دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

برآورد تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از داده‌های سنجنده OLI ماهواره Landsat 8

ناصح میری[۱] و علی‌اصغر درویش‌صفت[۲]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
۲- استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج (نویسنده مسوول: adarvish@ut.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۵
صفحه: ۱۹۶ تا ۲۰۶

چکیده

تاج‌پوشش یک مشخصه مهم ساختار جنگل برای بسیاری از برنامه‌های کاربردی در بوم‌شناسی، آب‌شناسی و مدیریت جنگل است. این مطالعه با هدف بررسی قابلیت داده‌های سنجنده OLI ماهواره Landsat 8 در مدل‌سازی و برآورد تاج‌پوشش جنگل در بخشی از جنگل‌های زاگرس انجام شد. ابتدا کیفیت تصاویر از نظر وجود خطاهای هندسی و رادیومتری بررسی شد. پردازش‌های مورد نیاز مانند شاخص‌های پوشش گیاهی، تجزیه مؤلفه‌های اصلی و تبدیل تسلدکپ روی تصاویر منطقه مورد مطالعه انجام شد. به‌منظور اندازه‌گیری زمینی تاج‌پوشش با استفاده از روش عکس‌برداری نیم‌کروی، تعداد ٦٠ قطعه‌نمونه با ابعاد مربعی شکل ٤٥×٤٥ متر برداشت شد. ارزش‌های طیفی متناظر در محل قطعات نمونه زمینی با استفاده از نقشه پلی‌گونی قطعات نمونه تهیه شده از تصاویر استخراج شدند. برای مدل‌سازی تاج‌پوشش جنگل از روش آماری رگرسیون خطی چندمتغیره به‌روش گام‌به‌گام استفاده شد و دقت مدل حاصل با استفاده از اعتبارسنجی متقابل به‌روش k-fold ارزیابی شد. نتایج حاصل از رگرسیون خطی چندمتغیره بین تاج‌پوشش با باندهای اصلی و محاسباتی سنجنده نشان داد که مدل حاصل از شاخص پوشش گیاهی SR و باند ۸ با ضریب تعیین ۰/٦٦٢ و درصد مجذور میانگین مربعات خطای ١٥/٢٤ درصد بهترین مدل است. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان‌داد که با استفاده از ماهواره Landsat 8 می‌توان تاج‌پوشش جنگل را با هزینه بسیار پایین در کمترین زمان برآورد کرد.

واژه‌های کلیدی: تاج‌پوشش جنگل، جنگل‌های زاگرس، سنجنده OLI، عکس‌برداری نیم‌کروی، رگرسیون خطی چندمتغیره

مقدمه

بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل‌های زاگرس، مساحت ۱۰ میلیون هکتاری این جنگل‌ها در گذشته را به ۵ میلیون هکتار کاهش داده است و این جنگل‌های با ارزش را از نظر زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی در معرض نابودی قرار داده است؛ بنابراین مدیریت آن‌ها برای جلوگیری از تخریب بیشتر نیازمند برنامه‌های اصولی و اطلاع از برخی مشخصه‌های مهم جنگل می‌باشد (۱۹). از آنجایی‌که پوشش جنگلی حوزه رویشی زاگرس اغلب شاخه‌زاد بوده و جزو جنگل‌های تجاری با قابلیت تولید چوب صنعتی محسوب نمی‌گردد (۱۱)، بنابراین برآورد و اندازه‌گیری حجم سرپا به‌عنوان یک عامل کاربرد چندانی ندارد و برای کنترل تغییرات، پایش و استراتژی مدیریتی مناسب در این جنگل‌ها از مشخصه تاج‌پوشش[۱] استفاده می‌شود.

تاج‌پوشش جنگل یک مشخصه مهم ساختار جنگل که نشان دهنده کیفیت، پایداری و زوال توده‌های جنگلی است. این مشخصه به‌طور مستقیم با چرخه آب، کربن، مواد غذایی (۴،۳،۱۸) و تغییرات انرژی در اکوسیستم‌های زمینی ارتباط دارد (۱۸). همچنین این مشخصه در مطالعات هیدرولوژی، تغییر جهانی (۴،۳) و اطلاع از میزان رقابت در توده جنگلی و تراکم و غنای گیاهی (۳۲،۳۵) و به‌عنوان واسطه در تبادلات توده‌ای، حرکتی و انرژی بین جو و جنگل (۳۴) کاربرد دارد. تاج‌پوشش جنگل در برآورد و محاسبه مشخصه‌های دیگر نظیر شاخص سطح برگ، حجم توده، ذخیره کربن و ترسیب کربن دارای اهمیت زیادی است (۳۱،۳۲).

برآورد و اندازه‌گیری‌های زمینی تاج‌پوشش جنگل‌های عمدتاً شاخه‌زاد زاگرس با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های مختلف بسیار زمان‌بر، پرهزینه و مشکل و در مناطق کوهستانی این جنگل‌ها عملاً غیرممکن است، از این‌رو در چند دهه اخیر استفاده از داده‌های سنجش از دور چندطیفی و وسیع می‌تواند راه‌حلی سریع و کم‌هزینه برای برآورد تراکم تاج‌پوشش این جنگل‌ها باشد (۲۴). پژوهش‌های متعددی در رابطه با تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش در جنگل با استفاده از روش‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای انجام شده، اما مطالعات کمی در ارتباط با مدل‌سازی تاج‌پوشش در جنگل‌های ایران به‌ویژه جنگل‌های زاگرس با تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفته است. پرما و شتایی (۲۷) با ارزیابی داده‌های سنجنده +ETM در تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس، نشان دادند که نقشه حاصل از دو طبقه تراکمی دارای صحت کلی و ضریب کاپای بالاتری نسبت به چهار طبقه تراکمی است. حسینی و همکاران (۱۰) در مطالعه‌ای قابلیت داده‌های سنجنده LISS IV ماهواره IRS-P6 را برای تهیه نقشه انبوهی در جنگل‌های پسته مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از طبقه‌بندی نشان داد که برای سه و پنج طبقه انبوهی به‌ترتیب روش‌های فازی و حداکثر احتمال بالاترین میزان صحت کلی و ضریب کاپا را داشتند. شاهولی کوه‌شور و همکاران (۳۳) قابلیت داده‌های سنجنده +ETM ماهواره Landsat 7 را برای تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل در جنگل‌های مریوان با استفاده از مدل FCD[۲] بررسی کردند. نتایج طبقه‌بندی سه کلاسه‌ای

1- Canopy Cover
2- Forest Canopy Density

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.21.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.196]

بالاترین صحت کلی و ضریب کاپا را به‌ترتیب با میزان ۶۲ درصد و ۰/۳۹ نشان داد. گلشنی و همکاران (۸) در پژوهشی برای برآورد سطح تاج‌پوشش جنگل‌های شهری با داده‌های GeoEye-1 از دو الگوریتم BRT[1] و RF[2] استفاده کردند، نتایج نشان داد که این دو الگوریتم دارای قابلیت بالایی در محاسبه سطح تاج‌پوشش جنگل‌های شهری می‌باشند. میرزایی‌زاده و همکاران (۲۲) برای برآورد تاج‌پوشش جنگل در جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر Landsat 8، مدل FCD را که برای جنگل‌های حاره‌ای توسعه یافته به‌کار بردند. نقوی (۲۵) در مطالعه‌ای به برآورد سطح تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس با ماهواره Quickbird توسط الگوریتم‌های پارامتریک رگرسیون خطی چندمتغیره و ناپارامتریک جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان[3] و k نزدیک‌ترین همسایه[4] پرداخت. نتایج نشان داد که روش جنگل تصادفی برآورد مناسبی از سطح تاج‌پوشش (RMSE=۱۷/۸۲٪) ارئه داد. وفایی و همکاران (۳۷) سنجنده TM ماهواره Landsat 5 را در برآورد تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از روش رگرسیون خطی چندمتغیره مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان‌داد که این رویکرد برآورد متوسطی از تاج‌پوشش جنگل ارایه داده است (R^2=۰/۵۲۸ و RMSE=۱۶/۴۷٪). بررسی‌های انجام گرفته در خارج از ایران اهمیت مدل‌سازی و برآورد تراکم تاج‌پوشش جنگل را نمایان می‌سازند که در ادامه به تعدادی از این مطالعات پرداخته می‌شود. کاریراس و همکاران (۲) در پژوهشی برای برآورد تاج‌پوشش درختان در بخشی از جنگل‌های کشور پرتغال از داده‌های سنجنده TM ماهواره Landsat 5 استفاده کردند. نتایج نشان داد که معادله رگرسیونی چندمتغیره با میزان ضریب تبیین ۰/۷۴ بهترین معادله در برآورد تاج‌پوشش می‌باشد. کهریمان و همکاران (۱۲) نشان دادند که شاخص‌های پوشش‌گیاهی نسبت به باندهای اصلی داده‌های سنجنده TM درمدل‌سازی با رگرسیون چندمتغیره، پیش‌بینی بهتری از تاج‌پوشش جنگل در توده‌های جنگلی آمیخته ترکیه ارایه داده است. در مطالعه کورهانن و همکاران (۱۴) برای برآورد تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های استوایی از داده‌های ماهواره ای ALOS AVNIR-2 استفاده شد. نتایج نشان داد که تراکم تاج‌پوشش جنگل رابطه قوی با ویژگی‌های طیفی ماهواره (RMSE[5]=۱۲/۸٪ و R^2=۰/۸۲) دارد. کورهانن و همکاران (۱۵) در پژوهشی به مدل‌سازی تراکم تاج‌پوشش جنگل بین داده‌های زمینی اندازه‌گیری شده با عکس‌برداری نیم‌کروی و داده‌های ماهواره Sentinel-2 و Landsat 8 در جنگل‌های بورآل با استفاده از تحلیل آماری رگرسیون غیرخطی پرداختند. نتایج حاصل از مدل‌سازی با روش آماری مذکور نشان داد که باند لبه قرمز پوشش گیاهی (باند ۵) ماهواره Sentinel-2 (RMSE=۰/۱۴۲) و باند سبز (باند ۳) ماهواره Landsat 8 (RMSE=۰/۱۴۱) بهترین متغیرها در برآورد تاج‌پوشش جنگل هستند و دو ماهواره برآورد یکسانی از تراکم تاج‌پوشش جنگل ارائه دادند. اسرات و همکاران (۱) با استفاده از تفسیر بصری، تراکم تاج‌پوشش را با تصاویر ماهواره PlanetScope، RapidEye (با تفکیک مکانی کمتر از ۵ متر) و Sentinel-2 (با تفکیک مکانی ۱۰ متر) در جنگل‌های اتیوپی برآورد کردند. نتایج نشان داد که ماهواره‌های PlanetScope و RapidEye برآوردهای مشابهی از تاج‌پوشش ارائه می‌دهند، درحالی‌که برآورد مقدار تاج‌پوشش با ماهواره Sentinel-2، به شرایط جنگل بستگی دارد.

براساس نتایج پژوهش‌های ذکر شده داده‌های مختلف دورسنجی در رویشگاه‌های مختلف تا حدودی برآوردی مناسب از میزان تاج‌پوشش جنگل را ارائه داده‌اند. حال باتوجه به اهمیت این مشخصه در مدیریت جنگل‌های زاگرس ضروری است که این مدل‌سازی با داده‌های ماهواره‌ای برای اطمینان از قابلیت این رویکرد در این جنگل‌ها نیز انجام شود. لذا پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی برآورد تاج‌پوشش جنگل براساس داده‌های سنجنده OLI[6] ماهواره Landsat 8 و داده‌های زمینی حاصل از عکس‌برداری نیم‌کروی در بخشی از جنگل‌های زاگرس انجام شد.

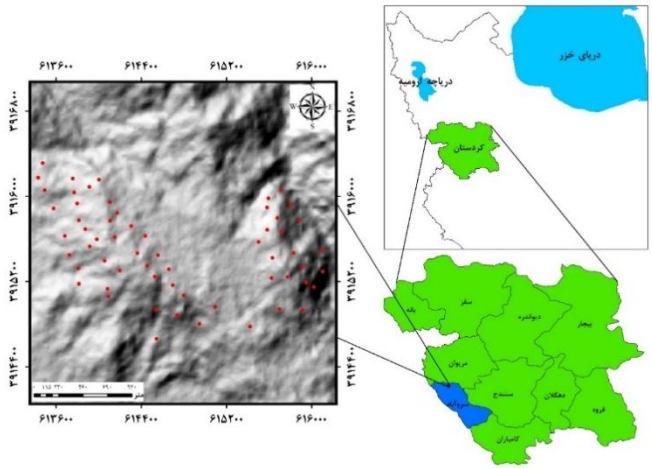
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در جنگلی با مساحت حدود ۴۶۴ هکتار انجام شد. این منطقه جنگلی در ۱۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان سروآباد از توابع استان کردستان که در گستره جغرافیایی "۵۷ '۲۱ °۳۵ تا "۴ '۲۳ °۳۵ طول شرقی و "۴۸ '۱۶ °۴۶ تا "۵۱ '۱۶ °۴۶ عرض شمالی واقع شده، قرار دارد (شکل ۱). جهت غالب منطقه مورد مطالعه شرقی و غربی است و متوسط ارتفاع از سطح دریای آن ۱۳۴۴ متر است. گونه‌های درختی بلوط (*Quercus brantii*)، مازودار (*Qurecus infectoria*) و زالزالک (*Crataegus* spp.) از گونه‌های غالب موجود در منطقه می‌باشند (شکل ۲).

1- Boosted Regression Tree 2- Random Forest 3- Support Vector Machines 4- k-Nearest Neighbors
5- Root Mean Square Error 6- Operational Land Imager

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.21.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.196]



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و قطعات نمونه برداشت شده در ایران، استان کردستان و شهرستان سروآباد
Figure 1. Location of study area and plots in Iran, Kurdestan Province and Sarvabad



شکل ۲- نمای کلی از منطقه مورد مطالعه
Figure 2. Overview of the study area

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش داده‌های سنجنده OLI ماهواره Landsat 8 به شماره گذر ۱۶۸ و ردیف ۳۵ مربوط به تاریخ ۸ شهریور ۱۳۹۳ در سطح تصحیحات L1T و دو برگ نقشه دو بعدی (2D) با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ برای کنترل هندسه تصاویر مورد استفاده قرار گرفت.

روش پژوهش

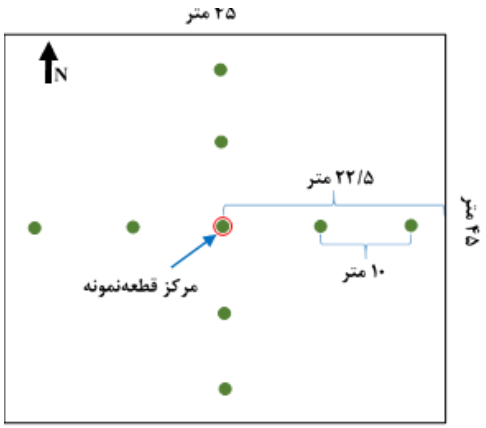
به‌منظور مدل‌سازی تاج‌پوشش جنگل با داده‌های سنجنده OLI، تعداد ۶۰ قطعه‌نمونه مربعی شکل به ابعاد ۴۵×۴۵ متر به‌روش نمونه‌برداری انتخابی (۲۳،۳۰) در شهریور ۱۳۹۳ به‌ترتیبی پیاده و برداشت شدند که در برگیرنده تراکم‌های مختلفی از تاج‌پوشش باشند. در هر قطعه‌نمونه برای اندازه‌گیری میزان درصد تاج‌پوشش از عکس‌برداری نیم‌کروی[1] و به‌کارگیری دوربین مجهز به عدسی چشم‌ماهی[2] (Nikon Coolpix with 180° fish-eye lens) (شکل ۳) استفاده شد (۵،۲۸). برای این کار در سطح قطعه‌نمونه تعداد نه نقطه در فواصل ۱۰ متر از یکدیگر به روش نمونه‌برداری خوشه‌ای در دو جهت شمالی-جنوبی و شرقی-غربی ثبت شد (۱۶،۹،۲۸) (شکل ۴)؛ سپس عکس‌برداری با دوربین چشم ماهی که بر روی سه پایه‌ای با ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر از سطح زمین نصب شده و در هر نقطه قبل از طلوع آفتاب، بعد از غروب خورشید تا تاریکی مطلق و در هوای ابری به‌منظور کاهش اثر نور مستقیم بر عکس‌ها (۲۰،۲۶) انجام شد. در ادامه درصد باز بودن تاج‌پوشش درختان در عکس‌ها (شکل ۵) و در نهایت در سطح هر قطعه‌نمونه (پس از حذف سطح زمین به‌دلیل پایین بودن سطح سه پایه) با نرم‌افزار GLA[3] محاسبه شد؛ در نهایت درصد تاج‌پوشش قطعه‌نمونه ۴۵×۴۵ متری محاسبه شد.

1- Hemispherical Photography
2- Fish-eye
3- Gap Light Analyzer

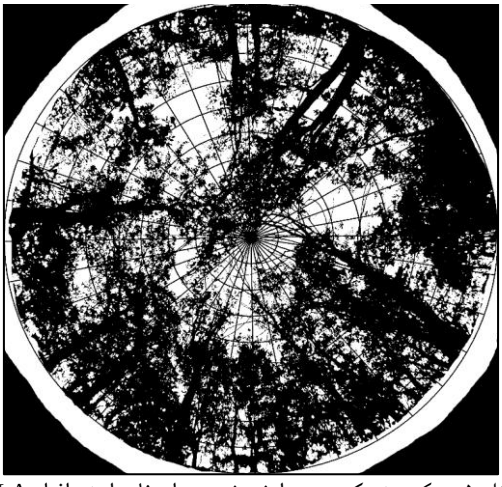
[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.21.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.196]



شکل ۳- دوربین مجهز به عدسی چشم‌ماهی (Nikon Coolpix with 180˚ fish-eye lens)
Figure 3. Fish-eye lens (Nikon Coolpix with 180˚ fish-eye lens)



شکل ۴- نمای گرافیکی موقعیت نقاط عکس‌برداری در سطح هر قطعه‌نمونه
Figure 4. Graphical view of the location photography points in plot



شکل ۵- عکس نیم‌کروی پردازش شده در استفاده از نرم‌افزار GLA
Figure 5. Procced hemispherical photograph using GLA software

بررسی هندسه و کیفیت تصاویر

به‌منظور اطمینان از کیفیت تصاویر دریافت شده نیاز بود پیش از به‌کارگیری این داده‌ها در تجزیه‌وتحلیل، وجود خطاهای هندسی و رادیومتری مورد بررسی قرار گیرد. برای بررسی وضعیت هندسه تصاویر از نقشه‌های رقومی آبراهه‌ها و جاده‌ها مربوط به نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ و همچنین برای اطمینان از عدم وجود خطای رادیومتری مانند پیکسل‌های دوبله از نمایش تصویر بر روی رایانه استفاده شد. بررسی هندسه و کیفیت رادیومتری تصاویر نشان از تأیید در

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.21.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.196]

درستی هندسه و کیفیت مطلوب تصاویر ماهواره Landsat 8 دارد.

پردازش‌های داده‌های ماهواره‌ای

با توجه به هدف مطالعه برای استخراج هر چه کامل‌تر اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای، پردازش‌هایی بر روی باندهای تصاویر مورد استفاده انجام شد. پردازش‌های انجام شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای شامل محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی (SR[۱]، NDVI[۲]، SAVI[۳]، MSAVI[۴]، TSAVI[۵]، PVI1[۶]، DVI[۷] و WDVI[۸]) (۲۵،۲۱)، تجزیه مؤلفه‌های اصلی[۹] و تبدیل تسلدکپ[۱۰] بودند. تعدادی از شاخص‌های فوق، شاخص‌های خط خاک هستند که در آن‌ها سعی می‌شود که اثر منفی بازتاب خاک زمینه در این چنین مناطق با پوشش گیاهی غیر متراکم حذف و یا کاهش یابد. برای ساخت معادله خط خاک تعداد ۱۵ نقطه که خاک لخت و فاقد پوشش گیاهی بودند، تعیین و به‌صورت یک نقشه تهیه شد. سپس بازتاب در محل این نقاط در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک استخراج و رابطه رگرسیون خطی ساده بین آنها محاسبه و بعنوان مشخصه‌های خط خاک (شیب و ضریب ثابت) در فرمول شاخص‌های پوشش گیاهی خط خاک قرار داده شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای مدل‌سازی برآورد تاج‌پوشش، ارزش‌های متناظر متغیرهای طیفی در محل قطعات نمونه با استفاده از نقشه رستری قطعات نمونه زمینی استخراج شدند. پس از استخراج ارزش‌های طیفی متغیرها، ابتدا نرمال بودن آن‌ها با آزمون شاپیرو–ویلک[۱۱] (۳۶،۲) مورد بررسی قرار گرفت. بررسی همبستگی بین تراکم تاج‌پوشش در قطعات نمونه زمینی با ارزش‌های طیفی متناظر در باندهای اصلی و محاسباتی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون انجام شد. همچنین برای بررسی عدم هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل ورودی در تحلیل از عامل تورم واریانس[۱۲] (VIF) استفاده شد که میزان قابل قبول این شاخص برای عدم هم‌خطی و مناسب بودن مدل، باید کمتر از ۱۰ باشد. در این پژوهش برای مدل‌سازی تراکم تاج‌پوشش جنگل از تحلیل آماری پارامتریک رگرسیون چندمتغیره به‌روش گام به گام[۱۳] استفاده شد و مناسب‌ترین مدل براساس ضریب تعیین (R^2) و ضریب تعیین تعدیل شده (R^2_{adj}) انتخاب شد و در مرحله بعد مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. دقت مدل انتخاب شده با استفاده از اعتبارسنجی متقابل به روش k-fold مورد ارزیابی قرار گرفت. در این روش تعداد کل قطعه‌های نمونه به k بخش تقسیم و عمل مدل‌سازی و آزمون طی k تکرار انجام می‌شود که در این پژوهش میزان k، ۵ در نظر گرفته شد. در نهایت آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE و RMSE%) (رابطه‌های ۱ و ۲) و معیار اطلاعاتی آکائیکه[۱۴] (AIC) (رابطه ۳) برای اطمینان و اعتبار پیش‌بینی‌ها محاسبه شدند.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(\widehat{cc}_i - cc_i)^2}{n}} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$RMSE(\%) = \frac{RMSE}{\overline{cc}} \times 100 \quad \text{(رابطه ۲)}$$

$$AIC = n\ln\left[\frac{\sum_{n}^{i}(\widehat{cc}_i - cc_i)^2}{n}\right] + 2K \quad \text{(رابطه ۳)}$$

در رابطه‌های مذکور n: تعداد قطعات نمونه، $\widehat{cc}_i$: میزان تاج‌پوشش برآورد شده، cc_i: میزان تاج‌پوشش واقعی، $\overline{cc}$: میانگین میزان تاج‌پوشش واقعی و K: تعداد متغیرهای ورودی مدل می‌باشند. کلیه تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار R انجام شد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ خلاصه‌ای از آماره‌های توصیفی اندازه‌گیری زمینی تاج‌پوشش جنگل با استفاده از عکس‌برداری نیم‌کروی حاصل از دوربین چشم‌ماهی ارائه شده است. هیستوگرام کلاسه‌های تراکمی تاج‌پوشش نشان می‌دهد که با توجه به تراکم پوشش گیاهی متوسط منطقه مورد مطالعه، از تعداد ۶۰ قطعه‌نمونه بیشتر قطعات نمونه در طبقه تراکمی نیمه‌انبوه (۲۶–۵۰ درصد) قرار دارند (شکل ۶).

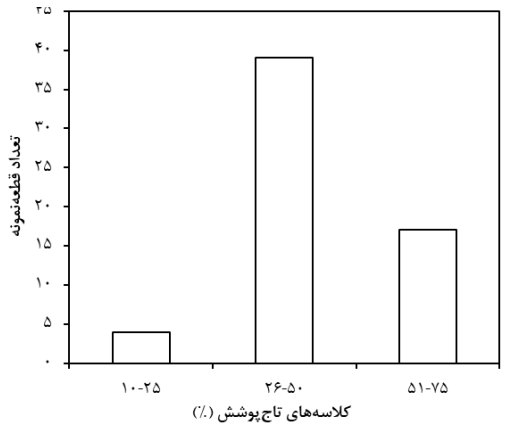
جدول ۱– آماره‌های توصیفی اندازه‌گیری زمینی تاج‌پوشش جنگل (درصد)

Table 1. Descriptive statistics of measure aboveground forest canopy cover (%)

کمینه (Min)	بیشینه (Max)	میانگین (Mean)	انحراف معیار (Std.Deviation)
۱۰	۶۶/۱۳	۴۴/۱۶	۱۱/۶۸

1- Simple Ratio
2- Normalized Difference Vegetation Index
3- Soil Adjusted Vegetation Index
4- Modified Soil Adjusted Vegetation Index
5- Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index
6- Perpendicular Vegetation Index 1
7- Difference Vegetation Index
8- Weighted Difference Vegetation Index
9- Principal Component Analysis (PCA)
10- Tasseled Cap Component
11- Shapiro-Wilk
12- Variance Inflation Factor
13- Stepwise
14- Akaike Information Criterion (AIC)

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.21.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.196]



شکل ۶- نمودار تعداد قطعات نمونه در کلاسه‌های مختلف تراکمی
Figure 6. Graph of the number of plots in density different classes

نتایج نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. تحلیل همبستگی پیرسون بین تراکم تاج‌پوشش و ارزش‌های طیفی متناظر نشان داد که تاج‌پوشش جنگل با کلیه متغیرهای طیفی باندهای اصلی و محاسباتی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است. تاج‌پوشش بالاترین میزان همبستگی را با شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و SR به‌مقدار ۰/۷۹۱ دارد که این همبستگی مثبت است؛ یعنی با افزایش میزان تراکم تاج‌پوشش در قطعه‌نمونه، میزان بازتاب در شاخص‌های مذکور افزایش می‌یابد. نتیجه حاصل با مطالعات کاریراس و همکاران (۲)، پیرسون (۲۹) و یو و همکاران (۳۸) همسو است. همبستگی کمتر شاخص‌های خط خاک مورد استفاده در تحقیق با مشخصه تاج‌پوشش جنگل در مقایسه با شاخص‌های NDVI و SR را می‌توان به تراکم متوسط جنگل مورد مطالعه و بالا بودن پوشش علفی کف خشک شده جنگل در زمان پژوهش نسبت داد. از نکات جالب توجه و خلاف انتظار، منفی و پایین بودن میزان همبستگی (۰/۴۰۶-) باند مادون قرمز نزدیک ماهواره با تاج‌پوشش جنگل است که این همبستگی منفی نشان از کاهش بازتاب طول موج در باند مادون قرمز نزدیک با ازدیاد میزان تاج‌پوشش دارد (جدول ۲). مرور منابع نشان می‌دهد که در اکثر مقالات مثبت و یا منفی بودن همبستگی بیان نشده است و چه بسا که منفی بوده ولی به‌دلیل خارج از انتظار بودن بیان نشده است، هر چند مطالعه کهریمان و همکاران (۱۲) در زمینه بسته بودن تاج، مرادی و همکاران (۲۳) و لو (۱۷) در زمینه برآورد زی‌توده روی زمینی، خرمی و همکاران (۱۳) در زمینه برآورد حجم سرپای جنگل و فتح‌الهی (۷) در زمینه برآورد ذخیره کربن روی زمینی تأییدی بر نتیجه پژوهش حاضر می‌باشد، اما دلیل این وضعیت را می‌توان با ریزگردهای ورودی از کشور عراق و تجمع آن برروی شاخ و برگ درختان منطقه در زمان تحقیق توجیه کرد. این مطلب باید به‌طور مستقل مورد تحقیق قرار گیرد.

جدول ۲- همبستگی پیرسون بین تاج‌پوشش جنگل و متغیرهای طیفی
Table 2. Pearson correlations between forest canopy cover and spectral variables

باندهای اصلی و محاسباتی	ضریب همبستگی (r)	باندهای اصلی و محاسباتی	r
B2	−۰/۷۵۵**	SR	۰/۷۹۱**
B3	−۰/۷۴۳**	SAVI	۰/۷۶۱**
B4	−۰/۷۵۴**	TSAVI1	−۰/۷۵۵**
B5	−۰/۴۰۶**	MSAVI1	۰/۷۳۳**
B6	−۰/۶۹۶**	PVI1	۰/۷۴۷**
B7	−۰/۷۲۸**	DVI	۰/۷۴۷**
B8	−۰/۷۴۸**	WDVI	۰/۴۷۸**
Greenness	۰/۷۴۲**	PCA_1 (2-7)	−۰/۷۱**
NDVI	۰/۷۹۱**	PCA_1 (2-4,6,7)	−۰/۷۲۷**

**: معنی‌داری در سطح احتمال ۹۹ درصد، B2-B8: باندهای اصلی ۲ تا ۸، Greenness: باند سبزینگی تسلدکپ، PCA_1: مؤلفه اول تجزیه مؤلفه‌های اصلی

نتایج تحلیل رگرسیونی خطی چندمتغیره به‌روش گام‌به‌گام بین اندازه‌گیری زمینی تراکم تاج‌پوشش با متغیرهای طیفی باندهای اصلی و محاسباتی نشان‌داد که در مدل نهایی ارائه شده از بین تمام متغیرهای مورد استفاده، مجموعه شاخص پوشش گیاهی SR و باند ۸ معنی‌دار بوده و با مقادیر ضریب تعیین (R^2) ۰/۶۶۲ و ضریب تعیین تعدیل شده (R^2_{adj}) ۰/۶۵۱ به‌عنوان مناسب‌ترین مدل شناخته شد (جدول ۳). کهریمان و همکاران (۱۲) دریافتند که مدل رگرسیونی حاصل از SR و DVI پیش‌بینی بهتری از تاج‌پوشش جنگل دارند (R^2=۰/۶۷۴). همچنین در پژوهش نقوی (۲۵) شاخص پوشش گیاهی SR به‌عنوان متغیر مناسب مدل رگرسیونی چندمتغیره در برآورد سطح تاج‌پوشش جنگل شناخته شد. مطالعه فاتحی و همکاران (۶) توانایی تحلیل رگرسیون چندمتغیره به‌روش گام‌به‌گام را در زمینه مدل‌سازی تاج‌پوشش جنگل (R^2=۰/۸۱) تایید کردند

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.21.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.196]

جدول ۳- نتایج مدل‌سازی تاج‌پوشش جنگل با استفاده از رگرسیون چندمتغیره خطی به‌روش گام‌به‌گام
Table 3. Result forest canopy cover modeling using multiple linear regression as stepwise

مدل رگرسیون چند متغیره	ضریب تعیین (R^2)	ضریب تعیین تعدیل شده (R^2_{adj})	اشتباه معیار برآورد (SEE)
CC(%)=۹۷/۶۲۱ SR−۰/۰۰۶ B8−۴۵/۴۸۱	۰/۶۶۲	۰/۶۵۱	۶/۹

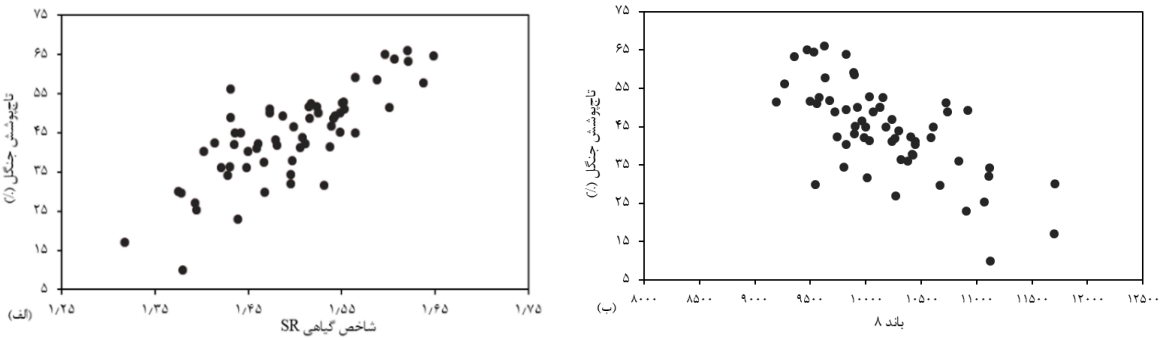
CC(%): درصد تاج‌پوشش، SR: شاخص گیاهی ساده و B8: باند ۸ ماهواره

تحلیل ضرایب رگرسیونی چندمتغیره بین تراکم تاج‌پوشش جنگل با کلیه متغیرهای طیفی باندهای اصلی و محاسباتی نشان داد که ضرایب مدل‌سازی تراکم تاج‌پوشش مخالف صفر است. همچنین مقدار عامل تورم واریانس برای شاخص پوشش گیاهی SR و باند ۸ در مدل ارائه شده برابر ۱/۹۵۷ است (جدول ۴). باتوجه به این‌که عامل تورم واریانس کمتر از ۱۰ است، بنابراین متغیرهای مستقل فاقد هم‌راستایی چندگانه بوده و مدل حاصل از تحلیل رگرسیون چندمتغیره مدل قابل اطمینان و مناسبی می‌باشد. مطالعات وفایی و همکاران (۳۷)، فاتحی و همکاران (۶) و کهریمان و همکاران (۱۲) تأییدی بر نتیجه به‌دست آمده از بررسی هم‌راستایی چندگانه است.

جدول ۴- ضرایب مدل رگرسیون چندمتغیره خطی بین تاج‌پوشش و متغیرهای طیفی و آزمون معنی‌دار بودن آن‌ها
Table 4. Coefficients multiple linear regression model between canopy cover and spectral variables and significance test

مدل	ضرایب استاندارد نشده		ضرایب استاندارد شده	t	معنی‌داری	آماره‌های هم‌خطی	
	B	خطای معیار	Beta			تحمل	عامل تورم واریانس
عدد ثابت	−۴۵/۴۸۱	۴۴/۹۵۹		−۱/۰۱۲	۰/۳۱۶		
SR	۹۷/۶۲۱	۱۷/۳۴۵	۰/۶۰۶	۵/۶۲۵	۰/۰۰۰	۰/۵۱۱	۱/۹۵۷
B8	−۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	−۰/۲۶۶	−۲/۴۶۷	۰/۰۱۷	۰/۵۱۱	۱/۹۵۷

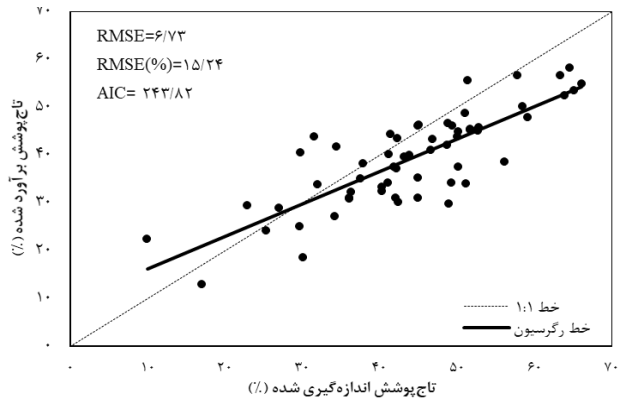
در شکل ۷، ابرنقاط بین درصد تاج‌پوشش با شاخص پوشش گیاهی SR و باند ۸ سنجنده OLI نمایش داده شده است. همان‌طور که برای شاخص‌های پوشش گیاهی انتظار می‌رود، بالاترین میزان تاج‌پوشش جنگل با بالاترین مقدار شاخص گیاهی SR مطابقت دارد و نتیجه نشان می‌دهد که با افزایش میزان پوشش گیاهی در منطقه مورد پژوهش میزان بازتاب در شاخص SR افزایش می‌یابد (شکل ۷-الف). باتوجه به شکل ۷-ب، رابطه معکوس خطی بین باند ۸ سنجنده و درصد تاج‌پوشش وجود دارد، که نشان دهنده کاهش میزان بازتاب در باند ۸ سنجنده OLI با افزایش پوشش گیاهی در منطقه است. نتیجه این پژوهش با مطالعه کاریراس و همکاران (۲) همسو است.



شکل ۷- ابرنقاط درصد تاج‌پوشش جنگل با شاخص پوشش گیاهی SR (الف) و باند ۸ (ب)
Figure 7. Scatterplots of forest canopy cover (%) vs SR vegetation index (A) and 8-band (B)

نتایج حاصل از ارزیابی مدل با استفاده از اعتبارسنجی متقابل به روش k-fold نشان داد که مدل حاصل دارای مقادیر آماره‌های RMSE، RMSE% و AIC به‌ترتیب برابر با ۶/۷۳، ۱۵/۲۴ و ۲۳۴/۸۲ می‌باشد که این مقادیر محاسبه شده کارایی خوب و مناسب مدل را توصیف می‌کند. نتیجه به‌دست آمده با مطالعات فاتحی و همکاران (۶)، کورهانن و همکاران (۱۴) و کورهانن و همکاران (۱۵) همسو است. همچنین نتایج حاصل از پژوهش حاضر در مقایسه با مطالعه وفایی و همکاران با ماهواره Landsat 5 در منطقه ای مشابه نشان از قابلیت بالاتر ماهواره Landsat 8 در برآورد تاج‌پوشش جنگل در جنگل‌های زاگرس دارد. رابطه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده تاج‌پوشش جنگل توسط مدل رگرسیون خطی چندمتغیره به روش گام‌به‌گام در شکل ۸ نشان می‌دهد که در تاج‌پوشش بالای ۳۵ درصد، مدل به‌دست آمده میزان تاج‌پوشش را کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده زمینی برآورد می‌کند.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.21.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.196]



شکل ۸- درصد تاج‌پوشش جنگل اندازه‌گیری شده در برابر برآورد شده برای مدل رگرسیونی
Figure 8. Measured vs. estimated forest canopy cover (%) for regression model

در این مطالعه، رابطه بین مقادیر بازتابی و متغیرهای محاسباتی (نظیر شاخص‌های پوشش گیاهی، تجزیه مؤلفه-های اصلی و مؤلفه سبزینگی حاصل از تبدیل تسلدکپ) به‌دست آمده از سنجنده OLI ماهواره Landsat 8 با تاج‌پوشش جنگل از طریق تحلیل رگرسیون چندمتغیره به روش گام‌به‌گام برای مدل‌سازی برآورد تاج‌پوشش جنگل در بخشی از جنگل‌های زاگرس مورد بررسی قرار گرفت. از نظر آماری رابطه معنی‌داری بین مقادیر بازتابی و متغیرهای محاسباتی با تاج‌پوشش جنگل مشاهده شد. ترکیب خطی شاخص پوشش گیاهی SR و باند ۸ سنجنده نتیجه بهتری از برآورد تاج‌پوشش جنگل نسبت به سایر متغیرهای مورد استفاده در تحلیل رگرسیونی دارد (R^2=۰/۶۶۲). نتایج ارزیابی با اعتبارسنجی متقابل به روش k-fold نشان داد که مدل نهایی به‌دست آمده دارای خطای معقول و عملکرد مناسب و خوبی در برآورد تاج‌پوشش جنگل است (RMSE=۶/۷۳ و RMSE (%)=۱۵/۲۴٪). باتوجه به نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر می‌توان بیان کرد که داده‌های سنجنده OLI قابلیت مناسبی در برآورد تاج‌پوشش در منطقه جنگلی مورد مطالعه دارد. البته برای اطمینان ازنتایج پژوهش حاضر در زمینه مدل‌سازی تاج‌پوشش جنگل با تصاویر ماهواره‌ای در جنگل‌های زاگرس نیاز است که مطالعات تکمیلی در این زمینه انجام گیرد تا امکان تعمیم نتایج فراهم شود.

منابع

1. Asrat, Z., H. Taddese, H. Ole Ørka, T. Gobakken, I. Burud and E. Næsset. 2018. Estimation of forest area and canopy cover based on visual interpretation of satellite images in Ethiopia. Land, 7(3): 92.
2. Carreiras, J.M.B., J.M.C. Pereira and J.S. Pereira. 2006. Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodlands using remote sensing. Forest Ecology and Management, 223: 45–53.
3. Chen, J.M., P.M. Rich, S.T. Gower, J.M. Norman and S. Plummer. 1997. Leaf area index of Boreal forests: theory, techniques and measurements. Journal of Geophysical Research, 102(24): 29429-29443.
4. Chianucci F. and A. Cutini. 2013. Estimation of canopy properties in deciduous forests with digital hemispherical and cover photography. Agricultural and Forest Meteorology, 168: 130–139.
5. Chianucci, F. 2016. A note on estimating canopy cover from digital cover and hemispherical photography. Silva Fennica, 50(1): 1518.
6. Fatehi, P., A. Damm, M.E. Schaepman and M. Kneubühler. 2015. Estimation of alpine forest structural variables from imaging spectrometer data. Remote Sensing, 7(12): 16315-16338.
7. Fatholahi, M. 2013. Investigation of aboveground carbon stock estimation possibility using SPOT-HRG data (Case study: Forest of Darabkola). MSc Thesis, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, 70pp (In Persian).
8. Golshani, P., A. Fallah and S. Kalbi. 2014. Estimation of urban forest canopy using non-parametric methods and GeoEye-1 imagery data (comparison of BRT and RF regression algorithms). Journal Wood & Forest Science and Technology, 21(1): 21-44 (In Persian).
9. Gosa, A.G. 2006. Estimation of leaf area index using optical field instruments and imaging spectroscopy. MSc Thesis, Wageningen University and Research Centre, Wageningen, Netherlands, 90 pp.
10. Hosseini, F., A.A. Darvishsefat and N. Zargham. 2012. Investigation of the capability of IRS-P6-LISS IV data for density mapping of pistachio forests (Case study: Khaje kalat forest in Khorasan). Iranian Journal of Forest, 4(4): 311-320 (In Presian).
11. Jazirehi M.H. and M. Ebrahimi Rostaghi. 2013. Silviculture in Zagros. University of Tehran Press, 600 pp (In Persian).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.21.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.196]

12. Kahriman, A., A. Günlü and U. Karahalil. 2014. Estimation of crown closure and tree density using landsat TM satellite images in mixed forest stands. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 42(3): 559–567.
13. Khorrami, R., A.A. Darvishsefat and M. Namiranian. 2008. Investigation on the capability of landsat7 ETM+ data for standing volume estimation of beech stands (Case study: Sangdeh Forests). Iranian Journal of Natural Resources, 60(4): 1281-1289 (In Persian).
14. Korhonen, L., D. Ali-Sisto and T. Tokola. 2015. Tropical forest canopy cover estimation using satellite imagery and airborne lidar reference data. Silva Fennica, 49(5): 1408.
15. Korhonen, L., P. Packalen and M. Rautiainen. 2017. Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 in the estimation of boreal forest canopy cover and leaf area index. Remote Sensing of Environment, 195: 259-274.
16. Kraus, T. 2008. Ground-based validation of the MODIS leaf area index product for east African rain forest ecosystems. Ph.D. Thesis, University of Erlangen-Nuremberg, Nuremberg, Germany, 215 pp.
17. Lu, D. 2005. Aboveground biomass estimation using Landsat TM data in the Brazilian Amazon. International Journal of Remote Sensing, 26(12): 2509-2525.
18. Ma, Q., Y. Su and Q. Gue. 2017. Comparison of canopy cover estimations from airborne LiDAR, aerial imagery, and satellite imagery. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 10(9): 4225-4236.
19. Marvi Mohajer, M.R. 2011. Silviculture. Tehran University Press, Tehran, Iran. 440 pp (In Persian).
20. Meyer, L.H., M. Heurich, B. Beudert, J. Premier and D. Pflugmacher. 2019. Comparison of Landsat-8 and Sentinel-2 data for estimation of leaf area index in temperate forests. Remote Sensing, 11(10): 1160.
21. Miri, N., A.A. Darvishsefat, N. Zargham and Z. Shakeri. 2017. Estimation of leaf area index in Zagros forests using Landsat 8 data. Iranian Journal of Forest, 9(1): 29-42 (In Persian).
22. Mirzaei zadeh, V., M. Niknejzd and S.M. Hojjati. 2015. Estimation of forest canopy density using FCD. Ecology of Iranian Forests, 3(5): 63-75 (In Persian).
23. Moradi, F., A.A. Darvishsefat, M. Namiranian and Gh. Ronoud. 2018. Investigating the capability of Landsat 8 OLI data for estimation of aboveground woody biomass of common hornbeam (Carpinus betulus L.) stands in Khyroud Forest. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 26(3): 406-420 (In Persian).
24. Mothi Kumar, K.E., R. Kumar, P. Kumar, Sattyam, V. Sihag, Partibha, K. Singh, S. Rani, P. Sharma, R.S. Hooda and T.P. Singh. 2018. Forest canopy density assessment using high resolution LISS-4 data in Yamunanagar district, Haryana. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 8: 285-288.
25. Naghavi, H. 2014. Application of Quickbird satellite imagery in estimation of canopy cover in the Zagros forests (Case study: Ghale Gol, Khorramabad). Ph.D. Thesis, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources Universitry, Sari, Iran, 107 pp (In Persian).
26. Neumann, H.H., G.D. Hartog and R.H. Shaw. 1989. Leaf area measurements based on hemispheric photographs and leaf-litter collection in a deciduous forest during autumn leaf-fall. Agricultural and Forest Meteorology, 45(3-4): 325-345.
27. Parma, R. and Sh. Shataee. 2010. Capability study on mapping the diversity and canopy cover density in Zagros forests using ETM+ images (case study Ghalajeh forests, Kirmanshah province). Iranian Journal of Forest, 2(3): 231-242 (In Persian).
28. Pekin, B. and C. Macfarlane. 2009. Measurement of crown cover and leaf area index using digital cover photography and its application to remote sensing. Remote Sensing, 1(4): 1298-1320.
29. Persson, S. 2014. Estimating leaf area index from satellite data in deciduous forests of Southern Sweden. Forestry M.S Thesis, Lund University, 35 pp.
30. Ronoud, Gh., A.A. Darvishsefat, and M. Namiranian. 2018. Estimation of aboveground woody biomass of Fagus orientalis stands in Hyrcanian forest of Iran using OLI data (Case study: Gorazbon and Namkhaneh Districts, Kheyrud Forest). Journal of Forest and Wood Products (Iranian Journal of Natural Resources), 70(4): 559-568 (In Persian).
31. Rowntree R.A. and D.J. Nowak. 1991. Quantifying the role of urban forests in removing atmospheric carbon dioxide. Journal of Arboriculture, 17(10): 269-275.
32. Rudnicki, M., U. Silins and V. Lieffers. 2004. Crow cover is correlated with relative density, tree slenderness and tree height in Logepole Pine. Journal of Forest Science, 50(3): 356–363.
33. Shahvali Kouhshour, A., M. Pir Bavaghar and P. Fatehi. 2012. Forest cover density mapping in sparse and semi dense forests using forest canopy density model (Case study: Marivan forests). Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science, 3(3): 73-83 (In Persian).
34. Song, C., M.B. Dickinson, L. Su, S. Zhang and D. Yaussey. 2010. Estimating average tree crown size using spatial information from Ikonos and QuickBird images: Across-sensor and across-site comparisons. Remote Sensing of Environment, 114: 1099-1107.
35. Taheri Sarteshnizi, M.J. and A. Salehi. 2015. Study on accuracy of assessment of the canopy cover density in a pure Persian Oak stand, by using the method of terrestrial photography. Journal of Zagros Forests Research, 1(2):85-99 (In Persian).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.21.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.196]

36. Taureau, F., M. Robin, C. Proisy, F. Fromard, D. Imbert and F. Debaine. 2019. Mapping the Mangrove forest canopy using spectral unmixing of very high spatial resolution satellite images. Remote Sensing, 11(3): 367.
37. Vafaei, S., R. Maleknia, H. Naghavi and O. Fathi Zade. 2018. Estimation of forest Canopy cover using remote sensing and Geostatistics (Marivan Baghan forests). Journal of Environmental Science and Technology, In press. (In Persian)
38. Yu, Y., J. Wang, G. Liu and F. Cheng. 2019. Forest leaf area index inversion based on Landsat OLI data in the Shangri-La city. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 47(6): 967-976.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.21.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.17.196]

Modeling of Canopy Cover Estimation Using Landsat 8 Satellite OLI Data in the Zagros Forests

Naseh Miri[1] and Ali Asghar Darwish Sefat[2]

1- PhD Student in Forest Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj
2- Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj (Corresponding author: adarvish@ut.ac.ir)
Received: 16 March, 2020 Accepted: 26 July, 2020

Abstract

Canopy cover is an important forest structure parameter with many applications in ecology, hydrology and forest management. This study aimed at investigating the capability of Landsat 8 satellite OLI data for modeling and estimation of forest canopy in a part of the Zagros forests. First the images were evaluated in terms of geometrical and radiometric errors. Required processing such as Vegetation Indices, Principle Component Analysis (PCA), and Tasseled Cap transformation were performed on the images of the study area. To measure aboveground canopy cover using hemispherical photography method, 60 sample plots were designed with a square dimension of 45 × 45 m. The spectral values of the corresponding sample plots were extracted using a polygon map of sample plots. Forest canopy cover was modeled using stepwise multiple linear regression and the accuracy of the model was evaluated via the k-fold cross validation technique. The results of multiple linear regression between canopy cover with main and computational bands showed that the model obtained from SR vegetation index and band 8 with R^2 = 0.662 and RMSE (%) = 15.24 was the best model. Overall, this study demonstrated that the estimation of forest canopy cover is cost-effective and requires low computation power using Landsat 8 satellite.

Keywords: Forest canopy cover, Hemispherical photography, Multiple linear regression, OLI data, Zagros forests

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.17.21.5]

[DOI: 10.52547/ifej.9.17.196]