

مطالعه تغییرات پوشش کمی جنگل‌های زاگرس با استفاده از

تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی

(مطالعه موردی، جنگل بنسجان یاسوج)

حمیدرضا اولیایی^۱ و مجتبی پاک‌پرور^۲

^۱دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه یاسوج، owliaie@gmail.com

^۲استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، pakparvar@gmail.com

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی قابلیت تصاویر ماهواره‌های آستر (ASTER) و IRS و عکس‌های هوایی در تهیه نقشه گستره جنگل‌های نیمه-خشک زاگرس و دستیابی به میزان و موقعیت تغییرات پوشش جنگلی از سال ۱۹۶۹ تا ۲۰۱۲ در جنگل بنسجان در شمال یاسوج صورت گرفت. نقشه پوشش گیاهی جنگل مربوط به سال ۱۹۶۹ از روی عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ تهیه گردید. جهت استخراج بهتر اطلاعات از بازسازی تصاویر، نسبت‌گیری‌های طیفی و ایجاد شاخص‌های گیاهی، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و نیز ادغام تصاویر چند طیفی ماهواره صورت گرفت. طبقه‌بندی به روش نظارت‌شده و با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال صورت گرفت. طبقه‌بندی تراکم پوشش گیاهی در قالب طبقه‌بندی‌های ۴، ۶ و ۳ کلاسه صورت گرفت. بدین منظور با استفاده از GPS و یک نقشه واقعیت زمینی، یک شبکه نمونه‌برداری تصادفی منظم مورد پیمایش و اندازه‌گیری قرار گرفت (۳۰ پلات ۴۵ در ۴۵ متر). بر اساس نتایج به دست آمده در طی این دوره ۱۱ درصد از میانگین تراکم پوشش گیاهی کاسته شده است، همچنین وسعت پوشش جنگلی با تراکم کمتر از ۳۰ درصد، به میزان ۲۰ درصد افزایش یافته، در حالی که وسعت پوشش جنگلی با تراکم بیشتر از ۶۰ درصد، ۱۷ درصد کاهش را نشان می‌دهد. شاخص‌های پوشش گیاهی RVI و NDVI و $(B3-B1)/(B3+B1)$ به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۶۶، ۰/۶۳ و ۰/۵۵ بیشترین همبستگی را با میزان تراکم پوشش نشان دادند. حداکثر صحت کلی و ضریب کاپا در این مطالعه مربوط به طبقه‌بندی ۳ کلاسه با مقادیر ۷۵٪ و ۰/۶۵ بوده است.

کلمات کلیدی: سنجش از دور، تراکم جنگل، عکس هوایی، ماهواره آستر، صحت کلی، ضریب کاپا

مقدمه:

جنگل‌های نیمه‌خشک واقع در غرب ایران به عنوان گسترده‌ترین جنگل‌های کشور دارای جایگاه ویژه‌ای در توسعه اقتصادی بوده و تضمین کننده بقاء و پایداری آب و خاک کشور می‌باشند. این جنگل‌ها که وسعتی بیش از یک پنجم سطح کل کشور را در بر گرفته و جمعیتی معادل یک سوم جمعیت کل کشور را در خود جای داده است، که این امر موجب آسیب‌رسانی فراوان به آن می‌گردد. این موارد موجب از بین رفتن کامل پوشش جنگلی در بخش‌هایی و همچنین کاهش تراکم پوشش در سایر بخش‌ها گردیده است (فتاحی، ۱۳۷۵).

پایش تغییرات جنگل به سامانه‌های خودکار جهت تجزیه حجم زیادی از داده‌های دورسنجی نیاز دارد. یک روش جدید تشخیص تغییرات پوشش جنگلی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا می‌باشد (دسکلی و همکاران، ۲۰۰۶).

شبتایی (۱۳۷۵) در تحقیقی در جنگل‌های جلگه‌ای شمال ایران جهت تهیه نقشه جنگل به کمک تصاویر ماهواره‌ای نتیجه گرفت که تصاویر ماهواره‌ای لندست دارای قابلیت مناسب برای تهیه نقشه گستره جنگل می‌باشند. رفیعیان (۱۳۸۱)

پس از ارزیابی قابلیت داده‌های ETM^+ در تهیه نقشه جنگل و همچنین بررسی تغییرات گستره قسمتی از جنگل‌های شمال ایران به این نتیجه رسید که داده‌های ETM^+ دارای قابلیت مناسب برای تهیه نقشه گستره جنگل بوده و همچنین حدود ۸/۲ درصد سطح اولیه جنگل‌های مورد بررسی در این تحقیق کاهش یافته بود.

در مطالعه تغییرات مشخصه‌های گونه‌های حفاظت شده در جنوب غرب آمریکا که توسط وولگمن و همکاران (۲۰۰۹) صورت گرفت از داده‌های چند طیفی ماهواره لندست (TM) در یک دوره زمانی ۱۸ ساله از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۶ استفاده نمودند. بر اساس بخشی از نتایج بدست آمده در طی این مدت بسیاری از درختان سوزنی برگ از سال ۱۹۹۵ افزایش تدریجی در شاخص نسبت فروسرخ با طول موج کم به فروسرخ نزدیک را نشان دادند که این امر در سال‌های بعد موجب کاهش میزان سبزی تاج پوشش و افزایش مرگ درختان گردیده است.

زارعی و همکاران (۱۳۹۳) روند تغییرات توده جنگل‌های حرای پارک ملی دریایی نایبند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه زمانی ۲۰۱۳-۱۹۷۵ و مطابقت آن با واقعیت زمینی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش روند کاهش چشمگیر مساحت توده حرا با وجود کاشت مقطعی نهال در خور بسایین و افزایش جزئی مساحت در خور بیدخون (عسلویه) را نشان دادند.

کانبهوم (۱۹۹۸) در تحقیقی به بررسی روند تغییرات جنگل‌های شرقی تایلند با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و نقشه‌های توپوگرافی پرداخته و نتیجه گرفتند که تغییر کاربری جنگل به سایر کاربری‌ها موجب تخریب جنگل شده است.

یوان و همکاران (۲۰۰۵) با مطالعه روند تغییرات کاربری زمین در اطراف مناطق شهری با استفاده از داده‌های TM و ETM^+ ارزیابی صحت نقشه‌های به دست آمده با استفاده از عکس‌های هوایی به این نتیجه رسیدند که بررسی تغییرات پوشش سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجنش از دور امکان پذیر می‌باشد. در تحقیق انجام گرفته که توسط معین آزاد و همکاران (۱۳۸۷) جهت برآورد تراکم جنگل‌های شمال با استفاده از داده‌های لندست ۷ صورت گرفت میزان صحت کلی و ضریب کاپا در طبقه‌بندی ۵ کلاسه بیش از میزان مشابه در طبقه‌بندی ۷ کلاسه گزارش گردید. دلیل اصلی آن ادغام طبقه‌ها با تراکم در یکدیگر اعلام شده است که سبب کاهش تداخل میان طبقه‌های تراکمی و در نتیجه کاهش خطا گردیده است.

سانگ و همکاران (۲۰۱۴) روش جدیدی جهت بررسی تغییرات سالیانه پوشش جنگل در سری‌های زمانی پوشش درختی معرفی نمودند. این روش مبتنی بر دو اصل بود: الف) تخریب پوشش اراضی در سطوح جغرافیایی بزرگ پدیده‌ای کمیاب در یک چارچوب زمانی است و ب) تخریب پوشش اراضی از نظر مکانی فرایندی است که در طول زمان مستمر می‌باشد. روش نامبردگان مبتنی بر ثبت پوشش سالانه درختان با استفاده از تصویربرداری اسپکترورادایومتری با قدرت تفکیک متوسط و داده‌های ماهواره لندست بوده است. صحت زمانی این مطالعه با قدرت تفکیک ۲۵۰ متر، ۶۵ درصد که با تغییر بازه زمانی تا یکسال به ۸۵ درصد افزایش یافت.

جنگل‌های زاگرس که عمدتاً در غرب و جنوب غرب کشور واقع شده اند، دارای ویژگی‌های متفاوتی از نظر تراکم پوشش و نوع درختان جنگلی با جنگل‌های شمال کشور می‌باشند. وضعیت تراکم تاج پوشش درختان و جنگل اغلب تنک و نیمه تنک بوده و در مناطقی دارای تاج پوشش نیمه پیوسته می‌باشند (امینی و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به تخریب این جنگل‌ها به دلایل متفاوت طبیعی و انسانی در دوره‌های گذشته، تهیه نقشه به هنگام و به روز و آگاهی از وضعیت گذشته و حال این جنگل‌ها می‌تواند در برنامه‌ریزی‌ها بسیار مفید واقع شود.

به منظور مقایسه داده‌های دو سنجنده LISS-III و LISS-IV ماهواره IRS-P6 در تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس، عبدالهی و شتایی جویباری (۱۳۹۱) مطالعه‌ای انجام دادند. نتایج نشان داد که داده‌های LISS-III در مقایسه با داده‌های LISS-IV به دلیل برخورداری از باند مادون قرمز میانی از قابلیت بهتری برخوردار بوده و افزایش قدرت تفکیک مکانی داده‌های سنجنده LISS-IV به دلیل ماهیت مشخصه تراکم تاج پوشش از نظر محاسبه آن در واحد سطح،

تأثیری بر بهبود نتایج نداشته است. همچنین عوامل مختلفی مانند تنک بودن جنگل و تداخل طیفی خاک با پوشش زمینه، باعث شده است تا تداخل طیفی جنگل و غیرجنگل بیشتر شود که منجر به کاهش صحت کلی و ضریب کاپای نقشه‌های به‌دست آمده از طبقه‌بندی شده‌است.

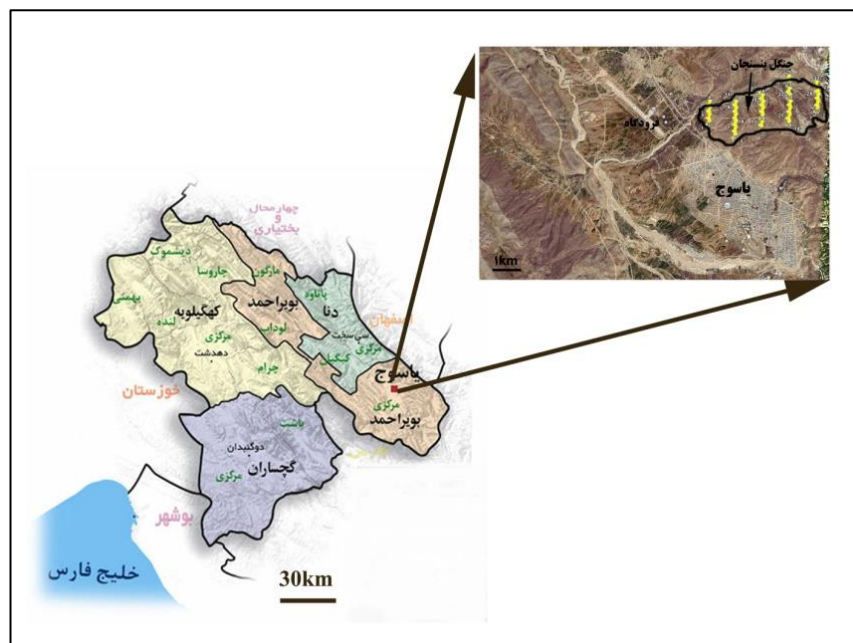
سوسنی و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای با کاربرد عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای Quick bird، تغییرات پوشش جنگل‌های زاگرس را در قالب یک مطالعه موردی در استان لرستان در یک دوره ۵۰ ساله مطالعه نمودند. نتایج کار نشان‌دهنده کاهش ۳۷ درصدی در میزان تاج پوشش بوده است. بیشترین میزان افت به میزان ۴۵ درصد مربوط به دوره زمانی سال‌های ۱۳۳۴ تا ۱۳۴۸ بوده‌است.

در این تحقیق تغییرات گستره یک جنگل در یک دوره زمانی ۴۳ ساله (از سال ۱۹۶۹ تا سال ۲۰۱۲) مورد ارزیابی قرار گرفت. از اهداف این تحقیق بررسی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای آستر (ASTER)، IRS و همچنین عکس هوایی در تهیه نقشه گستره جنگل و همچنین ارزیابی و مطالعه میزان و موقعیت تغییرات سطح جنگل‌های نیمه خشک زاگرس به صورت مطالعه موردی در جنگل بنسنگان در شمال یاسوج بوده است.

روش پژوهش:

منطقه مورد مطالعه:

منطقه مورد مطالعه در جنوب شرق استان کهگیلویه و بویر احمد و در شمال غرب شهر یاسوج واقع شده است. این منطقه با مساحت حدود ۷۵۰ هکتار در محدوده ارتفاعی ۱۸۰۰ تا ۲۳۳۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است و به طور کلی بر روی تپه ماهورهایی با شیب متوسط ۳۰ تا ۴۰ درصد و در محدوده جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۴ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه و ۱۴ ثانیه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۴ ثانیه تا ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه و ۲۸ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه در سیستم تصویر UTM در زون ۳۹ قرار دارد.



شکل ۱- موقعیت جنگل بنسنگان در ارتباط با استان کهگیلویه و بویر احمد و شهر یاسوج

داده‌های مورد استفاده:

در این تحقیق از داده‌های چند طیفی ماهواره آستر مربوط به ژوئن سال ۲۰۱۲ و اکتبر سال ۲۰۰۹، تصویر پانکروماتیک IRS-P6 آوریل ۲۰۱۰ و همچنین ۴ قطعه عکس هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ مربوط به جولای سال ۱۹۶۹ از منطقه مطالعاتی تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.

تصاویر ماهواره آستر در فریم‌های ۶۰ در ۶۰ کیلومتری دارای ۱۴ باند شامل ۳ باند مرئی و فروسرخ نزدیک^۱ VNIR (در محدوده ۰/۵۲ تا ۰/۸۶ میکرون) با وضوح مکانی ۱۵ متر، ۶ باند فروسرخ موج کوتاه^۲ SWIR (در محدوده ۱/۶۰ تا ۲/۴۳ میکرون) با وضوح مکانی ۳۰ متر و ۵ باند حرارتی^۳ TIR (در محدوده ۸/۱۲ تا ۱۱/۶۵ میکرون) با وضوح مکانی ۹۰ متر می‌باشد.

تصویر IRS-P6 مربوط به سنجنده LISS(IV) تک باندی و در محدوده طول موج ۰/۶ تا ۰/۷ میکرون با قدرت تفکیک ۵/۸ متر است. علت استفاده از دو تصویر آستر از دو سال متوالی لزوم در دست داشتن دو برداشت از اواخر فصل بهار و اوایل فصل پاییز بود تا میزان تناسب داده‌های صحرایی با بازتاب پوشش در این دو فصل مورد بررسی قرار گیرد. تصویر IRS-P6 نیز با توجه به قدرت تفکیک بالا در برابر تصویر آستر می‌توانست منبع مناسبی در افزایش وضوح زمینی تصاویر آستر باشد.

تصحیح هندسی داده‌ها

با توجه به ضرورت تصحیح و تطابق هندسی داده‌های رقومی مورد استفاده با نقشه‌های مبنای موجود، خطوط مربوط به شبکه آبراهه‌ها و تقاطع جاده‌ها و سایر عوارض از نقشه رقومی شده موجود و همچنین مختصات جغرافیایی نقاط شاخص به دست آمده توسط GPS با پراکنش مناسب استخراج و جهت تصحیح هندسی مورد استفاده قرار گرفت.

با آنکه تصویر آستر دارای سطح تصحیحات A3 بود که بنا بر مطالب مندرج در فایل راهنما، به روش نقطه‌ای مورد تصحیح هندسی قرار گرفته اما مقایسه مختصات تصویر با واقعیت زمینی نشان از خطای فاحش به ویژه در جهت X داشت. از این رو تصویر آستر بر مبنای نقاط برداشت زمینی با GPS و نیز به کمک نقشه رقومی ۱:۲۵۰۰۰ با مدل affine که یک مدل رگرسیون چند جمله‌ای خطی ساده است مورد تصحیح قرار گرفت. تعداد ۸ نقطه نمونه در تصحیح به کار رفت و زیگمای خطای تصحیح برابر ۰/۳ پیکسل بود.

برای ایجاد امکان مقایسه پیکسل به پیکسل تصاویر، کار تصحیح هندسی تصویر ۲۰۱۱ با روش تصویر به تصویر بر مبنای تصویر ۲۰۱۲ انجام گرفت. تعداد نمونه‌های مشابه در دو تصویر ۱۲ عدد و زیگمای تصحیح ۰/۱۹ پیکسل بود. همین کار در مورد تصویر IRS نیز با زیگمای تصحیح ۰/۱۴ پیکسل انجام شد.

عکس هوایی سال ۱۹۶۹ فاقد هر گونه اطلاعات زمینی هم زمان برای بهره‌گیری در زمین مرجع کردن آن بود. از این رو با توجه به تغییرات عمده‌ای که در شکل و نوع پدیده‌های زمینی در طول ۴۳ سال رخ داده، انتخاب نقاط نمونه با محدودیت زیادی روبرو بود. با کاربرد نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ قدیمی، ابتدا در محیط فتوشاپ انطباق کلی محدوده عکس با عوارض نقشه‌ای به حداکثر رسانیده شد. بدین طریق کشیدگی عکس اصلاح و آنگاه بر اساس تعداد ۶ نقطه (که از نقشه استخراج و در عکس تشخیص داده شده بود) با زیگمای خطای تصحیح ۰/۴۱ پیکسل زمین مرجع گردید.

عملیات صحرایی

برداشت اطلاعات مورد نیاز به عنوان نمونه‌های تعلیمی در آگوست سال ۲۰۱۱ انجام گرفت. بدین منظور از یک شبکه نمونه برداری تصادفی منظم با ابعاد ۴۵ در ۴۵ متر استفاده شد. بر اساس شبکه تهیه شده ۳۰ قطعه با مختصات جغرافیایی مشخص تعیین و مورد ارزیابی صحرایی قرار گرفتند. به منظور تعیین درصد پوشش جنگلی در هر پلات از محاسبه مجموع سطح تاج درختان (با در نظر گرفتن شکل بیضی) و تقسیم نمودن بر مساحت قطعه استفاده شد (زبیری، ۱۳۸۱).

^۱- Visible Near Infrared

^۲- Shortwave Infrared

^۳- Thermal Infrared

پیش پردازش داده‌ها

در این تحقیق باندهای چند طیفی داده مورد استفاده (با وضوح مکانی ۱۵، ۳۰ و ۹۰ متر) تحت ترکیب داده‌ها قرار گرفته و در نتیجه مجموعه داده جدیدی با وضوح طیفی نظیر داده چند طیفی و وضوح مکانی ۱۵ متر ایجاد گردید. اجرای عملیات ترکیب داده‌ها منجر به بهبود چشمگیر در قابلیت تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای می‌گردد.

به منظور این که بتوان با دقت بیشتر و با اجتناب از تداخل طیفی زیاد، اقدام به طبقه‌بندی نمود و نیز به دلیل تاثیر شاخص‌های گیاهی در آشکارسازی بهتر پوشش گیاهی، از میان شاخص‌های مختلف گیاهی شاخص‌های $NDVI^1 = (B3 - B2) / (B3 + B2)$ ، $RV1^2 = B3 / B2$ ، $B5/B4$ ، $B5/B2$ ، $B5/B3$ ، $(B3 - B1) / (B3 + B1)$ ، $(B2 - B1) / (B2 + B1)$ محاسبه شده و به مجموعه داده مورد استفاده جهت طبقه‌بندی اضافه شدند.

استخراج اطلاعات متناظر تصاویر

برای استخراج اطلاعات متناظر با نقاط مطالعات میدانی ابتدا فایل نقطه‌ای نقاط مطالعات میدانی تشکیل و سپس در محیط رستر با هر یک از تصاویر ماهواره‌ای برخورد داده شد. داده‌های ارزش عددی هم مختصات با نقاط مطالعات میدانی از تصاویر استخراج و در یک صفحه گسترده نرم‌افزار اکسل سازمان دهی شد.

بررسی همبستگی داده‌های پوشش گیاهی با تصاویر

همبستگی بین داده‌های درصد تاج پوشش گیاهی در نقاط مطالعه‌شده با ارزش عددی هر یک از تصاویر و نیز انواع شاخص‌های محاسبه و ماتریس همبستگی مربوط به انواع باندها و شاخص‌های هر یک از تصاویر تشکیل شد. جدول شماره ۱ در بردارنده نمونه‌ای از ماتریس‌های همبستگی برای تصویر ۲۰۱۱ است. بر این اساس باندهایی از تصاویر و نیز عکس هوایی که بیشترین همبستگی را با هر داده‌های پوشش گیاهی داشتند شناخته شد.

جدول ۱- ماتریس همبستگی باندهای اصلی و ترکیبی آستر ۲۰۱۱ با درصد تاج پوشش گیاهی

	Plant Cover	2011 1	2011 2	2011 3	2011 4	2011 5	2011 6	2011 7	2011 8	2011 9	NDVI	RV1	B5/B4	B5/B2	B5/B3	(B3-B1)/(B3+B1)	(B2-B1)/(B2+B1)
Plant Cover	1.00																
2011 1	-0.29	1.00															
2011 2	-0.29	0.97	1.00														
2011 3	-0.29	0.89	0.91	1.00													
2011 4	-0.36	0.72	0.75	0.89	1.00												
2011 5	-0.37	0.79	0.82	0.89	0.96	1.00											
2011 6	-0.35	0.83	0.84	0.93	0.96	0.97	1.00										
2011 7	-0.18	0.82	0.85	0.89	0.89	0.94	0.95	1.00									
2011 8	-0.21	0.80	0.85	0.91	0.94	0.95	0.97	0.98	1.00								
2011 9	-0.17	0.84	0.82	0.88	0.88	0.94	0.94	0.98	0.98	1.00							
NDVI	0.35	-0.79	-0.87	-0.63	-0.48	-0.58	-0.56	-0.58	-0.52	-0.56	1.00						
RV1	0.36	-0.75	-0.84	-0.60	-0.47	-0.56	-0.54	-0.55	-0.49	-0.52	1.00	1.00					
B5/B4	0.09	-0.02	-0.02	-0.28	-0.43	-0.17	-0.29	-0.15	-0.24	-0.12	-0.16	-0.15	1.00				
B5/B2	0.26	-0.74	-0.81	-0.63	-0.38	-0.42	-0.45	-0.46	-0.40	-0.41	0.91	0.92	0.01	1.00			
B5/B3	-0.14	-0.25	-0.23	-0.3	0.07	0.16	0.02	0.04	0.03	0.06	0.13	0.13	0.32	0.51	1.00		
(B3-B1)/(B3+B1)	0.32	-0.79	-0.73	-0.45	-0.27	-0.39	-0.41	-0.41	-0.34	-0.44	0.80	0.77	-0.29	0.69	0.11	1.00	
(B2-B1)/(B2+B1)	-0.21	0.41	0.61	0.52	0.49	0.51	0.47	0.50	0.47	0.42	-0.74	-0.77	-0.06	-0.72	-0.08	-0.19	1.00

تحلیل رگرسیونی

داده‌های باندهای برتر سپس در تحلیل رگرسیونی دو و چند متغیره از نوع خطی و غیر خطی وارد شدند، تا بهترین معادله برای محاسبه پوشش گیاهی از روی داده‌های باندهای هر تصویر تشخیص داده شود. برای این منظور از نرم‌افزار

¹ - Normalized Difference Vegetation Index

² - Ratio Vegetation Index

SPSS نسخه‌ی ۱۶/۰ استفاده شد. ضریب تشخیص R^2 اصلاح شده مدل و معنی دار بودن هر یک از ضرایب معادله، معیارهایی بودند که برای گزینش معادله برتر به کار گرفته شدند.

از آنجا که هیچگونه رابطه‌ی معنی داری بین داده‌های IRS با تاج پوشش گیاهی یافت نشد ($R^2 = 0/12$)، داده‌های این تصویر از چرخه تولید نقشه خارج گردید. همچنین از بین داده‌های آستر ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ مدل رگرسیونی مربوط به سال ۲۰۱۲ حد معنی داری بالاتری را نشان داد و معادله‌ی آن برای تولید نقشه پوشش گیاهی ترجیح داده شد.

تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی

با کاربرد مدل متناسب و اجرای دستور محاسبه نقشه^۱ بر روی باندهایی که به عنوان متغیر مستقل انتخاب و در مدل وارد شده بودند، نقشه درصد تاج پوشش گیاهی برای دو سال ۱۹۶۹ و ۲۰۱۲ در محیط رستر تهیه شد. ارزش عددی هر یک از پیکسل‌های این نقشه‌ها نشان دهنده‌ی تخمین درصد تاج پوشش گیاهی برای سال مربوطه است که ماهیت مقداری و کمی دارد. در مرحله بعدی با روش قطعه بندی^۲ مقادیر را به حدود دسته‌جات تبدیل و از آن نقشه دسته‌جات پوشش گیاهی تهیه شد. طبقه‌بندی تیپ‌های جنگلی و تهیه نقشه تیپ به عنوان اطلاعات پایه در تهیه طرح‌های جنگل-داری مطرح می باشد. روش‌های متفاوتی برای تهیه نقشه تیپ‌های جنگل از انجام عملیات میدانی تا تفسیر عکس‌های هوایی که مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی می باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از روش‌های آسان‌تر جزء اهداف مطالعات بسیاری از جمله این مطالعه بوده است. بنابراین به منظور افزایش صحت طبقه بندی، همواره روش‌ها و اطلاعات جانبی متفاوت مورد استفاده و آزمون قرار می‌گیرند. در نهایت نقشه حاصل به چهار حالت مندرج در جدول شماره ۲ از جمله بر اساس تعریف شورای عالی جنگل (معین آزاد و همکاران، ۱۳۸۷) طبقه‌بندی شد.

جدول ۲- خلاصه آمارهای معادلات رگرسیونی داده‌های ماهواره‌ای سال ۲۰۱۲.

آمارهای رگرسیون	Bands 1, 2, 3	Band 2, 3	Bands 3	RVI
Multiple R	0.60	0.59	0.66	0.78
R Square	0.36	0.36	0.44	0.62
Adjusted R Square	0.26	0.29	0.41	0.60
Standard Error	15.36	15.08	13.71	11.23
Observation no.	30	30	30	30

ارزیابی صحت^۳

معمول‌ترین طریقه بیان صحت نقشه یا تصویر وقتی که با داده‌های مرجع زمینی مقایسه می‌شود، ارائه درصدی از سطح نقشه یا تصویر است که به طور صحیح طبقه‌بندی شده است. برای ارزیابی قابلیت مدل، نقشه طبقه‌بندی شده تراکم تاج پوشش حاصل از اجرای مدل، با نقشه طبقه‌بندی شده تراکم واقعیت زمینی، به صورت پیکسل به پیکسل مقایسه گردید. نتایج به صورت جداولی تهیه گردید و صحت کلی و ضریب کاپا محاسبه شد. با توجه به چهار نوع طبقه‌بندی صورت گرفته روی نقشه‌های درصد تاج پوشش (طبقه‌بندی ۳ کلاسه، طبقه بندی ۴ کلاسه (۲ حالت) و طبقه‌بندی ۶ کلاسه، نتایج نیز به صورت جداگانه محاسبه و تفسیر گردید. نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی در قالب ماتریس خطا نشان داده شد و از معیارهای چهار گانه صحت کلی، شاخص کاپا، صحت تولیدکننده و صحت کاربر جهت بیان صحت استفاده شد.

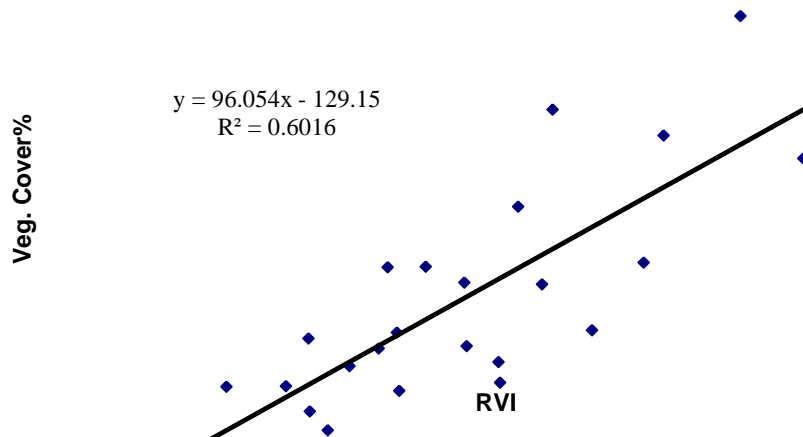
نتایج و بحث:

^۱- Map calculation

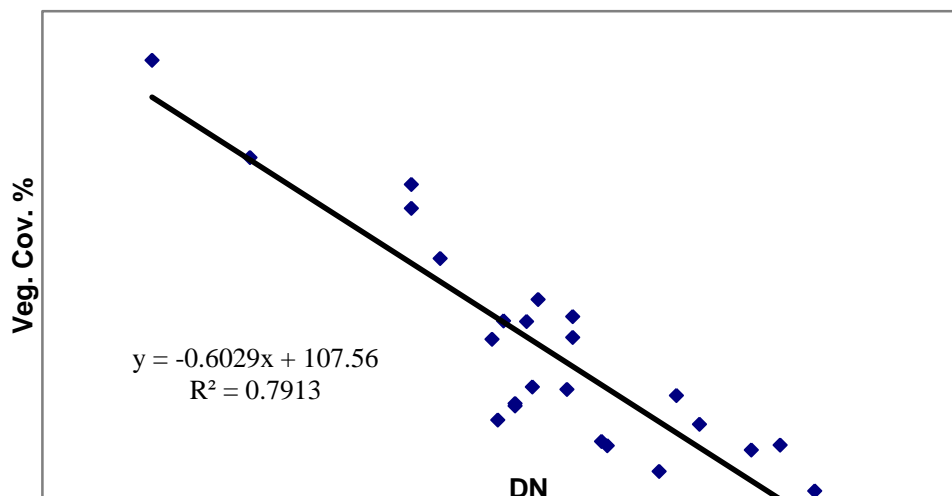
^۲- Slicing

^۳- Accuracy Assessment

در جدول ۲ برخی از نتایج کاربرد انواع معادلات رگرسیونی برای گزینش مدل برتر بر روی داده‌های ۲۰۱۲ ارائه شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود مدل دو متغیره خطی با کاربرد باند ترکیبی RVI (حاصل از تقسیم باند مادون قرمز نزدیک بر باند قرمز) واجد بالاترین ضریب تشخیص و کمترین انحراف اشتباه معیار است. شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب نمودار خطوط رگرسیونی برازش یافته با داده‌های DN و باند برتر (RVI) تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۲ و عکس هوایی ۱۹۶۹ می‌باشد. بر اساس این داده‌ها میزان ضریب همبستگی پوشش گیاهی با شاخص RVI بر اساس تصویر ماهواره‌ای ۲۰۱۲ برابر ۰/۶۰ و ضریب همبستگی پوشش گیاهی با داده‌های DN برابر ۰/۷۹ بوده است.



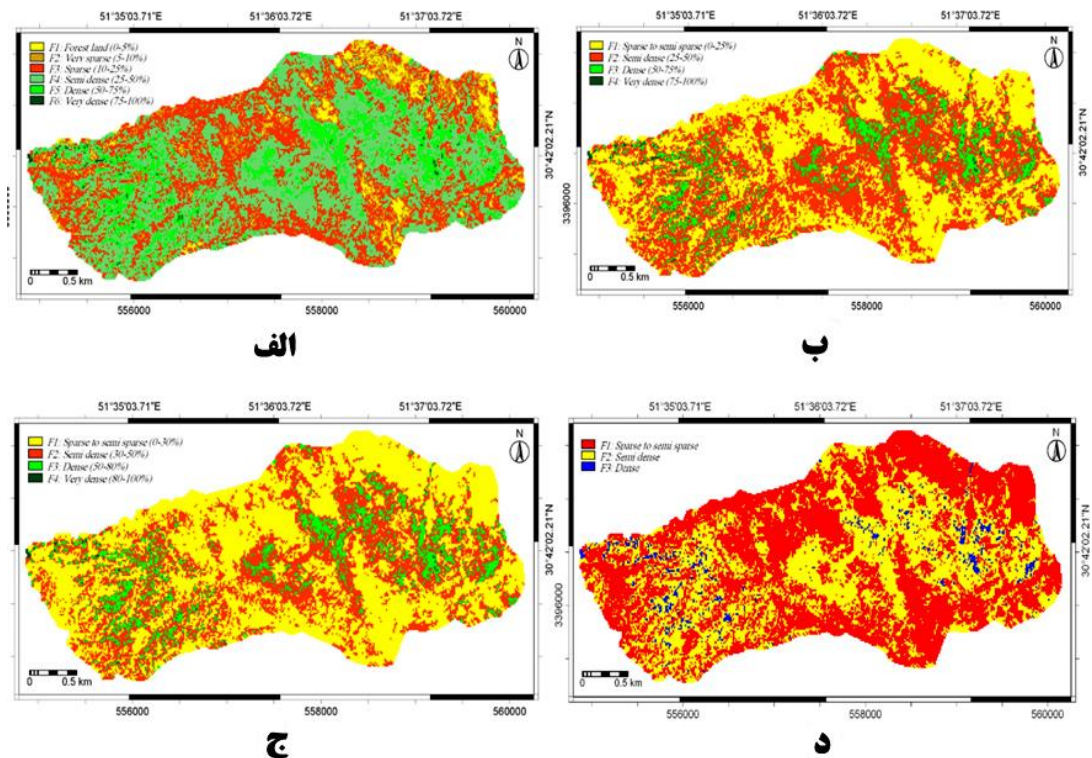
شکل ۲- نمودار برازش رگرسیونی باند RVI تصویر ۲۰۱۲ با تاج پوشش گیاهی.



شکل ۳- نمودار برازش رگرسیونی DN عکس هوایی ۱۹۶۹ با تاج پوشش گیاهی

میانگین وزنی پوشش جنگلی بر اساس تجزیه‌های انجام شده در سال‌های ۱۹۶۹ و ۲۰۱۲، به ترتیب ۴۰ و ۲۹/۰۳ درصد بوده است که نشان دهنده کاهش حدود ۱۱ درصد در تراکم پوشش جنگلی در مدت ۴ دهه می‌باشد. پوشش جنگلی منطقه مطالعاتی به ۴ حالت در طبقه‌بندی‌های ۳، ۴ (دو حالت) و ۶ کلاسه در این دوره طبقه‌بندی گردید (جدول ۳).

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق در این مدت درصد پوشش‌های متراکم و نیمه متراکم کاهش و در مقابل درصد پوشش‌های تنک و بسیار تنک افزایش یافته است به گونه‌ای که به عنوان مثال حدود ۲۰ درصد به پوشش با تراکم کمتر از ۳۰ درصد افزوده و در مقابل حدود ۱۶ درصد از پوشش با تراکم بیش از ۶۰ درصد کاسته شده است (جدول ۳ و شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۴- نقشه‌های پوشش گیاهی جنگل مطالعاتی بر اساس کلاس بندی‌های چهار گانه اشاره شده در جدول ۱ مربوط به تصویر ماهواره آستر ۲۰۱۲. (الف: طبقه‌بندی شش کلاسه، ب و ج: طبقه‌بندی‌های چهار کلاسه و د: طبقه‌بندی سه کلاسه).

بر اساس ارزیابی صحت صورت گرفته (جدول ۴) بر طبقه‌بندی‌های صورت گرفته این معیارها از جمله صحت تولید کننده، صحت کاربر، صحت کلی و شاخص کاپا به دست آمد که در جدول ۴ نشان داده شده است. همانگونه که از نتایج بر می‌آید، طبقه‌بندی‌های ۳ کلاسه، ۴ کلاسه نوع دوم، ۴ کلاسه نوع اول و ۶ کلاسه به ترتیب با مقادیر ۷۵/۴۵، ۵۴/۵۸، ۵۴/۸۱ و ۳۳/۰۶ درصد دارای بیشترین میزان صحت کلی و شاخص کاپا در این طبقه‌بندی‌ها به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۴۶، ۰/۶۵ و ۰/۲۴ بوده است.

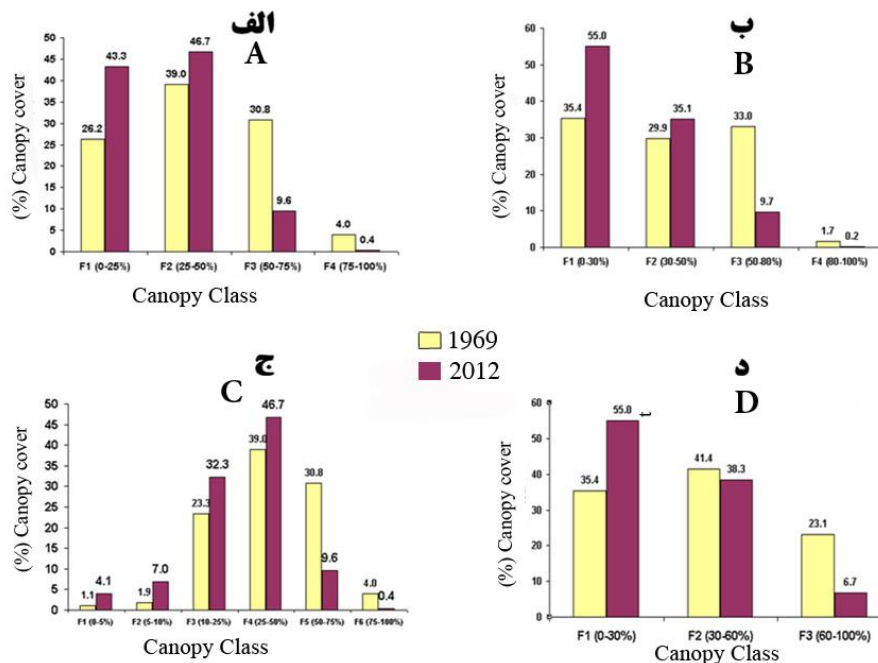
از میان شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده شاخص‌های RVI و NDVI و $(B3-B1)/(B3+B1)$ به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۶۶، ۰/۶۳ و ۰/۵۵ بیشترین همبستگی را با میزان پوشش گیاهی داشته‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

مناطق جنگلی زاگرس به دلیل ویژگی نورپسندی خاص خود و مسائل تخریب و مشکلات زادآوری، دارای پوشش تنک و سبک بوده و متفاوت از جنگل‌های شمال می‌باشد. به این دلیل، نتایج حاصل از طبقه‌بندی و پردازش‌های مختلف تصاویر سنجنده‌های ماهواره‌ای برای تهیه نقشه گستره جنگل در شمال کشور (شتایی، ۱۳۷۵؛ نجارلو، ۱۳۸۴؛ ماجانی، ۱۳۸۰) متفاوت می‌باشد. در نتیجه به دلیل تداخل طیفی زیاد خاک با پوشش جنگلی در منطقه و مناطق مشابه آن میزان

صحت کلی و ضریب کاپا حاصله از ارزیابی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در این مناطق به نسبت کمتر از مناطق دارای جنگل‌های متراکم مانند شمال کشور است.

عدم وجود یک رابطه معنی‌دار میان داده‌های ماهواره IRS با تاج پوشش گیاهی را به رغم زمین مرجع نمودن دقیق تصویر، می‌توان به دو عامل زمان نه چندان مناسب تصویر برداری که در اوایل فصل بهار صورت گرفته است و دوم تک باندی بودن و عدم امکان ادغام باندهای مختلف و ایجاد یک باند با همبستگی زیاد با پوشش گیاهی ارتباط داد. همچنین ارتباط بالاتر تصویر ماهواره‌ای آستر ۲۰۱۲ در مقایسه با تصویر ۲۰۱۱ را می‌توان نیز به پوشش بیشتر جنگلی در اوایل تابستان به اوایل پاییز نسبت داد.



شکل ۵- تغییرات پوشش گیاهی از سال ۱۹۶۹ تا ۲۰۱۲ در طبقه‌بندی‌های مختلف پوشش گیاهی. (الف و ب: طبقه‌بندی‌های چهارکلاسه، ج: طبقه‌بندی شش کلاسه و د: طبقه‌بندی سه کلاسه).

با توجه به آمار ارائه شده توسط FAO که جهت سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ تهیه گردیده است، میزان تخریب سالیانه سطح جنگل نسبت به سطح اولیه آن در گستره جهانی ۰/۲ درصد تخمین زده شده است (امینی و همکاران، ۱۳۸۷). بنابراین با توجه به کاهش ۱۱ درصدی پوشش جنگلی منطقه مورد مطالعه در مدت ۴ دهه می‌توان نتیجه گرفت که میزان تخریب صورت گرفته در این منطقه بیش از میانگین جهانی می‌باشد. با توجه به این مطلب می‌توان اظهار نمود که در صورت ادامه این روند در آینده نه چندان دور شاهد وضعیت اسفباری در جنگل‌های این منطقه به عنوان نمونه‌ای از جنگل‌های جنوب غرب زاگرس خواهیم بود.

میرآخورلو و اخوان (۱۳۸۷) در بررسی تغییرات مرز فوقانی جنگل‌های شمال کشور با استفاده از داده‌های ماهواره-ای اعلام نمودند که مقدار تخریب سالانه در استان‌های گیلان، مازندران و گلستان به ترتیب ۰/۲۱، ۰/۴۹ و ۰/۶۹ درصد می‌باشد.

خواجه الدین (۱۳۷۵) برای تعیین تاج پوشش گیاهی منطقه جازموریان از سنجنده MSS ماهواره لندست ۵ استفاده نموده است که طبق نتایج حاصله بجز NDVI، سایر شاخص‌های گیاهی به کار رفته، رابطه‌ای با درصد پوشش نشان ندادند. مختاری (۱۳۷۶) تهیه لایه پوشش گیاهی و درصد خاک بدون پوشش را با استفاده از سنجش از دور بررسی

کرده و به گزارش وی NDVI بیشترین همبستگی را با درصد پوشش گیاهی داشته، که ضریب همبستگی آن بالای ۸۰٪ است. بهترین همبستگی بین NDVI و میزان خاک بدون پوشش بدست آمده است.

بر اساس نتایج بیش از ۵۵ درصد از جنگل مطالعه شده دارای تراکم کمتر از ۳۰ درصد می باشد که در این شرایط نقش انعکاس زمینه افزایش می یابد. ناصری و همکاران (۱۳۸۳) در مطالعه ارزیابی پتانسیل تصاویر ماهواره ای جهت ترسیم نقشه تراکم پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه خشک ایران نتایج مشابهی را گزارش نمودند. بر اساس نتایج به دست آمده، در جنگل های مورد بررسی به عنوان بخشی از جنگل های مناطق خشک و نیمه خشک، به دلیل پایین بودن مقدار تاج پوشش جنگلی، بازتاب خاک و پوشش گیاهی کف جنگل، نقش مهمی را در بازتاب نهایی ثبت شده توسط سنجنده ایفا می نماید و این امر مانع از دست یابی به نتایج بهتر گردیده است. بنابراین بر اساس نظر نامبردگان، جا دارد که از سنجنده های چند طیفی با اندازه تفکیک مکانی کوچک تر استفاده شود.

ریاحی (۱۳۷۹) در مطالعه تهیه پوشش منابع طبیعی در ناحیه دشت ارژن با استفاده از داده های ماهواره ای اعلام نمود که در مقایسه نتایج حاصل از تفسیر چشمی با نقشه واقعیت زمینی میزان تداخل جنگل تنک و جنگل های نیمه متراکم و مراتع نیمه متراکم بسیار زیاد بوده است که دلیل آن شباهت رنگ حد پایین تراکم طبقه جنگل نیمه متراکم و جنگل تنک دانسته است.

خواجه الدین و خوانین زاده (۱۳۷۹) معتقدند که شاخص هایی که در آنها طول موج قرمز و مادون قرمز نقش دارند، همبستگی بیشتری نسبت به سایر شاخص ها نشان می دهند. ولی در مقایسه با ترکیب باندهای اصلی، ملاحظه شد که باندهای TM2، TM5 و TM7 همبستگی بیشتری با تاج پوشش گیاهی دارند. نتیجه گرفته شده به این صورت بوده است که شاخص های مورد مطالعه به ویژه NDVI برای مطالعات پوشش گیاهی در مناطق خشک و بیابانی مناسب نمی باشد.

بوتون و تیسزن (۱۹۸۳) نیز معتقدند که تکنیک های انعکاس طیفی در جایی که مجموع پوشش گیاهی زنده از ۳۰٪ تجاوز می کند، می تواند برآورد قابل اعتمادی را از زیست توده گیاه در اکوسیستم های گیاهی داشته باشد. اسمیت و همکاران (۱۹۹۰) محدودیت برآورد کمی پوشش با استفاده از خصوصیات بازتاب گیاهان در طیف مرئی مادون قرمز نزدیک وقتی پوشش گیاهی کمتر از ۴۰٪ باشد را گزارش دادند.

امینی و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی تغییرات گستره جنگل های زاگرس در کردستان با استفاده از عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای نشان دادند که در طی سال های ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۱ حدود ۲۰ درصد از وسعت جنگل مورد مطالعه کاسته گردیده، ضمن آنکه در ارزیابی صحت نتایج حاصل از طبقه بندی ها با نقشه واقعیت زمینی صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۸۱/۳ درصد و ۰/۶۴ به دست آمد.

سانتوش و یوسف (۲۰۰۲) برای مقایسه دو روش طبقه بندی در جنگل های بارانی اندونزی از عملیات ادغام استفاده کرده که باعث بهبود نتایج گشته است. این محققان علت این امر را تفکیک مکانی زیاد باند پانکروماتیک عنوان کرده اند. رشیدی و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعه ای پیرامون بررسی بهبود صحت طبقه بندی تیپ های جنگلی با استفاده از ادغام داده های ماهواره ای در مازندران بیشترین میزان صحت کلی برای طبقه بندی ۶ کلاسه قابل تفکیک، مربوط به طبقه بندی کننده حداکثر احتمال با صحت کلی ۳۴٪ و ضریب کاپا ۲۳٪ به دست آمد که نتایج به دست آمده از این روش در مقایسه با نتایج طبقه بندی بدون اعمال روش ادغام و با به کارگیری همان تعداد طبقه، بیانگر کاهش صحت می باشد که علت آن را می توان در نوع روش انتخابی در عملیات ادغام و نامتجانس بودن منطقه مورد بررسی جستجو کرد. بنابراین تکرار این عملیات در مناطق دیگر و استفاده از سایر روش های ادغام پیشنهاد گردید.

در مجموع با توجه به پوشش نسبتاً تنک منطقه مطالعاتی با توجه به صحت کلی و ضریب کاپا، طبقه بندی ۳ کلاسه برای این منطقه و سایر مناطق مشابه توصیه می گردد. همچنین به منظور تایید یا رد نتایج به دست آمده توصیه می گردد تا مطالعات مشابه در سایر مناطق جنگلی استان تکرار گردد. همچنین پیشنهاد می گردد که در مطالعات بعدی در

صورت امکان در فاصله زمانی سال های ۱۹۶۹ تا ۲۰۱۲ ، زمان های حد واسط دیگری به منظور بررسی دقیق تر تغییرات پوشش جنگلی صورت گیرد.

جدول ۳- درصد پوشش جنگلی منطقه مطالعاتی بر اساس طبقه بندی های مختلف در سال های ۱۹۶۹ و ۲۰۱۲ و میزان تغییرات ایجاد شده

تغییرات	سال ۲۰۱۲			سال ۱۹۶۹		دامنه طبقات	شناسه	تراکم پوشش
%	%	هکتار	%	هکتار				
+17.5	43.2	325.8	26.2	197.5	0-25%	F1	تنک تا نیمه تنک	
+7.72	46.8	351.7	39.0	293.6	25-20%	F2	نیمه متراکم	
-21.2	9.6	71.9	30.8	231.4	50-75%	F3	متراکم	
-3.56	0.4	3.0	4.0	29.9	75-100%	F4	خیلی متراکم	
	100	752.3	100	752.3			کل	
+19.58	55.0	413.6	35.4	266.3	0-30%	F1	تنک تا نیمه تنک	
+5.19	35.1	263.8	29.9	224.8	30-50%	F2	نیمه متراکم	
-23.33	9.6	73.0	33.0	248.5	50-80%	F3	متراکم	
-1.44	0.3	1.9	1.7	12.7	80-100%	F4	خیلی متراکم	
	100	752.3	100	752.3			کل	
+3.0	4.1	30.6	1.1	8.1	0-5%	F1	چراگاه	
+5.07	7.0	52.4	1.9	14.2	5-10%	F2	بسیار تنک	
+8.98	32.3	242.8	23.3	175.2	10-25%	F3	تنک	
+7.72	46.6	351.7	39.0	293.6	25-50%	F4	نیمه تنک	
-21.2	9.6	71.9	30.7	231.4	50-75%	F5	متراکم	
-3.56	0.4	3.0	4.0	29.9	75-100%	F6	خیلی متراکم	
	100	752.3	100	752.3			کل	
+19.58	55.0	413.6	35.4	266.3	0-30%	F1	تنک تا نیمه تنک	
-3.10	38.4	288.5	41.5	311.8	30-60%	F2	نیمه تنک	
-16.48	6.6	50.2	23.1	174.2	60-100%	F3	متراکم	
	100	752.3	100	752.3			کل	

جدول ۴- معیارهای بیان صحت در چهار روش کلاس بندی پوشش جنگلی

معیارهای صحت	۴ کلاس	۴ کلاس	۴ کلاس	۳ کلاس
	(روش اول)	(روش دوم)		
صحت تولید کننده	31.67	51.04	51.36	56.08
صحت کاربر	39.13	60.87	73.91	82.61

75.45	54.58	54.81	33.06	صحت کل
0.65	0.46	0.35	0.24	ضریب کاپا

منابع

- امینی، م. ر.، شتایی جویباری، ش.، غضنفری، ه. و معیری، م. "بررسی تغییرات گستره جنگل‌های زاگرس با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: جنگل‌های آرمیده بانه)". مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱۵(۲)، ۱۳۸۷، صفحات ۱۰ - ۲۰.
- خواجهدالدین، ج. "استفاده از داده‌های ماهواره Landsat 5-MSS در بررسی جوامع گیاهی و تعیین اراضی شور منطقه جازموریان". مجموعه مقالات دومین همایش ملی بیابان زدائی و روش‌های مختلف بیابان زدائی. ۱۳۷۵. صفحات ۴۱-۴۸.
- خواجهدالدین، ج. و خوانین زاده، ع. "بررسی پوشش گیاهی منطقه نیر-یزد با استفاده از داده‌های TM". مجموعه مقالات همایش کاربرد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیائی در مطالعه مناطق بیابانی. تهران. ۱۳۷۹. صفحات ۲۹۳-۲۹۵.
- رشیدی، ف.، اولادی، ج. و بابایی کفاکی، س. "بررسی بهبود صحت طبقه‌بندی تیپ‌های جنگل با استفاده از ادغام داده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی: طرح جنگل داری آذررود، سواد کوه-مازندران)". فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، شماره ۱۶(۱)، ۱۳۷۸، صفحات ۱۱-۲۲.
- رفیعیان، ا. "تعیین تغییرات گستره جنگل در شمال ایران در حد فاصل سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۰ با استفاده از اطلاعات ETM⁺". پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۳۸۱، ۱۲۲ صفحه.
- ریاحی بختیاری، ح.ر. "تعیین مناسب‌ترین روش تهیه نقشه‌های پوشش منابع طبیعی درمقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در ناحیه دشت ارژن". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. ۱۳۷۹.
- زارعی، م. اورک، ن. و کوهگردی، ا. ۱۳۹۳. "ارزیابی روند تغییرات جنگلهای حراء پارک ملی دریایی نای‌بند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای". فصلنامه مدیریت و برنامه ریزی محیط زیست، ۴(۱): ۵۵-۴۷.
- زبیری، م. "زیست‌سنجی جنگل". انتشارات دانشگاه تهران. تهران. ۱۳۸۱، ۴۱۱ صفحه.
- سوسنی، ج.، زبیری، م. و فقهی، ج. "کاربرد عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در نماسازی تغییرات پوشش جنگل در زاگرس (مطالعه موردی: جنگل‌های منطقه کاکاراضی استان لرستان)". فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، شماره ۱۷(۲)، ۱۳۸۸، صفحات ۲۳۷-۲۴۹.
- شتایی، ش. "تهیه نقشه جنگل به کمک تصاویر ماهواره ای به روش رقومی". پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۵، ۱۵۸ صفحه.
- عبدالهی، ه. و شتایی جویباری، ش. ۱۳۹۱. "ارزیابی مقایسه‌ای قابلیت داده‌های LISS-III و LISS-IV ماهواره IRS-P6 در تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگلهای زاگرس (مطالعه موردی: جنگل‌های شهرستان جواهرود)". مجله پژوهشهای علوم و فناوری چوب و جنگل، شماره ۱۹(۱)، ۱۳۹۱، صفحات ۴۳-۶۰.
- علوی پناه، س. ک. "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین". انتشارات دانشگاه تهران. ۱۳۸۲. ۴۷۸ صفحه.
- فتاحی، م. "روند مدیریت جنگلهای زاگرس، مجله دهاتی، شماره ۳ (۲۳): ۱۳۸۴، صفحات ۴۲-۵۲.
- میر آخورلو، خ. و اخوان، ر. "بررسی تغییرات مرز فوقانی جنگل‌های شمال کشور با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای". فصلنامه پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، شماره ۱۶ (۱۳)، ۱۳۸۷، صفحات ۱۳۹-۱۴۸.
- ناصری، ف.، درویش صفت، ع. ا.، سبجانی، ه. و نمیرانیان، م. "ارزیابی داده های لندست ۷ برای تهیه نقشه تراکم جنگل در نواحی خشک و نیمه خشک". مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۵۷ (۱)، ۱۳۸۳، صفحات ۱۰۹-۱۲۰.
- Boutton T.W. and Tieszen, L.L. "Estimation of plant biomass by spectral reflectance in East African grassland". J. Range Manag. Vol. 36, pp. 213-216, 1983.
- Desclée, B. Bogaert, P. and Defourny, P. "Forest change detection by statistical object-based method". Remote Sensing of Environment, Vol. 102, pp. 1-11, 2006.
- Kanbhum, R.T.. "Study on forest change detection in Eastern forest by Remote sensing Technique". National Research council of Thailand. Remote Sensing of Environment, Vol. 90, pp. 154- 16, 1998.
- Santosh, P.B. and Yousif, A.H. "Comparison of sub-pixel and Maximum likelihood classification of landsat ETM+ images to detect illegal logging in the tropical rain forest of Berau, east Kalimantan, Indonesia". <http://www.gisdevelopment.net>, 2002.
- Smith, M.O., Ustin, S.L., Adams, J.B. and Gillespie, A.R. "Vegetation in Desert: I. a regional measure of abundance from multispectral images". Remote Sensing Environment. Vol. 31, pp. 1-26. 1990.
- Song, X. Huang, C., Sexton, J., Channan, S. and Townshend, J.R. "Annual detection of forest cover loss using time series satellite measurements of percent tree cover". Remote Sensing, Vol. 6, pp. 8878-8903, 2014.
- Yuan, F.K.E., Sawaya, B.C. and Loeffelholz Bauer, M.E. "Land covers classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing". Remote Sensing of Environment, Vol. 95 pp. 317-328, 2005.
- Vogelemann, J.E., Tolk, B. and Zhiliang, Z. 2009. "Monitoring forest changes in the southwestern United States using multitemporal Landsat data". Remote Sensing of Environment, Vol. 113, pp. 1739- 1748, 2009.