



تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل در جنگل‌های نیمه انبوه تا تنک با استفاده از مدل FCD (مطالعه موردی: جنگل‌های مریوان)

ابوطالب شاهولی کوه‌سور^۱، مهتاب پیرباوقار^{۲*}، پرویز فاتحی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

۲. استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

۳. دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه زوریک

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۷ تیر ۱۳۹۲

پذیرش: ۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۳

دسترسی اینترنتی: ۲۲ شهریور ۱۳۹۳

واژه‌های کلیدی:

ماهواره لندست ۷

مدل تراکم تاج پوشش جنگل (FCD)

ارزیابی صحت

جنگل‌های مریوان

چکیده

هدف اصلی این تحقیق، استفاده از روش تراکم تاج پوشش جنگل (FCD) در تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۷ است. منطقه مورد مطالعه بخشی از جنگل‌های شهرستان مریوان واقع در استان کردستان است. تصحیح هندسی داده‌ها با خطای $RMSE$ کمتر از یک پیکسل صورت گرفت. برای اجرای این روش، پردازش‌های اولیه مانند نرمال‌سازی دامنه داده‌ها بر روی ۵ باند اول صورت گرفت و چهارشاخص اصلی یعنی شاخص گیاهی پیشرفته (AVI)، شاخص خاک بدون پوشش (BI)، شاخص سایه (SI) و شاخص حرارتی (TI) محاسبه گردید. در ادامه با استفاده از شاخص‌های اصلی، دو شاخص سایه پیشرفته و شاخص تراکم گیاهی محاسبه و سرانجام نقشه تراکم تاج پوشش جنگل تهیه شد. طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش در سه حالت ۶، ۴ و ۳ کلاسه صورت پذیرفت. جهت برآورد صحت نقشه‌های تراکم حاصل از اجرای روش FCD، نقشه واقعیت زمینی از عکس‌های هوایی منطقه با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ تهیه شد. میزان صحت کلی و ضریب کاپا در طبقه‌بندی ۶ و ۴ کلاسه به ترتیب ۰/۵۲، ۰/۲۹ و ۰/۵۳، ۰/۳۰ بدست آمد. اختلاط طیفی پوشش گیاهی منطقه و بازتاب زیاد خاک زمینه، مخصوصاً در طبقه‌های تنک، دلیل عمده کاهش صحت نقشه‌های تهیه شده می‌باشد. با ادغام طبقات تراکمی تنک‌تر، صحت نقشه‌ها افزایش یافت و بالاترین میزان صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۳۹ در طبقه‌بندی ۳ کلاسه بدست آمد. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان بیان داشت که این روش دارای کارایی مناسب در جنگل‌های زاگرس می‌باشد.

* mahtab_bavaghar@yahoo.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

مقدمه

قدمت تکوین جنگل‌های زاگرس بنا به پژوهش‌های گروه شناسی به بیش از پنجاه قرن می‌رسد (۹). این جنگل‌ها از دیر باز محل زندگی ساکنان و عشایر بوده و در نتیجه در معرض آسیب‌های فراوان بوده‌اند. آسیب‌هایی که موجب محو جنگل در بخش‌هایی از آن و باعث سیر قهقرایی در قسمت‌های دیگر شده است (۲). بنابراین مدیریت این جنگل‌ها در چارچوب یک سیاست جنگلداری منسجم کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. هر گونه برنامه‌ریزی نیازمند گستره وسیعی از اطلاعات همه جانبه و به هنگام است تا با استفاده از آن‌ها جهت اتخاذ تصمیم‌های جامع و کامل، حفظ و استمرار این جنگل‌ها تحقق و تداوم یابد. از آنجایی که پوشش گیاهی موجود در جنگل‌های زاگرس قادر به تولید چوب قابل استفاده در صنایع مربوطه نمی‌باشد، بنابراین نمی‌توان حجم توده جنگلی را به عنوان یک عامل بررسی و اندازه‌گیری مورد استفاده قرار داد. در نتیجه باید از مشخصه دیگری مانند تاج‌پوشش برای بررسی روند تحولات کمک گرفت (۶).

تهیه نقشه‌های تراکم تاج پوشش جنگل از طریق عملیات میدانی و یا عکس‌های هوایی، مشکلاتی مانند صرف وقت و هزینه زیاد، شرایط سخت کار در عرصه و به هنگام نبودن عکس‌های هوایی را به همراه خواهد داشت. چاره‌اندیشی برای تخریب فزاینده منابع طبیعی توجه به راهکارهای علمی جدید در دنیا، با تأکید بر پایداری و تناسب با شرایط زیست محیطی را می‌طلبد (۴). بنابراین همواره سعی می‌شود تا با استفاده از دست آوردهای حاصل شده در زمینه‌های مختلف علمی، مشکلات مذکور را به حداقل رسانید. داده‌های ماهواره‌ای به دلیل برخورداری از مزایایی چون سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار، هزینه کمتر و امکان دسترسی به مناطق صعب العبور، سهولت پردازش و امکان استفاده توأم با داده‌های زمینی می‌تواند به عنوان یک گزینه در جمع‌آوری اطلاعات مطرح شوند (۲۲ و ۲۶).

روش‌های تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش شامل روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده است (۲۷). روش طبقه‌بندی نظارت شده نیازمند تهیه نمونه‌های تعلیمی‌اند که عمدتاً از طریق کار میدانی انجام می‌شود (۷، ۸)، بنابراین

توسعه مدل‌های فیزیکی که نیازی به نمونه‌های تعلیمی نداشته باشد مورد توجه قرار گرفته است. در سال ۱۹۹۷ یک گروه تحقیقاتی در ژاپن مدل Forest Canopy Density Model (FCD) را به همین منظور پیشنهاد داد. پژوهش‌های در زمینه استفاده از این مدل عموماً در مناطق متراکم جنگلی انجام گرفته است.

چاندراشکر و همکاران (۱۲) نقشه طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش بخش جنوبی دره دون از ایالت اوتارانچال را به کمک سه روش طبقه‌بندی، تفسیر چشمی و مدل FCD تهیه نمودند و نتایج را مورد مقایسه قرار دادند. صحت طبقه‌بندی روش FCD، $80/21\%$ ، روش تفسیر چشمی $87/50\%$ و روش طبقه‌بندی $88/71\%$ گزارش شد. جوشی و همکاران (۱۶) عملکرد چهار روش طبقه‌بندی شامل شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون خطی چندگانه، مدل FCD و حداکثر احتمال را جهت تهیه نقشه تراکم تاج پوشش مورد مقایسه قرار دادند.

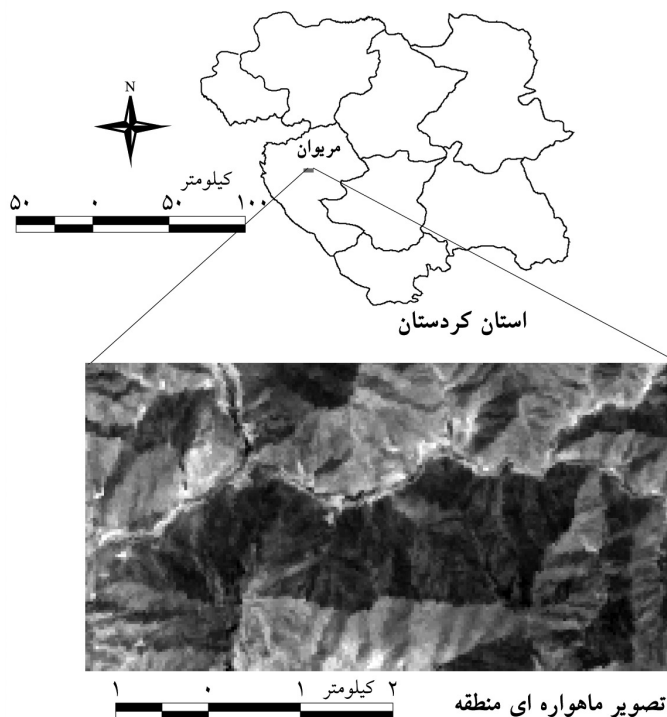
در این مطالعه، صحت کلی نقشه‌های طبقه‌بندی مدل FCD، $49/5\%$ ، روش شبکه عصبی $59/1\%$ ، رگرسیون خطی چند گانه $34/4\%$ و حداکثر احتمال $46/3\%$ گزارش گردید. معین آزاد تهرانی (۸) مدل FCD را برای تراکم جنگل‌های شمال کشور با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۷ مورد ارزیابی قرار داد. نقشه تراکم جنگل به دو صورت ۷ کلاسه‌ای و ۵ کلاسه‌ای بدست آمد. بیشترین میزان صحت کلی و ضریب کاپا در این مطالعه مربوط به روش طبقه‌بندی در ۵ طبقه و به ترتیب ۶۱ و ۳۸ درصد بود. کندوال (۱۷)، روی و همکاران (۲۵)، هاوان و میرلیندا (۱۵) پتتا و کیم (۲۱) نیز در تحقیقات خود روش FCD را مورد استفاده قرار داده و به نتایج رضایت بخشی دست یافتند. رکی مرو و همکاران (۲۳) بیان داشتند که از آنجایی که یکی از مزایای این مدل تفکیک خاک بدون پوشش از پوشش گیاهی است، به نظر می‌رسد که باید در مورد جنگل‌های نیمه انبوه و تنک نیز از کارایی مناسبی برخوردار باشد. بنابراین در این تحقیق سعی شده است، قابلیت تصاویر سنجنده ETM^+ از ماهواره لندست ۷ با استفاده از مدل FCD در تهیه نقشه تراکم تاج پوشش بخشی از جنگل‌های شهرستان مریوان، واقع در استان کردستان مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

UTM با شماره زون ۳۸ شمالی، بین طول‌های ۶۲۳۶۸۰ و ۶۱۷۵۹۵ و عرض‌های ۳۹۳۴۴۶۵ و ۳۹۳۱۹۷۰ می‌باشد. منطقه، کوهستانی و پر شیب است و گونه درختی غالب منطقه را انواع درختان بلوط تشکیل می‌دهد. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

منطقه مورد بررسی با مساحت ۱۵۲۰ هکتار در ۱۰ کیلومتری شرق شهرستان مریوان و در استان کردستان واقع شده است. مختصات جغرافیایی منطقه بر مبنای سامانه تصویر



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان کردستان و تصویر ماهواره‌ای منطقه

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از تصاویر سنجنده ETM^+ مربوط به مهرماه سال ۱۳۸۱ با ۸ باند طیفی، نقشه توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰ مربوط به برگ نقشه چناره، دو قطعه عکس هوایی منطقه با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰ مربوط به مهر ماه سال ۱۳۸۳ و تصویر اورتو شده ماهواره SPOT5 مربوط به سال ۱۳۸۴ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر (جهت انجام عملیات زمین مرجع نمودن)، استفاده گردید.

مبانی مدل FCD

به طور معمول کاربرد سنجنش از دور سنتی در جنگل‌داری، بر اساس آنالیز کیفی داده‌های بدست آمده از نمونه‌های تعلیمی یا واقعیت زمینی است. بر خلاف روش کیفی و سنتی، مدل

FCD پدیده رویش جنگل‌ها را که جزو تحلیل‌های کمی و عددی است را مشخص می‌نماید. در این روش، درجه تراکم جنگل برای هر پیکسل به درصد محاسبه می‌شود. داده‌های مدل FCD، شدت عملیات احیاء سازی مورد نیاز را نشان می‌دهد و همچنین امکان پایش تغییرات ایجاد شده در وضعیت جنگل در طول زمان، مانند کاهش و تخریب جنگل را ممکن می‌سازد (۲۴). مدل FCD، شامل مدل‌سازی بازتابش پدیده‌های زیست-فیزیکی و تحلیل داده‌های به دست آمده از اعمال چهار شاخص پوشش گیاهی پیشرفته (Advanced vegetation index; AVI)، خاک بدون پوشش (Bare soil index; BI)، سایه (Shadow index; SI) و حرارتی (Thermal index; TI) می‌باشد. این مدل نیازی به بازدید زمینی و تهیه اطلاعات حاصل از نمونه‌های تعلیمی جهت محاسبه درصد تاج پوشش

استفاده از اطلاعات باند مادون قرمز میانی که مطابق با رابطه ۴ تعیین گردید (۲۴).

$$BI = \frac{(B1+B3) - (B4-B1)}{(B5+B3) + (B4+B1)} \times 100 + 100 \quad [4]$$

پس از محاسبه شاخص BI، دامنه مقادیر تصویر حاصل به محدوده دامنه ۸ بیتی تغییر داده شد. شاخص سایه (SI) در مدل FCD، برای استخراج اطلاعات مفید در مورد ساختار جنگل به کمک داده‌های سنجش از دور، از رابطه ۵، تعیین گردید.

$$SI = \sqrt[3]{(256 - B1) \times (256 - B2) \times (256 - B3)} \quad [5]$$

شاخص حرارتی (TI) شاخص حرارتی بر اساس پدیده تبخیر از سطح برگ که گرما را کاهش می‌دهد محاسبه می‌گردد. منبع اطلاعات حرارتی، باند مادون قرمز حرارتی داده‌های ماهواره‌های TM و ETM⁺ لندست است (۲۴). جهت محاسبه شاخص حرارتی، ابتدا مقادیر باند ۶، طبق رابطه ۶ به بازتابش مطلق تبدیل گردید و سپس طبق رابطه ۷، شاخص حرارتی محاسبه گردید (۱۶).

$$L = \frac{L_{Max} - L_{Min}}{Q_{Max} - Q_{Min}} (Q - Q_{Min}) + (L_{Min}) \quad [6]$$

که در این رابطه؛ L بازتاب طیفی بر حسب (meter squared / ster × μm) حداکثر بازتاب طیفی در سنجنده؛ LMin حداقل بازتاب طیفی در سنجنده؛ Q = داده‌های رقومی.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L} + 1\right)} \quad [7]$$

که در این رابطه؛ T درجه حرارت ماهواره بر حسب کلونین؛ K₂ ضریب تنظیم ۷۱ / ۱۲۸۲ (بر حسب کلونین)؛ K₁ ضریب تنظیم، ۶۶۶/۰۹ (watts/(meter squared × ster × μm)).

ترکیب چهار شاخص اصلی

تراکم پوشش گیاهی (Vegetation density; VD) از آنجایی که دو شاخص VI و BI، ارتباط منفی زیادی با یکدیگر

ندارد و تهیه واقعیت زمینی تنها به منظور ارزیابی صحت نتایج حاصل، مورد نیاز است (۱۳ و ۱۴). مدل تراکم تاج پوشش، داده‌های حاصل از محاسبه چهار شاخص را باهم ادغام می‌کند.

مراحل انجام مدل FCD

حذف عوامل نامطلوب از تصویر عوامل نامطلوبی مانند نویز و سایه ایرها که بر محاسبات آماری و آنالیزهایی که بر داده‌های تصاویر انجام می‌گیرد، تأثیر منفی دارند، در تصاویر مورد استفاده در این پژوهش مشاهده نشد.

نرمال سازی داده‌ها پس از حذف عوامل مزاحم لازم است دامنه داده‌های تمامی باندهای سنجنده ETM⁺ به غیر از باند ۶ با استفاده از یک تبدیل خطی نرمال شوند (۲۰). در تبدیل یا بسط خطی، حداقل ارزش طیفی به سمت صفر و حداکثر مقدار طیفی به سمت ۲۵۵ میل داده می‌شوند (۱۸).

محاسبه چهار شاخص اصلی

شاخص گیاهی پیشرفته (AVI) ابتدا اختلاف مقادیر دو باند ۴ و ۳ پس از عملیات نرمال سازی طبق رابطه ۱، محاسبه گردید. اگر حاصل این رابطه منفی و کمتر از صفر باشد طبق رابطه ۲، شاخص پوشش گیاهی برابر با صفر می‌باشد. اگر اختلاف مقادیر باند ۳ و ۴ مثبت و بیشتر از صفر باشد از رابطه ۳، جهت محاسبه شاخص پوشش گیاهی پیشرفته استفاده گردید (۲۴).

$$B_{43} = B_4 - B_3 \quad [1]$$

$$B_4 - B_3 \leq 0 \quad AVI = 0 \quad [2]$$

$$AVI = \sqrt[3]{((B_4 + 1)(256 - B_3)(B_4 - B_3))} \quad B_4 - B_3 > 0 \quad [3]$$

که در روابط؛ B = باندهای مختلف ماهواره.

شاخص خاک بدون پوشش (BI) مقادیر حاصل از شاخص گیاهی در مواقعی که پوشش گیاهی ناچیز باشد از صحت قابل قبولی برخوردار نیست. برای برآورد دقیق‌تر وضعیت پوشش گیاهی در مدل FCD، شاخص خاک بدون پوشش BI، که با

تخمین زده شود. برای برطرف نمودن این مشکل شاخص سایه پیشرفته استفاده می‌شود که دامنه داده‌های شاخص سایه را تغییر می‌دهد. این شاخص با روی هم‌گذاری اطلاعات حاصل از شاخص سایه و شاخص حرارتی به دست می‌آید. مهمترین مزایای روش جدید است که به‌طور قابل توجهی توانایی تولید نتایج دقیق‌تری از داده‌ها را نسبت به گذشته فراهم می‌آورد.

محاسبه نقشه تراکم تاج پوشش با ترکیب دو شاخص
درصد تراکم پوشش گیاهی و سایه مدرج طبق رابطه ۸، نقشه تراکم تاج پوشش به دست می‌آید. هر دو شاخص بدون واحد هستند و تراکم پوشش گیاهی را به صورت درصد برای هر پیکسل بیان می‌نمایند.

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

که در این رابطه؛ FCD نقشه تراکم تاج پوشش. تصویر حاصل از اجرای مدل به سه حالت ۶، ۴ و ۳ طبقه، مطابق جدول ۱ طبقه‌بندی گردید.

دارند، تراکم پوشش گیاهی با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و ترکیب دو شاخص (VI و BI) ایجاد گردید (۲۴).

درصد تراکم پوشش گیاهی (VD%) پس از به دست آوردن تراکم پوشش گیاهی با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، دامنه داده‌های تصویر حاصل را از صفر تا ۱۰۰ تغییر داده تا درصد تراکم تاج پوشش به دست آید.

تشخیص خاک سیاه (Black soil detection) با روی هم گذاری اطلاعات دو شاخص SI و TI، تمایز میان مناطقی که خاک سیاه رنگ است یا به دلیل سوختگی سیاه رنگ به نظر می‌رسد امکان‌پذیر خواهد بود. زیرا مناطق دارای خاک سیاه حرارت بیشتری از تابش خورشید را در طول روز جذب می‌نمایند.

شاخص سایه پیشرفته (Advanced shadow index; ASI) وقتی که تراکم تاج پوشش جنگل زیاد است، داده‌های ماهواره‌ای همیشه قادر به مشخص نمودن شدت نسبی سایه نمی‌باشند و در نتیجه ممکن است تراکم تاج پوشش کمتر

جدول ۱. طبقات تراکمی ۶، ۴ و ۳ کلاس‌های تراکم تاج پوشش جنگل

تراکم تاج پوشش (%)			طبقات تراکمی جنگل
طبقه‌بندی ۳ کلاس	طبقه‌بندی ۴ کلاس	طبقه‌بندی ۶ کلاس	
> ۵۰	> ۵۰	> ۷۵	۱
۲۵-۵۰	۲۵-۵۰	۵۰-۷۰	۲
۱-۲۵	۱۰-۲۵	۲۵-۵۰	۳
	۱-۱۰	۱۰-۲۵	۴
		۵-۱۰	۵
		۱-۵	۶

تهیه نقشه واقعیت زمینی

تهیه نقشه دقیق تراکم تاج پوشش منطقه مورد مطالعه، برای ارزیابی و بررسی میزان صحت نقشه تراکم تاج پوشش جنگل حاصل از انجام مدل FCD، امری ضروری است. به منظور تهیه نقشه واقعیت زمینی صددرصد منطقه، ۲ قطعه عکس هوایی جدید منطقه که در مهرماه ۱۳۸۳ با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ برداشت شده بود مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به کوهستانی بودن منطقه و وجود خطای جابه‌جایی،

عکس‌های هوایی در نرم‌افزار ژئوماتیکا و به کمک تصویر ماهواره اسپات و مدل رقومی ارتفاع منطقه تصحیح هندسی اورتو شدند. تصحیح هندسی عکس‌های هوایی به کمک ۵۰ نقطه کنترل زمینی در مناطق بارز و با خطای RMSe کمتر از یک پیکسل انجام شد. بر روی عکس‌های هوایی موزاییک شده ابتدا از طریق تفسیر چشمی مناطق جنگلی از مناطق فاقد جنگل تفکیک شدند. سپس با توجه به تعریف سازمان جنگل‌ها، برای طبقات جنگل و اراضی جنگلی، طبقات تراکمی

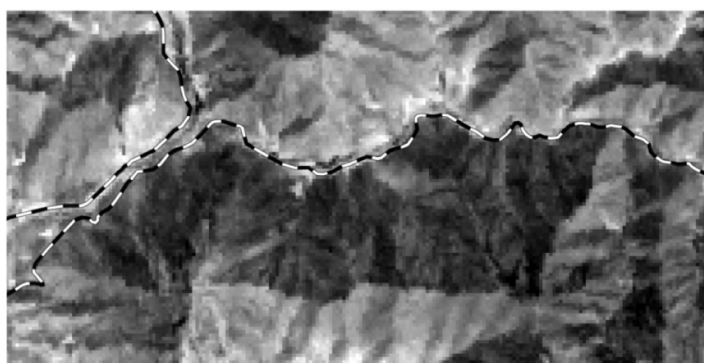
صورت شبکه آماربرداری با ابعاد کوچکتر طراحی و تفسیر می‌گردد که این میزان به کمتر از ۱۰٪ برسد (۱۰).

نتایج

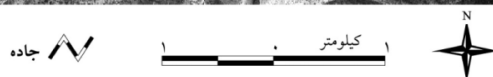
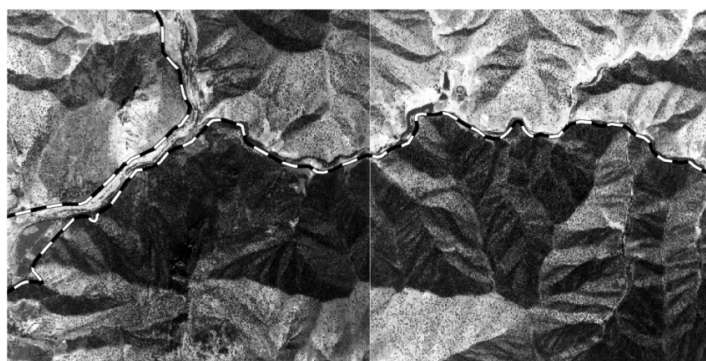
تصحیح هندسی

میزان خطای RMSe حاصل از تصحیح تصویر منطقه، برای ۵ بانده اول در جهت محور Xها و در جهت محور Yها به ترتیب ۵/۴ و ۶/۷ متر به دست آمد (شکل ۳). میزان خطای RMSe برای بانده ۶ در جهت محور Xها و Yها به ترتیب ۹/۸ و ۸/۷ متر به دست آمد. در عکس هوایی میزان خطای RMSe در جهت محور Xها و محور Yها به ترتیب ۱۱/۹ و ۱۲/۶ متر به دست آمد (شکل ۴). صحت تصحیحات هندسی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای به صورت چشمی و با انطباق پدیده‌های خطی مانند جاده‌های مربوط به تصویر تصحیح شده ماهواره اسپات مناسب ارزیابی شد.

مختلف با کمک عوامل تفسیر و میزان بسته یا باز بودن تاج‌پوشش در قالب پلی‌گون‌های تراکمی مختلف و با حداقل سطح ۴ هکتار جداسازی گردیدند. تراکم پلی‌گون‌های دارای طبقه تراکمی یکسان از طریق شبکه نقطه چین به صورت کمی محاسبه شد. با توجه به تعداد کل نقاط درون پلی‌گون‌ها و تعداد نقاط قرار گرفته بر روی تاج درختان، درصد تاج‌پوشش طبقات تراکمی محاسبه و سپس به هر گروه پلی‌گون با توجه به درصد تاج‌پوشش، عددی از شماره ۱ تا ۶ اختصاص یافت. ساختار نقشه واقعیت زمینی جهت مقایسه با نقشه‌های حاصل از مدل FCD از برداری به رستری تبدیل شد و به محیط نرم‌افزار IDRISI® وارد شد. آماره اشتباه معیار و آماره‌های اشتباه آماربرداری و درصد اشتباه آماربرداری برای هر طبقه تراکمی جداگانه محاسبه گردید. برای هر طبقه تراکمی میزان اشتباه آماربرداری باید کمتر از ۱۰٪ باشد (۵). در غیر این



شکل ۳. تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه



شکل ۴. عکس هوایی منطقه مورد مطالعه

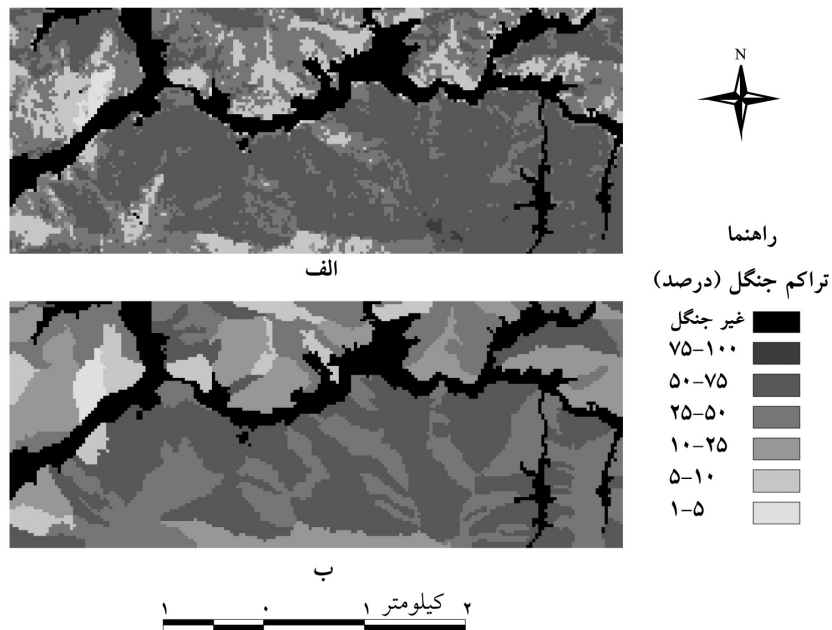
نقشه تراکم تاج پوشش

شاخص‌های پوشش گیاهی پیشرفته، خاک بدون پوشش، شاخص سایه و حرارتی بر اساس روابط ۵ و ۶ محاسبه گردید. دو شاخص خاک بدون پوشش و شاخص گیاهی پیشرفته به روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی جهت محاسبه تراکم پوشش گیاهی با یکدیگر ادغام شدند. با تغییر دامنه ارزش تصویر حاصل بین صفر و ۱۰۰ نقشه تراکم تاج پوشش جنگل بر حسب درصد به دست آمد. از سوی دیگر با روی هم‌گذاری داده‌های شاخص حرارتی و شاخص سایه، شاخص سایه مدرج به دست آمد. سپس شاخص‌های درصد تراکم پوشش گیاهی و شاخص سایه مدرج با هم ترکیب شده و نقشه اولیه تراکم تاج پوشش به دست آمد. سپس نقشه تراکم تاج پوشش حاصل از اجرای مدل به سه صورت ۶، ۴ و ۳ طبقه، طبقه‌بندی گردید.

نقشه تراکم تاج پوشش با ۶ طبقه در شکل ۵ (الف) ارائه شده است. نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی نقشه واقعیت زمینی به سه حالت ۵ طبقه، ۴ طبقه و ۳ طبقه تهیه شد. لازم به ذکر است که در نقشه واقعیت زمینی، طبقه تراکمی بیش از ۷۵ درصد مشاهده نشد. شکل ۵ (ب)، نقشه واقعیت زمینی در حالت ۵ طبقه‌ای را نشان می‌دهد.

برآورد صحت مدل

به طور معمول در سنجش از دور، کارایی روش‌های طبقه‌بندی از طریق ماتریس خطا و ضریب کاپا ارزیابی می‌شود (۱۱، ۱۳ و ۱۴). نتایج برآورد صحت حاصل از طبقه‌بندی در سه حالت ۶، ۴ و ۳ طبقه در جداول ۴، ۵ و ۶ آورده شده است.



شکل ۵. نقشه تراکم تاج پوشش به صورت ۶ طبقه تراکمی، (الف) نقشه حاصل از مدل FCD؛ (ب) نقشه واقعیت زمینی

جدول ۴. نتایج برآورد صحت حاصل از طبقه‌بندی در ۶ طبقه تراکمی

طبقات	صحت کاربر (%)	صحت تولیدکننده (%)	صحت کلی (%)	ضریب کاپا
۱	-	-		
۲	۶۴	۸۷		
۳	۴۷	۴۲	۵۹	۰/۲۹
۴	۴۶	۴۰		
۵	۲۳	۴۷		
۶	۷۱	۵۱		

جدول ۵. نتایج برآورد صحت حاصل از طبقه‌بندی در ۴ طبقه تراکمی

طبقات	صحت کاربر (%)	صحت تولیدکننده (%)	صحت کلی (%)	ضریب کاپا
۱	۶۵	۸۹		
۲	۴۷	۴۲	۵۳	۰/۳۰
۳	۴۶	۴۰		
۴	۳۰	۵۵		

جدول ۶. نتایج برآورد صحت حاصل از طبقه‌بندی در ۳ طبقه تراکمی

طبقات	صحت کاربر (%)	صحت تولیدکننده (%)	صحت کلی (%)	ضریب کاپا
۱	۶۵	۸۹		
۲	۴۷	۴۲	۶۲	۰/۳۹
۳	۸۲	۴۸		

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق میزان صحت کلی و ضریب کاپای به دست آمده از طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش در ۶ طبقه، به ترتیب ۵۲٪ و ۰/۲۹ به دست آمد. جهت بهبود صحت نتایج، طبقه‌بندی به صورت ۴ کلاسه و ۳ کلاسه نیز صورت گرفت. صحت کلی و ضریب کاپای به دست آمده از طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش در حالت ۴ کلاسه به ترتیب ۵۳٪ و ۰/۳۰ و صحت کلی و ضریب کاپای به دست آمده از طبقه‌بندی تراکم تاج پوشش در حالت ۳ کلاسه، ۶۲٪ و ۰/۳۹ محاسبه شد. بیشترین میزان صحت کاربر به میزان ۰/۸۲ مربوط به کلاسه سوم (۲۵-۱ درصد) در حالت طبقه‌بندی ۳ کلاسه و بیشترین میزان صحت تولید کننده به میزان ۰/۸۹ مربوط به کلاسه اول در حالت طبقه‌بندی سه کلاسه‌ای و چهار کلاسه‌ای مشاهده شد. کمترین میزان صحت تولید کننده به میزان ۴٪ مربوط به کلاسه سوم (۲۵-۱۰ درصد) در حالت طبقه‌بندی ۴ کلاسه و طبقه چهار (۲۵-۱۰ درصد) در حالت طبقه‌بندی ۶ کلاسه و کمترین میزان صحت کاربر به میزان ۰/۲۳ مربوط به کلاسه پنجم (۱۰-۵ درصد) در حالت طبقه‌بندی ۶ کلاسه مشاهده شد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که کارایی مدل در تفکیک جنگل انبوه مناسب است در حالی که مدل در تفکیک طبقات با تراکم پایین‌تر، دقیق عمل نمی‌کند. معین آزاد تهرانی (۸) نیز در تحقیق خود به نتایج شرایط توپوگرافی منطقه مورد مطالعه، جستجو نمود. با توجه به اینکه روش FCD در تفکیک طبقات تراکمی بسیار

مشابهی دست یافت. وی بیان داشت بیشترین میزان صحت کاربر و صحت تولید کننده در طبقه‌بندی ۷ طبقه، مربوط به طبقه جنگل بسیار انبوه (۱۰۰-۷۵ درصد) بود و به ترتیب برابر با ۹۰٪ و ۰/۷۶ تعیین گردید. پایین‌ترین میزان صحت کاربر و تولید کننده نیز به طبقات اراضی (۵-۱ درصد) جنگلی مربوط می‌شود و به ترتیب برابر با ۱۱ و ۸ درصد می‌باشد. با وجود این‌که این مدل برای برآورد دقیق‌تر وضعیت پوشش گیاهی، شاخص خاک بدون پوشش BI را مورد استفاده قرار می‌دهد، مشاهده گردید، که همچنان در پوشش‌های کم تراکم از صحت کمتری برخوردار است.

پاک خصال (۳)، صحت کلی و ضریب کاپای حاصل از اجرای مدل جهت تهیه نقشه تراکم تاج پوشش در سه کلاسه تراکمی در جنگل‌های شمال را به ترتیب ۷۲/۲۱٪ و ۰/۶۱ اعلام نمود. روی و همکاران (۲۵) و ریگی مارو (۲۳)، از مدل FCD جهت تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل‌های همسال و جنگلکاری‌ها و ناندی و همکاران (۱۹) و عزیزی (۱۰) جهت نقشه تراکم تاج پوشش جنگل‌های مخلوط پهن برگ استفاده نمودند. صحت کلی حاصل از اجرای روش FCD در مقایسه با نقشه واقعیت زمینی در این تحقیقات بیش از ۸۰٪ برآورد شد. علت صحت بالاتر تحقیقات مذکور در مقایسه با تحقیق حاضر را می‌توان در ساختار و تراکم تاج پوشش جنگل‌ها و مترام، دقیق‌تر عمل می‌نماید و در جنگل‌های زاگرس طبقات تراکمی بسیار انبوه یافت نمی‌شود و همچنین به دلیل بازتاب

تکنیک‌ها و تصاویر بهتر، باید در راستای دستیابی به نتایج بهتر تلاش کرد.

منابع مورد استفاده

۱. احمدی ثانی، ن.، درویش صفت، ع.، زبیری، م. و ع. فرزانه. ۱۳۸۷. بررسی قابلیت تصاویر سنجنده ASTER جهت تهیه نقشه تراکم جنگل‌های زاگرس مطالعه موردی، میوان. مجله منابع طبیعی ایران، ۶۱(۳): ۶۱۴-۶۰۳.
۲. امینی، م. ر.، شتایی، ش.، غضنفری، ه. و م. ح. معیری. ۱۳۸۷. بررسی تغییرات گستره جنگل‌های زاگرس با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: جنگل‌های آرمرده بانه). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵(۲): ۲۰-۱۰.
۳. پاک خصال، ا. ۱۳۸۵. طبقه‌بندی تراکم تاج‌پوشش جنگل با استفاده از داده‌های سنجنش از دور در حوزه شفارود گیلان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، ۱۰۳ صفحه.
۴. تشکری زاده، م. و ح. متین خواه. ۱۳۸۸. بررسی اثر تاج پوشش درختان بر مقدار تولید و کیفیت پوشش مرتعی، زیرآشکوب در منطقه زاگرس مرکزی، مجله جنگل ایران، ۱(۴): ۳۳۱-۳۲۱.
۵. زبیری، م. ۱۳۸۱. زیست سنجی جنگل. جلد ۱. چاپ اول، تهران، دانشگاه تهران، ۴۱۱ صفحه.
۶. عرفانی فرد، ی.، زبیری، م.، فقهی، ج. و م. نمیرانیان. ۱۳۸۶. برآورد سطح تاج پوشش جنگل در عکس‌های هوایی با استفاده از شاخص سایه در زاگرس، فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۵(۳): ۲۸۸-۲۷۸.
۷. فرزاد مهر، ج.، ارزانی، ح.، درویش صفت، ع. و م. جعفری. ۱۳۸۳. بررسی قابلیت داده‌های ماهواره لندست ۷ در برآورد تاج پوشش و تولید گیاهی (مطالعه موردی: منطقه نیمه استپی حنا - سمیرم)، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷(۲): ۳۳۹-۳۵۲.
۸. معین آزاد تهرانی، م. ۱۳۸۵. ارزیابی مدل FCD جهت برآورد تراکم جنگل با استفاده از داده‌های لندست ۷. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جنگلداری، دانشگاه تهران، ۹۵ صفحه.
۹. نقوی، ح.، فلاح، اصغر، جلیلود، ح. و ج. سوسنی. ۱۳۸۸. تعیین مناسب‌ترین طول خط نمونه در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل‌های زاگرس، مجله جنگل ایران، ۳۰(۱): ۳۸-۲۹.
10. Azizi Z, Najafi A and Sohrabi H. 2008. Forest canopy density estimating, using satellite images.

زیاد خاک زمینه و اختلاط طیفی پوشش زمینه با پوشش اصلی، صحت کلی نقشه‌های تراکم تاج‌پوشش حاصل از اجرای مدل در جنگل‌های زاگرس در مقایسه با اجرای مدل در جنگل‌های متراکم‌تر، پایین‌تر می‌باشد.

از دلایل دیگر پایین بودن نسبی صحت کلی حاصل از اجرای مدل در تحقیق حاضر را می‌توان عدم همخوانی کامل تاریخ و برداشت تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی (حدود ۲ سال اختلاف زمانی) مورد استفاده به عنوان واقعیت زمینی دانست. احمدی ثانی (۱) در مطالعه‌ای که در همین منطقه جنگلی انجام دادند، با استفاده از خوارزمی‌های طبقه‌بندی نظارت شده کمینه فاصله از میانگین، بیشینه احتمال و همچنین روش طبقه‌بندی فازی داده‌های ASTER، نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های منطقه را تهیه نمودند. بالاترین صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب به میزان ۰/۶۵/۵ و ۰/۴۸/۷ در طبقه‌بندی چهار کلاسه‌ای و ۰/۶۸/۵ و ۰/۵۱/۵ در طبقه‌بندی سه کلاسه‌ای با طبقه‌بندی بیشینه احتمال و با مجموعه شش بانندی به دست آمد. این نتایج کم و بیش نزدیک به نتایج پژوهش حاضر است. استفاده از طبقه‌بندی کننده‌های حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و سایر طبقه‌بندی کننده‌ها نیاز به جنگل گردشی زیاد و برداشت نمونه‌های تعلیمی دقیق جهت معرفی به سیستم دارد. برداشت نمونه‌های تعلیمی مناسب و جنگل گردشی، نیاز به صرف زمان و هزینه زیادی دارد. حال آن که در روش FCD مدل، به دلیل عدم نیاز به تعیین نمونه تعلیمی، حجم کار و در نتیجه هزینه انجام کار به مراتب کمتر از روش‌های دیگر طبقه‌بندی است. بنابراین با توجه به نزدیک بودن نتایج حاصل از اجرای مدل جهت تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش و نتایج حاصل از انواع طبقه‌بندی کننده‌ها در تحقیق‌های اشاره شده، استفاده از این مدل در تهیه نقشه تراکم جنگل با طبقه‌بندی ۳ کلاسه در شرایط فعلی منطقی به نظر می‌رسد. بنابراین از آنجا که مدیریت جنگل‌های زاگرس در چارچوب یک سیاست جنگلداری منسجم نیازمند گستره وسیعی از اطلاعات به هنگام است و یکی از عوامل مهم در تعیین وضعیت این جنگل‌ها، اطلاع از تراکم تاج پوشش می‌باشد، نتایج تحقیق می‌تواند گامی در راستای مدیریت بهتر به شمار رود. شایان ذکر است با بررسی‌های بیشتر و استفاده از

20. Oetter DR, Cohen WB, Berterretche M, Maierperger TK, Kennedy RE. 2001. Land cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal Thematic Mapper data. *Remote Sensing of Environment*, 76(2): 139-155.
21. Panta M and Kim K. 2006. Spatio-temporal Dynamic Alteration of Forest Canopy Density based on Site Associated Factors: View from Tropical Forest of Nepal. *Korean Journal of Remote Sensing*, 22(5): 1-11.
22. Rahdari V, Najaf Abadi SM, Amiri F, Shariff ARM and Tabatabaie T. 2012. Detection of land-use/cover changes over Chahnimeh in Iran using LandSat TM images. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(12): 3825- 3835.
23. Rikimaru A, Utsuki Y and Yamashita S. 1999. Basic study of the maximum logging volume estimation for consideration of forest resources using time series FCD [forest canopy density] model, 19. *Asian Conference on Remote Sensing, Manila (Philippines)*, 16-20 Nov 1998. 6 p.
24. Rikimaru A, Roy P and Miyatake S. 2002. Tropical forest cover density mapping. *Tropical Ecology*, 43(1): 39-47.
25. Roy P, Sharma K and Jain A. 1996. Stratification of density in dry deciduous forest using satellite remote sensing digital data-An approach based on spectral indices. *Journal of Biosciences*, 21(5): 723-734.
26. Yeganeh H, Jamale Khajedein S, Amiri F, Shariff ARM. 2012. Monitoring rangeland ground cover vegetation using multitemporal MODIS data. *Arabian Journal of Geosciences*, 1-12. doi: 10.1007/s12517-012-0733-0.
27. Zhan Q, Molenaar M, Tempfli K, Shi W. 2005. Quality assessment for geospatial objects derived from remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(14): 2953-2974.
- Commission VIII, WG VIII/11, Proceedings of ISPRS, Beijing (China) 2008: 4-6.
11. Congalton RG. 2001. Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. *International Journal of Wildland Fire*, 10(4): 321-328.
12. Chandrashekhar MB, Saran S, Raju P and Roy P. 2005. Forest canopy density stratification: How relevant is biophysical spectral response modelling approach? *Geocarto International*, 20(1): 15-21
13. Foody GM. 2004. Thematic map comparison: evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70(5): 627-634.
14. Foody G. 2010. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. *The Photogrammetric Record*, 25(130): 204-205.
15. Hwan OM and Merlinda RM. 2008. Forest Canopy Density Mapping For Forest Climate Change Mitigationj REDD Activities, Japan-Asia REDD Seminar, IGES, Japan.
16. Joshi C, Leeuw JD, Skidmore AK, Duren ICv and Van Oosten H. 2006. Remotely sensed estimation of forest canopy density: A comparison of the performance of four methods. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 8(2): 84-95.
17. Kandwal R. 2005. Detecting and discriminating lantana using multi-sensor images for improving FCD mapper methodology. MSc. Thesis, Enschede, ITC, Netherland.
18. Korhonen L, Korhonen KT, Rautiainen M, Stenberg P (2006) Estimation of forest canopy cover: a comparison of field measurement techniques. *Silva Fennica* 40(4): 577-587.
19. Nandy S, Joshi P and Das K. 2003. Forest canopy density stratification using biophysical modeling. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 31(4): 291-297.



Forest cover density mapping in sparse and semi dense forests using forest canopy density model (Case study: Marivan forests)

A. Shahvali Kouhshour¹, M. Pir Bavaghar^{2*}, P. Fatehi³

1. MSc. Student of Forestry, College of Natural resources, University of Kurdistan

2. Assis. Prof. College of Natural Resources, University of Kurdistan

3. Ph.D. Student of Remote sensing, College of Geography, University of Zurich

ARTICLE INFO

Article history:

Received 18 July 2013

Accepted 3 May 2014

Available online 13 January 2014

Keywords:

Landsat-7 Satellite

Forest Canopy Density model (FCDm)

Accuracy assessment

Marivan forests

ABSTRACT

The main aim of this study was the evaluation of the Forest Canopy Density model (FCDm) for prediction of forest canopy density, using Landsat-7 ETM⁺. The study area was the eastern part of Marivan city that situated in Kurdistan province. A Landsat image was geo-referenced with sub pixel accuracy. First, all bands (1-5 of ETM⁺ imagery) except band 6 was normalized and then four main indices of FCD Model, including Advanced Vegetation Index, Bare soil Index, Shadow Index and thermal Index was calculated, and the forest canopy density map was derived finally. Forest's canopy densities according to 6, 4 and three classes were classified. To assess the accuracy of classified maps, a ground truth map using aerial photos with the scale 1:20000 was produced. The overall accuracy and kappa coefficient for classification 6 and four classes were obtained equal to 52%, 0.29 and 53%, 0.30, respectively. Spectral similarity between open density classes and irradiance of background soil in these classes reduced the accuracy as the result. Actually, in the dense forest, the result will be more accurate. According to the results, this method could be relatively desired for Zagro's forests.

* Corresponding author e-mail address: mahtab_bavaghar@yahoo.com

