



سنجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال یازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸  
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.11, No. 2, Summer 2019

۹۳-۱۱۴

## ارزیابی و پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری زمین

### در حوزه تالاب انزلی با استفاده از مدل LCM

رضا شاکری<sup>۱</sup>، کامران شایسته<sup>۲\*</sup>، مهدی قربانی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، و عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا، بهبهان، ایران
۲. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۳. دانشیار، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۶

#### چکیده

فعالیت‌های طبیعی و انسانی در مناطق ساحلی، باعث تغییرات پویای کاربری و پوشش زمین می‌شود. رشد سریع جمعیت در این مناطق، باعث تسریع در روند تغییر کاربری‌ها و پوشش طبیعی زمین و انتقال به کاربری‌های مسکونی و توسعه زیرساخت‌ها می‌شود. این پژوهش، به منظور بررسی و مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در حوزه تالاب انزلی بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پیش‌بینی تغییرات احتمالی کاربری زمین در سال ۲۰۴۵ با استفاده از مدل LCM انجام شده است. به منظور دستیابی به تغییرات کمی و کیفی رخ داده در منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های کاربری حوزه آبخیز تالاب انزلی از تصاویر ماهواره لندست سال‌های ۱۹۷۵، ۱۹۸۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ استفاده شده است. بر این اساس، شش طبقه کاربری کشاورزی، مرتع، جنگل، اراضی تالابی، اراضی مسکونی و تالاب با استفاده از روش طبقه‌بندی الگوریتم حداکثر احتمال مدنظر قرار گرفت. ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری زمین مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای به دو صورت دقت کلی و ضریب کاپا به ترتیب برابر ۸۷ درصد و ۰.۷۱ با استفاده از ۳۲۳ نقطه از طریق الگوریتم نمونه‌گیری لایه‌ای تصادفی محاسبه شد. تجزیه و تحلیل ماتریس تشخیص تغییرات نشان می‌دهد که در طی دوره زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵ کل تغییرات و انتقال کاربری‌های مختلف به یکدیگر ۷۶۶۴۸.۱۴ هکتار است. بیشترین تغییرات بین کاربری‌های مختلف در طی این زمان مربوط به انتقال کاربری‌های مختلف به کاربری کشاورزی به میزان ۴۹۸۲۷.۶۹ هکتار است که این میزان معادل ۶۵ درصد کل تغییرات کاربری‌های مختلف است. در تغییر کاربری‌های صورت گرفته به کشاورزی، کاربری‌های جنگل (۶۴ درصد)، مرتع (۱۶ درصد)، اراضی تالابی (۱۰ درصد)، تالاب (۸ درصد) و مناطق مسکونی (۲ درصد) بیشترین سهم را دارند. در طول مدت مطالعه، گسترش کاربری مسکونی همواره روندی مثبت و منطبق بر افزایش جمعیت داشته است. مدل‌سازی پتانسیل انتقال با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و استفاده از ۷ متغیر و ۸ زیر مدل انجام شد. نتایج مدل‌سازی با استفاده از شبکه عصبی در اکثر سناریوها صحت بالایی (۶۰.۱۴ تا ۸۸.۷۳ درصد) را نشان داد. به منظور بررسی صحت مدل‌سازی ضریب کاپای استاندارد (۰.۸۹۴۸) و مقادیر خطای Null Successes (۷۷.۹ درصد)، Hits (۳.۱ درصد)، Misses (۱۵.۹ درصد)، False Alarms (۳.۱ درصد) و محاسبه و وضعیت صحت برای موقعیت و کمیت پیکسل‌های هر طبقه به دست آمد. نسبت Hits به کل پیکسل‌های تغییر کرده (۱۴.۲) بیانگر قابل قبول بودن نتایج مدل در پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین است. مقایسه نتایج حاصل از تبدیل و تغییر کلاس کاربری‌های زمین در دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۵ (پیش‌بینی شده) در منطقه، نشان می‌دهد اگر روند بهره‌برداری از سرزمین با شیوه مدیریت فعلی ادامه یابد، ۱۰۰۳۶.۲۶ هکتار اراضی جنگلی به اراضی کشاورزی (۶۷.۶۹ درصد)، مرتع (۳۲.۰۴ درصد)، مناطق مسکونی (۰.۱۶ درصد) و اراضی تالابی تبدیل می‌شود و با احتساب انتقال سایر کاربری‌ها به کاربری جنگل در مجموع در طول این مدت، شاهد کاهش ۹۹۶۳.۳۶ هکتار جنگل خواهیم بود. به طور کلی در این مدت اراضی کشاورزی، مرتع و مناطق مسکونی افزایش یافته و کاربری‌های جنگل، تالاب و اراضی تالابی کاهش خواهد داشت.

**کلید واژه‌ها:** کاربری زمین، مدل تغییر کاربری زمین (LCM)، پیش‌بینی، تالاب انزلی

\*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ملایر، دانشگاه ملایر، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، کد پستی ۶۵۷۱۹-۹۵۸۶۳

## ۱- مقدمه

سامانه‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در قالب مدل به طور فزاینده‌ای در تشخیص، کمی‌سازی و نقشه‌سازی الگوهای تغییر کاربری زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین با استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌تواند شناخت مناسبی از چگونگی تغییرات کاربری زمین ارائه داده و در مدیریت آن راهکارهای مناسبی را ارائه کند.

(Yagoub and Kolan, 2006, Kawakubo et al., 2011, Rawat and Kumar, 2015)

مدل‌های تغییر زمین یکی از مفیدترین ابزار در دسترس پژوهشگران، برای مطالعات محیط‌زیست و علوم زمین به منظور بررسی تغییرات کاربری و پوشش زمین است. (Paegelow et al., 2014)

مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییر کاربری و پوشش زمین وجود دارد، از جمله مهم‌ترین این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های Cellular Land Change Modeler (LCM), GEOMOD, STCHOICE, CA\_Markov Automata و زنجیره مارکوف اشاره کرد. نقشه‌های شبیه‌سازی منتج از مدل‌های تغییر کاربری و پوشش زمین به پژوهشگران در فهم، تشخیص و پیش‌بینی روند تغییرات و مشکلات زیست‌محیطی احتمالی کمک می‌کند. با این وجود یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در این زمینه، اعتبارسنجی خروجی مدل‌های مورد استفاده است. نرخ تغییرات در منطقه مورد مطالعه و الگوی تغییرات کاربری و پوشش زمین بر میزان دقت نتایج شبیه‌سازی حاصل از مدل تأثیر دارد. (Olmedo et al., 2015) از طرفی با انتخاب پارامترها و معیارهای مختلف به‌عنوان ورودی، مدل خروجی‌های متفاوتی را نتیجه خواهد داد و از آنجا که انتخاب صحیح پارامترها در فرایند مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات تأثیر مهم‌تری در میزان دقت و اعتبار نتایج حاصله در مقایسه با نوع مدل انتخابی دارد بنابراین بحث در مورد میزان دقت بیشتر یک مدل نسبت به

به منظور مدیریت بهتر اکوسیستم‌های طبیعی و انسان‌ساخت و برنامه‌ریزی بلندمدت، لازم است تغییر کاربری‌ها، پوشش زمین و پیش‌بینی این تغییرات در آینده مدل‌سازی شود. بررسی تغییرات کاربری و پوشش زمین، اهمیت زیادی در شناخت روند تغییرات محیط‌زیستی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی دارد و به صورت وسیعی مورد توجه پژوهشگران علوم محیط‌زیست، علوم زمین، اکولوژیست‌ها و متخصصان سایر رشته‌های مرتبط قرار گرفته است. (Mas et al., 2014, Mishra et al., 2014, Paegelow et al., 2014, Tiwari et al., 2014, Olmedo et al., 2015, Jain et al., 2017, Reddy et al., 2017)

تغییرات کاربری و پوشش زمین، تحت تأثیر فاکتورهای فیزیکی، اقلیم و عوامل اقتصادی، اجتماعی تأثیرات مهمی بر وضعیت اقتصادی و اجتماعی جوامع محلی در نواحی ساحلی در مقیاس‌های زمانی و مکانی داشته و رشد سریع جمعیت و فعالیت‌های توسعه شهری و گردشگری باعث تغییرات قابل توجه وضعیت فعلی کاربری و پوشش زمین این مناطق در آینده خواهد شد.

(Yuan et al., 2005, Joshi et al., 2011, Rawat et al., 2013, Kaliraj et al., 2017)

تغییرات کاربری زمین، بدون در نظر گرفتن پایداری زیست‌محیطی، میزان تقاضا برای منابع از جمله کشاورزی، مواد معدنی، زمین، آب و خاک را افزایش می‌دهد. (Kaliraj et al., 2017) امروزه افزایش نرخ تقاضای منابع بیش از ظرفیت پایداری زمین، باعث ایجاد مشکلات بلندمدت در مورد ظرفیت برد مناطق ساحلی شده است. (Xiuwan, 2002)

تغییرات کاربری و پوشش زمین شامل فرایندهای پیچیده حاصل از تعاملات دینامیکی و غیرخطی انسان - محیط‌زیست بوده و تشخیص آن با الگوریتم‌ها و متغیرهای توصیفی موجود مشکل است. (Pérez-Vega et al., 2012, Kolb et al., 2013)

از سوی دیگر، امروزه داده‌های ماهواره‌های سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی با گسترش

در طول ۱۰ سال را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه و تحلیل ماتریس تشخیص تغییرات نشان می‌دهد که در کل مساحت ۴۵.۹۰ کیلومتر مربع تغییر یا تبدیل کاربری‌های مختلف رخ داده است. در این مدت ۱.۲۴ کیلومتر مربع از اراضی ساحلی به کاربری انسان‌ساخت و ۰.۶۳ کیلومتر مربع به کاربری معدنی تغییر یافته است، در همین حال، مساحت ۰.۲۱ کیلومتر مربع از اراضی ساحلی به تالاب و نواحی آب شور تبدیل شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد در طول دهه گذشته، گسترش کاربری ساخت و ساز و توسعه شهری به طور مستقیم با رشد جمعیت ارتباط دارد که ادامه این روند تهدید شدیدی برای منابع ساحلی است.

(Mishra et al., 2014) به منظور آشکارسازی و آنالیز تغییرات و پیش‌بینی روند تغییرات کاربری زمین محدوده شهر MUZAFFARPUR در هند از پردازش تصاویر ماهواره‌ای ۱۹۸۸ و ۲۰۱۰ با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده کرده و بر اساس آنالیز داده‌های مورد بررسی بر اساس مدل LCM با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی، نقشه پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین را برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۳۵ تهیه کردند. بر اساس نتایج، دقت کلی ۷۲.۲۸٪ برای تمام انواع تبدیل به دست آمد. همچنین نتایج، بیانگر افزایش کاربری مسکونی و کشاورزی در پایان دوره و نوسان روند تغییرات سایر کاربری‌های زمین است.

(Rawat and Kumar, 2015) به بررسی تغییرات کاربری و پوشش زمین در منطقه Hawalbagh Block هند در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست پرداخته‌اند. نتایج این بررسی، بیانگر افزایش مناطق دارای پوشش گیاهی و مناطق شهری و کاهش کشاورزی، زمین‌های بایر و منابع آبی در این مدت است.

(Jain et al., 2017) در یک بررسی به مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری شهری Gurgaon در مقیاس مکانی و زمانی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۱۹۹۵، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۶ با استفاده از مدل LCM

سایر مدل‌ها به صورت کلی گمراه کننده است. (Pontius and Malanson, 2005)

مقایسه مدل‌های موجود در زمینه تغییر کاربری و پوشش زمین می‌تواند چالش برانگیز باشد، زیرا در هر مدل گزینه‌های مختلفی در هر مرحله از انجام مدل در اختیار کاربر قرار دارد که نوع انتخاب کاربر در مورد این گزینه‌ها در اعتبار و نتایج حاصل از مدل‌سازی مؤثر است. (Olmedo et al., 2015) بر این اساس مقایسه اینکه کدام یک از روش‌های موجود دقت بیشتری دارد مشکل است. در این بین LCM به‌عنوان یکی از رایج‌ترین مدل‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین شناخته می‌شود. (Areendran et al., 2017)

(Areendran et al., 2017) با بررسی ویژگی‌های الگوهای تغییرات مکانی و زمانی کاربری، پوشش زمین و نرخ جنگل‌زدایی در حوزه رودخانه کوشی در هند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای دوره زمانی (۲۰۰۴-۲۰۱۴) وضعیت کریدورهای حیات وحش موجود در منطقه را با پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری و پوشش زمین برای ۲۰۲۰ و ۲۰۳۰ با استفاده از مدل LCM مورد توجه قرار دادند. نقشه پیش‌بینی شده، نشان داد در صورت ادامه روند تغییرات فعلی، مساحت جنگل‌های متراکم در منطقه در حدود ۸.۵ کیلومتر مربع کاهش خواهد یافت و کاربری کشاورزی ۴.۳۱٪ (۲۷.۹ کیلومتر مربع) از کل منطقه را تا سال ۲۰۳۰ اشغال می‌کند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که توسعه خدمات تفریحی، ساختمان‌ها و خانه‌های مسکونی در منطقه از مهم‌ترین دلایل افزایش جنگل‌زدایی است.

(Kaliraj et al., 2017) با استفاده از تصاویر TM<sup>+</sup> و ETM<sup>+</sup> و طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال (MLC) وضعیت کاربری زمین و تغییرات هر یک از طبقات کاربری را در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۱ در منطقه Kanyakumari هند بررسی کرده‌اند. نتایج این مطالعه، افزایش دو برابری کاربری انسان‌ساخت و تبدیل سایر کاربری‌ها به این کاربری

نشان می‌دهد که: (۱) تغییرات اقلیمی جهانی تأثیر زیادی بر تغییرات آینده کاربری زمین دارد. (۲) ترسیب کربن، عملکرد آب و حفاظت خاک در منطقه رابطه متقابل دارند. (۳) تغییرات اقلیم و اجرای سیاست‌ها تأثیر قابل توجهی بر تغییرات در خدمات اکوسیستم در منطقه دارند.

(زبردست و همکاران، ۱۳۹۰) به منظور ارزیابی روند تغییرات تالاب انزلی و ارائه راه‌حل مدیریتی با مقایسه و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های TM و ETM مربوط به دوره زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۱ با نقشه‌سازی تالاب به بررسی روند تغییرات تالاب از گذشته تاکنون به صورت کمی پرداختند. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که تالاب انزلی طی دوره ده ساله، دچار کاهش مساحت و افزایش تغذیه‌گرایی با توجه به تغییرات پوشش گیاهی حاشیه تالاب شده است.

غلامعلی فرد و همکاران در سال ۱۳۹۱، مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل استان مازندران با استفاده از LCM در محیط GIS را انجام دادند، در این تحقیق آشکارسازی تغییرات کاربری زمین با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat متعلق به سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۹، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ بررسی شد. نتایج مدل‌سازی برای سال ۱۳۹۵ نشان داد، که مساحت کاربری جنگل و اراضی باز در این سال نسبت به ۱۳۹۰ کاهش و کاربری کشاورزی و مسکونی افزایش خواهند یافت.

(مکرونی و همکاران، ۱۳۹۵) آشکارسازی روند تغییرات کاربری اراضی تالاب هورالعظیم را با استفاده از تکنیک سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از تصاویر سنجنده های ETM سال ۱۳۸۲ و OLI سال ۱۳۹۳ با استفاده از روش حداکثر احتمال و مقایسه بعد از طبقه‌بندی تغییرات پوشش/کاربری اراضی محدوده مورد بررسی قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که در طول دوره ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۳، ۶۴۵۰۰ هکتار از تالاب از بین رفته است. همچنین کاربری‌های مرتع و کاربری مسکونی در این دوره افزایش و کاربری کشاورزی کاهش داشته است.

پرداخته‌اند و با استفاده از داده‌های حاصل از پردازش تصاویر، نقشه پیش‌بینی تغییرات را برای ۲۰۲۰ و ۲۰۲۵ استخراج شده است. نتایج این تحقیق بیانگر کاهش منابع آبی و بیشه‌زار و افزایش مناطق شهری و کشاورزی در طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۶ است، همچنین پیش‌بینی مدل برای سال ۲۰۲۵ بیانگر افزایش کاربری مسکونی و منابع آبی و کاهش کاربری کشاورزی و بیشه‌زار است.

(Reddy et al., 2017) یک مدل‌سازی پیش‌گویانه را به منظور شبیه‌سازی الگوی تغییرات کاربری و پوشش اراضی جنگلی هند در گذشته و آینده بررسی کرده‌اند در این مطالعه از مدل LCM و الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون چندلایه برای آنالیز تغییرات کاربری و پوشش جنگل سال‌های ۱۹۳۰-۱۹۷۵ و ۲۰۰۵-۲۰۱۳ برای پیش‌بینی پوشش جنگلی ۱۸۸۰ و ۲۰۲۵ استفاده شده است. داده‌های فضایی متغیرهایی نظیر نزدیکی به جاده‌ها، مناطق مسکونی، آبراهه‌ها، ارتفاع و شیب برای تعیین ارتباط بین تغییرات پوشش جنگل و متغیرهای توضیحی استفاده شده است. پیش‌بینی این بررسی در مورد میزان جنگل در سال ۱۸۸۰ نشان می‌دهد که مساحت ۱۰،۴۲،۰۰۸ کیلومترمربع، که معادل ۳۱.۷٪ از مساحت هند است، دارای پوشش جنگلی بوده است، بر همین اساس حدود ۴۰ درصد از پوشش جنگلی در هند در طول دوره زمانی ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۳ از بین رفته است. نتایج پیش‌بینی مدل تا سال ۲۰۲۵، کاهش ۲۳۰۵ کیلومترمربع از جنگل‌ها در منطقه مورد مطالعه است.

(Liu et al., 2017) در شبیه‌سازی تغییرات کاربری زمین و خدمات اکوسیستمی بر اساس سناریوهای مختلف تغییر اقلیم و سیاست‌گذاری‌های مختلف در چین با استفاده از مدل LCM ضمن پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین، تحت تأثیر ۱۶ سناریوی مختلف در سال ۲۰۵۰، تغییرات خدمات اکوسیستمی مختلف از جمله ترسیب کربن، حفاظت خاک و بازده آب بر اساس نقشه‌های کاربری زمین می‌پردازد. نتایج این بررسی

انزلی از شرق به مخروط افکنه سفیدرود، از غرب و جنوب غربی به رشته کوه البرز و از شمال به دریای خزر محدود شده است. حوزه آبخیز تالاب انزلی از نظر مورفولوژی به دو نوع ساختار مناطق پست جلگه‌ای و مناطق کوهستانی در جنوب تقسیم می‌شود. منطقه جلگه‌ای یا دشت، دارای ارتفاع کمتر از ۱۰۰ متر و شیب کمتر از ۱ درصد است، در حالیکه شیب در مناطق کوهستانی و در ارتفاعات ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر از سطح تراز دریا به بیش از ۲۵ درصد می‌رسد. از نظر زمین‌شناسی حوزه آبخیز تالاب به دو ناحیه، زون مربوط به دوران کواترنری (ناحیه پست جلگه‌ای یا دشت) و زون مربوط به قبل از دوران پرشباری (ناحیه کوهستانی) تقسیم می‌شود. (اداره کل مهندسی بنادر و سواحل، ۱۳۹۳)

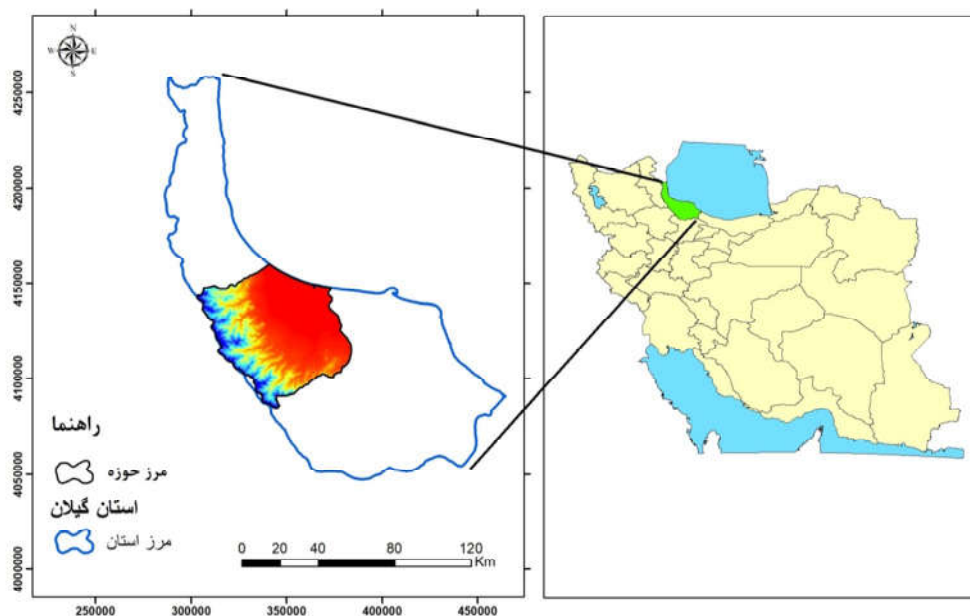
تقریباً ۴۲ درصد از منطقه مورد مطالعه پوشیده از جنگل‌های هیرکانی است که نوار باریکی در امتداد دریا خزر به وجود آورده است. (جایکا، ۱۳۸۳)

طالشی و رحیمی پور شیخانی نژاد (۱۳۹۶) الگویابی تخصیص پایدار کاربری زمین در نواحی روستایی شرق گیلان را با بهره‌گیری از الگوی پایش تغییرات پوشش زمین تحلیل کرده‌اند. پایش زمانی تغییرات پوششی در این بررسی برای سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ و در افق سال ۲۰۳۰ میلادی انجام شده است. بر اساس نتایج بررسی در پهنه مورد مطالعه، سهم پوشش‌های سازگار با طبیعت کاهش یافته و سهم پوشش سکونتگاهی افزایش یافته است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز تالاب انزلی با وسعت ۳۵۸۹۰۲.۵ هکتار در عرض‌های شمال جغرافیایی ۳۶° ۵۵' تا ۳۷° ۳۳' و طول‌های شرق ۴۸° ۴۵' تا ۴۹° ۴۲' در شمال ایران و در امتداد دریای خزر قرار گرفته است. حداکثر و حداقل ارتفاع حوزه آبخیز به ترتیب ۳۱۰۵ و ۲۵- متر از سطح تراز دریا است. همچنین حوزه آبخیز تالاب



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه

### ۳- روش تحقیق

#### داده‌های مورد استفاده

به منظور دستیابی به تغییرات کمی و کیفی رخ داده در منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های کاربری حوزه آبخیز تالاب انزلی بر اساس تصاویر ماهواره لندست برای سال ۱۹۷۵، ۱۹۸۹ و ۲۰۰۰ به ترتیب مربوط به سنجنده‌های TM<sup>+</sup>, TM, MSS تهیه شده توسط (بالی و همکاران، ۱۳۹۱) استفاده شده است. برای تهیه نقشه کاربری‌های زمین در سال ۲۰۱۵ تصاویر زمین مرجع ماهواره Landsat8 استفاده شد. مشخصات تصاویر استفاده شده در تهیه نقشه‌های کاربری زمین در جدول شماره (۱) آمده است. همچنین از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، داده‌های به‌دست‌آمده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) در بررسی میدانی و نظر کارشناسان به‌عنوان اطلاعات جانبی استفاده شد. قبل از هر گونه تجزیه و تحلیل و پردازش، بررسی داده‌ها از نظر احتمال وجود خطای هندسی، اتمسفری و رادیومتری ضروری است. داده‌های مورد استفاده در سطح LIT دریافت شده، که در این سطح تصحیح داده‌ها شامل تصحیح رادیومتری در سطح سیستماتیک، تصحیح هندسی با استفاده از نقاط کنترل زمینی و خطای جابه‌جایی ناشی از توپوگرافی منطقه بر روی داده‌ها اعمال شده است با این وجود داده‌ها از نظر عدم وجود خطای رادیومتری با نمایش تک‌تک باندها و همچنین ترکیب‌های رنگی مختلف

بررسی شد و وضعیت هندسی تصاویر با تلفیق لایه‌های برداری جاده‌ها، آبراهه‌های استخراج شده از نقشه توپوگرافی و نقاط کنترل استخراج شده از تصاویر (Google Earth) و نقاط برداشت زمینی کنترل شد. در این تحقیق به منظور تصحیح اتمسفری داده‌های موجود و برطرف کردن ناهنجاری‌هایی که ممکن است باعث ایجاد خطا در طبقه‌بندی شود، از روش تفریق عارضه تاریک<sup>۱</sup> استفاده شد. در این روش، کمترین ارزش پیکسل‌ها در تمامی باندها به دست آمده و از تک‌تک پیکسل‌های باندها کسر می‌شود. تصاویر پس از تصحیح هندسی، برای تهیه نقشه کاربری زمین مورد پردازش قرار گرفت و تغییرات کاربری زمین در یک دوره ۴۰ ساله مورد پایش قرار گرفت.

#### طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای و تهیه نقشه کاربری زمین

لازمه اجرای این تحقیق، در اختیار داشتن نقشه کاربری زمین صحیح در مقاطع زمانی مختلف است. به این ترتیب با توجه به کاربری‌های موجود در منطقه، نقشه‌های کاربری زمین موجود، اهداف تحقیق و قابلیت‌های تصاویر مورد استفاده در استخراج اطلاعات، شش طبقه کاربری شامل کشاورزی، مرتع، جنگل، اراضی تالابی و اراضی مسکونی و تالاب مدنظر قرار گرفت. در این طبقه‌بندی انواع پدیده‌های مسکونی، به‌عنوان یک طبقه کاربری و انواع

جدول ۱. مشخصات تصاویر استفاده شده در تهیه نقشه‌های کاربری زمین حوزه تالاب انزلی در سال‌های مختلف

سنجنده	ردیف	گذر	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	مبنا	سطح تصحیحات
MSS	۱۷۸	۳۴	۱۹۷۵/۰۷/۰۹	۱۳۵۷/۰۴/۱۹	WGS84	L1T
TM	۱۶۶	۳۴	۱۹۸۹/۰۷/۰۲	۱۳۶۸/۰۴/۱۱	WGS84	L1T
ETM+	۱۶۶	۳۴	۲۰۰۰/۰۶/۳۰	۱۳۷۹/۰۴/۱۰	WGS84	L1T
OLI	۱۶۶	۳۴	۲۰۱۵/۰۶/۱۶	۱۳۹۴/۰۳/۲۶	WGS84	L1T

#### 1. Dark object subtraction

(http://www.ncc.org.ir) و تصاویر Google Earth و نقاط برداشت زمینی، نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس تعریف شدند.

طبقه‌بندی نظارت‌شده با استفاده از نمونه‌های تعلیمی به دست آمده از مرحله قبل به روش حداکثر احتمال در نرم‌افزار ERDAS IMAGINE 9.1 برای تصاویر انجام شد.

در ادامه، با انجام تصحیحاتی روی نقشه‌های کاربری، نقشه نهایی کاربری زمین استخراج شد و پس از پایان مرحله طبقه‌بندی تصاویر، ارزیابی صحت نقشه‌های مستخرج به دو صورت دقت کلی و ضریب کاپا با استفاده از نقاط کنترل و از طریق الگوریتم نمونه‌گیری لایه‌ای تصادفی<sup>۲</sup> بررسی شد.

### مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین

برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در سال ۲۰۴۵ از مدل (LCM) استفاده شد. با توجه به پیچیدگی تغییرات کاربری زمین و دخالت متغیرهای متعدد در این فرایند، مدل (LCM) با تلفیق توانایی‌های مدل زنجیره مارکوف، روش شبکه عصبی چندلایه پرسپترون (MLP)<sup>۳</sup> با آموزش پس انتشار خطا، رگرسیون لجستیک و MOLA<sup>۴</sup> از کارایی خوبی در شبیه‌سازی فرایندهای پیچیده برخوردار است. (فلاح‌کار و همکاران، ۱۳۹۵، Eastman, 2009، Mas et al., 2014) فرایند کار در این مطالعه، با استفاده از مدل LCM به صورت تهیه ماتریس احتمال و مساحت تغییرات با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، تهیه زیر مدل‌های انتقال کاربری‌های مختلف با توجه به تغییرات عمده کاربری‌ها در منطقه و با استفاده از متغیرهای توصیفی با استفاده از روش MLP، تهیه نقشه‌های احتمال تغییر و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در آینده می‌شود.

1. Likelihood Maximum
2. stratified random sampling
3. Multi-Layer perceptron
4. Multi-Objective Land Allocation

زمین‌های کشاورزی به‌عنوان طبقه کشاورزی و زمین‌های حاشیه تالاب شامل گستره گیاهان علفی، خشبی و گل‌ولای به‌عنوان کاربری اراضی تالابی در نظر گرفته شد. مراحل زیر برای طبقه‌بندی تصاویر و استخراج نقشه‌های کاربری زمین دنبال شد.

از آنجا که تفکیک و شناسایی پدیده‌ها به لحاظ رنگ، نتایج بهتری ارائه می‌دهد ولی نمایش داده‌های حاصل از اسکنرها در تک باندها با استفاده از گام خاکستری است. تصویر رنگی کاذب برای TM و ETM با استفاده از ترکیب باندهای ۲۳۴ و برای Landsat8 با استفاده از ترکیب باندهای ۳۴۵ تولید شد. (Khoi and Murayama, 2010)

این تصاویر به تجسم انواع کاربری‌ها در منطقه کمک می‌کنند. برای طبقه‌بندی نظارت‌شده باید مناطقی که به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس استفاده می‌شوند مشخص شود. (Eastman, 2009)

برای روش طبقه‌بندی از الگوریتم حداکثر احتمال<sup>۱</sup> در محیط ERDAS IMAGINE 9.1 استفاده شد. از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر احتمال به‌عنوان دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین روش‌ها شناخته شده است.

(علی‌محمدی و همکاران، ۱۳۸۸، Richards and Liu et al., 2002 Richards., 1999)

در این روش، طبقه‌بندی بر اساس واریانس و کوواریانس با فرض پراکنش نرمال همه نمونه‌های تعلیمی انجام می‌شود. با توجه، به اینکه نمونه‌های تعلیمی باید معرف کلاس مورد نظر باشند، بنابراین با استفاده از تعداد نمونه‌های تعلیمی بیشتر، احتمال پوشش تغییرات بیشتری از ویژگی‌های طیفی وجود دارد. در طبقه‌بندی حداکثر احتمال، پیکسل مورد نظر به کلاسی که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن کلاس وجود دارد نسبت داده می‌شود.

برای این مرحله با تفسیر بصری تصویر ترکیب رنگی کاذب و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده سازمان نقشه‌برداری کشور

جنگلی و تالاب از نقشه کاربری زمین حوزه تالاب انزلی گرفته شد. این نقشه‌ها به همراه نقشه خاک و مدل رقومی ارتفاع حوزه تالاب انزلی به صورت رستری و با مختصات مکانی (WGS-1984-UTM-Zone-39N) و اندازه پیکسل ۳۰ متر تهیه شدند.

فاصله از جاده‌ها، فاصله از روستاها، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از حاشیه جنگل، ارتفاع، جهت و شیب، طبقات خاک، فاصله از حاشیه تالاب متغیرهای مستقل مورد استفاده برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال کاربری‌های مختلف در نظر گرفته شد.

#### اعتبارسنجی نقشه مدل‌سازی شده

بر اساس روش مورد استفاده در مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین، ارزیابی صحت نتایج ضروری است. اعتبارسنجی فرایندی است که کیفیت پارامترهای مدل به وسیله مقایسه نتایج نقشه مدل‌سازی شده با نقشه مرجع یا مجموعه‌ای از داده‌ها مربوط به پایان دوره زمانی شبیه‌سازی شده بررسی می‌شود. (Pontius and Malanson, 2005, van Vliet et al., 2011)

متداول‌ترین شاخص بررسی صحت نتایج مدل‌سازی استفاده از شاخص‌های مختلف ضریب کاپا از جمله ضریب کاپای استاندارد، ضریب کاپای موقعیت و ضریب کاپای کمیت است. از معایب کاپای استاندارد، در نظر نگرفتن موقعیت و کمیت پیکسل‌های طبقه‌بندی شده است و در واقع، توافق ناشی از شانس بین دو نقشه مرجع و مقایسه را بررسی می‌کند. همچنین شاخص کاپا از تمامی پیکسل‌های تغییر نیافته در روند تغییر کاربری اراضی برای بررسی توافق و عدم توافق بین دو نقشه مقایسه و مرجع استفاده می‌کند، بنابراین بهتر است که برای محاسبه دقیق توافق بین این دو نقشه فقط از پیکسل‌های تغییر یافته استفاده شود.

(Chen and Pontius, 2010) چهار مولفه Null

successes (پیکسل‌هایی که در پیش‌بینی و واقعیت

1. Cramer's V

2. Accuracy Rate

در این مرحله، بارز سازی تغییرات طبقات مختلف کاربری زمین در حوزه تالاب انزلی، در دوره زمانی ۱۹۷۵-۱۹۸۹، ۱۹۸۹-۲۰۰۰، ۲۰۰۰-۲۰۱۵ و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین در سال ۲۰۴۵ مورد توجه قرار گرفت.

#### مدل‌سازی پتانسیل انتقال

با استفاده از روش‌های مدل‌سازی پتانسیل انتقال تجربی، میزان احتمال انتقال از یک طبقه کاربری زمین به طبقه دیگر به کمک متغیرهای مستقل نشان داده می‌شود. به همین منظور، واسنجی مدل با استفاده از دو نقشه کاربری زمین سال‌های ۱۹۷۵ و ۲۰۰۰ صورت گرفت. سپس ارتباط بین تغییر کاربری در هر یک از طبقات با استفاده از آماره ضریب همبستگی کرامر<sup>۱</sup> تعیین شد. ضریب کرامر، عددی میان صفر و یک است که هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده میزان همبستگی بالا بین تغییرات کاربری‌های مورد بررسی، به‌عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل است. (پارسامهر و غلامعلی‌فرد، ۱۳۹۵: ۱۹۲) پس از تأیید توانایی متغیرها، برای انتقال صورت گرفته، مدل‌سازی پتانسیل انتقال با استفاده از شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه برای زیر مدل‌های انتقال انجام شد. به‌منظور تحلیل حساسیت مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه از آماره‌ی Skill Measure و میزان صحت<sup>۲</sup> استفاده شده است. Skill Measure آماره‌ای، برای ارزیابی توانایی مدل بر اساس داده‌های صحت‌سنجی است و مهارت مدل را برای پیش‌بینی تغییرات گذشته به کمک داده‌های آموزشی می‌سنجد. این آماره بین ۱- و ۱ است که هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده صحت بالای مدل در راستای پیش‌بینی تغییرات است و اگر صفر باشد نشان‌دهنده عملکرد تصادفی مدل است. (پارسامهر و غلامعلی‌فرد، ۱۳۹۵)

در این مطالعه، نقشه جاده‌ها، نقاط روستایی و مرز دهستان‌ها از نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری تهیه شد. لایه مناطق مسکونی و پوشش



به این ترتیب، الگوی توزیع مکانی طبقات کاربری برای سال ۲۰۴۵ بر مبنای احتمال تغییرات آینده مدل سازی و پیش بینی شده و نقشه های احتمال تغییر برای هر زیر مدل و نقشه پیش بینی کاربری زمین مشخص می شود.

#### ۴- نتایج

نتایج ارزیابی صحت نقشه های کاربری زمین، مستخرج از تصاویر ماهواره ای، با استفاده از ۳۲۳ نقطه از طریق الگوریتم نمونه گیری لایه ای تصادفی به دو صورت دقت کلی و ضریب کاپا به ترتیب برابر ۸۷ درصد و ۰.۷۱ محاسبه شد.

جدول (۲)، مساحت و درصد طبقات مختلف کاربری زمین و شکل (۲)، نمودار روند تغییر کاربری های مختلف در حوزه تالاب انزلی در دوره های مورد مطالعه، بین سال های ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵ را نشان می دهد. به طور کلی، کاربری های کشاورزی و مسکونی در انتهای دوره افزایش و سایر کاربری ها کاهش یافته است. البته به غیر از کاربری مناطق مسکونی که روندی افزایشی از ابتدا تا انتهای دوره داشته است، سایر کاربری ها دچار نوسان بوده و روند متفاوتی را در دوره های مختلف نشان می دهد.

#### تغییرات کاربری زمین بین سال های ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۹

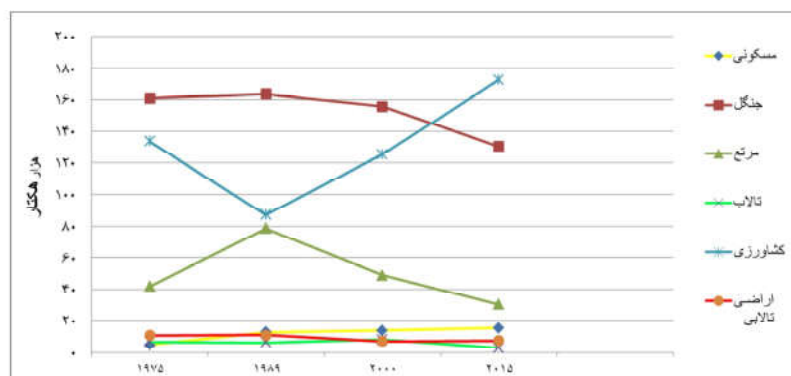
بیشترین تغییرات کاربری زمین بین سال های ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۹ کاهش ۱۳ درصدی کشاورزی و تبدیل آن به کاربری مرتع، جنگل و مناطق مسکونی است. پس از کاربری کشاورزی، تغییر کاربری های کشاورزی و جنگل به کاربری مرتع و افزایش ۱۰ درصدی این کاربری در طول این مدت عمده ترین تغییرات کاربری در حوزه تالاب انزلی بوده است. به طور کلی مساحت کاربری های کشاورزی ۴۶۴۷۶.۹۷ هکتار (۱۳ درصد) و گستره آبی تالاب انزلی با ۳۲۴.۱۸ هکتار (کمتر از ۰.۱ درصد) در این مدت کاهش و سایر کاربری های مشخص شده افزایش داشته است. بیشترین افزایش مربوط به کاربری مرتع با افزایش ۳۶۳۳۵.۰۷ هکتار (۱۰ درصد)،

ثابت بوده و تغییری نداشته اند)، Hits (بیکسل هایی که در واقعیت تغییر داشته و در مدل نیز این تغییر به درستی پیش بینی شده است)، misses (بیکسل هایی که در واقعیت تغییر داشته و در مدل نیز این تغییر به اشتباه ثابت پیش بینی شده است)، false alarms (بیکسل هایی که در واقعیت تغییر نداشته و در مدل این عدم تغییر به اشتباه تغییر پیش بینی شده است) را برای ارزیابی صحت و خطای نتایج مدل سازی پیشنهاد می کنند. این مؤلفه ها در مطالعات مختلفی برای بررسی صحت مدل سازی به کار رفته است. (غلامعلی فرد و همکاران، ۱۳۹۱؛ Sloan; Thapa and Murayama, 2011; Sloan; Thapa and Murayama, 2012) and Pelletier, 2012 برای اعتبارسنجی توان مدل LCM جهت تولید نقشه کاربری زمین سال ۲۰۱۵ ابتدا از نقشه های سال ۱۹۷۵ و ۲۰۰۰ برای پیش بینی نقشه سال ۲۰۱۵ استفاده شد. برای انجام این پیش بینی، ماتریس احتمال تغییرات و ماتریس مساحت های احتمالی تغییرات تهیه و بر مبنای زیر مدل های تعریف شده و نقشه های احتمال انتقال تغییرات، نقشه کاربری زمین سال ۲۰۱۵ تهیه شد. سپس نقشه پیش بینی شده توسط مدل (نقشه مقایسه) با نقشه کاربری زمین تهیه شده به روش طبقه بندی نظارت شده (نقشه مرجع) در مدل LCM مورد مقایسه قرار گرفت و با محاسبه ضریب کاپای استاندارد و محاسبه خطای Hits، False Alarm و Misses وضعیت صحت برای موقعیت و کمیت بیکسل های هر طبقه به دست آمد.

#### نقشه های احتمال انتقال تغییر کاربری زمین

با استفاده از متغیرهای توصیفی مورد استفاده، برای ساخت هر یک از زیر مدل های تغییر کاربری زمین برای ساخت نقشه کاربری/پوشش زمین، در ۳۰ سال آینده از MOLA استفاده شد. این مدل بر مبنای زیر مدل های طراحی شده، بیکسل هایی که دارای بیشترین احتمال تبدیل به کاربری خاصی در سال مورد نظر هستند، را شناسایی و به طبقه آن کاربری اختصاص می دهد.

ارزیابی و پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری زمین ...



شکل ۲. مساحت طبقات مختلف کاربری زمین در سال‌های مورد مطالعه (بر حسب هزار هکتار)

جدول ۲. مساحت و درصد طبقات مختلف کاربری زمین در سال‌های مورد مطالعه

سال	۱۹۷۵		۱۹۸۹		۲۰۰۰		۲۰۱۵		تغییرات ۲۰۱۵-۱۹۷۵	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
مسکونی	۴۸۵۱.۹	۱.۳۵	۱۲۶۴۴.۲۸	۳.۵	۱۳۶۱۸.۸۹	۳.۷	۱۵۳۸۳.۵۲	۴.۲	۱۰۵۳۱.۶۲	۲.۹۳
جنگل	۱۶۱۰۶۰.۵	۴۴.۸۷	۱۶۳۴۹۵.۵	۴۵.۵۵	۱۵۵۸۳۰.۲	۴۳.۴۱	۱۳۰۳۵۶.۵	۳۶.۳۲	-۳۰۷۰۳.۹	-۸.۵۵
مرتع	۴۲۰۷۲.۶۶	۱۱.۷۲	۷۸۴۰۷.۷۳	۲۱.۸۴	۴۸۹۹۴.۳۸	۱۳.۶۵	۳۰۳۳۹	۸.۴	-۱۱۷۳۳.۷	-۳.۲۶
تالاب	۶۶۸۵.۵۶	۱.۸۶	۶۳۶۱.۳۸	۱.۷۷	۸۱۳۱.۲۳	۲.۲۶	۲۸۱۱.۸۷	۰.۷۸	-۳۸۷۳.۶۹	-۱.۰۷
کشاورزی	۱۳۳۴۹۵.۹	۳۷.۱۹	۸۷۰۱۸.۹۳	۲۴.۲۴	۱۲۵۳۲۶.۷	۳۴.۹۱	۱۷۲۶۳۹.۲	۴۸.۱۰	۳۹۱۴۳.۲۵	۱۰.۹۰
اراضی تالابی	۱۰۷۳۶.۰۱	۲.۹۹	۱۰۹۷۴.۶۹	۳.۰۵	۷۰۰۱.۱	۱.۹۵	۷۳۷۲.۴۴	۲.۰۵	-۳۳۶۳.۵۷	-۰.۹۳
مجموع	۳۵۸۹۰۲.۵	۱۰۰	۳۵۸۹۰۲.۵	۱۰۰	۳۵۸۹۰۲.۵	۱۰۰	۳۵۸۹۰۲.۵	۱۰۰		

(۳۴ درصد) و سایر کاربری‌ها است. کاهش کاربری مرتع به میزان ۸ درصد با کاهش ۲۹۴۱۳.۴ هکتار اراضی مرتعی و تبدیل آن، عمدتاً به اراضی کشاورزی، جنگل و مسکونی از جمله تغییرات عمده کاربری‌ها در این دوره است. به طور کلی در این دوره کاربری‌های کشاورزی، مسکونی و تالاب روند افزایشی و کاربری‌های جنگل، مرتع و اراضی تالابی روند کاهشی داشته است. مساحت مناطق مسکونی با ادامه روند افزایشی هرچند با شیب کمتر نسبت به دوره پیشین با افزایش ۹۷۴.۶۱ هکتار در طی این مدت به ۱۳۶۱۸.۸۹ هکتار رسیده است که بیشترین سهم تغییرات در این بخش مربوط به تغییر کاربری مرتع (۴۳.۷۷ درصد) و اراضی کشاورزی (۳۶.۶۷ درصد) و سایر کاربری‌ها به مناطق مسکونی

مسکونی (۲ درصد)، جنگل (۰.۷ درصد) و اراضی تالابی (۰.۰۶ درصد) است. قابل ذکر است در این دوره زمانی مساحت مناطق مسکونی با رشد ۲.۵ برابر از ۴۸۵۱.۹ هکتار به ۱۲۶۴۴.۲۸ هکتار رسیده است که بیشترین میزان تغییر در این بخش مربوط به تبدیل ۷۳۹۶.۷۴ هکتار از اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی است.

#### تغییرات کاربری زمین بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۰

بیشترین تغییرات کاربری زمین در این دوره، افزایش ۱۱ درصدی کاربری کشاورزی با افزایش ۳۸۳۰۷.۷۸ هکتار کاربری کشاورزی در منطقه مورد مطالعه است که بیشترین سهم کاربری‌ها در این افزایش سطح به ترتیب مربوط به کاربری مرتع (۴۶ درصد) و جنگل

است. قابل توجه است که سطح گستره آبی تالاب با رشد (۰.۵) درصدی از ۶۳۶۱.۳۸ هکتار در ابتدای دوره به ۸۱۳۱.۲۳ هکتار در سال ۲۰۰۰ رسیده است که به نظر می‌رسد بخشی از افزایش سطح تالاب به واسطه پیشروی آب دریای خزر در دوره زمانی نزدیک به انتهای دوره و همچنین خشک‌سالی‌های دوره زمانی نزدیک به سال ۱۹۸۹ باشد.

### تغییرات کاربری زمین بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

بیشترین تغییرات کاربری زمین در طول این مدت مربوط به افزایش ۱۳ درصدی کاربری کشاورزی با افزایش ۴۷۳۱۲.۴۶ هکتار اراضی کشاورزی و رسیدن مساحت اراضی کشاورزی به ۱۷۲۶۳۹.۲ هکتار در سال ۲۰۱۵ است که بیشترین سهم در این افزایش سطح مربوط به تبدیل اراضی جنگلی (۵۶.۵ درصد)، مرتع (۲۰.۱۰ درصد) و سایر کاربری‌ها به اراضی کشاورزی است. به طور کلی در طول این مدت اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی و اراضی تالابی افزایش و مساحت کاربری‌های جنگل، مرتع و تالاب کاهش یافته است. در این مدت مناطق مسکونی با ادامه روند افزایشی با افزایش (۰.۵) درصدی به ۱۵۳۸۳.۵۲ هکتار رسیده است که تبدیل ۴۰۷۲.۸۶ هکتار اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی بیشترین سهم را در افزایش سطح مناطق مسکونی داشته است. همچنین نتایج بارز سازی تغییرات کاربری‌ها در طول این مدت نشان‌دهنده کاهش ۱.۵ درصدی گستره آبی تالاب است. در این مدت سطح تالاب با کاهش ۵۳۱۹.۳۶ هکتار از مساحت خود و تبدیل آن به اراضی کشاورزی (۷۶ درصد)، اراضی تالابی و گل‌ولای (۹.۱۹ درصد) و سایر کاربری‌ها به ۲۸۱۱.۸۷ هکتار رسیده است.

### تغییرات کاربری زمین بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵

در طی دوره زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵، تمامی تغییرات و انتقال کاربری‌های مختلف به یکدیگر ۷۶۶۴۸.۱۴ هکتار است. بیشترین تغییرات، بین کاربری‌های مختلف در

طی این زمان به ترتیب، مربوط به انتقال کاربری‌های مختلف، به کاربری کشاورزی به میزان ۴۹۸۲۷.۶۹ هکتار است که این میزان، معادل ۶۵ درصد کل تغییرات کاربری‌های مختلف است. جدول (۳)، نتایج ماتریس آشکارسازی تغییرات و انتقالات کاربری‌های زمین را نشان می‌دهد که مقدار کاربری‌های منتقل شده از یک کاربری به یک یا چند کاربری دیگر را در حوزه تالاب انزلی در بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. همان‌طور که از اطلاعات جدول فوق، مشخص است پس از تغییر کاربری‌های مختلف به کاربری کشاورزی، تغییر یک یا چند کاربری مختلف به کاربری‌های مسکونی، جنگل، مرتع، اراضی تالابی و تالاب با ۱۱۵۰۴.۶، ۸۹۰۸۶.۵، ۴۴۸۱.۱۹، ۱۸۳۱.۵ و ۳۵۲.۱۷ هکتار به ترتیب در رده‌های بعدی بیشترین انتقال کاربری‌ها در این مدت قرار دارند. همچنین شکل (۳)، نمودار گرافیکی تغییرات کاربری‌های زمین مختلف در این مدت را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال در تغییر کاربری‌های مختلف، به کاربری کشاورزی به‌عنوان عمده‌ترین تغییر کاربری‌های صورت گرفته در این فاصله زمانی به ترتیب کاربری‌های جنگل (۶۴ درصد)، مرتع (۱۶ درصد)، اراضی تالابی (۱۰ درصد)، تالاب (۸ درصد) و مناطق مسکونی (۲ درصد) بیشترین سهم را دارند.

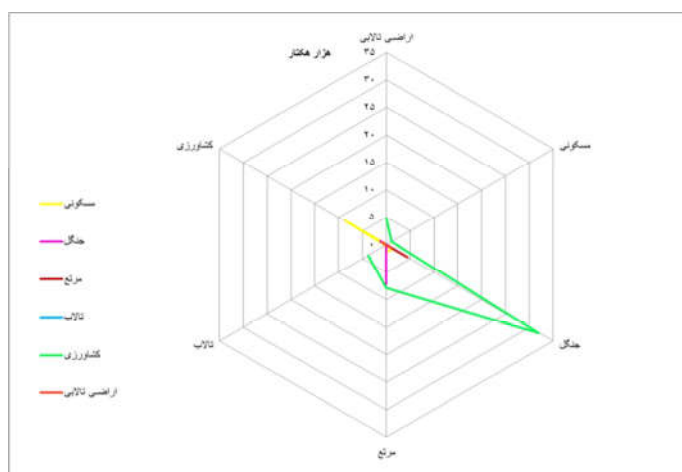
به‌طور کلی، در این مدت کاربری‌های جنگل، مرتع، تالاب، اراضی تالابی کاهش و کشاورزی و مناطق مسکونی افزایش یافته است. البته به غیر از کاربری مناطق مسکونی که در طول این مدت روند افزایشی را نشان می‌دهد، سایر کاربری‌ها در دوره‌های مورد مطالعه به دلایل گوناگون نوسان دارند. با اضافه شدن ۱۰۵۳۱.۶۲ هکتار به کاربری مناطق مسکونی، مساحت این کاربری به ۱۵۳۸۳.۵۲ هکتار در سال ۲۰۱۵ رسیده است. به عبارت دیگر، از لحاظ نظری، سالانه به طور متوسط ۲۶۳.۲۹ هکتار به مساحت مناطق مسکونی در محدوده مورد مطالعه اضافه شده است، هرچند عملاً بیشترین افزایش مناطق مسکونی ۷۷۹۲.۳۸ هکتار (۷۳.۹۹ درصد) در بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۹ با نرخ رشد ۵۵۶.۵۹ هکتار در سال اتفاق افتاده است.

ارزیابی و پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری زمین ...

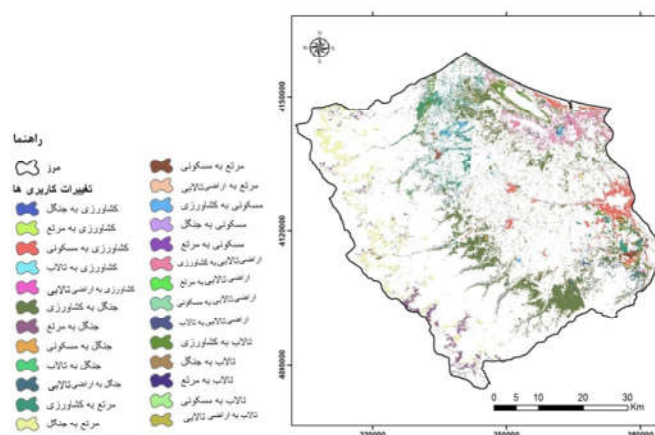
جدول ۳. ماتریس احتمال انتقال کاربری زمین بین سال‌های ۱۹۷۵ - ۲۰۱۵

مساحت در سال ۲۰۱۵	مجموع مساحت انتقالی	۲۰۱۵ مساحت (هکتار)						طبقه کاربری
		اراضی تالابی	کشاورزی	تالاب	مرتع	جنگل	مسکونی	
۱۵۳۸۳.۵۲	۱۱۵۰۴.۷	۸۷.۹۳	۸۶۰۸.۳۲	۲۰۶.۲۸	۱۲۰۲.۵۸	۱۳۹۹.۵۹	-	مسکونی
۱۳۰۳۵۶.۵	۸۶۵۰.۸۹	-	۱۲۹۹.۶۹	۳۹.۸۷	۷۲۸۸.۲۹	-	۲۳.۰۴	جنگل
۳۰۳۳۹	۴۴۸۱.۱۹	۲.۶۱	۷۲.۲۷	۱۸.۵۴	-	۴۳۷۰.۵۸	۱۷.۱۹	مرتع
۲۸۱۱.۸۷	۳۵۲.۱۷	۱۶۵.۸۷	۱۶۶.۰۵	-	-	۲۰.۲۵	-	تالاب
۱۷۲۶۳۹.۲	۴۹۸۲۷.۶۹	۴۹۴۵.۶۸	-	۳۸۵۶.۷۷	۷۸۲۸.۹۲	۳۲۰۷۱.۶۸	۱۱۲۴.۶۴	کشاورزی
۷۳۷۲.۴۴	۱۸۳۱.۵	-	۷۲۹.۹	۱۰.۸	۱۵.۳۹	۹۷۸.۲۱	-	اراضی تالابی
	۷۶۶۴۸.۱۴	۵۲۰۲.۰۹	۱۰۸۷۶.۲۳	۴۲۲۹.۴۶	۱۶۳۳۵.۱۸	۳۸۸۴۰.۳۱	۱۱۶۴.۸۷	مجموع مساحت منتقل شده

۱۹۷۵



شکل ۳. انتقال طبقات کاربری زمین به یک یا چند کاربری بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵



شکل ۴. نقشه تغییرات کاربری زمین بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵

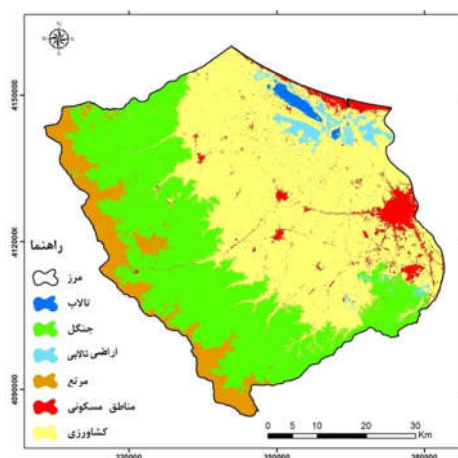
### مدل سازی تغییرات کاربری اراضی

از مدل LCM در محیط نرم افزار IDRISI نسخه TerrSet، برای مدل سازی تغییرات کاربری زمین و همچنین پیش بینی تغییرات کاربری زمین در سال ۲۰۴۵ استفاده شد. در این مطالعه، جهت تولید نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۴۵، ابتدا از نقشه های سال ۱۹۷۵ و ۲۰۰۰ برای پیش بینی نقشه سال ۲۰۱۵ استفاده شد. برای انجام این پیش بینی، ماتریس احتمال تغییرات و ماتریس مساحت های احتمالی تغییرات (جدول ۴) تهیه و بر مبنای زیر مدل های تعریف شده و نقشه های احتمال انتقال تغییرات، نقشه کاربری زمین پیش بینی سال ۲۰۱۵ (شکل ۵) تهیه شد. مدل سازی

نیروی انتقال با استفاده از پرسپترون چند لایه شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. سه عامل ارزیابی صحت، خطای آموزش و خطای تست برای ارزیابی مدل سازی نیروی انتقال تعیین شدند (جدول ۵). نتایج در همه زیر مدل ها صحت بالایی (۶۰ - ۸۸ درصد) را نشان داد. ضرایب Overall Cramer's، که میزان ارتباط بین متغیرها و طبقات کاربری زمین را نشان می دهد، محاسبه و نتایج آن ها در جدول (۶) ذکر شده است. کمترین و بیشترین میزان Overall Cramer's V را به ترتیب متغیرهای فاصله از تالاب و فاصله از حاشیه جنگل داشتند.

جدول ۴. ماتریس احتمال تغییرات و مساحت های احتمالی تغییرات بین سال های ۱۹۷۵ - ۲۰۰۰

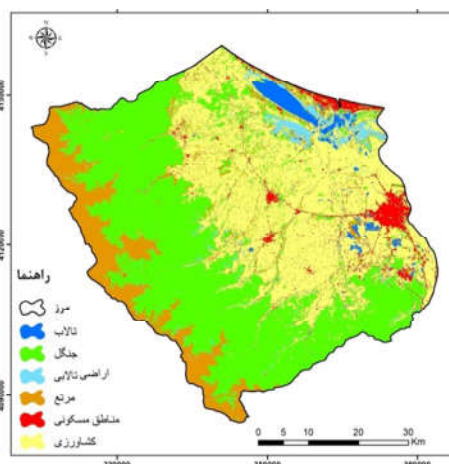
۲۰۰۰		کشاورزی		تالاب		مرتع		جنگل		مسکونی		طبقه کاربری
مساحت	احتمال (هکتار)	مساحت	احتمال (هکتار)	مساحت	احتمال (هکتار)	مساحت	احتمال (هکتار)	مساحت	احتمال (هکتار)	مساحت	احتمال (هکتار)	
۰.۰۰	۰.۰۱۲۰	۰.۰۰	۰.۱۲۴۶	۰.۰۰	۰.۰۰۴۵	۰.۰۰	۰.۰۳۲۶	۰.۰۰	۰.۰۲۸۳	۱۵۱۳۲۱	۰.۷۹۸۰	مسکونی
۲۹۴۳	۰.۰۰۱۷	۱۱۰۴۶۶	۰.۰۰۶۳۸	۱۹۰۵	۰.۰۰۱۱	۶۸۰۴۶	۰.۰۳۹۳	۱۵۴۲۸۹۲	۰.۸۹۱۱	۵۳۶۷	۰.۰۰۳۱	جنگل
۰.۰۰	۰.۰۰۰۳	۴۵۲۹۳	۰.۰۰۸۳۲	۰.۰۰	۰.۰۰۱۹	۴۴۸۲۴۴	۰.۸۲۱۲	۴۵۵۶۵	۰.۰۸۳۷	۵۲۸۱	۰.۰۰۹۷	مرتع
۷۷۷	۰.۰۰۸۶	۱۸۴۸۵	۰.۲۰۴۶	۷۰۱۰۰	۰.۷۲۳۱	۰.۰۰	۰.۰۲۶۶	۰.۰۰	۰.۰۲۶۲	۹۹۴	۰.۰۱۱۰	تالاب
۱۲۹۵۰	۰.۰۰۹۳	۱۲۹۹۴۹۹	۰.۸۱۹۳	۱۷۹۶۳	۰.۰۱۲۹	۰.۰۰	۰.۰۴۰۷	۰.۰۰	۰.۰۷۳۲	۶۲۱۰۶	۰.۰۴۴۶	کشاورزی
۵۰۲۹۲	۰.۵۸۳۳	۲۰۰۲۳	۰.۲۵۷۴	۷۴۸۳	۰.۰۹۶۲	۰.۰۰	۰.۰۰۲۹	۰.۰۰	۰.۰۶۰۳	۰.۰۰	۰.۰۰۰۰	اراضی تالابی



شکل ۵. نقشه کاربری زمین برای سال ۲۰۱۵

جدول ۵. مشخصات زیر مدل‌های تبدیل کاربری‌های زمین بین سال‌های ۱۹۷۵-۲۰۰۰

زیر مدل	میزان صحت (درصد)	خطای تست	خطای آموزش	Skill Measure
جنگل به کشاورزی	۸۸.۷۳	۰.۴۹۶۶	۰.۴۹۶۸	۰.۷۷۴۶
کشاورزی به مسکونی	۷۸.۰۲	۰.۵	۰.۵	۰.۶۲۰۱
جنگل به مسکونی	۶۱.۸۲	۰.۴۸۲۴	۰.۴۸۲۵	۰.۵۳۶۴
جنگل به تالاب	۶۴.۷۴	۰.۵	۰.۵	۰.۲۹۴۸
جنگل به اراضی تالابی	۶۵.۶۴	۰.۴۷۴۹	۰.۴۷۴۹	۰.۳۱۲۸
مرتع به مسکونی	۶۵.۰۷	۰.۴۷۰۳	۰.۴۷۰۶	۰.۴۰۱۵
تالاب به کشاورزی	۶۱.۳۶	۰.۴۹۹۱	۰.۴۹۹۳	۰.۶۰۷۲
مرتع به کشاورزی	۶۰.۱۴	۰.۵	۰.۵	۰.۵۶۲۸



شکل ۶. نقشه کاربری زمین شبیه‌سازی شده برای سال ۲۰۱۵

گرفت و با محاسبه ضریب کاپای استاندارد (۰.۸۹۴۸) و محاسبه خطای Null Successes (۷۷.۹ درصد)، False Alarms (۳.۱ درصد)، Misses (۱۵.۹ درصد)، False Alarms (۳.۱ درصد) وضعیت صحت برای موقعیت و کمیت پیکسل‌های هر طبقه به دست آمد. نسبت Hits به کل پیکسل‌های تغییر کرده (۱۴.۲) بیانگر قابل قبول بودن نتایج مدل در پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین است.

#### مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین سال ۲۰۴۵

مقایسه نتایج حاصل از تبدیل و تغییر کلاس‌های کاربری‌های زمین در دوره زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۵ (پیش‌بینی شده) در منطقه نشان می‌دهد که اگر روند بهره‌برداری از سرزمین با شیوه مدیریت

جدول ۶. ضریب کرامر برای متغیرهای محرک

متغیر محرک	مقدار ضریب کرامر
مدل رقومی ارتفاع	۰.۳۸
فاصله از تالاب ۱۹۷۵	۰.۵۴
فاصله از حاشیه جنگل ۱۹۷۵	۰.۳۴
فاصله از مناطق مسکونی ۱۹۷۵	۰.۳۶
شیب	۰.۱۸
فاصله از جاده‌ها	۰.۱۶
خاک	۰.۱۱

#### اعتبارسنجی مدل‌سازی کاربری اراضی

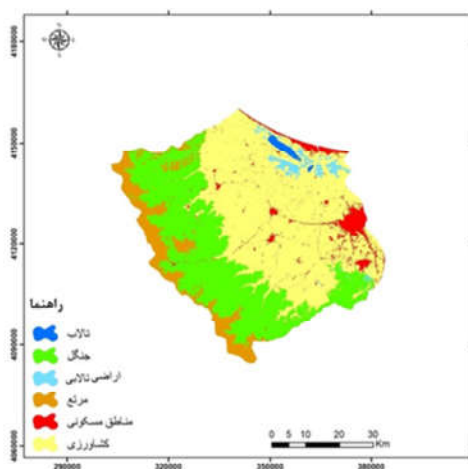
نقشه کاربری زمین پیش‌بینی شده، توسط مدل (نقشه مقایسه) برای سال ۲۰۱۵ با نقشه کاربری اراضی تهیه شده به روش طبقه‌بندی نظارت‌شده (نقشه مرجع) مربوط به سال ۲۰۱۵، در مدل LCM مورد مقایسه قرار

۳۱۷.۰۷ و ۸۸۶.۶۸ هکتار کاهش خواهد داشت. جدول ۷، نتایج ماتریس پیش‌بینی تغییرات و انتقالات کاربری‌های زمین را نشان می‌دهد که مقدار کاربری‌های منتقل شده از یک کاربری به یک یا چند کاربری دیگر را در حوزه تالاب انزلی در بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۴۵ را بر اساس مدل و همچنین مساحت هر یک از کاربری‌ها در پایان دوره را نشان می‌دهد. شکل (۷)، نقشه کاربری زمین پیش‌بینی شده در سال ۲۰۴۵ را نشان می‌دهد.

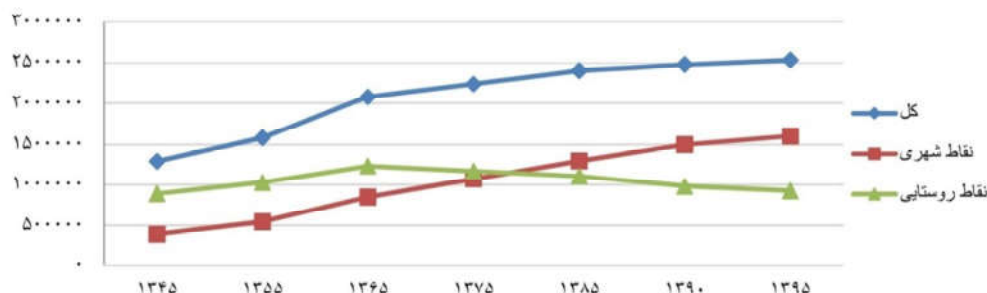
فعلی ادامه یابد، ۱۰۰۳۶.۲۶ هکتار اراضی جنگلی به اراضی کشاورزی (۶۷.۶۹ درصد)، مرتع (۳۲.۰۴ درصد)، مناطق مسکونی (۰.۱۶ درصد) و اراضی تالابی تبدیل و با احتساب انتقال سایر کاربری‌ها به کاربری جنگل در مجموع در طول این مدت شاهد کاهش ۹۹۶۳.۳۶ هکتار جنگل خواهیم بود. به‌طور کلی در این مدت کشاورزی، مرتع و مناطق مسکونی به ترتیب ۳۱۶۶.۵۶، ۷۰۴۷.۴۵ و ۸۵۴.۱۰ هکتار افزایش و کاربری‌های جنگل، تالاب و اراضی تالابی به ترتیب ۹۹۶۳.۳۶،

جدول ۷. ماتریس احتمال تغییرات و مساحت‌های احتمالی تغییرات بین سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۴۵

طبقه کاربری	۲۰۴۵ مساحت (هکتار)											
	مسکونی		جنگل		مرتع		تالاب		کشاورزی		اراضی تالابی	
	مساحت (هکتار)	احتمال	مساحت (هکتار)	احتمال	مساحت (هکتار)	احتمال	مساحت (هکتار)	احتمال	مساحت (هکتار)	احتمال	مساحت (هکتار)	احتمال
مسکونی	-	-	۰.۰۳۴	۰.۰۰۳	۰.۰۰۳	۰.۰۰۳	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۱۴۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
جنگل	۱۶.۱۱	۰.۰۰۴۷	-	-	۳۲۱۵۶۱	۰.۰۰۳۳۲	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۶۹۴۱۰	۰.۰۰۰	۱.۰۴۴	۰.۰۰۵۱
مرتع	۳۹۳۴	۰.۰۲۲۱	۰.۱۴۸۰	-	-	-	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۱۵۷۵	۰.۰۰۰	۰.۱۴۵۶	۰.۰۰۰
تالاب	۲۴۳	۰.۰۱۹۷	۰.۰۰۴۱	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۲۶	-	-	۳۳۳۵۶	۰.۰۰۰	۰.۵۱۰۲	۰.۰۱۵۳
کشاورزی	۸۱۸۲۷	۰.۰۵۱۳	۵۸۷۶	۰.۰۰۷۷	۴۶۸	۰.۰۰۰۳	۱.۴۴	۰.۰۰۱۱	-	-	۶۷۴۱	۰.۰۰۴۶
اراضی تالابی	۲۶۱	۰.۰۰۰۷	۱۴۰۴	۰.۰۰۰	۱۲۶	۰.۰۰۰۲	۲۷۰	۰.۰۱۵۳	۱۰۲۹۱۵	۰.۰۳۸۷۸	-	-
مجموع مساحت انتقالی	۸۷۸۷۶	۷۲۹۰	۳۳۲۱۵۵	۴۱۴	۸۰۹۷۲۱	۱۶۳۰۸	۱۲۴۲۷۶۴					



شکل ۷. نقشه تغییرات کاربری شبیه‌سازی شده برای سال ۲۰۴۵



شکل ۸. روند تغییرات جمعیت استان گیلان به تفکیک نقاط شهری و روستایی طی سال‌های ۱۳۴۵-۱۳۹۵ (طیفوری و اکبری، ۱۳۹۶)

## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

می‌شود. در دهه‌های اخیر، این تغییرات در مناطق ساحلی به واسطه فعالیت‌های انسانی و به دلیل تأثیری که این تغییرات بر روی خدمات اکوسیستمی و کارکرد طبیعی اکوسیستم‌ها دارد، باعث ایجاد اثرات و پیامدهای نگران‌کننده در این مناطق شده است. (Kaliraj et al., 2017)

بر اساس نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن طی ۵۰ سال گذشته، جمعیت استان گیلان از ۱۲۹۱۱۵۹ نفر در سال ۱۳۴۵ به ۲۵۳۰۶۹۶ در سال ۱۳۹۵ رسیده است. البته افزایش جمعیت، در طول این مدت یکسان نبوده و بیشترین میزان افزایش جمعیت مربوط به دوره ۱۳۴۵-۱۳۶۵ بوده و همچنین رشد جمعیت در مناطق شهری و روستایی نیز متفاوت است. افزایش جمعیت شهری، در طی این مدت همواره مثبت بوده، در حالی که رشد جمعیت روستایی در فاصله سال‌های ۱۳۴۵-۱۳۶۵ مثبت و بعد از آن رشد جمعیت به دلیل پایین آمدن نرخ باروری، مهاجرت روستائیان و جذب آبادی‌ها به شهر و ایجاد شهرهای جدید منفی است. نسبت شهرنشینی از ۲۳.۵ درصد در سال ۱۳۴۵ به ۶۳.۳ درصد در سال ۱۳۹۵ تغییر یافته است. همچنین تراکم نسبی جمعیت استان گیلان از ۸۷.۷ نفر در کیلومترمربع در سال ۱۳۴۵ به ۱۸۰.۲ نفر در کیلومترمربع در سال ۱۳۹۵ رسیده است. (طیفوری و اکبری، ۱۳۹۶)

شکل (۸)، نمودار روند تغییرات جمعیت استان

افزایش فشار به مناطق ساحلی بر اثر فعالیت‌های طبیعی و انسانی باعث تغییرات پویای کاربری و پوشش زمین می‌شود. در مناطق مورد مطالعه، به‌وضوح تغییرات پویای کاربری‌های مختلف بر اثر فعالیت‌های طبیعی یا انسانی مشاهده می‌شود. بیشترین کاربری‌های موجود در منطقه در مدت زمان مورد مطالعه، بدون توجه به اثرات منفی احتمالی بر محیط‌زیست و افزایش حساسیت‌پذیری اکوسیستم‌های حساس منطقه، به کاربری‌های کشاورزی و مسکونی تغییر یافته است.

انتقال کاربری یا پوشش زمین به فرایند تبدیل و انتقال پویای ویژگی‌های زمین از یک شکل به شکل دیگر در زمان‌های مختلف بر اثر فعالیت‌های انسانی یا طبیعی اشاره دارد. (Amin and Fazal, 2012)

ویژگی‌های زمین در حال تغییر دائمی از وضعیت موجود به سایر اشکال، بسته به پایداری محیط‌زیست و تقاضای جوامع محلی است. (Kumar and Jayappa, 2009, Jain et al., 2017)

بر اساس گزارش UNDP, 2007، میزان جمعیت انسانی در نواحی ساحلی در طی ۴۰ سال گذشته دو برابر شده است و همین میزان افزایش جمعیت برای این نواحی در ۴۰ سال آینده قابل پیش‌بینی است. (Kaliraj et al., 2017). رشد سریع جمعیت باعث تسریع در روند تغییرات کاربری و پوشش طبیعی زمین و انتقال به کاربری‌های مسکونی و توسعه زیرساخت‌ها



ارتفاع سطح آب دریای خزر کاسته شده است. البته با وجودی که روند عمومی سطح آب دریای خزر در حال پایین آمدن است ولی در برخی مقاطع، تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی به ویژه حجم جریان‌های آبی از جمله رودخانه ولگا سطح آب دریا افزایش می‌یابد.

بررسی و مقایسه خطوط ساحلی در طی ۹۸ سال مورد بررسی، مؤید حدوث اختلاف فاحش در تراز آبی و جابه‌جایی خط ساحل در سه مقطع خاص است. بر پایه تراز و عرصه آبی سال ۱۹۵۵، پس از یک دوره کاهش تراز آبی در دهه ۷۰ میلادی تراز آبی در اوایل دهه ۹۰ میلادی به حداکثر رسیده و عرصه آبی، حداکثر پیشروی به سمت خشکی را دارا بوده است. از نیمه دوم دهه ۹۰، کاهش تراز آبی و پسروی ساحل آغاز شده که با روندی کم نوسان و با شیب ملایم کاهشی، همراه بوده است. از سال (۲۰۰۱)، روند کاهشی سرعت یافته و در سال ۲۰۱۴ به حداکثر رسیده، به طوری که، کمترین تراز آبی و بالاترین مقادیر پس‌روی بعد از سال ۲۰۰۱، در این سال برای سواحل خزر ثبت می‌شود. (شریفی کیا و همکاران، ۱۳۹۶، یوسفی روشن و کردوانی، ۱۳۹۲) بر اساس نتایج به دست آمده، از مطالعه پایش خشکسالی و تحلیل ویژگی آن در استان گیلان در دوره ۳۰ ساله، این استان سال‌های ۱۹۷۹ و ۱۹۸۱ و ۱۹۸۳ و ۱۹۹۱ و ۱۹۹۵ درگیر خشکسالی بسیار شدید بوده است. (بهزادی، ۱۳۹۰) با توجه به وضعیت پیشروی آب دریای خزر و توزیع وضعیت خشکسالی در حوزه تالاب انزلی، به نظر می‌رسد این دو عامل باعث بخشی از افزایش سطح گستره آبی تالاب در بین سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۰۰ باشد. افزایش گستره آبی تالاب در این فاصله زمانی، در مطالعات دیگر نیز مورد اشاره قرار گرفته است. (زبردست و همکاران، ۱۳۹۰، فلاح و فاخران اصفهانی، ۱۳۹۴)

افزایش جمعیت به صورت مستقیم اثرات منفی بر روی منابع زمین داشته و باعث انتقال کاربری‌های طبیعی زمین به کاربری‌های دیگر از جمله کاربری مسکونی و توسعه سکونتگاه‌ها و سایر انواع توسعه

گیلان به تفکیک نقاط شهری و روستایی طی سال‌های ۱۳۴۵-۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. افزایش جمعیت و تراکم نسبی جمعیت و همچنین تغییر نسبت شهرنشینی در این مدت، باعث افزایش تقاضا برای توسعه مناطق مسکونی و تغییر کاربری زمین در این راستا شده است. نتایج این بررسی، مؤید این مطلب بوده و مقایسه نمودار روند تغییرات جمعیت شکل (۸) و نمودار روند تغییرات کاربری‌های زمین شکل (۲) نشان می‌دهد که کاربری مناطق مسکونی و تبدیل کاربری‌های زمین به مناطق مسکونی در طول دوره مطالعه همواره روندی مثبت و منطبق بر افزایش جمعیت داشته است و شیب افزایش کاربری مسکونی نیز منطبق بر روند افزایش جمعیت در فاصله زمانی ۱۹۷۵-۱۹۸۹ بیشترین مقدار را داشته و در دوره‌های بعدی علیرغم حفظ روند افزایشی از شیب ملایم‌تری برخوردار بوده است.

بررسی روند تغییرات گستره آبی تالاب در طول مدت مطالعه بیانگر افزایش مساحت تالاب در بین سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۰۰ و کاهش مساحت تالاب در فاصله زمانی ۱۹۷۵-۱۹۸۹ و ۲۰۰۰-۲۰۱۵ است. مساحت تالاب متأثر از افزایش جمعیت، افزایش برداشت آب از منابع تغذیه‌کننده تالاب و افزایش کاربری کشاورزی و افزایش برداشت آب از حوزه آبریز برای مصارف شهری، کشاورزی و صنعتی روندی کاهشی نشان می‌دهد، به نظر می‌رسد افزایش مساحت گستره آبی تالاب بین سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۰۰ به واسطه پیشروی آب دریای خزر در دوره زمانی نزدیک به انتهای دوره (سال ۲۰۰۰) و همچنین خشکسالی‌های دوره زمانی نزدیک به سال ۱۹۸۹ باشد. تغییر سطح آب دریای خزر و وقوع حالت‌های طوفانی در آن مستقیماً در تغییر سطح آب تالاب انزلی در سال‌های مختلف و ایام مختلف سال تأثیر می‌گذارد. سطح آب دریای خزر، طی دهه‌های گذشته پیوسته در حال پایین آمدن است و با اندکی تغییر طی سال‌های مختلف از آغاز سده شمسی تاکنون بیش از سه متر

دریای خزر به کمک داده‌های چند زمانه/چند  
سنجده‌ای، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۲۱(۴):  
۱۲۲-۱۳۹.

طالشی، م.، رحیمی پورشیخانی‌نژاد، م.ع.، ۱۳۹۶،  
الگویابی تخصیص پایدار کاربری زمین در  
نواحی روستایی شرق گیلان، فصلنامه اقتصاد  
فضا و توسعه روستایی، ۶(۲۲): ۱۱۹-۱۴۶.

طیفوری، و. و اکبری، ص.، ۱۳۹۶، بررسی جمعیت و  
گزیده شاخص‌های جمعیت استان گیلان  
سال‌های ۱۳۴۵-۹۵: سازمان مدیریت و  
برنامه‌ریزی استان گیلان، معاونت آمار و اطلاعات.

علی محمدی، ع.، موسیوند ع.ج. و شایان، س.، ۱۳۸۸،  
پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین با  
استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره‌ای  
مارکوف، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۴(۳):  
۱۱۷-۱۳۰.

غلامعلی‌فرد، م.، جوراییان‌شوشتری، ش.،  
حسینی کهنوج، س.ج. و میرزایی، م.، ۱۳۹۱، مدل  
سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل استان  
مازندران با استفاده از LCM در محیط GIS،  
محیط‌شناسی، ۳۸(۴): ۱۰۹-۱۲۴.

فلاح، م. و فاخران اصفهانی، س.، ۱۳۹۴، اثرات تغییر  
کاربری اراضی بر کیفیت آب تالاب بین‌المللی  
انزلی، اقیانوس‌شناسی، ۶(۲۴): ۵۳-۵۹.

فلاح‌کار، س.، حسینی، س.م.، ماهینی، ع.س. و  
ایوبی، ش.، ۱۳۹۵، پیش‌بینی تغییرات کاربری  
راضی با استفاده از مدل LCM، پژوهش‌های  
محیط‌زیست، ۷(۱۳): ۱۶۳-۱۷۴.

جایکا با همکاری سازمان حفاظت از محیط زیست و  
وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۳، گزارش سالانه  
وضعیت محیط زیست تالاب انزلی و حوزه  
آبخیز آن.

انسان ساخت می‌شود. بر این اساس انجام پروژه‌های  
ارزیابی تغییرات پوشش و کاربری زمین به منظور پایش  
و مدیریت منابع طبیعی و زیست‌محیطی این مناطق،  
ضروری است. بررسی تغییرات کاربری و پوشش زمین،  
اطلاعات مناسب برای مدیریت منابع ساحلی فراهم  
می‌کند. بنابراین به‌منظور، ایجاد زیرساخت‌های  
اطلاعاتی مناسب برای مدیریت منابع ساحلی تحت  
تأثیر فشار افزایش جمعیت در مقیاس ملی یا ناحیه‌ای،  
انجام این مطالعات از اهمیت بالایی برخوردار است.

#### ۶- منابع:

اداره کل مهندسی بنادر و سواحل، ۱۳۹۳،  
ژئومورفولوژی در مدیریت یکپارچه مناطق  
ساحلی ایران: سواحل دریای خزر: برگرفته از  
مطالعات طرح مدیریت یکپارچه مناطق  
ساحلی ایران (ICZM)، جلد اول (سواحل دریای  
خزر)، نشر سازمان بنادر و کشتیرانی، ۸۸ص.

بالی، ع.، منوری، س.م.، ریاضی، ب.، خراسانی، ن. و  
خیرخواه، م.م.، ۱۳۹۱، کاربرد سنجش از راه دور  
در بررسی روند تغییرات کاربری اراضی با  
تاکید بر توسعه شهری (تالاب انزلی)، علوم  
محیطی، ۱۱(۱): ۷۳-۸۰.

بهزادی، ج.، ۱۳۹۰، پایش خشکسالی و تحلیل ویژگی  
آن در استان گیلان، فصلنامه جغرافیا و آمایش  
سرزمین، ۱۱(۱): ۲۱-۳۶.

پارسامهر، ک. و غلامعلی‌فرد، م.، ۱۳۹۵، معرفی  
کاربردی مدل‌سازی پروژه‌های REDD:  
راهکاری برای کاهش پیامدهای تغییر اقلیم،  
پژوهش‌های محیط‌زیست، ۷(۱۳): ۱۸۹-۲۰۲.

زبردست، ل. و جعفری، ۱۳۹۰، ارزیابی روند تغییرات  
تالاب انزلی با استفاده از سنجش از دور و ارائه  
راه‌حل مدیریتی، محیط‌شناسی، ۳۷(۵۷): ۱-۸.

شریفی‌کیا، م.، شایان، س. و ولی، م.، ۱۳۹۶، تعیین  
تغییرات دینامیک خط ساحل بخش شرقی

- Jain R, 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: 2947-2961.
- Joshi R. R, Warthe M, Dwivedi S, Vijay R, Chakrabarti T. 2011. Monitoring changes in land use land cover of Yamuna riverbed in Delhi: a multi-temporal analysis. **International journal of remote sensing**, 32: 9547-9558.
- Kaliraj S, Chandrasekar N, Ramachandran K, Srinivas Y, Saravanan S. 2017. Coastal landuse and land cover change and transformations of Kanyakumari coast, India using remote sensing and GIS. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**. 2: 169-185. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.04.003>
- Kawakubo F, Morato R, Nader R, Luchiari A. 2011. Mapping changes in coastline geomorphic features using Landsat TM and ETM+ imagery: examples in southeastern Brazil. **International journal of remote sensing**, 32: 2547-2562. <https://doi.org/10.1080/01431161003698419>
- Khoi D, Murayama Y. 2010. Forecasting Areas Vulnerable to Forest Conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam. **Remote Sensing**, 2 (5): 1249-1272. <https://doi.org/10.3390/rs2051249>
- Kolb M, Mas J. F, Galicia L. 2013. Evaluating drivers of land-use change and transition potential models in a complex landscape in Southern Mexico. **International Journal of Geographical Information Science**, 27: 1804-1827. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.770517>
- مکرونی، س، سبزقبایی، غ.ر.، یوسفی خانقاه، ش. و سلطانیان، س.، ۱۳۹۵، آشکارسازی روند تغییرات کاربری اراضی تالاب هورالعظیم با استفاده از تکنیک سنجش ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۳): ۸۹-۹۹.
- یوسفی روشن، م.ر. و کردوانی، پرویز.، ۱۳۹۲، نوسان سطح آب و کارایی حریم دریای خزر (خط ساحلی محدوده شهرستان بابلسر)، پژوهش های دانش زمین، ۴(۲): ۱-۱۶.
- Amin A, Fazal S. 2012. Land transformation analysis using remote sensing and GIS techniques (a case study). **Journal of Geographic Information System**, 4(229): 229-236, [doi:10.4236/jgis.2012.43027](https://doi.org/10.4236/jgis.2012.43027)
- Areendran G, Raj K, Mazumdar S, Sharma A. 2017. Land use and land cover change analysis for Kosi River wildlife corridor in Terai Arc Landscape of Northern India: Implications for future management. **Tropical Ecology**, 58(1): 139-149, <http://tropecol.com/pdf/open/PDF581/13.Areendranetal.pdf>
- Chen H, Pontius R. G. 2010. Diagnostic tools to evaluate a spatial land change projection along a gradient of an explanatory variable. **Landscape Ecology**, 25: 1319-1331. <https://doi.org/10.1007/s10980-010-9519-5>
- Eastman J. R. 2009. **IDRISI Taiga guide to GIS and image processing**. Clark Labs Clark University, Worcester, MA.
- Estoque R.C, Murayama Y. 2012. Introducing new measures of accuracy for land-use/cover change modeling. **Tsukuba geoenvironmental sciences**, 8:3-7. <https://www.researchgate.net/publication/261296147>

- Kumar A, Jayappa K. 2009. Long and short-term shoreline changes along Mangalore coast, India. **International Journal of Environmental Research**, 3: 177-188. DOI: 10.22059/IJER.2009.46
- Liu J, Li J, Qin K, Zhou Z, Yang X, Li T. 2017. Changes in land-uses and ecosystem services under multi-scenarios simulation. **Science of The Total Environment**, 586: 522-526. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.005>
- Liu X. H, Skidmore A, Vanoosten H. 2002. Integration of classification methods for improvement of land-cover map accuracy. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 56: 257-268. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(02\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(02)00061-8)
- Mas J.F, Kolb M, Paegelow M, Olmedo M.T.C, Houet T. 2014. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. **Environmental Modelling & Software**, 51: 94-111. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.09.010>
- Mishra V.N, Rai P.K, Mohan K. 2014. Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: a case study of Muzaffarpur (Bihar), India. **Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic"**, SASA, 64(1): 111-127. DOI: 10.2298/IJGI1401111M
- Olmedo M.T.C, Pontius R G, Paegelow M, Mas J.F. 2015. Comparison of simulation models in terms of quantity and allocation of land change. **Environmental Modelling & Software**, 69: 214-221. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.03.003>
- Paegelow M, Camacho Olmedo M.T, Mas J.F, Houet T. 2014. Benchmarking of LUCC modelling tools by various validation techniques and error analysis. **Cybergeo: European Journal of Geography**. DOI: 10.4000/cybergeo.26610
- Paegelow M, Camacho Olmedo M.T, Mas J.F, Houet T, Pontius JR, R. G. J. I. J. O. G. I. S. 2013. Land change modelling: moving beyond projections. **International Journal of Geographical Information Science**, 27(9): 1691-1695, doi.org /10.1080 /13658816. 2013. 819104
- Perez-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: 11-23. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.09.011>
- Pontius G.R, Malanson J. 2005. Comparison of the structure and accuracy of two land change models. **International Journal of Geographical Information Science**, 19: 243-265. <https://doi.org/10.1080/13658810410001713434>
- Rawat J, Biswas V, Kumar M. 2013. Changes in land use/cover using geospatial techniques: A case study of Ramnagar town area, district Nainital, Uttarakhand, India. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, 16: 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2013.04.002>
- Rawat J, Kumar M. 2015. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora,

- Uttarakhand, India. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, 18: 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.02.002>
- Reddy C.S, Singh S, Dadhwal V, Jha C, Rao N. R, Diwakar P. 2017. Predictive modelling of the spatial pattern of past and future forest cover changes in India. **Journal of Earth System Science**, 126(8):1-16. <https://doi.org/10.1007/s12040-016-0786-7>
- Richards J.A, Richards J. 1999. **Remote sensing digital image analysis**, Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-30062-2>
- Sloan S, Pelletier J. 2012. How accurately may we project tropical forest-cover change? A validation of a forward-looking baseline for REDD. **Global Environmental Change**, 22:440-453. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.02.001>
- Thapa R.B, Murayama A.Y. 2011. Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal. **Computers, Environment and Urban Systems**, 35: 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2010.07.005>
- Tiwari A, Suresh M, Rai A.K. 2014. Ecological Planning for Sustainable Development with a Green Technology: GIS. **International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)**, 3:2278-1323. <http://ijarcet.org/wp-content/uploads/IJARCET-VOL-3-ISSUE-3-636-641.pdf>
- Van Vliet J, Bregt A.K, Hagen-Zanker A. 2011. Revisiting Kappa to account for change in the accuracy assessment of land-use change models. **Ecological modelling**, 222:1367-1375. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.01.017>
- Xiuwan C. 2002. Using remote sensing and GIS to analyse land cover change and its impacts on regional sustainable development. **International Journal of Remote Sensing**, 23:107-124. <https://doi.org/10.1080/01431160010007051>
- Yagoub M, Kolan G.R. 2006. Monitoring coastal zone land use and land cover changes of Abu Dhabi using remote sensing. **Journal of the Indian society of remote sensing**, 34:57-68. <https://doi.org/10.1007/BF02990747>
- Yuan F, Sawaya K.E, Loeffelholz B.C, Bauer M.E. 2005. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. **Remote sensing of Environment**, 98: 317-328. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.08.006>



مجله علمی  
سنجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال یازدهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸  
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.11, No. 2, Summer 2019

93-114

## Assessment and prediction of land use changes in the Anzali wetland Basin, Based on Land Change Modeler (LCM)

Shakeri, R.<sup>1</sup>, Shayesteh, K.<sup>\*2</sup>, Ghorbani, M.<sup>3</sup>

1. Ph.D. Candidate, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, and Faculty member of Khatam Al-Anbia University of Technology, Behbahan, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran (Corresponding Author)
3. Associate Professor, Rehabilitation of Mountainous and Arid Regions Department, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran.

### Abstract

Natural and human activities in coastal areas cause dynamic changes in land use and land cover. Rapid population growth in these areas accelerates the process of land use and natural land cover changes, and the transition to residential use and infrastructure development. This research was conducted to investigate and modeling land use changes in Anzali wetland basin between 1975 and 2015 using satellite imagery and predicting possible land use change in 2045 using the LCM model. In order to achieve quantitative and qualitative changes in the study area, the land use maps of the Anzali wetland basin have been produced based on Landsat satellite images for years 1975, 1989, 2000, and 2015. For this purpose, six land use classes including agriculture, rangeland, forest, wetland areas, urban lands, and wetland surface were considered. The accuracy of the land use maps was verified by overall accuracy and kappa coefficients using 323 points based on stratified random sampling and these two parameters were 87% and 0.71, respectively. The LCM model was used to detect and map the changes of different land use categories in the Anzali wetland basin during the periods 1975-1989, 1989-2000, 2000-2015, and predict land use changes in 2045. Analysis of the change detection matrix shows that during the period 1975 to 2015, the total change and transfer of different land uses to each other is 76648.14 hectares. The most changes among different land use during this time are related to the transfer of different land uses to agriculture for 49827.69 hectares, which is equivalent to 65% of the total changes of different land uses. Changing of different land uses to agricultural use is the main change in the uses of this period. forests (64%), rangelands (16%), wetland areas (10%), wetland surface (8%) and residential areas (2 %) have the largest share, respectively. Throughout the study, the expansion of urban land use has always been a positive trend in line with population growth. Based on these changes and by taking 7 independent variable and 8 sub-models, transition potential modeling was done using Artificial Neural Network. The results of modeling in most scenarios showed high accuracy (60.14 to 88.73 percent). To verify modeling accuracy, the standard Kappa coefficient (0.8948) and Null Successes error (77.9%), Hits (3.1%), Misses (15.9%), False Alarms (3.1%) were calculated and accuracy of the position and number of pixels in each class was determined. The ratio of Hits to the total pixels has changed (14.2) indicates that model results are acceptable in predicting land-use changes. Comparison of the results of the changes and conversion of land use classes in the period 2015 to 2045 (predicted) in the region shows that if the land utilization trend continues with current management mode, 10036.26 hectares of forest lands would change to agricultural lands (67.69%), rangeland (32.04 %), urban areas (0.16 %) and wetland surface, and considering the transfer of other uses to forestry, eventually the 9963.36 hectares of forest will be reduced during this period. In general, agriculture, rangeland, and urban areas will increase during this period.

**Keywords:** land use, Land Change Modeler (LCM), prediction, Anzali wetland

Correspondence Address: Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran - Postal Code: 65719-95863

Email: k.shayesteh@malayeru.ac.ir