



فصلنامه علوم محیطی، دوره نوزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰

۱۶۴-۱۴۵

مقاله پژوهشی

پایش تغییرات کاربری زمین و پیش‌بینی روند زمانی - مکانی آن در شهرستان همدان

ناصر شفیعی ثابت* و فرانک فیض بابایی چشمه سفیدی

گروه جغرافیای انسانی و آمایش، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۱۰

شفیعی ثابت، ن. و ف. فیض بابایی چشمه سفیدی. ۱۴۰۰. پایش تغییرات کاربری زمین و پیش‌بینی روند زمانی - مکانی آن در شهرستان همدان. فصلنامه علوم محیطی. ۱۹(۴): ۱۳۵-۱۶۴.

سابقه و هدف: تغییرات کاربری زمین پدیده‌ای است که در کشورهای در حال توسعه در حال گسترش است و دارای پیامدهای محیطی - اکولوژیک منفی در محیط است. در این راستا، دسترسی به اطلاعات به‌روزرسانی شده در زمینه تغییرات کاربری زمین برای تحلیل انواع نیازمندی‌های سکونتگاه‌های انسانی و اتخاذ سیاست‌های مناسب برای اطمینان از آینده ضروری است. بررسی گذشته، حال و پیش‌بینی کاربری زمین در آینده دارای جایگاه بنیادین در تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌های برنامه‌ریزان کاربری زمین است. در این پژوهش، هدف، مطالعه کاربری زمین و تغییرات آن در طول سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۹ بوده است. همچنین، شناسایی چگونگی تغییرات کاربری زمین در شهرستان همدان و شبیه‌سازی و آینده‌نگری کاربری زمین و تغییرات آن بوسیله مدل CA-MARKOV در سال ۲۰۵۰ است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش در آغاز، پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های ETM، TM و OLI، مرحله‌های پیش‌پردازش دربرگیرنده انواع تصحیح‌های رادیومتریک و هندسی روی تصاویر انجام شد. سپس با استفاده از نمونه‌های تعلیمی و نرم‌افزار گوگل ارث و با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. براین مبنای تفکیک کاربری‌های منطقه به چهار کلاس همچون: کاربری مسکونی و غیرمسکونی، زمین‌های بایر و مرتع‌های فقیر، زمین‌های باغی و زراعت آبی، کوهستانی و مرتع دسته‌بندی شد. پس از آشکارسازی کاربری زمین و تغییرات آن، به پیش‌بینی روند این تغییرات با استفاده از مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف به‌دلیل توانایی بالا در تشخیص تغییرات مؤلفه مکانی - فضایی، در سال ۲۰۵۰ پرداخته شد.

نتایج و بحث: نتایج مطالعه حاضر بیانگر آن است که باگذشت زمان، رشد و توسعه شهرنشینی در این کلان‌شهر سبب گسترش بافت فیزیکی شهر در این منطقه شده، بدین‌صورت که در ابتدای دوره مطالعه در سال ۱۹۹۳ مساحت کاربری مسکونی و غیرمسکونی میزان ۰/۸ درصد از مجموع منطقه را در بر گرفته است. در صورتی که در انتهای دوره یعنی در سال ۲۰۱۹ این میزان به ۲/۱ درصد مساحت کل منطقه رسیده است. مطالعه تغییرات کاربری نشان داد که از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۴، میزان ۰/۲ درصد به میزان کاربری‌های مسکونی و غیرمسکونی افزوده شده است. بیشترین افزایش مساحت کاربری بعدی مربوط به زمین‌های بایر و مرتع‌های بسیار فقیر بوده که مساحت آن‌ها معادل

* Corresponding Author: Email Address. n_shafiei@sbu.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.36712>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1400.19.4.2>

۴۹/۸ درصد در سال ۲۰۰۴ شده است. کاربری زمین‌های باغی و زراعت آبی به همراه کاربری کوهستانی، از جمله کاربری‌هایی بوده‌اند که در سال ۲۰۰۴ نسبت به سال ۱۹۹۳ به ترتیب برابر ۱/۲ و ۱/۵ درصد کاهش مساحت داشته‌اند. این روند باگذشت زمان ادامه داشته به گونه‌ای که مساحت کاربری ساخت‌وساز مسکونی و غیرمسکونی و زمین‌های بایر روندی افزایشی داشته؛ و در سال ۲۰۱۹ به ترتیب معادل ۱/۱ و ۲/۴ درصد به مساحت این کاربری‌ها افزوده شده است. سرانجام، می‌توان گفت باگذشت زمان از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۹ کاربری زمین‌های باغی و زراعی، کوهستانی و مرتع به کاربری‌های ساخت‌وساز مسکونی و غیرمسکونی و زمین‌های بایر تبدیل شده‌اند. تبدیل زمین‌های کشاورزی پیامدهایی منفی در آینده منطقه خواهد داشت که باید برای کاهش پیامدهای منفی این تغییرات در آینده کارهای مناسبی بوسیله برنامه ریزان و سیاست‌گذاران انجام شود.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش، آشکار شد مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف دارای توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در آینده است. همچنین، بیشترین افزایش مساحت کاربری مربوط به کاربری ساخت و ساز مسکونی و غیرمسکونی و زمین‌های بایر بوده و کاربری‌های دیگر مانند زمین‌های باغی و زراعت آبی، زمین‌های کوهستانی و مرتع مساحت‌شان کاهش یافته است. بنابراین، شایسته است که برنامه ریزان همواره رشد شتابان شهری را در آینده در راستای انجام هرچه مناسب‌تر برنامه‌ریزی‌های خود در نظر گیرند.

واژه‌های کلیدی: مدل سلول‌های خودکار، مدل زنجیره مارکوف، کلاس کاربری زمین، طبقه‌بندی تصاویر، آشکارسازی تغییرات.

مقدمه

اطمینان از آینده بنیادی است (Rimal *et al.*, 2018). واریسی چالش‌های گذشته، وضعیت کنونی، و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری زمین در آینده جایگاهی بنیادین در توسعه تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌ها دارد (Omar *et al.*, 2014). سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به مانند ابزاری کارآمد در دست برنامه‌ریزان و سیاست‌گذارانی که همواره نگران منابع طبیعی هستند، در راستای دریافت تصمیم‌های درست دارای اهمیت است (Mehrabi *et al.*, 2019). در روندهای گوناگون زمانی، نقشه‌های تغییر کاربری زمین و انواع مدل‌سازی‌های تغییرات کاربری زمین، اطلاعات ضروری و مفیدی به منظور برنامه‌ریزی‌های کاربری زمین فراهم کرده است که به کمک آن‌ها می‌توان به درک و پیش‌بینی انواع محرک‌های تغییر کاربری زمین دست‌یافت (Rimal *et al.*, 2018). هم‌اکنون، از مدل‌های گوناگونی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی روند توسعه شهرنشینی و تغییرات کاربری زمین بهره گرفته می‌شود (Aburas *et al.*, 2016). که از بین این مدل‌ها می‌توان به مدل کمی رگرسیون لجستیک برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین اشاره داشت (Al-shalabi *et al.*, 2013). همچنین، می‌توان به پژوهش‌هایی که در آن‌ها از ترکیب مدل‌های گوناگون سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف با ارائه نتایج

یکی از بنیادی‌ترین ویژگی‌های اکوسیستم‌های طبیعی، کاربری زمین است که واکوی روند آن در گذر زمان یکی از پیش‌نیازهای بنیادین برای انجام برنامه‌ریزی محیطی است، که می‌توان به‌وسیله آن در راستای بهره‌گیری مناسب از زمین و برنامه‌ریزی برای استفاده از آن گام برداشت (Mas *et al.*, 2014). کاربری زمین دربرگیرنده انواع بهره‌بردارانی‌های گوناگون از زمین در زمینه رفع نیازهای گوناگون انسان است. (Qian *et al.*, 2007) واکوی تغییرات کاربری زمین و پیامدهای محیطی - اکولوژیک و محیط‌زیستی آن همانند یک تحول بزرگ در کشورهای درحال توسعه بشمار می‌آید. به همین دلیل در این‌گونه کشورها، همواره کوشش بر این است که پیامدهای ناسازگار محیطی - اکولوژیک این پدیده کاهش یابد (Ruben *et al.*, 2020). به سخن دیگر، تبدیل و اصلاح ساختار کاربری زمین توسط فعالیت‌های انسانی و فرآیندهای طبیعی چالش‌هایی را ایجاد می‌کنند که بر محیط پیرامونی اثرگذار است (Hamad *et al.*, 2018). به این دلیل، در کشورهای درحال توسعه، این تغییرات همه‌گیر و ناسازگار با برنامه‌ها و سیاست‌های محلی است (Rimal *et al.*, 2018). بنابراین، دسترسی به داده‌ها و اطلاعات ژرف‌نگر و به‌روز در زمینه تغییرات کاربری زمین برای تحلیل انواع نیازمندی سکونتگاه‌های انسانی و اتخاذ سیاست‌های مناسب برای

نشان داد مساحت کاربری کشاورزی در این منطقه افزایش یافته و از مساحت جنگل‌ها و مرتع‌های متراکم کاسته شده که همین امر ضرورت توجه به محافظت از محیط‌زیست و منابع طبیعی را در آینده نشان می‌دهد.

در این راستا، پژوهشی در سال ۲۰۱۹ در منطقه شمالی نانجینگ، الگوی توسعه فضایی شهری را برای سال ۲۰۲۲ با بهره‌گیری از مدل ترکیبی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف و با استفاده از چهار چشم‌انداز پیش‌بینی کرد. نتایج مدل مارکوف نشان داد که دقت مدل مارکوف برابر ۷۳/۲۳ بوده و سنجه کاپا ۰/۸۵ که به معنی قابلیت اطمینان بالای آن بوده است، در نتیجه این مطالعه مشخص شد در سال ۲۰۲۲ چشم‌اندازهای سبز دچار منظم شدن شده و تکه‌تکه شدن در آن دیده می‌شود (Shen et al., 2019). در پژوهشی دیگر (Khawaldah et al., 2000) ویژگی‌های کاربری زمین در استان ایرید کشور اردن را در دوره‌های زمانی ۱۹۸۴ و ۲۰۱۸ مورد مطالعه قرار دادند و وضعیت تغییرات آن در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ را با استفاده از مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف پیش‌بینی کردند. طی این مطالعه پیش‌بینی شد کاربری‌های انسان ساز و ساخت و سازهای مسکونی و غیر مسکونی در بخش‌های مرکزی و شرقی این استان، با توسعه قابل توجهی روبرو خواهند بود که از دلیل‌های آن می‌توان به افزایش نرخ رشد جمعیت بنابر افزایش مهاجران وارد شده از سوریه و فلسطین افزون بر افزایش طبیعی جمعیت و دیگر تغییرات اجتماعی و اقتصادی نام برد. در کشور مالزی نیز در سال ۲۰۲۰ به مطالعه کاربری زمین‌های حوزه رودخانه سلانگور و پیش‌بینی وضعیت آن در آینده پرداخته شد که در آن وضعیت کاربری زمین برای سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۳۳ با استفاده از نقشه‌های کاربری ۱۹۹۷ و ۲۰۱۵ و داده‌های جانبی نظیر پهنه‌های آبی، شبکه‌های جاده‌ای و شیب‌دار به‌دست آمده از وزارت کشاورزی و اداره توسعه مالزی مورد مطالعه قرار گرفت. و طی آن تغییرات کاربری زمین با استفاده از مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف پیش‌بینی شد و براساس نتایج

ژرف‌نگر پرداخته شده است، اشاره کرد (AL- Sharif and Pradhan, 2014). از دیگر روش‌های ناهمسان برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین می‌توان از مدل‌هایی چون: معادلات ریاضی، مدل‌های سیستمی و مدل‌های آماری نام برد (Parker et al., 2003). میزان گسترش انواع کاربری‌ها را می‌توان به‌وسیله مدل‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین نظیر مدل CA-MARCOV مشخص و در مسیر مطلوب هدایت کرد (Hathout, 2002). در سال‌های گذشته، مدل سلول‌های خودکار و مدل مارکوف، مدل‌های پیش‌بینی برجسته‌ای در زمینه شبیه‌سازی پویایی‌شناسی زمین بوده است. سلول‌های خودکار مانند یک مدل پویایی‌شناسی شبکه گسسته، توانایی محاسبه فضایی و ویژگی‌های جفت‌شدگی زمانی - مکانی قوی را دارد که می‌تواند به‌گونه‌ای مؤثر فرآیندهای پیچیده تغییر فضا را شبیه‌سازی کند (Anan, 2019; Al-shalabi et al., 2013). بر مبنای واری ادبیات و پیشینه موضوع، پژوهش‌های پرشماری در زمینه تغییرات کاربری زمین و پیش‌بینی آن انجام شده است. در این زمینه، (Shafiei Sabet et al., 2019) در پژوهش خود پس از انجام انواع مراحل پردازش تصاویر ماهواره‌ای، بر مبنای تصاویر سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۴، ۲۰۱۸ به آشکارسازی تغییرات کاربری زمین در محور کلان‌شهر تهران - دماوند پرداخته است. در این پژوهش آشکار شد که بیشترین میزان تغییرات کاربری مربوط به ساخت‌وسازهای مسکونی و غیرمسکونی بوده است؛ که در روند زمانی گفته شده، مساحت آن افزایش یافته است. افزون بر این، یافته‌های مدل ترکیبی سلول‌های خودکار و زنجیره تصادفی مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات در سال ۲۰۵۰ هم نشان داد؛ که در سال ۲۰۵۰ از مساحت کاربری‌هایی همچون: زمین‌های کوهستانی، مرتع و پوشش گیاهی (کشاورزی زراعی باغی) کاسته خواهد شد. در مقابل، به‌میزان مساحت راه و ساخت‌وسازهای مسکونی افزوده خواهد شد. همچنین، یافته‌های پژوهش (Farajollahi et al., 2016) در زمینه پایش تغییرات کاربری زمین در منطقه مراوه تپه استان گلستان،

پژوهش‌های پیشین تنها آشکارسازی تغییر کاربری زمین و در مواردی شناسایی تغییرات آن در سال‌های گوناگون واکاوی شده است. اما، این پژوهش کوشش کرده است افزون بر آشکارسازی کاربری زمین‌های شهرستان همدان و همچنین واریسی میزان و نوع تغییرات آن، پیش‌بینی کاربری زمین و میزان تغییرات آن را هم در سال ۲۰۵۰ آشکار کند.

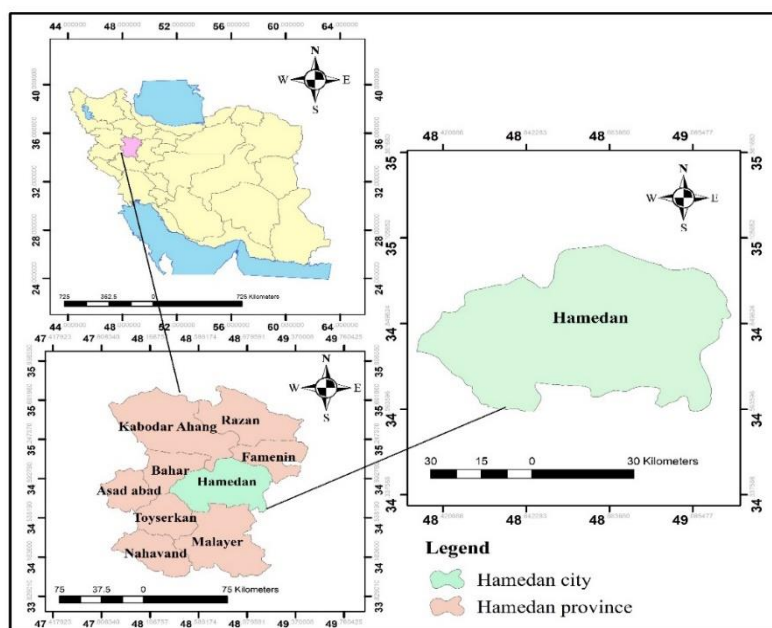
مواد و روش‌ها

موقعیت ناحیه مورد مطالعه

کلانشهر همدان مرکز سیاسی استان و شهرستان همدان بشمار می‌آید. این شهر در دو دهه گذشته به دلیل هجوم و جابجایی شتابان جمعیت به سوی آن و نیز گسترش افقی شهر، یکی از کانون‌هایی است که از گذشته دور و تاکنون در معرض تغییرات کاربری زمین به شکل گسترده قرار گرفته است. شهرستان همدان در فاصله ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه غربی از نصف النهار گرینویچ، و در حد فاصل ۳۴ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۵ درجه عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط این ناحیه از سطح دریا حدود ۱۸۷۰ متر است (شکل ۱).

به دست آمده از مدل مارکوف مشخص شد منطقه شهری در سال ۲۰۳۳ دارای سریع‌ترین مقدار رشد (۰.۳۳٪) بوده که منجر به کاهش مساحت جنگل‌ها به صورت قابل توجهی می‌شود (Camara et al., 2020).

شهرستان همدان به عنوان یکی از شهرستان‌های پرجمعیت در غرب کشور، با گذشت زمان و با افزایش جمعیت و رشد و توسعه شهرنشینی، دستخوش تغییرات کاربری زمین‌های ناشی از توسعه ساخت‌وسازها و گسترش بافت فیزیکی آن قرار گرفته است. تغییر کاربری زمین در روند زمانی موجب تخریب گستره بسیار زیادی از زمین‌های کشاورزی و باغی منطقه گشته است. بنابراین، تغییرات در این زمین‌ها به دلیل نبود برنامه‌ریزی مناسب در منطقه، سبب پیامدهای جبران‌ناپذیری مانند مشکل‌های محیط زیستی، تخریب مرتع‌ها، کاهش تولیدهای کشاورزی منطقه، کاهش کیفیت خاک منطقه و سرانجام افزایش زمین‌های بایر شده است. بنابراین، در راستای جلوگیری از افزایش این تغییر کاربری‌ها اهمیت مطالعه کاربری زمین و میزان تغییرات آن پرسشی است که پاسخ آن را در درون نواحی و منطقه‌های هر کشوری مانند ناحیه همدان می‌توان جستجو کرد. در این راستا، در



شکل ۱- نقشه موقعیت ناحیه مورد مطالعه، شهرستان همدان

Fig. 1- Map of the study region, Hamedan, Iran

طبقه‌بندی‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. از آن‌جا که نواحی نمونه، پایه طبقه‌بندی را تشکیل داده، کوشش بر این بوده که نمونه‌ها با دقت برداشت شوند. جدول ۲ بیانگر ویژگی‌های هر طبقه است.

جدول ۲- نوع زمین‌های تحت پوشش هر کاربری

Table 2. Type of lands of each land-use

نوع کاربری Land use	زمین‌های تحت پوشش Covered lands
مسکونی و غیرمسکونی Residential and non-residential	زمین‌های مسکونی، تجاری، صنعتی، خدماتی، آموزشی، راه‌ها و سایر اماکن انسان‌ساز Residential, commercial, industrial, service, educational, roads, human-made places
زمین‌های باغی و زراعت آبی Garden lands and irrigated farming	زمین‌های باغی و زمین‌های زراعی آبی Garden lands and irrigated farming lands
کوهستانی و مرتع Mountains and rangeland	زمین‌های کوهستانی و مرتع با پوشش گیاهی خوب و متوسط، زمین‌های دیم و رخنمون‌های سنگی Mountainous lands and rangeland with good and medium vegetation, dry lands and rock outlands
زمین‌های بایر Barren lands	زمین‌های بایر، مرتع‌های فقیر Barren lands, poor rangelands

روش کار

پیش‌پردازش

اولین گام پس از جمع‌آوری تصاویر ماهواره‌ای انجام گام‌های پیش‌پردازش همچون تصحیحات هندسی، رادیومتریک و اتمسفری روی تصاویر است. در این پژوهش تصحیح هندسی برای جبران انحراف‌های تصویر انجام شد. به گونه‌ای که تصویر تصحیح شده قابلیت انطباق با نقشه و لایه‌های رقومی را داشته باشد. به منظور افزایش دقت مکانی تصاویر، نقاط کنترل زمینی با پراکندگی مناسب و تعداد قابل پذیرش برگزیده شدند. سپس، تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش زمین مرجع شدند. سرانجام، پس از رفع خطای هندسی به تصحیح-های رادیومتریک و تصحیح‌های اتمسفریک در تصاویر ماهواره‌ای پرداخته شد.

داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده در پژوهش

داده‌های ماهواره‌ای

در پژوهش حاضر به منظور آشکارسازی کاربری زمین و تغییرات آن در طول سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۹، به دلیل قدمت دوره‌های زمانی، دسترسی آسان و نیز قدرت طیفی و مکانی مناسب، از تصاویر ماهواره لندست بهره گرفته شده است. بنابراین، تصاویر ماهواره لندست در سال‌های ۱۹۹۳، ۲۰۰۴، ۲۰۱۹ از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا گرفته شد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های تصاویر ماهواره‌ای

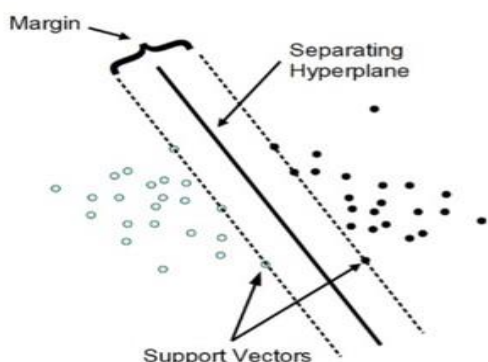
Table 1. List of satellite images

تاریخ اخذ تصویر Date of taking the image	سنجنده Sensor	ماهواره Satellite	تصویر Image
1993.6.9	TM	Landsat5	1993
2004.6.19	ETM	Landsat7	2004
2019.6.11	Oli	Landsat8	2019

داده‌های زمینی

پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای متناسب با ماهیت پژوهش، به شناسایی مناسب‌ترین نوع طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در راستای آشکارسازی کاربری زمین پرداخته شد. بر مبنای این‌که در پژوهش حاضر از طبقه‌بندی نظارت‌شده، بهره‌گرفته شد؛ بنابراین، شناسایی نوع و تعداد طبقه‌ها بسیار ارزشمند است. طبقه‌بندی نظارت‌شده بر مبنای شناخت‌های پیشین استوار است. به گونه‌ای که در آغاز بر پایه شناخت محدوده مورد مطالعه، باز دیدهای میدانی و ویژگی‌های طیفی تصاویر ماهواره‌ای، کاربری زمین در محدوده مورد مطالعه در چهار گروه: کاربری مسکونی و غیرمسکونی، زمین‌های باغی و زراعت آبی، کوهستانی و مرتع و زمین‌های بایر تعریف شدند (جدول ۲). پس از شناخت کاربری‌های مورد نظر، انتخاب نمونه‌های آموزشی به شکل کاملاً اتفاقی انجام شد. نمونه‌های آموزشی در دو گروه قرار گرفت. دسته اول، برای بهره‌گیری در طبقه‌بندی؛ و دسته دوم، برای ارزیابی درستی و دقت

آموزشی، کلاس‌های ناهمسان کاربری را با بیشترین جدایی بین آن‌ها تفکیک می‌نماید (شکل ۲).



شکل ۲- نمای از فرایند طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان
Fig. 2- Schematic view of a support vector machine

دقت کلی

دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر کل پیکسل‌ها، بنابر رابطه دلایمان و اسمیا به دست می‌آید (Stehman, 2004).

ماتریس خطا

برای اعتبار سنجی تصاویر طبقه‌بندی شده از برآورد ماتریس خطا بهره گرفته شد. بدین شکل که در این ماتریس ستون‌ها نشان‌دهنده داده‌های زمینی به گونه‌ای تصادفی انتخاب شده و ردیف‌ها هم نمایانگر داده‌های طبقه‌بندی شده هستند. ماتریس خطا، دقت را براساس تعداد پیکسل‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند، محاسبه می‌کند، به عبارت دیگر تعداد پیکسل‌هایی که برای هر یک از کلاس‌های گفته شده به درستی طبقه‌بندی شده‌اند به همه پیکسل‌های مورد مطالعه تقسیم می‌شوند، که با استفاده از آن‌ها می‌توان دقت کلی طبقه‌بندی تصویرها را استخراج کرد.

ضریب کاپا

ضریب کاپا همبستگی کلی را توصیف کرده و برای ارزیابی درستی نتایج طبقه‌بندی و همچنین برای محاسبه ضریب همبستگی از آزمون ضریب کاپا استفاده می‌شود. با بهره‌گیری از این آزمون، مقایسه و تحلیل نتایج پیش‌بینی شده در فرایند طبقه‌بندی و داده‌های واقعی مربوط به

بارسازی تصویر

برای افزایش قدرت تفکیک تصاویر لندست ۷ و ۸، و بارسازی هر چه بیشتر آن‌ها به تلفیق تصاویر ماهواره‌ای به همراه باند سیاه و سفید پانکروماتیک^(۱) توسط الگوریتم CN در نرم‌افزار انوی اقدام شد. الگوریتم CN توسعه یافته روش Brovey بوده است. اما محدودیت تعداد باندها در آن وجود نداشته و به کاربر امکان بهره‌گیری از تصاویر بیشتر از سه باند همانند تصویر ورودی را می‌دهد، این الگوریتم باندهای چند طیفی را نرمال می‌سازد و آن را با شدت و روشنایی تصویر پانکروماتیک تطبیق می‌دهد و دقت تفکیک تصویر را افزایش می‌دهد (رابطه ۱).

$$N = \frac{3(msi+1)(pan+1)}{\sum_i^n msi+3} - 1 \quad (1)$$

در رابطه (۱)، MS باندهای چند طیفی و i شماره باند است. همچنین Pan بیانگر باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک بالا است.

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، فرایندی است که در آن یک تصویر ماهواره‌ای تشکیل شده از باندهای ناهمسان در طیف‌های متنوع امواج الکترومغناطیس، به یک نقشه کاربری تبدیل می‌شود؛ این نقشه بیانگر کلاس‌های مختلف کاربری است و هر کلاس نیز ارائه دهنده یک نوع کاربری خواهد بود. در این فرایند هر سلولی که دارای ویژگی‌های همسانی با بقیه سلول‌های مشابه هستند در یک کلاس و طبقه قرار می‌گیرند. انواع طبقه‌بندی به دو گونه: نظارت شده و نظارت نشده دسته‌بندی می‌شوند.

طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان

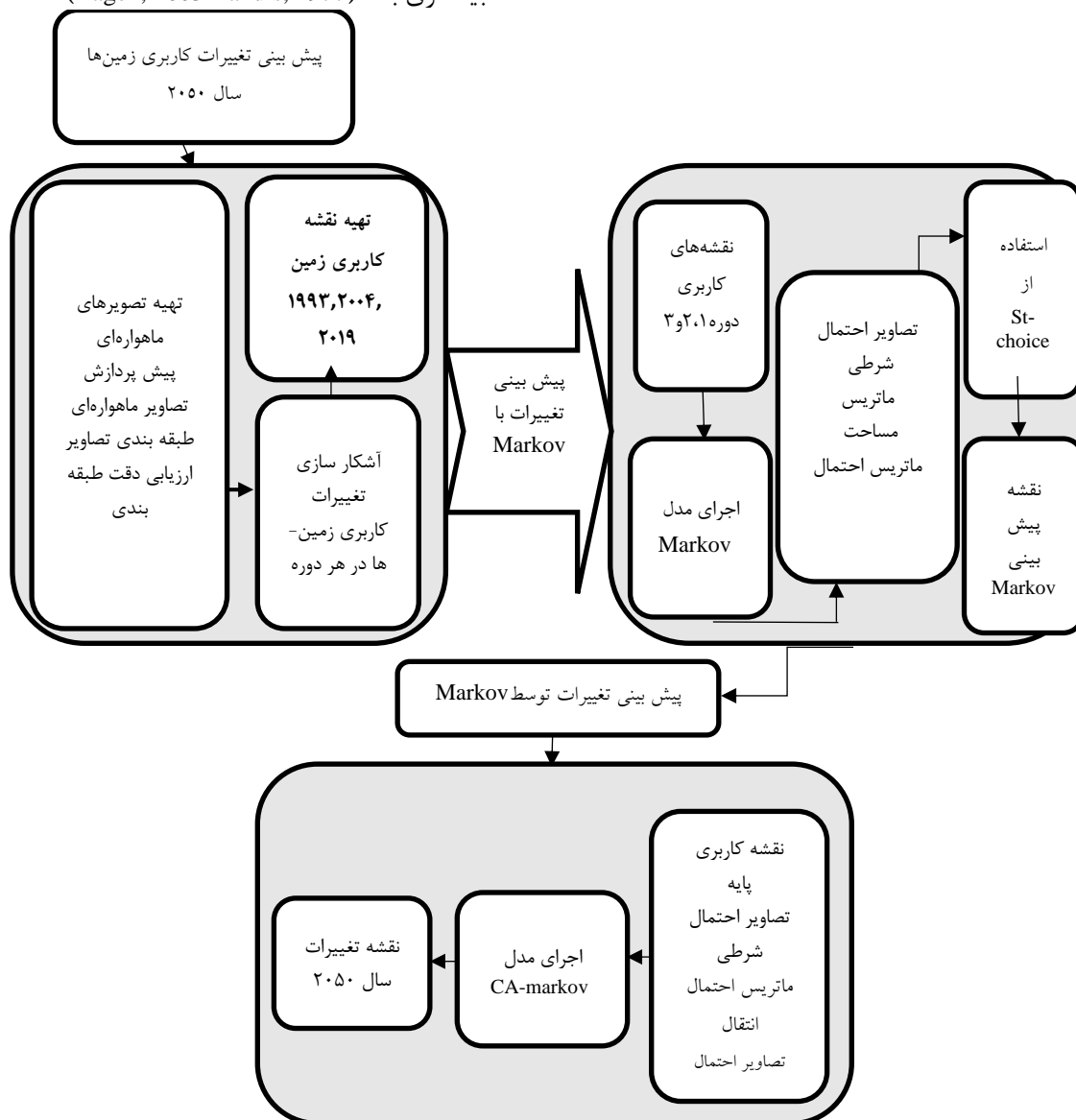
در این پژوهش از طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان^(۲) که در گروه طبقه‌بندی نظارت شده قرار می‌گیرد، بهره‌گیری شده است. روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان، یک روش طبقه‌بندی دودویی است که با شناسایی یک صفحه تفکیک‌کننده بهینه در فضای ویژگی‌های داده‌های

پیش‌بینی‌شده مطابق با نتیجه واقعی باشد، و P_e این احتمال است که نتایج پیش‌بینی مطابق با موارد واقعی تصادفی است که می‌تواند نشان‌دهنده میزان شباهت بین نتایج شبیه‌سازی و داده‌های واقعی و تحلیل کمی دقت شبیه‌سازی باشد (Landis, 1977; Hagen, 2003).

سنجش‌های کاپا محاسبه می‌شود. ضریب کاپا به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$Kappa = \frac{Po - Pe}{1 - Pe} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، p_o این احتمال است که نتیجه



شکل ۳- نمودار روند پژوهش
Fig. 3- Flowchart of research trends

تغییر در آن را پیش‌بینی می‌کند و به ترسیم نقشه‌ای واحد نمی‌پردازد (Subedi et al., 2013). برای رفع این مشکل، مدل CA-markov برای افزودن ویژگی‌های مکانی به زنجیره مارکوف پیشنهاد شد (شکل ۴). معادله زنجیره‌ای مارکوف به شکل زیر است:

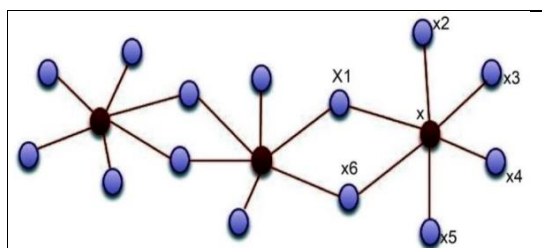
مدل زنجیره مارکوف

مدل زنجیره‌ای مارکوف به گونه‌ای تصادفی کار می‌کند، که در آن وضعیت آینده یک پیکسل به وضعیت گذشته آن پیکسل و روند تغییرات آن بستگی دارد. به سخن دیگر، نتیجه این مدل یک ماتریس است که احتمال وقوع

می‌شود: (Muller and Middleton, 1994).

$$\begin{bmatrix} LC_{uu} & LC_{ua} & LC_{uw} & \dots \\ LC_{au} & LC_{wa} & LC_{aw} & \dots \\ LC_{wu} & LC_{aa} & LC_{ww} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_t \\ A_t \\ W_t \\ \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_t \\ A_t \\ W_t \\ \dots \end{bmatrix}$$

$$M_{LC} \times M_t = M_{t+1}$$



شکل ۴-نمایی از زنجیره تصادفی مارکوف
Fig. 4- A view of the Markov chain

$$L_{(t+1)} = P_{ji} \times L_{(t)} \text{ and } P_{ji}$$

$$= \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{m1} & P_{m2} & \dots & P_{mm} \end{bmatrix}$$

$$(0 \leq P_{ji} < 1 \text{ and } \sum_{j=1}^m P_{ji} = 1, i, j = 1, 2, \dots)$$

در این معادله $L(t)$ و $L(t+1)$ ، حالت‌های کاربری زمین در دوره‌های t و $t+1$ هستند، و P_{ji} یک ماتریس احتمال گذار در یک حالت است. به عبارت دیگر در زنجیره مارکوف در معادله (۴)، از توزیع کاربری زمین در آغاز (mt) و پایان یک دوره زمانی گسسته ($mt + 1$) و همچنین از یک ماتریس انتقال (MLC) ایجاد می‌شود که تغییرات رخ داده در دوره زمانی موردنظر را نشان می‌دهد. با توجه به این فرایند، تغییر استفاده در یک قطعه زمین براساس احتمال‌های گمانه زده شده و در ماتریس احتمال جابجایی، نوشته

جدول ۳- مساحت انواع کاربری زمین

Table 3. Area of land use types

درصد Percentage	2019	درصد Percentage	2004	درصد Percentage	1993	کاربری زمین Land use
2.1	5673.7	1	2631.2	0.8	2256.6	ساخت‌وساز مسکونی و غیرمسکونی Residential and non-residential construction
12.4	34275.4	13.3	36988.1	14.5	40328.5	زمین‌های باغی و زراعت آبی Garden lands and water farming
48.2	134367.9	49.8	138148.5	51.3	142233.9	کوهستانی و مرتع Mountains and rangeland
38.3	103197	35.9	99401.7	33.4	92684.5	زمین‌های بایر Barrenlands

مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف

این مدل برای رفع مشکل نبود وجود مشخصه مکانی زنجیره مارکوف استفاده می‌شود (Guan et al., 2011). به عبارت دیگر، این مدل یک تکنیک مدل‌سازی در فضای نقشه‌های رستری تعریف می‌شود؛ که نماینگر وضعیت کاربری یک سلول است و تغییر در وضعیت هر سلول بستگی به وضعیت سلول در زمان حال و وضعیت سلول همسایه دارد. مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف هم توانایی پیش‌بینی مدل مارکوف و هم مزیت مدل سلول‌های خودکار در شبیه‌سازی تغییرات فضایی سیستم‌های پیچیده را

مدل سلول‌های خودکار

مدل سلول‌های خودکار یک چشم انداز را همانند یک شبکه نشان می‌دهد که در آن هر سلول در هر گام زمانی $T+1$ با بهره‌گیری از قانون‌گذار بر پایه وضعیت سلول‌های مجاور در زمان T ، و مطابق با قوانین گذار از پیش تعیین شده به‌روز می‌شود (Wolfram, 1983). سلول‌های خودکار از چهارعنصر تشکیل شده است: فضای سلول، حالت‌های سلول، گام‌های زمانی و قوانین انتقال که می‌تواند تغییراتی را در فضای دوبعدی شبیه‌سازی کند (White and Engelen, 2000).

نتایج و بحث

ترسیم نقشه‌های کاربری زمین

پس از انجام گام‌های پیش‌پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای آشکارسازی تغییرات کاربری زمین در طی سال‌های ۲۰۱۹، ۲۰۰۴، ۱۹۹۳ شکل گرفت (شکل ۵، ۶ و ۷). پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار انوی، به ارزیابی دقت و درستی تصاویر ماهواره‌ای پرداخته شد که میزان دقت کلی و ضریب کاپا طبقه‌بندی هر دوره در جدول ۴ نشان داده شده است.

دارد (Torrens, 2003). با بهره‌گیری از نرم افزار Terrset ماتریس تبدیل احتمال داده در محدوده مورد مطالعه به سلول‌های خودکار افزوده شد. در این مدل حوزه انتقال و احتمال هر نوع کاربری زمین توسط زنجیره مارکوف تولید و مجموعه تصویر از تناسب انتقال زمین با مدل رگرسیون منطقی ایجاد شد. سرانجام، وضعیت کاربری زمین در آینده توسط سلول‌های خودکار شبیه‌سازی شد که همواره با احتمال جابجایی و نقشه مناسب آن همراه بوده است (Kamusoko et al., 2009).

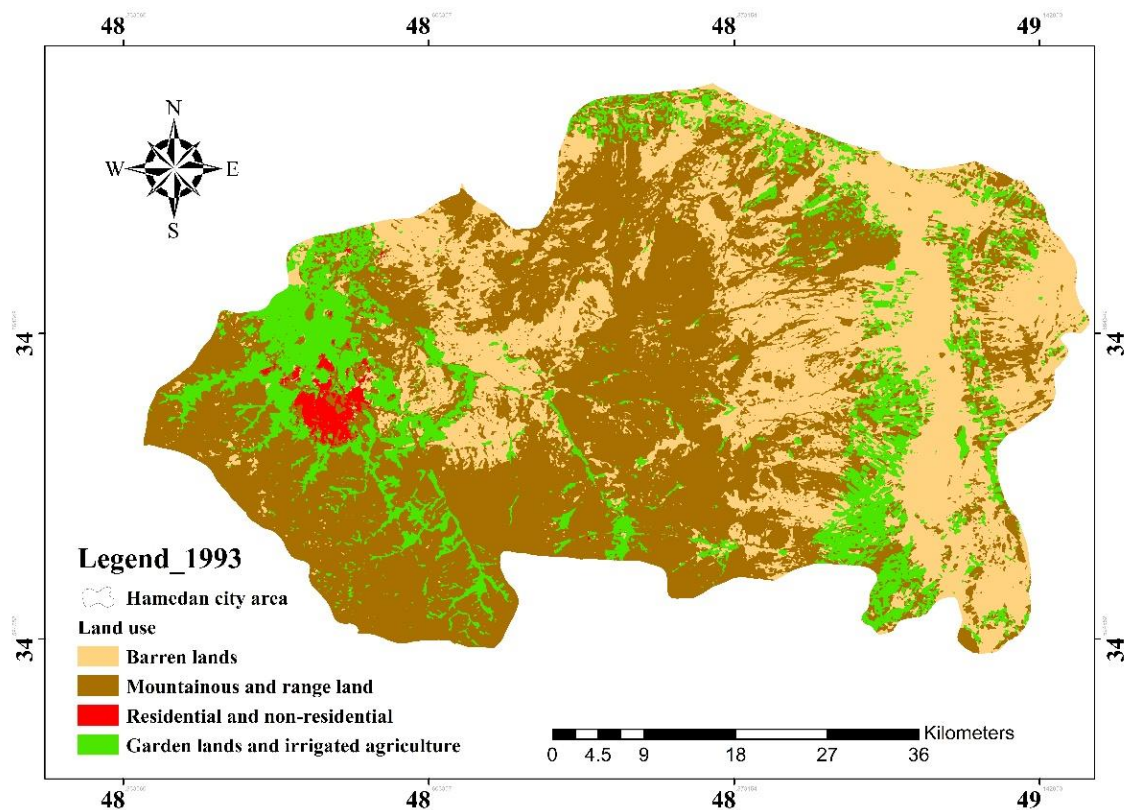
جدول ۴- میزان دقت تصویرهای طبقه‌بندی شده

Table 4. Accuracy of classified images

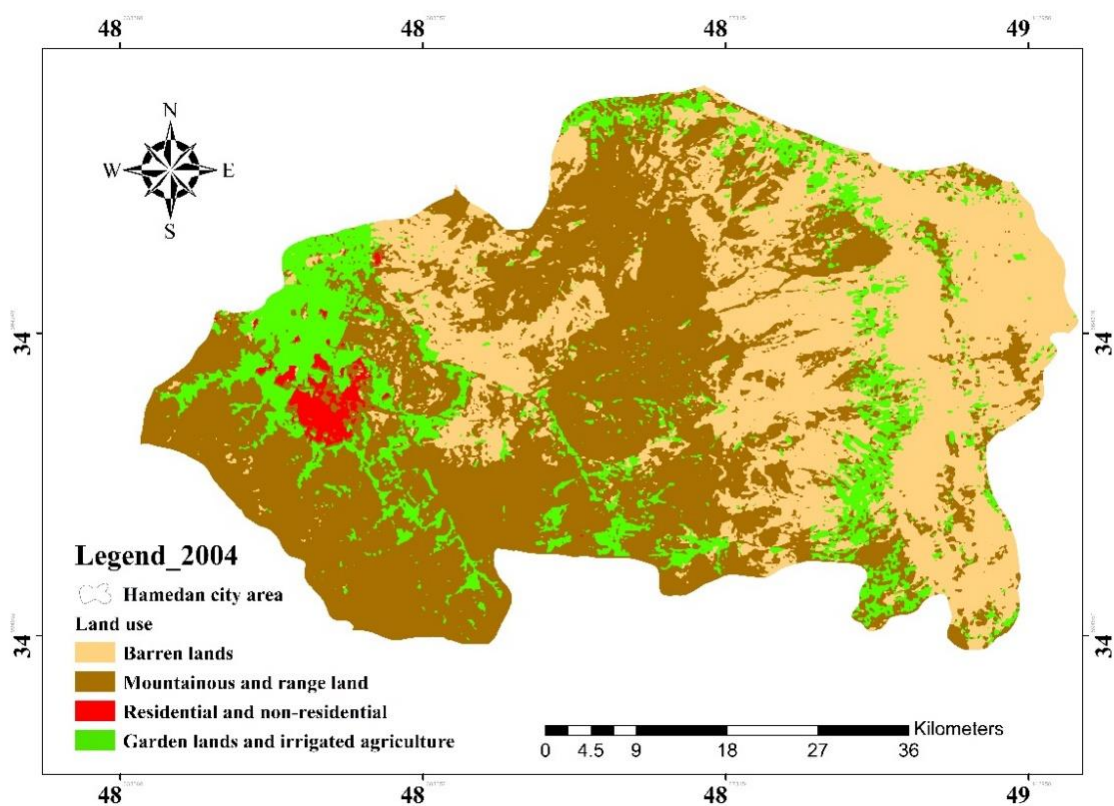
سال Year	نقشه کاربری تهیه شده Prepared land-use map	دقت کلی Overall accuracy	ضریب کاپا Kappa coefficient
1993		91.3	74%
2004		93.6	80%
2019		95.1	83%

غیرمسکونی سال ۱۹۹۳ نسبت به سال ۲۰۱۹ است. افزایش مساحت در ساخت‌وسازهای مسکونی و غیرمسکونی به گونه‌ای است که از ۰/۸ درصد در سال ۱۹۹۳ به ۱ درصد در سال ۲۰۰۴ و ۲/۱ درصد در سال ۲۰۱۹ رسیده است، زمین‌های بایر دیگر کاربری است که پس از کاربری ساخت‌وساز مسکونی و غیرمسکونی با ۳۷/۳ بیشترین مساحت را در سال ۲۰۱۹ در برمی‌گیرد. در مقابل، کلاس‌هایی مانند زمین‌های باغی و زراعت آبی و کوهستانی و مرتع برخلاف کاربری‌های مسکونی و غیرمسکونی و زمین‌های بایر با کاهش مساحت در ناحیه روبرو بوده‌اند. به عبارت دیگر، نتایج حاصل از آشکارسازی تغییرات کاربری نشان می‌دهد که با گذشت زمان زمین‌های باغی و زراعت آبی و نیز زمین‌های کوهستانی و مرتع به کاربری‌های ساخت‌وساز مسکونی و غیرمسکونی و زمین‌های بایر تبدیل شده است.

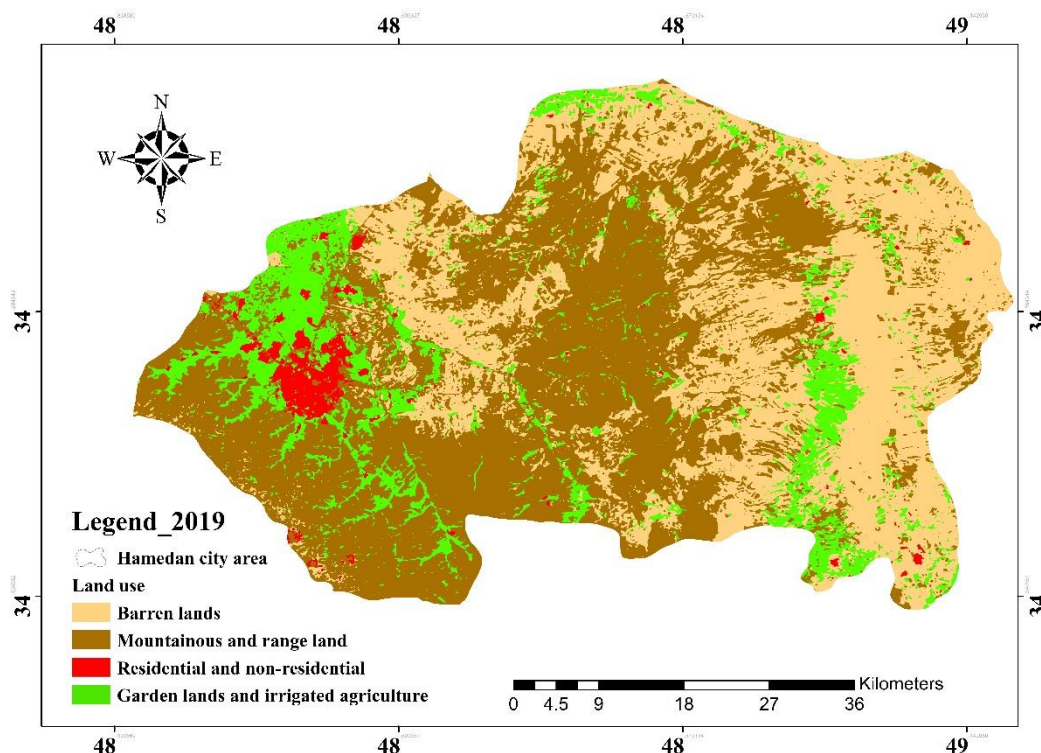
بررسی نتایج ارزیابی درستی طبقه‌بندی روش ماشین بردار پشتیبان گویای آن است که کمترین میزان دقت در طبقه‌بندی تصاویر مربوط به طبقه‌بندی تصاویر سال ۱۹۹۳ به دلیل پایین بودن میزان قدرت تفکیک تصاویر ماهواره‌ای و بیشترین میزان دقت نیز در طبقه‌بندی مربوط به تصویر سال ۲۰۱۹ به دلیل قدرت تفکیک بالا و افزایش تعداد باندهای سنجنده لندست ۸ نسبت به لندست ۵ و ۷ بوده است. مساحت شهرستان همدان در مجموع ۲۷۷۸۱۳/۸۴ هکتار است؛ که پس از انجام گام‌های طبقه‌بندی و ارزیابی نتایج، این مساحت به چهار کلاس کاربری یعنی زمین‌های بایر، کوهستانی و مرتع، ساخت‌وساز مسکونی و غیرمسکونی و زمین‌های باغی و زراعت آبی تفکیک شده است. آمار مربوط به مساحت هر کلاس در دوره‌های گوناگون زمانی (جدول ۳) نشان‌دهنده افزایش بسیار زیاد ساخت‌وسازهای مسکونی و



شکل ۵- نقشه کاربری زمین در سال ۱۹۹۳
Fig. 5- Land use mapping of the year 1993



شکل ۶- نقشه کاربری زمین در سال ۲۰۰۴
Fig. 6- Land use mapping of the year 2004



شکل ۷- نقشه کاربری زمین در سال ۲۰۱۹
Fig. 7- Land - use mapping of the year 2019

کاربری زمین در طول ۲۶ سال پس از صحت‌سنجی طبقه‌بندی تصاویر و برآورد میزان دقت آن‌ها هر یک از لایه‌های طبقه‌بندی شده وارد نرم‌افزار Terrset شد؛ و میزان تغییرات و تبدیل هر کاربری به کاربری دیگر محاسبه شد که نتیجه آن در جدول ۵ نشان داده شده است.

آشکارسازی تغییرات

پس از آشکارسازی انواع کاربری‌ها در ناحیه مورد مطالعه، ارزیابی میزان دگرگونی‌ها در سه دوره گفته شده، انجام شد. این دگرگونی‌ها نمایانگر میزان تغییرات هر کاربری و نوع تبدیل کاربری‌ها در گذر زمان است. برای واکاوی تغییرات

جدول ۵- مساحت تغییرات کاربری زمین
Table 5. Area of changes in each land-use

2004-2019 Area (hectares)	1993-2004 Area (hectares)	نوع کاربری Land use
212842.9	248684.1	بدون تغییر Unchanged
9.13	6.75	زمین‌های باغی و زراعت آبی Garden lands of irrigated farming
39.6	35.7	کوهستانی و مرتع Mountains and Rangeland
0.28	12.2	زمین‌های بایر Barren lands
556.5	42.1	مسکونی و غیرمسکونی Residential and non-residential
9387	7480	کوهستانی و مرتع Mountainous and Rangeland
9024.6	6446.4	زمین‌های بایر Barren lands

ادامه جدول ۵- مساحت تغییرات کاربری زمین
Cont. Table 5. Area of changes in each land-use

483.5	1955.6	مسکونی و غیرمسکونی Residential and non-residential	
6880.4	7981.6	زمین‌های باغی و زراعت آبی Garden lands and irrigated farming	کوهستانی و مرتع Mountainous and Rangeland
17405.3	22875.4	زمین‌های بایر Barrenlands	
59	203.6	مسکونی و غیرمسکونی Residential and non-residential	
41088	4557.5	زمین‌های باغی و زراعت آبی Garden lands and irrigated farming	زمین‌های بایر Barren lands
16045.7	12362.2	کوهستانی و مرتع Mountainous and Rangeland	

بدون تغییر باقی خواهند ماند. بر مبنای نتایج به دست آمده از ماتریس احتمال جابجایی آشکار شد که بیشترین کاهش کاربری تا سال ۲۰۵۰ در زمین‌های باغی و آبی منطقه و همچنین کاربری کوهستانی و مرتع به نفع کاربری مسکونی و غیرمسکونی و نیز زمین‌های بایر رخ خواهد داد. بنابراین، بر مبنای یافته‌های پژوهش حاضر آشکار شد، گسترش شهرنشینی در همدان به گونه‌ای فزاینده روبه رشد بوده و این موضوع موجب تغییر کاربری زمین‌های منطقه شده است. این نتایج با یافته‌های حاصل از پژوهش‌های *Shen et al.* (2019) در منطقه شمالی نانجینگ چین، *Khawaldah et al.* (2000) در استان ایربد کشور اردن و *Camara et al.* (2020) در پیرامون رودخانه سلانگور کشور مالزی که افزایش جمعیت و رشد و توسعه شهرنشینی در آن‌ها با گذشت زمان سبب تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی و قطعه قطعه شدن و تخریب فضای سبز در این منطقه شده است، هم‌راستا می‌باشد. همچنین، در این پژوهش آشکار شد استفاده از مدل ترکیبی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف به عنوان مدلی کارآمد توانایی پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین را به صورت ناحیه‌ای و منطقه‌ای در شهرستان همدان توسط پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست دارا است؛ و می‌توان از آن به منظور برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های منطقه‌ای همانند یک پارامتر با ارزش مدیریتی بهره گرفت.

مدل‌سازی تغییرات بوسیله مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف

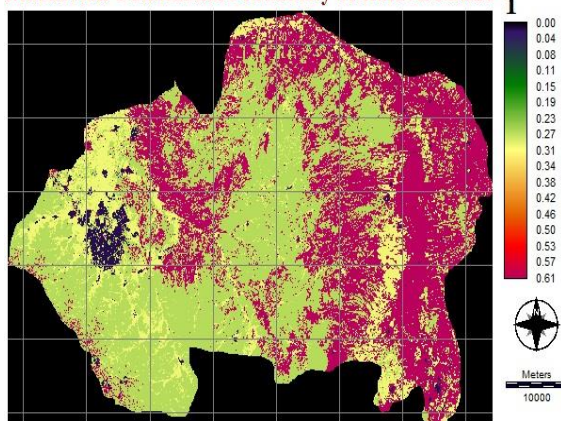
پس از ترسیم نقشه‌های کاربری زمین سال‌های ۲۰۱۹، ۲۰۰۴، ۱۹۹۳، نقشه سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۱۹ مانند نقشه‌های دوره اول و دوم، در نرم‌افزار Terrset به ماژول مارکوف معرفی شده و به تولید تصاویر احتمال شرطی (شکل ۸) برای هر کاربری و تشکیل ماتریس‌های احتمال انتقال پرداخته شد. سپس برای ایجاد نقشه پیش‌بینی سال ۲۰۵۰ از دستور St-choice بهره‌گرفته شد. سرانجام، با توجه به این موضوع که مدل مارکوف به‌تنهایی و به‌گواه نبود وجود ویژگی‌های مکانی نتیجه مطلوبی را ارائه نداده است (شکل ۹)، به منظور دست یافتن به نتیجه مطلوب، از ترکیب مدل‌های سلول‌های خودکار و مارکوف استفاده شده و با معرفی تصویر سال پایه و ماتریس‌های احتمال انتقال به ترسیم نقشه کاربری زمین سال ۲۰۵۰ با به همراه داشتن مؤلفه‌های مکانی اقدام گردید (شکل ۱۰). جدول ۶ ماتریس احتمال انتقال کلاس‌های کاربری زمین از نقشه‌های سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۱۹ را با بهره‌گیری از روش زنجیره مارکوف نشان می‌دهد که در آن آشکار شد که ۸۷٪ درصد از کاربری ساخت و ساز مسکونی و غیرمسکونی، ۶۷٪ درصد از کاربری کوهستانی و مرتع، ۴۵٪ درصد از زمین‌های باغی و زراعت آبی و ۶۶٪ درصد از زمین‌های بایر در سال ۲۰۵۰

این یافته با پژوهشی که Shafiei Sabet *et al.* (2019) در آن به پیش‌بینی کاربری زمین‌های محور کلانشهر تهران - دماوند و تغییرات آن در سال ۲۰۵۰ بوسیله مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف پرداختند، مطابقت دارد.

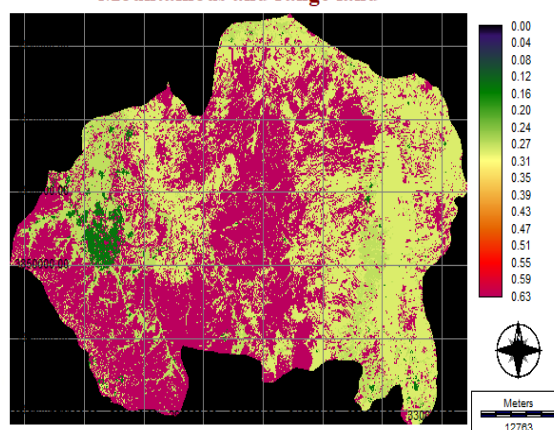
جدول ۶- ماتریس احتمال انتقال کاربری سال‌های ۱۹۹۳ و ۲۰۱۹
Table 6. Transmission probability matrix of land-use between 1993 and 2019

کاربری زمین Land- use	زمین‌های بایر Barren lands	کوهستانی و مرتع Mountainous and Rangeland	مسکونی و غیرمسکونی Residential and non-residential	زمین‌های باغی و زراعت آبی Garden lands and irrigated farming
زمین‌های بایر Barren lands	0.66	0.26	0.015	0.067
کوهستانی و مرتع Mountainous and Rangeland	0.24	0.67	0.20	0.074
مسکونی و غیرمسکونی Residential and non-residential	0	0.092	0.87	0.032
زمین‌های باغی و زراعت آبی Garden lands and irrigated farming	0.29	0.241	0.017	0.45

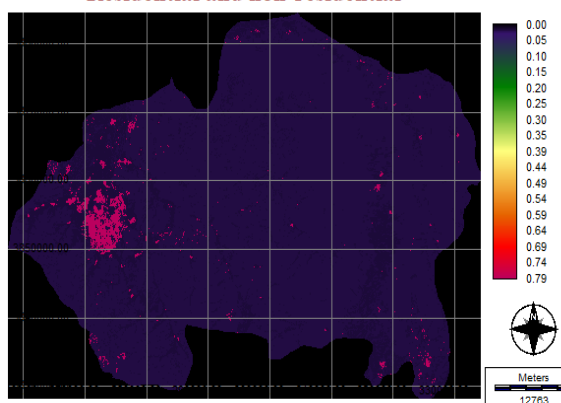
Markovian Conditional Probability of Barren Lands 1



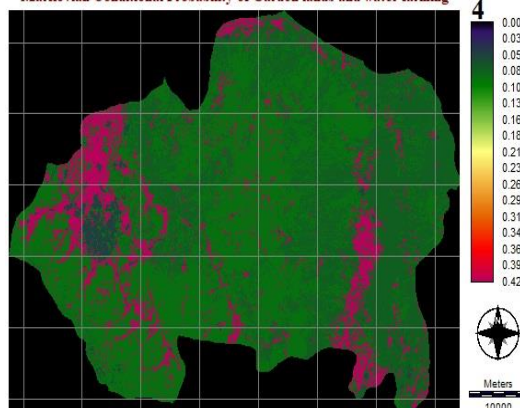
Mountainous and range land



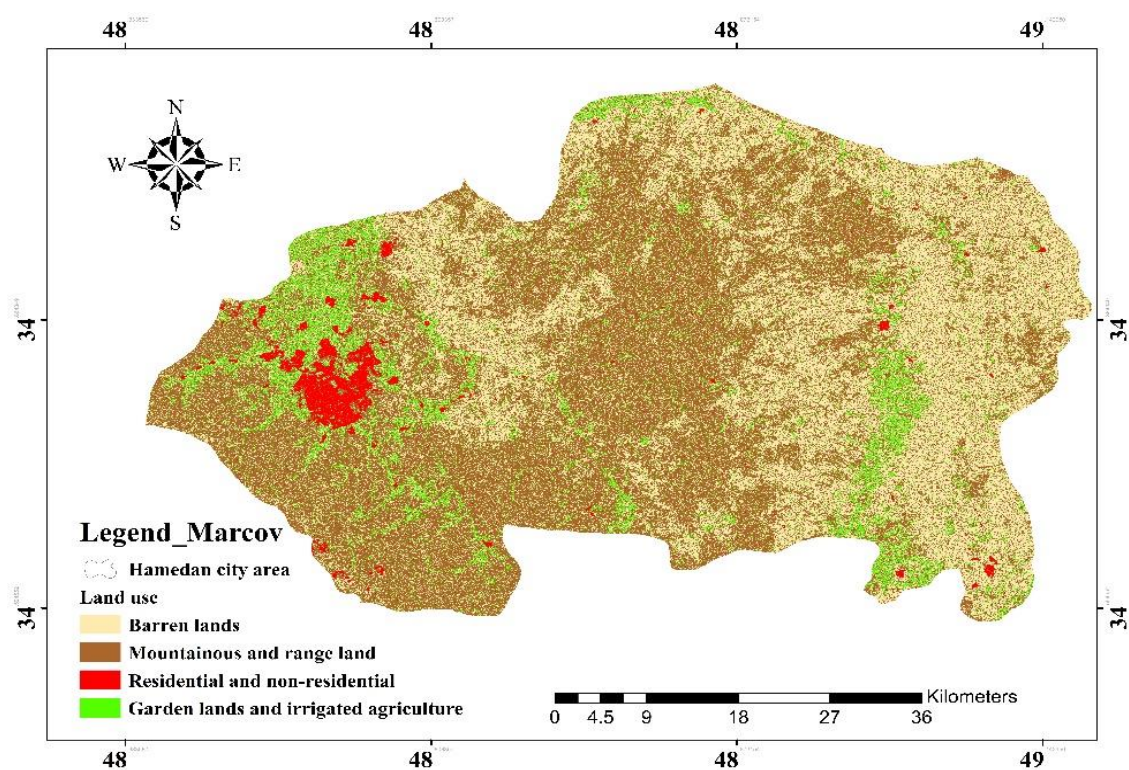
Residential and non-residential



Markovian Conditional Probability of Garden lands and water farming

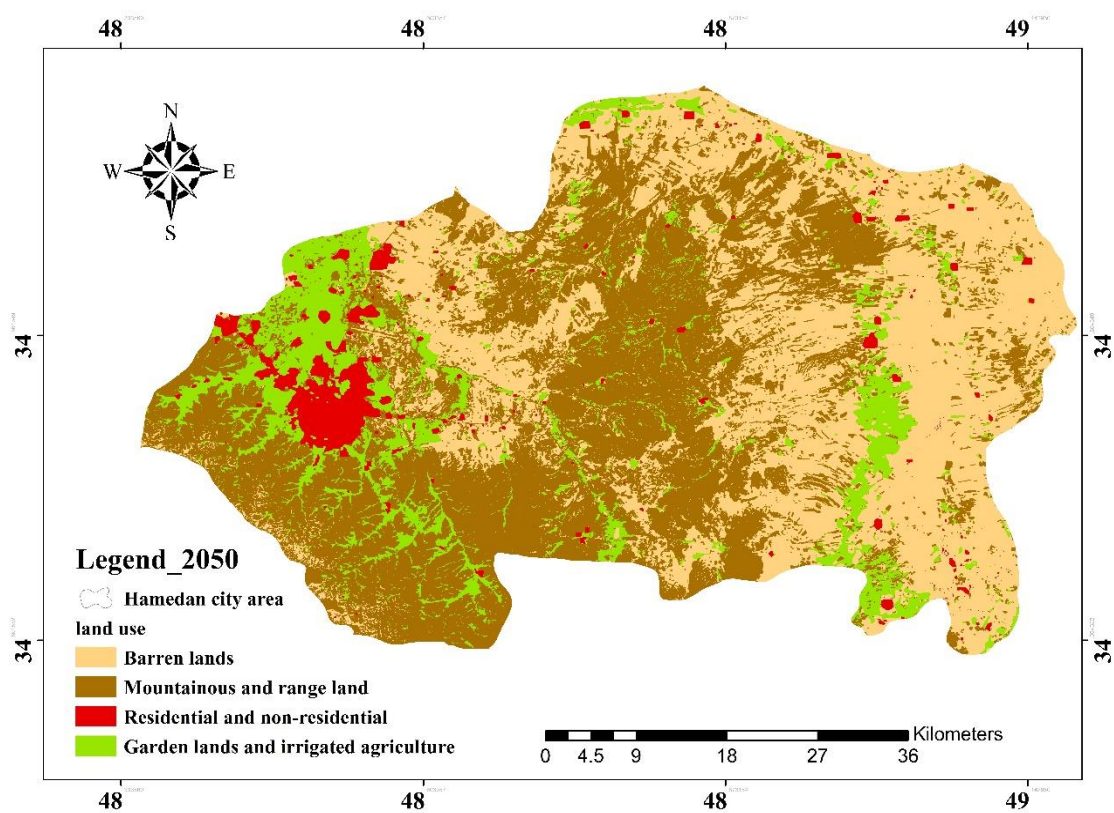


شکل ۸- تصویر ۱ احتمال شرطی بودن کاربری زمین‌های بایر، تصویر ۲ احتمال شرطی بودن کاربری کوهستانی و مرتع، تصویر ۳ احتمال شرطی بودن کاربری ساخت و ساز مسکونی و غیر مسکونی، تصویر ۴ احتمال شرطی بودن کاربری زمین‌های باغی و زراعت آبی
Fig. 8- (1) The conditional probability of the barren land - use. (2) The conditional probability of the mountain and rangeland. (3) The conditional probability of residential and non-residential land-uses. (4) The conditional probability of garden land use and irrigated farming



شکل ۹- نقشه پیش‌بینی شده کاربری زمین سال ۲۰۵۰ توسط مدل زنجیره مارکوف

Fig. 9- The predicted map of 2050 land - use by Markov chain model



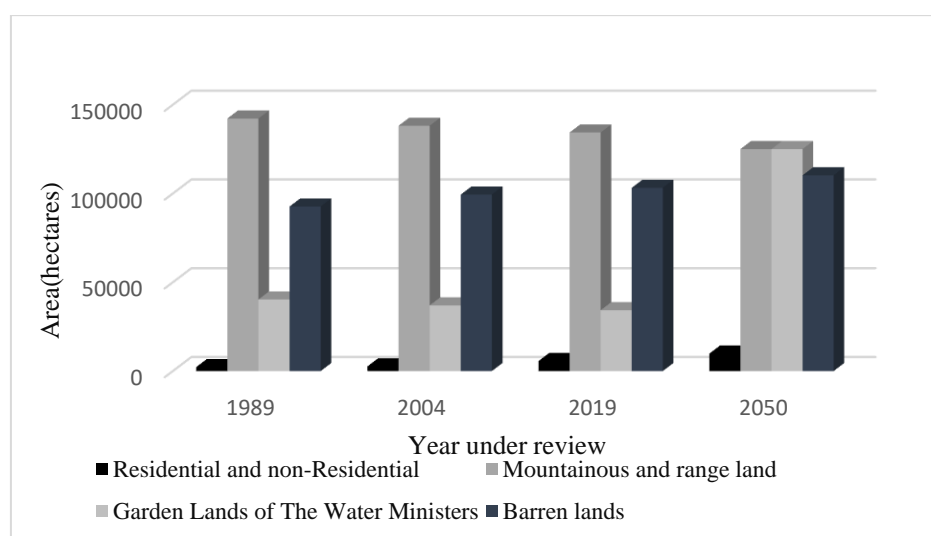
شکل ۱۰- نقشه پیش‌بینی شده کاربری زمین سال ۲۰۵۰ توسط مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف

Fig. 10- The predicted map of 2050 land-use by the Markov chain model

جدول ۷- مساحت میزان هر کاربری در سال ۲۰۵۰

Table 7. Area of each land- use in 2050

درصد Percentage	مساحت (هکتار) Area (hectares)	نوع کاربری Land - use	ردیف Row
3.5	9858.6	ساخت‌وساز مسکونی Residential and non-residential	1
11.6	322369	زمین‌های باغی و زراعت آبی Garden lands and irrigated farming	2
45.1	125031.3	کوهستان و مرتع‌ها Mountainous and Rangelands	3
39.8	110254.9	اراضی بایر Barren Lands	4



شکل ۱۱- نمودار مساحت‌های چهار کلاس کاربری زمین در سه دوره زمانی و یک دوره پیش‌بینی سال ۲۰۵۰

Fig. 11- Area of four land-uses classified in three time courses and apredicted year (2050)

بی‌کیفیت و بایر روشن‌گر این موضوع است. در این راستا، طی سال‌های گذشته، با توجه به تغییرات بسیار زیادی که در کاربری زمین و اکوسیستم‌های ناحیه مورد مطالعه در شهرستان همدان به وقوع پیوسته، پیامدهایی روی تعامل انسان و محیط پیرامونی آن داشته است. نتایج مطالعه حاضر آشکار ساخت از آغاز دوره مطالعه یعنی سال ۱۹۹۳ تا سال ۲۰۱۹ از مساحت کاربری زمین‌های باغی و زراعت آبی و کوهستانی و مرتع ناحیه به‌گونه‌ای فزاینده کاسته شده است. در مقابل، مساحت کاربری‌های ساخت‌وساز مسکونی و غیرمسکونی و زمین‌های بایر افزایش یافته است. بیشترین میزان این افزایش مساحت مربوط به کلاس ساخت‌وساز مسکونی و غیرمسکونی بوده که بیشتر

نتیجه‌گیری

مدیریت مناسب منابع طبیعی و برنامه‌ریزی فضایی هر ناحیه نیازمند دسترسی به آمار و اطلاعات مربوط به انواع کاربری‌ها و تغییرات آن در گذر زمان است. در این پژوهش به‌واکاوی تغییرات کاربری زمین‌های شهرستان همدان طی سه دوره ۱۹۹۳، ۲۰۰۴ و ۲۰۱۹ پرداخته شد. بر مبنای نتایج به‌دست آمده آشکار شد شهرستان همدان در گذر سال‌های گذشته دچار تغییرات فراوان در زمینه کاربری زمین شده است، کاهش مساحت زمین‌های زراعی و دیم و آبی، کاهش مساحت سطح باغ‌ها و مرتع‌های خوب و باکیفیت؛ و در مقابل جایگزینی آن‌ها با انواع ساخت و سازهای مسکونی و غیرمسکونی و همچنین زمین‌های

مطالعه، گسترش شبکه راه‌ها بوده است. گسترش راه‌ها و حمل‌ونقل عمومی سبب شد تا انتقال جمعیت بین نواحی روستایی و شهر همدان با سهولت بیشتر و در زمان کمتری انجام گیرد. به‌گونه‌ای که مردم در روز برای کار و کسب درآمد به همدان مراجعه می‌کنند و هنگام شب به محل سکونت خود در سکونتگاه‌های پیرامونی باز می‌گردند. براساس یافته‌های پژوهش، مهاجران روستایی که به همدان می‌آیند؛ سطح درآمد آن‌ها جوابگوی هزینه‌های زندگی در این شهر نیست. بنابراین به حومه‌ها که شرایط اقتصادی برایشان مساعدتر است؛ روی می‌آورند. هجوم جمعیت و گسترش شهر همدان به سوی سکونتگاه‌های روستایی پیرامونی بویژه در ناحیه مورد مطالعه، موجب کاهش شدید زمین‌های کشاورزی و در نتیجه ناپایداری کشاورزی و چالش‌های پرشمار محیط‌زیستی و اجتماعی - اقتصادی را به‌همراه داشته است. همچنین، موجب تغییر عملکرد اقتصادی روستاها از حالت تولیدی کشاورزی به شکل غیرتولیدی شده که پیامدهای منفی فضایی و اجتماعی - اقتصادی فراوانی به‌دنبال داشته است. بنابراین، دست‌اندرکاران شهری و روستایی اقدام‌های پیشین در زمینه برنامه ریزی جدای شهری و روستایی را که سبب گسترش شتابان شهری شده، باید کنار بگذارند؛ و سیاست‌گذاری مناسب در زمینه برنامه‌ریزی کاربری زمین و متناسب‌سازی آن، به‌همراه برنامه‌ریزی یکپارچه روستایی - شهری در راستای جلوگیری از ادامه این روند را انجام دهند.

پی‌نوشت‌ها

¹ Panchromatic

² Support vector machine

در نقاط شهری مانند همدان، مرینج، جورقان، قهاوند و تعدادی از روستاهای پرجمعیت منطقه پدیدار شده است. از سال ۲۰۱۹ تا سال ۲۰۵۰ تغییرات کاربری زمین در شهرستان همدان به‌گونه‌ای است که مساحت زمین‌های کوهستانی و مرتع از میزان ۵۱٪ به ۴۸٪ کاهش خواهد یافت و کاربری زمین‌های کوهستانی و مرتع باگذشت زمان در بیشتر موارد به ترتیب بیشترین مقدار به زمین‌های بایر، زمین‌های باغی و زراعی و ساخت‌وساز مسکونی تبدیل خواهد شد. بنابراین، به نظر می‌رسد ساخت‌وسازهای غیرمجاز در مراتع و بهره‌گیری بیش‌ازحد و خارج از توان از مرتع‌ها سبب تغییر کاربری در این ناحیه خواهد شد. همچنین، ایجاد باغ‌های پرشمار در مناطق گوناگون کوهستانی و مرتع سبب تغییر کاربری مرتعی به زمین‌های کشاورزی می‌شود. براساس آمار به‌دست آمده از مدل‌سازی تغییرات کاربری کمترین میزان مساحت کاربری مربوط به کاربری ساخت‌وساز مسکونی و غیرمسکونی بوده؛ که در سال ۱۹۹۳ حدود ۰/۸٪ بوده؛ که باگذشت زمان در سال ۲۰۰۴ به میزان ۰/۱٪ و در سال ۲۰۱۹ معادل ۲/۱٪ افزایش یافته است. برحسب این افزایش مساحت در طول ۲۶ سال گذشته، مساحت این زمین‌ها در سال ۲۰۵۰ به ۳/۵ درصد خواهد رسید. بنابراین می‌توان گفت رشد ناموزون و خزش شهری همدان ازجمله عامل‌های تخریب و تغییر کاربری زمین‌های منطقه است.

سرانجام این‌که افزایش شدید ساخت و سازهای شهری و مسکونی، کاهش سطح زمین‌های زراعی و باغی و افزایش زمین‌های رها شده در اثر بی‌آبی را در پی داشته است. یکی دیگر از عوامل گسترش شهری در ناحیه مورد

منابع

Aburas, M.M., Ho, Y.M., Ramli, M.F. and 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.

Al-shalabi, M., Billa, L., Pradhan, B., Mansor, S.

- and Al-Sharif, A.A., 2013. Modelling urban growth evolution and land-use changes using GIS-based cellular automata and SLEUTH models: the case of Sana'a metropolitan city, Yemen. *Environmental Earth Sciences*. 70(1), 425-437.
- Alsharif, A.A. and Pradhan, B., 2014. Urban sprawl analysis of Tripoli Metropolitan city (Libya) using remote sensing data and multivariate logistic regression model. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 42(1), 149-163.
- Anan, HS, 2019. Contribution to the paleontology, stratigraphy and paleo-biogeography of some diagnostic Pakistanian Paleogene foraminifer in the Middle East. *Earth Sciences Pakistan*. 3(1), 23-28.
- Camara, M., Jamil, N.R.B., Abdullah, A.F.B. and Hashim, R.B., 2020. Integrating cellular automata Markov model to simulate future land-use change of a tropical basin. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 6(3), 403-414.
- Farajollahi, F., Asgari H., Ownagk, M., Mahboubi, M. and Salman Mahini, A., 2016. Monitoring and forecasting the trend of spatial and temporal changes in land use/cover (case study: Region Marava Tappeh, Golestan). *Remote Sensing and GIS in Natural Resources*. 6(4), 1-14. (In Persian with English abstract).
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T. and Hokao, K., 2011. Modeling urban land-use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecological Modelling*. 222(20-22), 3761-3772.
- Hagen, A., 2003. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *International Journal of Geographical Information Science*. 17(3), 235-249.
- Hamad, R., Balzter, H. and Kolo, K., 2018. Predicting land use/land cover changes using a CA-Markov model under two different scenarios. *Sustainability*. 10(10), 3421.
- Hathout, S., 2002. The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada. *Journal of Environmental Management*. 66(3), 229-238.
- Kamusoko, C., Aniya, M., Adi, B. and Manjoro, M., 2009. Rural sustainability under threat in Zimbabwe—simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model. *Applied Geography*. 29(3), 435-447.
- Khawaldah, H. A., Farhan, I. and Alzboun, N.M., 2020. Simulation and prediction of land use and land cover change using GIS, remote sensing and CA-Markov model. *Global Journal of Environmental Science and Management*. 6(2), 215-232.
- Landis, J.R. and Koch, G.G., 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 33(1), 159-174.
- Mas, J.F., Kolb, M., Paegelow, M., Olmedo, M.T.C. and Houet, T., 2014. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling and Software*. 51, 94-111.
- Mehrabi, A., Khabazi, M., Almodaresi, S.A., Nohesara, M. and Derakhshani, R., 2019. Land-use changes monitoring over 30 years and prediction of future changes using multi-temporal Landsat imagery and the land change modeler tools in Rafsanjan city (Iran). *Sustainable Development of Mountain Territories*. 11(1), 26-35.
- Muller, M.R. and Middleton, J., 1994. A Markov

- model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, and Canada. *Landscape Ecology*. 9(2), 151-157.
- Omar, N. Q., Ahamad, M. S. S., Hussin, W. M. A. W., Samat, N., and Ahmad, S. Z. B., (2014). Markov CA, multi regression, and multiple decision making for modeling historical changes in Kirkuk City, Iraq. *Indian Society of Remote Sensing*. 42(1), 165-178.
- Parker, D.C., Manson, S.M., Janssen, M.A., Hoffmann, M.J. and Deadman, P., 2003. Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. *Annals of the Association of American Geographers*. 93(2), 314-337.
- Qian, J., Zhou, Q. and Hou, Q., 2007. Comparison of pixel-based and object-oriented classification methods for extracting built-up areas in arid zone. In *Proceedings Fifth Isprs Workshop on Updating Geo-spatial Databases with Imagery and the 5th Isprs Workshop on DMGISs, 28th-29th August, Urumchi, Xingjizng, China*. P.163-171.
- Ruben, G.B., Zhang, K., Dong, Z., and Xia, J., 2020. Analysis and projection of land-use/land-cover dynamics through scenario-based simulations using the CA-Markov model: A case study in guanting reservoir basin, China. *Sustainability*. 12(9), 3747.
- Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Haack, B.N., Rijal, S. and Zhang, P., 2018. Land use/land cover dynamics and modeling of urban land expansion by the integration of cellular automata and markov chain. *International Journal of Geo-Information*. 7(4), 154.
- Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Sun, X. and Rijal, S., 2018. Quantifying the spatiotemporal pattern of urban expansion and hazard and risk area identification in the Kaski District of Nepal. *Land*. 7(1), 37.
- Shafiei Sabet, N., Shakiba A. and Mohammadi, A., 2019. Detection and prediction of land-use changes using the Ca-Markov model (case study: Damavand metropolitan area). *Journal of Geographical Information*. 28(1),1-16. (In Persian with English abstract).
- Shen, S., Chen, L., Fan, C. and GAO, Y., 2019. Dynamic simulation of urban green space evolution based on Ca-Markov model-a case study of Hexi new town of Nanjing city, china. *Applied Ecology and Environmental Research*. 17(4), 8569-8581.
- Stehman, SV. 2004. A critical evaluation of the normalized error matrix in map accuracy assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 70(6), 743-751.
- Subedi, P., Subedi, K. and Thapa, B., 2013. Application of a hybrid cellular automaton–Markov (CA-Markov) model in land-use change prediction: a case study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences*. 1(6), 126-132.
- Torrens, P.M., 2003. Automata-based models of urban systems. In: Longley, P. and Batty, M., (Eds.), *Advanced Spatial Analysis*. ESRI Press, Redlands, FL, pp. 61-79.
- White, R. and Engelen, G., 2000. High-resolution integrated modeling of the spatial dynamics of urban and regional systems. *Computers, Environment, and Urban Systems*. 24(5), 383-400.
- Wolfram, S., 1983. Statistical mechanics of cellular automata. *Reviews of Modern Physics*. 55(3), 601-644.





Environmental Sciences Vol.19 / No.4 / Winter 2022

145-164
Original Article

Monitoring land-use changes and predicting their spatio-temporal trends in Hamedan City

Nasser Shafieisabet* and Frank Feyz Babaei Cheshmeh Sefidi

Department of Geography and Spatial Planning, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2020.11.09 Accepted: 2021.08.01

Shafieisabet, N. and Feyz Babaei Cheshmeh Sefidi, F., 2022. Monitoring land-use changes and predicting their spatio-temporal trends in Hamedan City. *Environmental Sciences*. 19(4): 145-164.

Introduction: Land use change is spreading in developing countries and has negative environmental-ecological consequences. Therefore, access to up-to-date information on land-use change is necessary to analyze the needs of human settlements and adopt appropriate policies that are essential to ensure the future. The study of past, present, and future land use has a fundamental role in the decisions and policies of land-use planners. This study aimed to study land use and its changes during 1993, 2004, and 2019. The CA-MARKOV model also identifies how land-use changes in Hamedan and simulates and predicts land use and its changes in 2050.

Material and methods: In this study, after obtaining satellite images of TM, ETM, and OLI sensors, preprocessing steps including various radiometric and geometric corrections were performed on the images. Then, the classification of satellite images was done using Google Earth software and the vector support algorithm. Based on this, the land uses of the region were divided into four classes: residential and non-residential use, barren lands and poor rangeland, garden lands and irrigated agriculture, and mountainous and rangeland. After land use detection and its changes, the trend of these changes was predicted in 2050 using the automatic cell model and Markov chain due to its high ability to detect spatial-spatial component changes.

Results and discussion: Results indicated that the growth and development of urbanization in this metropolis have led to the city's expansion in this area. So that residential and non-residential land use increased from 0.8% of the total area in 1993 to 2.1% in 2019. The study of land-use changes showed that from 1993 to 2004, 0.2% was added to the rate of residential and non-residential land uses. The next largest increase in land use

* Corresponding author: *Email Address.* n_shafiei@sbu.ac.ir

was in the very poor barren lands and rangeland, which reached 49.8% in 2004. Horticultural and irrigated agriculture land use and mountainous land use decreased by 1.2 and 1.5%, respectively, in 2004 compared to 1993. The land-use area of residential and non-residential construction and barren lands have continued to increase in 2019. The area of these land uses increased by 1.1 and 2.4%, respectively. Finally, it can be said that from 1993 to 2019, horticultural, agricultural, mountainous, and rangeland uses have been transformed into residential and non-residential construction uses and barren lands. This land conversion has negative consequences for the region's future.

Conclusion: In this study, it was found that the automatic cell model and Markov chain have a high ability to predict future land-use changes. Also, the largest increase in land use was related to residential and non-residential construction and barren lands, and other land uses such as garden lands and irrigated and mountainous agriculture. Rangeland experienced a decrease in area in the region. Therefore, planners should consider this extensive urban growth and development to carry out their plans more efficiently.

Keywords: Automated Cell Model, Markov Chain Model, Land use, Image classification.