

بررسی امکان تهیه نقشه پراکنش توده‌های زیرآشکوب شمشاد خزری (*Buxus hyrcana* Pojark.) با تصاویر طیفی فصل خزان ماهواره آیکونوس (مطالعه موردی: ذخیره‌گاه شمشاد خیبوس - انجیل سی، مازندران)

روح‌اله اسماعیلی^۱، شعبان شتایی جویباری^{۲*}، جواد سوسنی^۳، حامد نقوی^۳ و فرخ پورشکوری^۴

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- نویسنده مسئول، استاد دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. پست الکترونیک: shataee@yahoo.com

۳- استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۴- دکتری جنگل‌داری، سازمان فضای ایران، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۳

چکیده

با توجه به اهمیت شمشاد خزری (*Buxus hyrcana* Pojark.) به‌عنوان گونه همیشه‌سبز و زیرآشکوب جنگل‌های هیرکانی و ضرورت شناخت سطح پراکنش آن، در پژوهش پیش‌رو قابلیت تصویر فصل خزان چندطیفی ماهواره آیکونوس در تهیه نقشه پراکنش شمشاد در بخشی از منطقه حفاظت‌شده جنگلی خیبوس - انجیل سی مازندران بررسی شد. تطابق هندسی تصاویر آیکونوس با استفاده از تصویر پانکروماتیک ماهواره Pleiades از همین منطقه که بیشتر با استفاده از نقاط کنترل زمینی و ارتفاعی برداشتی توسط سامانه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی زمین‌مرجع شده بودند، با $RMSE$ کمتر از یک پیکسل انجام شد. نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای با سه طبقه غیرجنگل، جنگل پهن‌برگ بدون زیرآشکوب شمشاد و جنگل پهن‌برگ دارای زیرآشکوب شمشاد به کمک DGPS برداشت و تهیه شد. پس از ایجاد شاخص‌های گیاهی، تفکیک‌پذیری طبقات با معیار واگرایی تبدیل‌شده با استفاده از ۷۵ درصد از واقعیت زمینی به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی بررسی شد. طبقه‌بندی نظارت‌شده با الگوریتم‌های مختلف پارامتریک (حداکتر احتمال، فاصله ماهالونویس، حداقل فاصله، متوازی‌السطوح) و ناپارامتریک (ماشین بردار پشتیبان) روی باندهای اصلی و بهترین ترکیب باندی انجام شد و صحت نتایج طبقه‌بندی با ۲۵ درصد نمونه‌های نقشه واقعیت زمینی ارزیابی شد. نتایج نشان داد که نتیجه طبقه‌بندی با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان هم با باندهای اصلی و هم با بهترین ترکیب باندی دارای بهترین صحت کلی و ضریب کاپا (به ترتیب ۹۷/۸۷ درصد و ۰/۹۶) در مقایسه با دیگر الگوریتم‌های مورد استفاده بود. همچنین، تصویر چندطیفی فصل خزان ماهواره آیکونوس قابلیت زیادی در تهیه نقشه پراکنش شمشاد داشت و کارایی الگوریتم ناپارامتریک ماشین بردار پشتیبان در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم‌های پارامتریک و ناپارامتریک، جنگل‌های هیرکانی، شاخص گیاهی، ضریب کاپا، ماشین بردار پشتیبان.

مقدمه

جنگل‌های خزری است که دیرزیستی بیشتر از ۵۰۰ سال دارد (Rafieeyan, 2003). این درخت جزء عناصر اکسین - هیرکانی بوده (Shahsavari, 1994) و در

شمشاد خزری (*Buxus hyrcana* Pojark.) یکی از معدود درختان پهن‌برگ، همیشه‌سبز و زیرآشکوب

ماشین بردار پشتیبان از نظر محاسباتی سریع تر است و از قوانین بهینه سازی در مکان یابی مرز بین طبقه ها استفاده می کند، در نتیجه جایگزین مناسبی برای الگوریتم های دیگر است. از مزایای این نوع الگوریتم توانایی زیاد آن در استفاده از نمونه های تعلیمی کمتر و رسیدن به صحت بیشتر در طبقه بندی است (Shojaeian, 2013). مطالعات گسترده ای در زمینه عملکرد الگوریتم های طبقه بندی در تصاویر چندطیفی انجام شده است. Ghasemi و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی چهار الگوریتم مختلف برای برآورد تاج پوشش جنگل های مانگرو با استفاده از تصاویر دوربین هوایی پرداختند. نتایج آن ها نشان داد که الگوریتم ماشین بردار پشتیبان قابلیت بیشتری نسبت به الگوریتم پارامتریک در برآورد تاج پوشش داشت. Arkhi و Adibnejhad (۲۰۱۱) به ارزیابی کارایی روش های پارامتریک و غیرپارامتریک برای طبقه بندی کاربری اراضی حوضه سد ایلام پرداختند. نتایج پژوهش آن ها نشان داد که الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با سه کرنل خطی، چندجمله ای و شعاعی با صحت کلی ۹۵ درصد نسبت به روش پارامتریک، از نظر صحت کل حدود ۱۰ درصد و از نظر ضریب کاپا حدود ۱۵ درصد برتری داشت. Yousefi و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی با استفاده از تصاویر سنجنده ETM⁺ برای استخراج نقشه کاربری اراضی شهر نور نتیجه گرفتند که روش طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان با میانگین صحت کلی و شاخص کاپای به ترتیب ۹۰/۹۴ درصد و ۰/۹۵ نسبت به روش های پارامتریک دارای دقت بیشتری بود. Guo و همکاران (۲۰۱۲) به مقایسه دو الگوریتم طبقه بندی کننده شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان بر روی تصاویر ETM⁺ به منظور استخراج کاربری اراضی در شهر وهان پرداختند و نتیجه گرفتند که هر دو نوع طبقه بندی کننده صحت بیشتر از ۹۷ درصد داشتند، اما ماشین بردار پشتیبان با ۱/۴ درصد صحت کلی بیشتر، نتایج بهتری را نشان داد. Huang و همکاران (۲۰۰۲) در تحقیقی در اسپانیا، صحت طبقه بندی حاصل از

فهرست گونه های در معرض خطر قرار دارد (Huang et al., 2002). با وجود اهمیت شمشاد، اطلاعات دقیقی از پراکنش توده های آن در جنگل های هیرکانی در دسترس نیست. از سویی، طغیان بیماری سوختگی و آفت شب پره برگ خوار شمشاد در سال های اخیر، به شدت این گونه را با تهدید جدی مواجه و در معرض نابودی قرار داده است، بنابراین کسب اطلاعات دقیق از سطح پراکنش توده های آن بسیار ضروری است (Anonymous, 2014).

به منظور بررسی و پایش پوشش گیاهی، استفاده از روش های متداول سنتی و اندازه گیری زمینی، نه تنها مستلزم وقت و صرف هزینه زیاد است، بلکه در مناطق صعب العبور امکان انجام آن وجود ندارد (Godarzi et al., 2012). از این رو، استفاده از تصاویر ماهواره ای به دلیل برخورداری از دید وسیع، یکپارچگی، به هنگام بودن و قابلیت استفاده در مناطق صعب العبور و کم هزینه بودن از اهمیت ویژه ای برخوردارند (Linderman et al., 2004). وقتی امواج الکترومغناطیس به زمین می رسند، بخشی از آن ها بازتابیده می شود که حاوی اطلاعات سطح هر پدیده است (Shojaeian, 2013)، بنابراین سنجنده ها، بازتاب طیفی تاج درختان را ثبت می کنند. به همین دلیل، شناسایی آشکوب زیرین، تنها در صورت استفاده از داده های ماهواره ای فصل خزان امکان پذیر است که می تواند سهم بازتاب طیفی این آشکوب را در انعکاس ثبت شده افزایش دهد (Godarzi et al., 2012).

برای شناسایی و تفکیک پدیده ها، روش ها و الگوریتم های متعدد طبقه بندی وجود دارد که با توجه به نوع روش مورد استفاده نتایج متفاوتی به دست می آید (Alimohammadi et al., 2009). طبقه بندی کننده ها به دو دسته عمومی و پیشرفته تقسیم می شوند. از الگوریتم های طبقه بندی متداول می توان به حداکثر احتمال و حداقل فاصله و از الگوریتم های طبقه بندی پیشرفته می توان به شبکه های عصبی مصنوعی، درخت تصمیم گیری و ماشین بردار پشتیبان اشاره کرد (Linderman et al., 2004). به طور معمول، الگوریتم

تهیه نقشه پراکنش شمشاد خزری به‌عنوان گونه زیرآشکوب جنگل‌های هیرکانی و مقایسه کارایی تعدادی از الگوریتم‌های طبقه‌بندی در این زمینه بود.

مواد و روش‌ها

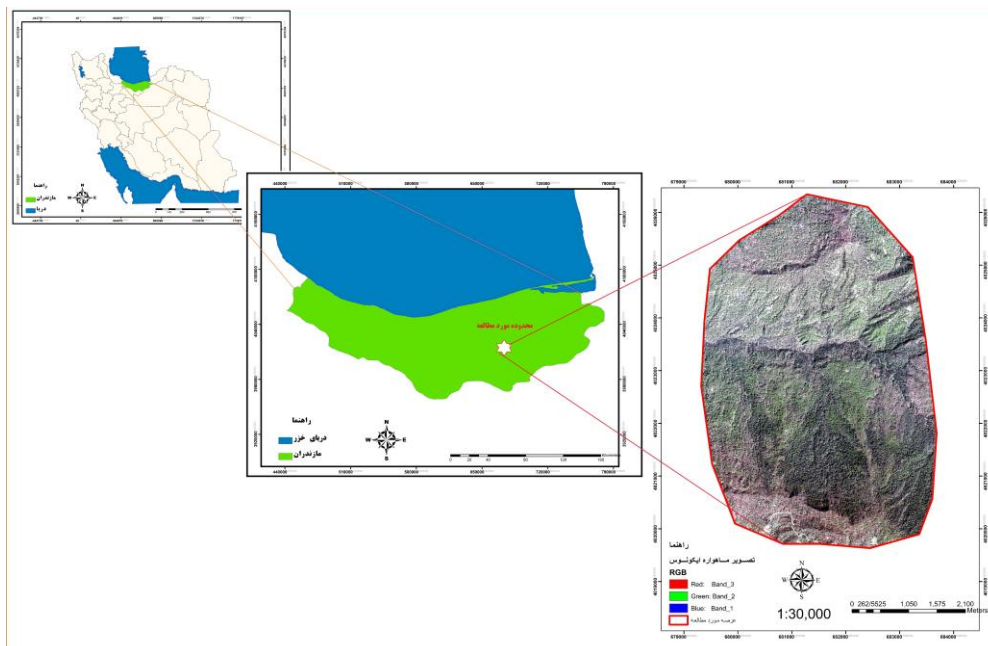
منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در بخشی از منطقه حفاظت‌شده خیبوس و انجیل‌سی، یکی از مهم‌ترین ذخیره‌گاه‌های جنگلی شمشاد خزری در شمال کشور انجام شد. انتخاب این منطقه بر اساس پیمایش و وجود توده‌های شمشاد بود. مساحت منطقه مورد مطالعه ۱۵۰۰ هکتار است که در حوضه آبخیز تالار و در محدوده جغرافیایی $36^{\circ}17'55''$ تا $53^{\circ}04'15''$ عرض شمالی و $53^{\circ}01'20''$ تا $53^{\circ}04'15''$ طول شرقی قرار گرفته و دامنه ارتفاعی آن از ۴۰۰ تا ۹۰۰ متر از سطح دریا متغیر است (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه منطقه حدود ۱۶۰۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه $13/4$ درجه سانتیگراد است. منحنی آمبروترمیک منطقه نشان می‌دهد که ۵۰ روز در سال دوره خشکی در منطقه وجود دارد و اقلیم آن طبق اقلیم‌نمای آمبرژه مرطوب سرد است. به‌طور کلی، سطح منطقه را واحد سنگی کنگلومرایی با کمی آهک مارنی تشکیل می‌دهد (Esmailzadeh et al., 2013).

این منطقه رویشگاه شمشاد در جنگل‌های میان‌بند شمال ایران است که در آن توده آمیخته راش با زیرآشکوب شمشاد و توده آمیخته راش فاقد شمشاد پراکنش دارند. تیپ اصلی این منطقه راشستان آمیخته است و ساختار ناهمسال نامنظم سه‌آشکوبه دارد. شمشاد گونه اصلی در آشکوب میانی است و تراکم آن طوری است که در زیر تاج آن درختچه‌ای دیگر دیده نمی‌شود. گونه‌های جل و خاس به‌صورت تک‌پایه بوده و تشکیل توده مترکم نمی‌دهند (Asadi et al., 2011).

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان را با سه الگوریتم طبقه‌بندی‌کننده دیگر شامل شبکه عصبی، حداکثر احتمال و الگوریتم ساختار درختی مقایسه کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که نتیجه طبقه‌بندی با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در مقایسه با الگوریتم‌های دیگر، دارای بیشترین صحت و نتیجه الگوریتم حداکثر احتمال، دارای کمترین صحت بود. Linderman و همکاران (۲۰۰۴) حضور و عدم حضور بامبو را به‌عنوان زیرآشکوب جنگل‌های پهن‌برگ چین با استفاده از تصاویر زمستان ماهواره لندست و الگوریتم شبکه مصنوعی عصبی بررسی و نقشه آن را با صحت کلی ۸۰ درصد تهیه کردند. Joshi و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از تصاویر فصل خزان ماهواره لندست، حضور یا عدم حضور گونه *Choromolena oderata* را پیش‌بینی کردند. در این مطالعه، صحت کلی ۷۴ درصد و ضریب کاپا ۰/۵۴ به‌دست آمد. در پژوهش دیگری، Morain (۱۹۸۶) به بررسی زیرآشکوب بامبو در ذخیره‌گاه باندا در چین پرداخت. نتایج نشان داد که توده‌های پهن‌برگ دارای زیرآشکوب به‌راحتی از توده‌های دیگر قابل شناسایی بودند. Wilfong و همکاران (۲۰۰۹) نقشه پراکنش گونه *Lonicera maackii* که زیرآشکوب جنگل پهن‌برگ خزان‌کننده جنوب هند محسوب می‌شود را با تصاویر زمستانه ماهواره لندست و با استفاده از شاخص‌های NDVI، SAVI و NDMI تهیه کردند. Tuanmu و همکاران (۲۰۱۰) نقشه پوشش بامبو را در زیرآشکوب جنگل ذخیره‌گاه ولانگ چین با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS ماهواره TERRA و به‌کارگیری شاخص گیاهی WDRVI تهیه کردند که صحت کلی ۹۲/۴ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۵ به‌دست آمد.

با توجه به توضیحات فوق، هدف از این پژوهش بررسی قابلیت تصاویر فصل خزان ماهواره آی‌کونوس در



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان مازندران

کینماتیک ثبت شد و به روش محاسبه پس از برداشت، پردازش شد. برای تهیه نقشه واقعیت زمینی، از هرکدام از طبقات، ۷۵ درصد نقاط به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی برای طبقه‌بندی و ۲۵ درصد باقیمانده برای ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی استفاده شدند.

پیش‌پردازش و پردازش تصاویر

تصحیح هندسی

اگرچه تصاویر دریافت شده در سطح تصحیحات (LIT) بودند، اما با روی هم‌اندازی خطوط رقومی جاده و مرز منطقه روی تصویر، مشخص شد که خطای هندسی در داده‌ها وجود دارد. به همین منظور، تصویر چندطیفی ماهواره آیکونوس به روش تصویر به تصویر و با استفاده از تصویر زمین مرجع شده پانکروماتیک ماهواره Pleiades با مقدار مجذور میانگین مربعات خطای نهایی (RMSE) ۰/۴۶ تصحیح شد. تصویر پانکروماتیک Pleiades بیشتر از طریق ۲۰ نقطه کنترل زمینی مربوط به عارضه‌های طبیعی مانند تقاطع جاده و یا تک‌پایه‌های درختی و یا عوارض مصنوعی و انسان‌ساخت، با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی زمین مرجع شده بود.

داده‌های پژوهش

در این پژوهش از داده‌های ماهواره آیکونوس مربوط به اول آوریل ۲۰۱۲ مطابق با سیزدهم فروردین ۱۳۹۲ (به‌دلیل کوهستانی بودن در این ایام درختان به‌طور کامل بی‌برگ هستند) استفاده شد. تصویر تهیه‌شده هیچ پوشش ابری نداشت. تصاویر این ماهواره دارای چهار باند در طول موج‌های آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک با قدرت تفکیک مکانی ۳/۲ متر و یک باند پانکروماتیک با قدرت تفکیک مکانی ۰/۸۲ متر در نادر و قدرت تفکیک رادیومتری ۱۱ بیت است.

تهیه نقشه واقعیت زمینی

به‌منظور شناسایی توده شمشاد، ۱۵۰ نمونه به‌صورت تصادفی - انتخابی از سه طبقه غیرجنگل (جاده‌ها و فضا‌های خالی و گاو‌سراها)، جنگل پهن‌برگ بدون شمشاد و جنگل پهن‌برگ با زیراشکوب شمشاد برداشت شد. قطعات نمونه به شکل نقطه یا پلیگون بودند که بسته به شرایط توده شمشاد با مساحت‌های مختلف و با توجه به پراکنش تصادفی طبقات در منطقه، انتخاب شدند. موقعیت نمونه‌ها نیز با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی (DGPS) و به روش برداشت

محاسبه شاخص‌های مختلف گیاهی (نسبت‌گیری باندها) انتخاب شاخص گیاهی مناسب برای هر مطالعه از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مطالعه، به منظور بررسی پوشش گیاهی زیرآشکوب، از بین شاخص‌های ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف، ۱۳ شاخص گیاهی ایجاد شد. جدول ۱ معادلات شاخص‌های گیاهی ایجاد شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- شاخص‌های گیاهی مورد استفاده برای تهیه نقشه پراکنش زیرآشکوب شمشاد در منطقه مورد مطالعه

منبع	رابطه	ترکیبات نسبت‌گیری
Rouse <i>et al.</i> , 1974	$(NIR - ED)/(NIR + NIR)$	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
Tucker, 1979	NIR-RED	Difference Vegetation Index (DVI)
Tucker, 1979	NIR-GREEN	Green Difference Vegetation Index (GDVI)
Bell <i>et al.</i> , 2004	$(NIR - GREEN)/(NIR + GREEN)$	Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)
Baret & Guyot, 1991	$(RVI - 1)/(RVI + 1)$	Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI)
Richardson & Wiegand, 1977	NIR / RED	Ratio Vegetation Index (RVI)
Baret & Guyot, 1991	$(RVI - 1)/(RVI + 1)$	Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI)
Gitelson, 2004	NIR/Green-1	Greenness Index (GI)
Goel & Qin, 1994	$(NIR^2 - RED) / (NIR^2 + RED)$	Nonlinear Vegetation Index (NLVI)
Roujean & Breon, 1995	$(NIR - RED) / (NIR + RED)^{0.5}$	Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI)
Broge & Leblanc, 2000	$(NIR - RED) / (NIR + RED) + 0.5$	Transformed Vegetation Index (TVI)
Crippen, 1990	$NIR / (NIR + RED)$	Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI)
Kaufman & Tanre, 1992	$(NIR - BLUE) / (NIR + BLUE)$	Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)

عدد ۲ نشان‌دهنده تفکیک‌پذیری کامل بین طبقه‌ها است (Godarzi *et al.*, 2012). ارزیابی کمی تفکیک‌پذیری طبقه‌ها (جدول ۴) نشان داد که طبقات مورد بررسی به خوبی از یکدیگر قابل تفکیک بودند، به طوری که طبقه جنگل پهن‌برگ با زیرآشکوب شمشاد از طبقه جنگل پهن‌برگ فاقد زیرآشکوب شمشاد و طبقه غیرجنگل تفکیک‌پذیری زیادی داشت و طبقه جنگل پهن‌برگ فاقد زیرآشکوب شمشاد از طبقه غیرجنگل تفکیک‌پذیری کمتری داشت.

بررسی تفکیک‌پذیری طبقات پس از انتخاب نمونه‌های تعلیمی از طبقه‌های جنگل پهن‌برگ فاقد زیرآشکوب، جنگل پهن‌برگ دارای زیرآشکوب شمشاد و غیرجنگل، مقدار تفکیک‌پذیری و تباین بین طبقه‌ها با شاخص‌های واگرایی تبدیل شده بررسی شد. در این روش، صفر به معنی عدم تفکیک‌پذیری، دامنه ۰-۱ تفکیک‌پذیری خیلی ضعیف، دامنه ۱-۱/۹ تفکیک‌پذیری ضعیف و از ۱/۹ تا ۲ تفکیک‌پذیری خوب و

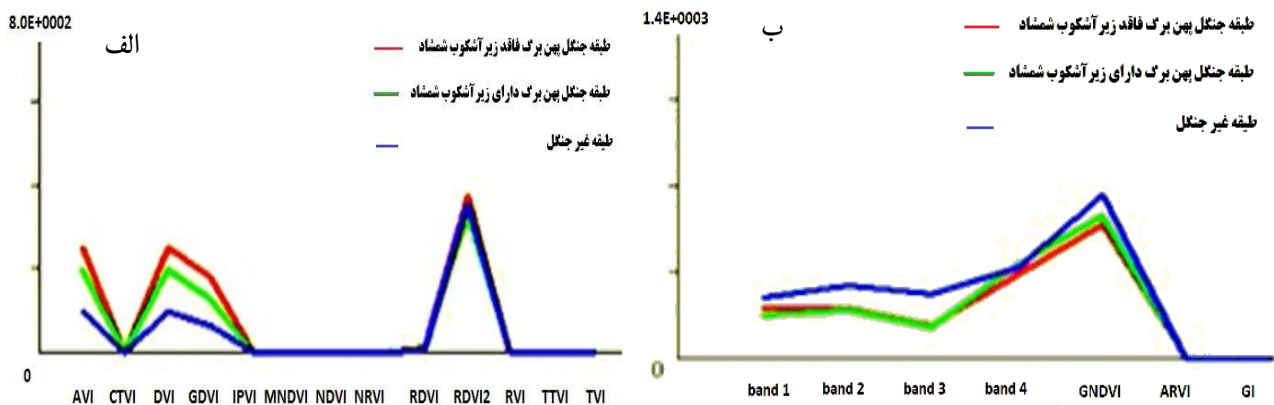
جدول ۴- مقدار تفکیک‌پذیری بین سه طبقه جنگل پهن‌برگ، شمشاد و غیرجنگل

طبقات	جنگل پهن‌برگ فاقد شمشاد - جنگل	جنگل پهن‌برگ دارای شمشاد - غیرجنگل	جنگل پهن‌برگ فاقد شمشاد - غیرجنگل
تفکیک‌پذیری	۱/۹۹۹	۱/۹۳۴	۱/۸۸۸

انتخاب بهترین باندها

بر اساس قانون هیوز، با افزایش تعداد باندها از یک حد خاص، دقت طبقه‌بندی سیر نزولی خواهد داشت. از سویی، در روش‌های طبقه‌بندی پارامتریک با افزایش ابعاد فضای طیفی، نیاز به داده‌های آموزشی به صورت نمایی افزایش می‌یابد و فراهم کردن تعداد زیاد نمونه‌های آموزشی زمان‌بر و پرهزینه است. برای رفع این مشکل ابعاد تصاویر فراطیفی کاهش داده می‌شود (Hughes, 1968)، بنابراین بررسی تفکیک‌پذیری طبقات در باندهای مختلف در دو مرحله

نشان داد که باند اصلی مادون قرمز به همراه نسبت‌های طیفی AVI, GNDVI, GDVI و DVI باندهایی بودند که طبقات مورد بررسی دارای بیشترین تفکیک‌پذیری در آن‌ها بودند و به‌عنوان بهترین ترکیب باندی انتخاب شدند. شکل ۳- الف نشان‌دهنده وضعیت گرافیکی تفکیک‌پذیری طبقات مورد بررسی از یکدیگر بر مبنای میانگین نمونه‌های تعلیمی در باندهای مصنوعی و شکل ۳- ب نشان‌دهنده این تفکیک‌پذیری در ترکیب باندهای اصلی و باندهای مصنوعی می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه تفکیک‌پذیری طبقات مورد بررسی در ترکیب باندهای اصلی و باندهای مصنوعی

بیکسل تصاویر طبقه‌بندی‌شده با ۲۵ درصد نقاط برداشت‌شده از هر طبقه به‌عنوان نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای انجام شد. مقدار صحت نتایج هر یک از الگوریتم‌ها بر اساس معیارهای ضریب کاپا، صحت کلی، صحت تولیدکننده و صحت کاربر ارزیابی شد.

نتایج

نتایج طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم‌های مختلف نتایج طبقه‌بندی با باندهای اصلی و بهترین ترکیب باندی در شکل ۴ و جدول‌های ۵ تا ۸ ارائه شده است. به‌طور کلی، دامنه صحت کلی با باندهای اصلی بین ۳۶/۱۷ تا ۹۷/۸۷ و در بهترین ترکیب باندی بین ۸۲/۹۷ تا ۹۷/۸۷ درصد متغیر بود. نتایج طبقه‌بندی با الگوریتم‌های مختلف در باندهای

طبقه‌بندی نظارت‌شده با الگوریتم‌های مختلف

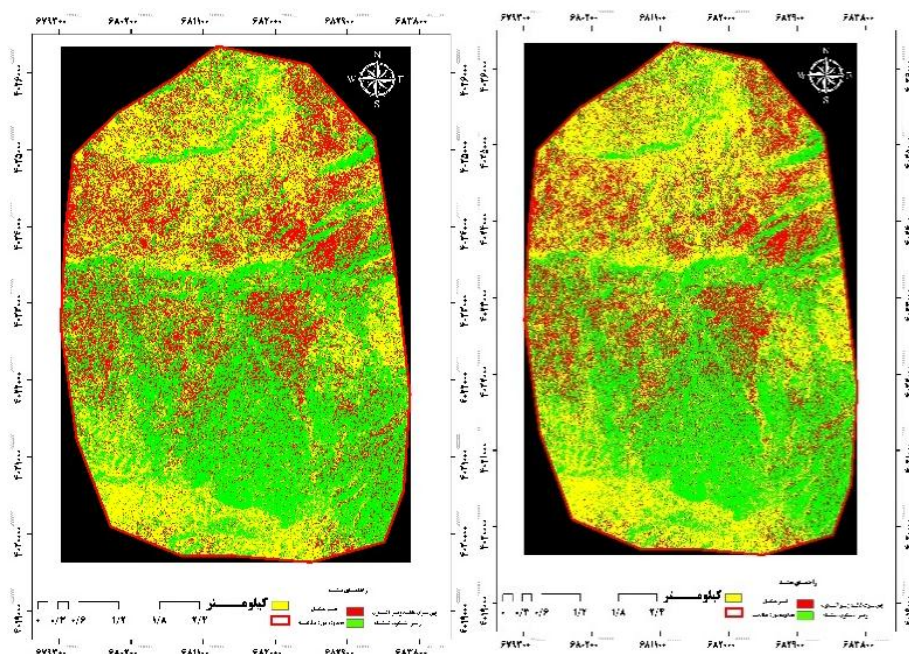
ابتدا طبقه‌بندی نظارت‌شده با چهار باند اصلی ماهواره آیکونوس و سپس با بهترین مجموعه باندی انتخابی از باندهای اصلی و پردازش‌شده انجام شد. در هرکدام از دو بخش بیان‌شده، طبقه‌بندی با الگوریتم‌های حداکثر احتمال، متوازی‌السطوح، حداقل فاصله، فاصله ماهالونویس و ماشین‌بردار پشتیبان با کرنل‌های شعاعی، خطی، چندجمله‌ای و حلقوی با تعداد سه متغیر، مقدار گاما برابر با $1/N$ تعداد باندهای مورد استفاده و تعداد نمونه‌های مساوی برای هر طبقه، به‌طور جداگانه انجام شد.

ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی و مقایسه عملکرد کارایی الگوریتم‌ها

صحت نتایج طبقه‌بندی با استفاده از مقایسه بیکسل به

شعاعی و با باندهای اصلی و بهترین ترکیب باندی به ترتیب دارای صحت کلی و ضریب کاپای ۹۷/۸۷ درصد و ۰/۹۶ بود.

اصلی و بهترین ترکیب باندی نشان داد که نتایج الگوریتم ماشین بردار پشتیبان از صحت بیشتری برخوردار بوده و نتیجه طبقه‌بندی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با کرنل



شکل ۴- نتایج طبقه‌بندی با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با کرنل شعاعی با باندهای اصلی (سمت راست) و ترکیب بهترین باندهای اصلی و مصنوعی (سمت چپ) ماهواره آیکنوس

جدول ۵- نتایج به دست آمده از ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی با باندهای اصلی و با استفاده از الگوریتم‌های مختلف

الگوریتم	صحت کلی (%)	ضریب کاپا	صحت تولیدکننده (%)			صحت کاربر (%)		
			شمشاد	غیرچنگل	پهن برگ	شمشاد	غیرچنگل	پهن برگ
کرانل شعاعی	۹۷/۸۷	۰/۹۶	۱۰۰	۹۳/۳۳	۱۰۰	۱۰۰	۹۳/۷۵	ماشین بردار پشتیبان
کرانل حلقوی	۹۷/۷۴	۰/۹۵۶	۱۰۰	۹۲/۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۹۲/۳۵	
کرانل خطی	۹۵/۷۴	۰/۹۳۵	۱۰۰	۸۶/۶۷	۱۰۰	۱۰۰	۸۸/۲۴	
کرانل چندجمله‌ای	۹۵/۷۴	۰/۹۳۵	۱۰۰	۸۶/۶۷	۱۰۰	۱۰۰	۸۸/۲۴	
حداکثر احتمال	۹۰/۸۷	۰/۸۵	۱۰۰	۸۵/۳۳	۱۰۰	۱۰۰	۹۳/۷۵	ماشین بردار پشتیبان
متوازی السطوح	۳۶/۱۷	۰/۶۰	۱۱/۷۶	۱۰۰	۰	۱۰۰	۳۳/۳۳	
حداقل فاصله	۸۹/۳۶	۰/۸۴	۱۰۰	۶۶/۶۷	۱۰۰	۱۰۰	۷۵	
فاصله ماهالونویس	۹۳/۶۱	۰/۹۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۹/۴۷	۹۳/۷۵	

جدول ۶- نتایج به دست آمده از ارزیابی صحت نتایج طبقه بندی با بهترین ترکیب باندی و با استفاده از الگوریتم های مختلف

الگوریتم	صحت کلی (%)	ضریب کاپا	صحت تولید کننده (%)		صحت کاربر (%)		
			شمشاد	غیر جنگل	پهن برگ	شمشاد	غیر جنگل
ماشین بردار پشتیبان	۹۷/۸۷	۰/۹۶	۱۰۰	۱۰۰	۹۳/۳۳	۹۴/۴۴	۱۰۰
کرنل شعاعی	۸۵/۱۰	۰/۷۷	۱۰۰	۷۸/۵۷	۷۵	۱۰۰	۷۳/۳۳
کرنل حلقوی	۹۵/۲۵	۰/۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۳/۳۳	۹۰/۴۴	۱۰۰
کرنل خطی	۹۲/۸۷	۰/۸۸	۱۰۰	۱۰۰	۹۳/۳۳	۸۵/۴۴	۱۰۰
کرنل چند جمله ای	۸۲/۹۷	۰/۷۵	۹۴/۱۲	۹۳/۳۳	۶۰	۱۰۰	۷۷/۷۸
حد اکثر احتمال	۸۲/۹۷	۰/۷۵	۹۴/۱۲	۹۳/۳۳	۶۰	۱۰۰	۷۷/۷۸
متوازی السطوح	۹۳/۶۱	۰/۹۰	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۸۹/۴۷	۹۳/۷۵
حداقل فاصله	۸۹/۳۶	۰/۸۴	۱۰۰	۶۶/۶۷	۱۰۰	۱۰۰	۷۵
فاصله ماهالونویس							

جدول ۷- ماتریس خطا در طبقه بندی با باندهای اصلی

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با کرنل شعاعی	طبقات	جنگل پهن برگ فاقد شمشاد		جنگل پهن برگ دارای شمشاد		مجموع	خطای کاربر
		شمشاد	غیر جنگل	شمشاد	غیر جنگل		
جنگل پهن برگ فاقد شمشاد	۵۱	۱	۰	۵۲	۱/۹۲		
جنگل پهن برگ دارای شمشاد	۱	۴۷	۳	۵۱	۷/۸۴		
غیر جنگل	۲	۰	۴۹	۵۱	۳/۹۲		
مجموع	۵۴	۴۸	۵۲	۱۵۴	-		
خطای تولید کننده	۵/۵۵	۲/۰۸	۵/۷۶	-	-		

جدول ۸- ماتریس خطا در طبقه بندی با بهترین ترکیب باندهای اصلی و باندهای پردازش شده

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با کرنل شعاعی	طبقات	جنگل پهن برگ فاقد شمشاد		جنگل پهن برگ دارای شمشاد		مجموع	خطای کاربر
		شمشاد	غیر جنگل	شمشاد	غیر جنگل		
جنگل پهن برگ فاقد شمشاد	۴۸	۳	۰	۵۱	۵/۸۸		
جنگل پهن برگ دارای شمشاد	۲	۴۷	۲	۵۱	۷/۸۴		
غیر جنگل	۳	۲	۴۷	۵۲	۹/۶۱		
مجموع	۵۳	۵۲	۴۹	۱۵۴	-		
خطای تولید کننده	۹/۶۱	۹/۶۱	۴/۰۸	-	-		

بحث

به عنوان ابزاری مناسب در مدیریت پوشش های جنگلی با صرف زمان و هزینه کم نسبت به روش های زمینی استفاده کرد. این نتایج مشابه با نتایج پژوهش های Ward و Johnson (۲۰۰۷) و Mathieu و Aryal (۲۰۰۵) است.

نتایج پژوهش پیش رو نشان داد که استفاده از تکنیک های پردازش تصاویر ماهواره ای کارایی زیادی در تفکیک پوشش های گیاهی زیر آشکوب دارد و می توان از آن

ضریب کاپای بیشتری داشت، به طوری که دامنه صحت الگوریتم ماشین بردار پشتیبان از ۹۵/۷۴ تا ۹۷/۸۷ درصد در باندهای اصلی و از ۸۵/۱ تا ۹۷/۸۷ درصد در بهترین ترکیب باندی متغیر بود. نتایج به دست آمده در این پژوهش با نتایج پژوهشگران دیگر (Arkhi & Adibnejad, 2011; Godarzi et al., 2012; Yousefi et al., 2014) که الگوریتم ماشین بردار پشتیبان را به عنوان بهترین روش ناپارامتریک در طبقه‌بندی معرفی کردند، مطابقت دارد. در پژوهش پیش رو مشخص شد که هر چهار تابع کرنل حلقوی، خطی، چندجمله‌ای و شعاعی در طبقه‌بندی با باندهای اصلی و کرنل‌های خطی و شعاعی در طبقه‌بندی با بهترین ترکیب باندی نتایج دقیق‌تری داشتند و بیشترین صحت کلی طبقه‌بندی (۹۷/۸۷ درصد) مربوط به کرنل شعاعی بود. این نتایج مطابق با نتایج Guo و همکاران (۲۰۰۸) و Dixon و Candade (۲۰۰۸) است که کرنل شعاعی را در تفکیک کاربری‌های مختلف بهترین الگوریتم معرفی کردند.

ارزیابی صحت نقشه طبقه‌بندی با الگوریتم‌های مختلف نشان داد که صحت تصویر طبقه‌بندی شده در روش طبقه‌بندی با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در حد مطلوب و قابل قبول بود و با توجه به صحت کلی ۹۷/۸۷ درصد می‌توان گفت که تصویر ماهواره آیکونوس به دلیل داشتن قدرت تفکیک مکانی خیلی زیاد از قابلیت خوبی در شناسایی شمشاد به عنوان زیرآشکوب برخوردار بود. از سویی، چون اساس کار شاخص‌های پوشش گیاهی تمایز اختلاف باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک و خاصیت جذب نور قرمز توسط رنگ‌دانه‌های موجود در کلروفیل و بازتاب کمتر گیاهان در باند قرمز و بازتاب شدید در باند مادون قرمز نزدیک است (Godarzi et al., 2012)، ایجاد شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی نیز در پژوهش پیش رو صحت کلی مطلوبی را ایجاد کرد. همچنین، الگوریتم‌های استفاده شده به ویژه الگوریتم ماشین بردار پشتیبان از روش‌های دقیق برای استخراج پوشش گیاهی زیرآشکوب هستند و در تفکیک پدیده‌هایی که رفتار طیفی نزدیک دارند، بسیار موفق عمل می‌کنند.

نتایج به دست آمده از ارزیابی کمی تفکیک‌پذیری طبقات نشان داد که طبقات مورد بررسی به خوبی از یکدیگر قابل تفکیک بودند، به طوری که هر سه طبقه جنگل پهن برگ فاقد زیرآشکوب شمشاد، جنگل پهن برگ دارای زیرآشکوب شمشاد و غیرجنگل دارای تفکیک‌پذیری بیشتر از ۱/۸۸ بودند و این امر نشان‌دهنده تفکیک‌پذیری مناسب طبقات از یکدیگر است. این نتیجه با نتایج تحقیق Morain (۱۹۸۶) که بیان کرد طبقه پهن برگ از عرصه‌های دارای زیرآشکوب بامبو به راحتی قابل تفکیک بود، در یک راستا است. مقادیر بسیار زیاد صحت تولیدکننده و کاربر هر یک از طبقات مورد بررسی در این پژوهش (اراضی غیرجنگلی، جنگل پهن برگ بدون زیرآشکوب شمشاد و جنگل پهن برگ دارای زیرآشکوب شمشاد) در جدول‌های ۵ و ۶ نیز تأیید کننده این موضوع بود. اگرچه در موارد بسیار ناچیز، وجود زیرآشکوب‌های سبز مانند کوله‌خاس و خاس می‌تواند در تفکیک بازتاب‌های مناطق با زیرآشکوب شمشاد مشکلاتی ایجاد کند، اما در منطقه مورد مطالعه زیرآشکوب سبز غیرشمشاد بسیار اندک بود.

بر اساس نتایج، از بین باندهای اصلی و مصنوعی ایجاد شده، باند مادون قرمز و شاخص‌های نسبت‌گیری AVI، GDVI، GNDVI و DVI بیشترین تفکیک‌پذیری را در مقایسه با باندهای اصلی دیگر و پردازش شده (باندهای نسبت‌گیری شده) داشتند. این موضوع نشان می‌دهد که باند مادون قرمز که یکی از باندهای اصلی مشارکت‌کننده در شاخص‌های پوشش گیاهی است، در تفکیک مناطق دارای پوشش گیاهی (دارای برگ و کلروفیل) از مناطق فاقد برگ و کلروفیل بسیار تعیین‌کننده است. این نتیجه در راستای نتایج پژوهش‌های Wilfong و همکاران (۲۰۰۹) و Tuanmu و همکاران (۲۰۱۰) است که شاخص‌های پوشش گیاهی را در شناسایی زیرآشکوب مناسب دانستند و به ترتیب شاخص‌های GNDVI و WRDVI را مناسب‌ترین شاخص‌ها بیان کردند.

نتایج پژوهش پیش رو نشان داد که طبقه‌بندی با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان نسبت به الگوریتم‌های دیگر، صحت و

- Baret, F. and Guyot, G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI & APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35: 161-173.
- Bell, G.E., Howell, B.M., Johnson, G.V. and Raun, W.R., 2004. Optical sensing of turfgrass chlorophyll content and tissue nitrogen. *HortScience*, 39(5): 1130-1132.
- Broge, N.H. and Leblanc, E., 2000. Comparing predictive power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, 76: 156-172.
- Crippen, R., 1990. Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment*, 34: 71-73.
- Dixon, B. and Candade, N., 2008. Multispectral landuse classification using neural networks and support vector machines. *International Journal of Remote Sensing*, 29(4): 1185-1206.
- Esmailzadeh, O., Asadi, H. and Ahmadi, A., 2013. Phytosociology of Khybus Protected Area. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 19(4): 1-20 (In Persian).
- Ghasemi, A., Fallah, A. and Shataee, Sh., 2016. Evaluation of four algorithms for estimation of canopy cover of mangrove forests by using aerial imagery. *RS and GIS for Natural Resources*, 7: 1-16 (In Persian).
- Gitelson, A., 2004. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Journal of Plant Physiology*, 161: 165-173.
- Godarzi, S., Abbaspoor, R., Ahadnejhad, V. and Khakbaz, B., 2012. Comparison of maximum likelihood method with support vector methods and neural networks to separate the lithological units. *Journal of Geology*, 6: 45-56 (In Persian).
- Goel, N. and Qin, S., 1994. Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation Indices and LAI and FPAR: a computer simulation. *Remote Sensing Reviews*, 10: 309-347.
- Guo, Y., De Jong, K., Liu, F., Wang, X. and Li, C., 2012. A Comparison of artificial neural networks and support vector machines on land cover classification. *Computational Intelligence and Intelligent Systems*, 25(3): 531-539.
- Guo, S., Gunn, R. and Nelson, J., 2008. Customizing kernel functions for SVM-based Hyperspectral image classification. *IEEE Transactions on Image Processing*, 17: 622-629.
- Hughes, G.F., 1968. On the mean accuracy of statistical pattern recognizers. *IEEE Transactions on Information Theory*, 14(1): 55-63.

در نهایت، بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان گفت که با توجه به مقادیر صحت کلی (۹۷/۸۷ درصد) و ضریب کاپا (۰/۹۶) به دست آمده از نقشه حاصل از طبقه‌بندی، تصاویر فصل خزان چندطیفی آیکونوس، توانایی تهیه نقشه پراکنش زیرآشکوب شمشاد را دارند، بنابراین به عنوان یک اصل کلی می‌توان گفت که داده‌های سنجنش از دور با توجه به دوره برداشت تکراری کوتاه، می‌تواند اطلاعات مفیدی را در مورد وضعیت پوشش گیاهی اراضی جنگلی به منظور مدیریت آینده جنگل ارائه دهند و با توجه به قابلیت مناسب روش‌های طبقه‌بندی ناپارامتریک نسبت به روش‌های پارامتریک، می‌توان به نتایج مطلوبی در این زمینه دست یافت.

سپاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی مصوب و با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران ریاست جمهوری انجام شد. بدین وسیله از حمایت‌های مادی و معنوی آن صندوق تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

- Alimohammadi, A., Matkan, A. and Tabatabaee, H., 2009. Comparison of pixel based and object based classification method on mapping forest types using remote sensing data, Case Study: Astar forests. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 5: 7-26 (In Persian).
- Anonymous, 2014. Boxwood blight disease control and prevention guidelines. Published by Forests, Range and Watershed Management Organization, Tehran, 15p (In Persian).
- Arkhi, S. and Adibnejhad, M., 2011. Efficiency assessment of the support vector machines for land use classification using Landsat ETM⁺ data (Case study: Ilam dam catchment). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 18(3): 420-440 (In Persian).
- Asadi, H., Hosseini, M., Esmailzadeh, O. and Ahmadi, A., 2011. Flora, life form and chorological study of Box tree sites in Khybus protected forest, Mazandaran. *Journal of Plant Biology*, 8: 40-47 (In Persian).

- reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, 51: 375-384.
- Rouse, J. Haas, R., Schell, J., Deering, D. and Harlan, J., 1974. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. NASA Technical Report, United States, 8p.
 - Shahsavari, A., 1994. Natural Forests and Woody Plants of Iran (translation). Published by Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, 125p (In Persian).
 - Shojaeian, A., 2013. Application of Remote Sensing on Urban Planning (translation). Published by Negarehe-no, Tehran, 150p (In Persian).
 - Tuanmu, M.N., Viña, A., Bearer, S., Xu, W., Ouyang, Z. and Zhang, H., 2010. Mapping understory vegetation using phenological characteristics derived from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 114(8): 1833-1844.
 - Tucker, C., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8: 127-150.
 - Ward, K.T. and Johnson, G.R., 2007. Geospatial methods provide timely and comprehensive urban forest information. *Urban Forestry and Urban Greening*, 6: 15-25.
 - Wilfong, D.L., Gorchov, M. and Henry, M., 2009. Detecting an invasive shrub in deciduous forest understories using remote sensing. *Weed Science*, 57(5): 512-520.
 - Yousefi, S., Tazeh, S., Mirzaee, H., Moradi, H.R. and Tavangar, Sh., 2014. Comparison of different classification algorithms in satellite imagery to produce land use maps (Case study: Noor city). *RS and GIS for Natural Resources*, 5: 67-76 (In Persian).
 - Huang, C.S., Davis, M. and Townshend, J.R., 2002. An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 23(4): 725-749.
 - Joshi, C., Leeuw, J., Van Andel, A., Skidmore, D. and Lekhak-Hari, I., 2006. Indirect remote sensing of a cryptic forest understory species. *Forest Ecology and Management*, 45(2): 245-256.
 - Kaufman, Y. and Tanre, D., 1992. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30: 261-270.
 - Linderman, M., Liu, J., Qi, J., An, L., Ouyang, Z., Yang, J. and Tan, Y., 2004. Using artificial neural networks to map the spatial distribution of understory bamboo from remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9): 1685-1700.
 - Mathieu, R. and Aryal, J., 2005. Object-oriented classification and IKONOS multispectral imagery for mapping vegetation communities in urban areas. Abstracts of the 17th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre, University of Otago, New Zealand, 24-25 Nov. 2005: 165-168.
 - Morain, S.A., 1986. Surveying China's agricultural resources: Patterns and progress from space. *Geocarto International*, 1: 15-24.
 - Rafieeyan, O., 2003. Investigation of forest area changes in 1994 to 2001 using ETM⁺ images. M.Sc. thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, 122p (In Persian).
 - Richardson, A. and Wieg, C., 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43: 1541-1552.
 - Roujean, J. and Breon, F., 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional

Capability investigation on spectral images of Ikonos from leafless season for Box (*Buxus hyrcana* Pojark.) understory distribution mapping in the Hyrcanian forest (Case study: Khiboos-Anjils Buxus reserved area, Mazandaran)

R. Esmaili¹, Sh. Shataee Joibari^{2*}, J. Soosani³, H. Naghavi³ and F. Poorshakori⁴

1- Ph.D. Student Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khoram Abad, Iran

2* - Corresponding author, Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: shataee@yahoo.com

3- Assistant Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khoram Abad, Iran

4- Ph.D. Forestry, Iranian Space Agency, Karaj, Iran

Received: 23.04.2017

Accepted: 18.06.2017

Abstract

As one of the most important understory evergreen species in Hyrcanian forests of Iran, information on the distribution of Box (*Buxus Hyrcana* Pojark.) are essential for both forest research and practice. Here, the capability of very high spatial resolution IKONOS satellite imagery acquired in leaf-off condition was tested for mapping Box distribution in a part of Khiboos-Anjili forest reserve in Mazandaran province. The IKONOS imagery was geometrically corrected with a georeferenced panchromatic Pleiades scene, which was orthorectified using 3D ground control points obtained using differential GPS (RMSE less than one pixel). Reference data samples from three classes of non-forested area, deciduous stands without Box understory and deciduous stands with Box understory were recorded using DGPS-supported field survey. By means of a number of vegetation indices, classes separabilities were evaluated on main and synthetic image channels by partitioning 75% training area and transformed divergence. IKONOS image was classified using both main and best-selected bands and a number of nonparametric (Maximum Likelihood, Mahalanobis distance, Minimum distance to mean and Paralell piped) and parametric (Support Vector Machine) classifiers. Then the classified images were assessed using 25 percent of unused sample points. Results of validation using the 25% left-out test data showed the highest performance by SVM algorithm compared to other algorithms, with overall accuracy and Kappa coefficient of 97.87% and 0.96, respectively. The results also showed the potential of IKONOS imagery from leaf-off season has to map Box trees in understory layer.

Keywords: Hyrcanian forests, Kappa coefficient, parametric and non-parametric algorithms, Support Vector Machine, vegetation index.