

مدل‌سازی رشد و توسعه شهر بیابانی یزد با استفاده از تحلیل‌های پیشرفته

فضایی، در بازه زمانی ۱۹۹۹-۲۰۲۰

مریم مشتاقیون، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه آزاد یزد، ایران
سید علی المدرسی*، دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه آزاد اسلامی یزد، ایران
علی اکبر جمالی، استادیار گروه GIS، سنجش از دور و آبخیزداری دانشگاه آزاد اسلامی یزد، ایران

چکیده

پژوهش حاضر در پی ارزیابی تغییرات اراضی شهر یزد در طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۳ و سپس پیش‌بینی این تغییرات تا سال ۲۰۲۰ می‌باشد. از این رو برای پی بردن به نوع و میزان تغییرات رخ داده در منطقه فوق سری‌های زمانی، تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از عملیات بازسازی، برای کشف و ارزیابی تغییرات از روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی استفاده شد. همچنین برای پیش‌بینی روند تغییرات تا سال ۲۰۲۰ از دو روش CA-Markov و LCM استفاده گردید. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که در طی ۱۴ سال مورد بررسی مدل CA-Markov با دقت ۷۰٪ به پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی پرداخته است. نقشه خروجی مدل برای سال ۲۰۲۰، بیشترین افزایش مساحت را برای کاربری مسکونی و ساخته شده به میزان ۵۱/۱۱ درصد و بیشترین کاهش را برای زمین بایر به میزان ۲۹ درصد پیش‌بینی کرد. دقت مدل LCM برای پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی ۸۳٪ محاسبه گردید. در نقشه خروجی، این مدل برای سال ۲۰۲۰، افزایش ۶۸٪ اراضی ساخته شده و کاهش ۲۴/۸ درصدی زمین‌های بایر پیش‌بینی گردید. بالاتر بودن دقت مدل LCM نسبت به CA-Markov به دلیل استفاده از متغیرهای مستقل به‌عنوان پارامترهای ورودی به این مدل می‌باشد. نهایتاً هر دو مدل دارای دقت مناسبی در پیش‌بینی توسعه فیزیکی یزد در دوره زمانی مذکور بوده و تا سال ۲۰۲۰، شهر یزد به سمت حاشیه (غرب و جنوب غرب و جنوب) گسترش یافته و شهرهای همجوار مانند حمیدیا، شاه‌دیه را دربرمی‌گیرد.

کلمات کلیدی: تغییر کاربری اراضی، CA-Markov، LCM، توسعه فیزیکی شهر، یزد

مقدمه

اگرچه شهرها تنها ۳ درصد از سطح کره زمین را اشغال کرده‌اند، ولی با نرخ و مقیاس غیر قابل تصور در سراسر جهان و به خصوص در کشورهای در حال توسعه در حال رشد و گسترش هستند. شهرها دارای دو بعد جمعیت شناختی و مکانی هستند. بدین معنی که با افزایش جمعیت، نیاز به سکونت‌گاه نیز افزایش می‌یابد و شهرها با رشد مکانی مواجه می‌شوند. در بسیاری از موارد پدیده رشد شهری با عنوان توسعه پراکنده شهر^۲ شناخته می‌شود. توسعه پراکنده شهری به توسعه بی‌رویه و بی‌برنامه شهرها اطلاق می‌شود که نه تنها باعث تخریب فضای پیرامون شده، بلکه موجب توسعه ناموزون و بی‌قواره شهرها می‌شود. (روستایی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۸۹-۲۰۶) پدیده توسعه دارای اثرات متعددی در مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی است که از جمله این اثرات می‌توان به افزایش آلودگی آب و خاک و هوا، افزایش مصرف انرژی، تشدید پدیده جزایر حرارتی شهری، تغییر اقلیم، تخریب پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی و همچنین اثرات منفی بر سلامت روحی و جسمی ساکنان شهرها اشاره کرد. (سراب و همکاران، ۱۳۸۹)

در عصر حاضر جمعیت جهانی و تمایل افراد برای سکونت در شهرها، توسعه فیزیکی سریع شهرهای بزرگ را در پی داشته است. همچنین تحولات فرهنگی اجتماعی و اقتصادی قرن ۱۹ و ۲۰ متأثر از مدرنیسم، گسترش سریع شهرها و پیدایش کلان‌شهرها، شهر-منطقه‌ها را موجب شده و تغییرات بنیادی را در ساختار و سازمان فضایی-کالبدی آن‌ها به وجود آورده و تغییرات کاربری اراضی را به صورت غیر هدفمند موجب شده است. نوع کاربری اراضی و پوشش سرزمین را می‌توان نتیجه روابط متقابل عوامل اجتماعی-فرهنگی و توان بالقوه سرزمین دانست. به زبان دیگر، تغییرات کاربری اراضی و پوشش سرزمین را می‌توان آغاز بهره‌برداری‌های پویای انسان از منابع طبیعی برای برطرف کردن نیازهایش دانست. (عسکریان و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۳-۲۴)

تغییرات کاربری زمین شهری سال‌های زیادی مورد مطالعه قرار گرفته، اما ظهور تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور، راهی تازه برای بازیابی و ارزیابی تغییرات پوشش کاربری زمین باز کرده است. تکنیک‌های سنجش از دور و دسترسی آزاد به منابع داده‌ای تصاویر ماهواره‌ای ارزان و تکرارپذیر، تا حد زیادی پتانسیل بازیابی رشد شهری، پویایی کاربری زمین شهری، آنالیز چشم‌انداز و شهرنشینی را افزایش داده است (عزیزی قلاتی، ۱۳۹۲). همچنین سیستم اطلاعات مکانی (GIS) به عنوان دریافت‌کننده داده‌های خروجی سنجش از دور و ابزاری توانمند در جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، بازیابی، پردازش و تحلیل داده‌های فضایی، دارای کاربردهای وسیعی در عرصه‌های مختلف برنامه‌ریزی، مدیریت و تصمیم‌گیری است. بر همین اساس لازم است که روش‌ها و مدل‌های مختلف تحلیل، تصمیم و برنامه‌ریزی در ملازمت با قابلیت‌ها و توانایی‌های GIS مورد ملاحظه قرار گرفته و از آن به طرز مطلوبی استفاده شود (خوش‌گفتار و همکاران، ۱۳۸۹). تلفیق سیستم اطلاعات مکانی (GIS) و نیز سنجش از دور (RS) و توسعه و پیشرفت این تکنیک‌ها در فراهم آوردن اطلاعات فضایی مناسب و به‌کارگیری آن‌ها در مدل‌سازی فضایی تغییرات کاربری اراضی، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و توسعه شهری را تسهیل کرد. از این رو روش‌های مدل‌سازی فضایی توسعه یافت. (علوی پناه و همکاران، ۱۳۸۷: ۴۵۷) مدل‌های فضایی، ابزارهایی مفید برای درک فرآیند توسعه شهری، ابزار کمکی سیاست‌گذاری مدیریت و برنامه‌ریزی شهری و فراهم‌کننده اطلاعات برای ارزیابی تأثیرات شهری بر محیط‌زیست و اکوسیستم هستند. برای رسیدن به حد مطلوب مدیریت و برنامه‌ریزی در آینده، بعد از تحقیق و جستجوی معیارهای تعیین‌کننده محلی و جهانی توسعه شهری، می‌توان به مدل‌سازی توسعه شهری و پیش‌بینی آن در آینده مبادرت ورزید. به همین دلیل مطالعه رشد شهری در سال‌های آینده با انجام مدل‌سازی و پیش‌بینی آن برای طراحی، برنامه‌ریزی و مدیریت شهری دارای اهمیت است. (خبرگزاری آفتاب، ۱۳۹۰). در مطالعه با موضوع سنجش فضایی گسترده‌ی شهری با تأکید بر تغییرات کاربری

اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه در شهر ارومیه پرداختند و طبقه‌بندی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از جداول متعامد صورت گرفته و با استفاده از روش ترکیبی زنجیره‌های مارکوف و سلول‌های خودکار گسترده‌گی شهری برای سال ۱۴۰۰ پیش‌بینی شده است. نتایج نشان می‌دهد طی این دوره ۱۷۱۸۸/۵۶ هکتار از اراضی شهر ارومیه تغییر کاربری داده است که بیش‌ترین تغییر کاربری اراضی در اراضی کشاورزی آبی با کاهش ۷۶۷۲/۴۱ هکتار صورت گرفته است. هم‌چنین بررسی‌ها نشان می‌دهد در سال ۱۴۰۰ در حدود ۲۴۰۸/۵۵ هکتار به اراضی ساخته‌شده اضافه خواهد گردید. (احدنژاد و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰۸-۱۲۴)

در تحقیقی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب غربی تهران را با استفاده از مدل سلولار اتوماتا شبیه‌سازی کرده و کارایی مدل سلول‌های خودکار را مورد ارزیابی قرار داده است. یافته‌های این تحقیق حاکی از آن است که مدل CA برای پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کاربری در شرایط منطقه مطالعه قابلیت دارد و ارزیابی و بررسی‌های بیشتر برای بهینه‌سازی این مدل در شرایط مختلف توصیه می‌شود. (پرتال جامع استان یزد، ۱۳۹۱)

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی برای انجام این تحقیق شهرستان یزد است. شهرستان یزد با جمعیتی حدود ۵۸۲۶۸۲ نفر از شهرستان‌های استان یزد، در مرکز ایران است که شامل دویخس مرکزی و زارچ می‌باشد. شهرهای یزد، حمیدیه، شاه‌دیه و زارچ از شهرهای این شهرستان هستند (وب سایت سازمان آمار، ۱۳۹۰). شهرهای همجوار شهرستان یزد از شمال به شهرستان اردکان، از جنوب به شهرستان‌های تفت و مهریز، از شرق به شهرستان بافق و از غرب به شهرستان‌های صدوق و میبد منتهی می‌گردد.

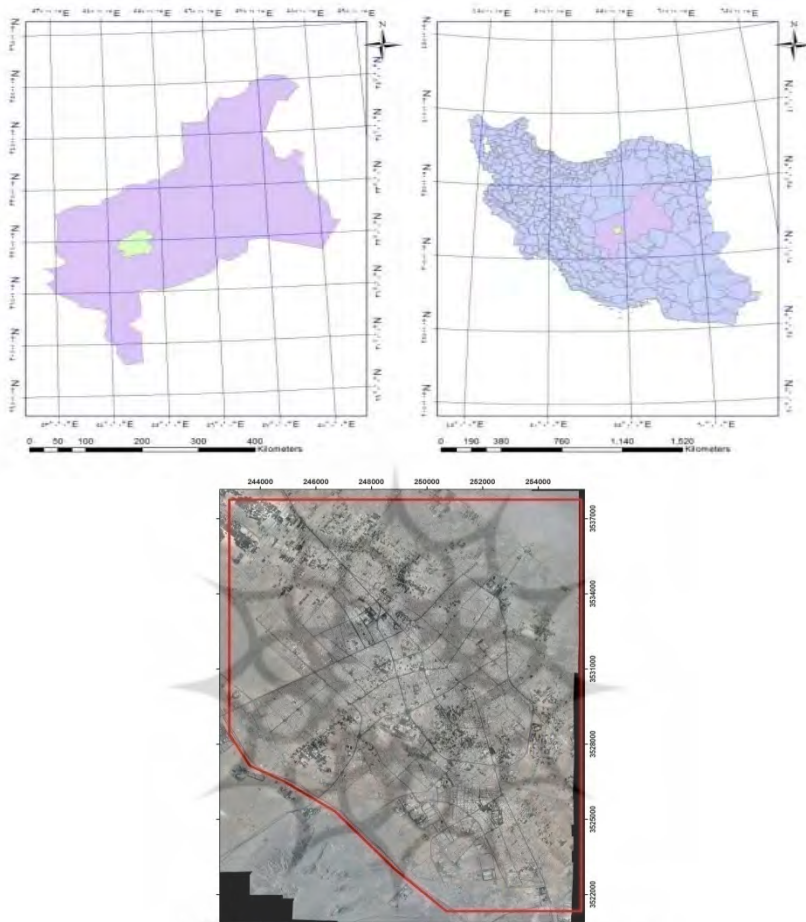
شهر یزد در ۳۱ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و ۵۴ درجه و بیست دقیقه شرقی قرار دارد. ارتفاع شهر یزد از سطح دریا ۱۲۱۸ متر است. یزد در کمربند خشک و نیمه خشک

نیمکره شمالی قرار گرفته است. شهرستان یزد در دره‌ای وسیع و خشک و محصور بین رشته کوه‌های شیرکوه و خراتق قرار دارد. بیش از $84/5$ درصد مساحت استان یزد بیابانی است و تنها چیزی کمتر از 16% آن را مناطق بیابانی تشکیل می‌دهد. شهر یزد یکی از کم بارش‌ترین شهرهای کشور است. به طوری که بارها در آمار و اخبار بارش این شهر پائین‌ترین میزان در کشور اعلام شده است. تعداد روزهایی که ممکن است بارندگی در آن صورت گیرد، در سال 23 روز است. میزان بارش باران به طور متوسط سالانه 61.02 میلی متر می‌باشد (افتاب، 1391). ساعات آفتابی در یزد به طور متوسط 3052 ساعت و روزهای غیر آفتابی آن به طور متوسط 60 روز می‌باشد.

وزش باد در استان یزد: شدیدترین بادهای معمولاً از قطاع غربی می‌وزد و بزرگترین رقمی که به ثبت رسیده، 65 نات معادل 120 کیلومتر در ساعت بوده است. قدرت فرسایش بادی به گونه‌ای است که یکی از مهم‌ترین عوامل تغییر شکل دهنده زمین به حساب می‌آید. آثار و علائم این فرسایش در نواحی وسیعی از استان، از دشت‌های مرتفع گرفته تا مناطق پست کویری، قابل مشاهده است. نوسان درجه حرارت در زمستان و تابستان و حتی در شب و روز بسیار زیاد است. حداکثر حرارت، 45 درجه سانتیگراد بالای صفر و حداقل 20 درجه سانتیگراد زیر صفر متغیر است. میانگین روزانه دما برای تمام سال بین $11/9$ تا $20/7$ درجه سانتیگراد متغیر است (پرتال جامع استان یزد، 1391).

شکل (۱) موقعیت شهر یزد را نشان می‌دهد که مساحت محدوده مورد مطالعه

۱۸۰۲۵ هکتار می‌باشد. (پرتال جامع استان یزد، 1391)



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در تقسیمات سیاسی استان و کشور

در این مطالعه تصاویر ماهواره‌ای لندست متعلق به سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۶، ۲۰۱۳ استفاده شده که مشخصات هر کدام از تصاویر استفاده شده در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورد استفاده

ردیف	تاریخ تصویر	ماهواره	سنجنده	قدرت تفکیک (متر)	تعداد باند
۱	۱۹۹۹/۸/۱۹	Landsat-7	ETM ⁺	۳۰ متر	۸
۲	۲۰۰۶/۸/۶	Landsat-7	ETM ⁺	۳۰ متر	۸
۳	۲۰۱۳/۹/۱۴	Landsat-8	OLI	۳۰ متر	۱۱

(سایت تخصصی جی.ای.اس)

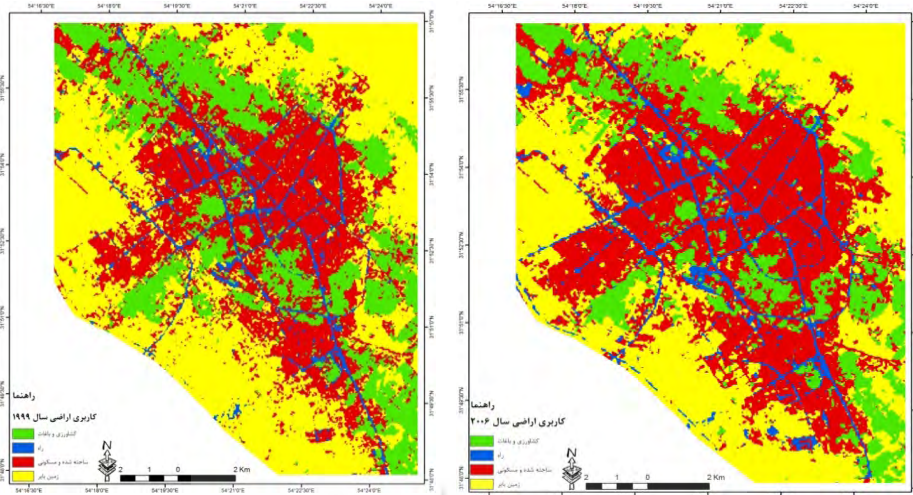
طبقه‌بندی و ارزیابی دقت طبقه‌بندی

در این مطالعه جهت تعیین کاربری اراضی شهر یزد از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده بیشترین شباهت استفاده گردید. در منطقه مورد مطالعه برای هر کدام از تصاویر چهار کلاس کاربری اراضی در نظر گرفته شد که شامل ۱- اراضی کشاورزی و باغات ۲- اراضی ساخته شده و مسکونی ۳- زمین‌های بایر و ۴- راه‌ها می‌باشد. به منظور حذف پیکسل‌های ناخواسته و قطعات کوچک در تصویر طبقه‌بندی شده از فیلتر اکثریت استفاده شد که در شکل‌های شماره ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است، همچنین در جدول شماره (۲) درصد هر کدام از آن‌ها آمده است. برای تعیین صحت نتایج طبقه‌بندی ضریب کاپا هریک از نقشه‌های خروجی محاسبه گردید که برای سال ۱۹۹۹ حدود ۰/۸۲ و برای سال ۲۰۰۶ حدود ۰/۹۲ و برای سال ۲۰۱۳ حدود ۰/۸۵ به دست آمد.

جدول ۲. درصد هر کدام از کاربری‌ها در سال‌های مختلف

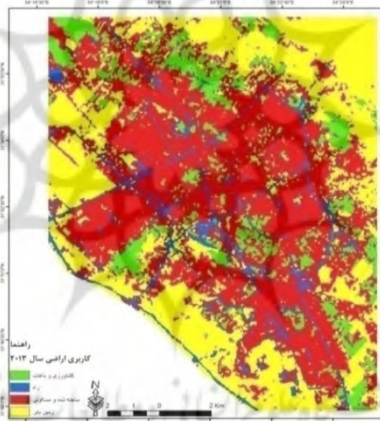
کد	نوع کلاس	درصد (۱۹۹۹)	درصد (۲۰۰۶)	درصد (۲۰۱۳)
۱	اراضی کشاورزی و باغات	۲۳/۳	۱۷/۶	۱۲
۲	مسکونی و ساخته شده	۳۰/۶	۳۷	۴۶/۹
۳	اراضی بایر	۴۲/۳۵	۳۹/۲	۳۳/۸۲
۴	راه‌ها	۴/۶	۶/۱۵	۷/۲۱

(مأخذ: نگارندگان)



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۹۹

شکل ۳. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۶



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۳

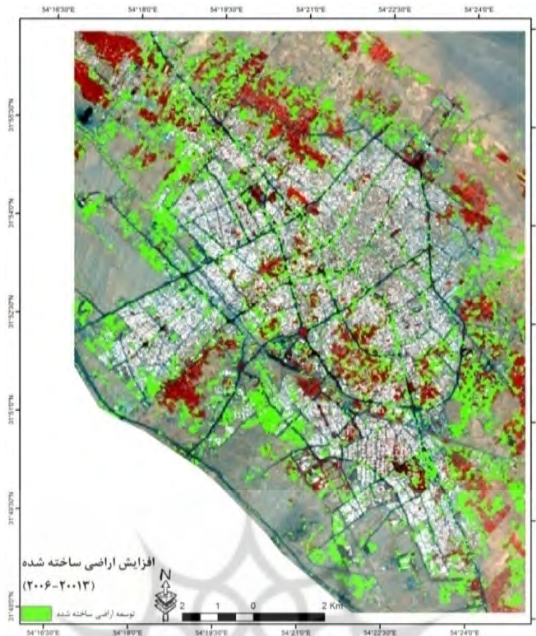
آشکارسازی تغییرات بین سال‌های ۱۹۹۹ الی ۲۰۱۳

آشکارسازی تغییرات، فرآیندی است که طی آن با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف تغییرات رخ داده در یک منطقه خاص را در طول زمان محاسبه می‌کند. در این مطالعه از روش مقایسه بعد از طبقه بندی با ابزار crosstab اقدام به بررسی تغییرات کاربری

می‌کند. در جدول شماره (۳) میزان تغییرات رخ داده برای هر یک از کاربری‌ها در شهر یزد مابین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۶ استخراج گردید و همچنین تغییرات کاربری سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ در جدول شماره (۴) استخراج گردید. شکل شماره (۵) نقشه تغییرات سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۶ و در شکل شماره (۶) نقشه تغییرات مربوط به سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد. در هر دو تصویر افزایش اراضی ساخته شده به صورت لکه‌های سبز نشان داده شده است. تغییرات چهار کلاس سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۳ در نمودار (۱) آورده شده است. دو کاربری اراضی ساخته شده و راه‌ها در طی این ۱۴ سال دارای روند افزایشی و دو کاربری کشاورزی و بایر دارای روند کاهشی است.



شکل ۵. نقشه تغییرات ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۶



شکل ۶. نقشه تغییرات ۲۰۱۳ تا ۲۰۰۶

جدول ۳- جدول بندی تقاطعی مساحت تغییرات بین نقشه‌های کاربری ۱۹۹۹ و ۲۰۰۶

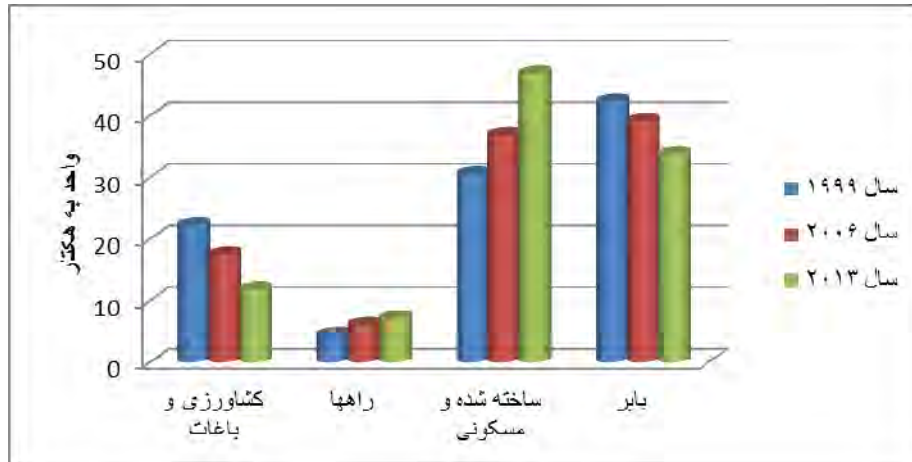
سال ۲۰۰۶	سال ۱۹۹۹	مسکونی و ساخته شده	کشاورزی و باغات	راه	بایر
۱۶۵۲۱	۵۴۸۹۸	۸۵۴۰	۲۴۹۰	۱۶۵۲۱	۱۶۵۲۱
۱۹۳۹	۲۹۹۴	۳۳۷۹۹	۴۴۰	۱۹۳۹	۱۹۳۹
۱۷۰۸	۳۹۸۸	۸۴۳	۷۱۷۴	۱۷۰۸	۱۷۰۸
۷۴۰۱۹	۶۱۹۴	۶۵۴۶	۳۲۲	۷۴۰۱۹	۷۴۰۱۹

(مأخذ: نگارندگان)

جدول ۴. جدول بندی تقاطعی مساحت تغییرات بین نقشه‌های کاربری ۲۰۱۳ و ۲۰۰۶

سال ۲۰۱۳	سال ۲۰۰۶	مسکونی و ساخته شده	کشاورزی و باغات	راه	بایر
۱۶۶۲۲	۷۰۹۴۱	۱۱۶۹۱	۵۳۳۷	۱۶۶۲۲	۱۶۶۲۲
۱۶۹۰	۱۵۹۰	۲۲۹۸۲	۳۵۶	۱۶۹۰	۱۶۹۰
۲۸۷۲	۴۴۶۵	۱۱۴۱	۷۶۰۹	۲۸۷۲	۲۸۷۲
۶۵۸۹۶	۵۴۴۹	۳۳۵۸	۳۸۵	۶۵۸۹۶	۶۵۸۹۶

(مأخذ: نگارندگان)



نمودار ۱. تغییرات بازه ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۳ (مأخذ: نگارندگان)

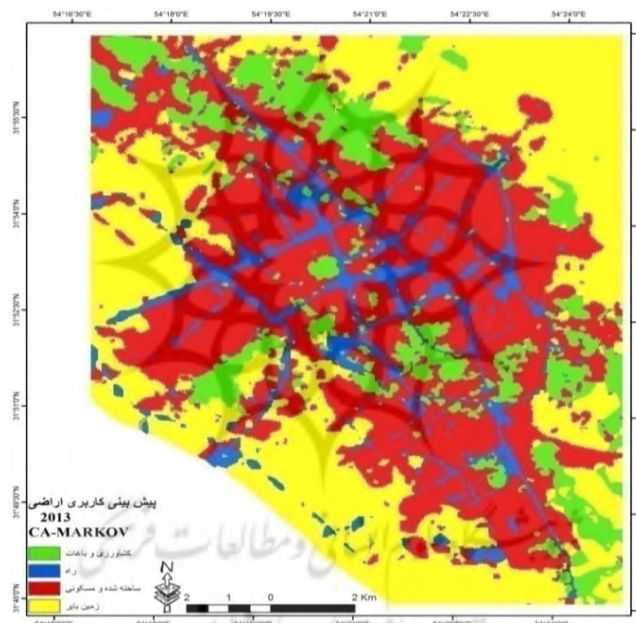
مدل‌سازی توسعه شهر یزد با استفاده از مدل CA-MARKOV

برای مدل‌سازی توسعه شهر یزد از مدل CA-Markov استفاده شد. ابتدا تصویر طبقه بندی شده سال ۱۹۹۹ و خروجی مارکوف مربوط به سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۶ به مدل معرفی کرده و نقشه خروجی پیش بینی برای ۷ سال آینده یعنی سال ۲۰۱۳ دریافت گردید. سپس دقت محاسباتی مدل با استفاده از پارامتر validation و با کمک تصویر واقعی طبقه بندی شده واقعی ۲۰۱۳ محاسبه گردید. دقت مدل ۷۳ درصد برآورد گردید که این دقت جهت بررسی توسعه شهر یزد در سال ۲۰۲۰ مناسب ارزیابی گردید. جدول شماره (۵) مقایسه درصد کاربری‌ها در نقشه واقعی ۲۰۱۳ با نقشه پیش بینی CA-Markov سال ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد و شکل (۷) نقشه پیش بینی سال ۲۰۱۳ را حاصل از CA-Markov را نشان می‌دهد.

جدول ۵. مقایسه درصد کاربری‌ها در نقشه واقعی ۲۰۱۳ با نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۱۳

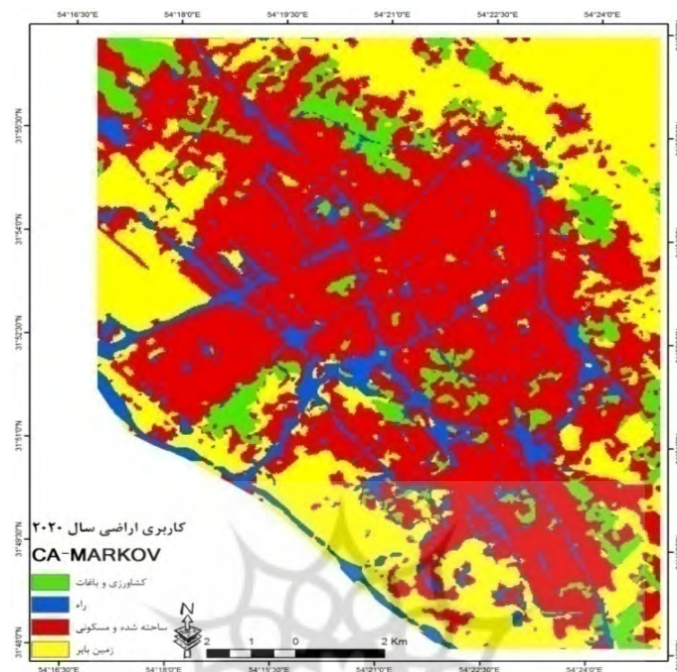
کد	نام کاربری	۲۰۱۳ هکتار	درصد مساحت (نقشه پیش‌بینی ۲۰۱۳ CA-Markov)	۲۰۱۳ هکتار	درصد مساحت (نقشه واقعی ۲۰۱۳)
۱	ساخته شده	۷۶۱۳/۲۲۰	۴۱/۱۶	۸۵۰۶/۶۱	۴۶/۹
۲	کشاورزی باغات	۲۶۰۱/۲۳۰	۱۴	۲۱۷۱/۴۶	۱۲
۳	راه‌ها	۱۵۸۹/۹۰۰	۸/۶	۱۳۰۶/۶۶	۷/۲۱
۴	بایر	۶۶۹۱/۳۱۵	۳۶/۱	۶۱۲۵/۱۷	۳۳/۸۲
	جمع مساحت	۱۸۴۹۵/۶۷	۱۰۰	۱۸۱۰۹/۹۰	۱۰۰

(مأخذ: نگارندگان)



شکل ۷. نقشه کاربری پیش‌بینی سال ۲۰۱۳ با استفاده از CA-Markov

نهایتاً بر اساس نقشه پیش‌بینی و نقشه کاربری اراضی منطقه و با استفاده از اطلاعات کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ اقدام به پیش‌بینی توسعه شهر یزد برای سال ۲۰۲۰ گردید. در شکل (۸) نقشه پیش‌بینی شده و در جدول (۶) درصد مربوط به هر کاربری معین گردید.



شکل ۸. نقشه پیش‌بینی تولید شده برای سال ۲۰۲۰

جدول ۶. مساحت و درصد هر کدام از کاربری‌ها توسط مدل پیش‌بینی شده

کد	نام کاربری	۲۰۲۰ هکتار	درصد مساحت (نقشه پیش‌بینی CA-Markov)
۱	مسکونی-ساخته شده	۹۳۹۷/۹۷۶	۵۱/۱۱
۲	کشاورزی-باغات	۱۶۸۵/۹۰۶	۹/۱۶
۳	راه‌ها	۱۹۶۵/۸۸۸	۱۰/۷۰
۴	بایر	۵۳۳۵/۲۶۴	۲۹
	جمع مساحت	۱۸۳۸۵/۰۳۴	۱۰۰

(مأخذ: نگارندگان)

مدل‌سازی توسعه شهر یزد با استفاده از مدل LCM

در اولین مرحله، LCM با چهار کاربری اراضی مسکونی و ساخته شده، اراضی کشاورزی و باغات، راه‌ها و زمین‌های بایر تعریف و اجرا گردید. دقت محاسباتی نقشه خروجی استخراج شده از مدل LCM در این مرحله حدود ۵۳ درصد به دست آمد

و عدد به دست آمده، از دقت محاسباتی قابل قبولی برخوردار نبود و مدلی برای پیش بینی مسیرهای شهری بود. بنابراین برای افزایش دقت مدل دو لایه کاربری مسکونی - اراضی ساخته شده و راه‌ها به عنوان یک لایه اراضی ساخته شده در نظر گرفته شده و مدل بر اساس تقسیم بندی جدید (شامل سه کاربری اراضی ساخته شده - باغات و کشاورزی - زمین بایر) مجدداً اجرا گردید.

در ادامه برای مدل سازی تاثیرات متغیرها در پیش بینی توسعه شهری از آنالیز آماری چند متغیره استفاده شد و شش متغیر شامل مدل رقومی ارتفاع، شیب، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از مناطق مسکونی و پارامتر تغییر کاربری به LCM معرفی گردید و نهایتاً نقشه پیش بینی برای سال ۲۰۱۳ استخراج گردید. یکی از خروجی‌های مدل LCM جدول ضریب همبستگی کرامر است که ارتباط بین متغیرهای مورد استفاده در مدل (متغیرهای مستقل) و تغییرات طبقات کاربری اراضی را نشان می‌دهد. جدول (۷)، جدول نشان می‌دهد نوع پوشش زمین، مهم‌ترین عامل در تغییرات کاربری است.

جدول ۷. ضریب همبستگی کرامر

پوشش زمین	فاصله از مناطق مسکونی	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده	شیب	ارتفاع	متغیرهای وابسته
۰/۶۱	۰/۳۰	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۳۶	تغییرات کاربری

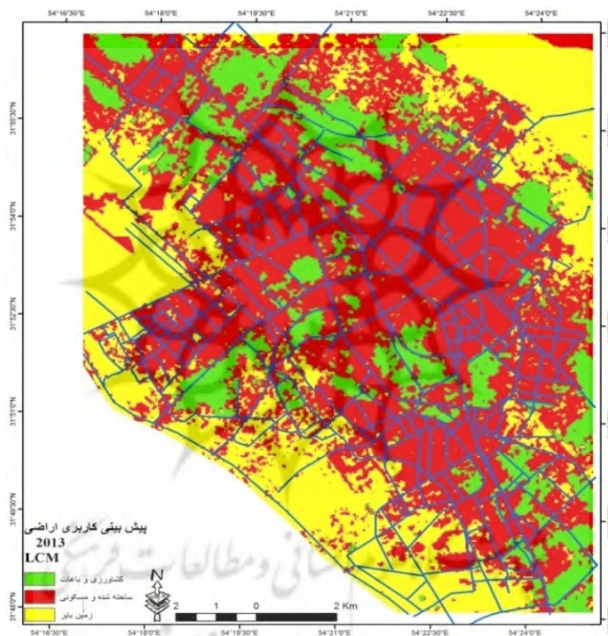
(مأخذ: نگارندگان)

جدول شماره (۸) مقایسه نقشه پیش بینی خروجی LCM سال ۲۰۱۳ با نقشه واقعی و شکل شماره (۹) نقشه پیش بینی سال ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد.

جدول ۸. مساحت و درصد کاربری اراضی ۲۰۱۳ در مدل LCM

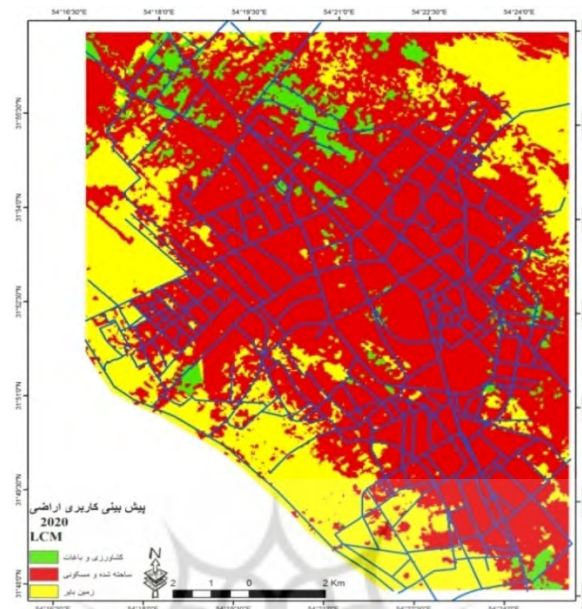
کد	نام کاربری	درصد مساحت (HA) ۲۰۱۳	درصد مساحت (نقشه پیش بینی LCM ۲۰۱۳)	درصد مساحت (نقشه واقعی ۲۰۱۳)	درصد مساحت (HA) ۲۰۱۳
۱	مسکونی-ساخته شده	۱۰۲۱۱/۵۵	۵۶/۶۵	۵۴/۱۱	۹۸۱۳/۲۷
۲	کشاورزی-باغات	۲۹۲۹/۱۷	۱۶/۲۵	۱۲	۲۱۷۱/۴۶
۳	بایر	۴۸۸۴/۹۶	۲۷/۱	۳۳/۸۲	۶۱۲۵/۱۷
	جمع مساحت	۱۸۰/۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۸۱۰۹/۹۰

(مأخذ : نگارندگان)



شکل ۹. نقشه پیش بینی سال ۲۰۱۳

در نهایت با استفاده از نقشه های طبقه بندی سال ۲۰۰۶ و ۲۰۱۳ و همچنین متغیرهای مستقل اقدام به پیش بینی نقشه کاربری سال ۲۰۲۰ گردید در شکل (۱۰) مشخص است. میزان و درصد مساحت هر یک از کاربری‌ها در سال ۲۰۲۰ در جدول شماره (۴-۱۲) استخراج گردیده است.



شکل ۴-۱۴. نقشه کاربری پیش بینی سال ۲۰۲۰ با استفاده از LCM

جدول ۴-۱۲. پیش بینی مساحت کاربری‌ها در سال ۲۰۲۰ با استفاده از LCM

کد	نام کاربری	۲۰۲۰ (HA)	درصد مساحت (نقشه پیش‌بینی LCM)
۱	مسکونی-ساخته شده	۱۲۴۵۴/۶۶	۶۹/۰۹
۲	کشاورزی-باغات	۹۲۰/۰۵	۵/۱۰
۴	بایر	۴۶۵۰/۹۷	۲۵/۸۰
	جمع مساحت	۱۸۰۲۵/۶۸	۱۰۰

(مأخذ: نگارندگان)

نتایج و بحث

بررسی توسعه فضایی شهر یزد در سال‌های آتی از مهم‌ترین اهدافی بود که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا با استفاده از مدل‌های CA-MARKOV و LCM اقدام به پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۱۴ کرده تا عملیات صحت‌سنجی توسط این خروجی‌ها صورت گیرد و نهایتاً نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۲۰ برای بررسی آینده شهر یزد استخراج گردید. نتایج حاصله از پیش‌بینی و صحت‌سنجی مدل CA-

MARKOV و مقایسه با تصویر واقعی ۲۰۱۴ بیانگر دقت ۷۰ درصدی این روش بوده است و با همین دقت نیز اقدام به پیش‌بینی تغییرات شهری برای سال ۲۰۲۰ گردید. با توجه به نتایج این بخش از پژوهش و پژوهش‌های مشابه‌ای که توسط فلاحت‌کار ۱۳۸۸، خوش‌گفتار ۱۳۸۹، هادوی و روستایی ۱۳۸۹، احد نژاد ۱۳۹۰، فرسای و حکیم پور ۱۳۹۳، عسکریان ۱۳۹۲ انجام شد، بیانگر نتایج قابل قبول در ارزیابی تغییرات شهری با استفاده از مدل CA-MARKOV در سال‌های آینده است. همچنین دقت ۸۳ درصد حاصله از پیش‌بینی و صحت‌سنجی مدل LCM برای سال ۲۰۱۴ و مقایسه با واقعیت، مقدار قابل قبولی بود، بدین ترتیب اقدام به پیش‌بینی تغییرات در سال ۲۰۲۰ گردید. در این راستا تحقیقاتی مشابهی که توسط عزیززی و قلاتی در سال ۱۳۹۲، روستایی ۱۳۹۳، طاهری ۱۳۹۲، غلامعلی فرد ۱۳۹۳، میرحسینی ۱۳۹۴ صورت گرفت، حاکی از این موضوع است که مطالعه تغییرات کاربری اراضی برپایه مدل LCM نتایج منطقی و قابل قبولی را ارائه می‌کند.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد رشد شهرنشینی در مناطق مختلف شهر، تخریب اراضی کشاورزی و فضای سبز شهر و همچنین گسترش ناموزون شهر را در پی داشته است. توسعه شهر یزد در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۹-۲۰۰۶ شکل ۴-۶ در محدوده‌ی قانونی شهر در دو طرف بلوار جمهوری - انتهای ناحیه آزادشهر - بلوار مدرس نرسیده به میدان نماز - بلوار خامنه‌ای و محدوده شهرک رزمندگان - محدوده بین بلوار شهید قندی و بلوار پاسداران - محدوده بین بلوار شهیدان اشرف و بلوار صیاد شیرازی رخ داده است. پس می‌توان گفت در طی این ۷ سال، ما شاهد توسعه درون شهری (میان‌افزای) بوده‌ایم. درحاشیه شهر، ورودی تفت به یزد، روستاهای اکرمیه و حسن آباد و شهر حمیدیا شاهد توسعه شهری بوده‌ایم. در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ شکل ۴-۷ گسترش شهری بیشتر به سمت حاشیه شهر و زمین‌های بایر بوده است، مانند حاشیه

جاده فرودگاه (اسکان)، اطراف بلوار استقلال، روستای اکرمیه و حسن آباد و شهرک‌های مهرآوران، فجر فرهنگیان و شهرک طوبی بوده است.

با توجه به پیش‌بینی صورت گرفته توسط مدل LCM و CA-Markov، می‌توان انتظار داشت که تا سال ۲۰۲۰ محدوده شهر یزد به سمت حاشیه شهر گسترش یافته و شهرهای همجوار مانند حمیدیا، شاهدیه در برگیرد. از فاکتورهایی که در بروز این پدیده مؤثر بوده است، می‌توان ویژگی‌های جغرافیایی و محیطی این شهر یعنی استقرار در دشت و داشتن فاصله زیاد به کوه‌های اطراف یا همان بن بست‌های طبیعی را اضافه کرد که به علت در دسترس بودن زمین زیاد برای ساخت و ساز از یک طرف و نداشتن آب کافی برای کشاورزی و در نتیجه بایر بودن زمین‌های اطراف شهر از طرف دیگر، گسترش یافته و دچار پراکندگی و تفرق فضایی شده است.

به نظر می‌رسد استفاده از پارامترهایی از قبیل طرح‌های تفصیلی، نرخ مهاجرت و عوامل اقتصادی به‌عنوان متغیرهای مستقل در مدل LCM باعث پیش‌بینی دقیق‌تر نقشه‌های خروجی کی‌گردد و با توجه به نتایج به دست آمده از مدل LCM، پیشنهاد می‌گردد تصاویر ورودی به مدل فاقد کلاس راه‌ها برده شود تا پیش‌بینی دقیق‌تری از مدل حاصل آید.

منابع

- علوی پناه، سید کاظم، حمیدرضا متین‌فر و عمار رفیعی امام، (۱۳۸۷)، کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین. انتشارات دانشگاه تهران، ص ۴۵۷.
- لیو، یان، (۱۳۹۱)، مدل‌سازی توسعه شهری با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سلول‌های خودکار. ناشر آذر کلک، ص ۲۰۰.
- مالچفسکی، یاچک، (۱۹۹۹)، سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری. انتشارات سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها.

- احدنژاد رشتی، محسن، علی زلفی و حسین شکری پور دیزج، (۱۳۹۰)، ارزیابی و پیش بینی گسترش فیزیکی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (شهر اردبیل ۱۴۰۰-۱۳۶۳)، فصلنامه آمایش محیط، ص ۱۰۸-۱۲۴.
- حکیم پور، فرشاد و مسعود فرسای، (۱۳۹۳)، ارزیابی تاثیر مقیاس در شبیه‌سازی فرایند توسعه شهری با استفاده از اتوماتای سلولی پیوسته، نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره چهارم، شماره ۱، ص ۶۷-۷۸.
- خوش گفتار، محمد مهدی، محمد طالعی و پیمان ملک‌پور، (۱۳۸۹)، مدلسازی زمانی مکانی رشد شهری: روشی مبتنی بر تلفیق Cellular Automata و زنجیره مارکوف، همایش ملی ژئوماتیک ۸۹.
- روستایی، شهرپور، محسن احدنژاد رشتی و مینا فرخی صومعه، (۱۳۹۳)، سنجش فضایی گسترده‌گی شهری با تأکید بر تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه (مطالعه موردی: ارومیه). نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی. مقاله ۱۰، دوره ۱۸، شماره ۵۰، صفحه ۱۸۹-۲۰۶.
- علی محمدی سراب، عباس، علی اکبر متکان و بابک میرباقری، (۱۳۸۹)، ارزیابی کارایی مدل سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی گسترش اراضی شهری در حومه جنوب غربی تهران، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره چهاردهم، شماره ۲.
- عسکریان، علی، بهمن جباریان امیری، افشین علیزاده شعبانی و جهانگیر فقهی، (۱۳۹۲)، پیش‌بینی رشد مکانی و توسعه پراکنده شهر ساری با به کارگیری مدل سلول‌های خودکار- مارکوف و شاخص آنتروپی شانون، بوم‌شناسی کاربردی، سال دوم، شماره ۶، ص ۱۳-۲۴.
- غلامعلی فرد، مهدی، شریف جورابیان شوشتری، سید حمزه حسینی کهنوج و محسن میرزایی، (۱۳۹۱)، مدلسازی تغییرات کاربری اراضی سواحل استان مازندران با استفاده از LCM در محیط GIS، محیط‌شناسی، دوره ۳۸، شماره ۴، صفحه ۱۰۹-۱۲۴.

- فلاح‌تکار، سامره، علیرضا سفیانیان، سید جمال الدین خواجه الدینی و حمید رضا ضیایی، (۱۳۸۸)، بررسی توانایی‌های مدل CA مارکوف در پیش‌بینی نقشه پوشش اراضی (مطالعه موردی شهر اصفهان)، همایش ژئوماتیک ۸۸، ص ۱-۹.
- کامیاب، حمید رضا، عبدالرسول سلمان ماهینی، سیدمحسن حسینی و مهدی غلامعلی فرد، (۱۳۹۰)، کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در مدلسازی توسعه شهر (مطالعه موردی: شهر گرگان)، پژوهش جغرافیای انسانی.
- میرحسینی، سید محسن و علی اکبر جمالی، (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد، محاسبه میزان گسترش کاربری شهری، پوشش گیاهی و تپه‌های ماسه‌ای با استفاده از مدل LCM و تصاویر ASTER مطالعه موردی شهرستان یزد.
- وارثی، حمید، عباس رجایی جزین و محمد قنبری، (۱۳۹۱)، تحلیلی بر عوامل خزش شهری و رشد فیزیکی شهر گناباد با استفاده از مدل‌های آنتروپی و هلدرن، آمایش سرزمین ۶، ۱۰۰-۷۹.
- عزیزی قلاتی، سارا، (۱۳۹۲)، مدلسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منطقه کهمره سرخی فارس، پایان نامه ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز.
- پرتال جامع استان یزد برای گردشگران، وبسایت وزارت کشور، تاریخ دسترسی اردیبهشت ۱۳۹۱، www.portal-yz.ir
- پرتال جامع استان یزد، وبسایت سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، تاریخ دسترسی اردیبهشت ۱۳۹۱، <http://yazdchto.ir/index.php>
- وبسایت خبرگزاری آفتاب، تاریخ انتشار خبر: شنبه ۶ اسفند (۱۳۹۰) وبسایت سازمان آمار، سرشماری نفوس و مسکن، تاریخ دسترسی مهر ۱۳۹۱، www.amar.org.ir
- Frumkin, Th. 2002. urban sptaw landpublic health. Public health report 117(3): 201-207
- Mussie, G. T., Cabral, P., 2011. Urban Sprawl Analysis and Modeling in Asmara, Eritrea, Remote Sensing, 3: 2148-2165.

Oñate-Valdivieso, F., Sendra J. B., 2010. Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling. *Journal of Hydrology*, 395: 256–263.

Takayama, M., Couclelis, H., 1997. Map Dynamic Integrating Cellular Automata and GIS through Geo Algebra. *International Journal of Geographical Information Science*.11 (1): 73-91.

