

برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های زاگرس با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک داده‌کاوی (بررسی موردی: سامان عرفی اولادقباد کوهدشت، لرستان)

نسترن نظریانی^{۱*}، اصغر فلاح^۲، سیده کوثر حمیدی^۳ و سعید ورامش^۴

- ۱- پژوهشگر پسادکتری، جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران. (Nazariani69@yahoo.com)
- ۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران. (Fallaha2007@yahoo.com)
- ۳- دانش آموخته دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران. (k.hamidi86@yahoo.com)
- ۴- استادیار، گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. (varameshs@uma.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۱

چکیده

در این پژوهش، کاربرد طرح‌های مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای بر اساس الگوریتم‌های ناپارامتریک برای برآورد مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج‌پوشش جنگل‌های سامان عرفی اولادقباد شهرستان کوهدشت با استفاده از داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره Sentinel-2 مدل‌سازی شد. برای برآورد مشخصه‌ها، ۱۵۰ خوشه در قالب شش طرح با تعداد چهار ریزقطعه نمونه برای هر طرح به صورت منظم-تصادفی در منطقه پیاده شد. سپس در داخل ریز قطعه نمونه‌ها، مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج‌پوشش شش طرح نمونه‌برداری خوشه‌ای برداشت شد. هر خوشه شامل چهار ریز قطعه نمونه با مساحت ۷۰۰ متر مربع بود. ارزش‌های رقومی متناظر با قطعات نمونه زمینی از باندهای طیفی استخراج و به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. مدل‌سازی با ۷۵ درصد از داده‌ها انجام شد و نتایج با ۲۵ درصد باقی مانده ارزیابی شد. برای هر دو مشخصه تعداد در هکتار و تاج‌پوشش، روش شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب با مقادیر درصد مجذور میانگین مربعات خطا و اریبی به ترتیب ۱۰/۵۳ و ۲/۴۸ درصد و ۹/۳۸ و ۰/۳۳ درصد در مدل‌سازی نسبت به دیگر روش‌های مورد استفاده دارای نتایج دقیق‌تری بود. استفاده از طرح‌های مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای، روش‌های مدل‌سازی ناپارامتریک و تصاویر ماهواره Sentinel-2 نتایج مطلوبی را در برآورد مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج‌پوشش به همراه داشت.

واژه‌های کلیدی: تاج‌پوشش، تعداد در هکتار، جنگل تصادفی، شبکه عصبی مصنوعی.

مقدمه

امروزه بررسی ساختار جنگل از مباحث مورد توجه و ضروری به‌ویژه در راستای اهداف جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت است (Aghabarati et al., 2018). بنابراین در راستای مدیریت نیاز به اطلاعات از جنگل است و در عرصه جنگل مشخصه‌های کمی جنگل همچون تعداد در هکتار و تاج‌پوشش از موارد اساسی است که باید مورد توجه قرار گیرد.

جنگل‌های زاگرس در رابطه با حفاظت از آب و خاک منطقه غرب کشور تأثیر به‌سزایی دارند. به‌دلیل اهمیت این جنگل‌ها تهیه و تنظیم یک برنامه منسجم و کامل مدیریتی ضروری است (Beygi Heidarlou et al., 2019). هرچند این جنگل‌ها جایگاه چندان مهمی از نظر تولید چوب صنعتی ندارند، اما به‌دلیل نقش مهمی که در تنظیم آب و خاک و تعادل بوم‌سازگان منطقه دارند، باید مورد توجه و ارزیابی دقیق کمی و کیفی قرار گیرند، چراکه با تخریب بیشتر و تغییر شرایط طبیعی این مناطق، امکان بازسازی آن‌ها به‌آسانی میسر نخواهد بود (Modaberi and Mirzaei, 2017).

در این راستا مشخصه تاج‌پوشش به‌عنوان شاخص مناسب برای بررسی در این جنگل‌ها مطرح است.

جنگل‌های زاگرس دارای ارزش‌های اقتصادی و گردشگری بسیاری نیز هستند، زیرا بسیاری از گیاهان در منطقه زاگرس کاربرد دارویی دارند. بدین منظور، اطمینان از حفاظت از جنگل‌ها و مراتع زاگرس برای حفظ وضعیت و ارزش فعلی این منطقه طبیعی، تعیین‌کننده است (Eskandari, 2020). در سال‌های اخیر، جنگل‌های زاگرس، به‌ویژه در استان لرستان، در اثر عوامل مختلفی مانند تغییرات آب و هوا، وقایع خشکسالی و حمله آفات (به‌ویژه در جنگل‌های بلوط)، بهره‌برداری‌های بی‌رویه از محصولات غیر

چوبی و همچنین تغییر کاربری از جنگل به کشاورزی، چرای دام، آتش‌سوزی و برداشت چوب (برای تأمین سوخت و مصارف روستایی)، ثبات و پایداری این بوم‌سازگان‌ها را تهدید کرده و روز به‌روز از تعداد و کیفیت گونه‌های گیاهی و جانوری آن کاسته می‌شود (Mirzaei, 2012). نمونه‌برداری در جنگل به دو روش احتمالی و غیراحتمالی انجام می‌شود. در نمونه‌برداری احتمالی هر یک از واحدهای جامعه می‌توانند با احتمالی مشخص در نمونه قرار گیرند. در حالی که در نمونه‌برداری غیراحتمالی، انتخاب نمونه براساس قوانین احتمالات انجام نمی‌شود و نمونه به کمک قضاوت انسانی حاصل می‌شود. بنابراین اشتباهات برآوردهای غیراحتمالی، بیشتر غیرتصادفی و غیرقابل اندازه‌گیری است. در این روش‌ها هر قدر که حجم نمونه را بزرگ اختیار کنیم، نمونه‌ها اغلب نمی‌توانند معرف واقعی جامعه باشند. نمونه‌برداری خوشه‌ای، یکی از روش‌های احتمالی است که در آن واحدهای نمونه، مجموعه‌ای از اعضای خوشه به‌حساب می‌آیند. کوچک‌ترین واحدی که می‌توان جامعه را به آن تقسیم کرد، عنصر نامیده می‌شود. اگر واحد نمونه‌برداری جنگل را به‌گونه‌ای اختیار کنیم که هر واحد نمونه از تعدادی اعضا تشکیل شود، این نوع واحد نمونه‌برداری را خوشه و روش نمونه‌برداری را روش خوشه‌ای می‌نامند. اگر تعداد اعضای خوشه‌ها یکسان باشند، خوشه‌های هم حجم نامیده می‌شوند (Bonyad, 2014). استفاده هم‌زمان داده‌های حاصل از سنجش از دور، سیستم اطلاعات مکانی و داده‌های زمینی می‌تواند گزینه مناسبی برای مدیریت جنگل باشد. در رابطه با برآورد مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک داده‌کاوی و نمونه‌برداری خوشه‌ای پژوهش‌های متعددی انجام شده است که در این زمینه می‌توان به پژوهش Wittke et al. (2019) با

جنگل تصادفی با صحت (۶-۷ درصد) بهتر عمل کرد. برآورد مشخصه‌های رویشگاه جنگلی موضوع ضروری در راستای جمع‌آوری اطلاعات برای مدیریت پایدار جنگل است. با توجه به جنبه حمایتی بودن جنگل‌های زاگرس و لزوم اهمیت به موضوع مورد بحث، همچنین پژوهش‌های اندک انجام‌شده در زمینه امکان برآورد مشخصه‌های تعداد درختان و تاج-پوشش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در این جنگل-ها، در این بررسی تلاش شده است تا با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک و کاربرد تصاویر سنتینل-۲ تأثیر طرح‌های مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های سامان عرفی اولادقباد مورد بررسی قرار گیرد. از این رو با توجه به تمام تفسیرهای عنوان‌شده، مهم‌ترین پرسش‌های این پژوهش این است که آیا کدام یک از روش‌های ناپارامتریک عملکرد مناسب‌تری نسبت به دیگر روش‌ها در مدل‌سازی مشخصه تراکم تاج پوشش با استفاده از داده‌های زمینی و طیفی دارد؟ و همچنین کدام یک از الگوریتم‌های مورد بررسی می‌تواند دقت کافی در برآورد مشخصه تعداد در هکتار داشته باشد؟

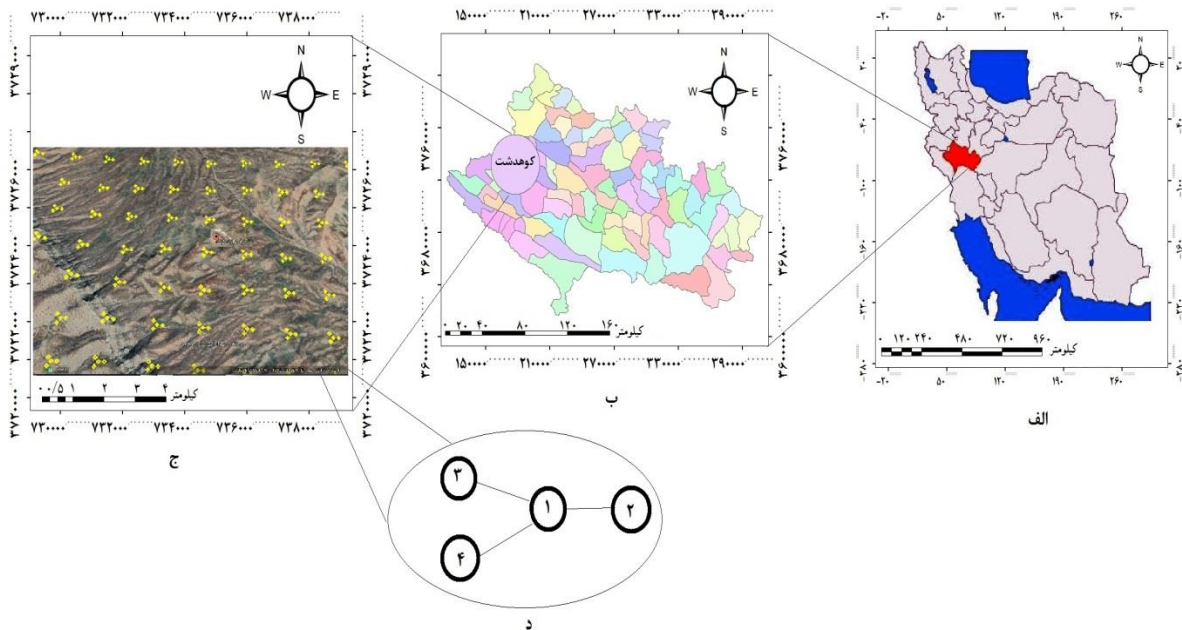
مواد و روش‌ها

برای انجام پژوهش حاضر، حدود ۴۰۰۰ هکتار از جنگل‌های زاگرس واقع در ۳۵ کیلومتری شمال شهرستان کوه‌دشت، به نام سامان عرفی اولادقباد انتخاب شد. این منطقه در محدوده جغرافیایی "۴۵'۴۱" تا "۵'۴۲' ۳۳° عرض شمالی و "۱' ۲۸' ۴۷° تا "۳۴' ۲۸' ۴۷° طول شرقی واقع شده است. اقلیم این منطقه از نوع نیمه‌خشک است. بافت خاک شنی - رسی دارای ساختمان مکعبی و از نفوذپذیری مناسبی برخوردار است (Fereidoni et al., 2005). بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)، کیکم (*Acer*

هدف تعیین عملکرد متغیرهای چندمحوری از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 برای برآورد مشخصه موجودی جنگل‌های جنوب فنلاند اشاره کرد. نتایج نشان داد صحت متغیرهای تک و چندبعدی دریافت‌شده از تصاویر Sentinel-2 در محدوده بین ۰/۴۵ تا ۱/۵ درصد است. (Eskandari (2020) کاربرد داده‌های Sentinel-2 و الگوریتم‌های مبتنی بر پیکسل پایه را برای نقشه‌برداری از پوشش زمین در جنگل‌های ایلام بررسی کرد. نتایج نشان داد که الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان با دقت کلی ۷۹ درصد و ضریب کاپا ۰/۷۰ بالاترین دقت را برای تاج‌پوشش منطقه در طبقه‌بندی تصویر Sentinel-2A دارد. این الگوریتم کارآیی خوبی برای نقشه‌برداری از تاج‌پوشش در مناطق ناهمگن مورد بررسی نشان داد. تجزیه و تحلیل نقشه پوشش زمین به دست آمده از این الگوریتم نشان داد که جنگل‌های متراکم، نیمه‌متراکم و پراکنده به ترتیب ۳۱۹/۶۴ هکتار، ۳۶۱/۴۴ هکتار و ۱۸۳۲/۳۶ هکتار از منطقه مورد پژوهش را پوشش داده‌اند. Ghayour et al. (2021) به ارزیابی عملکرد داده‌های سنتینل-۲ و سنجنده OLI لندست ۸ برای طبقه‌بندی پوشش زمین با استفاده از مقایسه الگوریتم‌های ماشین‌بردار پشتیبان پرداختند. نتایج نشان داد که الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان نتایج را با دقت کلی ۹۴ درصد ارائه داد. (Dabija et al. (2021) به مقایسه الگوریتم‌های ماشین-بردار پشتیبان و جنگل تصادفی برای نقشه‌برداری تاج-پوشش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و لندست ۸ برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی و توسعه منطقه‌ای و مکانی در ۳ منطقه مختلف کاتالونیا، لهستان و رومانی پرداختند. نتایج نشان داد که تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 نسبت به داده‌های Landsat 8 با دقت (۸-۱۰ درصد) در طبقه‌بندی پوشش زمین و الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان با پایه شعاعی نسبت به

Salix sp.) گونه‌های درختی را در منطقه تشکیل می‌دهد. اما بلوط ایرانی گونه غالب چوبی در منطقه است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد پژوهش را نشان می‌دهد.

ززالک (*Cerataegus monspessulanum* L Boiss)، گلابی وحشی (*Pyrus glabra meyeri* A. Pojark. (Boiss.))، بنه (*Pistacia atlantica* Desf.)، شن و بید (*Lonicera nummulariifolia* J. & Sp.)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش: الف) روی نقشه ایران، ب) در استان لرستان، ج) سامان عرفی اولادقباد و د) طرح نمونه‌برداری خوشه‌ای (طرح مثلثی)

Figure 1. The geographical Location of the study area: A) On the map of Iran, B) In Lorestan province, C) Watershed Olad Ghobad and D) cluster sampling plan (triangular plan)

برداشت اطلاعات زمینی

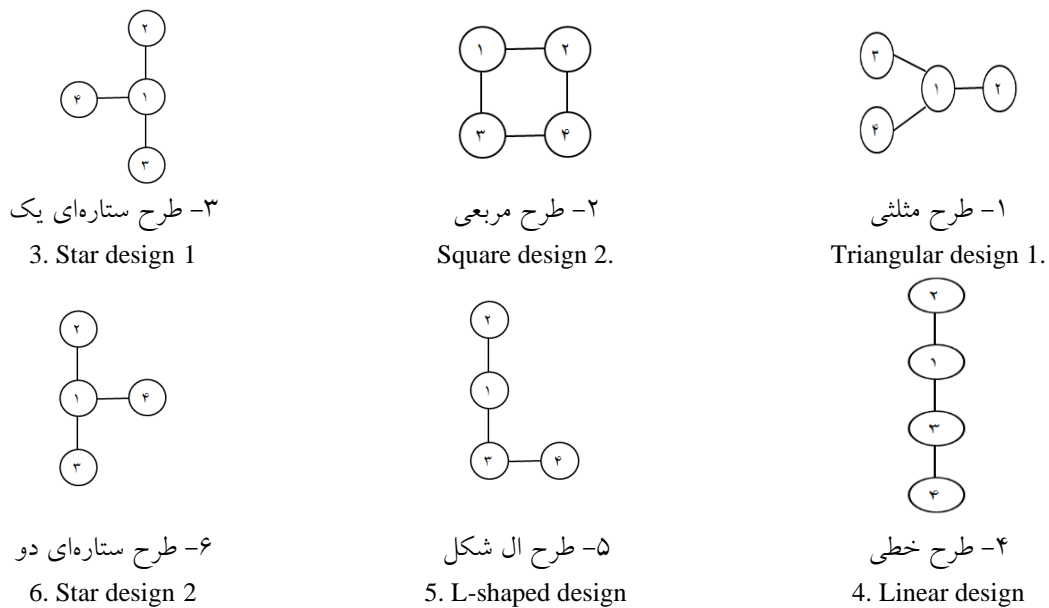
در پژوهش پیش‌رو از روش نمونه‌برداری خوشه‌ای استفاده شد. در نمونه‌برداری خوشه‌ای، اولین موضوعی که از اهمیت بالایی برخوردار است، انتخاب تعداد خوشه‌ها و تعداد واحدها در هر خوشه است. در تعیین تعداد و اندازه خوشه‌ها باید به ساختار فیزیکی جنگل از نظر همگنی و ناهمگنی توجه کرد. زمانی که وسعت منطقه مورد نمونه‌برداری زیاد است، در آن صورت اجرای روش خوشه‌ای نسبت به نمونه‌برداری تصادفی و منظم-تصادفی مفیدتر خواهد بود (Bonyad, 2014). در ابتدا ۱۵۰ خوشه به صورت منظم - تصادفی در منطقه پیاده شد. سپس اطلاعات

داده‌های ماهواره‌ای

در این پژوهش از تصاویر ماهواره Sentinel-2 مربوط به تاریخ ۲۲ اردیبهشت ۱۳۹۷ در سطح تصحیحات LIC استفاده شد. این سطح از تصحیحات از نظر خطای هندسی به دلیل زمین مرجع بودن فاقد خطا بوده و چون انعکاس آن‌ها در سطح بالای اتمسفر است، باید با اعمال تصحیح اتمسفریک بر روی آن‌ها، انعکاس آن‌ها به انعکاس زمینی تبدیل شود (Egbers, 2016). در این پژوهش از چهار باند شامل باند ۲-آبی، باند ۳-سبز، باند ۴-قرمز و باند ۸-مادون قرمز نزدیک این سنجنده با قدرت تفکیک‌پذیری ۱۰ متری استفاده شد.

با چهار ریزقطعه نمونه دایره‌ای طراحی و پیاده شد. شعاع هر ریزقطعه نمونه ۱۵ متر و فاصله بین مراکز ریز قطعه نمونه ۶۰ متر بود. در شکل ۲ طرح‌های مختلف نمونه برداری خوشه‌ای مورد استفاده در این پژوهش آورده شد.

مشخصه‌های تعداد و تاج پوشش درختان داخل خوشه‌ها شامل تعداد، دو قطر بزرگ و کوچک تاج به‌طور کامل اندازه‌گیری شد. در هر نقطه نمونه برداری، شش طرح مختلف نمونه برداری خوشه‌ای (مثلی، مربعی، ستاره‌ای یک، خطی، ال شکل و ستاره‌ای دو)



شکل ۲- طرح‌های مختلف نمونه برداری خوشه‌ای

Figure 2. Different cluster sampling design

ایجاد و سپس از حاصل ترکیب باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ تصویر Sentinel-2 یک تصویر ایجاد و آن تصویر جدید مورد پردازش قرار گرفت. علاوه بر باندهای اصلی، با اعمال پردازش‌های مناسب باندهای مصنوعی ایجاد شد که در فرآیند مدل‌سازی مورد استفاده قرار شد. یکی از پردازش‌های مناسب که در بیشتر پژوهش‌های مربوط به برآورد مشخصه‌های ساختار جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرد، تجزیه و تحلیل بافت است. تجزیه و تحلیل بافت (Texture analysis) به صورت تابعی از تغییرات مکانی، شدت روشنایی پیکسل‌ها که ویژگی‌های نرمی، زبری، همواری و منظم بودن هر سطح را دارد، بیان می‌کند (Gonzales and Woods, 2002). همچنین مشخصه‌های بافت برای

پیش‌پردازش تصاویر

به‌طور کلی مهم‌ترین عملیات مربوط به پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2، شامل تصحیح رادیومتریکی و هندسی است. دو عامل اصلی خطای رادیومتری نیز عبارت‌اند از خطای دستگاهی و خطای اتمسفری است (Amini and Sadeghi, 2013).

پردازش تصاویر

پردازش تصاویر شامل عملیات‌های مختلف مانند نسبت‌گیری، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، ادغام باندها و ساختن شاخص‌ها انجام شد. پردازش تصاویر این سنجنده در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. با توجه به این‌که تعداد چهار باند این سنجنده با قدرت تفکیک-پذیری ۱۰ متری است، هر کدام در قالب یک فایل

تمامی باندها استخراج شد. برای ارزیابی مشخصه بافت از ماتریس‌های وقوع (Occurrence) و هم‌وقوعی (Co-occurrence) استفاده می‌شود. همچنین اندازه پنجره مورد استفاده در این پژوهش 3×3 انتخاب شد که شامل مشخصه‌های میانگین، واریانس، تباین، همبستگی، عدم تجانس، آنتروپی، همگنی، زاویه دوم لحظه‌ای (Dutta et al., 1973) بود. همچنین برای ایجاد شاخص‌های گیاهی از ترکیبات نسبت‌گیری (Normalized Difference Vegetation Index) NDVI (Index Difference Vegetation Index)، DVI (Green Difference Vegetation Index)، GDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index)، GNDVI (Vegetation Index Green Ratio)، GRVI (Vegetation Index Renormalized)، RDVI (Difference Vegetation Index) و NLI (NonLinear vegetation Index) مورد استفاده در پژوهش‌های پیشین (Kalbi, 2011) استفاده شد.

الگوریتم جنگل تصادفی (Random Forest: RF)

اجرای مدل‌سازی به روش جنگل تصادفی و تعیین تعداد بهینه درختان ابتدا با ۴۰۰ درخت اولیه انجام شد. سپس با مشاهده نمودار تغییرات مقدار مربعات خطا برای داده‌های آزمون (۲۵ درصد) و آموزش (۷۵ درصد) در جایی که با افزایش تعداد روند افزایش مربعات خطا حالت ثابتی پیدا کرد به‌عنوان تعداد درخت بهینه انتخاب شد. برای تعیین تعداد پیش‌بینی‌کننده‌ها (Predictors) در هر گره از جذر کل تعداد متغیرهای مستقل مورد استفاده در مدل $2 \pm$ استفاده شد تا K یا تعداد برآوردکننده بهینه در هر گره، انتخاب شود (Mohammadi et al., 2014).

الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه (K- Nearest Neighbor: KNN)

در اجرای این روش از چهار معیار فاصله اقلیدسی (Euclidean)، مربع فاصله اقلیدسی (Euclidean)، منهتن (City block) و چیشیف (Chebychev) به‌صورت وزن داده شده و داده‌ها به‌صورت استاندارد استفاده شد. با توجه به اهمیت تعداد همسایه، مقدار بهینه این مشخصه بین یک تا ۵۰ در نظر گرفته شد. (Finely et al., 2006).

الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان (Support Vector Machine: SVM)

استخراج ارزش‌های طیفی و مدل‌سازی ارزش‌های طیفی معادل قطعه‌نمونه‌ها از مشخصه‌های آنالیز بافت، باندهای اصلی و شاخص‌های گیاهی ساخته شده استخراج و به‌عنوان متغیر مستقل در انواع مدل‌ها به شرح زیر استفاده شد.

استخراج ارزش‌های طیفی و مدل‌سازی

ارزش‌های طیفی معادل قطعه‌نمونه‌ها از مشخصه‌های آنالیز بافت، باندهای اصلی و شاخص‌های گیاهی ساخته شده استخراج و به‌عنوان متغیر مستقل در انواع مدل‌ها به شرح زیر استفاده شد.

مدل شبکه عصبی مصنوعی

در مدل شبکه عصبی به‌طور 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 به‌عنوان 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

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

$$RMSE\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}}{\bar{y}} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

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

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

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

در مجموع برای پیاده‌کردن قطعات نمونه بر روی تصویر از ArcGIS 10.3، سپس در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 پیش‌پردازش و پردازش تصویر انجام و از نرم‌افزار STATISTICA نیز برای مدل‌سازی استفاده شد.

نتایج

در جدول ۱ میانگین تعداد در هکتار و تاج‌پوشش برای طرح‌های مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای با مساحت خوشه ۷۰۰ متر مربع (شعاع ریزقطعه‌نمونه دایره‌ای ۱۵ متر و فاصله بین ریزقطعه‌نمونه‌ها از هم ۶۰ متر) نشان داده شده است. کمترین و بیشترین مقدار برای مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج‌پوشش به ترتیب مربوط به طرح مثالی و طرح خطی است.

برای مدل‌سازی با الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان از توابع پایه شعاعی (Radial Basis Function)، چندجمله‌ای (Polynomial) درجه دو، سیگموئید (Sigmoid) و خطی (Linear) در این پژوهش استفاده شد. در این روش مقدار گاما معمولاً از تقسیم یک بر تعداد متغیرهای مستقل که در اینجا تعداد باندهای اصلی و مصنوعی است، 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 شد. مقدار ظرفیت از یک تا ۵۰ و مقدار اپسیلون از ۰/۱ تا ۰/۵ در نظر گرفته شد (Townsend, 2002).

اعتبارسنجی مدل‌های رگرسیونی

برای ارزیابی و برازش مدل‌های رگرسیونی، ۲۵ درصد از داده‌ها به صورت تصادفی انتخاب و به عنوان مجموعه داده‌های ارزیابی کنار گذاشته شدند (Lu et al., 2004). با استفاده از معیارهای میانگین مجذور مربعات خطا (Root Mean Square of the Error) (رابطه ۱)، درصد میانگین مجذور مربعات خطا (رابطه ۲)، اریبی (رابطه ۳) و درصد اریبی (رابطه ۴)، اعتبار مدل‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱- میانگین مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج‌پوشش بر حسب طرح‌های مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای

Table 1. The average characteristics of the stem per hectare and canopy cover according to different cluster sampling schemes

تاج‌پوشش (مترمربع در هکتار)	تعداد در هکتار	طرح‌های نمونه‌برداری خوشه‌ای	تاج‌پوشش (مترمربع در هکتار)	تعداد در هکتار	طرح‌های نمونه‌برداری خوشه‌ای
Canopy cover (m ² /h)	Stem per hectare	Cluster sampling designs	Canopy cover (m ² /h)	Stem per hectare	Cluster sampling designs
3543	33	خطی Linear	3183	28	مثلث Triangular
3317	32	ال شکل L-shaped	3236	30	مربع Square
3199	28	ستاره‌ای دو Star 2	3279	32	ستاره‌ای یک Star 1

مجذور میانگین مربعات خطا ۱/۵۳ و اریبی ۲/۴۸ درصد و طرح خطی با مجذور میانگین مربعات خطا ۹/۳۸ و اریبی ۰/۳۳ درصد برآورد بهتری از تعداد در هکتار و تاج پوشش در منطقه مورد پژوهش داشتند (جدول ۲).

نتایج حاصل از تحلیل شبکه عصبی نشان داد که الگوریتم MLP با داشتن دقت بالا و درصد میانگین مربعات خطای کمتر نسبت به الگوریتم RBF مدل مناسب تری است. بر این اساس از بین ۶ طرح مورد استفاده با الگوریتم MLP به ترتیب طرح ستاره ای دو با

جدول ۲- برآورد مشخصه های کمی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی

Table 2. Estimation of quantitative characteristics using artificial neural network model

BIAS%	RMSE%	نام شبکه Network name	الگوریتم Algorithm	طرح های نمونه برداری خوشه ای Cluster sampling designs	مشخصه Characteristic
0.32	20.8	MLP 82-17-1	BFGS 4	مثلث Triangular	تعداد در هکتار Stem per hectare
18.51	23.86	MLP 82-14-1	BFGS 5	مربع Square	
0.8	23.2	MLP 82-15-1	BFGS 30	ستاره ای یک Star 1	
0.18	10.70	MLP 82-20-1	BFGS 1	خطی Linear	تاج پوشش (مترمربع در هکتار) Canopy cover (m ² /h)
0.14	20.08	MLP 82-18-1	BFGS 21	ال شکل L-shaped	
2.48	10.53	MLP 82-23-1	BFGS 1	ستاره ای دو Star 2	
3.79	15.43	MLP 82-9-1	BFGS 2	مثلث Triangular	تاج پوشش (مترمربع در هکتار) Canopy cover (m ² /h)
4.12	10.66	MLP 82-11-1	BFGS 34	مربع Square	
0.25	10.79	MLP 82-21-1	BFGS 32	ستاره ای یک Star 1	
0.33	9.38	MLP 82-17-1	BFGS 16	خطی Linear	تاج پوشش (مترمربع در هکتار) Canopy cover (m ² /h)
2.55	12.92	MLP 82-22-1	BFGS 13	ال شکل L-shaped	
2.38	14.99	MLP 82-9-1	BFGS 1	ستاره ای دو Star 2	

ستاره ای دو با تعداد ۱۰ برآوردگر به ترتیب دارای کمترین مقدار درصد مجذور میانگین مربعات خطا است و به عنوان طرح های بهینه در برآورد مشخصه های تعداد در هکتار و تاج پوشش انتخاب شد.

جدول ۳ نتایج ارزیابی حاصل از الگوریتم جنگل تصادفی با تعداد برآوردکننده های مختلف در برآورد تعداد در هکتار و تاج پوشش را نشان می دهد. نتایج نشان داد که طرح نمونه برداری خوشه ای خطی و

جدول ۳- ارزیابی داده‌های آزمون با الگوریتم جنگل تصادفی

Table 3. Evaluation of test data with random forest algorithm

BIAS%	RMSE%	تعداد برآوردگر Number of estimators	تعداد درخت Number of trees	طرح‌های نمونه‌برداری خوشه‌ای Cluster sampling designs	مشخصه Characteristic
0.01	46.09	10	75	مثلث Triangular	تعداد در هکتار Stem per hectare
0.04	51.89			مربع Square	
0.01	48.14			ستاره‌ای یک Star 1	
-0.02	46.00			خطی Linear	
-0.01	54.01			ال شکل L-shaped	
-0.04	54.19			ستاره‌ای دو Star 2	
-0.44	20.45			مثلث Triangular	
-30.95	23.16			مربع Square	
-4.11	17.50			ستاره‌ای یک Star 1	
-15.84	20.44			خطی Linear	
-42.57	14.74	ال شکل L-shaped			
-23.82	10.24	ستاره‌ای دو Star 2	تاج پوشش (مترمربع در هکتار) Canopy cover (m ² /h)		

پژوهش نشان داد که در کرنل‌های مختلف مقدار ظرفیت (۱۰)، اپسیلون (۰/۱) و گاما (۰/۰۱) برای تمام مشخصه‌ها یکسان است، همچنین طرح‌های نمونه- برداری خوشه‌ای انتخابی مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج پوشش طرح ستاره‌ای دو و مشخصه‌های دیگر به ترتیب جدول ۵ طرح‌های مثلثی، خطی و ال شکل است که با کمترین مقدار درصد مجذور مربعات خطا و اریبی به دست آمد.

نتایج به دست آمده در جدول ۴ از به کارگیری الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه با ۴ معیار فاصله اقلیدسی، مربع فاصله اقلیدسی، منهن و چپیچف نشان داد که طرح‌های متفاوتی با توجه به مقادیر درصد مجذور میانگین مربعات خطا و درصد اریبی به عنوان طرح بهینه انتخاب شد. اما در مجموع به ترتیب معیارهای فوق طرح‌های خطی، ال شکل، ستاره‌ای دو، ال شکل و مثلثی به عنوان طرح‌های بهینه، به دست آمد. نتایج به دست آمده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان برای برآورد همه مشخصه‌های مورد بررسی در این

جدول ۴- ارزیابی داده‌های آزمون با الگوریتم نزدیکترین همسایه

Table 4. Evaluation of test data with the nearest neighbor algorithm

BIAS%	RMSE%	طرح‌های نمونه‌برداری خوشه‌ای Cluster sampling designs	معیار Criterion	مشخصه Characteristic
0.08	68.97	خطی Linear	مربع فاصله اقلیدسی Euclidean Square	
0.92	74.68	خطی Linear	اقلیدسی فاصله Euclidean	تعداد در هکتار
0.07	70.75	خطی Linear	منهتن City block	Stem per hectare
0.06	70.69	خطی Linear	چیشف Chebychev	
5.42	19.87	ستاره‌ای یک Star 1	مربع فاصله اقلیدسی Euclidean Square	
-9.82	17.41	ال شکل L-shaped	اقلیدسی فاصله Euclidean	تاج پوشش (مترمربع در هکتار)
-14.33	21.35	خطی Linear	منهتن City block	Canopy cover (m ² /h)
-14.60	21.67	خطی Linear	چیشف Chebychev	

جدول ۵- ارزیابی داده‌های آزمون با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

Table 5. Evaluation of test data with backup machine vector algorithm

BIAS%	RMSE%	طرح نمونه‌برداری خوشه‌ای بهینه Optimal cluster sampling design	نوع کرنل Kernel type	مشخصه Characteristic
0.07	51.72	خطی Linear	خطی چندجمله‌ای Polynomial line	
0.05	50.69	خطی Linear	شعاعی پایه Radial base	تعداد در هکتار
0.05	51.22	خطی Linear	سیگموئید Sigmoid	Stem per hectare
0.06	50.24	ستاره‌ای دو Star 2	خطی Linear	
-13.58	17.14	خطی Linear	خطی چندجمله‌ای Polynomial line	
-12.16	19.02	ستاره‌ای دو Star 2	شعاعی پایه Radial base	تاج پوشش (مترمربع در هکتار)
-8.16	15.27	ستاره‌ای دو Star 2	سیگموئید Sigmoid	Canopy cover (m ² /h)
2.69	19.64	ستاره‌ای دو Star 2	خطی Linear	

(RMSE%) نشان داد که برای هر دو مشخصه تعداد در هکتار و تاج پوشش روش شبکه عصبی مصنوعی

نتایج حاصل از اعتبارسنجی در این مرحله طبق جدول ۶ با توجه به درصد مجذور میانگین مربعات خطا

به ترتیب (طرح ستاره‌ای دو و طرح خطی با الگوریتم پرسپترون چندلایه MLP) در مدل‌سازی نسبت به دیگر روش‌های مورد استفاده دارای وضعیت مناسب-تری است.

جدول ۶- نتایج اعتبار سنجی مدل‌سازی داده‌های ماهواره‌ای با مشخصه‌های کمی

Table 6. Validation results of satellite data modeling with quantitative characteristics

همسایه نزدیکترین		پشتیبان ماشین بردار		تصادفی جنگل		شبکه عصبی مصنوعی		مدل
Nearest neighbor		Support Vector Machine		Random forest		Artificial neural network		Model
BIAS%	RMSE%	BIAS%	RMSE%	BIAS%	RMSE%	BIAS%	RMSE%	مشخصه
								Characteristic
0.08	68.97	0.06	50.24	-0.02	46.00	2.48	10.53	
مربع فاصله اقلیدسی		طرح خطی		جنگل تصادفی		پرسپترون چند لایه		تعداد در هکتار
Euclidean Square		Linear design		Random forest		Multilayer perceptron		Stem per hectare
طرح خطی		طرح ستاره‌ای دو		طرح خطی		طرح ستاره‌ای دو		
Linear design		Star 2 design		Linear design		Star 2 design		
-9.82	17.41	-8.16	15.27	2.82	10.44	0.33	9.38	
فاصله اقلیدسی		سیگموئید		جنگل تصادفی		پرسپترون چند لایه		تاج پوشش (مترمربع در هکتار)
Euclidean		Sigmoid		Random forest		Multilayer perceptron		Canopy cover (m ² /h)
طرح ال شکل		طرح ستاره‌ای دو		طرح ستاره‌ای دو		طرح خطی		
L-shaped design		Star 2 design		Star 2 design		Linear design		

بحث

ریزی و مدیریت بهینه جنگل‌ها است. تهیه این اطلاعات مستلزم زمان و هزینه بالایی است. از این رو در سال‌های اخیر استفاده از داده‌های سنجش از دوری به همراه داده‌های زمینی ترکیبی بهینه برای دست‌یابی به اطلاعات به صرفه و با دقت بالا است. این پژوهش با هدف تأثیر طرح‌های مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های سامان عرفی اولادقباد، واقع در غرب استان لرستان با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel-2 انجام شد.

در این پژوهش میانگین تعداد در هکتار برای طرح‌های مختلف نشان داد که طرح خطی بیشترین فراوانی ۳۳ اصله در هکتار را دارد. همچنین نتایج بررسی مشخصه‌های کمی تاج‌پوشش برای طرح‌های مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای نشان داد طرح خطی دارای بیشترین سطح تاج‌پوشش ۳۵۴۳ مترمربع در هکتار است. علت نتیجه حاصل شده مربوط به تعداد درختان در هر ریزقطعه نمونه بر مبنای آرایش طرح

منطقه جنگل‌های زاگرس از نظر وسعت، پراکنش، نوع گونه و محصولات جنگلی نقش بسیار مهمی در معیشت بخش عظیمی از ساکنان خود بر عهده داشته و در عین حال یکی از مهم‌ترین منابع بیولوژیکی و ذخایر ژنتیکی ایران محسوب می‌شود. بنابراین مدیریت این منطقه در چارچوب یک سیاست جنگل-داری منسجم کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. هر گونه برنامه‌ریزی نیازمند گستره وسیعی از اطلاعات همه جانبه و به‌هنگام است تا هدف حفظ و استمرار این جنگل‌ها تحقق و تداوم یابد. هدف اصلی آماربرداری جنگل، آماده کردن اطلاعات به‌هنگام برای برنامه‌ریزی مدیریت منابع جنگلی، توسعه سیاست‌ها و برنامه‌های حفاظتی است و این تصمیم‌گیری‌ها نیازمند اطلاعات دقیق و به‌هنگام از کل منطقه است. اطلاعات برخی مشخصه‌های کمی ساختار جنگل از قبیل تعداد در هکتار و تاج‌پوشش از داده‌های مورد نیاز در برنامه-

با یافته Klein (1994) همخوانی دارد. ایشان اذعان داشتند که برای خوشه‌های با طرح باز، ریز قطعه-نمونه‌ها فاصله بیشتری از یکدیگر دارند و بنابراین ممکن است اطلاعات مختلفی را به دست دهند. کارایی یک طرح خوشه معین به ویژگی مورد هدف و فاصله ریز قطعه‌نمونه‌ها نیز بستگی دارد، همان‌طور که Klein (1994) اشاره کرد به‌طور کلی تشخیص یک شکل خوشه برتر امکان‌پذیر نیست. با این وجود، باید در نظر شد که یک طرح خوشه‌ای خاص ممکن است برای همه مشخصه‌های جنگل مناسب نباشد. نتایج Soleiman et al. (2018) نیز با نتایج این پژوهش مشابه است. ایشان اذعان داشتند الگوریتم ناپارامتریک جنگل تصادفی روش به نسبت مناسبی در برآورد مشخصه تراکم جنگل‌های زاگرس با تصاویر OLI لندست ۸ است. در مقابل نتایج Mohammadi et al. (2014) جنگل شصت کلاته گرگان و Fatolahi et al. (2013) در جنگل داربکلا ساری نشان داد الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان با استفاده از داده‌های سنجش از دور نسبت به دیگر الگوریتم‌ها بهتر توانست تعداد در هکتار را برآورد کند.

نتایج به‌دست آمده در جدول ۶ از به‌کارگیری الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه با چهار معیار فاصله اقلیدسی، مربع فاصله اقلیدسی، منهن و چپچف نشان داد که طرح‌های متفاوتی با توجه به مقادیر درصد میانگین مربعات خطا و درصد ارببی به‌عنوان طرح بهینه انتخاب شد. ولی در مجموع در همه مشخصه-های مورد بررسی طرح خطی و ستاره‌ای دو به‌عنوان طرح‌های بهینه، به‌دست آمد. Huiyan et al. (2006) نیز در پژوهش‌های خود الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه را بر مبنای بالاترین مقدار R^2 و کمترین مقادیر RMSE و BIAS پیشنهاد دادند.

برآورد مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج‌پوشش

خوشه‌ای انتخاب شده و در پی آن جای شدن تعداد درخت بیشتر بسته به عوامل توپوگرافی موجود در منطقه و سپس تراکم حجمی درختان موجود در آن‌ها است. همچنین آگاهی از وضعیت تعداد در هکتار درختان، یکی از الویت‌هایی است که مدیران برای ارزیابی منابع جنگلی، زمان‌بندی تیمار جنگل‌شناسی و برنامه‌ریزی، بایستی به آن دست یابند (Hamidi et al., 2017) و تغییرات در جنگل‌ها و آشفته‌گی‌های به‌وجود آمده در تاج‌پوشش درختان یکی از آثار جدی ناشی از فعالیت انسانی در بوم‌سازگان جنگل است. امروزه مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی در محیط‌های طبیعی در پژوهش‌های بسیاری؛ مانند علوم جنگل و ارزیابی اثرهای محیطی به‌کار گرفته شده و کاربرد آن با توجه به ضرایب تعیین زیاد دست آمده با موفقیت چشمگیری همراه بوده است. نتایج پژوهش پیش‌رو نیز نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم MLP قابلیت خوبی در برآورد مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج‌پوشش درختان در جنگل مورد پژوهش داشته است. در این الگوریتم با توجه به مدل‌هایی که اجرا شده لایه پنهان و نرون‌های متفاوتی بررسی شد و بهترین مدل که در جدول ۲ به آن اشاره شد، انتخاب شد. در این راستا تحقیق Hamidi et al. (2021b) با پژوهش حاضر مطابقت دارند و برتری روش‌های شبکه عصبی مصنوعی را در ساختار بوم‌سازگان جنگل نشان می‌دهند. مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی به‌دلیل در نظر شدن روابط غیرخطی بین ویژگی‌های محیطی و گونه‌ای و در نتیجه افزایش دقت برآورد پیش‌بینی در جنگل، می‌توانند جایگزین مناسبی برای مدل‌سازی درختان باشند.

بررسی نتایج حاصل از روش جنگل تصادفی نشان داد که برای بیشتر مشخصه‌های مورد بررسی طرح خطی به‌عنوان طرح بهینه انتخاب شد. این نتیجه

طور کلی استفاده از طرح‌های مختلف نمونه‌برداری خوشه‌ای، روش‌های مدل‌سازی ناپارامتریک شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم MLP و تصاویر ماهواره Sentinel-2 قابلیت مثبتی در برآورد مشخصه‌های تعداد در هکتار و تاج‌پوشش نشان داد. از این‌رو پیشنهاد می‌شود در این راستا از روش‌های دیگر همچون الگوریتم درخت تصمیم، روش‌های نیمه-پارامتری، کوبیست و دیگر روش‌ها با الگوریتم ناپارامتریک برای جنگل‌های این منطقه بررسی و با نتایج این پژوهش مورد مقایسه قرار گیرد. با توجه به پیشرفت روزافزون در مباحث مربوط به سنجش از دور و دردسترس قرار شدن اطلاعات به‌روز و گاه‌آرایگان 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 استفاده شود.

References

- Aghabarati, A.; Marvie Mohajer, M. R.; Etemad, V.; Sefidi, K., Structural characteristics of coppice forest stands in Fandoghloo Forest, Ardebil Province Province. *Forest Research and Development* **2018**, 4 (2), 223-239. (In persian)
- Amini, J.; Sadeghi, Y., Optical and radar satellite images in biomass modeling of forests in northern Iran. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS* **2013**, 4 (4), 82-69 (In Persian).
- Beygi Heidarlou, H.; Banj Shafiei, A.; Erfanian, M.; Tayyebi, A.; Alijanpour, A., Effects of preservation policy on land use changes in Iranian Northern Zagros forests. *Land Use Policy* **2019**, 81, 76-90.
- Bonyad, A. A. *Sampling methods in the forest*, Guilan University Press, Rasht, Iran, 2014, p 403 (In Persian).
- Dabija, A.; Kluczek, M.; Zagajewski, B.; Raczko, E.; Kycko, M.; Al-Sulttani, A. H.; Tardà, A.; Pineda, L.; Corbera, J., Comparison of support vector machines and

با استفاده از الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان در این پژوهش با استفاده از کرنل‌های مختلف نشان داد که در کرنل‌های مختلف با مقدار ظرفیت (10)، اسیلون (0/1) و گاما (0/01) به‌طور یکسان برای تمام مشخصه‌ها، طرح‌های نمونه‌برداری خوشه‌ای انتخابی که بیشتر طرح خطی است دارای کمترین مقدار درصد مجذور مربعات خطا و اربیی به‌دست آمد (جدول 5). این نتیجه هم راستا با نتایج Mohammad et al. (2014) و Fatolahi et al. (2013) بود. پژوهش ایشان نشان داد الگوریتم ماشین‌بردار پشتیبان با استفاده از داده‌های سنجش از دور نسبت به دیگر الگوریتم‌ها بهتر توانست تعداد در هکتار را برآورد کند.

نتیجه‌گیری کلی

- در پژوهش پیش‌رو تأثیر طرح‌های مختلف نمونه-برداری خوشه‌ای در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های زاگرس با استفاده از الگوریتم‌های ناپارامتریک و کاربرد تصاویر Sentinel-2 مورد بررسی قرار شد. به- random forests for corine land cover mapping. *Remote Sensing* **2021**, 13 (4), 777.
- Dutta, S.; Datta, A.; Chakladar, N. D.; Pal, S.; Mukhopadhyay, S.; Sen, R., Detection of tool condition from the turned surface images using an accurate grey level co-occurrence technique. *Precision Engineering* **2012**, 36 (3), 458-466.
- Egbers, R., Sentinel-2 data processing and identifying glacial features in Sentinel-2 imagery. Bachelor Thesis: *TU Delft University of Technology in Netherlands* **2016**.53p.
- Eskandari, S., Application of sentinel-2a data and pixel-based algorithms for land cover mapping in ilam-iran. *Environmental Engineering and Management Journal* **2020**, 19 (4), 655-666.
- Fatolahi, M.; Fallah, A.; Hojjati, S. M.; Colby, S., Determining the capability of SPOT-HRG sensor data in estimating the number of trees per hectare. *Gorgan Journal of Wood and Forest Science and Technology Research* **2013**, 20 (4): 133-117 (In Persian)

- Fereidoni, S.; Soleimani, N.; Derikvand, B., National Report on Providing Vegetation Map of Lorestan Province. *Natural Resources Office of Lorestan Province* **2005**, 57 p (In Persian).
- Finley, A. O.; McRoberts, R. E.; Ek, A. R., Applying an efficient k-nearest neighbor search to forest attribute imputation. *Forest Science* **2006**, 52 (2), 130-135.
- Ghayour, L.; Neshat, A.; Paryani, S.; Shahabi, H.; Shirzadi, A.; Chen, W.; Al-Ansari, N.; Geertsema, M.; Pourmehdi Amiri, M.; Gholamnia, M., Performance evaluation of sentinel-2 and landsat 8 OLI data for land cover/use classification using a comparison between machine learning algorithms. *Remote Sensing* **2021**, 13 (7), 1349.
- Gonzales, R.C. woods, R.E. *Digital Image Processing*: Prentice hal: 2002; p 750.
- Gu, H.; Dai, L.; Wu, G.; Xu, D.; Wang, S.; Wang, H., Estimation of forest volumes by integrating Landsat TM imagery and forest inventory data. *Science in China Series E: Technological Sciences* **2006**, 49 (1), 54-62.
- Hamidi, S. K.; Fallah, A.; Bayat, M.; Hosseini Yekani, S. A., Determining the Forest Volume Growth using Permanent Sample Plots (Case Study: Farim Forest, Jojadeh District). *Ecology of Iranian Forest* **2017**, 4 (8), 1-8. (In persian)
- Hamidi, S. K.; Weiskittel, A.; Bayat, M.; Fallah, A., 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* **2021**, 140 (2), 421-434.
- Kalbi, S. Investigating the Possibility of Estimating the Structural Characteristics of Forest Using ASTER and SPOT_ HRG Sensor Data (Case Study: Darabkola Forest), M.Sc. Thesis, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Natural Resources, 2011, P 107 (In Persian).
- Kleinn, C., Comparison of the performance of line sampling to other forms of cluster sampling. *Forest Ecology and Management* **1994**, 68 (2-3), 365-373.
- Lu, D.; Mausel, P.; Brondizio, E.; Moran, E., Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. *Forest Ecology and Management* **2004**, 198 (1-3), 149-167.
- Mirzaei, J., The causes of forest degradation and the solution Strategies to deal with them. The first national conference of strategies to obtain of sustainable development, Tehran, 6-7 March. 2012: 8p (In Persian).
- Modaberi, A.; Mirzaei, J., Study of decline effect on structure of central Zagros forests. *Forest Research and Development* **2017**, 2 (4), 325-336. (In persian)
- Mohammadi, J.; Shatai, Sh., Comparison of Quantitative and Qualitative Characteristics of Structure and Composition of Natural and Managed Massifs (Case Study: Gorgan Shast Kalateh Forest), *Journal of Wood and Forest Science and Technology Research* **2014**, 21 (1): 83-65 (In Persian).
- Soleiman Nejad, L.; Amiraslami, B.; Naqdi, R.; Latifi, H., Classification of Quantitative Characteristics of Zagros Forests Using Landsat 8-OLI Satellite Data and Random Forest Algorithm (Case Study of Manesht Conservation Forests). *Forest Research and Development* **2018**, 4 (4): 434-415 (In Persian).
- Townsend, P. A., Estimating forest structure in wetlands using multitemporal SAR. *Remote Sensing of Environment* **2002**, 79 (2-3), 288-304.
- Wittke, S.; Yu, X.; Karjalainen, M.; Hyyppä, J.; Puttonen, E., Comparison of two-dimensional multitemporal Sentinel-2 data with three-dimensional remote sensing data sources for forest inventory parameter estimation over a boreal forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **2019**, 76, 167-178.

Estimation of quantitative characteristics of Zagros forests using data mining nonparametric algorithms (case study: Olad Ghobad Watershed, Koohdasht, Lorestan)

N. Nazariani^{*1}, A. Fallah², S. K. Hamidi³ and S. Varamesh⁴

1- Postdoctoral Researcher of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Forestry, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mazandaran, I. R. Iran. (nazariani69@yahoo.com)

2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, I. R. Iran. (fallaha2007@yahoo.com)

3- PhD in Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, I. R. Iran. (k.hamidi86@yahoo.com)

4- Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I. R. Iran. (varameshs@uma.ac.ir)

Received: 25.10.2021 Accepted: 10.04.2022

Abstract

In this study, the effect of different cluster sampling schemes based on nonparametric algorithms to estimate the characteristics per hectare and canopy cover of customary Olad Ghobad forests located in Koohdasht city in the west of Lorestan province, were modeled using data Ground and satellite images of the Sentinel-2 To estimate the characteristics, 150 clusters in the form of six designs were implemented in a regular-random manner in the region. Then, six cluster sampling designs were collected inside the subplots, density characteristics, and canopy. Each cluster consisted of four subplots with an area of 700 square meters. After pre-processing the images and appropriate processing, the numerical values corresponding to the ground sample parts were extracted from the spectral bands and considered as independent variables. Modeling was performed with 75% of the data and the results were evaluated with the remaining 25%. For both density characteristics (number per hectare) and canopy, artificial neural network method with squared percent mean square error and BIAS of 10.53, 2.48, 9.38% and 0.33% respectively in modeling have more accurate results than other methods used. In general, the use of different cluster sampling schemes, nonparametric modeling methods, and Sentinel-2 satellite images have good results in estimating the number of per hectare and canopy.

Keywords: Canopy cover, Number per hectare, Random Forest, Artificial neural network.

* Corresponding author

Tel: +989168595643