

ادغام رگرسیون لجستیک و شبکه خود کار مارکوف به منظور پیش بینی

تغییرات پوشش / کاربری سرزمین

(مطالعه موردی: حوزه آبخیز گاماسیاب)

زهرا پرور^{۱*} و کامران شایسته^۲

۱- کارشناسی ارشد ارزیابی محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر

۲- استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه ملایر

(تاریخ دریافت ۹۶/۱۱/۰۳ - تاریخ پذیرش ۹۷/۰۲/۱۷)

چکیده:

مدل CA مارکوف توان بالایی در ترسیم الگوهای مکانی و ارزیابی تغییرات کاربری و پوشش سرزمین دارد. در این مطالعه نقشه‌های کاربری سرزمین حوزه آبخیز گاماسیاب سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۶ با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و سنجنده‌های TM، ETM+ و OLI و به روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال استخراج شد توزیع مکانی و میزان انتقال کاربری‌های سرزمین با استفاده از تکنولوژی GIS محاسبه شد و پس از آن انتقال در میان انواع مختلف کاربری بررسی شد تا ماتریس انتقال به دست آید. از نتایج ماتریس سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ این گونه استنباط می‌شود که اراضی صخره‌ای و بایر، مراتع و ساخت و ساز شهری ثابت و پایداری بیشتری داشتند و در مقابل پویایی و تغییر تحول بیشتر در کاربری آب‌های سطحی و پس از آن کشاورزی بیشتر به چشم می‌خورد. بر اساس مدل موفق سال ۲۰۱۶ که با استفاده از نقشه ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲ به دست آمد، نقشه کاربری ۲۰۳۰ پیش‌بینی شد. مجموعه تصاویر مطلوبیت مورد نیاز برای این مطالعه با استفاده از رگرسیون لجستیک تهیه شدند و نتایج آن جهت پیش‌بینی روند تغییرات آتی در مدل CA-Markov استفاده شد. توافق بالابین شبیه‌سازی و مشاهدات نشان داد که مجموعه تصاویر مطلوبیت به دست آمده از رگرسیون لجستیک دقت بالایی دارد. همچنین ثابت کرد که عوامل انتخاب شده می‌توانند به طور معنی‌داری فرآیندهای تأثیرگذار بر تغییر کاربری زمین را نشان دهند. متغیرهای فاصله از انواع کاربری موجود انتظار می‌رفت بیشتر تأثیر را نسبت به سایر عوامل داشته است. فاصله از جاده و پس از آن رودخانه ضریب تأثیر بالایی در توسعه و ساخت‌وساز شهری نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد بیشترین تغییر در کاربری‌های مراتع تبدیل آن‌ها به کشاورزی بوده و پس از آن نیز به اراضی بایر تبدیل شده‌اند. طبقه کاربری اراضی بایر نیز بیشتر به کاربری کشاورزی تبدیل شده‌اند.

کلید واژگان: شبکه خود کار مارکوف، عوامل تأثیرگذار، تصاویر مطلوبیت انتقال، پیش‌بینی تغییرات پوشش/ کاربری.

۱. مقدمه

است (Khoshgoftar *et al.*, ۲۰۱۰). استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای به وسیله طبقه بندی از پرکاربردترین روش‌های موجود است و از آنجا که داده‌های سنجش از دور به سادگی وارد محیط ساج می‌شود، می‌توان از آن به طور خیلی گسترده در مدل‌سازی استفاده کرد (Aizi Ghalaty *et al.*, ۲۰۱۶).

دردنیای امروز، از فن‌آوری‌های سنجش از دور و ساج جهت برنامه‌ریزی و مدیریت کارآمد منابع طبیعی کشاورزی، محیط‌زیست و مدیریت شهری استفاده فراوان می‌شود. کاربری و پوشش زمین می‌تواند شناخت دقیق‌تری از کمیت و کیفیت منطقه جهت مدیریت بهتر منابع، حفاظت اراضی حاشیه رودخانه و اتخاذ سیاست‌های بلند مدت مؤثر در اختیار کاربران و مدیران قرار دهد (Falahatkar *et al.*, ۲۰۰۹; Kaveh & Ebrahimi, ۲۰۱۳). برنامه ریزی مناسب و کارای محیط‌زیست نیازمند اطلاعات وضعیت سیستم در گذشته، حال و آینده است. هدف از مدل‌سازی تغییرات برای آینده این است که مدیران بتوانند با در نظر گرفتن افق‌های برنامه‌ریزی، دریابند که روند تغییر کاربری‌ها به چه صورت خواهد بود (Zeaian Firouzabadi *et al.*, ۲۰۰۹).

از آنجا که شناسایی و پایش تغییرات پوشش سطح زمین فرایندی بسیار پیچیده است، امروزه تجزیه و تحلیل تغییرات الگوی سیمای سرزمین به عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای درک و تعیین تغییرپوشش/کاربری سرزمین مطرح می‌باشد (Parvar *et al.*, ۲۰۱۶). یکی از روش‌های تجزیه و تحلیل پویایی نظام کاربری اراضی مدل‌سازی است که با استفاده از آن، چارچوب علمی آنالیز سیستم‌های تغییر کاربری اراضی از حالت توصیفی به سمت کمی

تغییرات پوشش/کاربری زمین بیانگر برخی از تغییرات مهم محیط‌زیستی در سطوح جهانی تا محلی است و در مدیریت و حفظ پایداری اکوسیستم‌های طبیعی اهمیت بسزایی دارد (Amini Parsa & Nejadi, ۲۰۱۶). در سال‌های اخیر نیز به دلیل استفاده غیرمنطقی از سرزمین، تبدیل و تغییر در نوع استفاده از سرزمین در کشور روند رو به رشدی داشته است (Talebi Amiri *et al.*, ۲۰۰۹). این مسئله از جنبه‌های زیادی برای تغییرات جهانی محیط زیست مهم می‌باشد و روز به روز توجه بیشتر دانشمندان و تصمیم‌گیران را به خود جلب می‌کند (Mas *et al.*, ۲۰۱۴).

آگاهی از نوع و درصد پوشش/کاربری‌های مختلف، نیازی بنیادی جهت شناخت و مدیریت یک منطقه است. یکی از منابع اطلاعات مؤثر، مفید و قابل کاربرد در شناسایی پوشش‌های زمین و تغییرات آن، داده‌های سنجش از دور است (Aizi Ghalaty *et al.*, ۲۰۱۶). داده‌های سنجش از دور با ارائه اطلاعات رقومی به هنگام، قابلیت پردازش سریع و کم هزینه بودن، به طور گسترده در مطالعات مختلف جغرافیایی و محیط‌زیستی جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است (Kakeh Mami *et al.*, ۲۰۱۷).

تلفیق سامانه‌های اطلاعات مکانی و سنجش از دور، ابزارهای مؤثری را جهت جمع‌آوری و آنالیز اطلاعات زمانی- مکانی آماده می‌سازد. در سال‌های اخیر، توجه زیادی به کاربرد ابزارهای مرتبط با تکنولوژی اطلاعات مثل سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (ساج) و سنجش از دور به عنوان ابزارهای حامی تصمیم‌گیری در زمینه برنامه‌ریزی مدیریت سرزمین، ایجاد شده

(Kamusoko *et al.*, ۲۰۰۹).

زنجیره مارکوف توسط یک ریاضیدان روسی به نام Andrei A. Markov در سال ۱۹۰۷ ارائه شده است و یکسری از مقادیر تصادفی است که احتمال تبدیل کاربری‌ها به هم را در یک فاصله زمانی، وابسته به مقدار تغییر در گذشته نشان می‌دهد. به صورت تئوری قسمت معینی از زمین ممکن است در هر زمان از یک گروه کاربر زمین به هر یک از کاربری‌های دیگر تبدیل شود. آنالیز مارکوف ماتریس‌هایی را بکار می‌برد که تمامی تغییرات کاربری زمین میان تمامی گروه‌های منحصربه‌فرد کاربری زمین را نمایش می‌دهد (Harsini *et al.*, ۲۰۱۷).

مفهوم سلول‌های خودکار برای اولین بار در دهه ۱۹۴۰ توسط Newman و Ulam جهت آماده‌سازی و تهیه چارچوبی برای بررسی رفتار سیستم‌های پیچیده، طراحی شد (Zeaian Firouzabadi *et al.*, ۲۰۰۹). مدل سلول‌های خودکار یکفن مدل‌سازی است که در فضای رستری تعریف می‌شود. وضعیت هر سلول معمولاً پوشش و کاربری زمین در آن سلول را ارائه می‌دهد و تغییر در شکل یک سلول به شکل دیگر وابسته به وضعیت سلول در زمان حال و وضعیت سلول‌های همسایه است (Halabian & Soltanian, ۲۰۱۷). مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف با افزودن مشخصه مجاورت مکانی به مدل تصادفی زنجیره مارکوف، کاربری اراضی را برای سال‌های آینده شبیه‌سازی می‌کند (Aizi *et al.*, ۲۰۱۶).

در سال‌های اخیر، تحقیقات بسیاری در زمینه مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی آن صورت گرفته است؛ این روش به صورت گسترده‌ای در بسیاری زمینه‌های جغرافیایی، خصوصاً به منظور

تغییر پیدا می‌کند (Aizi Ghalaty *et al.*, ۲۰۱۶). کاربری زمین به منزله هسته اصلی برنامه‌ریزی محیط‌زیست مطرح است. با تعیین و نقشه‌سازی توزیع کاربری‌ها و تجزیه و تحلیل صریح فضایی زمانی پویایی کاربری و پوشش زمین با دیدی از گذشته تا آینده و پتانسیل‌ها و نوع تغییرات کاربری‌ها به صورت فضایی می‌توان به این مهم دست یافت (Amini Parsa & Nejadi, ۲۰۱۶). مدل‌های تغییر کاربری اراضی به عنوان ابزارهایی برای حمایت از تحلیل‌های مرتبط با عوامل و پیامدهای تغییرات کاربری اراضی تکرارپذیر و مکمل توانایی‌های ذهنی موجود ما در تجزیه و تحلیل تغییر کاربری اراضی و تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر هستند می‌باشند (Veldkamp & Verburg, ۲۰۱۴). روش‌های زیادی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش و کاربری اراضی وجود دارد که می‌توان به مدل آماری، مدل هیبرید، مدل تکاملی، مدل سیستم و مدل CA-Markov اشاره کرد (Kaveh & Ebrahimi, ۲۰۱۳). یکی از مدل‌هایی که در پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین بسیار کارآمد می‌باشد، مدل CA-Markov است که از تکنیک تلفیق دو مدل زنجیره مارکوف و شبکه خودکار بهره می‌گیرد.

مدل CA-Markov که با داده‌های GIS همراه شده است، به نظر می‌رسد که یک روش مناسب برای مدل‌سازی تغییرات زمانی و مکانی کاربری سرزمین است (Guan *et al.*, ۲۰۱۱). در مدل CA-Markov، فرایند زنجیره مارکوف تغییرات زمانی در انواع کاربری سرزمین را بر اساس ماتریس انتقال تغییر می‌دهد. بدین ترتیب الگوی مکانی تغییرات با توجه به قوانین مکانی و با لحاظ کردن ساختار سلول‌های مجاور و نقشه‌های پتانسیل انتقال تعیین می‌شود

شده، جنگل‌زدایی، بررسی روند رشد و توسعه شهری و نیز پایش تغییرات قابل انتظار در اراضی حاشیه رودخانه بهره گرفته‌اند (Harsini et al., ۲۰۱۷; Amini Parsa & Nejadi, ۲۰۱۶; Halabian & Soltanian, ۲۰۱۷; Kaveh & Ebrahimi, ۲۰۱۳).

تاکنون مطالعات بسیاری با هدف پیش‌بینی روند تغییرات پوشش/کاربری سرزمین به روش CA-Markov صورت گرفته که در اکثر این مطالعات به منظور تولید مجموعه تصاویر مطلوبیت از روش‌های ارزیابی چند معیاره (MCE) استفاده شده است. مطالعه حاضر ضمن بررسی و تحلیل تغییرات حوزه آبخیز گاماسیاب، از رگرسیون لجستیک به عنوان روشی که می‌تواند رابطه بین متغیرهای محرک و الگوی تغییر کاربری سرزمین را به خوبی نشان دهد، برای تولید مجموعه تصاویر مطلوبیت استفاده شد.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

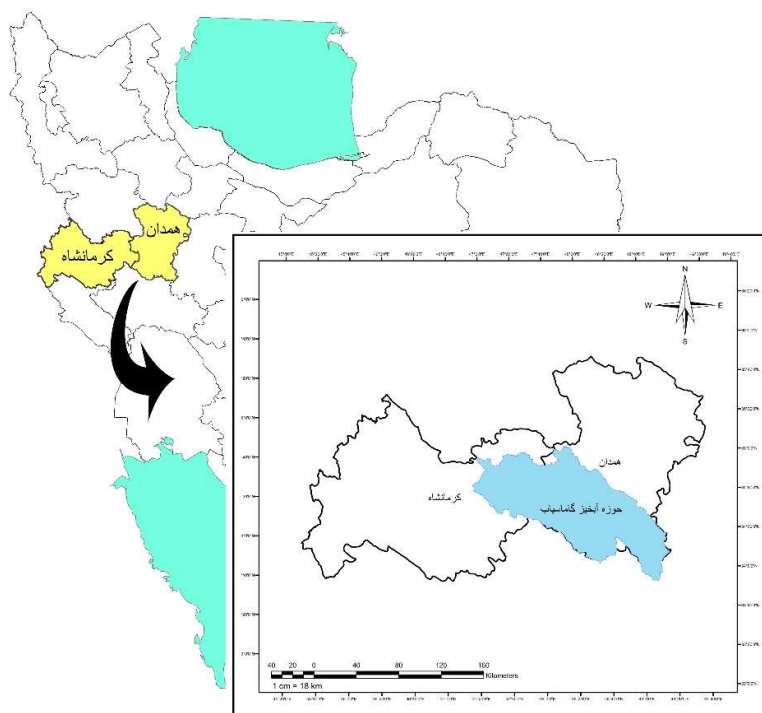
حوزه آبخیز گاماسیاب در محدوده جغرافیائی ۴۷ درجه ۴ دقیقه تا ۴۹ درجه ۹ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه ۴۹ دقیقه تا ۳۴ درجه ۵۷ دقیقه عرض شمالی با مساحت یک میلیون و هفتاد و پنج هزار هکتار در شمال شرقی حوزه سد کرخه، عمدتاً در محدوده استان‌های همدان و کرمانشاه قرار گرفته است (شکل ۱). این حوزه از لحاظ تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژی ایران جزئی از حوزه آبریز کرخه به شمار می‌رود. این حوزه از شمال به حوزه رودخانه‌های سیروان، سفیدرود و قره چای، از مغرب به قسمتی از حوزه آبخیز کرخه و از جنوب به قسمتی از حوزه رودخانه دز و قسمتی از حوزه آبخیز کرخه محدود

پیش‌بینی تغییرات کاربری سرزمین و نیز رشد شهر به کار برده شده است (Harsini et al., ۲۰۱۷). از جمله مطالعات صورت گرفته با این روش کار Xu و همکاران سال ۲۰۱۶ است که دو سیستم پویا (SD) و مدل سلول‌های خودکار (CA) را جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش سرزمین را با هم تلفیق نمودند. آن‌ها برای تولید مجموعه تصویر مطلوبیت از رگرسیون لجستیک به جای از ارزیابی چند معیاره (MCE) که روش رایج در اثر مطالعات بوده استفاده کردند با این استدلال که این روش می‌تواند رابطه بین عوامل محرک و الگوی تغییر کاربری را به خوبی نشان می‌دهد و دقت بالایی دارد. Arsanjani و همکاران (۲۰۱۳) با ادغام رگرسیون لجستیک، زنجیره مارکوف و مدل خودکار سلولی مدلهایی برای شبیه‌سازی گسترش شهری در منطقه کلان‌شهر تهران ارائه دادند. نتایج حاصل موج جدیدی از توسعه مرز غربی حومه شهر تهران را در دهه‌های آینده نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای که Subedi و همکارانش سال ۲۰۱۳ داشتند، به منظور پیش‌بینی روند تغییرات در حوزه آبخیزی در فلوریدا، از روش ترکیبی CA مارکوف استفاده نمودند.

اگرچه عوامل اقتصادی-اجتماعی محرک اصلی تغییر کاربری به حساب می‌آید، اما این مطالعه تنها با تکیه بر عوامل فیزیکی به پیش‌بینی روند تغییرات پرداخت. میزان دقت کاپا بین زمین واقعی و پیش‌بینی شده، سطح قابل قبولی در دقت پیش‌بینی را نشان داد. روند تغییرات در نقشه پیش‌بینی شده افزایش قابل توجهی در مناطق شهری و امکانات حمل‌ونقل را نشان می‌داد. در ایران نیز در سال‌های اخیر کارهای مشابهی صورت گرفته که از توانایی این مدل برای پیش‌بینی پویایی ساختار سرزمین در مناطق حفاظت

کنگاور به دیگر سرشاخه‌های حوزه سد کرخه می‌پیوندند. طبق آمار سطح زیر کشت در حوزه سد کرخه طی ۲۰ سال گذشته حداقل ۵۰ درصد افزایش یافته که نشان از رونق کشاورزی و افزایش نیاز آبی در بخش کشاورزی و شرب می‌باشد.

می‌شود و از سمت شرق به حوزه رودخانه در محدود می‌گردد. حداقل ارتفاع این حوزه ۱۲۸۰ متر از سطح دریا و حداکثر آن ۳۶۰۰ متر می‌باشد. رودخانه‌های حوزه شامل سرشاخه اصلی به نام گاماسیاب بوده که از بخش شمال شرقی حوزه به وسیله سرشاخه‌های فرعی زیادی سرچشمه گرفته و در انتهای دشت



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

نقشه را نشان داد. متغیرهای محرک^۱ اصلی تأثیرگذار بر تغییر کاربری‌های سرزمین مشخص و به کمک رگرسیون لجستیک^۲ بررسی شدند (انتخاب این متغیرها بر اساس موارد انتخابی در مطالعات مشابه و داده‌های موجود و در دسترس از منطقه انتخاب شدند). در نهایت پنج تصویر مطلوبیت انتقال^۳ (شامل تمام طبقات کاربری شبیه‌سازی شده)

۲.۲. روش کار

در ابتدا نقشه‌های کاربری سرزمین برای سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۶ با روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال از روی تصاویر ماهواره لندست استخراج شد. وضعیت حوزه آبخیز گاماسیاب به گونه ایست که در دو استان واقع شده و لازم بود پیش از هر کاری دو تصویر موزاییک شوند. سطح دقت طبقه‌بندی کاربری‌های سرزمین استخراج شده با شاخص کاپا بررسی شد که دقتی بالای ۸۳ درصد برای هر سه

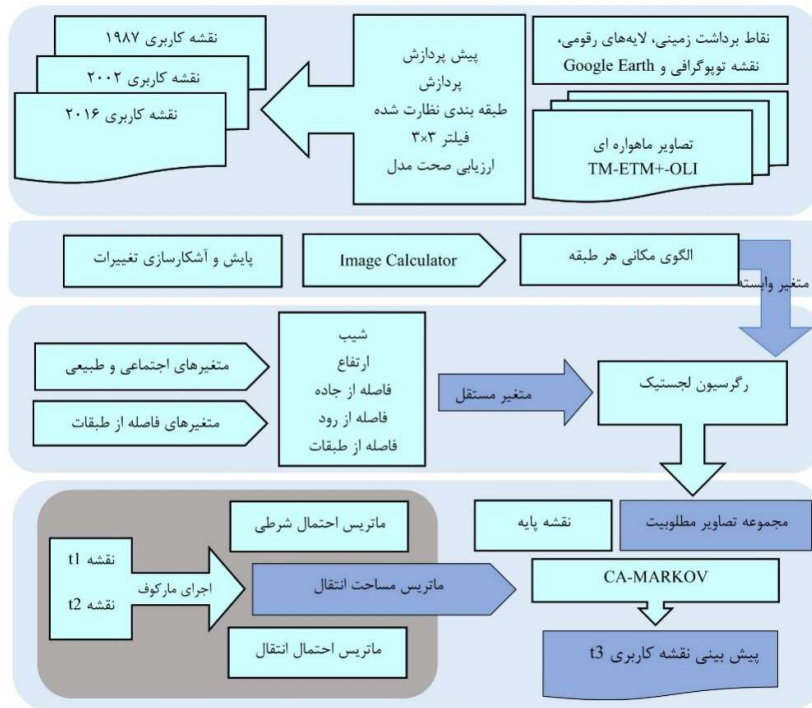
۱- driving force

۲- logistic regression

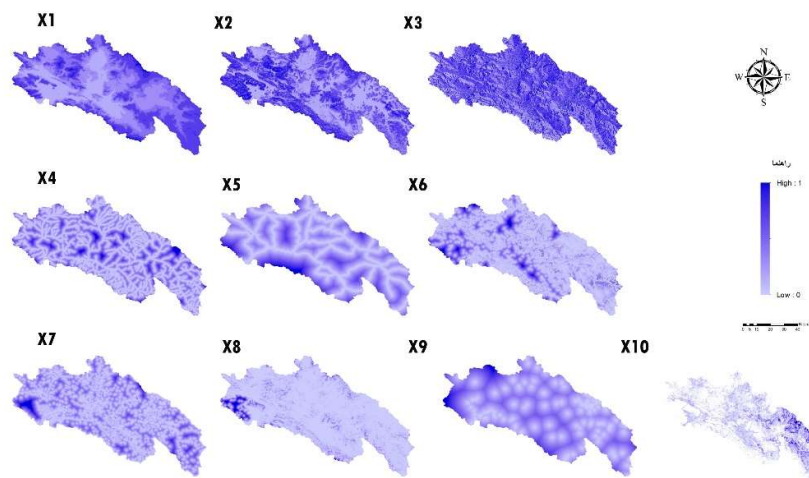
۳- Transition suitability image collection

رودخانه‌ها (X۴)، فاصله از جاده‌ها (X۵) و متغیرهای فاصله از انواع کاربری‌ها شامل فاصله از مراتع (X۶) فاصله از توسعه شهر (X۷)، فاصله از کشاورزی (X۸)، فاصله آب‌های سطحی (X۹) و فاصله از اراضی صخره‌ای (X۹) بود (شکل ۳).

تهیه شد. در شکل ۲ روش کار در ۴ مرحله کلی نمایش داده شده است. از ۱۰ فاکتور تأثیرگذار در این مطالعه بهره گرفته شد که به ترتیب متغیرهای اجتماعی و طبیعی شامل ارتفاع (X۱)، شیب (X۲)، جهت (X۳)، فاصله از



شکل ۲- روش کار



شکل ۳- فاکتور تأثیرگذار شامل متغیرهای اجتماعی و طبیعی و متغیرهای فاصله از انواع کاربری‌ها

متغیر وابسته^۳ و چندین متغیر مستقل^۴ است (Arsanjani *et al.*, ۲۰۱۳). جهت ارزیابی میزان اثرگذاری متغیرهای مختلف (به عنوان متغیر مستقل) بروی موقعیت‌هایی که در آن‌ها تغییر مشاهده شده (به عنوان متغیر وابسته) از ضریب همبستگی کرامر استفاده شد. برنامه LOGISITREG در نرم‌افزار IDRISI ۱۷,۰ برای این منظور استفاده شد. ابتدا با استفاده از نقشه‌های کاربری سرزمین سال‌های ۱۹۸۷ و ۲۰۰۲، تغییرات ۱۴ ساله پیش‌بینی شد. نتیجه با نقشه واقعی مقایسه و اعتبار و صحت آن با مازول Validate بررسی شد. ابتدا توافق بین نقشه‌های کاربری واقعی و پیش‌بینی شده ۲۰۱۶ و پس از تأیید صحت مدل، روند تغییرات کاربری سال ۲۰۳۰، با استفاده از نقشه کاربری سال ۲۰۰۲ به عنوان نقشه ۴۱ و ۲۰۱۵ به عنوان ۴۲ به نرم‌افزار معرفی شد. از منحنی ROC برای سنجش میزان توافق متغیرهای محرک استفاده شد. ROC می‌تواند احتمالات پیش‌بینی شده را با مشاهدات مقایسه کند. مقدار ROC پایین‌تر از ۵۰ درصد تصادفی بودن پیش‌بینی‌ها را نشان می‌دهد و بالاتر از آن تناسب بالای پیش‌بینی با مشاهدات را نشان می‌دهد (Han *et al.*, ۲۰۱۵).

۳. نتایج

تعیین تغییرات سرزمین و آثار آن بر اکوسیستم‌های طبیعی یکی از نگرانی‌های اصلی کارشناسان و برنامه ریزان محیط‌زیست تبدیل شده است. مدل‌سازی تغییرات کاربری سرزمین می‌تواند در حل بسیاری از مسائل و مشکلات محیط‌زیستی به مدیران و

برای پیش‌بینی وضعیت کاربری‌ها در سال ۲۰۳۰، از مدل CA-Markov استفاده شد. برای این منظور ماتریس احتمال انتقال^۱ و مساحت انتقال یافته^۲ به کمک مدل تصادفی مارکوف تهیه شد. در این مدل اگرچه احتمالات انتقال کاربری در هر کاربری دارای دقت زیادی است، اما اطلاعات مربوط به توزیع مکانی مربوط به کاربری‌ها وجود ندارد (Salmanmahiny & Kamyab, ۲۰۱۲). شبکه خودکار برای ایجاد این وابستگی مکانی به این ماتریس احتمال انتقال با دقت بالا نیاز دارد.

CA-Markov در نرم‌افزار IDRISI ۱۷,۰ به عنوان مدلی قوی در پیش‌بینی شناخته شده که روند و ساختار فضایی طبقات مختلف کاربری سرزمین را بر اساس تصاویر کاربری سرزمین، ماتریس احتمال انتقال و نیز تصاویر مطلوبیت که به صورت یک فایل گروهی تهیه شده پیش‌بینی می‌کند (Gashaw *et al.*, ۲۰۱۸). از فیلتر ۵×۵ برای تغییر وضعیت سلول‌ها بر اساس وضعیت سلول‌های مجاور استفاده می‌شود. اکثر مطالعات مرتبطی که تاکنون انجام شده‌اند از روش‌های ارزیابی چند معیاره (MCE) برای تولید مجموعه تصاویر مطلوبیت استفاده شده است و این در حالی است که MCE می‌تواند تا حدی مشکل عدم اطمینان از روش‌های وزن دهی را داشته باشد (Xu *et al.*, ۲۰۱۶). به همین جهت در این مطالعه از رگرسیون لجستیک که می‌تواند رابطه بین متغیرهای محرک و الگوی تغییر کاربری سرزمین را به خوبی نشان دهد برای تولید مجموعه تصاویر مطلوبیت استفاده شد (Han *et al.*, ۲۰۱۵). رگرسیون لجستیک روشی برای کشف روابط تجربی بینیک

۳- Dependent

۴- Independent

۱- Transition Probabilities

۲- Transition Area

رگرسیون لجستیک، به بررسی و انتخاب متغیرهای تأثیرگذار در روند تغییرات کاربری و پوشش سرزمین کمک می‌کند. بررسی ضریب کرامر نشان می‌دهد متغیرهای فاصله از انواع کاربری موجود، همان‌گونه که انتظار می‌رفت بیشترین تأثیر را نسبت به سایر عوامل داشته است. فاصله از جاده و پس از آن رودخانه ضریب تأثیر بالایی در توسعه و ساخت و ساز شهری نشان می‌دهد (جدول ۱). همچنان که در جدول ۱ مشاهده می‌گردد ROC تمام طبقات بالای ۵۰٪ است که نشان دهنده تناسب بالای پیش‌بینی با واقعیت است.

سیاست‌گذاران در حوزه‌های مختلف و به خصوص مشکلات محیط‌زیستی کمک کند (Parvar & Shayesteh., ۲۰۱۷). این مطالعه علاوه بر بررسی و پایش روند تغییرات حوزه آبخیز گاماسیاب، روند تغییرات آن در آینده را بر اساس سناریوی توسعه انسانی پیش‌بینی و مدل‌سازی نمود. شبیه‌سازی تغییر کاربری سرزمین با سناریوهای مختلف و به کارگیری متغیرهای متنوع نتایج متعدد و قابل‌تأملی را ارائه می‌دهد. به منظور شناسایی تغییراتی که در منطقه رخ داده نیاز به یک سری متغیرهای محرک است که توانایی توصیف تغییرات را داشته باشند. استفاده از

جدول ۱- نتایج رگرسیون لجستیک

Intercept	X۵	X۴	X۳	X۲	X۱	طبقات
-۱/۴۹۲۹	-۴/۱۳۰۲	۳/۶۳۰۲	۰/۷۲۷۲	-۱/۶۰۰۷	۰/۳۱۷۰	مراتع
۲/۱۸۷۹	۴۰/۲۲۳۴	-۱۰/۰۹۰۹	-۱/۲۰۸۴	-۱/۸۱۵۳	-۱/۸۲۰۳	توسعه شهری
-۰/۷۷۵۳	۱/۴۴۷۷	-۱/۵۵۶۱	۰/۲۷۸۲	۱/۷۸۵۸	۱/۵۳۷۵	باغ و کشاورزی
-۵/۶۱۱۷	-۲۳/۳۵۷۸	-۸۱/۶۵۳۳	-۰/۷۳۷۳	-۰/۸۰۸۶	۳/۴۷۶۲	آب‌های سطحی
-۰/۷۷۱۴	-۳/۲۳۴۵	-۱۱/۱۲۰۴	۰/۵۸۶۲	-۰/۹۴۲۵	۰/۰۹۷۲	اراضی بایر
ROC	X۱۰	X۹	X۸	X۷	X۶	طبقات
۰/۹۱					-۲۲۱/۹۷۶۷	مراتع
۰/۸۹				-۵۸۳۸۳/۸۹۶۲		توسعه شهری
۰/۹۶			-۴۳۹۸۲/۷۳۹۱			باغ و کشاورزی
۰/۹۱		-۱۲/۴۶۹۲				آب‌های سطحی
۰/۸۵	-۸۹/۱۷۳۱					اراضی بایر

ماتریس احتمال و مساحت به دست آید. ماتریس احتمال انتقال جهت و سمت و سوی انتقال را در هر

با استفاده از روش تصادفی مارکوف، نقشه های کاربری سرزمین دو به دو به مدل معرفی شد تا

تبدیل شده‌اند. طبقه کاربری اراضی بایر نیز بیشتر به کاربری کشاورزی تبدیل شده‌اند و این نشان از گسترش بیش از حد کشاورزی و عدم رعایت حریم رودخانه و در نتیجه کاهش چشم‌گیر آب‌های سطحی شده است (جدول ۲). انتقال کاربری‌ها در دوره زمانی دوم یعنی سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۱۶ با دوره اول هماهنگ و سازگار است (جدول ۳).

نوع کاربری سرزمین نشان می‌دهد. از نتایج ماتریس سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۲ این‌گونه استنباط می‌شود که اراضی صخره‌ای و بایر، مراتع و ساخت و ساز شهری ثابت و پایداری بیشتری داشتند و در مقابل پویایی و تغییر تحول بیشتر در کاربری آب‌های سطحی و پس از آن کشاورزی بیشتر به چشم می‌خورد. بیشترین تغییر در کاربری‌های مراتع تبدیل آن‌ها به کشاورزی بوده و پس از آن نیز به اراضی بایر

جدول ۲- ماتریس احتمال انتقال دوره اول ۱۹۸۷-۲۰۰۲

آب‌های سطحی	مراتع	اراضی بایر	توسعه شهری	باغ و کشاورزی	
۰/۰۰۰۱	۰/۱۱	۰/۳۹	۰/۰۱	۰/۵۰	باغ و کشاورزی
۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۲۶	۰/۵۸	۰/۱۴	توسعه شهری
۰/۰۰۰۱	۰/۰۴	۰/۶۴	۰/۰۱	۰/۳۱	اراضی بایر
۰/۰۰۱	۰/۵۸	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۳۱	مراتع
۰/۰۰۴	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۰۴	۰/۵۳	آب‌های سطحی

جدول ۳- ماتریس احتمال انتقال دوره دوم ۲۰۰۲-۲۰۱۶

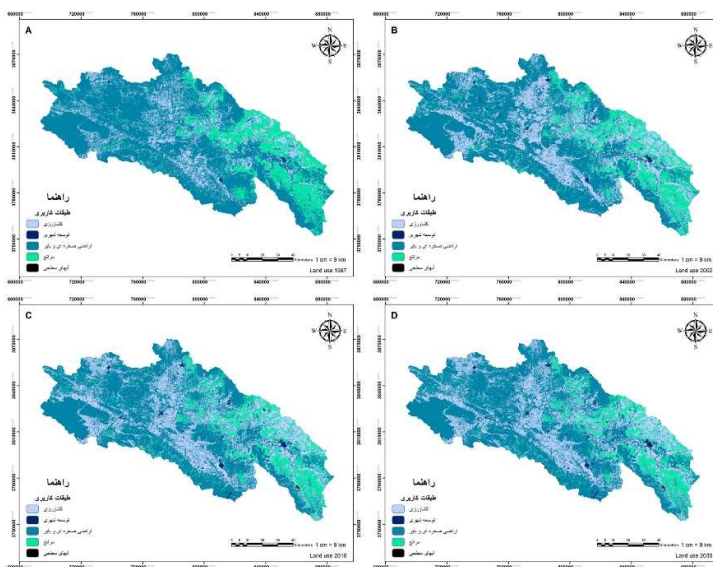
آب‌های سطحی	مراتع	اراضی بایر	توسعه شهری	باغ و کشاورزی	
۰/۰۰۱	۰/۰۹	۰/۳۴	۰/۰۱	۰/۵۶	باغ و کشاورزی
۰/۰۰۲	۰/۰۸	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۱۸	توسعه شهری
۰/۰۰۱	۰/۰۵	۰/۶۸	۰/۰۲	۰/۲۶	اراضی بایر
۰/۰۰۲	۰/۵۷	۰/۱۳	۰/۰۰۴	۰/۲۹	مراتع
۰/۰۰۵	۰/۱۰	۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۶۵	آب‌های سطحی

پیش‌بینی شده سال ۲۰۱۶ با نقشه واقعیت آن با استفاده در جدول ۴ مشاهده می‌شود. با بررسی و پایش تغییرات کاربری سه دوره زمانی ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۶ الگوی تغییرات کاربری ۱۴ سال آینده یعنی سال ۲۰۳۰ به دست آمد (شکل ۴).

با استفاده از تصاویر مطلوبیت و ماتریس مساحت انتقال به دست آمده و مدل CA-Markov نقشه کاربری سرزمین پیش‌بینی شد. به منظور بررسی صحت مدل، لازم است تا نتیجه کار با نقشه واقعیت زمینی آن مقایسه شود. نتایج ارزیابی صحت نقشه

جدول ۴- ارزیابی صحت نقشه پیش‌بینی شده ۲۰۱۶ با واقعی ۲۰۱۶

(Information of location)	(Information of quantity)					
	No[n]		Mediume[m]		Perfect[p]	
Perfect[P(x)]	P(n)=	۰,۵۵۴۲	P(m)=	۰,۹۵۵۴	P(p)=	۱,۰۰۰۰
Perfect	K(n)=	۰,۵۵۴۲	K(m)=	۰,۹۵۵۴	K(p)=	۱۰۰۰۰
stratume[K(x)]	M(n)=	۰,۴۴۹۳	M(m)=	۰,۸۵۱۱	M(p)=	۰,۸۴۵۷
MediumeGride[M(x)]	H(n)=	۰,۱۶۶۷	H(m)=	۰,۳۷۱۵	H(p)=	۰,۳۶۹۰
MediumeStratume	N(n)=	۰,۱۶۶۷	N(m)=	۰,۳۷۱۵	N(p)=	۰,۳۶۹۰
[H(x)]						
No[N(x)]						
AgreementGridcell=		۰,۴۷۹۶				
AgreemenStrata=		۰,۰۰۰۰				
AgreementQuantiti=		۰,۲۰۴۹				
AgreementChance=		۰,۱۶۶۷				
DisagreeQuantiti=		۰,۰۴۴۶				
DisagreeStrata=		۰,۰۰۰۰				
DisagreeGridcell=		۰,۱۰۴۳				
Kstandard=		۰,۸۱۱۱				
Kno=		۰,۸۲۱۳				
Klocation=		۰,۸۲۱۳				
KlocationStrata=		۰,۸۲۱۳				



شکل ۴- نقشه‌های کاربری سرزمین ۱۹۸۷ (A)، ۲۰۰۲ (B)، ۲۰۱۶ (C) و ۲۰۳۰ (D)

مراعات و نیز اراضی بایر باشد. مساحت در صد درصد کاربری به صورت مجزا در جدول ۵ آمده است.

کاربری باغ و کشاورزی و توسعه شهری در این سال‌ها افزایش پیدا کرده که می‌تواند توجهی برای کاهش

جدول ۵- مساحت و درصد طبقات کاربری سرزمین

طبقات کاربری	۱۹۸۷	۲۰۰۲	۲۰۱۶	۲۰۳۰
	مساحت درصد٪	مساحت (هکتار) درصد٪	مساحت درصد٪	مساحت درصد٪
باغ و کشاورزی	۲۰۰۴۹۰/۸۴	۳۰۳۵۵۲/۰۹	۳۳۲۳۷۶/۱۳	۳۲۳۹۶۹/۴۹
توسعه شهری	۲۱۸۱/۷۸	۱۰۲۰۶/۹۹	۱۲۹۰۱/۴۱	۱۷۵۱۹/۴
اراضی بایر	۶۷۰۰۴۱/۶۳	۵۸۱۷۸۱/۶	۵۶۴۵۱۷/۷۱	۵۷۶۸۲۷/۴۶
مراتع	۱۹۰۳۵۲/۷	۱۶۸۱۲۳/۱۵	۱۵۳۵۹۹/۴	۱۴۴۹۷۸/۳
آب سطحی	۸۸۴/۸۸	۲۸۸	۶۵۷/۱۸	۶۵۷/۱۸

۴. بحث و نتیجه گیری

افزوده شود. از طرف دیگر این تبادل اراضی در مراتع نیز مشاهده می شود که بخشی مربوط به تخریب مراتع است و بخشی نیز مربوط به نیاز روز افزون به زمین های قابل کشت بوده است.

از رگرسیون لجستیک به منظور تولید مجموعه نقشه های مطلوبیت و ترکیب آن با مدل CA-Markov برای پیش بینی روند تغییرات در حوزه آبخیز گاماسیاب استفاده شد. متغیرهایی که در این مطالعه استفاده شدند، در اغلب مطالعات مدل سازی و پیش بینی تغییرات کاربری سرزمین با روش های مختلف استفاده می شود. مطالعاتی از جمله Kumar و همکاران (۲۰۱۴) که از مدل رگرسیون لجستیک برای پیش بینی جنگل زدایی استفاده کردند، متغیرهای فاصله از حاشیه جنگل، جاده ها و مناطق مسکونی و وضعیت طبقات شیب را به عنوان متغیرهای توضیحی تغییرات جنگل در نظر گرفتند. همچنین در مطالعات دیگری که از روش های مدل سازی برای پیش بینی تغییرات کاربری سرزمین مناطق حفاظت شده (Khoi & Murayama, ۲۰۱۰)، جنگل زدایی (Parsamehr& Parvar, ۲۰۱۶) و رشد شهری (Shayesteh., & ۲۰۱۷) بهره گرفته اند، متغیرهای

مدل سازی تغییرات کاربری سرزمین نقش بسیار مهمی در برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست ایفا می کند. برای نمایش واقعی پویایی کاربری ها، یک مدل باید بتواند با متغیرهای پیچیده اجتماعی-اقتصادی و طبیعی با تعاملات انسانی- محیطی هماهنگ باشد. از این رو مدل سلول خودکار به روشی رایج برای ارزیابی تغییرات کاربری سرزمین تبدیل شده است، زیرا می تواند رفتار سیستم های پیچیده را با درجه بالایی از واقعیت شبیه سازی کند و در قالب قوانین ساده ارائه دهد (Newland et al., ۲۰۱۸).

در این مطالعه به بررسی و مدل سازی تغییرات رخ داده در حوزه آبخیز گاماسیاب پرداخته شد. پوشش غالب منطقه کوه ها و اراضی صخره ای و شوره زارها و زمین های است که همه تحت عنوان اراضی بایر و صخره ای مشخص شده است و انتظار می رود با گذشت زمان و با گسترش و توسعه شهرها از یک سو و بالا رفتن نیاز به زمین های بیشتر برای تأمین غذا و نیازهای روزمره این جمعیت رو به رشد، از سوی دیگر، از زمین های بایر و بدون پوشش منطقه کاسته و در مقابل به ارضی زیر کشت و توسعه شهرها

آن نوع کاربری دارند. عواملی از جمله جاده و رودخانه نقش مهمی در توسعه و ساخت و سازهای شهری دارند و از این رو فاصله از این عوارض نیز عامل مهمی شناخته شده است.

این مطالعه و مطالعات مشابه نشان می‌دهد تغییرات پوشش/کاربری سرزمین تا حد زیادی تحت تأثیر عوامل پیچیده طبیعی و اقتصادی اجتماعی می‌باشد. رویکرد ادغام شبکه خودکار مارکوف و رگرسیون لجستیک در بررسی اثرات عوامل طبیعی و تولید مجموعه تصاویر مطلوبیت کاملاً مؤثر بوده است. اگرچه اندازه‌گیری و بررسی تمامی اثرات اقتصادی-اجتماعی با روش‌های تکمیلی دیگری از جمله ادغام با مدل System Dynamic میسر خواهد بود (Xu *et al.*, ۲۰۱۶). این مطالعه و مطالعات مشابه این چنین می‌تواند به عنوان یک ابزار پیش‌بینی و راهنمایی به برنامه ریزان محیط‌زیست جهت ارزیابی محیط به طور مؤثری خدمت کند.

مشابهی را انتخاب کرده‌اند. توافق بالا بین شبیه‌سازی و مشاهدات نشان داد که مجموعه تصاویر مطلوبیت به‌دست‌آمده از رگرسیون لجستیک دقت بالایی دارد و عوامل انتخاب‌شده می‌توانند به طور معنی‌داری فرآیندهای تأثیرگذار بر تغییر کاربری زمین را نشان دهند. با توجه به اینکه انتخاب متغیرها نیاز به شناخت، پیش‌داوری از منطقه و داده‌های موجود دارد پیشنهاد می‌شود برای رسیدن به نتایج بهتر و دقیق‌تر، متغیرهای بیشتری متناسب با هدف و زمینه کاری انتخاب شود.

در مطالعه حاضر متغیرهای انتخابی متناسب با پیچیدگی‌های منطقه مطالعه انتخاب شدند و تا حدی بتواند البته محدودیت‌های محقق در تهیه برخی داده‌ها را نیز کمرنگ کند. متغیرهای فاصله از انواع کاربری موجود، مؤثرترین متغیر به حساب می‌آید. مشاهدات و نتایج نیز این را اثبات نمود که مناطقی که در نزدیکی یک نوع کاربری هستند، نسبت به مناطقی که دورترند، احتمال بیشتری برای تغییر به

References:

- Azizi Ghalaty, S., Rangzan, K., Sadidy, J., Heydarian, P., Taghizadeh, A. ۲۰۱۶. Predicting locational trend of land use changes using CA-Markov model (Case study: Kohmare Sorkhi, Fars province). *RS & GIS Techniques for Natural Resources*, ۷(۱), ۵۹-۷۰. (In Persian)
- Amini Parsa., V., Nejadi, A. ۲۰۱۶. Predicting future dynamics of landscape structure within protected areas using CA-Markov model (Case study: Dizmar protected area). *Physical Geography Research Quarterly*, ۴۸(۴), ۶۶۱-۶۷۴. (In Persian)
- Arsanjani, J., Helbich, M., Kainz, W., Darvishi Boloorani, A., ۲۰۱۳. Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geo Information*, ۲۱: ۲۶۵-۲۷۵.
- Eastman, J., ۲۰۱۲. *IDRISI Selva Manual*, Version ۱۷. Clark University ۳۲۲ pp.
- Falahatkar, S., Safianian, A. Khajedin, J., Ziayi, h. ۲۰۰۹. Investigating the ability of the CA Markov model to predict the land cover map (Case study: Isfahan city), *Proceedings of the ۶th Internal Congress on Geomatic*, Isfahan, Iran. (In Persian)
- Gashaw, T., Tulu, T., Argaw, M., Worqlul, A.W. ۲۰۱۸. Modeling the hydrological impacts of land use/land cover changes in the Andassa watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. *Science of the Total Environment* ۶۱۹-۶۲۰, PP: ۱۳۹۴-۱۴۰۸.
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., Hokao, K. ۲۰۱۱. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and

- Markov model. *Ecological Modelling*, ۲۲۲, ۳۷۶۱–۳۷۷۲.
- Han, H.R., Yang, C.F., Song, J.P., ۲۰۱۵. Scenario simulation and the prediction of land use and land cover change in Beijing, China. *Sustainability*, ۷, ۴۲۶۰–۴۲۷۹.
- Halabian, A.H., Soltanian, M. ۲۰۱۷. Assessment and forecasting the desertification changes in the east and south of Isfahan by CA-Markov model, *Journal of Spatial Analysis*, ۳(۴), ۷۱-۸۸. (In Persian)
- Harsini, J.I., kaboli, M., Fegghi, J., Taherzadeh, A. ۲۰۱۷. Land use / land cover change modelling using Markov chain and Cellular Automata (Case study: Hamedan province), *Env. Sci. Tech.*, ۱۹(۱), ۱۲۱-۱۲۹. (In Persian)
- Kakeh Mami, A., Ghorbani, A., Kayvan Behjoo, F., Mirzaei Mosivan, A. ۲۰۱۷. Comparison of visual and digital interpretation methods of land use/cover mapping in Ardabil province, *Journal of Applied RS & GIS for Natural Resource*, ۸(۳), ۱۲۱-۱۳۴. (In Persian)
- Kaveh, N., Ebrahimi, A. ۲۰۱۳. A Markov chain model for simulating land use/cover change (Case study: Aghbolagh river), *Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science*, ۴(۲), ۴۱-۵۱. (In Persian)
- Kamusoko, C., Aniya, M., Adi, B., Manjoro, M. ۲۰۰۹. 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* ۲۹, ۴۳۵–۴۴۷.
- Khoshgoftar, m.m., Taleai, m., Malekpoor, P. ۲۰۱۰. Spatial temporal Modeling of Urban Growth: a Method Based on Integration of Cellular Automata and Markov Chain. *Proceedings of the ۷th Internal Congress on Geomatic*, Isfahan, Iran. (In Persian)
- Khoi, D.D., Murayama, Y. ۲۰۱۰. Delineation of Suitable Cropland Areas Using a GIS Based Multi-Criteria Evaluation Approach in the Tam Dao National Park Region, Vietnam. *Sustainability*, ۲(۷): ۲۰۲۴-۲۰۴۳.
- Kumar, R., Nandy, S., Agarwal, R., Kushwaha, S.P.S. ۲۰۱۴. Forest cover dynamics analysis and prediction modeling using logistic regression model. *Ecological Indicators*, ۴۵: ۴۴–۴۵۵.
- Mas, j. F., Kolb, M., Paegelow, M., Camacho Olmedo, M. T., Houet, T. ۲۰۱۴. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & Software*, ۵۱: ۹۴-۱۱۱.
- Newland, C.P., Maier, H.R., Zecchin, A.C., Newman, J.P., van Delden, H. ۲۰۱۸. Multi-objective optimisation framework for calibration of Cellular Automata land-use models. *Environmental Modelling & Software*, ۱۰۰: ۱۷۵-۲۰۰.
- Parsamehr, K., Gholamalifard, M. ۲۰۱۷. Comparing Empirical Transition Potential Modeling Procedures and Their Implication as Baseline of REDD Projects in Mazandaran Province, *Environmental Studies*, ۷(۱۳), ۱۸۳-۲۰۲. (In Persian)
- Parvar, Z., Shatesteh, K., Behzadfar, M., Azizkhany, N. ۲۰۱۷. Detection of Changes Resulting from Construction of Shirin Darreh Dam on Land Use/Land Cover in Downstream Basin, *Environmental Researches*, ۷(۱۴), ۱۹۱-۲۰۲. (In Persian)
- Parvar, Z., Shayesteh, K. ۲۰۱۷. Monitoring and Prediction of Urban Growth Using Multitemporal Images and GIS Techniques (A Case Study of Bojnourd City). *Environmental Studies*. ۴۳(۳), ۵۱۳-۵۲۷. (In Persian)
- Salmanmahiny, A., Kamyab, H. ۲۰۱۲. *Applied Remote Sensing and GIS with Idrisi*. ۵۹۶p. (In Persian)
- Subedi, P., Subedi, K., Thapa, B. ۲۰۱۳. 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*, ۱(۶): ۱۲۶-۱۳۲.
- Talebi Amiri, S., Azari Dehkord, F., Sadeghi, H., Soofbaf, R. ۲۰۱۰. Study on Landscape Degradation

in Neka Watershed Using Landscape Metrics, Environmental Sciences. ۶(۳), ۱۳۳-۱۴۴. (In Persian)

Veldkamp, A., and Verburg, P. H. ۲۰۰۴. Modelling land use change and environmental impact, Journal Environmental Management, ۷۲: ۱-۳.

Xu, X., Dua, Z., Zhang, H. ۲۰۱۶. Integrating the system dynamic and cellular automata models to predict land use and land cover change. Applied

Earth Observation and Geo Information, ۵۲: ۵۶۸-۵۷۹.

Zeaian Firouzabadi, P., Shakiba, A., Matkan, A., Sadeghi, A. ۲۰۰۹. Remote Sensing (RS), Geographic Information System (GIS) and Cellular Automata Model (CA) as Tools for the Simulation of Urban Land Use Change – A Case Study of Shahr-e-Kord, Environmental Sciences. ۷(۱), ۱۳۳-۱۴۸. (In Persian)