

تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر لندست ۹ و عکس برداری نیم‌کره‌ای

هادی بیگی حیدرلو*^۱، اسما کرامت میرشکارلو^۲، سمیرا ساسانی‌فر^۳ و بختیار خضریان^۴

۱- محقق پسادکتری، گروه مهندسی جنگل، برنامه‌ریزی مدیریت جنگل و اندازه‌گیری‌های زمینی، دانشکده جنگلشناسی و مهندسی جنگل، دانشگاه براشوف، براشوف، رومانی. (hadi.beygi@unitbv.ro)

۲- کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (karamat6776@gmail.com)

۳- دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (s.sasanifar@yahoo.com)

۴- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (bakhtear.khezryan@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۹

چکیده

هدف از این پژوهش ارزیابی مدل تراکم تاج پوشش جنگل (FCD) و نرم‌افزار تلفن همراه GLAMA در تخمین تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس در شهرستان سردشت است. بدین منظور داده‌های ماهواره‌ای لندست ۹ مربوط به سال ۱۴۰۱ مورد استفاده قرار گرفت. برای اجرای مدل، چهار شاخص شامل: (۱) شاخص پوشش گیاهی پیشرفته، (۲) شاخص خاک لخت، (۳) شاخص سایه، و (۴) شاخص حرارتی محاسبه شدند. سپس با ترکیب و سنتز این شاخص‌ها، شاخص‌های سایه پیشرفته و تراکم گیاهی محاسبه و در نهایت با ادغام این دو شاخص، نقشه مدل FCD تهیه شد. برای اعتبارسنجی مدل تهیه‌شده از عکس برداری نیم‌کره‌ای تحت نرم‌افزار GLAMA استفاده شد. بدین منظور تعداد ۱۰۰ قطعه نمونه مربعی شکل در سطح شهرستان سردشت با تاج پوشش‌های مختلف انتخاب و عکس برداری از تاج پوشش در پنج نقطه از هر قطعه نمونه انجام شد. ارزیابی قابلیت طبقه‌های مختلف مدل FCD تهیه شده برای شهرستان سردشت، نشان‌دهنده صحت کل ۷۶ درصد و مقدار ضریب کاپای ۰/۶۹۷ بود. همچنین نتایج همبستگی بین میانگین مقادیر شاخص تاج پوشش محاسبه شده توسط عکس برداری نیم‌کره‌ای و مقادیر به‌دست‌آمده توسط مدل FCD همبستگی بالا ($R^2=0/985$) و معنی داری ($p\text{-value} < 0/0001$) را نشان داد. از این رو، می‌توان بیان داشت که مدل FCD تهیه شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۹ و نرم‌افزار تلفن همراه GLAMA دارای کارایی بسیار مناسبی در جنگل‌های زاگرس در تخمین درصد تراکم تاج پوشش اراضی جنگلی هستند.

واژه‌های کلیدی: تاج پوشش، زاگرس، عکس برداری نیم‌کره‌ای، لندست ۹، نرم‌افزار موبایل GLAMA.

مقدمه

از طرفی آماربرداری زمینی و استفاده از روش‌های معمول میدانی به‌منظور تهیه نقشه‌های مربوط به پوشش جنگل، پرهزینه بوده و انجام دوره‌ای آن، بسیار زمان‌بر است. بنابراین ابداع روشی برای خودکار نمودن فرایند تهیه نقشه از مناطق بزرگ جنگلی و کسب اطلاعات بهنگام برای انجام عملیات جنگلداری، که با دقتی معمول، هزینه مالی و زمانی کمتری داشته باشد، همواره مورد توجه بوده است (Phan et al., 2020).

برآورد تغییرات پوشش اراضی جنگلی با استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور برای ارزیابی مناطق با مقیاس بزرگ مقرون به‌صرفه‌تر هستند (Su Mon et al., 2012). داده‌های ماهواره‌ای به‌دلیل برخورداری از مزایایی چون سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار، هزینه کمتر، امکان دسترسی به مناطق صعب‌العبور، سهولت پردازش و امکان استفاده توأم با داده‌های زمینی به‌عنوان گزینه مناسبی در جمع‌آوری اطلاعات تغییرات پوشش اراضی جنگلی مطرح هستند (Witharana and Lynch, 2016). در سال ۱۹۹۷، انجمن مشاوران جنگلداری برون مرزی ژاپن یا JOFCA (Japan Overseas Forestry Consultants Association)، مدل تراکم تاج پوشش جنگل یا FCD (Forest Cover Density) را به‌عنوان روشی سریع برای تهیه نقشه تراکم جنگل از روی تصاویر ماهواره‌ای (برحسب معیار درصد تاج پوشش) ابداع نمود. این مدل بر اساس روابط موجود میان تراکم پوشش درختی و داده‌های ماهواره‌ای لندست به‌وجودآمده است و نیازی به نمونه‌های تعلیمی برای طبقات تراکمی جنگل ندارد. این مدل توسط Rikimaru and Miyatake (1997)، Roy (1997) و Rikimaru et al. (1998) و Firman et al. (2004) به‌ترتیب در کشورهای هندوستان، میانمار و اندونزی مورد استفاده قرار گرفته و نتایج خوبی به‌همراه داشته است. همچنین تغییرات پویایی پوشش جنگلی و تراکم

توزیع و تغییرات اراضی جنگلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های سنجنش از دور در پژوهش‌های مختلف با موفقیت مورد ارزیابی قرار گرفته است (Fortin et al., 2020; Guo et al., 2022). تراکم پوشش جنگلی، یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های کمی است که در آشکارسازی تغییرات تاج پوشش و برنامه‌ریزی و اجرای طرح‌های جنگلداری، به‌ویژه جنگل‌های مخروطیه، مورد توجه و استفاده قرار می‌گیرد (Moeinazad Tehrani et al., 2008). این ویژگی تنها مشخصه فیزیولوژیک اصلی جنگل را شامل می‌شود (Nandy et al., 2003).

مقدار تخریب جنگل‌های زاگرس در غرب ایران که با توجه به پژوهش‌های گرده‌شناسی دارای قدمتی بیش از ۵۰ قرن هستند (Amiri et al., 2017; Naghavi et al., 2009)، ناشناخته مانده است. این پهنه رویشی از دیرباز به سبب فعالیت‌های روستاییان، جنگل‌نشینان، و عشایر در معرض تخریب‌های فراوان بوده است. آسیب‌هایی که موجب تبدیل اراضی جنگلی در بخش‌هایی از آن و سبب سیر قهقرایی در قسمت‌های دیگر شده است (Beygi Heidarlou et al., 2023). تخریب جنگل‌های زاگرس با کاهش کیفیت جنگل و زی‌توده و با باز شدن تاج پوشش مشخص می‌شود. از این‌رو، مدیریت این جنگل‌ها در چارچوب یک سیاست جنگلداری منسجم کاملاً ضروری به‌نظر می‌رسد. از آنجایی‌که پوشش گیاهی موجود در این جنگل‌ها قادر به تولید چوب صنعتی نیست (Shahvali Kouhshour et al., 2014)، بنابراین نمی‌توان حجم توده جنگلی را به‌عنوان یک عامل بررسی و اندازه‌گیری مورد استفاده قرار داد (Chandrashekhar et al., 2005). در نتیجه باید از مشخصه دیگری مانند تاج پوشش برای بررسی روند تحولات کمک گرفت (Anand et al., 2018).

آن در منطقه ساحلی سوریه بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر لندست بررسی شده است که نتایج نشان‌دهنده کاهش معنی‌داری در تاج پوشش اراضی جنگلی (۲۴/۳ درصد) و جنگل‌های متراکم بوده است (۹/۲ درصد) (Mohamed, 2021). در ایران و در جنگل‌های زاگرس مدل FCD توسط Shahvali (2014) مورد بررسی قرار گرفت، که در مقایسه با نقشه واقعیت زمینی حاصل از عکس‌های هوایی منطقه با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰، صحت کلی ۶۲ درصد حاصل شده است. همچنین کارایی این مدل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده ETM+ در چهار منطقه از جنگل‌های شمال ایران با صحت کل ۸۵/۴۳ درصد مورد تأیید بوده است (Mirakhorlou, 2005; and Amani, 2005).

تخمین زده می‌شد (Chandrashekhara et al., 2005). برخی از پژوهش‌ها FCD را مترادف با FCC در ارزیابی سطح زمین به کار برده‌اند (Gill et al., 2000; Rautiainen et al., 2005). با این حال، روش خاصی برای تمایز بین FCD و FCC وجود ندارد. این دو شاخص در ارزیابی‌های سنجش‌ازدور یکسان هستند زیرا هر دوی آنها معمولاً به صورت درصدی از کل مساحت جنگل بیان می‌شوند. در این پژوهش، ما از اصطلاح FCD استفاده می‌کنیم که به طور گسترده توسط سایر پژوهش‌ها برای ارزیابی پوشش جنگل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است، به عنوان مثال، Rikimaru and Miyatake (1996)، Joshi et al. (2006)، Prasad et al. (2009) و Pantala et al. (2008).

از این رو، در این تحقیق سعی شد تا ضمن اجرای مدل FCD در سال ۱۴۰۱، نتایج حاصل از آن، با واقعیت زمینی تهیه شده از روی عکس برداری نیم‌کره‌ای (Hemispherical photography) با استفاده از نرم‌افزار تلفن همراه GLAMA از تاج پوشش درختان مقایسه و تراکم تاج پوشش جنگل‌های شهرستان سردشت استخراج شود. همچنین این پژوهش به دنبال بررسی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای لندست ۹ و نرم‌افزار تلفن همراه GLAMA در برآورد مدل FCD و تاج پوشش در وضعیت و شرایط حاکم بر جنگل‌های بلوط غرب زاگرس شمالی است.

مواد و روش‌ها

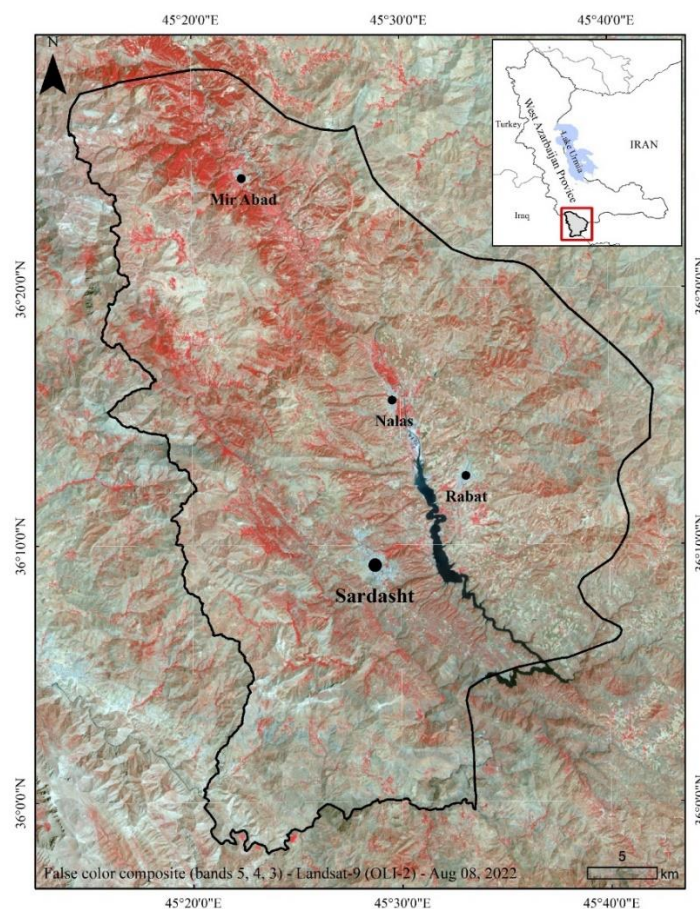
منطقه مورد بررسی

شهرستان سردشت در محدوده ۳۵°۵۷'۳۶" تا ۲۸°۳۶'۱۲" عرض شمالی و ۴۵°۱۳'۴۸" تا ۴۲°۴۵'۰۰" طول شرقی با مساحت ۱۳۸۱/۸۳ کیلومتر مربع، ۳/۸ درصد از سطح استان آذربایجان غربی

هر دو ویژگی FCD و تاج پوشش جنگل یا FCC (Forest Canopy Cover)، ارتباط نزدیکی با تراکم شاخه‌ها و رشد و سلامت درختان دارند (Rikimaru, 1996; Rikimaru and Miyatake 1997; Prasad et al., 2010; Pal et al., 2018, Bera et al., 2020). این رو، تخمین FCC و FCD برای پایش و ارزیابی جنگل‌زدایی و تخریب جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرند (Joshi et al., 2006; Pantala et al., 2008). FCD نشان‌دهنده وضعیت و مقدار تراکم تاج پوشش جنگل در یک منطقه است و به صورت درصدی از کل مساحت جنگل بیان می‌شود. FCC نیز عبارت است از درصدی از مساحت جنگل که توسط تاج درختان اشغال شده است (Pantala et al., 2008). FCD همچنین امکان نظارت بر تغییر شرایط جنگل در طول زمان از جمله تخریب را فراهم می‌کند. علاوه بر این، می‌تواند پیشرفت فعالیت‌های احیای جنگل را ارزیابی کند (Rikimaru et al., 2002). در گذشته FCD برای شناسایی و انتخاب توده‌های مناسب برداشت محصول

جنگل‌های منطقه سنتی است و برای حمایت و تأمین معیشت جوامع محلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مهم‌ترین این فعالیت‌ها قطع شاخه‌های بلوط و درختان کامل برای استفاده به‌عنوان علوفه و سوخت، استخراج غیرپایدار شیره از درختان پسته (*Pistacia mutica*) و تبدیل جنگل‌ها به کشاورزی دیم (به‌ویژه گندم و جو) و باغات انگور است (Beygi Heidarlou et al., 2021).

را دربر گرفته است (شکل ۱). گونه اصلی درختی در جنگل‌های سردشت درختان بلوط، به‌ویژه بلوط ایرانی یا *Quercus persica* Jaub. & Spach، برانته یا *Q. brantii* Lindley، وی‌ول یا بلوط لبنان (*Q. libani* Oliv.)، و دارمازو یا بلوط (*Q. infectoria* Oliv.) است که همگی به‌صورت شاخه‌زاد رشد می‌کنند (Goodarzi et al. 2019, Beygi Heidarlou et al., 2020). شیوه فعلی بهره‌برداری از



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی (شهرستان سردشت)

Figure 1. Location of the study area (Sardasht County)

مدل‌سازی و تحلیل پدیده‌های زیست طیفی با استفاده از داده‌های تهیه شده از چهار شاخص است. این شاخص‌ها شامل شاخص پوشش گیاهی پیشرفته یا (Advanced Vegetation Index) AVI، شاخص خاک لخت (بدون پوشش) یا (Bare Soil Index) BSI،

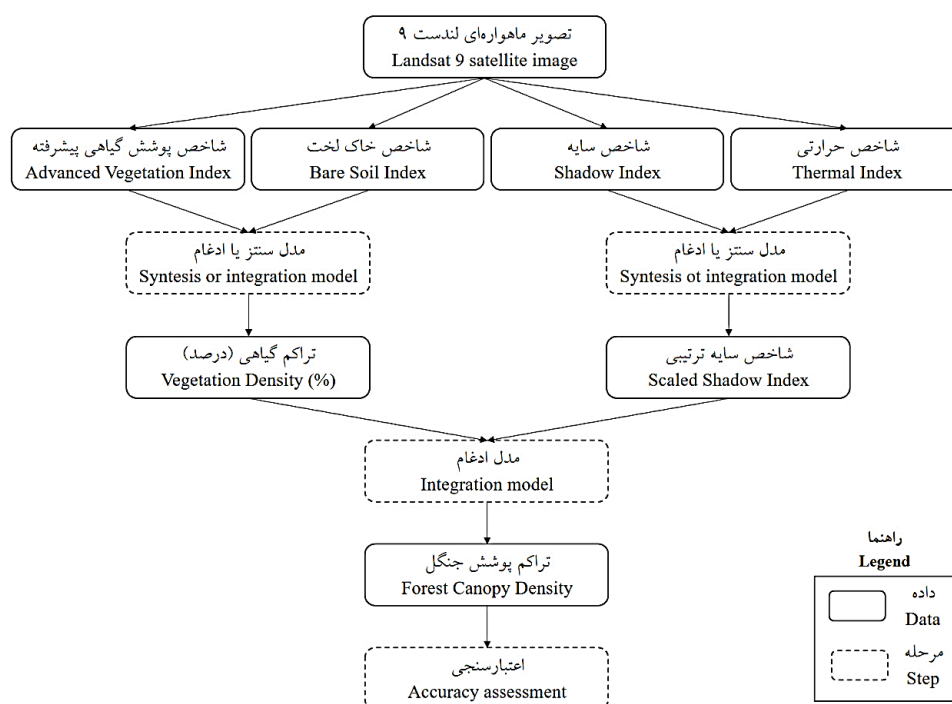
داده‌ها و روش کار

برای ارزیابی تراکم تاج پوشش جنگل از تصاویر لندست ۹ در سال ۱۴۰۱ استفاده شد. مدل FCD، تراکم تاج پوشش جنگل را به‌عنوان یک ویژگی ضروری برای توصیف شرایط جنگل در نظر می‌گیرد. این مدل شامل

جنگل ماه‌های مرداد تا آبان ماه است (Sahana et al., 2015)، از این‌رو، در این پژوهش انتخاب تصویر ماهواره‌ای لندست ۹ (سنجده OLI-2) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، در تاریخ ۱۷ مرداد ۱۴۰۱ (August 08, 2022) انجام شد. شکل ۲ مراحل اجرای تحقیق در این پژوهش را نشان می‌دهد.

شاخص سایه یا (Shadow Index) SI و شاخص حرارتی یا (Thermal Index) TI هستند (Rikimaru, 1996; Roy et al., 1997). تراکم تاج پوشش بر حسب درصد برای هر پیکسل محاسبه می‌شود.

فناوری پوشش گیاهی یکی از عوامل مهمی است که برای طبقه‌بندی مؤثر تراکم جنگل باید در نظر گرفته شود. با توجه به اینکه دوره رشد بهینه تاج پوشش



شکل ۲- فلوجارت مراحل انجام پژوهش حاضر

Figure 2. Flowchart of the present research steps

شاخص AVI به فعالیت شاخ و برگ تاج پوشش حساس است و تفاوت‌های ظریف را می‌توان با استفاده از درجه توان پاسخ باند مادون قرمز بهبود بخشید. همچنین این شاخص در مقایسه با دیگر شاخص‌های پوشش گیاهی متداول مانند شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی یا NDVI، به کلاس‌های مختلف تراکم جنگل و نمود ظاهری (فیزیوگنومی) آن حساس‌تر است (Danoedoro and Gupita, 2022). شاخص AVI از

در این پژوهش برای تهیه شاخص‌ها و برآورد مدل FCD در شهرستان سردشت از زبان برنامه‌نویسی Python 3.x استفاده شد. زیرا این زبان برنامه‌نویسی به خوبی سازماندهی شده و قابلیت‌های زیادی در حل مشکلات را دارد (Bogdanchikov et al., 2013). بدین منظور برای اجرای مدل از بسته‌های 'rasterio'، 'numpy' و 'scikit-learn' استفاده شد.

شاخص پوشش گیاهی پیشرفته یا AVI

طریق رابطه ۱ (Rikimaru et al., 2002) محاسبه می شود:

رابطه (۱)

$$AVI = \{(B_{NIR} + 1)(256 - B_{Red})(B_{NIR} - B_{Red})\}^{1/3}$$

شاخص خاک لخت (بدون پوشش) یا BI

شاخص BI یک شاخص نرمال شده از تفاوت مجموع دو باند بازتابی (NIR و Blue) و جذب (SWIR و Red) است. این شاخص به تفکیک پوشش گیاهی با زمینه‌های مختلف یعنی پوشش گیاهی متراکم تا خاک لخت کمک می‌کند. شاخص BI از طریق رابطه ۲ (Rikimaru et al., 2002) محاسبه می‌شود:

رابطه (۲)

$$BI = \frac{(B_{SWIR} + B_{Red}) - (B_{NIR} + B_{Blue})}{(B_{SWIR} + B_{Red}) + (B_{NIR} + B_{Blue})} \times 100 + 100$$

شاخص سایه یا SI

نوع آرایش تاج در توده‌های جنگلی منجر به الگوی سایه‌ای می‌شود که بر پاسخ‌های طیفی تأثیر می‌گذارد. توده‌های جنگلی بالغ در مقایسه با منطقه باز محور طیفی نسبتاً مسطح و کم را نشان می‌دهند. بنابراین، توده‌های جنگلی جوان در مقایسه با توده‌های جنگلی بالغ، دارای شاخص سایه تاج پایینی هستند. شاخص SI از طریق رابطه ۳ (Rikimaru et al., 2002) محاسبه می‌شود:

رابطه (۳)

$$SI = \{(256 - B_{Blue})(256 - B_{Green})(256 - B_{Red})\}^{1/3}$$

شاخص حرارتی یا TI

با توجه به اینکه تاج پوشش گیاهی در خنک شدن نسبی محیط، جذب انرژی خورشید و تبخیر از سطح برگ مؤثر است، می‌تواند در تفکیک مناطق با خاک لخت و سایه مؤثر باشد. برای تهیه شاخص حرارتی از داده‌های ماهواره‌ای لندست از روش تابش طیفی استفاده شد. از این‌رو، با توجه به پژوهش (Lwin (2010) یک فرآیند سه مرحله‌ای برای استخراج دمای سطح زمین استفاده شد. تابش (رادینانس) طیفی با استفاده از رابطه ۴

(Rikimaru et al., 2002) محاسبه و سپس با استفاده از رابطه ۵ به درجه حرارت تبدیل شد:

$$L = L_{min} + (L_{max} - L_{min}) \times \frac{DN}{255} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه، L: تابش یا رادینانس طیفی، L_{min} برابر با ۱/۲۳۸ و L_{max} برابر با ۱۵/۶۰۰ و DN: ارزش عددی است.

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L} + 1\right)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه، K_1 : ثابت کالیبراسیون اول (۶۰۷/۷۶)، K_2 : ثابت کالیبراسیون دوم (۱۲۶۰/۵۶) و T_B : دمای سطح زمین است.

ادغام و سنتز شاخص‌ها

به‌عنوان مرحله میانی شاخص‌های AVI و BSI با استفاده از تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) به مقدار تراکم گیاهی یا VD (Vegetation Density) و شاخص‌های SI و TI به شاخص سایه ترتیبی یا SSI (Scaled Shadow Index) با تبدیل خطی SI سنتز شدند. مقادیر این شاخص نسبی بوده و مقدار نرمال شده آن را می‌توان برای محاسبه دیگر عامل‌ها مورد استفاده قرار داد. از آنجایی که پوشش گیاهی و خاک لخت همبستگی بسیار منفی دارند، مقیاس بندی صفر و ۱۰۰ درصد تعیین شده است (Rikimaru et al., 2002). اراضی جنگلی که کمترین و بیشترین مقدار سایه را داشته باشند به ترتیب دارای مقادیر SSI صفر و ۱۰۰ درصد هستند. پوشش گیاهی در تاج و روی زمین را می‌توان به راحتی توسط شاخص SSI متمایز کرد. جزئیات بیشتر در پژوهش‌های (Rikimaru (1996) و (Rikimaru et al. (2002) و (FCD-mapper (2003) قابل دریافت است.

تراکم تاج پوشش جنگل (FCD)

VD و SSI با استفاده از رابطه ۶ برای برآورد مدل FCD در مقیاس درصد تراکم تاج پوشش ادغام شدند. مدل

FCD یک نقشه رستری است که مقدار عددی هر سلول نشان‌دهنده درصد تراکم تاج پوشش در آن محدوده است.

$$FCD = (VD \times SSI + 1)^{1/2} - 1 \quad (6) \text{ رابطه}$$

در نهایت، برای جداسازی اراضی جنگلی و غیر جنگلی، نقشه FCD با نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۰۱

شهرستان سردشت (Beygi Heidarlou et al., 2023)

مورد همپوشانی قرار گرفت تا نقشه درصد تاج پوشش اراضی جنگلی شهرستان در پنج طبقه درصد تاج پوشش و غیرجنگل (جدول ۱) طبقه‌بندی شود.

جدول ۱- طبقه‌های مدل تراکم تاج پوشش جنگل (FCD) در شهرستان سردشت

Table 1. FCD model classes in Sardasht

توصیف Description	طبقه Class
اراضی جنگلی تخریب شده با تراکم تاج پوشش کمتر از ۱۰ درصد Degraded forest lands with canopy density less than 10%	تخریب شده Scrub
کلیه اراضی جنگلی با تراکم تاج پوشش درختی ۱۰ تا ۴۰ درصد All forest lands with tree canopy density of 10% to 40%	تنک Open forest
کلیه اراضی جنگلی با تراکم تاج پوشش درختی ۴۰ تا ۷۰ درصد All forest lands with tree canopy density of 40% to 70%	جنگل نسبتاً متراکم Moderately dense forest
کلیه اراضی جنگلی با تراکم تاج پوشش درختی بیش از ۷۰ درصد All forest lands with tree canopy density of 70% and above	جنگل بسیار انبوه Very dense forest
اراضی که در هیچ یک از طبقات فوق قرار نمی‌گیرند (مانند: اراضی مسکونی، کشاورزی و غیره) Lands not included in any of the above classes (e.g., built-up areas, croplands, etc.)	غیرجنگل Non-forest

بودن تاج و عکسبرداری توسط این برنامه در محل برآورد می‌شود (Tichý, 2015).

عکس برداری نیم‌کره‌ای که به عکس برداری از تاج پوشش نیز شناخته می‌شود، روشی برای تخمین تابش خورشید و مشخص کردن هندسه تاج درختان با استفاده از لنز با زاویه دید بالا یا عدسی چشم ماهی است (Rich, 1990). از مزایای این روش می‌توان به دقت و صحت بالای آنها اشاره کرد، به طوری که در بسیاری از پژوهش‌ها از داده‌های حاصل از این روش به عنوان داده واقعیت زمینی استفاده می‌شود (Montero et al., 2008; Bolibok, 2010; Yuan et al., 2015, Heiskanen et al., 2015; Deljouei et al., 2016).

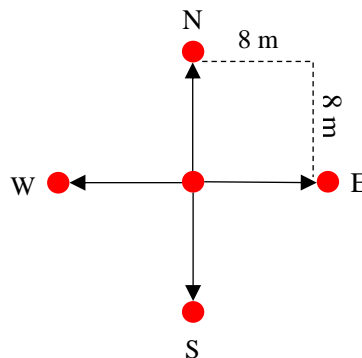
در این تحقیق برای اندازه‌گیری تاج پوشش با استفاده از نرم‌افزار GLAMA در بازه زمانی ۱۵-۳۰ مرداد ۱۴۰۱ به طور تصادفی از ۱۰۰ قطعه نمونه مربعی

برداشت داده‌های زمینی و اعتبارسنجی مدل

در این پژوهش، به منظور اندازه‌گیری تراکم تاج پوشش جنگلی، از تکنیک و نرم‌افزار (GLAMA) (Gap Light Analysis Mobile App) (Tichý, 2014, 2016) استفاده شد. این نرم‌افزار تراکم و درصد تاج پوشش را با استفاده از عکس‌های نیم‌کره‌ای (Hemispherical photos) تخمین می‌زند (Slabejová et al., 2019). این نرم‌افزار به صورت رایگان از وبسایت Google Play در دسترس است و می‌تواند برای عکس برداری‌های نیم‌کره‌ای، زاویه باز و استاندارد (با زاویه دید لنز مشخص) استفاده شود. این برنامه در درجه اول برای تخمین تاج پوشش در عرصه طراحی شد، اما می‌تواند عکس‌های نیم‌کره‌ای ذخیره شده را نیز تجزیه و تحلیل کند. تاج پوشش در این روش با توجه به درصد باز

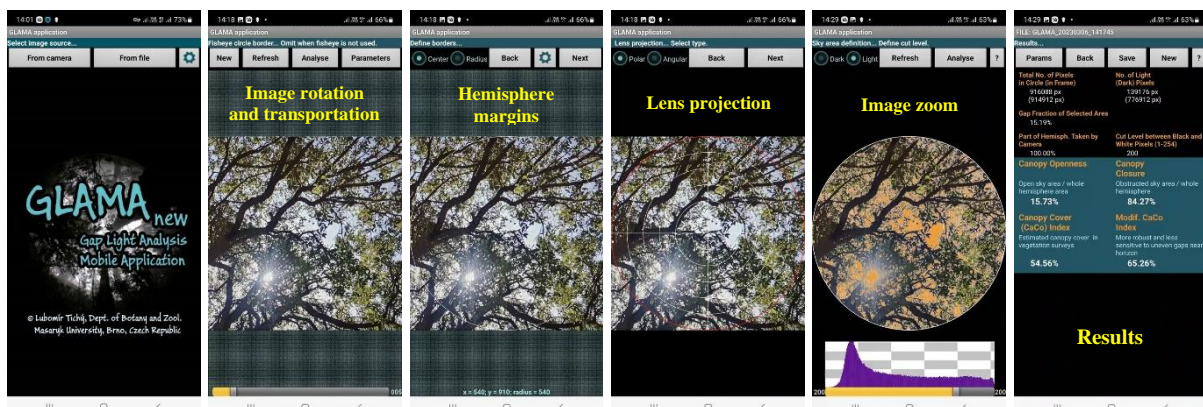
قطعه نمونه هشت متر در نظر گرفته شد (شکل ۳). سپس برای محاسبه تاج پوشش هر قطعه نمونه، میانگین مقادیر تاج پوشش این پنج نقطه محاسبه شد. شکل ۴ نمونه‌ای از عکس برداری از تاج و محاسبه درصد تاج پوشش با استفاده از نرم افزار GLAMA در عرصه را نشان می‌دهد.

شکل در اراضی جنگلی شهرستان سردشت با درصد تاج پوشش‌های مختلف (متراکم تا تنک) استفاده شد. در هر قطعه نمونه علاوه بر مرکز قطعه نمونه، ثبت مختصات جغرافیایی، عکسبرداری در چهار جهت جغرافیایی اصلی نیز انجام شد. فاصله این نقاط از مرکز



شکل ۳- شماتیکی از نمای کلی طراحی نمونه برداری با استفاده از GLAMA با ۵ نقطه (قرمز رنگ) در هر قطعه نمونه

Figure 3. A schematic overview of the sampling design using GLAMA, with 5 points (in red color) on each plot



شکل ۴- نمایی از مراحل محاسبه درصد تاج پوشش با استفاده از نرم افزار GLAMA و عکس برداری انجام شده از تاج

Figure 4. A glimpse of the canopy percentage calculation steps using GLAMA and canopy photographs

GLAMA، از ضریب همبستگی پیرسون و ترسیم نمودار Q-Q plot در نرم افزار XLStat 2019 استفاده شد.

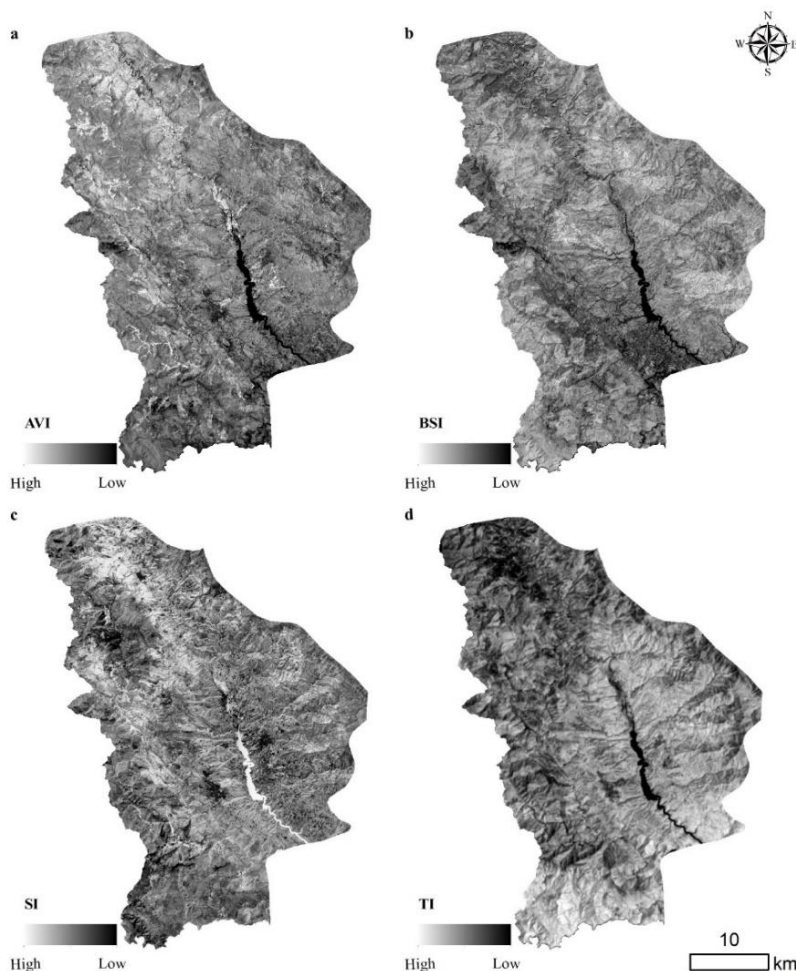
نتایج

استخراج شاخص‌های پوشش گیاهی

برای ارزیابی قابلیت مدل FCD برای شهرستان سردشت، نقشه طبقه‌بندی شده تراکم تاج پوشش جنگل برای شهرستان سردشت با داده‌های به دست آمده از واقعیت زمینی مقایسه و مقادیر صحت کل و ضریب کاپا محاسبه شدند. همچنین برای بررسی قابلیت عکس برداری نیم کره‌ای با استفاده از نرم افزار تلفن همراه

است که وارد محاسبات نشده‌اند. تصویر ۵c مربوط به شاخص سایه تاج پوشش است. مناطق تیره‌تر نشان‌دهنده اراضی است که مقدار سایه در آنها بیشتر است و ارزش این شاخص در آنها زیادتر است. بر اساس شاخص TI، قسمت‌های روشن‌تر نشان‌دهنده ارزش بیشتر این شاخص و مقدار بالای حرارت ساطع شده از سطح زمین در این اراضی است. این اراضی به‌طور عمده مربوط به اراضی بدون پوشش گیاهی جنگلی است که به دلیل مقدار جذب انرژی خورشید بالا، مقدار تبخیر و تعرق نیز در آنها کم است، از این رو حرارت بیشتری از خود ساطع می‌کنند.

شکل ۵ نقشه شاخص‌های گیاهی تهیه شده از باندهای تصاویر ماهواره‌ای را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۵a، شاخص AVI، نیمه جنوبی منطقه و به‌ویژه مناطق مسکونی و شهری و رودخانه زاب (آب جمع شده در پشت سد زاب) به رنگ تیره‌تر دیده می‌شوند. کم بودن مقدار یا عدم وجود پوشش گیاهی در این مناطق دلیل این تیرگی است. شکل ۵b، تصویر حاصل از شاخص BSI یا خاک بدون پوشش رو نشان می‌دهد. در این تصویر اراضی بدون پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی تنک و مناطق تخریب‌شده به رنگ روشن‌تری قابل مشاهده است. اراضی تیره‌تر نیز نشان‌دهنده سطوح آبی



شکل ۵- نقشه‌های شاخص‌های تراکم تاج پوشش جنگل (FCD) در شهرستان سردشت (a: شاخص AVI، b: شاخص BSI، c: شاخص SI و d: شاخص TI)

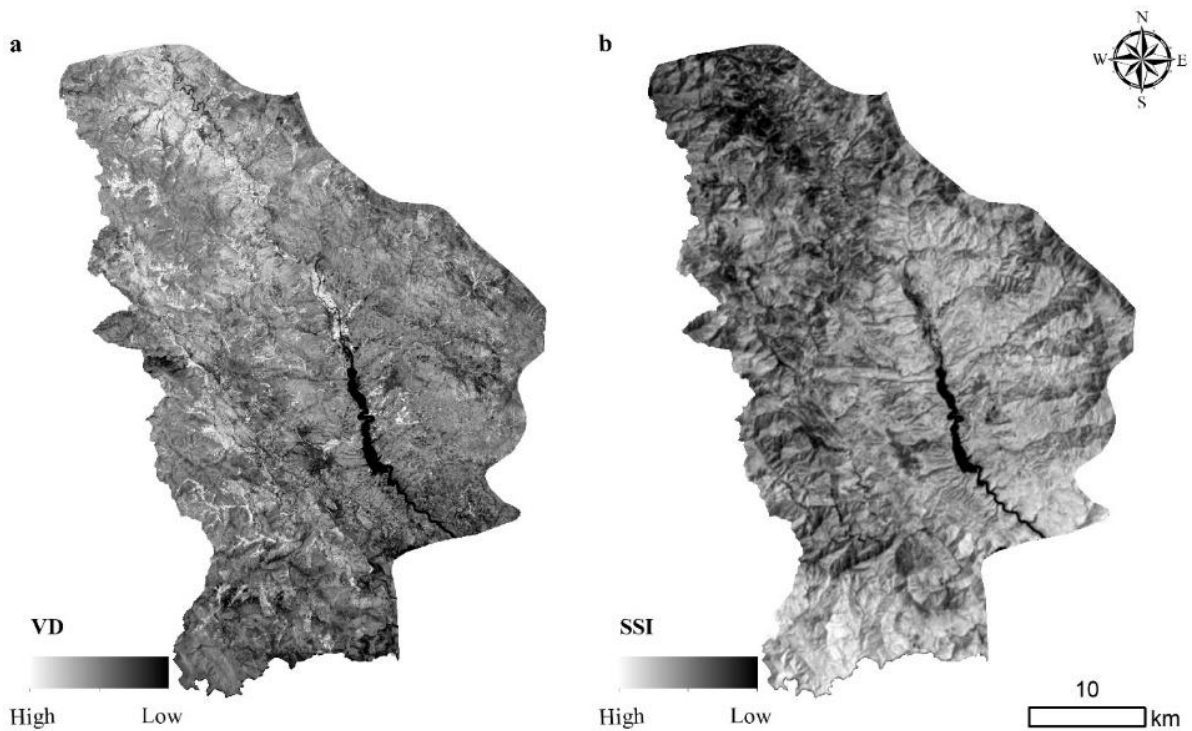
Figure 5. Forest canopy density (FCD) model indexes maps in Sardasht Province (a: AVI index, b: BSI index, c: SI index, and d: TI index)

نشان‌دهنده اراضی جنگلی با تاج پوشش متراکم و مناطق تیره‌تر نشان‌دهنده اراضی جنگلی تخریب‌شده، بسیار تنک و یا بدون تاج پوشش جنگلی است. شکل ۸ و جدول ۲ نتایج طبقه‌بندی نقشه %FCD را در پنج طبقه نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج طبقه تنک و نسبتاً متراکم به ترتیب با ۳۹۳۹۶/۲۰ و ۱۶۵۵۴/۳۰ هکتار بیشترین سطح را به خود اختصاص داده‌اند. اراضی غیرجنگلی حدود ۵۳ درصد از سطح اراضی شهرستان سردشت را در اختیار دارد.

شکل ۶ نشان‌دهنده نقشه شاخص‌های ادغام شده VD و SSI است. ارزش شاخص VD (شکل ۶a) که از ادغام دو شاخص AVI و BSI به دست آمده است با تغییر دامنه آن بین صفر و ۱۰۰ و بر حسب درصد است. شاخص SSI نیز از ادغام دو شاخص SI و TI تهیه شد (شکل ۶b).

مدل تراکم تاج پوشش جنگل (FCD)

شکل ۷ نتیجه حاصل از محاسبه %FCD را به صورت نقشه تراکم نشان می‌دهد. مناطق روشن‌تر در این نقشه



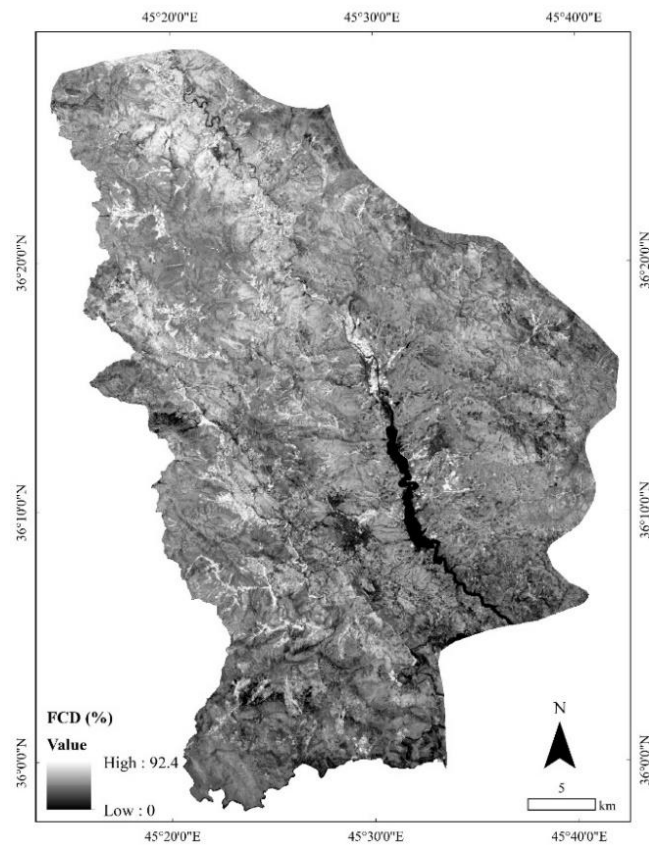
شکل ۶- نقشه شاخص‌های ادغام شده تراکم تاج پوشش جنگل (FCD) در شهرستان سردشت (a: شاخص VD و b: شاخص SSI)

Figure 6. Forest canopy density (FCD) model integrated indexes map in Sardasht Province (a: VD index, b: SSI index)

جدول ۲- مساحت هر کدام از طبقات مدل FCD در شهرستان سردشت

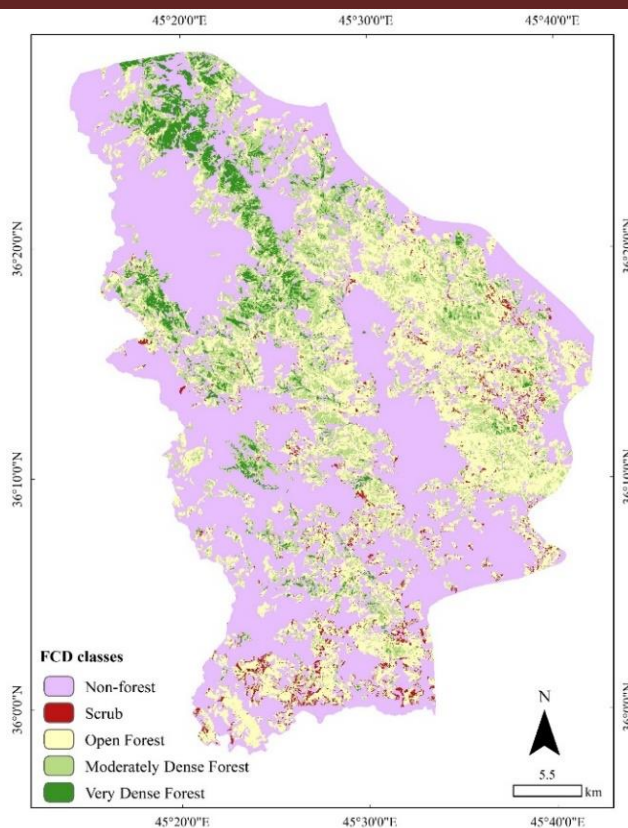
Table 2. Area of each FCD model classes in Sardasht city

مساحت		طبقه تراکم تاج پوشش جنگل FCD class
درصد Percent	هکتار Hectare	
2.16	2984.23	تخریب شده (کمتر از ۱۰ درصد) Scrub (less than 10%)
28.46	39396.20	تنک (۱۰-۴۰ درصد) Open forest (10-40%)
11.96	16554.30	جنگل نسبتاً متراکم (۴۰-۷۰ درصد) Moderately dense forest (40-70%)
4.44	6140.38	جنگل بسیار انبوه (بیش از ۷۰ درصد) Very dense forest (more than 70%)
52.98	73337.30	غیر جنگل Non-forest



شکل ۷- نقشه درصد تراکم تاج پوشش جنگل شهرستان سردشت در سال ۱۴۰۱

Figure 7. FCD (%) map of Sardasht city in 2022



شکل ۸- نقشه طبقه‌بندی مدل تاج پوشش جنگل (درصد) سال ۱۴۰۱ شهرستان سردشت

Figure 8. FCD (%) classification map of Sardasht Province in 2022

آن به صورت ماتریس خطا و محاسبه مقادیر صحت کل و ضریب کاپا ارائه شدند (جدول ۳). بر اساس نتایج به دست آمده، مدل FCD استخراجی با صحت کل ۷۶ درصد و مقدار ضریب کاپای ۰/۶۹۷ ارزیابی شد.

برآورد صحت مدل پس از تهیه نقشه FCD، نتایج حاصل با داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری تاج پوشش با استفاده از نرم افزار تلفن همراه GLAMA مقایسه شده و حاصل

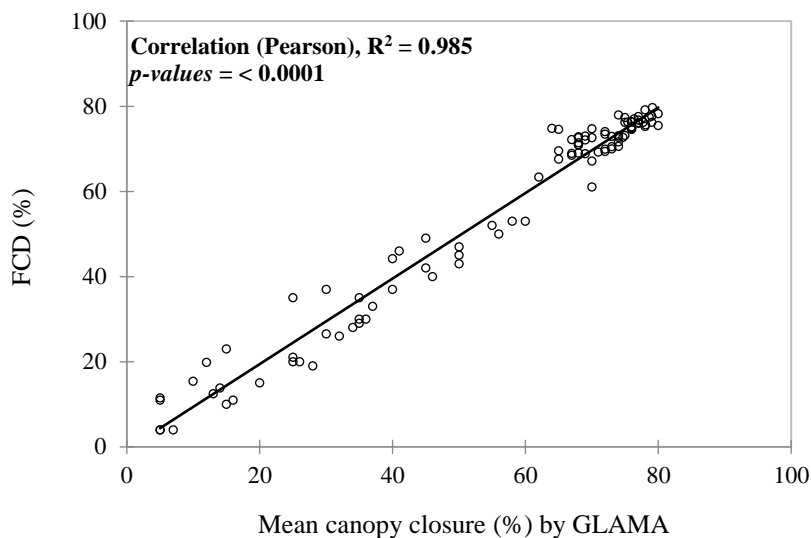
جدول ۳- نتایج برآورد صحت مدل FCD

Table 3. The accuracy estimation results of FCD model

ضریب کاپا Kappa coefficient	صحت کل (درصد) Overall accuracy (%)	صحت کاربر (درصد) User's accuracy (%)	صحت تولیدکننده (درصد) Producer's accuracy (%)	طبقه درصد تاج پوشش Canopy cover class (%)
0.697	76.00	56.25	64.27	کمتر از ۱۰ درصد Less than 10%
		69.57	72.72	۱۰ - ۴۰ درصد 10 - 40%
		75.00	80.00	۴۰ - ۷۰ درصد 40 - 70%
		80.95	73.91	بیش از ۷۰ درصد More than 70%
		91.67	84.62	غیر جنگل Non-forest

نتایج محاسبه همبستگی بین میانگین مقادیر شاخص تاج پوشش محاسبه شده توسط عکس برداری نیم‌کره‌ای با استفاده از نرم‌افزار GLAMA و مقادیر به‌دست‌آمده توسط مدل FCD همبستگی بالا

$(R^2=0.985)$ و معنی‌دار ($p\text{-value}<0.0001$) و انحرافات تصادفی بسیار کمتری را از خط نمودار نسبت به هم نشان داد (شکل ۹).



شکل ۹- همبستگی بین مقادیر درصد تاج پوشش محاسبه شده از عکس‌های نیم‌کره‌ای با نرم‌افزار GLAMA و مقادیر مدل FCD حاصل از لندست ۹

Figure 9. Correlation between canopy cover percentage values produced using GLAMA software from hemispherical photographs and FCD model values taken from Landsat 9

بحث

سخت عرصه‌های جنگلی و دشواری‌های برداشت داده، استقبال و پذیرش مدل‌هایی که بدون داشتن نمونه‌های تعلیمی قدرت تخمین بالایی داشته باشند، بسیار زیاد باشد.

در پژوهش حاضر مقدار صحت کلی و ضریب کاپای طبقه‌بندی درصد تاج‌پوشش در جنگل‌های زاگرس با چهار طبقه سطح تاج‌پوشش و یک طبقه غیرجنگل به ترتیب ۷۶ درصد و ۰/۶۹ به‌دست آمد. Pakkhesal and Bonyad (2013) با طبقه‌بندی سطح تاج‌پوشش در جنگل‌های سفارود خزری با چهار طبقه انبوهی تاج‌پوشش و یک طبقه بایر، بالاترین میزان صحت کلی را ۷۱ درصد و شاخص کاپا ۰/۶۱ را به‌دست آوردند. (Shahvali Kouhshour et al. (2012)

برای استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و به‌کار گرفتن آنها در مدیریت منابع جنگلی مانند تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی و تخمین برخی مشخصه‌های جنگلی نیاز به داده‌های تعلیمی است. دقت و صحت داده‌های تعلیمی در نتایج خروجی حاصل از فن سنجش از دور تأثیرگذار است. اما مدل به‌کار گرفته شده در این پژوهش (FCD) برای تعیین نقشه‌های درصد تاج‌پوشش جنگل نیازی به داده‌های تعلیمی نداشته و تنها برای تعیین صحت از آنها استفاده شد. این یکی از مزیت‌های روش حاضر است که استفاده و آزمون آن را در شرایط مختلف جنگلی را ضروری کرده است (Pakkhesal and Bonyad, 2013). به‌نظر می‌رسد با توجه به شرایط

بتواند یک پیکسل با ابعاد ۳۰ متری را تحت تأثیر قرار دهد، این امر برای باندهای با ابعاد ۱۵ متر نیز صادق است. اگر نزدیکی و مجاورت درختان به اندازه‌ای باشد که یک پیکسل را تحت تأثیر قرار دهد، آنگاه دیگر با طبقه انبوهی انبوه و بسیار انبوه مواجه خواهیم بود که در مدل FCD به خوبی نمایان می‌شود (Taefi, 2006). در این پژوهش کمترین مقدار صحت تولید کننده و کاربر ۶۴/۲۷ و ۵۶/۲۵ برای طبقه درصد تاج پوشش کمتر از ۱۰ درصد به دست آمده است. به نظر می‌رسد مهم‌ترین مشکل در طبقه‌بندی انبوهی تاج پوشش تداخل طیفی خاک زمینه و پوشش جنگلی است. این مشکل به ویژه در طبقه‌های تنک و نیمه‌انبوه که بازتاب خاک زمینه زیاد است نمود بیشتری دارد (Pakkhesal and Bonyad, 2013)

پژوهشگران اذعان دارند مدل FCD در تشخیص و متمایز نمودن تداخل طیفی خاک زمینه و پوشش جنگلی به ویژه در طبقه‌های تنک و نیمه‌انبوه ناتوان است، اما در آشکارسازی مناطق غیرجنگلی و جلگه‌ای بسیار تنک و نیز جنگل‌های بسیار انبوه دارای مقادیر صحت مطلوب و بالایی است (Moeinazad Tehrani et al., 2007; Taefi, 2006). با این وجود به نظر می‌رسد دقت مدل در مناطقی که پوشش جنگلی انبوه است، بسیار بیشتر از مناطق نیمه‌انبوه باشد.

Moeinazad Tehrani et al. (2007) بیان کردند که کارایی مدل FCD به منظور جداسازی و تفکیک مناطق جنگلی و غیرجنگلی بسیار مناسب است. در این پژوهش بیشترین مقدار صحت کلی و ضریب کاپا مربوط به پنج طبقه تراکم تاج پوشش جنگل را به ترتیب معادل ۶۱ درصد و ۰/۳۸ محاسبه نمودند در حالی که مقدار صحت کاربر و صحت تولیدکننده در طبقه‌بندی طبقه جنگل بسیار انبوه (تاج پوشش بیش از ۷۵ درصد) را به ترتیب برابر با ۹۰ و ۷۵ درصد به دست آوردند. در

تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل در جنگل‌های نیمه انبوه تا تنک مریوان با استفاده از مدل FCD و مقایسه نتایج با واقعیت زمینی حاصل از عکس‌های هوایی، میزان صحت کلی و ضریب کاپا در شش کلاس‌بندی را ۵۲ درصد و ۰/۲۹ به دست آوردند. Mondal et al., (2021) با بررسی طبقات تاج پوشش جنگل با استفاده از مدل FCD در جنگل‌های مانگرو در هندوستان در چهار طبقه، مقدار ضریب کاپا و صحت کل را ۸۶/۱۳ درصد و ۰/۸۰ به دست آوردند. نتایج نشان می‌دهد که تخمین سطح تاج پوشش جنگل با استفاده از مدل FCD در جنگل‌هایی با شرایط مختلف به خوبی می‌تواند بیانگر واقعیت زمینی باشد و از نتایج چنین مدل‌هایی به راحتی می‌توان در دیگر پژوهش‌های مدیریت جنگل بهره برد. دلیل تفاوت در مقدار ضریب کاپا و صحت کلی در پژوهش‌های مختلف می‌تواند مربوط به نوع جنگل، شرایط توپوگرافی و نوع داده‌های ماهواره‌ای و تعلیمی برای برآورد صحت باشد.

با توجه به نتایج مشاهده شد که با افزایش درصد انبوهی طبقه تاج پوشش جنگل، هم درصد صحت تولید کننده و هم درصد صحت کاربر افزایش پیدا می‌کند. این چنین می‌توان بیان کرد که دقت مدل به کار رفته با افزایش درصد سطح تاج پوشش و انبوهی جنگل افزایش پیدا می‌کند. به نظر می‌رسد از این مدل در جنگل‌های انبوه‌تر مانند هیرکانی و ارسباران نیز می‌توان بهره بیشتری برد. (Shahvali Kouhshour et al., 2014) بیان کردند که دقت مدل FCD در تخمین سطح تاج پوشش در جنگل‌های انبوه‌تر بیشتر است. محققان دلیل اصلی ضعف مدل FCD در ارزیابی طبقات جنگلی تنک و نیمه-انبوه را در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری و با توجه به ابعاد معمول تاج-پوشش درختان توضیح دادند. ابعاد تاج پوشش یک درخت در بسیاری از موارد کمتر از حدی است که

این پژوهش نیز مقدار صحت تولیدکننده و صحت کاربر برای طبقه تاج پوشش بیشتر از ۷۰ درصد، به ترتیب ۷۳/۹۱ و ۸۰/۹۵ درصد به دست آمده است. در این راستا (Aguswan et al., 2022) با بررسی انبوهی سطح تاج-پوشش مناطق جنگلکاری شده بعد از آتش سوزی در اندونزی، مناطقی را که نیازمند درختکاری یا بذرکاری مجدد بودند را با صحت کلی ۸۹/۷ درصد شناسایی کرده‌اند. این محققان بیان کرده‌اند استفاده از مدل FCD نتایج قابل قبولی در رابطه با بررسی انبوهی تاج پوشش جنگل برای مدیریت مناسب آن ارائه می‌دهد.

امروزه استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دلیل مزیت‌های فراوان مورد استقبال بسیاری از پژوهشگران و مدیران منابع طبیعی قرار گرفته است (Amini et al., 2022). از طرفی اعتبارسنجی یا برآورد صحت نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های سنجنش از دوری به دلیل اهمیت بسیار زیاد، از حساسیت فراوانی برخوردار است. چه بسا اگر داشتن نمونه‌های تعلیمی نیز به آسانی مقدور باشد زمینه فعالیت‌ها و پژوهش‌های بیشتر و با دقت بالاتر، در عرصه مدیریت جنگل فراهم می‌شود. نرم‌افزار GLAMA (Tichý, 2014, 2016) به-عنوان ابزاری برای تخمین تراکم و درصد تاج پوشش جنگل شناخته شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد (Slabejová et al., 2019). استفاده از نتایج این نرم‌افزار به‌عنوان داده‌های تعلیمی در راستای اعتبارسنجی مدل FCD فرآیندی هوشمندانه و مناسب است. Shukri et al., 2018 با بررسی تغییرات توده‌های جنگلی بعد از ۲۵ سال بهره‌برداری تک‌گزینی در مالزی برای تخمین تراکم جنگل‌های مدیریت شده از تصاویر ماهواره سنتینل استفاده کرده و با استفاده از داده‌های حاصل از GLAMA اعتبارسنجی نتایج را مورد بررسی قرار دادند. در پژوهشی (Tichý 2016) به منظور بررسی دقت GLAMA در تخمین درصد تاج پوشش جنگل، نتایج

حاصل از تصویربرداری در ۷۸ قعه نمونه را با نتایج تخمین درصد تاج پوشش از سوی متخصصان در عرصه، به وسیله رگرسیون بررسی کرده‌اند. این محققان بیان کردند رابطه نزدیکی بین نتایج تعیین درصد تاج-پوشش در عرصه با نتایج حاصل از GLAMA وجود دارد. با وجود چنین نرم‌افزار تخصصی و دقیق، تهیه داده‌های تعلیمی سریع به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های سنجنش از دوری و همچنین استخراج وضعیت تراکم و تاج پوشش جنگل امری کارآمد و مناسب است.

نتیجه‌گیری کلی

آگاهی از وضعیت تراکم تاج پوشش جنگل، اطلاعات مناسبی در رابطه با وضعیت، سلامت و تضمین پایداری جنگل در اختیار مدیران قرار می‌دهد. در این راستا استفاده از مدل‌های برآورد کننده سطح تاج پوشش بدون نیاز به داده‌های تعلیمی، کارایی این اطلاعات را دوچندان می‌کند. مدل FCD با تثبیت کارکرد خود در پژوهش‌های مختلف به‌عنوان ابزاری مناسب برای طبقه‌بندی سطوح مختلف تاج پوشش جنگل در شرایط مختلف، می‌تواند در برنامه‌های مدیریت عرصه‌های جنگلی مورد استفاده قرار بگیرد. مقادیر درصد تاج پوشش محاسبه شده توسط نرم‌افزار GLAMA می‌تواند برای تخمین دقیق تراکم تاج پوشش استفاده شود. این مقادیر قابل مقایسه با مقادیر تخمین زده شده درصد تاج پوشش توسط شخص اندازه‌گیر بوده و تحت تأثیر شخص قرار نمی‌گیرند. از این نرم‌افزار نه تنها می‌تواند تصاویر ذخیره شده از تاج پوشش را مورد بررسی قرار دهد بلکه می‌توان در عرصه با گرفتن عکس‌های نیم‌کره‌ای، مقادیر درصد تاج پوشش را بلافاصله محاسبه و یادداشت کرد. این برنامه به صورت رایگان در دسترس بوده و می‌تواند به‌عنوان یک ابزار تحقیقاتی و آموزشی قدرتمند در برآورد درصد تاج پوشش عمل کند.

References

- Aguswan, Y.; Gumiri, S.; Sukarna, R. M.; Permana, I., Mapping Degraded Area for Tropical Peatland Revegetation Using Forest Canopy Density Model Landsat 8 OLI-TIRS in Central Kalimantan, Indonesia: 10.32526/enrj/20/202200008. *Environment and Natural Resources Journal* **2022**, 20 (4), 426-437.
- Amini, S.; Seyedi, N.; Fatehi, P.; Pir Bavaghar, M., Assessment of elevation and geographical aspect variability on leaf characteristics of trees in the North Zagros forests. *Forest Research and Development* **2022** 8 (4), 355-369 .(In Persian)
- Amiri, T.; Banj Shafiei, A.; Erfanian, M.; Hosseinzadeh, O.; Beygi Heidarlou, H., Determining of effective criteria in locating firefighting station in forest. *Forest Research and Development* **2017** 2 (4), 379-393 .(In Persian)
- Anand, A.; Singh, S.K.; Kanga, S., Estimating the change in forest cover density and predicting NDVI for west Singhbhum using linear regression. *International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation* **2018** 9, 193-203.
- Bera, B.; Saha, S.; Bhattacharjee, S., Estimation of forest canopy cover and forest fragmentation mapping using landsat satellite data of Silabati River Basin (India). *Journal of Cartography and Geographic Information* **2020** 70 (4), 181-197.
- Beygi Heidarlou, H.; Banj Shafiei, A.; Erfanian, M.; Tayyebi, A.; Alijanpour, A., Underlying driving forces of forest cover changes due to the implementation of preservation policies in Iranian northern Zagros forests. *International Forestry Review* **2020** 22 (2), 241-256.
- Beygi Heidarlou, H.; Banj Shafiei, A.; Erfanian, M.; Tayyebi, A.; Alijanpour, A., Forecasting deforestation and forest recovery using Land Transformation Model (LTM) in Iranian Zagros forests. *Forest Research and Development* **2021** 7 (4), 527-544 .(In Persian)
- Beygi Heidarlou, H.; Banj Shafiei, A.; Nasiri, V.; Niță, M.D.; Borz, S.A.; Lopez-Carr, D., Impact of Iran's Forest Nationalization Law on forest cover changes over six decades: A case study of a Zagros sparse coppice oak forest. *Sensors* **2023** 23 (2), 871.
- Bogdanchikov, A.; Zhaparov, M.; Suliyev, R., Python to learn programming. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 423, No. 1, p. 012027). IOP Publishing, **2013**, p. 6.
- Bolibok, L., The use of hemispherical photographs for canopy description and light condition modeling in tree stands. *Lesne Prace Badawcze* **2010** 71 (2), 175-188.
- Chandrashekhar, M.B.; Saran, S.; Raju, P.L.N.; Roy, P.S., Forest canopy density stratification: How relevant is biophysical spectral response modelling approach? *Geocarto International* **2005** 20 (1), 15-21.
- Danoedoro, P.; Gupita, D.D., Combining Pan-Sharpener and Forest Cover Density Transformation Methods for Vegetation Mapping using Landsat-8 Satellite Imagery. *International Journal on Advanced Science, Engineering, and Information Technology* **2022** 12 (3), 881-891.
- Deljouei, A.; Sadeghi, S. M. M.; Abdi, E., Comparing leaf area index at different distances from constructed forest roads edge in Hyrcanian forest (Case study: a hornbeam-beech forest in Kheyroud, Mazandaran). *Forest Research and Development* **2016** 2 (2), 167-178. (In Persian)
- FCD-mapper, Forest canopy density mapper Version 2. International Tropical Timber Organization (ITTO)/the Japan Overseas Forestry Consultants Association (JOFCA) **2003**.
- Fortin, J.A.; Cardille, J.A.; Perez, E., Multi-sensor detection of forest-cover change across 45 years in Mato Grosso, Brazil. *Remote Sensing of Environment* **2020** 238, 111266.
- Gill, S.J.; Biging, G.S.; Murphy, E.C., Modeling conifer tree crown radius and estimating canopy cover. *Forest Ecology and Management* **2000** 126, 405-416.
- Goodarzi, M.; Pourhashemi, M.; Azizi, Z., Investigation on Zagros forests cover changes under the recent droughts using satellite imagery. *Journal of Forest Science* **2019** 65 (1), 9-17.
- Guo, J.; Gong, P.; Dronova, I.; Zhu, Z., Forest cover change in China from 2000 to 2016. *International Journal of Remote Sensing* **2022** 43 (2), 593-606.
- Heiskanen, J.; Korhonen, L.; Hietanen, J.; Pellikka, P. K., Use of airborne lidar for estimating canopy gap fraction and leaf area index of tropical montane forests. *International Journal of Remote Sensing* **2015** 36 (10), 2569-2583.

- Joshi, C.; De Leeuw, J.; Skidmore, A. K.; Van Duren, I.C.; Van Oosten, H., Remotely sensed estimation of forest canopy density: A comparison of the performance of four methods. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **2006** 8 (2), 84-95.
- Mirakhorlou, K.; Amani, M., Estimating forest canopy cover using Landsat7 ETM+ data. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2005** 13 (3), 342-313. (In Persian)
- Moeinazad Tehrani, S. M.; Darvishsefat, A. A.; Namiraniyan, M., Evaluation of FCD Model for estimation of forest density using Landsat 7 imagery (Case study: Chalus Forest). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2008**, 16 (1), 138-124.
- Moeinazad Tehrani, S.M.; Darvishsefat, A.A.; Namiraniyan, M., Evaluation of FCD Model for estimation of forest density using Landsat 7 imagery (Case study: Chalus Forest). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2008** 16 (1), 124-138. (In Persian)
- Mohamed, M.A., An Assessment of Forest Cover Change and Its Driving Forces in the Syrian Coastal Region during a Period of Conflict, 2010 to 2020. *Land* **2021** 10 (2), 191.
- Mondal, I.; Thakur, S.; Juliev, M.; Kumar De, T., Comparative analysis of forest canopy mapping methods for the Sundarban biosphere reserve, West Bengal, India. *Environment, Development and Sustainability* **2021**, 1-26.
- Montero, M. J.; Moreno, G.; Bertomeu, M., Light distribution in scattered-trees open woodlands in Western Spain. *Agroforestry Systems* **2008** 73, 233-244.
- Naghavi, H.; Fallah, A.; Jalilvand, H.; Soosani, S., Determination of the most appropriate transect length for estimation of quantitative characteristics in Zagros forests. *Iranian Journal of Forest* **2009** 1 (3), 238-229. (In Persian)
- Nandy, S.; Joshi, P.K.; Das, K.K., Forest canopy density stratification using biophysical modeling. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* **2003** 31, 291-297.
- Pakhesal, E.; Bonyad, A. E., Classification and delineating natural forest canopy density using FCD model (Case study: Shafarud area of Guilan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2013**, 21 (1), 99-114.
- Pal, S. C.; Chakraborty, R.; Malik, S.; Das, B., Application of forest canopy density model for forest cover mapping using LISS-IV satellite data: a case study of Sali watershed, West Bengal. *Modeling Earth Systems and Environment* **2018** 4, 853-865.
- Panta, M.; Kim, K.; Joshi, C., Temporal mapping of deforestation and forest degradation in Nepal: applications to forest conservation. *Forest Ecology and Management* **2008** 256, 1587-1595.
- Phan, T.N.; Kuch, V.; Lehnert, L.W., Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier—The Role of Image Composition. *Remote Sensing* **2020** 12 (15), 2411.
- Prasad, P.R.C.; Nagabhatla, N.; Reddy, C.S.; Gupta, S.; Rajan, K.S.; Raza, S. H.; Dutt, C.B.S., Assessing forest canopy closure in a geospatial medium to address management concerns for tropical islands—Southeast Asia. *Environmental Monitoring and Assessment* **2010** 160, 541-553.
- Rautiainen, M.; Stenberg, P.; Nilson, T., Estimating canopy cover in Scots pine stands. *Silva Fennica* **2005** 39, 137-142.
- Ray, R.; Paul, A.K.; Basu, B., Application of supervised enhancement technique in monitoring the mangrove forest cover dynamics—a study on Ajmalmari reserve forest, Sundarban, West Bengal. *International Journal of Geoscience and Remote Sensing* **2013** 2 (1), 16-21.
- Rich, P. M., Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. *Remote Sensing Reviews* **1990** 5 (1), 13-29.
- Rikimaru, A., LAMDSAT TM data processing guide for forest canopy density mapping and monitoring model. In ITTO workshop on Utilization of Remote Sensing in Site Assessment and Planning for Rehabilitation of Logged-over Forest. July 30-August 1, Bangkok, Thailand, **1996**, p. 1-8.
- Rikimaru, A.; Roy, P.S.; Miyatake, S., Tropical forest cover density mapping. *Tropical ecology* **2002** 43 (1), 39-47.
- Sahana, M.; Sajjad, H.; Ahmed, R., Assessing spatio-temporal health of forest cover using forest canopy density model and forest fragmentation approach in Sundarban reserve forest, India. *Modeling Earth Systems and Environment* **2015** 1 (4), 1-10.
- Shahvali Kouhshour, A.; Pir Bavaghar, M.; Fatehi, P., Forest cover density mapping in sparse and semi dense forests using forest canopy density model (Case study: Marivan

- forests). *Journal of RS and GIS for Natural Resources* **2014** 5 (2), 49-59. (In Persian)
- Shukri, W. A. H.; Osman, R.; Haqem, A.; Ibrahim, I.; Sood, A. M. In *Assessing success of forest selective management system using geospatial technology*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing: 2018; p 012008.
- Slabejová, D.; Bacigál, T.; Hegedüšová, K.; Májeková, J.; Medvecká, J.; Mikulová, K.; Šibíková, M.; Škodová, I.; Zaliberová, M.; Jarolímek, I., Comparison of the understory vegetation of native forests and adjacent Robinia pseudoacacia plantations in the Carpathian-Pannonian region. *Forest Ecology and Management* **2019** 439, 28-40.
- Taefi, M., Evaluation and optimization of FCD model in order to estimate forest canopy density using Merger data method and image index. *Faculty of survey engineering, Nasir al-din Tusi University* **2006**.
- Tichý, L., Field test of canopy cover estimation by hemispherical photographs taken with a smartphone. *Journal of Vegetation Science* **2016** 27 (2), 427-435.
- Tichý, L., GLAMA-Gap Light Analysis Mobile Application. **2014**.
- Tichý, L., GLAMA-Gap Light Analysis Mobile App-User Manual. Dept. of Botany and Zoology-Masaryk University. Brno, Czech Republic **2015**.
- Witharana, C.; Lynch, H.J., An object-based image analysis approach for detecting penguin guano in very high spatial resolution satellite images. *Remote Sensing* **2016** 8 (5), 375.
- Yun, T.; Li, W.; Sun, Y.; Xue, L., Study of subtropical forestry index retrieval using terrestrial laser scanning and hemispherical photography. *Mathematical Problems in Engineering* **2015** 2015, 206108.

Forest cover density mapping of Zagros forests using Landsat-9 imagery and hemispherical photographs

H. Beygi Heidarlou^{*1}, A. Karamat Mirshekarlu², S. Sasanifar³ and B. Khezrian⁴

1- Postdoctoral Researcher, Department of Forest Engineering, Forest Management Planning and Terrestrial Measurements, Faculty of Silviculture and Forest Engineering, Transilvania University of Brasov, Brasov, Romania. (hadi.beygi@unitbv.ro)

2- MSc of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I.R. Iran. (karamat6776@gmail.com)

3- Ph.D. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I.R. Iran. (s.sasanifar@yahoo.com)

4- Ph.D. Student of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I.R. Iran. (bakhtear.khezryan@gmail.com)

Received: 27.02.2023 Accepted: 08.04.2022

Abstract

The goal of this study is to see how well the forest canopy density (FCD) model and the GLAMA mobile app estimate the canopy cover density of Zagros forests in Sardasht province. Landsat 9 Operational Land Imager-2 (OLI-2) in 2022 was employed for this purpose. Four indices were created to run the model: 1- Advanced Vegetation Index, 2- Bare Soil Index, 3- Shadow Index, and 4- Thermal Index. The Scaled Shadow Index and Vegetation Density index were then computed by integrating and synthesizing indices one and two, as well as indices three and four, and the FCD model map was created by combining these two indices. The created model was validated using GLAMA mobile app and hemispherical photographs. For this purpose, 100 square sample plots in Sardasht city with varying canopy cover were chosen, and photographs of the canopy cover were taken at five positions on each sample plot. The overall accuracy of the FCD model generated for Sardasht Province was 76%, with a Kappa coefficient of 0.697. Furthermore, the correlation results demonstrate a strong ($R^2 = 0.985$) and significant (p -value = <0.0001) correlation between the average canopy cover index values estimated by hemispherical photography using GLAMA software and the values acquired by the FCD model. According to the findings of this study, the FCD model developed using Landsat 9 satellite data and the GLAMA mobile app performs very well in estimating forest land canopy density in Zagros forests.

Keywords: Canopy cover, GLAMA mobile app, Hemispherical photography, Landsat 9, Zagros.

* Corresponding author

Tel: +989141866399