



دوره ۳۲، شماره ۱، شماره پیاپی ۱۲۲، بهار ۱۳۹۸، صفحات ۹۹-۸۴
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2018.123624.1156

پژوهش‌های آبخیزداری

تأثیر حالت‌های احتمالی تغییر کاربری/پوشش زمین بر مؤلفه‌های سیمای سرزمین در آبخیز تالار

محسن ذبیحی

دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

حمیدرضا مرادی*

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

مهدی غلامعلی‌فرد

استادیار گروه محیط زیست، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

عبدالواحد خالدی‌درویشان

استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: hrmoradi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۶ مهر ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: ۶ آذر ۱۳۹۷

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی و پیش‌بینی تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین در آبخیز تالار در استان مازندران برنامه‌ریزی شده است. نقشه‌های کاربری/پوشش زمین در سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ با به‌کارگیری الگوریتم ماشین بردار پشتیبان تهیه و با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین در حالت‌های مختلف تغییر کاربری/پوشش برای سال ۱۴۰۹ پیش‌بینی شد. توان انتقال و پیش‌بینی تغییرات به ترتیب با استفاده از روش‌های پرسپترون چندلایه و زنجیره‌ی مارکوف مدل‌سازی شد. سنجه‌های سیمای سرزمین شامل درصد پوشش سیمای سرزمین، تعداد لکه، تراکم لکه، تراکم بزرگ‌ترین لکه، شاخص شکل سیمای شاخص پراکندگی و مجاورت و نسبت چولیدگی لکه در سال‌های بررسی شده، و حالت‌های ممکن تغییر کاربری/پوشش زمین با استفاده از نرم‌افزار Fragstats استخراج و تغییرات آن بررسی شد. نتایج نشان داد که روند تغییرات سنجه‌های درصد پوشش سیمای سرزمین، تعداد لکه، تراکم لکه، تراکم بزرگ‌ترین لکه، و شاخص شکل سیمای در سال‌های بررسی شده در کاربری‌های جنگل و مرتع کاهشی، و در سایر کاربری‌ها افزایشی است. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییر کاربری/پوشش در حالت‌های بررسی شده ارتفاع، فاصله از زمین‌های جنگلی و مرتعی و احتمال تجربی برای تغییر شناخته شد. میانگین افزایش تعداد لکه در حالت‌های تداوم روند فعلی تغییر کاربری، جنگل‌زدایی و توسعه‌ی زمین‌های مسکونی به ترتیب ۴۳/۲، ۸/۹ و ۷/۹٪ بود. برای بهبود وضعیت سلامت آبخیز تالار پیشنهاد می‌شود مناطق مختلف نیازمند احیا با توجه تغییرات کاربری/پوشش ناصحیح اولویت‌بندی شوند، و در مناطقی که تغییر در حالت‌های تغییر کاربری/پوشش زمین در آن‌ها پیش‌بینی شد، با در نظر گرفتن شرایط آمایش سرزمین اقدام‌های پیش‌گیرانه و حفاظتی تعیین و انجام شود.

واژگان کلیدی: استان مازندران، پیش‌بینی کاربری/پوشش زمین، توسعه‌ی پایدار، مدل LCM، مدیریت سیمای سرزمین

مقدمه

نقشه‌ی راهی است که می‌تواند کمک شایانی به تصمیم‌سازان و سیاست‌گزاران کند.

پژوهش‌های متعددی با هدف بررسی و تحلیل رفتار سیمای سرزمین و اثرهای آن برای فرآیندهای مختلف در انجام شده است. شی و همکاران (۲۰۰۸) سنج‌های سیمای سرزمین را در آبخیز رودخانه‌ی هایه (چین) در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ بررسی کردند. ایشان با نشان دادن ضرورت کمی‌سازی الگوی سیمای سرزمین، تغییرات پیچیده‌ی ساختار و ترکیب سیمای سرزمین را در دوره‌ی بررسی نتیجه گرفتند. آگیولرا و همکاران (۲۰۱۱) از سنج‌های سیمای سرزمین در تحلیل الگوی کاربری زمین شهری در حالت‌های ممکن مختلف توسعه‌ی شهری در اسپانیا استفاده کردند. براساس نتایج ایشان، سنج‌های سیمای سرزمین می‌تواند برای پیش تغییرات الگوهای توسعه‌ی شهری و ارزیابی سیاست‌گذاری‌های توسعه‌ی شهری به کار رود. کاهش تعداد لکه و افزایش مساحت لکه با تداوم وضعیت تغییر کاربری فعلی از جمله نتایج تاپاکوا و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی سنج‌های سیمای سرزمین در هوستوپسه (جمهوری چک) است. نتایج بررسی کنگ و همکاران (۲۰۱۳) از سنج‌های سیمای سرزمین در اوگورایکه (ژاپن) بیان‌گر کاهش تنوع سیمای سرزمین و جدشدگی عوارض آبی است. سان و ژو (۲۰۱۶) با نشان دادن تغییرات زمانی و مکانی الگوهای زمین کشاورزی با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین (از جمله شاخص پراکندگی و مجاورت) در چین، بر موثر بودن روش به‌کاررفته برای بررسی توسعه‌ی زمین‌های کشاورزی در مقیاس آبخیز تأکید کردند. مدل‌سازی اثرهای تغییر کاربری زمین با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین و ویژگی‌های آب‌شناسی در آبخیز کالومپانگ (فیلیپین) نشان داد که افزایش تراکم لکه و شاخص بزرگ‌ترین لکه‌ی کاربری‌های جنگل و کشاورزی، به‌ترتیب منجر به کاهش روان‌آب سطحی و تولید رسوب می‌شود (بنگالینگ و همکاران ۲۰۱۸). اینکوم و همکاران (۲۰۱۸) با هدف بررسی سنج‌های سیمای سرزمین برای ارزیابی خدمات اکوسیستم، شاخص بزرگ‌ترین لکه را از سنج‌های مناسب دانستند.

در ایران نیز حسینی‌وردئی و همکاران (۲۰۱۲) با کاربرد سنج‌های سیمای سرزمین در ارزیابی اثرهای تجمعی شبکه‌ی جاده‌یی بر پوشش درختی به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین میزان لکه‌های نیازمند به حفاظت ناشی از توسعه‌ی تجمعی کاربری‌ها در فاصله‌ی ۳۴۲ تا ۶۸۴ متری از جاده است. میرزایی و همکاران (۲۰۱۳) تغییرات پوشش زمین استان مازندران را با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین در دوره‌ی ۲۵ ساله (۱۳۶۳-۱۳۸۹) بررسی کردند و نشان دادند که سطح زمین مسکونی، کشاورزی، مرتع، و جاده افزایش، و کاربری جنگل کاهش پیدا کرده است، و بیش‌تر تغییرات ناشی از هضم لکه‌های کاربری جنگل در میان پوشش‌های انسان‌ساخت به‌ویژه یکپارچه‌سازی زمین کشاورزی بوده است. آرخی و فتحی‌زاد

سیمای سرزمین شکل مشابه تکرار شده‌ی کاربری‌های سرزمین در یک منطقه است (آپان و همکاران ۲۰۰۲). کاربری/پوشش زمین یکی از متغیرهای سیمای سرزمین و محصول واکنش‌های محیط‌های انسانی و طبیعی است. کمی‌سازی ناهمگنی کاربری/پوشش زمین برای شفاف‌سازی ارتباط بین الگوهای مکانی و وقوع فرآیندهای مختلف طبیعی از جمله موارد مهم در بررسی سیمای سرزمین است (برایموه ۲۰۰۶؛ اینکوم و همکاران ۲۰۱۸). بر همین اساس، بررسی، تحلیل و تفسیر الگوهای مکانی کاربری/پوشش زمین می‌تواند منجر به مدل‌سازی صحیح فرآیندهای طبیعی، و در نتیجه مدیریت صحیح سیمای سرزمین شود. سنج‌های سیمای سرزمین ابزار مناسبی برای رفتارسنجی کاربری/پوشش زمین و نیز کمی‌سازی اثر آن بر فرآیندهای موجود در یک آبخیز، و ابزارهایی برای اندازه‌گیری و کمی‌سازی الگوی مکانی سیمای سرزمین در یک زمان است (طالبی‌امیری و همکاران ۲۰۰۹). این الگو نمایان‌گر اثرهای اعمال مدیریت یا تغییر کاربری/پوشش زمین در آبخیز است و برای هدف‌های مدل‌سازی و تبیین راه‌کارهای مدیریتی سودمند و مناسب است. سنج‌های سیمای سرزمین امکان بررسی ابعاد مختلف تغییرات کاربری/پوشش زمین از قبیل ترکیب، ساختار و پیوستگی را فراهم می‌آورد. بررسی موارد پیش‌گفته در سه تراز لکه، طبقه و سیما از دیگر مزایای استفاده از سنج‌ها در بررسی‌های سیمای سرزمین است که ممکن است مدیران و دست‌اندرکاران اجرایی بسته به هدف آن را به‌کار گیرند. از طرف دیگر تعدد سنج‌های سیمای سرزمین نیازمند انتخاب مناسب‌ترین سنج‌ها برای وارد کردن در سیاست‌گذاری‌ها و تصمیم‌گیری‌ها است. انتخاب سنج‌های سیمای سرزمین باید به‌نحوی انجام شود که به همبستگی آن‌ها توجه شود. بنابراین برای بررسی وضعیت تغییرات سیمای سرزمین نیاز است که با در نظر گرفتن هدف اجرای پروژه‌ها، از سنج‌های مناسب بهره گرفته شود.

در برخی از موارد برقراری ارتباط سنج‌های سیمای سرزمین با فرآیندهای طبیعی آبخیز به‌آسانی انجام‌پذیر نیست. ممکن است نتوان تغییر رفتارهای کاربری/پوشش زمین را با تعداد یا نوع مشخصی از سنج‌های سیمای سرزمین نشان داد، و در واقع مجموعه‌یی از عوامل در آن نقش داشته باشند (فیه‌نر و همکاران ۲۰۱۱؛ سو و همکاران ۲۰۱۴). آشنایی نداشتن با نحوه‌ی تغییر و اثرهای ساختار و آرایش سیمای سرزمین بر اکوسیستم یکی از نگرانی‌های پژوهشگران و مدیران است (تاپاکوا و همکاران ۲۰۱۳). شناخت تغییرات رفتاری کاربری/پوشش زمین و تأثیر آن بر پاسخ‌های آب شناختی آبخیز می‌تواند به مدیران و تصمیم‌سازان در به‌کارگیری راه‌کارهای مدیریتی کمک کند. پیش‌بینی الگوهای سیمای سرزمین با لحاظ کردن فرآیندهای تغییر به وقوع پیوسته برای آگاهی از وضعیت و رفتار کاربری/پوشش زمین در آینده

تأثیر حالت‌های ممکن مختلف تغییر کاربری/پوشش زمین بر تغییر سنج‌های سیمای سرزمین انجام نشده است. پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی نقشه‌ی کاربری/پوشش زمین با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) در نرم‌افزار ترست (TerrSet) در قالب حالت‌های ممکن تداوم روند فعلی تغییر کاربری/پوشش زمین، جنگل‌زدایی و توسعه‌ی زمین‌های مسکونی در آبخیز تالار در استان مازندران برنامه‌ریزی شد. هدف دیگر این پژوهش شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تغییرات کاربری/پوشش زمین در حالت‌های ممکن تغییر کاربری، و بررسی اثر حالت‌های ممکن تغییر کاربری/پوشش زمین شامل تداوم روند فعلی تغییر کاربری/پوشش زمین، جنگل‌زدایی و توسعه‌ی زمین‌های مسکونی بر سنج‌های سیمای سرزمین است. وجه تمایز پژوهش حاضر با بررسی‌های پیشین، مطالعه‌ی توأمان کاربری/پوشش زمین در قالب بررسی تغییرات، پیش‌بینی تغییرات در حالت‌های ممکن مختلف تغییر، محاسبه و بررسی تغییرات سنج‌های سیمای سرزمین در نقشه‌های تهیه‌شده و پیش‌بینی‌شده‌ی کاربری/پوشش زمین، و شناسایی عوامل مؤثر بر تغییرات کاربری/پوشش زمین در حالت‌های ممکن تغییر است.

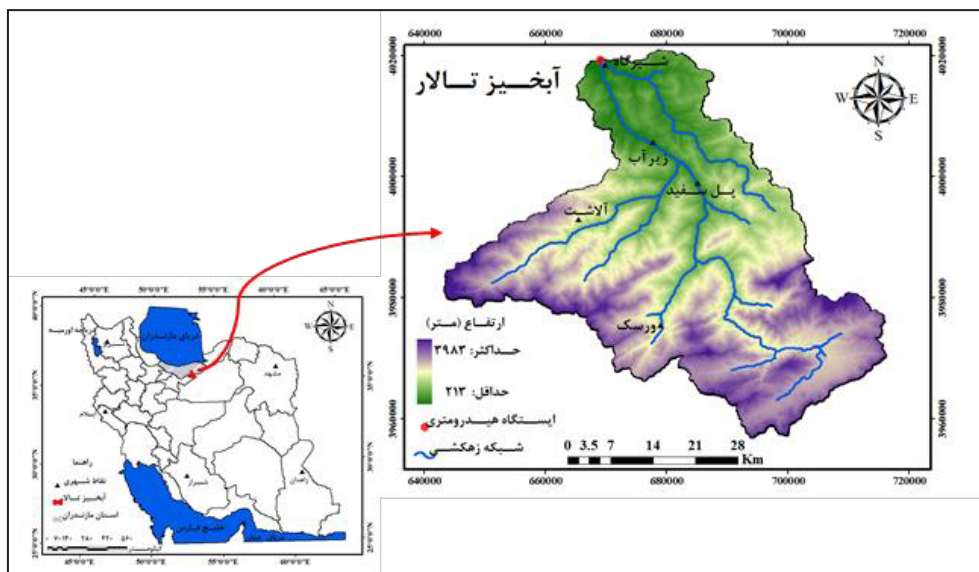
مواد و روش‌ها

منطقه‌ی پژوهش

منطقه‌ی مطالعاتی پژوهش آبخیز تالار در استان مازندران میان $52^{\circ}59'$ تا $52^{\circ}39'$ طول شرقی و $35^{\circ}73'$ تا $36^{\circ}31'$ عرض شمالی با مساحتی حدود ۲۱۰۰ کیلومتر مربع است که توانمندی زیادی در تغییر کاربری زمین دارد. میانگین ارتفاع و شیب این آبخیز به ترتیب $2001/13$ متر و $37/42\%$ است. شکلاخیز تالار پهن با امتداد شمالی جنوبی و جهت جغرافیایی غالب شمال است. میانگین بارندگی و دمای سالانه‌ی آبخیز ۷۱۲ میلی‌متر و 16° درجه‌ی سانتی‌گراد گزارش شده است، و تنوع چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی باعث وجود سنگ‌های رسوبی دریایی، قاره‌یی، تیخیری و آذرین در منطقه شده است (گلشن و همکاران ۲۰۱۳). موقعیت جغرافیایی آبخیز تالار در کشور و استان مازندران در شکل ۱ آورده شده است.

(۲۰۱۴) نشان دادند که در سیمای سرزمین آبخیز دوبرج (استان ایلام) تعداد لکه‌ها افزایش و میانگین مساحت کاهش یافته است. عسگریان و همکاران (۲۰۱۵) سنج‌های سیمای سرزمین از قبیل شاخص بزرگ‌ترین لکه، متوسط اندازه‌ی لکه، تراکم لکه، تراکم حاشیه و فاصله‌ی اقلیدسی نزدیک‌ترین همسایه توسط را بررسی کردند. نتایج ایشان نمایانگر توسعه‌ی کاربری سکونتگاهی است که با رشد لکه‌های قدیمی توسعه یافته است. کیانی و فقهی (۲۰۱۵) در بررسی ساختار کاربری زمین در آبخیز سفیدرود با استفاده از نه سنج‌های سیمای سرزمین به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین میزان تکه‌تکه‌شدن در کاربری کشاورزی رخ داده است. جورابیان شوشتری و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی نقش سنج‌های سیمای سرزمین در ارزیابی کارایی مدل ژئومد در آبخیز نکارود (استان مازندران) به این نتیجه رسیدند که این روی‌کرد با کارایی زیادی که دارد می‌تواند درک جامع و کاملی از نبودقطعیت در صحت نتایج تولیدشده به‌دست دهد. تحلیل تخریب سیمای سرزمین در محدوده‌ی تالاب بزرگ هویزه در دوره‌ی ۲۵ ساله (کرمی و میرسنجری ۲۰۱۸) نشان داد که مقدار سنج‌های تعداد لکه، تراکم لکه، شاخص بزرگ‌ترین لکه، شاخص شکل لکه کاهش و سنج‌های تنوع شانون افزایش یافته است. نظرنژاد و همکاران (۲۰۱۸) تغییرات ساختار چشم‌انداز آبخیز قره‌سو (کرمانشاه) را در دوره‌ی زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۵ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست و سنج‌های سیمای سرزمین در دو تراز طبقه و سیمای بررسی کردند. نتایج ایشان نمایان‌گر تکه‌تکه‌شدن سیمای سرزمین در این آبخیز است. علاوه بر این، میزان یک‌پارچگی عناصر ساختاری و نوع کاربری موجود در واحد سطح به‌ترتیب ناپیوسته‌تر و متنوع‌تر شده است.

برای حفاظت از خدمات اکوسیستمی زمین، ضمن برداشت بهینه و منطقی از آن‌ها برای تأمین نیازها اهمیت زیادی دارد (له و همکاران ۲۰۱۳). علاوه‌براین، شناسایی، به‌دست آوردن درک جامع، و پیش‌بینی رفتار کاربری/پوشش زمین با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین در آبخیز می‌تواند ابزاری مهم و کاربردی برای تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران محیط‌زیست و منابع طبیعی باشد. با وجود بررسی‌هایی که با هدف‌های متفاوت بر سنج‌های سیمای سرزمین انجام شده، تاکنون بررسی جامع و کاملی برای دانستن



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز تالار در استان مازندران و کشور.

کشاورزی آبی، باغ، مرتع و مسکونی مشخص شد. الگوریتم ماشین بردار پشتیبان^۴ (جیانگ و همکاران ۲۰۱۵؛ فتحی‌زاد و همکاران ۲۰۱۶) برای طبقه‌بندی تصویرهای ماهواره‌یی به کار گرفته شد. ارزیابی صحت نقشه‌ی طبقه‌بندی شده با مقایسه‌ی نقطه‌های واقعیت زمینی برداشت‌شده (۳۰٪) با نقشه‌ی طبقه‌بندی‌شده، و با استفاده از ضریب کاپا و صحت کلی انجام شد. صحت نقشه‌های تهیه‌شده در سال‌های پیشین (۱۳۶۸ و ۱۳۷۹) نیز با استفاده از تفسیر دیداری و نقطه‌های ثابت در طول زمان محاسبه شد (یوسفی و همکاران ۲۰۱۴؛ جورابیان‌شوشتری و غلامعلی‌فرد ۲۰۱۵).

پیش‌بینی کاربری/پوشش زمین

پیش‌بینی تغییرات کاربری/پوشش زمین برای شرایط آینده (سال ۱۴۰۹) با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین در نرم‌افزار TerrSet انجام شد. نقشه‌های کاربری/پوشش زمین سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۹ و ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ برای تجزیه و تحلیل و آشکارسازی تغییرات به محیط LCM معرفی شد. مقطع پیش‌بینی معمولاً در حدود (و نه الزاماً) طول دوره‌ی واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌سازی کاربری/پوشش زمین انتخاب می‌شود. بر همین اساس و به سبب وقوع محسوس و احتمالی تغییرات کاربری/پوشش زمین در آبخیز تالار، در پژوهش حاضر دوره‌ی زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۹ مقطع پیش‌بینی گرفته شد. مدل‌سازی تغییرات کاربری/پوشش زمین در سه مرحله‌ی تحلیل تغییرات، توانایی انتقال و پیش‌بینی تغییرات در نرم‌افزار

روش پژوهش

تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری/پوشش زمین

برای تهیه‌ی نقشه‌های کاربری/پوشش زمین آبخیز تالار، تصویرهای سنجنده‌های TM و OLI ماهواره‌ی لیندست در خرداد ۱۳۶۸ (ژوئن ۱۹۸۹)، تیر ۱۳۷۹ (ژوئیه ۲۰۰۰) و مرداد ۱۳۹۳ (ژوئیه ۲۰۱۴) از وبگاه سازمان زمین‌شناسی آمریکا گرفته شد. تصحیحات نیواری (اتمسفری) و صوت‌سنجی (رادئومتری) تصویرهای ماهواره‌یی به ترتیب با استفاده از روش‌های کاهش ارزش عددی نقطه‌های (پیسکل‌های) تیره^۲ و فلاش (FLAASH)^۳ و در نرم‌افزار ENVI انجام شد. در روش کاهش ارزش عددی نقطه‌های تیره، مقدار ثابتی از ارزش کل نقطه‌ها در هر نوار کاسته می‌شود. فلاش اولین ابزار تصحیح نیواری (اتمسفری) است که طول موج دیدنی و طول موج‌های فرورسوخ و فرورسوخ نزدیک تا ۳ میکرومتر را تصحیح می‌کند. آزمایای این روش طبقه‌بندی نوارهای تصویرهای ماهواره‌یی است (فیضی‌زاده و همکاران ۲۰۱۶). برای تشخیص بهتر عوارض روی تصویر در سنجنده‌های TM و OLI، در پیمایش‌های صحرایی و با استفاده از ترکیب‌های رنگی حقیقی و کاذب، نمونه‌های آموزشی کاربری/پوشش زمین (حداقل ۵۰ نمونه برای هر طبقه‌ی کاربری) برداشت شد. نمونه‌های آموزشی سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۷۹ نیز در نقاط بی‌تغییر در سال‌های پژوهش برداشته شد. شش کاربری/پوشش زمین شامل کشاورزی دیم، جنگل،

2- Dark-Object Subtraction

3- Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes

4- Support Vector Machine

ارتباط متغیرهای مستقل و تغییرات کاربری/پوشش زمین (ضریب کرامر) را محاسبه می‌کند و نمایش می‌دهد. اندازه‌های ضریب کرامر بیش‌تر از ۱۵/۰ برای مدل‌سازی پذیرفتنی است (ردی و همکاران ۲۰۱۵). برای تخصیص تغییر به هر کاربری زنجیره‌ی مارکوف به‌کار برده شد و مدل‌سازی کاربری/پوشش زمین برای سال ۱۳۹۳ با استفاده از مدل پیش‌بینی سخت و دوره‌ی واسنجی ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۹ اجرا شد. برای پیش‌بینی کاربری/پوشش زمین (سه حالت ممکن تداوم روند فعلی تغییر کاربری/پوشش زمین، جنگل‌زدایی و توسعه‌ی زمین‌های مسکونی) برای سال ۱۴۰۹ از نقشه‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ استفاده شد. ارزیابی نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده‌ی کاربری/پوشش زمین ۱۳۹۳ نیز در مقایسه با نقشه‌ی واقعیت زمینی همان سال، با کمک ضریب کاپا به‌انجام رسید (شوشتری و همکاران ۲۰۱۸).

استخراج سنجه‌های سیمای سرزمین

برای بررسی پویایی و تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین آبخیز تالار، ۸ سنجه (جدول ۱) در سطح طبقه‌های کاربری/پوشش زمین برای هر یک از نقشه‌های تهیه‌شده در ۱۳۶۸، ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و پیش‌بینی‌شده‌ی ۱۴۰۹ در حالت‌های تداوم روند فعلی تغییر کاربری/پوشش زمین، جنگل‌زدایی و توسعه‌ی زمین‌های مسکونی) با استفاده از نرم‌افزار Fragstats (مک‌گاریگال و همکاران ۲۰۰۲) استخراج و بررسی و تحلیل شد (حسن ۲۰۱۷). در استخراج سنجه‌های سیمای سرزمین در نرم‌افزار Fragstats از روش همسایگی هشت سلولی^۶ و راه‌کار بی‌نمونه‌برداری^۷ بهره برده شد. روش همسایگی هشت سلولی از هشت سلول مجاور دارای یک ضلع مشترک با سلول مرکزی برای تعیین و تشخیص لکه‌های موجود در سیمای سرزمین استفاده می‌کند. راه‌کار بی‌نمونه‌برداری روشی متداول برای بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین است که پیش‌فرض نرم‌افزار Fragstats برای نشان‌کردن سنجه‌ها در سطح لکه، طبقه و سیما است. در این راه‌کار هر ورودی به نرم‌افزار (نقشه‌ی کاربری/پوشش زمین) سیمایی مجزا دانسته می‌شود.

TerrSet انجام می‌شود. با توجه به بررسی تغییرات کاربری/پوشش زمین آبخیز تالار، مهم‌ترین تغییرهای کاربری/پوشش زمین در پژوهش حاضر در تنها سه حالت ممکن تداوم روند فعلی (حالت ۱)، جنگل‌زدایی (حالت ۲) و توسعه‌ی زمین‌های مسکونی (حالت ۳) دانسته شد. نیروی انتقال از یک کاربری (مانند جنگل) به کاربری دیگر (مانند کشاورزی دیم) با استفاده از متغیرهای مؤثر (فاصله از مناطق جنگلی، فاصله از مناطق مسکونی) در مرحله‌ی امکان انتقال مدل‌سازی می‌شود. احتمال تغییر هر نقطه از تصویر از یک کاربری به کاربری دیگر در این بخش بررسی می‌شود، که نقشه‌ی خروجی آن نیرویی برای هر تغییر (سه حالت ممکن) خواهد بود. سپس زیرمدل‌های هر یک حالت‌های ممکن در پژوهش فعلی برای مدل‌سازی توان انتقال با کاربرد الگوریتم پرسپترون چندلایه (MLP^۵) شبکه‌ی عصبی مصنوعی (مگاهد و همکاران ۲۰۱۵) انتخاب شد. تبدیل کاربری‌های کشاورزی دیم به مرتع، جنگل به مرتع، جنگل به کشاورزی آبی و مرتع به باغ از زیرمدل‌های حالت تداوم روند فعلی تغییر کاربری/پوشش زمین انتخاب شد. تبدیل جنگل به کاربری‌های کشاورزی دیم، کشاورزی آبی، باغ، مرتع و زمین مسکونی زیرمدل‌های حالت جنگل‌زدایی در نظر گرفته شد. زیرمدل‌های حالت توسعه‌ی زمین مسکونی نیز تبدیل کاربری‌های کشاورزی دیم، جنگل، کشاورزی آبی، باغ و مرتع به زمین‌های مسکونی بود. متغیرهای مؤثر بر تغییرات کاربری/پوشش زمین و مورد نیاز برای مدل‌سازی نیز بسته به حالت ممکن بررسی شده و با توجه به پیشینه‌ی پژوهش شامل ارتفاع، فاصله از منطقه‌های مسکونی، احتمال تجربی برای تغییر از جنگل به غیرجنگل، احتمال تجربی برای تغییر از زمین‌های نامسکونی به مسکونی، فاصله از جاده و فاصله از مناطق جنگلی، شیب و غیره در نظر گرفته شد. تعیین همبستگی بین این متغیرهای مستقل، با میزان تغییر به‌عنوان متغیر وابسته در بخش مدل‌سازی توانایی انتقال مدل LCM با ضریب کرامر تعیین شد. میزان ارتباط متغیرهای مستقل با تغییرات کاربری/پوشش زمین و در قالب ضریب کرامر براساس آماره‌ی مجذور کای تعیین می‌شود. مدل LCM به‌صورت خودکار میزان

5- Multi-Layer Perceptron
6- 8-Cell Neighborhood Rule
7- No Sampling

جدول ۱- ویژگی‌های سنج‌های سیمای سرزمین (مک‌گاریگال و همکاران ۲۰۰۲) در پژوهش حاضر.

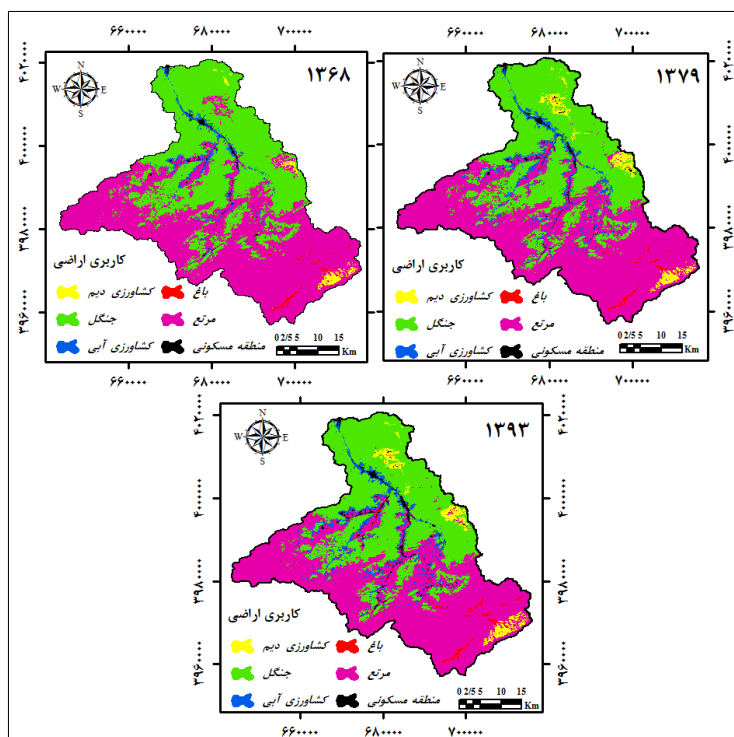
ردیف	سنجه	علامت اختصاری	رابطه‌ی محاسباتی	واحد
۱	درصد پوشش سیمای سرزمین	PLAND	$\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$	درصد
۲	تعداد لکه	NP	n_i	ندارد
۳	تراکم لبه	ED	$\frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10000)$	متر در هکتار
۴	تراکم لکه	PD	$\frac{n_i}{A} (10000)(100)$	تعداد در ۱۰۰ هکتار
۵	شاخص بزرگ‌ترین لکه	LPI	$\frac{j=1}{\max(a_{ij})} (100)$	درصد
۶	شاخص شکل سیما	LSI	$\frac{A}{0.25 \sum_{k=1}^m e_{ik}^*}$	ندارد
۷	نسبت چولیدگی لبه	PAFRAC	$\frac{[n_i \sum_{j=1}^n (\ln p_{ij} \ln a_{ij})] - [(\sum_{j=1}^n \ln p_{ij})(\sum_{j=1}^n \ln a_{ij})]}{(n_i \sum_{j=1}^n \ln p_{ij}^2) - (\sum_{j=1}^n \ln p_{ij})^2}$	ندارد
۸	شاخص پراکندگی و مجاورت	IJI	$\frac{-\sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m-1)} (100)$	درصد

A مساحت کل سیما، a_{ij} مساحت لکه i از (مترمربع)، n_i تعداد لکه‌های سیما (نوع کلاس)، e_{ik} طول کل حاشیه‌ی لکه‌های سیما سرزمین i که شامل مرز سیمای سرزمین نیز می‌شود (متر)، e_{ik}^* طول کل حاشیه‌ی سیما بین انواع لکه (در سطح رده) ik که شامل مرز داخلی سیما و برخی یا همه‌ی حاشیه‌ی زمینه‌ی رده‌ی i ، P_{ij} محیط لکه i (متر) و m تعداد لکه‌های مشاهده‌شده در سیما (در سطح رده) به‌جز حاشیه‌ی سیما.

نتایج و بحث

نتایج تهیه‌ی نقشه‌های کاربری/پوشش زمین آبخیز تالار در سال‌های بررسی‌شده در شکل ۲ ارائه شده است. سطوح طبقه‌های کاربری/پوشش زمین در این سال‌ها و در حالت‌های مختلف تغییر کاربری/پوشش زمین در جدول ۲ نشان داده شده است. براساس نتایج

ارزیابی صحت نقشه‌های تهیه‌شده (مقایسه‌ی نقشه‌های تهیه‌شده با نقشه‌ی واقعیت زمینی)، مقدار ضریب کاپا برای نقشه‌های سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۳ به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۸۶ و ۰/۸۵ محاسبه شد. صحت کلی این نقشه‌ها نیز به ترتیب ۹۴/۷۴، ۹۴/۵۷ و ۹۳/۹۹٪ به‌دست آمد، که بیان‌گر صحت بالای نقشه‌های تهیه‌شده است.



شکل ۲- نقشه‌های تهیه‌شده‌ی کاربری/پوشش زمین آبخیز تالار با استفاده از مدل SVM.

جدول ۲- سطوح طبقه‌های کاربری/پوشش زمین (کیلومتر مربع) در سال‌های بررسی شده و در حالت‌های مختلف تغییر کاربری/پوشش زمین.

کاربری/پوشش زمین	۱۴۰۹			۱۳۹۳	۱۳۷۹	۱۳۶۸
	حالت ۳	حالت ۲	حالت ۱			
کشاورزی دیم	۵۶/۳	۵۸/۳	۵۸/۹	۵۶/۳	۵۱/۴	۲۱/۸۱
جنگل	۸۳۵/۴	۸۱۷/۱	۸۲۵/۱	۸۳۵/۴	۸۴۴/۰۴	۸۹۸/۴
کشاورزی آبی	۹۰/۹	۱۰۲/۶	۱۰۹/۶	۹۹/۴	۹۳/۴	۴۷/۲
باغ	۱۸/۶	۱۹/۸	۲۵/۸	۱۹/۴	۱۱/۷	۹/۶۳
مرتع	۱۰۵۸/۴	۱۰۷۸/۲	۱۰۴۱/۲	۱۰۶۵/۵	۱۰۸۸/۸	۱۱۱۷/۵
زمین مسکونی	۴۷/۳	۳۰/۹	۴۶/۲	۳۰/۹	۱۷/۶	۱۲/۴

مهم‌ترین عوامل موثر بر تغییر کاربری/پوشش زمین در آبخیز تالار است. این نتیجه با یافته‌های نور و همکاران (۲۰۱۷) در خصوص عامل اصلی تغییر کاربری/پوشش زمین در مقیاس جهانی هم‌خوانی دارد.

جدول ۳ یافته‌های بررسی ارتباط متغیرهای مستقل با تغییرات کاربری/پوشش زمین در هر یک حالت‌های ممکن در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۴۰۹ را برای مدل سازی توان انتقال نشان می‌دهد. با وجود بررسی متغیرهای مستقل متعدد، تنها متغیرهای پذیرفتنی از نظر ضریب کرامر (ضریب کرامر بیش‌تر از ۰/۱۵) در جدول ۳ آورده شده است. ارزیابی صحت الگوریتم پرسپترون چندلایه برای مدل‌سازی توان انتقال با استفاده از آماره‌ی میزان صحت سنجیده شد، و مقدار آن برای تمامی حالت‌های تغییر کاربری/پوشش زمین بررسی شده در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۴۰۹ بیش‌از ۷۰٪ بود. نقشه‌های پیش‌بینی شده‌ی کاربری/پوشش زمین برای سال ۱۴۰۹ نیز در حالت‌های تداوم روند فعلی تغییر کاربری/پوشش زمین، جنگل‌زدایی و توسعه‌ی زمین‌های مسکونی در شکل ۳ نشان داده شده است.

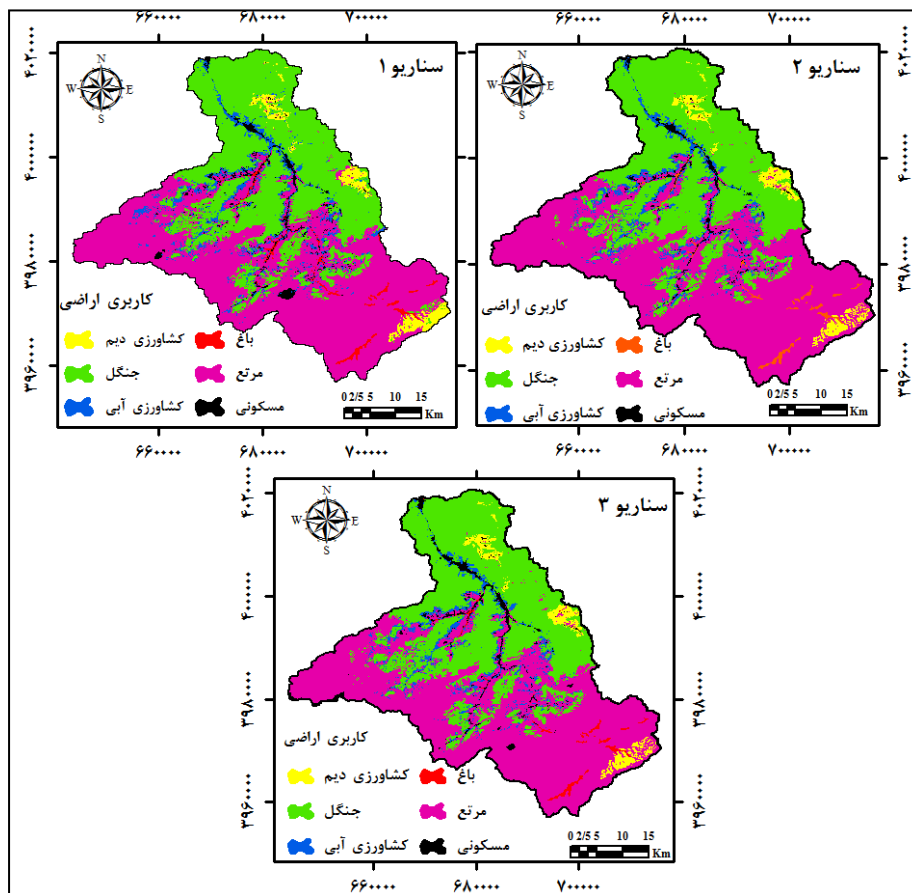
بر اساس نتایج آشکارسازی تغییرات کاربری/پوشش و (شکل ۲، جدول ۲) افزایش در سطوح کاربری‌های کشاورزی دیم (۳۴/۵)، کشاورزی آبی (۵۲/۲)، باغ (۹/۷) و زمین مسکونی (۱۸/۴) در دوره‌ی بررسی دیده شد. کاربری‌های جنگل و مرتع نیز به‌ترتیب از ۸۹۸/۴ به ۸۳۵/۴ و ۱۱۱۷/۵ به ۱۰۶۵/۵ کیلومترمربع کاهش داشته‌است. میزان افزایش و کاهش سطوح همه‌ی کاربری‌ها در دوره‌های مختلف یکسان نبوده است، به‌نحوی که مقدار تغییر سطح کشاورزی دیم در سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۹ و ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ به‌ترتیب ۲۹/۵ و ۴/۹ کیلومترمربع گزارش شده است. پوشش غالب آبخیز تالار در همه‌ی دوره‌های بررسی شده مرتع بود، و کاربری باغ کم‌ترین سطح کاربری‌ها را در این سال‌ها تشکیل می‌داد. بررسی تغییرات کاربری/پوشش زمین در دوره‌ی ۲۵ ساله‌ی پژوهش نشان می‌دهد که بیش‌ترین سهم از کاهش سطح کاربری جنگل در آبخیز تالار به‌ترتیب به مرتع، کشاورزی آبی و کشاورزی دیم داده شده است. بیش‌ترین مقدار تغییر زمین مرتعی به سایر کاربری‌ها نیز به‌ترتیب در کشاورزی آبی، کشاورزی دیم و زمین مسکونی بود. می‌توان استنباط نمود که عامل انسانی و افزایش جمعیت از

جدول ۳- مقادیر ضریب کرامر متغیرهای مستقل به‌کاررفته در حالت‌های مختلف تغییر کاربری/پوشش زمین.

متغیر	تداوم روند فعلی تغییرات		جنگل‌زدایی		توسعه‌ی زمین‌های مسکونی	
	۱۳۹۳	۱۴۰۹	۱۳۹۳	۱۴۰۹	۱۳۹۳	۱۴۰۹
ارتفاع	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۴
شیب	-	-	-	-	-	-
فاصله از جاده	-	-	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۵
فاصله از زمین‌های جنگلی	۰/۳۴	۰/۳۵	۰/۲۵	۰/۲۵	-	۰/۳۵
فاصله از منطقه‌ی مسکونی	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۲۹	۰/۲۹
فاصله از زمین‌های کشاورزی آبی	۰/۲۶	۰/۲۳	-	۰/۲۳	-	۰/۲۳
فاصله از زمین‌های کشاورزی دیم	-	۰/۲۹	-	-	-	-
فاصله از زمین‌های مرتعی	-	-	-	-	-	۰/۳۴
احتمال تجربی برای تغییر	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۱۵	-	۰/۴۴	۰/۴۴

موجود در آبخیز تالار از نظر شرایط پستی و بلندی (ارتفاع، شیب و جهت) و آب و هوا دانست. توسعه‌ی روستاها و جاده‌ها در ارتفاع‌های زیاد نیز می‌تواند از دیگر دلایل آن باشد. فاصله از زمین‌های جنگلی و مرتعی نیز به دلیل وجود فعالیت‌های انسانی در اطراف کاربری‌های این زمین‌ها، و طبعاً تغییرات آن‌ها از جمله عوامل مؤثر بر تغییر سیمای سرزمین شناخته شد. احتمال تجربی برای تغییر و شیب به‌ترتیب مؤثرترین و کم‌اثرترین عامل در آبخیز نکارود (شوشتری و همکاران ۲۰۱۸) و در هند (مونسی و همکاران ۲۰۱۲) تشخیص داده شد، که نتایج پژوهش فعلی را تأیید می‌نماید.

نتایج محاسبه‌ی همبستگی عوامل مؤثر بر تغییر کاربری/پوشش زمین در حالت‌های تغییر بررسی شده با استفاده از ضریب کرامر (جدول ۳) نشان می‌دهد که بسته به حالت‌های موردنظر، ارتفاع، احتمال تجربی برای تغییر، فاصله از زمین مرتعی و فاصله از زمین جنگلی عوامل مؤثر بر تغییر کاربری/پوشش زمین بود. نتیجه‌ی به‌دست‌آمده با گزارش‌های پنگ و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر بیش‌ترین تأثیر عامل ارتفاع بر سنجه‌های سیمای سرزمین و تغییر کاربری زمین همخوانی کامل دارد. دلیل آن را می‌توان ناهم‌آهنگی



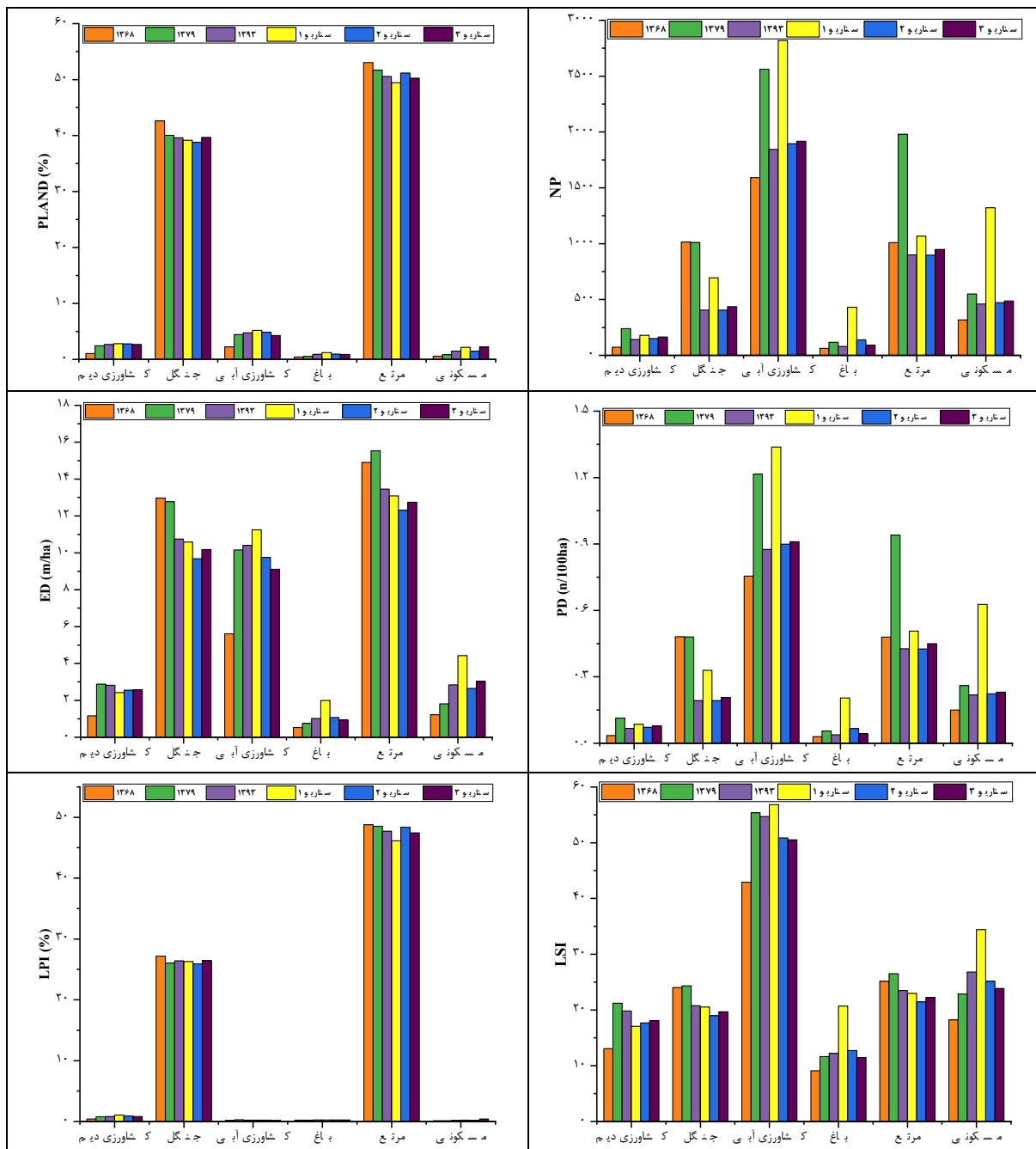
شکل ۳- نقشه‌های پیش‌بینی‌شده‌ی کاربری/پوشش زمین در آبخیز تالار در حالت‌های مختلف.

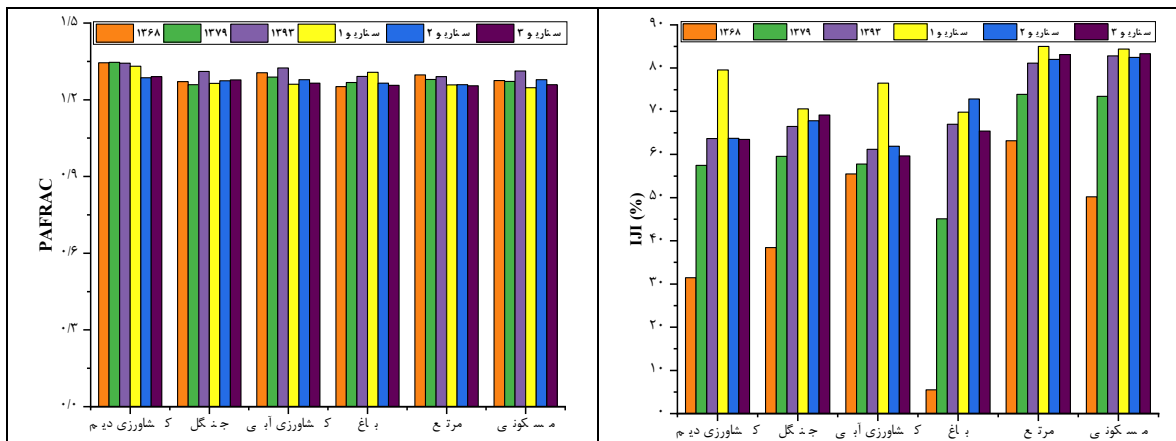
کشاورزی دیم، جنگل، کشاورزی آبی، باغ، مرتع و زمین مسکونی در حالت تداوم روند فعلی تغییر کاربری/پوشش زمین به‌ترتیب برابر با ۵۸/۹، ۸۲۵/۱، ۱۰۹/۶، ۲۵/۸، ۱۰۴۱/۲ و ۴۶/۲ کیلومتر مربع خواهد شد. جزئیات سطح هریک از طبقه‌های کاربری/پوشش زمین در سایر حالت‌های تغییر کاربری/پوشش زمین در جدول ۲ و شکل ۳ نشان داده شده است. براساس یافته‌ها در حالت توسعه‌ی زمین مسکونی، سطح طبقه‌های کاربری کشاورزی

صحت نقشه‌های پیش‌بینی‌شده‌ی کاربری/پوشش زمین سال ۱۳۹۳ با مقادیر کاپا ۰/۹۲ و ۰/۹۵ و ۰/۹۴ به‌ترتیب برای حالت‌های تداوم روند فعلی تغییرات، جنگل‌زدایی و توسعه‌ی زمین مسکونی پذیرفتنی ارزیابی شد. براساس نتایج (جدول ۲، شکل ۳) مقدار تغییرات هریک از کاربری‌ها در حالت‌های مختلف برای سال ۱۴۰۹ مشابه نخواهد بود. نتایج مدل‌سازی و پیش‌بینی کاربری/پوشش زمین در سال ۱۴۰۹ نشان می‌دهد که وسعت کاربری‌های

سال ۱۴۰۹ با ۱۶/۴ کیلومتر مربع افزایش به ۴۷/۳ کیلومتر مربع خواهد رسید. یافته‌های محاسبه‌ی سنجه‌های سیمای سرزمین در آبخیز تالار در سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۹، ۱۳۹۳ و ۱۴۰۹ در سه حالت بررسی شده در شکل ۴ آورده شده است.

دیم و جنگل ثابت بوده، کاربری‌های کشاورزی آبی، باغ و مرتع کاهش، و زمین‌های مسکونی افزایش یافته است، و دلیل آن روند تغییرات به‌وقوع‌پیوسته در دوره‌ی ارزیابی مدل‌سازی کاربری زمین (۱۳۷۹-۱۳۹۳) است. در این حالت، وسعت زمین‌های مسکونی در





شکل ۴- تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین در آبخیز تالار در سال‌های بررسی‌شده و حالت‌های مختلف.

نتایج تاپاکوا و همکاران (۲۰۱۳) و طالبی‌امیری و همکاران (۲۰۰۹) را تایید می‌کند. این پژوهش‌ها نیز افزایش لکه‌های انسان‌ساخت و مطابق با پژوهش حاضر را نتیجه گرفتند.

زمین‌های مرتعی بیش‌ترین مقدار سنجه‌ی LPI را در سال‌های مختلف در آبخیز تالار نشان دادند، و این یافته نتایج کیانی و فقهی (۲۰۱۵) را تایید می‌کند. درحالی‌که میرزایی و همکاران (۲۰۱۳) بیشینه‌ی مقدار LPI را برای کاربری جنگل در استان مازندران گزارش کردند. این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت سطح دو منطقه، شرایط آب‌وهوایی، و توپوگرافی دو منطقه باشد که طبیعتاً منجر به تغییر نحوه‌ی استفاده از زمین شده است. کاربری کشاورزی آبی به دلیل پراکندگی زیاد بیش‌ترین مقدار سنجه‌ی LSI و در نتیجه بی‌نظمی بیش‌تر را در آبخیز سفیدرود (کیانی و فقهی ۲۰۱۵) داشت. افزایش مقدار سنجه‌های پیش‌گفته و توسعه‌ی آن کاربری‌ها منجر به افزایش پیچیدگی‌های رفتار کاربری/پوشش زمین شده است. براساس یافته‌های پژوهش فعلی، اگرچه تغییرات محسوسی در مقدار سنجه‌ی نسبت چولیدگی لبه در سال‌های بررسی وجود ندارد، روند کلی تغییرات در این سال‌ها در کاربری‌های کشاورزی دیم و مرتع کاهشی، و در سایر کاربری‌ها افزایشی بود (شکل ۴). افزایش مقدار سنجه‌ی نسبت چولیدگی لبه منجر به افزایش پیچیدگی شکل لکه‌های کاربری/پوشش زمین می‌شود. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار میانگین سنجه‌ی PLAND نیز در کاربری‌های باغ و کشاورزی دیم به ترتیب با مقادیر ۱/۲۷ و ۱/۳۴ به‌دست آمد.

مجاورت همگی لکه‌های کاربری/پوشش زمین در کنار یک‌دیگر نشان‌دهنده‌ی بیشینه‌ی مقدار سنجه پراکندگی و مجاورت است. اگر تنها دو لکه‌ی کاربری ناهمسان کنار هم باشد، مقدار این سنجه با صفر خواهد بود. روند مقدار سنجه‌ی پراکندگی و مجاورت در همگی طبقه‌های کاربری/پوشش زمین آبخیز تالار افزایشی بود. کمینه و بیشینه‌ی این سنجه که بیان‌گر آرایش

براساس نتایج سنجه‌های سیمای سرزمین در سال‌های بررسی‌شده (شکل ۴) سنجه‌های درصد پوشش سیمای سرزمین، تعداد لکه‌ها، تراکم لبه، تراکم لکه، شاخص بزرگ‌ترین لکه و شاخص شکل سیمای در سال‌های بررسی (۱۳۶۸-۱۳۹۳)، در کاربری‌های جنگل و مرتع روند کاهشی و در سایر کاربری‌ها (کشاورزی دیم، کشاورزی آبی، باغ و زمین‌های مسکونی) روند افزایشی دیده می‌شود. این یافته‌ها با بخشی از نتایج میرزایی و همکاران (۲۰۱۳) در استان مازندران در یک راستا است. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار درصد پوشش سیمای سرزمین در این سال‌ها به ترتیب مربوط به کاربری‌های مرتع و باغ بود. ترکیب سیمای سرزمین در مناطق مختلف (چن و یو ۲۰۱۷) به لیل شرایط اقلیمی و خاکی متفاوت بود. تخریب و کاهش سطح کاربری‌های جنگل و مرتع باعث کاهش مقدار سنجه‌ی PLAND شد. علاوه بر این، تبدیل این کاربری‌ها به سایر کاربری‌ها منجر به کاهش تعداد و تراکم لکه‌های جنگل و مرتع در آبخیز تالار شد، که با یافته‌های طالبی‌امیری و همکاران (۲۰۰۹) در آبخیز نکارود استان مازندران مطابقت دارد. تشابه یافته‌های دو پژوهش می‌تواند به دلیل قرارگرفتن هر دو منطقه در استان مازندران، و در نتیجه شرایط اقلیمی و الگوهای مشابه تغییر کاربری/پوشش زمین باشد. نظر نژاد و همکاران (۲۰۱۸) در آبخیز قره‌سو استان کرمانشاه تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین (افزایش شاخص تعداد لکه) را گزارش کردند. از طرفی کاهش تعداد لکه باعث کاهش طول لبه‌های کاربری/پوشش زمین و در نتیجه کاهش تراکم لبه در کاربری‌های جنگل و مرتع است. این موارد به همراه کاهش مقادیر سنجه‌های LPI و LSI همگی نشان‌دهنده‌ی تخریب کاربری‌های جنگل و مرتع در آبخیز تالار در دوره‌ی ۲۵ ساله‌ی پژوهش است. روند تغییرات سنجه‌های LPI، ED، NP، PLAND و LSI در کاربری‌های کشاورزی دیم، کشاورزی آبی، باغ و زمین‌های مسکونی در سال‌های پژوهش نمایان‌گر توسعه‌ی آن‌ها در این آبخیز بود، که

یافت. این نتایج بیان‌گر منظم‌تر شدن لکه‌های هم‌پوشی کاربری‌ها است. اما بررسی سایر حالت‌ها نشان‌دهنده‌ی نبود وضعیت تغییر مشخص است، بدین صورت که در برخی کاربری‌ها مقدار سنج‌ی LSI کاهش، و در برخی افزایش خواهد یافت. نتایج پیش‌بینی مقدار سنج‌ی نسبت چولیدگی لبه برای سال ۱۴۰۹ نشان داد که مقدار آن در اغلب حالت‌های تغییر کاربری/پوشش زمین، و اغلب طبقه‌های کاربری/پوشش زمین کاهش خواهد یافت. این کاهش مقدار ممکن است به دلیل تخریب کاربری/پوشش‌های زمین و در جهت منظم‌شدن شکل لکه‌ها باشد. تنها افزایش مقدار سنج‌ی نسبت چولیدگی لبه در کاربری کشاورزی آبی و در حالت توسعه‌ی زمین مسکونی مشاهده شد.

در صورت تداوم روند فعلی تغییر کاربری/پوشش زمین، مقدار سنج‌ی پراکندگی و مجاورت در هم‌پوشی طبقه‌های کاربری/پوشش زمین در سال ۱۴۰۹ افزایش خواهد یافت. مقادیر سنج‌ی III با لحاظ‌کردن حالت جنگل‌زدایی در هم‌پوشی کاربری‌های زمین به‌جز زمین مسکونی افزایش خواهد یافت. نتایج پیش‌بینی سنج‌ی III براساس حالت توسعه‌ی زمین مسکونی برای سال ۱۴۰۹ نشان‌دهنده‌ی افزایش سنج‌ی پراکندگی و مجاورت در کاربری‌های جنگل، مرتع و زمین‌های مسکونی است. روند سایر کاربری‌ها کاهش خواهد بود. استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین در مناطق مختلف و حتی در منطقه‌ی خاص با توجه به ماهیت کمی آن‌ها، و نیز در نظر گرفتن ویژگی‌های مختلف کاربری/پوشش زمین مانند ترکیب، ساختار و پیوستگی به یکی از روش‌های پرکاربرد در مطالعات سیمای سرزمین تبدیل شده است. ماهیت کمی سنج‌ها امکان برقراری ارتباط با فرآیندهای موجود در آبخیز را تسهیل می‌کند. اگرچه در برخی مواقع برقراری ارتباط سنج‌ها با فرآیندهای موجود در آبخیز به دلیل پیچیدگی‌ها و پویایی فرآیندهای موجود به‌راحتی ممکن نیست. زیادبودن تعداد سنج‌های سیمای سرزمین محاسبه‌شدنی، از طرفی می‌تواند باعث سردرگمی در تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌ها شود، و از طرف دیگر به انتخاب و تحلیل کردن سنج‌ی مناسب بر اساس هدف کار بیانجامد. بررسی وضعیت کاربری/پوشش زمین در سه سطح لکه، طبقه و سیمای دیگر مزایای استفاده از سنج‌ها در مطالعات سیمای سرزمین است، که مدیران ممکن است بسته به هدف از آن بهره‌گیرند. انتخاب بازه‌های زمانی آشکارسازی تغییرات سیمای سرزمین کاری مهم در این‌گونه بررسی‌ها است. به‌بیان دیگر، نتایج بررسی تغییرات سیمای سرزمین با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین و یا هر روش دیگر تنها در همان بازه‌ی زمانی کاربرد دارد. بر همین اساس، در انتخاب بازه‌ی زمانی برای بررسی آشکارسازی تغییرات سیمای سرزمین باید به رفتار بلندمدت کاربری/پوشش زمین، و نیز نقطه‌های عطف در تغییرات کاربری/پوشش زمین توجه کرد.

لکه‌های کاربری/پوشش زمین در سیمای منطقه است، به‌ترتیب برای کاربری‌های زمین مسکونی (۸/۸۲) و باغ (۴/۵) ثبت شد، که بیان‌گر وجود کاربری مسکونی در مجاورت بیش‌تر طبقه‌های کاربری/پوشش زمین است که منجر به بیش‌ترین مقدار شاخص III شد. کاربری‌های مرتع، جنگل، کشاورزی آبی و باغ در توسعه‌ی زمین مسکونی نقش داشته‌اند، و به‌نوعی می‌توان هم‌جواری این کاربری‌ها با زمین‌های مسکونی را دلیل بیشینه بودن مقدار شاخص پراکندگی و مجاورت در این کاربری دانست. علاوه بر این، بیشینه و کمینه‌ی میانگین‌های سنج‌ی پراکندگی و مجاورت در سال‌های بررسی شده برای کاربری‌های مرتع و باغ به‌ترتیب ۷/۷۲ و ۱/۳۹ محاسبه شد.

یافته‌های حاصل از پیش‌بینی سنج‌های سیمای سرزمین در حالت‌های تغییر کاربری/پوشش زمین‌ها شامل تداوم روند فعلی تغییر کاربری، جنگل‌زدایی و توسعه‌ی زمین‌های مسکونی برای سال ۱۴۰۹ در آبخیز تالار نشان‌دهنده‌ی نبود الگوی مشخص برای نشان‌دادن تغییرات پیش‌بینی شده است. مقدار و نوع این تغییرات بسته به سنج‌ی بررسی شده و طبقه‌ی کاربری/پوشش زمین متفاوت است (شکل ۴). میانگین افزایش سنج‌ی تعداد لکه در حالت‌های ۱ تا ۳ در هم‌پوشی طبقه‌های کاربری/پوشش زمین به‌ترتیب ۲/۴۳، ۹/۸ و ۹/۷ درصد خواهد بود. تغییرات رفتاری سنج‌ی تراکم لکه نیز در سال ۱۴۰۹ مطابق با سنج‌ی تعداد لکه خواهد بود. محاسبه‌ی سنج‌ی تراکم لبه نشان داد که در بیش‌تر لکه‌های کاربری‌ها و هم‌پوشی‌ها، مقدار سنج‌ی تراکم لبه کاهش خواهد یافت، و این را می‌توان به کاهش نسبت محیط به مساحت در کاربری‌ها نسبت داد. مقدار سنج‌ی درصد پوشش سیمای سرزمین در کاربری‌های کشاورزی دیم، کشاورزی آبی، باغ و زمین مسکونی برای حالت‌های ۱ و ۲ افزایش خواهد یافت (شکل ۴). سایر کاربری‌ها روند کاهش درصد پوشش سیمای سرزمین را در این حالت‌ها خواهند داشت. اعمال حالت ممکن توسعه‌ی زمین مسکونی نیز منجر به افزایش مقدار سنج‌ی PLAND در کاربری‌های کشاورزی دیم و جنگل، و کاهش در سایر کاربری‌ها خواهد شد.

از دیدگاه شاخص بزرگ‌ترین لکه، در حالت تداوم روند فعلی تغییر، مقدار سنج‌ی در کاربری‌های جنگل و مرتع کاهش، و در سایر کاربری‌ها افزایش خواهد یافت. کاهش سنج‌ی LPI تنها برای کاربری جنگل در حالت جنگل‌زدایی است. کاهش شاخص بزرگ‌ترین لکه در کاربری‌های کشاورزی آبی و مرتع برای سال ۱۴۰۹ در حالت توسعه‌ی زمین‌های مسکونی پیش‌بینی شد. سایر کاربری‌ها روند افزایشی را در حالت پیش‌گفته خواهند داشت. مقدار سنج‌ی شاخص شکل لکه در حالت توسعه‌ی زمین‌های مسکونی طبق پیش‌بینی‌های انجام‌شده در هم‌پوشی کاربری‌ها کاهش خواهد

به میانگین افزایش سنجهی تعداد لکه به میزان $۴۳/۲$ ، $۸/۹$ و $۷/۹$ ٪ به ترتیب در حالت‌های تداوم روند فعلی تغییر، جنگل‌زدایی و توسعه‌ی زمین مسکونی اشاره کرد. شایسته است سیاست‌گذاران و تصمیم‌سازان قانون‌های الزام‌آوری برای جلوگیری از تخریب‌های بی‌رویه و غیراصولی کاربری/پوشش زمین در آبخیز تالار برای حرکت به سوی توسعه‌ی همه‌جانبه و پایدار اکوسیستم تهیه کنند. از جنبه‌های کاربردی نتایج پژوهش فعلی تعیین و انجام اقدام‌های پیش‌گیرانه و حفاظتی در مناطق با پیش‌بینی تغییر در حالت‌های مختلف تغییر کاربری/پوشش زمین، و با در نظر گرفتن شرایط آمایش سرزمین در آبخیز تالار، و اولویت‌بندی مناطق مختلف نیازمند احیا با توجه به تغییرات کاربری/پوشش زمین ناصحیح است. انجام پژوهش‌های مشابه در سایر مناطق کشور با شرایط آب‌وهوایی متفاوت برای ارزیابی‌های مقایسه‌ی و جمع‌بندی‌های مناسب پیشنهاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین در آبخیز تالار و پیش‌بینی روند آن برای شرایط آینده در حالت‌های مختلف تغییر کاربری/پوشش زمین انجام شد. پیش‌بینی کاربری/پوشش زمین در حالت‌های تداوم روند فعلی تغییر، جنگل‌زدایی و توسعه‌ی زمین‌های مسکونی با استفاده از مدل LCM انجام شد. صحت نقشه‌های تهیه‌شده و پیش‌بینی‌شده‌ی کاربری/پوشش زمین با استفاده از ضریب کاپا و صحت کلی خوب ارزیابی شد. هشت سنجهی سیمای سرزمین شامل درصد پوشش سیمای سرزمین، تعداد لکه، تراکم لکه، تراکم بزرگ‌ترین لکه، شاخص شکل سیمای، شاخص پراکندگی و مجاورت و نسبت چولیدگی لکه در سال‌های بررسی‌شده، و حالت‌های تداوم روند فعلی تغییر، جنگل‌زدایی و توسعه‌ی زمین مسکونی استخراج شد. به‌طور کلی، الگوی تغییرات یکسانی برای سنجه‌های سیمای سرزمین در حالت‌های مختلف بررسی‌شده وجود ندارد. در همین مورد می‌توان

- Aguilera F, Valenzuela LM, Botequilha-Leitão A. 2011. Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitan area. *Landscape and Urban Planning*. 99(3-4):226-238.
- Apan AA, Raine SR, Paterson MS. 2002. Mapping and analysis of changes in the riparian landscape structure of the Lockyer Valley catchment, Queensland, Australia. *Landscape and Urban Planning*. 59(1):43-57.
- Arekhi S, Fathizad H. 2014. Analyzing landscape degradation using landscape ecological metrics, remote sensing and GIS (Case study: Doiraj watershed, Ilam province. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*. 21(3): 466-481. (In Persian).
- Asgarian A, Jabbarian Amiri B, Alizadeh Shabani A, Feghhi J. 2015. Assessing urban growth patterns in Sari using landscape ecology approach. *Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources)*. 68(1): 95-107. (In Persian).
- Boongaling CGK, Faustino-Eslava DV, Lansigan FP. 2018. Modeling land use change impacts on hydrology and the use of landscape metrics as tools for watershed management: The case of an ungauged catchment in the Philippines. *Land Use Policy*. 72: 116-128.
- Braimoh AK. 2006. Random and systematic land-cover transitions in northern Ghana. *Agriculture, ecosystems and environment*. 113(1-4): 254-263.
- Chen Y, Yu S. 2017. Impacts of urban landscape patterns on urban thermal variations in Guangzhou, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 54: 65-71.
- Fathizad H, Safari A, Bazgir M, Khosravi GH. 2017. Evaluation of SVM with Kernel method (linear, polynomial, and radial basis) and neural network for land use classification. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*. 23(4): 729-743. (In Persian).
- Feizizadeh B, Didehban Kh, Gholamnia Kh. 2016. Extraction of land surface temperature (LST) based on Landsat satellite images and split window algorithm (Study area: Mahabad catchment). *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*. 25(98):171-181. (In Persian).
- Fiener P, Auerswald K, Van Oost K. 2011. Spatio-temporal patterns in land use and management affecting surface runoff response of agricultural catchments-A review. *Earth-Science Reviews*. 106(1-2): 92-104.
- Golshan M, Pirneia A, Ebrahimi P, Esmali Ouri A. 2014. Analysis of the effect of precipitation type on flow simulation in Talar and Khoramabad watershed. *Geography and sustainability of Environment*. 9: 51-64. (In Persian).
- Hassan MM. 2017. Monitoring land use/land cover change, urban growth dynamics and landscape pattern analysis in five fastest urbanized cities in Bangladesh. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 7: 69-83.
- Hosseini Vardei M, Salman Mahini A, Monavari SM, Kheirkhah Zarkesh MM. 2012. Using landscape metrics in cumulative effects assessment of road network on tree cover. *Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources)*. 65(2): 139-152. (In Persian).
- Inkoom JN, Frank S, Greve K, Walz U, Fürst C. 2018. Suitability of different landscape metrics for the assessments of patchy landscapes in west Africa. *Ecological Indicators*. 85:117-127.
- Jiang W, Chen Z, Lei X, Jia K, Wu Y. 2015. Simulating urban land use change by incorporating an autologistic regression model into a CLUE-S model. *Journal of Geographical Sciences*. 25(7):836-850.
- Joorabian Shoostari SH, Shayešteh K, Gholamalifard M, Azari M, López-Moreno JI. 2017.

- The role of landscape metrics and spatial processes in performance evaluation of GEOMOD (Case Study: Neka River Basin). *Geography and sustainability of Environment*. 7(24):63–80. (In Persian).
- Kang N, Sakamoto T, Imanishi J, Fukamachi K, Shibata S, Morimoto Y. 2013. Characterizing the historical changes in land use and landscape spatial pattern on the ogurake floodplain after the Meiji Period. *Intercultural Understanding*. 1: 11–16.
- Karami P, Mirsanjari M. 2018. Analysis of landscape degradation in the Hawizeh wetland by using remote sensing. *Wetland Ecobiology*. 10(1): 39–54. (In Persian).
- Kiyani V, Fegghi J. 2015. Investigation of Land Cover/Land Use Structure of Sefidrod watershed by landscape ecology metrics. *Journal of Environmental Sciences and Technology*. 17(65): 131–141. (In Persian).
- Leh MD, Matlock MD, Cummings EC, Nalley LL. 2013. Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa. *Agriculture, ecosystems & environment*. 165: 6–18.
- McGarigal K, Cushman SA, Neel MC, Ene E. 2002. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps.
- Megahed Y, Cabral P, Silva J, Caetano M. 2015. Land cover mapping analysis and urban growth modelling using remote sensing techniques in greater Cairo region-Egypt. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 4(3): 1750–1769.
- Mirzayi M, Riyahi Bakhtiyari A, Salman Mahini A, Gholamalifard M. 2013. Investigating the land cover changes in Mazandaran Province using landscape ecology's metrics between 1984 – 2010. *Iranian Journal of Applied Ecology*. 2(4): 37–55. (In Persian).
- Munsi M, Areendran G, Joshi PK. 2012. Modeling spatio-temporal change patterns of forest cover: a case study from the Himalayan foothills (India). *Regional environmental change*. 12(3): 619–632.
- Nazarnezhad H, Hoseini M, Irani T. 2018. The use of landscape metrics in the evaluation of landscape structure changes in Gharesou watershed, Kermanshah. *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 7(2), Doi:10.22067/geo.v7i2.66958. (In Persian).
- Nor ANM, Corstanje R, Harris JA, Brewer T. 2017. Impact of rapid urban expansion on green space structure. *Ecological Indicators*. 81: 274–284.
- Peng Y, Mi K, Qing F, Xue D. 2016. Identification of the main factors determining landscape metrics in semi-arid agro-pastoral ecotone. *Journal of Arid Environments*. 124: 249–256.
- Reddy CS, Singh S, Dadhwal VK, Jha CS, Rao NR, Diwakar PG. 2017. Predictive modelling of the spatial pattern of past and future forest cover changes in India. *Journal of Earth System Science*. 126(1): 8.
- Shi Y, Xiao J, Shen Y. 2008. Landscape pattern change and associated environmental implications in the Haihe River Basin, China. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* 37:569–574.
- Shooshtari, SJ, Gholamalifard M. 2015. Scenario-based land cover change modeling and its implications for landscape pattern analysis in the Neka Watershed, Iran. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 1:1–19.
- Shooshtari, SJ, Shayešteḥ K, Gholamalifard M, Azari M, López-Moreno JI. 2018. Land cover change modelling in Hyrcanian forests, Northern Iran: a landscape pattern and transformation analysis perspective. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. 44(2):743–761.
- Su S, Ma X, Xiao R. 2014. Agricultural landscape pattern changes in response to urbanization at ecoregional scale.-*Ecological indicators*. 40:10–18.
- Sun B, Zhou Q. 2016. Expressing the spatio-temporal pattern of farmland change in arid lands

- using landscape metrics.-Journal of Arid Environments.124: 118–127. (In Persian).
- Talebi Amiri SH, Azari Dehkordi F, Sadeghi SH, Soofbaf SR. 2009. Study on landscape degradation in Neka Watershed using landscape metrics. Environmental Sciences. 23: 133–144. (In Persian).
- Tlapáková L, Stejskalová D, Karásek P, Podhrázká J. 2013. Landscape metrics as a tool for evaluation landscape structure–Case Study Huštopeče.European countryside.5(1): 52–70.
- Yousefi S, Tazeh M, Mirzaee S, Moradi HR, Tavangar SH. 2014. Comparison of different classification algorithms in satellite imagery to produce land use maps (Case study: Noor city). Journal of RS and GIS for Natural Resources. 5(3):67–76. (In Persian).



Watershed Management Research

VOL. 32, No. 1, Ser.No: 122, Spring 2019, pp. 84-99

DOI: 10.22092/wmej.2018.123624.1156

Effects of Land Use/Land Cover Change Scenarios on Landscape Metrics on the Talar Watershed

Mohsen Zabihi

PhD Candidate, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Iran

Hamid Reza Moradi*

(Corresponding Author)* Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Iran

Mehdi Gholamalifard

Assistant Professor, Department of the Environment Sciences, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran

AbdulvahedKhaledi Darvishan

Assistant Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Iran

*Corresponding Email: hrmoradi@modares.ac.ir

Received: 08 October 2018 Accepted: 27 November 2018

Abstract

The present study was planned to investigate and predict the landscape metrics on the Talar Watershed, the Province of Mazandaran. Land use/land cover (LULC) maps were produced using the support vector machine (SVM) algorithm for the years 1989, 2000, and 2014. The land change modeler (LCM) was applied for the prediction of LULC maps in different LULC change scenarios for 2030. Multi-layer Perceptron and the Markov chain methods were conducted for transition potential modelling and change prediction, respectively. Landscape metrics including the percentage of landscape (PLAND), the number of patches (NP), the edge density (ED), the patch density (PD), the largest patch index (LPI), the landscape shape index (LSI), the interspersion and juxtaposition index (IJI), and the perimeter-area fractal dimension (PAFRAC) were investigated and extracted using the Fragstats software in the studied years and the LULC change scenarios. Results demonstrated that the changes in the trend of PLAND, NP, ED, PD, LPI, and LSI were decreasing, and increasing in other land use systems during the considered years in forest, rangeland and another LULCs, respectively. Elevation, distance from forest, distance from rangeland areas, and the empirical likelihood of change were identified as the most important factors influencing the LULC change in the studied scenarios. Also, the average increase of NP was calculated at 43.2, 8.9, and 7.9 percent in continuing the current LULC change, deforestation, and residential area development scenarios, respectively. Prioritization of different areas that require restoration with respect to the incorrect LULC changes, and determination and implementation of the precautionary and protective measures in the areas with change prediction based on the studied LULC change scenarios, as well as considering land use planning conditions to improve the health of Talar Watershed by managers and planners are recommended.

Keywords: Land use/land cover prediction, landscape management, LCM, sustainable development, the Province of Mazandaran