محیط شناسی، سال سی و هفتم، شمارهٔ ۵۸ ، تابستان ۹۰، صفحهٔ ۴۳-۵۲

مدل‌سازی تغییر کاربری زمین با استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS

مهرنوش بختیاری‌فر[1*]، محمدسعدی مسگری[2]، محمد کریمی[3]، ابوالقاسم چهرقانی[4]

۱-کارشناس ارشد GIS دانشکدهٔ مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

۲-استادیار گروه مهندسی GIS، دانشکدهٔ مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی smesgari@yahoo.com

۳-دانشجوی دکترای GIS، دانشکدهٔ مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی _mkarimi@kntu.ac.ir

٤-کارشناس ارشد GIS دانشکدهٔ مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی a241_che@yahoo.com

تاریخ دریافت:۸۹/۳/۱ تاریخ پذیرش:۸۹/۱۰/۱۵

چکیده

در چند دههٔ اخیر با توجه به مسئلهٔ افزایش جمعیت، رشد صنعت، کمبود منابع، استفاده نامطلوب از سرزمین و ... آمایش سرزمین اهمیت زیادی پیدا کرده است. با داشتن سناریوها، اهداف، معیارها و محدودیت‌های متنوع در مدل‌سازی آمایش سرزمین، استفاده از روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی امری ضروری است. هدف از این تحقیق توسعه مدلی مبتنی بر GIS و روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره برای ارزیابی و شناخت وضعیت موجود کاربری‌ها و همچنین تغییر کاربری‌های دارای مشکل به کاربری مناسب است. در این زمینه، ابتدا مدل مناسبت و سازگاری کاربری‌ها از طریق استفاده از روشهای تصمیم گیری TOPSIS، ELECTRE و SAW و توابع GIS توسعه یافته‌اند. در مرحلهٔ دوم مناطقی که از لحاظ مناسبت و سازگاری دچار مشکل هستند، با استفاده از مدل تغییر کاربری‌ها که از تلفیق شاخص‌های مناسبت، سازگاری، دشواری تغییر و سرانه کاربری‌ها توسعه یافته است، به کاربری مناسب تغییر می‌یابند. این مدل‌ها علاوه بر شناخت وضعیت موجود منطقه، امکان استفاده در ارزیابی کاربری‌های پیشنهادی آینده را در اختیار برنامه‌ریزان قرار می‌دهند. تست عملی مدل‌های توسعه داده شده برای بخشی از استان اصفهان شامل شهرستان‌های تیران و کرون، نجف آباد و لنجان حاکی از توانایی مدل‌های مذکور در تعیین میزان تناسب و سازگاری کاربری‌ها و ارائه بهترین کاربری برای واحدهای با کاربری نامطلوب است. نتایج این تحقیق مبین آن است که در تخصیص کاربری‌ها، در نظر گرفتن مناسبت و سازگاری کاربری‌ها به صورت همزمان امری ضروری است.

کلید واژه

سیستم اطلاعات جغرافیایی، تصمیم‌گیری چند معیاره، تغییر کاربری، تناسب، سازگاری.

سرآغاز

در آمایش سرزمین برای دستیابی به توسعهٔ پایدار مسائلی از جمله موقعیت طبیعی و زیست محیطی، شرایط اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی، سیاسی، اداری، دفاعی و ... مورد توجه و تحلیل قرار می‌گیرد. فعالیت‌های زیادی در زمینهٔ تغییر کاربری در آمایش سرزمین صورت گرفته که با توجه به گستردگی آمایش سرزمین در بیشتر تحقیقات فقط به بخشی از آن مقوله پرداخته شده است. در بعضی از مطالعات تغییر کاربری، فقط به یک نوع کاربری توجه شده است. به عنوان نمونه می‌توان به مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی کشاورزی و منابع طبیعی در مدل CLUE-s (Verburg, et al., 1999)، کاربری کشاورزی در مدل AEZ (Agrell, et al., 2004)، کاربری شهری (Ligtenberg, et al., 2004) و پارک‌های محلی (Zucca, et al., 2008) اشاره کرد. در بعضی از مطالعات تغییر کاربری، یک هدف یا موضوع خاص مدنظر قرار گرفته است. به عنوان نمونه در توسعهٔ سیستم RAMCO (Uljee, et al., 1999) و سیستم حامی برنامه‌ریزی MedAction (van Delden, et al., 2004) مدل‌سازی تغییر کاربری با تأکید بر موضوعات مدیریت منابع آب و بیابان زدایی انجام گرفته است. در مدل توان اکولوژیکی مخدوم (مخدوم، ۱۳۷۸) بیشتر جنبه محیط زیست لحاظ شده است. در مطالعات طبیعی و زیست محیطی آمایش سرزمین لازم است که

نویسنده مسئول: ۰۲۱-۸۸۷۸۶۲۱۲ E-Mail: mehrnoosh_bakhtiary@yahoo.com

کاربری‌های سرزمین از دیدگاههای مختلف بررسی و ارزیابی شوند (سرور، ۱۳۸۵). در این تحقیق نیز سه موضوع ذیل مورد بررسی قرار گرفته است:

- وجود مناسبت میان کاربری‌ها و زمین از لحاظ شرایط اکولوژیکی سرزمین.
- وجود سازگاری میان کاربری‌های مجاور.
- تغییر کاربری‌های نامطلوب.

با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی[1] (GIS) و روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره[2] (MCDA) سعی شده مدلی ارائه شود که علاوه بر امکان محاسبهٔ میزان تناسب و سازگاری زمین، امکان شناسایی مناطق با کاربری نامطلوب را داشته و بتواند نواحی و مناطقی را برای تغییر کاربری با توجه به مشخصه‌های مختلف از جمله میزان تناسب، سازگاری، سرانه و دشواری تغییر پیشنهاد دهد. با این هدف سه مدل مناسبت، سازگاری و تغییر کاربری توسعه داده شده و پیاده سازی شد. تست عملی مدل‌های فوق برای بخشی از استان اصفهان شامل شهرستان‌های تیران و کرون، نجف‌آباد و لنجان حاکی از توانایی مدل‌های مذکور در تعیین میزان تناسب و سازگاری کاربری‌ها و ارائه بهترین کاربری برای مکان‌های با کاربری نامطلوب است.

مواد و روشها

تشریح منطقهٔ مورد مطالعه

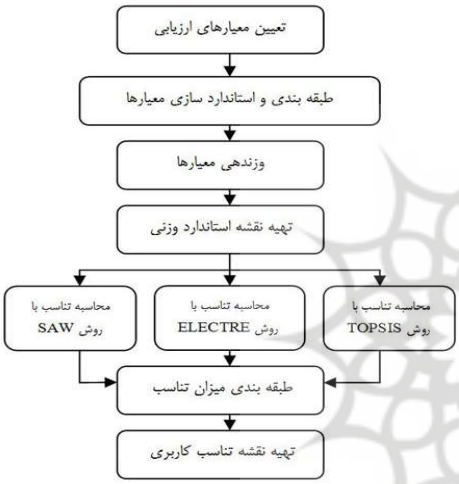
محدودهٔ مورد مطالعه در این تحقیق ۳ شهرستان تیران و کرون، نجف آباد و لنجان از استان اصفهان است. این استان دارای تنوع کاربری بالایی بوده و از مهم‌ترین استان‌های کشور از نظر تولیدات کشاورزی و صنعتی است. با توجه به نقشه‌های موجود و تنوع کاربری‌ها، سه شهرستان تیران و کرون، لنجان و نجف‌آباد برای عملی کردن مدل‌های توسعه یافته در نظر گرفته شد.

مدل مناسبت کاربری‌ها

مدل مناسبت کاربری، میزان تناسب سرزمین برای انواع کاربری‌های شهری و صنعتی، زراعت آبی، زراعت دیم، مرتع، جنگل و ... را به صورت کمی محاسبه می‌کند. این مدل می‌تواند از طریق ترکیب روشها و ابزارهای موجود همچون GIS و روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره (از قبیل TOPSIS، ELECTRE،SAW) توسعه یابد. مراحل توسعه و عملی کردن مدل مناسبت کاربری موضوع این تحقیق در شکل شمارهٔ (۱) ارائه شده. در ادامهٔ مراحل توسعه و عملی کردن مدل مناسبت کاربری تشریح می‌شود.

تعیین معیارهای ارزیابی

با توجه به مطالعات و بررسی‌های انجام شده بویژه مطالعات موجود در ایران توسط (مخدوم، ۱۳۷۸؛ محفوظی و همکاران، ۱۳۸۰؛ جعفری و اونق، ۱۳۸۴) معیارهای مورد استفاده برای تعیین میزان تناسب زمین را برای کاربری‌های مختلف در شرایط ایران تعیین کردند. با مبنا قرار گرفتن مدل مخدوم، عوامل شیب، ارتفاع، اقلیم، فرسایش، خاک، تراکم و پوشش گیاهی و جهت شیب لحاظ شدند. این معیارها به صورت نقشه در پایگاه داده مکانی مبتنی بر GIS آماده‌سازی و تحت عنوان نقشه‌های معیار ذخیره می‌شوند.



شکل شمارهٔ (۱): مدل مفهومی مناسبت کاربری

طبقه بندی و استاندارد سازی معیارها

در این مرحله کلیهٔ معیارها مطابق مدل‌های اکولوژیکی ایران (مخدوم، ۱۳۷۸) طبقه‌بندی شدند. با توجه به این‌که هر کدام از طبقات نقشه‌های معیار دارای ارزش متفاوتی است، با در نظر گرفتن مطالعات صورت گرفته و استفاده از دانش کارشناسی، به هر کدام از طبقات نقشه‌های معیار به ازای کاربری‌های مختلف شهری و صنعتی، زراعت آبی، زراعت دیم، جنگل و... ارزشی به صورت عددی تعلق می‌گیرد، به گونه‌ای که مجموع ارزش‌های تعلق گرفته به طبقات مختلف هر معیار برابر یک باشد.

وزن‌دهی معیارها

برای تعیین میزان تناسب کاربری زمین، معیارهای ارزیابی مختلفی وجود دارد. ولی اهمیت این معیارها برای کاربری‌های مختلف متفاوت است. برای نمونه در کاربری زراعت آبی نوع خاک از اهمیت بالاتری نسبت به شیب و اقلیم اهمیت بالاتری نسبت به جهت شیب دارد. بنابراین لازم است که اهمیت هرکدام از این معیارها در تعیین میزان تناسب زمین برای انواع کاربری‌ها مشخص

شود. در این مرحله به منظور وزن‌دهی معیارها از فرایند تحلیل سلسله مراتبی[3] (AHP) استفاده شده است. Saaty در سال۱۹۸۰این روش را مطرح کرده است (Saaty, 1980).

در روش AHP، تصمیم گیرنده می‌باید هر زوج از معیارهای تصمیم‌گیری را با یکدیگر مقایسه کند. مقایسهٔ اهمیت نسبی هر زوج معیار نسبت به یکدیگر، در ابتدا به صورت کیفی انجام شده و سپس در مقیاسی عددی (اعداد ۱ تا ۹)کمی می‌شود. در این روش با تشکیل ماتریس که ارائه دهنده آرای بیان شده در خصوص مقایسه هر زوج معیار تصمیم‌گیری است، در نهایت وزن نسبی هر معیار تعیین می‌شود (قدسی‌پور، ۱۳۸۴). جدول شمارهٔ (۱) نحوهٔ وزن‌دهی معیارهای کاربری شهری و صنعتی را با استفاده از روش مقایسه زوجی نشان می‌دهد. در این جدول وزن معیارهای شیب، خاک، اقلیم، پوشش گیاهی، ارتفاع، جهت شیب و فرسایش برای کاربری شهری و صنعتی به ترتیب برابر با مقادیر ۰/۳۰۴، ۰/۲۳۳، ۰/۱۸۰، ۰/۱۴۰، ۰/۰۸۴، ۰/۰۳۹و ۰/۰۲۰ است. وزن معیارهای مذکور برای کاربری‌های مختلف، متفاوت است. به عنوان نمونه وزن معیارهای مذکور برای کاربری زراعت آبی به ترتیب برابر با ۰/۰۸۰، ۰/۴۰۲، ۰/۲۰۸، ۰/۱۲۵، ۰/۰۱۲، ۰/۰۰۸ و ۰/۱۶۵ برآورد شد.

جدول شمارهٔ (۱): وزن دهی معیارهای کاربری شهری و صنعتی با استفاده از روش AHP

وزن	فرسایش	جهت شیب	ارتفاع	پوشش گیاهی	اقلیم	خاک	شیب	
۰/۳۰۴	۸	۷	۶	۵	۳	۲	۱	شیب
۰/۲۳۳	۷	۶	۵	۳	۲	۱		خاک
۰/۱۸۰	۶	۵	۴	۲	۱			اقلیم
۰/۱۴۰	۵	۴	۳	۱				پوشش گیاهی
۰/۰۸۴	۴	۳	۱					ارتفاع
۰/۰۳۹	۲	۱						جهت شیب
۰/۰۲۰	۱							فرسایش

تهیهٔ نقشهٔ معیار استاندارد شده وزنی

قدم بعدی با توجه به طبقه‌بندی صورت گرفته بر روی معیارها و وزن اختصاص یافته، تهیهٔ نقشهٔ استاندارد شده وزنی، می‌شود. برای این منظور مقدار وزن تخصیص یافته به هر معیار در ارزش طبقات مختلف آن معیار ضرب می‌شود. در جدول شمارهٔ (۲) نحوهٔ محاسبهٔ نقشهٔ شیب استاندارد شده وزنی برای کاربری شهری و صنعتی نشان داده شده است.

جدول شمارهٔ (۲): نحوهٔ محاسبهٔ نقشهٔ معیار شیب برای کاربری شهری و صنعتی

استاندارد وزنی	وزن معیار	ارزش طبقات	طبقات
۰/۱۱	۰/۳۰۴	۰/۳۵	۱
۰/۰۹	۰/۳۰۴	/۳۰	۲
۰/۰۶	۰/۳۰۴	۰/۲۰	۳
۰/۰۴	۰/۳۰۴	۰/۱۵	۴
۰/۰۳	۰/۳۰۴	۰/۱۰	۵
۰/۰۳	۰/۳۰۴	۰/۱۰	۶
۰	۰/۳۰۴	۰	۷
۰	۰/۳۰۴	۰	۸

تلفیق و محاسبهٔ میزان تناسب

در این مرحله نقشه‌های معیار استاندارد شده وزنی با استفاده از روشهای TOPSIS، ELECTRE و SAW تلفیق شده و میزان تناسب کاربری هر واحد مکانی محاسبهٔ می‌شود.

روش TOPSIS[4]

بر اساس این روش، بهترین واحد مکانی، واحدی است که به طور همزمان نزدیک‌ترین گزینه به واحد ایده‌آل و دورترین گزینه از واحد ایده‌آل منفی باشد. واحد ایده‌آل معرف گزینه فرضی است که مطلوب‌ترین سطح استاندارد شده وزنی از هر معیار در میان گزینه‌های مورد نظر را دارد و همین طور واحد ایده‌آل منفی شامل بدترین سطح استاندارد شده وزنی در میان گزینه‌هاست.

TOPSIS مستلزم افزایش یکنواخت رضامندی (هرچه ارزش معیار بزرگ‌تر باشد واحد بهتر است) و همچنین مستلزم کاهش یکنواخت رضامندی (هرچه ارزش معیار کوچک‌تر باشد واحد بدتر است) است. روش TOPSIS مبتنی بر GIS شامل مراحل زیر است(Sharifi and Herwijnen, 2002):

- تعیین معیارهای ارزیابی (لایه‌های نقشه) و گزینه‌های مورد بررسی.
- استاندارد سازی هر لایه نقشه معیار.
- تعیین وزن هر معیار به گونه ای که $0 \le w_j \le 1$ و $\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$.
- ایجاد نقشهٔ استاندارد شده وزنی (با ضرب لایه‌های نقشه استاندارد شده در وزنهای متناظر).
- تعیین ارزش حداکثر در رابطه با هر یک از لایه‌های

نقشهٔ استاندارد شده وزنی بر اساس رابطه ۱.

$$v_{+j} = \left(v_{\max 1}, v_{\max 2}, \ldots, v_{\max n}\right) \quad (۱)$$

- تعیین ارزش حداقل برای هر لایه نقشه استاندارد شده وزنی بر اساس رابطهٔ ۲

$$v_{-j} = \left(v_{\min 1}, v_{\min 2}, \ldots, v_{\min n}\right) \quad (۲)$$

- محاسبهٔ فاصله بین نقطه ایده‌آل و هر گزینه بر اساس فاصله اقلیدسی بر اساس رابطهٔ ۳

$$S_{i+} = \left[\sum_j \left(v_{ij} - v_{+j}\right)^2\right]^{1/2} \quad (۳)$$

- محاسبهٔ فاصله بین نقطه ایده‌آل منفی و هر گزینه بر اساس فاصله اقلیدسی بر اساس رابطهٔ ۴

$$S_{i-} = \left[\sum_j \left(v_{ij} - v_{-j}\right)^2\right]^{1/2} \quad (۴)$$

- محاسبهٔ میزان نزدیکی نسبی به نقطه ایده‌آل بر اساس رابطهٔ ۵

$$C_{i+} = \frac{S_{i-}}{S_{i+} + S_{i-}} \quad (۵)$$

به طوری که $0 \le C_{i+} \le 1$ و هر اندازه یک گزینه به نقطه ایده‌آل نزدیک‌تر باشد C_{i+} به سمت ۱ میل می‌کند.

- رتبه بندی گزینه‌ها بر حسب یک ترتیب نزولی از C_{i+}.

روش ELECTRE[5]

این روش بر پایه مقایسهٔ دو به دو، واحدهای مکانی رتبه بندی ترتیبی از واحدها را به‌دست می‌دهد. در این روش مقایسهٔ دو به‌دوی واحدها بر اساس شاخصی تحت عنوان شاخص همایی صورت می‌گیرد. شاخص همایی زیرمجموعه‌ای از تمام معیارهایی است که در رابطه با آنها واحد i در وضعیت بدتری از واحد i' قرار ندارد. نمره ارزشیابی مجموع شاخص‌های همایی C_i در رابطه با واحد i با استفاده از روابط ۶ و ۷ قابل محاسبه است (Massam, 1980; Malczewski, 1999).

$$c_{ii'} = \frac{\sum_j w_{jii'}}{\sum_j w_j} \quad (۶)$$

$$c_i = \sum_{i'} c_{ii'} \quad (۷)$$

که $\sum_j w_{jii'}$ معرف مجموع وزن‌های شاخص همایی و $\sum w_j$ مبین مجموع تمام وزن‌ها است.

روش SAW[6]

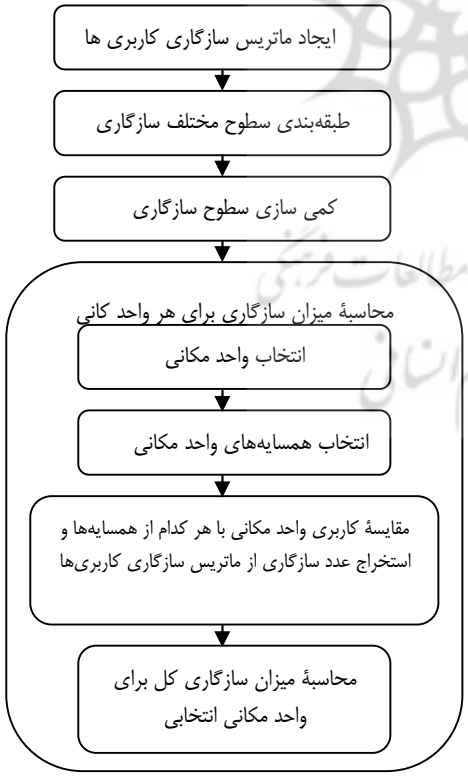
روش وزن‌دهی جمعی ساده SAW یکی از متداول‌ترین روشهای مورد استفاده جهت تلفیق معیارها است. به طور رسمی در قاعدهٔ تصمیم‌گیری برای ارزیابی هر واحد مکانی یا A_i از رابطه ۸ استفاده می‌شود:

$$A_i = \sum_j w_j x_{ij} \quad (۸)$$

که در آن x_{ij} معرف مناسبت واحد i ام در ارتباط با معیار j ام و w_j وزن استاندارد شده معیار j ام است، به گونه‌ای که $\sum w_j = 1$. وزن‌ها اهمیت نسبی هر معیار را به نمایش می‌گذارند. با تعیین ارزش حداکثر A_i (i=1,2,…,m)، اولویت دارترین واحد انتخاب می‌شود (Sharifi and Herwijnen, 2002).

مدل سازگاری کاربری ها

مدل سازگاری کاربری‌ها میزان سازگاری کاربری هر واحد مکانی را با کاربری‌های واحدهای مکانی مجاور محاسبهٔ می‌کند. برای توسعهٔ این مدل از تحلیل‌های مکانی وعملگرهای GIS، ماتریس سازگاری کاربری‌ها و روش AHP استفاده شده است. شکل شمارهٔ (۲) مراحل پیاده سازی مدل سازگاری کاربری‌ها را نشان می‌دهد. در ادامه هر یک از مراحل توسعه و عملی کردن مدل سازگاری کاربری‌ها تشریح می‌شود.



شکل شمارهٔ (۲): مدل مفهومی سازگاری کاربری ها

ماتریس سازگاری کاربری ها

مطابق طرح آمایش سرزمین ارتباط هر کاربری با محدوده اطراف آن باید به گونه‌ای باشد که تأثیرات ناخواسته میان آن

کاربری با کاربری‌های مجاور به حداقل برسد. بنابراین از ماتریس سازگاری کاربری‌ها برای حصول شرایط سازگاری میان کاربری‌های همسایه استفاده می‌شود.این ماتریس به کمک دانش کارشناسی، سطوح مختلف سازگاری را میان کاربری‌های مختلف مشخص می‌کند (Taleai, et al., 2007; Washoe County planning Commission, 2002). جدول شمارهٔ (۳) ماتریس سازگاری کاربری‌ها را برای کاربری‌های موجود در این تحقیق نشان می‌دهد.

جدول شمارهٔ (۳): ماتریس سازگاری کاربری ها

	مرتع	جنگل	درختکاری	شهری و صنعتی	زراعت آبی	زراعت دیم	اراضی بایر
مرتع	HC	MC	MC	N	MI	MI	MI
جنگل		HC	MC	N	MC	MC	MI
درختکاری			HC	MC	MC	MC	MI
شهری و صنعتی				HC	N	N	MC
زراعت آبی					HC	HC	MI
زراعت دیم						HC	MI
اراضی بایر							HC

در جدول ۳ :

HC: High Compatibility
MC: Medium Compatibility
N: Neutral/Low Compatibility
MI: Medium incompatibility/very low compatibility
HI: High incompatibility

کمی سازی سطوح سازگاری

در این مرحله همان‌طور که در جدول شمارهٔ (۴) نشان داده شده است، به کمک روش AHP مقادیر کیفی موجود در ماتریس سازگاری کاربری‌ها به مقادیر کمی تبدیل شد (طالعی،۱۳۸۵).

جدول شمارهٔ (۴) : محاسبهٔ مقدار عددی برای سطوح سازگاری با استفاده از روش AHP **(**Taleai, et al., 2007**)**

سطح سازگاری	HI	MI	N	MC	HC	
۰/۴۸۲	۹	۷	۵	۳	۱	HC
۰/۲۱۸	۵	۳	۲	۱		MC
۰/۱۴۸	۴	۲	۱			N
۰/۰۹۶	۳	۱				MI
۰/۰۵۶	۱					HI

محاسبهٔ میزان سازگاری

با استفاده از روش جمع بندی مناسب، باید مقدار سازگاری کلی هر واحد مکانی بر اساس مقادیر سازگاری آن واحد با هر کدام از همسایه‌ها محاسبه شود. در این تحقیق با توجه به ماهیت مدل سازگاری و مقادیر آن (سطوح سازگاری)، روشی برای برآورد میزان سازگاری واحدهای مکانی ارائه شد. در این روش از دو مفهوم سازگاری تحت عنوان سازگاری ساده و وزن‌دار استفاده شد. برای محاسبهٔ سازگاری ساده هر واحد مکانی، باید مقدار سازگاری بین کاربری آن و هر کدام از کاربری‌های واحدهای همسایه اش از جدول سازگاری کاربری‌ها استخراج شود. میانگین این مقادیر با عنوان سازگاری ساده به واحد مکانی مورد بررسی منتسب می‌شود. به عبارتی سازگاری ساده واحد مکانی i عبارت است از:

$$C_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} c_{ij}}{n} \qquad (۹)$$

که در آن c_{ij} مقدار سازگاری واحد i با همسایه j ام آن و n تعداد همسایه‌های واحد i است. برای تشریح بیشتر رابطه فوق، منطقه ترسیم شده در شکل شمارهٔ (۳) را در نظر بگیرید که واحدهای مکانی آن دارای سازگاری نسبتا بالایی با یکدیگر هستند.

شکل شمارهٔ (۳): منطقهٔ فرضی

در این منطقه واحد مکانی با کاربری شهری و صنعتی با کاربری‌های اطراف خود ناسازگار است. وجود این کاربری باعث کاهش مقدار سازگاری واحدهای همسایه می‌شود. برای این‌که مقدار سازگاری مربوط به واحدهای مکانی به دلیل وجود یک کاربری ناسازگار به مقدار زیادی کاهش نیابد و این کاهش بیشتر متوجه خود واحد مکانی ناسازگار شود، از مفهوم سازگاری وزن‌دار استفاده می‌شود. به عبارت دیگر با استفاده از مفهوم سازگاری وزن‌دار، در محاسبهٔ میزان سازگاری علاوه بر همسایه‌های مستقیم هر واحد

مکانی، از واحدهای مجاور هر کدام از همسایه‌ها نیز استفاده می‌شود. در این تحقیق رابطهٔ ۱۰ برای محاسبهٔ سازگاری وزن‌دار پیشنهاد شده است.

$$I_i = \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{C_j}{\sum_{j=1}^{n} C_j} \right) c_{ij} \qquad (۱۰)$$

که در آن C_j سازگاری ساده واحد j، $\sum_{j=1}^{n} C_j$ مجموع سازگاری ساده مربوط به همسایه‌های واحد مکانی i، c_{ij} عدد سازگاری مربوط به کاربری واحد i با کاربری واحد j، n تعداد همسایه‌های واحد مکانی i و j شماره نشانگر همسایه‌های واحد مکانی i هستند. رابطهٔ فوق به صورت تجربی و بر اساس بررسی‌های مختلف در این تحقیق حاصل شده است. تفاوتی که سازگاری وزن‌دار (رابطهٔ ۱۰) با سازگاری ساده (رابطهٔ ۹) دارد این است که در سازگاری وزن‌دار عدد مربوط به سازگاری واحد i با هر کدام از همسایگانش (واحدهای j) در ضریبی ضرب می‌شود که مبین سازگاری کلی آن همسایه(j) با همسایگان خودش است. به عنوان مثال، در شکل شمارهٔ (۳)، چون کاربری شهری و صنعتی سازگاری خوبی با کل همسایگان خود ندارد، در محاسبهٔ سازگاری مربوط به کاربری درختکاری تأثیر کمی می‌گذارد.

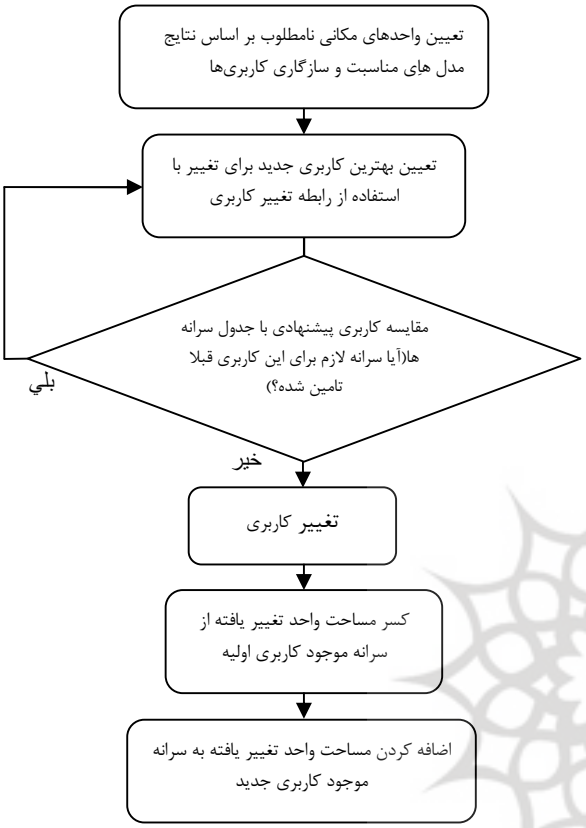
مدل‌سازی تغییر کاربری‌ها

روش پیشنهادی برای تغییرکاربری‌ها بر این اساس استوار است که مناسب‌ترین کاربری را برای واحدهای مکانی با کاربری نامطلوب بر اساس مشخصه‌های میزان تناسب، سازگاری، سرانه و دشواری تغییر ارائه می‌دهد. شکل شمارهٔ (۴) مدل مفهومی تغییر کاربری‌ها را نشان می‌دهد.

برای تشخیص واحدهای مکانی با کاربری نامطلوب از نتایج مدل مناسبت و سازگاری کاربری‌ها استفاده می‌شود. برای توسعهٔ این مدل از دانش GIS، ماتریس دشواری تغییر و روش AHP همراه با نتایج مدل‌های مناسبت و سازگاری کاربری‌ها استفاده شده است. در ادامه هر یک از مراحل توسعه وعملی کردن مدل تغییر کاربری‌ها تشریح می‌شود.

تعیین دشواری تغییر

در صورتی‌که برای تغییر کاربری واحدهای مکانی نامطلوب تنها به مشخصه‌های میزان تناسب و سازگاری کاربری‌ها توجه شود، ممکن است کاربری برای تغییر پیشنهاد شود، که در عمل امکان تغییر به آن میسر نباشد.



شکل شمارهٔ (۴): مدل مفهومی تغییر کاربری‌ها

برای مثال منطقه‌ای مسکونی را در نظر بگیرید که تناسب بسیار بالایی برای کاربری زراعت آبی دارد، ولی تغییر کاربری مسکونی به زراعت آبی مستلزم صرف هزینهٔ بسیار بالایی است. بنابراین نکته‌ای که باید مورد توجه قرار گیرد، ضمانت اجرا برای تغییر کاربری است و این‌که آیا هزینهٔ تغییر کاربری به میزانی هست که این تغییر مقرون به صرفه باشد، یا خیر. در این راستا از شاخصی با عنوان دشواری تغییر استفاده می‌شود. شیوهٔ محاسبهٔ دشواری تغییر، مشابه روش محاسبهٔ میزان سازگاری کاربری‌هاست. پس از تهیهٔ ماتریس دشواری تغییر (جدول شمارهٔ ۵) به کمک دانش کارشناسی با استفاده از روش AHP اقدام به کمی سازی سطوح دشواری می‌شود (جدول شمارهٔ ۶).

نحوهٔ کار مدل تغییر کاربری

در ابتدا بر اساس نتایج مدل تناسب و سازگاری کاربری‌ها، میانگین وزن‌دار تناسب و سازگاری برای کلیهٔ واحدهای مکانی بر اساس رابطهٔ ۱۱ محاسبهٔ می‌شود.

جدول شمارهٔ (۵): ماتریس دشواری تغییر

	مرتع	جنگل	درختکاری	شهری و صنعتی	زراعت آبی	زراعت‌دیم	اراضی بایر
مرتع	۰	E	E	M	E	E	M
جنگل	D	۰	VE	VD	D	VD	VD
درختکاری	D	VE	۰	V	M	D	VD
شهری و صنعتی	VD	VD	VD	۰	D	D	VD
زراعت آبی	M	M	M	D	۰	M	VD
زراعت‌دیم	E	M	M	VE	M	۰	D
اراضی بایر	M	M	M	VE	M	E	۰

در جدول ۵

VD: Very Difficult, D: Difficult, M: Moderate,E: Easy
VE: Very Easy

جدول شمارهٔ (۶): محاسبهٔ مقدار سطوح دشواری با استفاده از روش AHP

	VD	D	M	E	VE	سطح دشواری
VD	۱	۳	۵	۷	۹	۰/۵۰۸
D	۰/۳۳۳	۱	۲	۳	۵	۰/۲۲۱
M	۰/۲	۰/۵	۱	۵	۷	۰/۱۳۶
E	۰/۱۴۳	۰/۳۳۳	۰/۲	۱	۲	۰/۰۸۱
VE	۱/۱۱۱	۰/۲	۰/۱۴۳	۰/۵	۱	۰/۰۴۴

$$P_i = wS_i + w'C_i \qquad (۱۱)$$

که در آن P_i میانگین وزن‌دار تناسب و سازگاری واحد مکانی i، w وزن عامل تناسب، w' وزن عامل سازگاری، S_i مقدار تناسب کاربری موجود واحد مکانی i ، C_i مقدار سازگاری وزن‌دار واحد مکانی i است. بر اساس مقادیر P_i، واحدهای مکانی که از نظر تناسب و سازگاری در وضعیت نامطلوب هستند، شناسایی می‌شود. در مرحلهٔ بعد برای تغییر کاربری واحدهای مکانی نامطلوب، از رابطهٔ ۱۲ استفاده می‌شود:

$$A_{ij} = w_S S_{ij} + w_C C_{ij} - w_D D_{ij} \qquad (۱۲)$$

که در آن A_{ij} عدد مطلوبیت برای تغییرکاربری واحد مکانی i به کاربری j، S_{ij} میزان تناسب واحد مکانیi برای کاربری جدید j، C_{ij} میزان سازگاری وزن‌دار واحد مکانیi با همسایگانش در صورت تغییر به کاربریj ، D_{ij} دشواری تغییر از کاربری واحد مکانی i به کاربریj ، w_S وزن عامل تناسب، w_C وزن عامل سازگاری و w_D وزن عامل دشواری تغییر است به گونه‌ای که $w_S + w_C + w_D = 1$. بعد از محاسبهٔ مقادیر A_{ij} برای هر واحد مکانی i، بیشترین مقدار A_{ij} تعیین می‌شود. کاربری که بیشترین مقدارA_{ij} را ایجاد کرده باشد، به عنوان کاربری بهینه برای واحد مورد بررسی در نظر گرفته می‌شود. نکتهٔ حایز اهمیت این است که بعد از تغییر کاربری هر واحد مکانی، باید کلیهٔ محاسبات مدل سازگاری‌ها مجددا انجام گیرد و مقادیر سازگاری وزن‌دار جدید محاسبهٔ و در مراحل بعد مورد استفاده قرار گیرد. در این مدل از مفهومی تحت عنوان سرانه کاربری‌ها هم استفاده می‌شود. سرانهٔ کاربری‌ها با توجه به وسعت و جمعیت منطقه و با انگیزه حفظ تعادل در مساحت‌های اختصاص یافته به کاربری‌های مختلف مورد نیاز برای هر منطقه و از طریق مطالعات کلی‌تر در سطوح بالاتر تعیین می‌شود. این سرانه‌ها به عنوان ورودی این مدل تلقی می‌شوند. در صورتی‌که سرانهٔ کاربری برای منطقهٔ مورد مطالعه به صورت کامل پر شد، بهتر است از پیشنهاد تأسیس آن کاربری خودداری شود. برای نمونه، فرض کنید یک واحد مکانی با کاربری قبلی نامطلوب، باید به کاربری زراعت دیم تغییر کند، ولی سرانهٔ کاربری زراعت دیم برای منطقهٔ مورد مطالعه تکمیل شده است.

بنابراین دومین کاربری بهینه (دومین عدد ماکزیمم A_{ij}) برای تغییر کاربری واحد مکانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بعد از تغییر هر کاربری لازم است مساحت تغییر یافته در سرانه‌ها متناسب با آن اصلاح شود.

اجرا و نتایج تست عملی

در این قسمت بر اساس چارچوب ارائه شده در بخش پیشین، نحوهٔ پیاده سازی مدل توسعه داده شده در منطقهٔ مورد مطالعه ارائه می‌شود.

نقشه‌های تناسب زمین

در اولین مرحلهٔ نقشه‌های تناسب زمین برای کاربری‌های مختلف با استفاده از سه روش TOPSIS ، ELECTRE و SAW تهیه شدند. برای مثال نقشه‌های تناسب زمین برای کاربری زراعت دیم بر اساس روش TOPSIS ، ELECTRE و SAW در شکل شمارهٔ (۵) نشان داده شده اند.

نتایج مدل مناسبت کاربری‌ها برای کمک به برنامه‌ریزان با هدف تعریف مسائل و مشکلات مربوط به کاربری‌ها در مرحلهٔ مطالعات و همچنین در مدل تغییر کاربری استفاده می‌شود. از این‌رو، در مرحلهٔ پایانی، مطابق با میزان تناسب محاسبه شده به ازای کاربری هر واحد مکانی، حد آستانه برای طبقه‌بندی مقادیر محاسبهٔ شده، در کلاس‌های (سطوح) تناسب مختلف مطابق جدول شمارهٔ (۷) مورد استفاده قرار می‌گیرد

جدول شمارهٔ(۸) : طبقات سازگاری

محدوده	نوع تناسب
$0.45 \prec HC \leq 0.62$	سازگاری زیاد
$0.31 \prec MC \leq 0.45$	سازگاری متوسط
$0.17 \prec LC \leq 0.31$	سازگاری پایین
$0.11 \prec VLC \leq 0.31$	سازگاری خیلی پایین
$0 \prec IC \leq 0.11$	ناسازگار

مدل تغییر کاربری

بر اساس مدل تناسب و سازگاری کاربری‌ها، میانگین وزن‌دار تناسب و سازگاری بر اساس رابطهٔ ۱۱برای کلیهٔ واحدهای مکانی منطقهٔ مورد مطالعه محاسبهٔ شد. با توجه به مقادیر میانگین وزن‌دار تناسب و سازگاری ،۷ واحد مکانی که از نظر تناسب و سازگاری در وضعیت نامطلوبی قرار دارند شناسایی شد.

در مرحلهٔ بعد به کمک رابطه ۱۲، عدد رضامندی برای تغییر کاربری ۷ واحد مکانی فوق به دیگر کاربری‌ها با در اختیار داشتن میزان تناسب، سازگاری و دشواری تغییر محاسبه شد و بیشترین عدد مطلوبیت، کاربری بهینه برای هر کدام از واحدهای مکانی شناسایی شده، به ما پیشنهاد خواهد داد. جدول شمارهٔ (۹) میزان سازگاری و تناسب کاربری فعلی و پیشنهادی و دشواری این تغییر را نشان می‌دهند

شکل شمارهٔ (۶): نقشهٔ سازگاری کاربری‌ها

جدول شمارهٔ (۹) : تغییر کاربری صورت گرفته

شماره واحد مکانی	کاربری فعلی	کاربری پیشنهادی	تناسب کاربری فعلی	تناسب کاربری پیشنهادی	سازگاری کاربری فعلی	سازگاری کاربری پیشنهادی	دشواری تغییر
۶	زراعت دیم	شهری و صنعتی	۰/۰۰۳۷	۰/۰۱۴۲	۰/۰۰۹۶	۰/۱۴۸	۰/۰۴۴
۹	زراعت دیم	شهری و صنعتی	۰/۰۰۵۶	۰/۰۱۵۷	۰/۱۳۶۹	۰/۱۲۰	۰/۰۴۴
۱۲	زراعت آبی	جنگل	۰/۰۰۸۱	۰/۰۱۰۵	۰/۰۹۶	۰/۲۱۸	۰/۱۳۶
۱۴	زراعت آبی	جنگل	۰/۰۰۸۳	۰/۰۱۵۷	۰/۰۹۶	۰/۲۱۸	۰/۱۳۶
۷	زراعت آبی	جنگل	۰/۰۰۸۳	۰/۰۱۱۰	۰/۰۹۶	۰/۲۱۸	۰/۱۳۶
۳۹	اراضی بایر	شهری و صنعتی	۰/۰۰۹۲	۰/۰۲۹۵	۰/۰۸۶۱	۰/۱۷۳	۰/۱۳۶
۴۳	اراضی بایر	شهری و صنعتی	۰/۰۱۰۹	۰/۰۳۲۱	۰/۲۴۹۶	۰/۱۴۸	۰/۱۳۶

نتیجه‌گیری

حاصل این تحقیق ارائهٔ سه مدل مناسبت، سازگاری و تغییر کاربری‌هاست. مدل‌های مناسبت و سازگاری کاربری‌ها امکان شناخت وضعیت موجود کاربری‌های منطقه مورد بررسی را از نظر میزان تناسب و سازگاری در اختیار برنامه‌ریزان آمایش سرزمین قرار می‌دهند. در مدل مناسبت کاربری‌ها، با توجه به وجود وابستگی‌های

مکانی میان نقشه‌های معیار، بهترین روش در تلفیق معیارها و محاسبهٔ میزان تناسب کاربری ها، استفاده از روش TOPSIS است. به کمک این روش امکان شناسایی کاربری‌های که بدون توجه به شرایط اکولوژیکی منطقه توسعه یافته‌اند، مقدور می شود. در مدل سازگاری کاربری‌ها، با محاسبهٔ میزان سازگاری وزن‌دار، کاربری‌های ناسازگار شناسایی می شود. در مدل تغییر کاربری‌ها به کمک نتایج دو مدل مناسبت و سازگاری و در نظر گرفتن مشخصه‌های سرانه و دشواری تغییر، کاربری‌های موجود نامطلوب شناسایی و بهترین کاربری جدید برای تغییرکاربری پیشنهاد می شود. این سه مدل علاوه بر شناخت وضعیت موجود منطقه، امکان استفاده در ارزیابی کاربری‌های پیشنهادی آینده را از نظر میزان تناسب، سازگاری و سرانه در اختیار برنامه‌ریزان قرار می‌دهند. در این تحقیق مدل سازی تغییر کاربری پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است و مدل سازی تغییر کاربری که در واقعیت صورت می‌گیرد (به خصوص در کشورهای در حال توسعه) مقولهٔ دیگری است که می‌تواند در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

یادداشت‌ها

1- Geographic Information Systems
2- Multi-criteria Decision Analysis
3-Analytic Hierarchy Process
4- Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution
5-Elimination Choice Translating Reality
6- Simple Additive Weighting

منابع مورد استفاده

پرهیزکار، ا. ۱۳۸۵. سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، انتشارات سمت. تهران.

جعفری، ح.، انق، ا. .۱۳۸۴. زون بندی منطقهٔ حفاظت شده گنو با استفاده از GIS . مجلهٔ علمی پژوهشی محیط شناسی، شمارهٔ ۳۸، ص ۳۹-۴۶ .

سرور، ر. .۱۳۸۵. جغرافیایی کاربردی و آمایش سرزمین ، انتشارات سمت. تهران.

قدسی پور، ح.۱۳۸۲. برنامه‌ریزی چند هدفه (روشهای وزن دهی بعد از حل) ، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران.

قدسی پور، ح.۱۳۸۴. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران.

طالعی، م. ۱۳۸۵. سامانهٔ حامی برنامه‌ریزی مبتنی بر GIS، جهت ارزیابی پیامدهای خارجی ناشی از کاربری‌های شهری. پایان نامه دکترا، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. تهران.

محفوظی، م. ، درویش صفت، ع. ا. مخدوم فرخنده، م. ۱۳۸۰. آمایش سرزمین حوزهٔ آبخیز دادقان تفرش با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، مجلهٔ علمی پژوهشی محیط شناسی، شمارهٔ ۲۷، ص ۱۰۸ – ۹۹.

مخدوم، م. ۱۳۷۸.شالودهٔ آمایش سرزمین، انتشارات دانشگاه تهران.

Agrell,P.J., A.,Stam, G.W.,Fischer .2004. Interactive multi objective agro-ecological land use planning: The Bungoma region in Kenya, European Journal of Operational Research 158, 194–217

Ligtenberg,A., et al .2004. A design and application of a multi-agent system for simulation of multi-actor spatial planning, Journal of Environmental Management. 72, 43–55.

Massam,B.H. 1980. Spatial search. Oxford: Pergamon press.

Saaty,T.L. 1980. The Analytical Hierarchy Process, New York, McGraw-Hill.

Sharifi,M.A., M.V.,Herwijnen .2002. Spatial Decision Support Systems, Lecture Series, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC).

Taleai,M., et al .2007. Evaluating the compatibility of multi-functional and intensive urban land uses. Int. J. Appl. Earth. Observation. Geoinf. 9, 375–391.

Van Delden,H., P.,Luja, G.,Engelen .2004. User manual and model descriptions of the MedAction PSS. Work document, Research Institute for Knowledge Systems, AL Maastricht, Netherlands.

Uljee,I., G.,Engelen, R.,White .1999. Integral Assessment Module for Coastal Zone Management : RAMCO 2.0 User Guide, Research Institute for Knowledge Systems (RIKS Geo) , Netherlands.

Verburg,P.H., et al .1999. A spatial explicit allocation procedure for modeling the pattern of land use change based upon actual land use. Ecol. Model. 116, 45–61.

Washoe County planning Commission .2002.Comprehensive Plan: Land use and transportation element. Master Plan for Washo County. Nevada. Washo County, Washo County Depatment of Community Development: 57.

Zucca,A., M.A.,Sharifi, A.G.,Fabbri .2008. Application of spatial multi-criteria analysis to site selection for a local park: A case study in the Bergamo Province, Italy, Journal of Environmental Management, 88, 752-769.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی