



دوره‌ی ۳۴، شماره‌ی ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۳۱، تابستان ۱۴۰۰، صفحه‌های ۹۱-۱۰۷
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2020.341479.1303

مقاله‌ی پژوهشی

پژوهش‌های آبخیزداری

شبیه‌سازی حالت‌های ممکن کاربری زمین در آبخیز تجن در سال ۱۴۲۰

محمدتقی آوند

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

حمیدرضا مرادی

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه

Research Paper

تربیت مدرس

مهدی رمضان‌زاده‌لسبویی

دانشیار گروه مدیریت جهانگردی، دانشکده‌ی علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران

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

تاریخ دریافت: ۱۲ بهمن ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۱۰ خرداد ۱۳۹۹

چکیده

این پژوهش با هدف شبیه‌سازی و پیش‌بینی کردن تغییر کاربری و پوشش زمین با کاربرد مدل تغییر سرزمین (LCM) بر مبنای دو حالت ممکن مدیریتی تداوم و افزایش کشاورزی در آبخیز تجن استان مازندران به انجام رسید. تصویرهای ماهواره‌ی لندست و سنجنده‌های تی‌ام و اوال‌آی در ۱۳۷۰، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ تجزیه و تحلیل شد. کاربری‌ها در هر سه مقطع زمانی به پنج طبقه‌ی مسکونی، کشاورزی، جنگل، باغ و مرتع طبقه‌بندی شد. پیش‌بینی وضعیت کاربری زمین برای ۱۳۹۸ با نقشه‌ی کاربری سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۹ در نرم‌افزار ال‌سی‌ام انجام شد. این نرم‌افزار شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه را برای ساخت زیرمدل‌های دگرگونی، تهیه‌ی نقشه‌ی احتمال دگرگونی، و پیش‌بینی تغییر کاربری زمین به کار می‌برد. متغیرهای مکانی فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، شیب، ارتفاع، فاصله از روستا، و فاصله از زمین کشاورزی در جایگاه عامل‌های موثر بر تغییر در شبکه‌ی عصبی به کار برده شد. برای اعتبارسنجی نرم‌افزار نقشه‌ی کاربری زمین ۱۳۹۸ به کار برده شد، و ضریب کاپا و ROC به ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۸۹ به دست آمد. نتیجه‌های شبیه‌سازی بر مبنای حالت ممکن تداوم نشان‌دهنده‌ی ۵/۷۴٪ کاهش مساحت زمین‌های مرتعی، و ۹/۱۷٪ افزایش در مساحت زمین‌های باغی در ۲۰ سال آینده است، در حالی که در حالت ممکن دوم مساحت زمین‌های کشاورزی ۸/۶۱٪ افزایش، و زمین‌های مرتعی ۵/۵۹٪ کاهش نشان می‌دهد. در نتیجه، زمین‌های مرتعی و جنگلی در هر دو حالت ممکن رو به کاهش، و زمین‌های کشاورزی و مسکونی رو به افزایش است.

واژگان کلیدی: آبخیز تجن، تصویرهای ماهواره‌ی، روش LCM، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، کاربری زمین

مقدمه

تاریخ بشر اثرهای مخرب رشد روز افزون جمعیت و پی‌رو آن رشد بی‌سابقه‌ی شهرها، صنعتی‌شدن، گسترش زمین‌های کشاورزی و تغییر کاربری زمین را نشان می‌دهد. تغییر کاربری زمین به نوبه‌ی خود منجر به تخریب خاک و افزایش فرسایش آن می‌شود (هاشیموتو و همکاران ۲۰۰۲). امروزه تغییر کاربری زمین از جنبه‌ی تغییر محیط زیستی جهان مهم است و دانشمندان و تصمیم‌گیران به آن توجه کرده‌اند (ماس و همکاران ۲۰۱۴). تغییر کاربری بر اندازه‌ی تقاضای زمین برای فعالیت‌های کشاورزی، جنگل‌داری، منطقه‌های مسکونی صنعتی، منطقه‌های گردشگری، تنوع چشم‌انداز و منطقه‌های طبیعی تأثیرگذار است. تغییر کاربری و تخریب جنگل و خاک بر انتشار گازهای گلخانه‌یی اثر معنی‌داری می‌گذارد که منجر به افزایش این گازها در مقیاس جهانی، منطقه‌یی، ملی و محلی می‌شود (یوپادحیا و همکاران ۲۰۰۶).

اثر تغییر کاربری زمین در آینده خیلی مهم است و لازم است قبل از اتخاذ هر تصمیمی به مسئولان و تصمیم‌گیرندگان در منطقه نشان داده شود. حالت‌های ممکن و نرم‌افزارهای تغییر کاربری زمین ابزاری ارزشمند و قوی برای ارزیابی اثرهای تغییر آینده بر ساختار بوم‌سامانه است. از آن‌جا که تغییر در کاربری زمین در سطح‌های وسیع و گسترده است، فن‌آوری سنجش‌ازدور ابزاری ضروری و بارز در ارزیابی این تغییر به دلیل پوشش مکرر و تکراری سطح زمین است (چیم و همکاران ۲۰۱۹؛ آرنتراس و همکاران ۲۰۱۹). ماهواره‌های سنجش‌ازدور به دلیل گرفتن متناوب داده، قالب رقومی مناسب برای پردازش‌های رایانه‌یی، و روش‌های زمین‌مرجع‌سازی آن بهترین و دقیق‌ترین منبع داده برای تشخیص، کمی‌سازی و نقشه‌سازی الگوهای تغییر کاربری زمین است (عبدالکاو و همکاران ۲۰۱۱).

پیش‌بینی مکانی کاربری زمین را می‌توان با نرم‌افزارهای تجربی بر اساس برون‌یابی الگوهای تغییری که در گذشته‌ی نزدیک مشاهده شده‌اند، با نمایش محدود از عامل‌های مؤثر بر این تغییرها انجام داد (عبدی و همکاران ۲۰۱۳؛ ذبیحی و همکاران ۲۰۱۹). پژوهش‌های زیادی در زمینه‌ی شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین به انجام رسیده‌است، از جمله محمدباری و همکاران (۲۰۱۹) و جورابیان شوشتری و همکاران (۲۰۱۸)، سامات و همکاران (۲۰۱۱)، لی و چانگ (۲۰۱۱)، گووان و همکاران (۲۰۱۱)، تیروپاسی و همکاران (۲۰۲۰)، ناث و همکاران (۲۰۲۰)، و آوند و همکاران (۲۰۲۰). در بیش‌تر این پژوهش‌ها نرم‌افزار CA-Markov برای پیش‌بینی تغییر به‌کار گرفته شد. غلامعلی‌فرد و همکاران (۲۰۱۲) نرم‌افزار ال‌سی‌ام^۱ را برای شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین در ساحل استان مازندران

به‌کار بردند. آن‌ها خطای کل در شبیه‌سازی برای سال ۱۳۹۰ را ۱۲/۸۴٪ به‌دست آوردند که نشان‌دهنده‌ی انطباق زیاد تصویر پیش‌بینی‌شده‌ی نرم‌افزار با تصویر واقعیت زمینی و کارآیی نرم‌افزار است. نتیجه‌های شبیه‌سازی برای سال ۱۳۹۵ نشان داد که مساحت کاربری زمین‌های جنگل و زمین‌های باز در این سال نسبت به سال ۱۳۹۰ کاهش و کاربری کشاورزی و مسکونی افزایش خواهد یافت.

نتیجه‌های جورابیان شوشتری و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که در سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰ به ترتیب ۱۹۶۴ و ۱۱۹۷ هکتار از وسعت جنگل‌ها و باغ‌ها کاسته و ۱۱۸۲ و ۱۹۷۸ هکتار به وسعت زمین‌های کشاورزی و منطقه‌های مسکونی اضافه شد. لکووت و موسا (۲۰۱۴) با کاربرد روش‌های سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور و نرم‌افزار زنجیره‌ی مارکوف نشان دادند که مساحت زمین‌های جنگلی کاهش می‌یابد، و دلیل آن فعالیت‌های انسانی مانند قطع غیرقانونی درختان و فعالیت‌های کشاورزی است.

نتیجه‌های داده‌های پنج سال کاربری زمین از ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۲ (هوانگ و همکاران، ۲۰۲۰) نشان داد که ۱- در دوره‌ی ۲۰۱۲-۱۹۹۲ مقدار زیادی از زمین‌های زراعی، بوم‌شناسی و ساختمانی بیش از ۶٪ بود، ۲- دگرگونی از زمین‌های کشاورزی به مسکونی ۷۷۸ کیلومتر مربع بود، و ۳- از روی پیش‌بینی ۲۰۳۰، تغییر کاربری زمین منجر به کاهش زمین‌های زراعی و افزایش منطقه‌های مسکونی خواهد شد.

آبخیز تجن یکی از بزرگ‌ترین آبخیزهای شمال کشور در سراب شهرستان ساری است. این منطقه به دلیل وسعت زیاد جنگل‌ها و بودن رودخانه‌های بسیار با آب‌دهی زیاد دل‌خواه گردشگران است (طرح اجرایی سد شهید رجایی حوزه‌ی آبخیز تجن، ۱۳۷۸). در سال‌های اخیر به دلیل هجوم گردشگران ساخت‌وسازهای بی‌قانون و تبدیل کاربری‌های مختلف به وفور رخ داده است. هدف این پژوهش بررسی و پیش‌بینی کردن تغییر کاربری زمین در این آبخیز در ۲۰ سال آینده در حالت‌های ممکن مختلف تغییر کاربری زمین با کاربرد روش مدل تغییر سرزمین (LCM) است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه

آبخیز تجن با وسعت ۴۰۰۰ کیلومتر مربع، در استان مازندران بین عرض جغرافیایی ۲۹° ۳۶' تا ۰۹° ۳۶' شمالی و طول جغرافیایی ۱۸° ۵۳' تا ۰۵° ۵۳' شرقی است. این حوزه با کوه‌های البرز در جنوب و دریای خزر در شمال احاطه شده است. میانگین سالانه‌ی دما حدود ۱۵°C با آب‌وهوای گرم و مرطوب،

شد. برای بررسی تغییر کاربری زمین به روش نظارت‌شده ابتدا با کاربرد نقشه‌ی کاربری زمین پایه (اداره‌ی منابع طبیعی شهرستان ساری) و با بررسی میدانی و کاربرد گوگل ارث در هر کاربری تعداد بسیار زیادی نمونه‌ی تعلیمی برداشته شد. برای طبقه‌بندی نمونه‌های تعلیمی روش طبقه‌بندی‌کننده‌ی بیش‌ترین احتمال به‌کار برده شد (شولز و همکاران، ۲۰۱۰؛ فتح‌اللهی رودباری و همکاران، ۲۰۱۷، فلاحتکار و همکاران، ۲۰۱۶). برای ارزیابی صحت نقشه‌های تولیدشده‌ی کاربری زمین سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ سنجنده‌های تی‌ام و او ال آی با تفسیر بصری تصویرهای رنگی کاذب، جی‌پی‌اس و گوگل ارث، و منطقه‌هایی که در زمان تغییر نکرده بود، ارزیابی شد. ضریب کاپای کلی و صحت کلی محاسبه شد (محمدیاری و همکاران ۲۰۱۹).

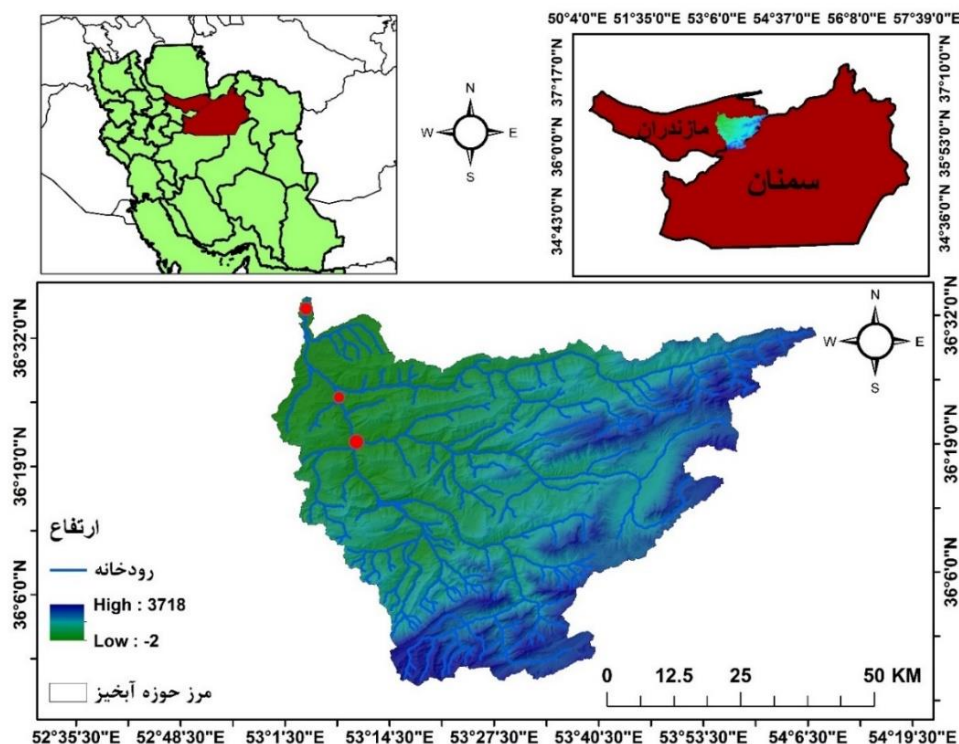
از روی نقشه‌ی پایه تعداد طبقه‌های نقشه‌ی کاربری زمین به پنج طبقه‌ی جنگل، مرتع، کشاورزی، باغ و مسکونی تقسیم شد. به دلیل مساحت بسیار زیاد طبقه‌ی جنگل بیش‌ترین نمونه‌ی تعلیمی از این طبقه برداشته شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و نقشه‌ها نرم‌افزارهای 18.3 TerrSet، ENVI 5.4، و آرک جی‌آی‌اس ۱۰.۵ به‌کار برده شد.

بارش ۸۳۲ میلی‌متر در بازه‌ی زمانی ۲۵ ساله (۲۰۱۵-۱۹۹۰) است (رجایی و همکاران ۲۰۱۵). پستی‌بلندی منطقه از ارتفاع ۲- متر در خروجی آبخیز تا ۳۷۱۸ متر متغیر است (شکل ۱). این منطقه از پنج دهستان و ۷۷ آبادی تشکیل شده که بیش‌تر از نوع کوهستانی است. کاربری‌های غالب منطقه جنگل، مرتع، کشاورزی، باغ و مسکونی، و بیش‌ترین آن جنگل است. مهم‌ترین شاخه‌های اصلی رودخانه‌ی تجن چهاردانگه، دودانگه، لاجیم و زارم رود است (طرح اجرایی سد شهید رجایی حوزه آبخیز تجن، ۱۳۷۸).

روش پژوهش

داده‌های به‌کار رفته

برای تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری زمین تصویرهای ماهواره‌ی لندست برای سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ از سنجنده‌های تی‌ام و او ال آی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر به‌کار گرفته شد (جدول ۱). برای مشاهده‌ی صحیح کاربری‌های موجود، مرحله‌های پیش‌پردازش تصویرها شامل تصحیح‌های هندسی و پرتوسنجی بر تصویرها انجام شد. برای تشخیص بهتر کاربری‌های موجود تصویر رنگی کاذب برای هر تصویر ایجاد



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

جدول ۱- مشخصه‌های تصویرهای ماهواره‌ای به کار برده شده.

سنجده	ردیف	گذر	تاریخ	مینا	سطح تصحیح‌ها
TM	۳۵	۱۶۳	۱۹۹۱/۰۶/۲۵	WGS84	LIT*
TM	۳۵	۱۶۳	۲۰۱۰/۰۶/۳۱	WGS84	LIT
OLI	۳۵	۱۶۳	۲۰۱۹/۰۶/۰۶	WGS84	LIT

* این تراز از تصحیح شامل تصحیح پرتوسنجی در تراز روشمند (سیستماتیک)، تصحیح هندسی با کاربرد نقطه‌های بررسی زمینی، و خطای جابه‌جایی ناشی از پستی‌بلندی منطقه می‌شود.

طبقه‌بندی بیش‌ترین احتمال

در این تحقیق روش طبقه‌بندی بیش‌ترین احتمال که از روش‌های نظارت‌شده است به کار برده شد. این روش بیان‌کننده‌ی توزیع استقرایی است. برای مثال، احتمال این که یک نقطه‌ی تصویر (پیکسل) با بردار ویژگی Z متعلق به طبقه‌ی i باشد، با رابطه‌ی ۱ بیان می‌شود.

$$P(i|z) = P(i)P(z|i)/P(z)$$

تابع احتمال $P(i)$ و اطلاعات قیاسی است. برای مثال رخ‌دادن طبقه‌ی i در محدوده‌ی بررسی شده و $P(z|i)$ احتمال آن که Z مشاهده شود (احمد ۲۰۱۲).

در این طبقه‌بندی بیش‌ترین شباهت رده‌ی به نقطه‌ی تصویر خواسته‌شده داده می‌شود که بیش‌ترین احتمال تعلق نقطه به آن رده هست. این طبقه‌بندی با کاربرد رابطه‌ی توزیع بهنجار چندبعدی سطح‌های تصمیم‌گیری را به شکل درجه‌ی دوم نشان می‌دهد، که در نتیجه این سطح‌ها شکل سهمی، بیضی و دایره خواهد داشت. این شکل از سطح‌های تصمیم‌گیری انعطاف بیش‌تری در تقسیم‌بندی فضای چندطیفی به‌دست می‌دهد که باعث تمایز دقیق‌تری نسبت به تقریب خطی-صفحه‌ی در طبقه‌بندی کوتاه‌ترین فاصله می‌شود (نوروزی ۲۰۱۳).

شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین (LCM)

شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین تجزیه و تحلیل کاملی از تغییر زمین با ایجاد نقشه‌های تغییر کاربری، نمودار، دگرگونی طبقه‌ی کاربری و روند آن‌ها را فراهم می‌کند. نیز می‌تواند حالت‌های ممکن تغییر زمین را با ادغام کردن عامل‌های زیستی، ساختمانی، اجتماعی و اقتصادی که در تغییر کاربری زمین تأثیرگذار است ایجاد کند (ماس و فلورس ۲۰۰۸). مرحله‌های شبیه‌سازی با کاربرد روش شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین در چهار مرحله انجام می‌شود: بررسی تغییر، شبیه‌سازی نیروی دگرگونی، شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین، و ارزیابی صحت شبیه‌سازی. برای بررسی و پیش‌بینی تغییر کاربری زمین در زمان حال و آینده نرم‌افزار TerrSet و روش شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین به کار برده شد. برای تحلیل کردن تغییرها در منطقه و پیش‌بینی کردن

تغییر کاربری زمین ۱۳۹۸، نقشه‌های پوشش زمین تولیدشده در سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۹ ورودی نرم‌افزار شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین گرفته شد. نرم‌افزار ال‌سی‌ام به دو نقشه‌ی پوشش سرزمین از زمان‌های گوناگون در نقش ورودی نیاز دارد (کیم ۲۰۱۰).

بررسی تغییر

نقشه‌های کاربری زمین ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹، ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸ و ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ برای آشکارسازی تغییر و تحلیل تغییر منطقه وارد نرم‌افزار کرده شد. کاهش‌ها و افزایش‌ها در هر کاربری، تغییر خالص، منطقه‌های بی‌تغییر و دگرگونی از هر کاربری به کاربری دیگر در طبقه‌های گوناگون پوشش زمین به‌شکل نقشه با قسمت تحلیل تغییر نرم‌افزار ارزیابی شد (واکلاویک و روگان ۲۰۰۹).

شبیه‌سازی نیروی دگرگونی

در این مرحله از شبیه‌سازی، احتمال دگرگونی هر کاربری به کاربری دیگر با نرم‌افزار بررسی شد، این که هر نقطه از تصویر برای تغییر از یک کاربری به نوع دیگر چقدر قابلیت دارد. خروجی این قسمت، نقشه‌ی قابلیت نیرو برای هر تغییر (مثلاً از کاربری جنگل به زمین‌های کشاورزی) است. برای انتخاب زیر مدل‌هایی که صحت آن‌ها بیش‌ترین باشد، ضروری است که نرم‌افزار چندین بار با حالت‌های ممکن مختلف اجرا شود. بعد از این مرحله، پنج زیر مدل برای شبیه‌سازی نیروی دگرگونی با کاربرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه در نظر گرفته شد. زیر مدل‌ها عبارت بودند از کشاورزی به مسکونی، جنگل به کشاورزی، جنگل به باغ، باغ به مسکونی و مرتع به کشاورزی. بعد از انتخاب زیرمدل‌ها، شش متغیر تأثیرگذار (ارتفاع، شیب، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از منطقه‌ی مسکونی و فاصله از منطقه‌های کشاورزی) برای شبیه‌سازی انتخاب شد (شکل ۴). برای تعیین همبستگی بین متغیرهای مستقل و میزان تغییر (متغیر وابسته) ضریب همبستگی کرامر به کار برده شد. این ضریب در محدوده‌ی بین ۰ و ۱ تغییر می‌کند، و هر چه به ۱ نزدیک‌تر باشد همبستگی زیاد بین متغیرها و کاربری زمین را نشان می‌دهد. معمولاً ضریب بیش‌تر از ۰/۱۵ برای ورودی

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \quad (2)$$

$$\theta_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m P_{ii} \quad \text{صحت کلی}$$

$$\theta_2 = \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^m P_{i0} * P_i \quad \text{توافق شناسی}$$

P_{ii} = عنصرهای قطر اصلی، P_{i0} = جمع، m = تعداد طبقه‌ها، N = تعداد کل نمونه‌های آزمایشی در همه‌ی طبقه‌ها.

اندازه این ضریب ممکن است بین صفر و یک متغیر باشد. ضریب کاپای ۱ به مفهوم توافق و همسویی ۱۰۰٪ بین حاصل طبقه‌بندی و واقعیت زمینی است. ضریب کاپا برای بررسی صحت نتیجه‌های به‌دست آمده به کار برده‌شد.

روش منحنی مشخصه‌ی عمل کرد سامانه (ROC)

این منحنی یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی عمل کرد مدل‌های طبقه‌بندی شده یا چندلایه است. این معیار مناسب، مدل‌ها را در آستانه‌های مختلف اندازه‌گیری می‌کند. این منحنی به ما می‌گوید که بین لایه‌ها و طبقه‌های مختلف از نرم‌افزار چه اندازه تفاوت در ظرفیت آن‌ها هست. در منحنی ROC محور Y میزان درست مثبت (حساسیت) و محور X میزان نادرست مثبت است. نرم‌افزار برتر نرم‌افزاری است که در آن سطح زیر منحنی ROC به ۱ نزدیک باشد. هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد اندازه‌گیری دقیق‌تر و مناسب‌تر بوده است. بدترین نرم‌افزار، نرم‌افزاری است که در آن مقدار سطح زیر منحنی به ۰ نزدیک باشد. هرچه به ۰ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی بودن ضعف در دقت اندازه‌گیری است. این نرم‌افزار صفرها را یک و یک‌ها را صفر پیش‌بینی می‌کند، و این یعنی بیش‌ترین خطا، و وقتی که به عدد ۰/۵ برمی‌خورد، هیچ تفاوتی در ظرفیت لایه‌ها نشان نمی‌دهد.

نتایج

برای پیش‌بینی تغییر کاربری زمین در سال ۱۴۲۰ سه نقشه‌ی دوره‌های زمانی ۱۳۷۰، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ به کار برده شد. تعداد رده‌ها از روی تصویرها و نقشه‌های موجود، شرایط منطقه، و رده‌های نیازداشته برای نقشه‌ی پوشش زمین انتخاب، و تفکیک پنج رده شامل مسکونی، کشاورزی، جنگل، باغ و مرتع بررسی شد (شکل ۲). مساحت هر کاربری در شکل ۳ نشان داده شده است.

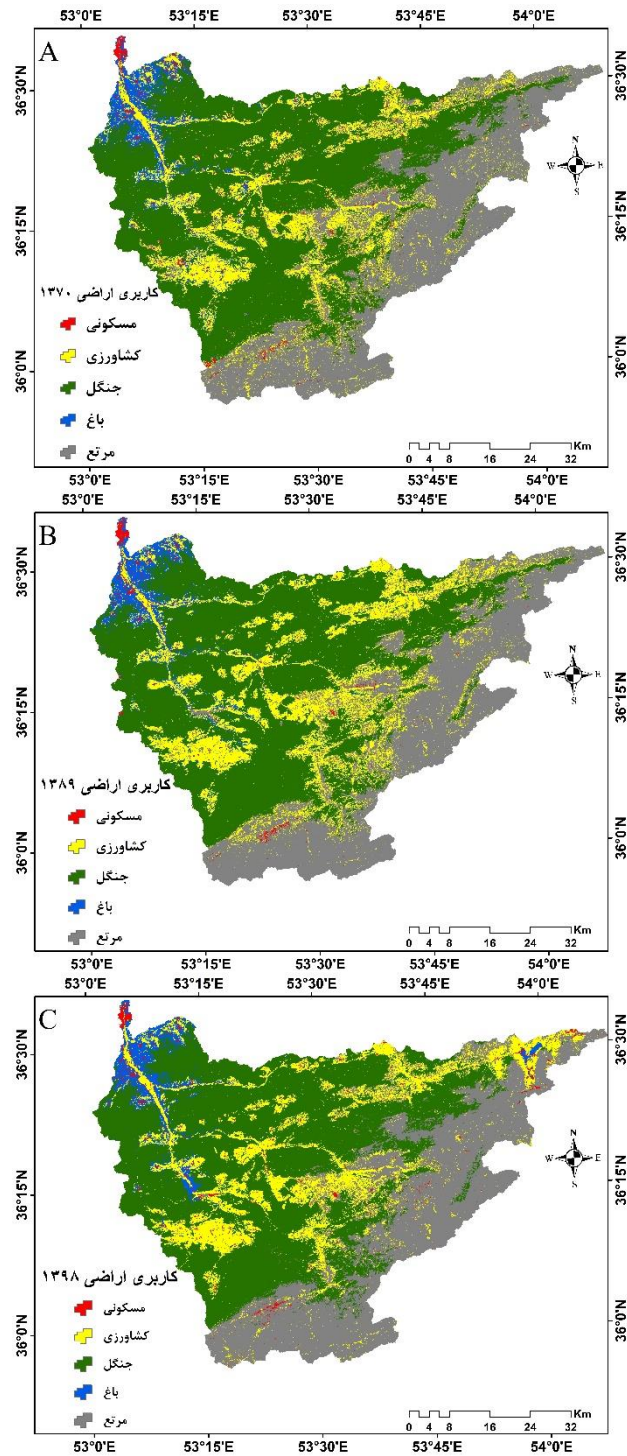
نرم‌افزار مناسب و ضریب بیش‌تر از ۰/۴ خوب است. در مرحله‌ی بعد شبیه‌سازی بالقوه‌ی تبدیل هر کاربری با روش شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه انجام شد. خروجی این مرحله ورودی مرحله‌ی پیش‌بینی گرفته‌شد (غلامعلی فرد و همکاران ۲۰۱۳؛ سرداری و همکاران ۲۰۱۹).

شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین

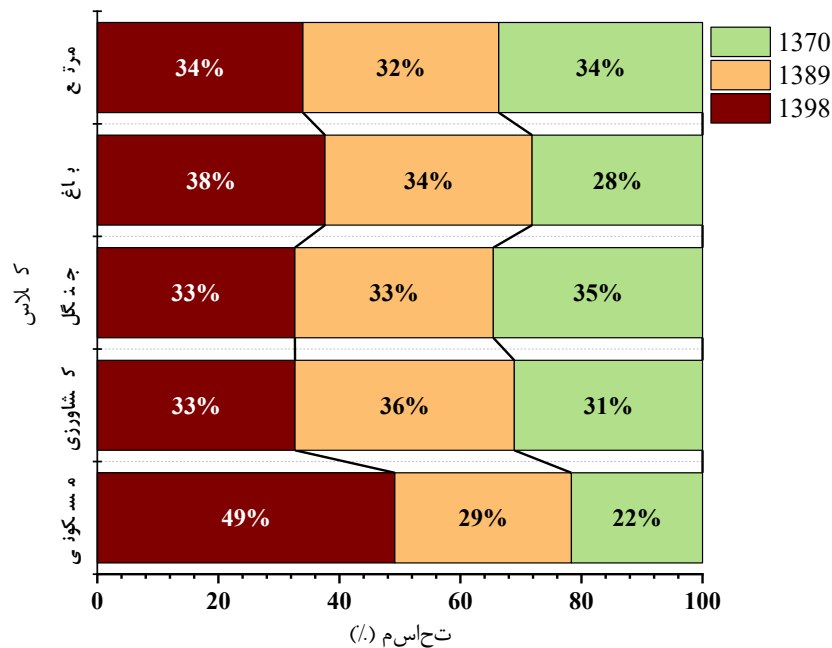
تخصیص تغییر به هر کاربری با کاربرد زنجیره‌ی مارکف محاسبه شد (هیبو و همکاران ۲۰۱۱). در نرم‌افزار مارکوف حالت سامانه در زمان ۲ ممکن است بر اساس حالت سامانه در زمان ۱ پیش‌بینی شود، و در نتیجه چهارچوب احتمال دگرگونی پایه‌ی برای شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین نشان داده شود (ایست من ۲۰۰۶). نقشه‌های کاربری زمین ۱۳۷۰ و ۱۳۸۹ ورودی نرم‌افزار برای پیش‌بینی تغییر کاربری زمین ۱۳۹۸ انتخاب، و پنج زیرمدل با شش متغیر اجرا شد. نقشه‌های کاربری زمین ۱۳۷۰ و ۱۳۸۹ برای شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین ۱۳۹۸ با پیش‌بینی سخت به کار برده شد.

ارزیابی صحت شبیه‌سازی

ارزیابی نتیجه‌های طبقه‌بندی از مرحله‌های مهم پس از طبقه‌بندی است. نشان‌دادن نتیجه‌های طبقه‌بندی بی هیچ‌گونه ویژگی که کیفیت یا صحت این نتیجه‌ها را بیان کند، از ارزش آن‌ها می‌کاهد و در بعضی مواقع آن‌ها را بی کاربرد می‌کند. بنابراین این نکته را باید در نظر داشت که همیشه در کنار انجام‌دادن طبقه‌بندی، نتیجه‌های آن نیز ارزیابی و به کار برده شود. عامل دیگری که در زمینه‌ی اعتبارسنجی بسیار به آن توجه می‌شود و اعتبار زیادی دارد ویژگی کاپا است. ضریب کاپا اندازه‌ی دقت را برعکس روش دقت کلی بر اساس همه‌ی نقطه‌هایی که درست و غلط طبقه‌بندی شده‌اند محاسبه می‌کند. اعتبار این عامل برای ارزیابی کردن دقت نقشه‌ی طبقه‌بندی بیش‌تر از دقت کلی است. بنابراین ضریب کاپا نشان‌دهنده‌ی توافق صحت کلی با حالت موجود در طبیعت است (وارنر و همکاران ۲۰۰۱). ضریب کاپا از رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود.



شکل ۲- نقشه‌ی کاربری زمین سال‌های (A) ۱۳۷۰، (B) ۱۳۸۹ و (C) ۱۳۹۸.



شکل ۳- درصد مساحت طبقه‌های کاربری زمین سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸.

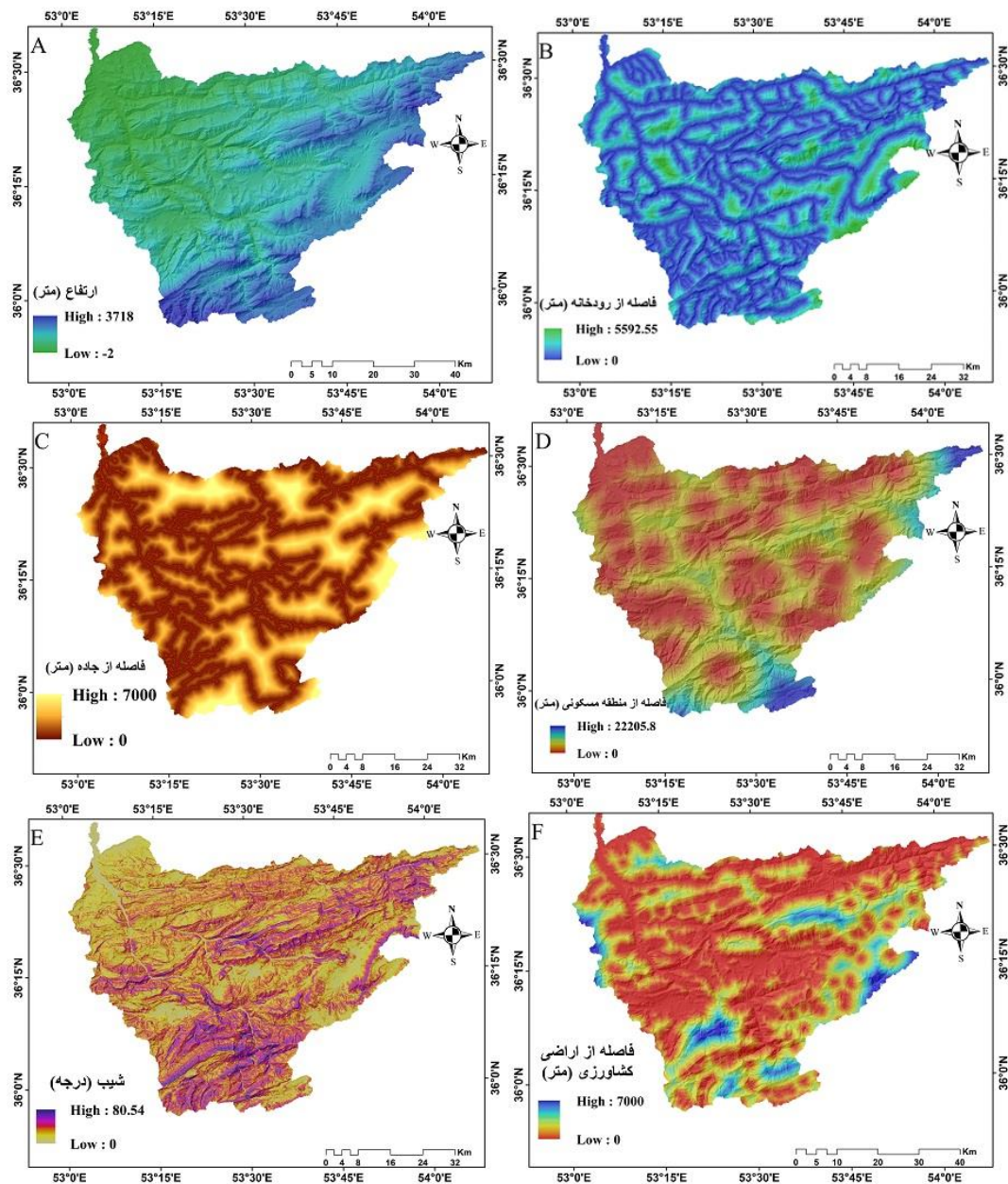
نتیجه‌های برآورد صحت نقشه‌های تولیدشده با کاربرد ۲ آورده شده است، که نشان‌دهنده صحت پذیرفتنی نقطه‌های تعلیمی و روش بیش‌ترین درست‌نمایی در جدول شبیه‌سازی برای نقشه‌های تولیدشده است.

جدول ۲- درصد دقت طبقه‌بندی تصویر سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۹، ۱۳۹۸.

طبقه پوشش	۱۳۷۰		۱۳۸۹		۱۳۹۸	
	دقت تولیدکننده	دقت به کاربرنده	دقت تولیدکننده	دقت به کاربرنده	دقت تولیدکننده	دقت به کاربرنده
مسکونی	۸۵/۳۰	۵۵/۸۸	۷۸/۶۰	۵۲/۳۶	۹۶/۱۲	۵۸/۶۰
کشاورزی	۸۰/۸۹	۶۷/۸۹	۸۰/۷۲	۷۵/۱۲	۷۸/۸۵	۵۲/۲۹
جنگل	۹۲/۴۷	۹۸/۴۵	۹۴/۴۳	۹۶/۴۷	۸۵/۹۴	۹۸/۲۷
باغ	۷۸/۳۱	۶۷/۲۴	۹۲/۷۶	۵۹/۰۵	۹۴/۲۲	۷۷/۵۶
مرتج	۸۸/۳۸	۸۸/۳۴	۸۴/۰۹	۹۷/۷۸	۸۵/۳۷	۸۹/۳۷
دقت کل (%)	۸۹/۴۵		۹۳/۸۱		۹۱/۶۵	
ضریب کاپا	۰/۸۲		۰/۸۴		۰/۸۰	

برای تعیین ظرفیت دگرگونی کاربری زمین از یک طبقه به طبقه دیگر در دوره‌های مختلف شش متغیر (ارتفاع، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از روستا، فاصله از زمین

کشاورزی و شیب) که ضریب کرامر آن‌ها بیش‌ترین بود به کار برده شد.



شکل ۴- متغیرهای به کار رفته برای پیش‌بینی نقشه‌ی کاربری زمین (A: ارتفاع، B: فاصله از رودخانه، C: فاصله از جاده، D: فاصله از منطقه‌ی مسکونی، E: شیب، F: فاصله از زمین‌های کشاورزی).

تعداد نمونه‌ی آموزش است. زیرمدل تبدیل جنگل به زمین‌های کشاورزی با اندازه‌ی صحت ۹۶/۴۵٪ بیش‌ترین دقت را بین زیرمدل‌های موجود برای تعیین کاربری آینده داشته است.

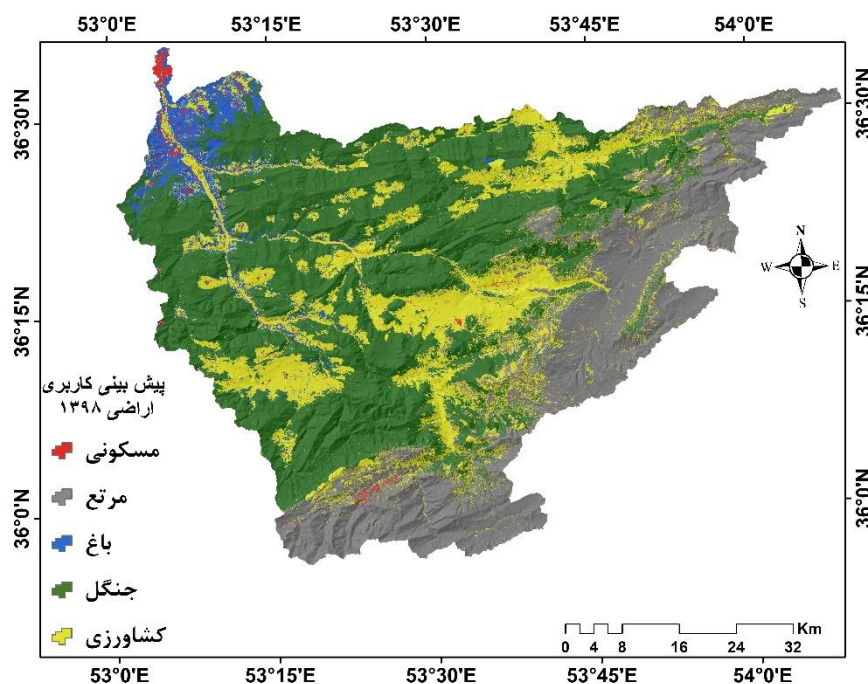
نتیجه‌ی مشخصه‌های زیرمدل‌های مختلف تبدیل کاربری زمین در جدول ۳ نشان داده شد. این نتیجه‌ها نشان می‌دهد که نرم‌افزار منتخب در هر پنج زیرمدل، شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه است. نتیجه‌ها بیانگر افزایش صحت زیرمدل با افزایش

جدول ۳- مشخصه‌های زیرمدل‌های مختلف تبدیل کاربری زمین در دوره‌ی ۱۳۸۹-۱۳۹۸.

زیر مدل	تعداد متغیر	نوع نرم‌افزار	عامل مومنتوم	ی مخفی	تعداد گره در لایه- تکرار	نوی آموزش	میانگین مربع آموزش	میانگین مربع میانی	آزمون جبر	اندازه‌ی صحت
کشاورزی به مسکونی	۶	MLP	۰/۳	۸	۱۰۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۲۹۸	۰/۳۰۱	۸۲/۷۵	
جنگل به مسکونی	۶	MLP	۰/۲۸	۸	۸۰۰۰	۰/۰۳	۰/۳۴۳	۰/۳۷۵	۸۴/۲۸	
جنگل به کشاورزی	۶	MLP	۰/۳۴	۵	۱۰۰۰۰	۰/۰۲۱	۰/۳۱۲	۰/۳۴۵	۹۶/۴۵	
جنگل به باغ	۶	MLP	۰/۲۲	۷	۷۰۰۰	۰/۰۱۷۵	۰/۲۷۵	۰/۲۹۸	۹۱/۳۷	
مرتع به کشاورزی	۶	MLP	۰/۲۶	۷	۸۰۰۰	۰/۰۰۶۵	۰/۳۸۷	۰/۳۱۰	۹۵/۸۱	

اندازه‌ی خطا و صحت پیش‌بینی نرم‌افزار بر اساس نقشه‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۹ تهیه‌شده با واقعیت زمینی و نقشه‌ی کاربری زمین پیش‌بینی‌شده‌ی ۱۳۹۸ بررسی و با هم مقایسه شد (شکل ۵). مقدار ضریب کاپا و معیار سطح زیرمنحنی ROC به‌ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۸۹ به‌دست آمد. نتیجه‌های تغییر مساحت طبقه‌ها در دوره‌های زمانی مختلف بررسی‌شده در جدول ۴ نشان داده شده‌است.

اندازه‌ی خطا و صحت پیش‌بینی نرم‌افزار بر اساس نقشه‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۹ تهیه‌شده با واقعیت زمینی و نقشه‌ی کاربری زمین پیش‌بینی‌شده‌ی ۱۳۹۸ بررسی و با هم مقایسه شد (شکل ۵). مقدار ضریب کاپا و معیار سطح زیرمنحنی ROC به‌ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۸۹ به‌دست آمد. نتیجه‌های تغییر مساحت طبقه‌ها در دوره‌های زمانی مختلف بررسی‌شده در جدول ۴ نشان داده شده‌است.



شکل ۵- نقشه‌ی پیش‌بینی تغییر کاربری زمین ۱۳۹۸ با کاربرد تصویرهای ۱۳۷۰ و ۱۳۸۹.

جدول ۴- تغییر مساحت طبقه‌ها در دوره‌های زمانی مختلف بررسی شده.

ردیف	* طبقه‌ی ۱۳۷۰ زمینی - ۱۳۸۹ زمینی	مساحت (کیلومتر مربع)	* ۱۳۸۹ زمینی - ۱۳۹۸ زمینی	مساحت (کیلومتر مربع)
۱	۱ به ۲	۷/۳۷۱	۱ به ۲	۱۰/۹۹۰
۲	۱ به ۳	۱/۰۳۵	۱ به ۳	۰/۴۲۱
۳	۱ به ۴	۷/۰۳۰	۱ به ۴	۶/۲۲۲
۴	۱ به ۵	۳/۶۰۱	۱ به ۵	۱۲/۷۹۲
۵	۱ به ۲	۱۹/۱۳۵	۲ به ۱	۵/۸۵۵
۶	۲ به ۳	۵۰/۱۶۹	۲ به ۳	۳۰/۶۵۸
۷	۲ به ۴	۵۷/۹۷۱	۲ به ۴	۳۶/۲۸۳
۸	۲ به ۵	۱۷۶/۷۰۵	۲ به ۵	۱۲۴/۶۵۹
۹	۳ به ۱	۸/۸۳۸	۳ به ۱	۰/۹۱۲
۱۰	۳ به ۲	۳۸/۶۴۶	۳ به ۲	۴۶/۸۸۲
۱۱	۳ به ۴	۳۳/۶۱۵	۳ به ۴	۳۸/۸۰۱
۱۲	۳ به ۵	۱۹/۷۲۵	۳ به ۵	۲۲/۱۰۷
۱۳	۴ به ۱	۱۱/۱۳۳	۴ به ۱	۴/۴۷۸
۱۴	۴ به ۲	۴۲/۹۰۷	۴ به ۲	۲۷/۶۵۶
۱۵	۴ به ۳	۳۰/۵۵۷	۴ به ۳	۲۱/۶۵۴
۱۶	۴ به ۵	۲/۳۱۲	۴ به ۵	۳/۵۴۱
۱۷	۵ به ۱	۵/۳۳۳	۵ به ۱	۴/۷۵۰
۱۸	۵ به ۲	۱۲۸/۵۰۲	۵ به ۲	۷۹/۲۲۵
۱۹	۵ به ۳	۲۴/۱۹۳	۵ به ۳	۳۵/۱۵۵
۲۰	۵ به ۴	۶/۹۷۷	۵ به ۴	۱/۴۰۹

*۱- مسکونی، ۲- کشاورزی، ۳- جنگل، ۴- باغ، ۵- مرتع

از طرف دیگر زمین‌های مسکونی، کشاورزی و باغ به ترتیب ۰/۴۵، ۶/۸۲ و ۹/۱۷ در این دوره افزایش خواهد داشت (شکل ۶، جدول ۵).

حالت ممکن دوم

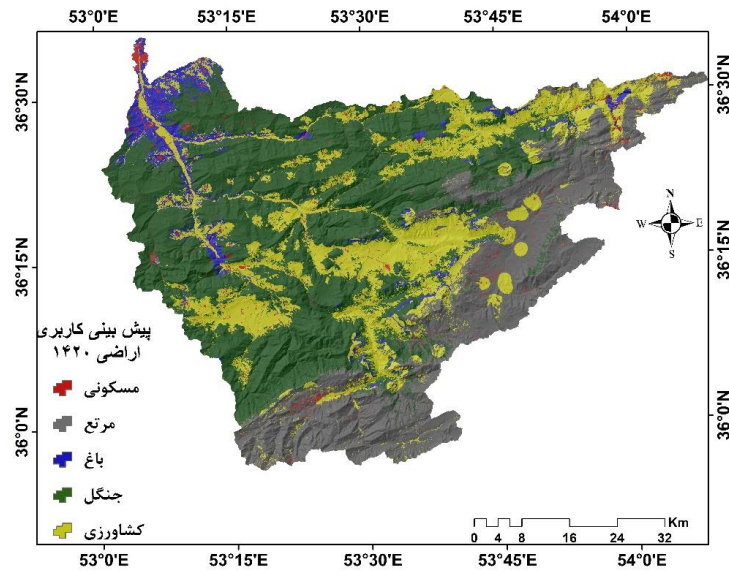
زمین‌های کشاورزی افزایش خواهد یافت. در این پیش‌بینی اندازه‌ی تغییر از دیگر کاربری‌ها به کاربری کشاورزی نشان داده می‌شود. برای این حالت در روش LCM احتمال تبدیل شدن طبقه‌های دیگر کاربری زمین به طبقه‌ی کشاورزی افزایش داده شد. در این دوره‌ی زمانی و بر مبنای این حالت ممکن، تغییری در مساحت کاربری‌ها به خصوص کاربری کشاورزی و مرتع هست (شکل ۷، جدول ۷).

شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین سال ۱۴۲۰

تغییر کاربری زمین بر اساس دو حالت ممکن تعریف شده برای ۲۰ سال آینده در آبخیز تجن پیش‌بینی شد.

حالت ممکن اول (تداوم)

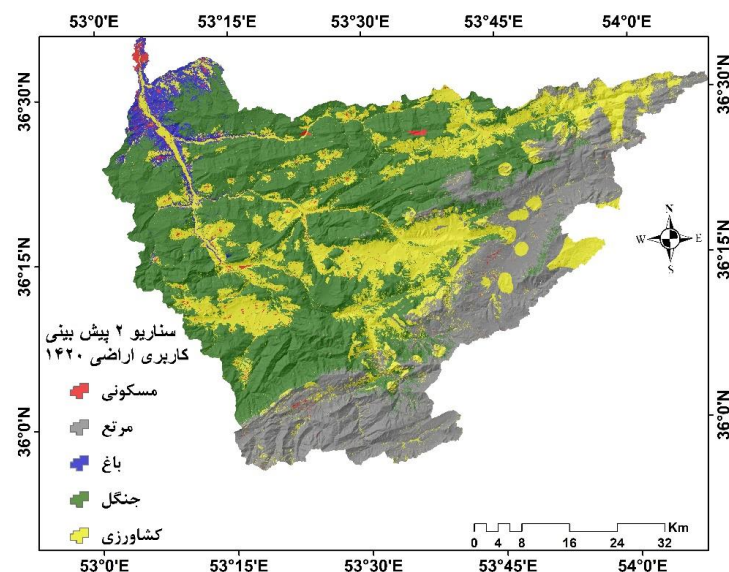
روند تغییر کاربری زمین مشابه سال‌های گذشته و بی‌هیچ محدودیتی ادامه می‌یابد. نتیجه‌های شبیه‌سازی بر مبنای این حالت ممکن نشان داد که اگر روند تغییر آینده مانند ۲۹ سال گذشته باشد، مساحت زمین‌های جنگلی ۷۷/۱۹ کیلومتر مربع کاهش خواهد یافت، که معادل ۲/۰۲٪ کاهش در مساحت فعلی زمین‌های جنگلی در ۲۰ سال آینده است. در این حالت ممکن مساحت زمین‌های مرتعی ۵/۷۴٪ کاهش خواهد یافت.



شکل ۶- پیش‌بینی نقشه‌ی کاربری زمین ۱۴۲۰ بر اساس حالت ممکن تداوم.

جدول ۵- اختلاف مساحت کاربری زمین در دو دوره‌ی ۱۳۹۸ و ۱۴۲۰.

ردیف	طبقه‌ی کاربری زمین	مساحت طبقه‌های کاربری در سال ۲۰۱۹	مساحت طبقه‌های کاربری در سال ۲۰۴۰	اختلاف مساحت (کیلومتر مربع)	اختلاف (%)
۱	مسکونی	۴۷/۰۵	۶۴/۳۴	۱۷/۲۹	+۰/۴۵
۲	کشاورزی	۶۱۴/۵۴	۸۷۴/۷۵	۲۶۰/۲۱	+۶/۸۲
۳	جنگل	۱۸۹۰/۶۱	۱۸۱۳/۴۲	۷۷/۱۹	-۲/۰۲
۴	باغ	۱۵۲/۰۲	۱۸۷	۳۴/۹۸	+۹/۱۷
۵	مرتع	۱۲۲۹/۶۰	۱۰۱۰/۷۷	۲۱۸/۸۳	-۵/۷۴



شکل ۷- پیش‌بینی نقشه‌ی کاربری زمین ۱۴۲۰ بر اساس حالت ممکن افزایش زمین‌های کشاورزی.

شبیه‌سازی حالت‌های ممکن کاربری زمین در...

اگر روند فعلی تغییر کاربری زمین در منطقه‌ی بررسی‌شده تداوم یابد ۲۱۳/۲۱ کیلومتر مربع از زمین‌های مرتعی سال ۱۳۹۸ در ۱۴۲۰ به زمین‌های کشاورزی تبدیل خواهد شد، و کاربری ۶۴/۸۴ کیلومتر از زمین‌های جنگل نیز به زمین‌های کشاورزی تغییر خواهد کرد (جدول ۶). کم‌ترین مقدار دگرگونی از زمین‌های باغی به زمین‌های مسکونی است.

جدول ۶- تغییر مساحت هر طبقه در دوره‌ی ۱۳۹۸ نسبت به دوره‌ی پیش‌بینی ۱۴۲۰.

ردیف	طبقه	مساحت (کیلومتر مربع)
۱	۱ به ۲	۱۴/۶۸
۲	۱ به ۴	۶/۰۹
۳	۲ به ۳	۶۴/۸۴
۴	۲ به ۵	۲۱۳/۲۱
۵	۳ به ۴	۳۷/۲۴

*۱- مسکونی، ۲- کشاورزی، ۳- جنگل، ۴- باغ، ۵- مرتع

نتیجه‌های حالت ممکن دوم تغییر کاربری زمین نیز نشان‌دهنده‌ی افزایش مساحت زمین‌های کشاورزی به ۳۲۸/۲۷ کیلومتر مربع (۸/۶۱) در سال ۱۴۲۰ نسبت به سال ۱۳۹۸ است.

جدول ۷- اختلاف مساحت کاربری زمین در دو دوره‌ی ۲۰۱۹ و حالت ممکن ۲ سال ۲۰۴۰.

ردیف	طبقه‌ی کاربری زمین	مساحت طبقه‌های کاربری در سال ۲۰۱۹	مساحت کاربری‌ها در حالت ممکن ۲ پیش-بینی ۲۰۴۰ (کیلومتر مربع)	اختلاف مساحت (کیلومتر مربع)	اختلاف مساحت (%)
۱	مسکونی	۳۷/۰۵	۴۷/۸۲	۱۰/۷۷	۰/۲۸
۲	کشاورزی	۶۱۴/۵۴	۹۴۲/۸۱	۳۲۸/۲۷	۸/۶۱
۳	جنگل	۱۸۹۰/۶۱	۱۸۲۲/۷۳	۱۲۲/۳۴	-۳/۲
۴	باغ	۱۵۲/۰۲	۱۱۴/۰۶	۳۷/۹۶	-۰/۹۶
۵	مرتع	۱۲۲۹/۶۰	۱۰۱۶/۳۹	۲۱۳/۲۱	-۵/۵۹

جدول ۸- درصد اختلاف مساحت طبقه‌های کاربری زمین در دو حالت ممکن.

ردیف	طبقه‌ی کاربری زمین	مساحت کاربری‌ها در حالت ممکن ۱ پیش‌بینی (کیلومتر مربع)	مساحت کاربری‌ها در حالت ممکن ۲ پیش‌بینی (کیلومتر مربع)	اختلاف مساحت (%)
۱	مسکونی	۶۴/۳۴	۳۷/۸۲	-۰/۶۶
۲	کشاورزی	۸۷۴/۵۹	۹۴۲/۸۱	۱/۷۱
۳	جنگل	۱۸۵۳/۴۲	۱۸۱۲/۷۳	-۱/۰۱
۴	باغ	۱۸۷	۱۱۴/۰۶	-۱/۸۲
۵	مرتع	۱۰۱۰/۷۷	۱۰۰۲/۳۹	-۰/۱۹

پژوهش مدل تغییر سرزمین برای شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین در منطقه‌ی تجن بر مبنای دو حالت ممکن مدیریتی، برای مدیریت بهتر آبخیز در ۲۰ سال آینده به کار برده شد. تغییر کاربری زمین در سه دوره‌ی زمانی ۱۳۷۰، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۸ با تصویرهای ماهواره‌ی لندست انجام شد. نتیجه‌های

بحث و نتیجه‌گیری امروزه، مدیریت پایدار در منطقه‌ها و دست‌یابی به کمینده‌ی خسارت‌های محیط زیستی ناشی از تغییر کاربری زمین، نیازمند پیش‌بینی تغییر کاربری زمین در بلندمدت است تا بر مبنای تغییر احتمالی، مدیریت مناسب و پایدار اعمال شود. در این

نرم‌افزار برای پیش‌بینی تغییر روی داده در منطقه پذیرفتنی است. این نتیجه با یافته‌های فلاحتکار و همکاران (۲۰۱۶) و میرعلیزاده فرد و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر صحت پذیرفتنی نرم‌افزار ال‌سی‌ام برای پیش‌بینی تغییر کاربری زمین آینده مطابقت دارد. محققان مختلفی نرم‌افزار CA-Markov را برای پیش‌بینی -کردن تغییر پوشش زمین منطقه‌های مختلف به کار بردند (ژو و همکاران ۲۰۱۲؛ گووان و همکاران ۲۰۱۱؛ سانگ و همکاران ۲۰۱۱؛ فلاحتکار و همکاران ۲۰۱۰؛ شهیدول و احمد ۲۰۱۱) که نتیجه‌های آن‌ها بیانگر صحت پذیرفتنی نرم‌افزار CA-Markov برای پیش‌بینی تغییر کاربری زمین است.

پس از اطمینان از پذیرفتنی بودن نتیجه‌های شبیه‌سازی با کاربرد ال‌سی‌ام، کاربری زمین بر مبنای دو حالت ممکن مدیریتی تعریف‌شده شبیه‌سازی شد. نتیجه‌های شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین بر مبنای حالت ممکن مدیریتی اول نشان می‌دهد که بیش‌ترین تغییر در کاربری باغ (۹/۱۷٪ افزایش) و زمین‌های مرتعی (۵/۷۴٪ کاهش) است. نتیجه‌های شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین بر مبنای حالت ممکن دوم مدیریتی نیز نشان‌دهنده‌ی ۸/۶۱٪ افزایش در زمین‌های کشاورزی و ۵/۵۹٪ کاهش در منطقه‌های مرتعی است. بیش‌ترین کاهش در هر دو حالت ممکن در زمین‌های مرتعی است. شاید یکی از مهم‌ترین دلایل‌های آن تغییر این نوع از زمین‌ها به زمین‌های کشاورزی دیم و آبی در سراب آبخیز است، که نشان‌دهنده‌ی ضعف مدیریتی در مدیریت زمین است. زمین‌های جنگلی در سال‌های اخیر با سرعت کم‌تری کاهش پیدا کرده‌است.

این تحقیق نشان داد که نرم‌افزار تجربی بین متغیر وابسته (میزان تغییر کاربری زمین) و متغیرهای مستقل (توضیح‌دهنده‌ی تغییرها) است. به دلیل وجود رابطه‌های نا خطی بین متغیرها شبکه‌ی عصبی مصنوعی به کار برده شد و شبکه با کاربرد داده‌های سال‌های قبل آموزش دید. مهم‌ترین فرض در این نحوه‌ی شبیه‌سازی (به دلیل ماهیت تجربی) این است که طبیعت توسعه و تغییر در زمان یکسان خواهد بود. به عبارت دیگر تغییرهای گذشته ممکن است تغییرهای آینده را بر اساس حالت‌های ممکن تاریخی پیش‌بینی کند. اعمال این حالت‌های ممکن مدیریتی، تحت تأثیر راه‌بردها، سیاست‌گذاری‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان کشور مانند سیاست‌گذاری افزایش یا کاهش جمعیت است، که منجر به بی قطعیتی در این حالت‌ها و دگرگون شدن نتیجه‌های شبیه‌سازی بر مبنای آن‌ها می‌شود. پیشنهاد می‌شود تلفیق نتیجه‌های شبیه‌سازی تغییر کاربری زمین به کار گرفته شود. نتایج این پژوهش ممکن است بر پایه‌ی چگونگی تغییر کاربری زمین در گذشته، حال و آینده، چشم انداز مناسبی برای برنامه‌ریزان در مدیریت کردن کاربری زمین و آبخیزهای مجاور فراهم کند، و در اجرای طرح‌هایی

بر آورد صحت نقشه‌های تولیدشده با کاربرد نقطه‌های تعلیمی و روش بیش‌ترین درست‌نمایی نشان داد که ضریب کاپا برای این دوره‌ها به ترتیب ۰/۸۲، ۰/۸۴ و ۰/۸۰٪، و دقت کل این تصویرها به ترتیب ۸۹/۴۵، ۹۳/۸۱ و ۹۱/۸۵٪ بود، که نشان‌دهنده‌ی دقت خوب این تصویرها در پیش‌بینی تغییر کاربری زمین این منطقه است.

متغیرهای به کاررفته در این پژوهش شامل شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از منطقه‌های مسکونی و فاصله از زمین‌های کشاورزی بود، که در اغلب پژوهش‌های قبلی به کار برده شده بود. محققان دیگری از جمله غلامعلی فرد و همکاران (۲۰۱۲)، و فلاحتکار و همکاران (۲۰۱۱) نیز بر اهمیت این عامل‌ها در پیش‌بینی تغییر کاربری زمین تأکید کردند. نتیجه‌های ارزیابی ضریب همبستگی کرامر نشان داد که از بین متغیرهای مستقل توضیح‌دهنده‌ی تغییر در منطقه برای پیش‌بینی تغییر کاربری زمین عامل ارتفاع و فاصله از جاده به ترتیب با ضریب ۰/۳۳ و ۰/۱۷ بیش‌ترین تأثیر را بین متغیرهای انتخاب‌شده دارد، به طوری که بیش‌ترین تمرکز روستاها و منطقه‌های مسکونی و زمین‌های کشاورزی در منطقه‌هایی است که ارتفاع آن‌ها کم‌تر و هموار باشد. وجود جاده و مسیرهای ارتباطی باعث دست‌رسی بیش‌تر مردم به منطقه‌های مختلف آبخیز و بیش‌تر شدن فعالیت‌های انسانی می‌شود، که با نتیجه‌های عبدی و همکاران (۲۰۱۲) و غلامعلی و همکاران (۲۰۱۴) مبنی بر افزایش سطح زمین‌های کشاورزی در منطقه‌های کم‌شیب و مستعد مطابقت دارد. تغییر کاربری زمین در منطقه‌های با ارتفاع کم‌تر و نزدیک به جاده به خصوص منطقه‌های نزدیک به شهر ساری و منطقه‌های پایین دست سد شهید رجایی به دلیل شرایط مناسب‌تر نسبت به منطقه‌های سراب بیش‌تر است. در این پژوهش، شبیه‌سازی برای سال ۱۳۹۸ با نرم‌افزار ال‌سی‌ام و دوره‌ی واسنجی ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۹ اجرا شد و نقشه‌ی پیش‌بینی کاربری زمین ۱۳۹۸ با نقشه‌ی زمینی کاربری زمین ۱۳۸۹ مقایسه کرده شد. ضریب کاپا و ROC آن به ترتیب ۰/۸۴ و ۰/۸۹ به دست آمد، که نشان‌دهنده‌ی دقت خوب نقشه‌ها برای پیش‌بینی کردن تغییر کاربری زمین در آینده است.

نتیجه‌های ارزیابی شبیه‌سازی نیروی دگرگونی با کاربرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی نشان داد که در بیش‌تر زیرمدل‌ها صحت مدل زیاد است (۸۲-۹۶٪)، که با پژوهش محمدیاری و همکاران (۲۰۱۹) که این روش را برای شبیه‌سازی نیروی دگرگونی به کار بردند، و نتیجه گرفتند که صحت نرم‌افزار به کاررفته زیاد است، مطابقت دارد.

با طبقه‌بندی شبکه‌ی عصبی و به کارگیری نرم‌افزار پیش‌بینی مارکوف و روی کرد نرم‌افزار ال‌سی‌ام تغییر کاربری زمین برای سال ۱۴۲۰ پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که صحت این

تغییرپذیری زمانی و مکانی آسیب‌پذیری و خطر سیل در صندوق حمایت از پژوهشگران و فن‌آوران کشور است. نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های مادی-معنوی این صندوق تقدیر و تشکر نمایند.

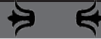
برای کاهش اثرهای جنگل‌زدایی و تخریب جنگل با هدف کاهش گازهای گلخانه‌یی و حفاظت از تنوع زیستی به کار رود.

سپاسگزاری

این پژوهش برگرفته از طرح پژوهشی پایان‌نامه‌ی دکترا (۹۸۰۲۰۲۶۲) با عنوان اثر تغییر اقلیم و کاربری زمین بر

- Abd El-Kawy OR, Rød JK, Ismail HA, Suliman AS. 2011. Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data. *Applied Geography*, 31(2): 483–494.
- Abdi M, Moradi HR, Sadeghi HR. 2013. Survey of land use changes using remote sensing techniques and geographic information system (Case study: Urmia City Chacha Basin), Second National Conference on Climate Change and its Impact on Agriculture and Environment, August 2013; Iran, Urmia. pp. 939–947. (In Persian).
- Ahmad A. 2012. Analysis of maximum likelihood classification on multispectral data. *Applied Mathematical Sciences*, 6(129): 6425–6436.
- Armenteras D, Murcia U, González TM, Barón OJ, Arias JE. 2019. Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. *Global Ecology and Conservation*, Volume 17, January 2019.
- Avand M, Moradi H. 2020. Using machine learning models, remote sensing, and GIS to investigate the effects of changing climates and land uses on flood probability. *Journal of Hydrology*, Available online 27 October 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125663>
- Chen H, Pontius Jr RG. 2010. Diagnostic tools to evaluate a spatial land change projection along a gradient of an explanatory variable. *Landscape Ecology*, 25(9): 1319–1331.
- Chim K, Tunnicliffe J, Shamseldin A, Ota T. 2019. Land use change detection and prediction in upper Siem Reap River, Cambodia. *Hydrology*, 6(3): 64p. <https://doi.org/10.3390/hydrology6030064>
- Falahatkar S, Soffianian AR, Khajeddin SJ, Ziaee HR, Ahmadi Nadoushan M. 2011. Integration of remote sensing data and GIS for prediction of land cover maps. *International Journal of Geomatics and Geosciences*. 1(4): 847–864.
- Gholamali Fard M, Jourabian Shoushtari Sh, Hosseini Kahnij S, Mirzaei M. 2012. Modeling land use change Mazandaran coast province using LCM in the GIS, *Journal of Environmental Studies*, 38(4): 109–124. (In Persian).
- Gholamali Fard M, Mirzaei M, Jorabian Shoushtari Sh. 2014. Modeling land use change using of artificial neural network and Markov Chain (Case study: Middle coast of Busher Province). *Remote Sensing and Geographical Information System in Natural Resources*, 5(1): 61–74. (In Persian).
- Guan D, Li H, Inohae T, Su W, Nagaie T, Hokao K. 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov Model. *Ecological Modelling*. 222 (20–22): 3761–3772.
- Hashimoto M, Nose T, Muriguchi Y. 2002. Wood products: potential carbon sequestration and impact on net carbon emissions of industrialized countries. *Environmental Science & Policy*. 5(2): 183–193.
- Huang Y, Yang B, Wang M, Liu B, Yang X. 2020. Analysis of the future land cover change in Beijing using CA–Markov chain model. *Environmental Earth Sciences*, 79(2): 60 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8785-z>
- Jorabian Shoushtari Sh, Esmaili Sari A, Hosseini M, Gholamali Fard M. 2018. Application of artificial neural network multilayer perceptron method in land use change modeling of east Mazandaran Province, *Geography and Environmental Planning*, 72 (4): 125–144. (In Persian).
- Kim OS. 2010. An assessment of deforestation models for reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD). *Transactions in GIS*, 14(5): 631–654.
- Lee Y, Chang H. 2011. The simulation of land use change by using CA–Markov model: A case study of Tainan City, Taiwan. 19th International

- Conference on Geoinformatics, pp. 24–26.
- Mas JF, Kolb M, Paegelow M, Camacho Olmedo MT. 2014. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & Software*. 51: 94–111.
- Mohammadyari F, pourkhabaz HR, Aghdar H, Tavakoli M. 2019. Forecasting land use change trend Behbahan county from 2013 to 2027 using LCM model. *Geographical Space Journal*, 46(19): 37–56. (In Persian).
- Musa MI, Lekwot V. 2014. Analysis of forest cover changes in Nimbia Forest Reserve, Kaduna State, Nigeria using geographic information system and remote sensing techniques. *Journal of Environment and Earth Science*, 4(21): 73–83
- Nath B, Wang Z, Ge Y, Islam KP, Singh R, Niu Z. 2020. Land use and land cover change modeling and future potential landscape risk assessment using Markov-CA model and analytical hierarchy process. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2): 134. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020134>.
- Norozi M. 2013. Investigation and forecasting land use change using LCM model (Case study: Part of Tajan and Black River Rivers), Master's thesis, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari University. 140 p. (In Persian).
- Samat N, Hasni R, Eltayeb Elhadary YA. 2011. Modelling land use changes at the Peri-Urban areas using geographic information systems and cellular automata model. *Journal of Sustainable Development*. 4(6): 72–84.
- Sardari MR, Bazrafshan A, Panagopoulos O, Sardooi ER. 2019. Modeling the impact of climate change and land use change scenarios on soil erosion at the Minab Dam Watershed. *Sustainability*, 11(12): 1–21.
- Shahidul Islam Md, Ahmed R. 2011. Land use change prediction Dhaka city using GIS aided Markov Chain modeling. *Journal of Life Earth Science*. 6: 81–89.
- Tirupathi C, Shashidhar T. 2020. Investigating the impact of climate and land-use land cover changes on hydrological predictions over the Krishna River Basin under present and future scenarios. *Science of the Total Environment*, 721p. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137736>
- Upadhyay TP, Solberg B, Sankhayan PL. 2006. Use of models to analyses land-use changes, forest/soil degradation and carbon sequestration with special reference to Himalayan region: A review and analysis. *Forest Policy and Economics*. 9(4): 349–371.
- Vaclavik T, Rogan J. 2009. Identifying trends in land use/land cover changes in the context of post-socialist transformation in central Europe: A case study of the greater Olomouc region, Czech Republic. *GIS Science & Remote Sensing*. 46(1): 54–76.
- Václavík T, Rogan J. 2009. Identifying trends in land use/land cover changes in the context of post-socialist transformation in central Europe: a case study of the greater Olomouc region, Czech Republic. *GIS Science & Remote Sensing*, 46(1): 54–76.
- Van Oort PAJ. 2007. Interpreting the change detection error matrix. *Remote Sensing of Environment* 108 (1): 1–8.
- Warner A, Blonski S, Gasser G, Royan R, Zanoni V. 2001. An approach to application validation of multispectral sensors using AVIRIS data, 9 p.
- Zabihi M, Moradi HR, Gholamali Fard m, Khaleidi Dervishan AV. 2019. Influence of possible land use / land coverage Modes on landscape components in Hall Watershed. *Watershed Research*, 32 (1): 99–84. (In Persian). doi: 10.22092/wmej.2018.123624.1156
- Zhou D, Lin Z, Liu L. 2012. Regional land salinization assessment and simulation through cellular Automaton-Markov modeling and spatial pattern analysis. *Science of the Total Environment*. 439: 260–274. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.013>



The Consequences of Following Two Different Land Use Change Scenarios in 2040 in the Tajan Watershed

Mohammadtaghi Avand

Ph.D. Student Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University

Hamid Reza Moradi

(Corresponding Author)* Associate Professor of Watershed Management Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University

Mehdi Ramazanzadeh Lasbuie

Associate Professor, Department of Tourism Management, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mazandaran University

Corresponding Author Email: hrmoradi@modares.ac.ir

Received: 01 February 2020 Accepted: 30 May 2020

Abstract

The purpose of this research was to model and predict land use/cover changes using the LCM model based on two management scenarios, namely the sustainability scenario and the agricultural increase scenario in the Tajan Watershed, the Province of Mazandaran. Landsat satellite images and the data collected by the TM and OLI sensors were analyzed for 1991, 2010 and 2019. Images from the three-time periods were categorized into five categories: residential, farmland agricultural, forest, orchard, and rangeland. Land use forecasting for 2019 was performed using the 1991 and 2010 land use maps in the LCM model. The LCM model uses the perceptron multilayer neural network to construct transmission sub-models, map the probability of transmission, and ultimately predict the land use changes. Spatial variables such as distance from a road, distance from a river, slope, altitude, distance from a village, and distance from farmland were used as the influencing factors on the neural network changes. The land use map of 2019 was used to validate the model, which resulted in the Kappa and ROC coefficients of 0.84 and 0.89, respectively. The modelling results based on the sustainability scenario show a 5.74 percent decrease in the rangeland area and a 9.17 percent growth in the orchard area over the next 20 years, while the second scenario showed an increase of 8.61% in farmlands and a decrease of 5.59% in rangeland areas. Therefore, both rangeland and forest areas are declining and farmland and residential areas are increasing. A better land use management will require conservation scenarios in different parts of the watershed. ction of surface soil aggregates, thereby increasing permeability and reducing the runoff coefficient.

■ **Keywords:** Artificial neural network, land use, LCM method, satellite images, Tajan Watershed ■