



ارزیابی چهار الگوریتم پیش بینی سطح تاج پوشش جنگل های مانگرو با استفاده از تصاویر دوربین هوایی

اکبر قاسمی^{۱*}، اصغر فلاح^۲، شعبان شتابی جویباری^۳

۱. دکتری جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳. دانشیار، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مشخصات مقاله

چکیده

پیشینه مقاله:

دریافت: ۴ شهریور ۱۳۹۴

پذیرش: ۱ اسفند ۱۳۹۴

دسترسی اینترنتی: ۳۰ مرداد ۱۳۹۵

واژه های کلیدی:

تاج پوشش

مانگرو

مدل سازی

دوربین Ultra cam X

بوشهر

امروزه استفاده از شاخص های اکولوژیک همانند تاج پوشش درختان برای شناخت وضعیت اکوسیستم های خاص نظیر رویشگاه های مانگرو و پایش و ارزیابی تغییرات ایجاد شده در طی زمان، امری ضروری می باشد. هدف از این مطالعه استفاده از قابلیت داده های طیفی با قدرت تفکیک مکانی بالاتر برآورد مشخصه سطح تاج پوشش با استفاده از الگوریتم های پارامتریک و ناپارامتریک در جنگل های مانگرو استان بوشهر است. برای انجام تحقیق، ۵۰ قطعه نمونه ۴۰۰ متر مربع (۲۰×۲۰ متر) به روش خط- نمونه پیاده و اطلاعات قطر برابر سینه، قطر بزرگ و کوچک تاج درختان و ارتفاع تمامی درختان به همراه موقعیت مراکز قطعه نمونه برداشت و سطح تاج پوشش در قطعه نمونه و در هکتار به درصد محاسبه گردید. تصاویر مورد استفاده در این تحقیق مربوط به عملیات عکس برداری در تاریخ ۹۱/۱۰/۲۰ است که با استفاده از دوربین رقومی UltraCam-X برداشت گردید. پس از انجام پیش پردازش ها و پردازش های مناسب، ارزش های رقومی متناظر با قطعات نمونه زمینی از باندهای طیفی استخراج و به عنوان متغیرهای مستقل و درصد تاج پوشش به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. مدل سازی با الگوریتم های نزدیک ترین همسایه، ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چندمتغیره با ۷۰٪ از قطعات نمونه انجام گردید و نتایج با ۳۰٪ باقیمانده قطعات نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور پیش بینی درصد تاج پوشش، نتایج الگوریتم جنگل تصادفی، نزدیک ترین همسایه، رگرسیون خطی چندمتغیره و ماشین بردار پشتیبان به ترتیب با درصد مجذور میانگین مربعات خطا برابر با ۱۳/۵۷، ۱۳/۹۵، ۱۴/۸۸ و ۱۷/۷۳ و اریبی نسبی برابر با ۳/۸۸، ۴/۶۲، ۵/۰۵ و ۲/۷۸- بدست آمد که الگوریتم جنگل تصادفی با کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا توانست درصد تاج پوشش را بهتر پیش بینی نماید. نتایج این تحقیق نشان داد الگوریتم های ناپارامتریک جنگل تصادفی، نزدیک ترین همسایه و ماشین بردار پشتیبان قابلیت بالاتری نسبت به الگوریتم پارامتریک رگرسیون خطی چندمتغیره در برآورد مشخصه درصد تاج پوشش دارا می باشند.

*ghasemiforester@gmail.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

مقدمه

مانگروها بوم‌سازگان جزر و مدی هستند که در خورها، اراضی لجنی و باتلاقی ساحل مستقرند. آماربرداری زمینی این بوم‌سازگان با مسائل و مشکلات متعددی روبه‌رو است در نتیجه مطالعات زیادی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (LandSat) و اسپات (SPOT) به منظور تهیه نقشه و بررسی ساختار توده‌های مانگرو در مناطق مختلف دنیا انجام شده است (۱۸، ۲۲ و ۲۹).

در دهه‌های اخیر توجه محققان به سوی الگوریتم‌های مدل‌سازی و برآوردهای پیچیده به منظور رسیدن به مشخصه‌های ساختاری پوشش گیاهی معطوف شده است. این مدل‌ها توانایی زیادی در کاهش دادن هزینه، زمان و بالا بردن دقت، در تصمیم‌گیری‌ها دارند. با توسعه روش‌های آماری ناپارامتریک در سال‌های اخیر، استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی نظیر ماشین بردار پشتیبان، نزدیک‌ترین همسایه و درختان تصمیم‌گیر به دلیل حل مدل‌های پیچیده بین متغیرهای وابسته و مستقل، مدل‌سازی غیرخطی و استفاده از متغیرهای زیاد مستقل مؤثر می‌توانند احتمال وقوع پدیده‌ها را متناسب مدل‌سازی نمایند.

امیری و همکاران (۱) بررسی امکان استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای IRS و شاخص‌های گیاهی (IRS4-IRS2, RVI, NDVI و IPVI) در مطالعه جنگل‌های حرا به عنوان شاخصی جهت اندازه‌گیری خسارت‌های احتمالی زیست‌محیطی تأسیسات عظیم نفتی منطقه پارس جنوبی واقع در استان بوشهر انجام دادند. نقشه واقعیت زمینی با کمک دستگاه GPS تهیه گردید. نتایج بررسی نشان‌دهنده اهمیت شاخص‌های گیاهی در تهیه نقشه گستره جنگل‌های حرا، به ویژه توانایی شاخص گیاهی RVI در میان چهار شاخص استفاده شده در این تحقیق (IRS4-IRS2, NDVI و IPVI) است. این شاخص با صحت تولیدکننده ۸۳/۳۸٪ و صحت کاربری ۸۷/۴۶٪ و ضریب کاپای ۸۷/۲۴٪ بهترین شاخص در تعیین مساحت جنگل‌های حرای مورد مطالعه بوده است.

دانه‌کار و همکاران (۴) تغییرات وسعت و تراکم رویشگاه

مانگرو در خور گواتر در دوره زمانی ۴۹ ساله (۱۳۳۶ تا ۱۳۸۵) را پایش کردند. در این تحقیق از عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰۰ سال‌های ۱۳۳۶ و ۱۳۴۵، عکس ماهواره corona سال ۱۳۴۴، تصاویر ماهواره لندست سنجنده TM و ETM مربوط به سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۸۰، تصاویر ماهواره IRS سال ۱۳۸۵ و تصاویر ماهواره Quickbird سال ۱۳۸۵ استفاده شده است. نتایج نشان داد که تغییرات وسعت جنگل یکنواخت نبوده است اما برآیند تغییرات مثبت است. تغییرات با نرخ رشد متوسط ۰/۹۸ هکتار در کل دوره مورد بررسی همراه بوده است و عمده این افزایش مربوط به سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۷۷ بوده است. تحقیقات انجام گرفته در ایران مانند صفا ایسنی (۸) در جنگل‌های مانگرو حوزه کولقان، تیاب و کلاهی، حجاریان (۳) در قشم و بندر خمیر و صادقی (۷) در جنگل‌های مانگرو جاسک و سیریک، افزایش وسعت را در دوره‌های گذشته نشان داده‌اند. صفا ایسنی (۸) افزایش وسعت جنگل‌های مانگرو را در محدوده مورد بررسی خود از سال ۱۳۳۶ از ۶۸۵/۳۶ هکتار به ۱۶۹۸/۰۳ هکتار در سال ۱۳۸۴ گزارش کرد که نرخ رشد آن ۲۱/۶۵ هکتار در سال است. صادقی (۷) این افزایش را از سال ۱۳۳۶ تا ۱۳۷۳ در سیریک ۵۳/۰۴ هکتار برآورد کرد که میانگین رشد سالیانه ۱/۴۳ هکتار بوده است و در جاسک این رقم ۱۴/۵۶ هکتار با رشد سالیانه ۰/۳۹ هکتار تعیین شد.

شتایی (۳۶) مطالعه‌ای را به منظور برآورد مشخصه حجم و رویه زمینی برابر سینه با داده‌های سنجنده TM و داده‌های لیدار در قسمتی از جنگل‌های کشور آلمان انجام داد. در این مطالعه از چهار روش رگرسیون ناپارامتری شامل نزدیک‌ترین همسایه وزن‌دار (k-NN)، ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)، جنگل تصادفی (RF) و شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی استفاده شد. نتایج نشان داد از میان چهار روش، روش رگرسیون ماشین‌های بردار پشتیبان برای مشخصه حجم به ترتیب با میزان ریشه میانگین مجذور خطا و اریبی ۱۶/۸۴ درصد و ۰/۹۶ درصد و روش نزدیک‌ترین همسایه برای رویه زمینی به ترتیب با میزان ریشه میانگین مجذور خطا و اریبی ۱۱/۷۹ درصد و ۰/۰۹ درصد دارای بهترین نتیجه بود. در

باینری بدست آمد.

وانگ و همکاران (۳۹) با استفاده از آنالیز بافت تصاویر WorldView-3 با قدرت تفکیک مکانی بالا نقشه ترکیب گونه‌ای مانگروها را در هنگ کنگ بدست آوردند. آن‌ها اظهار دارند که با توجه به تفاوت در ترتیب قرارگیری برگ‌ها، تراکم شاخه‌ها و میانگین ارتفاع و اندازه گونه‌ها، موجب شده که گونه‌ها قابل تفکیک باشند. نتایج نشان داد که ترکیب آنالیز بافت و داده‌های مختلف طیفی سبب بهبود نتایج و صحت نقشه شد و نتایج نزدیک به واقعیت ارائه می‌دهد.

در سنوات اخیر بکارگیری علوم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در بررسی، تجزیه و تحلیل و استفاده از آن به عنوان ابزار مدیریتی رشد چشمگیری داشته است. تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه پیش‌بینی ساختار با مدل‌سازی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفته است. در مطالعات برای نشان دادن ارتباط بین پارامترهای زمینی و تصویر سنجش از دوری از رگرسیون خطی (۱۶ و ۲۸)، برخی از رگرسیون چندگانه با و بدون رگرسیون گام به گام (۲۱) رگرسیون غیرخطی، شبکه عصب مصنوعی (۲، ۵ و ۳۸)، مدل‌های نیمه تجربی (۱۷)، مدل‌های ناپارامتری (۲۹) و روش تراکم تاج پوشش جنگل (FCD) (۶) استفاده شده است. با وجودی که مدل مشخصی تعیین نشده است. بیشتر تحقیقات از برتری روش‌های ناپارامتریک نظیر روش‌های یادگیری ماشین و رگرسیون‌های درختی و شبکه‌های عصب مصنوعی صحبت می‌نمایند. مانیاتیس و مولیسن (۲۶) با اندازه‌گیری زمینی محدود، ساختار توده‌های جنگلی (به طور مثال پراکنش رویه زمینی) با استفاده از تصاویر هوایی برآورد و نقشه آن تهیه و مدل‌های برآوردی ارائه گردید. با وجودی که این تصاویر قدرت زیادی در برآورد سطح تاج پوشش جنگل دارند ولی بسیار پر هزینه هستند که سبب شده استفاده از آن‌ها در مقیاس وسیع محدود گردد (۱۰، ۱۳ و ۲۷).

با توجه به مرور منابع و تئوری بحث تهیه نقشه سطح تاج پوشش و پوشش اراضی، تحقیقات این بخش با توجه به توسعه روز افزون دانش سنجش از دور، تحقیقاتی دامنه‌دار

مطالعه دیگری شتایی و همکاران (۳۵) به برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های سری یک داریکلا با استفاده از تصاویر ASTER و الگوریتم‌های ناپارامتریک جنگل تصادفی، نزدیک‌ترین همسایه و ماشین بردار پشتیبان پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که در برآورد موجودی سرپا در هکتار، هر سه الگوریتم تقریباً نتایج مشابهی داشتند. همچنین نتایج برای دو مشخصه رویه زمینی و تعداد در هکتار درختان نشان داد که الگوریتم جنگل تصادفی مجذور میانگین مربعات خطای کمتری ۱۸/۳۹ و ۲۰/۶۴ نسبت به ماشین بردار پشتیبان رگرسیون ۱۹/۳۵ و ۲۲/۰۹ و نزدیک‌ترین همسایه ۲۰/۲۰ و ۲۱/۵۳ حاصل شد.

محمدی (۹) بررسی برآورد مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از داده‌های لیدار و عکس هوایی رقومی در جنگل‌های شصت کلاته گرگان را انجام داد. از الگوریتم ماشین بردار، جنگل تصادفی، نزدیک‌ترین همسایه و رگرسیون خطی چند متغیره جهت مدل‌سازی داده‌های زمینی و تصویر استفاده کرد. نتایج تحقیق نشان داد که الگوریتم ماشین بردار و تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر رقومی نسبت به سایر الگوریتم‌ها و داده‌های مورد استفاده توانست مشخصه‌های حجم سرپا و تعداد درختان در هکتار را بهتر برآورد کند. همچنین الگوریتم جنگل تصادفی و تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر هوایی شاخص رویه زمینی در هکتار را بهتر از سایر الگوریتم‌ها برآورد کرد.

یوسفی و همکاران (۱۲) تحقیقی با هدف تعیین بهترین روش طبقه‌بندی تصاویر سنجنده ETM^+ از بین ۹ روش طبقه‌بندی نظارت شده جهت استخراج نقشه کاربری اراضی شهر نور انجام دادند. نتایج نشان داد که روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان با میانگین ضرایب کلی و کاپا به ترتیب ۹۰/۹۴ درصد و ۹۵/۰۳ نسبت به روش‌های دیگر دارای دقت بالاتری است. اولویت دقت روش‌های ۹ گانه به ترتیب به صورت، ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی، فاصله ماهالانویی، حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، نقشه زاویه طیفی، واگرایی اطلاعات طیفی، سطوح موازی و در نهایت روش کدهای

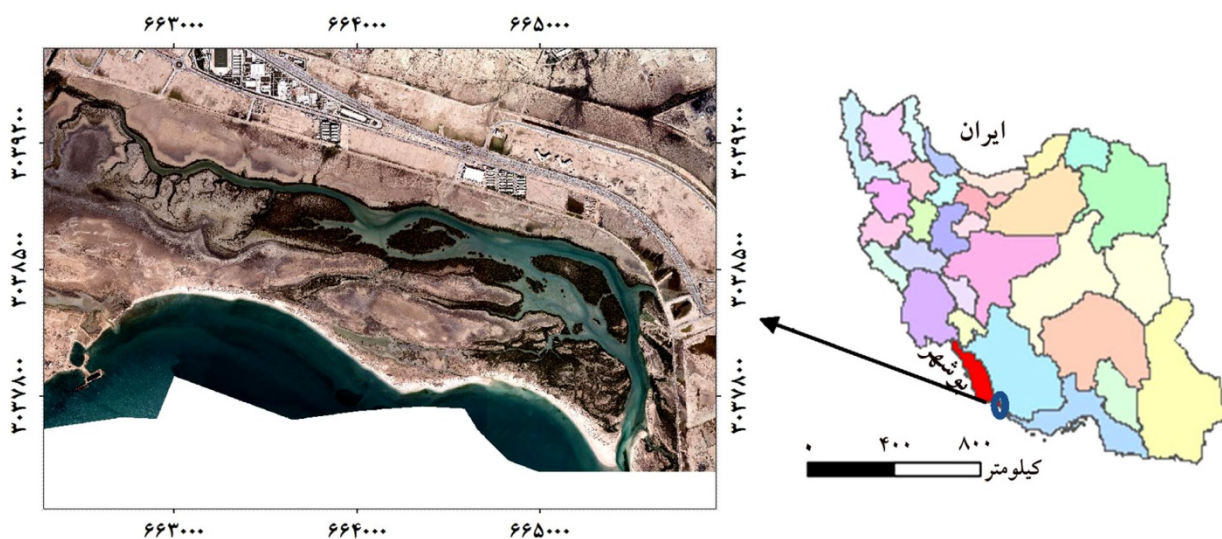
در شهر عسلویه، در ۳۰۰ کیلومتری جنوب شهر بوشهر انجام شده است که مساحتی حدود ۲۲۵ هکتار دارد (شکل ۱). این منطقه در موقعیت جغرافیایی $27^{\circ} 53' 23''$ تا $27^{\circ} 29' 33''$ عرض شمالی و $54^{\circ} 54' 34''$ تا $54^{\circ} 41' 17''$ طول شرقی واقع شده است. در این منطقه متوسط درجه حرارت ۸ ماه از سال بالاتر از ۲۴ درجه سانتی گراد بوده و در طول سال کمتر از ۱۵ درجه سانتی گراد نیست. همچنین متوسط بارندگی ایستگاه عسلویه بر اساس آمار ۲۷ ساله، $193/3$ میلی متر است. آب و هوای منطقه مورد مطالعه نیمه گرمسیری متمایل به خشک استوایی و طبق طبقه بندی اقلیمی آمبرژه در محدوده بیابانی گرم و شدید قرار دارد. این منطقه را ترکیبی از دشت های ساحلی، تپه ماهورها و کوه های خشک در بر می گیرد. خاک های این منطقه از رسوبات آبرفتی بوده و به سمت دریا شور و آهکی می شوند.

است و هر یک از روش ها با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه، در یک منطقه از کارایی بهتری در مقایسه برخوردار می باشند؛ بنابراین هدف از این تحقیق بررسی قابلیت ها و محدودیت های الگوریتم های نزدیک ترین همسایه، ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و رگرسیون خطی چند متغیره در برآورد مشخصه سطح تاج پوشش جنگل های حرا بوده تا ابتدا کارایی روش ها در برآورد سطح تاج پوشش با استفاده از داده های طیفی هوایی بررسی و سپس مناسب ترین الگوریتم در تعیین سطح تاج پوشش جنگل های حرا واقع در استان بوشهر ارائه گردد.

مواد روش ها

منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در جنگل های حرا در پارک ملی دریایی ناینبد



شکل ۱. موقعیت منطقه جنگل های حرا مورد مطالعه

دقت دسی متر اندازه گیری شد. قطر بزرگ و کوچک تاج درختان توسط متر نواری اندازه گیری و سپس میانگین آن ها در محاسبات منظور گردید. برای اندازه گیری قطر درختان حرا، قطر ساقه اصلی در ارتفاع آب گیری اندازه گیری شد (۲۰، ۳۰ و ۳۳).

در این تحقیق از تصاویر هوایی دوربین Ultracam x که

روش تحقیق

به منظور برآورد مشخصه های ساختاری در جنگل های حرا تعداد ۵۰ قطعه نمونه به ابعاد 20×20 متر به روش خط-نمونه انتخاب و مشخصه های ساختاری قطر یقه در ارتفاع آب گیری، قطر تاج و ارتفاع درختان حرا در این قطعه های نمونه اندازه گیری شد. ارتفاع درخت با کمک دستگاه سونو و تا

دارای سیستم اپتیکی بسیار عالی در محدوده سیاه و سفید با فاصله کانونی 100 mm و دارای فاصله کانونی 33 mm در محدوده طیف الکترومغناطیسی یا باند رنگی استفاده گردید. این دوربین حاوی هشت لنز است، که چهار لنز آن مربوط به تصاویر PAN، سه لنز مخصوص تصاویر RGB و یک لنز برای اخذ تصاویر طیف مادون قرمز نزدیک (NIR) است. بافت تصاویر را می‌توان به صورت یک تابعی از تغییرات مکانی شدت روشنایی پیکسل‌ها تعریف نمود که ویژگی‌های همواری و نرمی، زبری و منظم بودن هر سطح را اندازه‌گیری می‌کند (۱۹). اطلاعات حاصل از آنالیز بافت به قدرت تفکیک مکانی و طیفی تصویر آنالیز شده و ویژگی‌های پدیده مورد نظر از نظر شکل و اندازه بستگی دارد (۲۳). در آنالیز بافت تصاویر مورد استفاده، ابعاد کرنل از طریق ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۱/۲۵ برابر اندازه قطعات نمونه استفاده گردید تا از اکثر مزایای استخراج مقادیر مربوط به پیکسل در محدوده کوچک تا محدوده بزرگ را داشته باشد. با وجود ابعاد قطعات نمونه ۲۰×۲۰ متر، کرنل‌های

۴۰×۴۰، ۶۰×۶۰، ۸۰×۸۰ و ۱۰۰×۱۰۰ محاسبه و استفاده شد. پس از آن از باندهای اصلی و کاذب تولید شده و شاخص‌های گیاهی ایجاد شده، اعداد رقمی (Digital Number) مربوط به هر یک از قطعات نمونه از روش ناحیه‌ای (Zonal) استخراج شد و سپس برای آنالیزهای آماری مورد استفاده قرار گرفت. همچنین به منظور ایجاد شاخص‌های گیاهی از ترکیبات نسبت‌گیری مناسب در پژوهش‌های پیشین استفاده شد (جدول ۱). به منظور حل مشکلات مربوط به مدل‌سازی پارامتریک از رگرسیون خطی چند متغیره و مدل‌سازی ناپارامتریک از دقیق‌ترین و نیرومندترین الگوریتم‌های داده‌کاوی شامل نزدیک‌ترین همسایه، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی استفاده شد (۲۵ و ۳۴). به منظور نشان دادن ارتباط بین داده‌های اکولوژیکی و اطلاعات سنجش از دور، تعدادی از مطالعات از این روش‌ها استفاده کرده‌اند (۱۱، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۳۵ و ۳۶).

جدول ۱. ترکیبات نسبت‌گیری مورد استفاده

منبع مورد استفاده	فرمول	ترکیبات نسبت‌گیری
(۳۲)	$(NIR - RED) / (NIR + NIR)$	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
(۳۲)	$\frac{(Nir - Red)}{(\sqrt{Nir + Red})}$	Relative Difference Vegetation Index (RDVI)
(۳۷)	NIR-RED	Difference Vegetation Index (DVI)
(۳۷)	NIR-GREEN	Green Difference Vegetation Index (GDVI)
(۱۵)	$(NIR - GREEN) / (NIR + GREEN)$	Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)
(۱۴)	$(RVI - 1) / (RVI + 1)$	Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI)
(۳۱)	NIR / RED	Ratio Vegetation Index (RVI)

برآورد و مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی جنگل تصادفی یکی از روش‌های مدل‌سازی درختان تصمیم است. در مسائل مربوط به رگرسیون، جنگل تصادفی تعداد اختیاری از درختان نا آزموده (زیرمجموعه‌ای از متغیرهای مستقل) است که نتایج واکنش این درختان به صورت ترکیبی، جهت تخمین صحیح متغیر وابسته مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای تعیین بهینه درختان، ابتدا تعدادی

درخت اولیه، جهت تولید نمودار که نشان‌دهنده تغییرات میانگین مربعات خطا در مقابل تعداد خاص درختان نمونه‌های آموزشی و ارزیابی است، مورد استفاده قرار گرفت. یکی از پارامترهای مهم در جنگل تصادفی پیش‌بینی کننده K (متغیر مستقل) در هر گره جهت پیش‌بینی مقدار متغیر پاسخ (وابسته) است. ساده‌ترین راه تعیین مقدار K محاسبه جذر تعداد کل متغیرهای مستقل است (۳۶). جهت انتخاب تعداد بهینه

متغیرهای مستقل ابتدا با استفاده کل متغیرهای مستقل اجرا شد، سپس با مشاهده نمودار تغییرات میزان مربعات خطا برای داده‌های آزمون و آموزش، جایی که با افزایش تعداد روند افزایش مربعات خطا روند ثابتی پیدا می‌کند به عنوان تعداد درخت بهینه انتخاب شد. جهت برآورد تعداد بهینه برآورد گره‌ها (Predictors) از تعداد کل جذر متغیرها به اضافه و منهای ۲ (\pm) استفاده شد. میزان نسبت زیر نمونه (Subsample Proportion) نیز از ۰/۵ تا ۰/۹ تغییر داده شد و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت (۹).

برآورد و مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه این روش برای برآورد اطلاعات جنگل یک ابزار مناسب محسوب می‌شود. برای اجرای این الگوریتم سه پارامتر تعداد همسایه، اندازه فاصله و وزن‌دهی یا عدم وزن‌دهی نزدیک‌ترین همسایه‌ها مهم هستند (۳۶). در مطالعه شتایی (۳۶) مقدار بهینه آن بین یک تا ۳۵ گزارش شده است. یکی از پارامترهایی که باید در این روش تعیین شود نوع فاصله است. چهار معیار فاصله اقلیدسی (Euclidean)، مربع فاصله اقلیدسی (Euclidean Square)، منهتن (City block) و چیشیف (Chebychev) به صورت وزن داده شده و داده‌ها بصورت استاندارد شده مورد استفاده قرار گرفت.

برآورد و مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه این روش برای برآورد اطلاعات جنگل یک ابزار مناسب محسوب می‌شود. برای اجرای این الگوریتم سه پارامتر تعداد همسایه، اندازه فاصله و وزن‌دهی یا عدم وزن‌دهی نزدیک‌ترین همسایه‌ها مهم هستند (۳۶). در مطالعه شتایی (۳۶) مقدار بهینه آن بین یک تا ۳۵ گزارش شده است. یکی از پارامترهایی که باید در این روش تعیین شود نوع فاصله است. چهار معیار فاصله اقلیدسی (Euclidean)، مربع فاصله اقلیدسی (Euclidean Square)، منهتن (City block) و چیشیف (Chebychev) به صورت وزن داده شده و داده‌ها بصورت استاندارد شده مورد استفاده قرار گرفت.

برآورد و مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان این الگوریتم علاوه بر دارا بودن یک شالوده ریاضیاتی منسجم در تئوری یادگیری آماری، عملکرد بسیار خوب و

نتایج

مشخصات توصیفی جنگل

نتایج اولیه بررسی وضعیت متغیرهای مورد بررسی نشان داد که میانگین ارتفاع ۲/۸۸ متر، میانگین قطر یقه درخت در ارتفاع آبگیری ۱۳/۹۷ و میانگین قطر تاج ۲/۵۴ متر است.

جدول ۲. مشخصات توصیفی برای مشخصه‌های قطر، ارتفاع و قطر تاج

مشخصه‌ها	قطر یقه در ارتفاع آبگیری (سانتیمتر)	ارتفاع (متر)	قطر تاج (متر)
تعداد	۲۵۰۱	۲۵۰۱	۲۵۰۱
میانگین	۱۳/۹۷	۲/۸۸	۲/۵۴
انحراف از معیار	۴/۰۵	۰/۷۱	۰/۵۷
دامنه تغییرات	۳۵	۲	۶/۸
حداکثر	۴۰	۸	۷/۴
حداقل	۵	۶	۰/۶

کرد که اطلاعات طیفی تصویر دوربین التراکم به همراه آنالیز بافت قادر به مدل‌سازی تاج پوشش است. کمترین مقدار درصد مجذور مربعات خطا و مقدار درصد اریبی مربوط به اندازه کرنل ۸۰ به ترتیب ۱۳/۵۵ و ۴/۵۸- درصد است.

نتایج حاصل از انتخاب کرنل بهینه در برآورد سطح تاج پوشش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی نتایج عملکرد الگوریتم جنگل تصادفی و اطلاعات مورد نظر در جدول ۳ آمده است. با توجه به ضرایب تبیین و مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و همچنین مقدار اریبی در این روش می‌توان بیان

جدول ۳. نتایج انتخاب کرنل بهینه آنالیز بافت کرنل‌ها با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی

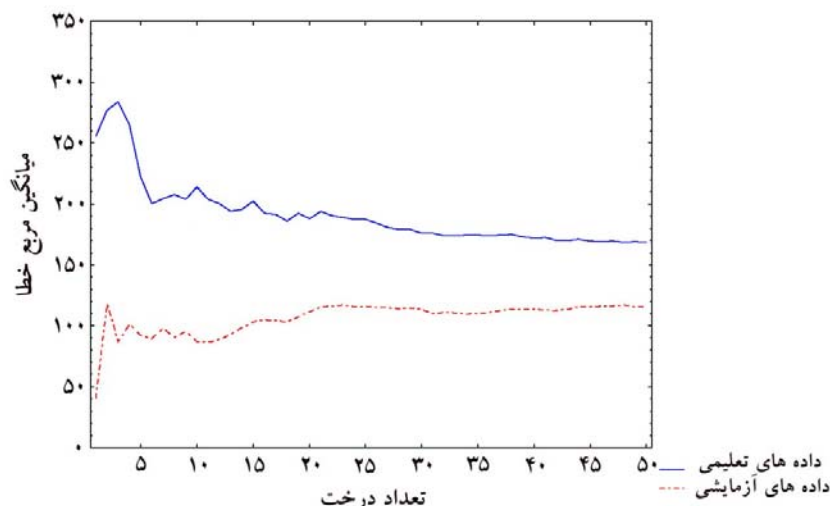
Bias %	Bais (ha ⁻¹)	RMSe %	RMSe (ha ⁻¹)	زیر نمونه	اندازه کرنل
-۳/۳۳	-۲/۶۴	۱۴/۸۴	۱۱/۷۷	۰/۹	۴۰
-۳/۵۳	-۲/۸۰	۱۳/۹۲	۱۱/۰۳	۰/۹	۴۰
-۳/۶۱	-۲/۸۶	۱۳/۸۶	۱۰/۹۹	۰/۹	۴۰
-۳/۸۲	-۲/۰۳	۱۴/۱۸	۱۱/۲۴	۰/۹	۴۰
-۸۳/۳	-۳/۰۴	۱۳/۸۵	۱۰/۹۸	۰/۹	۴۰
-۴/۷۷	-۳/۷۸	۱۴/۰۲	۱۱/۱۲	۰/۹	۶۰
-۴/۱۶	-۳/۳۰	۱۴/۰۳	۱۱/۱۲	۰/۹	۶۰
-۳/۹۰	-۳/۰۹	۱۳/۹۰	۱۱/۰۲	۰/۹	۶۰
-۴-۱۲	-۳/۲۷	۱۳/۷۴	۱۰/۸۹	۰/۹	۶۰
-۴/۲۲	-۳/۳۴	۱۳/۸۰	۱۰/۹۴	۰/۹	۶۰
-۴/۸۱	-۳/۸۱	۱۳/۷۷	۱۰/۹۲	۰/۹	۸۰
-۴/۳۷	-۳/۴۶	۱۳/۶۱	۱۰/۷۹	۰/۹	۸۰
-۴/۵۱	-۳/۵۸	۱۳/۶۶	۱۰/۸۳	۰/۹	۸۰
-۴/۵۴	-۳/۶۰	۱۳/۵۸	۱۰/۷۶	۰/۹	۸۰
-۴/۵۸	-۳/۶۳	۱۳/۵۵	۱۰/۷۴	۰/۹	۸۰
-۴/۰۰	-۳/۱۷	۱۶/۰۷	۱۲/۱۴	۰/۹	۱۰۰
-۳/۷۹	-۳/۰۰	۱۵/۷۰	۱۲/۴۵	۰/۹	۱۰۰
-۴/۱۶	-۳/۳۰	۱۵/۷۵	۱۲/۴۹	۰/۹	۱۰۰
-۳/۴۷	-۲/۷۵	۱۵/۶۴	۱۲/۴۰	۰/۹	۱۰۰
-۳/۹۱	-۳/۱۰	۱۵/۷۱	۱۲/۴۵	۰/۹	۱۰۰

آزمون ندارد، به عنوان درخت بهینه انتخاب گردید. میزان تغییرات مربعات خطا در نقطه ۵۰ درخت برای داده‌های آموزش و آزمون روند ثابتی پیدا می‌کند، به همین دلیل تعداد ۵۰ درخت به عنوان درخت بهینه انتخاب شد. بهترین نتایج از مدلی با استفاده از تعداد ۸ برآورد کننده و نسبت زیر نمونه ۰/۸ به دست آمد (جدول ۴). در این مدل متغیرهای مستقل B1 Standard deviation, B1 contrast و B4 GLDV entropy دارای اهمیت بالاتر می‌باشند.

نتایج حاصل از برآورد سطح تاج پوشش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی نتایج حاصل از الگوریتم جنگل تصادفی و اطلاعات طیفی مورد نظر در جدول ۴ آمده است. به منظور برآورد تعداد درختان بهینه برای مدل‌سازی سطح تاج پوشش، از نمودار تغییرات مربعات خطا با افزایش تعداد درختان برای داده‌های آموزش و آزمون استفاده شد (شکل ۲). بدین منظور نقطه‌ای که از آن به بعد میزان افزایش تعداد درختان تأثیری در کاهش مربعات خطای داده‌های آموزش و

جدول ۴. نتایج ارزیابی بهترین مدل به دست آمده برآورد سطح تاج پوشش (%) با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی

Bias %	Bais (ha ⁻¹)	RMSE %	RMSe (ha ⁻¹)	تعداد برآوردگر
-۳/۸۸	-۳/۰۸	۱۳/۵۴	۱۰/۷۶	۸



شکل ۲. نمودار روند تغییرات میانگین مربعات خطا در برآورد سطح تاج پوشش برای تعداد درختان مختلف پوشش با استفاده از داده‌های رقومی تصویر دوربین اولتراکم

اقلیدسی، منهن و چیشف با تغییر میزان K بین ۱ تا ۳۰ نشان داد که مدل‌سازی کمترین مقدار درصد مجذور مربعات خطا و مقدار درصد اریبی مربوط به فواصل اندازه‌گیری به روش مربع اقلیدسی به ترتیب ۱۳/۹۵ و ۴/۶۲ - درصد است (جدول ۵).

نتایج حاصل از برآورد سطح تاج پوشش با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه نتایج به دست آمده از مدل‌سازی سطح تاج پوشش با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه بر اساس چهار معیار فاصله اقلیدسی، مربع فاصله

جدول ۵. نتایج ارزیابی انتخاب بهترین روش محاسبه فواصل در

مدل برآورد سطح تاج پوشش (%) با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه

Bias %	Bais (ha ⁻¹)	RMSE %	RMSe (ha ⁻¹)	K بهینه	روش محاسبه فواصل
-۵/۰۴	-۳/۹۹	۱۵/۲۲	۱۲/۰۷	۲۷	اقلیدسی
-۴/۶۲	-۳/۶۶	۱۳/۹۵	۱۱/۰۶	۷	مربع اقلیدسی
-۲/۴۴	-۱/۹۴	۱۵/۹۶	۱۲/۶۶	۶	منهن
-۰/۸۱	-۰/۶۴	۱۹/۲۹	۱۵/۲۹	۷	چیشف

به دست آمده از مدل‌سازی سطح تاج پوشش با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان بر اساس کرنل‌های خطی، چندجمله‌ای، سیگموئید و پایه شعاعی با استفاده از جستجوی خودکار مقادیر ظرفیت (c) و اپسیلون (ε) با تکرار ۵۰۰۰ مرتبه

نتایج حاصل از برآورد سطح تاج پوشش با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان مدل‌سازی سطح تاج پوشش با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان بر اساس کرنل‌های خطی، چندجمله‌ای، سیگموئید و پایه شعاعی انجام شد. نتایج

نشان داد که مدل بدست آمده از کرنل چند جمله‌ای درجه ۳ اریبی به ترتیب ۱۴/۸۸ و ۵/۰۵ درصد دارد (جدول ۶).
کمترین مقدار درصد مجذور مربعات خطا و مقدار درصد

جدول ۶. نتایج ارزیابی انتخاب بهترین مدل برآورد سطح تاج پوشش (%) با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

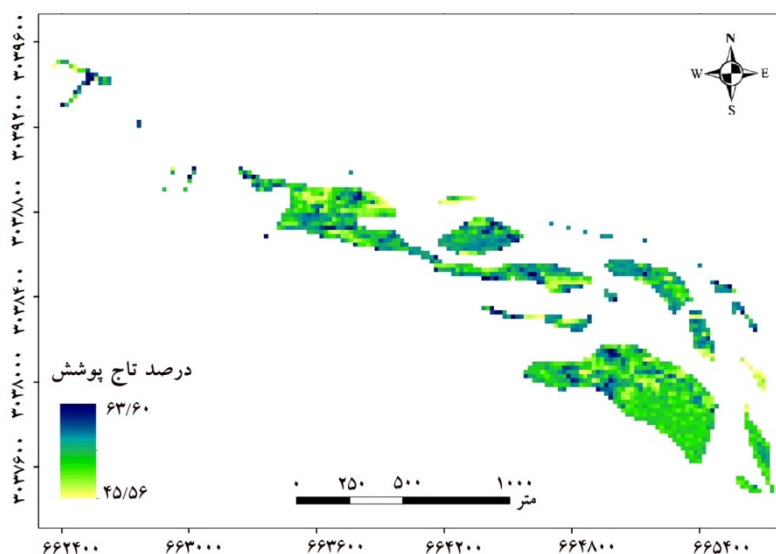
Bias %	Bais (ha ⁻¹)	RMSE %	RMSe (ha ⁻¹)	گاما	اپسیلون	ظرفیت	نوع کرنل
-۰/۵۴	-۰/۴۳	۲۶/۵۷	۲۱/۰۷	۰/۰۱۴	۰/۱	۲۹	خطی
-۵/۰۵	-۴/۰۰	۱۴/۸۸	۱۱/۷۹	۰/۰۱۴	۰/۱	۲۲	چند جمله‌ای
-۴/۶۸	-۳/۷۱	۱۸/۶۵	۱۴/۷۸	۰/۰۱۴	۰/۵	۵۰	پایه شعاعی
-۳/۷۲	-۲/۹۴	۱۵/۹۰	۱۲/۶۱	۰/۰۱۴	۰/۱	۵۰	سیگموئید

است. این مدل‌ها دارای ضریب تبیین اصلاح شده ۰/۴۰ درصد و ریشه میانگین مجذور خطای ۱۷/۷۳ درصد است. نتایج آنالیز واریانس چند متغیره برآورد سطح تاج پوشش در جدول ۷ و الگوریتم‌ها برای برآورد سطح تاج پوشش در جدول ۸ ارائه شده است.

برآورد سطح تاج پوشش با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره مدل رگرسیونی برآورد سطح تاج پوشش به روش بهترین زیرمجموعه، با توجه به ضرایب مدل‌ها شامل ترکیب خطی سه مشخصه آنالیز بافت با اهمیت بالا، به دست آمده از نتایج الگوریتم جنگل تصادفی شامل B1 Standard deviation، B1 contrast و B4 GLDV entropy در جدول ۸ آورده شده

جدول ۷. نتایج آنالیز چند متغیره برای برآورد سطح تاج پوشش با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره به روش بهترین زیرمجموعه

Bias %	(ha ⁻¹) Bais	RMSe %	(ha ⁻¹) RMSe	مالو CP	R ² _{adj}	R ²	عدد ثابت	ضرایب	متغیرهای مستقل
-۲/۷۸	-۲/۲۱	۱۷/۷۳	۱۴/۰۵	۱/۵۱	۰/۴۰	۰/۴۲	۱۲۱/۴۹	-۵/۹۸	B1contrast



شکل ۳. نقشه پیش‌بینی درصد تاج پوشش توسط نتایج الگوریتم جنگل تصادفی در خلیج نایبند، استان بوشهر

جدول ۸. نتایج آنالیز واریانس چند متغیره برآورد سطح تاج پوشش

متغیر وابسته	مجموع مربعات خطا	میانگین مربعات خطا	درجه آزادی	F	سطح معنی داری
مدل	۸۰۰۷/۶۷	۸۰۰۷/۶۷	۱	۲۵/۵۸	۰/۰۰۰
باقیمانده	۱۱۲۶۹/۴۴	۳۱۳/۰۴	۳۶		

جدول ۹. نتایج الگوریتم‌ها برای برآورد سطح تاج پوشش

الگوریتم	RMSe (ha ⁻¹)	RMSe %	Bais (ha ⁻¹)	Bias %
جنگل تصادفی	۱۰/۷۶	۱۳/۵۴	-۳/۰۸	-۳/۸۸
نزدیک‌ترین همسایه - اقلیدسی	۱۲/۰۷	۱۵/۲۲	-۳/۹۹	-۵/۰۴
نزدیک‌ترین همسایه - مربع اقلیدسی	۱۱/۰۶	۱۳/۹۵	-۳/۶۶	-۴/۶۲
نزدیک‌ترین همسایه - منهن	۱۲/۶۶	۱۵/۹۶	-۱/۹۴	-۲/۴۴
نزدیک‌ترین همسایه - چپیشف	۱۵/۲۹	۱۹/۲۹	-۰/۶۴	-۰/۸۱
ماشین بردار پشتیبان - خطی	۲۱/۰۷	۲۶/۵۷	-۰/۴۳	-۰/۵۴
ماشین بردار پشتیبان - چند جمله‌ای	۱۱/۷۹	۱۴/۸۸	-۴/۰۰	-۵/۰۵
ماشین بردار پشتیبان - پایه شعاعی	۱۴/۷۸	۱۸/۶۵	-۳/۷۱	-۴/۶۸
ماشین بردار پشتیبان - سیگموئید	۱۲/۶۱	۱۵/۹۰	-۲/۹۴	-۳/۷۲
رگرسیون خطی	۱۴/۰۵	۱۷/۷۳	-۲/۲۱	-۲/۷۸

بحث و نتیجه‌گیری

امروزه استفاده از شاخص‌های اکولوژیک همانند تاج پوشش برای شناخت وضعیت اکوسیستم‌های خاص نظیر رویشگاه‌های مانگرو و پایش و ارزیابی تغییرات ایجاد شده در طی زمان، امری ضروری است. برای پیش بینی پیامدهای مورد مطالعه، از مدل‌ها و روش‌های مختلفی می‌توان استفاده نمود. در این تحقیق لازم بود که کرنل‌ها و باندهای مناسب جهت استفاده در مدل‌سازی مورد بررسی قرار گیرد. کرنل و باندهای مناسب با اهمیت بالاتر با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی انتخاب گردیدند. بهترین اندازه کرنل بدست آمده ۸۰×۸۰ متر بود که نشان می‌دهد اندازه قطعه نمونه متناسب انتخاب شده است. میانگین مجذور مربعات خطا جهت مدل‌سازی مشخصه سطح تاج با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه با فواصل مربع اقلیدسی و داده‌های سنجنده اولتراکم، ۱۳/۹۵ درصد در هکتار و میزان خطای نسبی محاسبه شده برای برآورد سطح تاج در هکتار ۴/۶۲ - درصد محاسبه شد. مقادیر ذکر شده

برای الگوریتم جنگل تصادفی به ترتیب ۱۳/۵۴ درصد در هکتار و میزان خطای نسبی ۳/۸۸ - درصد محاسبه شد. مقدار میانگین مجذور مربعات خطا بدست آمده در این تحقیق کمتر از تحقیق کلبی و همکاران (۲۵) ۱۶/۰۲ درصد است که علت آن را می‌توان به همگن و خالص جنگل منطقه مورد مطالعه و تصاویر با قدرت تفکیک بالاتر دانست. در مطالعات شتایی و همکاران (۳۵) و کلبی و همکاران (۲۴) برتری الگوریتم جنگل تصادفی نسبت به دیگر روش‌ها بدست آمده است که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که جهت تخمین سطح تاج پوشش جنگل پارامترهای بافت تصویر نسبت به شاخص‌های گیاهی نتیجه مناسب‌تری ارائه می‌دهد که با نتایج جانسون و همکاران (۲۲)، شتایی (۳۶)، کلبی و همکاران (۲۵)، هیده و همکاران (۲۱) مطابق می‌باشد که جهت تخمین سطح تاج پوشش جنگل از پارامترهای بافت استفاده کردند. مقایسه نتایج درصد اریبی بدست آمده نیز نشان داد که الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان با کرنل خطی و چندجمله‌ای

ناپارامتریک دارای مجذور میانگین مربعات خطای کمتری بودند. نتایج مقایسات یوسفی و همکاران (۱۲) نشان داد که الگوریتم‌های ناپارامتریک قابلیت متناسبی در تهیه نقشه کاربری اراضی دارند. ضریب تبیین تعدیل شده در این تحقیق $0/40$ بدست آمد و کلبی و همکاران (۲۴) این ضریب $0/45$ برای تاج پوشش جنگل داراب کلا ساری برآورد نمود و این میزان بیشتر از مقدار بدست آمده در این تحقیق است که به علت تفتیق داده‌های لیدار و دوربین در تحقیق ایشان بوجود آمده است.

در اینجا ذکر این نکته ضروری است که نخستین معیار انتخاب بهترین مدل در این تحقیق میزان درصد مجذور میانگین مربعات خطا بوده است، اما برای روش‌های برگزیده میزان درصد اریبی مدل نیز مقایسه شد. با در نظر گرفتن معیار درصد اریبی به تنهایی مشخص شد که روش ماشین بردار با استفاده از کرنل خطی دارای درصد اریبی کمتری نسبت به سایر روش‌ها بوده است.

مقایسه میزان درصد تاج پوشش برآورد شده توسط مدل‌های مختلف در داده‌های آزمون با میانگین تاج پوشش اندازه‌گیری شده زمینی نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح $0/05$ درصد بین میانگین‌های پیش‌بینی شده با مدل‌های مختلف با میانگین داده‌های زمینی وجود ندارد. این نتیجه بیانگر آن است که پیش‌بینی‌های انجام شده توسط تمامی مدل‌های پارامتریک و ناپارامتریک استفاده شده تفاوت معنی‌داری با واقعیت زمینی ندارند.

در بین الگوریتم‌های مورد مطالعه بهترین نتایج مربوط به الگوریتم جنگل تصادفی می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده از بکارگیری داده‌های طیفی تصویر هوایی در برآورد سطح تاج پوشش مشخص شد که این داده‌ها قابلیت برآورد مشخصه‌های کمی سطح تاج پوشش جنگل‌های حرا منطقه مورد مطالعه را با دقت مناسب دارند. در نتیجه قابلیت مناسب داده‌های طیفی با قدرت تفکیک مکانی بالا در برآورد مشخصه‌های کمی سطح تاج پوشش جنگل‌های حرا تأیید می‌شود.

به ترتیب دارای کمترین و بیشترین درصد اریبی هستند. تمام مقادیر اریبی نتایج بدست آمده در مدل‌سازی تاج پوشش جنگل مورد مطالعه منفی می‌باشند و مدل‌ها مقادیر پیش‌بینی کمتری از مقادیر واقعیت زمینی دارند که ناشی از هم‌پوشانی تاج درختان و انبوهی توده‌های حرا ایجاد شده است. لازم به ذکر است که تجدید حیات توده‌های حرا در پناه درختان مادری پرورش می‌یابد و این سبب می‌شود تصویر تاج پوشش درختان همپوشانی داشته باشد. از جمله عوامل پایین بودن میانگین مجذور مربعات خطا در این بخش می‌توان به استفاده از تصویر با قدرت تفکیک مکانی ۲۵ سانتیمتر، الگوریتم درختی تقویت شونده، جنگل تصادفی و همچنین استفاده از آنالیز بافت اشاره کرد. لذا برای برآوردهای تاج پوشش می‌تواند جایگزین آماربرداری زمینی گردد و نتایج نشان می‌دهد استخراج رقومی سطح تاج پوشش نسبت به روش دستی از دقت کافی برخوردار است. پایین بودن ضریب تبیین نسبت به مطالعات مشابه می‌تواند ناشی از وضعیت درختان از نظر سن، ارتفاع، ابعاد و سلامت و شادابی، چیرگی و موقعیت درختان در آب باشد که به وسیله بافت به راحتی تفکیک‌پذیر نباشد.

مقایسه نتایج بدست آمده از الگوریتم‌های مختلف در مدل‌سازی سطح تاج پوشش نشان داد که مدل ساخته شده با الگوریتم‌های جنگل تصادفی و نزدیک‌ترین همسایه با فواصل مربع اقلیدسی به ترتیب دارای پایین‌ترین درصد مجذور مربعات خطا نسبت به سایر مدل‌ها هستند و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان خطی دارای بالاترین مجذور مربعات خطا نسبت به سایر مدل‌ها است. نتایج نشان داد میزان درصد میانگین مجذور مربعات خطای مدل ساخته شده با الگوریتم جنگل تصادفی، الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه (به جز فواصل اقلیدسی) پایین‌تر از ۱۴ درصد بوده و این شاخص برای سایر روش‌ها بیش از ۱۴ درصد بوده است که با نتایج محمدی (۹) و شتایی (۳۶) مطابقت دارد. نکته قابل توجه دور بودن نتایج روش خطی از نتایج الگوریتم‌های داده‌کاوی است. در این زمینه نتایج تحقیق انجام شده در پیش‌بینی مشخصه کمی درصد تاج پوشش جنگل نشان داد که نتایج بدست آمده از الگوریتم

منابع مورد استفاده

۱. امیری، س. ن.، ژ. سجادی و س. ح. صدوق ونینی. ۱۳۸۹. کاربرد شاخص‌های گیاهی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای IRS در تعیین سطح جنگلهای حرای نایند در مجاورت تاسیسات نفتی پارس جنوبی. علوم محیطی، ۸(۱): ۶۹-۸۴.
۲. بهاروند، س. و س. سوری. ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوزه سپیددشت، لرستان). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۴): ۱۵-۳۱.
۳. حجاریان، م. ۱۳۸۴. بررسی تغییرات کمی جنگل‌های مانگرو منطقه قشم با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در یک دوره ۴۰ ساله. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. ۱۲۳ صفحه.
۴. دانه‌کار، ا.، م. عرفانی، غ. نوری، ح. عقیقی، م. مروی مهاجر و ط. اردکانی. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات وسعت رویشگاه مانگرو (مطالعه موردی: خور گواتر در استان سیستان و بلوچستان). مجله جنگل ایران، ۴(۳): ۱۹۷-۲۰۷.
۵. سفینیان، ع.، ا. محمدی توفیق، ل. خداکرمی و ف. امیری. ۱۳۹۰. تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کبودآهنگ، رزن و خونجین - تلخاب در استان همدان). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۲(۱): ۱-۱۲.
۶. شاهولی کوه شور، ا.، م. پیرباوقار و پ. فاتحی. ۱۳۹۳. تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل در جنگل‌های نیمه‌انبوه تا تنک با استفاده از مدل FCD (مطالعه موردی: جنگل‌های مریوان). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۲): ۴۹-۵۹.
۷. صادقی، ا. ۱۳۸۴. بررسی روند تغییرات سطح و تراکم جنگل‌های مانگرو در حوزه دریای عمان با استفاده از عکس‌های هوایی (منطقه جاسک و سیریک). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات. ۸۰ صفحه.
۸. صفایسنی، ه. ۱۳۸۵. مدیریت زیست‌محیطی جنگل‌های مانگرو حوزه تباب و کلاهی بر اساس ساختار و تغییرات رویشگاه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان. ۸۷ صفحه.
۹. محمدی، ج. ۱۳۹۲. بهبود برآورد برخی مشخصه‌های کمی ساختار جنگل با استفاده از تلفیق داده‌های لیدار و تصاویر هوایی رقومی در جنگل‌های پهن‌برگ شصت‌کلاته گرگان. پایان‌نامه دکتری جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۲۳۲ صفحه.
۱۰. نوریان، ن. و ش. شتایی جویباری. ۱۳۹۳. بررسی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی متفاوت با تاکید بر شاخص‌های طیفی در تفکیک توده‌های خالص جنگلکاری. پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۱(۳): ۱۴۹-۱۶۶.
۱۱. نوریان، ن.، ش. شتایی جویباری، ج. محمدی و س. یزدانی. ۱۳۹۳. برآورد مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER و الگوریتم CART (منطقه مورد مطالعه: جنگل شصت‌کلاته گرگان). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۲(۳): ۴۳۴-۴۴۶.
۱۲. یوسفی، ص.، م. تازه، س. میرزایی، ح. ر. مرادی و ش. توانگر. ۱۳۹۳. مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهرستان نور). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۳): ۶۷-۷۶.
13. Asner GP, Powell GV, Mascaro J, Knapp DE, Clark JK, Jacobson J, Kennedy-Bowdoin T, Balaji A, Paez-Acosta G, Victoria E. 2010. High-resolution forest carbon stocks and emissions in the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(38): 16738-16742.
14. Baret F, Guyot G. 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35(2-3): 161-173.
15. Bell G, Howell B, Johnson G, Raun W, Solie J, Stone M. 2004. Optical sensing of turfgrass chlorophyll content and tissue nitrogen. *HortScience*, 39(5): 1130-1132.
16. Calvao T, Palmeirim J. 2004. Mapping Mediterranean scrub with satellite imagery: biomass estimation and spectral behaviour. *International Journal of Remote Sensing*, 25(16): 3113-3126.
17. Elvidge CD, Chen Z. 1995. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-

- 299-304.
28. Mutanga O, Adam E, Cho MA. 2012. High density biomass estimation for wetland vegetation using WorldView-2 imagery and random forest regression algorithm. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18: 399-406.
 29. Rahman M, Csaplovics E, Koch B. 2005. An efficient regression strategy for extracting forest biomass information from satellite sensor data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(7): 1511-1519.
 30. Ramsey EW, Jensen JR. 1996. Remote sensing of mangrove wetlands: relating canopy spectra to site-specific data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(8): 939-948.
 31. Ranson K, Sun G. 1994. Mapping biomass of a northern forest using multifrequency SAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32(2): 388-396.
 32. Roujean J-L, Breon F-M. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, 51(3): 375-384.
 33. Rouse Jr JW, Haas R, Schell J, Deering D. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium- Volume I: Technical Presentations*. NASA SP-351, compiled and edited by Stanley C. Freden, Enrico P. Mercanti, and Margaret A. Becker, 1994 pages, published by NASA, Washington, D.C., 309 pp.
 34. Sarker LR, Nichol JE. 2011. Improved forest biomass estimates using ALOS AVNIR-2 texture indices. *Remote Sensing of Environment*, 115(4): 968-977.
 35. Shataee S, Kalbi S, Fallah A, Pelz D. 2012. Forest attribute imputation using machine-learning methods and ASTER data: comparison of k-NN, SVR and random forest regression algorithms. *International Journal of Remote Sensing*, 33(19): 6254-6280.
 36. Shataee S. 2011. Non-parametric forest attributes estimation using Lidar and TM data. In: 32nd Asian Conference on Remote infrared vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 54(1): 38-48.
 18. Gang PO, Agatsiva J L. 1992. The current status of mangroves along the Kenyan coast: a case study of Mida Creek mangroves based on remote sensing. In: *The Ecology of Mangrove and Related Ecosystems*. Springer: 29-36.
 19. Gonzalez RC, Woods RE. 2008. *Digital image processing*. Prentice hall Upper Saddle River. 954 pp.
 20. Hogarth PJ. 2015. *The biology of mangroves and seagrasses*. Oxford University Press. 304 pp.
 21. Hyde P, Nelson R, Kimes D, Levine E. 2007. Exploring LiDAR-RaDAR synergy—predicting aboveground biomass in a southwestern ponderosa pine forest using LiDAR, SAR and InSAR. *Remote Sensing of Environment*, 106(1): 28-38.
 22. Jensen JR, Lin H, Yang X, Ramsey III E, Davis BA, Thoemke CW. 1991. The measurement of mangrove characteristics in southwest Florida using SPOT multispectral data. *Geocarto International*, 6(2): 13-21.
 23. Kajisa T, Murakami T, Mizoue N, Kitahara F, Yoshida S. 2008. Estimation of stand volumes using the k-nearest neighbors method in Kyushu, Japan. *Journal of Forest Research*, 13(4): 249-254.
 24. Kalbi S, Fallah A, Hojati SM. 2014. Using and comparing two nonparametric methods (CART and RF) and SPOT-HRG satellite data to predictive tree diversity distribution. *Nusantara Bioscience*, 6(1): 57-62.
 25. Kalbi S, Fallah A, Shataee S. 2014. Forest Stand Types Classification Using Tree-Based Algorithms and SPOT-HRG Data. *Environmental Resources Research*, 2(1): 31-46.
 26. Maniatis D, Mollicone D. 2010. Options for sampling and stratification for national forest inventories to implement REDD+ under the UNFCCC. *Carbon Balance and Management*, 5(1): 1-14.
 27. Mohammadi J, Shataee S, Babanezhad M. 2011. Estimation of forest stand volume, tree density and biodiversity using Landsat ETM+ Data, comparison of linear and regression tree analyses. *Procedia Environmental Sciences*, 7:

- vegetation. Remote Sensing of Environment, 8(2): 127-150.
39. Wang T, Zhang H, Lin H, Fang C. 2015. Textural-Spectral Feature-Based Species Classification of Mangroves in Mai Po Nature Reserve from Worldview-3 Imagery. Remote Sensing, 8(24): 1-15.
- Sensing, Taipei, Chinese Taipei. pp 887-893.
37. Townsend PA. 2002. Estimating forest structure in wetlands using multitemporal SAR. Remote Sensing of Environment, 79(2): 288-304.
38. Tucker CJ. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring



Evaluation of four algorithms for estimation of canopy cover of mangrove forests by using aerial imagery

A. Ghasemi ^{1*}, A. Fallah ², Sh. Shataee Joibari ³

1. PhD. of Forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

2. Assoc. Prof. College of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

3. Assoc. Prof. College of Forest Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 August 2015

Accepted 20 February 2016

Available online 20 August 2016

Keywords:

Canopy cover

Mangrove

Modeling

Ultra Cam-X

Bushehr

ABSTRACT

Today, it is important to use the ecological indicators, such as canopy cover for recognizing the special status of ecosystems, such as mangrove forests and also monitoring and evaluating changes through a specific period. This study aimed to investigate the sufficiency of parametric and nonparametric algorithms using the spectral data with high spatial resolution in the evaluation of canopy cover in the mangrove forest in the Bushehr province. The vegetative characteristics were studied at 20×20 square meter sample plots. 50 Sample plots were studied for the proposed vegetative characteristic such as diameter, Height and percentage of canopy cover of mangrove forest. The camera UltraCamX digital images which used in this study were harvested to the shooting operation on 2012.01.10. After conducting some proper Preprocessing and processing, the digital values corresponding to the ground samples were extracted from spectral bands and were considered as the independent variables while and the crown canopy percent per plot were considered as the dependent variable. Modeling was carried out based on 75 percent of sample plots using K-Nearest Neighbor methods, support vector machine, random forest and General linear model methods and the results were cross-validated using the remaining 25 percent. The results showed that the best estimates were obtained from the crown canopy percent with method Random Forest, k-NN, SVM and General linear model methods with a root mean square error of 13.57, 13.95, 14.88 and 17.73 percent and relative bias of -3.88, -4.62, -5.05 and -2.88 percent that Random Forest method had the best performance. The results of this study showed UltraCam X Aerial spectral data had the high ability for estimating of canopy cover percent.

* Corresponding author e-mail address: ghasemiforester@gmail.com

