



سجش از دور

GIS ایران



سجش از دور و GIS ایران سال چهاردهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱
Vol.14, No. 4, Winter 2023 Iranian Remote Sensing & GIS

۷۱-۸۶

مقاله پژوهشی

تأثیر طرح‌های متفاوت نمونه‌برداری خوشه‌ای در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های

زاگرس، با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل-۲

- سنترن نظریانی^{۱*}، اصغر فلاح^۲، حبیب‌اله رضانی موزیرجی^۳، حامد نقوی^۴، حمید جلیوند^۵
۱. پژوهشگر پسادکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 ۲. استاد گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 ۳. محقق، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی سوئد، اومئو، سوئد
 ۴. استادیار گروه جنگل‌داری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان
 ۵. استاد گروه جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۰۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۲۸

چکیده

گردآوری اطلاعات میدانی دقیق، به منظور مدیریت پایدار مناطق جنگلی، مستلزم صرف زمان و هزینه بالایی است؛ بنابراین استفاده از روش‌های نمونه‌برداری و تصاویر ماهواره‌ای جایگزین مناسبی برای این کار خواهد بود. هدف پژوهش حاضر تأثیر طرح‌های گوناگون نمونه‌برداری خوشه‌ای در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های سامان عرفی اولادقیاد شهرستان کوه‌دشت، استان لرستان، با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل-۲ است. به منظور برآورد مشخصه‌های مورد بررسی، ۱۵۰ خوشه در قالب شش طرح (مثلث، مربع، ستاره‌ای ۱، خطی، ال‌شکل و ستاره‌ای ۲) در منطقه‌ای به مساحت تقریبی ۴۵۰۰ هکتار ایجاد شد. هر خوشه شامل چهار ریزقطعه نمونه، با مساحت هفتصد مترمربع (شعاع ریزقطعه نمونه دایره‌ای برابر با پانزده متر و فاصله بین ریزقطعه نمونه‌ها از هم، شصت متر) بود. سپس در هر ریزقطعه نمونه، مشخصه‌های تعداد و مساحت تاج درختان اندازه‌گیری شد. پس از پیش‌پردازش و پردازش تصاویر (تجزیه مؤلفه اصلی، آنالیز بافت و ایجاد شاخص‌های گیاهی)، ارزش‌های رقومی متناظر با قطعات نمونه زمینی از باندهای طیفی استخراج و به‌منزله متغیرهای مستقل، در نظر گرفته شد. مدل‌سازی با استفاده از روش‌های ناپارامتریک جنگل تصادفی، ماشین‌بردار پشتیبان و نزدیک‌ترین همسایه انجام شد. نتایج نشان داد میانگین تراکم در هکتار ۵۱ اصله و سطح تاج‌پوشش ۳۲۹۴ مترمربع در هکتار است. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که در مورد هر دو مشخصه تراکم و سطح تاج‌پوشش، الگوریتم جنگل تصادفی به همراه طرح‌های نمونه‌برداری خطی و ستاره‌ای ۲، به ترتیب با درصد مجذور میانگین مربعات خطا ۴۶/۰۰ و ۱۰/۴۴ و اریبی (۰/۰۲- و ۰/۲۸)، عملکرد بهتری در مدل‌سازی داشته است. به‌طور کلی نتایج اعتبارسنجی مشخص کرد استفاده از طرح‌های متفاوت نمونه‌برداری خوشه‌ای، روش‌های مدل‌سازی ناپارامتریک جنگل تصادفی و تصاویر سنجنده سنتینل-۲ کارایی بهتری در برآورد مشخصه تاج‌پوشش دارد اما، در مقابل، عملکرد مناسبی در برآورد تعداد در هکتار را نداشته است.

کلیدواژه‌ها: استان، جنگل اولادقیاد، جنگل تصادفی، روش‌های ناپارامتریک، سجش از دور، نمونه‌برداری خوشه‌ای.

۱- مقدمه

گردآوری اطلاعات، از طریق عملیات میدانی، پرهزینه و زمان‌بر است و همچنین در این روش؛ امکان دسترسی به مناطق صعب‌العبور وجود ندارد (Tsui et al., 2013)؛ از این‌رو امروزه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به دلیل برخورداری از مزایایی همچون سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار، هزینه کمتر، امکان دسترسی به مناطق صعب‌العبور، سهولت پردازش و امکان استفاده هم‌زمان با داده‌های زمینی، می‌تواند به صورت گزینه‌ای در جمع‌آوری اطلاعات مطرح شود (Yeganeh et al., 2012). بیان این نکته ضروری است که برآورد مشخصه‌های گوناگون، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نیز، در برخی مواقع نیازمند وجود اطلاعات میدانی دقیق است؛ به همین دلیل، به نظر می‌رسد این دو روش مکمل یکدیگرند (Trotter & Dymond Goulding, 1997). روش خوشه‌ای^۱ یکی از شیوه‌های نمونه‌برداری است که در مورد مناطق وسیع توصیه شده است و در آن، به جای یک قطعه نمونه، چندین قطعه نمونه در بخشی از منطقه مورد بررسی، متمرکز و برداشت می‌شود (Yim et al., 2015). زمانی که وسعت منطقه نمونه‌برداری زیاد است، اجرای روش خوشه‌ای مفیدتر از نمونه‌برداری تصادفی و منظم- تصادفی خواهد بود (Bonyad, 2014). طراحی خوشه باید براساس انتخاب ترکیبی بهینه از اندازه نمونه و طرح خوشه باشد (Scheuber & Köhl, 2003). بدیهی است که با توجه به ساختار جنگل، از نظر آماری، طرح قطعه نمونه کارآیی کمتری در قیاس با نمونه‌برداری با همان تعداد قطعه نمونه مستقل دارد؛ اما باید به این نکته نیز توجه کرد که با در نظر گرفتن هدف بهینه‌سازی قطعه‌نمونه‌های خوشه‌ای، کاهش این دقت تا جایی است که از نظر اقتصادی، با پیدا کردن طرح نمونه‌برداری خوشه‌ای بهینه، امکان‌پذیر باشد (Tokola & Shrestha, 1999). طرح‌های خوشه‌ای با استفاده از برخی عوامل شامل آرایش هندسی، تعداد و فاصله بین ریزقطعه‌نمونه‌ها در هر خوشه تعیین می‌شود که همه آنها را می‌توان، برای یافتن یک طرح مناسب یا حتی

بهینه تغییر داد (Yim et al., 2015). در حقیقت، روش‌های نمونه‌برداری باید همه اهداف و محدودیت‌ها را در نظر بگیرد؛ نه فقط به حداقل رساندن خطای نمونه‌برداری را. بدین منظور مجموعه‌ای از طرح‌های نمونه‌برداری برای تأمین شرایط یادشده، مطرح شده است (Lynch, 2017). واحدهای نمونه‌برداری براساس شکلی هندسی مانند مربع، مثلث و ال مرتب می‌شوند (Scheuber & Köhl, 2003). تا کنون مطالعه‌هایی در مورد تأثیر نوع روش نمونه‌برداری در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، انجام شده است. فتح‌اللهی^۲ و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه‌ای را با هدف تعیین قابلیت داده‌های سنجنده HRG ماهواره اسپات^۳، در برآورد ذخیره کربن روی زمینی جنگل در سری یک جنگل آموزشی پژوهشی دارابکلا، انجام دادند و از روش نمونه‌برداری خوشه‌ای استفاده کردند. طبق نتایج، برای مدل چندجمله‌ای به ترتیب با ۴۲/۷۷، ۲/۳۱ و ۶۴/۳٪ به منزله بهترین مدل‌ها انتخاب شد. همچنین نتایج نشان داد سنجنده HRG ماهواره اسپات و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان قابلیت مناسبی در برآورد میزان ذخیره کربن روی زمین دارند. نتایج پژوهش نوریان^۴ و همکاران (۲۰۱۴) در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل، با استفاده از داده‌های سنجنده استر^۵ و الگوریتم درخت تصمیم (CART) به روش خوشه‌ای- تصادفی، در جنگل شصت کلاته گرگان نشان داد بهترین مدل برای مشخصه‌های حجم سرپا، رویه زمینی و تعداد درختان در هکتار با الگوریتم CART، با مقادیر درصد مجذور میانگین مربعات خطا و اریبی به ترتیب ۴۰/۲۲ و ۱۷/۵٪ در مورد حجم سرپا، ۳۸/۶۷ و ۸٪ در مورد رویه زمینی و ۵۸/۶۸ و ۲/۷۲٪ در مورد تعداد درختان در هکتار است.

1. Cluster Sampling
2. Fatolahi
3. SPOT
4. Noorian
5. ASTER
6. Classification and Regression Tree (CART)

در قیاس با داده‌های لندست- ۸ (با دقت ۱۰-۸٪)، در طبقه‌بندی پوشش زمین و الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان با پایه شعاعی، در مقایسه با جنگل تصادفی (با صحت ۷-۶٪)، عملکرد بهتری داشتند.

روش‌های نمونه‌برداری به‌کاررفته در جنگل‌های غرب الگویی از روش‌های آماربرداری جنگل‌های شمال بود که ممکن است در مورد این جنگل‌ها مناسب نباشد زیرا جنگل‌های زاگرس، از نظر فرم پوششی، فرم توده، تراکم، ترکیب توده و موارد دیگر، به‌علاوه شرایط محیطی ویژه حاکم بر این جنگل‌ها، با جنگل‌های شمال کشور متفاوت است؛ بنابراین بدون اینکه در این مناطق، بین دقت و هزینه در روش‌های گوناگون، مقایسه‌ای انجام شده باشد، استفاده از روش‌های مرسوم در جنگل‌های شمال منطقی نیست. در واقع، باید روش‌های متفاوتی بررسی شود تا روش مطلوب، از لحاظ دو عامل مهم دقت و هزینه، انتخاب شود (Trotter & Dymond Goulding, 1997). وقتی جامعه مورد مطالعه وسیع باشد، آماربرداری با مشکلاتی مانند هزینه بالا، زمان‌بر بودن و کاهش دقت به‌دلیل خستگی گروه آماربردار مواجه است؛ بنابراین استفاده از روش‌های نمونه‌برداری و سپس تعمیم آن به کل جامعه، جایگزین مناسبی برای این منظور شمرده می‌شود. در زمینه برآورد مشخصه‌های کمی جنگل، داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دور، به‌منزله برنامه‌ای منظم و دارای دقت بالا، مؤثر خواهد بود. استفاده از فناوری سنجش از دور، در مواقعی که داده‌های ماهواره‌ای با مشخصه‌های اندازه‌گیری‌شده زمینی همبستگی خوبی داشته باشند، گامی مهم در کاهش هزینه‌های آماربرداری و پایش جنگل است؛ بنابراین با توجه به اینکه تا کنون پژوهشی در زمینه

طبق نتایج کلی، داده‌های طیفی سنجنده استر در مورد مشخصه‌های کمی بررسی‌شده قابلیت متوسطی دارد. نتایج پژوهش ایزدی^۱ و همکاران (۲۰۲۰) در برآورد ویژگی‌های جنگل‌های شاخه‌زاد غرب ایران، با استفاده از روش‌های فاصله‌ای و تصاویر ماهواره لندست- ۸، نشان داد بیشترین و کمترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا، به‌ترتیب در مورد سطح مقطع با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی (۳۱٪) و سطح تاج‌پوشش با استفاده از الگوریتم رگرسیون وزنی جغرافیایی (۱۲٪) بود. در خارج از کشور نیز مطالعاتی در این زمینه انجام شده است که می‌توان به پژوهش گبرسلاسی^۲ و همکاران (۲۰۱۰) در شمال آفریقا، با استفاده از داده‌های استر، اشاره کرد. در این پژوهش مشخصه‌های حجم، سطح مقطع برابر سینه، تعداد درختان در هکتار و ارتفاع توده با باند فرورسرخ نزدیک و شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌شده خاک اصلاحی، به‌ترتیب در مورد مشخصه‌های مذکور با ضرایب تبیین اصلاح‌شده ۵۱٪، ۶۷٪، ۵۳٪ و ۸۱٪ دارای ارتباط معنی‌داری بود. همچنین با تلفیق مشخصه‌های ساختاری با داده‌های کمی شاخص رویشگاه و سن، مقدار ضرایب مدل به‌دست‌آمده برای مشخصه‌های حجم سرپا، سطح مقطع برابر سینه و تعداد درختان در هکتار، به‌ترتیب ۸۸٪، ۸۴٪ و ۸۱٪ بهبود یافت. مطالعه ییم^۴ و همکاران (۲۰۱۵) با هدف تعیین طرح خوشه‌ای مناسبی برای ارزیابی منابع جنگلی، در کره جنوبی انجام شد. نتایج نشان داد همبستگی بین خوشه‌ای با استفاده از شکل طرح‌ها تأثیرگذارتر از اندازه خوشه بود. همچنین خوشه‌ای سه‌عضوی نتایجی بهتر از خوشه‌ای چهارعضوی دربر داشت. دابیجا^۵ و همکاران (۲۰۲۱) الگوریتم‌های ماشین‌بردار پشتیبان و جنگل تصادفی را در نقشه‌برداری تاج‌پوشش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل^۶ - ۲ و لندست- ۸، برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی و توسعه منطقه‌ای و مکانی در سه منطقه متفاوت کاتالونیا، لهستان و رومانی، مقایسه کردند. نتایج نشان داد که تصاویر ماهواره‌ای سنتینل- ۲،

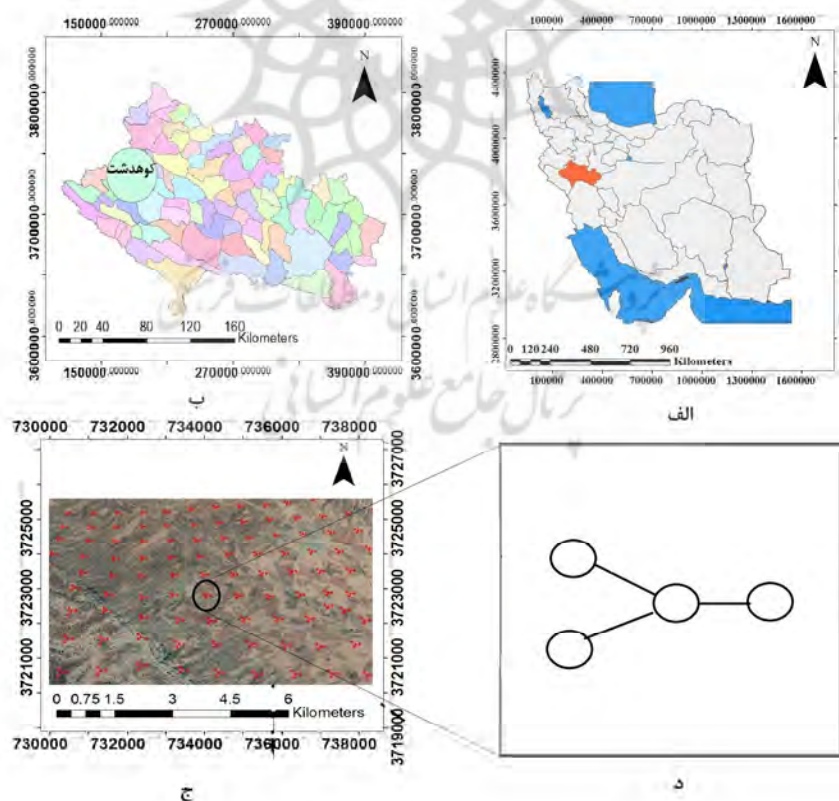
1. Izadi
2. Landsat
3. Gebreslasie
4. Yim
5. Dabija
6. Sentinel

به‌شمار می‌روند و از لحاظ تقسیم‌بندی کشوری، در زمره جنگل‌های نیمه‌خشک زاگرس قرار می‌گیرند (Nouredini et al., 2011). ساختار عمودی اغلب توده‌های جنگلی منطقه معمولاً یک‌اشکوبه و منشأ زادآوری و فرم پرورشی گونه‌های درختان منطقه اغلب غیرجنسی و شاخه‌زاد است. بلوط ایرانی (*Quercus persica* J.&Sp.)، کیکم (*Acer monspessulanum* L.)، زالزالک (*Cerataegus meyeri* A. Pojark.)، گلابی وحشی (*Pyrus glabra* Boiss.)، بنه (*Pistacia atlantica* F. & M.)، شن (*Lonicera nummulariifolia*)، و بید (*Salix* sp.) گونه‌های درختی این منطقه را تشکیل می‌دهد و بلوط ایرانی گونه غالب گیاهی منطقه است. از کل درختان منطقه، ۸۲٪ پایه بلوط شاخه‌زاد و ۱۸٪ پایه بلوط دانه‌زاد است (Fereydouni et al., 2005). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

بررسی تأثیر طرح‌های متفاوت نمونه‌برداری خوشه‌ای در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های سامان عرفی اولادقباد کوهدشت، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام نشده است، در این تحقیق سعی شده این مسئله در نظر گرفته شود.

۲- مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، بخشی از جنگل‌های زاگرس واقع در ۳۵ کیلومتری شمال شهرستان کوهدشت، به نام سامان عرفی اولادقباد، انتخاب شد. این منطقه در محدوده جغرافیایی $33^{\circ} 41' 45''$ تا $33^{\circ} 42' 5''$ عرض شمالی و $47^{\circ} 28' 1''$ تا $47^{\circ} 28' 34''$ طول شرقی واقع شده است. اقلیم این منطقه از نوع نیمه‌خشک، بافت خاک آن شنی-رسی دارای ساختمان مکعبی و دارای نفوذپذیری مناسبی است. جنگل‌های منطقه، از نظر تقسیم‌بندی جهانی، جزء جنگل‌های معتدل خزان‌کننده



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه: روی نقشه ایران (الف)؛ در استان لرستان (ب)؛ سامان عرفی اولادقباد (ج)؛ طرح نمونه‌برداری خوشه‌ای (طرح مثلثی) (د)

سنجش از دور و GIS ایران

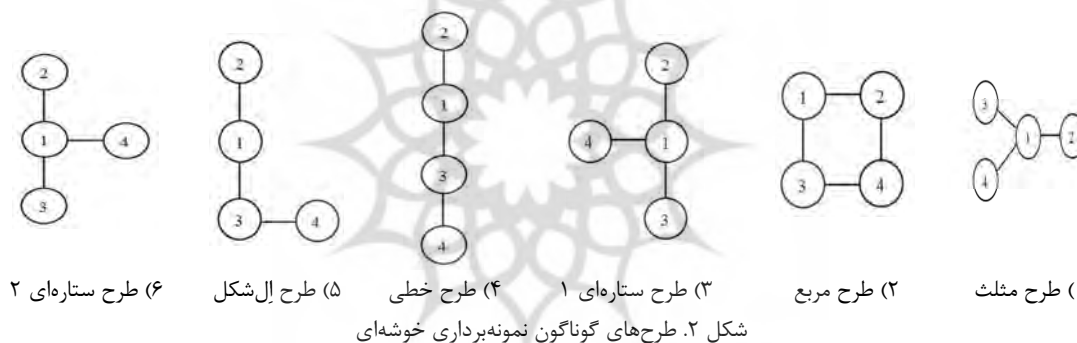
سال چهاردهم = شماره چهارم = زمستان ۱۴۰۱

۱-۲- برداشت اطلاعات زمینی

نقاط نمونه‌برداری به‌روش منظم- تصادفی، با استفاده از شبکه‌ای به ابعاد 600×500 متر، مشخص شد. سپس در هر نقطه نمونه‌برداری، شش طرح متفاوت نمونه‌برداری خوشه‌ای (مثلثی، مربعی، ستاره‌ای ۱، خطی، ال شکل و ستاره‌ای ۲) با چهار ریزقطعه نمونه دایره‌ای، طراحی و اجرا شد. شعاع هر ریزقطعه نمونه پانزده متر و فاصله بین مراکز آنها شصت متر بود. در شکل ۲، طرح‌های گوناگون نمونه‌برداری خوشه‌ای به‌کاررفته در پژوهش حاضر آورده شده است. سپس اطلاعات مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج‌پوشش درختان، شامل تعداد و دو قطر بزرگ و کوچک تاج، در هر ریزقطعه نمونه اندازه گرفته شد.

۲-۲- داده‌های ماهواره‌ای

در این پژوهش، از تصاویر سنجنده سنتینل-۲، متعلق به دوازدهم مه ۲۰۱۸ ($2018/05/12$) در سطح تصحیحات L1C استفاده شد. در جدول ۱، مشخصات سنجنده مورد استفاده آورده شده است. این سطح از تصحیحات، به دلیل زمین مرجع بودن، فاقد خطای هندسی است و چون انعکاس آنها در سطح بالای اتمسفر (TOA)^۱ است، با اعمال تصحیح اتمسفریک روی آنها باید انعکاسشان به انعکاس زمینی تبدیل گردد (Egbers, 2016). در پژوهش حاضر، از چهار باند این سنجنده (باند ۲-آبی، باند ۳-سبز، باند ۴-قرمز و باند ۸-فروسرخ نزدیک)، با قدرت تفکیک پذیری ده‌متری استفاده شد.



جدول ۱. مشخصات ماهواره سنتینل-۲ (آژانس فضایی اروپا، ۲۰۱۷)

تاریخ پرتاب	ماهواره بر و سکوی پرتاب
هفتم مارس ۲۰۱۷	Vega (Kourou)
ارتفاع مدار	۷۸۶ کیلومتر
دوره بازگشت	پنج روز برای هر دو ماهواره، خورشیدآهنگ
عرض تصویر	۲۹۰ کیلومتر
باندهای سنجنده	Band 1 – Coastal aerosol, Band 2 – Blue, Band 3 – Green, Band 4 – Red, Band 5 – Vegetation Red Edge, Band 6 – Vegetation Red Edge, Band 7 – Vegetation Red Edge, Band 8 – NIR, Band 8A – Vegetation Red Edge, Band 9 – Water vapour, Band 10 – SWIR – Cirrus, Band 11 – SWIR Band 12 – SWIR
قدرت تفکیک مکانی	B2, B3, B4, B8 : 10m B5, B6, B6, B8A, B11, B12 : 20m B1, B9, B10 : 60m
قدرت تفکیک رادیومتری	۱۲ بیت
قدرت تفکیک طیفی	۱-۱۸۰ نانومتر

1. Top of Atmosphere

۲-۳- پیش‌پردازش و پردازش تصاویر

به‌طور کلی عملیات پیش‌پردازش تصاویر سنجنده سنتینل-۲ شامل تصحیح رادیومتریک و هندسی است. فرایند پیش‌پردازش تصاویر به منظور استخراج هرچه بهتر اطلاعات انجام شد. فرایند تصحیح اتمسفری روی تصاویر ماهواره سنتینل-۲ تا حدودی صورت گرفته اما ارزش رقومی این تصاویر بین ۰ تا ۲۸۰۰۰ متغیر است. برای پردازش تصویر، ارزش رقومی پیکسل‌ها در تصویر، با استفاده از دستور QUICK^۱ به بازه ۰ تا ۱ تبدیل شد. پردازش تصاویر نیز شامل عملیات‌های گوناگونی از جمله نسبت‌گیری^۲، تجزیه مؤلفه‌های اصلی^۳، تجزیه و تحلیل بافت^۴، ادغام باندها^۵ و ساختن شاخص‌های گیاهی^۶ می‌شود (Naghavi, 2014) که با توجه به اهداف پژوهش، روی داده‌های ماهواره‌ای و در راستای اهداف گوناگونی صورت گرفت. پردازش تصاویر با استفاده از نرم‌افزار ENVI^{۵.۳} انجام شد. با توجه به اینکه چهار باند این سنجنده قدرت تفکیک‌پذیری ده متر دارد، هریک

در قالب یک فایل (ادغام باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ تصویر سنتینل-۲ و تشکیل یک تصویر جدا) د آمد. علاوه بر باندهای اصلی، با پردازش‌های مناسب، باندهای مصنوعی ایجاد شد که در فرایند مدل‌سازی به کار رفتند. یکی از پردازش‌های مناسب که در بیشتر مطالعات در زمینه برآورد مشخصه‌های ساختار جنگل استفاده می‌شود تجزیه و تحلیل بافت است. این فرایند، به صورت تابعی از تغییرات مکانی، شدت روشنایی پیکسل‌ها را بیان می‌کند که گویای ویژگی‌های نرمی، زبری، همواری و منظم بودن هر سطح است (Gonzales & Woods, 2002). در مطالعه حاضر نیز، از مشخصه‌های بافت برمبنای جدول ۱ برای تمامی باندها استخراج و اندازه پنجره مورد استفاده در این مطالعه نیز ۳×۳ انتخاب شد. روابط آماری مشخصه‌های بافت در جدول ۲ آمده است. به منظور ایجاد شاخص‌های گیاهی نیز، از ترکیبات نسبت‌گیری مناسب در پژوهش‌های پیشین (Mohammadi, 2007; Noorian, 2014; Kalbi, 2011) استفاده شد (جدول ۳).

جدول ۲. مشخصه‌های بافت

رابطه	مشخصه‌های محاسباتی از داده‌های طیفی	فرمول آماری	منبع
۱	میانگین	$\mu_y = \sum_{i=0}^{N-1} j \times p_y(j) \mu_x = \sum_{i=0}^{N-1} i \times P_x(i)$	
۲	واریانس	$\sigma_x^2 = \sum_{i=0}^{N-1} (i - \mu_x)^2 P_y(i) \sigma_y^2 P_y(j)$	
۳	تباین	$CON = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} p_{i,j} (i - j)$	
۴	همبستگی	$COR = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} ij P_{i,j} - \mu_x \mu_y}{Q_x \times Q_y}$	Dutta et al., 2012
۵	فقدان تجانس	$DIS = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} P_{i,j} i - j $	
۶	آنتروپی	$ENT = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} P_{i,j} (-\ln p_{i,j})$	
۷	همگنی	$HOM = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \frac{p_{i,j}}{1+(i-j)^2}$	
۸	زاویه دوم لحظه‌ای	$SM = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} p(i,j)^2$	

1. QUICK Atmospheric Correction
2. Ratioing
3. Principal Component Analysis
4. Texture Analysis
5. Band Integration
6. Vegetation Index Making

جدول ۳. شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در پژوهش حاضر

منبع	فرمول محاسبه شاخص	شاخص‌های محاسباتی	ردیف
Rouse et al., 1973	$\frac{Nir - Red}{Nir + Red}$	شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی ^۱	۱
Tucker, 1979	$Nir - Red$	شاخص پوشش گیاهی تفاضلی ^۲	۲
	$Nir - Green$	شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز ^۳	۳
Bell et al., 2004	$\frac{Nir - Green}{Nir + Green}$	نرمال‌شده شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز ^۴	۴
	$\frac{Green}{Red}$	شاخص پوشش گیاهی نسبتاً سبز ^۵	۵
Roujean & Breon, 1995	$\frac{(Nir - Red)}{\sqrt{(Nir + Red)}}$	شاخص مجدد پوشش گیاهی تفاضلی ^۶	۶
Chen, 1996	$\frac{(Nir^2 - Red)}{(Nir^2 + Red)}$	شاخص پوشش گیاهی غیرخطی ^۷	۷

۲-۴- استخراج ارزش‌های طیفی و مدل‌سازی

وزن داده‌شده و داده‌ها به‌صورت استاندارد به‌کار رفت. با توجه به اهمیت تعداد همسایه، مقدار بهینه این پارامتر بین ۱ تا ۵۰ در نظر گرفته شد (Finely et al., 2006).

ارزش‌های طیفی معادل قطعه‌های زمینی از باندهای اصلی و مصنوعی استخراج و به‌صورت متغیر مستقل، در مدل‌ها استفاده شد.

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان^{۱۵}

برای مدل‌سازی با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، توابع پایه شعاعی^{۱۶}، چندجمله‌ای^{۱۷} درجه دو و سه، سیگموئید^{۱۸} و خطی^{۱۹} در این مطالعه به‌کار رفت.

الگوریتم جنگل تصادفی^۸

اجرای مدل‌سازی به‌روش جنگل تصادفی و تعیین تعداد بهینه درختان، با چهارصد درخت اولیه انجام شد. سپس نمودار تغییرات میزان مربعات خطا درمورد داده‌های آزمون مشاهده شد و در نقطه‌ای که با افزایش تعداد، روند افزایش مربعات خطا حالت ثابتی پیدا کرد، آموزش صورت گرفت و این درخت‌ها به‌منزله درخت‌های بهینه انتخاب شدند. به‌منظور تعیین تعداد بهینه برآوردکننده‌ها^۹، از جذر تعداد کل متغیرها استفاده شد (Mohammadi, 2007). برای تعیین تعداد برآوردکننده‌ها در هر گره، از جذر کل تعداد متغیرهای مستقل به‌کاررفته در مدل $2 \pm K$ ، یا تعداد برآوردکننده بهینه در هر گره، انتخاب شود.

الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه^{۱۰}

در اجرای این روش، چهار معیار فاصله اقلیدسی^{۱۱}، مربع فاصله اقلیدسی^{۱۲}، منهن^{۱۳} و چیشف^{۱۴} به‌صورت

1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
2. Difference Vegetation Index (DVI)
3. Green Difference Vegetation Index (GDVI)
4. Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)
5. Green Ratio Vegetation Index (GRVI)
6. Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI)
7. Nonlinear Vegetation Index (NLI)
8. Random Forest (RF)
9. Predictors
10. K- Nearest Neighbor (KNN)
11. Euclidean
12. Euclidean Square
13. City block
14. Chebychev
15. Support Vector Machine (SVM)
16. Radial Basis Function
17. Polynomial
18. Sigmoid
19. Linear

$$RMSE\% = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 / n}}{\bar{y}} \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$Bias\% = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i) / n}{\bar{y}} \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این روابط، \bar{Y} مقدار برآورد شده، \bar{Y} میانگین برآورد شده و Y مقدار مشاهده شده و همچنین n تعداد مشاهدات (قطعات نمونه) است.

۳- نتایج

آمار توصیفی در مورد مشخصه‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۴ آورده شده است. آماره میانگین برای مشخصه‌های تراکم و تاج‌پوشش، به ترتیب ۵۱ اصله و ۳۲۹۴ مترمربع در هکتار است.

۳-۱- میانگین مشخصه‌های تراکم و تاج‌پوشش بر حسب طرح‌های متفاوت نمونه‌برداری خوشه‌ای نتایج برآورد مشخصه‌های تراکم (تعداد در هکتار) و تاج‌پوشش با استفاده از طرح‌های گوناگون نمونه‌برداری خوشه‌ای نشان داده شده است (جدول ۵).

در این روش، مقدار گاما معمولاً از تقسیم ۱ بر تعداد متغیرهای مستقل به دست می‌آید که در این جا، این متغیرها تعداد باندهای اصلی و مصنوعی است. برای تعیین مقادیر بهینه ظرفیت و اپسیلون، از اعتبارسنجی متقابل و جست‌وجوی خودکار شبکه‌ای با اعتبارسنجی ده‌قسمتی و تکرار هزار بار استفاده شد. مقدار ظرفیت از ۱ تا ۵۰ و مقدار اپسیلون از ۰/۱ تا ۰/۵ در نظر گرفته شد (Townsend, 2002).

۲-۵- اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیونی

به منظور ارزیابی و برازش مدل‌های رگرسیونی، ۲۵٪ از داده‌ها به صورت تصادفی انتخاب (Lu et al., 2004) و به منزله مجموعه داده‌های ارزیابی، کنار گذاشته شدند. با استفاده از معیارهای میانگین مجذور مربعات خطا^۱ (رابطه (۱))، اریبی (رابطه (۲))، درصد میانگین مجذور مربعات خطا (رابطه (۳)) و درصد اریبی (رابطه (۴))، اعتبار مدل‌های آماری ارزیابی شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)}{n} \quad \text{رابطه (۲)}$$

جدول ۴. آماره توصیفی کلی داده‌های زمینی

مشخصه	میانگین	انحراف معیار	اشتباه معیار	چولگی	کشیدگی	دامنه
تعداد درختان در هکتار	۵۱	۲۷	۳/۷۴	۰/۴۵	-۰/۴۱	۱۰۳
تاج‌پوشش (مترمربع در هکتار)	۳۲۹۴	۱۷۷	۶۳۳	۱/۷۳	۱/۹۸	۹۶۹/۳۳

جدول ۵. میانگین مشخصه‌های تراکم (تعداد در هکتار) و تاج‌پوشش بر حسب طرح‌های متفاوت نمونه‌برداری خوشه‌ای

طرح‌های متفاوت نمونه‌برداری خوشه‌ای	مثلت	مربع	ستاره‌ای ۱	خطی	ال‌شکل	ستاره‌ای ۲
تعداد درختان در هکتار	۲۸	۳۰	۳۲	۳۳	۳۲	۲۸
تاج‌پوشش (مترمربع در هکتار)	۳۱۸۳	۳۲۳۶	۳۲۷۹	۳۵۴۳	۳۳۱۷	۳۱۹۹

1. Root Mean Square of the Error

خطا به‌شمار می‌روند و به‌منزله طرح‌های بهینه در برآورد مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج‌پوشش، انتخاب شدند.

۳-۳- برآورد مشخصه‌های مورد بررسی با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه

بررسی نتایج برآورد مشخصه‌های تراکم (تعداد در هکتار) و تاج‌پوشش با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه نشان داد که به‌ترتیب، الگوریتم‌های مربع فاصله اقلیدسی و فاصله اقلیدسی برحسب آماره‌های درصد مجذور میانگین مربعات خطا و اریبی، به‌ترتیب، طرح خطی (۶۸/۹۷ و ۰/۰۸) و طرح ال‌شکل (۱۷/۴۱ و ۹/۸۲-) طرح‌های بهینه محسوب می‌شوند (جدول ۷).

۳-۲- برآورد مشخصه‌های مورد بررسی، با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی

در جدول ۶، نتایج ارزیابی حاصل از الگوریتم جنگل تصادفی با تعداد برآوردکننده‌های متفاوت، در برآورد تعداد در هکتار و تاج‌پوشش، بیان شده است. با بررسی میزان تغییرات مربعات خطا، به‌ترتیب درمورد مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج‌پوشش در نقاط تقریبی ۷۵ و ۳۵۰ درخت برای داده‌های آموزش و آزمون، روند ثابتی پیدا شد؛ به همین دلیل، تعداد درخت اشاره‌شده به‌منزله تعداد درخت بهینه انتخاب شد. نتایج نشان داد که طرح نمونه‌برداری خوشه‌ای خطی و ستاره‌ای ۲، با تعداد ۱۰ برآوردکننده، به‌ترتیب دارای کمترین مقدار درصد مجذور میانگین مربعات

جدول ۶. ارزیابی داده‌های آزمون با الگوریتم جنگل تصادفی

مشخصه	تعداد درختان در هکتار		تاج‌پوشش (مترمربع در هکتار)	
	مربع	خطی	مربع	خطی
تعداد برآوردکننده	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
مجذور میانگین مربعات خطا (درصد)	۵۰/۲۹	۵۱/۸۹	۵۸/۱۴	۴۶/۰۰
اریبی (درصد)	-۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۱	-۰/۰۲

جدول ۷. ارزیابی داده‌های آزمون با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه

مشخصه	تعداد درختان در هکتار		تاج‌پوشش (مترمربع در هکتار)	
	مربع	خطی	مربع	خطی
طرح‌های متفاوت نمونه‌برداری خوشه‌ای	مربع	خطی	مربع	خطی
مجذور میانگین مربعات خطا (درصد)	۶۸/۹۷	۷۴/۶۸	۱۹/۸۷	۱۷/۴۱
اریبی (درصد)	۰/۰۸	۰/۹۲	۵/۴۲	-۹/۸۲

درمورد مشخصه‌های تعداد در هکتار، به ترتیب (۵۰/۲۴) و (۰/۰۶) و تاج پوشش (۱۵/۲۷ و ۸/۱۶)، طرح ستاره‌ای ۲ بهینه است (جدول ۸).

۳-۵- مقایسه نتایج مدل سازی با طرح‌ها و مدل‌های متفاوت

مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های متفاوت نشان داد که درمورد هر دو مشخصه تراکم (تعداد در هکتار) و تاج پوشش، الگوریتم جنگل تصادفی با استفاده از طرح‌های نمونه برداری خطی و ستاره‌ای ۲، در مدل سازی، مناسب‌تر از دیگر روش‌های مورد استفاده است.

۳-۴- برآورد مشخصه‌های مورد بررسی با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

نتایج برآورد مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج پوشش با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، با در نظر گرفتن کرنل‌های متفاوت خطی چند جمله‌ای، پایه شعاعی، سیگموئید و خطی و طرح‌های نمونه برداری خوشه‌ای، نشان داد که مقادیر پارامترهای کرنل شامل ظرفیت، اپسیلون و گاما، به ترتیب ۱۰، ۰/۱ و ۰/۰۱ به دست آمد. برای مشخصه‌های مورد بررسی نیز، به ترتیب کرنل‌های سیگموئید و خطی به دست آمد که برحسب مقادیر درصد مجذور مربعات خطا و اریبی

جدول ۸. ارزیابی داده‌های آزمون با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

مشخصه	گاما	اپسیلون	ظرفیت	نوع کرنل	طرح نمونه برداری خوشه‌ای	مجذور میانگین مربعات خطا (درصد)	اریبی (درصد)
تعداد	۰/۰۱	۰/۱	۱۰	خطی چند جمله‌ای	خطی	۵۱/۷۲	۰/۰۷
درختان در هکتار	۰/۰۱	۰/۱	۱۰	پایه شعاعی	خطی	۵۰/۶۹	۰/۰۵
	۰/۰۱	۰/۱	۱۰	سیگموئید	خطی	۵۱/۲۲	۰/۰۵
	-	۰/۱	۱۰	خطی	ستاره‌ای ۲	۵۰/۲۴	۰/۰۶
تاج پوشش (مترمربع در هکتار)	۰/۰۱	۰/۱	۱۰	خطی چند جمله‌ای	خطی	۱۷/۱۴	-۱۳/۵۸
	۰/۰۱	۰/۱	۱۰	پایه شعاعی	ستاره‌ای ۲	۱۹/۰۲	-۱۲/۱۶
	۰/۰۱	۰/۱	۱۰	سیگموئید	ستاره‌ای ۲	۱۵/۲۷	-۸/۱۶
	۰/۰۱	۰/۱	۱۰	خطی	ستاره‌ای ۲	۱۹/۶۴	۲/۶۹

جدول ۹. نتایج اعتبارسنجی مدل سازی داده‌های ماهواره‌ای با مشخصه‌های کمی

مشخصه	جنگل تصادفی		ماشین بردار پشتیبان		نزدیک‌ترین همسایه	
	مجذور میانگین مربعات خطا (درصد)	اریبی (درصد)	مجذور میانگین مربعات خطا (درصد)	اریبی (درصد)	مجذور میانگین مربعات خطا (درصد)	اریبی (درصد)
تعداد درختان در هکتار	۴۶/۰۰	-۰/۰۲	۵۰/۲۴	۰/۰۶	۶۸/۹۷	۰/۰۸
تاج پوشش (مترمربع در هکتار)	۱۰/۴۴	۲/۸۲	۱۵/۲۷	-۸/۱۶	۱۷/۴۱	-۹/۸۲

۴- بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف تأثیر طرح‌های گوناگون نمونه‌برداری خوشه‌ای در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های سامان عرفی اولادقباد، واقع در غرب استان لرستان، با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل-۲ انجام شد. با بررسی نتایج آماره‌های توصیفی تراکم (تعداد در هکتار) و تاج‌پوشش، مشخص شد این داده‌ها دامنه تغییرات بالایی دارند. این نکته نشان از ناهمگنی منطقه، از نظر توزیع متغیرهای مورد بررسی دارد و تراکم (تعداد درختان در هکتار) با چولگی ۰/۴۵ و تاج‌پوشش با چولگی ۱/۷۳ را نشان داده است. طبق نتایج، مشخصه تاج‌پوشش کشیدگی مثبت و میزان چولگی ۱/۷۳ است (جدول ۴) که بیان می‌کند شکلی کم‌شونده دارد. همچنین از فراوانی درختان در طبقات با تاج‌پوشش بالاتر کاسته شده است که این موضوع می‌تواند متأثر از ساختار نهم‌سال توده جنگلی باشد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش رضایی سنگدهی^۱ (۲۰۲۰)، مبنی بر دامنه تغییرات زیاد داده‌های زمینی، تعداد در هکتار و تاج‌پوشش، مطابقت دارد. همچنین، نتایج نشان داد میانگین تراکم در هکتار، ۵۱ اصله و سطح تاج‌پوشش ۳۲۹۴٪ است (جدول ۴). نتیجه به‌دست‌آمده از این تحقیق برای منطقه مورد مطالعه، از لحاظ سطح تاج‌پوشش، به نتایج پژوهش عرفانی فرد^۲ و همکاران (۲۰۰۷) در جنگل‌های سروک شهرستان یاسوج، با سطح تاج‌پوشش ۳۰۴۴، نزدیک است اما به‌لحاظ تراکم (تعداد در هکتار)، با آن تفاوت بسیار دارد زیرا محققان یادشده، ۱۱۴ اصله برای سطح مورد بررسی به‌دست آوردند. این موضوع می‌تواند نشان از تفاوت ساختار جنگل‌های مورد بررسی، از نظر سن و نوع توده باشد. همچنین نتایج با تحقیق نوری^۳ و همکاران (۲۰۱۷) هم‌خوانی ندارد؛ به این علت که در شرایط جنگل مشابه، آنها میانگین تراکم و تاج‌پوشش را به‌ترتیب ۲۲۲ (اصله) و ۲۰۱۳/۵۱ مترمربع در هکتار گزارش کردند و دلیل چنین نتیجه‌ای را فقدان مونه‌بندی در نمونه‌برداری خوشه‌ای، در قیاس با روش

نمونه‌برداری همراه با مونه‌بندی دانستند. آگاهی از وضعیت تعداد درختان در هکتار جنگل یکی از اولویت‌هایی است که مدیران، به‌منظور ارزیابی منابع جنگلی، زمان‌بندی تیمارهای جنگل‌شناسی و برنامه‌ریزی، به آن نیاز دارند (Mohammadi et al., 2008). نتایج میانگین تراکم و سطح تاج‌پوشش طرح‌های متفاوت نمونه‌برداری خوشه‌ای مورد بررسی نشان داد که طرح خطی، با ۳۳ اصله و ۴۴۸۷ مترمربع در هکتار، دارای بیشترین میانگین است (جدول ۵). طبق مطالعه بیم و همکاران (۲۰۱۵) از دیدگاه کاملاً آماری، شکل‌های باز مانند خطی و ال‌شکل، به دلیل گسترش فضایی بزرگ‌تر و فاصله متوسط بیشتر، بین ریزقطعه‌نمونه‌ها که به‌طور میانگین به همبستگی درون خوشه‌ای کمتری منجر می‌شوند، برتری دارند. طبق نظر این محققان، این بدان معنی است که احتمالاً در محیط‌های طبیعی، همبستگی بین ریزقطعه‌نمونه‌ها در برابر ساختار جنگل و شرایط چشم‌انداز، حساس‌تر از شکل و اندازه آنهاست. برای تعیین تعداد بهینه درختان، ابتدا چهارصد درخت اولیه استفاده شد تا گرافی ایجاد شود که نشان‌دهنده تغییرات میانگین مربعات خطا، در مقابل تعداد خاص درختان نمونه‌های آموزشی و ارزیابی باشد. این مورد ابزار تحلیلی قدرتمندی به‌منظور جست‌وجوی اطلاعات و اصلاح تعداد بهینه درختان در جنگل تصادفی است. با تفسیر گراف به‌دست‌آمده، تعداد بهینه درختان برای مشخصه‌های تراکم و تاج‌پوشش، به‌ترتیب ۷۵ و ۳۵۰ حاصل شد که این تعداد دارای خطای ثابتی است. سپس اجرای جنگل تصادفی، براساس تعداد درختان بهینه، تکرار شد و دیگر پارامترها ثابت ماند. از دیگر سو، کلبی^۴ و همکاران (۲۰۱۸) در جنگل‌های کاکارضای خرم‌آباد تعداد بهینه درختان را برای تراکم تاج‌پوشش، ۲۵۰ به‌دست آوردند. آنها یکی از دلایل

1. Rezaei Sangdehi
2. Erfani Fard
3. Nouri
4. Kalbi

نتیجه هم‌راستا با نتایج کلبی و همکاران (۲۰۱۸) در جنگل‌های کاکارضای خرم‌آباد بود که الگوریتم جنگل تصادفی را در برآورد تراکم تاج، با دقت ۷۵٪ پیشنهاد دادند. آنها یکی از دلایل به‌دست‌آوردن نتیجه مورد نظر را در مقایسه با مطالعات قبلی، استفاده از الگوریتم ناپارامتریک درخت تصمیم برشمردند. سلیمان‌نژاد و همکاران (۲۰۱۹) نیز الگوریتم ناپارامتریک جنگل تصادفی را برای برآورد مشخصه تاج‌پوشش، مناسب معرفی کردند زیرا طبق بررسی آنها در مشخصه تاج‌پوشش، تنک‌بودن جنگل و بازتاب خاک، همچنین مقدار تاج‌پوشش هر طبقه در صحت کلی، صحت طبقات گوناگون تاج‌پوشش تأثیری نداشت و الگوریتم جنگل تصادفی، با شاخص‌های گیاهی نسبی، طبقه‌بندی تاج‌پوشش را موفق‌تر از دیگر مشخصه‌های جنگلی به انجام رساند. در مقابل، دابیجا و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان با پایه شعاعی، عملکردی بهتر از دیگر الگوریتم‌های جنگل تصادفی و با صحت ۷-۶٪ داشت که دلیل آن را عملکرد بهتر تصاویر سنتینل-۲ در مقایسه با لندست-۸ دانستند. با وجود حاصل‌شدن نتیجه مطلوب از پژوهش حاضر و نتایج دابیجا و همکاران (۲۰۲۱) و اینکه، در هر دو پژوهش، از تصاویر سنتینل-۲ استفاده شده است، دلیل اختلاف نتیجه درمورد الگوریتم‌های به‌دست‌آمده را می‌توان به تفاوت روش نمونه‌برداری استفاده‌شده نسبت داد.

۵- نتیجه‌گیری کلی

در تحقیق حاضر، تأثیر طرح‌های متفاوت نمونه‌برداری خوشه‌ای در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های سامان عرفی اولادقباد، واقع در شهرستان کوهدشت در غرب استان لرستان، با استفاده از تصاویر سنجنده سنتینل-۲ بررسی شد. به‌طورکلی استفاده از طرح‌های متفاوت نمونه‌برداری خوشه‌ای، روش‌های مدل‌سازی

به‌دست‌آوردن این نتیجه را در مقایسه با مطالعات پیشین، استفاده از الگوریتم ناپارامتریک درخت تصمیم دانستند. نتایج اعتبارسنجی نشان داد الگوریتم جنگل تصادفی همراه با طرح خطی توانست با درصد مجذور میانگین مربعات خطا و اریبی، به ترتیب (۰/۰۲، ۴۶/۰۰) در مدل‌سازی، عملکردی بهتر از روش‌های مورد استفاده داشته باشد (جدول ۹). نتایج پژوهش سلیمان‌نژاد^۱ و همکاران (۲۰۱۹) نیز با نتایج پژوهش حاضر قرابت دارد. به گفته این محققان، الگوریتم ناپارامتریک جنگل تصادفی روش به‌نسبت مناسبی در برآورد مشخصه تراکم جنگل‌های زاگرس با تصاویر OLI لندست-۸ است. در مقابل، نتایج تحقیقات محمدی^۲ و همکاران (۲۰۱۴) و فتح‌اللهی و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان، با استفاده از داده‌های سنجنش از دور، بهتر از الگوریتم‌های دیگر توانست تعداد درختان در هکتار را برآورد کند.

طبق نتایج این بررسی درمورد مشخصه تاج‌پوشش نیز، الگوریتم ناپارامتریک جنگل تصادفی به‌همراه طرح نمونه‌برداری خوشه‌ای ستاره‌ای ۲، در مدل‌سازی، وضعیتی مناسب‌تر از دیگر روش‌های مورد استفاده دارد (جدول ۹). در توده‌های تنک‌تر، به‌دلیل وجود گپ‌های بیشتر در تاج‌پوشش، جذب و پخش صورت می‌گیرد (Sivanpillai et al., 2006). می‌توان دلیل به‌دست‌آوردن مجذور میانگین مربعات (۰/۱۰/۴۴) درمورد مشخصه تاج‌پوشش را به وجود فضای خالی زیاد در تاج‌پوشش درختان منطقه مورد پژوهش نسبت داد زیرا اغلب در توده‌های جوان و انبوه، به‌دلیل کم‌بودن فضای خالی در تاج‌پوشش، بازتاب طیفی در محدوده فرسرخ زیاد است؛ درحالی‌که در توده‌های مسن با تراکم (تعداد در هکتار) پایین مانند جنگل مورد پژوهش، به‌دلیل وجود فضای خالی زیاد در تاج‌پوشش، طول موج فرسرخ به داخل جنگل نفوذ می‌کند و باعث پخش و جذب آن و در نهایت، کاهش بازتاب طیفی در این طول موج می‌شود و در نتیجه، با افزایش تعداد درختان در هکتار، میزان بازتاب طیفی نیز افزایش می‌یابد (Fatolahi et al., 2013). این

1. Soleimannejad
2. Mohammadi

- Indices and a Modified Simple Ratio for Boreal Applications**, Canadian Journal of Remote Sensing, 22(3), PP. 229-242.
- Dabija, A., Kluczek, M., Zagajewski, B., Raczko, E., Kycko, M., Al-Sulttani, A.H., Tardà, A., Pineda, L. & Corbera, J., 2021, **Comparison of Support Vector Machines and Random Forests for Corine Land Cover Mapping**, Remote Sensing, 13(4), P. 777.
- Dutta, S., Datta, A., Das Chakladar, N., Pal, S.L., Mukhopadhyay, S. & Sen, S., 2012, **Detection of Tool Condition from the Turned Surface Images Using Accurate Grey Level Cooccurrence Technique**, Precision Engineering, 36, PP. 458-466.
- Egbers, R., 2016, **Sentinel-2 Data Processing and Identifying Glacial Features in Sentinel-2 Imagery**, Bachelor Thesis, TU Delft University of Technology in Netherlands.
- Erfani Fard, S.Y., Zobeiri, M., Feghhi, J. & Namiranian, M., 2007, **Estimation of crown cover on Aerial Photographs Using Shadow Index (Case Study: Zagros Forests, Iran)**, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 15(3), PP. 278-288 (In Persian).
- Fereidoni, S., Soleimani, N. & Derikvand, B., 2005, **National Report on Providing Vegetation Map of Lorestan Province**, Natural Resources Office of Lorestan Province (In Persian).
- Fatolahi, M., Fallah, A., Hojjati, S.M. & Kalbi, S., 2013, **Determining the Ability of SPOT-HRG Sensor Data in Estimating the Number of Trees Per Hectare**, Journal of Wood & Forest Science and Technology, 20(4), PP. 133-117 (In Persian).
- Fereydouni, S., Soleimani, N. & Derikvand, B., 2005, **National Report on the Preparation of the Vegetation Map of Lorestan Province**, General Department of Natural Resources of Lorestan Province (In Persian).
- Finely, A.O., McRobert, R.E. & Ek, A.R., 2006, **Applying an Efficient K-Nearest Neighbor Search to Forest Attribute Imputation**, Forest Science, 52, PP. 130-135.
- ناپارامتریک و تصاویر سنجنده سنتینل-۲ کارایی بهتری در برآورد مشخصه تاج پوشش نشان داد اما در مقابل، در برآورد تعداد در هکتار، عملکرد مناسبی نداشت. یکی از دلایل نتیجه حاصل شده از مقادیر درصد مجذور میانگین مربعات خطا و اریبی، شدت همبستگی زیاد بین متغیرهای مستقل مورد بررسی در پژوهش حاضر (باندهای اصلی و مصنوعی) و متغیرهای پاسخ (مشخصه تاج پوشش) است اما، در مورد مشخصه تعداد درختان در هکتار، با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد شدت همبستگی بین برخی متغیرهای مستقل و پاسخ کمتر بوده است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود، بدین منظور شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم درخت تصمیم، روش‌های نیمه پارامتری، کوبیست و دیگر روش‌ها با الگوریتم ناپارامتریک برای جنگل‌های این منطقه و جنگل‌های دارای شرایط مشابه به کار رود و با نتایج مطالعه پیش رو مقایسه شود تا دقت و صحت‌سنجی بیشتر مورد مقایسه قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود اندازه، فاصله‌ها و طرح‌های متفاوت نمونه‌برداری خوشه‌ای بررسی شود. با توجه به پیشرفت روزافزون در مباحث سنجنش از دور و در دسترس قرارگرفتن اطلاعات به‌روز و گاه رایگان، با هدف افزایش دقت و کاهش زمان (هزینه) برخی تصاویر، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی، از تصاویر با قدرت تفکیک بهتر به‌منظور برآورد مشخصه‌های کمی بهره گرفته شود.

۶- منابع

- Bell, G.E., Howell, B.M., Johnson, G.V., Solie, J.B., Raun, W.R. & Stone, M.L., 2004, **A Comparison of Measurements Obtained Using Optical Sensing with Turf Growth, Chlorophyll Content, and Tissue Nitrogen**, Horticultural Science, 39(5), PP. 1130-1132.
- Bonyad, A.A., 2014, **Sampling Methods in the Forest**, Gilan University Press, Rasht, Iran.
- Chen, J.M., 1996, **Evaluation of Vegetation**

- Gebreslasie, M., Ahmed, F. & Aardt Van, J.A., 2010, **Predicting Forest Structural Attributes Using Ancillary Data and ASTER Satellite Data**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 12, PP. 23-26.
- Gonzales, R.C. & Woods, R.E., 2002, **Digital Image Processing**, Prentice Hal.
- Izadi, S., Sohrabi, H. & Khaledi, M.J., 2020, **Estimation of Coppice Forest Characteristics Using Spatial and Non-Spatial Models and Landsat Data**, Journal of Spatial Science, PP. 1-14.
- Kalbi, S., 2011, **Investigating the Possibility of Estimating Forest Structural Characteristics Using ASTER and SPOT_HRG Sensor Data (Case Study: Darabkola Forest)**, Master's Thesis, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Natural Resources (In Persian).
- Kalbi, S., Hassanvand, M.N., Soosani, J., Abrary, K. & Naghavi, H., 2018, **Estimation of Forest Crown Density Using Pleiades Satellite Data and Nonparametric Classification Method**, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 46(7), PP. 1151-1158.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. & Moran, E., 2004, **Relationships between Forests Stand Parameters and Landsat TM Spectral Responses in the Brazilian Amazon Basin**, Forest Ecology and Management, 198, PP. 149-167.
- Lynch, T.B., 2017, **Optimal Plot Size or Point Sample Factor for a Fixed Total Cost Using the Fairfield Smith Relation of Plot Size to Variance**, Forestry, 90(2), PP. 211-218.
- Mohammadi, J., 2007, **Investigating the Possibility of Estimating Some Quantitative Characteristics of the Forest in Order to Create a Spatial Forecasting Model Using Satellite Spectral Data (Study Area: Loveh Gorgan Oak Forests)**, Master's thesis, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Natural Resources (In Persian).
- Mohammadi, J., Yaghmaee, F., Habashi, H. & Shataee, Sh., 2008, **Comparison of Remote Sensing and Geostatistics in Estimating the Number of Trees Per Hectare (Case Study of Lohe Gorgan Oak Forests)**, Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 15(1), PP. 13-1.
- Mohammadi, J., Shataei, Sh. & Namiranian, M., 2014, **Comparison of Quantitative and Qualitative Characteristics of Forests Structure and Composition in Natural and Managed Forest Stands (Case Study: Shast Kalate Forests of Gorgan)**, Journal of Wood & Forest Science and Technology, 21(1), PP. 65-83 (In Persian).
- Naghavi, H., 2014, **The Application of Quickbird Satellite Images in Estimating the Canopy Level of Zagros Forests (Case Study: Ghale Gol Khorramabad)**, PhD thesis in Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran (In Persian).
- Noorian, N., Shataee, Sh., Mohammadi, J. & Yazdani, S., 2014, **Estimating Forest Structural Attributes by Means of ASTER Imagery and CART Algorithm (Case Study: Shastkolateh Forest, Gorgan)**, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(3), PP. 434-446 (In Persian).
- Nouredini, S.A.R., Bonyad, A.A. & Pourshakori, F., 2011, **Forest Canopy Classification on Aerial Photographs Using Textural Analysis (Case Study: Taf Lorestan Forest)**, Iranian Remote Sensing & GIS, 3(4), PP. 44-45 (In Persian).
- Nouri, A., Kiani, B., Hakimi Meibodi, M.H. & Mokhtari, M.H., 2017, **Effect of Pre-Stratification on Increasing the Precision of Cluster Sampling Method to Estimate Forest Attributes (Case Study: Bayangan, Kermanshah)**, Iranian Journal of Forest, 9(2), PP. 249-259 (In Persian).
- Rezaei Sangdehi, S.M., 2020, **Modeling of Aboveground Carbon Stock and Forest Structural Characteristics Using the Combination of Sentinel-1 and 2 Satellite**

- Imagery (Case Study: District 3 of Sangdeh Forests)**, PhD Thesis in Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran, 182 pages (In Persian).
- Roujean, J.L. & Breon, F.M., 1995, **Estimating PAR Absorbed by Vegetation from Bidirectional Reflectance Measurement**, Remote Sensing of Environment, 51, PP. 375-384.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. & Deering, D.W., 1973, **Monitoring Vegetation System in the Great Plains with ERTS**, Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Washington DC, PP. 309-317.
- Scheuber, M. & Köhl, M., 2003, **Assessment of Non-Wood-Goods and Services by Cluster Sampling**, In Advances in Forest Inventory for Sustainable Forest Management and Biodiversity Monitoring, PP. 157-171.
- Sivanpillai, R., Smith, C.T., Srinivasan, R., Messina, M.G. & Ben Wu, X., 2006, **Estimation of Managed Loblolly Pine Stands Age and Density with Landsat ETM+ Data**, Forest Ecology and Management, 223, PP. 247-254.
- Soleimannejad, L., Bonyad, A.E., Naghdi, R. & Latifi, H., 2019, **Classification of Quantitative Attributes of Zagros Forest Using Landsat 8-OLI and Random Forest Algorithm (Case Study: Protected Area of Manesht Forests)**, Journal of Forest Research and Development, 4(4), PP. 415-434 (In Persian).
- Tokola, T. & Shrestha, S.M., 1999, **Comparison of Cluster-Sampling Techniques for Forest Inventory in Southern Nepal**, Forest Ecology and Management, 116(1-3), PP. 219-231.
- Townsend, P.A., 2002, **Estimating Forest Structure in Wetlands Using Multitemporal SAR**, Remote Sensing of Environment, 79(2), PP. 288-304.
- Trotter, C.J. & Dymond Goulding, C., 1997, **Estimation of Timber Volume in a Coniferous Plantation Forest Using Landsat TM**, International Journal of Remote Sensing, 18, PP. 2209-2223.
- Tsui, O.W.N.C., Coops Wolfer, M.A. & Marshall, P.L., 2013, **Integrating Airborne LiDAR and Space-Borne Radar via Multivariate Kriging to Estimate Above-Ground Biomass**, Remote Sensing of Environment, 139, PP. 340-352.
- Tucker, C.J., 1979, **Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation**, Remote Sensing of Environment, 8, PP. 127-150.
- Yeganeh, H.S., Jamale Khajedain Amiri, F. & Shariff, A.R.M., 2012, **Monitoring Rangeland Ground Cover Vegetation Using Multitemporal MODIS Data**, Arabian Journal of Geosciences, 7(1), PP. 1-12.
- Yim, J.S.M.Y., Shin Son, Y. & Kleinn, C., 2015, **Cluster Plot Optimization for a Large Area Forest Resource Inventory in Korea**, Forest Science and Technology, 11(3), PP. 139-146.
- <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjy2M66trr7AhVghP0HHZeEAAMQFnoECBwQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.iranhavafaza.com%2Findex%2Farticle%2F4&usq=AOvVaw3HH5a1QHmy-QAo0o0OW6HC>



نسخه از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال چهاردهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱
Vol.14, No. 4, Winter 2023 Iranian Remote Sensing & GIS

71-86

The Effect of Different Cluster Sampling Schemes in Estimating the Quantitative Characteristics of Zagros Forests Using Sentinel 2 Sensor Images

Nazariani N.^{1*}, Fallah A.², Ramezani Moziraji H.³, Naghavi H.⁴, Jalilvand H.⁵

1. Postdoctoral Researcher of Forestry, Dep. of Forestry, Faculty of Forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2. Prof. of Dep. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3. Researcher, Swedish University of Agriculture and Natural Resources, Umeau, Sweden
4. Assistant Prof., Dep. of Forestry, Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources, Lorestan University
5. Prof. of Dep. of Forestry, Natural Resources Faculty, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Abstract

Gathering accurate information for statistics requires high cost and precision. The time factor is also one of the important issues that should be seriously considered in statistics. Therefore, the use of sampling methods and satellite images will be a good alternative for this purpose. In the present study, the aim of the effect of different cluster sampling schemes in estimating the quantitative characteristics of the traditional forests of Olad Ghobad in Koohdasht township, Lorestan province using Sentinel 2 sensor images. To estimate the studied characteristics, 150 clusters in the form of six designs (triangular, square, star 1, linear, L-shaped, star 2) were implemented in the region. Then, in each subplot, the characteristics of the number and area of the tree canopy were measured. After image preprocessing and appropriate image processing (principal component analysis, texture analysis, and different spectral ratios to create important plant indices), the corresponding digital values of the ground sample plots are extracted from the spectral bands and used as independent variables. Modeling was performed using nonparametric methods of random forest, support vector machine, and nearest neighbor. The results showed that the average density per hectare was 51 and the canopy area was 32.94%. The diagram of the mean squares of the error of the training and test data against the number of trees for the characteristic number per hectare and canopy showed that the optimal number of trees was obtained at approximately 75 and 350 points. The results of validation according to the percentage of squared mean squared error showed that for both density and canopy surface characteristics of random forest algorithm with linear and double star sampling designs with the squared percentage of mean squared error respectively (46.00%) and (10.44%) and Bias (-0.02%, 2.82%) along with cluster sampling designs linear and double star, respectively, had better performance in modeling. In general, the results showed that the use of different cluster sampling schemes, nonparametric modeling methods, and Sentinel2 sensor images can better performance estimate the quantitative characteristics of Zagros forests.

Keywords: Cluster sampling, Non-parametric method, Olad Ghobad forest, Random forest, Remote sensing.