



مقایسه دقت طبقه‌بندی سری زمانی تصاویر لندست در پایش تغییرات کاربری اراضی

احمد عظیمی نجارکلایی^۱، علی اکبر جمالی^{۲*}، سید زین العابدین حسینی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

۲. دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد میبد، دانشگاه آزاد اسلامی، میبد، ایران

۳. استادیار دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد

مشخصات مقاله

چکیده

پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۳ مرداد ۱۳۹۵

پذیرش: ۲۷ تیر ۱۳۹۶

دسترسی اینترنتی: ۱ شهریور ۱۳۹۶

واژه‌های کلیدی:

سنجش از دور

تغییرات کاربری اراضی

شبکه عصبی

حداقل فاصله

حداکثر احتمال

ساری

در این تحقیق، سه روش طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی، حداکثر احتمال و حداقل فاصله جهت تحلیل تغییرات کاربری اراضی، طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۵ در سه سنجده ماهواره لندست در منطقه ساری مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. پس از تصحیحات هندسی و اتمسفری، تصاویر سال ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵، تحت سه الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی، حداکثر احتمال و حداقل فاصله در پنج کلاس کاربری طبقه‌بندی شدند. پس از ارزیابی صحت روش‌ها، مقدار کاپای حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی و حداقل فاصله برای سال ۱۹۸۹ به ترتیب ۹۲٪، ۸۷٪ و ۶۵٪ و سال ۲۰۰۲ به ترتیب ۸۹٪، ۸۷٪ و ۶۰٪ و سال ۲۰۱۵ به ترتیب ۹۱٪، ۹۰٪ و ۷۳٪ برآورد شد. که نشان‌دهنده برتری روش حداکثر احتمال در مقایسه با دو روش دیگر در سال ۱۹۸۹ بود. همچنین نتایج حاصل از بررسی تغییرات کاربری اراضی در کل دوره مورد بررسی (سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۵)، نشان داد که مناطق انسان‌ساخت و زراعت آبی به ترتیب ۳۶۱۵ و ۵۷۵ هکتار افزایش داشته‌اند ولی مناطق بایر، باغ و جنگل به ترتیب ۱۷۹۱، ۱۱۲۷ و ۱۲۷۲ هکتار روند رو به کاهشی را داشته‌اند با توجه به نتایج گرفته‌شده، دو روش حداکثر احتمال و شبکه عصبی برای طبقه‌بندی کاربری اراضی مناسب بود، اما روش حداکثر احتمال با اختلاف ۵ درصد در سال ۱۹۸۹ و ۲ درصد در سال ۲۰۰۲ و ۱ درصد در سال ۲۰۱۵ در ضریب کاپا نسبت به روش شبکه عصبی بهتر بود.

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: jamaliaa@maybodiau.ac.ir

مقدمه

طبقه‌بندی و تهیه نقشه کاربری اراضی یکی از پرکاربردترین موارد در استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور است. روش‌های متعددی از طبقه‌بندی‌ها در دهه‌های گذشته توسعه پیدا کرد. برای تفکیک پدیده‌های موضوعی و استخراج دقیق‌تر اطلاعات روش‌های طبقه‌بندی مختلفی وجود دارد که با توجه به نوع روش مورد استفاده نتایج متفاوتی حاصل می‌شود (۱۱) و (۱۷). در روند تهیه و تدوین برنامه‌های ارزیابی و آمایش سرزمین، تشخیص و درک به‌موقع و دقیق تغییرات کاربری و پوشش اراضی از فاکتورهای مهم است. رشد شهری مشکلات عدیده‌ای مانند از بین رفتن اراضی کشاورزی، کاهش فضای سبز، آلودگی آب، فرسایش خاک، و افت کیفیت محیط‌زیست را به دنبال دارد. با آشکارسازی تغییرات در مناطق شهری، کنش‌های متقابل میان انسان و پدیده‌های طبیعی بهتر درک شده و تغییرات ایجاد شده در منابع طبیعی و محیط‌زیست کمی و نقشه‌سازی می‌شوند. همچنین آشکارسازی تغییرات شهری کمک خواهد کرد با برنامه‌ریزی جامع کاربری اراضی شهری، رشد مناطق شهری را در مناسب‌ترین جهت هدایت کرد تا ضمن تأمین نیازهای ساکنان شهر، منابع طبیعی و اراضی کشاورزی اطراف شهرها نیز حفظ گردند. لذا در فرآیند برنامه‌ریزی برای یک شهر خصوصاً از دیدگاه آمایشی، نگاه به گذشته شهر و مشخص کردن تغییرات به وجود آمده در محدوده شهر و توصیف آن اهمیت ویژه‌ای دارد (۹). از این رو شناخت و آگاهی از تغییرات کاربری اراضی در برنامه‌ریزی‌های آینده امری مهم است. در سال‌های اخیر، روش‌های مختلفی برای ارزیابی گسترش افقی شهرها و تغییرات کاربری اراضی، به کار گرفته شده است که به‌روزترین آن‌ها استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی است. با توجه به این‌که هدف اصلی فناوری سنجش‌ازدور شناسایی و تفکیک پدیده‌های زمین است بنابراین طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مهم‌ترین مرحله تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای محسوب می‌شود. روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه پوشش اراضی وجود دارد که هرکدام دارای مزایا و محدودیت‌هایی

است. انتخاب روش به هدف مطالعه و داده‌های در دسترس بستگی دارد. بلوچی و همکاران (۶) در مطالعه‌ای به تأثیر سد کرخه بر تغییرات کاربری اراضی طی دوره ۴۰ ساله پرداختند برای کشف تغییرات از تصاویر ماهواره لندست و روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال استفاده کردند و به نتایج بالای ۹۰ درصد دقت کلی و ضریب کاپا از این روش دست یافتند. مکرونی و همکاران (۱۵) در تحقیقی تغییرات کاربری اراضی محدوده تالاب هورالعظیم را با استفاده از تصاویر ماهواره لندست مورد ارزیابی قرار دادند در این تحقیق از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال استفاده شد و نتایج طبقه‌بندی برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۳ به ترتیب ۹۱ و ۸۹ درصد به دست آمد همچنین نتایج پایش تغییرات نشان داد که در طول دوره کاربری‌های مسکونی و مرتع بیش‌تر و اراضی کشاورزی و سطح تالاب کم‌تر شده است. سعیدی و همکاران (۲۵) در مطالعه‌ای به مقایسه بین سه روش طبقه‌بندی ارزیابی چند معیاره، رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی در حوزه آبخیز زیارت در شمال شرق ایران پرداختند و به دقت‌های ۹۴، ۹۳ و ۸۸ درصد برای روش شبکه عصبی، رگرسیون لجستیک و ارزیابی چند معیاره دست یافتند. یانگ و همکاران (۲۸) از تصویر ETM^+ در شرق انگلستان برای ارزیابی روش‌های حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان استفاده کردند و به ترتیب دقت‌های نقشه‌های تولیدی ۸۵/۱۸۲/۹ و ۸۷/۹ درصد بدست آمد.

لو و همکاران (۲۲) روش‌های حداکثر احتمال و شی‌گرا را با استفاده از تصاویر TM برای منطقه آمازون برزیل مقایسه و نتیجه گرفتند که استفاده از روش شی‌گرا باعث بهبود ۳ درصدی دقت طبقه‌بندی در مقایسه با الگوریتم حداکثر احتمال شده است. بات و همکاران (۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی و تشخیص تغییرات کاربری اراضی در منطقه اسلام‌آباد پاکستان پرداختند در این مطالعه از تصاویر ماهواره لندست ۵ و ماهواره اسپات برای سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۱۲ استفاده کردند. در این تحقیق از طبقه‌بندی نظارت‌شده الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد. حوزه مطالعاتی به ۵ طبقه عمده پوشش زمین

دقت این دو روش نشان داد که ماشین بردار پشتیبان با دقت کلی ۹۱/۶۷ درصد نسبت به الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی با دقت کلی ۹۰/۶۷ درصد از دقت بیش‌تری برخوردار است. اسلمی و همکاران (۳) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ سه روش طبقه‌بندی شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان و شیء‌گرا را از نظر دقت کلی باهم مقایسه کردند که مقدار کاپای آن‌ها به ترتیب ۸۸ درصد، ۸۲ درصد و ۹۳ درصد برآورد شد که نشان‌دهنده برتری روش شیء‌گرا در مقایسه با دو روش دیگر بود.

روستایی و همکاران (۲۴) برای مقایسه روش حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی و شیء‌گرا در تبریز از تصویر ETM⁺ استفاده و نتیجه گرفتند که روش شیء‌گرا نسبت به روش‌های دیگر برتری دارد.

مظاهری و همکاران (۱۳) روش‌های حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان را در منطقه جیرفت مقایسه و به ترتیب به صحت‌های کلی ۹۶/۴، ۹۷/۷ و ۸۴/۷ درصد برای روش‌های فوق دست یافتند.

ممبینی و همکاران (۱۶) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در جنوب خوزستان دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و فازی را مقایسه کردند و به این نتیجه دست یافتند که صحت کلی طبقه‌بندی فازی با ضریب کاپای ۹۹ درصد بهتر از طبقه‌بندی حداکثر احتمال با ضریب کاپای ۹۸ درصد بود.

ریاحی بختیاری و همکاران (۸) در مطالعه‌ای در دشت ارژن فارس به مقایسه روش‌های مختلف تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده TM پرداخت نتایج ایشان نشان داد که روش هیبرید نسبت به روش‌های بصری و حداکثر احتمال دارای دقت بالاتری (ضریب کاپای ۵۱ درصد) است. با بررسی مطالعات انجام‌شده در این زمینه می‌توان نتیجه گرفت که بحث در تهیه نقشه کاربری اراضی و تغییرات آن، بحث گسترده‌ای از علم سنجش از راه دور است و هر یک از این روش‌های طبقه‌بندی با توجه به شرایط مختلف منطقه، نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد؛ بنابراین در راستای استفاده از فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در این

کشاورزی، خاک لخت و سنگ، شهرک، پوشش گیاهی و آب تقسیم شد. نتیجه مطالعه نشان داد یک تغییر قابل‌توجهی از پوشش گیاهی و پوشش آب به کشاورزی و خاک لخت و سنگ به ترتیب به مقدار ۳۸/۲ درصد و ۷۴/۳ درصد کاهش دارد. شولز و همکاران (۲۶) به‌منظور پایش تغییرات پوشش سرزمین از چشم‌انداز جنگل خشک در شیلی، مدل‌ساز تغییر سرزمین و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به چهار دوره ۱۹۸۵، ۱۹۷۵، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۸ را به کار گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۸ نرخ سالانه کاهش جنگل و در درختچه زارها به ترتیب ۱/۷- درصد و ۰/۷- درصد و نرخ سالانه افزایش کاربری‌های کشاورزی شهری و مزارع چوب به ترتیب ۱/۱ درصد ۲/۷ درصد و ۳/۲ درصد بوده است. آراحی (۵) در تحقیقی در منطقه دشت عباس ایلام از روش طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال برای تهیه نقشه کاربری استفاده کرد. نتایج نشان داد روش شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب با صحت کلی ۹۲/۳۶ درصد و ضریب کاپای ۹۷ درصد نسبت به روش ماشین بردار پشتیبان با صحت کلی ۹۲/۳۶ درصد و ضریب کاپای ۸۷ درصد و حداکثر احتمال با صحت کلی ۸۱/۴۲ درصد و ضریب کاپای ۷۳ درصد عملکرد بهتری در تهیه نقشه کاربری اراضی داشته است.

معبودی و حکیمی (۱۴) در تحقیقی به آشکارسازی و شبیه‌سازی تغییرات کاربری با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار زنجیره مارکوف پرداختند. منطقه مطالعاتی، شهرستان خوی واقع در استان آذربایجان غربی بود. نتایج تحقیق نشان داد اراضی ساخته‌شده شهری از ۹۹۵/۱۳ هکتار در سال ۱۳۶۸ به ۲۵۵۷/۶۲ هکتار در سال ۱۳۹۰ رسیده است و سطح باغ‌ها و اراضی کشاورزی روند نزولی داشته است.

مختاری و نجفی (۱۲) در تحقیقی با عنوان مقایسه روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و شبکه مصنوعی در استخراج کاربری‌های اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM به مقایسه دو روش ذکرشده پرداختند. نتایج حاصل از ارزیابی

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش بخش مرکزی شهرستان ساری است که در استان مازندران در شمال ایران واقع است. حوزه مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی $52^{\circ} 52'$ تا $53^{\circ} 15'$ طول شرقی و $36^{\circ} 30'$ تا $36^{\circ} 49'$ عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه منطقه حدود ۷۷۰ میلی‌متر است. همچنین میانگین سالانه دما ۱۵ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است.

پژوهش با هدف استخراج نقشه کاربری اراضی در شهرستان ساری با استفاده از روش طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های مختلف استفاده می‌شود و تغییرات ایجاد شده در کاربری اراضی دوره‌های مختلف شناسایی می‌شود. بررسی این میزان تغییرات کاربری اراضی اطلاعاتی را در جهت مدیریت و برنامه‌ریزی در این راستا در اختیار کارشناسان قرار می‌دهد و می‌تواند کمک شایانی به تصمیم‌گیری صحیح و به‌موقع مدیران در قبال این تغییرات نماید.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

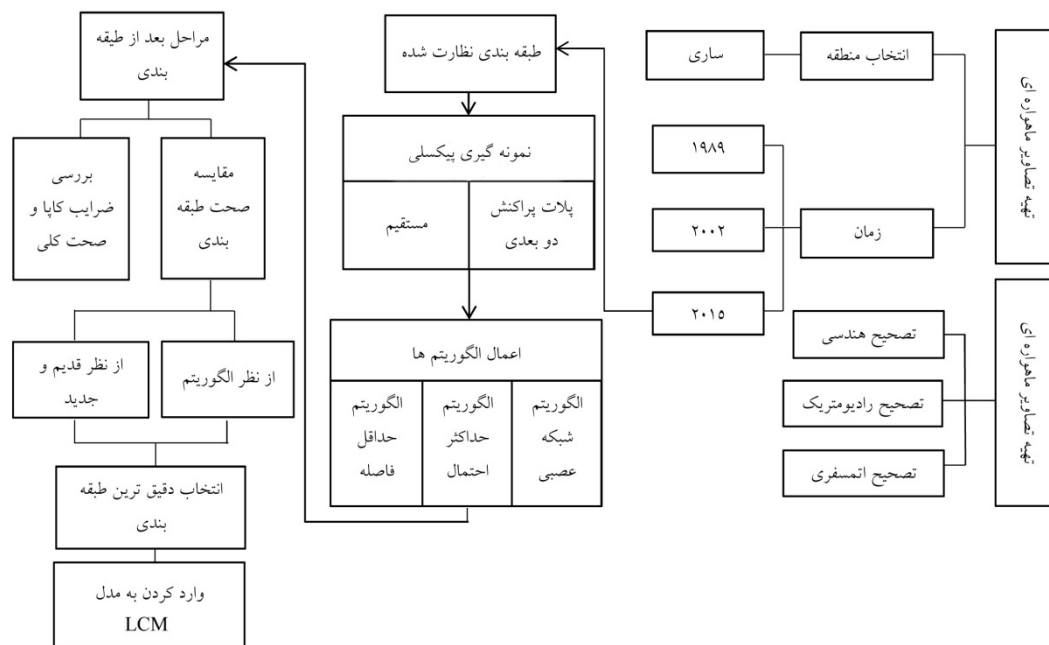
ETM⁺ و OLI به ترتیب مربوط به سه دوره زمانی ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات تصاویر استفاده شده در این تحقیق در جدول ۱ آورده شده است.

داده‌های مورد استفاده

به منظور دستیابی به تغییرات کمی و کیفی رخ داده در منطقه، تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سنجنده‌های TM،

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده

ماهواره	نوع سنجنده	تاریخ اخذ تصویر	ردیف گذر
لندست ۵	TM	۱۹۸۹/۰۵/۰۲	۱۶۳ ۳۵
لندست ۷	ETM ⁺	۲۰۰۲/۰۵/۳۰	۱۶۳ ۳۵
لندست ۸	OLI	۲۰۱۵/۰۵/۲۶	۱۶۳ ۳۵



شکل ۲. فلوچارت مراحل اجرای تحقیق

عملیات پیش‌پردازش و کیفیت تصاویر

قبل از بکارگیری داده‌های ماهواره‌ای در تجزیه و تحلیل رقومی، کیفیت آن‌ها از نظر وجود خطای هندسی و خطای اتمسفری مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام تصحیح هندسی از روش تصحیح هندسی با تصویر زمین مرجع استفاده شد به این صورت که نقاط کنترل با پراکنش مناسب از تصویر به تعداد ۳۰ نقطه انتخاب شد و در محیط نرم‌افزار ENVI[®] 4.8 بر سطح دو تصویر اجرا شد و برای نمونه‌گیری ارزش مجدد پیکسل‌ها از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده گردید و تصاویر با مجذور میانگین خطاء RMSe کم‌تر از یک پیکسل زمین مرجع شدند. تصحیحات رادیومتریک برای کاهش و یا حذف دو نوع خطای عمده، خطای اتمسفری و خطای دستگاهی استفاده شد. در تصاویر تهیه شده در این مطالعه

خطای دستگاهی مشاهده نشد. برای تصحیح اتمسفریک از تکنیک کاهش پیکسل‌های تاریک در نرم‌افزار IDRISI با استفاده از ابزار Atmosc استفاده شد. با این فرضیه که پیکسل‌های تاریک با حداکثر احتمال، کم‌ترین میزان انعکاس طیفی را دارد که متعلق به آب عمیق و سایه میان تصویر است که انعکاس آن صفر است زیرا در صورت ذرات پراکنده در جو، پراکنش جوی باعث می‌شود که عملاً انعکاس طیفی پیکسل‌های تاریک صفر نباشد.

شبکه عصبی مصنوعی

انواعی از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی وجود دارد که از میان آن‌ها شبکه عصبی پرسپترون چندلایه‌ای معمول‌ترین مدل

خطای قابل قبولی نباشد، دوباره شبکه به عقب برمی‌گردد و مجدداً نتایج جدیدی را محاسبه می‌کند که با نتایج دلخواه محاسبه می‌گردند این کار آن قدر ادامه می‌یابد تا صحت اجرای شبکه بالا رود. در این مطالعه تعداد ۱۰۰۰ تکرار برای شبکه در نظر گرفته شد.

حداقل فاصله تا میانگین اساس روش طبقه‌بندی کوتاه‌ترین فاصله بر محاسبه بردار میانگین هر کلاس (مقادیر میانگین در تمام باندها) و محاسبه فاصله پیکسل نامعلوم تا این میانگین‌ها در فضای چند طیفی است. کلاسی که میانگین مقادیر آن کمترین فاصله را با پیکسل دلخواه داشته باشد، به پیکسل نسبت داده می‌شود. محاسبه فاصله در این روش از طریق فاصله اقلیدسی در فضای چند طیفی محاسبه می‌شود. این روش درجهایی که کلاس‌های طیفی بسیار به هم نزدیک هستند مناسب نیست. محاسبه فاصله پیکسل a تا میانگین کلاس C طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$Dist = \sqrt{(BV_{ijk} - \mu C^2)^2 + (BV_{ijk} - \mu C^1)^2} \quad [1]$$

در این رابطه؛ $Dist$ عبارت است از فاصله بردار میانگین تا پیکسل نامشخص، BV_{ijk} درجه روشنایی پیکسل ناشناخته در باند ۲، μC_2 بردار میانگین کلاس C در باند ۲، μC_1 بردار میانگین کلاس C در باند ۱ است.

حداکثر احتمال طبقه‌بندی حداکثر احتمال رایج‌ترین فرآیند مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور است. الگوریتم طبقه‌بندی بیشترین احتمال، پیکسل مجهول α را به کلاسی که محتمل‌ترین کلاس برای آن پیکسل است اختصاص می‌دهد. این روش فرض را بر آن می‌گذارد که توزیع داده‌های آموزشی هر کلاس، به صورت نرمال است (۲۱). روش طبقه‌بندی به صورت حداکثر احتمال طی سه مرحله زیر صورت می‌گیرد؛ محاسبه بردار میانگین و واریانس و همبستگی برای کلاس‌ها در نمونه‌های آموزشی، لحاظ کردن پراکندگی پیکسل‌های اطراف بردار میانگین از طریق تابع احتمالات. معرفی کل داده‌ها به رده‌هایی که حداکثر احتمال عضویت در آن را داشته باشند (۱۰). بر اساس احتمال تعلق پیکسلی که

مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصویر در سنجش از دور است. یک پرسپترون چندلایه معمولاً از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل شده است که به ترتیب اطلاعات را دریافت و پردازش می‌کنند و نمایش می‌دهند (۲۰). در این تحقیق جهت استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و کم بودن طبقات خروجی تنها از یک لایه پنهان استفاده شد. انتشار بازگشتی با دو مرحله انتشار روبه‌جلو و انتشار رو به عقب تا زمانی که وضعیت عصبی آن بهتر شود تداوم پیدا می‌کند. در طول مرحله تعلیمی هر نمونه در داخل لایه ورودی تغذیه شده و فعالیت عصب‌ها را از لایه ورودی تا لایه خروجی در قالب برخی توابع نگاشت به‌طور پی‌درپی بروز شده و وزن گرفتند.

سرعت یادگیری برای آموزش یک شبکه عصبی، باید ارزش‌های هر پارامتر را به‌گونه‌ای تنظیم کرد که خطای بین خروجی دلخواه و خروجی واقعی کاهش یابد، شبکه با تغییر پارامترها می‌تواند این خطا را محاسبه کند. یکی از پارامترهای مؤثر بر شبکه عصبی سرعت یادگیری است. هنگامی که ارزش سرعت آموزش بسیار کوچک انتخاب شود باعث افزایش زمان اجرای شبکه می‌گردد انتخاب ارزش‌های بسیار بالا برای آن نتایج ضعیفی به دست می‌آید. بنابراین در این تحقیق ارزش سرعت یادگیری بین ۰/۱ تا ۰/۲ انتخاب شد.

گشتاور این پارامتر منجر به کاهش نوسانات می‌شود همچنین به فرآیند همپوشانی داده‌های آموزشی و آزمایشی سرعت می‌بخشد. بر اساس مطالعات قبلی انجام شده توسط محققان، شبکه‌هایی با مقادیر ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۹ برای گشتاور مورد آزمون قرار گرفت و مقدار ۰/۹ برای شبکه انتخاب گردید.

میزان خطای قابل قبول برای اجرای شبکه ۰/۰۱ در نظر گرفته شد. انتخاب خطای بسیار کوچک امکان همپوشانی نتایج را کاهش می‌دهد بنابراین باید میزان خطا را در سطح قابل قبولی برای شبکه تعریف نمود. بعد از پارامترهای مختلف و اجرای شبکه، نتایجی که از آموزش شبکه ایجاد می‌شود با نتایج دلخواه مقایسه می‌شوند اگر نتایج دارای صحت مناسب و

کاپا از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$\text{Kappa} = \frac{p_o - p_c}{1 - p_c} \times 100 \quad [4]$$

که در رابطه، p_o درستی مشاهده شده، توافق مورد انتظار. دقت تولیدکننده، احتمال این که یک پیکسل در تصویر کلاسه‌بندی در همان کلاس در روی زمین قرار بگیرد و دقت کاربر، احتمال این که یک کلاس مشخص در روی زمین در همان کلاس بر روی تصویر طبقه‌بندی شده قرار بگیرد است که از رابطه‌های ۵ و ۶ محاسبه می‌گردند.

$$P_A = \frac{t_a}{g_a} \times 100 \quad [5]$$

$$U_A = \frac{t_a}{n_1} \times 100 \quad [6]$$

در این رابطه؛ P_A درصد دقت کلاس a برای دقت تولیدکننده، t_a تعداد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به عنوان کلاس a ، g_a تعداد پیکسل‌های کلاس a در واقعیت زمینی، U_A درصد دقت کلاس a برای دقت کاربر، n_1 تعداد پیکسل‌های کلاس a در نتیجه طبقه‌بندی است.

مدلسازی تغییرات کاربری اراضی

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی ابزاری برای تجزیه و تحلیل‌های محیط‌زیست، برنامه‌ریزی و مدیریت ضروری است. مدل‌ساز تغییر زمین نرم‌افزاری برای ایجاد و توسعه پایدار بوم‌شناختی است که برای تشخیص مسئله مبرم و روبه افزایش تغییرات سرزمین و نیازهای تحلیلی حفظ تنوع زیستی طراحی و ساخته شده است و به صورت ابزار جانبی درون سامانه نرم‌افزار IDRISI وجود داشته همچنین به صورت افزونه برای نرم‌افزار ArcGIS نیز در دسترس است (۴). در این پژوهش از نرم‌افزار IDRISI استفاده شد همچنین نقشه‌های پوشش اراضی سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ به عنوان ورودی مدل LCM (land change modeler) برای بررسی و تحلیل تغییرات کاربری اراضی منطقه استفاده شد.

دارای مشخصه طیفی X است به کلاس w بر اساس رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$P(w_i|x) = \frac{p(w_i)p(x/w_i)}{p(x)} \quad [2]$$

که در این رابطه؛ $p(x)$ عبارت است از احتمال حضور کلاس w_i در تصویر، $p(w_i/x)$ احتمال تعلق هر پیکسل با مشخصه طیفی X به کلاس w_i و $p(w_i/x)$ احتمال تعلق پیکسل با مشخصه طیفی X که در تصویر ظاهر شده به کلاس w_i و $p(x)$ احتمال حضور پیکسل با مشخصه طیفی است می‌باشد. در این روش اگر برای یک پیکسل نامعلوم احتمال یک کلاس نسبت به بقیه کلاس‌ها بیشتر باشد آن پیکسل به آن کلاس تعلق دارد. بعد از ارزیابی احتمالات در هر کلاس، پیکسل‌ها به کلاس‌هایی که بیشترین احتمال را دارند اختصاص می‌یابند و اگر مقادیر احتمال پائین تر از حد آستانه معرفی شده باشند به عنوان پیکسل طبقه‌بندی نشده معرفی می‌شوند.

صحت طبقه‌بندی

لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از درستی و صحت آن است بعد از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نمونه‌های تعلیمی که در روند طبقه‌بندی دخالت داده نشده‌اند اقدام به ارزیابی صحت تصویر طبقه‌بندی شده می‌گردد. در تحقیق حاضر از ضرایب صحت کلی (Overall accuracy)، ضریب کاپا (Kappa coefficient)، استفاده گردید. دقت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها از رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$OA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{ij} \quad [3]$$

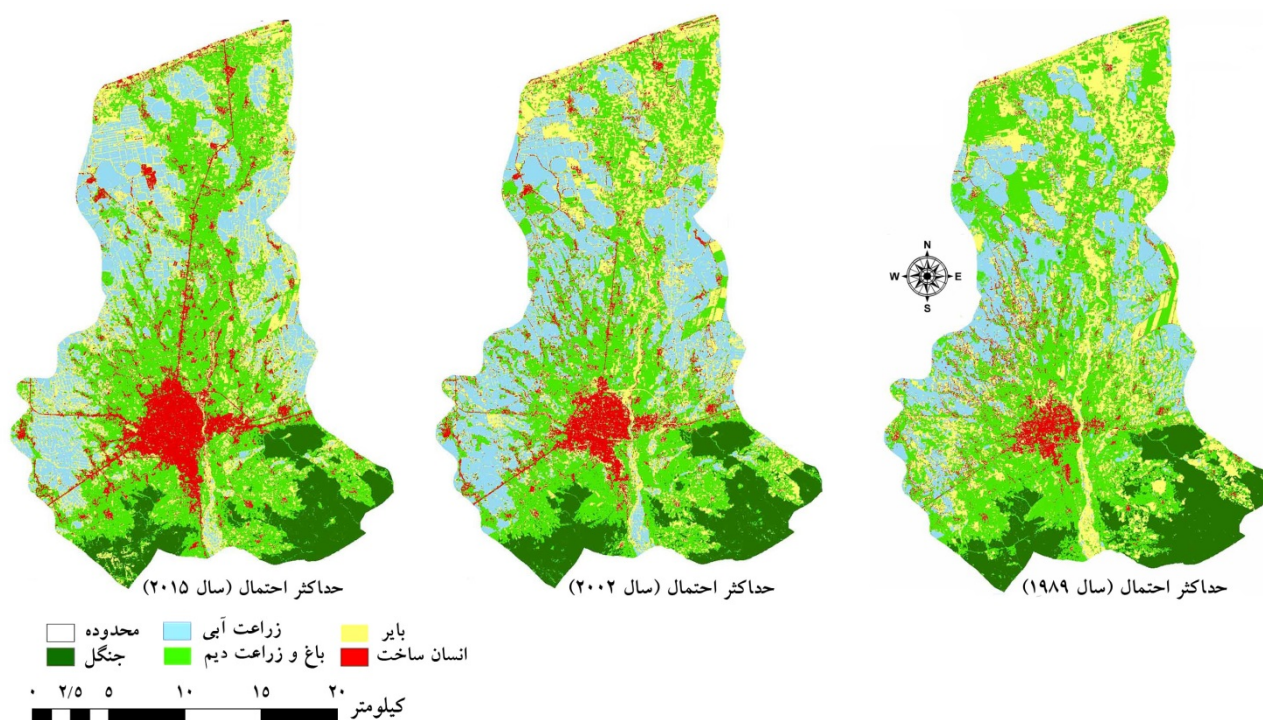
شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار می‌دهد. ضریب کاپا، صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی (حالی که یک تصویر کاملاً به صورت تصادفی طبقه‌بندی شده باشد) محاسبه می‌کند (۲۳). شاخص

نتایج

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

نتایج طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال در سال ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ نشان می‌دهد که در سال ۱۹۸۹ منطقه انسان‌ساخت به رنگ قرمز و مناطق جنگل و باغ و زراعی بیشتر منطقه را پوشانده است. طبقه‌بندی سال ۲۰۰۲ در مقایسه

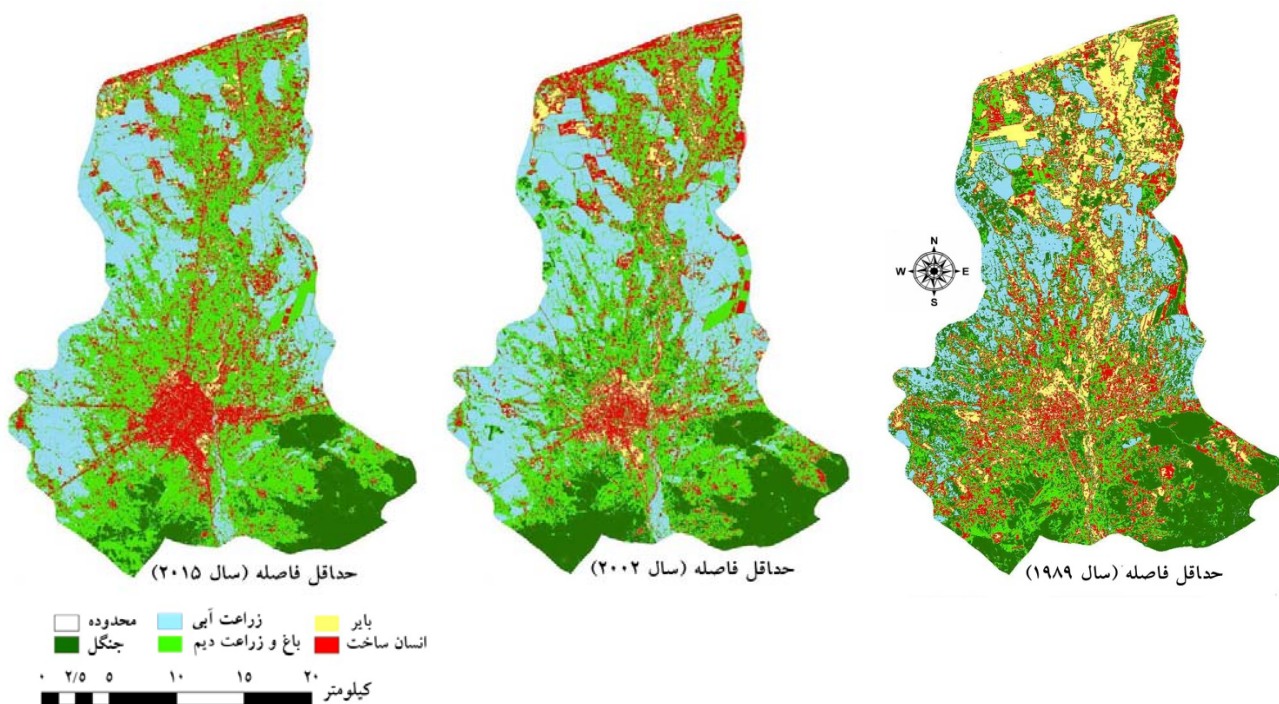
با سال ۱۹۸۹ مشخص می‌کند که مناطق انسان‌ساخت همچنان افزایش یافته است و علاوه بر لکه مرکزی لکه‌های دیگری نیز در حدود شبکه‌های راه‌ها افزایش یافته‌اند. در سال ۲۰۱۵ نیز این روند تغییر و افزایش مساحت از کاربری‌های دیگر به انسان‌ساخت را نشان می‌دهد (شکل ۳).



شکل ۳. نقشه طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال

داده است و همچنان روند افزایش این کاربری را نشان داده است. طبقه‌بندی سال ۲۰۱۵ به روش حداقل فاصله نیز روند افزایش مساحت کاربری انسان‌ساخت و کم شدن از سایر کاربری‌ها را نشان داده است و از طرفی به طبقه‌بندی به روش حداکثر احتمال شبیه شده است (شکل ۴).

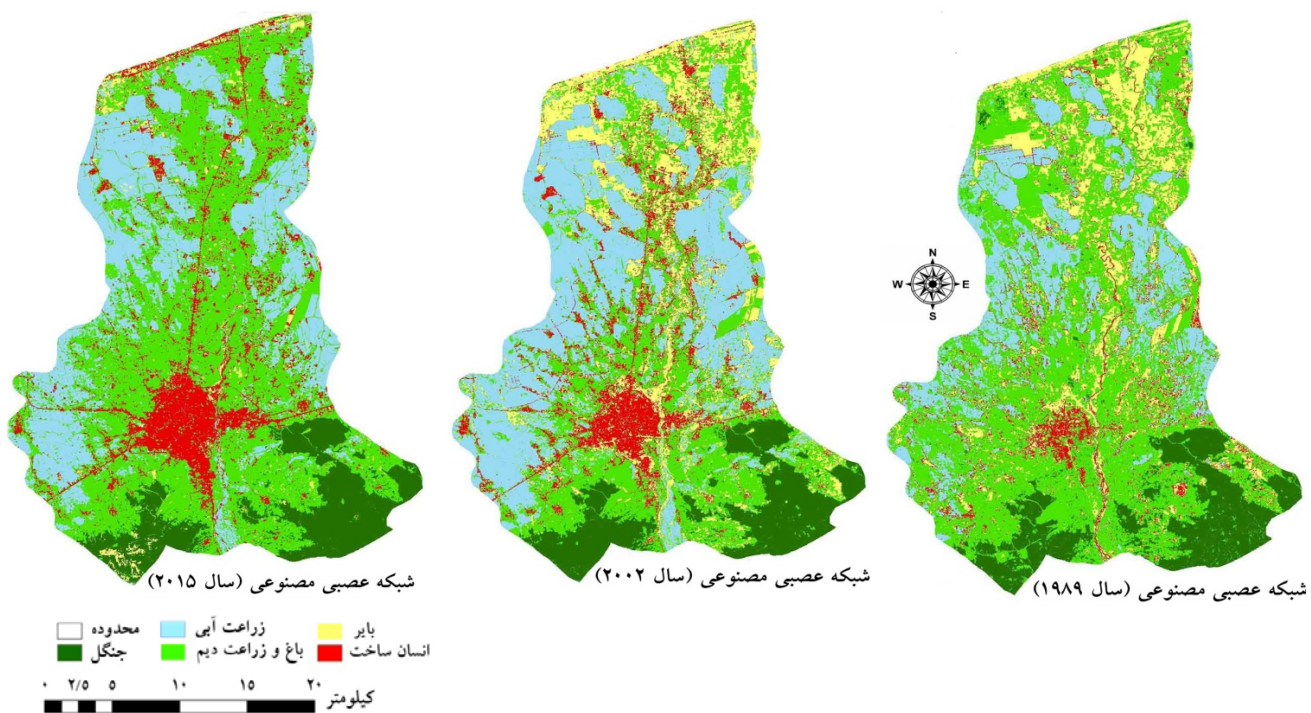
طبقه‌بندی سال ۱۹۸۹ به روش حداقل فاصله بافت متفاوتی با طبقه‌بندی همان سال و به روش حداکثر احتمال را نشان می‌دهد که حاکی از متفاوت بودن نتایج دو روش مختلف است. طبقه‌بندی سال ۲۰۰۲ به روش حداقل فاصله نسبت به سال ۱۹۸۹ مقداری کاربری انسان‌ساخت را متمرکزتر نشان



شکل ۴. نقشه طبقه‌بندی به روش حداقل فاصله

روش شبکه عصبی مصنوعی نیز مشابه روش‌های حداکثر احتمال و حداقل فاصله این روند افزایش و کاهش در کاربری‌ها را نشان داد (شکل ۵).

طبقه‌بندی سال ۲۰۰۲ به روش شبکه عصبی نیز مشابه روش قبلی روند افزایش مساحت کاربری انسان‌ساخت را نسبت به سال ۱۹۸۹ را نشان می‌دهد. طبقه‌بندی سال ۲۰۱۵ به



شکل ۵. نقشه طبقه‌بندی به روش شبکه عصبی مصنوعی

ارزیابی دقت کلی و ضریب کاپا

نتایج به دست آمده از ارزیابی صحت طبقه‌بندی‌ها نشان می‌دهد که روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال در مقایسه با طبقه‌بندی حداقل فاصله و شبکه عصبی مصنوعی نتیجه بهتری در برداشته است (جدول ۲). با توجه به بازدیدهای میدانی و شناختی که از منطقه وجود داشت، در حالت کلی روش حداکثر احتمال کاربری و پوشش اراضی تعیین شده شامل انسان‌ساخت، زراعت آبی، باغ، جنگل و بایر در سطح نقشه تفکیک کرد ولی در دو نقشه دیگر به خصوص نقشه حاصل از حداقل فاصله به صورت مطلوب و دقیق تفکیک نشدند. به طور مثال در نقشه‌های حاصل از روش حداقل فاصله طبقه انسان‌ساخت، بایر و باغ به خوبی تفکیک نشدند و مناطق انسان‌ساخت نیز در روش شبکه عصبی با جزئیات آشکار

نشاندند و در روش حداکثر احتمال صحت کلی و ضرایب کاپا برای نتایج به دست آمده در سال‌های مختلف تفکیک این طبقات مطلوب‌تر بود. هر در هر سه روش تفکیک طبقه زراعت آبی و جنگل به دلیل خصوصیات طیفی متفاوت، بهتر انجام شد. عملکرد بهتر روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال با نتایج ارزیابی صحت مطابقت داشته و این روش توانست با صحت کلی ۹۳/۶۷، ۹۱/۳۰ و ۹۳/۳۰ و ضریب کاپای ۰/۹۲، ۰/۸۹ و ۰/۹۱ به ترتیب در سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵، از نظر کمی نتیجه بهتری داشته باشد. در حالی که صحت طبقه بندی در روش حداقل فاصله و شبکه عصبی در سال‌های ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ در مقایسه با حداکثر احتمال خطا بیشتری داشت.

جدول ۲. نتایج صحت الگوریتم‌های حداکثر احتمال، شبکه عصبی و حداقل فاصله در طبقه‌بندی کاربری اراضی

الگوریتم‌های مورد استفاده	سال ۱۹۸۹		سال ۲۰۰۲		سال ۲۰۱۵	
	دقت کلی	ضریب کاپا	دقت کلی	ضریب کاپا	دقت کلی	ضریب کاپا
حداکثر احتمال	۹۳/۶۷	۰/۹۲	۹۱/۳۰	۰/۸۹	۹۳/۳۰	۰/۹۱
شبکه عصبی	۸۹/۵۱	۰/۸۷	۸۹/۶۸	۰/۸۷	۹۱/۹۴	۰/۹۰
حداقل فاصله	۷۲/۵۴	۰/۶۵	۶۸/۲۹	۰/۶۰	۷۹/۰۹	۰/۷۳

آشکارسازی تغییرات

پس از مقایسه و ارزیابی صحت طبقه‌بندی، روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال به عنوان بهترین روش، برای کشف تغییرات انتخاب شد. در جدول ۳ مساحت کاربری‌های مختلف طی دوره‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۵ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در این دوره بیشترین افزایش مساحت با مقدار ۶/۳۹ درصد مربوط به طبقه زراعت آبی بوده است که این افزایش برابر ۴۰۷۴ هکتار بوده است افزایش مساحت این طبقه در سال ۳۱۱/۳ هکتار است. بعد از این طبقه، طبقه انسان‌ساخت با مقدار افزایش ۳ درصد در جایگاه دوم قرار دارد این افزایش در طی این ۱۳ سال ۱۸۵۲/۳۹ هکتار بوده

است. طی این دوره کاربری باغ، بایر و جنگل به ترتیب با مساحت ۳۸۶۳/۵۲، ۱۵۳۲/۷۹ و ۵۰۲/۶۵ هکتار کاهش داشته‌اند. طی دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵ نیز بیشترین افزایش وسعت مرتبط به کاربری باغ به مقدار ۴/۳۲ درصد با مساحت ۲۷۳۶/۵۴ هکتار در منطقه بوده است. رشد طبقه انسان‌ساخت هم به عنوان دومین کاربری در حالی که افزایش معادل ۲/۷۸ درصد از منطقه بوده که برابر با ۱۷۶۲/۷۴ هکتار است. بیشترین کاهش کاربری طی این دوره مربوط به طبقه زراعت آبی به مقدار ۵/۴۸ درصد با مساحت ۳۴۷۱/۹۳ هکتار بوده است. همچنین کاربری جنگل و بایر به ترتیب با مساحت ۷۶۹/۲۳ و ۲۵۸/۳ هکتار کاهش داشته‌اند.

جدول ۳. مساحت و درصد مساحت طبقات کاربری اراضی

کاربری اراضی	سال ۱۹۸۹		سال ۲۰۰۲		سال ۲۰۱۵	
	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد	مساحت (هکتار)	درصد
انسان‌ساخت	۳۰۵۶/۱۳	۴/۸۳	۴۹۰۸/۵۱	۷/۷۶	۶۶۷۱/۲۵	۱۰/۵۴
بایر	۱۶۱۵۸/۳۳	۲۵/۵۵	۱۴۶۲۵/۵۴	۲۳/۱۲	۱۴۳۶۷/۲۴	۲۲/۷۱
باغ	۲۵۰۲۵/۴	۳۹/۵۵	۲۱۱۶۱/۸۸	۳۳/۴۵	۲۳۸۹۸/۴۲	۳۷/۷۷
زراعت آبی	۱۱۵۵۱/۰۵	۱۸/۲۶	۱۵۵۹۷/۸۱	۲۴/۶۵	۱۲۱۲۵/۸۸	۱۹/۱۷
جنگل	۷۴۷۳/۶	۱۱/۸۱	۶۹۷۰/۹۵	۱۱/۰۲	۶۲۰۱/۷۲	۹/۸۰

تغییرات و تبدیل کاربری اراضی

جنگل با مساحت ۰/۴۵ بوده است (جدول ۴). و در طول سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵ بیشترین تبدیل کاربری بایر به باغ با مساحت ۵۴۰۶/۰۳ هکتار بوده و همچنین کم‌ترین تبدیل کاربری، کاربری زراعت آبی به جنگل با مساحت ۰/۰۹۰ بوده است (جدول ۵).

نتایج تغییرات و تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر طی سال‌های مختلف نشان داد که بیشترین تبدیل کاربری‌ها طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲، کاربری باغ به بایر با مساحت ۶۲۶۸/۳۲ هکتار بوده همچنین کم‌ترین تبدیل کاربری، کاربری انسان‌ساخت به

جدول ۴. تغییرات و تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر برحسب هکتار در دوره ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۲

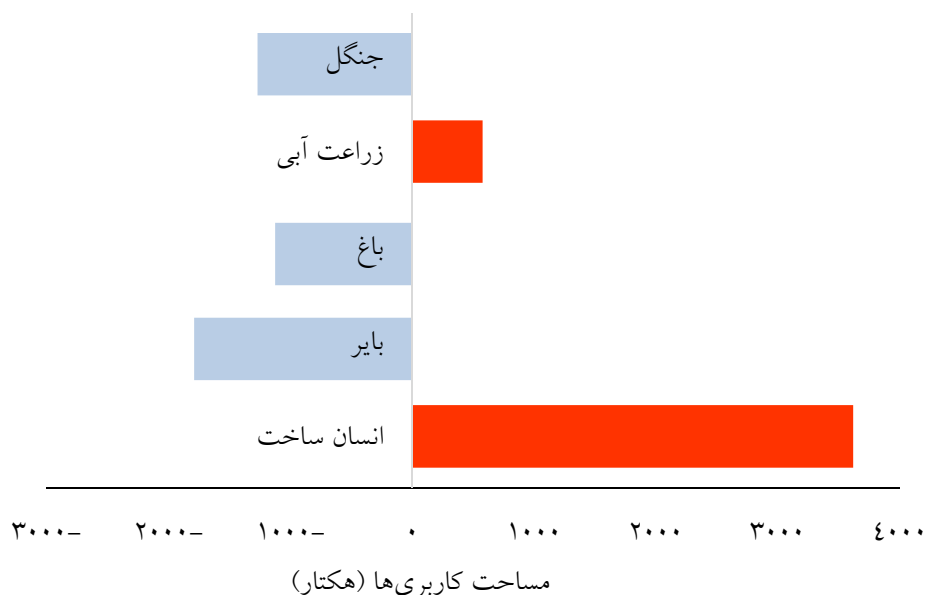
انسان‌ساخت	جنگل	زراعت آبی	بایر	باغ
۰/۴۵	انسان‌ساخت	۷/۴۷	بایر	۶۲۶۸/۳۲
۳۰۷/۰۸	زراعت آبی	۴/۸۶	بایر	۲۸۵۹/۶۶
۵۶۷/۷۲	باغ	۸۸۵/۲۴	انسان‌ساخت	۴۷۳/۹۴
۵۲۵/۹۶	بایر	۱۴۹/۸۵	جنگل	۱۸۴۵/۹۹

جدول ۵. تغییرات و تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر برحسب هکتار در دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵

انسان‌ساخت	جنگل	زراعت آبی	بایر	باغ
۰/۲۷	انسان‌ساخت	۲/۸۸	بایر	۳۲۹۵/۸۹
۱۶۳/۴۴	زراعت آبی	۱/۱۷	بایر	۱۱۲۶/۷۱
۷۹۲	باغ	۸۲۸/۳۶	انسان‌ساخت	۲۰۲/۴۱
۷۲۹/۹۹	بایر	۱۴۳/۲۸	جنگل	۱۴۰۹/۶۷

ولی مناطق بایر، باغ و جنگل به ترتیب ۱۷۹۱، ۱۱۲۷ و ۱۲۷۲ هکتار روند رو به کاهشی داشته‌اند (شکل ۶).

نتایج میزان تغییرات کاربری‌های مختلف طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۵ نشان می‌دهد که در مجموع مناطق انسان‌ساخت و زراعت آبی به ترتیب ۳۶۱۵ و ۵۷۵ هکتار افزایش داشته‌اند



شکل ۶. روند تغییرات سطح کلاس کاربری‌ها در دوره مطالعه (۱۹۸۹ تا ۲۰۱۵)

بحث و نتیجه‌گیری

داشتن آمار و اطلاعات به هنگام از کاربری‌های موجود لازمه مدیریت صحیح عرصه‌های طبیعی است یکی از منابع مدیریت منابع طبیعی، اطلاعات مربوط به تغییرات کاربری اراضی است (۱۴). در این تحقیق طبقه‌بندی تصویر منطقه مورد مطالعه جهت تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از سه روش حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی و حداقل فاصله در سال‌های مختلف انجام شد. پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای تصحیحات لازم و پردازش‌های اولیه بر روی تصاویر انجام شد به عبارت بهتر کیفیت تصاویر ماهواره‌ای از نظر وجود خطاهای هندسی و اتمسفری بررسی و تصحیح گردید. با استفاده از نمونه‌های تعلیمی جمع‌آوری شده از هر کاربری، تصویر با استفاده از سه روش اشاره شده طبقه‌بندی شدند سپس نتایج حاصل از طبقه‌بندی هر کدام از روش‌ها در سال‌های مختلف با نقشه واقعیت زمینی در محل نمونه‌ها به صورت پیکسل به پیکسل مقایسه گردید. در نهایت با استفاده از دقت کلی و شاخص کاپا، دقت نقشه‌های حاصل از الگوریتم حداقل فاصله، شبکه عصبی و حداکثر احتمال تعیین شد. پس از مقایسه و ارزیابی صحت طبقه‌بندی روش حداکثر احتمال

به‌عنوان بهترین روش برای بررسی و تحلیل تغییرات انتخاب شد. نتایج نشان داد که الگوریتم حداکثر احتمال نسبت به روش حداقل فاصله و شبکه عصبی در سه سال ۱۹۸۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۵ از صحت بالاتری برخوردار است. نتایج این پژوهش مشابه نتایجی است که برخی محققان در مناطق مختلف به آن دست یافتند. به‌طور مثال، مقایسه روش‌های متوازی‌السطوح، روش حداکثر احتمال و حداقل فاصله در مطالعه احمدپور و همکاران (۱) نشان می‌دهد که روش حداکثر احتمال دقت بیشتری نسبت به دو روش دیگر دارد که این نتایج در مقایسه با نتایج خود نشانگر بهتر بودن روش حداکثر احتمال نسبت به حداقل فاصله است. در مثالی دیگر بایر سایخان (۱۸) در مطالعه خود برای تهیه نقشه کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال استفاده کرد نتایج دقت این طبقه‌بندی با ضریب کاپای ۸۸ درصد و ۸۵ درصد در سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۰۰ بود که نتایج حاکی از آن است که روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال از دقت خوبی برخوردار است. همچنین در تحقیقی دیگر رضایی مقدم و همکاران (۷) سه روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان در تصاویر OLI را مقایسه کردند. نتایج نشان داد روش ماشین بردار پشتیبان با صحت ۹۲/۷ درصد نسبت به روش

۱۳۸۸. تهیه نقشه پوشش اراضی شهر اراک با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۱(۶۹): ۸۳-۹۸.
۳. اسلمی، ف.، ا. قربانی، ب. سبحانی و م. پناهنده. ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و شیء‌گرا در استخراج کاربری و پوشش اراضی از تصاویر لندست ۸. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۳): ۱-۱۴.
۴. آرخی، ص. ۱۳۹۳. پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM در محیط GIS (مطالعه موردی: منطقه سراپله). تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۱۲(۱): ۱-۱۹.
۵. آرخی، ص. ۱۳۹۳. تهیه نقشه کاربری اراضی دشت عباس ایلام با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال. نشریه مرتعداری، ۱(۲): ۳۰-۴۳.
۶. بلوچی، ب.، م. دهقانی و م. ر. نیکو. ۱۳۹۵. بررسی تغییر کاربری اراضی و اثرات احداث سد کرخه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش طبقه‌بندی بیشترین شباهت. مهندسی منابع آب، ۹(۲۸): ۱۹-۳۲.
۷. رضایی مقدم، م. ح.، ص. اندریانی، خ. ولیزاده کامران و ف. الماس‌پور. ۱۳۹۵. تعیین بهترین الگوریتم استخراج کاربری - پوشش اراضی و کشف تغییرات از تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه موردی: حوزه صوفی چای مراغه). فضای جغرافیایی، ۱۶(۵۵): ۶۵-۸۵.
۸. ریاحی بختیاری، ح. ر.، ع. ا. درویش‌صفت و م. زبیری. ۱۳۸۳. تعیین مناسب‌ترین روش تهیه نقشه‌های پوشش منابع طبیعی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در ناحیه دشت ارژن. مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور. ۱ اردیبهشت ماه.
۹. سفینیان، ع. ۱۳۸۸. بررسی تغییرات کاربری اراضی محدوده شهر اصفهان با استفاده از تکنیک آشکارسازی برداری تغییرات طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۷. علوم آب و خاک، ۱۳(۴۹): ۱۵۳-۱۶۴.
۱۰. علوی‌پناه، ک. ۱۳۸۵. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین. انتشارات دانشگاه تهران. ۴۳۷ صفحه.

شبکه عصبی با صحت ۸۹ درصد و روش حداکثر احتمال با صحت ۹۱/۸ مناسب‌ترین روش طبقه‌بندی است. همچنین این نتایج نشان‌دهنده بهتر بودن روش حداکثر احتمال نسبت به شبکه عصبی است که مشابه نتایج خود در این مقاله است. از طرف دیگر محققان روش‌های مختلف طبقه‌بندی را در مناطق دیگر مقایسه و موردبررسی قرار دادند که نتایج آن‌ها نشان‌دهنده بهتر بودن روش شبکه عصبی نسبت به روش حداکثر احتمال بود به‌عنوان مثال در احمدی ندوشن و همکاران (۲) صحت شبکه عصبی با اختلاف کمی نسبت به حداکثر احتمال بهتر بود.

همچنین سربوآستاوا و همکاران (۲۷) در مطالعه‌ای به مقایسه روش حداکثر احتمال، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی پرداختند نتایج این تحقیق نشان داد دقت شبکه عصبی از دو روش دیگر بهتر است که این نتایج در مقایسه با نتایج خود نشان می‌دهد که دقت روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شبکه عصبی در دو تحقیق فرق دارند؛ بنابراین این نتایج نشانگر وابستگی روش‌های مختلف طبقه‌بندی به شرایط منطقه و نوع تصاویر مورد استفاده بوده و همچنین ضرورت دارد مقایسه روش‌ها در مناطق مختلف مورد توجه و روش مناسب برای منطقه مورد نظر معرفی گردد. در آخر نتایج این پژوهش نشان داد که روش حداکثر احتمال با توجه به این‌که پایه آماری محکمی دارد نقش به‌سزایی در دقت بهتر طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای دارد؛ بنابراین می‌توان گفت روش حداکثر احتمال روشی مناسب برای تهیه نقشه پوشش و کاربری اراضی این منطقه به شمار می‌آید که قابلیت طبقه‌بندی با صحت بالا را دارد.

منابع مورداستفاده

۱. احمدپور، ا.، ک.، سلیمانی، م. شکری و ج. قربانی. ۱۳۹۰. مقایسه میزان کارایی سه روش رایج طبقه‌بندی نظارت شده داده‌های ماهواره‌ای در مطالعه پوشش گیاهی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۳): ۷۷-۸۹.
۲. احمدی ندوشن، م.، ع. ر. سفینیان و س. ج. خواجه‌الدین.

- Simly watershed, Islamabad, Pakistan. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18(2): 251-259.
20. Foody GM. 2000. Mapping land cover from remotely sensed data with a softened feedforward neural network classification. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 29(4): 433-449.
 21. Jensen JR. 2005. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 318 pp.
 22. Lu D, Li G, Moran E, Freitas C, Dutra L, Sant'Anna S. 2012. A comparison of maximum likelihood classifier and object-based method based on multiple sensor datasets for land-use/cover classification in the Brazilian Amazon. Proceedings of 4th Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA), Rio de Janeiro, Brazil. May 7-9.
 23. Mitsova D, Shuster W, Wang X. 2011. A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation. Landscape and Urban Planning, 99(2): 141-153.
 24. Roostaei S, Alavi S, Nikjoo M, Kamran KV. 2012. Evaluation of object-oriented and pixel based classification methods for extracting changes in urban area. International Journal of Geomatics and Geosciences, 2(3): 738-749.
 25. Saeidi S, Mohammadzadeh M, Salmanmahiny A, Mirkarimi SH. 2017. Performance evaluation of multiple methods for landscape aesthetic suitability mapping: A comparative study between Multi-Criteria Evaluation, Logistic Regression and Multi-Layer Perceptron neural network. Land Use Policy, 67: 1-12.
 26. Schulz JJ, Cayuela L, Echeverria C, Salas J, Benayas JMR. 2010. Monitoring land cover change of the dryland forest landscape of Central Chile (1975-2008). Applied Geography, 30(3): 436-447.
 27. Srivastava PK, Han D, Rico-Ramirez MA, Bray M, Islam T. 2012. Selection of classification techniques for land use/land cover change investigation. Advances in Space Research, 50(9): 1250-1265.
 28. Yang X. 2011. Parameterizing support vector machines for land cover classification. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 77(1): 27-37.
 ۱۱. علی محمدی، ع.، ع. ا. متکان، پ. ضیائیان و ه. طباطبایی. ۱۳۸۸. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه، شی‌پایه و درخت تصمیم در تهیه نقشه تیپ‌های جنگل با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: جنگل آستارا). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۰(۱۳): ۷-۲۶.
 ۱۲. مختاری، م. ح و ا. نجفی. ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج کاربری‌های اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM. نشریه علوم آب و خاک، ۱۹(۷۲): ۳۵-۴۴.
 ۱۳. مظاهری، م. ر.، م. اسفندیاری، م. ح. مسیح‌آبادی و ا. کمالی. ۱۳۹۲. پایش تغییرات زمانی کاربری اراضی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: جیرفت، استان کرمان). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۴(۲): ۲۵-۳۹.
 ۱۴. معبودی، م. ت. و ه. حکیمی. ۱۳۹۴. تحلیلی بر تغییرات کاربری اراضی و شبیه‌سازی گسترش شهری شهرهای میانه‌اندام (مطالعه موردی: شهر خوی). پژوهش‌های جغرافیایی برنامه‌ریزی شهری، ۳(۲): ۲۱۱-۲۲۶.
 ۱۵. مکرونی، س.، غ. ر. سبزیبایی، ش. یوسفی خانقاه و س. سلطانیان. ۱۳۹۵. آشکارسازی روند تغییرات کاربری اراضی تالاب هورالعظیم با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۳): ۸۹-۹۹.
 ۱۶. ممبینی، م.، م. آسیایی و ع. کرمشاهی. ۱۳۹۲. مقایسه روش حداکثر احتمال و فازی در تهیه نقشه کاربری/ پوشش اراضی جنوب خوزستان با استفاده از تصاویر لندست. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۴(۲): ۶۹-۸۰.
 ۱۷. نظری سامانی، ع. ا.، م. قربانی و ح. ر. کوهبانی. ۱۳۸۹. ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز طالقان در دوره ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۰. مرتع، ۴(۳): ۴۴۲-۴۵۱.
 18. Bayarsaikhan U, Boldgiv B, Kim K-R, Park K-A, Lee D. 2009. Change detection and classification of land cover at Hustai National Park in Mongolia. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 11(4): 273-280.
 19. Butt A, Shabbir R, Ahmad SS, Aziz N. 2015. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of



Comparing the accuracy of time series classification of Landsat images in monitoring land use change

A. Azimi Najarkolaei ¹, A. A. Jamali ^{2*}, S. Z. A. Hosseini ³

1. MSc. Graduated of Remote Sensing & GIS, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

2. Assoc. Prof. College of Agriculture & Natural Resources, Meybod Branch, Islamic Azad University, Meybod, Iran

3. Assis. Prof. College of Natural Resources & Desert Studies, Yazd University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 August 2016

Accepted 18 July 2017

Available online 23 August 2017

Keywords:

Remote sensing

land use change

Neural network

Minimum distance

Maximum likelihood

Sari

ABSTRACT

In this research, artificial neural network, maximum likelihood and minimum distance classification methods for analysis of land use changes, during 1989 to 2015, were evaluated and compared images from three Landsat satellite sensors in Sari. After geometric and atmospheric corrections, images of 1989, 2002, and 2015 were categorized under three artificial neural network algorithms, maximum likelihood and minimum distance in five land use classes. After assessing the accuracy of the methods, the Kappa coefficients were calculated for maximum likelihood, artificial neural network and minimum distance of 1989 were 92%, 87% and 65% in 2002, were 89%, 87% and 60%, and in 2015 were 91% %, 90% and 73%, respectively. These coefficients indicate the superiority of the maximum likelihood method in comparison with the other two methods in 1989. Also, the results of land use change over the whole period of the survey (from 1989 to 2015), showed that the areas of residential and irrigated lands were increased by 3615 and 575 hectares, but bare lands, gardens and forests were decreased to 1791, 1127 and 1272 hectares, respectively. According to the results, the two methods of maximum likelihood and neural network were more suitable for land use classification. The maximum likelihood method was better than the neural network method with a difference of 5% in 1989 and 2% in 2002 and 1% in 2015 in the Kappa coefficient.

* Corresponding author e-mail address: jamaliaa@maybodiau.ac.ir