

بررسی قابلیت داده‌های سنجنده Liss III به منظور تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: جنگل‌های مریوان)

عبدالرسول بزرافکن^۱، مهتاب پیرباوقار^{۲*} و پرویز فتحی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان
^۲ استادیار گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی و مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی دانشگاه کردستان
^۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۳۰)

چکیده

تحقیق حاضر با هدف بررسی قابلیت داده‌های سنجنده Liss III ماهواره IRS-P6 و مقایسه طبقه‌بندی‌کننده‌های معمول و روش شبکه عصبی مصنوعی در تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل در شهرستان مریوان استان کردستان انجام گرفت. تصحیح هندسی داده‌ها با خطای RMSE کمتر از یک پیکسل (۰/۰۵۱) صورت گرفت. از شاخص‌های گیاهی مختلف و مؤلفه‌های حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی در این تحقیق استفاده شد. نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای از طریق روش تصادفی سیستماتیک با شبکه‌ای به ابعاد ۲۵۰×۴۰۰ متر و با سطح قطعات نمونه ۵۰×۵۰ متر تهیه شد. مجموعه باندهای مناسب برای طبقه‌بندی به کمک نمونه‌های تعلیمی و با استفاده از شاخص واگرایی تبدیل شده انتخاب شد. طبقه‌بندی داده‌ها به روش نظارت شده و با استفاده از خوارزمی‌های متوازی‌السطوح، حداقل فاصله از میانگین، حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی در ابتدا با چهار طبقه تراکمی تاج پوشش (خیلی تنک، تنک، نیمه‌انبوه و انبوه) انجام گرفت و صحت آن با نقشه واقعیت زمینی، ارزیابی شد. به دلیل تفکیک پذیری کم بین دو طبقه خیلی تنک و تنک، این دو طبقه ادغام شدند. در نهایت طبقه‌بندی با سه طبقه تراکمی تاج پوشش (تنک، نیمه‌انبوه و انبوه) انجام گرفت و بیشترین صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب معادل ۷۸/۴۷ درصد و ۰/۶۶ با روش حداکثر احتمال به دست آمد. نتایج نشان دهنده قابلیت به نسبت مناسب داده‌های سنجنده Liss III ماهواره IRS-P6 نسبت به تصاویر ماهواره‌های Landsat و Aster به کار رفته در تحقیقات پیشین در مناطق مشابه است.

واژه‌های کلیدی: سنجنده Liss III، شاخص‌های گیاهی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، طبقه‌بندی، نقشه تراکم تاج پوشش.

مقدمه و هدف

به دلیل اهمیت زیاد جنگل‌های زاگرس در ایران، به‌ویژه از نظر حفاظت آب، خاک و تنوع زیستی، مدیریت بهینه آنها ضرورت پیدا می‌کند. بوم‌نظام این جنگل‌ها در اثر بهره‌برداری‌های بی‌رویه در سالیان گذشته حساس و شکننده شده است و از نظر تراکم تاج‌پوشش در وضعیت مطلوبی نیست. بنابراین آگاهی از وضعیت تراکم تاج‌پوشش به‌عنوان یکی از مشخصه‌های کمی در این جنگل‌ها برای حفظ، احیا و گسترش آنها اهمیت دارد (احمدی‌ثانی و همکاران، ۱۳۸۷). از این‌رو دسترسی به آمار و اطلاعات به‌هنگام در این جنگل‌ها به‌منظور مدیریت و برنامه‌ریزی آنها ضروری به‌نظر می‌رسد.

تاج‌پوشش یکی از متغیرهای مهم و مؤثر در زمینه جنگلداری، جنگل‌شناسی و مطالعات اکولوژیکی محسوب می‌شود. زیرا بیشتر بودن تاج‌پوشش بیشتر باشد، نشانه فراهم بودن شرایط لازم برای رشد و نمو پوشش گیاهی است و اگر بر این اساس جنگل را طبقه‌بندی کنیم بهتر می‌توانیم به نقش آن پی ببریم (فتاحی و همکاران، ۱۳۷۹). از آنجاکه استفاده از روش‌های زمینی معمول برای برآورد تراکم تاج‌پوشش جنگل با توجه به پستی و بلندی جنگل‌های زاگرس دشوار، وقتگیر و پرهزینه است، استفاده از روش‌های سنجش از دوری برای این کار می‌تواند بهتر باشد. استفاده از داده‌های سنجش از دور، برای تهیه نقشه تراکم جنگل هم به صرفه‌تر و هم سریع‌تر است.

داده‌های ماهواره‌ای به دلیل ویژگی‌های خاص خود از جمله سطح پوشش وسیع و قابلیت تکرار و به‌هنگام شدن مداوم می‌توانند در تهیه نقشه‌های پوشش اراضی و مدیریت منابع جنگلی زاگرس تأثیرگذار خواهند بود. مطالعات مختلفی به‌منظور تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش با استفاده از داده‌های سنجش از دور در شرایط مختلف رویشگاهی صورت گرفته است. ناصری و همکاران (۱۳۸۳) تهیه نقشه تراکم جنگل را در نواحی خشک و نیمه‌خشک با استفاده از داده‌های

لندست ۷ در بخش جنگلی پارک خبر استان کرمان ارزیابی کردند. آنها در طبقه‌بندی سه طبقه‌ای، بیشترین صحت کلی و ضریب کاپا مربوط به طبقه‌بندی‌کننده حداقل فاصله از میانگین با مجموعه سه باند، به ترتیب معادل ۴۷/۱۱ درصد و ۰/۲۱ و در طبقه‌بندی دوطبقه‌ای بیشترین صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب معادل ۶۶/۱۵ درصد و ۰/۳ مربوط به طبقه‌بندی‌کننده حداقل فاصله از میانگین با مجموعه پنج باند به‌دست آوردند. احمدی‌ثانی و همکاران (۱۳۸۷) نقشه تراکم جنگل‌های مریوان را با استفاده از تصاویر ASTER با صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب معادل ۶۵/۵ درصد و ۰/۴۸ در طبقه‌بندی چهار طبقه‌ای و ۶۸/۵ درصد و ۰/۵۱ در طبقه‌بندی سه طبقه‌ای با طبقه‌بندی‌کننده حداکثر احتمال و با مجموعه شش‌بندی تهیه کردند.

نورالدینی و همکاران (۱۳۹۰) در جنگل‌های تاف لرستان به طبقه‌بندی تاج‌پوشش جنگل بر روی عکس‌های هوایی با استفاده از تجزیه و تحلیل بافتی پرداختند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۸۵ درصد و ۰/۸ در طبقه‌بندی تصاویر حاصل از تجزیه و تحلیل بافتی در مقایسه با دیگر روش‌های به‌کاررفته در این تحقیق بهتر عمل می‌کنند.

دولتی و همکاران (۱۳۸۷) با بررسی توانایی داده‌های ماهواره‌ای ETM+ و IRS در طبقه‌بندی تراکم جنگل‌های دست‌کاشت تاغ استان قم، به صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب معادل ۶۶/۶۷ درصد و ۰/۵۴ با الگوریتم حداکثر احتمال در طبقه‌بندی چهار طبقه‌ای و ۷۶/۰۳ درصد و ۰/۶۲ با الگوریتم حداقل فاصله از میانگین در طبقه‌بندی سه طبقه‌ای با تصاویر IRS دست پیدا کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS به همراه تصاویر ETM+ مناسب به‌نظر می‌رسد. پرما و شتایی (۱۳۸۹ الف) با استفاده از تصاویر سنجنده LISSIII-IRS-P6، نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های

طبقه‌بندی جنگل‌های بلوط جنوب پرتغال با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، رابطه رگرسیونی بین داده‌های حاصل از آماربرداری و انعکاس طیفی تصاویر را بررسی کردند. پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که بهترین معادله خطی بین باندهای ۳، ۴، ۵ و ۷ ($R^2=0.75$) با داده‌های حاصل از آماربرداری وجود دارد و برای تشخیص تاج‌پوشش متوسط یا کم‌درخت در این مناطق باید از داده‌های با قدرت تفکیک مکانی زیاد و متوسط استفاده شود.

استفاده از شبکه‌های عصبی در طبقه‌بندی داده‌های سنجنده از دور در سال‌های اخیر مورد توجه فراوان قرار گرفته است. مطالعات زیادی بیانگر برتری این روش بر روش‌های معمول طبقه‌بندی در سنجنده از دور است (Mas and Flores, 2008)، اما اظهار نظر درباره برتری مطلق این روش بر سایر روش‌های متداول به مطالعات عمیق‌تری نیاز دارد (Wilkinson, 2005).

امیری و همکاران (۱۳۸۶) با مقایسه سه روش طبقه‌بندی فازی، شبکه عصبی و حداقل فاصله در تصاویر ماهواره‌ای با سه طبقه پوشش گیاهی، منطقه شهری و آب به این نتیجه رسیدند که دقت طبقه‌بندی روش شبکه عصبی در مقایسه با دو روش دیگر در منطقه تحقیق بیشتر است. سلمان‌ماهینی و همکاران (۱۳۸۷) با ارزیابی میزان تغییرات پوشش درختی استان گلستان به روش طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های سنجنده TM و ETM+ ماهواره لندست، دریافتند که طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی، قابلیت زیادی برای تعیین پوشش درختی در استان گلستان دارد. قاسملو و همکاران (۱۳۸۷) تصاویر ماهواره‌ای بزرگ‌مقیاس (IKONOS) را با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی طبقه‌بندی کرده و با روش‌های حداکثر احتمال و حداقل فاصله از میانگین مقایسه کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که با طراحی یک شبکه عصبی مناسب می‌توان به یک دقت مناسب و بهتر از دو

قلاجه استان کرمانشاه را تهیه کردند و با الگوریتم حداکثر احتمال، صحت کلی و ضریب کاپا را به ترتیب معادل ۶۱ درصد و ۰/۳۲ برای چهار طبقه تراکمی و ۷۵ درصد و ۰/۴۶ برای دو طبقه تراکمی به دست آوردند.

رجب‌پور رحمتی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از تصاویر سنجنده SPOT5-HRG، نقشه انبوهی جنگل‌های دیلمان گیلان را در نهایت با سه طبقه انبوهی (۱ تا ۱۰، ۱۰ تا ۵۰ و ۵۰ تا ۱۰۰ درصد) و یک طبقه غیرجنگل تهیه و صحت کلی و ضریب کاپا را به ترتیب ۷۴ درصد و ۰/۳۳ با روش حداکثر احتمال به دست آوردند. شاه‌ولی کوه‌شور و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۷، نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های مریوان را با مدل FCD^۱ تهیه کردند و صحت کلی و ضریب کاپا را در طبقه‌بندی شش، چهار و سه طبقه به ترتیب معادل ۵۲ درصد، ۵۳/۲۹؛ ۵۳ درصد، ۰/۳۰ و ۶۲ درصد و ۰/۳۹ برآورد کرد. عبدالهی و همکاران (۱۳۸۹) نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های شهرستان جوانرود استان کرمانشاه را با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ و LISS-IV ماهواره IRS-P6 تهیه کردند و بیشترین صحت کلی و ضریب کاپا را در طبقه‌بندی چهار طبقه‌ای به ترتیب ۶۴/۵۴ درصد و ۰/۴۳ با ترکیب شش‌بندی منتخب و طبقه‌بندی‌کننده حداکثر احتمال و در طبقه‌بندی دو طبقه‌ای به ترتیب معادل ۷۹ درصد و ۰/۵۸ با ترکیب شش‌بندی منتخب و طبقه‌بندی‌کننده حداقل فاصله از میانگین با استفاده از داده‌های LISS-IV به دست آوردند.

Xu et al. (2003) با بررسی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای TM در برآورد تاج‌پوشش جنگل‌های بلوط کالیفرنیا، نتیجه گرفتند که با استفاده از باندهای قرمز، مادون قرمز و آبی می‌توان تاج‌پوشش جنگل را با صحت خوبی برآورد کرد. Joao et al. (2006)

¹ Forest Canopy Density mapper

جنگلی و آب در مقایسه با طبقه‌بندی حداکثر احتمال اندکی بهتر است، اما تفاوت معنی‌داری در طبقه‌بندی جنگل طبیعی همگن ندارند. (Joshi *et al.* (2006) با مقایسه عملکرد چهار روش شامل شبکه‌های عصبی مصنوعی، رگرسیون خطی چندگانه، مدل FCD و طبقه‌بندی حداکثر احتمال به منظور تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش، به این نتیجه رسیدند که روش FCD، بهترین عملکرد را دارد.

با توجه به پیشینه پژوهش و بهبود نتایج حاصل از طبقه‌بندی‌ها، در اکثر مطالعات، استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نسبت به طبقه‌بندی‌کننده‌های معمول، موجب بهبود نتیجه شده است.

بنابراین هدف از این تحقیق بررسی قابلیت تصاویر سنجنده Liss III در تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش و مقایسه روش‌های معمول طبقه‌بندی با روش شبکه عصبی مصنوعی در تهیه این نقشه است.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

منطقه تحقیق با مساحت ۱۵۰۰ هکتار در ۲۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان مریوان در جنگل‌های روستای گماره‌لنگ در استان کردستان (زاگرس شمالی) واقع شده است. مختصات جغرافیایی منطقه بر مبنای سامانه پروژکسیون UTM و شماره زون ۳۸، بین طول‌های ۶۱۹۹۱۰ و ۶۱۳۶۲۲ و عرض‌های ۳۹۳۵۵۵۴ و ۳۹۴۲۰۵۸ قرار دارد. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا به ترتیب ۱۱۰۰ و ۱۹۷۸ متر است.

میانگین تراکم تاج‌پوشش جنگل در این منطقه ۳۰ درصد و عنصر اصلی درختی این جنگل بلوط است که سه گونه از آن به نام‌های برودار (*Quercus brantii* Lindl.)، وی‌ول (*Q. libani* Oliv.) و مازودار (*Q. infectoria* Oliv.) در این جنگل وجود دارند که بیشتر شاخه‌زادند. گونه‌های همراه مانند گلابی وحشی (*Pyrus spp.*)،

روش دیگر دست پیدا کرد. قنبری و همکاران (۱۳۸۸) مشخصه تراکم درختان جنگل را با استفاده از آنالیز زمین (Terrain Analysis) و شبکه عصبی مصنوعی در جنگل شصت‌کلاته گرگان برآورد کرده و رابطه بین تعداد در هکتار جنگل و خصوصیات توپوگرافی را با استفاده از دو شبکه عصبی مصنوعی RBF و MLP تجزیه و تحلیل کردند. نتایج نشان‌دهنده توانایی شبکه عصبی در پیش‌بینی تعداد در هکتار بود و نیز نشان داد که این تکنیک می‌تواند ۶۵ درصد تغییرات تعداد در هکتار جنگل را با استفاده از خصوصیات توپوگرافی پیش‌بینی کند.

(Skidmore *et al.* (1997) با ارزیابی نقشه جنگل اکالیپتوس در استرالیا با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و GIS به این نتیجه رسیدند که روش شبکه عصبی مزایای معنی‌داری بیش از روش‌های طبقه‌بندی متداول برای نقشه‌برداری جنگل‌های اکالیپتوس از داده‌های لندست TM ارائه نمی‌دهد. (Abdelgadri *et al.* (1998) از شبکه‌های عصبی مصنوعی به روش فوروارد و معکوس برای مدل‌سازی تاج‌پوشش گیاهی استفاده کردند. نتایج مدل‌سازی نشان داد که شبکه‌های عصبی می‌توانند با دقت زیاد، تاج‌پوشش‌های گیاهی را مدل‌سازی کنند. (Fauzi *et al.* (2001) مقایسه‌ای بین روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال برای شناسایی مناطق بهره‌برداری شده در جنگل بارانی تروپیکال با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنش از دور در اندونزی انجام دادند. نتایج نشان داد که استفاده از طبقه‌بندی‌کننده شبکه‌های عصبی مصنوعی، سبب بهبود صحت نتایج طبقه‌بندی نسبت به طبقه‌بندی‌کننده حداکثر احتمال شد. (Sugumaran (2001) با استفاده از داده‌های سنجنده IRS LISS-III به مقایسه طبقه‌بندی پوشش جنگل با استفاده از روش‌های کاربردی آماری و شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداختند. نتایج نشان داد که عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در جداسازی مزارع

ماهواره‌ای با واقعیت زمینی، از یک تصویر زمین مرجع شده ماهواره Spot مربوط به منطقه تحقیق به عنوان مبنا استفاده شد. عمل تطابق هندسی تصاویر با استفاده از ۲۳ نقطه کنترل به روش غیرپارامتری با معادله درجه اول و با استفاده از تصویر صورت گرفت. عمل نمونه‌گیری مجدد با استفاده از روش نزدیک-ترین همسایه انجام گرفت. برای اطمینان از تصحیح هندسی و همچنین میزان خطای باقی‌مانده از روش روی هم‌گذاری لایه جاده‌های برداشت شده با GPS و همچنین لایه جاده‌ها و آبراهه‌های استخراج شده از نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه بر روی تصاویر استفاده شد.

تهیه نقشه واقعیت زمینی

برداشت نقشه واقعیت زمینی در تابستان ۱۳۹۰ انجام گرفت. در این تحقیق از روش نمونه‌برداری تصادفی سیستماتیک استفاده شد و یک شبکه آماربرداری با ابعاد 400×250 متر طراحی شد و مختصات مرکز قطعه نمونه‌ها وارد سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) شده و در عرصه پیاده شدند. قطعات نمونه به شکل مربع و با ابعاد 50×50 متر انتخاب شدند (سطحی معادل حدود 2×2 پیکسل). در مجموع ۱۴۲ قطعه نمونه آماربرداری شد. در هر قطعه نمونه اطلاعات نوع گونه، اندازه‌گیری قطر تاج در دو جهت و عمود بر شیب، قطر برابر سینه و مشخصات فیزیوگرافی قطعات نمونه مثل شیب، جهت، ارتفاع از سطح دریا در فرم‌های آماربرداری ثبت شد. با محاسبه درصد تاج پوشش در هر قطعه نمونه و سپس تعیین طبقات در چهار طبقه تراکمی خیلی تنک (۱۰-۱ درصد)، تنک (۲۵-۱۰ درصد)، نیمه‌انبوه (۵۰-۲۵ درصد) و انبوه (بیشتر از ۵۰ درصد) براساس تعریف شورای عالی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، نقشه واقعیت زمینی تهیه شد (شکل ۱).

بادام (*Amygdalus scoparia* Spach)، بنه (*Pistacia atlantica* Zohary, Rech.)، کاسنی (*Acer monspessulanum*) و زالزالک (*Crataegus spp.*) در این منطقه مشاهده می‌شود.

داده‌های استفاده شده

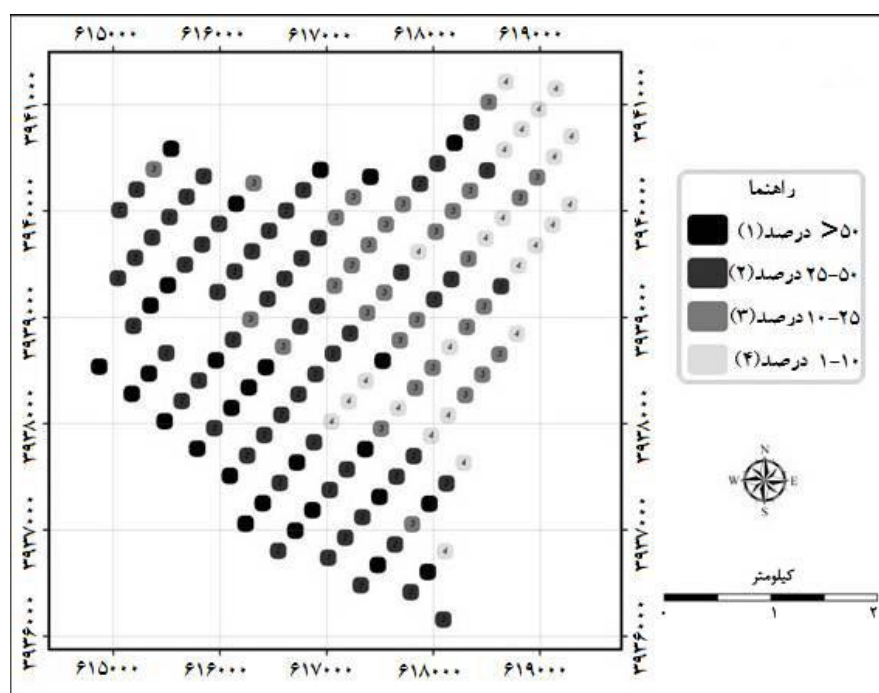
در این تحقیق از داده‌های سنجنده Liss III ماهواره IRS-P6 مربوط به هفت آگوست ۲۰۰۷ به صورت یک فریم کامل در چهار باند طیفی (تمام باندها) به ابعاد پیکسل $23/5$ متری استفاده شد. این تصاویر از بخش فنی و مهندسی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه شد. همچنین برای تصحیح هندسی تصاویر از تصاویر ماهواره اسپات مربوط به سال ۲۰۰۵ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متری که قبلاً توسط شرکت SpotImage در سطح ارتو تصحیح شده بودند، استفاده شد. به منظور تهیه نقشه واقعیت زمینی و اجرای عملیات میدانی و بررسی میزان صحت هندسی تصاویر ماهواره‌ای از نقشه توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ با سامانه پروژکسیون UTM زون ۳۸ شمالی و مبنای WGS84، استفاده شد.

روش تحقیق

بررسی کیفیت رادیومتری و هندسی داده‌های

ماهواره‌ای

با اینکه داده‌های ماهواره‌ای قبل از ارایه به کاربران در سطوح مختلفی از نظر هندسی و رادیومتری تصحیح می‌شوند، امکان باقی ماندن بعضی از خطاهای اولیه یا ایجاد خطاهای جدید، ناشی از فرایند تصحیحات اولیه هنوز وجود دارد. بنابراین تصاویر ماهواره‌ای به صورت تک‌باند و ترکیب‌های رنگی مختلف و بزرگنمایی تصویر بر روی صفحه نمایش رایانه از نظر وجود خطاهای هندسی و رادیومتری بررسی شدند. بررسی کیفیت داده‌ها حاکی از وجود خطای هندسی و عدم تطابق با مرجع بود. به منظور رفع خطای هندسی و هم‌مرجع‌سازی تصاویر



شکل ۱- نقشه واقعیت زمینی نمونه‌های طبقات تراکمی تاج‌پوشش

گرفته شد.

همچنین از تجزیه مؤلفه‌های اصلی^۱ با استفاده از روش استاندارد به‌منظور فشرده‌سازی اطلاعات و حذف اطلاعات تکراری استفاده شد و بدین منظور از مؤلفه‌های اول و دوم حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی به روش استاندارد در تحلیل‌های بعدی استفاده شد (جدول ۱).

– طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای و برآورد صحت

نتایج

برای طبقه‌بندی نظارت‌شده، ابتدا ۲۵ درصد قطعات نمونه، به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی در نظر گرفته شدند. نمونه‌های تعلیمی از لحاظ تفکیک‌پذیری کمی و کیفی طبقات ارزیابی شدند و سعی شد نمونه‌هایی انتخاب شوند که حداقل همپوشانی را داشته و با توجه به معیار واگرایی تبدیل‌شده^۲ دارای بهترین تفکیک‌پذیری باشند. با

بهبود و بازسازی داده‌های ماهواره‌ای

به‌منظور آشکارسازی و تشدید تفاوت انعکاس طیفی بین پدیده‌ها و نیز کاهش اثر توپوگرافی و بازتاب خاک بر تابندگی طیفی آنها در این منطقه کوهستانی از نسبت‌گیری‌های مختلفی استفاده شد. برای به‌دست آوردن مشخصه‌های خط خاک (شیب و ضریب ثابت) و قرار دادن آنها در برخی از شاخص‌ها به‌صورت زیر عمل شد:

در عملیات میدانی پلات‌هایی که خالی از پوشش گیاهی و فقط شامل خاک لخت بودند، برداشت شدند. برازش خطی بین ارزش‌های عددی (DN) باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک انجام گرفت. مشخصه‌های خط خاک (شیب و ضریب ثابت) به‌دست‌آمده از این برازش‌ها در محاسبات شاخص‌ها به‌کارگرفته شدند. برای شاخص‌های PVI 2، PVI 3، TSAVI 1 و TSAVI 2 باند قرمز به‌عنوان متغیر مستقل و برای شاخص‌های PVI 1، DVI، WDVI و MS-AVI 1 باند مادون قرمز نزدیک به‌عنوان متغیر مستقل در نظر

¹ Principle Component Analysis

² Transformed divergence

استفاده از پارامترهای آماری استخراج شده از و معیار واگرایی تبدیل شده، بهترین ترکیب باندی نمونه‌های تعلیمی و با توجه به همبستگی بین باندها انتخاب شد (جدول‌های ۲ و ۳).

جدول ۱- باندهای مصنوعی ایجاد شده

نوع پردازش	باندهای مصنوعی ایجاد شده
نسبت‌گیری‌های طیفی	SR, NDVI, RVI, NRVI, TVI, CTVI, TTVI, PVI, PVI 1, PVI 2, PVI 3, DVI, SAVI, TSAVI 1, TSAVI 2, MSAVI 1, MSAVI 2, WDV, SS, SDg, CD, Bright, IR index, MSI
تجزیه مؤلفه‌های اصلی	PCA 1, PCA 2

جدول ۲- بهترین مجموعه باندی انتخاب شده برای طبقه‌بندی با طبقه‌بندی کننده‌های متوازی‌السطوح، حداقل فاصله از میانگین و حداکثر احتمال

نوع ترکیب باندی	باندها
۷ باندی	b3** و CTVI و bright و PVI و NDVI و MSAVI 1 و b5*
*: باند مادون قرمز میانی	** : باند قرمز

جدول ۳- بهترین ترکیب باندی انتخاب شده برای طبقه‌بندی با شبکه عصبی

تعداد طبقه	نوع ترکیب باندی
۴	b2 ¹ , b3, b4 ¹ , b5, NDVI, PVI, TSAVI 1, DVI, WDV, SR, MSAVI 1, TVI
۳	b2, b3, b4, b5, TSAVI 2, NDVI, PCA1 ³ , TTVI, PVI, WDV, RVI, SAVI, DVI

۱: باند سبز ۲: باند مادون قرمز نزدیک ۳: اولین مؤلفه حاصل از PCA

تشکیل شده است (Carvajal et al., 2006). یک شبکه عصبی مصنوعی در حالت کلی سه لایه دارد: لایه ورودی، میانی (پنهان)، خروجی. لایه ورودی، اطلاعات را از محیط دریافت می‌کند و به لایه میانی انتقال می‌دهد. هر نورون واقع شده در لایه ورودی با تمام نورون‌ها در لایه میانی مرتبط است، به طوری که عملکرد پردازش اطلاعات همزمان صورت می‌گیرد. لایه میانی با لایه خروجی نیز ارتباط دارد. لایه میانی، لایه‌ای است که تحلیل‌های واقعی اطلاعات را از محیط به شبکه ارائه می‌دهد. لایه خروجی این تحلیل را دریافت می‌کند و آن را به یک تفسیر معنی‌دار تبدیل کرده و پس از محاسبه به محیط برمی‌گرداند (منهاج، ۱۳۷۹). لایه میانی یا لایه پنهان اصلی‌ترین بخش پردازش شبکه عصبی است که می‌تواند شامل چند

سپس از طریق تفسیر بصری داده‌ها، بازدید میدانی و نقشه توپوگرافی مناطق جنگلی از مناطق غیر جنگلی تفکیک شدند. عملیات طبقه‌بندی به صورت نظارت شده برای چهار طبقه تراکمی تاج پوشش (خیلی تنک، تنک، نیمه‌انبوه و انبوه) انجام گرفت.

طبقه‌بندی نظارت شده به روش معمول

در این روش از سه روش معمول طبقه‌بندی شامل متوازی‌السطوح، حداقل فاصله از میانگین و حداکثر احتمال استفاده شد.

طبقه‌بندی نظارت شده به روش شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌های ریاضی غیرخطی‌اند. هر شبکه عصبی از یک سری گره به هم پیوسته به نام نورون و ارتباطات وزن دار میان آنها

این تحقیق نیز از شبکه پرسپترون چندلایه با الگوریتم پس‌انتشار خطا و تابع انتقال سیگموئید استفاده شد. تعداد لایه‌های میانی و تعداد نورون‌های ورودی و میانی براساس آزمون و خطا برای طبقه‌های مختلف طبقه‌بندی تعیین شد. پس از مشخص کردن تعداد لایه‌های میانی و تعداد نورون‌ها، آموزش دادن شبکه با ۷۰ درصد داده‌ها صورت گرفت و چندین بار تکرار شد و در نهایت یک شبکه با بهترین مشخصات ذخیره و از آن برای طبقه‌بندی استفاده شد (جدول ۴).

لایه و نورون‌های متنوع باشد. به‌منظور طراحی و آموزش یک شبکه عصبی مصنوعی باید داده‌ها را به دو مجموعه مختلف به نام نمونه آموزشی و نمونه آزمایشی تقسیم کرد؛ زیرا استفاده از داده‌های آموزشی و آزمایشی برای طراحی شبکه ضروری است. طبق تحقیقات و نیز مرور مقالات مختلف در این زمینه، مشخص شد که شبکه پرسپترون با الگوریتم پس‌انتشار خطا کارایی زیادی در حل مسائل مربوط به سنجش از دور دارد و یکی از بهترین الگوریتم‌های آموزشی است (Mas and Flores, 2008). بنابراین در

جدول ۴- مشخصات بهترین ساختار شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی‌های مختلف

مشخصات شبکه	تعداد لایه میانی	تعداد نورون ورودی	تعداد نورون میانی	تعداد نورون خروجی
پنج طبقه	۱	۱۱	۱۲	۵
چهار طبقه	۲	۱۲	۲۵	۴
سه طبقه	۲	۱۳	۱۴	۳
دو طبقه	۲	۱۲	۱۴	۲

به این طبقه‌ها نیز با هم ادغام شدند و نقشه واقعیت زمینی به‌هنگام شد و عملیات طبقه‌بندی، فیلتر کردن و ارزیابی صحت دوباره انجام گرفت.

نتایج

عمل تطابق هندسی تصاویر سنجنده Liss-III با RMSE (خطای میانگین ریشه مربعات) برابر ۰/۰۵۱ انجام گرفت و تصاویر زمین مرجع شدند. انطباق کامل نقشه جاده‌های منطقه بر روی تصاویر بیانگر تطابق هندسی تصاویر بود.

بررسی نتایج نشان داد که در طبقه‌بندی چهارطبقه‌ای بهترین نتیجه با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده شبکه عصبی و با صحت کلی ۷۲/۸۸ درصد و ضریب کاپای معادل ۰/۶۳ با ترکیب دوازده بانندی ایجاد شد (جدول ۵ و شکل ۲).

پس از اجرای طبقه‌بندی با استفاده از روش‌های مختلف، برای بهبود نتایج به‌دست‌آمده و حذف پیکسل‌های منفرد، از فیلتر نما به ابعاد ۳×۳ پیکسل استفاده شد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی با نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای (۷۵ درصد باقی‌مانده از قطعات نمونه که از طریق عملیات میدانی برداشت شد) مقایسه و به‌صورت ماتریس خطا^۱ ارائه شد و معیارهای صحت کلی^۲، کاربر^۳ و تولیدکننده^۴ و ضریب کاپا^۵ محاسبه شدند (جدول ۵).

در گام بعد طبقاتی که براساس معیار واگرایی تبدیل شده، بیشترین همپوشانی و تداخل و کمترین تفکیک‌پذیری را داشتند با هم ادغام و به‌عنوان طبقه تنک در نظر گرفته شدند. نمونه‌های تعلیمی مربوط

¹ Error matrix

² Overall accuracy

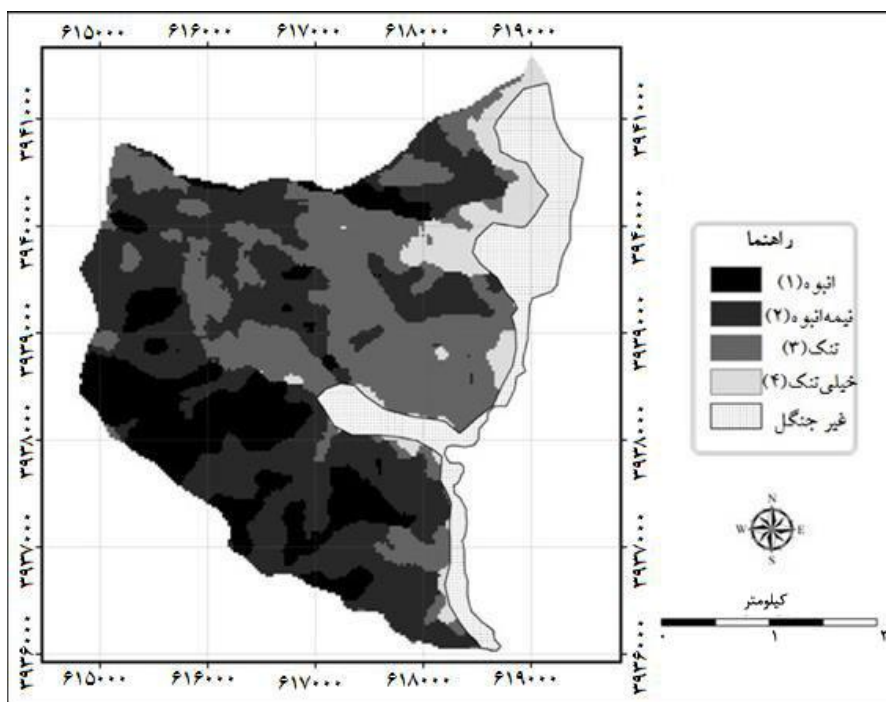
³ User's accuracy

⁴ Producer's accuracy

⁵ Kapa coefficient

جدول ۵- نتایج برآورد صحت حاصل از طبقه‌بندی در چهار طبقه پس از اعمال فیلتر با باندهای انتخابی

روش	متوازی‌السطوح (هفت باند انتخابی)		حداقل فاصله از میانگین (چهار باند انتخابی)		حداکثر احتمال (پنج باند انتخابی)		شبکه عصبی (دوازده باند انتخابی)	
طبقات پوششی	صحت تولیدکننده (%)	صحت کاربر	صحت تولیدکننده (%)	صحت کاربر	صحت تولیدکننده (%)	صحت کاربر	صحت تولیدکننده (%)	صحت کاربر
انبوه	۳۵/۷۱	۷۵	۸۹/۲۹	۴۶/۸۷	۷۰/۲۴	۷۵/۶۴	۷۱/۴۳	۶۸/۱۸
نیمه‌انبوه	۱۷/۶۱	۵۹/۶۲	۴۱/۴۸	۷۳	۸۶/۳۶	۶۵/۲۴	۶۷/۰۵	۷۹/۱۹
تنک	۱۱/۹۶	۹/۴۸	۳۶/۹۶	۵۶/۶۷	۳۱/۵۲	۷۰/۷۳	۸۳/۷	۶۲/۱
خیلی تنک	۸۱/۹۴	۲۹/۰۶	۷۵	۵۱/۹۲	۷۷/۷۸	۷۷/۷۸	۷۵	۸۵/۷۱
کلی	صحت کلی: ۳۰/۹ ضریب کاپا: ۰/۲۱		صحت کلی: ۵۵/۶۶ ضریب کاپا: ۰/۴۸		صحت کلی: ۶۹/۸۱ ضریب کاپا: ۰/۵۶		صحت کلی: ۷۲/۸۸ ضریب کاپا: ۰/۶۳	



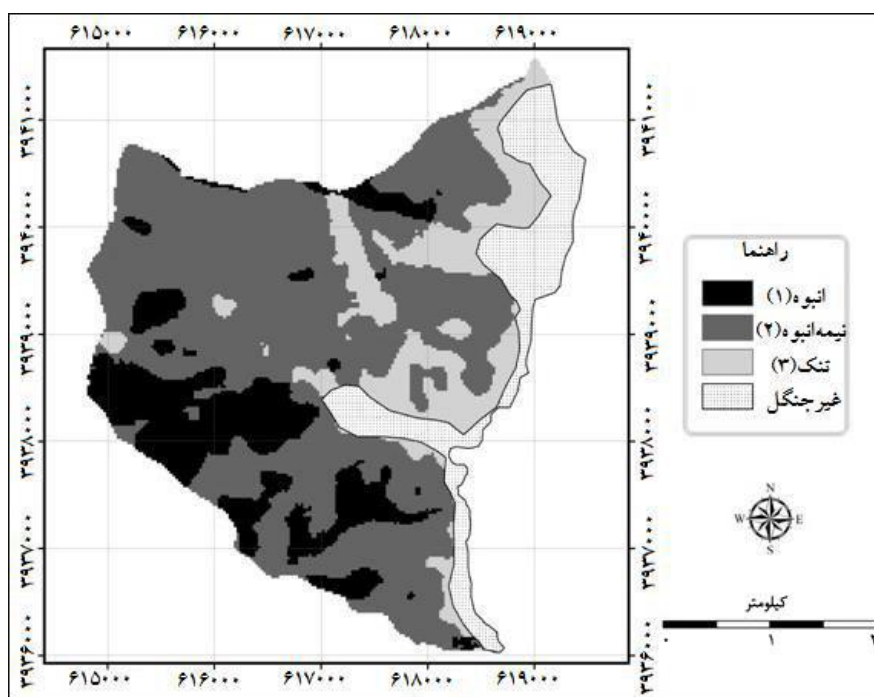
شکل ۲- نقشه طبقات تراکمی چهار طبقه با استفاده از طبقه‌بندی کننده شبکه عصبی مصنوعی

دارند.
در طبقه‌بندی سه طبقه‌ای بهترین نتیجه مربوط به طبقه‌بندی کننده حداکثر احتمال با صحت کلی ۷۸/۴۷ درصد و ضریب کاپا معادل ۰/۶۶ با ترکیب شش باندهای حاصل شد (جدول ۶ و شکل ۳).

با بررسی جدول‌های خطای مربوط به طبقه‌بندی و با توجه به نتیجه تفکیک‌پذیری کمی طبقه‌ها براساس معیار واگرایی تبدیل شده می‌توان نتیجه گرفت که طبقه‌های خیلی تنک و تنک بیشترین همپوشانی و تداخل و کمترین تفکیک‌پذیری را

جدول ۶- نتایج برآورد صحت حاصل از طبقه‌بندی در سه طبقه پس از اعمال فیلتر با باندهای انتخابی

روش	متوازی السطوح (هفت باند انتخابی)		حداقل فاصله از میانگین (چهار باند انتخابی)		حداکثر احتمال (هفت باند انتخابی)		شبکه عصبی (دوازده باند انتخابی)	
طبقات پوششی	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کاربر	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کاربر	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کاربر	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کاربر
انبوه	۲۵	۱۰۰	۸۵/۷۱	۶۴/۸۶	۶۴/۲۹	۸۱/۸۲	۶۷/۸۶	۷۱/۲۵
نیمه‌انبوه	۱۰	۵۰	۶۰	۹۰	۹۳/۳۳	۶۷/۴۷	۸۰/۱۱	۷۰/۸۵
تنک	۱۰۰	۴۷/۹۲	۸۹/۲۹	۷۴/۶۳	۶۹/۶۴	۱۰۰	۸۰/۴۹	۹۱/۰۳
کلی	صحت کلی: ۴۷/۲۹٪ ضریب کاپا: ۰/۱۶		صحت کلی: ۷۶/۳۹٪ ضریب کاپا: ۰/۶۴		صحت کلی: ۷۸/۴۷٪ ضریب کاپا: ۰/۶۶		صحت کلی: ۷۷/۸۳٪ ضریب کاپا: ۰/۶۵	



شکل ۳- نقشه طبقات تراکمی سه طبقه با استفاده از طبقه‌بندی کننده حداکثر احتمال

بحث

سریع‌تر است، استفاده از روش‌های سنجش از دور برای این امر می‌تواند بهتر باشد.

در مناطقی که پوشش گیاهی تنک است، تداخل بازتاب طیفی خاک و پوشش گیاهی به‌ویژه در جنگل‌های زاگرس به‌دلیل تراکم کم درختان و باز بودن تاج‌پوشش در بعضی مناطق، سبب شده که

از آنجا که استفاده از روش‌های زمینی معمول برای برآورد تراکم تاج‌پوشش جنگل با توجه به پستی و بلندی جنگل‌های زاگرس دشوار، وقتگیر و پرهزینه است و در مقابل استفاده از داده‌های سنجش از دور برای تهیه نقشه تراکم جنگل هم به‌صرفه‌تر و هم

شد. نتایج تحقیق حاضر در مقایسه با تحقیقات مشابه در جنگل‌های کوهستانی زاگرس (احمدی‌ثانی و همکاران، ۱۳۸۷؛ پرما و همکاران، ۱۳۸۹) (الف و ب)؛ شاه‌ولی کوه‌شور و همکاران، ۱۳۹۱ و عبدالمهدی و همکاران، ۱۳۸۹) از صحت بیشتری برخوردارند که دلیل این امر ممکن است شرایط محیطی متفاوت یا استفاده از نمونه‌های تعلیمی، شاخص‌های گیاهی و ترکیب باندی مناسب باشد.

با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که از طبقه‌بندی کننده شبکه عصبی به دلیل غیرخطی و غیر پارامتریک بودن می‌توان به‌عنوان طبقه‌بندی‌کننده‌ای مناسب برای تراکم تاج‌پوشش جنگل استفاده کرد. از دیگر مزیت‌های روش شبکه‌های عصبی این است که این طبقه‌بندی را می‌توان با تعداد کمتری نمونه تعلیمی نسبت به روش حداکثر احتمال انجام داد (Paola and Schowengerdt, 1995). نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داد که طبقه‌بندی‌کننده شبکه‌های عصبی از قابلیت زیادی در تعیین پوشش درختی (سلمان‌ماهینی و همکاران، ۱۳۸۷)، پیش‌بینی تعداد در هکتار (قنبری و همکاران، ۱۳۸۸) و مدلسازی انعکاس هدایتی تاج‌پوشش (Abdelgadri et al., 1998) برخوردار است.

هرچند در بیشتر تحقیقات ذکر شده (امیری و همکاران، ۱۳۸۶؛ قاسملو و همکاران، ۱۳۸۷؛ نورالدینی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Fauzi et al., 2001؛ Joshi et al., 2001؛ Sugumaran, 2001) روش شبکه عصبی مصنوعی دارای قابلیت بیشتری نسبت به دیگر روش‌های معمول طبقه‌بندی بود، در تحقیق حاضر روش شبکه عصبی مصنوعی نسبت به دیگر روش‌های معمول طبقه‌بندی به‌منظور تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش از نتایج خیلی بهتری برخوردار نبود. نتایج حاصل از مقایسه سه نوع طبقه‌بندی‌کننده متوازی‌السطوح، حداقل فاصله از میانگین و حداکثر احتمال نشان داد که در طبقه‌بندی تراکم تاج‌پوشش، طبقه‌بندی‌کننده حداکثر احتمال از کارایی و قابلیت

نمونه‌های تعلیمی طیفی طبقات همپوشانی داشته باشند و این امر سبب کاهش صحت کلی و ضریب کاپای نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی شده است (سارویی و همکاران، ۱۳۷۹). نتایج حاصل از ارزیابی طبقه‌بندی با نقشه واقعیت زمینی نشان داد که همپوشانی و تداخل طیفی زیاد و تفکیک‌پذیری کم بین بعضی طبقه‌ها موجب طبقه‌بندی غلط پیکسل‌ها و کاهش صحت طبقه‌بندی شد. بنابراین طبقه‌های خیلی تنک و تنک ادغام شدند و تعداد طبقه‌ها از چهار به سه تغییر یافت. در بسیاری از تحقیقات دیگر به دلیل تداخل طیفی، محققان ناگزیر از ادغام طبقه‌ها بوده‌اند (ناصری و همکاران، ۱۳۸۳؛ احمدی‌ثانی و همکاران، ۱۳۸۷؛ دولتی و همکاران، ۱۳۸۷؛ عبدالمهدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ پرما و همکاران، ۱۳۸۹) (الف)؛ رجب‌پور رحمتی، ۱۳۸۹، شاه‌ولی کوه‌شور و همکاران، ۱۳۹۱).

نتایج انتخاب بهترین ترکیب باندی نشان داد که شاخص‌های گیاهی اهمیت زیادی در شناسایی مشخصه‌های پوشش گیاهی از جمله تاج‌پوشش دارند. تحقیقات در دیگر مناطق نیز این موضوع را تأیید می‌کند (ناصری و همکاران، ۱۳۸۳؛ احمدی‌ثانی و همکاران، ۱۳۸۷؛ دولتی و همکاران، ۱۳۸۷؛ عبدالمهدی و همکاران، ۱۳۸۹ و پرما و همکاران، ۱۳۸۹) (الف و ب)). از این رو استفاده از باندهای مصنوعی به‌ویژه شاخص‌های گیاهی به همراه باندهای اصلی می‌تواند محققان را در تولید نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل با دقت بیشتر کمک کند.

در این تحقیق بیشترین میزان صحت کلی و ضریب کاپای به دست آمده از طبقه‌بندی تراکم تاج‌پوشش در حالت چهارطبقه مربوط به روش شبکه عصبی به ترتیب معادل ۷۲/۸۸ درصد و ۰/۶۳ است که نشان از دقت بیشتر این روش نسبت به روش‌های معمول دارد. در طبقه‌بندی سه طبقه‌ای بیشترین صحت کلی و ضریب کاپای مربوط به روش حداکثر احتمال به ترتیب معادل ۷۸/۴۷ درصد و ۰/۶۶ حاصل

منابع

- بیشتری نسبت به دیگر روش‌های طبقه‌بندی برخوردار است که این امر در پژوهش‌های احمدی‌ثانی و همکاران (۱۳۸۷)، پرما و همکاران (۱۳۸۹ الف) و رجب‌پور رحمتی و همکاران (۱۳۸۹) اثبات شده است. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که در طبقه‌بندی تراکم تاج‌پوشش، طبقه‌بندی‌کننده‌های شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال از کارایی و قابلیت بهتری نسبت به دیگر روش‌های طبقه‌بندی برخوردارند.
- نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی با استفاده از روش‌های مختلف، نشان داد که دقیق‌ترین نقشه تراکم جنگل، مربوط به طبقه‌بندی‌کننده حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی سه طبقه‌ای (تنک، نیمه‌انبوه و انبوه) با صحت کلی ۷۸/۴۷ درصد و ضریب کاپای معادل ۰/۶۶ در منطقه مورد تحقیق است. می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS در تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل مناسب به نظر می‌رسد که این امر در تحقیقات دولتی و همکاران (۱۳۸۷)، پرما و همکاران (۱۳۸۹ الف) و عبدالمهدی و همکاران (۱۳۸۹) نیز بیان شده است.
- در کل می‌توان نتیجه گرفت که با وجود قدرت تفکیک مکانی و رادیومتری کمتر سنجنده Liss III ماهواره IRS-P6 در مقایسه با ماهواره ASTER (احمدی‌ثانی و همکاران، ۱۳۸۷)، نتایج به‌نسبت مشابهی به‌دست آمد. یافته‌های این تحقیق در مقایسه با نتایج حاصل از استفاده تصاویر ماهواره لندست (پرما و شتایی، ۱۳۸۹ ب)؛ سارویی و همکاران، (۱۳۷۹) در مناطق مشابه نیز بهتر بود. بنابراین با وجود دسترسی آسان و قیمت مناسب تصاویر سنجنده Liss III ماهواره IRS-P6 در شرایط فعلی، استفاده از تصاویر آن برای کارهای اجرایی در طبقه‌بندی سه طبقه‌ای می‌تواند مناسب باشد.
- احمدی‌ثانی، ناصر، علی‌اصغر درویش‌صفت، محمود زبیری و علی فرزانه، ۱۳۸۷. بررسی قابلیت تصاویر ASTER جهت تهیه نقشه تراکم جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: جنگل‌های مریوان)، نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۶۱ (۳): ۶۰۳-۶۱۴.
- امیری، علی‌رضا، سید حسن چاوشی و جلال امینی، ۱۳۸۶. مقایسه سه روش طبقه‌بندی فازی، شبکه عصبی و کمترین فاصله در تصاویر ماهواره‌ای، در: مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک ۸۶، سازمان نقشه‌برداری کشور، ۹ ص.
- پرما، روح‌الله و شعبان شتایی، ۱۳۸۹ الف). تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش با استفاده از تصاویر سنجنده LISSIII-IRS-P6 (مطالعه موردی جنگل‌های قلاجه کرمانشاه)، در: مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک ۸۹، سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۰ ص.
- پرما، روح‌الله و شعبان شتایی، ۱۳۸۹ ب). بررسی امکان تهیه نقشه‌های تنوع و تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ (مطالعه موردی جنگل‌های قلاجه استان کرمانشاه)، مجله جنگل ایران، ۲ (۳): ۲۱۳-۲۴۱.
- دولتی، محمد، جعفر اولادی، اصغر فلاح و محمدمهدی فتاحی، ۱۳۸۷. طبقه‌بندی تراکم جنگل‌های دست‌کاشت تاغ با استفاده از داده‌های ETM+ و IRS (مطالعه موردی: جنگل کاری تاغ حسین‌آباد استان قم)، در: مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک ۸۷، سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۰ ص.
- رجب‌پور رحمتی، منیژه، علی‌اصغر درویش‌صفت و علی خلیل‌پور، ۱۳۸۹. بررسی قابلیت تصاویر سنجنده SPOT5-HRG در تهیه نقشه انبوهی جنگل‌های خزری (مطالعه موردی: جنگل‌های دیلمان گیلان)، فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۱۸ (۱): ۱۳۲-۱۴۲.

- منه‌اج، محمدباقر، ۱۳۷۹. مبانی شبکه‌های عصبی مصنوعی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۷۱۵ ص.
- ناصری، فرزین، علی‌اصغر درویش‌صفت، هوشنگ سبحانی، و منوچهر نمیرانیان، ۱۳۸۳. ارزیابی داده‌های لندست ۷ برای تهیه نقشه تراکم جنگل در نواحی خشک و نیمه-خشک، نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب، ۵۷ (۱): ۱۰۹-۱۱۹.
- نورالدینی، سید احمدرضا، امیراسلام بنیاد و فرخ پورشکوری، ۱۳۹۰. طبقه بندی تاج‌پوشش جنگل بر روی عکس‌های هوایی با استفاده از تجزیه‌وتحلیل بافتی (مطالعه موردی: جنگل تاف لرستان)، مجله سنجش از دور و GIS ایران، ۳ (۴): ۳۳-۴۶.
- Abdelgadri, A., S. Gopal, and A.H. Strahler, 1998. Forward and inverse modeling of canopy directional reflectance using a neural network, *International Journal of Remote Sensing*, 19(3): 453-471.
- Fauzi, A., Y. Ali Hussin, and M. Weir, 2001. A comparison between neural networks and maximum likelihood remotely sensed data classifiers to detect tropical rain logged-over forest in Indonesia, in: *Proceedings of 22nd conference on remote sensing*, Singapore.
- Joao, M.B., M.C. Jose, and S.P. Joao, 2006. Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodlands using remote sensing, *Forest Ecology and Management*, 223: 45-53.
- Joshi, C., J. De Leeuw, A.K. Skimore, I.C. Van Duren, and H. Van Oosten, 2006. Remotely sensed estimation of forest canopy density, A comparison of the performance of four methods, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8: 84-95.
- Mas, J.F., and J.J. Flores, 2008. The application of artificial neural networks to the analysis of remotely sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, 29: 617-663, DOI: 10.1080/01431160701352154
- Paola, J.D., and R.A. Schowengerdt, 1995. A detailed comparison of backpropagation neural network and maximum-likelihood classifiers for urban land use classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33: 981-996.
- سلمان ماهینی، عبدالرسول، جهانگیر فقهی، آزاده نادعلی و برهان ریاضی، ۱۳۸۷. بررسی تغییرات پوشش درختی استان گلستان به روش طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های سنجنده TM و ETM⁺ ماهواره لندست، فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۶ (۳): ۴۹۵-۵۰۵.
- سارویی، سعید، علی‌اصغر درویش‌صفت، علی فرزانه و جهانگیر فقهی، ۱۳۷۹. بررسی امکان طبقه‌بندی کلاسه‌های تراکم جنگل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در جنگل‌های کوهستانی زاگرس، در: مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک ۷۹، سازمان نقشه برداری کشور، ۸ ص.
- شاه‌ولی کوه‌شور، ابوطالب، مهتاب پیرباوقار و پرویز فاتحی، ۱۳۹۱. تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل در جنگل‌های نیمه‌انبوه تا تنک با استفاده از مدل FCD (مطالعه موردی، جنگل‌های مریوان). مجله سنجش از دور و GIS ایران، ۳ (۳): ۷۳-۸۳.
- عبداللهی، هیوا، شعبان شتابی جویباری، عادل سپهری و هوشنگ زنگنه، ۱۳۸۹. مقایسه قابلیت داده‌های لندست ۷ و IRS-P6 در تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی جنگل‌های شهرستان جوانرود)، مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۱۷ (۳): ۱-۲۰.
- فتاحی، محمد، ناصر انصاری، حمیدرضا عباسی و معصومه خان حسینی، ۱۳۷۹. مدیریت جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: جنگل‌های داربادام کرمانشاه)، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران، ۴۷۰ ص.
- قاسملو، نیما، علی محمدزاده، محمودرضا صاحبی و محمدجواد ولدان‌زوج، ۱۳۸۷. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس (IKONOS) با استفاده از روش‌های مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با روش‌های بیشترین شباهت و کمترین فاصله از میانگین، در: مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک ۸۷، سازمان نقشه‌برداری کشور، ۹ ص.
- قنبری، فریبا، شعبان شتابی، امیراحمد دهقانی و شمس‌الله ایوبی، ۱۳۸۸. برآورد مشخصه تراکم درختان جنگل با استفاده از آنالیز زمین و شبکه عصبی مصنوعی، مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب جنگل، ۱۶ (۴): ۲۵-۴۲.

Skidmore, A.K., B.J. Turner, W. Brinkhof, and E. Knowles, 1997. Performance of neural network: mapping forests using GIS and remotely sensed data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63(5): 501-514.

Sugumaran, R., 2001. Forest land cover classification using statistical and artificial neural network approaches applied to IRS LISS- III sensor, *Geocarto International*, 16(2): 38-44.

Wilkinson, G.G., 2005. Results and implications of a study of fifteen years of satellite image classification experiments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43: 433-440.

Xu, B., P. Gong, and R. Pu, 2003. Crown closure estimation of oak savannah in a dry season with Landsat TM imagery: comparison of various indices through correlation analysis, *International Journal Remote Sensing*, 24(9): 1811-1822.

Capability of Liss III data for forest canopy density mapping in Zagros forests (Case study: Marivan Forests)

A. Bazrafkan¹, M.P. Bavaghar^{2*}, and P. Fathi³

¹Forestry Student, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, I. R. Iran.

²Assistant Prof., Faculty of Natural Resources and Research and Development of Northern Zagros Forests, University of Kurdistan, I. R. Iran.

³Assistant Prof., Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, I. R. Iran.

(Received: 23 November 2013, Accepted: 20 January 2015)

Abstract

The present study aimed to evaluate the capability of IRS-P6-LISS III imagery to map a forest canopy density by employing the traditional hard classification and the Artificial Neural Networks (ANNs) in Marivan city, Kurdistan province. Geometric correction procedure was performed with less than 1 pixel root mean square error (RMSE). Various vegetation indices and artificially bands generated by principal component analysis (PCA) were used in the classification procedure. A ground truth map was produced based on a randomized-systematic method with a grid size of 250×400 meters and 50×50 meters sample size strata. The suitable band combinations for classification were selected through the training area using the Transformed Divergence index. Supervised classification methods i.e., parallelepiped, minimum distance to mean, maximum likelihood, and ANNs algorithms were applied to generate the canopy density map with 4 classes (very sparse, sparse, semi-dense and dense). The accuracy assessment of the generated canopy density maps was implemented using the ground truth map. Some classes were also merged because of the low spectral separation between these classes. Finally the classification was performed to produce the canopy density map with 3 classes (sparse, semi-dense and dense). The highest overall accuracy and the Kappa coefficient were achieved by maximum likelihood method with 78.47 percent and 0.66, respectively. Our results indicated the high capability of the IRS-P6 LISS III imagery compared to other satellite images, for example, Landsat and Aster data, which already tested in the previous work to map the canopy density in Zagros forests.

Keywords: Artificial Neural Networks, Canopy density map, Classification, Liss III sensor, Vegetation indices.

