شبیه‌سازی الگوی آتی تغییرات کاربری اراضی منطقه شهری سنندج با استفاده از تطبیق دو مدل کلو- اس و مُلند

فرهاد فیضی [۱*]، پویان شهابیان [۲]

۱*- کارشناسی ارشد برنامه ریزی شهری، دانشگاه هنر تهران، ایران

۲- استادیار گروه شهرسازی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: Fafeizi92@gmail.com

تاریخ دریافت : ۱۴۰۰/۰۵/۲۳ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۰/۰۶/۰۲

چکیده

امروزه شناخت روند تغییرات کاربری زمین و عوامل اثرگذار بر آن از مباحث مطرح و مهم در برنامه‌ریزی شهری می‌باشد. اطلاع از نسبت کاربری‌های اراضی و نحوه تغییرات آن در گذر زمان، یکی از مهم‌ترین موارد در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی است. مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی شهری در درک و شناخت پویایی‌های شهری موثر است و می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد و اساسی برای برنامه‌ریزان به شمار رود. هدف این تحقیق شناسایی عوامل موثر بر تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی منطقه شهری سنندج در افق ۱۴۱۰ با استفاده از تطبیق نتایج دو مدل کُلو- اس و مُلند است. روش تحقیق مورد استفاده در این تحقیق روشی ترکیبی است که بر اساس روش‌های تاریخی، توصیفی، همبستگی و مقایسه‌ای انجام شده است. این پژوهش از نظر نوع یک تحقیق کاربردی است و روش‌های کمی و مقایسه‌ای برای تحلیل موضوع بکار گرفته شده است. ابتدا عوامل موثر در تغییر کاربری اراضی منطقه شهری سنندج بر اساس مرور ادبیات، مشاهدات و مطالعات میدانی و همچنین مصاحبه با مقامات محلی و برنامه ریزان شناسایی شده و سپس برای تجزیه و تحلیل رابطه بین متغیرهای کاربری زمین و عوامل مستقل، از رگرسیون لجستیک به عنوان یک روش تحلیلی در محیط نرم افزار SPSS 16.0 استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بر اساس نتایج دو مدل بررسی شده، تغییرات کاربری زمین اغلب در مکان‌هایی صورت می‌گیرد که دارای بیشترین درجه مطلوبیت مکانی برای آن نوع کاربری باشد. نتایج هر دو مدل بیانگر کاهش سطوح اراضی کشاورزی و بایر و افزایش سطوح ساخته شده می‌باشند و در این راستا، مناطق شرقی و شمال غربی محدوده مطالعاتی بیشتر شاهد تغییرات کاربری اراضی می‌باشند. بنابراین ضروری است که اقدامات لازم در راستای جلوگیری از وقوع آن‌ها در آینده اتخاذ گردد.

کلمات کلیدی

تغییرات کاربری اراضی، مدل‌سازی، توسعه فیزیکی، مدل کُلو-اس، مدل مُلند، منطقه شهری سنندج.

۱- مقدمه

رشد سریع جمعیت شهری به ویژه در کشورهای در حال توسعه، یکی از مهم‌ترین چالش‌های دولت‌ها و سازمان‌های دخیل در برنامه‌ریزی-های شهری است. امروزه ۳,۹ میلیارد نفر – ۵۵ درصد جمعیت جهان – در مناطق شهری زندگی می‌کنند و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ این میزان به ۶۸ درصد افزایش یابد (United Nations, 2018) که در نتیجه، این روند افزایشی منجر به گسترش فضایی شهرها فراتر از محدوده قانونی و همچنین مشکلاتی در پاسخگویی به رشد جمعیت شهری خواهد شد (Mohammadian et al, 2017: 14). توسعه شهری نیز به ویژه در دهه‌های اخیر بسیار سریع بوده که از پیامدهای اصلی آن، تبدیل اراضی زراعی و بایر به کاربری‌های شهری در داخل محدوده و همچنین حریم شهرها بوده است (Feng et al, 2005: 301). از اینرو، فعالیت‌های مربوط به کاربری اراضی در برنامه‌ریزی شهری و محیط‌زیست به یکی از چالش‌های اصلی تبدیل شده است. به طوری که امروزه، بررسی و تحلیل آن در سطح ملی و منطقه‌ای از اهمیت فراوانی برخوردار است (رایگانی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۵۰). بنابراین توجه به مسائل برنامه‌ریزی کاربری اراضی می‌تواند نقش مهم و تعیین کننده‌ای در گسترش آتی شهرها و کاهش مشکلات آن داشته باشد. با اطلاع از نسبت کاربری‌ها در یک محیط و نحوهٔ تغییرات آن‌ها در گذر زمان می‌توان تغییرات آتی را پیش‌بینی کرد و اقدامات مقتضی را انجام داد (فیضی‌زاده و سلمانی، ۱۳۹۵: ۱۷۸).

تغییرات کاربری زمین در اثر عوامل مختلفی از جمله اقتصاد، مسکن، اشتغال و محیط زیست پدید می‌آیند. رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی از مسائل بسیار مهمی است که افزایش شتابان تغییرات کاربری اراضی را در پی دارد. کشور ایران نیز همانند سایر کشورهای در حال توسعه، در چند دهه گذشته شاهد چنین روندی بوده است. به طوریکه با شکل‌گیری تحولات نظام اجتماعی- اقتصادی و سیاسی ایران به خصوص از دهه ۱۳۴۰ و در پی قانون اصلاحات ارضی، روندهای مهاجرتی از روستا به شهر افزایش یافت و به مهم‌ترین عامل و منشا تغییرات کاربری اراضی تبدیل گردید. مدل‌های تغییر کاربری زمین نقش مهمی در درک علل، مکانیسم‌ها و پیامدهای پویایی کاربری زمین دارند. مدل‌ها فرصتی جهت کاوش و ارزیابی سیاست‌های کاربری زمین فراهم و به تجسم گزینه‌های آتی کمک می‌کنند (Chaudhuri & Clarke, 2013: 89). آن‌ها همچنین ابزارهای قدرتمندی جهت تجزیه و تحلیل علل تغییرات کاربری و پوشش زمین و ارزیابی سیاست کاربری زمین هستند (Verburg et al, 2004). در حال حاضر، از مدل‌ها و روش‌های مختلف سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای بررسی روند تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی آنها استفاده می‌شود (Aburas et al, 2016) اما در این پژوهش به منظور افزایش دقت مدل‌سازی و پیش‌بینی

تغییرات کاربری اراضی، از بررسی تطبیقی دو مدل کلو-اس[1] و مُلند[2] استفاده شد. مدل تبدیل کاربری زمین و اثرات آن در سطح منطقه‌ای کوچک، یک مدل پویا با ویژگی‌های چند مقیاسه بر اساس تئوری سیستم است. مدل کلو-اس در مقایسه با سایر مدل‌های تغییرات کاربری زمین، عوامل طبیعی، اجتماعی-اقتصادی، توزیع فضایی و غیر فضایی را نیز شامل می‌گردد که این مدل را به یک مدل جامع‌تر، بازتر و گسترده‌تر تبدیل کرده است. مدل نظارت بر الگوهای پویایی کاربری و پوشش زمین (مُلند) نیز از اطلاعات اجتماعی- اقتصادی مانند جمعیت و اشتغال، جهت محاسبه‌ی میزان تقاضای زمین استفاده می-کند و این تقاضا را با استفاده از یک زیر مدل مبتنی بر آتوماتای سلولی[3] و با در نظر گرفتن ویژگی‌های طبیعی و عوامل مدیریتی موجود در منطقه، به سطح فضایی تخصیص می‌دهد. به طور کلی، الگوهای ارائه شده توسط مدل مُلند جهت شبیه سازی، نسبت به سایر مدل‌ها از جمله اسلوس[4]، بسیار دقیق‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر هستند (Garcia et al, 2012: 298). ترکیب دو مدل کلو-اس و مُلند می‌تواند روش بسیار موثری برای الگوسازی تغییرات مکانی-زمانی کاربری اراضی باشد و دارای دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌های قدیمی مانند اسلوس هستند (Garcia et al, 2012). بنابراین، ترکیب این دو مدل می‌تواند نتایج بهتری نسبت به استفاده جداگانه از آن‌ها داشته باشد که نوآوری پژوهش حاضر است. منطقه شهری سنندج بویژه طی چند دهه اخیر، شاهد تغییرات گسترده کاربری اراضی بوده و در حال حاضر به یکی از چالش‌های عمده فراروی آن تبدیل شده است.از اینرو، هدف کلی این پژوهش، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در سال-های آتی با استفاده از دو مدل کلو-اس و مُلند است و اهداف فرعی شامل موارد زیر است :

* شناسایی عوامل موثر بر تغییرات کاربری اراضی منطقه شهری سنندج؛
* بررسی تغییرات کاربری اراضی محدوده مطالعاتی طی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۱۰ و
* شناسایی محدوده‌های مکانی دارای بیشترین پتانسیل تغییر کاربری زمین.

۲- پیشینه تحقیق

مطالعات گسترده‌ای در خصوص مدل‌سازی الگوهای آتی کاربری اراضی در جهان انجام گرفته است. لی و سانگ[5] (۲۰۲۰) به بررسی الگوی تکامل فضایی سکونتگاه‌های روستایی در منطقه جیژو چین طی سال‌های ۱۹۶۲–۲۰۳۰ پرداخته‌اند. در این پژوهش، از داده‌های سنجش از دور ماهواره نظامی کِی‌هول برای شناسایی روند گسترش سکونتگاه‌های منطقه جیژو چین از سال ۱۹۶۲ تاکنون استفاده شده است. همچنین با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف توسعه، مدل کُلو-اس برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی روندهای تکاملی سکونتگاه‌های روستایی تا سال ۲۰۳۰ بکار گرفته شده است. نتایج تحقیق نشان می-دهد که بین سال‌های ۱۹۶۲ تا ۱۹۸۰، تعداد سکونتگاه‌های روستایی کاهش یافته اما طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵، تعداد این سکونتگاه‌ها به شدت روند افزایشی داشته است و به صورت نامنظم رشد پیدا کرده-اند. روند تکاملی سکونتگاه‌های روستایی بر اساس سناریوهای مختلف توسعه، متفاوت است. در سناریوی نوع جدید شهرنشینی، پیش بینی می‌گردد که مساحت سکونتگاه‌های روستایی که نزدیک شهر قرار دارند، به میزان ۲,۲۳ درصد کاهش یابد و به نواحی ساخته شده و زمین‌های شهری تبدیل شوند. اما در سناریو توسعه گردشگری، برآورد می‌شود که میزان سکونتگاه‌های روستایی که گردشگری تاثیری زیادی بر آن‌ها داشته است، به میزان ۷,۸۹ درصد افزایش یابند. هانگ[6] و دیگران (۲۰۱۹) در پژوهشی به تعیین محدوده‌های رشد شهری با استفاده از مدل کلو-اس و شبیه‌سازی الگوی فضایی کاربری اراضی بر اساس مدل کلو-اس و ارزیابی توسعه پایدار شهری پرداخته‌اند. مزیت اصلی این روش در ترکیب ابتکاری و توازن موثر نیازهای دوگانه دولت مرکزی در حفاظت از زمین‌های قابل کشت و توسعه فشرده شهری در کشوری که به سرعت در حال شهرنشینی است، عنوان شده است. نتایج نشان می‌دهد که گسترش شهری و تمرکز مزارع در یک ناحیه، دو ویژگی عمده تغییرات آتی کاربری اراضی در کلانشهر شنیانگ واقع در شمال‌شرقی چین است و طبق نتایج مدل‌سازی، رشد چشمگیر اراضی شهری عمدتا در نواحی مرکزی شهر خصوصا بخش‌های شمال شرقی و جنوب غربی اتفاق افتاده است. در پژوهشی دیگر، روی ژوو[7] و همکارانش در سال ۲۰۱۶ در مقاله‌ای تحت عنوان «تعیین محدوده-های رشد شهری با استفاده از مدل تغییر کاربری زمین کلو-اس، مورد مطالعه: شهرک خینژوانگ، شهر چانگشو، چین»، یک روش جدید برای ایجاد محدوده گسترش شهر بر اساس مدل تغییر کاربری کلو-اس پیشنهاد داده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که دقت شبیه‌سازی رشد شهری بر اساس مدل تغییر کاربری زمین کلو-اس زیاد است. گسترش ساختمان‌سازی و کاهش شالیزارها روند اصلی تغییر کاربری زمین را نشان می‌دهند و بخش عمده‌ای از زمین‌های قابل کشت و محیط طبیعی در طی سال‌های ۲۰۰۹–۲۰۲۰ به ساختمان تبدیل شده-اند. در توزیع فضایی بین محدوده‌های رشد شهری شبیه‌سازی شده بر اساس مدل کلو-اس و محدوده‌های رشد شهری برنامه‌ریزی شده بر اساس روش‌های مرسوم و قبلی، اختلاف چشمگیری مشاهده می‌گردد. بنابراین این روش به عنوان یک ابزار مفید در برنامه‌ریزی برای تعیین محدوده گسترش شهری در شهرهای چین پیشنهاد می‌گردد.

وان دِ ورد[8] و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی تحت عنوان "طرح الگوهای پیشنهادی رشد شهری: توسعه و کاربرد یک چارچوب کالیبراسیون با کمک سنجش از دور برای منطقه شهری دوبلین"، از آنجایی که داده‌های کاربری زمین اغلب به آسانی یا همیشه در دسترس نیستند، یک چارچوب کالیبراسیون دو مرحله‌ای را ارائه می-دهند که نقشه‌های کاربری اراضی موجود و نقشه‌های مستخرج از سنجش از دور محدوده شهری را شامل می‌شوند. الگوهای رشد شهری که برای منطقه دوبلین توسط نقشه‌های مبتنی بر سنجش از دور ارائه می‌شوند، با استفاده از مدل مُلند با رشد شبیه‌سازی شده مقایسه شدند و سپس از مدل کالیبره شده برای پیش‌بینی رشد شهری در آینده با توجه به چهار سناریوی برنامه‌ریزی شهری که برای ارزیابی استراتژیک زیست‌محیطی منطقه بزرگ دوبلین تعریف شده است، استفاده گردید.

[1] CLUE-S (The Conversion of Land Use and its Effects modeling framework)
[2] MOLAND (Monitoring Land Use/Cover Dynamics)
[3] CA (Cellular Automata)
[4] SLEUTH
[5] Li & Song
[6] Huang
[7] Zhou
[8] Van de Voorde

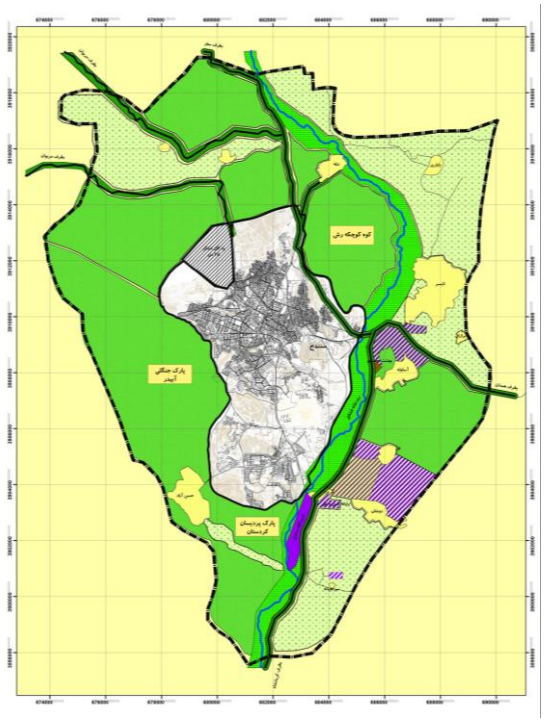
محمدی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی تحت عنوان «مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان رامیان در استان گلستان»، تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲را با استفاده از تکنیک سنجش از دور مشخص کردند. آن‌ها تقاضای کاربری برای سال‌های آینده براساس برون‌یابی تغییرات گذشته کاربری اراضی را محاسبه و با استفاده از رگرسیون لجیستیک نقش عوامل مؤثر بر کاربری اراضی را بررسی کردند. در نهایت الگوی کاربری اراضی در رامیان برای سال ۲۰۳۰ براساس شبیه‌سازی کلو-اس نقشه‌های واقعی کاربری سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۲ با استفاده از تخصیص مکانی مدل گردید. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد مهمترین تغییرات کاربری در شهرستان رامیان تبدیل جنگل‌ها و مراتع به زمین‌های کشاورزی و مسکونی بوده است. در ارتباط با مدل مُلند نیز با توجه به دقت بالای آن در مدل-سازی، مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است. منطقه شهری سنندج در دهه‌های اخیر شاهد تغییرات بسیار زیادی در میزان و نوع کاربری-های شهری بوده است. پورمحمدی و عبدی (۱۳۹۷)، به بررسی وضعیت کاربری اراضی مادرشهر سنندج پرداختند و نتایج تحقیق نشان می‌دهد که تمام اراضی خالی و سطح گورستان شهر، جذب خدمات شهری و فضای سبز شهری گردیده است و شهر مجال زیادی برای توسعه افقی و بدنه‌ای در سال‌های آینده نخواهد داشت و در سال‌های پس از ۱۴۰۰ برای این شهر می‌بایست توسعه منفصل پیش‌بینی شود. قادرمزی (۱۳۹۰) در پژوهشی به موضوع گسترش فضایی یازده روستای پیرامونی شهر سنندج با استفاده از مطالعه اسناد و تکمیل پرسشنامه پرداخته است. نتایج این تحقیق نشان از سطح بالای تغییرات در کاربری اراضی روستاهای مورد مطالعه دارد. به گونه‌ای که طی دوره زمانی ۱۳۸۷-۱۳۵۵ به طور متوسط سالیانه ۱۰۴ هکتار و درمجموع ۳۳۱۹ هکتار از اراضی زراعی، باغی و مراتع این روستاها تبدیل به کاربری‌های دیگر شده‌اند.

۳- روش تحقیق

در پژوهش حاضر از روش‌های تاریخی، توصیفی و تطبیقی استفاده شده است. گردآوری اطلاعات از طریق بررسی اسناد سیاستگذاری، مصاحبه با مقامات محلی، ساکنین و مشاهدات میدانی به انجام رسیده است. برای تعیین عوامل موثر بر تغییرات کاربری اراضی، از بررسی اسناد و مصاحبه با متخصصین و متولیان امر استفاده شده است. همچنین از روش رگرسیون لجستیک در محیط نرم‌افزار SPSS 16.0 نیز برای تعیین روابط میان متغیرهای کاربری اراضی و عوامل موثر بر آن بهره گرفته شده است. در این پژوهش برای شبیه‌سازی الگوی آتی تغییرات کاربری اراضی منطقه شهری سنندج در افق ۱۴۱۰ از نتایج مدل کلو-اس (داینا-کلو[1])، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی[2] و مدل مُلند (ژئونامیکا[3]) استفاده شده است. تمامی فایل‌ها جهت ورود به نرم‌افزار داینا-کلو و ژئونامیکا ابتدا به صورت فایل اسکی[4] ذخیره شده-اند. پژوهش حاضر در چندین مرحله به انجام رسیده است. ابتدا به بیان مساله و چیستی و چرایی وقوع تغییرات کاربری اراضی پرداخته می-شود. در مرحله بعدی چارچوب مدلسازی کلو-اس مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس به بررسی وضعیت موجود کاربری اراضی منطقه شهری سنندج پرداخته می‌شود. عوامل موثر بر تغییرات کاربری اراضی شناسایی شده و داده‌ها و اطلاعات مربوط به آن‌ها جمع‌آوری می‌گردند. سپس به منظور بالا بردن دقت مدل‌سازی و تدقیق نتایج آن از مدل مُلند نیز برای شبیه‌سازی الگوی آتی تغییرات کاربری اراضی محدوده مطالعاتی در افق ۱۴۱۰ استفاده گردید. تمامی اطلاعات و نقشه‌ها جهت آماده‌سازی برای مدل، ابتدا به فایل رستری و سپس اسکی تبدیل گردیدند. در نهایت نیز با توجه به نتایج مدل، الگوی آتی تغییرات کاربری اراضی محدوده مطالعاتی شبیه‌سازی می‌گردد.

- **محدوده مورد مطالعه**

شهر سنندج با موقعیت جغرافیایی ۴۶ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی از استوا در غرب ایران قرار گرفته است. جمعیت این شهر، بر پایه سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، برابر با ۴۱۲۷۶۷ نفر است. شهر سنندج به عنوان مرکز شهرستان و استان کردستان، جزو بزرگترین شهرهای استان بوده و از لحاظ مساحت و جمعیت، گسترش چشم گیری را تجربه کرده است. برخورد شهر با زمین‌های کشاورزی به طور مستقیم با ادغام روستاها به شهر و در برخی موارد در قالب سکونتگاه‌های غیررسمی و به صورت غیرمستقیم با تغییر کاربری اراضی کشاورزی به شهری به ویژه در تپه-های اطراف شهر است. در نتیجه، شهر سنندج برای توسعه فیزیکی خود همانند اکثر شهرها با مسائل و مشکلاتی روبه رو شده است. مورد مطالعه، منطقه شهری سنندج است که مساحتی بالغ بر ۲۲۷ کیلومترمربع را دارا می‌باشد.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

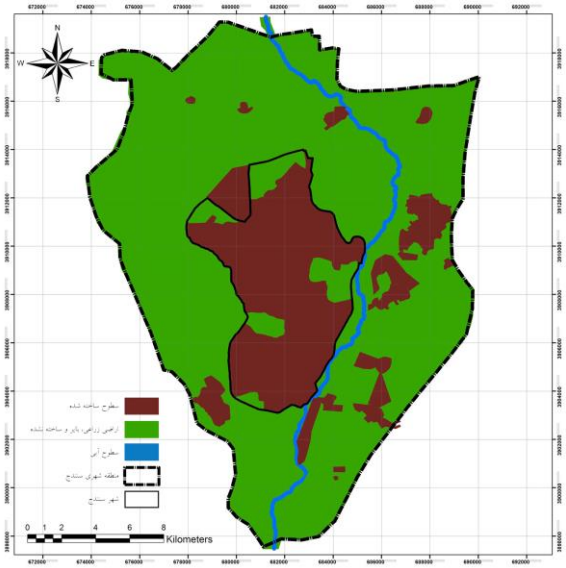
٤- یافته‌های تحقیق

- **وضعیت موجود کاربری اراضی محدوده مطالعاتی**

بر اساس آخرین طرح جامع شهر سنندج، مساحت محدوده شهر سنندج بالغ بر ۴۵,۷۰ کیلومترمربع می‌باشد که قسمت عمده آن را کاربری‌های

[1] Dyna-CLUE
[2] GIS
[3] GEONAMICA
[4] ASCII

مسکونی به خود اختصاص داده‌اند. منطقه شهری سنندج نیز طبق این مطالعه، مساحتی حدود ۲۷۷٫۳ کیلومترمربع را دارا می‌باشد که تقریبا ۶ برابر مساحت محدوده شهر سنندج است. قسمت عمده آن را تپه‌ها و پارک‌های جنگلی از قبیل کوه آبیدر، کوچه کوچکه‌رش و ... تشکیل می‌دهند و فرودگاه سنندج و پادگان لشکر نیز، جزو موانع اصلی در رشد شهر سنندج محسوب می‌گردند. یکی از چالش‌هایی که این منطقه با آن روبروست، رشد روزافزون سکونتگاه‌های حاشیه‌ای در اطراف سنندج از



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه؛ منبع: نگارندگان.

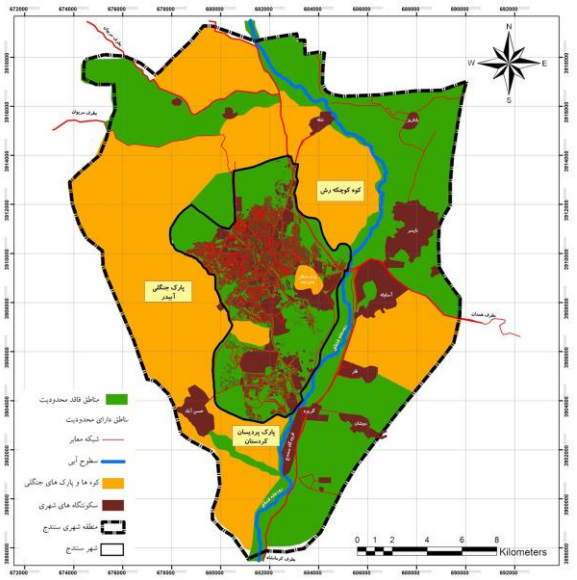
کاربری‌های ساخته شده به کلیه سطوح ساخته شده و شبکه معابر موجود اطلاق می‌گردد. منظور از اراضی زراعی، بایر و ساخته نشده هم سطوحی است که مورد تغییر کاربری اراضی واقع نشده و ماهیت اصلی آن حفظ شده است. دسته سوم از کاربری‌های بررسی شده، سطوح آبی می‌باشند که مصداق اصلی آن، رودخانه قشلاق است. میزان مساحت این کاربری برای سال‌های آتی ثابت در نظر گرفته شده است و دلیل آن عدم امکان تبدیل آن به سایر کاربری‌ها می‌باشد.

جدول ۱. انواع کاربری اراضی مورد استفاده در مدل مورد مطالعه

کد کاربری	نوع کاربری	مساحت (هکتار)	درصد
۱	کاربری‌های ساخته شده	۵۵۱۴	۲۴٫۳
۲	اراضی زراعی، بایر و ساخته نشده (درختکاری و جنگلکاری، حریم‌های سبز و میانه سبز معابر، باغ و اراضی کشاورزی، تپه‌ها و پارک‌های جنگلی)	۱۷۱۹۶	۷۵٫۶
۳	سطوح آبی	۲۳	۰٫۱
جمع		۲۲۷۳۳	۱۰۰

بخش‌هایی از محدوده مطالعاتی وجود دارند که به دلایل مختلف از شبیه‌سازی خارج می‌شوند. معابر، سطوح آبی، کوه‌ها، تپه‌ها و پارک‌های جنگلی از جمله این محدوده‌ها می‌باشند. در تحلیل بر مبنای رسترها، این سلول‌ها ارزش عددی ۹۹۹۸- را به خود می‌گیرند که منظور از آن قبیل «نایسر»، «حسن‌آباد»، «ننله»، «آساوله» و «گریزه» است و تهدیدی برای تبدیل اراضی زراعی به سایر سطوح می‌باشند. در این مطالعه سه دسته از کاربری اراضی شامل سطوح ساخته شده، اراضی زراعی، بایر و ساخته نشده و سطوح آبی در نظر گرفته شده است که مبنای شبیه‌سازی الگوهای آتی کاربری اراضی قرار می‌گیرند. اراضی زراعی، بایر و ساخته نشده با ۷۵٫۶ درصد از کل مساحت، بیشترین بخش از محدوده مطالعاتی را به خود اختصاص داده است (شکل ۲).

عدم محاسبه این سلول‌ها در مکانیابی کاربری‌ها و شکل‌گیری الگوی آتی کاربری اراضی می‌باشد.



شکل ۳. نقشه مناطق دارای محدودیت تبدیل به کاربری‌های دیگر؛ منبع: نگارندگان.

• بررسی عوامل موثر با استفاده از تحلیل رگرسیون لجستیک

مرور متون نظری مرتبط با موضوع پژوهش نشان می‌دهد که در مجموع، عوامل فاصله از شبکه معابر، فاصله از مراکز شهری، تراکم جمعیتی، منابع آب، مسکن اجتماعی (Almedia et al, 2005)، فاصله از خطوط راه‌آهن، فاصله از فرودگاه، شیب، ارتفاع، منطقه‌بندی (He et al, 2008)، زمین‌های در معرض خطر، نوع خاک و ارزش زمین‌های کشاورزی (Deadman et al, 1993)، عوامل محیطی و مناسبت شهری (Liu et al, 2008)؛ عوامل تأثیر گذار در توسعه و گسترش شهری محسوب می‌شوند. عوامل مختلفی بر تغییرات کاربری اراضی موثر هستند که از میان آن‌ها می‌توان به عوامل مختلف محیطی، اجتماعی، اقتصادی و مدیریتی اشاره نمود.

جدول ۲: عوامل موثر در تغییرات کاربری اراضی منطقه شهری سنندج

کد عامل	عوامل موثر بر تغییر کاربری اراضی		علامت اختصاری	ماخذ
۱	جنس زمین		Geo	(اصغری زمانی و همکاران، ۱۳۸۹)
۲	شیب زمین		SL	(بابایی اقدم و همکاران، ۱۳۹۰)، (هان و همکاران، ۲۰۱۵)، (تاج‌بخش و همکاران، ۲۰۱۶)، (رحیمی، ۲۰۱۶)
۳	ارتفاع زمین		Alt	(بابایی اقدم و همکاران، ۱۳۹۰)
۴	قیمت زمین		L. p	(اصغری زمانی و همکاران، ۱۳۸۹)
۵	تراکم جمعیتی		Den	(بابایی اقدم و همکاران، ۱۳۹۰)
۶	فاصله از مرکز شهر		Dis. c	(بابایی اقدم و همکاران، ۱۳۹۰)، (هان و همکاران، ۲۰۱۵)، (تاج‌بخش و همکاران، ۲۰۱۶)
۷	فاصله از راه‌های اصلی		Dis. w	(بابایی اقدم و همکاران، ۱۳۹۰)، (هان و همکاران، ۲۰۱۵)، (تاج‌بخش و همکاران، ۲۰۱۶)، (رحیمی، ۲۰۱۶)
۸	فاصله از کاربری	تاسیسات و تجهیزات شهری	Dis. f	(شهابیان و همکاران، ۱۳۹۳)، (رحیمی، ۲۰۱۶)
۹		کاربری آموزشی	Dis. e	
۱۰		کاربری درمانی	Dis. t	
۱۱	فاصله از گسل		Dis. l	مستخرج از بررسی و تطبیق عکس‌های هوایی محدوده در دوره‌های زمانی مختلف
۱۲	دسترسی به مراکز اشتغال (صنعتی)		Acc. i	
۱۳	دسترسی به مراکز تجاری		Acc. c	

در بخش پارامترهای اصلی مدل دو نوع پارامتر را شاهدیم: نخست، انعطاف پذیری تبدیل و دوم، نتایج تغییر کاربری زمین. پارامتر اول بستگی به بازگشت‌پذیری تغییر کاربری اراضی دارد. آن نوع از کاربری اراضی که با سرمایه‌گذاری بسیار زیادی ایجاد شده است، به آسانی به کاربری‌های دیگر تبدیل نخواهد شد. دومین پارامتر، ماتریس تبدیل می‌باشد و امکان تبدیل هر یک از کاربری‌ها به کاربری‌های دیگر را بررسی می‌کند. عدد صفر به معنای عدم امکان تغییر و عدد یک نیز به معنای امکان تغییر می‌باشد (جدول ۳). در این مطالعه فرض بر آن است که امکان تبدیل کاربری‌های زراعی، بایر و ساخته نشده به کاربری‌های ساخته شده وجود دارد اما بالعکس آن مقدور نمی‌باشد.

جدول ۳. ماتریس تغییرات کاربری زمین در مطالعه موردی (منبع: Verburg, 2010)

کاربری آتی ← / کاربری موجود ↓	شهری	زراعی و بایر	سطوح آبی
شهری	۱	۰	۰
زراعی و بایر	۱	۱	۰
سطوح آبی	۰	۰	۱

گام بعدی این تحقیق، انجام تحلیل آماری متغیرهای وابسته و مستقل تحقیق می‌باشد که با استفاده از رگرسیون لجستیک این کار انجام گردیده است. ورودی مدل شامل عواملی است که باعث تغییرات کاربری اراضی در سطح محدوده مطالعاتی می‌گردند. جدول ۴ میزان همبستگی میان متغیرها و گونه‌های کاربری اراضی را در سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد.

جدول ٤: نتایج رگرسیون لجستیک

کد عامل	عوامل موثر بر تغییر کاربری اراضی	کاربری‌های شهری	کاربری‌های زراعی و بایر
–	مراحل رگرسیون	۹	۹
۱	جنس زمین	-۰/۳۵۳	۰/۲۰۵
۲	شیب زمین	-۰/۱۹۵	۰/۳۱۵
۳	ارتفاع زمین	-۰/۲۰۵	۰/۰۱۱

۴	قیمت زمین		۰/۱	−۰/۱۸۵
۵	تراکم جمعیتی		۰/۵۱۴	−۰/۴۲۳
۶	فاصله از مرکز شهر		۰/۲۰۷	−۰/۳۶۵
۷	فاصله از راه‌های اصلی		۰/۰۰۶	۰/۰۰۵
۸	فاصله از کاربری	تاسیسات و تجهیزات شهری	۰/۲۳۵	−۰/۱۲۳
۹		کاربری آموزشی	۰/۰۱۲	−۰/۰۰۳
۱۰		کاربری درمانی	۰/۰۰۹	−۰/۱۵۶
۱۱	فاصله از گسل		−۰/۵۲۶	۰/۰۵۲
۱۲	دسترسی به مراکز اشتغال (صنعتی)		۰/۴۹۵	−۰/۰۱۲
۱۳	دسترسی به مراکز تجاری		۰/۳۵۹	−۰/۲۵۶
−	Constant		۱/۳۸۶	−۰/۲۳۵

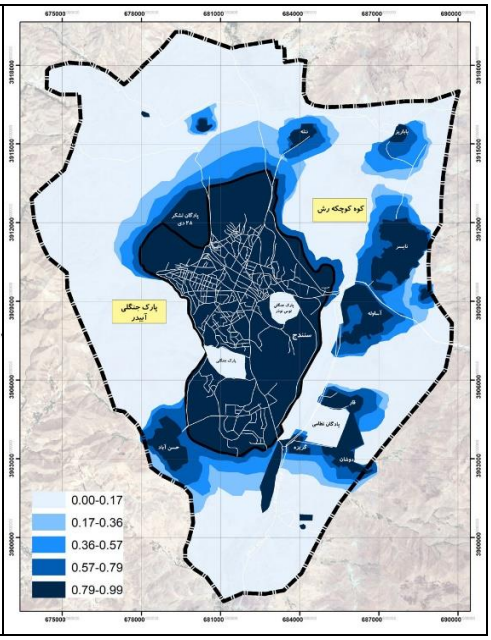
الف) کاربری‌های ساخته شده (معادله ۱)

$$P(Urban) = ۱,۳۸۶ - ۰,۳۵۳[Geo] - ۰,۱۹۵[SL] - ۰,۲۰۵[Alt] + ۰,۱[L.p] + ۰,۵۱۴[Den] + ۰,۲۰۷[Dis.c] + ۰,۰۰۶[Dis.w] + ۰,۲۳۵[Dis.f] + ۰,۰۱۲[Dis.e] + ۰,۰۰۹[Dis.t] - ۰,۵۲۶[Dis.l] + ۰,۴۹۵[Acc.i] + ۰,۳۵۹[Acc.c]$$

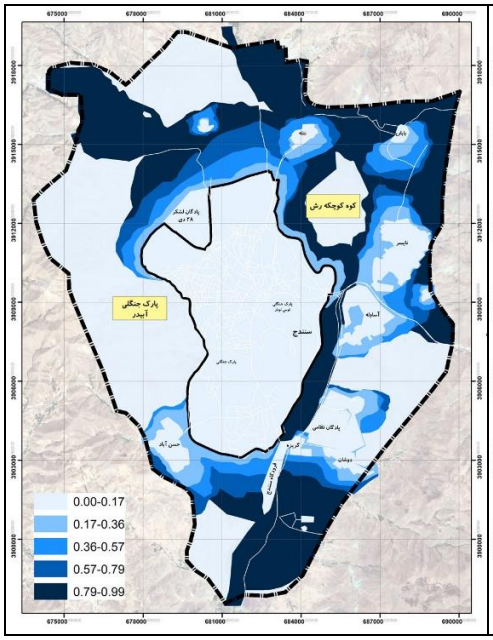
ب) کاربری‌های زراعی و بایر (معادله ۲)

$$P(Agriculture) = -۰,۲۳۵ + ۰,۲۰۵[Geo] + ۰,۳۱۵[SL] + ۰,۰۱۱[Alt] - ۰,۱۸۵[L.p] - ۰,۴۲۳[Den] - ۰,۳۶۵[Dis.c] + ۰,۰۰۵[Dis.w] - ۰,۱۲۳[Dis.f] - ۰,۰۰۳[Dis.e] - ۰,۱۵۶[Dis.t] + ۰,۰۵۲[Dis.l] - ۰,۰۱۲[Acc.i] - ۰,۲۵۶[Acc.c]$$

علامت مثبت بیانگر احتمال افزایش مقادیر متغیّرهای مستقل و علامت منفی نشانگر احتمال کاهش مقادیر آن‌ها می‌باشد. معادله ۱، ضرایب متغیرهای مستقل تغییرات کاربری اراضی در مدل رگرسیون لجستیک را نشان می‌دهد. متغیرهای مانند تراکم جمعیتی، فاصله از مرکز شهر، فاصله از راه‌های اصلی و...، عوامل تعیین کننده مثبت در افزایش کاربری‌های ساخته شده می‌باشند. عواملی نیز نظیر ارتفاع، شیب زمین، جنس زمین و فاصله از گسل، مانع از تبدیل آسان اراضی زراعی و بکر به سایر کاربری‌ها می‌شود. معادله ۲ نیز ضرایب متغیرها در ارتباط با اراضی زراعی و بایر را نشان می‌دهد. متغیرهایی نیز همانند قیمت زمین، تراکم جمعیتی، فاصله از مرکز شهر، فاصله از کاربری‌های تاسیسات و تجهیزات شهری، آموزشی و درمانی و دسترسی به مراکز اشتغال و مراکز تجاری عواملی هستند که تبدیل اراضی زراعی و بایر را به سطوح ساخته شده تسهیل می‌سازند.در این پژوهش، فرض بر آن است که محدوده مطالعاتی تا افق ۱۴۱۰ ثابت مانده است و تغییرات کاربری اراضی در داخل این محدوده صورت می‌گیرد. با استفاده از مدل کلو-اس و بر اساس نتایج حاصل از رگرسیون لجستیک، می‌توان نقشه‌های احتمال وقوع کاربری‌های ساخته شده و کاربری‌های زراعی و بایر را ترسیم نمود (اشکال ۴و۵).



شکل ٤- احتمال وقوع کاربری‌های ساخته شده در منطقه شهری سنندج تا سال ۱٤۱۰؛ منبع: نگارندگان.



شکل ٥- احتمال وقوع کاربری‌های زراعی و بایر در منطقه شهری سنندج تا سال ۱٤۱۰؛ منبع: نگارندگان.

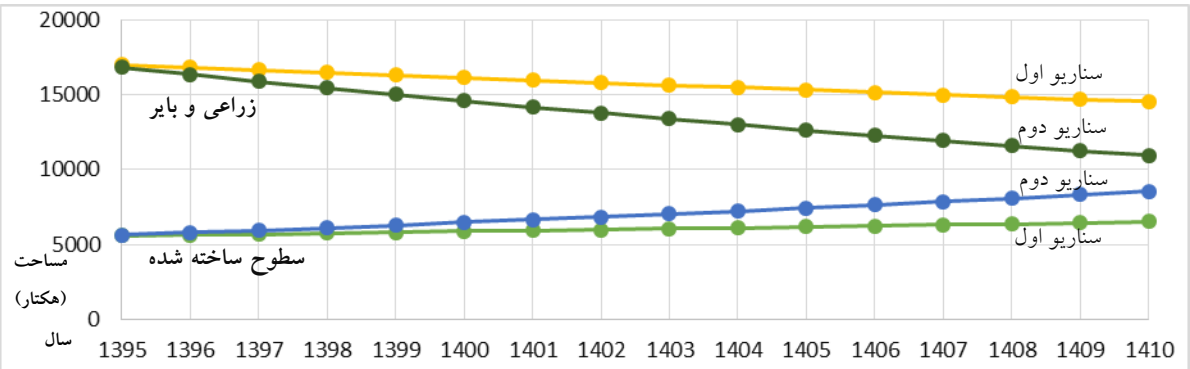
- **سناریوی شبیه‌سازی و تفاسیر آن‌ها**

الف) سناریوی تغییرات آهسته: در این سناریو فرض بر این است که وضعیت موجود کاربری‌های اراضی با آهنگ آهسته‌تری دچار تغییر و تحول می‌باشند. سطوح ساخته شده در این سناریو با نرخ افزایشی ۱,۰۴ درصد در حال افزایش است و اراضی زراعی و بایر نیز با روند معکوس در حال کاهش می‌باشند. بررسی نقشه حاصل از اجرای مدل برای سال ۱۴۱۰ بیانگر تاثیر بسیار مهم ۲ عامل فاصله از مرکز شهر و فاصله از راههای اصلی در تبدیل اراضی زراعی و بایر به کاربری‌های شهری در طی ۱۵ سال آتی می‌باشد.

ب) سناریوی تغییرات زیاد: در این سناریو، تغییرات کاربری اراضی با سرعت بیشتری اتفاق می‌افتد و فرض بر این است که فضاهای خالی و زراعی منطقه شهری سنندج با درجه بیشتری از تغییرات مواجه شوند. در این سناریو، کاربری‌های زراعی با نرخ ۲,۸۴ درصد با شدت بیشتری کاهش یافته و تفاوت محسوس این سناریو با سناریوی قبلی، در افزایش قابل توجه کاربری‌های ساخته شده در طیّ دوره پیش بینی می‌باشد.

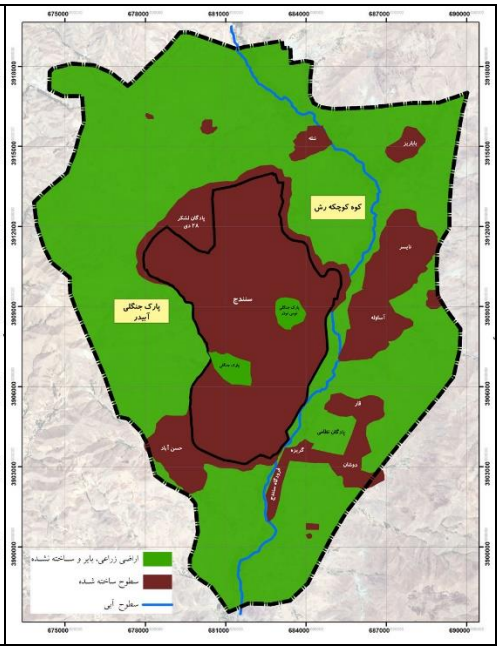
جدول ۵- سطوح کاربری‌های ۳گانه در سناریوی اول و دوم (ارقام به هکتار)

کاربری / سال	ساخته شده		زراعی و بایر		سطوح آبی
	سناریو اول	سناریو دوم	سناریو اول	سناریو دوم	
۱۳۹۵	۵۵۶۹	۵۶۲۴	۱۷۰۲۴	۱۶۸۵۳	۲۳
۱۳۹۶	۵۶۲۷	۵۷۸۳	۱۶۸۴۶	۱۶۳۷۴	۲۳
۱۳۹۷	۵۶۸۶	۵۹۴۸	۱۶۶۶۹	۱۵۹۰۹	۲۳
۱۳۹۸	۵۷۴۵	۶۱۱۷	۱۶۴۹۵	۱۵۴۵۷	۲۳
۱۳۹۹	۵۸۰۵	۶۲۹۰	۱۶۳۲۳	۱۵۰۱۸	۲۳
۱۴۰۰	۵۸۶۶	۶۴۶۹	۱۶۱۵۲	۱۴۵۹۲	۲۳
۱۴۰۱	۵۹۲۸	۶۶۵۳	۱۵۹۸۳	۱۴۱۷۷	۲۳
۱۴۰۲	۵۹۸۹	۶۸۴۲	۱۵۸۱۶	۱۳۷۷۵	۲۳
۱۴۰۳	۶۰۵۲	۷۰۳۶	۱۵۶۵۰	۱۳۳۸۴	۲۳
۱۴۰۴	۶۱۱۵	۷۲۳۶	۱۵۴۸۷	۱۳۰۰۳	۲۳
۱۴۰۵	۶۱۷۹	۷۴۴۱	۱۵۳۲۵	۱۲۶۳۴	۲۳
۱۴۰۶	۶۲۴۴	۷۶۵۳	۱۵۱۶۴	۱۲۲۷۵	۲۳
۱۴۰۷	۶۳۰۹	۷۸۷۰	۱۵۰۰۶	۱۱۹۲۷	۲۳
۱۴۰۸	۶۳۷۵	۸۰۹۳	۱۴۸۴۹	۱۱۵۸۸	۲۳
۱۴۰۹	۶۴۴۲	۸۳۲۳	۱۴۶۹۳	۱۱۲۵۹	۲۳
۱۴۱۰	۶۵۰۹	۸۵۶۰	۱۴۵۴۰	۱۰۹۳۹	۲۳

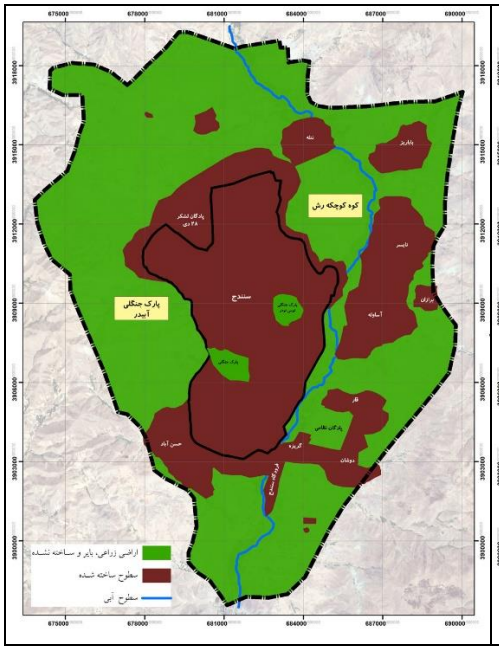


شکل ٦. تغییرات کاربری اراضی محدوده مطالعاتی طبق دو سناریوی تغییرات آهسته و زیاد

بررسی و مقایسه نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون لجستیک و مدلسازی الگوی آتی در این ۲ سناریو حاکی از آن است که در سناریو اول، کاربری‌های زراعی و بایر با نرخ کاهشی کمتر از یک درصد در طیّ دوره پیش‌بینی مواجه خواهند شد و این در حالی است که کاربری‌ها و سطوح ساخته شده، روند افزایشی خواهند داشت. دلیل توجیهی برای افزایش این کاربری‌ها، احتمال تداوم سرمایه گذاری‌ها در این بخش با سرعت هر چه بیشتر می‌باشد.



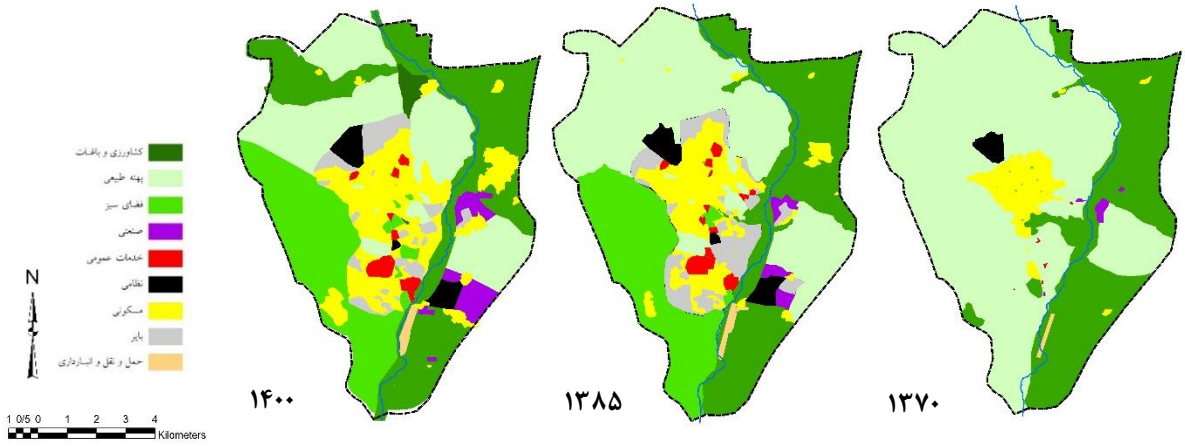
شکل ۷- نقشه کاربری اراضی منطقه شهری سنندج در سال ۱۴۱۰ (سناریوی اول)؛ منبع: نگارندگان.



شکل ۸- نقشه کاربری اراضی منطقه شهری سنندج در سال ۱۴۱۰ (سناریوی دوم)؛ منبع: نگارندگان.

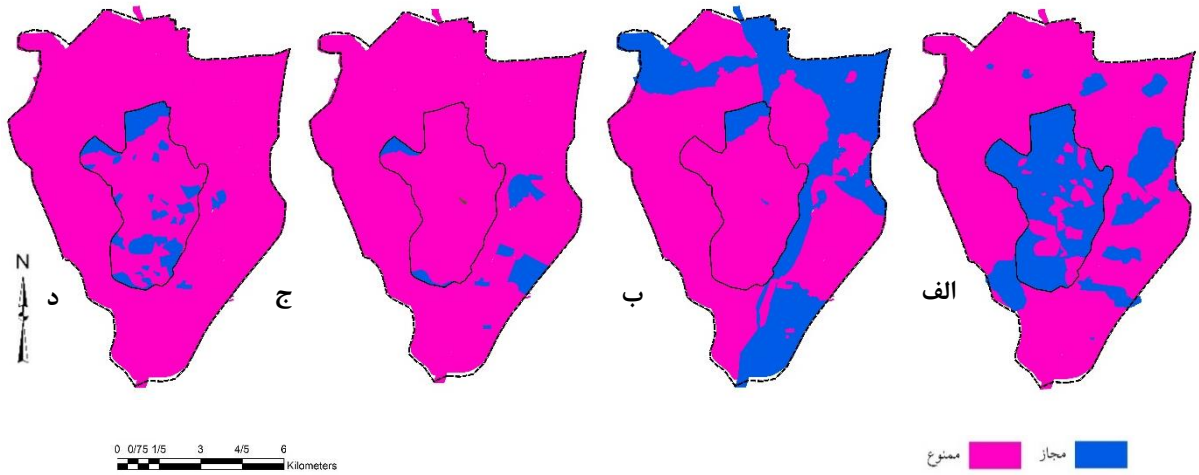
- **نتایج مدل‌سازی با استفاده از مدل مُلند**

برای آغاز فرآیند مدل‌سازی به وسیله مُلند، می‌بایست قبل از هر چیزی داده‌های جمع‌آوری شده برای ورود به مدل آماده‌سازی شوند. بنابراین باید داده‌ها را از فرمت اولیه‌ای که جمع‌آوری شده‌اند به فرمت مورد قبول مدل تبدیل کرد. ابتدا سه نقشه کاربری اراضی در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ نیاز است تا با استفاده از آن‌ها کلیه مراحل مدل‌سازی انجام گیرد. در شکل شماره ۹ وضعیت کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست نمایش داده شده‌اند.



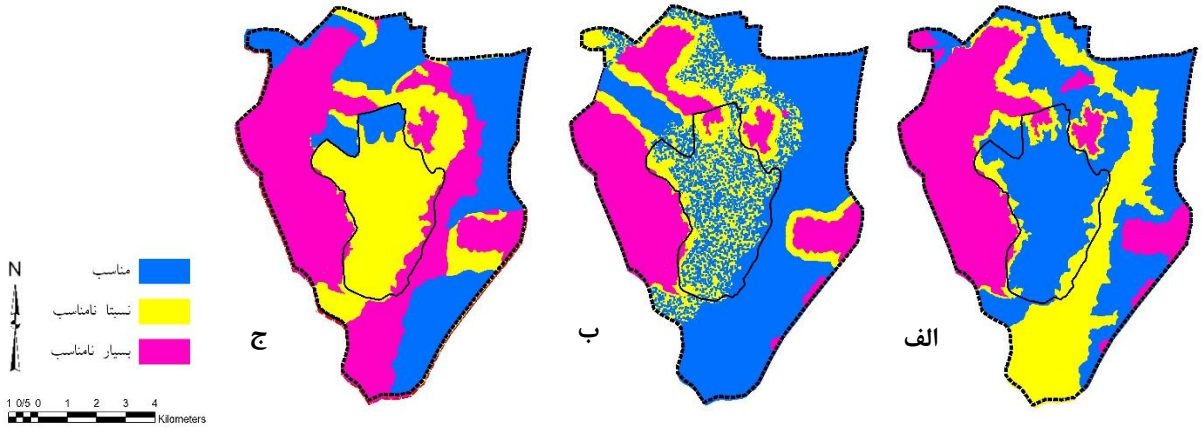
شکل ۹- نقشه‌های کاربری اراضی منطقه شهری سنندج؛ منبع: نگارندگان.

با داشتن نقشه‌های کاربری اراضی و اطلاعات جمعیتی و اشتغال منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰، سرانه کاربری زمین در این سال‌ها برای تمام کاربری‌ها محاسبه می‌گردد. با استفاده از سرانه‌های محاسبه شده و پیش‌بینی‌های انجام گرفته برای جمعیت و اشتغال، تقاضای کاربری زمین در افق ۱۴۱۰ به دست می‌آید. گام دوم در فرآیند مدل‌سازی، تهیه نقشه‌های منطقه بندی زمین می‌باشد. نقشه-های منطقه بندی (شکل شماره ۱۰)، وضعیت مجاز یا ممنوع بودن هر زمین را توسط هر کاربری با اعداد یک و صفر نشان می‌دهد.



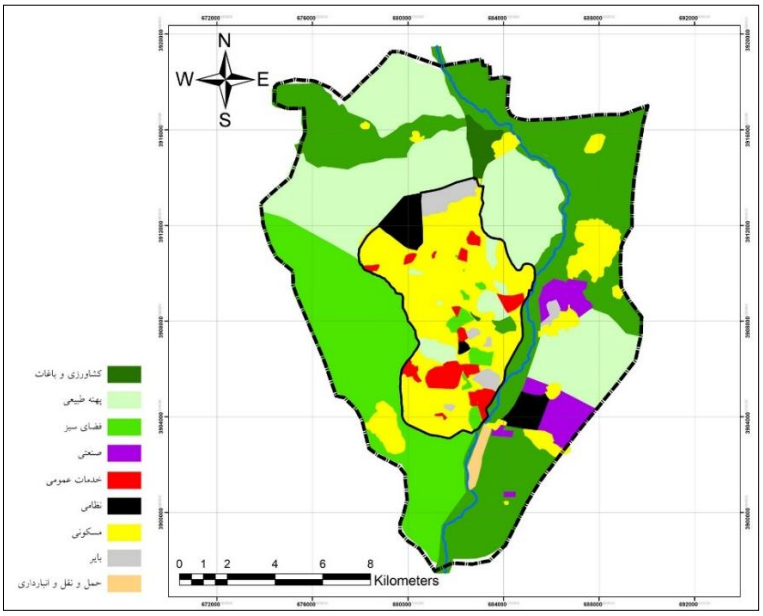
شکل ۱۰- نقشه‌های منطقه‌بندی زمین برای کاربری‌های الف) مسکونی، ب) کشاورزی، ج) صنعتی، د) خدماتی؛ منبع: نگارندگان.

یکی دیگر از گام‌های مدل‌سازی با مُلند، تهیه نقشه دسترسی است که وضعیت دسترسی به راه‌ها و مسیرها را نشان می‌دهد و با فرمت برداری به مدل معرفی می‌شوند. تهیه نقشه‌های تناسب کاربری، دیگر گام مدل‌سازی با مُلند است که با استفاده از شاخص‌هایی نظیر ارتفاع، شیب زمین، وضعیت نزدیکی به گسل‌ها، دوری از مسیل‌ها و حریم رودخانه‌ها، خاک مناسب و... ترسیم می‌شوند (شکل شماره ۱۱).



شکل ۱۱- نقشه‌های تناسب کاربری زمین برای کاربری‌های الف) مسکونی و خدماتی، ب) کشاورزی، ج) صنعتی؛ منبع: نگارندگان.

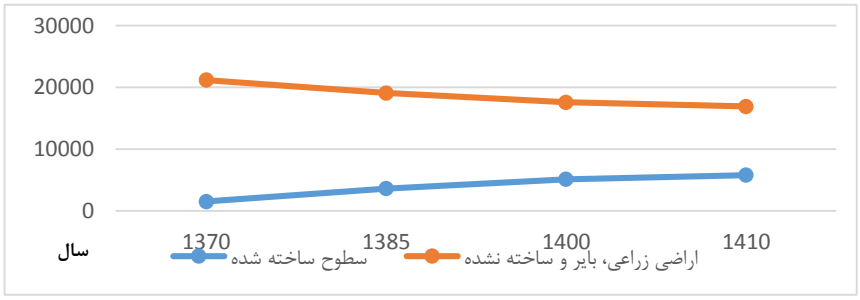
پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، منطقه‌بندی، دسترسی و تناسب کاربری زمین، و همچنین تبدیل آن‌ها به فرمت رستری در داخل محیط نرم‌افزار ArcGIS جهت ورود به نرم افزار مخصوص مدل مُلند آماده می‌شوند. با وارد کردن اطلاعات مربوط به پیش‌بینی تقاضای زمین و نقشه‌های منطقه‌بندی، تناسب و دسترسی به مدل و با تعریف قوانین انتقال آتوماتای سلولی، مدل آماده به کار می‌شود. در هر تکرار، وضعیت نقشه پتانسیل برای کلیه کاربری‌ها به روز می‌شود و مدل با مقایسه پتانسیل کاربری‌ها و انتخاب کاربری با بیشترین پتانسیل تغییر در هر سلول، کاربری آتی سلول مشخص می‌گردد.اجرای اولیه مدل با مبنا قرار دادن نقشه کاربری زمین در سال ۱۳۷۰ و با استفاده از داده‌های مورد نیاز برای تهیه نقشه کاربری زمین سال ۱۳۸۵ صورت می‌گیرد. پس از تهیه نقشه شبیه‌سازی شده کاربری زمین در سال ۱۳۸۵، فرآیند کالیبراسیون با مقایسه این نقشه با نقشه واقعی کاربری زمین در سال ۱۳۸۵ آغاز می‌گردد. در صورتیکه نقشه‌ها با همدیگر به میزان مناسبی همپوشانی نداشته باشند، قوانین مربوط به انتقال آتوماتای سلولی تغییر داده می‌شود تا جاییکه نقشه مدل‌سازی شده با نقشه واقعی بیشترین میزان همپوشانی را داشته باشد. این عملیات با تکرار آن با مبنا قرار دادن نقشه کاربری زمین در سال ۱۳۸۵ ادامه می‌یابد. در این مطالعه با تهیه نقشه‌های واقعی و شبیه‌سازی شده کاربری اراضی، مقادیر قبل و بعد از کالیبراسیون تفاوت بسیار جزئی با یکدیگر داشته‌اند و این نشانگر درصد بالای همپوشانی میان نقشه‌های واقعی و شبیه‌سازی شده است. در نتیجه می‌توان از مدل برای پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در سال ۱۴۱۰ استفاده کرد. برای انجام مدل‌سازی در این مرحله، از نقشه واقعی کاربری زمین در سال ۱۴۰۰ به عنوان نقشه مبنا استفاده گردید. با استفاده از مدل کالیبره شده، نقشه کاربری زمین در سال ۱۴۱۰ (افق مدل‌سازی) به صورت شکل شماره ۱۲ تهیه شده است.



شکل ۱۲- نقشه کاربری زمین منطقه شهری سنندج در سال ۱۴۱۰؛ منبع: نگارندگان.

از سال ۱۳۷۰ تا سال ۱۴۱۰ (افق مدل‌سازی)، تغییرات قابل توجهی در سطوح اشغال شده توسط کاربری‌های مختلف در منطقه شهری سنندج رخ داده است. این تغییرات که عموما برنامه ریزی شده نیستند، متاثر از ساختارهای اجتماعی- اقتصادی و عواملی مانند افزایش جمعیت و توسعه اقتصادی نامتوازن منجر به شکل‌گیری سکونتگاه-های حاشیه‌ای در اطراف شهر سنندج همانند نایسر، آساوله، قار، حسن آباد، ننله و... شده است. با توجه به پیش‌بینی‌های انجام شده برای تقاضای زمین مشخص می‌گردد که تقاضا برای کاربری‌های مسکونی، خدماتی و بطور کلی سطوح ساخته شده تا افق مدلسازی (سال ۱۴۱۰) همچنان در حال افزایش است و این تقاضا منجر به کاهش سطوح کشاورزی و تغییر کاربری آن‌ها شده است. مدل‌سازی الگوی آتی تغییرات کاربری اراضی منطقه شهری سنندج

در افق ۱۴۱۰ توسط دو مدل کلو-اس و مُلند، نتایج مشابهی را به همراه داشته و هر دو این مدل‌ها، سرعت بالای تغییرات کاربری اراضی کشاورزی و تبدیل آن‌ها به سطوح شهری و ساخته شده را تایید می‌کنند.



شکل ۱۳- نمودار تغییرات کاربری اراضی محدوده مطالعاتی طبق مدل مُلندنتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

کاربری اراضی نقش مهمی در موجودیت آب، خصوصیات اقلیمی، حفاظت خاک، میزان آلودگی محیط زیست و تولید رواناب دارد و توجه به آن امری ضروری است. افزایش رواناب از جمله اثرات مهم تغییر کاربری به ویژه تخریب منابع طبیعی و تبدیل به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی است (Brinkmann et al, 2012). تغییر خصوصیات خاک مانند کاهش نیتروژن، ظرفیت تبادل کاتیونی، فسفر قابل جذب و تخلخل از دیگر اثرات تغییرات کاربری و تخریب منابع طبیعی است (Gibreel et al, 2014). آگاهی از وضعیت کاربری اراضی در سال‌های آینده و در صورت امکان ارزیابی خسارات ناشی از تغییرات، نقش زیادی در مدیریت کاربری اراضی دارد. زمانی که کاربری تغییر می‌کند و خسارات آن نمایان می‌شود، کنترل و کاهش خسارات نیاز به هزینه‌های زیادی دارد. اما در صورتی که از پیش، شرایط شبیه‌سازی و خسارات احتمالی ارزیابی شود، کنترل شرایط آسان‌تر خواهد بود (محمدی و همکاران، ۱۵۳:۱۳۹۴). بدون تردید تخریب منابع طبیعی و تبدیل به مناطق مسکونی و سطوح ساخته شده در آینده‌ای نه چندان دور، منطقه شهری سنندج را در معرض بحران قرار داده و پیامدهایی از جمله افزایش سیلاب، فرسایش و رسوب، آلودگی‌های کشاورزی و حرکات توده‌ای زمین را به دنبال خواهد داشت. تغییرات کاربری اراضی منطقه شهری سنندج در دهه-های ۶۰ و ۷۰ و در پی افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی آغاز گردید و در دهه‌های اخیر به یکی از چالش‌های عمده فراروی مدیریت شهری تبدیل شده است. با توجه به نتایج، یکی از دلایل کاهش زمین‌های کشاورزی و بایر، آماده‌سازی منطقه برای افزایش کاربری‌های شهری بوده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که شاهد

روندی افزایشی در کاربری‌های شهری و سطوح ساخته شده و روندی کاهشی در کاربری‌های زراعی و بایر تا افق مدلسازی (سال ۱۴۱۰) خواهیم بود که می‌تواند حاکی از توسعهٔ شهری در منطقه باشد. در این پژوهش با استفاده از مدل کلو-اس و مُلند به مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی زراعی و بایر به سطوح ساخته شده منطقه شهری سنندج در افق ۱۴۱۰ پرداخته شد. همانطور که اشاره گردید در کنار مدل کلو- اس، یک مدل اقتصادی برای برآورد میزان تقاضای زمین بکار گرفته می‌شود که در پژوهش حاضر از مدل رگرسیون لجستیک در محیط SPSS استفاده گردید. همچنین از این مدل برای بررسی احتمال وقوع کاربری‌های ساخته شده و زراعی و بایر از طریق رابطه میان عوامل موثر بر تغییرات کاربری اراضی منطقه شهری سنندج استفاده شد. مدل مُلند نیز با بکارگیری اطلاعات نقشه‌های دسترسی، تناسب زمین و منطقه بندی، جهت شبیه‌سازی الگوی آتی تغییرات کاربری اراضی محدوده مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت. این مدل نسبت به دیگر مدل‌های تغییر کاربری همانند مدل اِسلوس، دقت بیشتری دارد و استفاده از آن در کنار مدل کلو- اس در این پژوهش توانسته نتایج دقیق‌تری را در اختیار بگذارد. طبق نتایج حاصل از مدل کلو-اس، بین سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۱۰ حدود ۲۴۸۴ هکتار از مساحت اراضی زراعی، بایر و ساخته نشده (شامل درختکاری و جنگلکاری، حریم‌های سبز و میانه سبز معابر، باغ و اراضی کشاورزی، تپه‌ها و پارک‌های جنگلی) در محدوده مطالعاتی کاهش پیدا کرده است، در حالیکه طبق سناریوی تغییرات زیاد، این مقدار حتی به حدود شش هزار هکتار نیز رسیده است. مهم‌ترین دلیل آن را می‌توان توسعه برنامه‌ریزی نشده بخصوص در اطراف شهر سنندج دانست. طبق نتایج حاصل از مدل‌سازی الگوی آتی تغییرات کاربری اراضی منطقه شهری سنندج در افق ۱۴۰۴ (شکل شماره ۸ و ۹)، تغییرات کاربری بیشتر در بخش‌های شرقی و شمالی محدوده مطالعاتی به وقوع خواهند پیوست زیرا در این بخش‌ها امکان بیشتری برای تبدیل کاربری اراضی وجود دارد. سکونتگاه‌های اطراف شهر سنندج بخصوص «نایسر»، «حسن-آباد»، «دوشان»، «قار»، «آساوله» و «ننله»، در دهه‌های اخیر رشد چشمگیری را تجربه‌کرده‌اند و بیشتر در معرض تغییرات کاربری اراضی قرار دارند. وجود اراضی کشاورزی در اطراف این سکونتگاه‌ها مزید بر علت شده و به دلیل تبدیل آسان آن به کاربری‌های دیگر، پتانسیل زیادی برای رشد و گسترش بیشتر این سکونتگاه‌ها وجود دارد. به طور کلی، سکونتگاه‌های با منشأ روستایی که در نزدیکی شهرها قرار دارند، امکان تغییر کاربری اراضی مجاور آن‌ها بیشتر است. نتایج پیش‌بینی با استفاده از مدل مُلند نشان داد که بین سال-های ۱۳۷۰ تا ۱۴۱۰، حدود ۲۰ درصد از مساحت اراضی بایر و ساخته نشده (شامل کشاورزی و باغات، پهنه طبیعی، فضای سبز و بایر) کاهش پیدا کرده و در مقابل، سطوح شهری به میزان ۳٫۸ برابر افزایش یافته است. بدین معنی که تقاضا برای کاربری‌های مسکونی، خدماتی و بطور کلی سطوح ساخته شده تا افق مدلسازی (سال ۱۴۱۰) همچنان در حال افزایش است و این تقاضا منجر به کاهش سطوح کشاورزی و تغییر کاربری آن‌ها شده است. به طور کلی با استفاده از نتایج دو مدل بررسی شده، می‌توان مدیران و برنامه‌ریزان را از شرایط آینده منطقه آگاه ساخت تا در برنامه‌ریزی‌های خود مشکل تغییر کاربری را لحاظ کنند. از جمله پیشنهادهای اصولی که می‌توانند راهنمای برنامه‌ریزان شهری در ارتباط با موضوع رشد شهری سنندج باشند، می‌توان به مواردی از قبیل کنترل رشد جمعیت شهری و جلوگیری از مهاجرت‌های بی‌رویه روستاییان به داخل شهر، استفاده از اراضی بایر و رهاشده داخل شهر سنندج جهت مصارف شهری، استفاده از الگوی رشد فشرده شهری و جلوگیری از پراکنده‌رویی، تامین امکانات زندگی ساکنان سکونتگاه‌های حاشیه‌نشین اطراف سنندج جهت ممانعت از مهاجرت آن‌ها به داخل شهر، بازنگری در ضوابط و مقررات جهت ممانعت از امکان تغییرات کاربری اراضی بویژه در نواحی اطراف شهر اشاره نمود.

منابع

- اصغری‌زمانی، اکبر؛ سعید ملکی؛ علی موحد (۱۳۸۹). پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر زنجان با استفاده از مدل CLUE-S، جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۸ (۱۵)، ۳۹-۶۴.
- بابائی‌اقدم، فریدون؛ ابادْر اسمعلی‌عوری؛ وکیل حیدری ساربان (۱۳۹۰). مدل‌سازی الگوی فضایی کاربری اراضی شهر سرعین در افق ۱۴۰۰ با استفاده از مدل CLUE-S. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۶ (۱۰۳)، ۹۳-۱۱۶.
- بابائی‌اقدم، فریدون؛ ابراهیم‌زاده، حسین (۱۳۹۰). مدلسازی تغییرات کاربری اراضی زراعی و بایر به سطوح ساخته شده در منطقه شهری اردبیل با استفاده از مدل CLUE-S. جغرافیا و توسعه، ۲۶، ۲۱-۳۴.
- پورمحمدی، محمدرضا و ناهیده عبدی (۱۳۹۷). بررسی تطبیقی وضعیت کاربری اراضی در بین مناطق مادرشهر سنندج. جغرافیا و روابط انسانی، ۱ (۲)، ۵۱۶-۵۴۲.
- رایگانی، بهزاد؛ جهانی، علی؛ ستاری‌راد، امیر و نرگس شوقی (۱۳۹۷). پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از سنجش از دور و تصاویر چندزمانه لندست (مطالعه موردی: شهر مشهد). آمایش سرزمین، ۱۰ (۲)، ۲۴۵-۲۶۹.
- شهابیان، پویان؛ حسین طرهانی؛ نازنین کوهی‌حبیبی (۱۳۹۳). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی زراعی و بایر به سطوح ساخته شده با بکارگیری مدل CLUE-S (مورد مطالعه: منطقه چهارده شهر اصفهان). آمایش سرزمین، ۶ (۲)، ۲۵۹-۲۸۲.
- فیضی‌زاده، بختیار و سعید سلمانی (۱۳۹۵). مدل‌سازی تخریب اراضی کشاورزی بر اثر رشد و توسعهٔ شهری با به‌کارگیری روش‌های شیءپایهٔ پردازش تصاویر ماهواره‌ای در محدودهٔ شهری ارومیه. آمایش سرزمین، ۸ (۲)، ۱۷۷-۲۰۲.
- قادرمزی، حامد (۱۳۹۰). گسترش فضایی شهر و تغییر کاربری زمین در روستاهای پیرامونی شهر سنندج؛ طی دوره ۱۳۸۷-۱۳۵۵. مطالعات شهری، ۱، ۶۱-۷۶.

- محمدی، مجید؛ مجتبی امیری؛ جعفر دستورانی (۱۳۹۴). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان رامیان در استان گلستان. برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۹ (۴)، ۱۴۱-۱۵۸.
- Aburas, M. M., Ho, Y. M., Ramli, M. F. & Ash'aari, Z. H. (2016). The simulation and prediction of spatio-temporal urban growth trends using cellular automata models: A review. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 52, 380-389.
- Almedia, C. Monteiro, A. Camara, G. Soares-Filho, B. Cerqueira, G. Penachin, C. & Batty, M. (2005). GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use change. Remote Sensing, 26 (4), 759-774.
- Brinkmann, K. J. Schumacher, A. Dittrich, I. Kadaore & A. Buerkert. (2012). Analysis of Landscape Transformation Processes in and around Four West African Cities over the Last 50 Years. Landscape and Urban Planning, 105, 94–105.
- Chaudhuri, G. Clarke & Keith, C. (2013). The SLEUTH Land Use Change Model: A Review. The International Journal of Environmental Resources Research, 1 (1), 87-104.
- Deadman, P. Brown, R. Gimblett & H.Randy (1993). Modelling rural residential settelment patterns with cellular automata. Environment Management, 37 (2), 147-160.
- Feng, Z. Yang, Y. Zhang, Y. Zhang, P. & Li, Yiqing. (2005). Grain-for-green policy and its impacts on grain supply in West China. Land Use Policy, 22, 301–312.
- Garcia, A. Santé, I. Boullon, M. Crecente, R. (2012). A comparative analysis of cellular automata models for simulation of small urban areas in Galicia, NW Spain. Computers, Environment and Urban Systems, 36, 291-301.
- Gibreel, T.M., S. Herrmann, K. Berkhoff, E.A. Nuppenau & A. Rinn. (2014). Farm Types as an Interface between an Agro-Economical Model and CLUE-Naban Land Change Model: Application for Scenario Modeling. Ecological Indicators, 36, 766– 778.
- Han, H. Yang, Ch & Jinping S. (2015). Scenario Simulation and the Prediction of Land Use and Land Cover Change in Beijing, China. Sustainability, 7, 4260-4279
- He, Ch. Okada, N. Zhang, Q. Shi, P. & Li, J. (2008). Modelling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata. Landscape and Urban Planning, 86 (1), 79-91.
- Huang, D. Huang, J. Liu, T. (2019). Delimiting urban growth boundaries using the CLUE-S model with village administrative boundaries. Land Use Policy, 82, 422-435.
- Li, H. Song, W. (2020). Pattern of spatial evolution of rural settlements in the Jizhou District of China during 1962–2030. Applied Geography, 122, 1-17.
- Liu, X. Li, X. Shi, X. Wu, Sh. Liu, Tao (2008). Simulating complex urban development using kernel-based non-linear cellular automata. Ecological Modeling, 211(1-2), 169-181.
- Mohammadian, H. Tavakoli Nia, J. Khani, H. Teymouri, A. & Kazemi, M. (2017). Monitoring land use change and measuring urban sprawl based on its spatial forms. The case of Qom city. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 20, 103–116.
- Rahimi, A. (2016). A methodological approach to urban land use change modeling using infill development pattern—a case study in Tabriz, Iran. Ecological Processes, 5 (1), 1-15.
- Tajbakhsh, M. Memarian, H. & Shahrokhi, Y. (2016). Analyzing and modeling urban sprawl and land use changes in a developing city using a CA-Markovian approach. Global J. Environ. Sci. Manage., 2 (4), 397-410.
- United Nations (2018). World Urbanization Prospects. https://www.un.org.
- Van de Voorde, T. van der Kwast, J. Poelmans, L. Canters, F. Binard, M. Cornet, Y. Engelen, G. Uljee, I. Shahumyan, H. Williams, B. Convery, Sh. Lavalle, C. (2016). Projecting alternative urban growth patterns: The development andapplication of a remote sensing assisted calibration framework for the Greater Dublin Area. Ecological Indicators, 60, 1056-1069.
- Verburg, P.H.; Schot, P.P.; Dijst, M.J.; & Veldkamp. A. (2004). Land use change modelling: Current practice and research priorities. Geojournal, 61, 309–324.
- Verburg, Peter (2010). The CLUE Modeling Framework, Course material, University Amesterdam. 1-53.
- Zhou, R. Zhang, H. Xin-Yue, Y. Xin-Jun Wang. & Hai-Long Su. (2016). The Delimitation of Urban Growth Boundaries Using the CLUE-S Land-Use Change Model: Study on Xinzhuang Town, Changshu City, China. Sustainability, 8, 1-16.

Simulating Future Patterns of Land Use Changes in Sanandaj Urban Area Using the CLUE-S and MOLAND Models

Farhad Feizi [*1]، **Pooyan Shahabian** [2]

[*]1- MA of Urban Planning, Tehran University of Arts, Tehran, Iran

2- Assistant Professor of Urban Planning, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Tehran, Iran

Email Address : Fafeizi92@gmail.com

Abstract

Today, understanding the importance of land-use changes and its affecting factors in urban planning is undeniable. Knowing the ratio of land uses and how it changes over time is one of the critical issues in management planning. Modeling and predicting urban land-use change can help to understand and recognize urban dynamics and it can be considered as an effective and essential tool for planners. The goal of this study at first is to investigate the extent and manner of conversion of existing agricultural and bare lands to built-up areas in the urban area of Sanandaj, and secondly to model the future pattern of these changes up to the horizon of 2032 using the CLUE-S and MOLAND models. The research method used in this study is a combined method based on historical, descriptive, correlation, and comparative methods. This article is an applied research and quantitative and comparative methods have been used to analyze the subject. First, effective factors in the land-use change in Sanandaj urban area were identified based on literature review, observations, and field studies, as well as interviews with local officials and planners, and then, logistic regression as an analytical method is used in SPSS 16.0 software environment to analyze the relationship between land-use variables and independent factors. The results indicate that land-use changes often take place in lands having the highest degree of spatial desirability for that type of land use. The results of both models show a decrease in agricultural and bare lands and an increase in constructed areas. Therefore, in this regard, the eastern and northwestern regions of the study area are facing more land-use changes, and more actions need to be taken to prevent it in the future.

Introduction

Urban development has been very rapid, especially in recent decades which the conversion of agricultural and barren lands into urban uses within the area and city exclusion are its main consequences. Population growth and urban development are very important issues that increase the acceleration of land use changes. Developing countries such as Iran, has experienced a similar trend over the past few decades. So that with the formation of evolution in the socio-economic and political system of Iran, especially since the 1960s and following the land reform law, migration trends from rural to urban areas increased and became the most important factor and source of land use changes.Land use change models play an important role in understanding the causes, mechanisms and consequences of land use dynamics. At present, various models and methods of remote sensing and GIS are used to study the trend of land use change and their prediction. But in this study, in order to increase the accuracy of modeling and predicting land use changes, a comparative study of CLUE-S and MOLAND models are used. Compared to the other land use change models, the CLUE-S model also includes natural, socio-economic, spatial and non-spatial factors which makes it a more comprehensive, open and comprehensive model. The model of monitoring land use dynamics and land cover patterns (MOLAND) also uses socio-economic information such as population and employment to calculate the amount of land demand and allocates this demand to the space using a sub-model based on cellular automata and considering the natural features and management factors in the area. Combining the two models of CLUE-S and MOLAND can be an effective method for modeling spatial-temporal changes in land use and they are more accurate than other older models such as SLEUTH. Therefore, combining these two models can provide better results than using them separately, which is the innovation of the present study. Sanandaj urban area, especially in recent decades, has witnessed extensive land use changes and now, it has become one of the major challenges. Therefore, the overall purpose of this study is to model land use changes using two models of CLUE-S and MOLAND in the next years.

Methodology

In the present study, historical, descriptive and comparative methods have been used. Data collection was done through review of policy documents, interviews with local authorities, residents, and field observations. To determine the factors affecting land use change, review of documents and interviews with experts and trustees have been used. Also, logistic regression method in SPSS 16.0 software environment has been used to determine the relationships between land use variables and factors affecting it. In this research, to simulate the future pattern of land use changes in Sanandaj urban area in the horizon of 2030, the results of CLUE-S (Dyna-CLUE) model, GIS and MOLAND model (GEONAMICA) have been used. All files are first saved as ASCII files to access Dyna-CLUE and GEONAMICA software.The present study has been done in several stages. First, the issue and causes of land use changes occur, are discussed. In the next step, the CLUE-S modeling framework is examined. Then, the current land use status of Sanandaj urban area is examined. Factors affecting land use change are identified and data and information related to them are collected. Then, in order to increase the accuracy of modeling and precise the results, the MOLAND model was used to simulate the future pattern of land use changes in the study area at horizon 2030. All information and maps to prepare for the model, first turned into a raster file and then ASCII ones. Finally, according to the results of the model, the future pattern of land use changes in the study area is simulated.

Findings

According to the latest comprehensive plan of Sanandaj city, the area of Sanandaj is 45.70 square kilometers which most of it has been occupied by residential land-uses. According to this study, Sanandaj urban area has an area of about 277.3 square kilometers which is approximately 6 times the area of Sanandaj city. In the study area, built-up land uses cover about 24% and agricultural, barren and uncultivated lands about 76% of the total area. Various factors including land type, slope, height, land price, population density, distance from the city center, distance from main roads and so on, affect land use changes.Agricultural and barren lands have a high potential for land use change and are easily converted to other uses, including urban and built-up areas. The results of logistic regression show that variables such as population density, distance from the city center, distance from main roads, etc., are positive determinants in increasing the number of built-up land uses. Factors such as height, land slope, land type and distance from the fault, prevent the easy conversion of virgin agricultural lands to other land uses. Variables such as land price, population density, distance from the city center, distance from urban facilities and equipment, education and treatment, and access to employment centers and commercial centers are factors that facilitate the conversion of agricultural and barren lands to built-up areas. Examining and comparing the results of logistic regression analysis and modeling the future pattern in two scenarios of slow and rapid changes indicate that in the first scenario, agricultural and barren land uses will decrease by less than one percent during the forecast period And this is while the built-up uses and surfaces will have an increasing trend. The reason for the increase in these land-uses is the possibility of continuing investments in this sector as quickly as possible. For modeling using MOLAND, first land use maps of 1991, 2006 and 2021 were prepared using Landsat satellite images.Having land use maps and demographic information and employment of the study area during these years, the per capita land use is calculated for all land uses. Using the calculated per capita and population and employment forecasts, land use demand is obtained on the horizon of 2030. The next step in the modeling process is to prepare land zoning maps. Zoning maps show whether each land is allowed or forbidden by each uses. Land use suitable maps are drawn using indicators such as height, land slope, proximity to faults, distance from canals and rivers, suitable soil, etc., and according to them, the eastern lands of the study area for the expansion of residential land uses are appropriate and its western lands are not suitable for the expansion of this type due to the existence of Mount Abidar. After preparing land use maps, zoning, accessibility and land use suitability, as well as converting them to raster format within the ArcGIS software environment, they are ready to enter the software for the MOLAND model. The modeling map shows that from 1991 to 2030 (modeling horizon), significant changes have occurred in the levels occupied by different land uses in the urban area of Sanandaj. These changes, which are generally not planned, are affected by socio-economic structures and factors such as population growth and unbalanced economic development leading to the formation of informal settlements around the city of Sanandaj such as Naysar, Asavleh, Qar, Hassanabad, Nanaleh and etc. According to the forecasts for land demand, it is clear that the demand for residential, service and generally build-up land uses to the modeling horizon (2030) is still increasing and this demand leads to a decrease and change in agricultural levels. Modeling the future patterns of land use changes in Sanandaj urban area on the horizon of 2030 by the

two models of CLUE-S and MOLAND, had similar results, and both of these models, confirm the high speed of land use changes in agriculture and their conversion to urban and construction surfaces.

Conclusion

Awareness of land use status in the next years and assessing the damage caused by changes, has a great role in land use management. Controlling and reducing damage requires a lot of costs when the land use changes occur and the damage appears. But it would be easier to control the situation if the simulation conditions and possible damages are assessed in advance. Undoubtedly, the destruction of natural resources and their conversion into residential areas and built-up surfaces in the not-too-distant future has exposed the Sanandaj metropolitan area to crisis, with consequences such as increased flooding, erosion and sedimentation, agricultural pollution and earth mass movements. Studies show that we will see an increasing trend in urban uses and built-up areas and a decreasing trend in agricultural and barren land uses, up to the modeling horizon (2030), which can indicate urban development in the region.According to the results of the CLUE-S model, between 2015 and 2030, about 2484 hectares of agricultural, barren and undeveloped lands (including arboriculture and forestry, green and middle green areas of roads, gardens and agricultural lands, hills Forest parks) have been reduced in the study area while according to the scenario of fast changes, this amount has even reached about six thousand hectares. The most important reason for this can be considered unplanned development, especially around the city of Sanandaj. According to the results of modeling the future pattern of land use changes in Sanandaj urban area on the horizon of 2030 (Figures 8 and 9), more land use changes will occur in the eastern and northern parts of the study area because in these parts, there are more possibilities for land conversion. Settlements around the city of Sanandaj, especially "Naysar", "Hassanabad", "Dushan", "Qar", "Asavleh" and "Nanaleh", have experienced significant growth in recent decades and are more exposed to land use changes. The existence of agricultural lands around these settlements has been further caused and due to its easy conversion to other land-uses, there is a great potential for further growth and expansion of these settlements. The prediction results using the MOLAND model showed that between 1991 and 2030, about 20% of the area of barren and undeveloped lands (including agriculture and orchards, natural zone, green space and barren) decreased and in contrast , urban surfaces have increased by 3.8 times. This means that the demand for residential, service and generally built-up land uses, up to the modeling horizon (2030) continues to increase and this demand has led to a decrease in agricultural levels and their land-use change. In general, using the results of the two models studied, managers and planners can be informed about the future conditions of the region to include the problem of land use change in their planning.

Keywords

Land use changes, Simulation, physical development, CLUE-S model, MOLAND model, Sanandaj urban area