

مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی و

زنجیره‌ی مارکوف (مطالعه موردی: حوزه‌ی آبخیز سد استقلال میناب)

محمد رضا عظیمی سردری^۱؛ ام البنین بذرافشان^{۲*}؛ توماس پاناگوپولوس^۳ و الهام رفیعی ساردوئی^۴

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری گروه مهندسی منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان

۲- دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان

۳- استاد مرکز تحقیقات دینامیک سازمانی و مکانی دانشگاه آگراو پرتغال

۴- استادیار گروه مهندسی طبیعت دانشکده منابع طبیعی دانشگاه جیرفت

(تاریخ دریافت ۹۸/۰۱/۰۶- تاریخ پذیرش ۹۸/۰۲/۲۶)

چکیده:

یکی از روش‌های مورد استفاده برنامه‌ریزان و مدیران جهت مدیریت تغییرات کاربری اراضی، مدل‌سازی آن است. تحقیق حاضر با هدف پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی حوزه‌ی آبخیز سد استقلال میناب با استفاده از شبکه عصبی پروپسترون چند لایه و زنجیره-مارکوف در سال ۱۴۰۹ است. جهت تهیه نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه از تصاویر سری ماهواره‌های لندست ۵ سنجنده *TM* (سال ۱۳۷۴)، لندست ۷ سنجنده *ETM+* (سال ۱۳۸۲)، لندست ۸ سنجنده *OLI* (سال ۱۳۹۵) استفاده گردید. برای این منظور از الگوریتم حداکثر احتمال در سه مقطع زمانی مذکور استفاده گردید. مدل‌سازی پتانسیل انتقال، به کمک الگوریتم شبکه‌ی عصبی پرسپترون و تعدادی متغیرهای دینامیک و استاتیک و جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در دوره آتی، از زنجیره‌ی مارکوف استفاده گردید. جهت محاسبه صحت پیش-بینی مدل از پارامترهای روش *GEOMOD* و آماره‌های کاپا استفاده شد. نتایج ارزیابی دوره‌های واسنجی با استفاده از روش *GEOMOD*، پارامترهای $N(n)$ ، $N(m)$ ، $H(m)$ ، $M(m)$ ، $K(m)$ ، $P(m)$ و $P(p)$ و آماره‌ی کاپا نشان داد که دوره‌ی واسنجی ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۵ بالاترین صحت را جهت پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی سال ۱۴۰۹ داشت. نتایج تغییرات کاربری اراضی حاکی از آن است که طی دوره‌ی واسنجی، از میان شش طبقه‌ی کاربری جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی، اراضی مسکونی، اراضی بایر و مخازن آبی، بیش‌ترین افزایش مساحت مربوط به اراضی کشاورزی با ۶۲۷/۰۵ کیلومتر مربع و کمترین مساحت، مربوط به اراضی مرتعی (۵۸۰/۳۵ کیلومتر مربع) است. تخریب اراضی مرتعی بیش‌تر در راستای تبدیل این اراضی به اراضی کشاورزی و اراضی مسکونی بوده است. هم‌چنین نتایج مدل‌سازی کاربری اراضی برای سال ۱۴۰۹ نشان داد که در دوره‌ی زمانی مورد مطالعه (۱۳۷۴-۱۴۰۹) مساحت اراضی کشاورزی ۱۰۱۱۲۸ کیلومتر مربع افزایش داشته و از ۷/۳۶٪ به ۱۶/۹٪ و مساحت اراضی مرتعی ۱۰۰۰ کیلومتر مربع کاهش و از ۵۶/۸٪ به ۴۷/۴٪ رسیده است. در صورت ادامه روند کنونی تا سال ۱۴۰۹ کاهش سطح اراضی مرتعی و تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی جهت افزایش بهره‌وری از اراضی، اتفاق خواهد افتاد.

کلید واژگان: مدل‌سازی کاربری اراضی، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، زنجیره‌ی مارکوف، حوزه آبخیز سد استقلال میناب.

۱. مقدمه

Jain و Punia و Singh ؛ Tam Dao (۲۰۱۸) و همکاران (۲۰۱۷) در هند اشاره نمود. همچنین در ایران نیز می‌توان به محققینی همچون Nateghi و همکاران (۲۰۱۶) در جزیره قشم؛ Falahatkar و همکاران (۲۰۱۶) در گیلان؛ Kaviani و همکاران (۲۰۱۷) در حوزه آبخیز هراز و Ildermi و همکاران (۲۰۱۷) در حوزه آبخیز گرین اشاره نمود.

Perez-vega و همکاران (۲۰۱۲) از مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) برای مدل‌سازی تخریب و احیای جنگل‌های خزان‌کننده‌ی گرمسیری مکزیکی بهره جستند. Punia و Singh (۲۰۱۸) به بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل (LCM) در حوزه آبخیز بهاریهاتی در هند پرداختند. Ildermi و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز گرین، بدین نتیجه رسیدند که بیشترین تغییرات مربوط به اراضی مرتعی و جنگلی و کمترین مربوط به اراضی کشاورزی است.

مرور تحقیقات نشان می‌دهد، کمتر محقق برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی از الگوریتم پرسپترون چند لایه شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف استفاده نموده است. لذا در این راستا هدف این پژوهش، آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی طی سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۵ در انواع کاربری اراضی موجود در حوزه آبخیز سد استقلال میناب است. همچنین پیش‌بینی آن طی ۱۵ سال آینده (سال ۱۴۰۹) بر اساس مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی و زنجیره مارکوف با کمک مدل LCM است.

بسیاری از مناطق کشور تخریب بی‌رویه اراضی به دلیل افزایش جمعیت، الگوی کشت نامناسب و بهره‌برداری بیش از حد از جنگل‌ها و مراتع سبب به مخاطره افتادن طبیعت و دست‌کاری نامتعارف در منابع طبیعی شده است. به همین دلیل، مدیریت اراضی و منابع طبیعی به نیازی برای حفظ این منابع از این مخاطره‌ها مبدل گشته است (Singh and Punia, 2018). بر این مبنا تغییرات کاربری اراضی آتی می‌تواند کمک شایانی به دید جامع مدیران در برنامه‌ریزی‌ها جهت بهبود طرح‌های کاربری اراضی، بهره‌برداری و اجرای روش‌های درست و بهینه داشته باشد. یکی از مدل‌های رایج جهت مدل‌سازی نقشه کاربری اراضی مدل‌ساز تغییرزمین (LCM^۱) می‌باشد. با استفاده از این مدل می‌توان، تغییرات پوشش اراضی و تأثیرات آن بر زیستگاه گونه‌ها و تنوع زیستی را ارزیابی و پیش‌بینی کرد. مدل‌های تغییرات کاربری اراضی سه جزء دارند شامل: زیر مدل نیاز تغییر، زیر مدل پتانسیل انتقال و زیر مدل تخصیص تغییر زیر مدل نیاز تغییر میزان تغییری که در طی یک دوره‌ی خاصی از زمان رخ می‌دهد مربوط است (et al., 2005). محققین زیادی به بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل‌ساز تغییر زمین، رگرسیون چندمتغیرهو شبکه عصبی مصنوعی پرداختند که می‌توان به Pérez-Vega و همکاران (۲۰۱۲) در مکزیک؛ Lourdesa و همکاران (۲۰۱۱) در آرژانتین؛ Thapa و Murayama (۲۰۱۱) در نپال؛ Khoi و Murayama (۲۰۱۰) در پارک ملی

۲. مواد و روش ها

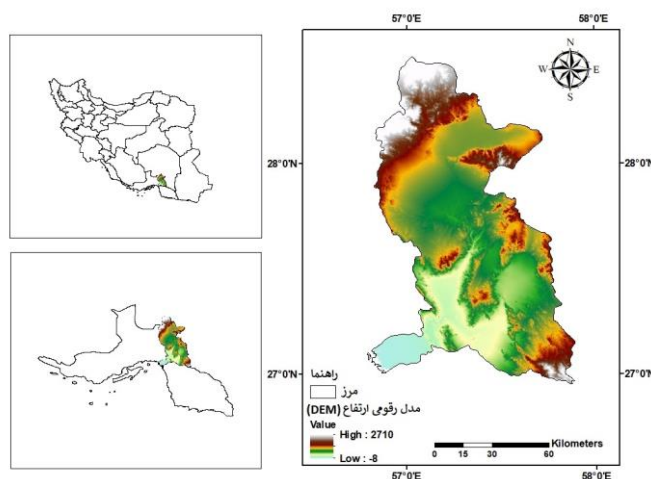
۲-۱. منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز سد استقلال میناب با مساحتی معادل ۱۰۵۱۹۰۰ هکتار از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین حوزه‌های آبخیز سواحل دریای عمان و خلیج فارس در استان هرمزگان است. حدود ۶۰ درصد از وسعت آن در استان کرمان و ۴۰ درصد در استان هرمزگان قرار دارد (نهال طهماسبی، ۱۳۸۶). طول حداقل آن در محل سد میناب با ارتفاع ۴۰ متر از سطح دریا، دارای اقلیم گرم و فراخشک و متوسط بارش ۱۹۲/۵ میلی‌متر می‌باشد (Mehni and Bazrafshan, 2017). شکل ۱ موقعیت حوزه را در استان هرمزگان و ایران نشان می‌دهد.

۲-۲. روش مطالعه

۲-۲-۱. مدل LCM (Land Change Modeler)

برای تهیه‌ی نقشه‌های کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای Landsat سنجنده‌های TM، ETM+، OLI و TIRS (۱۳۷۴، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۵) و از تصویر رنگی کاذب هر تاریخ با استفاده از ترکیب باندهای ۲ (سبز)، ۳ (قرمز)، ۴ (مادون قرمز نزدیک) استفاده گردید (Khoi & Murayama, 2010). از روش طبقه‌بندی نظارت شده خوارزمیک حداکثر احتمال برای تهیه نقشه‌های پوشش اراضی استفاده شد (Eastman, 2006). شش کلاس کاربری بایر، جنگل، مرتع، اراضی مسکونی، مخازن آبی و کشاورزی در منطقه مشخص شد. سپس نمونه‌های تعلیمی به شیوه‌ی رقومی کردن روی صفحه تولید و تفکیک شدند.



شکل ۱- موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

۲-۲-۲. ارزیابی صحت طبقه‌بندی

این نقاط واقعیت زمینی با تصویر طبقه‌بندی شده مقایسه و ضریب کاپا برای هر طبقه و کاپای کلی محاسبه شد. هر قدر ضریب کاپا به یک نزدیکتر نشان‌دهنده صحت بالای طبقه‌بندی است. ارزیابی

برای ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده برای تصویر سال ۲۰۱۵ در مجموع ۳۳۱ نقطه با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب مکانی^۲ در منطقه زده شد و سپس

2- Global Positioning System (GPS)

و شش نقشه پتانسیل انتقال یا زیرمدل مذکور در سناریوی ۱ مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۲ نقشه‌ی متغیرهای مورد استفاده در مدل LCM را نشان می‌دهد. بعد از انجام این مرحله، شش نقشه پتانسیل انتقال برای مدل‌سازی نیروی انتقال با استفاده از الگوریتم پرسپترون چند لایه‌ی شبکه‌ی عصبی مصنوعی تهیه شد (Merten & Lambin, 1997). ارتفاع و نزدیکی به جاده نیز عوامل مهمی در تغییرات جنگل در زمین‌های کم‌ارتفاع سوماترا تشخیص داده شدند (Linkie et al., 2004). تمام متغیرهای بالا کمی هستند و برای استفاده از متغیر کیفی پوشش اراضی از روش زیر استفاده شد. نقشه انتقال از کل کاربری‌ها به اراضی کشاورزی و همچنین به مناطق مسکونی تولید و سپس با استفاده از ابزار تغییر شکل احتمال شواهد^۴ و نقشه‌ی پوشش اراضی سال قدیمی‌تر در ورودی مدل، متغیرهای کیفی تولید شدند (Eastman, 2006).

۲-۲-۵. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی تخصیص تغییر هر کاربری با استفاده از زنجیره‌ی مارکف محاسبه شد (Fan et al., 2006). سپس مدل‌سازی برای سال با استفاده از مدل پیش‌بینی سخت و دوره واسنجی ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۵ اجرا شد (Khoi & Murayama, 2010). در پایان برای پیش‌بینی تغییرات پوشش حوزه‌ی آبخیز سد استقلال میناب از نقشه‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۹۵ استفاده شد.

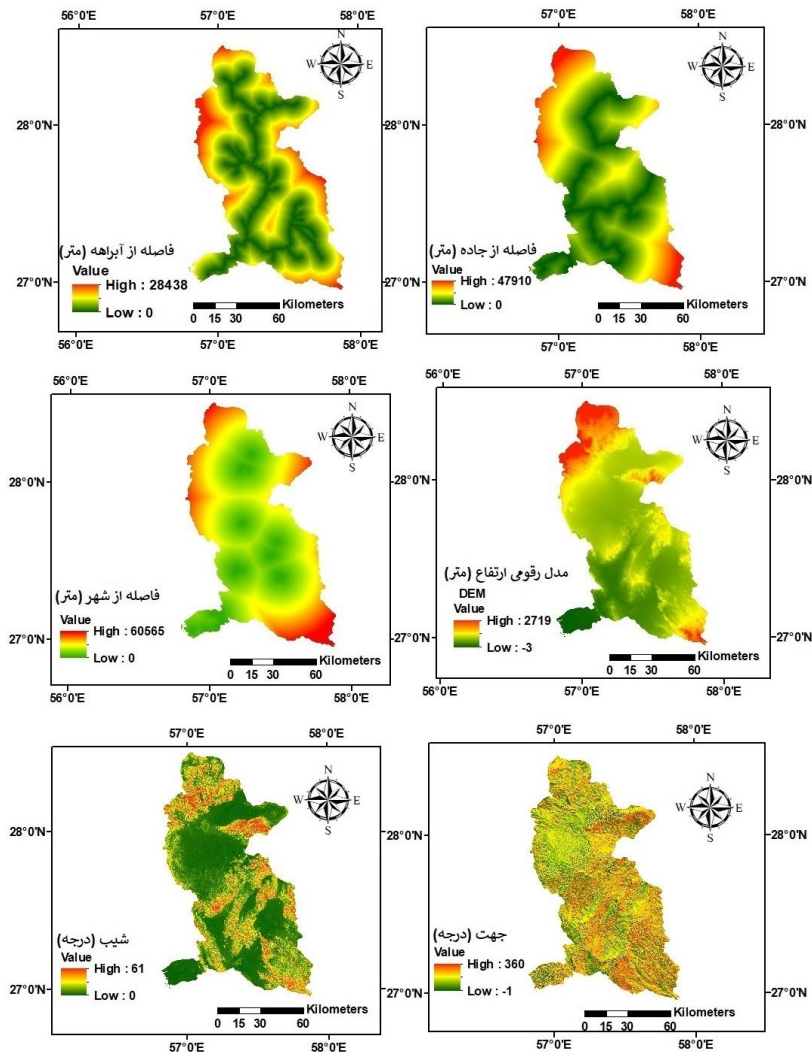
صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۸۲، ۱۳۹۵ با استفاده از تفسیر بصری و نقاط کنترل زمینی که در طول زمان تغییر نکردند، محاسبه شد (Singh and Punia, 2018).

۲-۲-۳. آشکارسازی تغییرات

در این تحقیق نقشه‌های پوشش زمین سال‌های ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۲، ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ و ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۵ برای تجزیه و تحلیل و آشکارسازی تغییرات منطقه وارد مدل LCM شدند. مراحل مدل‌سازی در ۴ مرحله بررسی تغییرات؛ مدل‌سازی نیروی انتقال؛ مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و ارزیابی صحت مدل‌سازی صورت می‌گیرد.

۲-۲-۴. مدل‌سازی نیروی انتقال

در این مرحله از مدل‌سازی، نیروی انتقال از یک کاربری (مثل مرتع) به کاربری دیگر (نظیر زراعت) با توجه به متغیرهای توضیحی^۳ (مثل شیب، نزدیکی به جاده)، صورت می‌گیرد. برای انتخاب زیر مدل‌هایی که بالاترین صحت را داشته باشند، ضروری است که مدل چندین مرتبه با سناریوهای مختلف اجرا شود. سناریوی ۱ طی دوره‌ی ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۱ با شش متغیر (مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شیب، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از مناطق مسکونی و جهت) و همچنین شش نقشه پتانسیل انتقال یا زیر مدل (مرتع به کشاورزی، جنگل به مرتع، جنگل به کشاورزی، مرتع به اراضی مسکونی، مخزن آبی به مرتع و مخزن آبی به کشاورزی) می‌باشد. سناریوی ۲ و سناریوی ۳ نیز طی دوره ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ و ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۵ با شش متغیر



شکل ۲- نقشه‌ی متغیرهای مورد استفاده در مدل LCM

میناب در سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۵ به دست آمد (شکل ۳).

۳-۲. ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی

در جدول ۱ و ۲ صحت نقشه‌های کاربری اراضی تولید شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سال‌های مورد مطالعه ارائه شده است. در جدول ۱ مقادیر کاپا و صحت کلی مدل ارائه گردید. هر چه این ضریب به ۱ نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده توافق بیشتر نقشه تولید شده به مقادیر واقعی و مشاهده شده می‌باشد. در تمامی سال‌ها ضریب کاپا نزدیک به یک بوده که نشان دهنده

۳. نتایج

۳-۱. نتایج حاصل از پیش‌بینی کاربری اراضی با

استفاده از مدل LCM

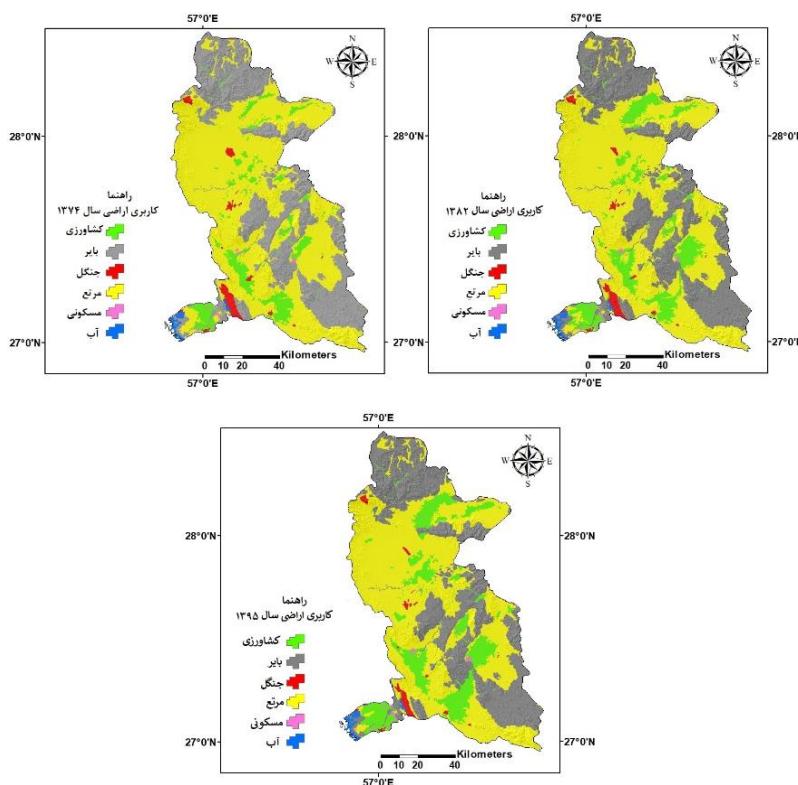
با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ سنجنده- TM (۱۳۷۴)، لندست ۷ سنجنده‌ی ETM+ (۱۳۸۲) و لندست ۸ سنجنده‌ی OLI (۱۳۹۵) و پس از تهیه‌ی کلیه‌ی لایه‌های اطلاعاتی شامل: جنگل، مرتع، کشاورزی، اراضی بایر، اراضی مسکونی و مخزن آبی، نقشه‌های کاربری اراضی حوزه‌ی آبخیز سد استقلال

نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل LCM برای سناریوهای مختلف با استفاده از روش GEOMOD در جدول ۳ ارائه گردیده است. با توجه به جدول فوق، می‌توان بیان داشت با توجه به پارامترهای صحت‌سنجی، سناریوی ۳ (طی دوره واسنجی ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۵) با توجه صحت بالاتر، دارای قابلیت بالایی برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال است. شکل ۴، تغییرات خالص طبقات مختلف کاربری اراضی را برحسب کیلومتر مربع در سناریوی ۳ (دوره واسنجی ۱۳۷۴-۱۳۹۵) نشان می‌دهد که اراضی کشاورزی ۶۲۷/۰۵ کیلومتر مربع افزایش و اراضی مرتعی ۵۸۰/۳۵ کیلومتر مربع کاهش یافته است.

قابل قبول بودن مدل است. همچنین صحت کلی، بین صفر تا ۱۰۰ بوده و هر چه به ۱۰۰ نزدیکتر، نشان‌دهنده دقت نقشه تولید شده بیشتر می‌باشد. نتایج نشان دهنده صحت بالای نقشه‌های تولید شده است. خطای گماشته شده جدول ۲ نشان‌دهنده‌ی مساحت اراضی یک کلاس است که به آن کلاس تعلق ندارد و خطای حذف‌شده نشان‌دهنده‌ی میزان مساحت اراضی یک کلاس است که جزء کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی شده‌اند. چنانچه نتایج نشان می‌دهد در تمامی سالها، اکثر کاربری‌های تهیه شده، دقت کاربر و تولید کننده بالا و خطای حذف شده و گماشته شده پایینی دارند.

۳-۳. ارزیابی صحت نقشه‌های پیش‌بینی شده با

استفاده از روش GEOMOD



شکل ۳- نقشه‌ی کاربری اراضی در سه دوره‌ی زمانی مورد مطالعه

جدول ۱- جدول ارزیابی صحت نقشه های تولید شده با استفاده از آماره کاپا

سال	۱۳۷۴	۱۳۸۲	۱۳۹۵
ضریب کاپا	۰/۷۸	۰/۸۶	۰/۸۳
صحت کلی	%۸۴/۵	%۹۱/۷	%۸۹/۸

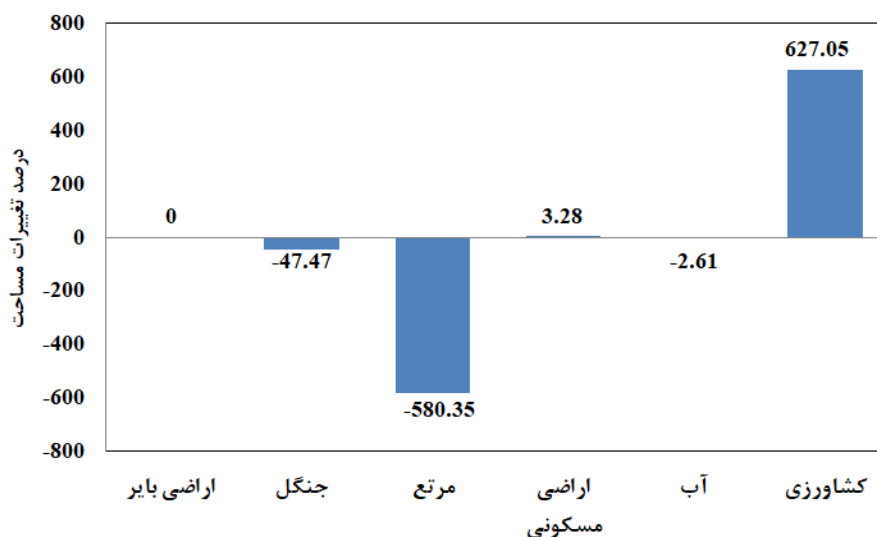
جدول ۲- ارزیابی نتایج کاربری اراضی طبقه بندی شده

سال	نوع کاربری	دقت کاربر	دقت تولیدکننده	خطای گماشته شده	خطای حذف شده
۱۳۷۴	اراضی بایر	۷۹/۲۴	۸۵/۹۵	۲۱/۷۶	۱۴/۰۵
	جنگل	۹۲/۷	۹۴/۳	۰/۲۳	۰/۱
	اراضی مرتع	۸۰/۸۶	۸۶/۴۷	۱۹/۱۴	۱۳/۵۳
	اراضی مسکونی	۹۶/۶۳	۹۰/۱۳	۳/۳۷	۹/۸۷
	کشاورزی	۹۳/۷۵	۸۲/۵۰	۶/۲۵	۱۷/۵۰
	اراضی بایر	۷۹/۹۳	۹۵/۰۴	۲۰/۰۷	۴/۹۶
۱۳۸۲	جنگل	۹۲	۸۹/۶	۰/۷	۱/۲۰
	اراضی مرتع	۸۰/۴۹	۸۵/۲۲	۱۹/۵۱	۱۴/۷۸
	اراضی مسکونی	۹۸/۵۶	۹۱/۹۳	۱/۴۱	۸/۰۷
	کشاورزی	۸۸/۰۱	۹۷/۵۱	۱۱/۹۹	۲/۴۹
	اراضی بایر	۸۶/۶۸	۸۶/۴۱	۱۳/۳۲	۱۳/۵۹
	جنگل	۹۲	۹۹/۲۲	۰/۱	۰/۷۸
۱۳۹۵	اراضی مرتع	۸۳/۵۰	۷۷/۷۴	۱۶/۵۰	۲۲/۲۶
	اراضی مسکونی	۹۰	۸۴/۲۵	۰/۳۰	۱۵/۷۵
	کشاورزی	۸۱/۵۲	۹۰/۸۳	۱۸/۴۸	۹/۱۷

جدول ۳- صحت‌سنجی نتایج در سناریوهای مختلف با استفاده از GEOMOD

پارامترهای	مقادیر		
	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳
صحت سنجی			
N(n)	۰/۱۳۴	۰/۱۱۵	۰/۱۱۱
N(m), H(m)	۰/۳۷۲	۰/۳۵۱	۰/۵۱۴
M(m)	۰/۸۹۳	۰/۹۷۶	۰/۹۸۳
K(m), P(m)	۰/۹۱۴	۰/۹۷۵	۰/۹۸۹
P(p)	۱	۱	۱
Kno	۰/۹۴۶	۰/۹۶۲	۰/۹۸۷
Klocation	۰/۸۹	۰/۹۸۱	۰/۹۸۹
Kstandard	۰/۸۷۴	۰/۹۴۷	۰/۹۸۳

{N(n)}: تطابق ناشی از شانس - {N(m)}: تطابق بین نقشه واقعیت و نقشه مقایسه اصلاح شده در مناطقی که اصلاحات به طور تصادفی برای پیکسل‌های معیوب برای کل نقشه مقایسه انجام شده است - {H(m)}: تطابق بین نقشه واقعیت و نقشه مقایسه اصلاح شده در مناطقی که اصلاحات به طور تصادفی برای پیکسل‌های معیوب برای هر لایه یا کاربری نقشه مقایسه انجام شده است - {M(m)}: تطابق بین پیکس‌هایی می‌باشد که به صورت صحیح طبقه‌بندی شده‌اند و عموماً جهت ارزیابی بین نقشه‌های واقعیت و مقایسه استفاده می‌شود - {K(m)}: تطابق بین نقشه واقعیت و نقشه مقایسه اصلاح شده در مناطقی که اصلاحات به منظور یه حداکثر رساندن تطابق برای پیکسل‌های معیوب برای هر لایه یا کاربری نقشه مقایسه انجام شده است - {P(m)}: تطابق بین نقشه واقعیت و نقشه مقایسه اصلاح شده در مناطقی که اصلاحات به منظور یه حداکثر رساندن تطابق برای پیکسل‌های معیوب برای کل نقشه مقایسه انجام شده است - {P(p)}: تطابق کامل و عالی که نشان دهنده نقشه واقعیت و نقشه مقایسه که به لحاظ مقدار و مکان دارای اطلاعات کاملاً صحیح می‌باشد، بنابراین این پارامتر همیشه برابر ۱ می‌باشد - {Kno}: تطابق کلی - {Klocation}: تطابق ناشی از مکان بین دو کلاس در نقشه‌های واقعیت و مقایسه - {Kstandard}: تطابق ناشی از مقدار بین دو کلاس در نقشه‌های واقعیت و مقایسه



شکل ۴- تغییرات خالص کاربری‌های اراضی در سناریوی ۳ (دوره واسنجی ۱۳۹۵-۱۳۷۴)

۳-۴. مدل سازی پتانسیل انتقال

سال ۱۴۰۹ با استفاده از سناریوی ۳ و زنجیره مارکوف تهیه گردید. نتایج نشان داد کاربری‌ها در منطقه مورد مطالعه دچار تغییرات نسبتاً چشم‌گیری شده‌اند. مساحت هر کاربری در سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۸۲، ۱۳۹۵ و ۱۴۰۹ در شکل ۶ نشان داده شده است. تغییرات حاکی از آن است که، طی سال ۱۴۰۹ نسبت به سال ۱۳۷۴، مساحت اراضی کشاورزی و شهری به ترتیب ۱۰۱۱/۲۸ و ۹/۵۲ کیلومتر مربع افزایش و مساحت اراضی مرتعی و جنگلی و اراضی آبی به ترتیب ۱۰۰۰، ۷۲/۴۵ و ۵/۴۱ کیلومتر مربع کاهش و اراضی بایر (کوه‌ها) بدون تغییر خواهند بود. تخریب اراضی جنگل و مراتع بیش‌تر در راستای تبدیل این اراضی به اراضی کشاورزی، اراضی مسکونی بوده است.

مدل سازی پتانسیل انتقال با استفاده از پروسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. سه عامل خطای آموزش خطای تست و خطای مرحله صحت سنجی، و برای ارزیابی مدل سازی پتانسیل انتقال تعیین شدند (جدول ۴). نتایج در همه زیر مدل‌ها صحت بالایی را نشان داد بطوری که عموماً صحت مدل بین ۶۱ تا ۸۷ درصد است.

۳-۵. پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

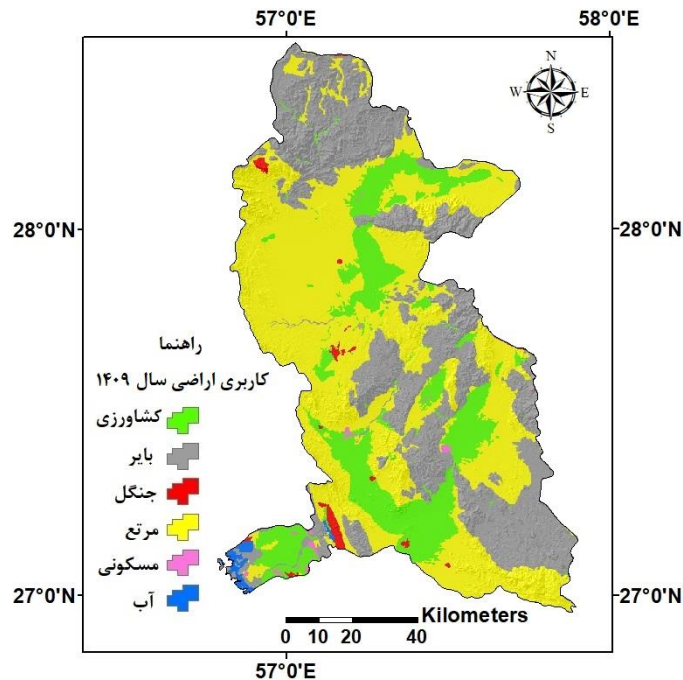
در این مرحله احتمال انتقال به هر کاربری با استفاده از زنجیره مارکوف صورت پذیرفت (جدول ۵). طبق نتایج، حداکثر احتمال انتقال مربوط به تبدیل اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی می‌باشد. پس از تشکیل ماتریس انتقال، نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده مربوط به

جدول ۴- ارزیابی صحت شبکه عصبی مصنوعی

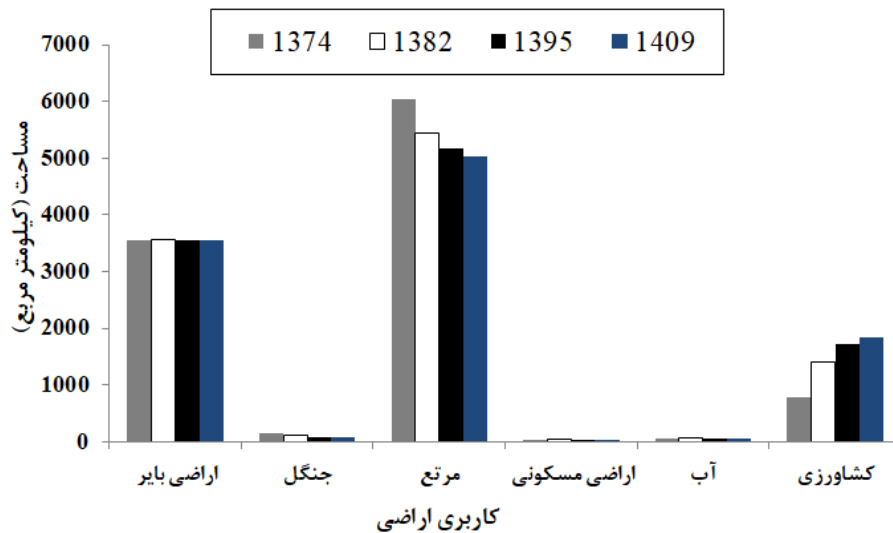
زیر مدل	خطای آموزش	خطای تست	خطای صحت سنجی
مرتع به کشاورزی	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۳۱	۰/۸۷/۹
جنگل به مرتع	۰/۰۱۵	۰/۰۱۷	۰/۶۴/۱
جنگل به کشاورزی	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۴۳	۰/۷۳/۴
مرتع به اراضی مسکونی	۰/۰۰۳۵۶	۰/۰۰۳۶۱	۰/۸۵/۸۱
آب به مرتع	۰/۰۲۳	۰/۰۲۴	۰/۷۵/۲
آب به کشاورزی	۰/۰۱	۰/۰۱۴	۰/۶۱/۳

جدول ۵- ماتریس احتمالات انتقال محاسبه شده با استفاده از زنجیره مارکوف برای سناریوی ۳

۱۳۹۵						
کشاورزی	آب	مسکونی	مرتع	جنگل	اراضی بایر	۱۳۷۴
۰	۰	۰	۰	۰	۱	اراضی بایر
۰/۰۲	۰	۰	۰/۱۲۱	۰/۸۵۹	۰	جنگل
۰/۲۲	۰	۰/۰۱	۰/۷۷	۰	۰	مرتع
۰	۰	۱	۰	۰	۰	اراضی مسکونی
۰/۰۰۰۶	۹۹/۸۷	۰	۰/۰۰۱۶	۰	۰	مخزن آبی
۱	۰	۰	۰	۰	۰	کشاورزی



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده مربوط به سال ۱۴۰۹ (با استفاده از سناریو ۳)



شکل ۶- مساحت طبقات مختلف کاربری اراضی در سال‌های مختلف

کاربری به دست آمده از ضریب کاپا استفاده شد نتایج نشان داد، هر سه نقشه کاربری تهیه شده دارای دقت بالایی بوده‌اند به طوری که در سال ۱۳۹۵ مقدار آن ۰/۸۳ بوده است. بسیاری محققین از جمله Falahatkar و همکاران (۲۰۱۶) و Kavian و

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش روند تغییرات کاربری اراضی طی ۲۲ سال با استفاده از تصاویر سه سنجنده‌ی TM، ETM+ و OLI و با استفاده از روش حداکثر احتمال مورد بررسی قرار گرفت. به منظور ارزیابی دقت نقشه‌های

همکاران (۲۰۱۷) نیز صحت روش حداکثر احتمال را در تهیه نقشه کاربری تأیید می‌نمایند. به عقیده Kavian و همکاران (۲۰۱۷) هر قدر تعداد نمونه‌های تعلیمی و بازدیدهای میدانی بیشتر باشد، دقت نقشه‌های تولید شده افزایش می‌یابد. تغییرات خالص کاربری‌های اراضی در سناریوی ۳ (۱۳۷۴ تا ۱۳۹۵) نشان داد، از میان شش طبقه کاربری جنگل، مرتع، اراضی کشاورزی، اراضی مسکونی، اراضی بایر و مخازن آبی، بیش‌ترین افزایش مساحت مربوط به اراضی کشاورزی با ۶۲۷/۰۵ کیلومتر مربع و بیش‌ترین کاهش مساحت مربوط به اراضی مرتعی (۵۸۰/۳۵ کیلومتر مربع) بوده است. تخریب اراضی مرتعی بیشتر در راستای تبدیل این اراضی به اراضی کشاورزی و اراضی مسکونی بوده است. لذا توسعه اراضی کشاورزی طی ۲۲ سال می‌تواند به دلیل استفاده بیرویه و بدون برنامه‌ریزی از اراضی مرتعی و تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی باشد. نتایج Nateghi و همکاران (۲۰۱۶) و Kavian و همکاران (۲۰۱۷) در سواحل قشم و مازندران، نشان‌دهنده سیر تغییرات گسترده اراضی از مرتع و جنگل به اراضی کشاورزی و مسکونی است. افزایش جمعیت و به تبع آن نیاز به توسعه اراضی مسکونی و کشاورزی و نیل به توسعه افسارگسیخته بدون توجه به توسعه پایدار طی چهاردهه گذشته، صدمات جبران ناپذیری به اکوسیستم مراتع و جنگل‌ها در ایران وارد نموده است.

نتایج حاصل از نقشه شبیه‌سازی شده کاربری ۱۵ سال آینده با استفاده از مدل LCM نشان داد که در دوره‌ی زمانی مورد مطالعه (۱۳۷۴ - ۱۴۰۹) مساحت اراضی کشاورزی ۱۰۱۱۲۸ کیلومتر مربع افزایش داشته و از

۷/۳۶٪ به ۱۶/۹٪ رسیده است. اما مساحت اراضی مرتعی ۱۰۰۰ کیلومتر مربع کاهش و از ۵۶/۸٪ به ۴۷/۴٪ رسیده است. در صورت ادامه روند کنونی تا سال ۱۴۰۹ کاهش سطح اراضی مرتعی و تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی جهت افزایش بهره‌وری از اراضی، اتفاق خواهد افتاد. سیر نزولی مساحت اراضی طبیعی و افزایش اراضی کشاورزی در بسیاری از نقاط ایران توسط Nateghi و همکاران (۲۰۱۶)؛ Falahatkar و همکاران (۲۰۱۶)؛ Kavian و همکاران (۲۰۱۷) و Ildermi و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شده است. گسترش اراضی فاقد پوشش گیاهی، مسکونی و اراضی زراعی در منطقه مورد مطالعه سبب افزایش فشار بر اراضی طبیعی از قبیل اراضی جنگلی و مرتعی و شرایط تخریب هرچه بیش‌تر آنها را فراهم می‌آورد. هم‌چنین تغییرات فیزیکی در ساختار اکولوژیکی منطقه‌ی مورد مطالعه که در طی دوره‌ی مورد مطالعه اتفاق افتاده است می‌تواند اثرات مهمی را در عملکرد اکولوژیکی و به طور خاص در شرایط انرژی طبیعی و زنجیره‌ی غذایی منطقه و به طور مهم‌تر در تنوع زیستی منطقه داشته باشد. آنالیز کاربری‌های اراضی و مدل‌سازی انتقال آن‌ها، پارامترهای مهمی برای مطالعات اکولوژیکی، زیست محیطی و اقتصادی-اجتماعی به منظور تعیین مؤلفه‌های اصلی ساختارهای اکولوژیکی و کاربری اراضی و هم‌چنین جهت دستیابی به پیچیدگی‌های مکانی و دیگر ویژگی‌های کاربری اراضی یک منطقه هستند. نتایج تحقیق حاضر، می‌تواند اصول و پایه‌ی گزینه‌های مقایسه‌ی سناریوهای کاربری‌های مختلف را در دوره‌ی های مختلف را فراهم کند داده و داده‌های کمی مناسبی را از حدود گستره‌ی کاربری‌های مختلف طی دوره‌های

طبیعی یک منطقه از پیش شرط‌های رسیدن به چشم-اندازها و اسناد بالادستی از جمله طرح توسعه‌ی پایدار می‌باشد.

مختلف گذشته، حال و آینده را در اختیار متولیان امر قرار دهد. بنابراین ایجاد شرایط پایدار در منطقه و مدل-سازی آن به منظور استفاده منظم و پایدار از منابع

References

- Eastman, J. R. 2006. IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
- Fan, F., Y., Wang, Z., Wang. 2008. Temporal and spatial change detecting (1998–2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl River Delta (China) by using TM and ETM+ images. *Environmental Monitoring Assessment* 137 (1-3): 127-147.
- Falahatkar, S., Hoseini, M., Mahini, M., Ayubi, S.H., 2016. Prediction of Land Use Change Using the LCM Model. *Environmental research*. 7(13): 163-174. (in persian)
- Jain, R. K., Jain, K., & Ali, S. R. 2017. Modeling Urban Land Cover Growth Dynamics Based on Land Change Modeler (LCM) Using Remote Sensing: A Case Study of Gurgaon, India. *Advances in Computational Sciences and Technology*, 10(10): 2947-2961.
- Ildermi, A., Nouri, H., Naderi, M., Aghabeigi, S., Zaini Wand, H., 2017. Forecasting Land Use Change Using Markov Chain Model and CA Markov (Case Study: Green Watershed). *Watershed Management Research*. 8 (16): 232-240. (in persian)
- Khoi, D.D., Y., Murayama. 2010. Forecasting Areas Vulnerable to Forest Conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam. *Remote Sensing*. 2 (5): 1249–1272.
- Linkie, M., R.J., Smith, N., Leader-Williams. 2004. Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra. *Biodiversity and Conservation*, 13 (10): 1809-1818
- Merten, B., E.F., Lambin. 1997. Spatial modeling of tropical deforestation in southern Cameroon: spatial disaggregation of diverse deforestation processes. *Applied Geography*, 17 (2): 143-162.
- Mehni, M., Bazrafshan, O., 2017. Analysis of temporal and spatial variations in the quantity and quality of groundwater resources during the last three decades in the plain of Minab. *Journal of Watershed Extension and Development*, 5(18): 51-68. (in persian)
- Nateghi, S., Nohegar, A., Ehsani, A.H., Bazrafshan, O., 2016. Land use monitoring of coastal deserts using the analytical technique of changes during the years 2002-2015 (Case study: Qeshm Island). *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 23(2): 404-416. (in persian)
- Pérez-Vega, A., Mas, J. F., & Ligmann-Zielinska, A. 2012. Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest. *Environmental Modelling & Software*, 29(1): 11-23.
- Singh, N., & Punia, M. 2018. Geospatial Approach for Land Use/Land Cover Change Prediction: A case study of Bhagirathi Basin, Uttarakhand, INDIA. In 42nd COSPAR Scientific Assembly (Vol. 42).
- Thapa, R. B., & Murayama, Y. 2011. Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal. *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(1): 25-34.