

## مدل سازی تغییرات کاربری زمین از طریق زنجیره مارکوف و استفاده از سیستم های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور (مورد شناسی: استان قم)

علی اسماعیلی\* (استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان)  
حمید اشجعی (کارشناس ارشد سیستم های اطلاعات مکانی، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان)

### چکیده

تاریخ دریافت: ۲۲ خرداد ۱۳۹۷

تاریخ پذیرش: ۱۷ بهمن ۱۳۹۷

صفحات: ۱۷۲-۱۵۳

طی دهه های اخیر، افزایش جمعیت شهرنشین و رشد بی رویه و کنترل نشده شهرها در سرتاسر جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، موجب بروز مسائل زیست محیطی بسیاری نظیر نابودی باغات و زمین های کشاورزی اطراف شهرها و از بین رفتن منابع طبیعی شده است. یکی از اجزای اصلی در استراتژی فعلی برای مدیریت منابع طبیعی و نظارت بر تغییرات زیست محیطی، تحلیل و سنجش میزان پوشش و تغییرات کاربری زمین است. در همین راستا، این پژوهش سعی بر آن دارد تا با استفاده از تکنیک های سنجش از دور و سیستم های اطلاعات جغرافیایی و همچنین، با به کارگیری روش زنجیره مارکوف، به مدل سازی تغییرات کاربری زمین در استان قم بپردازد. به همین منظور، با استفاده از تصاویر سری زمانی ماهواره های لندست ۵، ۴ و ۸ (در طول ۳۰ سال و در سه بازه زمانی) و انجام پیش پردازش ها (تصحیحات اتمسفری و توپوگرافی)، کاربری های اصلی زمین مانند مناطق مسکونی و صنعتی، زمین های کشاورزی، مراتع، کویر و شوره زار و دریاچه نمک و آب استخراج شدند. تجزیه و تحلیل نقشه های به دست آمده در این دوره ۳۰ ساله نشان می دهد که مساحت مراتع در استان از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ کاهش یافته، به طوری که از ۵۶۰۰ به ۴۸۴۸ کیلومتر مربع رسیده است. همچنین، مساحت اراضی کشاورزی در طی دوره ۳۰ ساله حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع کاهش یافته است و با افزایش شهرنشینی، وسعت مناطق مسکونی و صنعتی نیز افزایش یافته و از ۱۳۰ به ۳۶۴ کیلومتر مربع رسیده است. در نهایت با توجه به اینکه پیش بینی تغییرات کاربری زمین، در دید کلی برای مدیریت بهتر منابع طبیعی و حفاظت زمین های کشاورزی اطراف مناطق شهری و اتخاذ تدابیر و سیاست های درازمدت مؤثر است، با استفاده از مدل پیش بینی زنجیره مارکوف، تغییرات کاربری زمین در سال ۱۴۰۵ پیش بینی شد که با گسترش مناطق مسکونی-صنعتی و کویر و شوره زار و کاهش زمین های کشاورزی همراه بوده است. این تحقیق نشان می دهد که داده های سری زمانی سنجش از دور می توانند در مدل سازی تغییرات کاربری زمین نقش بسیار مؤثری ایفا کنند.



کلید واژه ها:

کاربری زمین، زنجیره مارکوف، سنجش از دور، سیستم های اطلاعات جغرافیایی، استان قم.

\* نویسنده مسئول: دکتر علی اسماعیلی

پست الکترونیک: aliesmaeil@kgut.ac.ir

## مقدمه

شرایط و وضعیت منابع طبیعی هر کشوری گواهی مناسب از وضعیت پیشرفت و توسعه پایدار آن کشور است و تأثیر زیادی بر حیات انسان‌ها، گیاهان و جانوران دارد. افزایش جمعیت و عوامل مخرب زیست‌محیطی، باعث تغییرات پوشش و کاربری‌های اراضی و افزایش روند بیابان‌زایی در مناطق مختلف شده‌است. تخریب اراضی به دلیل اثرات بلندمدت آن بر تولیدات منابع طبیعی و کشاورزی، یکی از مهم‌ترین معضلات کشورهای در حال توسعه به حساب می‌آید (والی پور و همکاران، ۱۳۸۷: ۶۸۳)؛ بنابراین مطالعه تغییرات پوشش و کاربری اراضی تا حد زیادی می‌تواند اطلاعات لازم را برای مدیریت مناسب اکوسیستم‌ها فراهم سازد (رمضانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۹).

شناسایی تغییرات اشیاء سطح زمین می‌تواند اطلاعات ضروری و ارزشمندی برای متخصصان در زمینه ژئوماتیک، مدیریت بحران، مدیریت شهری، کشاورزی و جنگل‌داری فراهم آورد (جانعلی پور و طالعی، ۲۰۱۶: ۸۲). استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور یکی از روش‌هایی است که سطح و روند تغییرات پوشش اراضی را با هزینه کمتر و سرعت بیشتر ممکن می‌سازد. تصاویر ماهواره‌ای به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالا، تکرارپذیر بودن و قابلیت پردازش‌های کامپیوتری، از ابزارهای مهم در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و نیز مطالعه تغییرات زمانی در مناطق مختلف است که در این روش می‌توان کاربری اراضی را برحسب تصاویر چندزمانه تفکیک کرد و از روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی برای پایش تغییرات استفاده کرد (Goldmith, 1991: 275).

مطالعات نشان می‌دهد که دلیل شهرنشینی این است که مردم در مناطق شهری به دنبال فرصت‌های اقتصادی و بهبود استانداردهای زندگی‌شان هستند. ساکنان مناطق روستایی بسته به شرایط محیطی متغیر، در زمان خشکسالی، سیل و بیماری، دچار مشکلات

بسیار جدی برای زندگی در این مناطق می‌شوند؛ درحالی که در شهرها تمام امکانات برای زندگی راحت‌تر مهیاست و جاذبه اصلی شهر دسترسی آسان به ثروت است (Soh, Mazlan Bin Che, 2012: 291). شهرنشینی یک پدیده مهم اجتماعی و اقتصادی در حال وقوع با نرخ بی‌سابقه در سراسر جهان است (Sun, 2013: 409). پراکندگی شهری به‌عنوان یک توسعه شهری ناکارآمد اغلب با تراکم ساختمانی پراکنده همراه است (Altieri, 2014: 315). بسیار مهم است که قبل از توسعه شهری، یک درک جامعی از فرایندهای شهرنشینی حاصل شود (Xinliang, Min, 2013: 104). رشد سریع شهری کنترل نشده و عدم برنامه‌ریزی، باعث اثرات منفی بر روی ساکنان شهری و محیط زیست آن‌ها شده‌است (Chadchan, Shankar, 2012: 36). نظارت بر رشد شهری روند مطالعه متفاوتی در دولت دارد که یک شیء یا پدیده را از راه دور در زمان‌های مختلف مشاهده می‌کند (Pilon, 1988: 1711). نظارت بر رشد توسعه شهری به یک کاربرد مهم از داده‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی تبدیل شده‌است. به‌طوری که روند تعیین یا توصیف تغییرات در ویژگی‌های پوشش گیاهی و کاربری زمین براساس چند دوره داده‌های سنجش از دور امکان‌پذیر است. فرض اساسی در استفاده از داده‌های سنجش از دور برای تشخیص تغییرات این است که این فرایند می‌تواند تغییرات بین دو یا چند تاریخ را که نامتعارف از تنوع طبیعی است، تشخیص دهد (Shalaby, Tateishi, 2007: 30).

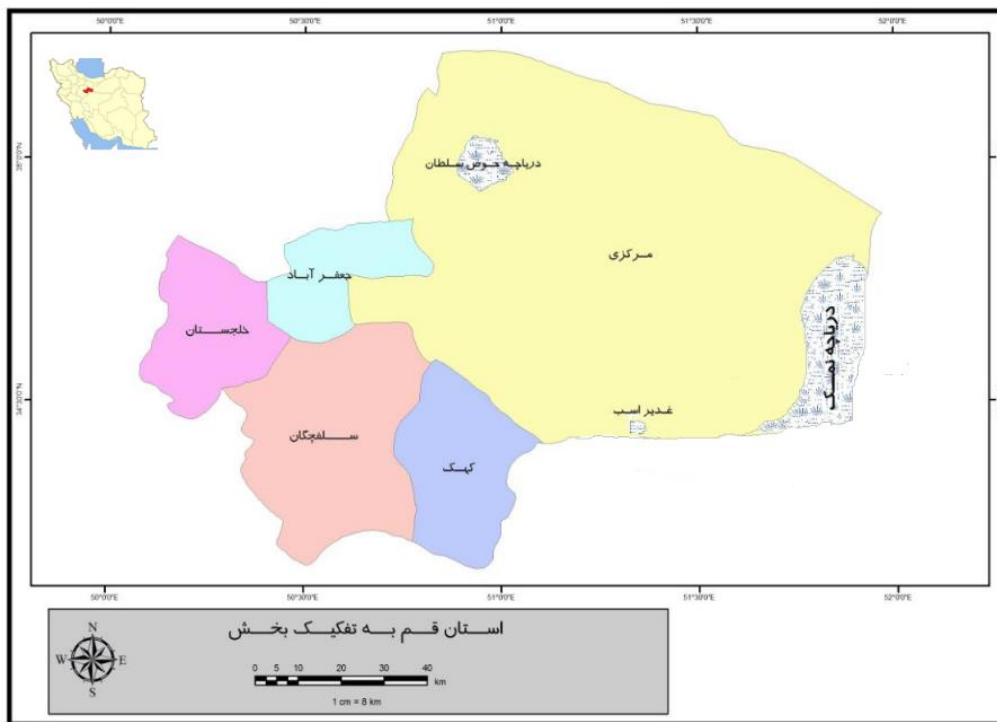
دانستن اینکه چگونه و کجا تغییر کاربری اراضی رخ داده‌است، مفیدترین اطلاعات برای مدیران منطقه‌ای نیست؛ بلکه سرعت و دلیل تغییر و عوامل کنترل‌کننده آن نیز باید مشخص شود. برای پاسخ به چنین سؤال‌هایی نیاز به یک مدل کارا از فرایند تغییر کاربری و پوشش اراضی است که هدف آن پیش‌بینی توزیع مکانی کلاس‌های خاص از کاربری اراضی در آینده

## مواد و روش‌ها

### الف - منطقه مطالعاتی و داده‌ها

منطقه مطالعاتی (استان قم و قسمتی از دریاچه نمک) با وسعتی معادل ۱۱۵۲۶ کیلومتر مربع است. این استان در موقعیت ۳۴/۶۵ درجه شمالی و ۵۰/۸۸ درجه شرقی و در مرکز ایران واقع شده است (شکل ۱) و از شرق به استان سمنان، از غرب به استان مرکزی، از شمال به استان تهران و از جنوب به استان اصفهان محدود می‌شود. این استان از نظر تقسیمات کشوری دارای یک شهرستان، ۵ بخش (جعفرآباد، خلجستان، سلفچگان، مرکزی و کهک)، ۵ شهر (دستجرد، سلفچگان، جعفریه، قنات و کهک)، ۹ دهستان و ۹۳۶ آبادی بوده است. جمعیت استان قم در سال ۱۳۹۵ به استناد مرکز آمار ایران ۱۲۹۲۲۸۳ نفر بوده است که از این میان ۱۲۲۹۹۶۴ نفر در نقاط شهری و ۶۲۳۱۷ نفر در نقاط روستایی زندگی می‌کنند. استان قم از نظر جمعیت در بیستمین جایگاه قرار دارد و میزان تراکم جمعیت در آن، ۱۱۲/۱ است (که از این نظر پنجمین استان پرتراکم ایران است) و همچنین نرخ رشد جمعیت استان در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵، ۲/۳۳ درصد است. ۶ درصد از کل اتباع خارجی ساکن ایران در استان قم ساکن هستند و ۹۰/۶ درصد از جمعیت استان اتباع ایرانی و ۹/۴ درصد اتباع غیرایرانی‌اند.

است (Lopez, 2001: 275). مدل‌های مختلفی در این زمینه توسعه پیدا کرده است؛ اما مقایسه عملکرد این مدل‌ها در پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی، به علت ماهیت کاملاً متفاوت آن‌ها دشوار است؛ از این رو در ادامه به بررسی استفاده از این مدل‌ها می‌پردازیم. مدل CA مارکوف در نرم‌افزار IDRISI Selva توانایی پیش‌بینی تغییرات تمام کلاس‌های کاربری را داراست (Pontius, Robert, 2006, 44). مدل زنجیره‌ای مارکوف به صورت یک فرایند تصادفی عمل می‌کند که در آن وضعیت آینده یک پیکسل، فقط به وضعیت قبلی آن بستگی دارد و براساس آن پیش‌بینی می‌شود. نتیجه مستقیم حاصل از این مدل، ماتریس احتمال انتقال است (Fan, Fenglei, 2008: 130). شهر قم بزرگ‌ترین شهر و مرکز استان قم است. از سال ۱۳۰۰ هـ.ش. به بعد، هم‌زمان با رشد شهرنشینی در بسیاری از شهرهای ایران، در پی یک سری تحولات اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی، شهر قم نیز توسعه‌ای چشمگیر را آغاز کرد. با وقوع اصلاحات ارضی، از سال ۱۳۴۰ به بعد، هم‌زمان با سایر شهرهای ایران، توسعه شهر، رشد تصاعدی به خود گرفت و با افزایش درآمد نفت و رکود محصولات کشاورزی، اوضاع اقتصادی روستا و روستایی رو به وخامت گرایید و مهاجرت به شهر، بر ماندن در روستا رجحان یافت. این روند مهاجرت بعد از انقلاب اسلامی نیز تشدید شده و تاکنون نیز ادامه دارد. به همین منظور، با توجه به رشد روزافزون جمعیت شهرنشین در قم و گسترش فیزیکی کنترل‌نشده آن طی دهه‌های اخیر، این پژوهش بر آن است تا با استفاده از داده‌های سنجش از دور و ارزیابی پوشش و تغییرات کاربری زمین، به مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در شهر قم طی ۳۵ سال اخیر بپردازد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان قم

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

داده شده است. در این تحقیق برای انتخاب کلاس کاربری، با استفاده از اطلاعات جانبی، نقشه های توپوگرافی و بازدید زمینی یک لیست کاربری اراضی در منطقه تهیه شده که مشخصات آن ها در جدول شماره (۲) آمده است.

برای بررسی تغییرات کاربری اراضی به وجود آمده در یک دوره ۳۰ ساله در سه بازه زمانی ۱۳، ۱۰ و ۷ ساله، از تصاویر ماهواره لندست که از سایت [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov) تهیه شده اند، استفاده شده است. مشخصات آن ها در جدول شماره (۱) نشان

جدول ۱. تصاویر ماهواره ای مورد استفاده در پژوهش

زاویه ارتفاع خورشید (درجه)	زاویه آزیموت خورشید (درجه)	تعداد باندها	قدرت تفکیکی مکانی (متر)	Path/Row	زمان جمع آوری	سنجنده	ماهواره
۵۹	۱۱۲	۴	۶۰	۱۶۴/۳۶	۱۹۸۶/۰۵/۱۷	MSS	لندست ۴
۵۸	۱۱۶	۴	۶۰	۱۶۵/۳۶	۱۹۸۶/۰۵/۰۸	MSS	لندست ۴
۴۶/۷۵	۱۴۹/۷۳	۷	۳۰	۱۶۴/۳۶	۱۹۹۹/۱۰/۰۴	TM	لندست ۵
۶۵/۶۶	۱۱۳/۰۷	۷	۳۰	۱۶۵/۳۶	۱۹۹۹/۰۷/۰۷	TM	لندست ۵
۶۳/۵۸	۱۱۴/۷۹	۷	۳۰	۱۶۴/۳۶	۲۰۰۹/۰۷/۱۹	TM	لندست ۵
۶۴/۵۴	۱۱۲/۴۴	۷	۳۰	۱۶۵/۳۶	۲۰۰۹/۰۷/۱۰	TM	لندست ۵
۵۹/۳۵	۱۳۴/۳۶	۱۱	۳۰	۱۶۴/۳۶	۲۰۱۶/۰۸/۲۳	OLI/TIRS	لندست ۸
۶۱/۳۱	۱۲۹/۸۴	۱۱	۳۰	۱۶۵/۳۶	۲۰۱۶/۰۸/۱۴	OLI/TIRS	لندست ۸

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

جدول ۲. کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه

نام کاربری	کد کاربری	توضیحات ۴
مناطق مسکونی و صنعتی	۱	شهر قم و شهرستان‌های اطراف
زمین کشاورزی	۲	باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی
مرتع	۳	مراتع با پوشش غالب گونه‌های بوته‌ای و گندمیان
کویر/ شوره‌زار	۴	زمین‌های شور و با پوشش بسیار کم
دریاچه نمک	۵	کفه‌های نمکی دریاچه نمک، حوض سلطان و غدیراسب که آب رودخانه‌های استان منتهی به این مناطق شده و بدون پوشش گیاهی هستند.
آب (پلایا)	۶	به زمین‌های هموار پوشیده از گل و رس‌های نمکی گفته می‌شود که در حوضه‌های بسته نواحی خشک و بیابانی جمع می‌شوند. بخشی از آب پلایاها ممکن است از بارندگی و آب‌های جاری تأمین شود. هنگام بارش‌های موقت و ناگهانی، سطح پلایا از آب پوشیده می‌شود.

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

### ب- روش شناسی

#### پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

از آنجایی که منطقه مورد مطالعه در دو تصویر قرار می‌گیرد، در وهله اول لازم است که دو تصویر مجاور با هم موزاییک شوند و سپس منطقه مورد مطالعه را استخراج کرد. پس از آن همه تصحیحات اتمسفری (برای تصاویر لندست ۴ و ۵) و توپوگرافی را اعمال کرد.

باتوجه به اینکه چند تصویر ماهواره‌ای متعلق به زمان‌های مختلف استفاده شده بود، تصحیح اتمسفری Dark Subtraction نیز بر روی آن‌ها در نرم‌افزار ENVI اعمال شد ( Lunetta and Edvidge, 1999: 253).

برای تصحیح توپوگرافی، از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شد و همچنین برای تهیه مدل رقومی، ارتفاع (DEM<sup>۱</sup>) با اندازه پیکسل ۶۰ متری استفاده شد و این تصحیح با استفاده از مدل لامبرت در نرم‌افزار Erdas Imaging انجام شد ( Riano, 2003: 1056).

### تهیه نقشه کاربری اراضی

طبق تعریف، به جداسازی مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم‌بندی طبقاتی آن‌ها که دارای رفتار طیفی یکسانی باشد، طبقه‌بندی غیرپارامتریک گفته می‌شود. به عبارتی دیگر، طبقه‌بندی پیکسل‌های تشکیل‌دهنده تصویر به مفهوم اختصاص دادن یا معرفی کردن هر یک از پیکسل‌ها به کلاس یا پدیده خاصی است (علوی‌پناه، ۱۳۸۴: ۴۸۷). در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، پیکسل‌هایی با ارزش عددی یکسان در یک گروه قرار می‌گیرند. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به دو روش نظارت‌نشده یا نظارت‌شده انجام می‌شود. در طبقه‌بندی نظارت‌شده برای رده‌بندی پیکسل‌ها از نمونه‌های آموزشی استفاده می‌شود؛ بدین معنی که با تعریف پیکسل‌های مشخصی از تصویر برای هر کدام از کلاس‌ها، عمل طبقه‌بندی در قالب کلاس‌های در نظر گرفته شده انجام می‌شود، سپس با استفاده از الگوریتم‌های خاصی عمل طبقه‌بندی انجام می‌شود که می‌توان به الگوریتم‌های حداکثر احتمال، حداقل فاصله تا میانگین و بسیاری دیگر از روش‌های پارامتریک و غیرپارامتریک اشاره کرد. تحقیقاتی که در زمینه تشخیص کاربری زمین در محدوده یک استان با استفاده از تصاویر لندست انجام شده است، نشان‌دهنده

1. Digital Elevation Model

چندمتغیره می شود؛ بنابراین مناسب است با لگاریتم احتمال (یا تابع تشخیصی) تعیین شود:

$$g_i(\omega) = \ln P(\omega|i) = -\frac{1}{2}(\omega - \mu_i)^t C_i^{-1}(\omega - \mu_i) - \frac{N}{2} \ln(2\pi) - \frac{1}{2} \ln(|C_i|) \quad (4)$$

#### ارزیابی صحت نقشه کاربری اراضی

به منظور ارزیابی صحت نقشه های کاربری اراضی حاصل از روش طبقه بندی نظارت شده، از روش ماتریس خطا (Confusion Matrix) استفاده می شود. به همین دلیل به منظور نمایش دقت طبقه بندی انجام شده بر روی تصاویر ماهواره ای، نیاز به یک سری نقاط و اطلاعات حقیقی جمع آوری و طبقه بندی شده (با توجه به کلاس های مورد نظر) از وضعیت موجود در آن منطقه الزامی است. برای ارزیابی صحت طبقه بندی تصویر سال ۱۳۹۵ با استفاده از ۴۵ نقطه کنترل زمینی (جدول ۳) در هر یک از طبقات با بازدید زمینی و برداشت نقاط به کمک GPS دستی انجام شد (McCoy, 2005: 128) و در نقاط کوهستانی به دلیل صعب العبور بودن از نرم افزار Google Earth کمک گرفته شد و تصاویر ۱۳۶۵، ۱۳۷۸ و ۱۳۸۸ با کمک نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه انجام شد.

ماتریس خطا، برای اعتبارسنجی نتایج تغییرات کاربری اراضی به دست آمده از نقشه های کاربری اراضی حاصل از طبقه بندی تصاویر ماهواره ای به روش نظارت شده است که شامل یک سری پارامترها از جمله Producer Accuracy می باشد و معیاری است برای بیان احتمال اینکه اگر پیکسلی با کلاس A با توجه به وضعیت حقیقی زمین، در کلاس A طبقه بندی شود، چقدر صحیح است. User Accuracy نشان دهنده این احتمال است که طبقه بندی کننده، یک پیکسل را با توجه به اینکه در کلاس A قرار گرفته است، برچسب A بزند. ضریب کاپا شامل پارامترهای تعداد کل پیکسل ها

نتایج قابل قبول روش حداکثر احتمال است. در این پژوهش نیز از این روش طبقه بندی استفاده شده است. در این روش ارزش بازتابی هر پیکسل ناشناخته بر اساس ماتریس واریانس و کوواریانس آن به کلاس واکنش طیفی ویژه تجزیه و تحلیل می شود و فرض بر این است که توزیع داده های هر کلاس بر اساس توزیع نرمال در اطراف پیکسل میانگین آن کلاس قرار گرفته اند. این فرض بر اساس تجارب حاصل از بازتاب انرژی از اجسام پذیرفته شده است. در عمل واریانس و کوواریانس و میانگین کلاس های مختلف هر تصویر ماهواره ای، برای طبقه بندی پدیده های مختلف محاسبه می شود تا هر یک از پیکسل ها به طبقه ای تعلق یابد که حضورش در آن کلاس از احتمال بیشتری برخوردار است (Tso and Mather, 2009: 274).

روش طبقه بندی نظارت شده بر اساس قضیه Bayes است که احتمال توزیع پسینی که یک پیکسل با بردار ویژگی  $\omega$  متعلق به کلاس  $i$  است:

$$P(i|\omega) = \frac{P(\omega|i)P(i)}{P(\omega)} \quad (1)$$

که  $P(i|\omega)$  تابع احتمال پسین،  $P(i)$  احتمال پیشین و  $P(\omega|i)$  احتمال درستی (Likelihood) است؛ برای مثال، احتمال اینکه کلاس  $i$  در ناحیه مطالعه رخ دهد و  $P(\omega)$  احتمال این است که  $\omega$  مشاهده شود که می تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$P(\omega) = \sum_{i=1}^M P(\omega|i)P(i) \quad (2)$$

$M$  نیز تعداد کلاس هاست.  $P(\omega)$  اغلب به عنوان یک ثابت عددی برای اطمینان استفاده می شود. رابطه پیکسل هایی که به یک کلاس تعلق دارند، بر اساس قواعد زیر بیان می شوند:

$$x \in i \text{ if } P(i|\omega) > P(j|\omega) \text{ for all } j \neq i \quad (3)$$

روش بیشترین احتمال اغلب فرض می کند که توزیع داده ها در یک کلاس معین، منجر به توزیع گاوسی

در همه کلاس‌های حقیقی زمین (N)، مجموع قطر ماتریس ( $X_{KK}$ ) و مجموع برای همه کلاس‌ها از حاصل ضرب مجموع پیکسل‌های حقیقی زمین و پیکسل‌های طبقه‌بندی شده در یک کلاس ( $X_{k\Sigma}X_{\Sigma k}$ ) است.

جدول ۳. نقاط کنترل زمینی به منظور ارزیابی صحت طبقه‌بندی نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۹۵

شماره	نوع کاربری	روش جمع‌آوری	X (متر) مختصات	Y (متر) مختصات
۱	مناطق مسکونی و صنعتی	GPS	۴۵۵۳۵۸	۳۸۴۸۴۳۶
۲		GPS	۴۸۳۶۶۹	۳۸۵۰۰۵۷
۳		GPS	۴۸۱۷۵۲	۳۸۲۳۸۲۸
۴		GPS	۴۸۵۱۰۷	۳۸۳۲۷۲۲
۵		GPS	۴۸۷۹۴۷	۳۸۳۳۹۲۵
۶		GPS	۴۹۱۶۸۷	۳۸۳۶۲۰۵
۷		GPS	۴۹۱۴۹۲	۳۸۲۷۱۲۳
۸		GPS	۴۹۲۰۹۷	۳۸۳۰۷۳۲
۹		GPS	۵۰۱۹۱۶	۳۸۳۰۰۴۲
۱۰	زمین‌های کشاورزی	GPS	۴۹۶۰۸۱	۳۸۳۲۷۰۵
۱۱		GPS	۵۰۰۶۲۳	۳۸۲۸۶۲۱
۱۲		GPS	۴۹۶۴۶۰	۳۸۲۶۹۰۸
۱۳		GPS	۵۰۴۴۱۰	۳۸۴۴۹۱۳
۱۴		GPS	۵۱۲۰۱۱	۳۸۴۲۱۲۵
۱۵		GPS	۵۱۳۲۲۵	۳۸۳۰۷۸۳
۱۶		GPS	۴۷۶۸۹۴	۳۸۵۴۳۳۸
۱۷		GPS	۴۶۹۱۵۴	۳۸۵۴۷۳۵
۱۸		GPS	۴۵۸۳۸۰	۳۸۴۷۲۵۴
۱۹	مرتع	Google Earth	۵۰۰۰۸۳	۳۸۵۶۸۷۸
۲۰		Google Earth	۵۰۳۵۰۷	۳۸۹۷۴۰۴
۲۱		GPS	۴۸۷۵۵۴	۳۸۵۷۰۶۵
۲۲		Google Earth	۴۸۸۱۷۸	۳۸۹۱۷۲۷
۲۳		GPS	۴۸۵۲۲۸	۳۸۲۰۷۸۰
۲۴		GPS	۴۸۱۵۹۰	۳۸۴۲۳۱۷
۲۵		Google Earth	۴۵۲۲۹۳	۳۸۳۲۰۷۷
۲۶		Google Earth	۴۹۷۱۶۱	۳۷۹۳۴۳۶
۲۷		Google Earth	۴۸۰۴۰۸	۳۷۹۸۶۹۳
۲۸	کوبر و شوره‌زار	GPS	۵۲۰۴۰۲	۳۸۵۹۲۷۸

۳۸۴۲۳۷۶	۴۸۵۱۶۷	GPS	دریاچه نمک	۲۹
۳۸۲۴۷۷۸	۵۱۰۴۷۳	GPS		۳۰
۳۸۴۹۹۵۷	۵۵۷۵۹۳	Google Earth		۳۱
۳۸۳۸۰۲۱	۵۵۳۳۳۵	Google Earth		۳۲
۳۸۲۸۵۲۱	۵۳۹۴۱۴	Google Earth		۳۳
۳۸۳۴۷۴۳	۵۲۸۶۳۹	Google Earth		۳۴
۳۸۴۶۶۵۳	۵۳۴۶۴۵	Google Earth		۳۵
۳۸۵۴۴۵۲	۵۴۶۶۶۰	Google Earth		۳۶
۳۸۲۱۱۴۴	۵۶۴۶۹۵	Google Earth		۳۷
۳۸۲۸۴۶۹	۵۷۲۴۵۳	Google Earth		۳۸
۳۸۳۶۱۶۷	۵۷۶۱۲۴	Google Earth		۳۹
۳۸۴۳۷۲۶	۵۷۸۷۰۲	Google Earth		۴۰
۳۸۷۱۴۶۷	۴۹۲۵۲۲	Google Earth		۴۱
۳۸۷۳۸۵۹	۴۹۵۷۳۹	Google Earth		۴۲
۳۸۷۴۴۸۳	۴۹۳۳۵۸	Google Earth		۴۳
۳۸۱۹۷۵۳	۵۶۰۳۷۹	Google Earth		۴۴
۳۸۴۰۹۴۲	۵۷۵۸۹۶	Google Earth	۴۵	

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

فرایندهای سیمای سرزمین در یک بازه زمانی چندین ساله می‌باشد. هر فرایند مارکوف در جایی استفاده می‌شود که وضعیت آینده یک سیستم را بتوان به صورت کلی براساس وضعیت ماقبل آن سیستم مدل سازی کرد. تحلیل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری زمین از یک دوره به دوره دیگر را بیان کرده و از آن به عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی تغییرات آینده استفاده می‌کند. این کار با استفاده از توسعه یک ماتریس، احتمال انتقال تغییرات کاربری زمین از زمان ۱ به زمان ۲ انجام می‌گیرد که به عنوان پایه‌ای برای نقشه‌سازی دوره‌های زمانی آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت (آرخی و اصفهانی، ۱۳۹۳: ۳۵۰).

با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف، نسبت تبدیل کاربری‌های مختلف و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم می‌شود (Muller and Middleton, 1994: 153) و با پیش‌بینی تغییرات کاربری، می‌توان میزان

### آشکارسازی تغییرات

برای آشکارسازی تغییرات از برنامه Change Detection در نرم‌افزار ENVI به دلیل اطلاعات کاملی که از تغییرات انواع کاربری اراضی به یکدیگر ارائه می‌کند، استفاده شد. تغییرات کاربری اراضی در سه دوره زمانی ۱۳ ساله (۱۳۶۵-۱۳۷۸)، ۱۰ ساله (۱۳۷۸-۱۳۸۸) و ۷ ساله (۱۳۸۸-۱۳۹۵) بررسی شد و روش مقایسه بعد از طبقه‌بندی برای بررسی تبدیلات کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت. در این روش میزان تغییرات کلاس‌ها از طریق کم کردن تصویر جدید از تصویر قدیمی محاسبه می‌شود (Yuan, 2005: 320).

### زنجیره مارکوف

زنجیره مارکوف یک روش مناسب برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین جهت توصیف تغییرات و

## ج - مبانی نظری تحقیق

«زمین» چه از منظر ارزش‌های اجتماعی و چه به لحاظ عملکرد و نقشی که ایفا می‌کند، در رفاه، آسایش، امنیت و کیفیت زندگی انسان تأثیر بسزایی دارد؛ از این‌رو، نحوه بهره‌برداری از آن همواره منشأ مشکلات اجتماعی و حقوقی بوده‌است. در این خصوص، پیترو هال<sup>۳</sup> (۱۹۹۲) معتقد است که سیستم برنامه‌ریزی شهرها و کاربری زمین باید به گونه‌ای باشد که حفاظت از زمین‌های کشاورزی و باغات اطراف شهرها و حومه‌های شهری در اولویت قرار گیرد و همچنین مصلحت عموم در برنامه‌ریزی کاربری زمین در نظر گرفته شود.

اتو واگنر<sup>۴</sup>، شهرساز اتریشی، اعتقاد دارد که زمین‌های اطراف شهرها باید به مالکیت عمومی درآید، تا قیمت زمین شهری کنترل شود و به سودجویی مالکان نینجامد. نظریه وی بر پایه نظارت بر توسعه و گسترش شهرها واقع شده‌است (زیاری، ۱۳۸۸: ۵).

تغییرات کاربری زمین را می‌توان هم ناشی از رشد جمعیت و هم توسعه اقتصاد، فناوری و صنعت دانست (US Global Change Research Program, 2003: 1) و همچنین می‌توان آن را زاده شرایط کالبدی و رفتارهای انسان قلمداد کرد (Shaohong and Wenzhong, 2005). در واقع هدف غایی مطالعات تغییرات کاربری زمین، حصول شناخت از جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و عملکردی این تغییرات است (Batty and Longley, 1994: 663).

در سال‌های اخیر، کاربرد مدل‌های کامپیوتری برای تحلیل تغییرات کاربری اراضی شهری پیشرفت چشمگیری داشته‌است و این مدل‌ها نشان داده‌اند پتانسیل این را دارند که ابزارهای مهمی برای برنامه‌ریزی و سنجش رشد شهری باشند؛ این پیشرفت

گسترش و تخریب منابع را مشخص و این تغییرات را در مسیرهای مناسب هدایت کرد (Hathout, 2002: 233). در زنجیره مارکوف از کلاس‌های پوشش به عنوان حالت یا همان وضعیت‌های زنجیر استفاده شده‌است. در این تحلیل همواره از دو نقشه رستری استفاده می‌شود که ورودی‌های مدل نامیده می‌شوند. علاوه بر این دو نقشه، فاصله زمانی بین دو تصویر و فاصله زمانی پیش‌بینی نیز در مدل در نظر گرفته می‌شود. خروجی مدل نیز شامل احتمالات تبدیل وضعیت، ماتریس مساحت‌های تبدیل شده<sup>۱</sup> هر کلاس و درنهایت تصاویر احتمالات شرطی<sup>۲</sup> برای تبدیل کاربری‌های مختلف است (Gilks, 1996: 205).

تعیین احتمالات حالت در هر زمان نیاز به حل معادله دیفرانسیل Chapman-Kolmogorov دارد که می‌تواند به طور مستقیم از نمودار فضای حالت ایجاد و تعریف شود.

$$\dot{P}(t) = p(t)Q \quad (6)$$

$\dot{P}(t)$  یک بردار به صورت سطری از مشتقات اجزای بردار  $P$  با توجه به زمان،  $P(t)$  یک بردار به صورت سطری از احتمالات با توجه به زمان و  $Q$  ماتریس انتقال است که عناصر آن به صورت زیر مشخص می‌شود:

$$q_{ii} = -\sum_{j \neq i} \lambda_{ij}, i = j \quad q_{ij} = \lambda_{ij}, i \neq j \quad (7)$$

با گذشت زمان به بی‌نهایت، احتمالات اجزا به یک وضعیت پایدار تبدیل خواهد شد. در حالت پایدار تمام مشتقات برابر با صفر هستند؛ بنابراین، احتمالات وضعیت پایدار را می‌توان با یک راه‌حل مستقیم پیدا کرد.

$$0^T = PQ \rightarrow 0 = Q^T P^T \quad (8)$$

3. Peter Hall  
4. Otto Wagner

1. Transition Areas Matrix  
2. Conditional Probability Images

عکس های هوایی در یک دوره ۵۰ ساله (۱۹۵۴-۲۰۰۴) پرداختند. در این مطالعه نیز از روش طبقه بندی نظارت شده و مقایسه پس از طبقه بندی برای پایش تغییرات استفاده شده بود. نتایج نشان داد که در این منطقه به علت افزایش مصرف بی رویه و مدیریت نشده منابع طبیعی از جمله آب و همچنین فرسایش خاک باعث از بین رفتن زمین های حاصل خیز و کاهش زمین های کشاورزی شده است (Fichera, 2012: 5). رضانی و همکاران (۱۳۹۰: ۲۵) به بررسی تغییرات کاربری اراضی در شهر اسفراین (خراسان شمالی) با استفاده از تصاویر لندست در طول ۴ دهه پرداختند. آن ها از روش طبقه بندی نظارت شده و مقایسه پس از طبقه بندی برای تجزیه و تحلیل تغییرات استفاده کردند. نتایج نشان داد که اراضی کشت آبی و نیز مناطق مسکونی بیشترین تغییر را در طول دوره مورد مطالعه داشتند. با بررسی منابع موجود در این زمینه ملاحظه می شود که مدل زنجیره ای CA مارکوف در ترکیب با تصاویر سنجش از دور برای مدل سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی به طور گسترده در محیط های شهری و غیر شهری در مقیاس بزرگ در مناطق مختلف دنیا استفاده شده است (رضانی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۹). گوان و همکاران (۲۰۱۱) تغییرات کاربری اراضی ساگا در ژاپن را برای سال های ۲۰۴۲-۲۰۱۵ با استفاده از مدل زنجیره ای CA مارکوف مدل سازی کردند. نتایج این مطالعه، افزایش اراضی شهری و کاهش اراضی طبیعی و کشاورزی را نشان داد. این مطالعه بیان کرد که فرایند مدل سازی، درک بهتر سیستم های پیچیده کاربری اراضی، توسعه و بهبود ابزارهای مدیریت منابع طبیعی و در نتیجه تعادل بین توسعه شهری و حفاظت از محیط زیست را برای مدیران منطقه ای فراهم می کند (Guan, 2011: 3765). محمدزاده و همکاران (۲۰۱۵) با هدف بررسی میزان تغییرات نسبی پوشش آب دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۵ در بازه زمانی

از طریق قابلیت بهره گیری از مجموعه داده های مکانی و ابزارهایی برای پردازش آن ها، ممکن شده است (Klosterman, 1999; Sui, 1998; Wegner, 1994).

با این حال، کاربرد و اجرای مدل های تغییرات کاربری اراضی شهری به شدت به عواملی همچون کیفیت داده های در دسترس، کالیبره کردن و اعتبارسنجی بستگی دارد (Batty and Howes, 2001; Longley and Mesev, 2001). داده های سنجش از دور اغلب در مدل سازی تغییرات کاربری اراضی شهری مورد استفاده قرار می گیرد

(Acevedo et al; 1996; Clarke et al, 2002; Méaille and Wald, 1990).

الدوسکی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، تغییرات پوشش اراضی به منظور مدیریت منابع طبیعی در حلبچه (عراق) را طی سال های ۱۹۸۶-۱۹۹۰ بررسی کردند. در این تحقیق از روش طبقه بندی نظارت شده و تصاویر ماهواره لندست استفاده شد. نتایج حکایت از آن داشت که در سال های مورد مطالعه، اراضی کشاورزی ۴۰/۸ درصد کاهش داشته است؛ اما اراضی بدون پوشش و مناطق مسکونی به ترتیب ۱۴ و ۵۷/۹ درصد افزایش یافته اند (Al-doski, 2013: 22). طالعی و جانعلی پور (۲۰۱۶) با استفاده از یک چارچوب تجزیه و تحلیل تصمیم گیری چند معیاره اقدام به ادغام ویژگی های طیفی، بافتی و تبدیل شده برای تشخیص تغییرات ساختمان با کمک تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا کردند. نتایج این تحقیق بر روی داده های زلزله شهر بم حاوی دقت کلی ۸۹/۲۶ درصد برای شناسایی مناطق تغییر یافته و بدون تغییر بوده است و علاوه بر این، نتایج به دست آمده نتایج کارایی و دقت روش پیشنهاد شده را نسبت به سایر روش های اجرا شده درباره زلزله بم ثابت کرده است (جانعلی پور و طالعی، ۲۰۱۶: ۸۲). فیچرا و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تغییرات کاربری اراضی و میزان منابع طبیعی در ایتالیا با استفاده از تصاویر لندست و

سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰، از طریق طبقه‌بندی نظارت‌شده فازی اقدام به بررسی تغییرات طیفی کرده و نتایج طبقه‌بندی در مقایسه با روش طبقه‌بندی SVM دارای دقت بالاتری بود و همچنین نتایج حاصل از تغییرات نسبی برای کلاس‌های تغییرات، شامل مناطق شوره‌زار مرطوب، شوره‌زار خشک، مخلوط شوره‌زار و خاک معنای مفهومی می‌دهد (Eslami, 2015: 121).

هدف اصلی این مطالعه، به‌کارگیری یک روش کمی از مطالعات تغییر کاربری زمین با تمرکز بر تغییرات در مناطق شهری، جمعیت، کاربری و پوشش زمین و ارتباط آن با افزایش جمعیت، مهاجرت و شهرنشینی با به‌کارگیری فناوری‌های مکانی و علم سنجش از دور در راستای مدیریت منابع طبیعی و نظارت بر تغییرات زیست‌محیطی است. یکی دیگر از اهداف تحقیق، ارزیابی صحت مدل‌سازی در دوره‌های زمانی مورد بررسی، به‌منظور پیدا کردن الگوی پیشرفت توسعه شهری از جمله مناطق مسکونی و صنعتی و در نتیجه مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در ده سال آینده با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف است که در صورت عدم بررسی میزان صحت مدل بر روی داده‌ها و کاربری‌های استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای در دوره‌های موردنظر نمی‌توان به مدلی که برای ۱۰ سال آینده ایجاد شده است، اطمینان حاصل کرد. نتایج این تحقیق می‌تواند راهگشای برنامه‌ریزی و اجرای سند چشم‌انداز ۱۴۰۴ و از همه مهم‌تر جلوگیری از ادامه فرایند تخریب در این منطقه باشد.

### یافته‌های تحقیق

در نرم‌افزار ENVI با انجام پیش‌پردازش‌های موردنیاز بر روی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین طبقه‌بندی این

تصاویر به‌صورت نظارت‌شده، نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه برای سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ تولید شد و نتایج آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در این بازه ۳۰ ساله در (جدول ۴) و میزان این تغییرات (در جدول ۵) مشاهده می‌شود. میزان تغییرات سطح کاربری اراضی بیانگر آن بود که میزان سطح مراتع در استان از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ کاهش یافته، به‌طوری که از ۵۶۰۰/۷۸ به ۴۸۴۸/۵۷ کیلومتر مربع رسیده است و بخش اندکی از این مراتع به اراضی کشاورزی تغییر کاربری داده‌اند. میزان سطح اراضی کشاورزی در دوره ۳۰ ساله حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع کاهش یافته است که علت عمده آن افزایش مناطق مسکونی و صنعتی و تغییر کاربری اراضی از کشاورزی به مسکونی بوده است. با توسعه شهرنشینی، وسعت مناطق مسکونی و صنعتی افزایش یافته و از ۱۳۰ به ۳۶۴ کیلومتر مربع رسیده است. در سال ۱۳۶۵ در اطراف دریاچه‌های نمک حدود ۷۰ کیلومتر مربع آب وجود داشته است و به‌مرور زمان حجم آب کاهش یافته و تا سال ۱۳۸۸ کاملاً خشک شده و به تبع بر مساحت زمین‌ها خشک و شوره‌زار افزوده شده است. از دیگر عوامل مؤثر بر افزایش زمین‌های کویری و شوره‌زار، ساخت سد و قطع آب‌های ورودی به استان، خشکسالی، چرای بیش از حد دام، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و دیگر عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی است که باعث شده زمین‌های کویری و شوره‌زار از ۴۴۷۳ کیلومتر مربع در سال ۱۳۶۵ به ۵۰۷۷ کیلومتر مربع در سال ۱۳۹۵ افزایش یابد. نقشه کاربری در این چهار سال (شکل‌های ۲ تا ۵) به‌خوبی نشان‌دهنده این روند تغییرات در این دوره زمانی است.

جدول ۴. آشکارسازی تغییرات کاربری زمین در منطقه مورد مطالعه

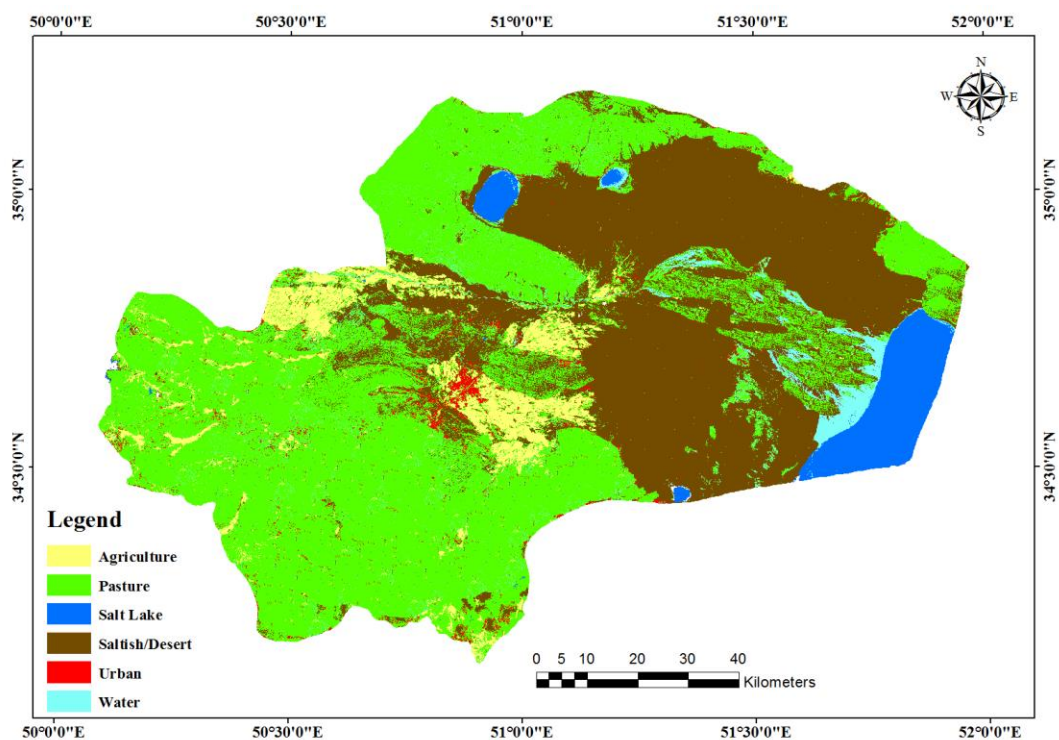
سال ۱۳۹۵		سال ۱۳۸۸		سال ۱۳۷۸		سال ۱۳۶۵		انواع کاربری
درصد	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد	مساحت (Km <sup>2</sup> )	
۳/۱۶	۳۶۴/۹۶۳۵	۲/۵۴	۲۹۲/۹۶۱۷	۱/۸۰	۲۰۷/۳۶۳۶	۱/۱۳	۱۳۰/۰۸۹۶	مناطق مسکونی و صنعتی
۶/۲۸	۷۲۳/۸۶۲۸	۶/۸۶	۷۸۸/۶۷۵۴	۶/۹۹	۸۰۴/۷۷۰۱	۷/۱۵	۸۲۳/۵۱۴۴	زمین های کشاورزی
۴۲/۰۸	۴۸۴۸/۵۷۴۵	۴۲/۷۸	۴۹۲۶/۲۹۳۱	۴۳/۸۸	۵۰۵۲/۲۹۸۵	۴۸/۶۲	۵۶۰۰/۷۸۶۴	مرتع
۴۴/۰۶	۵۰۷۷/۰۸۵۴	۴۳/۵۵	۵۰۱۳/۸۲۵۳	۴۲/۹۹	۴۹۴۹/۳۹۰۷	۳۸/۸۴	۴۴۷۳/۹۶۸۴	کویر و شورزار
۴/۴۲	۵۰۹۷۰۳۳	۴/۲۷	۴۹۱/۸۶۹۸	۴/۰۳	۴۶۳/۹۳۹۲	۳/۶۵	۴۲۰/۴۱۸۸	دریاچه نمک
—	—	—	—	۰/۳۱	۳۶/۱۶۲۹	۰/۶۱	۷۰/۳۶۳۶	آب

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

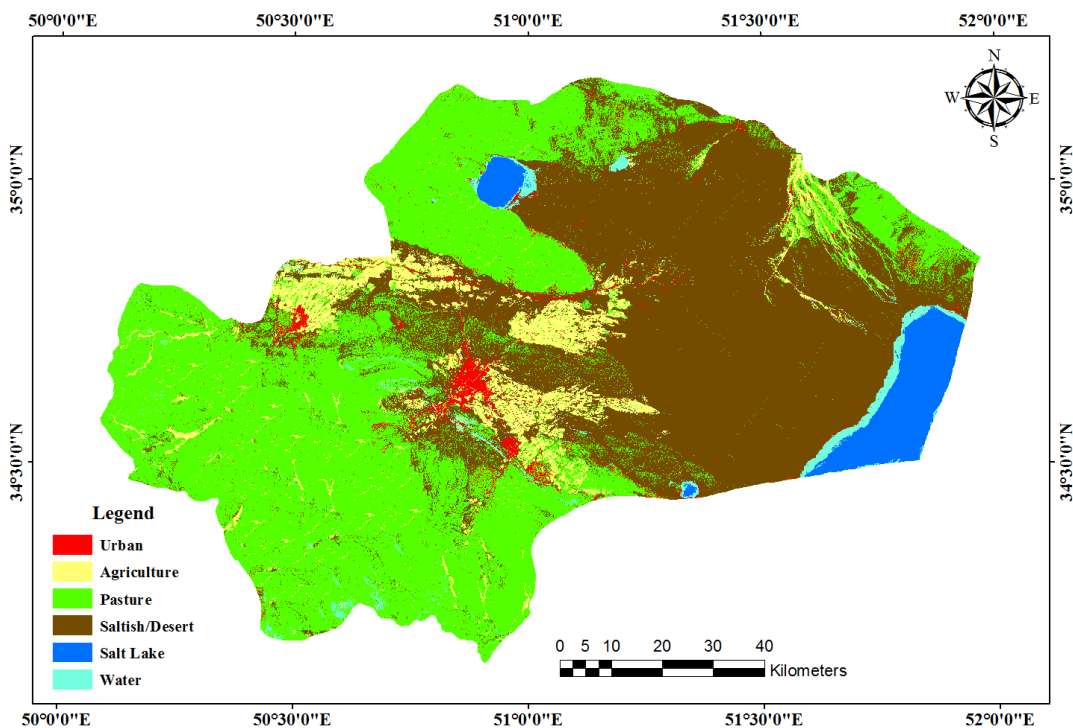
جدول ۵. میزان تغییرات در بازه های زمانی مختلف

سال ۱۳۸۸-۱۳۹۵		سال ۱۳۷۸-۱۳۸۸		سال ۱۳۶۵-۱۳۷۸		انواع کاربری
درصد	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد	مساحت (Km <sup>2</sup> )	
+۰/۶۲	+۷۲/۰۰۱۵	+۰/۷۴	+۸۵/۵۹۸۱	+۰/۶۷	+۷۷/۲۷۴۲	مناطق مسکونی و صنعتی
-۰/۵۶	-۶۴/۸۱۲۹	-۰/۱۳۹۷	-۱۶/۰۹۹۴	-۰/۱۶	-۱۸/۷۴۴۴	زمین های کشاورزی
-۰/۶۷	-۷۷/۷۱۸۸	-۱/۰۹۴۰	-۱۲۶/۰۰۵۲	-۴/۷۶	-۵۴۸/۴۸۸۶	مرتع
+۰/۵۴	+۶۳/۲۶۰۱	+۰/۵۵	+۶۴/۴۳۴۳	+۴/۱۲	+۴۷۵/۴۲۰۴	کویر و شورزار
+۰/۱۵	+۱۷/۸۳۳۴	+۰/۲۴	+۲۷/۹۲۹۹	+۰/۳۷	+۴۳/۵۲۱۶	دریاچه نمک
—	—	-۰/۳۱۳۹	-۳۶/۱۶۲۷	-۰/۲۹	-۳۴/۱۹۹۲	آب

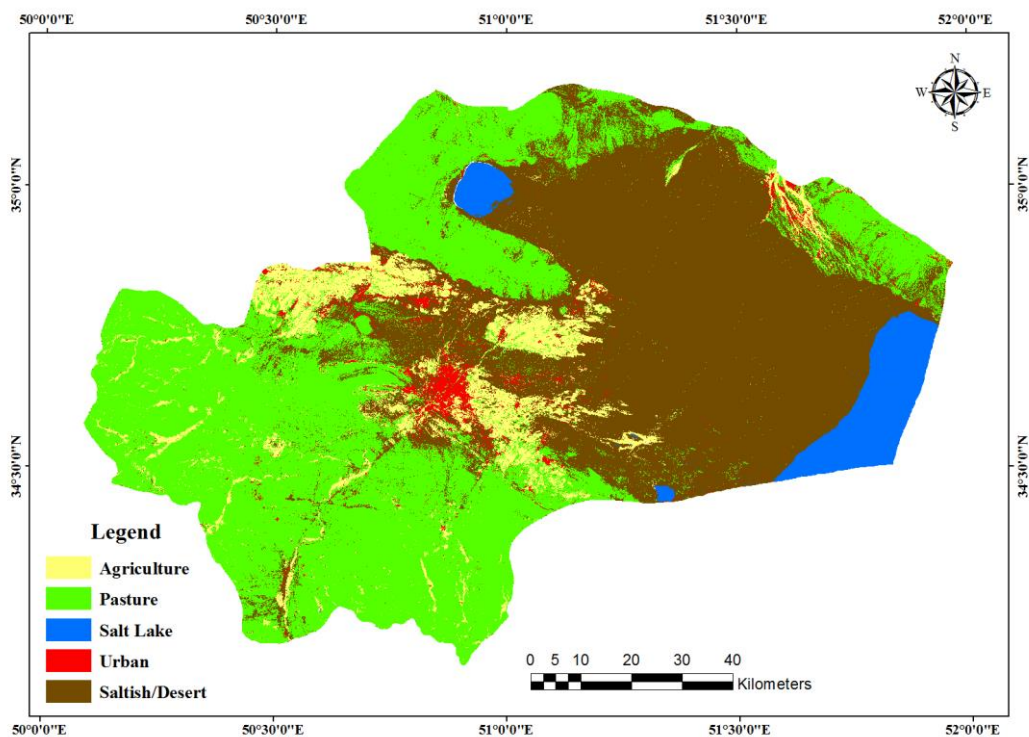
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)



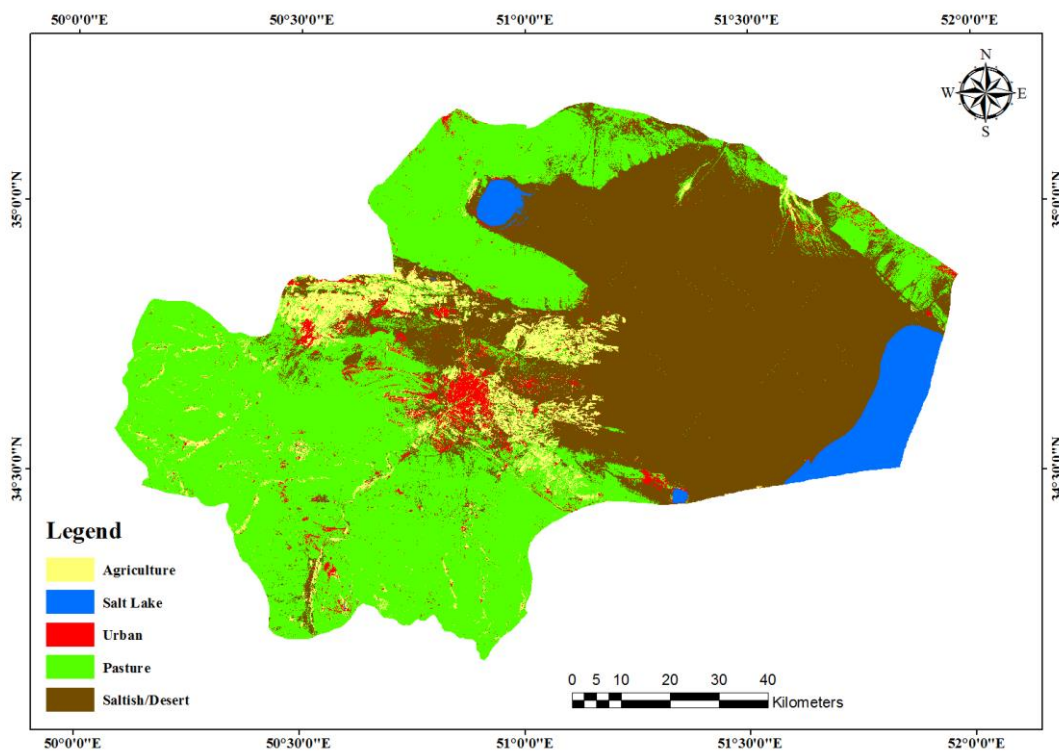
شکل ۲. کاربری اراضی استان قم در سال ۱۳۶۵  
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۳. کاربری اراضی استان قم در سال ۱۳۷۸  
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۴. کاربری اراضی استان قم در سال ۱۳۸۸  
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۵. کاربری اراضی استان قم در سال ۱۳۹۵  
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

مختص به آن نقشه، پارامترهای Producer Accuracy, User Accuracy و کاپا را محاسبه کرد که نتایج آن در (جدول ۶) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، میزان ضریب کاپا و صحت کلی در سال ۱۳۸۸ بیشترین مقدار و در سال ۱۳۹۵ کمترین مقدار را داراست.

برای نمایش دقت طبقه بندی انجام شده بر روی تصاویر ماهواره ای و اعتبارسنجی نتایج به دست آمده در منطقه مورد مطالعه، بایستی با استفاده از نقاط و اطلاعات حقیقی جمع آوری و طبقه بندی شده (با توجه به کلاس های مورد نظر) از وضعیت موجود در منطقه، نمونه های آموزشی (ROI) تولید کرد و سپس برای هر نقشه کاربری اراضی تولید شده با توجه به داده آموزشی

جدول ۶. نتایج ماتریس خطای نقشه طبقه بندی شده مطالعاتی (بر حسب درصد)

۱۳۹۵		۱۳۸۸		۱۳۷۸		۱۳۶۵		نام کاربری
Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.	
۷۸/۵۳	۹۰/۴۹	۸۶/۳۲	۹۲/۷۹	۹۳/۸۷	۸۶/۸۹	۹۱/۵۶	۸۰/۴۵	مسکونی / صنعتی
۶۷/۵۱	۹۵/۱۴	۸۳/۴۴	۹۷/۳۶	۸۳/۱۰	۹۹/۲۲	۹۹/۶۱	۹۹/۴۶	زمین کشاورزی
۹۳/۰۹	۷۱/۵۲	۸۷/۸۸	۹۱/۵۰	۸۱/۷۸	۸۵/۸۸	۸۳/۹۵	۸۸/۲۴	مرتع
۹۹/۰۸	۷۴/۱۷	۹۸/۷۰	۱۰۰/۰۰	۹۱/۴۱	۸۰/۱۶	۸۲/۸۸	۸۷/۲۴	کویر / شورزار
۹۴/۸۳	۱۰۰/۰۰	۹۵/۷۳	۸۰/۰۰	۸۹/۵۳	۹۹/۸۸	۹۹/۶۳	۶۸/۹۳	دریاچه نمک
-	-	-	-	۹۸/۲۷	۸۹/۰۴	۴۶/۷۳	۷۲/۶۷	آب
۸۳/۵۲۰۴		۹۰/۶۴۳۷		۸۸/۷۸۳۲		۸۷/۴۲۳۶		صحت کلی
۰/۷۹۰۵		۰/۸۸۱۸		۰/۸۶۲۸		۰/۸۴۱۵		ضریب کاپا کلی

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

شود تا دقت روش مدل سازی مارکوف محاسبه شود و همچنین همین روند را بر روی نقشه های کاربری اراضی سال های ۱۳۷۸ و ۱۳۸۷ به منظور ارائه مدلی برای سال ۱۳۹۵ انجام می دهیم. به منظور ارزیابی تصاویر شبیه سازی شده و محاسبه دقت آن ها، از رابطه ۹ استفاده شده و نتایج تصاویر شبیه سازی شده ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ در جدول شماره ۷ نشان داده شده است.

## بحث و تحلیل

در مورد پیش بینی تغییرات در سال های آینده باید این موضوع مدنظر قرار گیرد که صحت مدل سازی باید ارزیابی شود. بدین منظور می توان از نقشه های کاربری سال های ۱۳۶۵ و ۱۳۷۸ که در قسمت قبل نشان داده شد، استفاده کرد و مدلی برای سال ۱۳۸۸ برآورد کنیم و سپس با وضع موجود در سال ۱۳۸۸ مقایسه

$$Precision(\%) = 100 - \frac{|(Urban_{simulated}) - (Urban_{real})|}{(Urban_{real})} * 100 \quad (9)$$

جدول ۷. نتایج ارزیابی دقت تصاویر شبیه سازی شده سال های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۵ با استفاده از زنجیره مارکوف

سال	تصویر شبیه سازی شده (تعداد پیکسل مناطق مسکونی-صنعتی)	تصویر طبقه بندی شده (تعداد پیکسل مناطق مسکونی-صنعتی)	دقت (درصد)
۱۳۸۸	۳۹۲۸۶۶	۳۲۵۵۱۳	۷۹/۳۱
۱۳۹۵	۴۷۱۶۴۲	۴۰۵۵۱۵	۸۳/۶۹

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

آموزشی است که این تصاویر از ماتریس احتمال انتقال به دست می آیند؛ بدین صورت که در مرحله اول در مدل مارکوف، نقشه کاربری سال ۱۳۸۸ به عنوان نقشه قدیمی و نقشه کاربری سال ۱۳۹۵ به عنوان نقشه جدید معرفی و ماتریس احتمال انتقال (جدول ۸)، ماتریس مساحت انتقال (جدول ۹) برای ۱۰ سال آینده محاسبه شد. با اتمام این مرحله، عملگر CA مارکوف در نرم افزار با لحاظ کردن نقشه کاربری سال ۱۳۹۵ به عنوان نقشه پایه و معرفی فایل مساحت انتقال حاصل از مرحله قبل اجرا و نقشه کاربری در سال ۱۴۰۵ از مدل پیش بینی شد (شکل ۶).

زنجیره مارکوف سه خروجی دارد که عبارت اند از: ماتریس احتمال انتقال که در آن احتمال انتقال کاربری ها به کاربری دیگر را نشان می دهد و این ماتریس جدول حاصل از تطابق نقشه های دو تصویر است که توسط خطای نسبی، اصلاح شده است و اِلمان های این ماتریس بیان کننده این احتمال هستند که هر نوع کاربری از زمین، در چه موقعیت مکانی در آینده پیدا می شود. ماتریس مساحت انتقال نشان دهنده تعداد پیکسل هایی از هر کلاس است که محتمل است به کلاس های دیگر تبدیل شوند. مدل مارکوف شامل چند تصویر احتمال از نمونه های

جدول ۸. ماتریس احتمال انتقال

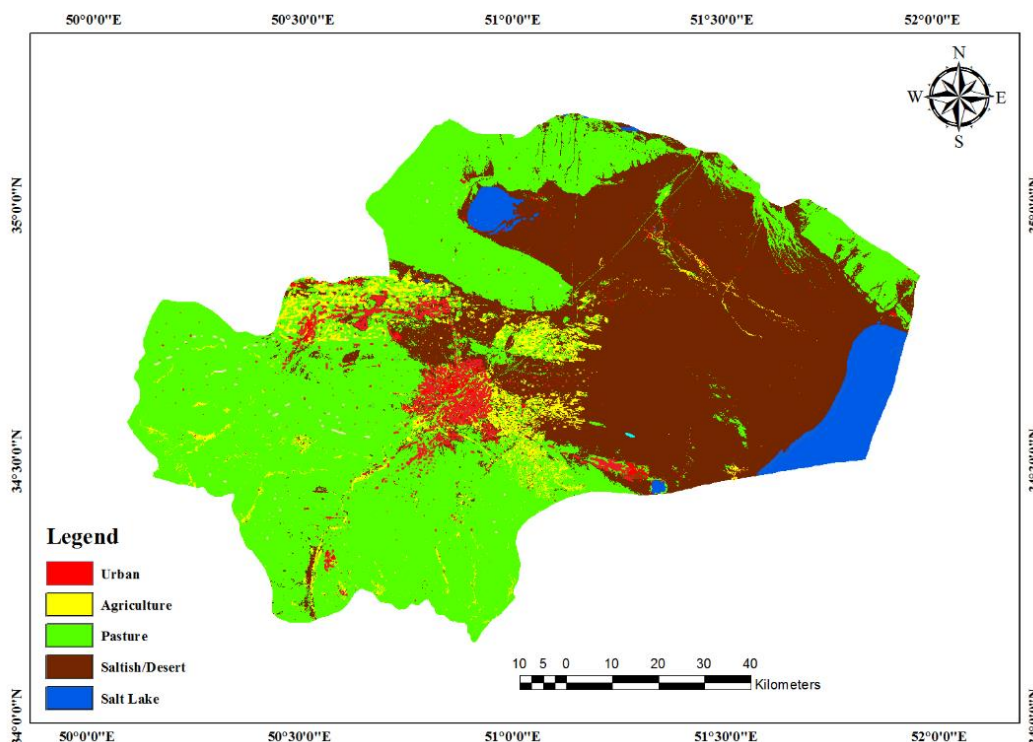
دریاچه نمک	کوبیر و شورزار	مراغ	زمین های کشاورزی	مناطق مسکونی و صنعتی	
۰/۰۰۰۰	۰/۲۲۳۸	۰/۵۸۹۰	۰/۰۴۷۸	۰/۱۳۹۴	مناطق مسکونی و صنعتی
۰/۱۶۱۰	۰/۰۰۰۰	۰/۴۰۳۸	۰/۳۷۸۹	۰/۰۵۶۴	زمین های کشاورزی
۰/۱۲۳۸	۰/۸۲۸۳	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۶۹	۰/۰۴۱۱	مراغ
۰/۷۳۷۲	۰/۰۰۰۰	۰/۲۱۹۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۳۹۴	کوبیر و شورزار
۰/۰۰۰۰	۰/۲۱۷۸	۰/۷۴۳۰	۰/۰۳۴۳	۰/۰۰۴۸	دریاچه نمک

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

جدول ۹. ماتریس مساحت انتقال

دریاچه نمک	کوبیر و شورزار	مراغ	زمین های کشاورزی	مناطق مسکونی و صنعتی	
۰	۱۷۸۳۶۵	۴۶۹۴۹۶	۳۸۱۱۲	۱۱۱۱۱۳	مناطق مسکونی و صنعتی
۲۵۴۳۵۸	۰	۶۳۷۹۰۸	۵۹۸۵۶۲	۸۹۰۸۰	زمین های کشاورزی
۱۴۱۷۳۷۱	۹۴۸۶۶۴۵	۰	۷۸۸۵۹	۴۷۰۲۷۷	مراغ
۵۹۱۶۱۲۴	۰	۱۷۵۸۰۲۶	۳۴۸۶۴	۳۱۵۹۰۸	کوبیر و شورزار
۰	۳۱۰۴۶۶	۱۰۵۸۹۵۲	۴۸۸۶۴	۶۸۷۰	دریاچه نمک

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۶. کاربری اراضی پیش‌بینی شده برای ۱۰ سال آینده (سال ۱۴۰۵) منطقه مورد مطالعه با استفاده از زنجیره مارکوف (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

تبدیل وضعیت طولانی‌تر بوده و داده‌های مورد استفاده، دقت و صحت بالاتری داشته باشند و همچنین از چندین دوره ماتریس تبدیل وضعیت استفاده شود، نتیجه پیش‌بینی شده توسط مدل به واقعیت‌های زمینی نزدیک‌تر خواهند بود.

#### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

رشد روزافزون استان قم و مهاجرت‌های گسترده به آن طی سال‌های اخیر، تخریب جبران‌ناپذیری را به اراضی کشاورزی و اراضی دست‌نخورده حومه شهر وارد کرده است. این اطلاعات با نگاهی گذرا به نتایج آشکارسازی تغییرات در دوره مطالعاتی ۳۰ ساله مشهود است و ادامه این روند می‌تواند تشدید آسیب‌های زیست‌محیطی و کاهش هرچه بیشتر سطح زمین‌های کشاورزی در منطقه را منجر شود؛ از این رو تهیه نقشه‌های مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی برای

هر چند که نتایج پیش‌بینی با ماتریس تبدیل کاربری به وسیله داده‌های نقشه‌های موجود، اختلافی را نشان می‌دهد؛ اما به دلیل قابل توجه نبودن خطاها، به جرأت می‌توان گفت که مدل مارکوف برای پیش‌بینی تغییر کاربری، قابلیت خوبی دارد. چنانچه انتظار می‌رود ماتریس تبدیل کاربری با زمان، عدم‌ایستایی دارد که ناشی از شبیه‌نبودن تغییرات و فرایندهای تبدیل کاربری در دوره‌های مختلف است. البته با توجه به اینکه اغلب، هدف پیش‌بینی تغییر کاربری، ارزیابی پیامدهای سناریوهای مختلف به‌ویژه ادامه روند موجود است؛ نتایج این پیش‌بینی‌ها به‌رغم اختلاف نسبت به آنچه در آینده اتفاق خواهد افتاد، می‌تواند هشدار برای وضعیت کاربری‌ها در آینده باشد.

در پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، چنانچه بازه‌های زمانی بین دو تصویر مورد استفاده برای تشکیل ماتریس

- کاربری‌های بلندمرتبه‌سازی و انبوه‌سازی در راستای اصول و مبانی شهر فشرده؛  
- هدایت رشد شهر در جهاتی غیر از باغات و زمین‌های کشاورزی؛  
- توجه به مکان‌یابی و توزیع مناسب کاربری‌ها و خدمات شهری به منظور حفظ تعادل در رشد شهری.  
- اعمال قوانین مالیاتی به منظور جلوگیری از بورس‌بازی زمین.  
- کنترل حاشیه‌نشینی در اطراف شهر با کاربری‌های ساماندهی و توانمندسازی جوامع حاشیه‌نشین.

#### منابع

آرخی، صالح؛ اصفهانی، محدثه. (۱۳۹۳). نرم افزار آموزش IDRISI Selva. جلد ۱. گرگان: انتشارات دانشگاه گلستان، چاپ اول.

رضانی، نفیسه؛ جعفری، رضا؛ ایزانلو، اسماعیل. (۱۳۹۰). بررسی تغییرات کاربری زمین در چهار دهه گذشته (منطقه مورد مطالعه: اسفراین، خراسان شمالی). مجله سنجش‌ازدور و GIS ایران، ۳ (۲)، صص ۳۷-۱۹. صاحب امتیاز: انجمن سنجش‌ازدور و GIS ایران

زیاری، کرامت‌الله. (۱۳۸۸). برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

علوی‌پناه، کاظم. (۱۳۸۴). کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

والی‌پور مژگان؛ کریمیان اقبال، مصطفی؛ ملکوتی، محمدجعفر؛ خوش‌گفتارمنش، امیرحسین. (۱۳۸۷). شوری و تخریب زمین در توسعه کشاورزی منطقه شمس‌آباد استان قم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲ (۴۸)، صص ۶۹۱-۶۸۳.

Acevedo, W., Foresman, T.W. and Buchanan, J.T., (1996), April. Origins and philosophy of building a temporal database to examine human transformation processes. In Proceedings, ASPRS/ACSM Annual Convention and Exhibition, Baltimore, MD (Vol. 1, pp. 148-161).

مشخص کردن این مسأله که کجا، چگونه و چه وقت تغییرات رخ داده، برای کمک به فرایند برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مدیران بسیار حائز اهمیت است.

میزان تغییرات سطح کاربری اراضی بیانگر آن بود که میزان سطح مراتع در استان از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ کاهش یافته، به طوری که از ۵۶۰۰،۷۸ به ۴۸۴۸،۵۷ کیلومتر مربع رسیده است و بخش اندکی از این مراتع به اراضی کشاورزی تغییر کاربری داده‌اند. میزان سطح اراضی کشاورزی در دوره ۳۰ ساله حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع کاهش یافته است که علت عمده آن افزایش مناطق مسکونی و صنعتی و تغییر کاربری اراضی از کشاورزی به مسکونی بوده است. با توسعه شهرنشینی، وسعت مناطق مسکونی و صنعتی افزایش یافته و از ۱۳۰ به ۳۶۴ کیلومتر مربع رسیده است. در سال ۱۳۶۵ در اطراف دریاچه‌های نمک، حدود ۷۰ کیلومتر مربع آب وجود داشته است و به مرور زمان حجم آب کاهش یافته و تا سال ۱۳۸۸ کاملاً خشک شده و به تبع بر مساحت زمین‌های خشک و شورزار افزوده شده است؛ به طوری که از ۴۴۷۳ کیلومتر مربع در سال ۱۳۶۵ به ۵۰۷۷ کیلومتر مربع در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته است.

باتوجه به کارایی بالای روش مارکوف در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی استان قم، با استفاده از روش فوق تعریف شد که نتایج حاصل از آن کاهش سطح زمین‌های کشاورزی و توسعه مناطق مسکونی/صنعتی و کویر و شورزار است.

به منظور بهبود مدیریت و حفاظت از منابع طبیعی، زمین‌های کشاورزی و باغات و با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش، راهکارهای ذیل پیشنهاد می‌شود:

- استفاده حداکثر از زمین‌های بایر داخل شهر در راستای توسعه درون‌زا و رشد هوشمند شهری؛

- Hall, Peter. (1992). *Urban and Regional Planning*. London: Routledge, P. 73.
- Hathout, S, 2002, The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada. *Journal of Environmental Management* 66: 229-238.
- Janalipour, M. and Taleai, M., (2017). Building change detection after earthquake using multi-criteria decision analysis based on extracted information from high spatial resolution satellite images. *International journal of remote sensing*, 38(1), pp.82-99.
- Klosterman, R. E. (1999). *The What If? Collaborative Planning Support System*. *Environment and Planning B*, Vol. 26, Pp 393-408.
- Longley, P. A. and Mesev, V. (2001). Measuring Urban Morphology Using Remotely Sensed Imagery. In: J. P. Donnay, M. J. Barnsley, and P. A. Longley (eds.), *Remote Sensing and Urban Analysis*, Taylor and Francis, London and New York, Pp 163-183.
- Lopez, Erna, Gerardo, Bocco, Manuel, Mendoza, and Emilio, Duhau, 2001, Predicting Land-cover and land-use change in the urban fringe - A case in Morelia city, Mexico, *Landscape and Urban Planning*, 55 (4), 271-285.
- Lunetta, R. S .and C. D. Edvidge. 1999. *Remote Sensing Change Detection Environmental Monitoring Methods and Application*, Taylor.
- McCoy, R. M. 2005. *Field Methods in Remote Sensing*, Guilford.
- Méaille, R. and Wald, L., (1990). Using geographical information system and satellite imagery within a numerical simulation of regional urban growth. *International Journal of Geographical Information System*, 4(4), pp.445-456.
- Muller, M.R and Middleton, j, 1994, A Markov model of Landuse change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. *Landscape Ecology* 9:151-157.
- Pilon, G., Howarth, J., Bullock, A., 1988. An enhanced classification approach to change detection in semi-arid environments *Photogram. Eng. Remote Sen.* 54, 1709-1716.
- Pontius, Robert. Gilmore. And Chen, Hao, 2006, *Geomod Modeling, USA: Clark University*. P. 44.
- Riano, D., E. Chavieco, J. Salas, and I. Aguado, 2003. Assessment of Different Topographic corrections in Landsat-TM Data for Mapping
- Al-doski, J., S. B. Mansor, and H. Z. Mohd Shafri, 2013. Monitoring Land Cover Changes in Halabja City, Iraq. *International Journal of Sensor and Related Networks*, 1(1):20-30.
- Altieri, Linda, Cocchi, Daniela, Giovanna Pezzi, E., Scott, Marian, Ventrucci, Massimo, 2014. Urban sprawl scatterplots for Urban Morphological Zones data. *Ecol. Indic.* 36, 315-323.
- Batty, M. and Howes, D. (2001). Predicting Temporal Patterns in Urban Development from Remote Imagery. In: J. P. Donnay, M. J. Barnsley and P. A. Longley (eds.), *Remote Sensing and Urban Analysis*, Taylor and Francis, London and New York, Pp 185-204.
- Batty, M. and Longley, P.A., (1994). *Fractal cities: a geometry of form and function*. Academic press.
- Chadchan, j., Shankar, R., 2012. An analysis of urban growth trends in the post-economic reforms period in India. *Int. J. Sustainable Built Environ.* 1, 36-49.
- Clarke, K.C., Parks, B.O. and Crane, M.P. eds., (2002). *Geographic information systems and environmental modeling*. Pearson College Division.
- Eslami, M., A. Mohammadzadeh, and M. Janalipour (2015). "Estimates of the Relative Changes of the Urmia Lake Using Fuzzy Classifier." *Journal of Geomatics Science and Technology* 5. 2: 119-130.
- Fan, Fenglei, Wang, Yunpeng, and Wang, Zhishi, 2008, Temporal and spatial change Detecting (1998 2003) and predicting of land use and land cover in Core corridor of Pearl River Delta (China) by using TM and ETM+ images, *Environmental Monitoring and Assessment*, 137 (1), 127-147.
- Fichera, C. R., G. Modica, and M. Pollino, 2012. Land Cover classification and change-detection analysis using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics. *European Journal of Remote Sensing*, 45:1-18.
- Gilks W. R. (1996). *Markov Chain Monte Carlo in Practice*. Chapman & Hall/CRC.
- Goldsmith, F. B., 1991. *Monitoring for Conservation and Ecology*. Chapman & Hall: 275P.
- Guan, DongJie, Li, HaiFeng, Inohae, Takuro, Su Weici, Nagaie, Tadashi, and Hokao, Kazunori, 2011, Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model, *Ecological Modelling*, 222 (20-22), 3761-3772.

- of urban growth and the change dynamic in Guangzhou using multi-temporal remote sensing data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 21, 409–417.
- Tso. B. and P.M. Mather. 2009. *Classification Methods for Remotely Sensed Data*. Chapter 2-3. 2nd ed., Taylor and Francis Pub., America.
- US Global Change Research Program. (2003). *Land Use and Land Cover Change*. Updated 12 October.
- Wegner, M. (1994). *Operational Urban Models: State of the Art*. *Journal of the American Planning Association*, Vol. 60, No. 1, Pp 17-30.
- Xinliang, Xu, Min, Xibi, 2013. Quantifying spatiotemporal patterns of urban expansion in china using remote sensing data. *Cities* 35, 104-113.
- Yuan, F., K. E. Sawaya, B. C. Loeffelholz, and M. E. Bauer, 2005. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 98(2):317-328.
- Vegetation Types. *Lee Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 41(5):1056 - 1061.
- Shalaby, A., Tateishi, R., 2007. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land-cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt. *Appl. Geogr.* 27,28-41.
- Shaohong, W. U. and Wenzhong, S. H. (2005). I and Others: *Environmental Assessment Modelling Change-Pattern-Value Dynamics on Land Use: An Integrated GIS and Artificial Neural Networks Approach*. *Environmental Management*, Vol. 36, No. 4.
- Soh, Mazlan Bin Che, 2012. Crime and urbanization: revisited Malaysian case. *Procardia Social Behave. Sci.* 42, 291–299.
- Sui, D. Z. (1998). *GIS-Based Urban Modelling: Practices, Problems and Prospects*. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 12, No. 7, Pp 651-671.
- Sun, Cheng, Zhi-feng, Wu, Lv, Zhi-qiang, Yao, Na, Wei, Jian-bing, 2013. Quantifying different types