمع جبری پارامترهای اکولوژیک					۱
C.R.= 0.08					

بحث

در این تحقیق، ارزیابی توان اکولوژیک جنگل با نگرش همه جانبه به کلیه فاکتورهای اکولوژیک در حوضه آبخیز جنگلی با به کارگیری روش‌های سیستمی ادغام نقشه‌ها و همچنین منطق بولین- فازی جهت برنامه‌ریزی و مدیریت سرزمین مدنظر بوده است.

با توجه به اینکه مدل‌های حرفی جنگلداری ایران باید بر اساس مناطق مورد ارزیابی تغییر نسبی یابند، لذا ضروری است این مدل‌ها برای استفاده در منطقه مورد مطالعه کالیبره گردند. پس از اجرای مدل فوق به کمک روش سیستمی ادغام نقشه‌ها ، نتایج حاکی از وجود طبقات ۳، ۵، ۶ و ۷ و عدم وجود طبقات ۱، ۲ و ۴ کاربری جنگلداری است.

اگر چه شناسایی و مطالعه تمامی فاکتورهای اکولوژیکی در حوضه‌های آبخیز الزامی است ولی باید مدل ویژه‌ای برای جنگلداری در مناطق مختلف ارائه گردد تا از پارامترهای اثرگذار محیطی برای ارزیابی آن منطقه بهره جست و با اعمال وزن دهی پارامترهای اکولوژیک، از آنهایی که وزن بیشتری دارند استفاده نمود تا تعدد معیارها و پارامترها، اجرای عمل ارزیابی را با مشکل مواجه ننمایند. لذا پس از اجرای مدل به کمک منطق بولین - فازی، نتایج نشان دهنده تمامی هفت طبقه مدل جنگلداری در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که با بررسی‌های زمینی و کنترل طبقات مدل جنگلداری، ضمن تأیید روش اجرا شده فازی در منطقه مورد مطالعه، مشخص شد که بهترین روش‌های ارزیابی، روش‌هایی هستند که عمل ارزیابی را با استفاده از مدل ارزیابی چند عامله و استفاده از عوامل مؤثر اکولوژیک فیزیکی و زیستی انجام می‌دهند. هم‌چنین با توجه به اینکه استفاده از منطق فازی از قابلیت کاربرد GIS برخوردار می‌باشد لذا می‌توان ارزیابی جنگل را از سطح سیستمی ادغام نقشه‌ها، به سطح ادغام رایانه‌ای و استفاده از منطق فازی و وزن‌دهی به روش AHP ارتقاء داد.

نقشه‌های حاصل از روش‌های مورد استفاده در ارزیابی توان اکولوژیک کاربری جنگلداری تحت GIS، نشان می‌دهد که کمترین طبقات ایجاد شده (به لحاظ تعداد قطعات و مساحت) در روش سیستمی ادغام نقشه‌ها (بولین) و بیشترین آن در روش MCE وجود دارد. این موضوع بیانگر این مطلب است که در روش بولین به علت محدود بودن انتخاب‌ها و دامنه مقادیر معیارها در فرآیند ارزیابی انعطاف‌پذیری مناسبی وجود ندارد، چرا که طبقات بر اساس معیارهای مطلق و قطعی انتخاب می‌شوند. لیکن این روش به‌علت سادگی عملیات و سهولت کاربرد مورد توجه است. مزیت دیگر این روش این است که هیچ‌گونه ریسکی را قبول نمی‌نماید. یعنی طبقات جنگلداری منتخب به‌وسیله این روش به‌طور قطع دارای بهترین شرایطی است که برای انتخاب تعریف شده است. در حالی‌که در روش‌های فازی (WLC و OWA) به واسطه طیف گسترده دسته‌بندی مناطق (۲۵۵ – ۰) قدرت تصمیم‌گیری بالاتر است. یعنی در این روش‌ها به طرق گوناگون می‌توان در نتایج حاصل به نحوی تغییر ایجاد نمود که پاسخ‌های قابل قبول‌تری به‌دست آید. از جمله تغییر در مقادیر آستانه، تابع فازی، وزن‌های معیار، وزن‌های درجه‌ای (در مورد OWA) و تغییر محدوده طبقه‌بندی قابل ذکر هستند.

پیشنهادها

۱- شناسایی و مطالعه دقیق و کامل پارامترهای اکولوژیک، جهت انجام مدل سازی توان اکولوژیک حوضه‌های آبخیز شمال کشور صورت پذیرد.

۲- در ارزیابی توان اکولوژیک به روش سیستمی ادغام نقشه‌ها (روش مک هارگ)، وزن پارامترها معمولاً

کمتر مورد توجه واقع شده یا یکسان در نظر گرفته شده است. لذا با توجه به مفید بودن ارزش گذاری پارامترهای اکولوژیک، پیشنهاد می‌گردد تا روش مورد استفاده در این تحقیق در حوضه‌های آبخیز شمال کشور بکار گرفته شود و نتایج آن مورد آزمون قرار گیرد.

۳- با توجه به اینکه روش‌های طبقه‌بندی فازی، نتایج مطلوب‌تری را ارائه می‌دهد، پیشنهاد می‌شود پس از تعیین صحت و دقت این روش ارزیابی در چند حوضه آبخیز، این روش به‌جای استفاده از روش منطق بولین برای ارزیابی توان اکولوژیک کاربری جنگلداری، استفاده گردد.

۴- با توجه به‌اینکه بعضی از پارامترها از وزن کمتری برخوردارند پیشنهاد می‌گردد از رهیافت بالا به پایین[14] در ارزیابی توان اکولوژیک استفاده شود. بدین معنی که در ارزیابی توان اکولوژیک حوضه‌های آبخیز، از پارامترهای اثرگذار محیطی برای ارزیابی آن منطقه بهره جست و با بررسی پارامترهای اکولوژیک، از آنهایی که وزن بیشتری دارند استفاده نمود تا تعدد معیارها و پارامترها، اجرای عمل ارزیابی را با مشکل مواجه ننماید.

۵- با توجه به وجود نظرات متفاوت در انتخاب معیارها، تعیین آستانه آنها در توابع عضویت، معیارها با توابع عضویت جدید نیز مورد استفاده قرارگیرند.

۶- تلفیق معیارها با روش‌های دیگری نظیر میانگین وزن داده شده مرتب[15] (OWA) صورت پذیرد.

یادداشت‌ها

1. Ecological Capability Evaluation
2. Biodiversity Preservation
3. Multi Criteria Decision Analysis
4. Multi Criteria Evaluation
5. Fuzzy Logic
6. Multi Criteria Decision Making
7. Maps Overlay Systemic Method
8. Analytic Hierarchy Process
9. Weighted Linear Combination
10. Boolean – Fuzzy logic
11. Land suitable evaluation
12. Spatial Multi Criteria Evaluation
13. Boolean Map
14. Top Down Approach
15. Ordered Weighted Averaging

سپاسگزاری: نویسندگان لازم می‌دانند از همکاری معاونت جنگل‌های مرطوب و نیمه مرطوب و دفتر فنی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تشکر نمایند. همچنین از رهنمودهای دکتر مجید مخدوم، دکتر مهدی غلامعلی‌فرد، مهندس زهرا ایزدخواستی، دکتر رسول اشرفی پور، دکتر علیرضا امیریان، مهندس محمد مرتضوی، مهندس رضایی و مهندس یدا... رسانه قدردانی می‌شود.

منابع

Adl, H.R. (2001). Study *of effective factors in Determine on Ecological Capability in Northern Forests of IRAN.* A Thesis presented for the Degree of Ph.D. in Forestry engineering. Tehran University.

Amiri, M.J. (2009). *Ecological Capability Modeling of Hyrcanian Forests for Improving Current Forestry Word Models of Iran (Case Study: Mazandaran Province).* AThesis presented for the Degree of Ph.D. in Forestry engineering. Trbiat Modares university.

Asgharpour, M.J. (2006). *Multi criteria decision making.* Tehran: Tehran university press.

Gholamalifard, M. (2006). *Formulating a Spatio-Temporal Model of Landfill Supply and Demand on Urban Dynamics Modeling in a GIS Environment (Case Study: Gorgan City)*. AThesis presented the master of science degree in environmental engineering. Trbiat Modares university.

Hall, G.B., F. Wang and S. Subaryono (1992). Comparison of Boolean and fuzzy classification methods in land suitability analysis by using geographical information systems. *Environment and Planning*, A. 24:497–516.

Heiydarzadeh, N. (2001). *Municipal solid waste landfill siting using geographic information system for tehran*. AThesis presented the master of science degree in environmental engineering. Trbiat Modares university.

Hosseini, S.M., M.J. Amiri and N. Rafatnia (2003). Forest and Mountain Road Projects Planning on the Basis of Land Evaluation, *Forest Science*, 3: 23-29

Jankowski, p. (1995). Integrating geographical information systems and multi criteria decision making methods, *International journal of geographical information systems*, 9:251-273

Jiang, H. and J.R. Eastman (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(2):173–184.

Joss, B.N., R.J. Hall, D.M. Sidders and T.J. Keddy (2008). Fuzzy-logic modeling of land suitability for hybrid poplar across the Prairie Provinces of Canada. *Environ Monit Assess*, 141:79–96.

Badenko, v. and D. kurtener (2004). Fuzzy modeling in GIS environment to support sustainable land use planning. *The AGILE conference on geographic information science*. 29 April-1may. Hera lion, Greece, parallel session a.1- "geographic knowledge discovery.

Baja, S., D.M. Chapman and D. Dragovich (2002). Fuzzy modeling of environmental suitability index for rural land use systems: an assessment using GIS. *Environment and Planning* B: Planning and Design, 29:3–20.

Bibby, J.S., R.E.F. Heslop and R. Hartnup (1988). Land Capability for Forestry in Britain. The Forestry Commission. *In: www. bsss. bangor.ac. Uk/Forest 1. htm.*

Bogardi, I., A. bardossy, M.D. mayas and L. Duckstein (1996). *Risk assessment and fuzzy logic as related to environmental science*. NewYork: SSSA special publ.

Brail, R. and R. klosterman (2001). *Planning support systems: integrating Geographic Information systems, models, and visualization tools*. USA: ESRI- press.

Davidson, D.A., S.P. Theocharopoulos and R.J. Bloksma (1994). A land evaluation project in Greece using GIS and based on Boolean and fuzzy set methodologies. *International Journal of Geographical Information Science*,8(4): 369–384.

Estman, R.J. (2006). *Guide to GIS and Image processing*. USA: Clark University.

Ghodsipour, S.H. (2005). *Analytic Hierarchy Process (AHP)*. Tehran: Amirkabir Industrial University press.

Silvert, W. (2000). Fuzzy indices of environmental conditions. *Ecological Modeling*, 130:111–119.

Wood, L.J. and S. Dragicevic (2006). GIS-Based Multi criteria Evaluation and Fuzzy Sets to Identify Priority Sites for Marine Protection. *Biodiversity and Conservation*, 16(9): 2539-2558.

Xue, Y.J., Y.M. Hu, S.G. Liu, J.F. Yang, G.C. Chen and S.T. Bao (2007). Improving land resource evaluation using fuzzy neural network ensembles. *Remote Sensing of Environment*, 11:369–384.

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8:338–353.

Makhdoum, M.F. (1999). *Fundamental of land use planning*. Tehran: Tehran university.

Makhdoum, M.F., A.A. Darvishsefat, H. Jafarzadeh and A.F. Makhdoum (2004). *Environmental evaluation and planning by geographic information system*. Tehran: Tehran university press.

Malczewski, j. (1999). *GIS and multi criteria decision analysis*. Newyork: wilet & sons.

Malczewski, j. (2006). Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS- based multi criteria evaluation for land- use suitability analysis. *International of applied earth observation and geo information*, 8:270-277.

Mayas, M.D., I. Bogardi and A. Baodossy (1997). Fuzzy logic and risk-based soil interpretations. *geoderma*, 77: 299-315.

Naghashzargaran, M. (2001). *Foliage biomass, leaf area index and their relationships to some characteristics of forest stand and soil in a permanent plot located in mid-elevation of caspian forests*. AThesis presented the master of science degree in forestry engineering. Gorgan university.

Nisar, A.T.R., K. Gopalrao and J.S.R. Murthy (2000). GIS based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis. *Agricultural Systems*, 63(2): 75–95.

Ranst, E.C., N. Tang, R. Groenemons and S. Sinthuorahat (1996). Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in production in peninsular Thailand. *Geothermal*, 70:1-19.