

Predicting Land Use and Land Cover Changes on Sand Dunes Expansion Using CA-Markov Model (Case Study: Southeastern Coastal Desert of Iran)

H. Petrosians¹, A. A. Nazari Samani^{2*}, A. Danesh Kar³, N. Mashhadi⁴

1. Ph.D. Student of Environmental Sciences, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Department of Arid and Mountainous Region Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.
3. Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran.
4. Assistant Professor, International Desert Research Center, University of Tehran, Iran.

* Corresponding Author: aknazari@ut.ac.ir

Received date: 03/03/2021

Accepted date: 23/05/2021



[10.22034/JDMAL.2021.244527](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.244527)

Abstract

Due to the intense and unprincipled changes in land use, it is necessary to detect land cover/use change over time using satellite imageries for sustainable land management. This study aims to monitor land use and land cover changes, model and predict their status in the next 15 years in Jagin plain, Jask coastal desert. In this study, Landsat satellite images of 1987, 2003 and 2018 were used to detect changes. After applying geometric and atmospheric corrections on the images, land use maps of each year at 11 land use /land cover classes including farmlands, aquaculture, erg, halophyte, mangrove, habitable zones, nebka, vegetation affected by water flow vegetation (rangeland), bare lands, were prepared using hybrid classification method. The Markov chain forecasting model was used to validate the model in the first stage, and was used in the second stage to predict land cover/land change in 2033. Comparison of the simulated map of 2018 and the real map with the Kappa coefficient of 83% confirmed the capability of the Cellular Automata Markov Chain in predicting of land cover/land changes. According to the results, in 2032, agriculture lands in the region will have an upward trend and grow by 74% compared to 2018. Habitable zones, marine access network and aquaculture lands will also increase during the study period. In the study area, vegetation and riverbed vegetation areas show a downward trend and will mainly converted to agricultural lands. Sand dunes, which are among the main threats to people and mangrove forests, will be extended by 2032, threatening the southern part of Sorgham village and the eastern part of the mangrove forest.

Keywords: Change Detection; Landsat; Landuse/cover, CA Markov chain; Makran





پیش‌بینی تأثیر تغییر کاربری و پوشش اراضی بر گسترش تپه‌های ماسه‌ای در بیابان‌های ساحلی جنوب شرق ایران با استفاده از مدل CA-Markov

هستی پطروسیانس^۱، علی اکبر نظری سامانی^{۲*}، افشین دانه کار^۳، ناصر مشهدی^۴

۱. دانشجوی دکتری محیط زیست - آمایش سرزمین، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران.
 ۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران.
 ۳. استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران.
 ۴. استادیار مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران، ایران.
- * نویسنده مسئول: aknazari@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۲

doi: [10.22034/JDMAL.2021.244527](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2021.244527)

چکیده

با توجه به تغییرات گسترده و غیراصولی کاربری اراضی، آشکارسازی تغییرات پوشش سرزمین و کاربری اراضی در طول دوره‌های زمانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، برای مدیریت پایدار منابع طبیعی، امری ضروری است. پژوهش حاضر با هدف پایش تغییرات کاربری اراضی، مدل‌سازی و پیش‌بینی وضعیت آن‌ها در ۱۵ سال آینده در سواحل بیابانی جاسک (دریای عمان) انجام شد. به‌منظور آشکارسازی تغییرها از تصاویر ماهواره لندست سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۷ استفاده شد. پس از انجام تصحیح‌های هندسی و جوی بر روی تصاویر، نقشه کاربری مربوط به هر سال در قالب ۱۱ واحد کاربری و پوشش اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی ترکیبی تهیه شد. مدل‌سازی تغییر کاربری با به‌کارگیری مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف در مرحله اول برای صحت‌سنجی مدل و در مرحله دوم برای پیش‌بینی کاربری اراضی در سال ۱۴۱۲ انجام شد. ارزیابی مقدار تطابق نقشه شبیه‌سازی شده سال ۱۳۹۷ و نقشه واقعی با ضریب کاپای ۰/۸۳ نشان داد مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف، مدلی مناسب برای پیش‌بینی تغییرپذیری کاربری اراضی است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مشابه با روند تغییرات ۳۰ سال اخیر، در سال ۱۴۱۲ کشاورزی در منطقه روندی صعودی خواهد داشت و نسبت به سال ۱۳۹۷ رشد ۷۴٪ خواهد داشت. مساحت سکونتگاه‌ها، شبکه دسترسی دریایی و کاربری آبی‌پروری نیز در این دوره افزایش خواهد یافت. در سال ۱۴۱۲، مساحت پوشش مرتعی و پوشش گیاهی موجود در بستر رودخانه دارای روند کاهشی و بیشتر به سمت تبدیل به زمین‌های کشاورزی خواهد بود. مساحت تپه‌های ماسه‌ای در سال ۱۴۱۲، ۳۳/۴٪ افزایش خواهد یافت. این افزایش موجب خواهد شد که بخش جنوبی روستای سورگلم و بخش شرقی جنگل‌های مانگرو در معرض حرکت و جابه‌جایی ماسه‌های روان، آسیب ببینند. نتایج این پژوهش نشان دهنده آن است که در صورتی که روند توسعه و تغییر کاربری/پوشش اراضی همانند ۳۰ سال قبل باشد، مناطق زیادی در معرض تهدید و آسیب حرکت ماسه‌های روان قرار خواهند گرفت و برای کنترل و مدیریت آن لازم است تا اقدامات لازم مورد توجه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: آشکارسازی تغییرات؛ لندست؛ پوشش/کاربری اراضی؛ سلول‌های خودکار؛ مکران



■ مقدمه

افزایش سریع جمعیت جهان و افزایش فعالیت‌های انسانی، بسیاری از کشورهای جهان را با تغییرات سریع و گسترده در استفاده از زمین روبرو کرده است. این تغییرات غیر اصولی، به تغییر الگوهای سیمای سرزمین و تأثیرهای منفی بر محیط‌زیست منجر می‌شود و تعادل طبیعت را به طور مستقیم و غیرمستقیم تهدید می‌کند (۷). بروز مخاطرات بوم شناختی چون بیابان‌زایی، فرسایش خاک، کاهش شدید منابع جنگلی و کاهش تنوع زیستی از دیگر پیامدهای استفاده نادرست و غیر اصولی از زمین است (۴۸). تغییرات اراضی در کشورهای در حال توسعه، به دلیل فشار بیشتر افزایش جمعیت و تلاش برای استخراج حداکثر میزان تولید از منابع موجود، نسبت به سایر کشورها مخرب‌تر می‌باشد و بر سطح زمین تأثیرات بیشتری دارد (۱۳). نظارت بر این تغییرات محیطی، یک جز اصلی برای مدیریت پایدار منابع طبیعی است و نشان دهنده نحوه تعاملات انسان با محیط است که می‌تواند در استفاده اصولی از منابع طبیعی رهگشا باشد (۳). تجزیه و تحلیل تغییرات محیطی شامل برآورد کمی در میزان افزایش یا کاهش نوع معینی از کاربری و پوشش زمین در یک مکان خاص است (۳۷). این امر مبتنی بر مقایسه داده‌های موجود و تاریخی است، که از طریق مقایسه داده‌های زمینی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از تکنیک‌های یکپارچه از سنجش از دور و GIS امکان‌پذیر است (۳۱، ۴۹).

آگاهی از مکان و سرعت تغییرات در کاربری‌ها، می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در پیش‌بینی توزیع مکانی تغییرات آتی کاربری‌ها در مناطق مختلف کمک کند (۱۱، ۲۸). به علاوه مدل‌سازی روند تغییرهای شناسایی شده و پیش‌بینی الگوی زمین، ابزار مهمی در بهینه‌سازی کاربری اراضی در بلند مدت است و امکان برآورد سناریوهای آینده را ممکن می‌سازد (۱۷). مدل‌های پیش‌بینی در انتخاب مناطق با اولویت حفاظت، تنظیم اقدامات مدیریتی و شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه، تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم نیز، کاربرد دارد (۲۳).

رویکردها و فن‌آوری‌های زیادی تاکنون برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین استفاده شده است. مدل‌های ریاضی مانند مدل‌های خطی و استاتیک، مدل‌های آماری مانند مدل‌های رگرسیون لجستیک، مدل‌های سلولی مانند مدل‌های خودکار سلولی^۱، زنجیره مارکوف^۲، مدل‌های پیشرفته شبکه‌های عصبی و مدل‌سازی با استفاده از رویکرد عامل مبنا از جمله روش‌های مدل‌سازی و پیش‌بینی کاربری اراضی است (۱۳). از بین روش‌های معرفی شده، پرکاربردترین روش مدل خودکار سلولی زنجیره مارکوف است، این مدل به دلیل رویکرد از پایین به بالا، مدل‌سازی با دقت بالا و انعطاف‌پذیری به طور مکرر در پیش‌بینی استفاده آینده از زمین و تغییر پوشش زمین استفاده شده است (۳۳). در این روش مدل تحلیل زنجیره مارکوف که یک رویکرد مدل‌سازی تصادفی و بر پایه ماتریس تغییرات است و مدل خودکار سلولی که بر پایه روابط مکانی است، همزمان به کار گرفته می‌شوند. مدل مارکوف با استفاده از توسعه یک ماتریس احتمال، انتقال تغییرات کاربری زمین از زمان ۱ به زمان ۲ را نشان می‌دهد که به عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی دوره‌های زمانی آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت. در این روش حالت بعدی فقط به حالت فعلی بستگی دارد و پارامتر مکانی را در پیش‌بینی در نظر نمی‌گیرد (۳۴). به همین منظور این روش معمولاً با روش‌های مکانی همچون روش سلول‌های خودکار تلفیق می‌شود. در مدل سلول‌های خودکار، فضا به صورت یک شبکه تعریف می‌شود که به هر خانه آن یک سلول گفته می‌شود. سلول‌ها در روش خودکار سلولی در زمان‌های گسسته به طور همزمان و بر طبق یک قانون محلی به هنگام می‌شوند. این روش در پژوهش‌های بسیاری برای پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی مورد توجه بوده است. از جمله پژوهشی که به پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز گرین برای سال ۲۰۴۲ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ پرداخت. در این پژوهش بر قابلیت مدل مارکوف و سلول‌های خودکار در پیش‌بینی تغییرات

1 Cellular Automata

2 Markov Chain

تغییرات کاربری اراضی در این منطقه مسلماً گام مهمی در مهار و کنترل تغییرات غیر اصولی و استفاده بهینه از منابع سرزمین است. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در راستای اخذ اقدامات مدیریتی مناسب کمک کند.

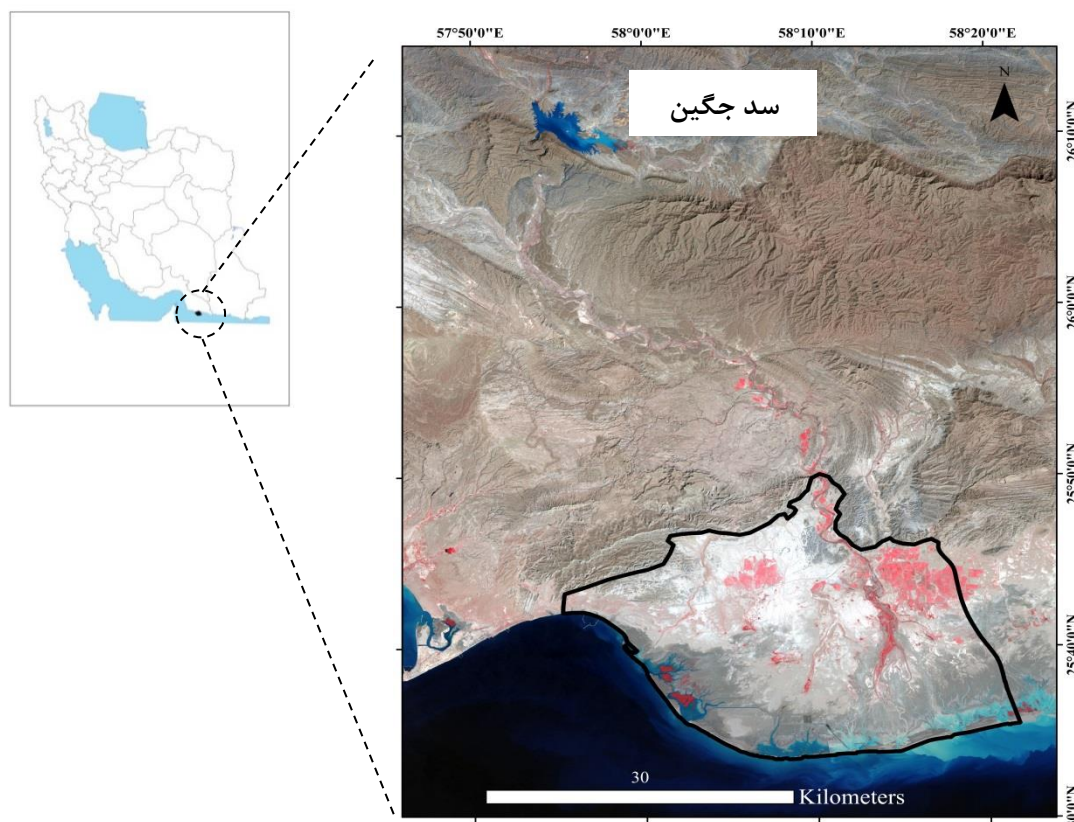
■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه حوزه آبخیز دلتای جگین در سواحل بیابانی دریای عمان در استان هرمزگان واقع شده و براساس حوزه‌های آبخیز بلافصل ساحل، کانون‌های شناسایی شده فرسایش‌بادی، موقعیت منطقه حفاظت شده گابریک و روستاهای در معرض تهدید هجوم ماسه‌های روان و مرزهای مدیریتی سواحل سازمان بنادر و دریانوردی (۴۰)، مرزبندی شده است (شکل ۱). مساحت این محدوده ۷۷۷۱۳ ha است که در امتدادی برابر با ۴۳ km با آب‌های دریای عمان در تماس است. تا کنون گزارش هجوم ماسه‌های روان به روستاهای یک‌دار و سورگلم، که در محدوده مورد مطالعه قرار دارند، طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ به صورت مکرر گزارش شده است. منطقه حفاظت شده گابریک و جاسک در برگیرنده ۳۵۵ km² رویشگاه مانگرو از اجتماع درختان حرا است که از سال ۱۳۹۱ به صورت چند لکه جدا از هم در حوزه شهر جاسک و شرق آن شناسایی شده است (۴۶). از این مقدار ۲۴۰ km² آن در منطقه مورد مطالعه قرار دارد. در بالادست منطقه مورد بررسی، سد جگین به عنوان اولین سد بتنی غلطکی قرار دارد؛ این سد بر روی رودخانه جگین در محلی موسوم به تنگه دهنه مرنگ قرار گرفته است. عملیات اجرایی ساخت سد جگین در سال ۱۳۸۰ آغاز شد. این سد در سال ۱۳۸۴ آگیری و در سال ۱۳۸۵ به بهره‌برداری رسیده است. رودخانه جگین که سد جگین بر روی آن واقع است رودخانه‌ای فصلی و بزرگ در جلگه ساحلی است که سرشاخه‌های آن از کوه‌های بشاگرد سرچشمه می‌گیرد. شیب آبراهه از شمال به جنوب کاهش می‌یابد.

کاربری اراضی و اهمیت نتایج در جهت مدیریت درست حوزه‌های آبخیز تأکید شد (۲۲). نتایج استفاده از این مدل ترکیبی برای پیش‌بینی پوشش زمین در کشور پرتغال نشان داد، روش سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف دارای صحتی قابل قبول برای پیش‌بینی اراضی طبیعی و انسان ساخت است و می‌تواند در راستای توسعه پایدار موثر باشد (۱۰). در پژوهشی دیگر از این مدل برای ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات مکانی - زمانی بیوسفر ارسباران برای سال ۲۰۳۷ در سه کاربری کشاورزی، جنگل و زمین‌های بایر استفاده شد. میزان تطابق نقشه شبیه‌سازی شده و نقشه واقعی نشان داد که مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف یک ابزار قوی و ارزان برای برنامه‌ریزی کاربری زمین است (۵). در پژوهشی دیگر مدل زنجیره مارکوف جهت پایش و پیش‌بینی روند تغییرات پهنه‌های ماسه‌ای، به عنوان مدلی با دقت قابل قبول برای پیش‌بینی مناطق در معرض تهدید حرکت ماسه‌های روان استفاده شد (۲۶).

اگر چه ارزیابی تغییرات کاربری/پوشش زمین فایده‌های محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی مهمی را ارائه می‌دهد، با این حال، چنین مطالعاتی در پهنه ساحلی در منطقه جاسک تا دشت جگین با وجود توسعه بسیار زیاد در این منطقه، انجام نشده است. اهمیت این موضوع با توجه به تحولات دهه گذشته در منطقه مورد پژوهش، از جمله احداث سد جگین بر بالادست رودخانه موجود در منطقه و حرکت و هجوم ماسه‌های روان و تهدید تعداد زیادی از سکونتگاه‌های روستایی منطقه و جنگل‌های مانگرو منطقه دو چندان است (۷). پژوهش حاضر با هدف بررسی مقدار و روند تخریب منابع طبیعی در سال‌های گذشته، پیش‌بینی این تغییرات در سال‌های آینده و ارزیابی توانایی مدل ترکیبی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار برای پیش‌بینی پوشش زمین در جلگه جگین به عنوان یک پهنه ساحلی با پیچیدگی‌های منحصر به فرد انجام شد. منطقه مورد بررسی در سال‌های گذشته به دلیل طرح توسعه مکران تحت تأثیر شدید فعالیت‌های انسانی بسیاری بوده است، لذا پیش‌بینی روند



شکل ۱. محدوده مورد بررسی واقع در دلتای رودخانه جگین

روش پژوهش

داده‌های مورد استفاده

مطابق جدول ۱ در پژوهش حاضر برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از سه دوره تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. تصویرها از پایگاه رسمی سازمان زمین شناسی آمریکا^۱ تهیه شد.

پیش پردازش تصاویر

به منظور تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای تعداد ۱۳ نقطه کنترل زمینی از تصویر پایه منطقه، تصویر سال ۱۳۶۶، انتخاب شد. در انتخاب نقاط به پراکنش مناسب نقاط کنترل توجه شد و از اراضی مختلف غیر طبیعی که در طول زمان تقریباً ثابت می‌مانند، استفاده شد. برای

تبدیل مختصات تصویر تصحیح شده به تصویر تصحیح نشده از تابع چند جمله‌ای درجه سوم استفاده گردید و برای نمونه گیری مجدد ارزش پیکسل‌های تصویر تصحیح نشده از روش نزدیکترین همسایه استفاده شد (۲). به منظور تصحیح اتمسفری تصاویر از الگوریتم FLAASH^۲ استفاده شد. این الگوریتم از مدل اتمسفری MODTRAN4^۳ برای تصحیح اتمسفری استفاده می‌کند که اطلاعاتی جانبی مانند موقعیت جغرافیایی، زمان عبور ماهواره، ارتفاع سنجنده، زاویه تابش خورشید و مدل اتمسفری منطقه را بکار می‌برد (۱۸، ۲۵).

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش حاضر

نام ماهواره	سنجنده	تعداد باند	قدرت تفکیک (m)	تاریخ میلادی
لندست ۵	TM	۵	۳۰	۱۹۸۷/۸/۳۰
لندست ۵	TM	۵	۳۰	۲۰۰۳/۷/۱۷
لندست ۸	OLI	۸	۳۰	۲۰۱۸/۰۷/۲۵

طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر ماهواره‌ای

2 Fast Line of sight of Atmospheric Analysis of Hyper cubes
3 MODerate resolution atmospheric TRANsmision

1 USGS

در این گام، نقشه‌های طبقه‌بندی شده‌ی حاصل از گام قبل، با استفاده از روش تفسیر بصری یا چشمی به وسیله داده‌های کمکی بازبینی شد. این روش به ویژه در مورد کاربری‌هایی که امکان تفکیک دقیق آن‌ها از روی تصاویر ماهواره‌ای وجود ندارد بسیار دقیق عمل می‌کند (۴، ۲۰). در این راستا تنها سری عکس‌های هوایی موجود در سازمان نقشه برداری که مربوط به سال ۱۳۷۱ است از سازمان نقشه برداری کشور تهیه شد و در کنار آن از گوگل ارث و نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه نیز استفاده، و مرزهای تمامی طبقه‌ها بازبینی شد. در بازدید میدانی به عمل آمده و با استفاده از اطلاعات مردم محلی نقشه طبقات کاربری‌ها بهبود یافت. نام‌گذاری طبقات کاربری بر اساس سیستم Anderson و همکاران (۶) انجام شد.

ارزیابی صحت طبقه‌بندی

برای اطمینان از صحت طبقه‌بندی اقدام به ارزیابی دقت طبقه‌بندی با روش کاپا و حداکثر احتمال شد (۸). ضریب کاپا با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (۱۵).

$$Kappa = \frac{P_i - P_c}{1 - P_c} \quad (1)$$

P_i درستی مشاهده شده و P_c توافق مورد انتظار است. حالت ایده آل برای مقدار ضریب کاپا عدد یک است و چنانچه این مقدار برابر صفر باشد طبقه بندی کاملاً تصادفی و اگر مقدار منفی به دست بیاید نشان دهنده خطا در طبقه‌بندی است (۱۲).

صحت کل نسبت پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده بر تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده است که از رابطه ۲ محاسبه شد (۹).

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (2)$$

در این رابطه OA دقت کل، N معرف تعداد کل پیکسل‌های آموزشی و $\sum P_{ii}$ جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا است.

در پژوهش حاضر، پس از انتخاب بهترین ترکیب رنگی با استفاده از شاخص مطلوبیت^۱ (۲۱)، برای تهیه نقشه کاربری اراضی از الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر تشابه^۲ استفاده شد. این روش از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده یکی از کاراترین روش‌ها برای طبقه‌بندی پوشش‌ها محسوب می‌شود (۲۹). به منظور طبقه‌بندی تصاویر ماهواره انتخاب نمونه‌های تعلیمی یا آموزشی ضروری است. برای این کار، از هر سه تصویر، تصویر رنگی کاذب تهیه شد و سپس به روش طبقه‌بندی نظارت نشده هر سه تصویر مذکور طبقه‌بندی شدند. طبقه‌بندی نظارت نشده، تعداد دسته‌های بازتابشی هر کاربری را نشان می‌دهد، به عبارت دیگر، بازتابش‌های مختلف از یک کاربری یا کاربری‌های مختلف را بازگو می‌کند. این مسله به تعیین محل انتخاب نمونه‌های تعلیمی کمک شایانی می‌کند (۳۶).

در ادامه با استفاده از نقشه به دست آمده از طبقه‌بندی نظارت نشده به عنوان الگوی اولیه از طبقات مختلف کاربری اراضی، و بازدید میدانی انجام شده در مرداد ۱۳۹۷، نمونه‌های آموزشی بر روی هر یک از تصاویر ماهواره‌ای تعیین، و به نرم‌افزار معرفی شدند. در انتخاب نمونه‌های آموزشی پراکندگی مناطق برداشت نمونه در همه تصاویر باید رعایت شود. نمونه‌های آموزشی طبقه‌های کاربری/پوشش اراضی باید معرف آن طبقه باشند، بنابراین تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیشتری استفاده شود تا تغییرهای گوناگون ویژگی‌های طیفی را نشان دهد. همچنین باید نحوه انتخاب نمونه‌های تعلیمی به نحوی باشد که هر نمونه تنها پیکسل‌های یک کاربری خاص را در برگیرد و آمیخته‌ای از چندین کاربری نباشند (۱۷). برای بهبود نتایج حاصل از طبقه‌بندی و به منظور از بین رفتن پیکسل‌های منفرد و یا چندضلعی‌های کوچک، با بیشینه مساحت برابر با ۸ پیکسل، در نقشه طبقه‌بندی شده، فیلتر اکثریت با ابعاد ۳×۳ به کار گرفته شد (۱۴، ۴۲).

تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای

مدل زنجیره مارکوف

1 Optimum Index Factor
2 Maximum Likelihood

بعدی و سه بعدی به وجود می‌آید. براساس قوانین انتقال، وضعیت پیشین سلول و شرایط همسایه های آن سلول، وضعیت آن سلول را در آینده مشخص می‌کند (۴۲).

مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف

این مدل، ترکیبی از روش خودکار سلولی، زنجیره مارکوف و روش چند منظوره تخصیص زمین است^۱ (۳۹). در این مدل سعی بر این است که با ترکیب روش‌های مذکور، هم روابط مکانی و هم گذشته در پیش‌بینی لحاظ گردد (۴۹). در پژوهش حاضر برای ایجاد سناریوی پیش‌بینی برای سال ۱۴۱۲، مدل مارکوف بر روی نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۹۷ اجرا شد. سپس ماتریس احتمال انتقال برای ۱۵ سال آینده با خطای ۰/۱۵٪ محاسبه شد. با استفاده از مساحت انتقال یافته و تصاویر احتمال شرطی به دست آمده، مدل تغییرات کاربری اراضی سال ۱۴۱۲ اجرا شد. به منظور بررسی دقت پیش‌بینی توسط مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف، با بهره‌گیری از نقشه کاربری سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۲، نقشه سال ۱۳۹۷ توسط مدل، پیش‌بینی و نتایج با نقشه حاصل از طبقه‌بندی ترکیبی مقایسه شد. ترتیب و مراحل انجام پژوهش در نمودار جریان‌ی ۱ نشان داده شده است.

■ نتایج

پس از انجام تصحیح‌های هندسی و رادیومتریک، به منظور استخراج هر چه کاملتر اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای، بهترین ترکیب رنگی با استفاده از شاخص مطلوبیت شناسایی شد. بهترین ترکیب رنگی کاذب برای سال ۱۳۶۶، ترکیب باندهای شماره یک، چهار و پنج و برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۷ ترکیب باندهای سه، چهار و پنج انتخاب شدند.

تعیین طبقه‌های مختلف نقشه‌های کاربری اراضی

بر اساس نتایج نقشه طبقات کاربری اراضی با روش نظارت شده، قادر به شناسایی و تفکیک طبقه‌های تپه‌های ماسه‌ای، نیکا، مانگرو، هالوفیت و پوشش گیاهی متأثر از جریان آب، به دلیل تشابه بازتاب (۴۵)، نبود.

مدل زنجیره مارکوف از مجموعه‌ای مقادیر احتمال تشکیل شده است که احتمال تبدیل کاربری‌ها به هم را در یک فاصله زمانی، وابسته به مقادیر تغییر در گذشته نشان می‌دهد. پیش‌بینی تغییر کاربری اراضی در مدل مارکوف، بر اساس احتمال شرطی، با استفاده از رابطه ۳ در نرم‌افزار محاسبه شد. در احتمال شرطی، احتمال هر پیشامد، با شرطی کردن آن نسبت به رخداد یا عدم رخداد یک پیشامد دیگر تعیین می‌شود (۲۲).

$$S(t+1) = pij * s(t) \quad (3)$$

$S(t)$ و $S(t+1)$ به ترتیب حالت‌های شبکه در زمان‌های t و $t+1$ هستند، و pij ماتریس احتمال انتقال است. ماتریس احتمال انتقال، بیان کننده احتمال تغییر وضعیت از حالت i به حالت j در یک دوره زمانی است. ردیف‌ها، نشان‌دهنده حالت اولیه i و ستون‌ها، نشان‌دهنده حالت ثانویه j هستند. ماتریس احتمال انتقال از رابطه ۴ محاسبه شد (۲۲). در رابطه فوق p احتمال رفتن از حالت i به j در یک دوره زمانی از زمان آغاز تا n است. برای نمونه p_{12} برابر احتمال انتقال (تغییر) از حالت اول به حالت دوم است. جمع احتمال‌های انتقال از یک حالت به تمام حالت‌های ممکن در دوره زمانی بعدی باید برابر یک باشد.

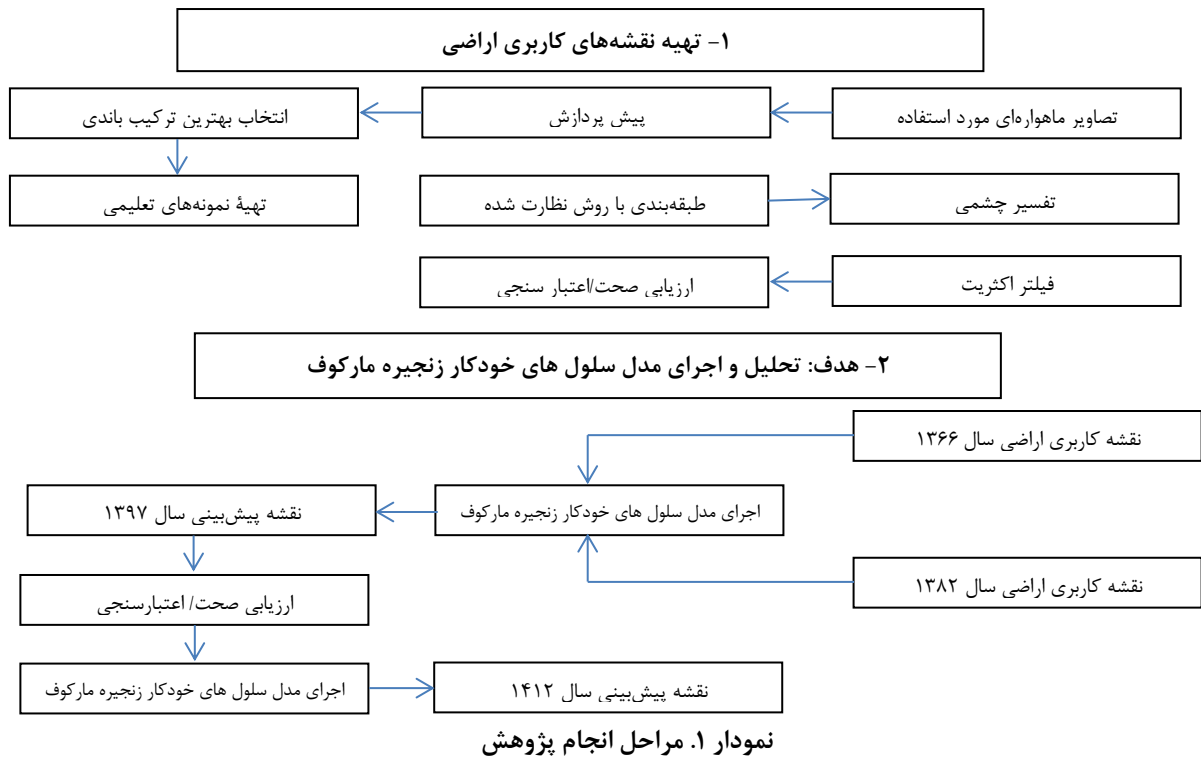
$$pij = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1n} \\ \dots & p_{22} & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$(0 \leq pij < 1 \text{ and } \sum_{j=1}^N pij = 1. (i, j = 1, 2, \dots, n))$$

در مدل سلول‌های خودکار، ارزش هر سلول بر اساس ارزش سلول‌های همسایه و ارزش خود آن سلول تعیین می‌گردد. مدل سلول‌های خودکار از رابطه ۵ به دست آمد (۴۱).

$$S(t, t+1) = f(S(t), N) \quad (5)$$

در این رابطه؛ S مجموعه محدود و مجزا از حالت‌های سلولی، N زمینه سلولی، t و $t+1$ نشان‌دهنده زمان‌های مختلف و f قوانین انتقال حالت‌های سلولی در فضای محلی است. این قوانین توسط نرم‌افزار با شناسایی الگوهای ریاضی و با در نظر گرفتن روابط همسایگی در فضای دو



- ۶) طبقه نیکا: ماسه‌های بادی تجمع یافته در حین حمل توسط باد در پشت بوته و درختچه (۳۰).
- ۷) طبقه کشاورزی: شامل زمین‌های کشاورزی و زراعی که عمدتاً با استفاده از آب آبیاری رشد می‌کنند.
- ۸) مناطق مسکونی: شامل ساختمان‌های تجاری، صنعتی، منازل مسکونی نیمه شهری و روستایی (۴۷).
- ۹) آبی‌پروری: شامل مزارع پرورش ماهی و میگو
- ۱۰) پوشش گیاهی متأثر از جریان آب: پوشش گیاهی مترکم واقع در جداره و بستر رودخانه‌ها
- ۱۱) شبکه دسترسی دریایی: تأسیسات دریایی در مناطق نزدیک و دور از ساحل در دریاها، دریاچه‌ها و رودخانه‌های قابل کشتیرانی شامل کانال دسترسی، موج شکن، اسکله، سکوها، دریایی، تأسیسات بندری (۴۰).
- نتایج حاصل از صحت طبقه بندی در جدول ۲ نشان داده شد.

برای رفع این محدودیت از روش ترکیبی استفاده شد. نتایج حاصل از استفاده توأم طبقه‌بندی نظارت شده و تفسیر چشمی در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج یازده طبقه اصلی در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. تشریح نوع پوشش و کاربری اراضی شناسایی شده در پژوهش حاضر به شرح زیر است:

- ۱) طبقه مرتع: شامل اراضی با مرتع مشجر و غیر مشجر، اراضی دارای پوشش گیاهی خودرو و فاقد جنگل.
- ۲) طبقه اراضی بدون پوشش (لخت): شامل مناطق سنگی و بدون پوشش گیاهی (۹).
- ۳) طبقه جنگل مانگرو: شامل مناطق جنگلی ساحلی که بر اساس تعریف کنوانسیون رامسر در گروه تالاب‌های جنگلی جزر و مدی قرار دارد.
- ۴) طبقه هالوفیت: شامل جوامع گیاهی علفی شورپسند و عمدتاً متعلق به تیره *Chenopodiaceae* (۱۹).
- ۵) طبقه ارگ: نواحی وسیع و هموار در بیابان که با تپه‌های ماسه‌ای حمل شده توسط باد پوشیده شده است.

جدول ۲. صحت طبقه‌بندی

تصویر سال ۱۳۹۷	تصویر سال ۱۳۸۲	تصویر سال ۱۳۶۶	پارامتر آماری
۰/۹۰	۰/۸۲	۰/۸۶	ضریب کاپا
۹۵	۸۷	۹۳	دقت کل (/.)

یکی از مهمترین عوامل افزایش جنگل‌های مانگرو منطقه حفاظتی شدن آن توسط سازمان حفاظت محیط زیست با نام "منطقه حفاظت شده گابریک و جاسک شرقی" از سال ۱۳۸۱ است (۴۶). بر اساس نتایج مساحت ارگ و نبکا نیز از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۷ روندی افزایشی داشت.

ارزیابی روش مارکوف - سلول‌های خودکار در پیش‌بینی کاربری اراضی

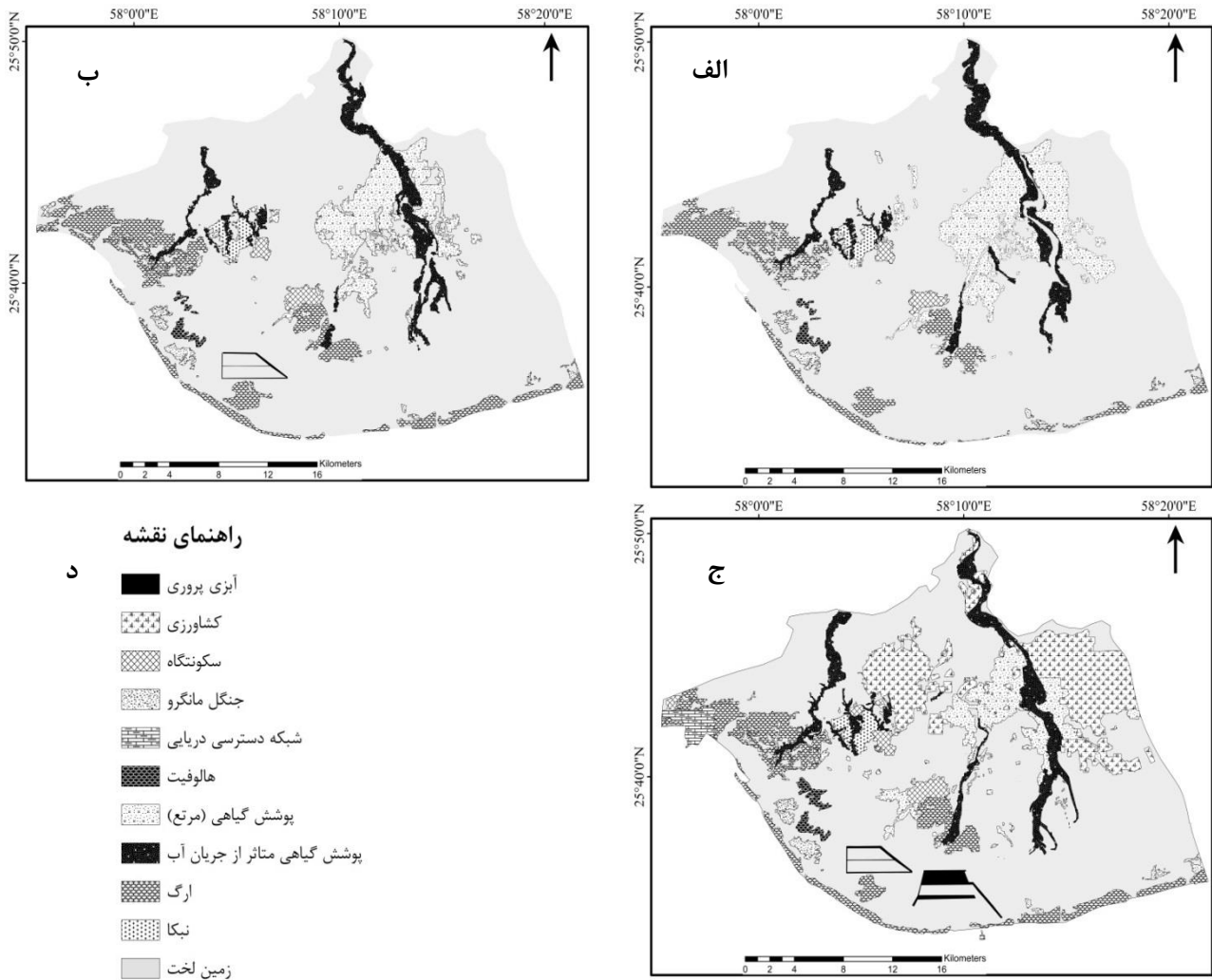
نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۷، برای ارزیابی مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف، با بهره‌گیری از ماتریس تبدیل وضعیت سال‌های ۱۳۶۶ و ۱۳۸۲ و مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف تهیه شد. نتایج ارزیابی و مقایسه نقشه کاربری حاصل از مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف و نقشه کاربری اراضی تهیه شده به وسیله روش ترکیبی، به تفکیک هر کاربری در جدول ۴ نشان داده شد. بر اساس نتایج، کاربری‌های کشاورزی، آبی‌پروری، سکونتگاه، پوشش گیاهی (مرتع)، هالوفیت و زمین لخت با میزان اختلاف کمتر و صحت بالاتری در مدل برآورد شدند و برای کاربری‌های ارگ، مانگرو، نبکا و پوشش گیاهی متأثر از جریان آب، با خطای بیشتری همراه بود. میزان صحت کلی مدل ۸۵/۲٪ و میزان شاخص کاپا کلی ۰/۸۳ است. با توجه به نتایج، کارایی مدل برای پیش‌بینی آینده مناسب بود (۱۶، ۴۴).

ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۷

پس از استخراج نقشه‌های طبقه بندی پوشش و کاربری اراضی از تصاویر لندست، با استفاده از روش مقایسه بعد از طبقه بندی، مساحت هر یک از طبقه‌های پوشش و کاربری اراضی برای سه دوره زمانی در حوزه مورد پژوهش طی دوره ۳۱ ساله مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج مساحت انواع کاربری اراضی در جدول ۳ آورده شده است. نتایج نشان داد در سال ۱۳۶۶ بیشترین وسعت منطقه، ۱۱۴۷۸ ha، تحت کاربری‌های پوشش گیاهی متأثر از جریان آب و کاربری پوشش مرتع، و کمترین مساحت سطح کاربری متعلق به کاربری اراضی کشاورزی بود. نسبت طبقه‌های کاربری اراضی در سال ۱۳۹۷ تغییر کرده به نحوی که اراضی کشاورزی بیشترین مساحت را به خود اختصاص داد. بر پایه نتایج، از سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۷ در منطقه مورد بررسی توسعه انسانی به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. عمده ساخت و سازها در این منطقه مربوط به ساخت دو موج شکن، دو اسکله تجاری و پرورشگاه‌های میگو است. با توسعه کشاورزی مساحت مناطق مسکونی نیز در منطقه مورد مطالعه زیاد شد. از جمله این مناطق مسکونی روستای ساحلی هوشدان است که امروزه به‌عنوان محل ساخت قایق و کشتی در منطقه فعال است (۴۰). وسعت جنگل‌های مانگرو نیز در طول ۳۱ روزه افزایشی داشت.

جدول ۳. مساحت هر یک از کاربری‌ها به هکتار در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۷

طبقه	سال		
	۱۳۹۷	۱۳۸۲	۱۳۶۶
کشاورزی	۸۶۹۶	۱۹	۱۳
آبی‌پروری	۴۷۳	۱۳۶	۰
ارگ	۵۷۴۴	۵۴۱۱	۴۸۶۸
هالوفیت	۲۹۲	۲۵۵	۲۷۷
مانگرو	۶۱۰	۴۸۳	۴۶۷
سکونتگاه	۹۱۵	۶۶۸	۵۱۲
نبکا	۵۹۰	۵۶۹	۴۶۵
پوشش گیاهی متأثر از جریان آب	۴۰۶۸	۳۵۹۸	۴۴۵۲
پوشش گیاهی (مرتع)	۴۸۱۴	۵۳۱۴	۷۰۲۶
زمین لخت	۵۰۹۴۵	۶۱۲۳۵	۵۹۶۳۳
شبکه دسترسی دریایی	۵۶۶	۲۵	۰
مجموع	۷۷۷۱۳	۷۷۷۱۳	۷۷۷۱۳



شکل ۲. الف: نقشه طبقه‌های کاربری اراضی در سال ۱۳۶۶ (الف)، سال ۱۳۸۲ (ب)، سال ۱۳۹۷ (ج)؛ (د: راهنمای نقشه‌ها).

جدول ۴. آماره‌های حاصل از ماتریس خطا از مقایسه نقشه واقعی و پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۷

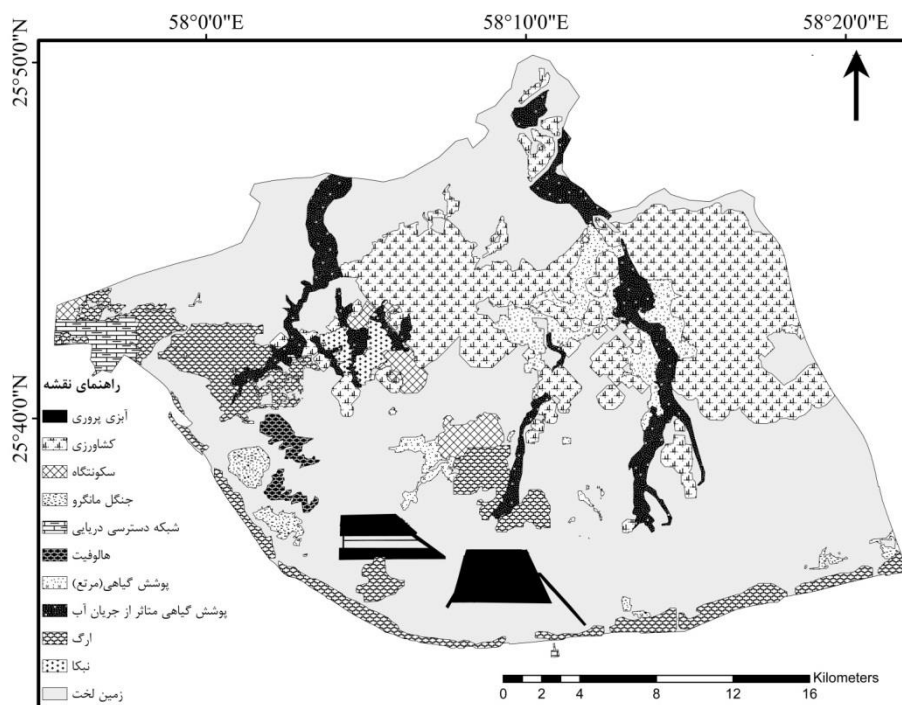
طبقات کاربری اراضی											
پوشش گیاهی متأثر از جریان آب	آبی پروری	مسکونی	کشاورزی	نبکا	ارگ	هالوفیت	جنگل مانگرو	اراضی باير	مرتع	شبكة دسترسی دریایی	پارامترهای ارزیابی
۹۷	۹۸	۹۷	۹۲	۸۹	۸۸	۹۳	۹۹	۹۲	۹۸	۹۳	صحت تولید کننده (%)
۸۹	۱۰۰	۱۰۰	۹۲	۹۶	۹۸	۱۰۰	۹۰	۹۵	۹۶	۹۱	صحت کاربر (%)
۰/۷۴	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۸۷	۰/۷۲	۰/۷۴	۰/۸۶	۰/۷۹	۰/۷۵	۰/۹۰	۰/۷۰	ضریب کاپا

پیش‌بینی کاربری اراضی در افق ۱۴۱۲

پس از ارزیابی‌های فوق و حصول اطمینان از نحوه کارکرد مدل، اقدام به استخراج نقشه چشم انداز کاربری اراضی برای سال ۱۴۱۲ شد. ماتریس تغییر طبقه‌های کاربری اراضی بین سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۴۱۲ در جدول ۵ نشان داده‌شد. شبیه‌سازی تغییرات کاربری برای سال ۱۴۱۲ نشان داد که با ادامه روند تغییرات پیشین، مساحت زمین‌های کشاورزی به ۱۵۰۹۸ ha، خواهد رسید و نسبت به سال ۱۳۹۷، ۶۴۰۱ ha (۴۲٪) رشد خواهد یافت. به ترتیب اراضی لخت، پوشش گیاهی و اراضی پوشش گیاهی متأثر از جریان آب بیشترین سهم را در تبدیل به کاربری کشاورزی در سال ۱۴۱۲ را خواهندداشت. شبکه دسترسی دریایی در سال ۱۴۱۲ به ۱۰۸۶ ha و اراضی مسکونی به ۱۲۵۸ ha رسید و به ترتیب ۵۲۰ ha (۴۷٪) و ۳۴۲ ha (۲۷٪) نسبت به سال ۱۳۹۷ افزایش خواهد یافت. همچنین مساحت جنگل‌های مانگرو در منطقه مورد مطالعه به دلیل حفاظتی بودن و برنامه‌های مدون جنگل‌کاری (۲۴) در منطقه روندی افزایشی خواهد داشت و حدود ۱۴۵ هکتار افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج، پوشش گیاهی متأثر از جریان

آب، ۶٪ و پوشش گیاهی (مرتج) ۳۲٪، در سال ۱۴۱۲ نسبت به سال ۱۳۹۷ کاهش یافت، این اراضی عمدتاً به طبقه زمین‌های کشاورزی تغییر کاربری داده است. همچنین ۹۱۲ ha از اراضی لخت در سال ۱۴۱۲ به کاربری آبی پروری تبدیل شد و مساحت این کاربری در سال ۱۴۱۲ به ۱۳۸۵ ha خواهد رسید.

مساحت طبقه ارگ در سال پیش‌بینی شده ۱۴۱۲ به حدود ۷۶۶۲ ha خواهدرسید، که نسبت به سال ۱۳۹۷، ۱۹۱۸ ha رشد خواهدداشت. بر اساس نتایج به ترتیب احتمال تغییر طبقه کاربری زمین‌های لخت و کاربری پوشش گیاهی به طبقه ارگ بیش از دیگر کاربری‌ها است و این به خاطر روندی است که در مقاطع زمانی گذشته اتفاق افتاده است. نکته قابل توجه احتمال تبدیل سکونتگاه و جنگل‌های مانگرو به تپه‌های ماسه‌ای است. بر اساس نتایج با وجود افزایش مساحت جنگل‌های مانگرو، با توجه به حفاظتی بودن آن‌ها، بخشی از جنگل‌های مانگرو منطقه در بخش شرقی مورد هجوم حرکت تپه‌های ماسه‌ای است. همچنین بخش جنوبی روستای سورگلم در منطقه مورد مطالعه محتمل حمله تپه‌های ماسه‌ای است.



شکل ۳. نقشه طبقات کاربری در سال ۱۴۱۲

جدول ۵. ماتریس تغییرات کاربری اراضی سال ۱۳۹۷ و ۱۴۱۲

		نقشه سال ۱۳۹۷							نقشه سال ۱۴۱۲		
مجموع	کشاورزی	زمین لخت	آبزی پروری	ارگ	هالوفیت	مانگرو	سکونتگاه	نبکا	پوشش گیاهی متأثر از جریان آب شبکه دسترسی دریایی	پوشش گیاهی دریایی	
۱۵۰۹۸	۸۶۹۶	۵۰۳۱							۱۵۸	۰	۱۲۱۳
۴۲۳۹۲	۰	۴۲۳۱۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۷۹	۰	۰
۱۳۸۵	۰	۹۱۲	۴۷۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۶۶۲	۰	۱۵۸۶	۰	۵۷۴۴	۰	۱۰	۱۴	۰	۰	۰	۳۰۸
۳۹۴	۰	۱۰۳	۰	۰	۲۹۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۷۵۵	۰	۱۵۵	۰	۰	۰	۶۰۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲۵۸	۰	۳۲۶	۰	۰	۰	۰	۹۰۱	۰	۶	۰	۲۵
۶۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۹۰	۱۰	۰	۰
۳۸۱۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۸۱۵	۰	۰
۱۰۸۶	۰	۵۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۶۶	۰	۰
۳۲۶۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۲۶۸	۰
۷۷۷۱۳	۸۶۹۶	۵۰۹۴۵	۴۷۳	۵۷۴۴	۲۹۲	۶۱۰	۹۱۵	۵۹۰	۴۰۶۸	۵۶۶	۴۸۱۴

■ بحث و نتیجه‌گیری

آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات محیطی نیازی بنیادی جهت شناخت و مدیریت یک منطقه است و می‌تواند به برنامه‌ریزان برای تصمیم‌های آگاهانه‌تر کمک کند. برای دستیابی به این هدف، یکی از روش‌های سریع و کم هزینه و درعین حال دقیق، استفاده از داده‌ها و تصویرهای ماهواره‌ای است (۳۸). در تحقیق حاضر در کنار بازدید میدانی از منطقه مورد مطالعه، جهت تعیین محل نمونه‌های تعلیمی از نقشه طبقه‌بندی نظارت نشده استفاده شد. این روش کمک شایانی به تفکیک بازتاب‌های مختلف هر کاربری کرد. برای آشکارسازی تغییرهای کاربری/پوشش اراضی تصاویر ماهواره‌ای در سه بازه زمانی ۱۳۶۶، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۷ با استفاده از طبقه‌بندی نظارت شده و تفسیر چشمی تهیه شد. دقت کلی همه نقشه‌های تهیه شده بیش از ۸۵٪ بود، که این میزان صحت، نشان دهنده درستی طبقه‌بندی و خطای احتمالی قابل قبول است. صحت نتایج نشان داد که طبقه‌بندی ترکیبی تصاویر ماهواره‌ای برای بیابان‌های ساحلی با ساختاری پیچیده، روشی مناسب و کارا است. تحقیقی جهت مقایسه دو روش

نظارت شده و تفسیر چشمی در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد، هر روش به تنهایی دارای معایبی است که از طریق روش ترکیبی می‌توان بر این معایب تا حد زیادی غلبه کرد و صحت نتایج را افزایش داد. در این مطالعه استفاده از روش طبقه‌بندی ترکیبی، برای تهیه نقشه پوشش و کاربری اراضی در مناطق با پیچیدگی‌های طبیعی و انسانی، توصیه شده است (۲۷).

با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۷ و مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۱۲ پیش‌بینی شد. با توجه به اینکه در بیشتر مدل‌های پیش‌بینی اساس بر ثابت بودن روابط متقابل تغییرات و علت‌های آن در طول زمان است، از اینرو توصیه شده است که مدل‌سازی‌ها برای دوره‌های کوتاه مدت، ۵ تا ۱۵ سال، اجرا شوند. نتایج برای دوره‌های بلندمدت با توجه به امکان تغییر در سیاست‌های مدیریتی قابل اتکا نمی‌باشد (۱). بررسی دقت پیش‌بینی مدل سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف نشان داد این مدل، دارای قابلیت خوبی در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی بود. لازم به ذکر است که این پیش‌بینی با در نظر گرفتن ادامه روند تغییرهای گذشته و ادامه همین روند در آینده

در بالادست پهنه مطالعاتی در سال ۱۳۸۶، کشت آبی در پایین دست سد به سبب فراهم شدن آب کافی، افزایش یافته است. مطالعه روند تغییرات سیمای سرزمین، نشان داد پس از ساخت سد و توسعه کشاورزی عمده آب رودخانه در برای تامین آب آبیاری مورد مصرف کشاورزان قرار می‌گیرد لذا این امر احتمال خشک شدن پایین دست رودخانه را افزایش می‌دهد که خود موجب افزایش فرسایش بادی از بستر خشک رودخانه و ایجاد تپه‌های ماسه‌ای در سواحل شهرستان جاسک خواهد شد (۷). نظر به اینکه در ایران روسوبات آورده شده از بستر خشکه رودها مهم‌ترین منبع برای تامین روسوبات بادی است، بنابراین حفظ پوشش گیاهی در بستر خشکه رودها از اولویت زیادی برخوردار است. به علاوه یکی از چالش‌های پیش روی این منطقه در طی سال‌های آتی با توجه به افزایش سریع اراضی کشاورزی، تامین نیاز آبی کشاورزان است. در صورت عدم تامین آب کشاورزی، احتمال افزایش زمین‌های کشاورزی رها شده، که خود منشأ نوظهور تامین روسوبات بادی است (۳۲) و افزایش حفر چاه‌های غیر مجاز در منطقه، وجود دارد.

پژوهش حاضر نشان داد، مدل سلول‌های خودکار مارکوف روشی مناسب با صحت قابل قبول، برای ارزیابی پیامدهای توسعه بر پوشش اراضی و ارزیابی شیوه‌های مدیریتی است. استفاده از نقشه‌های حاصله برای شناسایی مناطق حساس و به ویژه در معرض تهدید آسیب ماسه‌های روان، به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر به دستگاه‌های اجرایی توصیه می‌شود. با توجه به خشکسالی‌های اخیر و افزایش دما در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد برای دستیابی به مدل دقیق تر شاخص‌های اقلیمی در مدل پیش‌بینی مورد لحاظ قرار گیرند.

■ سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور معاونت علمی ریاست جمهوری (با شماره طرح ۹۳۰۳۰۷۰۹) انجام شده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر و قدردانی را از صندوق فوق اعلام دارند.

انجام شد (۲۲). یافته‌های پژوهش حاضر بیانگر تغییر شکل منطقه از بوم‌نظام طبیعی به سمت بوم‌نظام انسان‌ساز و با چهره بیابانی است. نتایج پیش‌بینی مدل در سال ۱۴۱۲، نشان دهنده کاهش مساحت پوشش گیاهی تحت تأثیر جریان آب و مرتع، و افزایش مساحت اراضی انسان‌ساز خواهد بود. این روند تغییرات در منطقه نشان دهنده تخریب اراضی با پوشش گیاهی به مناطق مسکونی و صنعتی چون تأسیسات دریایی بود. بر اساس نتایج، مساحت تپه‌های ماسه‌ای در سال پیش‌بینی شده رشدی معادل ۱۹۱۸ ha نسبت به سال ۱۳۹۷، داشت. افزایش تپه‌های ماسه‌ای و نیکا در منطقه نشان دهنده حساس بودن منطقه به فرسایش، بیلان مثبت ماسه و پتانسیل زیاد گسترش بیابان‌زایی در منطقه می‌باشد. نتایج مطالعه دیگری در پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی در سواحل مکران نشان داد مساحت تپه‌های ماسه‌ای تا سال ۱۴۱۴، km^2 ۱۴ رشد خواهد یافت (۳۵). با توجه به مشاهدات صورت گرفته مبنی بر خشکیده شدن بخشی از درختان جنگل‌های مانگرو در اثر حمله ماسه‌های روان در منطقه مورد مطالعه (۲۰)، اگر توسعه تپه‌های ماسه‌ای بدون برنامه‌ریزی صحیح و طبق روند گذشته ادامه پیدا کند، این احتمال در آینده نیز وجود دارد که بخش بیشتری از این جنگل‌های طبیعی ارزشمند مورد آسیب قرار گیرند. همچنین بر اساس نتایج در صورت عدم مدیریت صحیح و کارآمد برای تثبیت ماسه‌های روان، خطر حرکت و جابه‌جایی ماسه‌های روان تا سال ۱۴۱۲ برای سکونتگاه‌های روستایی به ویژه روستای سورگلم وجود دارد که این تهدید قبل از رخداد باید مورد توجه و مدیریت قرار گیرد. در طی سال‌های اخیر در حوزه مکران به دلیل حرکت و جابجایی ماسه‌های روان ۱۵ روستا تخلیه و حدود ۵ روستا در معرض تخلیه قرار گرفته‌اند. به طوری که جبران این همه خسارت، هزینه بر و زمان زیادی را بر جامعه تحمیل کرده است (۳۵). یکی از مهم‌ترین علت‌های این تغییر شکل سریع در منطقه مورد مطالعه، مربوط به ساخت و بهره‌برداری سد جگین در بالادست منطقه مورد مطالعه و اختصاص اراضی پایین دست به زمین‌های کشاورزی و کاهش جریان آب ورودی به رودخانه جگین است. پس از آبگیری و افتتاح سد جگین

■ References

1. Afifi, M.E. (2020). Modeling land use change using the Markov chain model and LCM model, case study: Shiraz. *Applied Research in Geographical Sciences*, 20(56), 141-150. (in Farsi)
2. Afwani, M.Z., & Danoedoro, P. (2019). The effects of polynomial interpolation and resampling methods in geometric correction on the land-cover classification accuracy of Landsat-8 OLI imagery: A case study of Kulon Progo area, Yogyakarta. *Sixth Geo information Science Symposium*, 11311.
3. Alawamy, J.S., Balasundram, S.K., Husni, A., & Hanif, M. (2020). Detecting and analyzing land use and land cover changes in the region of Al-Jabal Al-Akhdar, Libya using time-series Landsat data from 1985 to 2017. *Sustainability*, 12(11), 4490-4514.
4. Alimohammadi, A., Motkan, A., Ziaeiian, P., & Tabatabai, H. (2010). Comparison of base pixel, base object and decision tree classification methods in mapping forest types using remote sensing data (Case study: Astara forest). *Applied Research in Geographical Sciences*, 10(13), 7-26. (in Farsi)
5. Amini Parsa, V., Yavari, A., & Nejadi, A. (2016). Spatio-temporal analysis of land use / land cover pattern changes in Arasbaran biosphere reserve : Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(4), 1-13.
6. Anderson, J. A., Ernest, H., Roach, T., & Witmer, R. (1976). Land use and land cover classification system for use with remote sensor data, USA Government Printing Office Press.
7. Andon Petrosian, H., Danehkar, A., Nazari Samani, A.A., & Mashhadi, N. (2021). Landscape analysis over 30 years to assess the impact of river damming on natural ecosystem. *Land Degradation and Development*. In press.
8. Andon Petrosians, H., Danehkar, A., Ashrafi, S., & Fegghi J. (2016). Investigating environmental factors for locating mangrove ex-situ conservation zones using GIS spatial techniques and the logistic regression algorithm in mangrove forests in Iran. *Polish Journal of Environmental Studies*, 25(5), 2097-2106.
9. Arokhi, S. (2015). Detection of land cover / land use changes by object-oriented processing of satellite images using Idrisi Selvi software (Case study: Abdanan area). *Geographical Data (Sepehr)*, 24(95), 51-62. (in Farsi)
10. Araya, Y.H., & Cabral, P. (2010). Analysis and modeling of urban land cover change in Setúbal and Sesimbra. *Portugal. Remote Sensing*, 2(6), 1549-1563.
11. Asadzadeh, F., Khosraviqdam, K., Parviz, L., Ramezanpour, H., & Yaghmaeian, N.M. (2018). Prediction of the land use change using Markov chain and cellular automata (Case study: Roze Chay basin, Uremia). *Water and Soil Resources Conservation*, 8(1), 105-116. (in Farsi)
12. Asghari Saraskanroud, S., Aghayary, L., & Pirouzi, E. (2018). Study of land use change and its effect on erosion in Nir city using GIS and RS (Case study: Nir county). *RS & GIS for Natural Resources*, 8(4), 49-69. (in Farsi)
13. Azizi, A., Malakmohamadi, B., & Jafari, H.R. (2016). Land use and land cover spatiotemporal dynamic pattern and predicting changes using integrated CA-Markov model. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2(3), 223-234.
14. Azizi Ghalaty S., Rangzan, K., Sadidy, J., Heydarian, P., & Taghizadeh, A. (2016). Predicting locational trend of land use changes using CA-Markov model (Case study: Kohmare Sorkhi, Fars province). *RS & GIS Techniques for Natural Resources*, 7(1), 59-72. (in Farsi)
15. Boniad, A.E., & Hajighaderi, T. (2008). Mapping of Natural Forest Stands of Zanjan Province Using Landsat 7ETM+ sensor data. *Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 42(11), 627-638.
16. Du, H., Hasi, E., Yang, Y., & An, J. (2012). Land coverage changes in the Hulun Buir grassland of China based on the cellular automata-Markov model. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 36, 69-74.

17. Fathizad, H., Karimi, H., Tazeh, M., & Tavakoli, M. (2014). Prediction of land use and land cover changes in arid and semi-arid regions using Satellite images and Markov chain models (Case study: Doviraj Basin, Ilam Province). *Desert Management*, 3, 61-76. (in Farsi)
18. Fatholouloumi, S., Vaezi A., Alavipanah, S.K., & Ghorbani, A. (2020). Modeling soil organic carbon variations using remote sensing indices in Ardabil Balikhli Chay watershed. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(9), 2417-2429. (in Farsi)
19. Gholami, D., Baharlouei, M., & Mahmoudi, B. (2019). Investigation of long-term mangrove and saltmarsh area changes in the Iranian mangrove habitats (Case study: mangroves of Hormozgan province). *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 6(13), 121-139. (in Farsi)
20. Ghorbani, A., Aslami, F., Ahmadabadi, S., Ghaffari, S. (2016). Land use mapping of Kaftareh watershed of Ardabil using visual and digital processing of ETM+ image. *Natural Ecosystem of Iran*, 6(4), 27-43. (in Farsi)
21. Hosseini Hamid M., Akbarinasab, M., & Safarrad, T. (2016). The calculation of the optimum index factor for monitoring water resources pollution using satellite images: a case study of the Oman Sea. *Hydrophysics*, 2(1), 35-45. (in Farsi)
22. Ildoromi, A., Nori, H., Naderi, M., Amin, S.A., & Zeinivand, H. (2014). Land use change prediction using Markov chain and ca Markov model (Case study: Gareen watershed). *Watershed Management Research*, 8(16), 232-240. (in Farsi)
23. Kang, J., Fang, L., Li, S., & Wang, X. (2019). Parallel cellular automata Markov model for land use change prediction over map reduce framework. *Geo Information*, 8(454), 1-20
24. Mahmoudi, B., Andon Petrosians, H., Danehkar, A., & Zakeri, O. (2014). Analysis of sustainability trend in restoration and development of mangroves in Hormozgan coastal line. *Forest and Poplar Research*, 22(2), 259-269. (in Farsi)
25. Mishra, N., Haque, M.O., Leigh, L., Aaron, D., Helder, D., & Markham, B. (2014). Radiometric cross calibration of landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Landsat 7 enhanced thematic mapper plus (ETM+). *Remote Sensing*, 6(12):12619-12638.
26. Mohamadian Behbahani, A.M., & Heidari Zadi, Z. (2019). Monitoring and predicting the trend of sand zone changes using the CA-Markov model (Case study: Abu Ghovair plain, Dehloran, Ilam province). *Environmental Sciences*, 16(4), 153-166. (in Farsi)
27. Muthu, P., & Ranjani, S.S. (2019). Classification techniques used in remote sensing satellite imageries : A survey. *National Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 4(6), 24-28.
28. Myint, S.W., & Wang, L. (2006). Multicriteria decision approach for land use land cover change using Markov chain analysis and a cellular automata approach. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32(6), 390-404.
29. Nafar, F., Ebrahimi, A., & Naghipour, A.A. (2021). Land Cover change detection and prediction in Sefiddasht-Borujen basin using Ca-Markov. *Desert Management*, 16, 111-124. (in Farsi)
30. Nameghi, A., & Farazmehr J. (2009). Orientation and location of wind sediments in the Erg of Ferdows. 5th National Conference on Watershed Management. (in Farsi)
31. Nath, B., & Niu, Z. (2018). Land use and land cover changes, and environment and risk evaluation of Dujiangyan City (SW China) using remote sensing and GIS techniques. *Sustainability*, 10 (4631).
32. Nazari Samani, A.N., Ehsani, A.H., Gilvari, A., & Abdolshahnejad, M. (2016). Comparing the results of RWEQ and IRIFR models for determining of land management effects on wind erosion. *Desert Management*, 6, 39-53. (in Farsi)
33. Nejadi, A., & Makhdoum, M.F. (2012). Modeling plausible impacts of land use change on wildlife habitats, application and validation : Lisar protected area, Iran. *Environmental Research*, 6(4), 883-892.

34. Omran, H.A., & Pahlavan, P. (2015). Using of Markov chain, MOLA, and neighborhood filter for developing and increasing the efficiency of logistic regression to predict multiple land-use changes, (Case study: Tehran). *Geospatial Information Technology*, 3(2), 89-109. (in Farsi)
35. Pirouz Zadeh, S., Khosravi, M., & Fotohi, S. (2019). Predicting of temporal-spatial sand dunes transition caused by marine storms (Case study: the coast of Makran, Iran). *Scientific Journals Management System*, 19(52), 57-75. (in Farsi)
36. Rahdari, V., Soffianian, A., Pourmanafi, S., Mosadeghi, R., & Ghaiumi Mohammad, H. (2018). A hierarchical approach of hybrid image classification for land use and land cover mapping. *Geographica Pannonica*, 22(1), 30-39.
37. Roy, P.S., & Roy, A. (2010). Land use and land cover change: a remote sensing & GIS perspective. *Indian Institute of Science*, 90(4), 489-502.
38. Salehi, N., Ekhtesasi, M., & Talebi, A. (2019). Predicting locational trend of land use changes using CA-Markov model (Case study: Safarod Ramsar watershed). *RS & GIS for Natural Resources*, 10(1), 106-120. (in Farsi)
39. Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., & Yun, W. (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3), 938-943.
40. Sazeh Pardazi Iran. (2018). Integrated coastal zone management of Hormozgan. (in Farsi)
41. Shafiee, N., Shakiba, A., & Mohamadi, A. (2019). Detection and prediction of land use changes using CA-Markov model (Case study: Tehran-Damavand metropolitan area). *Geographical Data (Sepehr)*, 28 (111), 175-190. (in Farsi)
42. Shanani, M., & Zarei, H. (2016). Investigation of land use changes during the past two last decades (Case study: Abolabas basin). *Watershed Management Research*, 7(14), 237-244. (in Farsi)
43. Sheikhi, M., & Rooshenas, S. (2015). Anticipating city's future expansions by using advance cellular automata (Case study: Chalooos city). *Motaleate Shahri*, 4(16), 15-26. (in Farsi)
44. Singh, S.K., Mustak, S., Srivastava, P.K., Szabó, S., & Islam, T. (2015). Predicting spatial and decadal LULC changes through cellular automata Markov chain models using earth observation datasets and geo-information. *Environmental Processes*, 2(1), 61-78.
45. Soffianian, A.R., & Khodakarami, L. (2011). Land use mapping using fuzzy classification: case study in three catchment areas in Hamedan province. *Town and Country Planning*, 3(4), 95-114. (in Farsi)
46. Tiab, Z., Danehkar, A., Shabankareh, K., Naderian, N., Sharifi Shamili, K., & Iman Tairbifard, I. (2015). Study of mangrove forests in Gabrik Protected Area, Jask East and West (Hormozgan province) based on habitat structure. *Oceanography*, 5(19), 105-111. (in Farsi)
47. Vahidi, M.J., Jafarzadeh, A., Fakherifard, A., Sadeghi, H., Rezaee Moghadam, M.H., & Valizadeh, K. (2015). Study of land use and land cover change in Lighvan watershed, east Azerbaijan province. *Geographic Space*, 15(49), 49-64. (in Farsi)
48. Xie, H., Zhang, Y., Wu, Z., & Lv, T. (2020). A bibliometric analysis on land degradation: current status, development, and future directions. *Land*, 9(28), 1-34.
49. Yagoub, M.M. & Al Bizreh, A.A. (2014). Prediction of land cover change using Markov and cellular automata models: case of Al-Ain, UAE, 1992-2030. *Indian Society of Remote Sensing*, 42, 665-671.