

Research Paper

Improvement of the Forest Canopy Density Model Based on The Addition of the FCC Index and the Average Kernel Implementation

Masoud Taefi Feijani^{1*}, Saeed Azadnejad², Masoud Moradi³

1, 3. Aerospace Research Institute of Iran Ministry of Science, Technology, and Research, Tehran, Iran

2. Faculty of Geodesy & Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

*mstaefi@gmail.com

Awareness of the trend of forest canopy density classification requires an operational exact model for forest crown classification. The primary challenge is the separation of the forest crown from other non-woody vegetation coverings. In the following, previous attempts to improve the performance of the FCD model, in this study, by adding the FCC index and the kernel, improved the average performance of the FCD model. The crown classification of Hyrcanian forests based on images of 2017 Landsat 8 was selected for the results' implementation, evaluation, validation and analysis. Improving the model's accuracy is entirely sensible; even manual interpretation confirms it. The statistical analysis of the results also indicates a 10% and 24% increase in overall accuracy and kappa coefficient of the improved model compared to the initial model. Specifically, the accuracy of these two classes in the improved model results is about 13% and 7%, respectively.

Keywords: Forest canopy density, Forest color composite Index (FCCI), Kernel function, Landsat 8, Hyrcanian Forest

1. Educator (Corresponding Author)
2. M.Sc.
3. Associate Professor

مقاله علمی - پژوهشی

بهبود مدل تراکم تاج پوشش جنگلی مبتنی بر افزودن شاخص FCC و اعمال کرنل میانگین

مسعود طایفی فیجانی^{۱*}، سعید آزادنژاد^۲ و مسعود مرادی^۳

۱ و ۳- پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، تهران، ایران

۲- گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

*mstaefi@gmail.com

آگاهی از روند تغییرات تراکمی عرصه‌های جنگلی نیازمند مدلی کارا برای طبقه‌بندی تاج‌پوشش جنگل است. چالش مقدماتی تفکیک تاج‌پوشش جنگل از سایر پوشش‌های گیاهی غیرجنگلی نظیر بوته‌زارها، نزارها و بیشه‌های متراکم است. هدف اصلی این مقاله بهبود عملکرد مدل تراکم تاج پوشش جنگلی در تفکیک پوشش‌های گیاهی غیرجنگلی از پوشش‌های جنگلی با افزودن شاخص ترکیب رنگی پوشش جنگل توأم با اعمال کرنل میانگین می‌باشد. در این مقاله، طبقه‌بندی تاج پوشش تراکمی جنگل‌های هیرکانی مبتنی بر تصاویر سال ۱۳۹۶ سنجنده لندست ۸ به منظور پیاده‌سازی، ارزیابی، صحت‌سنجی و تحلیل نتایج برگزیده شد. افزایش دقت مدل و حصول نتایج بهتر کاملاً ملموس است. تحلیل آماری نتایج نیز از افزایش ۱۰٪ و ۲۴٪ دقت کلی و ضریب کاپا مدل بهبودیافته نسبت به مدل اولیه حکایت دارد که البته در دو کلاس متراکم و بدون جنگل بارزتر می‌نمود. بصورت مشخص دقت کلاسی این دو منطقه در نتایج حاصل از مدل بهبودیافته به ترتیب حدود ۱۳٪ و ۷٪ افزایش نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: مدل تراکم تاج پوشش جنگلی، شاخص ترکیب رنگی پوشش جنگل، کرنل، لندست ۸ جنگل‌های هیرکانی.

Advanced Shadow Index
(ASI)
Forest Canopy Density
(FCD)

شاخص سایه پیشرفته

مدل تراکم تاج پوشش جنگل

مقدمه

ارزیابی تراکم جنگل‌ها یکی از جنبه‌های مهم مدیریت و نظارت طولانی مدت برای مراقبت و نگهداری از آن‌ها محسوب می‌شود. فناوری سنجنش از دور امکان پایش علمی و مستند میزان تغییرات مناطق جنگلی چه در سطح و چه در حجم و تراکم جنگل در اختیار قرار می‌دهد. به ویژه آنکه در برخی موارد سطح جنگل دست نخورده باقی مانده ولی حجم و تراکم آن دچار صدمه و کاهش جدی شده است. روش‌های سنجنش دوری در تهیه نقشه پوششی از جنگل‌ها عموماً مبتنی بر دو روش طبقه‌بندی و استفاده از مدل‌های فیزیکی هستند. در این میان، اگر چه روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده در مقایسه با روش‌های

علائم و اختصارات

Advanced Vegetation Index (AVI)	شاخص گیاهی پیشرفته
Shadow Index (SI)	شاخص سایه
Bare soil Index (BI)	شاخص خاک بایر
Thermal Index (TI)	شاخص حرارت
L	مقدار رادینانس برگشتی در باند مادون قرمز حرارتی
K ₂ و K ₁	ثابت‌های کالیبراسیون سیستم سنجنده
Forest Color Composite Index (FCCI)	شاخص ترکیب رنگی جنگل
Scaled Shadow Index (SSI)	شاخص سایه‌مقیاس‌شده

۱. مربی

۲. کارشناس ارشد

۳. دانشیار

انجام گرفت. به منظور بررسی بررسی و ارزیابی مدل بهبود یافته، این مدل برای داده‌های لندست ۸ سال ۱۳۹۶ در کل جنگل‌های شمالی ایران پیاده‌سازی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی، مطابق شکل ۱ جنگل‌های هیرکانی یا خزری است که همچون نوارسبزی حاشیه جنوبی دریای خزر و نیمرخ شمالی رشته کوه البرز از آستارا تا گلیداغی را به طول تقریبی ۸۰۰ کیلومتر، عرض ۲۰ تا ۷۰ کیلومتر و ارتفاع ۲۸۰۰ متر از سطح دریا پوشانده‌اند. وسعت زیاد منطقه مطالعاتی سبب متفاوت بودن شرایط دمایی و جوی در منطقه می‌شود. از این روی مدل FCD با چالشی جدی برای محاسبه دقیق تاج- پوشش در هر منطقه مواجه است. در این تحقیق به منظور بررسی عملکرد مدل پیشنهادی و مطالعه تاج پوشش جنگل‌های این منطقه از داده‌های لندست ۸ برای سال ۱۳۹۶ استفاده شد (جدول ۱). بازه زمانی داده‌ها مطابق با بیشینه سبزی‌نگی پوشش جنگلی و کمینه میزان پوشش ابری برگزیده شد.

جدول ۱- فهرست داده استفاده شده برای منطقه

تاریخ شمسی تصویر	تاریخ میلادی تصویر	ردیف	مسیر
۶ شهریور ماه ۱۳۹۶	2017-08-28	۳۴	۱۶۲
۴ تیر ماه ۱۳۹۶	2017-06-25	۳۵	۱۶۲
۲۷ تیر ماه ۱۳۹۶	2017-07-18	۳۴	۱۶۲
۲۷ تیر ماه ۱۳۹۶	2017-07-18	۳۵	۱۶۳
۱۹ مرداد ماه ۱۳۹۶	2017-08-10	۳۴	۱۶۴
۱۹ مرداد ماه ۱۳۹۶	2017-08-10	۳۵	۱۶۴
۱۱ شهریور ماه ۱۳۹۶	2017-09-02	۳۴	۱۶۵
۹ تیر ماه ۱۳۹۶	2017-06-30	۳۵	۱۶۵
۱ مرداد ماه ۱۳۹۶	2017-07-23	۳۳	۱۶۶
۱۷ مرداد ماه ۱۳۹۶	2017-08-08	۳۴	۱۶۶
۲۴ مرداد ماه ۱۳۹۶	2017-08-15	۳۳	۱۶۷
۹ شهریور ماه ۱۳۹۶	2017-08-31	۳۴	۱۶۷

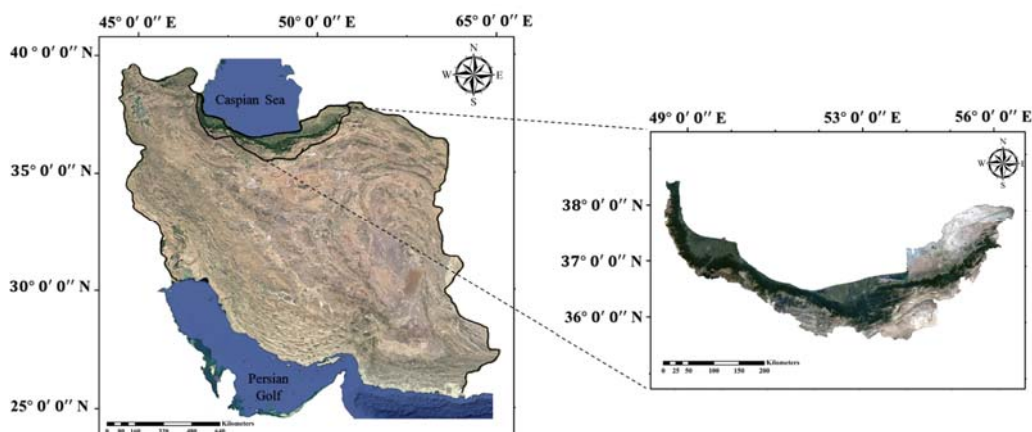
مدل انبوهی تاج پوشش جنگلی

مدل انبوهی تاج پوشش جنگلی به سبب عدم نیاز آن به داده‌های آموزشی به عنوان یکی از روش‌های مناسب و پرترفدار برای مطالعه تاج- پوشش جنگل معرفی می‌شود. این مدل با ترکیب چهار شاخص گیاهی، حرارت، سایه و خاک بایر به شناسایی تاج پوشش جنگلی می‌پردازد. یکی از چالش‌ها و ضعف‌های اصلی این مدل توانایی پایین آن در تفکیک و شناسایی پوشش گیاهی جنگلی از پوشش گیاهی غیرجنگلی است. دقت نتایج حاصل از مدل FCD در کنار عدم نیاز مدل به داده‌های آموزشی، سبب توسعه روزافزون این مدل در دنیا شد. یکی دیگر از نقاط قوت روش مذکور امکان پیاده‌سازی آن بر روی تصاویر رایگان لندست است که سبب می‌شود با کاهش هزینه‌های اجرای پروژه، امکان استفاده از این روش در پایش تغییرات تراکم جنگل فراهم شود.

نظارت نشده از دقت مناسبی در طبقه‌بندی جنگل برخوردار هستند، اما به دلیل نیاز به برداشت داده‌های آموزشی در بسیاری از موارد به دلیل هزینه بالا و دشواری دسترسی به مناطق صعب‌العبور، کارایی خود را از دست می‌دهند. به ویژه اینکه اساساً آگاهی از روند تغییرات مستلزم بررسی سال‌هایی است که اساساً داده آموزشی از آنها وجود ندارد.

یکی از روش‌های مرسوم سنجش از دوری در ارزیابی تراکم جنگل استفاده از مدل نگارگر انبوهی تاج پوشش جنگلی (FCD) می‌باشد. این مدل که نخستین بار توسط ریکیمارو در سال ۱۹۹۶ معرفی شد [۱]، یک روش مقرون به صرفه از لحاظ هزینه و زمان برای تشخیص و تخمین چگالی تاج پوشش در مقیاس ناحیه‌ای و جهانی بشمار می‌رود. این مدل به دلیل مزایای متعدد مانند سهولت اجرا، عدم نیاز به داده آموزشی و عدم تأثیرپذیری از گونه جنگل، مورد توجه پژوهشگران سنجش از دور و جنگل قرار گرفته است. طائفی و علی محمدی با بهبود شاخص FCD با استفاده از باند پانکروماتیک، طبقه‌بندی حاصل از این مدل را در حوضه آبخیز خزر بهبود بخشیدند [۲]. ساعی جمال‌آباد از مدل FCD برای بررسی تغییرات جنگل در سه دوره زمانی تصاویر لندست استفاده نموده‌اند [۳]. هانگ و همکاران در سال ۲۰۰۱ به منظور بررسی دقیق‌تر تراکم تاج- پوشش جنگل‌های واقع در آمریکا از داده‌های لندست ۷ و ترکیب آن‌ها با تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالاتر استفاده کردند [۵]. در پژوهشی دیگر حسینی و همکاران نوسانات بارندگی و تغییرات پوشش گیاهی را در بخشی از مراتع یزد با کمک تصاویر ماهواره‌ای بررسی نمودند [۶]. عزیزی در سال ۲۰۰۸ با استفاده از تصاویر IRS و همچنین حذف شاخص حرارتی، از این مدل برای طبقه‌بندی تراکم جنگل در بخشی از جنگل‌های هیرکانی شمال ایران استفاده نمودند [۴]. ین و همکارانش در سال ۲۰۱۶ با بررسی تغییرات پوشش گیاهی در آسیای مرکزی به مطالعه اثرات ناشی از آن‌ها بر تغییرات اقلیمی پرداختند [۷]. همچنین در سال‌های اخیر مطالعات مختلفی در مطالعه و پایش بخشی از جنگل‌های هیرکانی انجام گرفته است [۸-۱۲]. در حالی که مطالعه منظمی از روند تغییر سطح کل جنگل‌های هیرکانی با یک مدل دقیق وجود ندارد.

یکی از چالش‌های اساسی مدل FCD محاسبه تراکم تاج پوشش در مناطق جنگلی با تراکم پایین و جنگل‌های جلگه‌ای است که در مناطق پست و هموار می‌رویند. حضور سبزی‌نگی ناشی از مناطق کشاورزی در این مناطق سبب می‌شود تا مدل FCD برای تفکیک جنگل از پوشش‌های گیاهی مناطق کشاورزی با یک چالش جدی مواجه شود. از این رو تمرکز این پژوهش در چارچوب رفع این نقیصه با هدف افزایش توانایی آن در تفکیک مناطق کشاورزی از جنگل می‌باشد. این بهبود بر اساس افزودن دو شاخص جدید به این مدل و همچنین اعمال کرنل میانگین جهت حذف مناطق کشاورزی، که مساحت آن‌ها از یک حدی کمتر بوده و به اشتباه به عنوان جنگل شناسایی شده‌اند،



شکل ۱- جنگل‌های ناحیه ریشی هیرکانی به‌عنوان محدوده مورد مطالعه

شاخص گیاهی پیشرفته

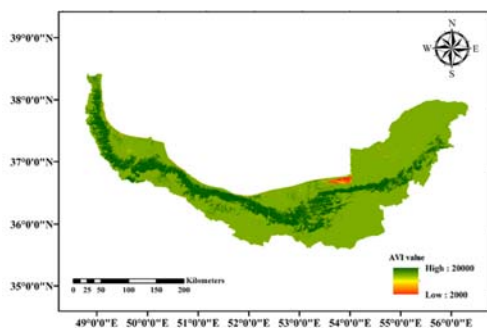
شاخص گیاهی پیشرفته (AVI) به‌عنوان جایگزینی مناسب برای شاخص تفاضلی نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)، ضعف این شاخص را در عدم توانایی حذف اثرات بازتاب پس‌زمینه خاک رفع کرده، منجر به دقت بالاتری در تفکیک پوشش گیاهی از خاک می‌شود. شاخص NDVI از واکنش طیفی شدید گیاهان در بخش مادون قرمز برای تشخیص پوشش گیاهی استفاده می‌کند. در مقابل شاخص AVI بر اساس مقادیر بازتابندگی در باندهای ۴ و ۵ لندست ۸ به صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$B5 - B4 < 0 \Rightarrow AVI = 0$$

$$B5 - B4 > 0 \Rightarrow$$

$$AVI = [(B5 + 1)(65536 - B4)(B5 - B4)]^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

شکل ۳ شاخص گیاهی پیشرفته حاصل از داده‌های لندست ۸ را نشان می‌دهد. مطابق این شکل میزان اختلاف سبزیگی مناطق جنگلی نسبت به مناطق غیر جنگلی بسیار زیاد است. بنابراین این شاخص می‌تواند کمک شایانی به شناسایی تاج-پوشش جنگل داشته باشد.

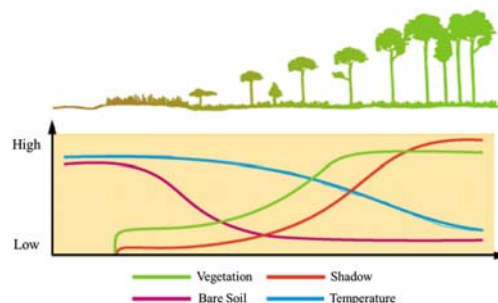


شکل ۳- شاخص گیاهی پیشرفته حاصل از داده‌های لندست ۸ برای جنگل‌های هیرکانی

شاخص‌های طیفی مورد استفاده در مدل FCD

مدل تراکم تاج پوشش جنگل با استفاده از خصوصیات فیزیکی، سیمایی و فیزیوگنومیک، که هر یک از چهار شاخص مذکور بیانگر آن هستند، و در نهایت با ترکیب آن‌ها میزان انبوهی تاج پوشش جنگل بر حسب درصد بیان می‌شود. شکل ۲ رفتار کلی و چگونگی تغییر هر یک از چهار شاخص مدل FCD نسبت به تغییرات انبوهی تاج پوشش را به‌صورت کیفی بیان می‌کند. نکته قابل تامل این است که شاخص گیاهی پیشرفته نسبت به شاخص سایه سریعتر اشباع می‌شود. دلیل این امر آن است که مقدار شاخص گیاهی از همه داده‌های گیاهی اعم از جنگل، چمن‌زار و غیره، صرف‌نظر از میزان تراکم آن‌ها بدست می‌آید، در حالی که افزایش سایه اصولاً با افزایش تاج پوشش که موجب ایجاد سایه می‌شود همراه است.

مطابق شکل ۲، با افزایش تراکم جنگل شاخص‌های دما و خاک بایر کاهش و شاخص‌های گیاهی و سایه افزایش می‌یابند. این نشان از همبستگی دو شاخص دما و خاک بایر و همبستگی دو شاخص سایه و گیاهی با یکدیگر دارد [۱۳]. در ادامه به معرفی هر یک از این شاخص‌ها می‌پردازیم.



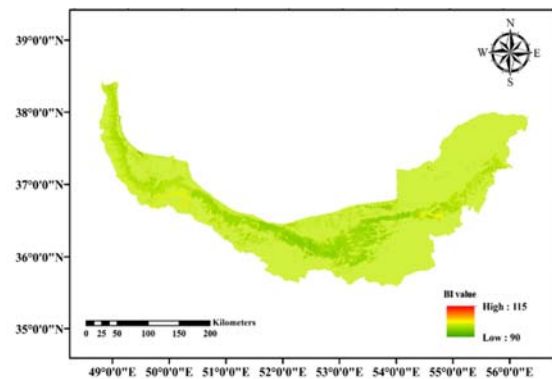
شکل ۲- رفتار طیفی شاخص‌های چهارگانه مدل FCD نسبت به تغییرات میزان انبوهی تاج پوشش

شاخص خاک بایر

شاخص خاک بایر (BI) Bare soil Index از اطلاعات باند مادون قرمز میانی برای متمایز نمودن پوشش گیاهی از دیگر پوشش‌ها و در واقع نواحی فاقد پوشش گیاهی استفاده می‌کند. مبنای این شاخص بر تاثیر متقابل خاک بدون پوشش و خاک حاوی پوشش گیاهی استوار است و برای لندست ۸ طبق رابطه ۲ به دست می‌آید.

$$BI = \frac{(B6+B4)-(B5+B2)}{(B6+B4)+(B5+B2)} \times 100 + 100 \quad (2)$$

شکل ۴ شاخص خاک بایر حاصل از داده‌های لندست ۸ را نشان می‌دهد. مطابق انتظار، شناسایی خاک بایر توسط این شاخص به خوبی انجام گرفته است. مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده مناطق عاری از پوشش گیاهی و مقادیر پایین آن نیز مناطق دارای پوشش گیاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۴- شاخص خاک بایر حاصل از داده‌های لندست ۸ برای جنگل‌های هیرکانی

شاخص سایه گیاهان

شاخص سایه گیاهان (SI) Shadow Index، پارامتر مهمی جهت تفکیک جنگل از پوشش‌هایی مانند بوته و مرتع است. بدیهی است که مقدار این شاخص در جنگل‌های جوان و تقریباً مسطح در مقایسه با جنگل‌های رشدیافته و قدیمی مقدار کمتری را داراست. این شاخص برای لندست ۸ طبق رابطه ۳ قابل محاسبه است.

$$SI = \frac{1}{3} [(65536 - B2)(65536 - B3)(65536 - B4)]^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

شاخص حرارت

شاخص حرارت (TI) Thermal Index صرفنظر از میزان تراکم پوشش گیاهی و تاج پوشش جنگل و صرفاً با هدف متمایز ساختن دو پدیده خاک و گیاه تعریف شده‌است. شاخص حرارتی که منبع آن داده‌های حرارتی مندرج در باند ۱۰ لندست ۸ می‌باشد طبق رابطه ۴ بدست می‌آید.

$$L = L_{min} + \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{255} \right) * Q \quad (4)$$

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L} + 1\right)}$$

که مقادیر پارامترهای آن برای لندست ۸ براساس روابط زیر به دست می‌آید.

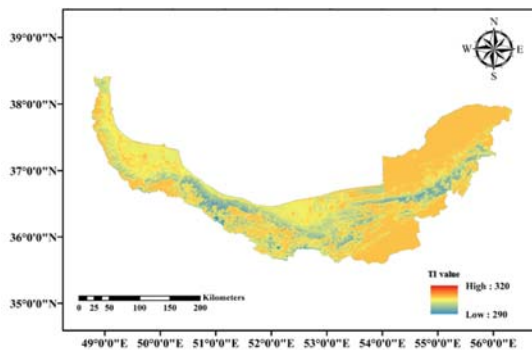
$$K_1 = 774.8853 \frac{\text{watts}}{\text{m}^2 \times \text{ster} \times \mu\text{m}}$$

$$K_2 = 1321.0789 (\text{kelvin}) \quad (5)$$

$$L_{min} = 0.10033 \frac{\text{watts}}{\text{m}^2 \times \text{ster} \times \mu\text{m}}$$

$$L_{max} = 22.00180 \frac{\text{watts}}{\text{m}^2 \times \text{ster} \times \mu\text{m}}$$

که در آن L، مقدار رادیانس برگشتی در باند مادون قرمز حرارتی، Q مقدار عددی پیکسل در باند حرارتی، K₁ و K₂ ثابت‌های کالیبراسیون سیستم سنجنده و بالاخره T، دمای زمینی بر حسب کلوین است. شکل ۵ نشان‌دهنده شاخص حرارت بدست آمده از داده‌های لندست ۸ برای منطقه مطالعاتی در این تحقیق می‌باشد.



شکل ۵- شاخص حرارت حاصل از داده‌های لندست ۸ برای جنگل‌های

هیرکانی

روش پیشنهادی

مدل FCD بهبود یافته

همانطور که گفته شد، علیرغم مزایای غیر قابل انکار مدل FCD، دقت نتایج حاصل از آن در مناطق جنگلی با تراکم پایین و جلگه‌ای قابل قبول نیست. در واقع این مدل توانایی لازم جهت تفکیک کامل این نوع جنگل‌ها از مناطق کشاورزی را ندارد. دلیل این امر نیز مشابهت زیاد پاسخ طیفی جنگل و مناطق کشاورزی است که با شاخص‌های این مدل بدرستی قابل تفکیک نمی‌باشد. به همین دلیل هدف ما در این مقاله بهبود مدل FCD به منظور افزایش دقت نتایج در جنگلی با تراکم پایین و جلگه‌ای قرار گرفت. شکل ۶ روند

که در آن، M میانگین، S انحراف معیار داده‌ها، X مقادیر عددی تصویر اولیه در هر باند و بالاخره Y مقادیر عددی نرمال شده می‌باشند. در مرحله بعد مقادیر شاخص‌های خاک بایر، سایه، حرارت، گیاهی و یک شاخص، که به منظور بهبود مدل FCD به این مدل اضافه کردیم، محاسبه می‌شود. این شاخص، شاخص ترکیب رنگی جنگل Forest Color Composite Index (FCCI) است که طبق رابطه ۷ قابل محاسبه است [۱۴].

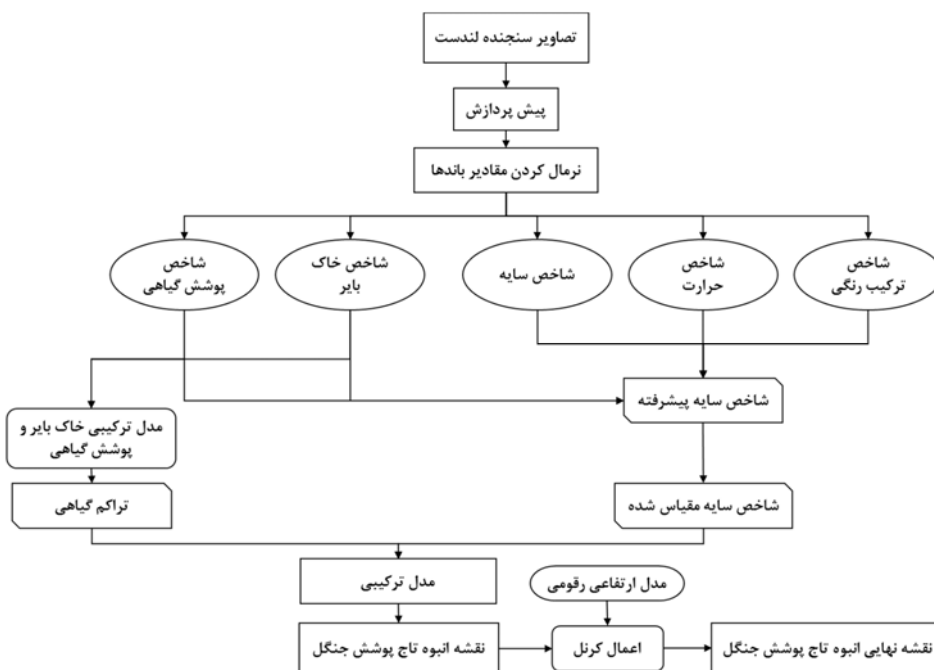
$$FCC = \begin{cases} \text{Red (R)} = \text{SWIR} \\ \text{Green (G)} = \text{NDVI} \\ \text{Blue (B)} = \text{Green} \end{cases}$$

$$FCCI = \frac{\text{SWIR} + \text{NDVI} + \text{Green}}{3}$$

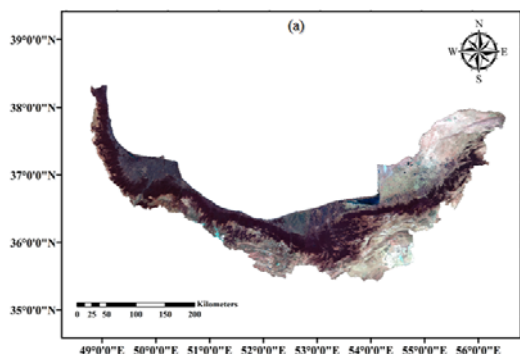
(۷)

$$X_1 = M - 2S, X_2 = M + 2S, Y_1 = 20, Y_2 = 220, A = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} = \frac{20 - 65520}{(M - 2S) - (M + 2S)} = \frac{16375}{S}$$

$$B = -AX_1 + Y_1, Y = AX + B \quad (۶)$$



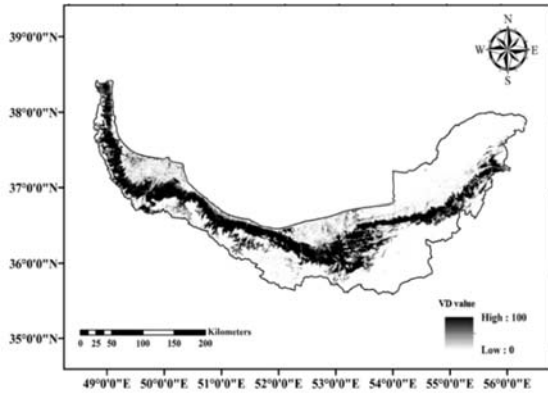
شکل ۶- روندنمای مراحل پیاده‌سازی مدل FCD بهبودیافته



شکل ۷- نمایش منطقه مطالعاتی با (a) ترکیب رنگی پوشش جنگل و (b) ترکیب رنگی کاذب

سه باند SWIR، NDVI و Green که در ترکیب رنگی FCC برای نمایش پوشش جنگلی مورد استفاده قرار می‌گیرند نسبت به دیگر باندها تمایز بیشتری را بین مناطق جنگلی با مناطق کشاورزی و غیرجنگلی ایجاد می‌کنند. برای مثال در شکل ۷-a ترکیب رنگی پوشش جنگل و در شکل ۷-b نمایشی از منطقه مطالعاتی با ترکیب رنگی کاذب (باند ۵، ۴ و ۳) را مشاهده می‌کنیم. مطابق این شکل، اختلاف بین پوشش غیر جنگلی از پوشش جنگلی در ترکیب رنگی پوشش جنگل بیشتر از ترکیب رنگی کاذب است. بنابراین انتظار می‌رود با ترکیب این سه باند (ویژگی)، و تولید شاخص FCCI و تزریق آن به مدل FCD شاهد بهبود نتایج باشیم.

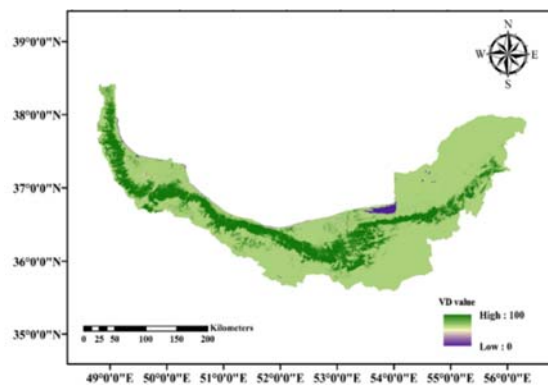
پس از محاسبه شاخص سایه پیشرفته، شاخص سایه مقیاس شده (SSI) را که تبدیل خطی شاخص سایه پیشرفته بوده و مقادیر آن از صفر تا صد مرتب شده است، مطابق شکل ۸ به دست می آوریم.



شکل ۸- شاخص سایه مقیاس شده حاصل از داده های لندست ۸ برای جنگل های هیرکانی

همانطور که در شکل ۸ مشاهده می شود، مقادیر شاخص سایه مقیاس شده بین ۰ و ۱۰۰ است. به طوری که مقادیر بالای آن تراکم بالای پوشش گیاهی را نشان می دهد و مقادیر نزدیک به صفر نیز نشان دهنده مناطق فاقد پوشش گیاهی است.

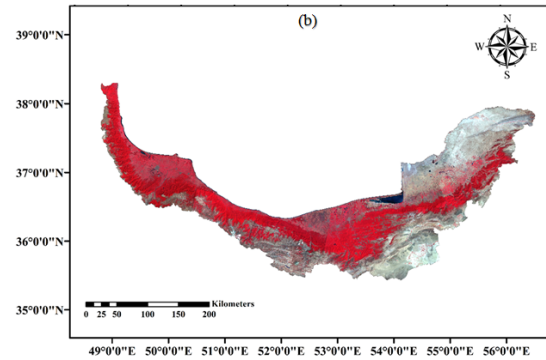
در مرحله بعد شاخص تراکم گیاهی (Vegetation Density) که در واقع مؤلفه اول روش تجزیه مؤلفه های اصلی (PCA) است از ترکیب شاخص های VI و BI احصاء شده و مقادیر آن از صفر تا ۱۰۰ مرتب می شوند.



شکل ۹- شاخص تراکم گیاهی حاصل از داده های لندست ۸ برای جنگل های هیرکانی

گام آتی محاسبه FCD نهایی طبق رابطه ۸ است.

$$FCD = \sqrt{VD \times SSI + 1} - 1 \quad (8)$$



ادامه شکل ۷- نمایش منطقه مطالعاتی با (a) ترکیب رنگی پوشش جنگل و (b) ترکیب رنگی کاذب

در مرحله بعد شاخص سایه پیشرفته (Advanced Shadow Index) محاسبه می شود. شاخص سایه مهم ترین شاخص در مدل FCD می باشد و یکی از پارامترهای مهم در تعیین تاج پوشش است. به طور کلی وجه تمایز بین توده های جنگلی و سایر گیاهان نظیر بوته ها که دارای تاج- پوشش هستند و در دیگر شاخص ها به عنوان پوشش گیاهی و آمیخته با پوشش جنگلی نمایان می شوند را شاخص سایه معین می کند. به بیان ساده تر تمیزدهنده پوشش درختی از دیگر پوشش های گیاهی در مدل FCD می باشد. در مدل FCD معمولی شاخص سایه پیشرفته با آستانه گذاری و ترکیب سه شاخص سایه، گیاهی و حرارت انجام می گیرد. این سه شاخص به تنهایی برای تفکیک پوشش درختی از دیگر پوشش های گیاهی کافی نمی باشند. از طرفی انتخاب حد آستانه مناسب بسیار حساس می باشد، به طوری که انتخاب نادرست حد آستانه منجر به شناسایی اشتباه پوشش گیاهی می شود. به منظور غلبه بر این ضعف ها، در مدل FCD بهبود یافته دو شاخص خاک بایر و ترکیب رنگی جنگل را به منظور کاهش وابستگی و حساسیت به حد آستانه گذاری و همچنین افزایش دقت در تمایز پوشش درختی از دیگر پوشش های گیاهی اضافه کردیم. دلیل افزودن شاخص خاک بایر به مرحله محاسبه شاخص سایه پیشرفته کاهش وابستگی به حد آستانه می باشد. زیرا در حالتی که حد آستانه مناسبی برای یکی از شاخص های حرارتی یا گیاهی انتخاب نشود شاخص خاک بایر از کاهش دقت نتایج تا حدودی جلوگیری خواهد کرد. همچنین همانطور که از هدف این مقاله برمی آید، دلیل افزودن شاخص ترکیب رنگی جنگل افزایش توانایی مدل FCD در شناسایی تعیین تاج- پوشش مناطق جنگلی با تراکم پایین و جنگل های جلگه ای می باشد. بدین ترتیب شاخص سایه پیشرفته با افزودن دو شاخص خاک بایر و ترکیب رنگی جنگل با دقت بالاتری بدست می آید. همچنین

بسیار تنک وانبوه و فراوانی آنها در منطقه می‌باشد. اگرچه توانایی مدل FCD در تشخیص و متمایز کردن پاسخ طیفی خاک زمینه و پوشش جنگلی در کلاس‌های تراکمی تنک و نیمه‌انبوه (تاج‌پوشش بین ۵ تا ۵۰٪) در سطح پیکسل محدود است.

در این تحقیق به منظور غلبه بر چالش جدی مدل FCD دو اقدام صورت گرفت.

- محاسبه شاخص سایه پیشرفته با افزودن شاخص خاک بایر و شاخص FCCI
- اعمال کرنل میانگین و ارتقای توانایی و دقت مدل در تشخیص و تمایز پوشش جنگلی از پوشش غیرجنگلی.

شکل ۱۰ نتایج حاصل از سه مرحله اعمال مدل FCD اولیه، بهبودیافته و بهبودیافته نهایی را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱۰، مدل FCD اولیه عملکرد مناسبی در تفکیک تاج پوشش جنگل از مناطق کشاورزی و سبزیگی غیرجنگلی نداشته است. این نقیصه را مدل بهبود یافته نهایی تا حدود زیادی جبران کرده است. شکل ۱۱ نمای نزدیکتر نقشه تاج- پوشش بدست آمده از دو مدل را در بخشی از یک جنگل جلگه‌های در منطقه نشان می‌دهد.

مطابق شکل ۱۱ مدل FCD بهبودیافته نهایی به مراتب دقت و عملکرد مطلوب‌تری دارد. با در نظر گرفتن حد آستانه ۵، ۲۵ و ۵۰ درصد جهت تفکیک کلاس‌های جنگل متراکم، نیمه متراکم، تنک و فاقد جنگل، تحلیل آماری نتایج به‌دست آمده مبتنی بر تشکیل ماتریس خطای هر طبقه‌بندی در شکل ۱۲ ارائه شده است.

FCD بهبودیافته مرحله اول و (c) FCD بهبودیافته نهایی بررسی ماتریس‌های خطا نشان از بهبود دقت نتایج در مدل FCD بهبودیافته دارد. دقت کلی و ضریب کاپای حاصل از مدل FCD اولیه به ترتیب ۸۶/۰۲٪ و ۶۷/۷۶٪ و برای مدل FCD بهبودیافته ۹۶/۰۹٪ و ۹۱/۵۹٪ بدست آمد که مؤید بهبود عملکرد مدل از منظر آماری است. نکته قابل توجه افزایش دقت طبقه‌بندی کلاس‌های جنگلی متراکم و فاقد جنگل است که حاکی از ارتقای عملکرد مدل بهبود یافته است.

در پایان به منظور بهبود نتایج نقشه انبوه تاج‌پوشش جنگل در نواحی هموار که شاهد جنگل‌های جلگه‌ای و زمین‌های کشاورزی هستیم و مدل FCD با چالش روبرو است، از یک مرحله اعمال کرنل استفاده می‌کنیم. این مرحله بر اساس منطق حداقل واحد مطالعاتی در جنگل، که حدود ۵ هکتار است، انجام می‌گیرد. در واقع این مرحله به منظور حذف پوشش‌های گیاهی غیرجنگلی است که در مناطق جنگل‌های کم‌تراکم به اشتباه به عنوان پوشش درختی انتخاب شده‌اند. این نوع پوشش‌ها معمولاً در مناطق هموار و در ارتفاعات پایین وجود دارند. به همین منظور از مدل ارتفاعی رقومی منطقه برای شناسایی این مناطق استفاده کردیم و مرحله اعمال کرنل را تنها بر روی این مناطق انجام دادیم. زیرا اعمال کرنل در ارتفاعات که تراکم جنگل‌های بالاست، علاوه بر افزایش زمان محاسبات، ممکن است سبب حذف اشتباه برخی از نواحی جنگلی کم مساحت شود.

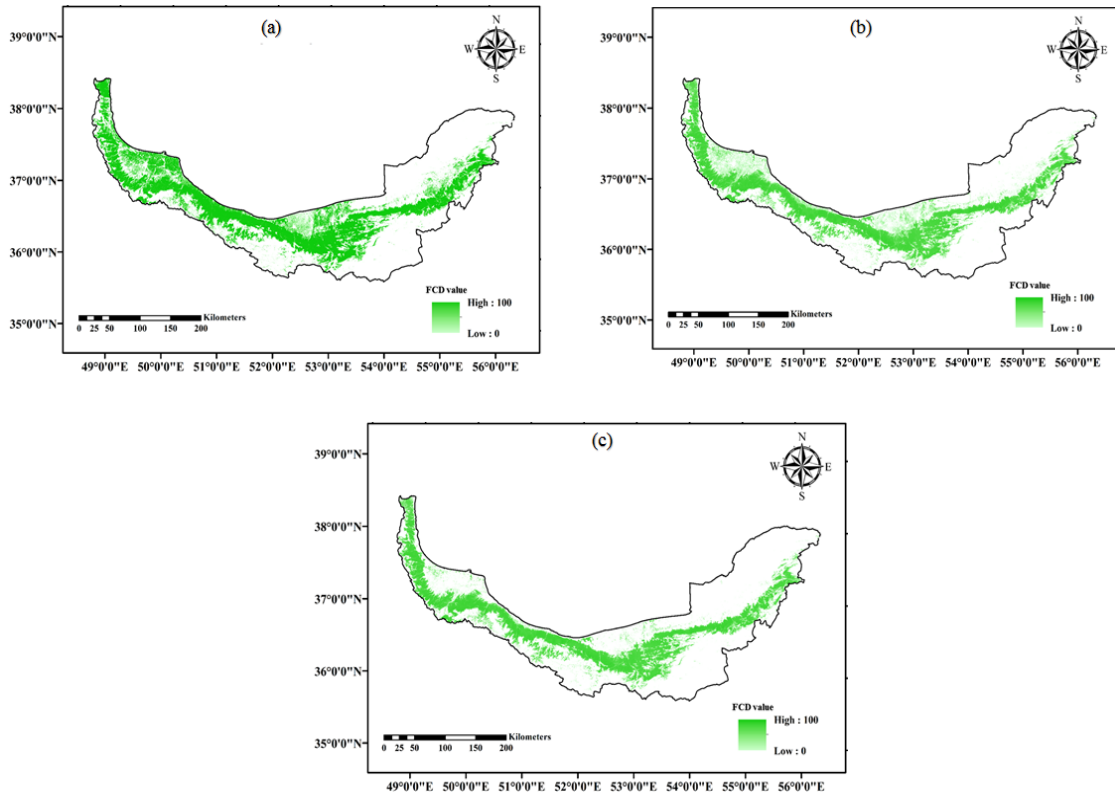
ابعاد این کرنل ۷ در ۷ پیکسل انتخاب شد که با توجه به ابعاد هر پیکسل سنجنده لندست ۸ (حدود ۳۰ متر)، جنگل‌های با مساحت بیشتر از ۰/۴ هکتار اجازه عبور از این کرنل را خواهند داشت و جنگل‌های با مساحت کمتر از این مقدار به عنوان پوشش گیاهی غیرجنگلی حذف می‌شود. فرمول اعمال کرنل ۷ در ۷ به صورت شکل ۱۰ است.

$$I(r, c) = \frac{1}{49} \sum_{j=-3}^3 \sum_{i=-3}^3 I(r+i, c+j) \quad (9)$$

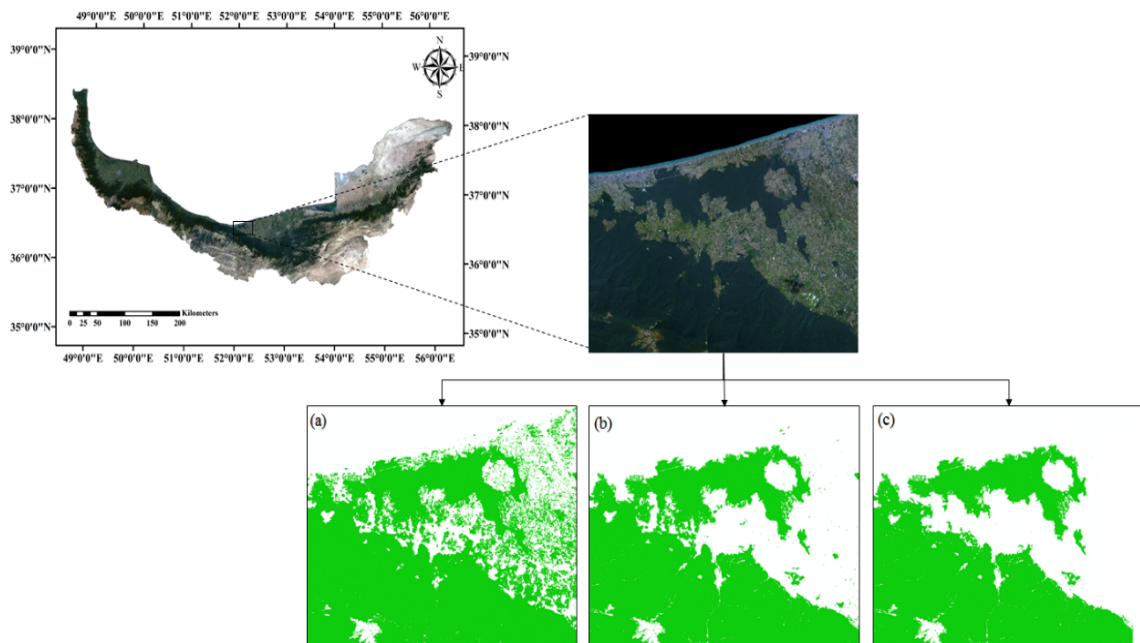
که در آن r شماره سطر پیکسل و c شماره ستون پیکسل مرکزی کرنل است. بدین ترتیب پیکسل‌هایی که میانگین آنها از یک حد آستانه بیشتر باشد به عنوان پیکسل پوشش درختی از کرنل عبور خواهند کرد و در غیر این صورت از نتایج مدل حذف خواهند شد.

نتایج و تجزیه و تحلیل

مزیت عمده مدل FCD متمایز ساختن پوشش سطحی گیاهان از گیاهانی که دارای تاج‌پوشش هستند. در عین حال یکی از مهم‌ترین چالش‌ها تفکیک پوششدرختیاز سایر تاج‌پوشش‌های غیرجنگلی نظیر بوته‌زارها، نیزارها و بیشه‌های متراکم است. میانگین وزنی نسبتاً مناسبی که برای طبقات ۱ و ۴ بدست آمده‌است، ناشی از دقت مدل در تشخیص تاج پوشش‌های



شکل ۱۰ - نقشه تاج پوشش حاصل از مدل FCD (a) اولیه، FCD (b) بهبود یافته مرحله اول و FCD (c) بهبود یافته نهایی



شکل ۱۱ - نمای نزدیک نقشه تاج پوشش مدل FCD (a) اولیه، FCD (b) بهبود یافته مرحله اول و FCD (c) بهبود یافته نهایی

(a)								(b)								
کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	∑	خطای شمول Commission Error	دقت کاربر User's Accuracy		کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	∑	خطای شمول Commission Error	دقت کاربر User's Accuracy		
137363	264	92	11313	149032	0.08	0.92	184089	482	358	2022	186951	0.02	0.98			
5	0	0	12	17	1.00	0.00	84	0	0	19	103	1.00	0.00			
82	0	1	535	618	1.00	0.00	1035	4	48	7320	8407	0.99	0.01			
66786	305	707	365403	422181	0.16	0.84	19008	83	394	357902	377387	0.05	0.95			
∑	204216	569	800	267263	872848		∑	204216	569	800	267263	872848				
خطای هدف Omission Error	0.33	1.00	1.00	0.03	صحت کلی Overall Accuracy	86.02%	خطای هدف Omission Error	0.10	1.00	0.94	0.03	صحت کلی Overall Accuracy	94.82%			
دقت تولید کننده Producer's Accuracy	0.67	0.00	0.00	0.97	ضریب کاپا Kappa Factor	67.76%	دقت تولید کننده Producer's Accuracy	0.90	0.00	0.06	0.97	ضریب کاپا Kappa Factor	88.34%			

(c)							
کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	∑	خطای شمول Commission Error	دقت کاربر User's Accuracy	
192004	482	358	1443	194293	0.01	0.99	
42	0	0	19	61	1.00	0.00	
559	4	48	7415	8026	0.99	0.01	
11811	83	394	368380	370468	0.03	0.97	
∑	204216	569	800	267263	872848		
خطای هدف Omission Error	0.08	1.00	0.94	0.02	صحت کلی Overall Accuracy	96.09%	
دقت تولید کننده Producer's Accuracy	0.94	0.00	0.06	0.98	ضریب کاپا Kappa Factor	91.57%	

شکل ۱۲ - ماتریس خطای نتایج پیاده‌سازی مدل (a) FCD اولیه، (b)

مناسب، عملیاتی و اثربخش برای پایش سالانه روند تغییرات تراکمی این جنگل‌هاست.

مراجع

- [1] Rikimaru, A., "TM Data Processing Guide for forest Canopy Density Mapping and Monitoring Model," *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.
- [2] Taefi Feijani, M., "Evaluation and Optimization of FCD Model in Estimating Forest Canopy Density Classes Using Data Fusion Methods and Image Indices Substitution," Master's Thesis, Tehran, Iran, 2006, 85 p. (In Persian).
- [3] Jamalabad, M.S. and A. A. Abkar, "Forest Canopy Density Monitoring Using Satellite Images," *In Geo-Imagery Bridging Continents XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey*, 2004.
- [4] Azizi, Z., A. Najafi and H. Sohrabi, "Forest Canopy Density Estimating Using Satellite Images," *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 8. 2008.
- [5] Huang, C., Yang, L., Wylie, B. K. & Homer, C., "A Strategy for Estimating Tree Canopy Density Using Landsat 7 ETM+ and High-resolution Images Over Large Areas," *Published in the proceedings of the Third International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry* held in Denver, Colorado, 5-7 November, 2001.
- [6] Hosseini, S.Z., M. Kappas and P. Propastin, Estimating Relationship between Vegetation Dynamic and Precipitation in Central Iran, *Toledo. Spain*, 2011.

بحث و نتیجه گیری

هدف اصلی ما در این پژوهش بهبود صحت عملکرد مدل FCD برای پایش و مساحی تراکمی مناطق جنگلی هیرکانی بود. این بهبود با اضافه کردن دو مرحله ایجاد شد. در مرحله اول با اضافه کردن یک شاخص به نام ترکیب رنگی پوشش جنگل و همچنین شاخص خاک بایر به روند محاسبه شاخص سایه پیشرفته توانایی این مدل را در تفکیک پوشش درختی از پوشش گیاهی غیر درختی افزایش دادیم. در واقع شاخص‌هایی که در مدل FCD اولیه برای محاسبه شاخص سایه پیشرفته استفاده می‌شود توانایی لازم برای متمایز ساختن پوشش درختی از غیر درختی را ندارند. به همین دلیل در مدل FCD بهبود یافته دو شاخص خاک بایر و ترکیب رنگی پوشش جنگل را به روند محاسبه شاخص سایه پیشرفته تزریق کردیم. همچنین در مرحله بعدی با اعمال یک کرنل در محدوده ابعاد واحد استاندارد مطالعاتی جنگل (حداقل ۵ هکتار) مناطق غیرجنگلی که هنوز به اشتباه در مدل به عنوان جنگل شناسایی شده اند حذف گردید. بررسی و ارزیابی نتایج حاکی از بهینه شدن عملکرد مدل FCD بهبود یافته در دو کلاس جنگل تراکم و فاقد جنگل نسبت به مدل FCD اولیه است. که مقادیر آن به ترتیب حدود ۱۳٪ و ۷٪ می‌باشد. همچنین دقت کلی و ضریب کاپا نیز به ترتیب حدود ۱۰٪ و ۲۴٪ افزایش یافت. با توجه به وضعیت جنگل‌های هیرکانی و زیرساخت‌های موجود برای رصد آن‌ها و نیز تهدیدات مختلفی که بقای آنها را هدف قرارداده است، این مدل پیشنهادی

- Polarimetric PALSAR and ETM+ Data in the Hyrcanian Mountain Forest (Iran)." *Remote Sensing*, Vol. 6, No. 5, 2014, pp. 3693-3715.
- [12] Mohammadi, J., S. Shataee, M. Namiranian, and E. Næsset, "Modeling Biophysical Properties of Broad-Leaved Stands in the Hyrcanian Forests of Iran using Fused Airborne Laser Scanner Data and Ultracam-D Images," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Vol. 61, 2017, pp.32-45.
- [13] Liu, J.G., "Evaluation of Landsat-7 ETM+ Panchromatic Band for Image Fusion with Multispectral Bands," *Natural Resources Research*, Vol. 9, No. 4, 2000, pp.269-276.
- [14] Sharma, R., K. Hara, and R. Tateishi, "Developing Forest Cover Composites through a Combination of Landsat-8 Optical and Sentinel-1 SAR Data for the Visualization and Extraction of Forested Areas," *Journal of Imaging*, Vol. 4, No. 9, 2018, p.105.
- [7] Yin, G, Z. Hu, X. Chen, T. Tiyip, "Vegetation Dynamics and its Response to Climate Change in Central Asia," *Journal of Arid Land*, Vol. 8, No. 3, 2016, pp. 375-388.
- [8] Mosavi, B., "Comparison of High Resolution (Quick bird) and Medium Resolution (Landsat8-OLI) Satellite Images Capability In Estimation of Trees Aboveground Biomass," A Thesis of Master Student in Forest Science, *Gorgan University of Agriculture and Natural Resources*, 2015, 132 p.
- [9] Ronoud, Gh. "Estimating Aboveground Woody Biomass of Fagus Orientalis Stands in Hyrcanian forest of Iran using Landsat 8 Satellite Data (Case study: Khyroud forest)," A Thesis of Master Student in forest science, University of Tehran, 2016103p.
- [10] Attarchi, S. "Complex Land Cover Classification and Physical Properties Retrieval of the Hyrcanian Forest: A Multi-Source Remote Sensing Approach," A thesis of PhD student, TU Bergakademie Freiberg, 2014, 130p.
- [11] Attarchi, S., and R. Gloaguen, "Improving the Estimation of Above Ground Biomass Using Dual