

ارزیابی و مدل‌سازی تغییرات زمانی- مکانی کاربری اراضی در گسترش شدت بیابان‌زایی مناطق خشک  
شمال شرق ایران (سرخس)

محبوبه سربازی- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان  
مجید اونق<sup>۱</sup>- استاد گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان  
علی محمدیان بهبهانی- استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان  
مرتضی اکبری- استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۶/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۶

چکیده

تغییرات پوشش زمین در دهه‌های اخیر مشکلات فراوانی از جمله تخریب منابع طبیعی را در برداشته است. پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی نقش مهمی در مدیریت منابع داشته و مدیران را در برنامه‌ریزی بهتر یاری می‌دهد. هدف از این تحقیق، بررسی تغییرات کاربری اراضی در گذشته و پیش‌بینی آن در آینده با استفاده از مدل ساز تغییر زمین (LCM) در توسعه شدت بیابان‌زایی مناطق خشک شمال شرق ایران، سرخس است. در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه لندست مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵، تغییرات کاربری اراضی طی ۱۵ سال بررسی گردید. وضعیت کاربری اراضی سال ۲۰۳۰ با استفاده از مدل پیش‌بینی مارکوف و رویکرد مدل ساز LCM و بر پایه شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد در طول این دوره، تغییرات کاربری اراضی شامل کاهش سه درصدی مراتع متوسط و غنی، افزایش سه درصدی مراتع فقیر و اراضی بایر و افزایش یک درصدی اراضی کشاورزی بوده است. وسعت پهنه‌های ماسه‌ای در کل این دوره بیش از یک درصد افزایش یافته است که نشان‌دهنده افزایش شدت بیابان‌زایی است. صحت نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی شده و نقشه واقعیت زمینی ضریب کاپای ۸۵ درصدی را نشان می‌دهد. طبق نتایج طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ منطقه مطالعاتی دستخوش تغییرات وسیعی گردیده که عمده این تغییرات در جهت تخریب منطقه بوده است. نتایج پیش‌بینی مدل ساز نیز ادامه روند تخریب زمین و شدت بیابان‌زایی را تأیید می‌کند.

**کلیدواژه‌ها:** پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای، تخریب زمین، مدل ساز LCM، بیابان‌زایی

## ۱- مقدمه

تغییرات روزافزون کاربری اراضی ضرورت آگاهی مدیران و کارشناسان منابع زمینی از چگونگی تغییر و تحولات رخداده و همچنین تغییرات احتمالی آینده را برای سیاست‌گذاری و چاره‌اندیشی مناسب و کارآمد دو چندان نموده است (پارکر و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳؛ اکبری و همکاران، ۲۰۱۹). امروزه تغییر کاربری اراضی از جنبه تغییرات محیط زیستی دارای اهمیت است و مورد توجه دانشمندان و تصمیم‌گیران قرار گرفته است (مس<sup>۲</sup>، و همکاران، ۲۰۱۴). روند روز افزون تخریب منابع طبیعی در بسیاری از نقاط جهان، تهدیدی جدی برای بشریت محسوب می‌شود. لذا بیابان‌زایی که یکی از مظاهر این تخریب می‌باشد در حال حاضر به عنوان یک معضل گریبان‌گیر بسیاری از کشورهای جهان از جمله کشورهای در حال توسعه می‌باشد (پروانه، ۱۳۸۸). در حال حاضر تکنولوژی‌سنجش از دور با بیش‌ترین سرعت و دقت، ابزار مناسبی برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی به منظور پایش بیابان‌زایی می‌باشد (هاشمی نسب و همکاران، ۱۳۹۷؛ داوری و همکاران، ۱۳۹۷). به منظور مدیریت بهتر اکوسیستم‌های طبیعی و انسان‌ساخت و نیاز به مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، برنامه‌ریزی بلندمدت اراضی و پیش‌بینی این تغییرات در آینده است. در دو دهه گذشته، تعداد زیادی از مدل‌های تغییر کاربری اراضی به منظور کمک در مدیریت اراضی و درک بهتر و ارزیابی و بررسی نقش این تغییرات در کارکرد سیستم زمین توسعه یافته است. این مدل‌ها، توسط محققان برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مطالعات متعددی به کار گرفته شده است. در زمینه بررسی روند تغییرات و کاهش پوشش گیاهی طبیعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به مطالعات اولوکه‌گان<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۴) در منطقه شاشا نیجریه و در ایران به مطالعات آشوری (۱۳۹۴) و فتح‌الهی رودباری (۱۳۹۷) اشاره نمود. همچنین در زمینه ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات بیابان‌زایی با استفاده از مدل‌سازی کاربری اراضی نیز می‌توان به مطالعات داوولیت و موراری<sup>۴</sup> (۲۰۱۲) در منطقه سودان و لام چین<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۶) در مغولستان و در ایران به مطالعه حلییان و همکاران (۱۳۹۵) در شرق و جنوب اصفهان اشاره نمود. در خصوص آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی مطالعات و پژوهش‌های زیادی صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود؛ دینامیک بیابان‌زایی مراتع با استفاده از تصاویر ماهواره‌اندست در نینگزیای چین پایش و آنالیز گردید و نتایج نشان داد، بیابان‌زایی از ۳۵۷۳ کیلومتر مربع در مراتع به‌شدت بیابانی شده در سال ۱۹۹۳ به ۱۴۵۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۱ کاهش یافته است (لی و همکاران، ۲۰۱۳).

1 Parker

2 Mas

3 Olokeogun

4 Dawelbait &amp; Morari

5 Lamchin

در تحقیقی تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و مدل LCM<sup>۱</sup> با رویکرد مدل‌سازی توسعه شهری در کلان‌شهر تهران تلفیق گردید، ابتدا نقشه کاربری زمین از تصاویر ماهواره لندست برای دوره ۱۱ ساله ۱۳۷۴ تا ۱۳۸۵ تهیه شد، سپس ۱۱ متغیر مستقل به عنوان ورودی مدل انتخاب و با استفاده از روش MLP<sup>۲</sup> و زنجیره مارکوف نقشه کاربری زمین برای سال ۱۳۹۶ پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد به ترتیب در بخش‌های غرب و شرق کلان‌شهر تهران بیش‌ترین روند توسعه رخ خواهد داد (حیدریان و همکاران، ۲۰۱۴). در حوضه آبخیز لویره فرانسه، با طبقه‌بندی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۰۰ شبیه‌سازی کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ با استفاده از مدل LCM صورت گرفت. با توجه به قابلیت بالای مدل در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، تغییرات برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۳۰ پیش‌بینی گردید (ندجای<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). در پژوهشی در جنوب شهر باتن اندونزی، با توجه به رشد سریع جمعیت در این شهر به بررسی تغییرات و توسعه شهری پرداخته شد. در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۴ استفاده گردید. نتایج نشان داد سالانه ۸۶۵۰ هکتار به وسعت اراضی انسان ساخت افزوده شده است (سیفا...<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۷).

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد، در سال‌های اخیر پوشش زمین در سراسر جهان دستخوش تغییرات بسیاری بوده است که این تغییرات به‌شدت می‌تواند محیط‌زیست و منابع طبیعی را تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به اینکه تخریب زمین، بیابان‌زایی را به دنبال دارد، این موضوع اهمیت بررسی تغییرات پوشش زمین را دوچندان می‌کند؛ بنابراین در مطالعه حاضر، به ارزیابی و مدل‌سازی تغییرات زمانی- مکانی کاربری اراضی در گسترش شدت بیابان‌زایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مناطق خشک سرخس با توجه به اهمیت آن از لحاظ استراتژیک و ژئوپلیتیک در خراسان رضوی و حتی در کشور، پرداخته شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور مطالعه دینامیک کاربری اراضی از داده‌های سنجنده‌های TM و ETM<sup>+</sup> ماهواره لندست استفاده شد. مشخصات تصاویر استفاده‌شده مانند تاریخ اخذ تصویر، اندازه پیکسل در جدول ۱ آمده است. تصاویر مورد استفاده از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) دریافت شد. داده‌های مربوطه به ترتیب شامل تصاویر سنجنده TM لندست ۷ به تاریخ تصویربرداری ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ تصویر سنجنده ETM<sup>+</sup> لندست ۷ مربوط به تاریخ تصویربرداری ۲۰۰۵ و تصویر سنجنده ETM<sup>+</sup> لندست ۸ مربوط به تاریخ تصویربرداری ۲۰۱۵ می‌باشد (جدول ۱).

۱ مدل‌سازی تغییر سرزمین

۲ شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه

جدول ۱- مشخصات تصاویر استفاده شده در تحقیق (USGS)

ماهواره	سنجنده	تاریخ	اندازه پیکسل	مبنا
لندست ۷	TM	۰۸-۰۷-۲۰۰۰	30 *30	WGS84
لندست ۷	ETM+	۰۷-۰۸-۲۰۰۵	30 *30	WGS84
لندست ۷	ETM+	۱۲-۰۷-۲۰۱۰	30 *30	WGS84
لندست ۸	ETM+	۱۹-۰۸-۲۰۱۵	30 *30	WGS84

تصحیحات هندسی، رادیومتریکی و اتمسفریک بر روی تصاویر انجام شد. به طور معمول یکی از دو نوع تصحیح رادیومتریکی در پردازش اولیه تصاویر ماهواره‌ای به کار می‌رود که شامل تصحیح رادیومتریکی مطلق و نسبی است. این دو روش به طور معمول جهت کاهش اثرات پخش اتمسفری بر روی تصویر است (اکبری، ۱۳۹۵). روش اول نیازمند ورود داده‌های مربوط به خصوصیات اتمسفریک و کالیبراسیون سنجنده است که اغلب موارد به دلیل قدیمی بودن تصاویر کار مشکلی می‌باشد (کوپین<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). اما در روش دوم که به طور گسترده در این نوع از مطالعات استفاده می‌گردد، روش نسبی کاهش تیرگی پدیده است. در این مطالعه از روش دوم استفاده گردید. هر چند بیشتر تصاویر ماهواره لندست زمین مرجع بودند، اما برای دقت بیشتر در این امر تصاویر مجدداً زمین مرجع شدند. به منظور این تصحیح تعدادی نقاط کنترلی برداشته و اقدام به تصحیح هندسی تصاویر گردید (دو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۲). برای تهیه نقشه کاربری اراضی و بررسی تغییرات آن در یک دوره ۱۵ ساله تصاویر ماهواره‌ای سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ مورد پایش قرار گرفت. با توجه به اهداف این تحقیق، بایستی نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه حتی‌الامکان به صورت دقیق بر اساس تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای تهیه شوند، لذا از بین روش‌های تجزیه و تحلیل تصاویر لازم است روشی انتخاب شود که نقشه‌های کاربری آن دقت بهتری داشته باشند تا بتوان بر اساس آن‌ها تغییرات گذشته کاربری‌ها و پیش‌بینی تغییرات در آینده را با اطمینان بیشتری ارائه داد. با توجه به ویژگی‌های منطقه، انواع کاربری و پوشش موجود، چگونگی پراکنش و الگوی مکانی آن‌ها، تشابه بازتاب طیفی بعضی از پوشش‌ها، انبوهی نسبتاً کم اراضی جنگلی و تأثیر بازتاب خاک در آن‌ها، روش تجزیه و تحلیل خودکار نمی‌تواند نتایج مطمئنی ارائه دهد. در مقابل تفسیر تلفیقی که عملاً نوعی تفسیر چشمی داده‌های رقومی و متکی بر شناخت مفسر است، می‌تواند نتایج بسیار نزدیک به واقعیت ارائه دهد (درویش صفت، ۱۹۹۸). از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر احتمال یکی از پر استفاده‌ترین روش‌هاست (بولستاد و لیلند<sup>۳</sup>، ۱۹۹۱) و نسبت به سایر روش‌ها از لحاظ دقت کل و ضریب کاپا برتری دارد (جعفری و همکاران، ۲۰۱۱) و الگوریتم مناسبی جهت

1 Coppin

2 Du

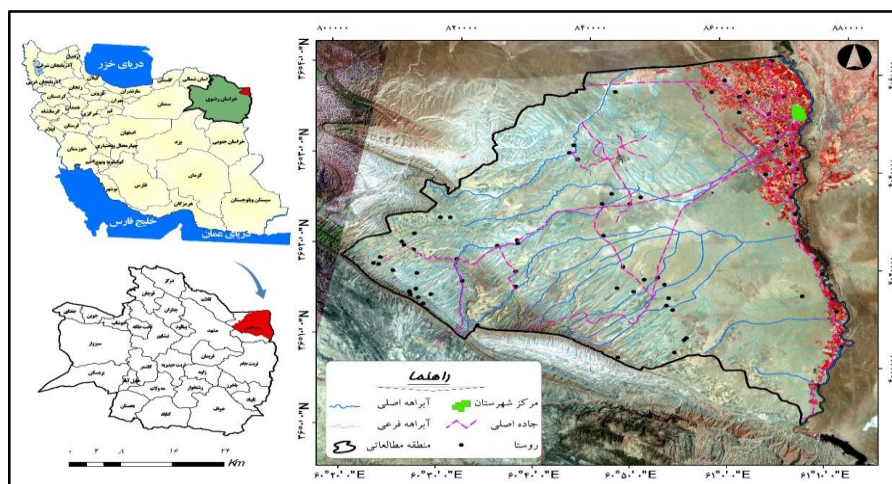
3 Bolstad &amp; Lillesand

طبقه‌بندی رقومی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد (ارزانی و همکاران، ۲۰۰۹). از این رو در این تحقیق ابتدا با استفاده از بررسی‌های میدانی و نظر کارشناسان منابع طبیعی برای هر کاربری بین ۳۰ تا ۳۵ نقطه برداشت صورت گرفت، سپس با کمک ترکیب‌های رنگی کاذب نمونه‌های تعلیمی برای تصاویر ماهواره‌ای تعریف شدند. سپس ۷۰ درصد نقاط برای آموزش و ۳۰ درصد نقاط برای تست تفکیک شدند و با استفاده از روش حداکثر احتمال نقشه‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست برای سال‌های ذکر شده تهیه شد. در نهایت نقشه کاربری برای سال‌های مختلف تهیه گردید. برای آنالیز داده‌ها از نرم‌افزارهای سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی نرم‌افزارهای Idrisi، ENVI 5.3، ArcGIS ۱۰٫۳ و TerrSet استفاده گردید. به منظور آشکارسازی تغییرات روی داده در منطقه، از روش مقایسه خطا برای برآورد صحت نقشه‌های کاربری اراضی استفاده شد.

## ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی سرخس، بخش کوچکی از حوضه بزرگ قره قوم است که در شهرستان سرخس واقع گردیده است. مرز تفکیک منطقه در قسمت غرب و جنوب غربی کوه‌های بزنگان و شورلق، در قسمت شمالی، مرز سیاسی ایران- ترکمنستان و در قسمت شرقی رودخانه تجن می‌باشد. از نظر جغرافیایی، محدوده مطالعاتی سرخس در موقعیت جغرافیایی ۶۰ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. این منطقه از نظر طبیعی استعداد گسترش بیابان را دارد که همجواری با صحرای قره قوم آن را تشدید کرده و اقلیم خشک و سرد را به وجود آورده و فرسایش بادی در آب و هوای خشک متداول‌تر است که بهره‌وری از زمین شرایط خشک شدن آن را تشدید می‌کند. منطقه سرخس به دلیل اقلیم خشک، نزولات آسمانی اندک، خاک نامساعد، تغییر کاربری غیراصولی و افزایش فرسایش بادی دچار شرایط بحرانی بیابان‌زایی شده و به عنوان کانون بحران فرسایش بادی، مشکلات محیط زیستی را به وجود آورده است. بنابراین با توجه به مشکلات حاد محیطی و انسانی و موقعیت استراتژیک، سرخس به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب گردید. (طرح الگوی مشارکت جوامع محلی و دستگاه‌های اجرایی در احیاء منابع طبیعی شهرستان سرخس).

شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را در ایران و استان خراسان رضوی نمایش می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان خراسان رضوی

## ۲-۲- مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی

از مدل ساز تغییرات اراضی LCM برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۳۰ استفاده شد. فرایند تغییر کاربری اراضی به ویژه گسترش مناطق مسکونی و تبدیل اراضی طبیعی به اراضی کشاورزی بسیار پیچیده و نیازمند متغیرهای متعدد است. این مدل، با تلفیق توانایی‌های مدل زنجیره مارکوف، روش شبکه عصبی چند لایه پرسپترون با آموزش پس انتشار خطا از کارایی خوبی در شبیه‌سازی فرایندهای پیچیده برخوردار است (مس<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴).

مدل LCM یک روش یکپارچه بوده و قادر به شبیه‌سازی تغییرات چندین کاربری به طور همزمان می‌باشد (ایستمن<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). مدل‌سازی در این مدل در سه مرحله انجام خواهد شد: در مرحله اول متغیرهای تأثیرگذار انتخاب و به مدل معرفی می‌شوند سپس نقش هر کدام از آن‌ها با توجه به ضرایب کرامر تعیین می‌شود. در مرحله دوم نقشه پتانسیل انتقال بر اساس متغیرهای مؤثر و نقشه‌های کاربری دوره‌های قبل تهیه می‌شود. در مرحله آخر نقشه کاربری آتی تهیه خواهد شد.

## ۲-۳- انتخاب متغیرهای ورودی و بررسی توانایی آن‌ها برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در مدل LCM

در این مرحله سعی شد تا متغیرهایی که بر تغییرات کاربری اراضی مؤثر هستند، انتخاب و به مدل معرفی شوند. متغیرها می‌توانند استاتیک یا دینامیک باشند. متغیرهای استاتیک جنبه‌های اساسی مناسب را برای انتقال در نظر

1 Mas

2 Eastman

گرفته‌شده، بیان می‌کنند و با گذشت زمان تغییرناپذیر هستند. متغیرهای دینامیک وابسته به زمان متغیر هستند، مانند نزدیکی به توسعه یا زیرساخت‌های موجود و در طول زمان دوره پیش‌بینی محاسبه می‌شوند.

متغیرهای مستقل برای انجام مدل‌سازی، با ارزیابی از طریق ضریب همبستگی کرامر انتخاب می‌شوند. این ضریب همبستگی متغیرهای مستقل را در یک زمان با طبقه‌بندی موضوعی نقشه کاربری اراضی مقایسه می‌کند. ضریب همبستگی کرامر نشان‌دهنده ارتباط بین متغیرها و طبقات کاربری اراضی است. لازم به ذکر است که میزان این ضریب در هر کاربری به منظور پیش‌بینی کاربری اراضی نیز، بسیار مهم است، زیرا ممکن است که میزان ضریب کلی کرامر برای یک متغیر در حد پایینی باشد اما آن متغیر با بعضی از کاربری‌ها، وابستگی بسیار زیادی داشته باشد. توجه به این نکته ضروری است که درصد بالای ضریب کرامر، توانایی خوب متغیر را نشان می‌دهد اما الزاماً عملکرد بسیار عالی مدل را تضمین نمی‌کند، زیرا عوامل دیگری نیز در محاسبات مدل‌سازی و روابط پیچیده بین متغیرها دخالت دارند. با این حال زمانی که مقدار آن بسیار کم است، نشانه خوبی جهت کنار گذاشتن یک متغیر ورودی در فرآیند پیش‌بینی، می‌باشد (وفایی، ۲۰۱۳).

مدل ساز تغییر زمین، این امکان را به وجود آورده است که کاربر در فرآیند تجزیه و تحلیل برآوردی سریع از توانایی و نقش هر متغیر در پیش‌بینی تغییرات احتمالی کاربری اراضی به دست آورد. در واقع مدل، درجه همبستگی متغیرها و کاربری‌ها را در انتهای دوره با محاسبه ضریب کرامر (V) و در دامنه ۱-۰ ارائه می‌دهد. به‌طورکلی مقادیر نزدیک به ۰/۴ و بالاتر از آن به عنوان مقدار مناسب برای یک متغیر و مقادیر کمتر از ۰/۱۵ برای یک متغیر به عنوان توانایی ضعیف آن در پیش‌بینی قلمداد می‌شود (ایستمن و همکاران، ۲۰۱۲). لذا به مدل وارد نمی‌شوند. متغیرهای کم تأثیر با توجه به مقدار زیر ۰/۱۵ حذف شده و متغیرهای بالای ۰/۱۵ مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به ویژگی‌های منطقه متغیرهای اصلی مؤثر بر تغییرات می‌تواند شامل: فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از رودخانه، شیب، جهت، ارتفاع و فاصله از اراضی کشاورزی موجود باشد، بنابراین برای واردسازی متغیرهای یادشده به مدل ساز تغییر زمین لازم است تا متغیرها به‌صورت نقشه تهیه شوند.

## ۲-۴- مدل‌سازی پتانسیل انتقال در LCM

بعد از انتخاب زیرمدل‌ها و طبق متغیرهای مستقل انتخاب‌شده، مدل‌سازی پتانسیل تبدیل هر کاربری با روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP) انجام می‌شود. به این مفهوم که هر پیکسل از تصویر برای تغییر از یک کاربری به نوع دیگر چقدر پتانسیل دارد (غلامی فرد و همکاران، ۲۰۱۲). یک پرسپترون چندلایه از سه نوع لایه تشکیل می‌شود که شامل: لایه ورودی، لایه‌های میانی یا پنهان و لایه خروجی است (مس و همکاران، ۲۰۰۴).

## ۲-۵- شبیه‌سازی نقشه کاربری اراضی با LCM

خروجی‌های مرحله مدل‌سازی پتانسیل انتقال به عنوان ورودی‌های مرحله پیش‌بینی تغییرات به کار می‌روند. زنجیره مارکوف ابزاری مناسب برای مدل‌سازی تغییرات کاربری زمین در جایی است که توصیف تغییرات و فرآیندهای سیمای سرزمین مشکل باشد. هر فرآیند مارکوف در جایی استفاده می‌شود که وضعیت آینده یک سیستم را بتوان به صورت کلی بر اساس وضعیت پیش از آن سیستم مدل‌سازی کرد (کامیاب و همکاران، ۲۰۱۱).

## ۲-۶- اعتبارسنجی نقشه مدل‌سازی شده

متداول‌ترین روش برای ارزیابی کمی صحت طبقه‌بندی، انتخاب تعدادی پیکسل از پیکسل‌های نمونه معلوم و مقایسه کلاس آن‌ها با نتایج طبقه‌بندی می‌باشد. این داده‌های معلوم را واقعیت زمینی یا داده‌های مرجع می‌نامند. انجام نمونه‌برداری از طریق بازدید زمینی یا با استفاده از داده‌های قبلی نظیر نقشه‌های موجود یا تصاویر هوایی موجود، صورت می‌پذیرد. جمع‌آوری نمونه‌ها در این بخش نیز مانند جمع‌آوری داده‌های مرحله تمرینی برای طبقه‌بندی با توجه به روش نمونه‌برداری خواهد بود. معمولاً نتایج ارزیابی صحت به صورت خطا ارائه می‌گردند که در این صورت انواع پارامترها و مقادیری که بیانگر صحت یا نوعی خطا در نتایج هستند از این ماتریس استخراج می‌شوند و برای ارزیابی صحت نقشه‌های شبیه‌سازی شده نیز از ضریب کاپا استفاده می‌شود. دلیل استفاده از شاخص کاپا توجه به تعداد پیکسل‌های نادرست در طبقه‌بندی است که از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$kappa = \frac{po - pc}{1 - pc} \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $po$  درستی مورد مشاهده و  $pc$  توافق مورد انتظار است. هرچه مقدار شاخص به عدد یک یا برحسب درصد به صد نزدیک‌تر باشد نشانه اعتبار بالای مدل در پیش‌بینی است. (Fatemi & Rezaei 2012)

ارزیابی اعتبار و صحت مدل‌سازی و نقشه‌های کلاس‌بندی بر اساس برآورد ضریب کاپا و دقت کلی است، برای اعتبارسنجی از نقشه‌های مشترک پوشش اراضی کلاس‌بندی و نقشه‌های پیش‌بینی مدل تغییرات استفاده می‌گردد. بدین صورت که نقشه پیش‌بینی شده توسط مدل (نقشه مقایسه) با نقشه کاربری اراضی تهیه شده به روش نظارت شده (نقشه مرجع) از طریق مازول Validation در مدل LCM مورد مقایسه قرار گرفته و با محاسبه ضریب کاپای استاندارد، وضعیت صحت موقعیت و کمیت پیکسل‌های هر طبقه به دست می‌آید (یان و همکاران، ۲۰۰۵).



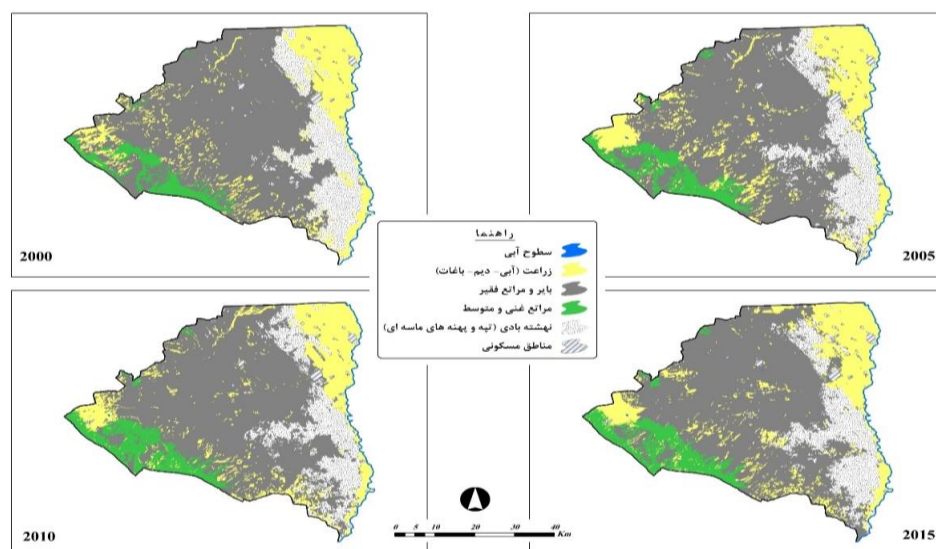
## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- نقشه کاربری اراضی

نقشه طبقات کاربری اراضی منطقه سرخس در شش طبقه سطوح آبی، اراضی کشاورزی (آبی و دیم)، مراتع فقیر و بایر، مراتع متوسط و غنی، نهشته‌های بادی و مناطق مسکونی و با روش کلاس‌بندی حداکثر احتمال از تصاویر ماهواره لندست برای سال‌های مورد مطالعه تهیه گردیدند. نتایج مربوط به برآورد صحت نقشه‌ها در جدول ۲ موجود است که نشان‌دهنده صحت قابل قبول برای نقشه‌های تهیه شده می‌باشد. نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ در شکل ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲- صحت کلی و شاخص کاپای نقشه‌های تهیه شده

شاخص کاپا	صحت کلی	سال
۲۷/۸۵	۴۷/۸۸	۲۰۰۰
۷۳/۸۵	۸۰/۸۸	۲۰۰۵
۸۶/۸۶	۵۷/۸۹	۲۰۱۰
۲۸/۸۷	۰۴/۹۱	۲۰۱۵



شکل ۲- تصاویر طبقه‌بندی شده کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

## ۳-۲- آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

به منظور تعیین درصد تغییرات کاربری‌ها در دوره مورد مطالعه، هریک از طبقات به دست آمده در سال‌های مختلف به‌طور جداگانه بر روی مجموع کلاس‌های به دست آمده سال بعد قرار داده شدند و سپس مقدار تغییرات

هریک از این کاربری‌ها در سال ۲۰۱۵ محاسبه شد. درصد تغییر کاربری‌های مختلف طی دوره‌های زمانی مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است کاربری سطوح آبی در طول دوره اول و دوم تحقیق (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰) کاهش سطح داشته است، اما در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ با روندی افزایشی مواجه شده و در کل دوره، کاهش سطحی برابر با ۱۲ هکتار داشته است. کاربری کشاورزی در طول دوره اول و سوم تحقیق (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵) افزایش سطح داشته است، اما در دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ با روندی کاهشی مواجه شده و در کل دوره، افزایش سطحی برابر با ۲۱۵۱ هکتار داشته است. کاربری مراتع فقیر و بایر در طول دوره اول تحقیق (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵) کاهش سطح داشته است، اما در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ و ۲۰۱۰ تا ۲۰۰۵، ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ و ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ به ترتیب حدود ۱۱۱۰، ۱۸۱۲ و ۵۸۶۴ هکتار از سطح اراضی مرتعی متوسط و غنی کاسته شده است. نهشته‌های بادی در طول دوره اول و سوم تحقیق (۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵) افزایش سطح داشته است، اما در دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ با روندی کاهشی مواجه شده و در کل دوره کاهش سطحی برابر با ۴۱۶۴ هکتار داشته است. همچنین مناطق مسکونی ۵۷۴ هکتار توسعه یافته که این افزایش در دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ نرخ رشد بیشتری داشته است.

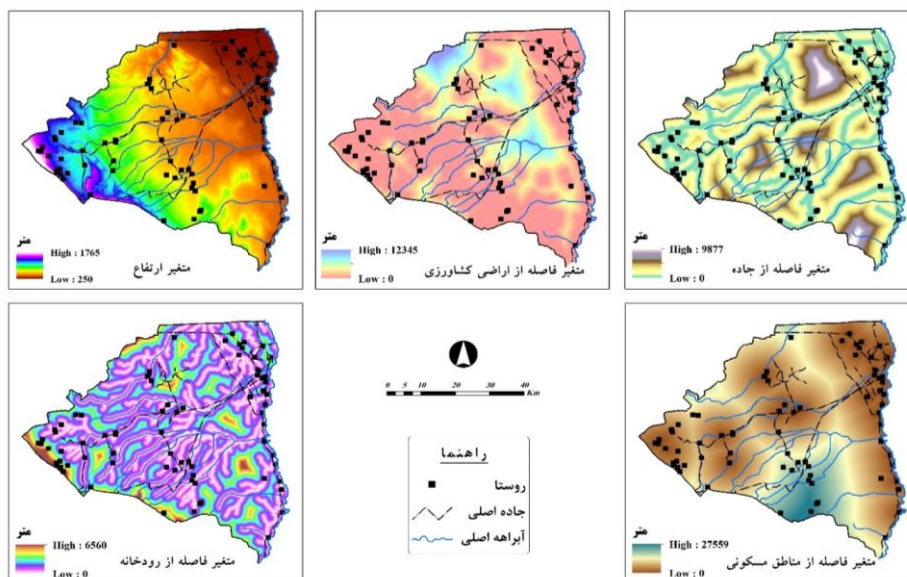
جدول ۳- مساحت و درصد مساحت هر کاربری در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵

سال	۲۰۰۰		۲۰۰۵		۲۰۱۰		۲۰۱۵	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
سطوح آبی	۱۹/۶۱	۰/۲۰	۷۳/۴۱	۰/۱۰	۹۲/۳۵	۰/۱۰	۰۶/۴۹	۰/۱۰
اراضی کشاورزی	۳۲/۶۱۱۵۸	۱۴/۱۸	۰۵/۶۳۵۳۴	۸۵/۱۸	۲۹/۵۸۹۰۸	۴۷/۱۷	۴۴/۶۳۳۰۹	۷۸/۱۸
مراتع فقیر و بایر	۲۶/۱۹۴۲۵۸	۶۳/۵۷	۰۸/۱۹۱۶۸۷	۸۶/۵۶	۳۳/۲۰۳۷۳۱	۴۴/۶۰	۵۹/۲۰۴۴۹۷	۶۶/۶۰
مراتع متوسط و غنی	۱۱/۲۷۱۳۶	۰۵/۸	۱۷/۲۶۰۲۵	۷۲/۷	۸۱/۲۴۲۱۲	۱۸/۷	۹۳/۱۸۳۴۷	۴۴/۵
نهشته های بادی	۴۷/۴۷۸۳۲	۱۹/۱۴	۲۱/۵۳۳۱۰	۸۱/۱۵	۴۴/۴۷۴۰۵	۰۶/۱۴	۱۴/۵۱۹۹۶	۴۲/۱۵
مناطق مسکونی	۴۰/۲۴۹۷	۷۴/۰	۱۹/۲۵۰۹	۷۴/۰	۶۳/۲۸۱۳	۸۳/۰	۹۲/۳۰۷۰	۹۱/۰

### ۳-۳- متغیرهای ورودی به مدل‌ها

برای واردسازی متغیرها به مدل ساز تغییر زمین لازم است تا متغیرها به صورت نقشه تهیه شوند. نقشه متغیرهای ورودی که دلایل احتمالی تغییرات فوق را بر اساس آن‌ها می‌توان توجیه کرد، در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به ویژگی‌های منطقه متغیرهای اصلی مؤثر بر تغییرات می‌تواند شامل: فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از رودخانه، شیب، جهت، ارتفاع و فاصله از اراضی کشاورزی موجود باشد، پس از محاسبه ضریب کرامر متغیرهای کم

تأثیر با توجه به مقدار زیر ۰/۱۵ حذف شده و متغیرهای بالای ۰/۱۵ مورد استفاده قرار گرفتند. در این مطالعه متغیرهای ارتفاع، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و فاصله از اراضی کشاورزی به علت همبستگی قابل قبول با کاربری‌ها به عنوان متغیرهای ورودی مدل انتخاب شدند.



شکل ۳- نقشه متغیرهای ورودی به مدل LCM

### ۳-۴- مدل‌سازی پتانسیل انتقال در LCM

برآورد همبستگی هریک از متغیرها با کاربری‌های موجود و به تبع توانایی آن در پیش‌بینی تغییرات کاربری با محاسبه ضریب کرامر امکان‌پذیر می‌باشد. جدول ۴ میزان همبستگی هر یک از متغیرهای تأثیرگذار را با تغییرات هر کاربری نشان می‌دهد. جدول ۴ بیانگر این است که بالاترین ضریب کرامر متعلق به مدل رقومی ارتفاع و کمترین میزان به فاصله از رودخانه تعلق دارد.

جدول ۴- میزان همبستگی (ضریب کرامر) بین متغیرهای ورودی به مدل و کاربری‌های مختلف

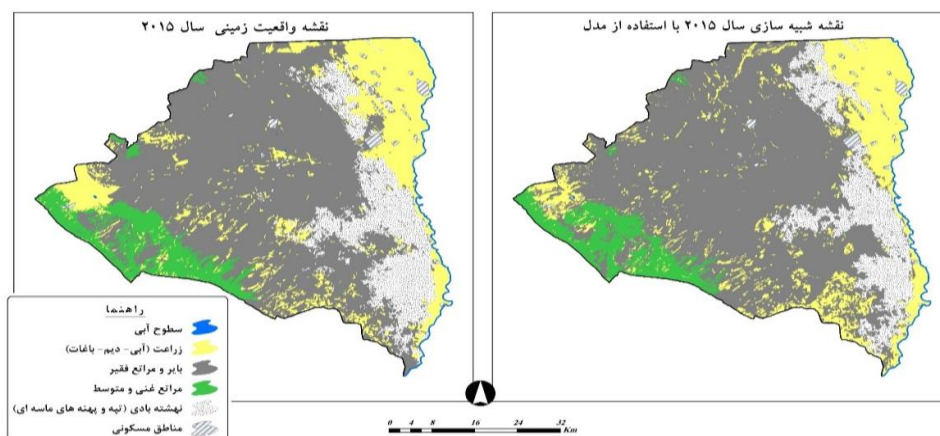
متغیر/ کاربری	ارتفاع	فاصله از مناطق مسکونی	فاصله از اراضی کشاورزی	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده
سطوح آبی	۵۱/۰	۵۲/۰	۵۱/۰	۵۱/۰	۵/۰
اراضی کشاورزی	۹۱/۰	۹۳/۰	۹۲/۰	۶/۰	۵۱/۰
مراعات فقیر و بایر	۹۶/۰	۸۱/۰	۸۱/۰	۶/۰	۹۸/۰
مراعات متوسط و غنی	۹۸/۰	۶۱/۰	۷/۰	۷۹/۰	۹۴/۰
نهشته های بادی	۷۶/۰	۶۸/۰	۷۶/۰	۶/۰	۹۳/۰

متغیر/ کاربری	ارتفاع	فاصله از مناطق مسکونی	فاصله از اراضی کشاورزی	فاصله از رودخانه	فاصله از جاده
مناطق مسکونی	۶۲/۰	۷۵/۰	۶/۰	۶/۰	۷۳/۰
ضریب کلی	۸۳/۰	۷۴/۰	۷۹/۰	۶۵/۰	۷۵/۰

### ۳-۵- نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل‌سازی کاربری اراضی

پس از آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی طی چهار سال ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ مقدار تغییرات هر انتقال با استفاده از زنجیره مارکف پیش‌بینی و نقشه کل تغییرات کاربری اراضی در مدل LCM برای سال ۲۰۳۰ تهیه گردید. برای اعتبارسنجی توان مدل LCM جهت تولید نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۳۰، ابتدا از نقشه‌های سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ برای پیش‌بینی نقشه سال ۲۰۱۵ استفاده شد. برای انجام این پیش‌بینی، ماتریس احتمال تغییرات و ماتریس مساحت‌های احتمالی تغییرات تهیه و بر مبنای زیرمدل‌های تعریف شده و نقشه‌های احتمال انتقال تغییرات، نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۵ تهیه شد.

مقایسه نقشه پیش‌بینی شده توسط مدل (نقشه مقایسه) با نقشه کاربری اراضی تهیه شده به روش نظارت شده (نقشه مرجع) و محاسبه ضریب کاپای استاندارد، وضعیت صحت برای موقعیت و کمیت پیکسل‌های هر طبقه به دست آمد. سپس نقشه واقعیت زمینی سال ۲۰۱۵ با نقشه شبیه‌سازی شده حاصل از مدل ساز تغییر زمین مقایسه گردید (شکل ۴). صحت مدل بر اساس شاخص کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت. پیش‌بینی تغییرات با روش ماتریس خطا ارزیابی گردید. نتایج ماتریس خطا نشان داد در مدل ساز تغییر سرزمین ضریب کاپا کلی برابر ۰/۸۵ می‌باشد.



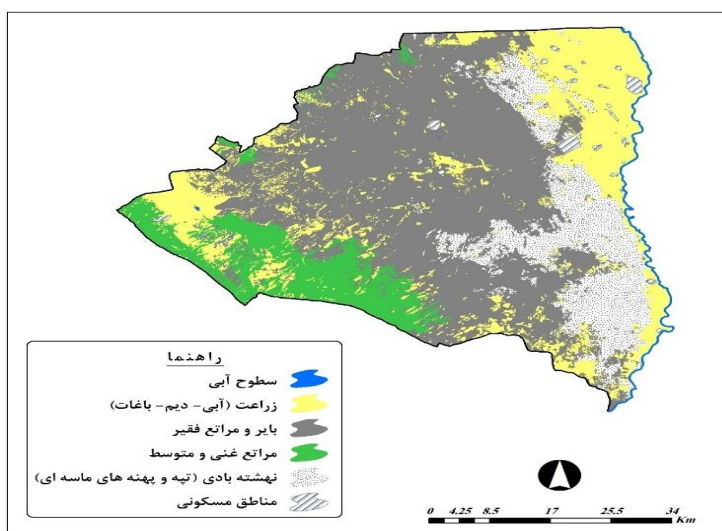
شکل ۴- نقشه واقعیت زمینی و شبیه‌سازی سال ۲۰۱۵ با استفاده از مدل LCM

## ۳-۶- نتایج حاصل از پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۳۰

با استفاده از رویکرد شبکه عصبی پرسترون چند لایه، نقشه تغییرات کاربری برای سال ۲۰۳۰ به دست آمد (شکل ۵). با توجه به نتایج به دست آمده روند کاهش مراتع متوسط و غنی و اراضی کشاورزی همچنان ادامه دارد. بر وسعت نهشته‌های بادی نیز افزوده خواهد شد به‌طوری‌که در افق ۲۰۳۰، حدود ۱۷ درصد از منطقه را می‌پوشانند (جدول ۵).

جدول ۵- مساحت طبقات پیش‌بینی شده در سال ۲۰۳۰

۲۰۳۰		سال
درصد	مساحت (هکتار)	نوع کاربری اراضی
۰/۱۰	۷۲/۴۸	سطوح آبی
۵۰/۱۷	۲۷/۵۹۰۰۵	اراضی کشاورزی
۳۶/۶۰	۵۳/۲۰۳۴۶۳	مراتع فقیر و بایر
۸۸/۳	۹۵/۱۳۰۷۷	مراتع متوسط و غنی
۹۴/۱۶	۳۱/۵۷۱۲۰	نهشته های بادی
۳۰/۱	۶۶/۴۳۹۱	مناطق مسکونی



شکل ۵- نقشه شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۳۰

## ۴- نتیجه‌گیری

داشتن آمار و اطلاعات به هنگام از کاربری‌های موجود، لازمه مدیریت صحیح عرصه‌های طبیعی است. یکی از مبانی مدیریت منابع طبیعی، اطلاعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی است (نظری سامانی و همکاران، ۱۳۸۹). در

تحقیق حاضر، تغییرات کاربری اراضی در منطقه‌ای به وسعت ۳۳۷۱۰۷ هکتار در شمال شرق کشور و در سه دوره زمانی ۲۰۰۵-۲۰۱۰، ۲۰۱۰-۲۰۱۵ و ۲۰۱۵-۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و همچنین توانایی پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی براساس رویکرد مدل ساز LCM بررسی گردید. نتایج مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی در سه دوره یادشده نشان دهنده تغییر سطح همه کاربری‌ها است. تخریب مراتع متوسط و غنی در دوره سوم (۵۸۶۴/۸۸ هکتار) بیشتر از تخریب دوره دوم (۱۸۱۲/۳۵ هکتار) و دوره اول (۱۱۱۰/۹۴ هکتار) بوده است، که نشان دهنده تخریب شدیدتر در دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۵ است. از جمله دلایل تخریب بیشتر اراضی مرتعی غنی در این دوره، می‌توان به کاهش بارندگی، خشکسالی و وجود دام مازاد در سال‌های اخیر اشاره کرد. از بیش‌ترین تغییرات کاربری اراضی بین این سال‌ها، می‌توان به کاهش حدود سه درصدی مراتع متوسط و غنی، افزایش سه درصدی مراتع فقیر و اراضی بایر و افزایش حدود یک درصدی اراضی کشاورزی اشاره نمود. وسعت پهنه‌های ماسه‌ای در کل این دوره بیش از یک درصد افزایش یافته است. کم شدن اراضی مرتعی و افزایش اراضی بایر و کشاورزی نشان‌دهنده استفاده نامناسب این اراضی به منظور کشاورزی نشان می‌دهد. آسیب به مراتع، افزایش سطوح کشاورزی با تخریب اراضی، استفاده از اراضی خارج از توانایی و استعداد آن‌ها منجر به افزایش بیابان‌زایی شده است. در این دوره زمانی مساحت مناطق مسکونی از ۲۴۹۷/۴۰ هکتار در سال ۲۰۰۰ به ۳۰۷۰/۹۲ هکتار در سال ۲۰۱۵ رسیده که نشان‌دهنده رشد حدود ۰/۲ درصدی مساحت مناطق مسکونی در این بازه زمانی است. رشد شهرنشینی و افزایش فشار بر اراضی برای مسکونی شدن و ایجاد دیگر ساختارهای ضروری مرتبط، متأسفانه به روندی عادی تبدیل شده است (محمداسماعیل، ۱۳۸۹). اصلی‌ترین قابلیت مدل ساز LCM، توانایی آن در پیش‌بینی آینده بر اساس وضعیت تغییرات در گذشته و لحاظ محدودیت‌ها و محرک‌های تغییرات است. با به‌کارگیری شبکه عصبی مصنوعی به عنوان مدل برآورد تجربی اطلاعات محور در این رویکرد و به کمک متغیرهای مستقل مؤثر بر تغییرات فرآیند پیش‌بینی انجام می‌گیرد. بنابراین به منظور پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۳۰، از متغیرهای مکانی متعدد و تأثیرگذار بر تغییرات کاربری اراضی بهره گرفته شد (لی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۲). انتخاب درست متغیرها، نقش مهمی در کاهش مقدار ورودی‌ها به منظور به دست آوردن شبکه‌ای با قابلیت زیاد و عملکرد سریع خواهد داشت. متغیر را می‌توان از طریق اندازه‌گیری قابلیت جداسازی، آنالیز جداسازی (بندیکسون<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۷)، ضریب همبستگی پیرسون (مس و همکاران، ۲۰۰۴) یا محاسبه ضریب کرامر (آماره استفاده شده در این تحقیق) انتخاب کرد. در مجموع به نظر می‌رسد تهیه مدل برای تعیین فرآیندهای تغییر استفاده از زمین با قابلیت زیاد چندان ساده نباشد، چراکه این فرآیندها به دامنه وسیعی از عوامل شامل عوامل محیطی، جامعه‌شناسی و فرهنگی که با گذشت زمان تغییر می‌کنند، وابسته‌اند. به علاوه اساس آن‌ها این پیش‌فرض است که روابط متقابل تغییرات و علت‌های

1 Li

2 Benediktsson

آن‌ها در طول زمان ثابت می‌مانند، ولی فرآیندهای تغییرات استفاده از زمین پویا هستند و از این رو باید این‌گونه مدل‌سازی‌ها برای دوره‌های کوتاه مدت ۵-۱۰ سال (مثل این تحقیق) اجرا شوند (مس و همکاران، ۲۰۰۴). نتایج حاصل از پیش‌بینی تغییرات در ۱۱ سال آینده با استفاده از مدل ساز LCM نشان می‌دهد، در صورت ادامه روند موجود در منطقه، پیشروی تپه‌های ماسه‌ای و افزایش تخریب مراتع همچنان ادامه پیدا خواهد کرد، به طوری که در افق ۲۰۳۰ پهنه‌های ماسه‌ای ۱۷ درصد از منطقه را در بر می‌گیرند و وسعت اراضی بایر و مراتع فقیر به ۲۰۳۴۶۳ هکتار (حدود ۶۰ درصد منطقه) می‌رسد. همان‌گونه که نتایج این پژوهش نشان داد طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ منطقه مطالعاتی سرخس دستخوش تغییرات وسیعی گردیده است که عمده این تغییرات در جهت تخریب منطقه بوده است. نتایج پیش‌بینی مدل ساز نیز ادامه روند تخریب را تأیید می‌کند.

اگرچه این نتایج عیناً در آینده اتفاق نمی‌افتد، اما هشدار برای مدیران و تصمیم‌گیران در این زمینه است تا با اتخاذ تصمیمات مناسب و کنترل تبدیل کاربری‌ها تاحدی از افزایش تخریب جلوگیری کند. با توجه به تغییر کاربری غیراصولی و افزایش فرسایش بادی در منطقه، یک برنامه مدیریت جامع خطر ریسک بیابان‌زایی در راستای اهداف توسعه پایدار پیشنهاد می‌شود. سرخس توسعه نمی‌یابد مگر اینکه یک برنامه جامع مدیریت بیابان داشته باشد. در سالهای اخیر به دلیل مدیریت ناصحیح محدوده وسیعی از مراتع، استعداد تبدیل شدن به کانون فرسایش بادی را پیدا کرده است. بنابراین سرخس در آینده، به فوریت نیازمند یک برنامه مدیریت جامع بیابان در راستای اهداف توسعه پایدار و هدف بیابان‌زایی صفر در افق ۲۰۳۰ است (Zero-Net). این رویکرد بر دو مفهوم حفظ اراضی تخریب نشده با مدیریت صحیح و احیاء اراضی تخریب شده تکیه دارد. به عبارت دیگر مدیریت زمین بایستی به گونه‌ای صورت گیرد که با گذشت زمان در کل تخریب و احیاء متعادل و پیشرفت تخریب متوقف و بیلان آن صفر شود و افق در نظر گرفته شده برای تحقق رویکرد بیلان صفر در تخریب زمین و جنگل‌ها در این پروتکل، سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شده است (چاسک<sup>۱</sup> و همکاران ۲۰۱۵، گرینجر<sup>۲</sup>، ۲۰۱۵، نکونیا و اندرسون<sup>۳</sup>، ۲۰۱۴، استوی و لال<sup>۴</sup>، ۲۰۱۵ و تال<sup>۵</sup>، ۲۰۱۵). در ساده‌ترین حالت اگر بتوان وضعیت و قابلیت تولیدی زمین را مطابق با شرایط فعلی حفظ نمود به نحوی که تخریب افزایش نیابد، می‌توان گفت که رویکرد بیلان صفر به اهداف خود نزدیک شده است (لال، ۲۰۰۹). تأکید بر مدیریت پایدار زمین، ممانعت از تخریب اراضی در آینده، احیاء اراضی تخریب شده، توجه بیشتر به نقش و نیازهای بهره‌برداران و درنهایت تلاش در بهبود خدمات زیست‌بوم، چهارچوب دستیابی به بیلان صفر را تشکیل می‌دهد (آیمسون<sup>۶</sup>، ۲۰۱۲).

- 
- 1 Chasek
  - 2 Grainger
  - 3 Nkonya & Anderson
  - 4 Stavi & Lal
  - 5 Tal
  - 6 Imeson

### قدردانی و تشکر

این تحقیق در گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به انجام رسیده است؛ بنابراین از همه کسانی که در این فرآیند به ما کمک کرده‌اند، تشکر می‌کنیم. علاوه بر آن نویسندگان این تحقیق، از نظرات مفید داوران که باعث بهبود مقاله شده است، تشکر و سپاسگزاری می‌کنند.

### کتابنامه

- اکبری، مرتضی؛ ۱۳۹۵. ارائه سیستم پیش‌آگاهی خطر بیابان‌زایی (منطقه مورد مطالعه: مناطق نیمه بیابانی غرب استان گلستان)، رساله دکتری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- آشوری، هانیه؛ ۱۳۹۴. پایش تغییرات زمانی و مکانی کاربری اراضی مرتعی حوضه آبخیز سیدان با استفاده از داده‌های سنجنش از دور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه فردوسی مشهد.
- پروانه، حسین؛ ۱۳۸۸. ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی در خراسان جنوبی با استفاده از روش مدالوس - منطقه طبس مسینا - شهرستان درمیان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه اصفهان.
- حلبیان، امیرحسین؛ سلطانیان، محمود؛ ۱۳۹۵. ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات بیابان‌زایی در شرق و جنوب اصفهان با مدل CA-Markov. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۳ (۴): ۷۱-۸۸
- داوری، سرور؛ راشکی، علیرضا؛ اکبری، مرتضی؛ طالبان فرد، علی اصغر؛ ۱۳۹۷. پایش تغییرات زمانی - مکانی شاخص‌های مؤثر بیابان‌زایی مناطق خشک جنوب خراسان رضوی. نشریه سنجنش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۳۱ (۲): ۱۷-۳۲
- طرح الگوی مشارکت جوامع محلی و دستگاه‌های اجرایی در احیاء منابع طبیعی شهرستان سرخس؛ ۱۳۹۲. مهندسین مشاور مجدآب شرق.
- فتح الهی رودباری، سیده معصومه؛ خان‌محمدی، مهرداد؛ نصیراحمدی، کامران؛ ۱۳۹۷. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل ساز تغییر سرزمین (LCM) مطالعه موردی: شهرستان نکا. فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۹ (۱): ۵۳-۶۹
- محمد اسماعیل، زهرا؛ ۱۳۸۹. پایش تغییرات کاربری اراضی کرج با استفاده از تکنیک سنجنش از دور، مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۴ (۱): ۸۱-۸۸
- نظری سامانی، علی‌اکبر؛ قربانی، مهدی؛ کوهبنانی، حمیدرضا؛ ۱۳۸۹. ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز طالقان در دوره ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰. مجله علمی پژوهشی مرتع، ۴ (۳): ۴۵۱-۴۴۲.
- هاشمی نسب، سیده نگار؛ جعفری، رضا؛ ۱۳۹۷. ارزیابی تغییرات کاربری اراضی به منظور پایش بیابان‌زایی. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۵ (۳): ۵۹-۷۴.



- Akbari, M., Neamatollahi, E., Neamatollahi, P., 2019. Evaluating land suitability for spatial planning in arid regions of eastern Iran using fuzzy logic and multi-criteria analysis. *Ecological Indicators*, 12(98): 587-598.
- Arzani, H., Mirakhorlou, K.h., Hosseini, S.Z., 2009. Land use mapping using Landsat7 ETM data (Case study in middle catchment's of Taleghan). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 16(2): 150-160.
- Benediktsson, J.A., Sveinsson, J.R., 1997. Feature extraction for multisource data classification with artificial neural networks. *International Journal of Remote Sensing*, 18: 727-740.
- Bolstad, P.V., Lillesand, T.M., 1991. Rapid maximum likelihood classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57: 67-74.
- Chasek, P., Safriel, U., Shikongo, S. V. Futran Fuhrman., 2015. Operationalizing Zero net land degradation: The next stage in international efforts to combat desertification, *Journal of Arid Environments* 112 (2015) 5 -13.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., Lambin, E., 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9): 1565– 1596. 15.
- Darvishsefat, A., 1998. Remotesensing, Agricultural faculty of Tehran University, 166 p.
- Dawelbait, M., Morari, F., 2012. Monitoring desertification in a Savannah region in Sudan using Landsat images and spectral mixture analysis. *Journal of Arid Environments*, 80: 45-55.
- Du, Y., Teillet, P.M., Cihlar, J., 2002. Radiometric normalization of multitemporal high resolution satellite images with quality control for land cover change detection. *Remote Sensing of Environment*, 82(1): 123–134.
- Eastman, J.R., Van Fossen, M.E., Solarzano, L.A., 2012. Transition potential modeling for land cover change In Maguire GIS. *Spatial Analysis and Modeling*. ESRI Press, Redlands, California.
- Fatemi, S.B., Rezaei, Y. 2012, Basics of remote sensing, third edition, Azadeh Publisher.
- Gholamalifard, M., Jorabianshoshtari, sh., Hosseini, S.H., & Mirzaei, M., 2012. Modeling land use change in the coast of Mazandaran province using LCM in GIS environment. *Journal of ecology*, 38 (64): 109-124.
- Grainger, A., 2015. Is land degradation neutrality feasible in dry areas, *Journal of Arid Environments* 112 (2015): 14-24.
- Heidarian, p., Rangzan, K., Maleki, S., Taghizade, A., 2014. Integration of GIS and LCM Measurement Techniques with Urban Development Modeling Approach (Case Study: Tehran Metropolis). *Journal of Arid environment research*, 5(17).
- Imeson, A., 2012. Desertification, Land Degradation and Sustainability. Formed by the merger of Wiley's global Scientific, Technical and Medical business with Blackwell Publishing. 331p.
- Jafari, M., Zehtabian, G.H., Ehsani, A.H., 2011. Effect of thermal bonding and supervised classification algorithms of satellite data in making land use maps (Case study: Kashan). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 20 (3): 72-87.
- Kamyab, H., Mahini, S., Hosseini, A., Gholamalifard, M., 2011. Application of Artificial Neural Network in Urban Development Modeling (Case Study: Gorgan City). *Human Geography Research*, 76: 99-113.
- Kavzoglu, T., Mather, P.M., 2000. Using feature selection techniques to produce smaller neural networks with better generalization capabilities. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 7: 3069–3071.
- Lambin, E.F., 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21: 375–393.

- Lamchin, M., JY, Lee, K, Lee, eun, Lee, M, Kim, H, Lim, H, Choi and S, Kim, 2016, Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia, *advances in space research*, 57: 64-77.
- Li, J., Yang, X., Jin, Y., Yang, Z., Huang, W., Zhao, L., Gao, T., Yo, H., Ma, H., Qin, Z., Xu, B., 2013. Monitoring and analysis of grassland desertification dynamics using landsat images in Ningxia China. *Remote Sensing of Environment*, 138: 19-26.
- Li, X., Yeh, G., 2002. Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *Geographical Information Science*, 16(4): 323-343.
- Mas, J., Kolb, F., Paegelow, M., Camacho Olmedo, M., & Houet, T., 2014. Inductive pattern-based land use/cover change models: a comparison of four software packages. *Journal of Environmental Modelling & Software*, 51: 94-111.
- Mas, J., Puig, H., Palacio, J., Sosa, L., Lopel, A., 2004. Modeling Deforestation using GIS and Artificial Neural Networks. *Environmental Modeling & Software*, 19 (5): 461- 471.
- Nedjai, R., Nghiem, V.T., Do, T.P.T., Nasredine, M.N., 2016. The impact of land use and climate change in the center region of France on the physico-chemical status of aquatic systems. *International Journal of Spatial, Temporal and Multimedia Information Systems*, 1 (1): 102-117.
- Nkonya, E. W., Anderson. 2014. Exploiting provisions of land economic productivity without degrading its natural capital. *Journal of Arid Environments*.
- Olokeogun O, Iyiola K, Iyiola O., 2014. Application of remote sensing and GIS in land use/land cover mapping and change detection in Shasha forest reserve, Nigeria. *International Archives of the photogrammetry, remote sensing and Spatial Information Science*, 8: 1-4.
- Parker, D.C., Manson, S., Hoffmann, M., Deadman, M.J., 2003. Multi agent systems for the simulation of land use and land cover change. a review, *annals of the association of american geographers*, 43: 314-337.
- Saifullah, K., Barus, B., Rustiadi, E., 2017. Spatial modelling of land use/cover change (LUCC) in South Tangerang City, Banten. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Volume 54, conference 1.
- Stavi, I. Lal Rattan. 2015. Achieving Zero Net Land Degradation: Challenges and opportunities. *Journal of Arid Environments* 112: 44-51.
- Stéphenne, N., Lambin, E.F., 2001. A dynamic simulation model of land-use changes in Sudano-sahelian countries of Africa (SALU). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85: 154-161.
- Tal, A. 2015. The implications of environmental trading mechanisms on a future Zero Net Land Degradation protocol. *Journal of Arid Environments* 112: 25-32.
- Vafaiee, S., 2013. Assaying and predicting the land uses changes using remote sensing and GIS (The studied area: Marivan). MSc Thesis, University of Tehran.
- 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 multi temporal Land sat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 98: 317-328.