

بررسی قابلیت باندهای اصلی و مصنوعی تصاویر ماهواره Sentinel-2

در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های زاگرس

اصغر فلاح^۱

نسترن نظریانی^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷

چکیده

مدیریت و برنامه‌ریزی بوم‌سازگانه‌هایی حساس نظیر جنگل‌های زاگرس در راستای حفظ و احیاء آن‌ها نیازمند اطلاعات صحیح و به‌هنگام است. با توجه به اینکه برآورد مشخصه‌های کمی تعداد درختان و تاج‌پوشش در جنگل‌های زاگرس با وسعت زیاد و نوع ساختار و پراکنش این بوم‌سازگان به روش‌های دستی بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر است، لذا تکنیک‌های سنجش از دور می‌تواند مکمل مناسبی در این راستا باشد. در مطالعه پیش‌رو هدف بررسی قابلیت باندهای اصلی و مصنوعی تصاویر ماهواره Sentinel-2 در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های سامان عرفی اولادقباد کوه‌دشت است. به‌منظور برآورد مشخصه‌های مورد بررسی، ۱۵۰ خوشه در قالب ۱۶ طرح نمونه‌برداری خوشه‌ای با شکل قطعه‌نمونه دایره و مربعی شکل در منطقه به مساحت تقریبی ۴۵۰۰ هکتار پیاده شد. هر خوشه شامل چهار ریزقطعه‌نمونه با مساحت ۷۰۰ متر مربع (شعاع ریزقطعه‌نمونه‌های دایره‌ای ۱۵ متر، قطر ریزقطعه نمونه مربعی ۳۷ متر و فاصله بین ریزقطعه‌نمونه‌ها از هم ۶۰ متر) بود. سپس در داخل هر ریزقطعه‌نمونه، مشخصه‌های تعداد پایه‌ها و مساحت تاج درختان اندازه‌گیری شد. پس از پیش‌پردازش و پردازش تصاویر (آنالیز بافت و ایجاد شاخص‌های گیاهی)، ارزش‌های طیفی معادل قطعه‌های زمینی استخراج و به‌عنوان متغیر مستقل در مدل‌ها استفاده شد. مدل‌سازی با استفاده از روش‌های ناپارامتریک جنگل تصادفی، ماشین‌بردار پشتیبان، نزدیک‌ترین همسایه و روش شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. با توجه به نتایج مدل‌سازی چهار الگوریتم مورد بررسی برای مشخصه‌های تعداد درختان و تاج‌پوشش روش شبکه عصبی مصنوعی به‌ترتیب با طرح نمونه‌برداری خوشه‌ای ۶ با ضریب تبیین ۰/۸۲ و طرح نمونه‌برداری خوشه‌ای ۱۰ با ضریب تبیین ۰/۷۶ نتایج بهینه‌ای را ارائه دادند. به‌طور کلی نتایج حاصل از اعتبارسنجی به‌دست آمده نشان داد استفاده از طرح‌های مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای، روش شبکه عصبی مصنوعی و تصاویر Sentinel-2 کارایی مناسبی در برآورد مشخصه‌های مورد بررسی دارد.

واژه‌های کلیدی: جنگل اولادقباد، روش‌های ناپارامتریک، سنجش از دور، نمونه‌برداری خوشه‌ای

۱- استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری Fallaha2007@yahoo.com

۲- پژوهشگر مقطع پسادکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسئول) Nazariani69@yahoo.com

۱- مقدمه

از روش‌های نمونه‌برداری استفاده می‌شود (Yim et al., 2015). در آماربرداری مناطق وسیع با توجه به وسعت و تعداد قطعات نمونه‌ای که برای اندازه‌گیری موجودی در واحد سطح جنگل یک منطقه محاسبه می‌شود شدت آماربرداری بسیار ناچیز است، حتی ممکن است به کمتر از ۰/۱ درصد نیز برسد، در چنین حالتی اگر از روش‌هایی چون تصادفی یا منظم-تصادفی استفاده شود، قطعات نمونه با فاصله زیاد از یکدیگر قرار خواهند گرفت که از لحاظ اجرایی و هزینه آماربرداری مشکلاتی را ایجاد می‌کند. لذا وقتی حجم جامعه خیلی بزرگ نباشد، به کارگیری هر یک از شیوه‌های تصادفی ساده، طبقه‌بندی و سیستماتیک به نتیجه‌ای کم و بیش همانند، منجر می‌شوند. اما وقتی حجم جامعه بزرگ می‌شود، این شیوه‌ها با مشکلاتی مانند: تهیه چارچوب نمونه‌گیری، هزینه بالای بررسی واحدهای نمونه با پراکندگی زیاد و تهیه طرح نمونه‌گیری از واحدهای دور از هم جامعه، همراه هستند (Zobeiri, 2007). روش خوشه‌ای یکی از روش‌هایی است که برای مناطق وسیع توصیه شده و در آن به جای یک قطعه نمونه چندین قطعه نمونه در یک قسمت از منطقه مورد بررسی، برداشت می‌شود. مطلوب این است که واریانس داخل خوشه‌ها حداکثر و واریانس بین آن‌ها حداقل باشد (Yim et al., 2015).

جنگل‌های بلوط زاگرس، بوم‌سازگانی هستند که با توجه به ویژگی خاص خود به نوع خاصی از مدیریت نیاز دارند (Smith, 1996). حفاظت از تنوع زیستی در بوم‌سازگان‌های طبیعی و مناطقی که وابستگی مردم به جنگل زیاد است، یکی از چالش‌های مهم در مدیریت منابع طبیعی محسوب می‌شود. اولین گام برای برنامه‌ریزی حفاظتی موفق، دسترسی به اطلاعات پایه از وضعیت‌های بالقوه و بالفعل تنوع زیستی پوشش گیاهی و عوامل مؤثر بر آن است (Shakeri et al., 2020). روش‌های بررسی میدانی به‌طور کلی زمان‌بر و پرهزینه است و اغلب برای هدفی خاص و همچنین در مقیاس مکانی و زمانی محدود قابل اجرا است که از اثر بخشی این روش‌ها می‌کاهد. قابلیت به‌دست آوردن مشاهدات منظم

برآورد مشخصه‌های رویشگاه جنگلی موضوع ضروری در راستای جمع‌آوری اطلاعات به‌منظور مدیریت پایدار جنگل است (Ahmadi et al., 2020). روش‌های جمع‌آوری اطلاعات، مستلزم صرف زمان و هزینه‌های زیادی است. علاوه بر این گستردگی سطح جنگل‌ها، کوهستانی بودن عرصه‌ها و همچنین تغییرات شدید با فواصل زمانی کوتاه، به‌کارگیری این روش‌ها را با مشکلات اجرایی روبه‌رو ساخته است (Khorami, 2004). بنابراین، همواره سعی می‌شود تا با استفاده از دست‌آوردهای حاصل شده در زمینه‌های مختلف علمی از روش‌های مکمل، با هزینه کمتر و با دقت قابل قبول، استفاده شود (Sivanpillai et al., 2006).

امروزه مدیریت پایدار یک مسئله راهبردی جهانی تلقی می‌شود. به دلیل در دسترس بودن روزافزون داده‌ها و نرم‌افزارهای رایگان، روش‌های سنجش از دور در درجه اول برای نقشه‌برداری، تجزیه و تحلیل و نظارت بر منابع طبیعی برای اهداف حفاظت مورد استفاده قرار گرفته است (Wang et al., 2017). پیشرفت‌های گسترده در فناوری‌های سنجش از دور و همچنین سیستم اطلاعات جغرافیایی، علوم رایانه‌ای و الگوریتم‌ها، نه تنها امکان جمع‌آوری سریع و به‌روز اطلاعات را فراهم می‌کند، بلکه یک زمینه وسیع و دقیق برای مشاهده و استخراج اطلاعات معتبر، به‌طور خاص مربوط به موجودی و مدیریت جنگل را نیز امکان‌پذیر می‌سازد (Kumar et al., 2020).

Sentinel-2 یک ماهواره نوری نسل جدید برای نظارت بر زمین است که توسط آژانس فضایی اروپا با قابلیت‌های طیفی جدید، پوشش وسیع و وضوح مکانی و زمانی خوب برای تداوم داده‌ها و افزایش مأموریت‌های لندست و اسپات توسعه یافته است (Wang et al., 2017). آماربرداری جنگل به روش‌های مختلفی انجام می‌شود. برای کسب و جمع‌آوری اطلاعات می‌توان تمام سطح را اندازه‌گیری کرد که این روش به علت هزینه بسیار زیاد و صرف وقت بیش از اندازه در مناطق وسیع صحیح نیست و به جای آن معمولاً

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

بررسی قابلیت باندهای اصلی و مصنوعی تصاویر ماهواره Sentinel-2 در ... / ۱۰۵

Sibanda و همکاران (۲۰۲۱) به برآورد شاخص سطح برگ Yellow wood با کاربرد داده‌های Sentinel-2 در بخشی از جنگل‌های آفریقای جنوبی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی و رگرسیون پرداختند. نتایج نشان داد می‌توان از باندهای بخش مرئی تصاویر سنجنده Sentinel-2 برای پیش‌بینی دقیق برآورد شاخص سطح برگ استفاده کرد. همچنین روش حذف رو به عقب متغیرهای مستقل، در توصیف ویژگی‌های پوشش گیاهی درختان منطقه عملکرد بهتری دارد.

Praticò و همکاران (۲۰۲۱) در طبقه‌بندی پارک ملی، در منطقه کالابریا واقع در جنوب ایتالیا با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی و تصاویر Sentinel-2 بهترین نتایج (دقت کلی = ۰/۸۸) مربوط به سه شاخص سه شاخص (EVI, NBR و NDVI) از باندهای اصلی این ماهواره به دست آمد. Nazariani و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر ۶ طرح معمول مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای را در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر Sentinel-2 بررسی کردند. نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان داد که برای هر دو مشخصه تراکم و سطح تاج‌پوشش الگوریتم جنگل تصادفی به همراه طرح‌های نمونه‌برداری خطی و ستاره‌ای دو به ترتیب با درصد مجذور میانگین مربعات خطا ۶۷/۰۰ و ۱۰/۴۴ درصد، در مدل‌سازی عملکرد بهتری داشته است. ایشان اذعان داشتند به‌طور کلی استفاده از طرح‌های مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای، روش‌های مدل‌سازی ناپارامتریک و تصاویر Sentinel-2 کارایی بهتری در برآورد مشخصه تاج‌پوشش نشان داد، اما در مقابل عملکرد مناسبی در برآورد تعداد در هکتار نداشته است.

Dabija و همکاران (۲۰۲۱) به مقایسه الگوریتم‌های ماشین‌بردار پشتیبان و جنگل تصادفی برای نقشه‌برداری تاج‌پوشش با استفاده از تصاویر ماهواره‌های Sentinel-2 و Landsat-8 برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی و توسعه منطقه‌ای و مکانی در سه منطقه مختلف کاتالونیا، لهستان و رومانی پرداختند. نتایج نشان داد که تصاویر ماهواره‌ای

در مقیاس‌های مختلف و جمع‌آوری اطلاعات از نواحی با امکان دسترسی محدود، با استفاده از تصاویر سنجنش از دور ممکن است (et al., 2015 Masihpoor). به‌طور کلی نمونه‌برداری خوشه‌ای غالباً باصرفه‌ترین حالت نمونه‌برداری در مناطق وسیع است. نه تنها هزینه‌های فهرست‌برداری تقریباً همیشه برای نمونه‌برداری خوشه‌ای از همه کمتر است، بلکه هزینه‌های رفت و آمد هم غالباً از سایر روش‌های نمونه‌برداری کمتر است.

از جمله تحقیقات انجام گرفته در خصوص مطالب مورد اشاره می‌توان به پژوهش Klein (۱۹۹۴) اشاره کرد. ایشان به مقایسه عملکرد نمونه‌برداری خطی با سایر اشکال نمونه‌برداری خوشه‌ای (ال شکل، صلیبی، دایره، مربع و مثلث متساوی‌الاضلاع) پرداخت. نتایج نشان داد به جز شکل دایره‌ای بقیه اشکال خوشه نتایج دقیق‌تری نسبت به نمونه‌برداری خطی ارائه می‌دهند. همچنین پژوهش Esmaeeli و همکاران (۲۰۱۷) باهدف تعیین روش نمونه‌برداری مناسب به‌منظور برآورد تراکم و سطح تاج‌پوشش درختان زوال‌یافته بلوط ایرانی در منطقه حفاظت‌شده دینارکوه ایلام با استفاده از سه روش نمونه‌برداری خوشه‌ای انطباقی، تصادفی منظم و تصادفی ساده نشان داد؛ روش خوشه‌ای انطباقی در برآورد تعداد در هکتار و سطح تاج‌پوشش درختان زوال‌یافته با توجه به میزان صحت نسبت به روش‌های متداول منظم تصادفی و تصادفی ساده از کارایی بیشتری برخوردار است (۵ و ۴/۷۶ درصد خطا به‌ترتیب برای برآورد تراکم و سطح تاج‌پوشش).

در بررسی Behera و همکاران (۲۰۲۱) در طبقه‌بندی سطح و نقشه‌برداری از جنگل حرا واقع در سواحل شرقی هند با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی و داده‌های AVIRIS-NG و Sentinel-2 مشخص شد در نهایت خروجی حاصل از باند قرمز تصاویر Sentinel-2 نتایج بهتری را ارائه داد. علاوه بر این نتایج نشان داد، مدل‌های پیشرفته مانند جنگل تصادفی، متغیرهای پیش‌بینی‌کننده را به خوبی کنترل کرده و توزیع چند حالت را برای طبقه‌بندی بهینه امکان‌پذیر می‌کند.

شهرستان کوهدشت، به نام سامان عرفی اولادقباد انتخاب شد. این منطقه در محدوده جغرافیایی $33^{\circ} 41' 45''$ تا $33^{\circ} 5'$ عرض شمالی و $47^{\circ} 28' 34''$ تا $47^{\circ} 1'$ طول شرقی واقع شده است.

اقلیم این منطقه از نوع نیمه‌خشک، بافت خاک شنی -رسی دارای ساختمان مکعبی و از نفوذپذیری مناسبی برخوردار است. جنگل‌های منطقه از نظر تقسیم‌بندی جهانی جزء جنگل‌های معتدله خزان‌کننده محسوب شده و از نظر تقسیم‌بندی کشوری جزء جنگل‌های نیمه‌خشک زاگرس محسوب می‌شود (et al., 2011 Norodini). نگاره ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

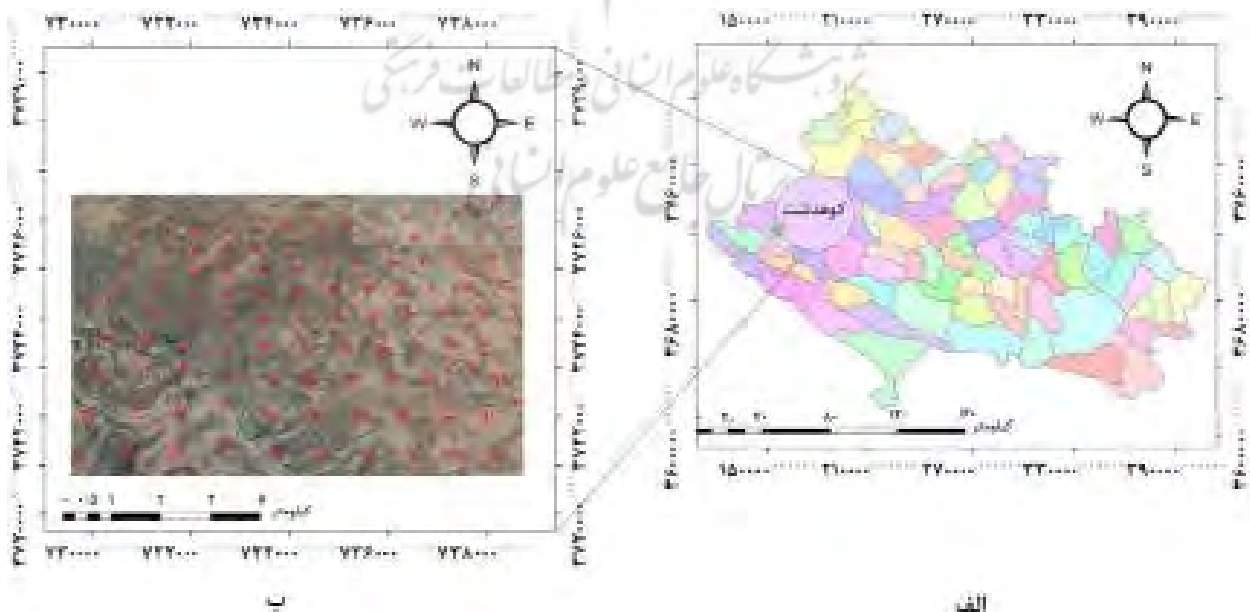
۲-۱- برداشت اطلاعات زمینی

نقاط نمونه‌برداری به روش منظم -تصادفی با استفاده از یک شبکه به ابعاد 600×500 متر مشخص شد. سپس در هر نقطه نمونه‌برداری، ۱۶ طرح مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای به ترتیب نگاره ۲ با چهار ریزقطعه نمونه دایره و مربعی شکل طراحی و پیاده شد.

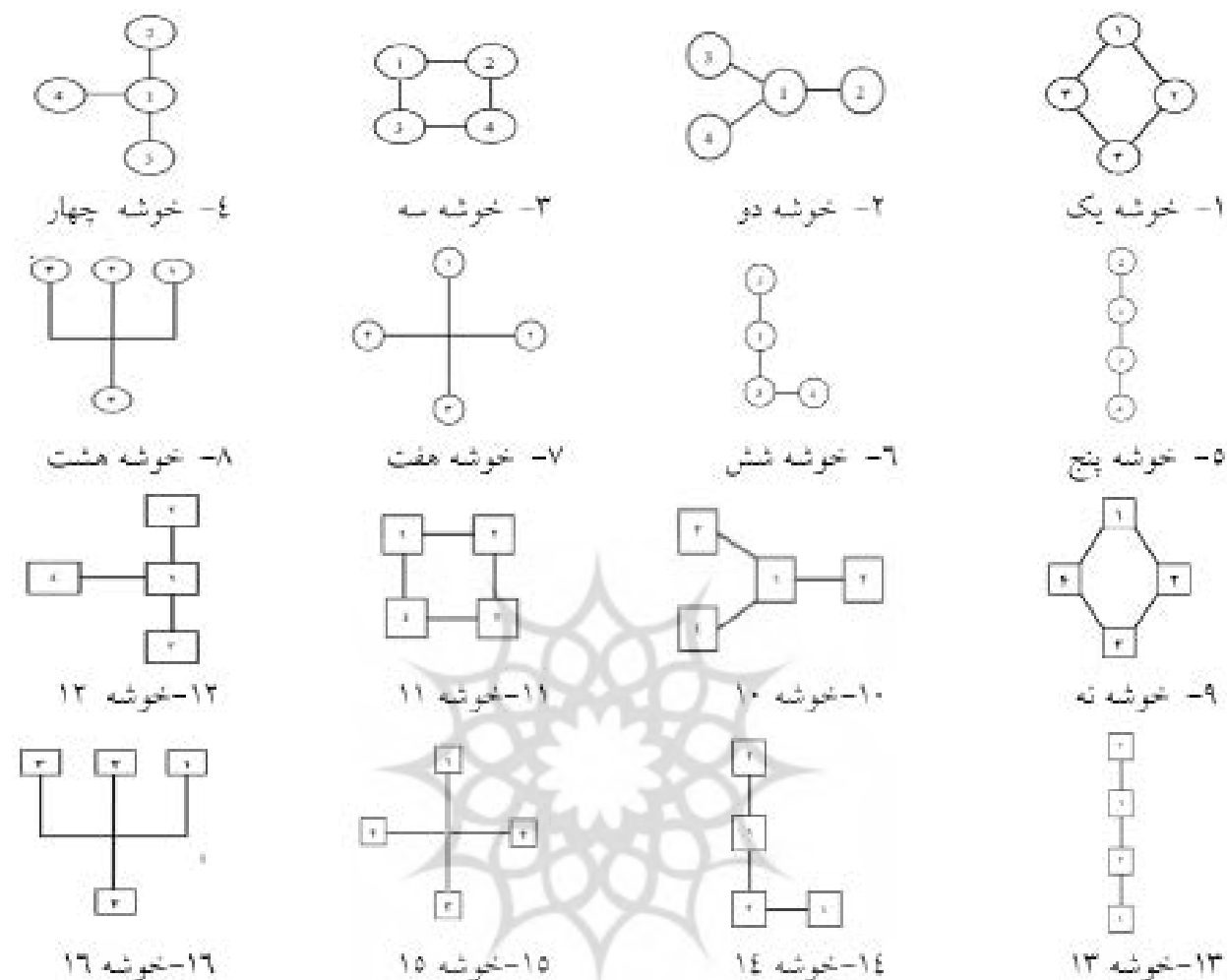
Sentinel-2 نسبت به داده‌های Landsat-8 با دقت (۱۰-۸ درصد) در طبقه‌بندی پوشش زمین و الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان با پایه شعاعی نسبت به جنگل تصادفی با صحت (۷-۶ درصد) بهتر عمل کرد. گرچه ممکن است مطالعات مربوط به برآورد مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از داده‌های سنجش از دوری و الگوریتم‌های ناپارامتریک در جنگل‌های زاگرس به مراتب انجام شده باشد، اما بررسی تأثیر باندهای اصلی و مصنوعی برای برآورد مشخصه‌های تاج‌پوشش و تراکم (تعداد در هکتار) با استفاده از تصاویر Sentinel-2 در جنگل‌های سامان عرفی اولادقباد کوهدشت با هدف انتخاب طرح خوشه‌ای بهینه در راستای صرفه‌جویی در زمان و هزینه برای دستیابی به موجودی جنگل گزارش نشده است، لذا در این تحقیق سعی شد این مسئله مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روش

به‌منظور انجام پژوهش حاضر، مساحت تقریبی ۳۰۰۰ هکتاری از جنگل‌های زاگرس واقع در ۳۵ کیلومتری شمال



نگاره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه: الف) در استان لرستان و ب) سامان عرفی اولادقباد شهرستان کوهدشت



نگاره ۲: طرح‌های مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای

هندسی به دلیل زمین مرجع بودن فاقد خطا بوده و چون انعکاس آن‌ها در سطح بالای اتمسفر (TOA) است، باید با اعمال تصحیح اتمسفریک بر روی آن‌ها، انعکاس آن‌ها به انعکاس زمینی تبدیل شود (Egbers 2016). در پژوهش حاضر از چهار باند با شماره‌های به ترتیب (۲-آبی، ۳-سبز، ۴-قرمز و ۸-مادون قرمز نزدیک) این سنجنده با قدرت تفکیک‌پذیری ۱۰ متری استفاده شد.

شعاع ریزقطعه نمونه‌های دایره‌ای ۱۵ متر، قطر ریزقطعه نمونه مربعی ۳۷ متر و فاصله بین ریزقطعه‌نمونه‌ها از هم ۶۰ متر بود. سپس اطلاعات مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج‌پوشش درختان شامل تعداد، دو قطر بزرگ و کوچک تاج در هر ریزقطعه نمونه اندازه‌گیری شد.

۲-۲- داده‌های ماهواره‌ای

در این پژوهش از تصاویر سنجنده Sentinel-2 مربوط به تاریخ ۰۶ آگوست ۲۰۲۱ معادل (۱۴۰۰/۰۵/۱۵) در سطح تصحیحات L1C استفاده شد.

در جدول ۱ مشخصات باندهای سنجنده مورد استفاده ارائه شده است. این سطح از تصحیحات از نظر خطای

۳-۲- پیش‌پردازش تصاویر

به‌طور کلی عملیات مربوط به پیش‌پردازش تصاویر سنجنده Sentinel-2، شامل تصحیح رادیومتریک و هندسی

جدول ۱: مشخصات باندهای سنجنده Sentinel-2

Resolution (m)	Central Wavelength (µm)	Sentinel-2- Bands
60	0.443	Band 1: Coastal aerosol
10	0.490	Band 2: Blue
10	0.560	Band 3: Green
10	0.665	Band 4: Red
20	0.705	Band 5: Vegetation Red Edge
20	0.740	Band 6: Vegetation Red Edge
20	0.783	Band 7: Vegetation Red Edge
10	0.842	Band 8: NIR
20	0.865	Band 8A – Vegetation Red Edge
60	0.945	Band9: Water vapour
60	1.375	Band 10: SWIR – Cirrus
20	1.610	Band 11: SWIR
20	2.190	Band 12: SWIR

(آژانس فضایی اروپا، ۲۰۱۷)

با توجه به اینکه تعداد چهار باند این سنجنده با قدرت تفکیک پذیری ۱۰ متری است، هر کدام در قالب یک فایل (ادغام باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ تصویر Sentinel-2 و تشکیل یک تصویر جدا) در آمد. علاوه بر باندهای اصلی، با اعمال پردازش‌های مناسب باندهای مصنوعی ایجاد شد که در فرآیند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. یکی از پردازش‌های مناسب که در بیشتر مطالعات مربوط به برآورد مشخصه‌های ساختار جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرد، تجزیه و تحلیل بافت است. تجزیه و تحلیل بافت به صورت تابعی از تغییرات مکانی، شدت روشنایی پیکسل‌ها که ویژگی‌های نرمی، زبری، همواری و منظم بودن هر سطح را دارد، بیان می‌کند (Gonzales & Woods, 2002).

در مطالعه حاضر نیز از مشخصه‌های بافت بر مبنای جدول ۱ برای تمامی باندها استخراج شد. همچنین اندازه پنجره مورد استفاده در این مطالعه ۳×۳ انتخاب گردید که مشخصه‌های بافت شامل (میانگین، واریانس، تباین، همبستگی، عدم تجانس، آنتروپی، همگنی و زاویه دوم لحظه‌ای) مورد

است. فرآیند پیش‌پردازش تصاویر به منظور استخراج هر چه بهتر اطلاعات انجام شد. فرآیند تصحیح اتمسفری روی تصاویر ماهواره Sentinel-2 تا حدودی صورت گرفته اما ارزش رقومی این تصاویر بین ۰ تا ۲۸۰۰۰ متغیر است که برای پردازش تصویر، ارزش رقومی پیکسل‌ها در تصویر با استفاده از دستور Quick به بازه ۰ تا ۱ تبدیل شد.

۲-۴- پردازش تصاویر

پردازش تصاویر نیز شامل عملیات‌های مختلف نظیر نسبت‌گیری^۲، تجزیه و تحلیل بافت^۳، ادغام باندها^۴ و ساختن شاخص‌های گیاهی^۵ است (Naghavi, 2014) که با توجه به اهداف موجود بر روی داده‌های ماهواره‌ای و در راستای اهداف مختلف صورت گرفت. پردازش تصاویر در نرم‌افزار ENVI^{5.3} انجام گرفت.

- 1- Quick Atmospheric Correction
- 2- Ratioing
- 3- Texture analysis
- 4- Band integration
- 5- Vegetation index making

جدول ۲: شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در پژوهش حاضر

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

طبق تحقیقات Shataee و همکاران (۲۰۱۲) برای ساخت مدل جنگل تصادفی باید به سه پارامتر توجه کرد: اول نسبت زیر نمونه‌ها که برای تعیین مقدار این پارامتر نسبت‌های ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد مورد آزمایش قرار گرفت، دوم برای تعیین تعداد برآوردکننده‌ها در هر گره از جذر کل تعداد متغیرهای مستقل مورد استفاده در مدل ± 2 استفاده شد تا k یا تعداد برآوردکننده بهینه در هر گره انتخاب شود و سوم برای تعیین تعداد بهینه درختان، ابتدا ۴۰۰ درخت برای تولید یک گراف که نشان‌دهنده تغییرات میانگین مربعات خطا در مقابل تعداد خاص درختان نمونه‌های آموزشی و اعتبارسنجی است، مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۵-۲- الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه^۹

این روش متعلق به طبقه مدل‌های غیرپارامتری است. در این روش مقادیر نقاط نامعلوم از متغیر وابسته براساس شباهت و فاصله بین ارزش‌های متغیرهای مستقل متناظر با این نقطه با ارزش‌های نقاط مشاهده شده از متغیرها به دست می‌آید و برای برآورد اطلاعات جنگل یک ابزار مناسب

بررسی قرار گرفت. به منظور ایجاد شاخص‌های گیاهی از ترکیبات نسبت‌گیری مناسب در پژوهش‌های پیشین استفاده شد (et al., 2014 Norian) (جدول ۲).

۲-۵-۵- استخراج ارزش‌های طیفی و مدل‌سازی

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

۲-۵-۱- الگوریتم جنگل تصادفی^۸

یکی از روش‌های غیرپارامتری و درخت پایه است که شامل انبوهی از درخت‌های کلاسه‌بندی و رگرسیونی است و گسترش یافته مدل رگرسیون درختی است (Breiman, 2001).

- 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-K- Nearest Neighbor (KNN)

شبکه عصبی شامل نورون‌هایی است که شامل لایه‌های ورودی، پنهان و خروجی است که با هم هم‌خوانی دارند و در نهایت یک راه حل با حداقل خطا برای مسئله همگرایی می‌کنند (Hamidi et al., 2021b).

۲-۶- اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیونی

به منظور ارزیابی و برازش مدل‌های رگرسیونی، ۲۵ درصد از داده‌ها به صورت تصادفی انتخاب (Lu et al, 2004) و به عنوان مجموعه داده‌های ارزیابی کنار گذاشته شدند. با استفاده از ضریب تبیین (R^2) معیارهای میانگین مجذور مربعات خطا (Root Mean Square of the Error) (رابطه ۲)، اریبی (رابطه ۳)، درصد میانگین مجذور مربعات خطا (رابطه ۴) و درصد اریبی (رابطه ۵)، اعتبار مدل‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{oi} - \bar{y}_p)^2}{\sum_{i=1}^n (y_{oi} - \bar{y}_o)^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)}{n} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$RMSE\% = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 / n}}{\bar{y}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$Bias\% = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i) / n}{\bar{y}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این روابط \bar{Y} مقدار برآورد شده، \bar{y} میانگین برآورد شده و Y مقدار مشاهده شده، همچنین n تعداد مشاهدات (قطعات نمونه) و y_{oi} مقدار مشاهده نام، است. در مجموع از نرم‌افزار ArcGIS برای پیاده کردن قطعات نمونه بر روی تصویر، از نرم‌افزار ENVI به منظور پردازش تصویر و از نرم‌افزار STATISTICA برای مدل‌سازی استفاده شد.

محسوب می‌شود (Holmström and Fransson, 2003). در اجرای این روش از چهار معیار فاصله اقلیدسی (Euclidean)، مربع فاصله اقلیدسی (Euclidean Square)، منهن (City block) و چیبیشف (Chebychev) به صورت وزن داده شده و داده‌ها به صورت استاندارد استفاده گردید. با توجه به اهمیت تعداد همسایه، مقدار بهینه این پارامتر بین ۱ تا ۵۰ در نظر گرفته شد.

۲-۵-۳- الگوریتم ماشین بردار پشتیبان^۱

برای مدل‌سازی با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان از توابع پایه شعاعی (Radial Basis Function)، چندجمله‌ای (Polynomial) درجه دو و سه، سیگموئید (Sigmoid) و خطی (Linear) در این مطالعه استفاده شد. در این روش مقدار گاما معمولاً از تقسیم یک بر تعداد متغیرهای مستقل که در اینجا تعداد باندهای اصلی و مصنوعی می‌باشد، به دست می‌آید. برای تعیین مقادیر بهینه ظرفیت و اپسیلون از اعتبارسنجی متقابل و جستجوی خودکار شبکه‌ای با اعتبارسنجی ۱۰ قسمتی و تکرار ۱۰۰۰ بار استفاده گردید. مقدار ظرفیت از ۱ تا ۵۰ و مقدار اپسیلون از ۰/۱ تا ۰/۵ در نظر گرفته شد (Townsend 2002).

۲-۵-۴- مدل شبکه عصبی مصنوعی

در مدل شبکه عصبی به طور گسترده‌ای از روش‌های یادگیری ماشین استفاده می‌شود. در این مدل از سیستم عصبی مغز انسان و مجموعه عظیمی از واحدهای پردازش الهام گرفته شده است، که به عنوان یک سیستم جمعی کار و مشکلات را حل می‌کند. این مدل‌ها، مانند دیگر روش‌های هوش مصنوعی، می‌توانند روابط پیچیده و غیرخطی میان پدیده‌ها را ساده کنند. شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (Multi-Layer Perceptron: MLP) و تابع پایه شعاعی (Radial Basic Functions: RBF) از مهم‌ترین الگوریتم‌های ANN است که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت زیرا قدرت کارایی بالایی در هنگام حل مشکلات دارند.

1- Support Vector Machine (SVM)

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

بررسی قابلیت باندهای اصلی و مصنوعی تصاویر ماهواره Sentinel-2 در ... / ۱۱۱

۳- نتایج

برای مشخصه تعداد در هکتار خوشه ۱۶ و مشخصه تاج پوشش خوشه ۱۵ با ضریب تبیین به ترتیب (۰/۶۶) و (۰/۵۹) دارای بیشترین دقت است (جدول ۴).

۳-۱- میانگین مشخصه‌های تراکم و تاج پوشش بر حسب طرح‌های مختلف نمونه برداری خوشه‌ای

نتایج برآورد مشخصه‌های تراکم (تعداد در هکتار) و تاج پوشش برای طرح‌های مختلف نمونه برداری خوشه‌ای در نگاره ۳ ارائه شده است (نگاره ۳).

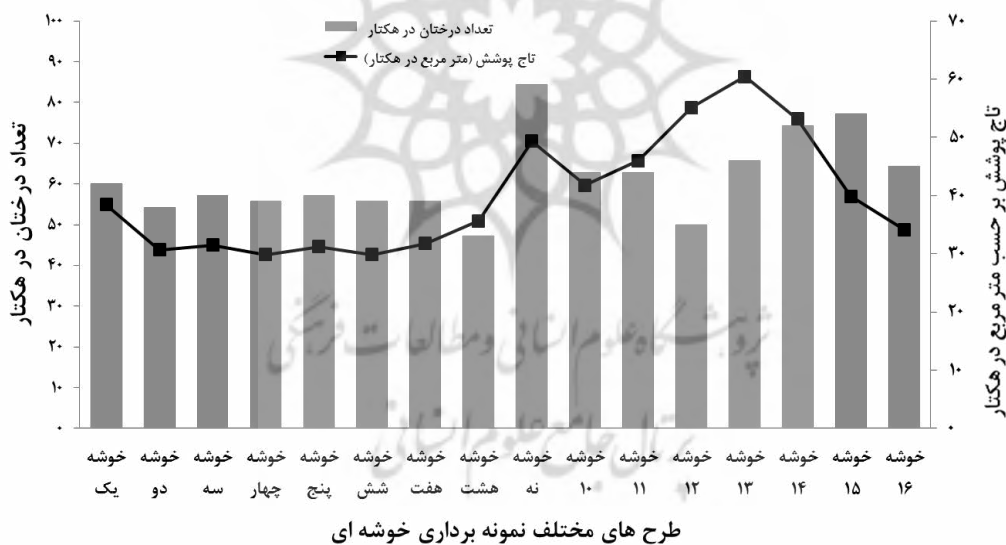
۳-۲- برآورد مشخصه تاج پوشش با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه

نتایج به دست آمده از به کارگیری الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه با چهار معیار فاصله اقلیدسی، مربع اقلیدسی، منهن و چیبیچف در جدول ۵ نشان داد برای مشخصه تعداد در هکتار معیار مربع فاصله اقلیدسی با خوشه ۱۶ و برای مشخصه تاج پوشش معیار فاصله اقلیدسی با خوشه سه به ترتیب با مقادیر ($R^2=0.59$ و $RMSE\%=5.70$) و ($R^2=0.62$ و $RMSE\%=12.30$) است.

با توجه به مقدار $P\text{-value}: 0/0003$ مشخص شد که طرح‌های مختلف نمونه برداری خوشه‌ای با هم اختلاف معنی داری دارند (جدول ۳).

۳-۲- برآورد مشخصه تاج پوشش با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی

در این روش طی اعتبارسنجی داده‌ها نتایج نشان داد



نگاره ۳: میانگین مشخصه‌های تراکم (تعداد در هکتار) و تاج پوشش بر حسب طرح‌های مختلف نمونه برداری خوشه‌ای

جدول ۳: نتایج بررسی معنی داری بین طرح‌های مختلف نمونه برداری خوشه‌ای

مشخصه	مجموع مربعات	میانگین مربعات	درجه آزادی	آماره F	P-value (بررسی معنی داری)
بین گروه‌ها	3.45	0.69	15	4.66	0.0003
دورن گروه‌ها	63.47	0.14	429	-	-
جمع کل	69.99	-	444	-	-

جدول ۴: ارزیابی داده‌های آزمون با الگوریتم جنگل تصادفی

تاج پوشش (متر مربع در هکتار)			تعداد درختان در هکتار			مشخصه نمونه برداری خوشه‌ای طرح‌های مختلف
تعداد برآوردگر						
۱۰						
%BIAS	%RMSE	R ²	%BIAS	%RMSE	R ²	
0.07	10.09	0.38	0.30	10.01	0.26	خوشه یک
-30.95	3.16	0.48	0.02	0.52	0.22	خوشه دو
-4.11	20.50	0.21	0.03	0.59	0.28	خوشه سه
-15.84	2.44	0.21	-0.04	0.54	0.20	خوشه چهار
-42.57	2.74	0.33	0.03	0.57	0.26	خوشه پنج
-23.82	1.24	0.24	0.04	0.56	0.21	خوشه شش
0.05	10.06	0.30	-0.46	10.076	0.51	خوشه هفت
0.46	9.99	0.45	-0.42	10.076	0.44	خوشه هشت
-1.18	10.26	0.25	0.66	9.96	0.47	خوشه نه
-0.01	10.10	0.46	-0.37	10.16	0.31	خوشه ۱۰
0.04	10.07	0.24	-0.37	10.09	0.46	خوشه ۱۱
0.41	10.05	0.25	-0.10	10.03	0.35	خوشه ۱۲
-0.68	10.13	0.34	-0.24	10.04	0.45	خوشه ۱۳
0.12	9.28	0.43	0.12	9.28	0.44	خوشه ۱۴
-4.77	10.48	0.59	6.31	9.37	0.22	خوشه ۱۵
21.57	1.14	0.41	3.94	5.86	0.66	خوشه ۱۶

۴-۳- برآورد مشخصه تاج پوشش با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان
 میزان دقت و کارایی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان تحت تأثیر نوع کرنل به کار رفته است. نتایج حاصل از کرنل‌های مختلف با در نظر گرفتن طرح‌های متفاوت نمونه برداری خوشه‌ای در روش ماشین بردار پشتیبان نشان داد برای مشخصه تعداد درختان کرنل خطی و طرح نمونه برداری خوشه‌ای ۱۳ با ضریب تبیین ۰/۷۲ و برای مشخصه تاج پوشش نیز کرنل خطی و طرح نمونه برداری خوشه‌ای هفت با ضریب تبیین ۰/۶۵ دارای بهترین نتیجه است (جدول ۶).

۴-۳-۳- برآورد مشخصه تاج پوشش با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی
 ارزیابی جدول ۷ نشان داد در برآورد مشخصه‌های مورد بررسی الگوریتم MLP با داشتن دقت بالا و درصد میانگین مربعات خطای کمتر نسبت به الگوریتم RBF

۳-۶- مقایسه نتایج مدل‌سازی با طرح‌ها و مدل‌های مختلف
 براساس مقادیر ضریب تبیین و کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا، مناسب‌ترین مدل از بین چهار نوع الگوریتم مورد بررسی در مدل‌سازی انتخاب و نتایج آن در نگاره ۴ ارائه شده است.

۳-۵- برآورد مشخصه تاج پوشش با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی
 ارزیابی جدول ۷ نشان داد در برآورد مشخصه‌های مورد بررسی الگوریتم MLP با داشتن دقت بالا و درصد میانگین مربعات خطای کمتر نسبت به الگوریتم RBF

با توجه به نتایج این نمودار برای هر دو مشخصه مورد بررسی مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب (با الگوریتم‌های MLP 80-20-1 و MLP 80-11-1) با ضرایب تبیین ۰/۸۶ و ۰/۷۶ نتایج بهینه‌ای را ارائه دادند.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سامان)
 بررسی قابلیت باندهای اصلی و مصنوعی تصاویر ماهواره Sentinel-2 در ... / ۱۱۳

جدول ۵: ارزیابی داده‌های آزمون با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه

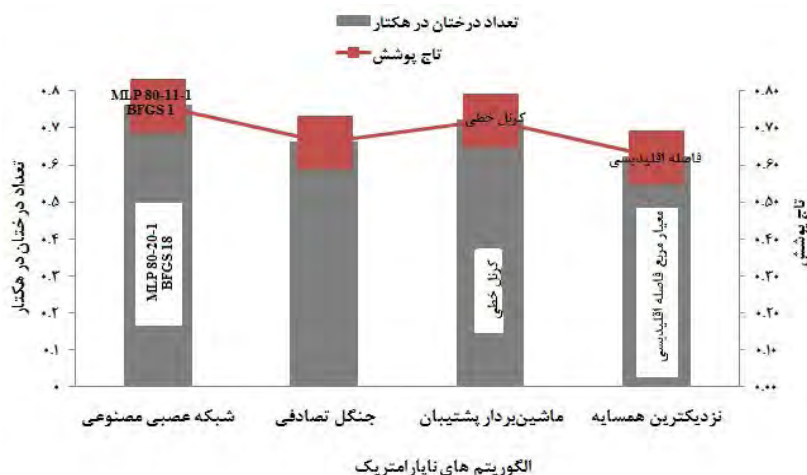
تاج پوشش (متر مربع در هکتار)			تعداد درختان در هکتار			مشخصه
%BIAS	%RMSE	R ²	%BIAS	%RMSE	R ²	
معیار			معیار			خوشه یک
-20.56	22.10	0.25	-8.83	15.89	0.32	
مربع فاصله اقلیدسی			چیشف			خوشه دو
2.30	14.51	0.61	0.18	20.72	0.26	
فاصله اقلیدسی			مربع فاصله اقلیدسی			خوشه سه
5.42	12.30	0.62	0.15	20.78	0.23	
فاصله اقلیدسی			چیشف			خوشه چهار
-29.37	19.12	0.43	-0.12	20.78	0.27	
فاصله اقلیدسی			چیشف			خوشه پنج
-0.03	19.13	0.41	0.04	25.75	0.31	
فاصله اقلیدسی			چیشف			خوشه شش
-31.17	20.12	0.35	0.13	25.72	0.35	
چیشف			چیشف			خوشه هفت
11.90	28.82	0.36	-7.44	20.76	0.30	
مربع فاصله اقلیدسی			چیشف			خوشه هشت
-17.32	21.77	0.42	13.92	28.64	0.21	
چیشف			مربع فاصله اقلیدسی			خوشه نه
-5.31	20.56	0.42	1.95	29.81	0.23	
چیشف			مربع فاصله اقلیدسی			خوشه ۱۰
-8.31	30.84	0.21	11.27	28.92	0.20	
منهتن			چیشف			خوشه ۱۱
-16.01	21.64	0.39	-10.48	21.16	0.26	
مربع فاصله اقلیدسی			مربع فاصله اقلیدسی			خوشه ۱۲
19.48	18.07	0.45	7.76	19.25	0.35	
چیشف			چیشف			خوشه ۱۳
-0.74	10.07	0.42	6.78	19.33	0.42	
چیشف			مربع فاصله اقلیدسی			خوشه ۱۴
-0.59	20.06	0.34	7.44	19.36	0.44	
چیشف			منهتن			خوشه ۱۵
-15.31	21.54	0.39	-15.95	11.60	0.52	
چیشف			مربع فاصله اقلیدسی			خوشه ۱۶
-2.47	10.35	0.42	9.35	5.70	0.59	
چیشف			مربع فاصله اقلیدسی			

جدول ۶: ارزیابی داده‌های آزمون با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

%BIAS	%RMSE	R ²	طرح نمونه برداری خوشه‌ای	نوع کرنل	ظرفیت	اپسیلون	گاما	مشخصه
0.08	20.52	0.32	خوشه دو	خطی چندجمله‌ای	10	0.1	0.01	تعداد درختان در هکتار
4.70	17.78	0.44	خوشه هشت	پایه شعاعی	10	0.1	0.01	
1.48	12.79	0.47	خوشه هفت	سیگموئید	10	0.1	0.01	
4.32	14.14	0.72	خوشه ۱۳	خطی	10	0.1	0.01	تاج پوشش (متر مربع در هکتار)
11.95	16.32	0.48	خوشه چهار	خطی چندجمله‌ای	10	0.1	0.01	
-12.33	13.37	0.53	خوشه چهار	پایه شعاعی	10	0.1	0.01	
22.21-	11.93	0.61	خوشه شش	سیگموئید	10	0.1	0.01	
6.47	9.71	0.65	خوشه هفت	خطی	10	0.1	0.01	

جدول ۷: ارزیابی داده‌های آزمون با مدل شبکه عصبی مصنوعی

مشخصه	طرح‌های مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای	الگوریتم	نام شبکه	R ²	%RMSE	%BIAS
تعداد در هکتار	خوشه یک	BFGS 11	MLP 80-20-1	0.21	20.51	-2.63
	خوشه دو	BFGS 1	MLP 80-12-1	0.41	9.99	0.02
	خوشه سه	BFGS 6	MLP 80-20-1	0.40	10.52	-0.67
	خوشه چهار	BFGS 6	MLP 80-13-1	0.38	22.07	-0.08
	خوشه پنج	BFGS 6	MLP 80-11-1	0.55	10.27	-0.48
	خوشه شش	BFGS 18	MLP 80-20-1	0.86	11.21	-5.52
	خوشه هفت	BFGS 5	MLP 80-11-1	0.56	5.76	-6.54
	خوشه هشت	BFGS 1	MLP 80-10-1	0.29	19.99	0.01
	خوشه نه	BFGS 3	MLP 80-13-1	0.24	19.66	4.01
	خوشه ۱۰	BFGS 38	MLP 80-19-1	0.25	21.52	7.31
	خوشه ۱۱	BFGS 1	MLP 80-11-1	0.45	19.99	0.02
	خوشه ۱۲	BFGS 15	MLP 80-10-1	0.53	10.68	-0.51
	خوشه ۱۳	BFGS 1	MLP 80-24-1	0.26	29.99	0.04
	خوشه ۱۴	BFGS 2	MLP 80-19-1	0.36	29.72	2.78
تاج پوشش	خوشه ۱۵	BFGS 2	MLP 80-16-1	0.46	19.46	5.47
	خوشه ۱۶	BFGS 3	MLP 80-18-1	0.33	10.44	9.52
	خوشه یک	BFGS 3	MLP 80-25-1	0.30	19.42	5.92
	خوشه دو	BFGS 1	MLP 80-13-1	0.28	10.00	-0.01
	خوشه سه	BFGS 1	MLP 80-14-1	0.24	30.03	-0.29
	خوشه چهار	BFGS 14	MLP 80-21-1	0.41	12.07	-0.08
	خوشه پنج	BFGS 5	MLP 80-12-1	0.66	10.75	-0.38
	خوشه شش	BFGS 8	MLP 80-18-1	0.25	20.53	0.87
	خوشه هفت	BFGS 8	MLP 80-15-1	0.27	20.06	3.670
	خوشه هشت	BFGS 5	MLP-80-15-1	0.40	11.55	-7.68
	خوشه نه	BFGS 1	MLP 80-13-1	0.32	20.00	-0.01
	خوشه ۱۰	BFGS 1	MLP 80-11-1	0.76	8.90	-13.19
	خوشه ۱۱	BFGS 21	MLP 80-25-1	0.51	13.10	-5.81
	خوشه ۱۲	BFGS 3	MLP 80-21-1	0.44	10.40	-0.63
خوشه ۱۳	BFGS 13	MLP 80-8-1	0.41	18.66	3.11	
خوشه ۱۴	BFGS 2	MLP 80-10-1	0.27	19.23	7.76	
خوشه ۱۵	BFGS 1	MLP 18-12-1	0.38	17.13	0.05	
خوشه ۱۶	BFGS 1	MLP 80-17-1	0.40	15.73	5.44	



نگاره ۴: اعتبارسنجی مدل سازی داده های ماهواره ای با مشخصه های کمی

۴- بحث و نتیجه گیری

زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel-2 انجام شد. میانگین تعداد در هکتار برای طرح های مختلف نشان داد که خوشه نه بیشترین فراوانی (۵۹ اصله) را دارد. همچنین نتایج بررسی مشخصه های کمی تاج پوشش برای طرح های مختلف نمونه برداری خوشه ای نشان داد خوشه ۱۳ دارای بیشترین سطح تاج پوشش (۵۶۴۱) مترمربع در هکتار است. علت نتیجه حاصل شده مربوط به تعداد درختان در هر ریزقطعه نمونه بر مبنای آرایش طرح خوشه ای انتخاب شده و در پی آن جای گرفتن تعداد درخت بیشتر بسته به عوامل توپوگرافی موجود در منطقه و سپس تراکم حجمی درختان موجود در آنها است.

نتایج مدل سازی الگوریتم جنگل تصادفی با داده های ماهواره ای و مشخصه های کمی بر اساس مقادیر ضریب تبیین و کمترین درصد مجذور میانگین مربعات خطا، مناسب ترین مدل برای مشخصه های تعداد در هکتار طرح نمونه برداری خوشه ای ۱۶ یک با ضریب تبیین ۰/۵۵ و درصد مجذور میانگین مربعات خطای ۵/۸۶ به دست آمد. نتیجه حاصل شده با مطالعه Mohammadi و همکاران (۲۰۱۴) در جنگل شصت کلاته گرگان و Fatolahi و همکاران (۲۰۱۳) در جنگل آموزشی پژوهشی دارابکلا؛ در برآورد تعداد در هکتار، مطابقت ندارد. ایشان ضمن اشاره به مثبت بودن ارتباط متغیرهای آنالیز بافت و فاکتور تعداد در هکتار اذعان داشتند ممکن است دلیل نتیجه حاصله این موضوع باشد که

برآورد مشخصه های ساختاری بوم سازگان های جنگلی، اطلاعات زیادی در ارتباط با جنبه های مختلف جنگل در اختیار مدیران، برنامه ریزان و پژوهشگران قرار می دهد. اگرچه اندازه گیری مستقیم مشخصه های ساختاری درختان مانند تعداد در هکتار، تاج پوشش، قطر برابرسینه و ارتفاع درخت دقیق ترین روش است اما در مقایسه با روش های برآوردی (سنجش از دور) دارای محدودیت های اساسی چون افزایش هزینه و زمان بر بودن است. امروزه قابلیت استفاده رایگان از تصاویر ماهواره ای نقطه قوتی در راستای به کارگیری این تصاویر توسط محققان است. لذا دو روش اندازه گیری زمینی و تصاویر سنجش از دوری می توانند مکمل مناسبی برای برآورد باشند. در این راستا در تحقیق حاضر تصاویر Sentinel-2 به دلیل قابلیت دسترسی به هنگام، رایگان و به نسبت قدرت تفکیک مکانی مناسب مورد استفاده قرار گرفت. در جنگل های زاگرس به دلیل شاخه زاد و غیرتجاری بودن چوب آنها، مشخصه حجم مطرح نیست و مشخصه های تعداد در هکتار و تاج پوشش که به نوعی مشخصه های مکمل هم هستند، به عنوان شاخص های برآورد تراکم جنگل مهم هستند و برآورد این مشخصه ها با دقت بالا در برنامه ریزی برای مدیریت جنگل بسیار مهم است. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر باندهای اصلی و مصنوعی بر برآورد مشخصه های کمی جنگل های

با افزایش طول موج در باند مادون قرمز، بازتاب طیفی توده‌های با تعداد درختان بیشتر (عمدتاً توده‌های جوان دارای تعداد پایه بیشتری در مقایسه با توده‌های مسن هستند) نیز افزایش پیدا می‌کند. در توده‌های جوان و انبوه به دلیل کم بودن فضای خالی در تاج پوشش، بازتاب طیفی در محدوده مادون قرمز زیاد می‌باشد در حالی که در توده‌های مسن با تراکم پایین به دلیل وجود فضای خالی زیاد در تاج پوشش، طول موج مادون قرمز به داخل جنگل نفوذ کرده و باعث پخش و جذب آن و در نهایت کاهش بازتاب طیفی در این طول موج می‌شود. در نتیجه با افزایش تعداد درختان در هکتار میزان بازتاب طیفی نیز افزایش می‌یابد. در مقابل با نتایج Nazariani و همکاران (۲۰۲۲) در جنگل‌های زاگرس مطابقت دارد. ایشان نیز در مطالعه خود الگوریتم جنگلی تصادفی را مناسب‌ترین مدل در برآورد مشخصه تعداد در هکتار معرفی کردند. دلیل نتیجه حاصل شده را می‌توان در وجود طرح‌های پیشنهادی در قالب شکل ریزقطعه‌نمونه مشترک یافت. نتایج مدل‌سازی با چهار الگوریتم مورد بررسی برای مشخصه تاج‌پوشش نشان داد الگوریتم مدل شبکه عصبی مصنوعی با طرح نمونه‌برداری خوشه‌ای ۱۰ با ضریب تبیین ۰/۷۶ مناسب‌ترین روش به دست آمد. نتیجه حاصل شده با مطالعه (Yim et al., 2015) مطابقت دارند و برتری استفاده از نمونه‌برداری خوشه‌ای، روش مدل‌سازی ناپارامتریک شبکه عصبی مصنوعی و تصاویر Sentinel-2 را در ساختار بوم‌سازگان جنگل نشان می‌دهند. Yim و همکاران (۲۰۱۵) اذعان داشتند در محیط‌های طبیعی، همبستگی بین قطعه نمونه‌های فرعی و شرایط رویشگاه نسبت به شکل و اندازه آن‌ها باید نسبت به ساختار جنگل حساسیت بیشتری داشته باشد. طبق مطالعه Sivanpillai و همکاران (۲۰۰۶) در توده‌های تنک‌تر به دلیل وجود گپ‌های بیشتر در تاج‌پوشش، جذب و پخش صورت می‌گیرد. در مقابل Dabija و همکاران (۲۰۲۱) به مقایسه الگوریتم‌های ماشین‌بردار پشتیبان و جنگل تصادفی برای نقشه‌برداری تاج‌پوشش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2

و Landsat 8 برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی و توسعه منطقه‌ای و مکانی در سه منطقه مختلف کاتالونیا، لهستان و رومانی پرداختند. نتایج نشان داد که تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 نسبت به داده‌های Landsat 8 با دقت (۱۰-۸ درصد) در طبقه‌بندی پوشش زمین و الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان با پایه شعاعی نسبت به جنگل تصادفی با صحت (۶-۷ درصد) بهتر عمل کرد. Nazariani و همکاران (۲۰۲۲) نیز الگوریتم جنگلی تصادفی را مناسب‌ترین مدل در برآورد مشخصه تاج‌پوشش دانستند که با نتیجه مطالعه حاضر همخوانی ندارد. دلیل تفاوت را می‌توان در نوع الگوریتم حاصل شده و دقتی که به دست داده است، یافت.

۵- نتایج کلی

در پژوهش پیش رو تأثیر باندهای اصلی و مصنوعی برای برآورد مشخصه‌های تاج‌پوشش و تراکم (تعداد در هکتار) با استفاده از تصاویر سنجنده Sentinel-2 در جنگل‌های سامان عرفی اولادقباد کوه‌دشت با هدف انتخاب طرح نمونه‌برداری خوشه‌ای بهینه در راستای صرفه‌جویی در زمان و هزینه برای دستیابی به موجودی جنگل مورد بررسی قرار گرفت. از بین چهار الگوریتم مورد بررسی شامل جنگل تصادفی، ماشین‌بردار پشتیبان، نزدیک‌ترین همسایه و مدل شبکه عصبی مصنوعی، نتایج نشان داد استفاده از طرح‌های مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای، روش مدل‌سازی ناپارامتریک شبکه عصبی مصنوعی با تصاویر سنجنده Sentinel-2 کارایی مناسبی در برآورد مشخصه‌های تاج‌پوشش و تعداد در هکتار دارد. مقادیر حاصل از ضریب تبیین و درصد مجذور میانگین مربعات خطا نشان از ارتباط مثبت شاخص‌های گیاهی با مشخصه‌های تاج‌پوشش و تعداد در هکتار است. بنا به دلایل مشروحه پیشنهاد می‌شود در مطالعات مشابه بررسی دقیق‌تری در زمینه شناسایی نوع شاخص گیاهی مؤثر در مدل‌سازی انجام شود. پیشنهاد می‌شود در روش نمونه‌برداری خوشه‌ای شکل‌های دیگر ریزقطعه نمونه چون مربع مورد بررسی قرار گیرد. همچنین

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سمر)

بررسی قابلیت باندهای اصلی و مصنوعی تصاویر ماهواره Sentinel-2 در ... / ۱۱۷

Delft, University of Technology, The Netherlands.

9- Esmaeli, Z., Pilehvar, B., Kaboodi, A., & Mirazadi, Z. (2017). The Appropriate Sampling Method for Estimating Density and Crown Canopy of Declined Oak Stands in Dinarkooh Protected Forest, Abdanan, Ilam. *Ecology of Iranian Forest*, 5 (10): 53-60.

10- Fatolahi, M., Fallah, A., Hojati, S. M., & Kalbi, S. (2013). Determining the capability of SPOT-HRG measuring data in estimating the number of trees per hectare. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 20(4): 117-133.

11- Hamidi, S. K., Weiskittel, A., Bayat, M., & Fallah, A. (2021). Development of individual tree growth and yield model across multiple contrasting species using nonparametric and parametric methods in the Hyrcanian forests of northern Iran. *European Journal of Forest Research*, 140(2), 421-434.

12- Holmström, H., & Fransson, J. E. (2003). Combining remotely sensed optical and radar data in k NN-estimation of forest variables. *Forest Science*, 49(3), 409-418.

13- Khorami, R. (2004). Investigating the capability of Landsat7ETM+ satellite data in estimating the standing volume of beech stands (case study: Sengdeh forests). Master's thesis. Forestry Department. Department of natural resources. University of Tehran.

14- Kleinn, C. (1994). Comparison of the performance of line sampling to other forms of cluster sampling. *Forest ecology and management*, 68(2-3), 365-373.

15- Kumar, M., Singh, M. P., Singh, H., Dhakate, P. M., & Ravindranath, N. H. (2020). Forest working plan for the sustainable management of forest and biodiversity in India. *Journal of Sustainable Forestry*, 39(1), 1-22.

16- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E., & Moran, E. (2004). Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. *Forest ecology and management*, 198(1-3), 149-167.

17- Masihpoor, M., Darvishsefat, A.A., Rahmani, R., & Fatehi, P. (2021). Phenological parameters trend of the southern Zagros forests based on MODIS-NDVI time series during 2000-2017. *Iranian Journal of Forest*, 12 (4): 577-590.

از دیگر روش‌های نمونه‌برداری نیز به منظور مقایسه نتایج حاصل برای دقت بیشتر نیز استفاده شود.

۶- سپاسگزاری

پژوهش حاضر با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شده است. بدین وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه به دلیل تأمین مالی طرح پژوهشی با کد (۰۴-۱۴۰۱-۰۴) تشکر و قدردانی می‌شود.

۷- منابع و مآخذ

1- Ahmadi, K., Kalantar, B., Saeidi, V., Harandi, E. K., Janizadeh, S., & Ueda, N. (2020). Comparison of machine learning methods for mapping the stand characteristics of temperate forests using multi-spectral sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 12(18), 3019.

2- Behera, M. D., Barnwal, S., Paramanik, S., Das, P., Bhattacharya, B. K., Jagadish, B. & Behera, S. K. (2021). Species-Level Classification and Mapping of a Mangrove Forest Using Random Forest—Utilisation of AVIRIS-NG and Sentinel Data. *Remote Sensing*, 13(11), 2027.

3- 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): 1130-1132.

4- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.

5- Castleman, K. R. (1996). Digital image processing. Prentice Hall Press.

6- Chen, J. M. (1996). Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 22(3), 229-242.

7- Dabija, A., Kluczek, M., Zagajewski, B., Raczko, E., Kycko, M., Al-Sulttani, A. H., & Corbera, J. (2021). Comparison of support vector machines and random forests for corine land cover mapping. *Remote Sensing*, 13(4), 777.

8- Egbers, R. (2016). Sentinel-2 data processing and identifying glacial features in Sentinel-2 imagery. TU

- 26- Shakeri, Z., Mohammadi-Samani, K., Maarofi, H., Khoonsiavashan, S., & Sharifi, K. (2020). Species diversity, lifeform, and chorotypes of plant species in sacred groves and surrounding silvopastoral woodlands of Northern Zagros, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 29(2): 101-113.
- 27- Shataee, S., Kalbi, S., Fallah, A., & Pelz, D. (2012). Forest attributes 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.
- 28- Sibanda, M., Gumede, N., & Mutanga, O. (2021). Estimating leaf area index of the Yellowwood tree (*Podocarpus* spp.) in an indigenous Southern African Forest, using Sentinel 2 Multispectral Instrument data and the Random Forest regression ensemble. *Geocarto International*, 1-22.
- 29- Sivanpillai, R., Smith, C. T., Srinivasan, R., Messina, M. G., & Wu, X. B. (2006). Estimation of managed loblolly pine stands age and density with Landsat ETM+ data. *Forest Ecology and Management*, 223(1-3), 247-254.
- 30- Smith, F. (1996). Biological diversity, ecosystem stability and economic development. *Ecological Economics*, 16(3), 191-203.
- 31- Townsend, P. A. (2002). Estimating forest structure in wetlands using multitemporal SAR. *Remote sensing of environment*, 79(2-3), 288-304.
- 32- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
- 33- Wang, Q., Blackburn, G. A., Onojeghuo, A. O., Dash, J., Zhou, L., Zhang, Y., & Atkinson, P. M. (2017). Fusion of Landsat 8 OLI and Sentinel-2 MSI data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(7), 3885-3899.
- 34- Yim, J. S., Shin, M. Y., Son, Y., & Kleinn, C. (2015). Cluster plot optimization for a large area forest resource inventory in Korea. *Forest science and technology*, 11(3), 139-146.
- 35- Zobeiri, M. (2007). *Forest biometrics*. Tehran: Tehran University Press.
- 18- Mohammadi, J., Shataei, Sh., & Namirania, 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 Gorga). *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 21 (1): 65-83.
- 19- Naghavi, H. (2014). Application of Quickbird satellite images in estimating the canopy level of Zagros forests (case study: Gol Khorramabad Castle area). Dissertation of the doctoral course in Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- 20- Nazariani., Fallah, A., Ramezani, H., Naghavi, H., & Jalilvand, H. (2021). The Effect of Different Cluster Sampling Schemes in Estimating the Quantitative Characteristics of Zagros Forests Using Sentinel 2 Sensor Images. *Remote Sensing and GIS Scientific-Research Journal of Iran*, Published online on November 15, 2022. 10.52547/gisj.2021.222017.1024.
- 21- Norian, N., Shatai Joibari, Sh., Mohammadi, J., & Yazdani, S. (2014). Estimation of forest quantitative characteristics using ASTER sensor data and CART algorithm (Study area: Shast Kolate forest of Gorgan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(3): 434-446.
- 22- Norodini, A. & Porshkuri, F. (2011). Forest canopy classification on aerial photographs using textural analysis (case study: Taf Lorestan forest). *Iran Remote Sensing and GIS*, 3 (4): 33-46.
- 23- Praticò, S., Solano, F., Di Fazio, S., & Modica, G. (2021). Machine learning classification of mediterranean forest habitats in google earth engine based on seasonal sentinel-2 time-series and input image composition optimisation. *Remote Sensing*, 13(4), 586.
- 24- Roujean, J. L., & Breon, F. M. (1995). Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote sensing of Environment*, 51(3), 375-384.
- 25- 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, 309-317.

