

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره یازدهم، شماره چهل و سوم، بهار ۱۴۰۰

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۱۱ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۶/۰۴

صص ۴۱-۶۱

آشکار سازی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار (CA-Markov)، (مطالعه‌ی موردی: دشت داراب)

حسین اسمعیلی*، کارشناسی ارشد آب‌وهواشناسی-دانشگاه زنجان

سعید نگهبان، دانشیار ژئومورفولوژی-گروه جغرافیا-دانشگاه شیراز

چکیده

تغییرات بدون برنامه و غیراصولی کاربری اراضی و پوشش زمین از چالش‌های اساسی و مهم بسیاری از کشورها و مناطق مختلف کره‌ی زمین محسوب می‌شود که به نوبه‌ی خود تأثیرات مخربی را بر روی منابع طبیعی بر جای می‌گذارد؛ بنابراین بررسی تغییرات کاربری اراضی از نقش اساسی و مهمی جهت مطالعات زیست‌محیطی برخوردار است. پژوهش حاضر با هدف آشکار سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی دشت داراب با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار یا CA - Markov با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک سنجش‌ازدور (RS) انجام شد. بدین‌صورت که ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست و بر اساس روش حداکثر درست‌نمایی، نقشه‌های طبقه‌بندی مربوط به سه دوره‌ی زمانی مختلف شامل ۱۳۶۸-۱۳۷۸، ۱۳۷۸-۱۳۸۸ و ۱۳۸۸-۱۳۹۸ در هفت کلاس متفاوت تهیه شد. سپس با استفاده از دو نقشه‌ی سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۸ به‌عنوان نقشه‌های پایه و پیشرو و با ترکیب مدل زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار نقشه‌ی پیش‌بینی مربوط به سال ۱۳۹۸ تولید شد. در گام بعد، نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده سال ۱۳۹۸ با نقشه‌ی واقعی مربوط به همان سال بر اساس میزان پارامترهای توافق و عدم توافق مورد ارزیابی قرار گرفت. درنهایت، پس از اطمینان از دقت مدل پیش‌بینی، نقشه‌ی کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۹۸ وارد مدل شده و نقشه‌ی کاربری اراضی برای ۱۰ سال آینده؛ یعنی سال ۱۴۰۸ پیش‌بینی گردید. مطابق با نقشه‌ی تولیدشده، انواع کاربری‌ها تغییرات و تبدیلات چشم‌گیری خواهند داشت؛ به‌طوری‌که از مساحت زمین‌های زراعی به میزان ۴۱۹/۴ هکتار، از مساحت کوه‌ها ۸۵۲۹/۸ هکتار، از مساحت کاربری مراتع ۴۲۸۷/۹ هکتار و درنهایت از مساحت منابع آب ۲۷۰/۸۸ هکتار کاسته خواهد شد. از سوی دیگر، به مساحت زمین‌های بایر به میزان ۱۱۱۱۳/۶ هکتار، به کاربری باغی ۱۹۲۶/۳۱ هکتار و به کاربری مسکونی ۴۵۹/۰۸ هکتار افزوده خواهد شد.

واژگان کلیدی: تغییرات کاربری اراضی، زنجیره‌ی مارکوف، سلول‌های خودکار، سنجش‌ازدور (RS)، دشت داراب.

* Email: Hossein.esmaeili@alumni.znu.ac.ir

۱- مقدمه

مطالعات نحوه‌ی کاربری و نوع پوشش اراضی زمین، نقش مهمی را در برنامه‌ریزی برای مدیریت حفاظت منابع ایفا می‌کند و زمینه‌ی ارتقاء نگرش اصولی به ساختارهای زیست‌محیطی را فراهم می‌آورد (Zhou, et al., 2008: 1). تغییرات کاربری اراضی در نتیجه‌ی فعل‌وانفعالات پیچیده‌ی عوامل ساختاری و عملکردی در ارتباط با میزان تقاضا، توان تکنولوژیکی و ارتباطات اجتماعی، پیامدهای زیادی بر سیمای سرزمین دارد (Matsushita et al., 2006: 241)؛ به‌طوری‌که موارد بسیار زیادی از مشکلات زیست‌محیطی مانند فرسایش خاک، بیابان‌زایی، تخریب منابع، آلودگی‌های زیست‌محیطی ریشه در تغییرات کاربری اراضی دارند (Bai et al., 2017: 1). این تغییرات در مناطق مختلف به دلایل طبیعی یا انسانی صورت می‌گیرد و اثراتی را در پی دارد که نسبت به نوع اثرات، برخی از این تغییرات موجب برهم خوردن تعادل طبیعی هر منطقه می‌شود (Zhao et al., 2010: 483)؛ بنابراین پوشش اراضی، پویایی و تغییرات آن، متغیرهای مهمی هستند که تأثیراتی جدی بر روی محیط و فرآیندهای محیطی می‌گذارند (Foody, 2000: 433)، لذا نظارت بر تغییرات اراضی امری مهم در برنامه‌ریزی آینده و مدیریت منابع طبیعی است (Liu & Yang, 2015: 42). بدین منظور آگاهی از انواع پوشش سطح زمین و فعالیت‌های انسانی در بخش‌های مختلف و یا به عبارتی، نوع کاربری زمین به‌عنوان داده‌های پایه‌ی برنامه‌ریزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (شیرازی و همکاران، ۱۳۸۹: ۳۳). ظهور تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های زمین مکانی، ابعاد تازه‌ای جهت بررسی و ارزیابی تغییرات پوشش کاربری اراضی ایجاد نموده است (Tewolde & Cabral, 2011: 2149). در واقع، داده‌های سنجش‌ازدور، داده‌های چندزمانه‌ی گران‌بهای درباره‌ی فرآیندها و الگوهای تغییر پوشش زمین و کاربری اراضی فراهم می‌کنند (Dewan & Yamaguchi, 2009: 392)؛ به‌طوری‌که نقشه‌های پوشش اراضی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای نقش مهمی در ارزیابی‌های منطقه‌ای و ملی ایفا می‌کنند (Knorn et al., 2009: 957 – 964). خاصیت چندزمانی و چندطبقه‌ی بودن تصاویر ماهواره‌ای برای ارزیابی تغییرات، به‌طور گسترده‌ای در بررسی تغییرات زیست‌محیطی، ارزیابی روند تغییرات پوشش زمین، بازبینی جنگل و مطالعات شهری استفاده می‌شود و نقش مهمی در بسیاری از حوزه‌های کاربردی دارد (Subudhi, et al., 2014: 284). در واقع، تکنولوژی سنجش‌ازدور ابزاری کارآمد برای بررسی و پایش تغییرات محیطی و کاربری اراضی بوده که با دارا بودن سرعت و دقت زیاد و نیز هزینه‌ی بسیار کم، امکان تهیه‌ی نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی و همچنین مقایسه‌ی تغییرات رخ داده را در طی زمان‌های مختلف برای مکان‌هایی مشخص فراهم می‌کند. در زمینه‌ی آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی و نیز شبیه‌سازی تغییرات آینده، مطالعات چندی صورت گرفته است که در اینجا به تعدادی چند از آن‌ها اشاره می‌گردد. دی‌باز^۱ و همکاران (۲۰۱۱) آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی شیلی را با استفاده از مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM)^۲ مورد بررسی قرار دادند. یکی از نتایج بررسی آن‌ها نشانگر کاهش سطح اراضی کشاورزی است. پیکر^۳ و همکاران (۲۰۱۲) پژوهشی در منطقه‌ای حفاظت‌شده واقع در جنوب اسپانیا با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار^۴ انجام دادند و به بررسی وضعیت تغییرات کاربری اراضی منطقه‌ی مورد مطالعه پرداختند. یافته‌های آن‌ها بیانگر افزایش دو نوع کاربری کشاورزی و مسکونی نسبت به سایر کاربری‌ها در منطقه است. هالی^۵ و همکاران (۲۰۱۵) تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی آن را در صحرای غربی مصر با استفاده از تصاویر لندست و با کمک مدل CA^۱- Markov مورد بررسی قرار دادند و در نهایت نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده‌ی کاربری اراضی مربوط به سال ۲۰۲۳ محدودی مورد مطالعه‌ی خود را تهیه نمودند. تراوالی^۶ و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست

1- Díaz

2- Land Change Modeler (LCM)

3- Piquer

4- Cellular Automata and Markov Chain

5- Halmy

6- Cellular Automata (CA)

7- Tarawally

مربوط به سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ دو ناحیه‌ی شهری سیرالئون در آفریقا، به بررسی تغییرات کاربری اراضی هر دو ناحیه‌ی شهری پرداختند. آن‌ها جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مربوطه از روش حداکثر درست‌نمایی و جهت انجام فرآیند مدل‌سازی و تهیه‌ی نقشه‌ی شبیه‌سازی از مدل زنجیره‌ی مارکوف استفاده نمودند. مونتالی^۸ و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ی خود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ مربوط به سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۵، به بررسی تغییرات کاربری اراضی منطقه ددزا^۹ واقع در آفریقای جنوبی پرداختند و در نهایت نقشه‌ی پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۳۵ را با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار، برای محدوده‌ی مورد مطالعه‌ی خود را تهیه نمودند. منصور^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی با عنوان پایش تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین در شهرهای کوهستانی عمان با استفاده از GIS^{۱۱} و تکنیک مدل‌سازی CA-Markov، از طریق تصاویر لندست مربوط به سال‌های ۱۹۹۸، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸، نقشه‌ی کاربری اراضی شهر نزوا^{۱۲} در استان الدخلیه^{۱۳} را برای سال ۲۰۳۵ پیش‌بینی نمودند. در مطالعه‌ی دیگر ای‌سیلوا^{۱۴} و همکاران (۲۰۲۰) به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی پوشش زمین با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی و مدل LCM توسط تصاویر ماهواره‌ای لندست و در حوضه‌ی رودخانه تاپروآ^{۱۵} در شمال برزیل، نقشه‌ی پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی مربوط به سال ۲۰۳۵ را استخراج نمودند. ایمانی هرسینی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و IRS و انجام فرآیند طبقه‌بندی تصاویر مربوطه با روش حداکثر احتمال، نقشه‌ی کاربری اراضی استان همدان را تهیه نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها حاکی از این امر است که میزان مساحت اراضی مرتعی و اراضی کوهپایه‌ای-صخره‌ای در طول سه دهه‌ی گذشته کاهش یافته است. فیضی‌زاده (۱۳۹۶) مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و تأثیرات آن بر فرسایش در حوضه‌ی سد علویان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست را برای سه دوره‌ی متوالی انجام داد. نتایج پژوهش وی نشان داد که در طی سه دوره‌ی یادشده ضمن افزایش اراضی باغی، تخریب و تبدیل اراضی مرتعی خوب به مراتع ضعیف و اراضی دیم در سطح قابل‌توجهی صورت گرفته است که نقش قابل‌توجهی در افزایش فرسایش خاک منطقه داشته است. اندریانی و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی به‌منظور استخراج و کشف تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نیز پیش‌بینی تغییرات با مدل زنجیره‌ی مارکوف در حوضه‌ی آبریز زلیبیرچای پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در طول سال‌های آتی مساحت کاربری‌های مسکونی، زراعت آبی و باغات افزایش خواهد یافت. شایسته و محمدیاری (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای جهت ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در شهرستان همدان، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ مقدار شاخص پوشش گیاهی (NDVI)^{۱۶} را به دست آوردند؛ و پس از طبقه‌بندی نقشه‌های پوشش گیاهی، مقدار تغییرات پوشش گیاهی شهرستان را برای ۱۵ سال آینده با استفاده از زنجیره‌ی مارکوف پیش‌بینی نمودند. قربانی و کرباسی (۱۳۹۸) جهت بررسی وضعیت آبی تغییرات کاربری اراضی و همچنین گسترش بی‌رویه‌ی باغات در حوضه‌ی آبریز سد علویان، نقشه‌ی کاربری اراضی محدوده‌ی مورد مطالعه را با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار برای سال ۲۰۲۱ شبیه‌سازی نمودند. صالحی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از مدل CA-Markov، نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه‌ی آبخیز صفارود رامسر را پیش‌بینی نمودند. بررسی پژوهش‌های مطرح‌شده بیانگر این است که در طی سال‌های اخیر در سراسر کره‌ی زمین تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین رخ داده است که این تغییرات به نوبه خود باعث به هم خوردن تعادل اکوسیستم، محیط زیست و منابع طبیعی مناطق مختلف می‌گردد، بنابراین اهمیت

8- Munthali

9- Dedza

10- Mansour

11- Geographical Information System (GIS)

12- Nizwa

13- Al Dakhliyah

14- E Silva

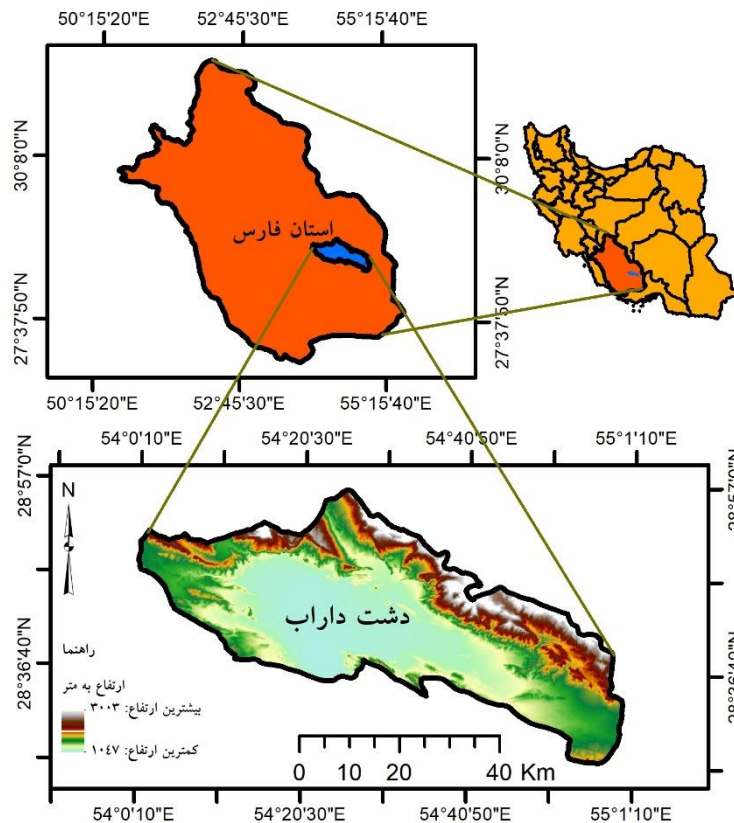
15- Taperoá

16- Normalized Different Vegetation Index (NDVI)

بررسی تغییرات کاربری اراضی، تبدیلات و یا تخریب آن‌ها در طی سال‌های گذشته و همچنین پیش‌بینی آینده این تغییرات و تبدیلات در مناطق مختلف از اقدامات مهم و قابل‌توجه جهت جلوگیری از وقوع تغییرات بدون برنامه، غیراصولی و همچنین استفاده مطلوب از منابع طبیعی است. لذا هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی تغییرات و تبدیلات کاربری اراضی روی داده در طی سال‌های گذشته و نیز تهیه نقشه‌ی پیش‌بینی آینده‌ی این تغییرات با کمک تصاویر ماهواره‌ای و مدل زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار در دشت داراب است. با توجه به این امر که تاکنون در دشت مذکور، هیچ‌گونه تحقیقی جهت بررسی تغییرات و تبدیلات کاربری اراضی صورت نگرفته و از طرفی اکوسیستم طبیعی این دشت با توجه به روند رو به رشد تغییرات و تبدیلات کاربری اراضی به دلیل بهره‌برداری‌های غیراصولی و غیرمنطقی در نتیجه‌ی فعالیت‌های انسانی (شهرنشینی، کشاورزی غیراصولی، حفر چاه‌ها و استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی جهت کشت باغات) با خطر جدی فرسایش و بیابان‌زایی روبه‌رو خواهد بود، بنابراین تهیه نقشه‌ی پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی آینده می‌تواند به‌عنوان راهنما و راهگشایی مهم موردتوجه برنامه‌ریزان آمایش سرزمین و بهره‌برداران قرار گیرد تا بدین طریق، هرگونه تغییر و بهره‌برداری در منطقه بر اساس چهارچوب اصولی و علمی صورت گیرد تا شاید بتوان از بروز خسارات و حوادث جبران‌ناپذیر محیطی جلوگیری نمود و یا آن را کاهش داد.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت داراب در جنوب شرق استان فارس و در محدوده ۵۴ درجه تا ۵۴ درجه و ۵۹ دقیقه و ۳۷ ثانیه طول شرقی و ۲۸ درجه و ۲۷ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۲۸ درجه و ۵۶ دقیقه و ۱۳ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. میانگین ارتفاع این دشت حدود ۱۴۶۴ متر از سطح دریاست. از نظر ژئومورفولوژی، این منطقه جزء زاگرس جنوب شرقی است که در این منطقه، زاگرس به حداکثر پهنای خود رسیده و چهره‌ی ظاهری ناهمواری‌ها با سایر بخش‌های زاگرس متفاوت است (علائی طالقانی، ۱۳۸۲: ۱۶۰). دشت داراب از نظر اقلیمی جزء مناطق با آب‌وهوای گرم و خشک محسوب می‌شود و مطابق با بررسی صورت‌گرفته و بر اساس داده‌های ثبت‌شده توسط ایستگاه سینوپتیک حسن‌آباد موجود در این دشت، میانگین بارش سالانه‌ی دشت مذکور طی دوره‌ی آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۹) برابر با ۲۳۶/۳ میلی‌متر و میانگین دمای هوای ثبت‌شده آن ۲۲/۲ درجه‌ی سلسیوس است. دشت داراب یکی از دشت‌های بسیار مهم در زمینه‌ی تولید محصولات کشاورزی اعم از زراعی و باغی است و معیشت و اقتصاد افراد ساکن در آن به تولیدات کشاورزی آن وابسته است که در طول چند دهه‌ی گذشته دچار خشک‌سالی و نیز طی سال‌های اخیر دچار سیلاب‌ها و رواناب‌های مخرب شده است. همچنین بهره‌برداری‌های غیراصولی باعث ایجاد خسارات جبران‌ناپذیری در آن گردیده است. در ادامه، شکل (۱) موقعیت جغرافیایی دشت داراب را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی دشت داراب

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی

فرآیند مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی به‌طورکلی و در این پژوهش در چند گام اساسی صورت می‌گیرد: ۱- تهیه نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های مختلف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، ۲- بررسی و آنالیز تغییرات پوشش اراضی طی سال‌های مختلف، ۳- شبیه‌سازی تغییرات با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف و تولید تصاویر احتمال شرطی، ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال، ۴- ترکیب مدل زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار (CA - Markov) و در نهایت تولید نقشه‌ی پوشش اراضی برای سال مورد انتظار و ۵- تعیین اعتبار و ارزیابی صحت مدل‌سازی بین نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده در یک زمان خاص با نقشه‌ی واقعی مربوط به همان زمان. جهت مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی دشت داراب از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ (TM^۷) و لندست ۸ (OLI^۸) استفاده شد. تصاویر موردنظر از تارنمای سازمان زمین‌شناسی آمریکا و در سطح تصحیحات LIT درخواست و تهیه گردید. مشخصات تصاویر مربوطه در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین نیز مدل رقومی ارتفاع (DEM^{۱۹}) استر^{۲۰} با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. قابل ذکر است نرم‌افزارهای مورد استفاده در این مطالعه شامل Arc/GIS 10.5، ENVI 5.3.1 و IDRISI TerrSet است.

- 17- Thematic Mapper
- 18- Operational Land Imager
- 19- Digital Elevation Model
- 20- Aster

جدول ۱: مشخصات و ویژگی‌های تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده در مطالعه

شماره	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ماهواره‌ی	نوع سنجنده	اندازه‌ی پیکسل	تعداد باند	شماره‌ی فریم (ردیف و گذر)
۱	۱۹۸۹/۰۴/۱۸	۱۳۶۸/۰۱/۲۹	لندست ۵	TM	۳۰ متر	۸	۱۶۱ - ۴۰
۲	۱۹۹۹/۰۴/۳۰	۱۳۷۸/۰۲/۱۰	لندست ۵	TM	۳۰ متر	۸	۱۶۱ - ۴۰
۳	۲۰۰۹/۰۴/۲۵	۱۳۸۸/۰۲/۰۵	لندست ۵	TM	۳۰ متر	۸	۱۶۱ - ۴۰
۴	۲۰۱۹/۰۴/۲۱	۱۳۹۸/۰۲/۰۱	لندست ۸	OLI	۳۰ متر	۱۱	۱۶۱ - ۴۰

۳-۲-۳- تهیه‌ی نقشه‌های کاربری اراضی

۳-۲-۳-۱- پیش‌پردازش و آماده‌سازی تصاویر ماهواره‌ای

در این مرحله تصاویر به لحاظ وجود خطاهای هندسی، رادیومتریکی، اتمسفری و توپوگرافی موردبررسی قرار گرفتند. منظور از تصحیح هندسی یک تصویر، تغییر سیستم مختصات اجزای سازنده تصویر و انطباق آن با نقشه‌های نظیر و یا تصویری است که قبلاً بر روی آن تصحیح هندسی صورت گرفته است (زبیری و مجد، ۱۳۸۷: ۲۳۳). همان‌گونه که قبلاً بیان شد، از آنجایی که تصاویر مورد استفاده در این مطالعه در سطح تصحیحات LIT می‌باشند و این سطح از تصاویر به لحاظ هندسی تصحیح شده می‌باشند، بنابراین به انجام تصحیح هندسی نیاز نداشتند. تصحیح اتمسفری و رادیومتریکی تصاویر مربوطه از طریق الگوریتم FLAASH موجود در نرم‌افزار ENVI صورت گرفت. همچنین به علت کوهستانی بودن بخش‌هایی از منطقه‌ی مورد مطالعه، انجام فرآیند عملیات تصحیح توپوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه انجام گردید.

۳-۲-۳-۲- انتخاب نمونه‌های آموزشی و نمونه‌های مرجع

نمونه‌های آموزشی^{۲۱} می‌توانند از کار زمینی، عکس‌های هوایی، گزارش‌ها یا از نقشه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه به دست آیند (Mather & Koch, 2011: 240). لذا در این مطالعه این نمونه‌ها بر اساس بازدیدهای میدانی از منطقه و برداشت نقاط به وسیله‌ی GPS، عکس‌های هوایی و تصاویر گوگل ارث و نیز ایجاد ترکیب رنگی کاذب بر روی تصاویر، به صورت تصادفی در کاربری‌های مختلف و با توجه به سطح هریک از کاربری‌ها در مرحله قبل و بعد از طبقه‌بندی برداشت شد. در زمینه‌ی انتخاب تعداد نمونه‌های آموزشی قابل ذکر است که برای بهبود برآوردهای بردار میانگین و جدول کوواریانس حداقل از $10N$ تا $100N$ پیکسل استفاده می‌شود که N برابر با تعداد باندهای مورد استفاده است. همچنین تعداد حداقل ۵۰ نمونه برای نمونه‌های مرجع^{۲۲} با توجه به تعداد طبقات کاربری اراضی در نظر گرفته می‌شود (Lillesand et al., 2015: 564 – 598).

۳-۲-۳-۳- طبقه‌بندی تصویر

با توجه به هدف اصلی تکنولوژی سنجش‌ازدور که شناسایی و تفکیک پدیده‌های زمینی و قرار دادن آن‌ها در گروه-ها یا طبقات مشخص است، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان به‌عنوان مهم‌ترین بخش تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای به شمار آورد (زبیری و مجد، ۱۳۸۷: ۲۴۲). به‌عبارت‌دیگر هدف کلی طبقه‌بندی تصویر، طبقه‌بندی خودکار کلیه‌ی پیکسل‌های موجود در تصویر بر حسب نوع پوشش زمینی و یا موارد مشابه آن است (Lillesand et al., 2015: 550). روش‌های طبقه‌بندی بر اساس داده‌های طیفی را روش‌های طبقه‌بندی بر اساس نقطه^{۲۳} یا بر اساس پیکسل^{۲۴} می‌-

21- Training Data
22- Reference Data
23- Per- point
24- per- pixel

نامند (Mather & Koch, 2011: 230). از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر درست‌نمایی^{۲۵} تاکنون به‌عنوان دقیق‌ترین و پرستفاده‌ترین روش‌ها شناخته شده است (Lu et al., 2004: 258)؛ به‌طوری‌که درجه عضویت یک پیکسل به هر کلاس می‌تواند با تابع توزیع احتمال چند متغیری برآورد شود (Mather & Koch, 2011: 248).

۳-۲-۴- ارزیابی دقت طبقه‌بندی

طبقه‌بندی تا زمانی که دقت آن مورد ارزیابی قرار نگرفته است، تکمیل نیست (Lillesand, et al., 2015: 125). معمول‌ترین عامل‌های برآورد دقت و صحت شامل دقت کلی^{۲۶} و ضریب کاپا^{۲۷} می‌باشند (Lu et al., 2004: 375) که بر اساس نمونه‌های مرجع یا واقعیت زمینی و توسط جدول ماتریس خطا^{۲۸} به دست می‌آیند. ماتریس خطا، روابط میان داده‌های یک منبع مشخص با نتایج مربوط به طبقه‌بندی را به صورت طبقه به طبقه مورد مقایسه قرار می‌دهد (Lillesand, et al., 2015: 586). تئوری محاسباتی ضریب کاپا به صورت زیر است (Chavez, 1996: 1032; Richards & Richards, 1999:304):

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

در رابطه‌ی مذکور N : تعداد کل پیکسل‌های نمونه‌های مرجع یا واقعیت زمینی، X_{i+} : مجموع عناصر سطر i ام و X_{+i} : مجموع عناصر ستون i ام می‌باشند که به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشند:

$$N = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c X_{ij}$$

$$X_{+j} = \sum_{i=1}^r X_{ij}$$

$$X_{ij} = \sum_{j=1}^c X_{ij}$$

که در آن r و c تعداد سطر و ستون ماتریس خطا می‌باشند.

۳-۳- شبیه‌سازی تغییرات با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف

روش زنجیره‌ی مارکوف تصاویر پهنه‌بندی کاربری اراضی را تحلیل و یک خروجی به شکل ماتریس احتمالی تغییرات و یک تصویر خروجی از ماتریس احتمالی تغییرات برای سال افق ارائه می‌دهد (Ahadnejad, Maruyama, & Yamazaki, 2009: 551). تئوری زنجیره‌ی مارکوف به صورت ذیل است (Eastman, 2006: 102; Rajitha et al., 2010: 10):

$$VT 2 = MVT 1$$

رابطه‌ی ۲

-
- 25- Maximum Likelihood
 - 26- Overall Accuracy
 - 27- Kappa Coefficient
 - 28- Error Matrix

که در آن VT1: بردار پوشش زمین در زمان اول، VT2: بردار پوشش زمین در زمان دوم، M: ماتریس احتمال انتقال $m \times m$ برای فاصله زمانی $\Delta T = T2 - T1$ است. احتمال انتقال بین دو وضعیت (P_{ij}) از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

که در آن n_i برابر است با:

$$n_i = \sum_{j=1}^q n_{ij}$$

که n_{ij} : تعداد پیکسل‌های کلاس i از زمان اول که به کلاس j در زمان دوم تبدیل شده‌اند و q: کل تعداد کلاس‌ها است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- تهیه‌ی نقشه‌های کلاس‌های کاربری اراضی

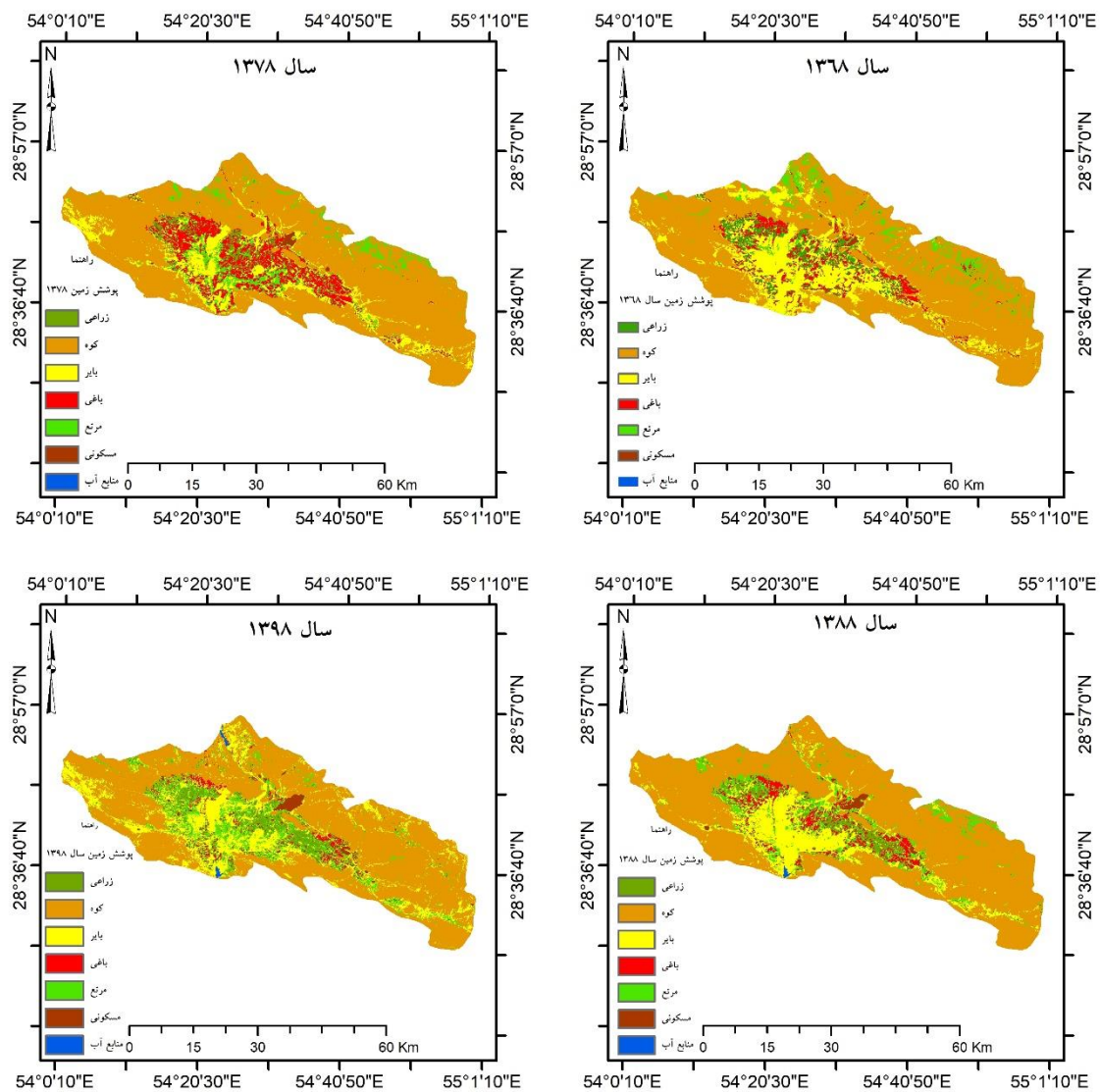
در ادامه، نقشه‌های طبقه‌بندی کلاس‌های کاربری‌های اراضی و پوشش زمین دشت داراب از طریق تصاویر ماهواره‌ای و روش حداکثر درست‌نمایی برای سال‌های موردبررسی استخراج شده است و در شکل (۲) ارائه شده است. جدول (۲)، نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده می‌توان بیان نمود که دقت طبقه‌بندی تصاویر در سطح مطلوبی انجام شده است؛ به‌طوری‌که ضریب کاپا برای سال ۱۳۶۸ با مقدار ۸۱/۱۲ درصد از کم‌ترین میزان و برای سال ۱۳۹۸ با مقدار ۹۱/۳۴ درصد از بیش‌ترین میزان برخوردار بوده‌اند. در ادامه، جدول (۳) که مساحت هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی به تفکیک سال‌های مختلف برای محدوده‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد، آمده است.

جدول ۲: نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر

سال	دقت کلی (%)	ضریب کاپا (%)
۱۳۶۸	۷۹/۱۵	۸۱/۱۲
۱۳۷۸	۸۶/۳۳	۸۶/۱۴
۱۳۸۸	۸۲/۴۱	۸۵/۴۳
۱۳۹۸	۸۸/۱۳	۹۱/۳۴

جدول ۳: مساحت هر یک از کلاس‌های کاربری نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده در هر سال (هکتار)

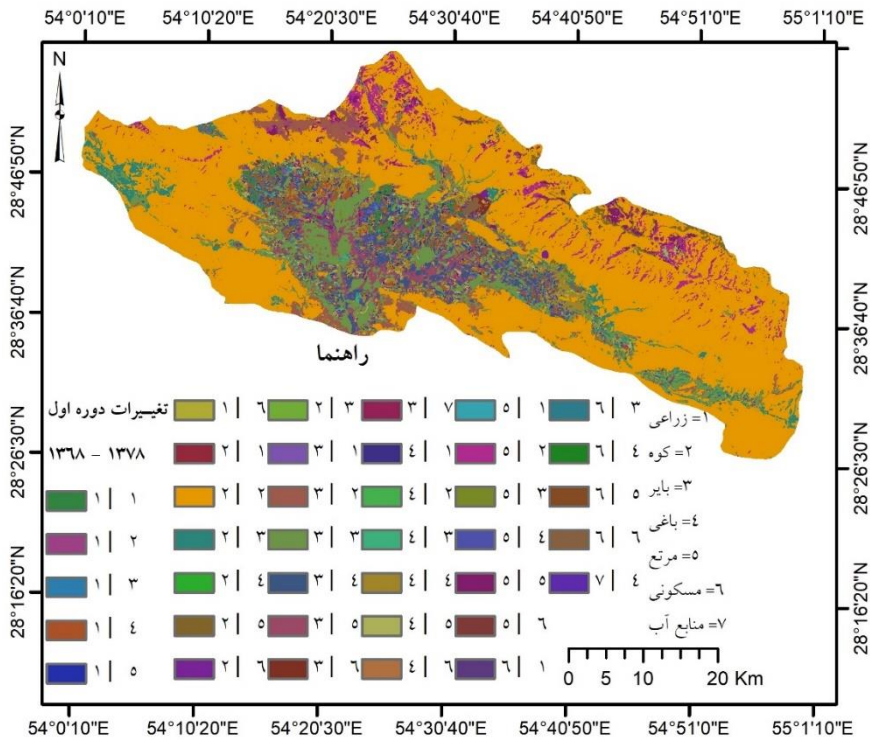
سال	کلاس کاربری	۱۳۶۸	۱۳۷۸	۱۳۸۸	۱۳۹۸
اراضی زراعی	۸۸۸۰/۷۳	۵۱۹۵/۴۳	۶۵۹۹/۱۴	۹۹۰۳/۷۸	
کوه و رخنمون سنگی	۱۵۲۵۲۳/۲۲	۱۵۸۸۲۸/۱۸	۱۶۱۲۱۱/۲۲	۱۴۶۵۲۷/۴۷	
زمین بایر	۴۳۲۶۶/۰۱	۲۶۸۶۴/۰۶	۳۳۴۸۶/۷۳	۴۲۶۸۷/۸۱	
اراضی باغی	۱۴۲۶۹/۵۴	۲۴۰۸۱/۹۸	۱۱۲۹۴/۴۴	۷۷۰۵/۸۰	
اراضی مرتعی	۱۵۸۴۶/۹۷	۱۹۲۷۴/۹۹	۲۰۸۴۰/۹۲	۲۵۳۵۴/۹۸	
مناطق مسکونی	۵۲۷/۱۷	۱۰۵۲/۴۲	۱۶۲۵/۲۹	۲۶۶۹/۵۸	
منابع آب	۰/۱۸	۱۶/۷۵	۲۵۶/۰۳	۴۶۴/۴۰	
جمع	۲۳۵۳۱۳/۸۰	۲۳۵۳۱۳/۸۰	۲۳۵۳۱۳/۸۰	۲۳۵۳۱۳/۸۰	



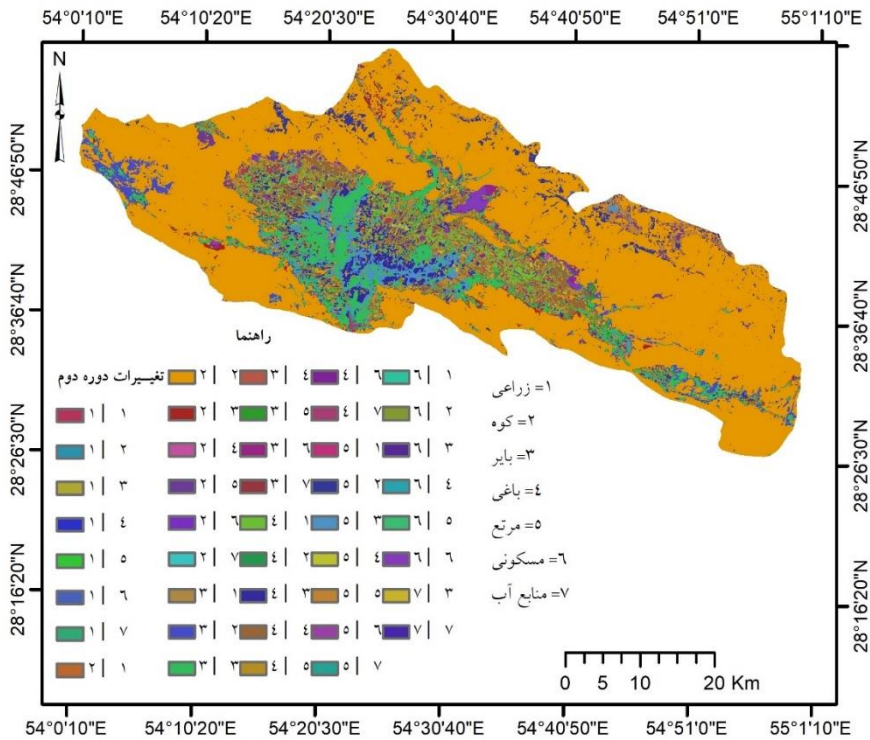
شکل ۲: نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده‌ی طبقات کاربری اراضی طی سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۸، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۸

۲-۴- بررسی و آنالیز تغییرات و تبدیلات پوشش اراضی در طی دوره‌های مختلف

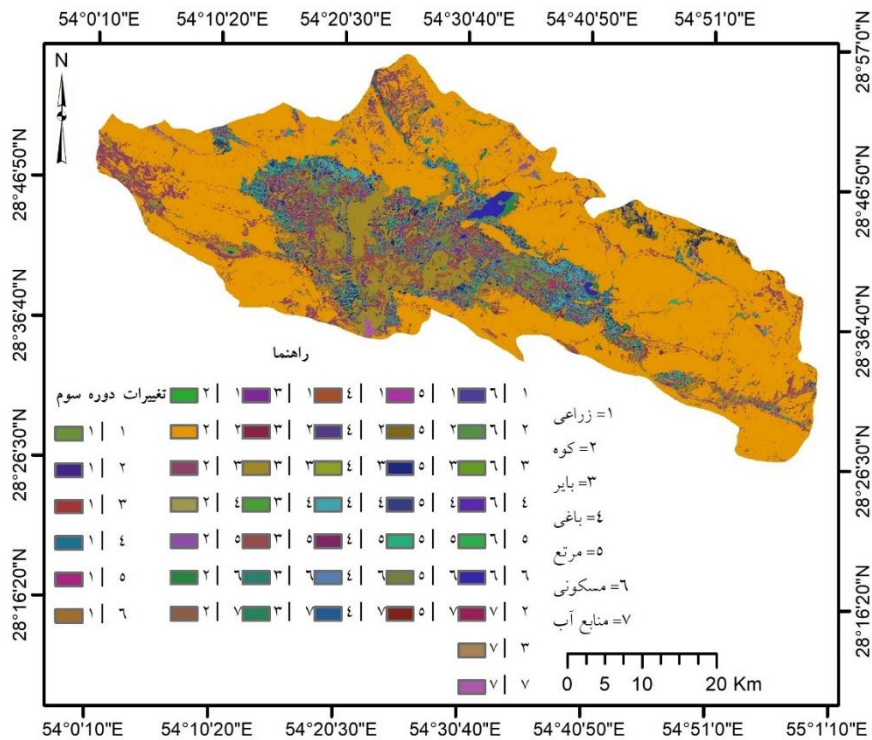
پس از اینکه نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های مورد نظر تهیه شد، به تهیه‌ی نقشه‌های تغییرات و تبدیلات هر یک از کاربری‌ها به یکدیگر در طی سه دوره‌ی زمانی مختلف شامل ۱۳۶۸-۱۳۷۸، ۱۳۷۸-۱۳۸۸ و ۱۳۸۸-۱۳۹۸ اقدام شد و در مجموع، سه نقشه تولید شد که در اشکال (۳)، (۴) و (۵) ارائه شده است. مساحت حاصل از تغییرات و تبدیلات هر کاربری به کاربری دیگر در طی دوره‌های مذکور در جداول (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده است.



شکل ۳: نقشه‌ی تغییرات و تبدیلات کاربری‌ها به همدیگر طی دوره‌ی زمانی اول (۱۳۶۸-۱۳۷۸)



شکل ۴: نقشه‌ی تغییرات و تبدیلات کاربری‌ها به همدیگر طی دوره‌ی زمانی دوم (۱۳۷۸-۱۳۸۸)



شکل ۵: نقشه‌ی تغییرات و تبدیلات کاربری‌ها به همدیگر طی دوره‌ی زمانی سوم (۱۳۸۸-۱۳۹۸)

جدول ۴: تغییرات کلاس‌های کاربری اراضی برای دوره‌ی اول (۱۳۶۸-۱۳۷۸)

میزان تغییر (هکتار)	کلاس کاربری اراضی	میزان تغییر (هکتار)	کلاس کاربری اراضی	میزان تغییر (هکتار)	کلاس کاربری اراضی
۷۷۸۶/۱۷	بایر به مرتع	۱۷۹۱۳/۱۵	بایر بدون تغییر	۲۶۶۰/۰۴	زراعی بدون تغییر
۲۸۰۲/۱۵	باغی به مرتع	۱۱۵۰/۸۳	باغی به بایر	۳۴/۹۲	کوه به زراعی
۴۴۹۱/۸۱	مرتع بدون تغییر	۷۰۲/۳۶	مرتع به بایر	۱۲۱۴/۰۱	زراعی به زمین بایر
۵۶/۵۲	مسکونی به مرتع	۶۲/۱	مسکونی به بایر	۱۱۵۷/۵۸	باغی به زراعی
۵/۵۸	زراعی به مسکونی	۵۰۱۱/۲۹	زراعی به باغی	۲۱۱/۷۷	مرتع به زراعی
۲۱۷/۰۸	کوه به مسکونی	۶۲۴/۲۴	کوه به باغی	۱/۵۳	مسکونی به زراعی
۲۷۳/۷۸	بایر به مسکونی	۷۴۵۸/۴۸	بایر به باغی	۳۴/۲۹	زراعی به کوه
۴۲/۶۶	باغی به مسکونی	۸۹۰۳/۴۳	باغی بدون تغییر	۱۵۰۱۰۳/۵۰	کوه بدون تغییر
۱۲۷/۹۸	مرتع به مسکونی	۲۰۸۰/۷۱	مرتع به باغی	۵/۲۳	بایر به کوه
۴۱۹/۴۹	مسکونی بدون تغییر	۳۷/۸	مسکونی به باغی	۲۶۲/۷۱	باغی به کوه
۰/۶۳	بایر به منابع آب	۰/۱۸	منابع آب به باغی	۸۲۲۱/۶۸	مرتع به کوه
۳۶۳۸/۹۷	کوه به مرتع	۵۳۰/۱	زراعی به مرتع	۷۳۹/۹۸	زراعی به بایر
				۶۳۲۹/۰۷	کوه به بایر

جدول ۵: تغییرات کلاس‌های کاربری اراضی برای دوره‌ی دوم (۱۳۷۸-۱۳۸۸)

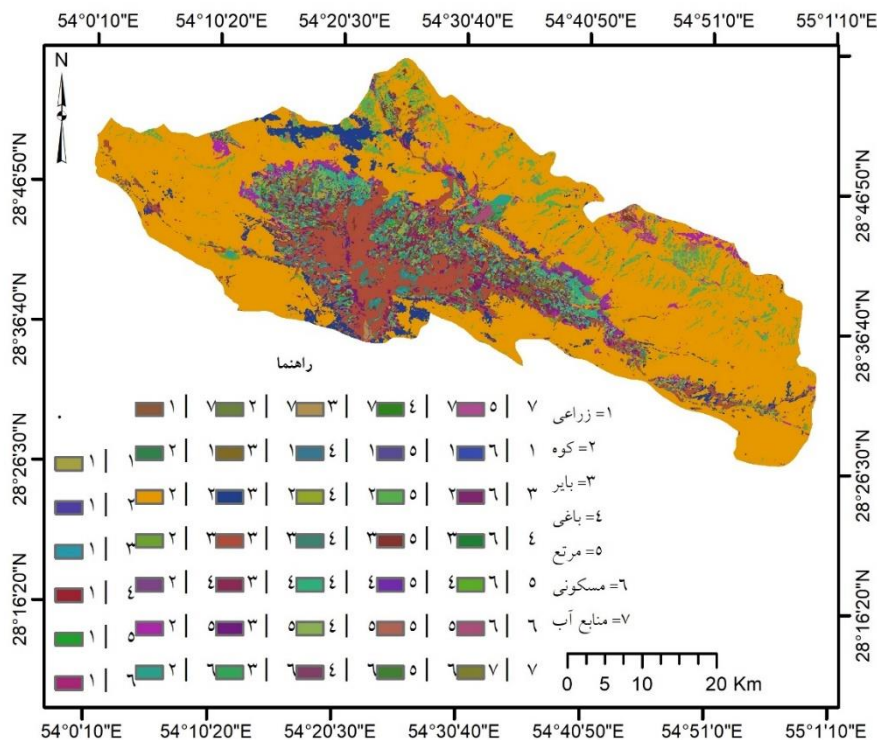
میزان تغییر (هکتار)	کلاس کاربری اراضی	میزان تغییر (هکتار)	کلاس کاربری اراضی	میزان تغییر (هکتار)	کلاس کاربری اراضی
۶۳۸۱/۸۱	باغی به مرتع	۱۵۹۶۳/۶۵	بایر بدون تغییر	۱۸۴۹/۳۲	زراعی بدون تغییر
۵۸۰۳/۱۱	مرتع بدون تغییر	۶۳۸۴/۳۳	باغی به بایر	۲۱/۳۳	کوه به زراعی
۲۲/۱۴	مسکونی به مرتع	۷۲۷۰/۹۲	مرتع به بایر	۶۹۹/۰۳	بایر به زراعی
۸/۰۱	زراعی به مسکونی	۹۹/۶۳	مسکونی به بایر	۳۶۵۴/۴۵	باغی به زراعی
۱۵۷/۸۶	کوه به مسکونی	۰/۵۴	منابع آب به بایر	۳۷۴/۹۴	مرتع به زراعی
۳۸۴/۲۱	بایر به مسکونی	۱۱۳۴/۲۷	زراعی به باغی	۱/۲۶	مسکونی به زراعی
۶۴/۸۹	باغی به مسکونی	۲۷۷/۱۱	کوه به باغی	۳۱/۸۶	زراعی به کوه
۱۰۳/۵	مرتع به مسکونی	۱۰۷۷/۹۳	بایر به باغی	۱۵۶۷۵۰/۸۲	کوه بدون تغییر
۹۰۸/۵۵	مسکونی بدون تغییر	۷۳۱۳/۰۴	باغی بدون تغییر	۳/۵۲	بایر به کوه
۴/۷۷	زراعی به منابع آب	۱۴۹۰/۴۹	مرتع به باغی	۱۸۹	باغی به کوه
۹/۵۴	کوه به منابع آب	۳/۳۳	مسکونی به باغی	۴۱۳۴/۳۳	مرتع به کوه
۳۷/۸۹	بایر به منابع آب	۱۱۸۹/۸۹	باغی به مرتع	۵۱/۳	مسکونی به کوه
۱۲۴/۵۶	باغی به منابع آب	۴۵۲۶/۴۶	کوه به مرتع	۱۰۶۱/۳۷	زراعی به بایر
۸۰/۶۴	مرتع به منابع آب	۲۹۱۳/۳۹	بایر به مرتع	۲۷۵۴/۷۲	کوه به بایر
				۰/۰۹	منابع آب بدون تغییر

جدول ۶: تغییرات کلاس‌های کاربری اراضی برای دوره‌ی سوم (۱۳۸۸-۱۳۹۸)

میزان تغییر (هکتار)	کلاس کاربری اراضی	میزان تغییر (هکتار)	کلاس کاربری اراضی	میزان تغییر (هکتار)	کلاس کاربری اراضی
۳۶۰۹/۷۲	کوه به مرتع	۱۳۸۴۱/۳۷	کوه به بایر	۳۸۹۵/۷۴	زراعی بدون تغییر
۹۲۳۲/۲۹	مرتع بدون تغییر	۲۱۳۲۵/۲۲	بایر بدون تغییر	۸۸/۲۹	کوه به زراعی
۴/۰۵	زراعی به منابع آب	۱۶۶۸/۹۶	باغی به بایر	۱۴۳۵/۹۵	بایر به زراعی
۳۶۳/۴۲	کوه به مسکونی	۴۸۲۵/۸	مرتع به بایر	۲۸۹۲/۶۹	باغی به زراعی
۶۴۳/۸۶	بایر به مسکونی	۱۴۸/۴۱	مسکونی به بایر	۱۶۰۱/۳۷	مرتع به زراعی
۲۸/۹۸	باغی به مسکونی	۲۱/۸۷	منابع آب به بایر	۹/۲۷	مسکونی به زراعی
۲۵۸/۸۴	مرتع به مسکونی	۳۱۶/۲۶	زراعی به باغی	۱۴/۴	کوه به زراعی
۱۳۸۹/۳۳	مسکونی بدون تغییر	۴۱۵/۵۳	کوه به باغی	۱۴۳۹۷۵/۷۴	کوه بدون تغییر
۵۱/۴۸	کوه به منابع آب	۱۲۰۰/۱۵	بایر به باغی	۴/۱	بایر به کوه
۷۷/۶۷	بایر به منابع آب	۳۲۰۳/۱۹	باغی بدون تغییر	۱۰۴/۳۱	باغی به کوه
۶۰/۵۷	باغی به منابع آب	۲۶۴۱/۹۵	مرتع به باغی	۲۲۵۹/۵۴	مرتع به کوه
۶۴/۰۸	مرتع به آب	۵/۹۴	مسکونی به باغی	۴۲/۲۱	مسکونی به کوه
۲۳۰/۱۳	منابع آب بدون تغییر	۱۵۵۷/۹	زراعی به مرتع	۵/۶۷	منابع آب به کوه
۳۳۹۳/۶۳	باغی به مرتع	۷۵۶۱/۴۴	بایر به مرتع	۸۱۰/۶۳	زراعی به بایر
				۳۱/۸۶	مسکونی به مرتع

۴-۳- تهیه نقشه‌ی پیش‌بینی سال ۱۳۹۸

در این مرحله جهت تولید نقشه‌ی پیش‌بینی سال ۱۳۹۸، از نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۸ استفاده شد. بدین ترتیب، ابتدا بررسی تغییرات و تبدیلات هر یک از کاربری‌ها به یکدیگر صورت گرفت (جدول ۷) و سپس به تهیه نقشه‌ی تغییرات و تبدیلات در طول این دوره‌ی ۲۰ ساله اقدام شد (شکل ۶). سپس دو نقشه‌ی مذکور (سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۸) به‌عنوان نقشه‌های پایه و پیشرو جهت انجام فرآیند پیش‌بینی سال ۱۳۹۸ به مدل مارکوف وارد شد. پس از انجام مدل‌سازی تصاویر احتمال شرطی، ماتریس مساحت انتقال و ماتریس احتمال انتقال کاربری‌ها تولید شد (جدول ۸). درنهایت با استفاده از ابزار STCHOICE نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده برای سال ۱۳۹۸ استخراج گردید. همان‌گونه که در شکل (۷) مشهود است، نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده فاقد اطلاعات وابستگی مکانی است.



شکل ۶: نقشه‌ی تغییرات و تبدیلات کاربری‌ها به همدیگر طی دوره‌ی زمانی (۱۳۶۸-۱۳۸۸)

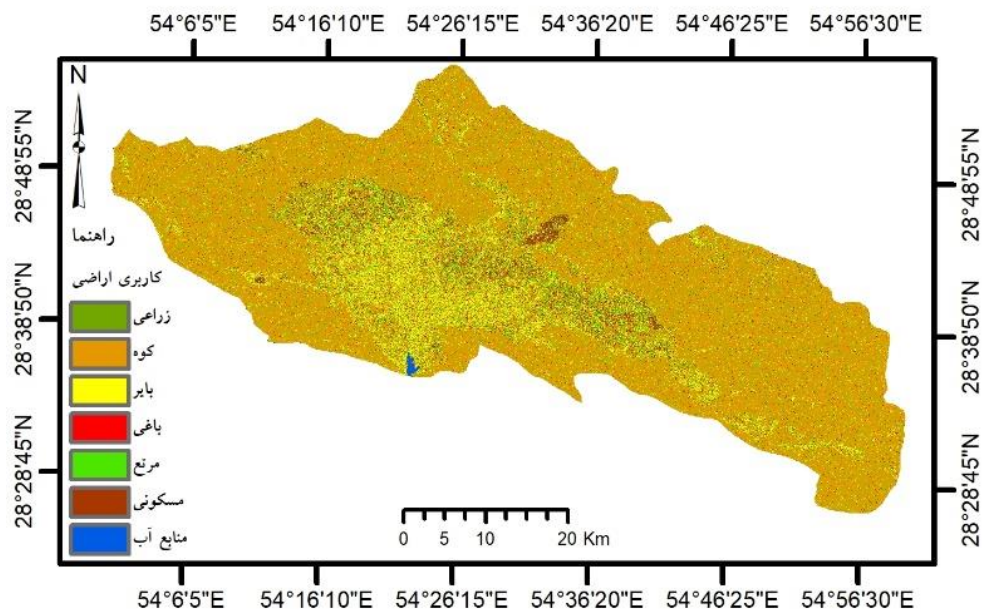
جدول ۷: تغییرات کلاس‌های کاربری اراضی در طی دوره‌ی ۱۳۶۸-۱۳۸۸

میزان تغییر (هکتار)	کلاس کاربری اراضی	میزان تغییر (هکتار)	کلاس کاربری اراضی	میزان تغییر (هکتار)	کلاس کاربری اراضی
۵۵/۱۷	مسکونی به مرتع	۳۴۹۱/۰۱	باغی به بایر	۲۵۶۳/۹۲	زراعی بدون تغییر
۲۱/۷۸	زراعی به مسکونی	۲۲۵۱/۰۸	مرتع به بایر	۳۲/۴	کوه به زراعی
۵۲۸/۳۹	کوه به مسکونی	۵۹/۶۷	مسکونی به بایر	۲۱۹۹/۰۶	بایر به زراعی
۳۳۲/۳۷	بایر به مسکونی	۲۳۴۱/۱۷	زراعی به باغی	۱۴۷۸/۷۹	باغی به زراعی
۹۰/۴۵	باغی به مسکونی	۸۵۱/۵۸	کوه به باغی	۳۲۴/۱۸	مرتع به زراعی
۱۹۷/۴۶	مرتع به مسکونی	۲۹۳۵/۷۱	بایر به باغی	۲/۴۳	مسکونی به

زراعی					
زراعی به کوه	۵۹/۴۹	باغی بدون تغییر	۴۲۷۰/۹۵	مسکونی بدون تغییر	۴۵۶/۵۷
کوه بدون تغییر	۱۵۱۸۳۸/۷۵	مرتع به باغی	۸۹۳/۱۶	زراعی به منابع آب	۲/۶۱
بایر به کوه	۵/۶۳	مسکونی به باغی	۳/۶	کوه به منابع آب	۱۱/۶۱
باغی به کوه	۲۳۹/۰۴	زراعی به مرتع	۲۰۶۶/۲۲	بایر به منابع آب	۱۷۷/۰۳
مرتع به کوه	۹۰۱۳/۶۸	کوه به مرتع	۵۶۹۰/۶۱	باغی به منابع آب	۲۴/۶۶
زراعی به بایر	۱۹۲۵/۱۹	بایر به مرتع	۵۲۱۶/۳۱	مرتع به منابع آب	۴۱/۶۷
کوه به بایر	۲۹۱۵/۱	باغی به مرتع	۴۷۱۸/۵۲	منابع آب بدون تغییر	۰/۱۸
بایر بدون تغییر	۲۲۸۹۲/۵۸	مرتع بدون تغییر	۳۰۹۴/۰۲		

جدول ۸: ماتریس احتمال تغییر کاربری‌ها تا سال ۱۳۹۸ بر اساس مدل زنجیره‌ی مارکوف

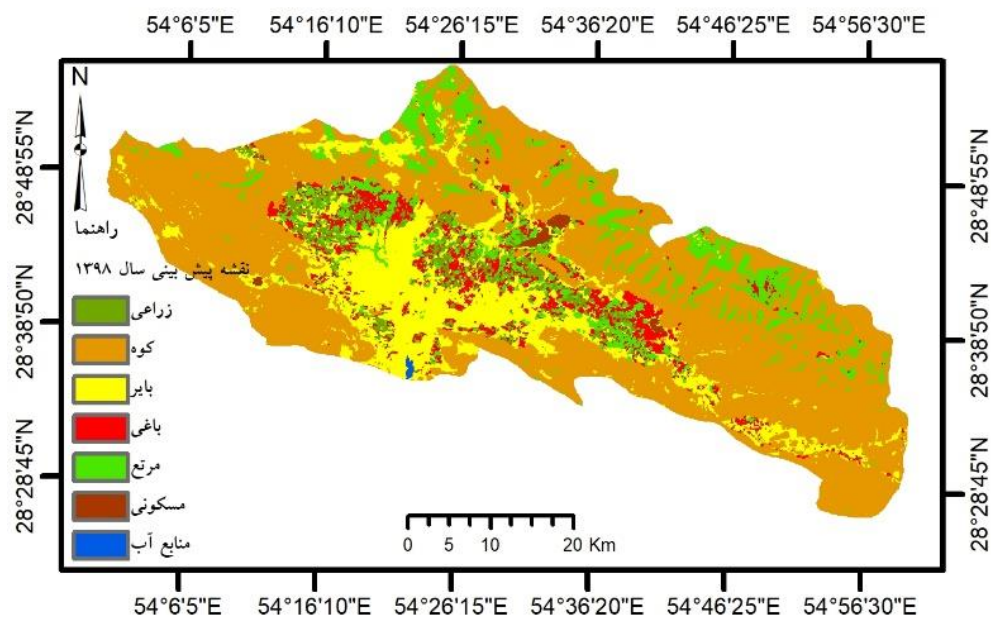
نوع کاربری	زراعی	کوه	بایر	باغی	مرتع	مسکونی	منابع آب
زراعی	۰/۲۵	۰/۰۰	۰/۲۲	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۰۰	۰/۰۰
کوه	۰/۰۰	۰/۸۰	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۰۰
بایر	۰/۰۵	۰/۲۴	۰/۴۵	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۰
باغی	۰/۱۱	۰/۰۰	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۰۰	۰/۰۰
مرتع	۰/۲۰	۰/۵۸	۰/۱۴	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۰۰
مسکونی	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۰۰	۰/۱۴	۰/۶۷	۰/۰۰
منابع آب	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۸۵



شکل ۷: نقشه‌ی کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده‌ی سال ۱۳۹۸ با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف

۴-۴- ترکیب مدل زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار

همان‌گونه که قبلاً بیان شد، مشکل اساسی زنجیره‌ی مارکوف در تهیه‌ی نقشه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی این است که هیچ بحثی از عنصر مکانی مدل‌سازی ارائه نمی‌دهد. به عبارت دیگر، احتمالات انتقال ممکن است که برای هر یک از کاربری‌ها به دست آمده باشد، اما هیچ اطلاعاتی از توزیع مکانی تغییرات مربوط به هر کدام از طبقات کاربری در آن موجود نیست و نقشه‌های تولیدشده فاقد وابستگی اطلاعات مکانی می‌باشند. بدین ترتیب برای اضافه کردن عنصر مکانی به مدل از سلول‌های خودکار استفاده می‌شود. در واقع مدل CA_Markov تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره‌ی مارکوف و تخصیص چندمنظوره اراضی (MOLA^۹) است (Garizi, Sheikh, Sadoddin, & Mahiny, 2012)؛ بنابراین با توجه به توضیحاتی که ارائه شد، با ترکیب مدل سلول‌های خودکار و مدل مارکوف، معرفی نقشه‌ی پوشش اراضی پایه مربوطه به سال ۱۳۶۸، ماتریس مساحت انتقال و تصاویر احتمال شرطی، نقشه‌ی پیش‌بینی مربوط به سال ۱۳۹۸ به همراه مؤلفه‌ی مکانی تولید شد که در شکل (۸) نمایان است.



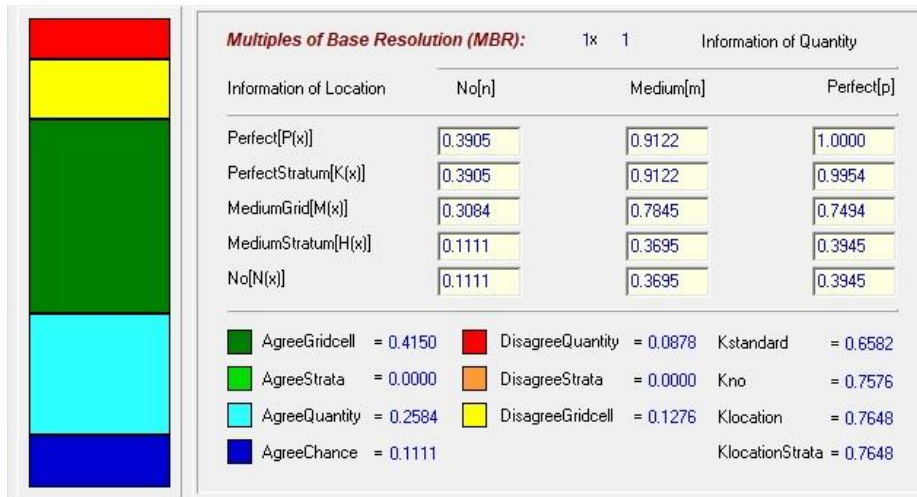
شکل ۸: نقشه‌ی کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده‌ی سال ۱۳۹۸ با مدل ترکیبی زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار

۴-۵- تعیین اعتبار و صحت مدل‌سازی (توافق و عدم توافق) و تهیه‌ی نقشه‌ی پیش‌بینی سال ۱۴۰۸

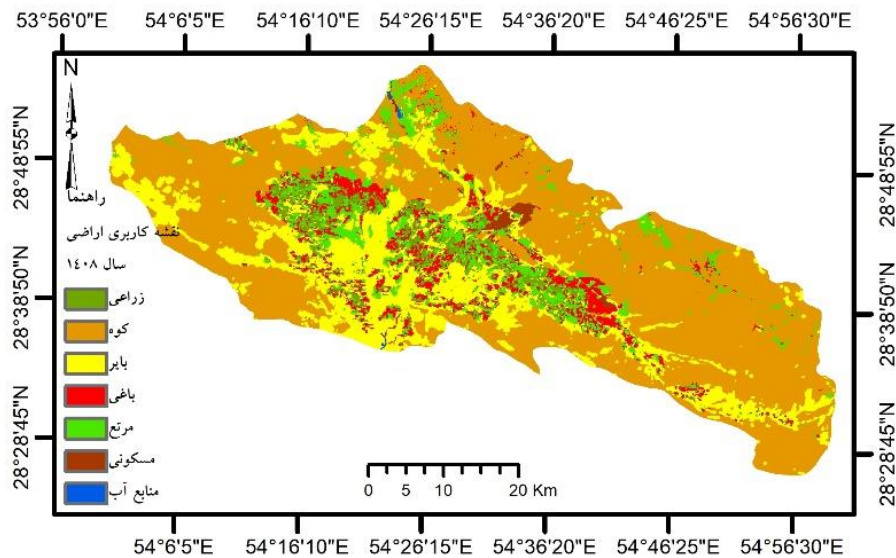
در این مرحله، نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده‌ی حاصل از ترکیب مدل مارکوف و سلول‌های خودکار مربوط به سال ۱۳۹۸ با نقشه‌ی واقعی مربوط به همان سال با استفاده از دستور Validate موجود در نرم‌افزار IDRISI TerrSet بر اساس مقدار شاخص کاپا که در فاصله‌ی ۱ - ۰ است و برای تفسیر نتایج مورد استفاده قرار می‌گیرد (Pontius, 2000: 1)، مقایسه گردید تا بدین طریق، میزان دقت پیش‌بینی مدل برآورد گردد. نتایج ارزیابی مدل از جمله مقدار شاخص کاپا در جدول (۹) نشان داده شده است. در ادامه، شکل (۹) نیز پارامترهای توافق و عدم توافق بین نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده و نقشه‌ی واقعی مربوط به سال ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد. نتایج ارزیابی مدل نشان‌دهنده‌ی این است که مدل مربوطه دارای قابلیت نسبتاً بالایی جهت فرآیند پیش‌بینی است. در نهایت، پس از اطمینان از دقت مدل پیش‌بینی و صحت نتایج به دست آمده، نقشه‌ی کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۹۸ وارد مدل شده و نقشه‌ی کاربری اراضی برای

۱۰ سال آینده؛ یعنی سال ۱۴۰۸ پیش‌بینی گردید که در شکل (۱۰) نمایان است. در ادامه، جدول (۱۰) میزان مساحت انواع مختلف کاربری‌ها را برای نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده‌ی سال ۱۴۰۸ نشان می‌دهد. مقایسه‌ی مساحت کاربری‌های اراضی مختلف بین سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۰۸ نشان‌دهنده‌ی این است که انواع کاربری‌ها دچار تغییرات و تبدیلات افزایشی و کاهش‌ی چشم‌گیری خواهند شد؛ به‌طوری‌که از مساحت زمین‌های زراعی به میزان ۴۱۹/۴ هکتار، از مساحت کوه‌ها ۸۵۲۹/۸ هکتار، از مساحت کاربری مراتع ۴۲۸۷/۹ هکتار و درنهایت از مساحت منابع آب ۲۷۰/۸۸ هکتار کاسته خواهد شد. از سوی دیگر به مساحت زمین‌های بایر به میزان ۱۱۱۱۳/۶ هکتار، به کاربری باغی ۱۹۲۶/۳۱ هکتار و کاربری مسکونی ۴۵۹/۰۸ هکتار در سال ۱۴۰۸ افزوده خواهد شد. بدین ترتیب، مطابق با یافته‌های تحقیق و نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده‌ی سال ۱۴۰۸، میزان منابع آب دشت داراب در آینده دچار کاهش خواهد شد که این امر با مطالعه‌ی حلی‌ساز و همکاران (۱۳۹۹) که در مطالعه‌ی خود به کاهش منابع آب دشت کرمان در سال‌های آینده اشاره نمودند و مطالعه کریمیان و همکاران (۱۳۹۹) که در مطالعه‌ی خود کاهش اراضی نمدار و دارای رطوبت دشت خان‌میرزا را نشان دادند و نیز مطالعه‌ی رهنما و همکاران (۲۰۲۰) که کاهش منابع آبی شهر مشهد را در سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی نمودند، هم‌سو است. از دیگر یافته‌های تحقیق، افزایش مساحت مناطق مسکونی و انسان‌ساخت در طی بازه‌ی زمانی ۱۰ ساله (سال ۱۴۰۸) است که نتیجه‌ی حاصل‌شده از این بخش نیز با مطالعات Ullah و همکاران (۲۰۱۹)، حلی‌ساز و همکاران (۱۳۹۹)، کریمیان و همکاران (۱۳۹۹) و زهتابیان و همکاران (۱۳۹۳) که در مطالعات خود به افزایش مناطق مسکونی و انسان‌ساخت اشاره نمودند، مطابقت دارد. کاهش مساحت کاربری کوه در دشت داراب در سال ۱۴۰۸ از دیگر نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه است که با مطالعه‌ی کریمیان و همکاران (۱۳۹۹) که در دشت خان‌میرزا به کاهش اراضی سنگی و کوه اشاره نمودند، هم‌سو و هم‌جهت است. کاهش مراتع دشت داراب با مساحتی به میزان ۴۲۸۷/۹ هکتار در سال ۱۴۰۸ از دیگر نتایج مطالعه‌ی حاضر است که با مطالعه‌ی مشابه که توسط زهتابیان و همکاران (۱۳۹۳) در حوضه‌ی آبخیز روانسر انجام شد، هم‌سو است. افزایش باغات در دشت داراب با مساحت ۱۹۲۶/۳۱ هکتار در سال ۱۴۰۸ نسبت به سال ۱۳۹۸، یکی دیگر از نتایج تحقیق حاضر است که نتیجه‌ی به‌دست‌آمده‌ی این قسمت از تحقیق با مطالعه‌ی قربانی و کرباسی (۱۳۹۸) که در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه و سد علویان انجام شد و افزایش مساحت کاربری باغی را بیان نمودند و نیز با مطالعه‌ی اندریانی و همکاران (۱۳۹۷) که افزایش باغات را در حوضه‌ی آبریز زلیبیرچای را بیان نمودند، دارای مطابقت و هم‌سویی است. از دیگر نتایج حاصل از مطالعه‌ی حاضر، افزایش میزان مساحت زمین‌های بایر است که با مطالعه‌ی که توسط قادری و همکاران (۱۳۹۹) در بخش اشتهارد شهرستان کرج انجام شد و افزایش سطح زمین‌های بایر منطقه‌ی موردبررسی در سال ۱۴۱۹ را هشدار دادند و نیز با مطالعه‌ی رهنما و همکاران (۲۰۲۰) که افزایش زمین‌های بایر در شهر مشهد در سال ۲۰۳۰ را پیش‌بینی نمودند، مطابقت دارد.

جدول ۹: توافق و عدم توافق بین نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده و واقعی سال ۱۳۹۸	
مقادیر (درصد)	پارامترها
۰/۷۸	توافق بین نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده و واقعی $M(m)$
۰/۲۲	عدم توافق $(M(m)) - 1$
۰/۱۱	توافق ناشی از شانس $N(n)$
۰/۲۵	توافق ناشی از کمیت $(N(m) - N(n))$
۰/۰۸	عدم توافق ناشی از کمیت $(P(p) - P(m))$
۰/۴۱	توافق مکان کلاس‌ها در دو نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده و واقعی
۰/۱۲	عدم توافق مکان کلاس‌ها در دو نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده و واقعی
۰/۷۶	شاخص کاپا



شکل ۹: توافقی و عدم توافقی نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده و واقعی سال ۱۳۹۸



شکل ۱۰: نقشه‌ی کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده‌ی سال ۱۴۰۸ با مدل ترکیبی زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار

جدول ۱۰: مساحت انواع کاربری‌های اراضی پیش‌بینی‌شده‌ی سال ۱۴۰۸

مساحت (هکتار)	نوع کاربری
۹۴۸۴/۳۸	زراعی
۱۳۷۹۹۷/۶۶	کوه
۵۳۸۰۱/۳۶	بایر
۹۶۳۲/۱۱	باغی
۲۱۰۷۶/۱۱	مرتع
۳۱۲۸/۶۶	مسکونی
۱۹۳/۵۲	منابع آب
۲۳۵۳۱۳/۸	جمع

۵- نتیجه گیری

در عصر حاضر، تغییرات بدون برنامه و غیراصولی کاربری اراضی و پوشش زمین از چالش‌های اساسی و مهم بسیاری از کشورها و مناطق مختلف کره‌ی زمین محسوب می‌شود که به نوبه‌ی خود تأثیرات بسیاری را بر روی منابع طبیعی، اکولوژیکی، زیست‌محیطی و سایر بخش‌های زیست‌کره بر جای می‌گذارد؛ بدین ترتیب، بررسی تغییرات کاربری اراضی، نقش اساسی و مهمی جهت مطالعات زیست‌محیطی دارد. استفاده از فناوری سنجش‌ازدور و توسعه‌ی روزافزون سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و بهره‌گیری از داده‌های زمانی-مکانی آن‌ها برای بررسی تغییرات کاربری اراضی و بررسی روند آن‌ها قادر است به‌عنوان ابزاری کارآمد، به مدیران و برنامه‌ریزان جهت پایه‌ریزی و برنامه‌ریزی اصولی برای رسیدن به توسعه‌ی پایدار مناطق کمک شایانی نماید. پژوهش حاضر در راستای بررسی تغییرات، شبیه‌سازی و پیش-بینی وضعیت آینده‌ی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین دشت داراب، با بهره‌گیری از مدل زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار انجام پذیرفت. در این راستا از تصاویر ماهواره‌ای لندست در طی یک دوره‌ی زمانی ۳۰ ساله، به دلیل دارا بودن توان تفکیک مکانی و زمانی مناسب و نیز در دسترس و به‌روز بودن آن‌ها، به‌عنوان منابع مهم داده‌ای استفاده شد؛ به‌طوری‌که ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منتخب، نقشه‌های کلاس‌های کاربری اراضی و پوشش زمین محدوده‌ی مورد مطالعه در طی سال‌های مختلف تهیه شد و پس‌از آن ارزیابی دقت و صحت نقشه‌های تولیدشده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از شاخص کاپا و دقت کلی بیانگر این است که نقشه‌های تولیدشده از صحت و دقت مناسب و مطلوبی برخوردارند. بعد از استخراج نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های مورد بررسی به تهیه‌ی نقشه‌های تغییرات و تبدیلات هر یک از کاربری‌ها به یکدیگر در طی سه دوره‌ی زمانی مختلف شامل ۱۳۶۸-۱۳۷۸، ۱۳۷۸-۱۳۸۸ و ۱۳۸۸-۱۳۹۸ و نیز محاسبه‌ی مساحت آن‌ها اقدام شد. در گام بعد با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۸۸ و با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف به تولید نقشه‌ی پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۱۳۹۸ اقدام شد. از آنجایی‌که مدل زنجیره‌ی مارکوف هیچ بحثی از عنصر مکانی مدل‌سازی ارائه نمی‌دهد و نقشه‌های تولیدشده فاقد وابستگی اطلاعات مکانی می‌باشند، بنابراین برای اضافه کردن عنصر مکانی به مدل، از مدل سلول‌های خودکار استفاده شد. در نهایت، پس از اطمینان از دقت مدل پیش‌بینی و صحت نتایج به‌دست‌آمده، نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۹۸ وارد مدل شده و نقشه‌ی کاربری اراضی و پوشش زمین برای ۱۰ سال آینده؛ یعنی سال ۱۴۰۸ دشت داراب پیش‌بینی گردید. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده میزان مساحت منابع آبی در طی سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۸ افزایش یافته که این امر، ناشی از احداث سد خسوییه در منطقه‌ی مورد مطالعه است، اما متأسفانه میزان مساحت این کاربری در نقشه‌ی پیش‌بینی‌شده‌ی سال ۱۴۰۸ دارای روند کاهشی است؛ به‌طوری‌که یافته‌های تحقیق حاکی از کاهش میزان مساحت کاربری منابع آب دشت داراب به میزان ۲۷۰/۸۸ هکتار در ۱۰ سال آینده است که این کاهش و کمبود منابع آب می‌تواند تهدید بزرگی برای وضعیت آبی دشت داراب به‌خصوص در بخش کشاورزی و همچنین مصارف آب شرب و خانگی گردد. از طرفی این کاهش منابع آب، موجب تهدیدی جدی به اکوسیستم طبیعی و کاهش منابع رطوبتی و همچنین به افزایش سرعت فرآیند بیابانی شدن دشت داراب منجر خواهد شد. از دیگر یافته‌های تحقیق، افزایش مساحت مناطق مسکونی و انسان‌ساخت به میزان ۴۵۹/۰۸ هکتار در طی بازه‌ی زمانی ۱۰ ساله (سال ۱۴۰۸) است که این امر نیز باعث از بین رفتن و تخریب غیراصولی اراضی و گسترش نواحی شهری و سازه‌های انسان‌ساخت منجر خواهد شد که به نوبه‌ی خود فشار بیش‌تری را بر اکوسیستم طبیعی دشت داراب وارد خواهد آورد. کاهش مساحت کاربری کوه با مساحت ۸۵۲۹/۸ هکتار در دشت داراب در سال ۱۴۰۸ از دیگر نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه است. همچنین کاهش مراتع دشت داراب با مساحتی به میزان ۴۲۸۷/۹ هکتار در سال ۱۴۰۸ از دیگر نتایج مطالعه‌ی حاضر است که این امر به نوبه‌ی خود موجب سریع‌تر شدن روند بیابان‌زایی و افزایش خشکی بیش‌تر دشت مذکور در طی سال‌های آتی خواهد شد. افزایش باغات در دشت داراب با مساحت ۱۹۲۶/۳۱ هکتار در سال ۱۴۰۸ نسبت به سال ۱۳۹۸، یکی دیگر از نتایج تحقیق حاضر است که باعث افزایش فشار بیش‌تر به منابع آبی و به‌ویژه منابع

آب زیرزمینی دشت داراب که فرآیند آبیاری باغات از طریق آن‌ها صورت می‌گیرد، خواهد شد و از این حیث، اثرات جبران‌ناپذیری در سال‌های آتی بر روی دشت مذکور در پی خواهد داشت. از دیگر نتایج حاصل از مطالعه‌ی حاضر، افزایش میزان مساحت زمین‌های بایر به میزان ۱۱۱۱۳/۶ هکتار در سال ۱۴۰۸ است که این امر خود نشان‌دهنده‌ی افزایش فشار بیش‌تر به منابع و عرصه‌های محیط طبیعی و تخریب بیش‌تر اراضی است. در پایان با توجه به نتایج و یافته‌های به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر قابل‌ذکر است که هرگونه تغییری در کاربری اراضی می‌بایست بر پایه‌ی اصول علمی، با برنامه و با توجه به توجیهات منطقی صورت گیرد؛ به‌طوری‌که ضرورت استفاده از روش‌های به‌روز و کارآمد همچون تکنیک سنجش‌ازدور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی لازم و ضروری است؛ بنابراین امید است که نقشه‌ی پیش‌بینی آینده‌ی وضعیت کاربری اراضی تهیه‌شده به‌عنوان راهنمایی جهت برنامه‌ریزی آمایش سرزمین موردتوجه و استفاده‌ی برنامه‌ریزان، مسئولین و متصدیان مربوطه قرار گیرد تا بدین طریق، از بروز خسارات جبران‌ناپذیر محیطی دشت داراب در آینده جلوگیری شود.

۶- منابع

- ۱- اندریانی، صغری، نیکجو، محمدرضا، رضایی مقدم، محمدحسین، مختاری، داود (۱۳۹۷). تحلیل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های شیء‌گرا و زنجیره‌ی مارکوف در حوضه‌ی آبریز زلیبیرچای واقع در آذربایجان شرقی و غربی، فصلنامه‌ی جغرافیا و توسعه، سال شانزدهم، شماره‌ی ۵۳، صص ۳۷-۵۰.
- ۲- ایمانی هرسینی، جلیل، کابلی، محمد، فقهی، جهانگیر، طاهرزاده، علی، اسدی، عاطفه (۱۳۹۳). بررسی روند تغییرات کاربری-پوشش اراضی استان همدان در سه دهه‌ی گذشته با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نشریه‌ی محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره‌ی ۶۷، شماره‌ی ۱، صص ۱-۱۲.
- ۳- حلی‌ساز، ارشک، محمودآبادی، سعیده، محمدی کنگرانی، حنانه، غلامی، حمید (۱۳۹۹). پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در دشت سیرجان با استفاده از زنجیره‌ی مارکوف-سلولار، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کتی، سال ۹، شماره‌ی ۱، صص ۱۱۶-۱۰۲.
- ۴- زبیری، محمود، مجد، علیرضا (۱۳۸۷). آشنایی با فن سنجش‌ازدور و کاربرد در منابع طبیعی، اطلاعات ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، فضایی (چاپ هفتم)، انتشارات دانشگاه تهران، تعداد صفحات ۳۱۶.
- ۵- زهتابیان، غلامرضا، پوررضا، مریم، خسروی، حسن، راهداری، محمدرضا (۱۳۹۳). تاثیر تغییر کاربری اراضی بر روی تخریب زمین و بیابان‌زایی در حوضه‌ی آبخیز روانسر، فصلنامه‌ی مناطق خشک، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۱۶، صص ۷۳-۸۵.
- ۶- شایسته، کامران، محمدیاری، فاطمه (۱۳۹۷). ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از معیارهای سیمای سرزمین و مدل مارکوف (مطالعه‌ی موردی: شهرستان همدان)، فصلنامه‌ی جغرافیا و توسعه، سال شانزدهم، شماره‌ی ۵۳، صص ۸۵-۱۰۴.
- ۷- شیرازی، میترا، زهتابیان، غلامرضا، علوی‌پناه، سیدکاظم (۱۳۸۹). امکان‌پذیری استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS در بررسی وضعیت آب، خاک، پوشش گیاهی منطقه‌ی نجم‌آباد ساوبلاغ، نشریه‌ی محیط‌زیست طبیعی، مجله‌ی منابع طبیعی ایران، دوره‌ی ۶۳، شماره‌ی ۱، صص ۳۳-۵۱.
- ۸- صالحی، ناهید، اختصاصی، محمدرضا؛ طالبی، علی (۱۳۹۸). پیش‌بینی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف CA-Markov (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز صفارود رامسر)، سنجش‌ازدور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ۱، شماره‌ی ۱۰، صص ۱۰۶-۱۲.
- ۹- علائی طالقانی، محمود (۱۳۸۲). ژئومورفولوژی ایران. (چاپ نهم)، انتشارات قومس، تعداد صفحات ۳۶۰.
- ۱۰- فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۹۶). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر سیستم فرسایش در حوضه‌ی سد علویان با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و GIS، نشریه‌ی هیدرو ژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۱، صص ۲۱-۳۸.
- ۱۱- قادری، شهلا، زارع چاهوکی، محمدعلی، آذرینوند، حسین، طویلی، علی، رایگانی، بهزاد (۱۳۹۹). پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA-Markov (مطالعه‌ی موردی: شهرستان: اشتهارد)، نشریه‌ی علمی مرتع، سال ۱۴، شماره‌ی ۱، صص ۱۶۰-۱۴۷.

- ۱۲- قربانی، رسول، کرباسی، پوران (۱۳۹۸). گسترش بی‌رویه‌ی باغداری و چالش مدیریت منابع آبی در حوضه‌های بلادستی سدها (مطالعه‌ی موردی: سد علویان)، فصلنامه‌ی جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۵۷، صص ۲۳۲-۲۱۹.
- ۱۳- کریمیان، کیان، امینی، عباس، باقری بداغ آبادی، محسن، قیومی محمدی، حمید (۱۳۹۹). پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه‌ی موردی: دشت خان‌میرزا)، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره‌ی ۵۲، شماره‌ی ۲، صص ۴۳۶-۴۱۹.
- 14- Ahadnejad, M., Maruyama, Y., & Yamazaki, F. (2009). Evaluation and forecast of human impacts based on land use changes using multi-temporal satellite imagery and GIS: A case study on Zanjan, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37(4), 659-669.
- 15- Bai, X., Sharma, R. C., Tateishi, R., Kondoh, A., Wuliangha, B., & Tana, G. (2017). A detailed and high-resolution land use and land cover change analysis over the past 16 years in the Horqin sandy land, inner Mongolia. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017.
- 16- Chavez, P. S. (1996). Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 62(9), 1025-1035.
- 17- Dewan, A. M., & Yamaguchi, Y. (2009). Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization. *Applied Geography*, 29(3), 390-401.
- 18- Díaz, G. I., Nahuelhual, L., Echeverría, C., & Marín, S. (2011). Drivers of land abandonment in Southern Chile and implications for landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 99(3-4), 207-217.
- 19- e Silva, L. P., Xavier, A. P. C., da Silva, R. M., & Santos, C. A. G. (2020). Modeling land cover change based on an artificial neural network for a semiarid river basin in northeastern Brazil. *Global Ecology and Conservation*, 21, e00811.
- 20- Eastman, J. R. (2006). *IDRISI Andes guide to GIS and image processing*. Clark University, Worcester, 328.
- 21- Foody, G. M. (2000). Mapping land cover from remotely sensed data with a softened feedforward neural network classification. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 29(4), 433-449.
- 22- Garizi, A., Sheikh, V., Sadoddin, A., & Mahiny, S. (2012). Simulating the spatiotemporal changes of forest extent for the Chehelchay watershed (Golestan province), using integrated CA-Markov model. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 20(2), 273-285.
- 23- Halmy, M. W. A., Gessler, P. E., Hicke, J. A., & Salem, B. B. (2015). Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA. *Applied Geography*, 63, 101-112.
- 24- Knorn, J., Rabe, A., Radeloff, V. C., Kuemmerle, T., Kozak, J., & Hostert, P. (2009). Land cover mapping of large areas using chain classification of neighboring Landsat satellite images. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 957-964.
- 25- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation (Vol. 763)*: John Wiley & Sons.
- 26- Liu, T., & Yang, X. (2015). Monitoring land changes in an urban area using satellite imagery, GIS and landscape metrics. *Applied Geography*, 56, 42-54.
- 27- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International journal of remote sensing*, 25(12), 2365-2401.
- 28- Mansour, S., Al-Belushi, M., & Al-Awadhi, T. (2020). Monitoring land use and land cover changes in the mountainous cities of Oman using GIS and CA-Markov modelling techniques. *Land Use Policy*, 91, 104414.
- 29- Mather, P. M., & Koch, M. (2011). *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*: John Wiley & Sons.
- 30- Matsushita, B., Xu, M., & Fukushima, T. (2006). Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan using a high-quality GIS dataset. *Landscape and Urban Planning*, 78(3), 241-250.

- 31- Munthali, M., Mustak, S., Adeola, A., Botai, J., Singh, S., & Davis, N. (2020). Modelling land use and land cover dynamics of Dedza district of Malawi using hybrid Cellular Automata and Markov model. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 17, 100276.
- 32- Piquer-Rodríguez, M., Kuemmerle, T., Alcaraz-Segura, D., Zurita-Milla, R., & Cabello, J. (2012). Future land use effects on the connectivity of protected area networks in southeastern Spain. *Journal for Nature Conservation*, 20(6), 326-336.
- 33- Pontius, R. G. (2000). Quantification error versus location error in comparison of categorical maps. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 66(8), 1011-1016.
- 34- Rahnama, M. R. (2020). Forecasting land-use changes in Mashhad Metropolitan area using Cellular Automata and Markov chain model for 2016-2030. *Sustainable Cities and Society*, 102548.
- 35- Richards, J. A., & Richards, J. (1999). *Remote sensing digital image analysis (Vol. 3)*: Springer.
- 36- Subudhi, B. N., Bovolo, F., Ghosh, A., & Bruzzone, L. (2014). Spatio-contextual fuzzy clustering with Markov random field model for change detection in remotely sensed images. *Optics & Laser Technology*, 57, 284-292.
- 37- Tarawally, M., Wenbo, X., Weiming, H., Mushore, T. D., & Kursah, M. B. (2019). Land use/land cover change evaluation using land change modeller: A comparative analysis between two main cities in Sierra Leone. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 16, 100262.
- 38- Tewolde, M. G., & Cabral, P. (2011). Urban sprawl analysis and modeling in Asmara, Eritrea. *Remote Sensing*, 3(10), 2148-2165.
- 39- Ullah, S., Ahmad, K., Sajjad, R. U., Abbasi, A. M., Nazeer, A., & Tahir, A. A. (2019). Analysis and simulation of land cover changes and their impacts on land surface temperature in a lower Himalayan region. *Journal of environmental management*, 245, 348-357.
- 40- Zhao, Q., Liu, S., & Dong, S. (2010). Effect of dam construction on spatial-temporal change of land use: A case study of Manwan, Lancang River, Yunnan, China. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 852-858.
- 41- Zhou, Q., Ou, X., Zhang, Z., & Yang, M. (2008). Spatial-temporal land use pattern changes in Manwan hydropower station reservoir of Lancang River, Yunnan, China. *Journal of Mountain Science*, 26(4), 481-489.