سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال اول، شماره اول، بهار ۱۳۸۸
Vol.1, No.1, Spring 2009
۱۷-۳۸

مدل‌سازی توان اکولوژیکی سرزمین، با استفاده از منطق فازی

(منطقه مورد مطالعه: شهرستان برخوار و میمه)

محمد کریمی[۱]، محمدسعدی مسگری[۲]*، محمدعلی شریفی[۳]

۱- دانشجوی دکترای GIS، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲- استادیار گروه GIS، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳- دانشیار گروه برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، مؤسسه بین‌المللی علوم اطلاعات جغرافیایی و مشاهدات زمینی (ITC) هلند

تاریخ دریافت مقاله: ۸۸/۳/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۱۱/۴

چکیده

یکی از مراحل اصلی آمایش سرزمین، تعیین توان بوم‌شناختی یا اکولوژیکی سرزمین است. تعیین مقدار دقیق توان هر عرصه از سرزمین برای کاربری‌های مختلف غیرعملی است. با به‌کارگیری منطق فازی به‌عنوان منطق مدل‌سازی ریاضی فرایندهای غیردقیق و مبهم، می‌توان بستری را برای مدل‌سازی عدم اطمینانِ مطرح در تعیین توان اکولوژیکی فراهم ساخت. در این تحقیق تعریف و مبانی مدل ارزیابی توان اکولوژیکی مخدوم به عنوان مبنا مدنظر قرار گرفته و مدل مذکور با استفاده از منطق فازی پیاده‌سازی شده است. فازی‌سازی نقشه‌های منابع اکولوژیکی و مدل‌های اکولوژیکی، درواقع استنتاج فازی به‌منظور جمع‌بندی نقشه‌ها و قطعی‌سازی از مراحل اصلی تعیین توان اکولوژیکی سرزمین با استفاده از منطق فازی محسوب می‌شوند. ارزیابی توان اکولوژیکی برای طبقات مختلف کشاورزی، مرتع و توسعه شهری، روستایی و صنعت و بررسی و تحلیل نقاط قوت و ضعف منطق فازی در پیاده‌سازی مدلی مبتنی بر منطق بولین، از خروجی‌های این تحقیق به‌شمار می‌رود. مقایسه نتایج پیاده‌سازی مدل ارزیابی توان اکولوژیکی مخدوم با دو منطق بولین و فازی در شهرستان برخوار و میمه، نشان می‌دهد که با به‌کارگیری استنتاج‌گرهای فازی می‌توان ارزیابی توان اکولوژیکی را، به خصوص در اطراف مرز عوارض و کلاس‌های تشکیل‌دهنده نقشه‌های منابع اکولوژیکی، نزدیک‌تر به واقعیت انجام داد. مدل ارائه شده، مستقل از تعداد کاربری‌ها و معیارهاست و می‌توان آن را با تغییرات لازم برای سایر مناطق، به کار گرفت.

کلیدواژه‌ها: آمایش سرزمین، توان اکولوژیکی، منطق فازی، کاربری زمین، سامانه اطلاعات جغرافیایی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان ولیعصر(عج)، تقاطع میرداماد، دانشکده نقشه‌برداری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی. تلفن ۸۸۷۸۶۲۱۲، نمابر ۸۸۷۸۶۲۱۳.
Email: smesgari@yahoo.com, mesegari@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

برای انجام مراحل و فعالیت‌های مختلف مطالعات آمایش سرزمین، تعاریف و روش‌ها و مدل‌های گوناگونی ارائه شده‌اند (F.A.O, 1976; SCE, 1977; LUPD, 1989; Klosterman, 1997; Makhdoum, 1999). آمایش سرزمین در تلاش است که رابطه بین انسان و سرزمین، و فعالیت‌های انسان در سرزمین را به‌منظور بهره‌برداری درخور و پایدار از جمیع امکانات انسانی و فضایی سرزمین در جهت بهبود وضعیت مادی و معنوی اجتماع در طول زمان تنظیم کند (Makhdoum, 1999).

با بررسی تعاریف، روش‌ها و مدل‌های موجود آمایش، می‌توان گفت که تعیین توان اکولوژیکی سرزمین به عنوان یکی از مراحل اصلی آمایش سرزمین مدنظر است و مطالعات اقتصادی و اجتماعی درواقع مکمل این مرحله از آمایش محسوب می‌شوند. در این تحقیق با توجه به گستردگی موضوع آمایش، فقط به مدل‌سازی تعیین توان اکولوژیکی پرداخته شده است.

تعیین قدرت بالقوه و یا نوع کاربرد طبیعی سرزمین (Makhdoum, 1999) به عنوان تعریف تعیین توان اکولوژیک مدنظر است. برای رسیدن به این منظور بایستی وضعیت منابع اکولوژیکی مانند شیب، تیپ خاک و اقلیم مورد شناسایی و تجزیه و تحلیل، و همچنین جمع‌بندی و ارزیابی قرار گیرد و قدرت بالقوه عرصه‌های مختلف سرزمین برای کاربری‌های مورد نظر تعیین گردد. در خصوص تعریف و محاسبه توان اکولوژیکی سرزمین، مطالعات مختلفی انجام شده است که در ادامه به صورت اجمالی ارائه می‌گردند.

نخستین تجربه تعیین توان اکولوژیکی در ایران را مخدوم ارائه کرده است. براساس این مدل، مطالعات آمایش حوزه‌های آبریز و مناطق مختلف انجام شده است (Makhdoum, 1999; 2000; Mahfouzi et al., 2002; Sharifi Pour and Makhdoum, 2005; Jafari and Karimi, 2005; Babaee and Awnegh, 2006; Jafari and Onagh, 2005; Najafifar, 2007). در این مطالعات با ویژه‌سازی مدل اکولوژیکی مخدوم در مناطق مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل و جمع‌بندی نقشه‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)[1]، تناسب واحدهای زیست‌محیطی برای کاربری‌های مختلف، با استفاده از زبان SQL[2] تعیین گردیده است.

از مدل F.A.O می‌توان به عنوان جامع‌ترین مدل ارزیابی تناسب در بخش کشاورزی نام برد (F.A.O. 1976; Kalogirou, 2002; Ahamed et al., 2000; Sante-Riveira et al., 2008)، که در ایران نیز به کار گرفته شده است (Mohammadi and Givi, 2001; Masih Abadi et al., 2001; Mohammadi et al., 2007; Faraj Zadeh and Mirza Bayati, 2007).

روش‌های ارزیابی چندمعیاره مانند WLC[3] از دیگر روش‌های متداول درخصوص ارزیابی توان اکولوژیک به شمار می‌آیند (Store, 2001; 2009; Geneletti et al., 2008; Saroinsong et al., 2007; Liu et al., 2007; Dragan et al., 2003; Ceballos and Lopez 2003a). این روش‌ها نیز با منطق و عمل‌گرهای فازی پیاده‌سازی شده‌اند (Ceballos and Lopez, 2003b; Sicat, et al., 2005).

به‌کارگیری روش‌هایی مانند OWA[4] فازی (Malczewski, 2006)، برنامه‌ریزی خطی (Fallah Shamsi et al., 2005)، برنامه‌ریزی آرمانی فازی (Biswas and Pal, 2005) و تلفیق روش‌های AHP[5] و WLC(UP&ARCI, 2000) از دیگر تحقیقات مرتبط با تعیین توان اکولوژیکی به‌شمار می‌آیند.

در بررسی فعالیت‌های ارائه شده نکات ذیل ملاحظه می‌گردد:

- مفهوم توان اکولوژیکی مبهم است و نمی‌توان مقدار دقیق تناسب یک عرصه از سرزمین را برای کاربری مشخصی تعیین کرد.
- در روش‌های متداول، مرز بین عوارض مکانی و

1. Geographic Information System
2. Standard Query Language
3. Weighted Linear Combination
4. Ordered Weighted Average
5. Analytical Hierarchy Process

کلاس‌های موجود در نقشه‌ها به صورت قطعی[1] ذخیره‌سازی می‌شود. در واقعیت تغییر پارامترهایی مانند بافت خاک، نوع اقلیم، ارتفاع و شیب به صورت تدریجی انجام می‌گیرد که در روش‌های متداول نمی‌توان این تغییر تدریجی را مدل‌سازی کرد.

- در توصیف هر یک از عوارض مکانی در نقشه‌هایی مانند عمق خاک، به علت محدودیت کارتوگرافی، فقدان ابزارهایی برای اندازه‌گیری و یا نبودن زمان کافی برای انجام مشاهدات، مقادیر مربوط به این عوارض به صورت کلاس‌هایی با مفهوم کیفی ـ مانند زیاد، متوسط و کم ـ تقسیم و نمایش داده می‌شود. همچنین در تعریف مشخصات پارامترهای مورد نیاز مدل‌های اکولوژیکی به کرات از عبارات زبانی[2] استفاده می‌گردد.
- تعریف مدل‌های اکولوژیکی از جمله مراحل اصلی تعیین توان اکولوژیکی سرزمین است که خود مقوله مفصل و پیچیده‌ای است. در این زمینه، مبانی مدل‌های مخدوم و مطالعات جامع مربوط به آن می‌تواند مبنای این تحقیق قرار گیرد.
- منطق فازی قادر است بسیاری از مفاهیم و سیستم‌هایی را که غیردقیق و مبهم‌اند، صورت‌بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد (Menhaj, 2008) و عدم یقین در جمع‌آوری، ذخیره‌سازی و تجزیه و تحلیل، تلفیق و ارزیابی داده‌های مورد نیاز فرایندها را مدل‌سازی کند.
- در تعریف مدل مخدوم وزن و اهمیت نسبی پارامترها مورد توجه قرار نگرفته است. استفاده و پیاده‌سازی روش‌های مرسوم تلفیق نقشه‌ها مانند WLC و OWA فازی مستلزم تعریف وزن منابع اکولوژیکی است. در این تحقیق استفاده از قوانین استنتاج‌گری فازی برای مرحله جمع‌بندی و ارزیابی توان مورد بررسی قرار گرفت. پیاده‌سازی این روش در محیط GIS برای تعیین توان اکولوژیکی، از نوآوری‌های این تحقیق محسوب می‌شود.

با توجه به نکات مطرح شده، ارائه متدولوژی (روش‌شناسی) برای تعیین توان اکولوژیکی سرزمین با استفاده از منطق فازی هدف اصلی از تدوین این تحقیق است. به عبارت دیگر، در این تحقیق مدل مخدوم که مدلی مبتنی بر منطق بولین است، براساس منطق فازی پیاده‌سازی می‌شود و نقاط قوت و ضعف این منطق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

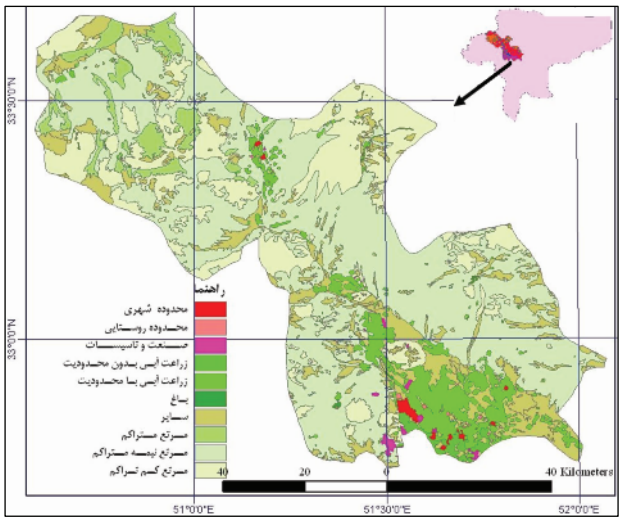
۲-۱- تشریح منطقه مورد مطالعه

شهرستان برخوار و میمه با مساحتی حدود ۶۹۵۷ کیلومترمربع، که ۶/۵ درصد از مساحت استان اصفهان است، در مرکز و شمال غربی این استان واقع شده است. مطابق با آمار سال ۱۳۸۵، این شهرستان شامل ۳ بخش، ۶ دهستان، ۹ شهر و ۴۶ نقطه جمعیتی است و جمعیت کل آن ۲۷۹,۷۷۸ نفر (۶/۱۴ درصد از جمعیت استان) است. نحوه پراکندگی، مساحت و سهم کاربری‌های موجود در این شهرستان در شکل ۱ و جدول ۱ آورده شده است.

در این تحقیق، این نقشه‌های منابع اکولوژیکی در محیط GIS آماده‌سازی گردیدند:

- نقشه پوشش گیاهی در مقیاس ۱:۲۰۰,۰۰۰، تولید شده در سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان؛
- نقشه واحدهای اراضی در مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰، تولید شده در مؤسسه تحقیقات خاک و آب به‌منظور تهیه نقشه بافت و عمق خاک (SWRI, 2001)؛
- نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰، تولیدشده در سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، به‌منظور استخراج لایه منحنی میزان و تولید نقشه‌های ارتفاع، شیب و جهت شیب؛

1. Crisp
2. Linguistic variables



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان و نقشه کاربری شهرستان برخوار و میمه

جدول ۱. میزان انواع کاربری‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، برحسب کیلومترمربع

کد	کاربری	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
۱	محدوده شهری	۲۸	۰/۴۰
۲	محدوده روستایی	۹	۰/۱۳
۳	صنعت و تأسیسات	۲۷	۰/۳۹
۴	زراعت آبی بدون محدودیت	۵۶	۰/۸۰
۵	زراعت آبی با محدودیت	۵۱۲	۷/۳۵
۶	باغ	۱۳	۰/۱۹
۷	مرتع متراکم	۳۰۵	۴/۳۸
۸	مرتع نیمه‌متراکم	۳۵۱۳	۵۰/۴۱
۹	مرتع کم‌تراکم	۱۴۵۳	۲۰/۸۵
۱۰	سایر	۱۰۵۳	۱۵/۱۱

- نقشه‌های اقلیم و فرسایش در مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ استفاده شده در مطالعات سنتز طرح جامع کشاورزی؛ و
- نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰، تولید شده در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، به منظور تهیه نقشه سنگ مادر.

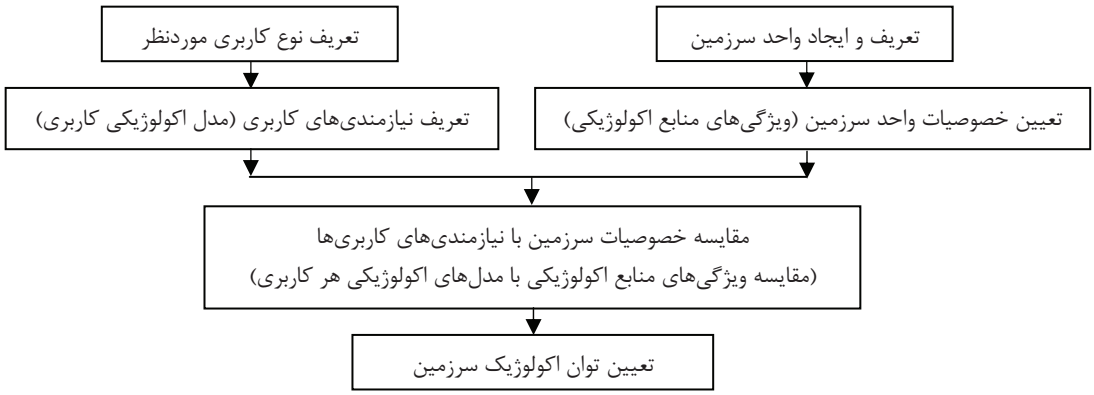
۲-۲- تعیین توان اکولوژیکی

مراحل تعیین توان اکولوژیکی سرزمین را می‌توان به صورت شکل ۲ نشان داد (Sharifi, 2004).

۲-۲-۱- تعریف نیازمندی‌های کاربری‌ها

در این تحقیق تعیین توان اکولوژیکی برای کاربری‌های کشاورزی و مرتع‌داری طبقه ۱ تا ۶ و توسعه شهری، روستایی و صنعتی طبقه ۱ و ۲ مدنظر قرار گرفته است. مطابق با مدل مخدوم، کاربری کشاورزی و مرتع‌داری طبقه ۴، ۵ و ۶ به ترتیب معادل مرتع متراکم، مرتع نیمه‌متراکم و مرتع کم‌تراکم لحاظ گردید.

هر یک از کاربری‌ها از نظر توان طبیعی شرایط خاصی را طلب می‌کنند. تحقیقات مختلفی برای تعیین نیازمندی‌های کاربری‌ها انجام شده است (F.A.O, 1976; Makhdoum, 1998).



شکل ۲. مراحل تعیین توان اکولوژیکی سرزمین

جدول ۲. مدل اکولوژیکی کاربری‌ها و پوشش‌های مورد نظر

	کشاورزی			مرتع			توسعه شهری، روستایی و صنعتی	
	طبقه ۱	طبقه ۲	طبقه ۳	طبقه ۱	طبقه ۲	طبقه ۳	طبقه ۱	طبقه ۲
شیب (درصد)	۰ تا ۳	۰ تا ۸	۰ تا ۸	۰ تا ۱۵	۰ تا ۱۵	۰ تا ۳۰	۰ تا ۸	۰ تا ۱۵
بافت خاک	۱و۲	۱ تا ۳	۱ تا ۵	۱ تا ۴	۱ تا ۶	۳ تا ۶	۴و ۵	۱ تا ۵
عمق خاک	۱و۲	۱ تا ۳	۲ تا ۴	۱ تا ۴	۱ تا ۵	۳ تا ۶	۱ تا ۳	۱ تا ۴
فرسایش	۱	۱و۲	۱ تا ۳	۱ تا ۳	۱ تا ۴	۱ تا ۴	–	–
اقلیم	–	–	–	۱و۲	۱ تا ۳	۱ تا ۳	–	–
ارتفاع (متر)	–	–	–	–	–	–	تا ۲۲۰۰	تا ۲۶۰۰
جهت شیب	–	–	–	–	–	–	M,W,E	–
سنگ مادر	–	–	–	–	–	–	۱	۱و۲

در این تحقیق با استفاده از مدل مخدوم و بهره‌گیری از نتایج مطالعات آمایش اطراف فولاد مبارکه و شهر مجلسی (Makhdoum, 1999)، با توجه به نزدیکی به شهرستان برخوار و میمه، نیازمندی‌های کاربری‌های مورد نظر تعیین و به‌صورت جدول ۲ ارائه شده است.

در این جدول منظور از اعداد مربوط به معیارها بدین شرح است:

در معیار بافت خاک اعداد ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب معادل این عبارت‌ها هستند: خیلی سنگین تا سنگین، سنگین، متوسط تا سنگین، متوسط، سبک تا متوسط و سبک. در معیار عمق خاک اعداد ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب معادل این عبارت‌ها هستند: عمیق تا خیلی عمیق، عمیق، نیمه‌عمیق، کم‌عمق تا نیمه‌عمیق، کم‌عمق و خیلی کم‌عمق. در معیار فرسایش اعداد ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب معادل اینها هستند: کم، کم تا متوسط، متوسط، متوسط تا زیاد، زیاد و زیاد تا خیلی زیاد. در معیار اقلیم اعداد ۱، ۲ و ۳ به ترتیب معادل اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک زیاد و نیمه‌خشک متوسط‌اند. عدد ۱ در معیار سنگ‌مادر معادل

مجموعه‌ای از سنگ‌ها شامل ماسه‌سنگ، آبرفت‌های سیلابی و مخروط‌افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم‌ارتفاع، عدد ۲ معادل مجموعه‌ای از سنگ‌ها شامل سنگ آهک، سنگ رس، گرانیت، مخروط‌افکنه‌های کوهپایه‌ای قدیم مرتفع و توف‌هاست. مجموعه‌ای از سنگ‌ها شامل مارن، شیست و گچ نیز در زمرهٔ محدودیت‌های توسعه قرار گرفتند.

ذکر این نکته ضروری است که در تعریف مدل‌های اکولوژیکی مخدوم بین نیازهای محیطی کاربری‌های مختلف در یک یا چند مشخصه محدود همپوشانی وجود دارد. در مدل مخدوم به عنوان مدلی مبتنی بر منطق بولین، به‌منظور ارزیابی هر کاربری در واحد زیست‌محیطی مشخص، وجود کلیه نیازهای محیطی آن کاربری به صورت همزمان ضروری است.

۲-۲-۲- تعیین خصوصیات واحد سرزمین

در مدل مخدوم واحد سرزمین به صورت واحد زیست‌محیطی یا پیکسل تعریف شده است. واحد زیست‌محیطی از همپوشانی نقشه واحد شکل زمین (تلفیق نقشه‌های شیب، جهت شیب و ارتفاع) با نقشه تیپ خاک و سپس با نقشه پوشش گیاهی و تراکم آن، ایجاد می‌گردد. ویژگی‌های طبیعی هر واحد سرزمین از تلفیق نقشه‌های منابع اکولوژیکی تعیین می‌شود.

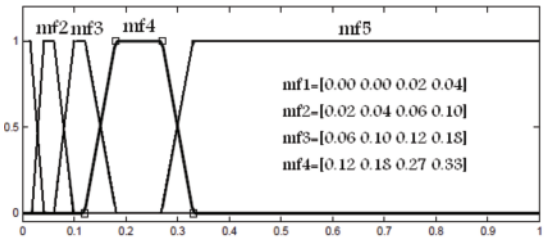
۲-۲-۳- مقایسه خصوصیات سرزمین با نیازمندی‌های کاربری‌ها

با مقایسه خصوصیات واحد سرزمین با نیازمندی‌های کاربری‌های مختلف، میزان توان اکولوژیک هر واحد سرزمین تعیین می‌گردد. مطابق با مدل مخدوم تناسب هر پیکسل برای هر کاربری به صورت یک و یا صفر تعیین می‌گردد. به عبارت دیگر، اگر در یک پیکسل یا واحد زیست‌محیطی کلیه شرایط مدل اکولوژیکی با هم برقرار باشند، ارزش تناسب یک است و در غیر این‌صورت برابر با صفر خواهد بود.

۲-۳- سیستم‌های استنتاج‌گر فازی

به‌کارگیری منطق فازی در هر فرایند شامل سه مرحله فازی‌سازی داده‌ها، استنتاج فازی و قطعی‌سازیِ خروجی‌هاست. با تبدیل متغیرهای حقیقی به متغیرهای زبانی، مرحله فازی‌سازی داده‌ها انجام می‌گیرد. به‌عنوان نمونه، در فازی‌سازی معیار شیب می‌توان از عبارت‌های زبانی شیب خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد استفاده کرد. برای تبدیل متغیرهای حقیقی به متغیرهای زبانی معمولاً از توابع عضویت استفاده می‌شود.

قبل از فازی‌سازی داده‌ها، بایستی با تغییر دامنه متغیرهای مختلف به دامنه [0,1]، نرمال‌سازی داده‌ها انجام گیرد. این امر تبدیل داده‌ها را به صورت بدون واحد و استاندارد میسر می‌سازد. به‌عنوان نمونه، می‌توان میزان شیب را که معمولاً در بازه [0,100] قرار دارد، با تقسیم بر عدد صد نرمال‌سازی کرد و بازه [0,1] را مطابق با شکل ۳ با عبارت‌های زبانی نمایش داد.



شکل ۳. تابع عضویت فازی میزان شیب

در شکل ۳ تابع عضویت فازی شیب شامل پنج متغیر زبانی ـ و به تبع آن، پنج عدد فازی ـ است. اعداد فازی مورد استفاده بایستی دو ویژگی نرمال بودن و تحدب را داشته باشند (Menhaj, 2008). معمولاً در تعریف توابع عضویت از اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای استفاده می‌شود که این اعداد را می‌توان به ترتیب به صورت یک چهارتایی $M=(a,b,c,d)$ و یک سه‌تایی $M=(a,b,c)$ در نظر گرفت. هر عدد فازی را نیز می‌توان به صورت یک رابطه در نظر گرفت. به عنوان مثال، عدد فازی شیب متوسط را که به‌صورت چهارتایی

$M = (0/06,0/10,0/12,0/18)$ بیان می‌گردد، می‌توان با استفاده از رابطه (۱) بیان کرد:

رابطه (۱)

$$\mu(s)=\begin{cases}0 & s<0.06\\ (s-0.10)/0.04 & 0.06<s>0.10\\ 1 & 0.10<s>0.12\\ (0.18-s)/0.06 & 0.12<s>0.018\\ 0 & s>0.18\end{cases}$$

هر عارضه یا شیء بر روی نقشه به عنصری واحد از عدد فازی ارجاع داده می‌شود. بنابراین در GIS به ازای هر نقشه معیار با n عدد فازی و n نقشه مجزا مدنظر قرار می‌گیرد. عملیات جبری روی اعداد فازی با اعداد حقیقی متفاوت است و انواع محاسبات فازی با استفاده از اصل گسترش امکان‌پذیر است. با توجه به گستردگی موضوع می‌توان به منابع موجود مانند منهاج (Menhaj, 2008) مراجعه کرد. مدل‌سازی داده‌های فازی در GIS این امکان را فراهم می‌سازد که با استفاده از عملیات همپوشانی تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاری فازی را عملیاتی کرد (Parhizgar and Ghafari Gilandeh, 2006).

مرحله دوم در سیستم‌های استنتاج‌گرهای فازی، تلفیق داده‌های فازی است که با به‌کارگیری موتور استنتاج فازی انجام می‌گیرد. در این مرحله تلفیق داده‌ها با ایجاد پایگاه قواعد «اگر ـ آن‌گاه» فازی و به‌کارگیری مدل تصمیم‌گیری انجام می‌پذیرد. از مدل‌های ممدانی و تاکی سوگو می‌توان به عنوان مدل‌های تصمیم‌گیری متداول در این مرحله نام برد (Menhaj, 2008, Taheri, 1999; Phillis and Andriantiatsaholiniaina, 2001).

در مدل ممدانی برای ترکیب درجات عضویت فازی توابع ورودی از عمل‌گرهای AND و OR استفاده می‌شود. در روش تاکی‌سوگو بخش «آن‌گاه» قواعد فازی به‌صورت رابطه‌ای ریاضی تعریف می‌شود و خروجی‌هایی با مقادیر حقیقی ایجاد می‌گردد. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که در این روش از مزایای استنتاج فازی کمتر استفاده می‌شود. لازم به توضیح است که روش تاکی‌سوگو بیشتر در مسائلِ دارای ماهیت خطی و همچنین مسائل بهینه‌سازی به‌کار گرفته شده است.

خروجی مرحله استنتاج فازی معمولاً شامل یک یا چندین عدد فازی است که بایستی به یک عدد حقیقی تبدیل گردد. این مرحله، قطعی‌سازی داده‌ها[1] نام دارد. برای انجام این مرحله معمولاً از روش‌های مرکز ثقل و مرکز بازه ماکزیمم استفاده می‌شود. روش مرکز ثقل، که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، با استفاده از رابطه (۲) انجام می‌گیرد.

رابطه (۲)

$$\text{Suitability}=\frac{\sum_j a_j\mu(s_j)}{\sum_j \mu(s_j)}$$

در رابطه (۲) منظور از $\mu(s_j)$ درجه عضویت فازی مقادیر a_j است که j بیانگر تغییر درجه عضویت فازی در خروجی مرحله استنتاج فازی است.

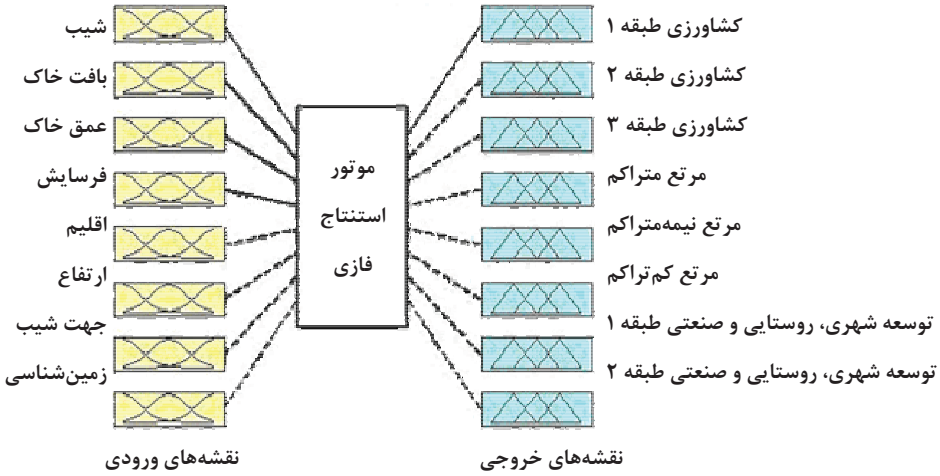
۲-۴- مراحل تعیین توان اکولوژیکی سرزمین با منطق فازی

با توجه به مراحل تعیین توان اکولوژیک و ساختار سیستم‌های استنتاج‌گر فازی که در بخش‌های قبل ارائه گردید، ساختار کلی فرایند تعیین توان اکولوژیک با استفاده از منطق فازی را می‌توان مطابق با شکل ۴ بیان کرد، در ادامه مراحل تعیین توان اکولوژیکی سرزمین با منطق فازی تشریح می‌شود.

۲-۴-۱- فازی‌سازی نقشه‌ها و مدل‌ها

در روش‌های متداول، مرز بین عوارض مکانی و کلاس‌های تشکیل‌دهنده نقشه‌های منابع اکولوژیکی به صورت قطعی ذخیره‌سازی می‌شود. ارزیابی توان اکولوژیکی در سیستم استنتاج‌گر فازی، مستلزم تعریف توابع عضویت فازی مناسب به منظور مدل‌سازی ابهام موجود در مرز بین عوارض مکانی و کلاس‌های نقشه‌هاست.

1. Defuzzication



شکل ۴. ساختار کلی فرایند توان اکولوژیکی سرزمین با استفاده منطق فازی

از طرف دیگر، موتور استنتاج فازی به عنوان واسط نقشه‌های ورودی و خروجی، نیاز به تعریف توابع عضویت فازی نقشه‌های ورودی و خروجی دارد. بنابراین مدل‌سازی ابهام موجود در مدل‌های اکولوژیکی همزمان با نقشه‌های منابع اکولوژیکی ضروری است. در ادامه، روند مدل‌سازی نقشه‌ها و مدل‌های اکولوژیکی به تفکیک تشریح می‌گردند.

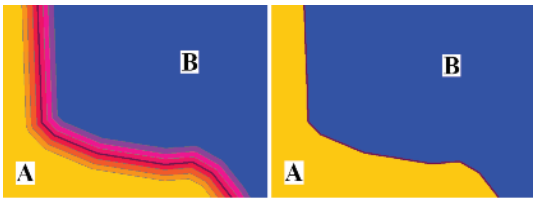
۲-۴-۱-۱- مدل‌سازی ابهام موجود در مرز بین عوارض مکانی

مرز عوارض پلیگونی متناسب با دقت نقشه به صورت قطعی ذخیره‌سازی می‌گردد و عضویت یا عدم عضویت یک نقطه در هر پلیگون به صورت باینری تعریف می‌شود. در اغلب موارد واقعی، مرز بین پدیده‌ها دقیق نیست. بنابراین تعیین مرز دقیق عضویت یا عدم عضویت در یک پلیگون ناممکن و غیرعملی است (Sunila et al., 2004, Moreira et al., 2003).

منطق فازی می‌تواند در تهیه نقشه‌ای که ابهام موجود در مرز بین پدیده‌ها و عوارض را نمایش دهد و به دنیای واقعی هم نزدیک‌تر باشد، مفید و کارا واقع شود. ابهام موجود در تغییر تدریجی کلاس عوارض در مرز بین پلی‌گون‌ها (مانند تغییر در دو کلاس خاک A و B) را می‌توان براساس درجه عضویت فازی یک نقطه در هر پلیگون مشخص (صفر تا یک) تعریف کرد.

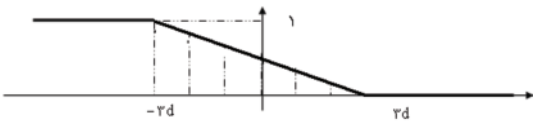
درجه عضویت فازی را می‌توان با توجه به دقت هندسی یا موضوعی نقشه مدل‌سازی کرد. دقت مسطحاتی نقشه با استفاده از مقیاس هر نقشه تعیین می‌گردد. به عنوان مثال، در مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ دقت مسطحاتی نقشه برابر ۷۵ متر است. دقت موضوعی نقشه نیز با توجه به مفهوم و روش تولید نقشه‌ها متفاوت است. به عنوان مثال، دقت موضوعی در نقشه بافت خاک بازه تغییر تدریجی بافت (نظیر تغییر بافت سنگین به متوسط) و دقت موضوعی در نقشه اقلیم معادل تغییر تدریجی نوع اقلیم (نظیر تغییر اقلیم خشک به نیمه‌خشک) است.

در شکل ۵ (سمت راست) پلیگون‌های A و B به صورت قطعی ذخیره شده‌اند. اگر ابهام موجود در ذخیره‌سازی مرز پلیگون‌ها سه برابر دقت هندسی نقشه در نظر گرفته شود، سه بافر داخلی و خارجی از مرز پلیگون A ترسیم می‌گردد (شکل ۵، سمت چپ).



شکل ۵. ذخیره‌سازی و نمایش یک پلیگون به‌صورت قطعی و فازی

درجه عضویت هر نقطه از فضای نقشه را به هر یک از پلیگون‌ها می‌توان برحسب فاصله از مرز پلیگون تعیین کرد. مجموعه کلیه نقاطی که در فاصله مشخصی از مرز پلیگون باشند، دارای درجه عضویت یکسان‌اند. درجه عضویت معمولاً با یک نمودار (شکل ۶)، یک جدول و یا یک تابع عضویت بیان می‌شود. یک تابع عضویت $\mu(x)$، نگاشتی از عضویت فازی x در فضای مورد بحث X به بازه [0 , 1] است. تابع عضویت فازی شکل ۵ را می‌توان با رابطه (۳) بیان کرد.



شکل ۶. ترسیم تابع عضویت فازی پلیگون A براساس فاصله نقاط از مرز پلیگون A

رابطه (۳)

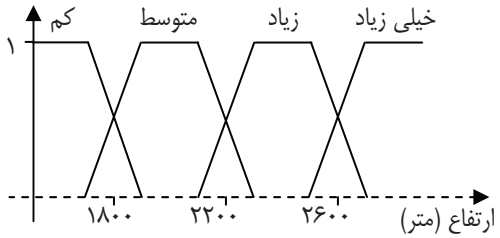
$$\mu(x)=\begin{cases}1 & x,y \in \{A\text{-}nd\},\ b=3,\ n>b\\ \frac{b+n}{2b+1} & x,y \in \{A\text{-}nd \text{ to } A\text{-}(n\text{-}1)d\},\ n=\{1,2,\ldots,b\}\\ \frac{(b+1)-n}{2b+1} & x,y \in \{A+(n\text{-}1)d \text{ to } A+nd\},\ n=\{1,2,\ldots,b\}\\ 0 & x,y \in \{A+nd\},\ n>b\end{cases}$$

در رابطه نوشته شده، منظور از b تعداد بافرهای داخلی (خارجی) و منظور از $x,y \in \{A-(n-1)d\}$ مجموعه کلیه نقاطی هستند که در فاصله nd– تا (n-1)d– از مرز پلیگون A قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۵ و ۶).

۲-۴-۱-۲- مدل‌سازی ابهام موجود در روش طبقه‌بندی متداول

همان‌گونه که ذکر گردید، معمولاً نقشه‌های پارامترهای قابل اندازه‌گیری یا برآورد مانند ارتفاع و شیب از طریق طبقه‌بندی متداول تهیه می‌شوند. با استفاده از تعریف توابع عضویت فازی مناسب می‌توان ابهام موجود در طبقه‌بندی را مدل‌سازی کرد و طبقه‌بندی موجود را واقعی‌تر انجام داد. توابع عضویت فازی معمولاً براساس دقت هندسی و موضوعی نقشه و با بهره‌گیری از دانش کارشناسی تعریف می‌گردند.

به‌عنوان مثال، محدوده ارتفاعی منطقه مورد مطالعه بین ۱۵۲۰ تا ۳۳۲۰ متر قرار دارد که در طبقه‌بندی متداول به چهار کلاس ۱۵۲۰ تا ۱۸۰۰، ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰، ۲۲۰۰ تا ۲۶۰۰ و ۲۶۰۰ تا ۳۳۲۰ تقسیم می‌شود. در این تحقیق با توجه به دقت ارتفاعی نقشه‌های ۱:۲۵۰,۰۰۰ و مطابق با دانش کارشناسی، میزان ابهام موجود در تعریف بازه کلاس‌های نقشه ارتفاع ۱۰۰ متر لحاظ گردید. با توجه به موارد پیش‌گفته، می‌توان تابع عضویت فازی نقشه ارتفاع را در شکل ۷ ملاحظه کرد.



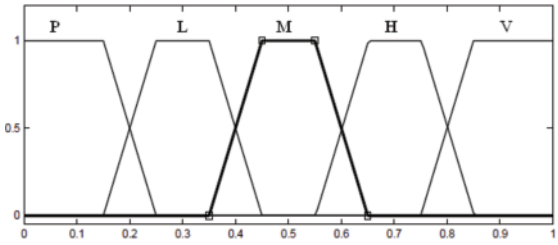
شکل ۷. تابع عضویت فازی میزان ارتفاع

در پی مدل‌سازی تغییرات تدریجی ارتفاع با توجه به شکل ۷ می‌توان گفت که درجه عضویت فازی ارتفاع ۱۷۹۵ برای کلاس ارتفاع کم، بیشتر از درجه عضویت فازی ارتفاع ۱۸۰۵ برای کلاس ارتفاع کم است و به همین ترتیب درجه عضویت ارتفاع ۱۸۰۵ متر برای کلاس ارتفاع متوسط بیشتر از درجه عضویت ارتفاع ۱۷۹۵ متر برای کلاس ارتفاع متوسط است.

۲-۴-۱-۳- مدل‌سازی ابهام موجود در مدل‌های اکولوژیکی

اهمیت هر یک از ویژگی‌های محیطی منتسب به

واحدهای سرزمین به‌منظور تعیین میزان درجه تناسب برای هر یک از کاربری‌ها، معمولاً با عبارت زبانی بیان می‌گردد. این امر مستلزم تعریف توابع عضویت خروجی برای کاربری‌های مختلف است. در شکل ۸ اهمیت عبارت‌های زبانی مورد استفاده در تعریف توابع مذکور نشان داده شده است. لازم به توضیح است که منظور از کاراکترهای P ، L ، M ، H و V به ترتیب این عبارت‌های زبانی است: خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد.



شکل ۸. تابع عضویت فازی تناسب فاکتورهای برای کاربری‌ها

۲-۴-۲- استنتاج فازی

بعد از تولید نقشه‌های منابع اکولوژیکی، تلفیق نقشه‌ها مد نظر قرار می‌گیرد. روش‌های WLC فازی، عمل‌گرهای فازی و قواعد «اگر ـ آن‌گاه» فازی برای تلفیق نقشه‌های منابع اکولوژیکی که با استفاده از منطق فازی تهیه شده‌اند، مناسب به نظر می‌رسند. همان‌گونه که قبلاً ذکر گردید، در این تحقیق استفاده از قواعد «اگر ـ آن‌گاه» فازی برای مرحله تلفیق نقشه‌ها مورد توجه قرار گرفت. این روش برای تلفیق داده‌های فازی غیرمکانی به کار گرفته شده است (Andriantiatsaholiniaina et al., 2003, Phillis and Andriantiatsaholiniaina, 2001). در این تحقیق سعی شده است که کارایی این روش در تلفیق داده‌های مکانی، با تأکید بر تعیین توان اکولوژیکی مورد بررسی بیشتر قرار گیرد.

به‌منظور تلفیق داده‌های فازی با استفاده از قواعد استنتاجگر فازی، ابتدا یک پایگاه قواعد «اگر ـ آن‌گاه» فازی برای کاربری‌ها ایجاد می‌گردد. در این مطالعه برای کاربری‌های مورد نظر مطابق با مدل‌های اکولوژیکی مخدوم، توابع عضویت فازی تعریف شد و با استفاده از دانش کارشناسی، پایگاه قواعد «اگر ـ آن‌گاه» فازی مورد نظر تعریف گردید. به‌عنوان مثال، **اگر** در یک واحد سرزمین شیب **خیلی کم** (ارزش ۱) و بافت خاک **سنگین** (ارزش ۵) و عمق خاک **زیاد** (ارزش ۵) و فرسایش **کم** (ارزش ۱) باشد، **آن‌گاه** توان اکولوژیک آن واحد برای کشاورزی طبقه ۱ **زیاد** (ارزش ۵) است. در جدول ۳ تعدادی از قواعد مربوط برای کاربری کشاورزی طبقه ۱ آورده شده است.

تلفیق داده‌های فازی با استفاده از قواعد «اگر ـ آن‌گاه» فازی مستلزم به‌کارگیری یک مدل تصمیم‌گیری است که در این تحقیق استفاده از روش حداقل حداکثر ممدانی به دلیل ساختار ساده و مؤثر آن، و همچنین کاربرد گسترده آن در مسائل علمی مدنظر قرار گرفت. در ادامه با ارائه مثالی عددی، فرایند تصمیم‌گیری با استفاده از این روش به صورت واضح‌تر تشریح می‌گردد.

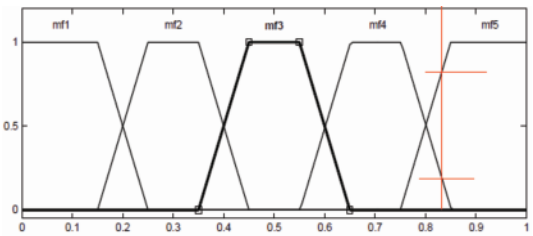
اگر در تعیین تناسب یک پیکسل برای کاربری کشاورزی طبقه ۱ میزان شیب ۳/۲ درصد باشد، بافت خاک سنگین ولی پیکسل در فاصله ۶۰ متری از مرز بافت متوسط تا سنگین واقع شده باشد و عمق خاک عمیق ولی پیکسل در فاصله ۲ کیلومتری از مرز پلیگون واقع شده باشد، با داشتن این سه ورودی درجه تناسب این پیکسل چقدر است؟

میزان شیب ۳/۲ درصد با توجه به شکل ۹ به کلاس شیب خیلی کم با درجه عضویت فازی ۰/۴، و به کلاس شیب کم با درجه عضویت فازی ۰/۶ تعلق دارد. ارزش بافت یک پیکسل با بافت خاک سنگین در فاصله ۶۰ متری از مرز بافت متوسط تا سنگین، بعد از نرمال‌سازی معادل ۰/۸۳ است. ارزش بافت خاک ۰/۸۳ با توجه به شکل ۱۰ به کلاس بافت خاک متوسط تا سنگین با درجه عضویت فازی ۰/۲ و به کلاس بافت

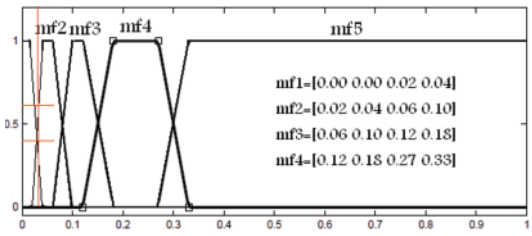
خاک سنگین با درجه عضویت فازی ۰/۸ تعلق دارد. ارزش عمق یک پیکسل با عمق خاک عمیق در فاصله ۲ کیلومتری از مرز پلیگون بعد از نرمال‌سازی معادل ۰/۸۵ تا ۱ است که در این مثال معادل ۰/۹ در نظر گرفته شد. بنابراین میزان تعلق عمق خاک عمیق با توجه به شکل ۱۱ فقط به یک کلاس عمیق با درجه عضویت فازی ۱ تعلق دارد.

جدول ۳. نمونه‌هایی از قواعد «اگر ـ آن‌گاه» فازی برای تناسب کشاورزی طبقه ۱

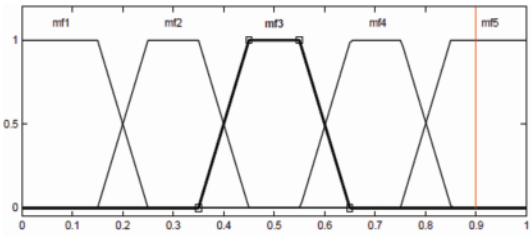
شیب	بافت خاک	عمق خاک	فرسایش	تناسب	شیب	بافت خاک	عمق خاک	فرسایش	تناسب	شیب	بافت خاک	عمق خاک	فرسایش	تناسب	شیب	بافت خاک	عمق خاک	فرسایش	تناسب	شیب	بافت خاک	عمق خاک	فرسایش	تناسب	شیب	بافت خاک	عمق خاک	فرسایش	تناسب
۱	۵	۵	۱	۵	۱	۴	۴	۳	۳	۲	۵	۵	۱	۵	۲	۴	۴	۳	۳	۳	۵	۵	۱	۳	۳	۴	۴	۳	۲
۱	۵	۵	۲	۵	۱	۴	۳	۱	۳	۲	۵	۵	۲	۵	۲	۴	۳	۱	۳	۳	۵	۵	۲	۳	۳	۴	۳	۱	۲
۱	۵	۵	۳	۳	۱	۴	۳	۲	۳	۲	۵	۵	۳	۳	۲	۴	۳	۲	۳	۳	۵	۵	۳	۲	۳	۴	۳	۲	۲
۱	۵	۴	۱	۵	۱	۴	۳	۳	۲	۲	۵	۴	۱	۵	۲	۴	۳	۳	۴	۳	۵	۴	۱	۳	۳	۴	۳	۳	۱
۱	۵	۴	۲	۵	۱	۳	۵	۱	۳	۲	۵	۴	۲	۴	۲	۳	۵	۱	۳	۳	۵	۴	۲	۳	۳	۳	۵	۱	۲
۱	۵	۴	۳	۳	۱	۳	۵	۲	۳	۲	۵	۴	۳	۳	۲	۳	۵	۲	۳	۳	۵	۴	۳	۳	۳	۳	۵	۲	۲
۱	۵	۳	۱	۳	۱	۳	۵	۳	۲	۲	۵	۳	۱	۳	۲	۳	۵	۳	۲	۳	۵	۳	۱	۲	۳	۳	۵	۳	۱
۱	۵	۳	۲	۳	۱	۳	۴	۱	۳	۲	۵	۳	۲	۳	۲	۳	۴	۱	۳	۳	۵	۳	۲	۲	۳	۳	۴	۱	۲
۱	۵	۳	۳	۲	۱	۳	۴	۲	۳	۲	۵	۳	۳	۱	۲	۳	۴	۲	۳	۳	۵	۳	۳	۱	۳	۳	۴	۲	۲
۱	۴	۵	۱	۵	۱	۳	۴	۳	۲	۲	۴	۵	۱	۵	۲	۳	۴	۳	۲	۳	۴	۵	۱	۳	۳	۳	۴	۳	۱
۱	۴	۵	۲	۵	۱	۳	۳	۱	۲	۲	۴	۵	۲	۴	۲	۳	۳	۱	۲	۳	۴	۵	۲	۳	۳	۳	۳	۱	۱
۱	۴	۵	۳	۳	۱	۳	۳	۲	۲	۲	۴	۵	۳	۳	۲	۳	۳	۲	۲	۳	۴	۵	۳	۲	۳	۳	۳	۲	۱
۱	۴	۴	۱	۵	۱	۳	۳	۳	۱	۲	۴	۴	۱	۴	۲	۳	۳	۳	۱	۳	۴	۴	۱	۳	۳	۳	۳	۳	۱
۱	۴	۴	۲	۴						۲	۴	۴	۲	۴						۳	۴	۴	۲	۳					



شکل ۱۰. میزان تعلق ۰/۸۳ به توابع عضویت فازی بافت خاک



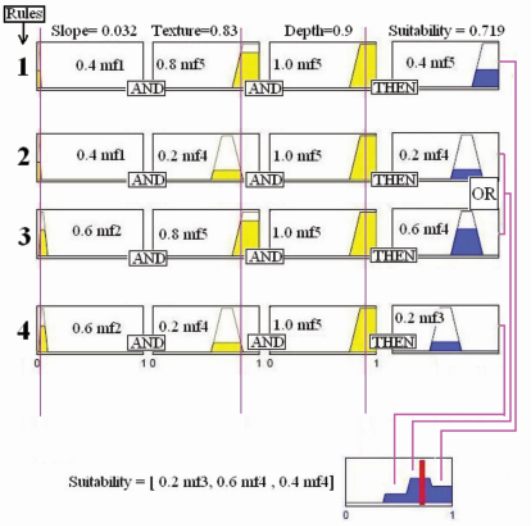
شکل ۹. میزان تعلق شیب ۳/۲ درصد به توابع عضویت فازی شیب



شکل ۱۱. میزان تعلق ۰/۹ به توابع عضویت فازی عمق خاک

در این قسمت بایستی در پایگاه قواعد موجود، تمامی قواعدی که میزان شیب آنها خیلی کم و کم، بافت خاک آنها سنگین و متوسط تا سنگین و عمق خاک آنها عمیق باشد، انتخاب گردند. در این حالت چهار قاعده که در شکل ۱۲ نمایش داده شده‌اند، وجود دارد.

در هر قاعدهٔ تابع عضویت فازی، خروجی با استفاده از پایگاه قواعد تعیین می‌گردد. در مرحله بعد با توجه به درجات عضویت فازی پیکسل به توابع عضویت ورودی، درجه عضویت پیکسل به تابع عضویت خروجی محاسبه می‌گردد. در مدل ممدانی برای ترکیب درجات عضویت فازی توابع ورودی از عملگر AND، معادل حداقل، استفاده می‌شود. به‌عنوان نمونه در قاعده اول با داشتن سه درجه عضویت ۰/۴، ۰/۸ و ۱ درجه عضویت فازی این پیکسل در این قاعده برابر مینیمم آنها یعنی ۰/۴ است.

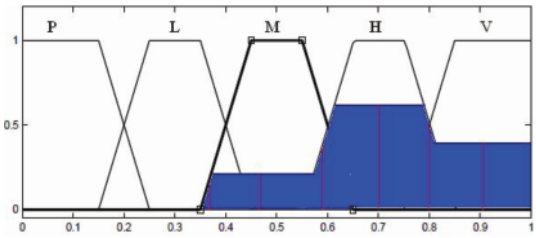


شکل ۱۲. نحوه تعیین تناسب یک پیکسل برای کاربری کشاورزی طبقه ۱

انجام مرحله دوم مدل ممدانی شامل تلفیق درجه عضویت فازی قواعدی است که تابع عضویت فازی آنها یکسان است که در این مرحله از عمل‌گر OR، معادل حداکثر استفاده می‌گردد. در مثال ارائه شده، تابع عضویت قاعده دوم و سوم یکسان است و حداکثر مقدار دو درجه عضویت ۰/۲ و ۰/۶ به عنوان تلفیق دو قاعده انتخاب می‌گردد.

۲-۴-۳- قطعی کردن داده‌ها

در مرحله قبل، استنتاج فازی، میزان تناسب هر پیکسل برای هر کاربری به صورت یک یا چند عدد فازی محاسبه می‌گردد. به‌عنوان نمونه، در شکل ۱۳ تناسب پیکسل مورد نظر برای کاربری زراعت آبی با سه عدد فازی، تناسب متوسط با درجه عضویت فازی ۰/۲، تناسب بالا با درجه عضویت فازی ۰/۶ و تناسب خیلی بالا با درجه عضویت فازی ۰/۴ معادل است.



شکل ۱۳. نحوه محاسبه میزان تناسب با استفاده از روش مرکز ثقل

به‌منظور تلفیق اعداد فازی از روش مرکز ثقل استفاده گردید. خروجی این روش بیانگر میزان تناسب هر پیکسل به صورت قطعی است. در مثال تشریح شده، درجه تناسب پیکسل مورد نظر با استفاده از رابطه (۲) محاسبه گردید.

در این تحقیق، عملیات آماده‌سازی و پردازش نقشه‌ها در نرم‌افزار ArcGIS Ver 9.3 و تعریف توابع عضویت فازی و ایجاد پایگاه قواعد « اگر ـ آن‌گاه» فازی با استفاده از نرم‌افزار Matlab Ver 7.6 انجام گردید. با استفاده از قابلیت‌های توسعه نرم‌افزار ArcGIS نقشه‌ها به صورت فازی تهیه شدند و برای انجام محاسبات فازی

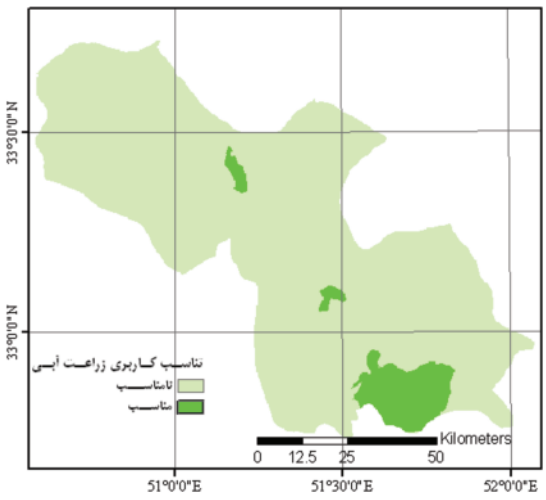
به فرمت قابل ورود به نرم‌افزار Matlab Ver 7.6 تبدیل گردیدند. بعد از محاسبه توان اکولوژیکی در نرم‌افزار Matlab ، خروجی به فرمت قابل ورود به نرم‌افزار ArcGIS تبدیل شد. به این ترتیب در این تحقیق اتصال بین دو نرم‌افزار مذکور به‌منظور تهیه نقشه‌های توان اکولوژیکی با استفاده از منطق فازی انجام گرفت.

۳- نتایج

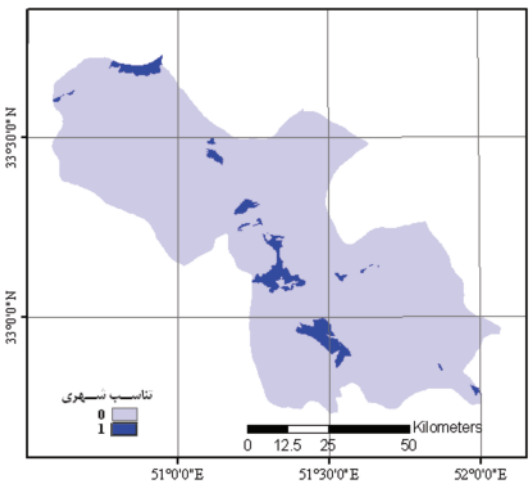
مطابق با مراحل تعیین توان اکولوژیکی سرزمین با استفاده از منطق فازی که در بخش ۲-۴ ارائه گردید، مراحل زیر انجام گرفت:

- به‌منظور مقایسه نتایج پیاده‌سازی مدل مخدوم با دو منطق بولین و فازی، نقشه‌های توان اکولوژیکی کاربری‌های مختلف با استفاده از منطق بولین نیز تهیه گردیدند. به عنوان نمونه، نقشه‌های توان اکولوژیکی کاربری‌های کشاورزی طبقه ۱ و توسعه شهری، صنعتی و روستایی طبقه ۱ به ترتیب در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ ارائه شده‌اند.
- در مرحله فازی‌سازی با تعریف توابع عضویت فازی برای معیارهای مختلف، نقشه‌های فاکتور شهرستان برخوار و میمه شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، بافت خاک، عمق خاک، نوع اقلیم، فرسایش و زمین‌شناسی (سنگ مادر) به صورت فازی تهیه گردیدند که تصویر آن در شکل ۱۶ ارائه شده است. منظور از پنجره‌های کوچک‌تر در نقشه‌های ارائه شده در شکل ۱۶، بزرگنمایی یک قسمت کوچک از نقشه اصلی است که بتوان تغییر عضویت فازی را به شکلی واضح‌تر ملاحظه کرد.
- با توجه به بررسی‌های انجام شده در تولید نقشه فاکتور بافت خاک، عمق خاک، کلاس فرسایش و نوع سنگ مادر، چهار بافر داخلی و چهار بافر خارجی به اندازه ۱۵۰متر لحاظ گردید. همچنین در تولید نقشه فاکتور اقلیم، دو بافر داخلی و دو بافر خارجی به اندازه یک کیلومتر لحاظ گردید.

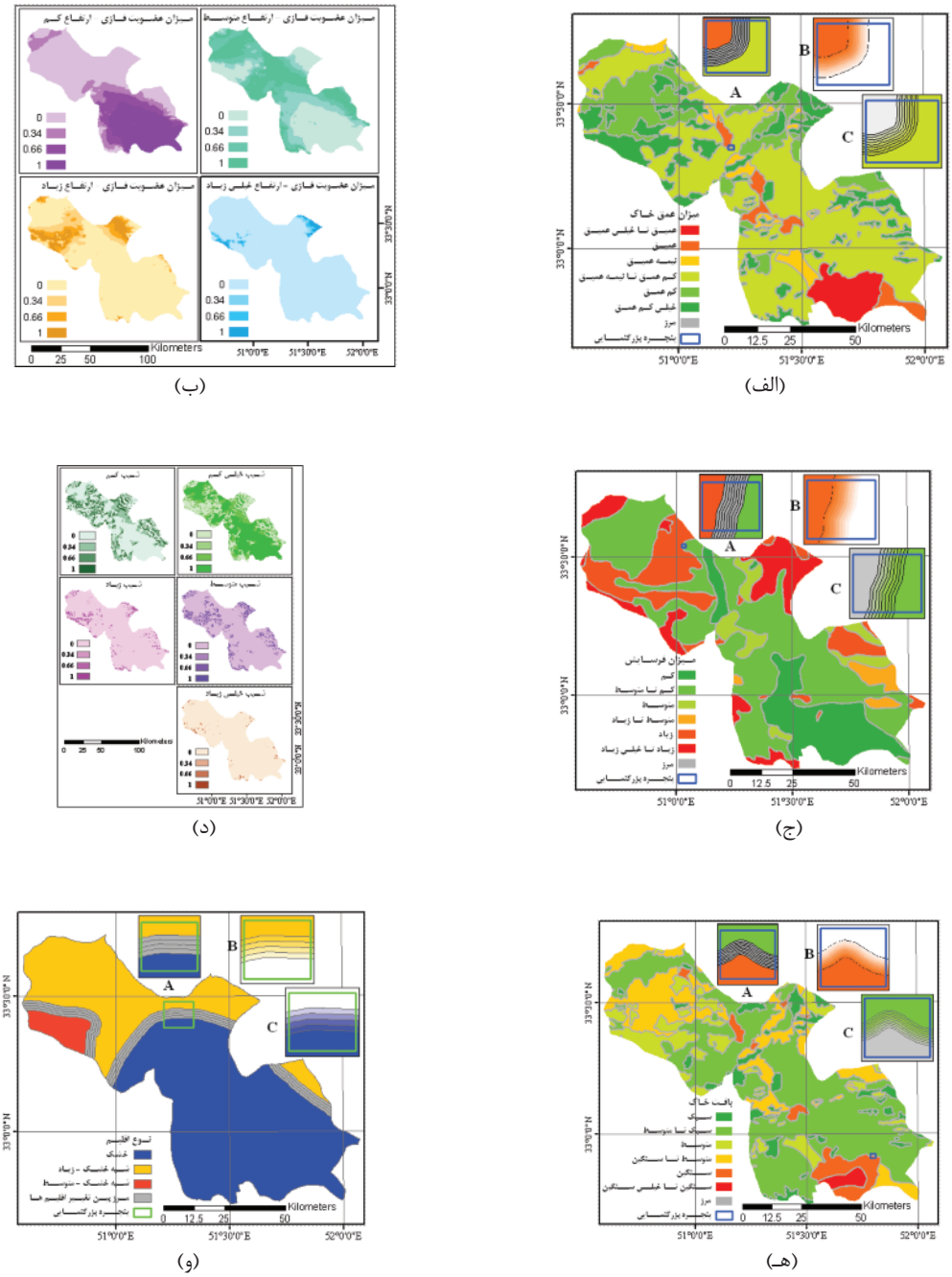
$$\text{Suitability} = \frac{(0/363\times0/01+0/47\times0/2+0/59\times0/4+0/70\times0/6+0/80\times0/5+0/905\times0/4)}{(0/01+0/2+0/4+0/6+0/5+0/4)} = 0/719$$



شکل ۱۴. نقشه تناسب کاربری کشاورزی طبقه ۱ (منطق بولین)



شکل ۱۵. نقشه تناسب کاربری توسعه شهری طبقه ۱ (منطق بولین)



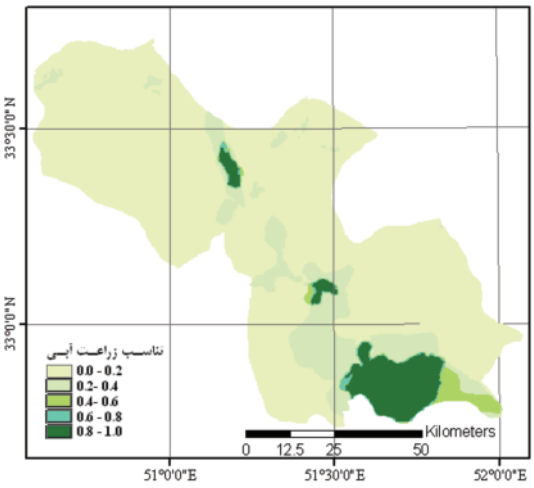
(الف) (ب)

(ج) (د)

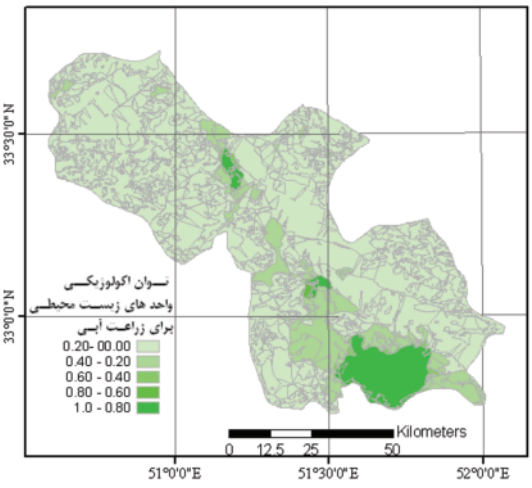
(هـ) (و)

شکل ۱۶. نقشه‌های منابع اکولوژیکی با استفاده از منطق فازی (الف) عمق خاک؛ (ب) ارتفاع؛ (ج) فرسایش؛ (د) شیب؛ (هـ) بافت خاک؛ و (و) اقلیم

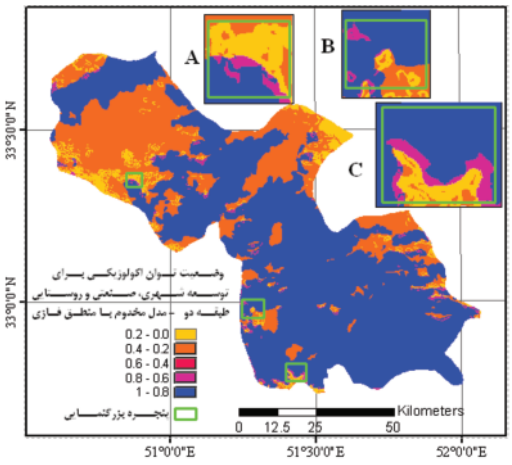
- با استفاده از پایگاه قواعد «اگر ـ آن‌گاه» فازی ایجاد شده و مدل تصمیم‌گیری ممدانی، تلفیق نقشه‌های منابع اکولوژیکی به‌منظور تولید نقشه‌های توان اکولوژیکی کاربری‌های مختلف انجام گرفت. نقشه‌های توان اکولوژیکی کاربری کشاورزی طبقه ۱ و توسعه شهری، صنعتی و روستایی طبقه ۲ در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ به عنوان نمونه ارائه شده است.



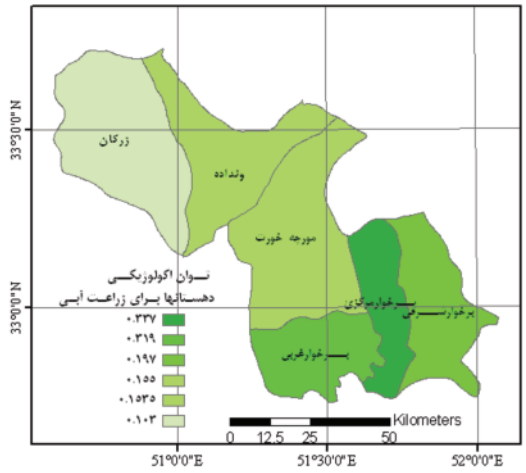
شکل ۱۷. نقشه تناسب برای کاربری کشاورزی طبقه ۱ (منطق فازی)



شکل ۱۹. نقشه تناسب واحدهای زیست‌محیطی برای کاربری کشاورزی طبقه ۱



شکل ۱۸. نقشه تناسب برای توسعه شهری طبقه ۲ (منطق فازی)



شکل ۲۰. نقشه تناسب دهستان‌ها برای کاربری کشاورزی طبقه ۱

- در این تحقیق با توجه به سهولت پیاده‌سازی منطق فازی در محیط‌های GIS رستری، پیکسل به‌عنوان واحد سرزمین تعریف گردید. چون مبنای تصمیم‌گیری معمولاً واحدهای زیست‌محیطی یا مدیریتی‌اند، واحدهای زیست‌محیطی مطابق با تعریف مدل مخدوم ایجاد شد و میزان تناسب آنها از میانگین پیکسل‌های موجود در آن واحد محاسبه گردید. روند مذکور برای مجموعه دهستان‌ها نیز انجام گرفت. در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ نقشه‌های توان اکولوژیکی کاربری کشاورزی طبقه ۱ برای محدوده‌های واحد زیست‌محیطی و دهستان‌ها ارائه شده است. در مقایسهٔ نتایج اجرای مدل مخدوم با استفاده از منطق بولین و فازی می‌توان گفت که در پیاده‌سازی مدل مخدوم با استفاده از مناطق فازی، در اطراف مرز عوارض و کلاس‌های تشکیل‌دهندهٔ نقشه‌های منابع اکولوژیکی نتایج با جزئیات بیشتری بیان می‌گردد، که در شکل ۱۸ با بزرگنمایی سه ناحیه کوچک از نقشه اصلی نشان داده شده است. مقایسه کمّی نتایج اجرای مدل مخدوم با دو منطق بولین و فازی در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است.

با تحلیل جدول ۴ می‌توان بیان کرد که براساس پیاده‌سازی منطق بولین، مناطقی که برای کاربری‌های مختلف، تناسب ۱ دارند، در منطق فازی به‌صورت متوسط ۹۰/۳ درصد در کلاس با تناسب خیلی زیاد، ۸/۷ درصد در کلاس با تناسب زیاد و ۱ درصد در کلاس متوسط قرار گرفته‌اند. لازم به توضیح است که محدوده این اعداد برای کاربری‌های مختلف متفاوت است.

جدول ۴. مقایسه کمّی مساحت کاربری‌ها (کیلومترمربع) در پیاده‌سازی مدل مخدوم با دو منطق بولین و منطق فازی

کاربری	منطق فازی (درصد)					منطق فازی (کیلومتر مربع)					منطق بولین	
	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف	دارد	ندارد
کشاورزی طبقه ۱	۹۴/۰	۶/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۴۲۳	۲۷	۰	۰	۰	۴۵۰	–
کشاورزی طبقه ۲	۹۰/۳	۹/۷	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۷۰۷	۷۶	۰	۰	۰	۷۸۳	–
کشاورزی طبقه ۳	۸۳/۸	۱۶/۲	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۸۷۲	۱۶۹	۰	۰	۰	۱۰۴۱	–
مرتع متراکم	۹۰/۶	۹/۴	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۷۷	۸	۰	۰	۰	۸۵	–
مرتع نیمه‌متراکم	۹۲/۰	۶/۷	۱/۳	۰/۰	۰/۰	۴۲۱۱	۳۰۵	۶۱	۰	۰	۴۵۷۷	–
مرتع کم‌تراکم	۹۳/۷	۴/۳	۲/۰	۰/۰	۰/۰	۴۸۰۲	۲۱۸	۱۰۵	۰	۰	۵۱۲۵	–
توسعه شهری طبقه ۱	۸۷/۹	۱۲/۱	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۲۲۵	۳۱	۰	۰	۰	۲۵۶	–
توسعه شهری طبقه ۲	۸۹/۷	۵/۵	۴/۸	۰/۰	۰/۰	۳۷۶۸	۲۲۹	۲۰۲	۰	۰	۴۱۹۹	–

جدول ۵. مقایسه کمّی مساحت کاربری‌ها (کیلومترمربع) در پیاده‌سازی مدل مخدوم با دو منطق بولین و منطق فازی

کاربری	منطق فازی (درصد)					منطق فازی (کیلومتر مربع)					منطق بولین	
	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف	دارد	ندارد
کشاورزی طبقه ۱	۰/۱	۰/۴	۱/۷	۱۲/۸	۸۵/۰	۹	۲۷	۱۰۸	۸۳۱	۵۵۳۲	–	۶۵۰۷
کشاورزی طبقه ۲	۰/۸	۱/۱	۳/۱	۲۹/۹	۶۵/۳	۴۸	۶۵	۱۸۹	۱۸۴۳	۴۰۲۹	–	۶۱۷۴
کشاورزی طبقه ۳	۱/۶	۳/۶	۴۸/۶	۲۰/۷	۲۵/۵	۹۲	۲۱۴	۲۸۷۴	۱۲۲۷	۱۵۰۹	–	۵۹۱۶
مرتع متراکم	۰/۱	۱/۸	۸/۰	۳۵/۳	۵۴/۸	۹	۱۲۲	۵۴۸	۲۴۲۹	۳۷۶۴	–	۶۸۷۲
مرتع نیمه‌متراکم	۰/۷	۲۶/۸	۸/۱	۲۰/۶	۴۳/۸	۱۶	۶۳۸	۱۹۳	۴۹۰	۱۰۴۳	–	۲۳۸۰
مرتع کم‌تراکم	۰/۰	۳/۱	۱۰/۳	۵۵/۲	۳۱/۳	۰	۵۷	۱۸۹	۱۰۱۲	۵۷۴	–	۱۸۳۲
توسعه شهری طبقه ۱	۰/۲	۰/۸	۴۳/۳	۳۷/۹	۱۷/۸	۱۶	۵۵	۲۹۰۱	۲۵۳۹	۱۱۹۰	–	۶۷۰۱
توسعه شهری طبقه ۲	۰/۰	۱۷/۸	۴۸/۱	۲۱/۵	۱۲/۷	۰	۴۹۰	۱۳۲۶	۵۹۲	۳۵۰	–	۲۷۵۸

جدول ۶. مقایسه کمّی مساحت کاربری‌ها (کیلومترمربع) در پیاده‌سازی مدل مخدوم با دو منطق بولین و منطق فازی

کاربری	منطق فازی (درصد)					منطق فازی (کیلومترمربع)					منطق بولین	
	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف	دارد	ندارد
کشاورزی طبقه ۱	۶/۲	۰/۸	۱/۶	۱۱/۹	۷۹/۵	۴۳۲	۵۴	۱۰۸	۸۳۱	۵۵۳۲	۴۵۰	۶۵۰۷
کشاورزی طبقه ۲	۱۰/۹	۲/۰	۲/۷	۲۶/۵	۵۷/۹	۷۵۵	۱۴۱	۱۸۹	۱۸۴۳	۴۰۲۹	۷۸۳	۶۱۷۴
کشاورزی طبقه ۳	۱۳/۹	۵/۵	۴۱/۳	۱۷/۶	۲۱/۷	۹۶۴	۳۸۳	۲۸۷۴	۱۲۲۷	۱۵۰۹	۱۰۴۱	۵۹۱۶
مرتع متراکم	۱/۱	۲/۰	۷/۹	۳۴/۹	۵۴/۱	۸۶	۱۳۰	۵۴۸	۲۴۲۹	۳۷۶۴	۸۵	۶۸۷۲
مرتع نیمه متراکم	۶۰/۸	۱۳/۶	۳/۷	۷/۰	۱۵/۰	۴۲۲۷	۹۴۳	۲۵۴	۴۹۰	۱۰۴۳	۴۵۷۷	۲۳۸۰
مرتع کم تراکم	۶۹/۰	۴/۰	۴/۲	۱۴/۵	۸/۳	۴۸۰۲	۲۷۵	۲۹۴	۱۰۱۲	۵۷۴	۵۱۲۵	۱۸۳۲
توسعه شهری طبقه ۱	۳/۵	۱/۲	۴۱/۷	۳۶/۵	۱۷/۱	۲۴۱	۸۶	۲۹۰۱	۲۵۳۹	۱۱۹۰	۲۵۶	۶۷۰۱
توسعه شهری طبقه ۲	۵۴/۲	۱۰/۳	۲۲/۰	۸/۵	۵/۰	۳۷۶۸	۷۱۹	۱۵۲۸	۵۹۲	۳۵۰	۴۱۹۹	۲۷۵۸

با تحلیل جدول ۵ می‌توان بیان کرد که براساس پیاده‌سازی منطق بولین، مناطقی که تناسب آنها برای کاربری‌های مختلف برابر صفر است، در منطق فازی به صورت متوسط ۴۰/۲، ۲۹/۲، ۲۱/۴، ۶/۹ و ۰/۴ درصد به ترتیب در کلاس‌های با تناسب خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. این امر بیانگر آن است که ۰/۴ درصد از مناطق که دارای تناسب خیلی بالا و ۶/۹ درصد از مناطق که دارای تناسب بالا هستند، به خاطر عدم رعایت یک یا چند معیار در مناطق با تناسب برابر یک در منطق بولین حذف شده‌اند. عدم مدل‌سازی ابهام موجود در تعریف معیارها را می‌توان دلیل این تفاوت ذکر کرد. به عنوان نمونه، در تعیین تناسب برای کاربری کشاورزی طبقه ۱ با منطق بولین، میزان شیب مورد نیاز بازه [0, 3] درصد تعریف شده است و یک پیکسل با شیب ۳/۱ درصد در کلاس با تناسب صفر قرار می‌گیرد که این امر در منطق فازی مدل‌سازی گردیده است.

با تحلیل جدول ۶ می‌توان بیان کرد که با به‌کارگیری منطق بولین، تناسب منطقه مورد مطالعه برای کاربری‌های مختلف به دو کلاس (۲۹/۷ درصد دارای تناسب یک و ۷۰/۳ درصد دارای تناسب صفر) تقسیم‌بندی شده است. پیاده‌سازی منطق فازی، منطقه مورد مطالعه را به پنج کلاس (۲۷/۴ درصد دارای تناسب خیلی زیاد، ۴/۹ درصد دارای تناسب زیاد۶ /۱۵ درصد دارای تناسب متوسط، ۱۹/۷ درصد دارای تناسب کم و ۲۳/۳ درصد دارای تناسب خیلی کم) طبقه‌بندی می‌کند. به عبارت دیگر، می‌توان گفت که با پیاده‌سازی منطق فازی، واقعیت را می‌توان به شکلی مناسب‌تر نمایش داد.

در مرحله استنتاج‌گری فازی، هر چه تعداد ورودی‌ها (نقشه‌های منابع اکولوژیکی) و همچنین توابع عضویت فازی ورودی زیادتر باشد، حجم محاسبات زیادتر می‌شود. به‌عنوان نمونه، در تهیه نقشه توان اکولوژیکی توسعه شهری (با توجه به جدول ۲) ورودی‌ها شامل شش نقشه تحت عناوین نقشه‌های شیب، ارتفاع، جهت شیب، بافت خاک، عمق خاک و سنگ مادر هستند، که در مرحله ایجاد پایگاه داده بایستی ۷۲۹ قاعده تعریف گردد. با توجه به بررسی‌های انجام شده، دسته‌بندی ورودی‌ها در دستور کار قرار گرفت و نقشه شکل زمین ابتدا از تلفیق نقشه‌های شیب، ارتفاع و جهت شیب با ۲۷ قاعده تعریف و نقشه خاک و سنگ از تلفیق نقشه‌های بافت خاک، عمق خاک و سنگ مادر نیز با ۲۷ قاعده تعریف گردید. در مرحله بعد نقشه شکل زمین و نقشه خاک و سنگ با

تعریف ۹ قاعده با هم تلفیق شدند و نقشه توان اکولوژیکی توسعه شهری تهیه گردید. به این ترتیب، حجم محاسبات خیلی کمتر و تصمیم‌گیری نیز ساده‌تر شد. لازم به توضیح است که این مطلب با نظریه مخدوم هم منافاتی ندارد و در مدل مخدوم ابتدا نقشه شکل زمین از تلفیق نقشه‌های شیب، ارتفاع و جهت شیب تهیه می‌گردد و سپس با سایر نقشه‌ها تلفیق می‌شود.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

امروزه به دلیل اهمیت توسعه پایدار، مطالعات آمایش سرزمین در هر کشور و منطقه‌ای امری ضروری و حیاتی محسوب می‌شود. خوشبختانه در برنامه چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران مطالعات آمایش سرزمین قانونی گردید (Tawfigh, 2006).

یکی از مراحل اصلی آمایش، تعیین توان اکولوژیکی سرزمین است. در مطالعه حاضر، با توجه به تجارب موجود در کشور و همچنین در دنیا، پیاده‌سازی تعیین توان اکولوژیکی سرزمین با روشی جدید پیشنهاد گردید. ارائه فرایند تعیین توان اکولوژیکی سرزمین با استفاده از منطق فازی در محیط GIS نتیجه اصلی این مطالعه محسوب می‌شود. نتایج کلی تحقیق و نقاط قوت و ضعف منطق فازی در پیاده‌سازی مدل مخدوم را می‌توان در این موارد خلاصه کرد:

- در کشور ایران به دلیل وجود مشکلات بسیار در زمینه تهیه آمار و اطلاعات، بیشتر داده‌ها دارای ماهیت کیفی‌اند. ابهام موجود در مدل‌های اکولوژیکی و عدم انطباق آنها با محتویات نقشه‌های منابع طبیعی موجود در کشور مقایسه این دو امر مهم را دچار ابهام می‌سازد. با توجه به بررسی‌های انجام شده، می‌توان گفت که منطق فازی در مدل‌سازی نقشه‌های منابع اکولوژیکی موجود و انطباق آنها با مدل‌های اکولوژیکی انعطاف‌پذیرتر و مناسب‌تر است.
- با استفاده از منطق فازی می‌توان مراحل تولید و تلفیق نقشه‌های منابع اکولوژیکی را نزدیک‌تر به دنیای واقعی انجام داد، اگرچه حجم محاسبات بیشتر از روش‌های متداول است.
- تهیه نقشه‌های ارتفاع، شیب و جهت شیب با استفاده از نرم‌افزارهای متداول GIS منجر به تولید پلیگون‌های کوچک می‌شود. از طرف دیگر، تلفیق نقشه‌های فاکتور این مسئله را تشدید و به‌کارگیری منطق فازی نیز آن را دو چندان پیچیده‌تر می‌گرداند. بنابراین، حذف این پلیگون‌ها و الحاق آنها به پلیگون‌های مجاور نیاز به دقت بیشتری دارد. در این تحقیق از روش شبکه‌ای استفاده شد و در ارزیابی میزان توان واحدهای زیست‌محیطی یا محدوده‌های مدیریتی، میزان توان اکولوژیک تمام پیکسل‌های موجود در هر واحد مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب، بدون حذف اطلاعات با دقت بیشتری می‌توان توان اکولوژیک یک عرصه از سرزمین را محاسبه کرد.
- درجه عضویت فازی را می‌توان با توجه به دقت هندسی یا موضوعی نقشه مدل‌سازی کرد. در این تحقیق به منظور تعیین درجه عضویت فازی نقشه‌های منابع اکولوژیکی از تلفیق دقت موضوعی و دقت هندسی استفاده شد. به عنوان مثال، در نقشه بافت خاک، با توجه به دانش کارشناسی دقت موضوعی بازه، تغییر تدریجی بافت معادل ۶۰۰ متر تخمین زده شد و نحوه تغییر درجه عضویت فازی با دقت هندسی مدل‌سازی گردید. بدین ترتیب، از مرز عوارض نقشه بافت خاک ۴ بافر داخلی و ۴ بافر خارجی به فاصله ۷۵ متر، ایجاد گردید.
- با انطباق نقشه توان اکولوژیکی کاربری توسعه شهری، صنعتی و روستایی طبقه ۱ (شکل ۱۵) با محدوده شهرهای موجود در محدوده مورد مطالعه، مشاهده گردید که شهرهای موجود دارای توان اکولوژیکی ضعیف‌اند. در محدوده مورد مطالعه هشت شهر وجود دارد که شش شهر در بافت خاک رسی و دو شهر دیگر در بافت خاک رسی

سنگین قرار دارند. در مدل مخدوم این بافت‌ها در زمرهٔ محدودیت‌های توسعه شهری، صنعتی و روستایی قرار دارند. با توجه به اینکه خاک عمیق نیز یکی از نیازمندی‌های توسعه شهری، صنعتی و روستایی به‌شمار می‌آید و در محدوده مورد مطالعه نیز خاک عمیق بیشتر در بافت‌های رسی و رسی سنگین قرار دارد، بنابراین در تعیین نیازمندی‌های کاربری توسعه شهری، صنعتی و روستایی طبقه ۲ (جدول ۲) بافت‌های مذکور در نظر گرفته شدند.

- با توجه به مقایسه کمّی مساحت کاربری‌ها در پیاده‌سازی مدل مخدوم با دو منطق بولین و فازی (جدول‌های ۴، ۵ و ۶)، می‌توان گفت که در منطق فازی نمایش و تحلیل تغییر تدریجی میزان توان اکولوژیکی هر عرصه از سرزمین واضح‌تر است.
- به‌صورت کلی می‌توان گفت که توان اکولوژیکی محدوده مورد مطالعه برای کاربری‌های کشاورزی و مرتع‌داری و همچنین توسعه شهری، صنعتی و روستایی در حد پذیرفتنی است. به‌منظور تخصیص سرزمین به کاربری‌های مختلف، به مطالعات اقتصادی و اجتماعی و مدل‌سازی‌های بیشتری نیاز است. به صورت خاص، منابع آب از جمله معیارهای مؤثر در تعیین توان اکولوژیکی به‌شمار می‌آیند که با توجه به بررسی اطلاعات واحدهای هیدرولوژیک واقع در محدوده مطالعات (واحدهای مورچه‌خورت، اصفهان ـ برخوار، میمه و موته)، می‌توان گفت که این محدوده از نظر منابع آب فقیر است. در سال‌های اخیر با احداث شبکه آبیاری در این منطقه مشکل آب تا حدی حل گردیده است. با توجه به گستردگی موضوع، بررسی و تحلیل وضعیت منابع آب و همچنین تلفیق مطالعات اقتصادی و اجتماعی با نتایج محاسبات توان اکولوژیکی، خود مقوله دیگری است که انجام آن در این تحقیق میسر نشد.
- فرایند پیشنهادی در این تحقیق مستقل از تعداد کاربری‌ها و معیارها ارائه شده است و می‌توان آن را با تغییرات لازم برای سایر مناطق، و همچنین کاربری‌های دیگر مانند جنگل و گردشگری (توریسم)، مورد استفاده قرار داد.

۵- منابع

Ahamed, T.R.N., Rao, K.G., Murthy, J.S.R., 2000, **GIS-based Fuzzy Membership Model for Crop-land Suitability Analysis**, Agricultural Systems 63, 75-95.

Andriantiatsaholiniaina, L.A., Kouikoglou, V.S., Phillis, Y.A., 2003, **Evaluating Strategies for Sustainable Development: Fuzzy Logic Reasoning and Sensitivity Analysis,** Ecological Economics 48, 149–172.

Babaee, A.R., Awnegh, M., 2006, **Evaluation of Development Potential and Land Use Planning of Posht-e-Kouh Watershed**, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 13, 1, 127-137 (persian).

Biswas, A., Pal, B.B., 2005, **Application of Fuzzy Goal Programming Technique to Land Use Planning in Agricultural System**, Omega, 33, pp.391 – 398.

Ceballos-Silva, A., Lopez-Blanco, J., 2003a, **Delineation of Suitable Areas for Crops Using a Multi-Criteria Evaluation Approach and Land Use/Cover Mapping: A Case Study in Central Mexico**, Agricultural Systems 77, 117–136.

Ceballos-Silva, A., Lopez-Blanco, J., 2003b, **Evaluating Biophysical Variables to Identify Suitable Areas for Oat in Central**

Mexico: A Multi-criteria and GIS Approach, Agriculture, Ecosystems and Environment 95, 371–377.

Dragan, M., Feoli, E., Fernetti, .M., Zerihun, W., 2003, **Application of a Spatial Decision Support System (SDSS) to Reduce Soil Erosion in Northern Ethiopia**, Environmental Modelling & Software 18 (2003) 861–868.

Fallah Shamsi, S.R., Sobhani, H., Saeed, A., Darvishsefat, A.A., Faraji Dana, A., 2005, **Linear Programming Model to Allocate Land to Different Land Uses in Keleibar-chai Watershed**, Iranian Journal Natural Resourse 58 (3), 579-589 (Persian).

F.A.O., 1976, **A Framework for Land Evaluation**, F.A.O soils bull, pb No 32, Rome.

FarajZadeh, M., Mirza Bayati, R., 2007, **Feasibility of Prone Areas for Saffron Cultivation in Neyshabur Plain Using GIS**, Journal of Modares (humanities) 11, 67-91 (persian).

Geneletti, D.,Van Duren, I., 2008, **Protected Area Zoning for Conservation and Use: A Combination of Spatial Multicriteria and Multiobjective Evaluation**, Landscape and Urban Planning 85, 97–110.

Jafari, H.R., Karimi, S., 2005, **Site Selection for the Establishment of Industrial Sites in Qom Province; Using GIS**, Journal of Environmental Studies 37, 45-52 (persian).

Jafari, H.R., Onagh, A., 2005, **Zoning of Ghenou protected; Using GIS**, Journal of Environmental Studies 38, 39-46 (persian).

Kalogirou, S., 2002, **Expert Systems and GIS: an Application of Land Suitability Evaluation**, Computers, Environment and Urban Systems 26, 89–112.

Klosterman, R.E, 1997, **The What if ? Planning Support System: A New Perspective on Computer Aided Planning,** Journal of Planning Education and Research, Washington, D.C.

Land Use Planning Department (LUPD), Plan and Budget Organization, 1989, **Land Use Planning Studies in the Islamic Republic of Iran**, Series of land use planning application models (the second phase) (persian).

Liu, Y., Lv, X., Qin, X., Guo, H., Yu, Y., Wang, J., Mao, G., 2007, **An Integrated GIS-based Analysis System for Land-use Management of Lake Areas in Urban Fringe**, Landscape and Urban Planning 82, 233–246.

Mahfouzi, M., Darvish Sefat, A.A., Makhdoum, M., 2002, **Land Use Planning of Dadghan-Tafresh Watershed; Using GIS**, Journal of Environmental Studies 27, 99-108 (persian).

Malczewski, J., 2006, **Ordered Weighted Averaging with Fuzzy Quantifiers: GIS-based Multicriteria Evaluation for Land-use Suitability Analysis**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 8, 270–277.

Makhdoum, M.F., 1999, **Fundamental of Land use Planning**, publication of Tehran University, Third edition (persian).

Makhdoum, M.F., 2000, **The First Coupled Modeling Experiment of Geographic Information Systems in Iran**, Proceedings of the geomatic conference, National cartographic center, Tehran, 273-294 (persian).

Masih Abadi, M.H., Mahmoodi, S., Pazira, E., 2001, **Evaluation of Land Suitability for the Selected Products in Minab Region**, Journal of Soil and Water science, Special issue on soil survey and land evaluation, 31-46 (persian).

Menhaj, M.B., 2008, **Fuzzy Computing: Artificial Intelligence**, the first edition, Daneh Negar publication (persian).

Mohammadi, A., Pashaei Avval, A., Mosavati., S.A., Sadeghi, S., 2008, **Qualitative Land Suitability Evaluation for the Main Agronomic Crops in Gonbad-e-Kavous, Northeast-Iran**, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources (Special issue, Agronomy and Plant Breeding) 14, 99-111 (persian).

Mohammadi, J., Givi, J., 2001, **Land Suitability Evaluation for Irrigated Wheat in Falavarjan Region Using Fuzzy Set Theory**, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 5, 103-115 (persian).

Moreira, F.R., Almeida-Filho, R., Câmara, G., 2003, **Evaluation of the Performance of Fuzzy Logic, Applied In Spatial Analysis For Mineral Prospecting**, Revista Brasileira de Geociências, v.33, p.183 - 190.

Najafifar, A., 2007, **Selection of Forest Species Based on Ecological capability of forestation units in Zagross region: Case study of watershed of Sarab Darehshahr in Ilam province**, Journal of Pajouhesh & Sazandegi 75, 28-36 (persian).

Parhizgar, A., Ghafari Gilandeh, A., 2006, **Geographic Information System and Multi Criteria Decision Analysis**, Samt Publication, Tehran, Iran. (Persian)

Phillis, Y.A., Andriantiatsaholiniaina, L.A., 2001, **Sustainability: An Ill-defined Concept and its Assessment Using Fuzzy Logic**, Ecological Economics 37, 435–456.

Saroinsong, F., Harashina, K., Arifin, H., Gandasasmita, K., Sakamoto, K., 2007, **Practical Application of a Land Resources Information System for Agricultural Landscape Planning**, Landscape and Urban Planning 79, 38–52.

Sante-Riveira, I., Crecente-Maseda, R., Miranda-Barros, D., 2008, **GIS-based Planning Support System for Rural Land-use Allocation**, computers and electronics in agriculture 63, 257-273

Scetiran Consulting Engineering (SCE), 1977, **Studies of Land use Planning**, Plan and Budget Organization (PBO), Land use planning department (persian).

Sicat, R.S., Carranza, E.J.M., Nidumolu, U.B., 2005, **Fuzzy Modeling of Farmers' Knowledge for Land Suitability Classification**, Agricultural Systems 83, 49–75.

Soil and Water Research Institute (SWRI) of Iran, 2001, **Soil Resources and Use Potentiality Map of Iran**, Tehran (persian).

Sharifi, M.A., 2004, **Reader on Introduction to Planning and Senario Development**, Lecture notes, ITC, Enschede, The Netherlands.

Sharifi Pour, R., Makhdoum, M., 2005, **Land Use Planning of Kobar-Kohak-Qom Watershed; Using GIS**, Journal of Environmental Studies 34, 89-96 (persian).

Store, R., Kangas, J., 2001, **Integrating Spatial Multi-criteria Evaluation and Expert Knowledge for GIS-Based Habitat Suitability Modeling**, Landscape and urban planning 55, 79-93.

Store, R., 2009, **Sustainable Locating of Different Forest Uses**, Land Use Policy 26, 610–618.

Sunila, R., Laine, E., Kremenova, O., 2004, **Fuzzy Model and Kriging for Imprecise Soil Polygon Boundaries**, Geoinformatics 2004, Proc. 12th Int. Conf. on Geoinformatics, Sweden.

Taheri, S.M., 1999, **An Introduction to Fuzzy Set Theory**, Jahad-e Daneshgahi Publication, Mashhad (persian).

Tawfigh, F., 2006, **Spatial Planning; Global Experience and its Comparison with the Conditions of Iran**, Urban Planning & Architecture Research Center of Iran (persian).

Urban Planning & Architecture Research Center of Iran (UP&ARCI), 2000, **Initial Studies and Assigning Strategy for Database Formation**, Project for establishing the geographic information databases of development plans, Tehran (persian).