

FCD

(:)

سیدمرام معین‌آزاد تهرانی^{۱*}، علی‌اصغر درویش‌صفت^۲ و منوچهر نمیرانیان^۲

*۱- نویسنده مسئول، کارشناس ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. پست الکترونیک: moeinazad@hotmail.com

۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

تاریخ پذیرش: ۸۶/۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۸۶/۱/۲۸

چکیده

هدف از این تحقیق، ارزیابی مدل FCD (تراکم پوشش جنگلی) برای برآورد تراکم جنگلهای شمال با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۷ است. این مدل که برای جنگلهای حاره‌ای آسیای جنوب شرقی توسعه یافته‌است می‌تواند یک مدل semi expert دانست که برای برآورد تراکم پوشش جنگلی به نمونه‌های تعلیمی نیاز ندارد. در این بررسی، تصاویر سنجنده ETM⁺ مربوط به تاریخ ۲۷ تیرماه ۱۳۷۹ از منطقه جنگلی جنوب شهرستان چالوس واقع در استان مازندران، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای اجرای مدل، پس از انجام پردازشهای اولیه مورد نیاز بر روی تصویر ماهواره‌ای، چهار شاخص اولیه مورد نیاز در روند اجرای مدل FCD (شاخص گیاهی، شاخص خاک بدون پوشش، شاخص سایه و شاخص حرارتی)، محاسبه شد. سپس شاخص تراکم گیاهی و شاخص سایه پیشرفته محاسبه گردید و در نهایت نقشه تراکم جنگل براساس مدل FCD به‌دست آمد. نقشه تراکم جنگل حاصل، براساس طبقات ارائه شده از سوی شورای عالی جنگل، مرتع و خاک سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور (۷ طبقه) و نیز یک طبقه‌بندی دیگر (۵ طبقه)، طبقه‌بندی گردید. به‌منظور برآورد صحت نقشه تراکم جنگل طبقه‌بندی شده، یک نقشه واقعیت زمینی به‌صورت صددرصد از روی عکس‌هوایی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ مربوط به تاریخ مردادماه ۱۳۷۸، تهیه شد. به این منظور ابتدا عکسهای هوایی، رقومی و تصحیح هندسی شدند و موزاییکی از آنها تهیه شد. سپس واقعیت زمینی به‌روش تلفیقی و ضمن استفاده از استریوسکوپ تهیه و طبقه‌بندی شد. بیشترین میزان صحت کلی و ضریب کاپا در مطالعه حاضر، مربوط به طبقه‌بندی در پنج طبقه و به‌ترتیب معادل ۰/۶۱ و ۳۸٪ محاسبه گردید. میزان صحت کلی و ضریب کاپا در طبقه‌بندی در ۷ طبقه، به‌دلیل تداخل طیفی میان طبقات تراکمی پایین‌تر، کمتر بوده‌است. بیشترین میزان صحت کاربر و صحت تولیدکننده در طبقه‌بندی در ۷ طبقه، مربوط به طبقه جنگل بسیار انبوه (تاج‌پوشش بیش از ۷۵ درصد) می‌باشد و به‌ترتیب برابر با ۹۰٪ و ۷۶٪ است. پایین‌ترین میزان صحت کاربر و تولیدکننده نیز به طبقه اراضی جنگلی (تاج‌پوشش بین ۱ تا ۵ درصد) مربوط می‌شود و به‌ترتیب برابر با ۱۱ و ۸ درصد می‌باشد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که در چنین جنگلهایی، کارایی مدل در تفکیک جنگل بسیار انبوه، نسبتاً مناسب است، درحالی‌که مدل در تفکیک طبقات با تراکم پایین‌تر، دقیق عمل نمی‌کند.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷، مدل FCD، تراکم جنگل، عکس‌هوایی، واقعیت زمینی، صحت، شاخص.

مقدمه

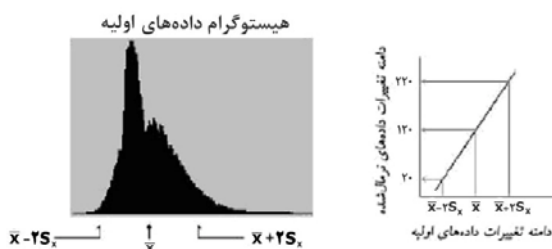
بهننگام و اطلاعات و مدارک منطبق با شرایط روز عرصه‌های جنگلی مورد نظر است. تراکم پوشش جنگلی، یکی از مهمترین مشخصه‌های کمی است که در

مدیریت کارا و پیروی از رهنمود و عملکردی مناسب برای حفظ و در صورت امکان، افزایش موجودی جنگل در هر منطقه، مستلزم در اختیار داشتن نقشه‌های دقیق،

۱:۲۵۰۰۰۰ قرائت شد. انتخاب نقاط کنترل زمینی برای باندهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ با اندازه تفکیک ۳۰ متر و برای باند ۶ با اندازه تفکیک ۶۰ متر به‌طور جداگانه انجام شد. برای ارزیابی میزان صحت هندسه تصویر بعد از انجام تصحیحات هندسی، لایه وکتوری پدیده‌های خطی از نقشه‌های توپوگرافی رقومی استخراج شد و بر روی تصویر تصحیح شده قرار گرفت. میزان انطباق پدیده‌های یادشده در تصویر و لایه وکتوری بر روی صفحه نمایشگر با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ به‌طور چشمی مورد بررسی قرار گرفت.

یک ماسک ابر- سایه با استفاده از هیستوگرام مبتنی بر داده‌های به‌دست آمده از باندهای مرئی لندست و نیز یک ماسک مناطق آب با کمک هیستوگرام باند ۴ لندست برای حذف مناطق یادشده تهیه و اعمال گردید.

براساس فرایند مدل FCD، ضروری است که داده‌های باندهای مختلف از یک توزیع نرمال و یکسان برخوردار باشند. بنابراین کلیه باندها به‌جز باند حرارتی، با استفاده از میانگین و انحراف معیارشان به‌طور خطی در دامنه پیشنهادی مدل (صفر تا ۲۲۰) گسترده و نرمال شدند (شکل ۲).



شکل ۲- فرایند نرمال‌سازی توزیع داده‌ها در تصاویر ماهواره‌ای براساس هیستوگرام باندها (Rikimaru, 2003)

ویژگیهای چهار شاخص اولیه

داده‌های مورد استفاده

- نقشه‌های رقومی توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ که کل منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌داد برای زمین مرجع نمودن تصاویر ماهواره‌ای و عکسهای هوایی، انجام بررسیهای مربوط به صحت هندسی و نیز برای آشنایی بیشتر با موقعیت و شرایط منطقه مورد استفاده قرار گرفت. - مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model) کل منطقه مورد مطالعه برای انجام تصحیحات هندسی و تصحیح خطای جابجایی ناشی از تغییرات ارتفاع، با استفاده از خطوط هم‌ارتفاع استخراج شده از نقشه‌های رقومی توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه و استفاده گردید.

- ۱۶ قطعه عکس هوایی با مقیاس متوسط ۱:۱۰۰۰۰۰ که منطقه مورد مطالعه را می‌پوشاند برای تهیه واقعیت زمینی استفاده شد. برای تفسیر چشمی و نیز پردازشهای رقومی لازم، عکسهای هوایی به دو صورت چاپ شده با مقیاس یادشده و اسکن شده با اندازه تفکیک ۵۶ میکرومتر تهیه گردید. عکسهای هوایی یاد شده که مربوط به یک پروژه محلی است با دوربین ویلد (Wild) و در مردادماه سال ۱۳۷۸ توسط سازمان نقشه‌برداری کشور برداشت شده‌است.

- داده‌های ماهواره‌ای لندست ۷ مربوط به تاریخ ۲۷ تیرماه ۱۳۷۹ از منطقه مورد مطالعه به شماره گذر ۱۶۳ و ردیف ۳۵ به‌صورت فریم کامل در ۸ باند برای اجرای مدل تهیه شد.

روش تحقیق

پردازشهای لازم برای اجرای مدل FCD

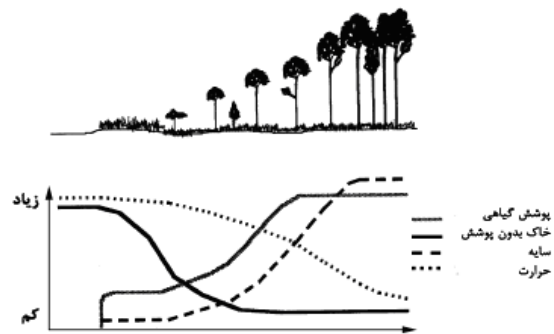
تصحیحات هندسی داده‌های ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار ژئوماتیکا صورت‌پذیرفت. تعداد ۱۰ نقطه کنترل زمینی در پنجره مورد نظر از تصویر ماهواره‌ای انتخاب گردید و مختصات نقاط متناظر از روی نقشه‌های رقومی

با زیاد شدن میزان پوشش جنگلی و در نتیجه میزان سایه درختان بر روی تاج درختان مجاور و بر روی زمین، مقادیر مربوط به شاخص سایه، افزایش می‌یابد و با توجه به زیاد بودن سایه از میزان حرارت کاسته می‌شود. مناطقی که دارای خاکهای تیره هستند انرژی تابشی بیشتری از خورشید را جذب می‌کنند و درجه حرارت بیشتری دارند و به تبع آن مقادیر مربوط به شاخص حرارتی در این مناطق زیاد است.

با افزایش مقدار FCD مقادیر مربوط به شاخص سایه نیز افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر در جایی که درختان بیشتری وجود داشته باشند، سایه بیشتری نیز وجود دارد و این دو باهم ارتباطی مستقیم دارند. به همین ترتیب اگر خاک بدون پوشش کمتری وجود داشته باشد، انتظار می‌رود مقادیر حرارتی نیز کاهش یابند.

این نکته حائز اهمیت است که شاخص گیاهی زودتر از شاخص سایه به حالت اشباع می‌رسد. مفهوم این اتفاق این است که مقدار بیشینه شاخص گیاهی ثبت شده، پیش از مقدار بیشینه شاخص سایه مشاهده می‌شود. این وضعیت به این دلیل رخ می‌دهد که شاخص گیاهی براساس داده‌های ثبت شده از تمامی انواع پوشش گیاهی بدون در نظر گرفتن تراکم درختان یا جنگل به دست می‌آید، در حالی که شاخص سایه به میزان پوشش گیاهی از نوع گیاهان مرتفع و بلند از قبیل درختان که سایه قابل ملاحظه‌ای ایجاد می‌کنند، وابسته است. جدول ۱ ویژگیها و روابط حاکم میان چهار شاخص یاد شده با نوع و مقدار پوشش زمین را نشان می‌دهد.

در روند اجرای مدل، ابتدا چهار شاخص اولیه گیاهی (Advanced Vegetation Index, AVI)، سایه (Shadow Index, SI)، خاک بدون پوشش (Bare soil Index, BI) و حرارتی (Thermal Index, TI) محاسبه می‌شود و سپس داده‌های به دست آمده از این چهار شاخص، با یکدیگر ترکیب می‌شوند. شکل ۳ ارتباط میان وضعیت موجود در جنگل و چهار شاخص مورد نظر را نشان می‌دهد. محور افقی وضعیت جنگل از نظر نوع پوشش گیاهی (درختی یا غیردرختی) و میزان تراکم درختان را بیان می‌دارد و محور عمودی وضعیت تغییرات و مقدار چهار شاخص را نشان می‌دهد.



شکل ۳- شاخص‌های اولیه و روند تغییر آنها با شرایط جنگل (اقتباس از Rikimaru et al., 1999)

شاخص گیاهی نسبت به همه نوع پوشش سبز شامل پوشش گیاهی جنگلی، بوته‌ای و علفزار حساس است. شاخص گیاهی پیشرفته در مقایسه با شاخص NDVI، حساسیت بیشتری نسبت به پوشش درختی دارد (Rikimaru, 2003).

جدول ۱- روابط میان چهار شاخص اصلی و وضعیت پوشش زمین

شاخص‌ها	مقادیر زیاد FCD	مقادیر کم FCD	علفزار	پوشش زمین بدون
---------	--------------------	------------------	--------	-------------------

رابطه (۳)

$$B_{f3} > 0 \Rightarrow AVI = [(B_f + 1) \times (256 - B_r) \times B_{f3}]^{1/3}$$

شاخص خاک بدون پوشش

در مواردی که پوشش گیاهی کمتر از ۵۰٪ است، مقادیر محاسبه شده برای شاخص گیاهی به واقعیت نزدیک نیست (Rickimaru, 2003). برای برآورد واقعی‌تر وضعیت پوشش گیاهی، روشهای نوینی به کار گرفته می‌شود که در آنها از شاخص خاک بدون پوشش استفاده می‌گردد. برای محاسبه این شاخص از باندهای مادون قرمز میانی کمک گرفته می‌شود. منطق اساسی این رویکرد، بر پایه ارتباط متقابل و قوی (همبستگی شدید منفی) میان بازتاب خاک بدون پوشش و وضعیت پوشش گیاهی است. با ترکیب دو شاخص پوشش گیاهی و خاک بدون پوشش، می‌توان به دامنه‌ای بهم پیوسته از وضعیت میزان پوشش گیاهی (پوشش گیاهی بسیار زیاد تا خاک بدون پوشش) در منطقه جنگلی دست یافت.

شاخص BI مطابق رابطه زیر محاسبه و به دامنه ۸ بیت

تبدیل می‌گردد:

رابطه (۴)

$$BI = [(B_5 + B_r) - (B_f + B_1)] / [(B_5 + B_r) + (B_f + B_1)] \times 100 + 100$$

شاخص سایه

شاخص گیاهی پیشرفته (AVI)

ETM⁺

(Rikimaru,)

:(2003)

ابتدا حاصل رابطه (۱) محاسبه می‌گردد که در آن B_r و B_f داده‌های باندهای ۳ و ۴ لندست بعد از انجام عملیات نرمال‌سازی هستند.

$$B_{f3} = B_f - B_r \quad \text{رابطه (۱)}$$

دو حالت ممکن است رخ دهد که در هر کدام شاخص به صورت متفاوتی محاسبه می‌شود:

حالت الف - حاصل رابطه (۱) کوچکتر یا مساوی صفر شود که در این صورت این شاخص نیز برابر صفر خواهد بود، یعنی:

$$B_{f3} \leq 0 \Rightarrow AVI = 0 \quad \text{رابطه (۲)}$$

حالت ب - حاصل رابطه (۱) بزرگتر از صفر شود که در این صورت شاخص موردنظر از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

ضرایب تنظیم و رابطه ۶ به بازتابش و سپس از رابطه ۷ به درجه حرارت تبدیل نمود.

$$T = K_2 / \ln(K_1/L+1) \quad \text{رابطه (۶)}$$

T: درجه حرارت بر حسب کلوین

K₂: ضریب تنظیم سنجنده برابر با ۱۲۸۲/۷۱ کلوین

K₁: ضریب تنظیم سنجنده برابر با

$$666/09 \text{ watts}/(\text{meter squared} * \text{ster} * \mu\text{m})$$

$$L = L_{\min} + ((L_{\max} - L_{\min})/255) * DN \quad ()$$

L: بازتابش

L_{max}: بازتابش برای DN=۲۵۵

L_{min}: بازتابش برای صفر DN

انجام محاسبات بر روی چهار شاخص اولیه

تراکم گیاهی (Vegetation Density, VD)

این شاخص از ترکیب شاخص خاک بدون پوشش با یکی از شاخص‌های گیاهی ایجاد می‌شود. براساس روند مدل، ابتدا ضریب همبستگی میان شاخص خاک بدون پوشش و هر یک از شاخص‌های پوشش گیاهی محاسبه شد. سپس میان شاخص خاک بدون پوشش و شاخص NDVI که بیشترین ضریب همبستگی منفی با شاخص خاک بدون پوشش را داشت، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) انجام پذیرفت. اولین مؤلفه خروجی این تحلیل که در برگزیده اطلاعات دو شاخص ورودی آن است، بیانگر تراکم پوشش گیاهی می‌باشد (شکل ۴). ارزشهای این مؤلفه به دامنه صفر تا صد درصد تبدیل شد.

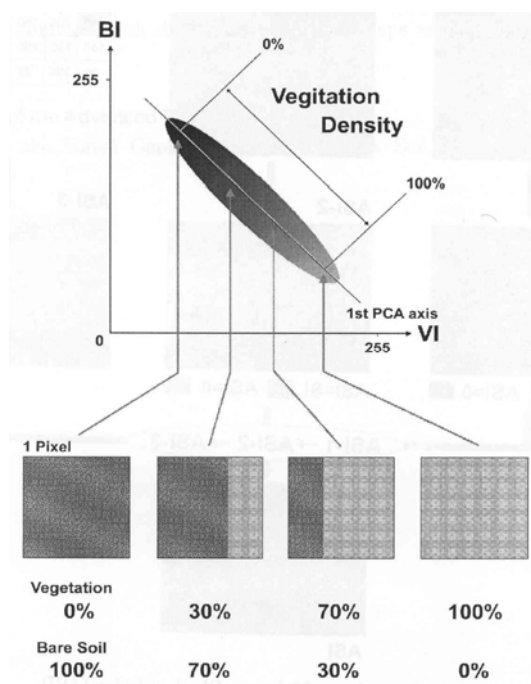
یکی از ویژگیهای خاص جنگل، ساختار سه بعدی آن است. در این مدل برای استخراج اطلاعات مربوط به ساختار جنگل از طریق داده‌های دورسنجی، خصوصیت سایه با بهره‌گیری از داده‌های طیفی مربوط به سایه جنگل و داده‌های حرارتی که تحت تأثیر سایه قرار دارد، بررسی می‌گردد. شاخص سایه بر این اساس که در مناطق سایه میزان بازتاب ثبت شده در محدوده باندهای مرئی کم است، محاسبه می‌گردد. شایان یادآوری است که بیشترین میزان سایه در جنگل مربوط به سایه تاج درختان چیره و اشکوب برین بر روی درختان اشکوبهای پایینی و نیز سایه کلی تاج پوشش بر روی سطح زمین است. محاسبه شاخص سایه با استفاده از داده‌های باندهای مرئی و براساس رابطه زیر صورت می‌گیرد:

$$SI = [(256 - B_1) (256 - B_2) (256 - B_3)]^{1/3} \quad ()$$

شاخص حرارتی

در جنگل، دو عامل باعث خنک‌تر شدن نسبی محیط می‌شود. عامل نخست، اثر پوششی (shielding effect) تاج پوشش جنگلی است که مانع از رسیدن انرژی خورشید شده و آن را جذب می‌کند. عامل دیگر، تبخیر از سطح برگ است که باعث تعدیل گرما می‌شود. از این ویژگی می‌توان به‌عنوان ابزاری برای تفکیک مناطق سایه از مناطقی که خاک آنها تیره است، استفاده نمود.

شاخص حرارتی را می‌توان از باند ۶ سنجنده ETM⁺ محاسبه نمود. به این منظور ابتدا باید DNS با استفاده از



شکل ۴- مدل تراکم گیاهی (Rikimaru et al., 1999)

شناسایی مناطق دارای خاک تیره (سیاه)

داده‌های مربوط به شاخص سایه از مناطق با بازتابش کم در هر یک از باندهای مرئی لندست به دست می‌آید. خاکهای تیره و سیاه‌رنگ هم، همین وضعیت (بازتابش کم در محدوده مرئی) را دارند. بنابراین امکان ایجاد تداخل در شناسایی مناطق سایه و مناطق خاک تیره وجود دارد. اما از آنجایی که در مناطق سایه، حرارت نسبتاً کمتر است و در مقابل در مناطقی که دارای خاک تیره هستند، به دلیل جذب زیاد انرژی خورشیدی، درجه حرارت زیاد است، با روی هم گذاری داده‌های به دست آمده از شاخص سایه و شاخص حرارتی می‌توان این تداخل را برطرف نمود.

شاخص سایه پیشرفته (ASI: Advanced Shadow Index)

وقتی تاج‌پوشش جنگل بسیار متراکم باشد، داده‌های ماهواره‌ای قادر نیستند میزان سایه را ارائه نمایند. در نتیجه امکان دارد تراکم تاج‌پوشش، درست برآورد نشود. بنابراین روش کاملتری به کار می‌رود که در آن توزیع

داده‌های مربوط به سایه تغییر می‌یابد (Rikimaru, 2003). شاخص سایه بیان‌کننده سایه به‌طور نسبی است. برای استفاده از این شاخص در محاسبات به همراه سایر شاخص‌ها می‌توان از مقادیر نرمال شده آن با توزیع صفر تا ۱۰۰ بهره برد که شاخص سایه ترتیبی (SSI: Scaled Shadow Index) خوانده می‌شود. شاخص سایه پیشرفته بر پایه ترکیب شاخص گیاهی و شاخص سایه ابداع شده است.

با استفاده از شاخص سایه پیشرفته می‌توان میان پوشش گیاهی مربوط به تاج‌پوشش درختان جنگل و پوشش گیاهی غیرجنگلی تمایز ایجاد نمود. این مسئله یکی از مهمترین برتریهای این مدل است. این امر باعث کسب نتایج صحیح‌تر نسبت به نتایج تحلیلهای پیشین می‌شود (Rikimaru, 2003).

تکمیل فرایند و اجرای نهایی مدل

از ترکیب شاخص تراکم گیاهی و شاخص سایه پیشرفته به صورت زیر تراکم تاج پوشش جنگل به دست می آید. هر دو مشخصه (VD و SSI) بدون واحد بوده و به درصد بیان می شوند.

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

با استفاده از رابطه اخیر، نقشه تراکم تاج پوشش جنگل محاسبه گردید. از روی داده های حاصل از اجرای مدل، تصویری با اندازه تفکیک ۹۰ متر (قطعات حدوداً یک هکتاری) تهیه شد که ارزش عددی هر پیکسل آن نشانگر درصد تاج پوشش در محدوده جنگلی متناظر آن پیکسل است. سپس نقشه حاصل به دو حالت مندرج در جدولهای ۲ و ۳ طبقه بندی شد.

جدول ۲ - طبقات پنج گانه

شناسه	ویژگی طبقات از نظر درصد تاج پوشش
%	%
%	%
%	%
%	%
%	%
() %	() %

جدول ۳ - طبقه بندی براساس تعریف شورای عالی جنگل

شناسه	ویژگی طبقات از نظر درصد تاج پوشش
%	%
%	%
%	%
%	%
%	%
%	%
() %	() %

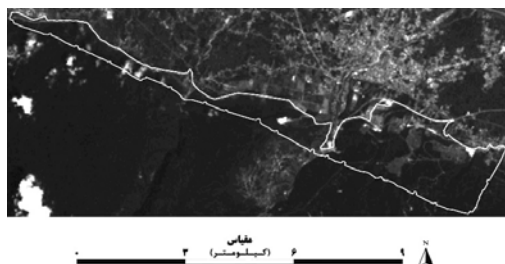
واقعیت زمینی

نقشه تراکم تاج پوشش منطقه به عنوان واقعیت زمینی به صورت صددرصد و براساس عکسهای هوایی سال ۱۳۷۸ و مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. بدین منظور ابتدا عکسهای هوایی اسکن شده با کمک نقشه های توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاعی با تعیین نقاط کنترل، در محیط نرم افزار ژئوماتیکا، تصحیح هندسی گردید. سپس موزاییکی از آنها تولید شد. اندازه تفکیک موزاییک حاصل در ابتدا ۰/۵۶ متر بود که به لحاظ زیاد بودن حجم فایل رقومی که در عمل کار پردازشهای بعدی را مشکل می کرد به ۱ متر افزایش یافت.

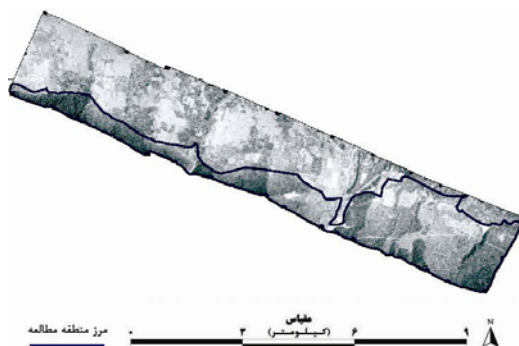
در محیط نرم افزار فتوشاپ سعی شد تا منطقه مورد مطالعه در موزاییک یاد شده به نحوی مورد تفسیر و پردازش قرار گیرد که تاج پوشش درختان از سایر پدیده های نمایان در عکس تفکیک گردد. بنابراین با استفاده از ابزارهای موجود در این نرم افزار، رنگ تاج پوشش درختان به سیاه و رنگ سایر پدیده ها به سفید تغییر یافتند. خاک بدون پوشش، پوشش علفی یا خشبی، زمین کشاورزی، بناها، جاده ها و حتی سایه درختان، از جمله پدیده هایی هستند که در این مرحله از تاج پوشش تفکیک شدند. این مرحله به صورت تلفیقی و با تفسیر عکس روی نمایشگر رایانه انجام پذیرفت. در نقاطی که در مورد وجود تاج پوشش درختی تردید وجود داشت از استریوسکوپ و زوج عکس هوایی چاپ شده برای برجسته بینی و تفسیر صحیح تر بهره گرفته شد و در نهایت تصویر دو ارزشی (۱ برای تاج پوشش درختی و صفر برای غیره) تولید گردید. از این تصویر، یک تصویر دیگر با اندازه تفکیک ۹۰ متر (قطعات حدوداً یک هکتاری) استخراج گردید که ارزش سلولهای آن بیانگر درصد تاج پوشش می باشد. با طبقه بندی تصویر اخیر براساس جدولهای ۲ و ۳، نقشه های واقعیت زمینی طبقه بندی تراکم به دست آمد.

۶/۴۴ متر و در جهت محور Yها، ۹/۷۸ متر و میزان این خطا برای باندها ۶ در جهت محور Xها و Yها به ترتیب ۱۹/۰۷ متر و ۱۵/۰۳ متر بود. همچنین تصحیح هندسی عکسهای هوایی با میزان خطای RMS ۶/۶۲ متر در جهت محور Xها و ۴/۹۹ متر در جهت محور Yها برای کل عکسها و با استفاده از ۱۰۶ نقطه کنترل زمینی، صورت پذیرفت. خطای RMS مربوط به ۲۱ نقطه میان‌عکسی (Tie Point) در جهت محور Xها و محور Yها به ترتیب ۰/۲ متر و ۰/۴۸ متر بود. شکل ۶ موزاییک عکسهای هوایی تصحیح شده را نشان می‌دهد.

در بررسی چشمی، انطباق لایه وکتوری پدیده‌های خطی نظیر جاده‌ها و آبراهه‌ها که از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ استخراج شده بود با پدیده‌هایی نظیر تصویر ماهواره‌ای و عکس هوایی منطقه کاملاً مناسب ارزیابی گردید.



شکل ۵ - تصویر ماهواره‌ای بعد از انجام تصحیحات هندسی به همراه محدوده منطقه مورد مطالعه



شکل ۶ - موزاییک عکس‌های هوایی به همراه محدوده منطقه مورد مطالعه

تعیین صحت نقشه تراکم حاصل از اجرای مدل

برای ارزیابی قابلیت مدل، نقشه طبقه‌بندی شده تراکم تاج‌پوشش حاصل از اجرای مدل، با نقشه طبقه‌بندی شده تراکم واقعیت زمینی، به صورت پیکسل به پیکسل مقایسه گردید. نتایج به صورت جداولی تهیه گردید و صحت کلی و ضریب کاپا محاسبه شد. با توجه به دو نوع طبقه‌بندی صورت گرفته روی نقشه‌های درصد تاج‌پوشش (طبقه‌بندی ۵ طبقه‌ای و طبقه‌بندی ۷ طبقه‌ای تعریف شورای عالی جنگل) نتایج نیز به صورت جداگانه محاسبه و تفسیر گردید.

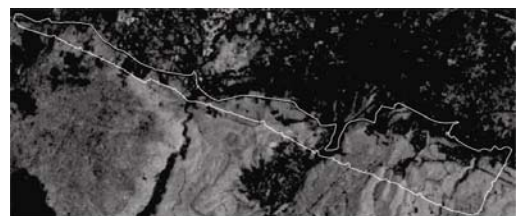
نتایج

تصحیحات هندسی

شکل ۵ تصویر ماهواره‌ای بعد از انجام تصحیحات هندسی از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. میزان خطای RMS برای باندهای ۱ تا ۵ در جهت محور Xها،

نتایج محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی

شکل‌های ۷ و ۸ نتایج محاسبه دو شاخص پوشش گیاهی را به تفکیک نشان می‌دهد. مرز منطقه مورد مطالعه به صورت خط سفید رنگ نشان داده شده است. ملاحظه می‌گردد که قسمت‌های شمالی نیمه شرقی منطقه مورد مطالعه و نیز برخی قسمت‌های هم‌جوار با جاده‌ها و مناطق مسکونی، به رنگ تیره دیده می‌شود. کم بودن میزان پوشش گیاهی در این مناطق که بیشتر مناطق مسکونی شهرستان چالوس و اطراف هستند دلیل این تیرگی و کوچک بودن مقدار شاخص‌های گیاهی است. شاخص NDVI تحت تأثیر تمامی انواع پوشش گیاهی اعم از درختی و غیر درختی است. اراضی کشاورزی و گیاهان علفی اغلب مقدار این شاخص را متأثر می‌سازند، در صورتی که شاخص AVI حساسیت بیشتری نسبت به تراکم جنگل و ویژگیهای ظاهری گیاهان دارد. بنابراین پیکسل‌های مربوط به قسمت‌های شامل پوشش گیاهی غیرجنگلی در تصویر مربوط به شاخص NDVI نسبت به پیکسل‌های متناظر در شاخص AVI دارای مقادیر بیشتری بوده و به رنگ روشن‌تر دیده می‌شوند.

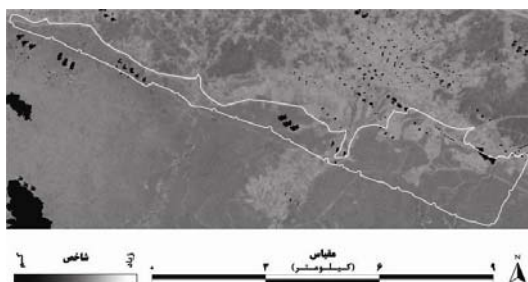


شکل ۷ - تصویر حاصل از محاسبه شاخص (AVI)



شکل ۸ - تصویر حاصل از محاسبه شاخص (NDVI)

شکل ۹ تصویر حاصل از محاسبه شاخص خاک بدون پوشش را نمایش می‌دهد. در این تصویر قسمت‌های بدون پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی کم (مانند مناطق مسکونی، جاده‌ها، بخشهایی از جنگل که تخریب شده‌اند و یا قسمت‌هایی که تاج پوشش باز دارند) به رنگ روشن‌تر دیده می‌شود و مقدار این شاخص در این مناطق نسبت به مناطق با پوشش گیاهی خوب بیشتر است. قسمت‌های کاملاً سیاه‌رنگ تصویر وارد محاسبات نشده‌اند و مربوط به مناطق آب، ابر و یا سایه ابر هستند.



شکل ۹ - تصویر حاصل از محاسبه شاخص (BI)

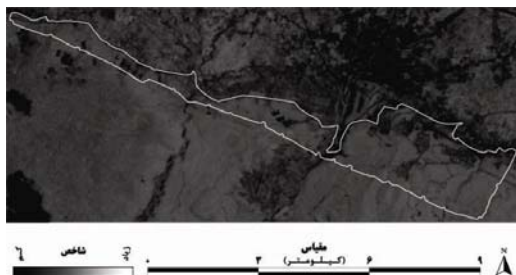
شکل ۱۰ تصویر حاصل از محاسبه شاخص سایه را نشان می‌دهد. مناطق روشن‌تر مناطقی هستند که میزان سایه در آنها بیشتر است و کمیت این شاخص در آنها زیادتر است.



شکل ۱۰ - تصویر حاصل از محاسبه شاخص سایه (SI)

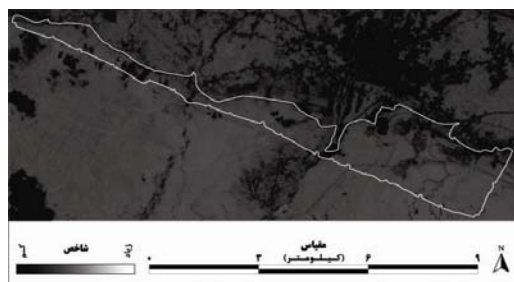
تصویر مربوط به شاخص سایه پیشرفته به‌طور کلی تیره‌تر از شاخص سایه دیده می‌شود (شکل ۱۱). نحوه محاسبه این شاخص از روی شاخص سایه، یعنی مرتب کردن ارزشها بین صفر تا ۱۰۰، دلیل این امر است. به بیان دیگر در شاخص سایه هر پیکسل ممکن است مقداری

در مطالعه حاضر بیشترین ضریب همبستگی مربوط به شاخص پوشش گیاهی NDVI است. بنابراین با توجه به روند پیشنهادی مدل، شاخص ترکیبی تراکم گیاهی (VD) از ادغام دو شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و خاک بدون پوشش (BI) به روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به دست آمد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳ - تصویر حاصل از محاسبه تراکم گیاهی (VD)

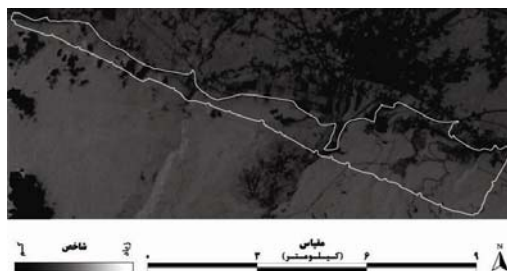
در شکل ۱۴ نتیجه حاصل از محاسبه درصد تراکم تاج پوشش (FCD) به صورت نقشه تراکم، نمایش داده شده است. مناطق روشن‌تر نمایانگر مناطق با تاج پوشش متراکم‌تر و مناطق تیره مربوط به مناطق با تراکم تاج پوشش کمتر یا بدون تاج پوشش جنگلی هستند. مرز منطقه مورد مطالعه با خط سفید نمایان است.



شکل ۱۴ - نقشه درصد تراکم تاج پوشش

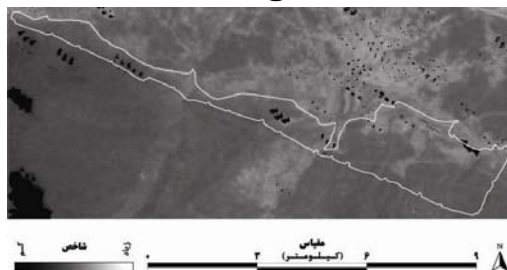
نتایج حاصل از مقایسه نقشه‌های طبقات تراکم به دست آمده از روش مدل (FCD) با نقشه‌های واقعیت زمینی در جدولهای ۵ و ۶ ثبت شده است.

بین صفر تا ۲۵۵ را دارا باشد، درحالی که در شاخص سایه پیشرفته صفر تا ۱۰۰ می‌باشد.



شکل ۱۱ - تصویر حاصل از محاسبه شاخص سایه پیشرفته (SSI)

در شکل ۱۲ نتایج محاسبه شاخص حرارتی نشان داده شده است. در قسمت‌های روشن‌تر تصویر، مقادیر بیشتری ثبت شده و حرارت ساطع شده از سطح زمین در این قسمت‌ها نسبت به حرارت سایر قسمت‌ها بیشتر بوده است. این قسمت‌ها به طور عمده مناطقی هستند که به دلیل نداشتن پوشش جنگلی، میزان جذب انرژی خورشید در آنها زیاد است و میزان تبخیر و تعرق نیز در آنها کم است. بنابراین حرارت بیشتری از خود ساطع می‌کنند.



شکل ۱۲ - تصویر حاصل از محاسبه شاخص خاک حرارتی (TI)

حاصل محاسبات ضریب همبستگی، میان شاخص‌های گیاهی با خاک بدون پوشش در جدول ۴ درج شده است.

جدول ۴- نتایج محاسبه ضریب همبستگی میان شاخص‌های پوشش گیاهی AVI و NDVI با شاخص خاک بدون پوشش

شاخص‌ها	ضریب همبستگی
BI AVI	/
BI NDVI	/

جدول ۵ - جدول خطا (ستونها: واقعیت زمینی و ردیفها: نقشه حاصل از مدل) طبقه‌بندی در ۵ طبقه

طبقات	۱	۲	۳	۴	۵	جمع	صحت کاربر
۱	۷۴۲	۵۶	۲۰	۱۱	۰	۸۲۹	۰/۹۰
۲	۱۷۹	۷۶	۶۴	۲۳	۱	۳۴۳	۰/۲۲
۳	۳۵	۴۴	۷۴	۶۶	۱۲	۲۳۱	۰/۳۲
۴	۱۶	۱۹	۳۳	۸۲	۱۶	۱۶۶	۰/۴۹
۵	۵	۰	۳	۱۳	۸	۲۹	۰/۲۸
جمع	۹۷۷	۱۹۵	۱۹۴	۱۹۵	۳۷	۱۵۹۸	
صحت تولیدکننده	۰/۷۶	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۴۲	۰/۲۲		
صحت کلی							۶۱٪
ضریب کاپا							۳۸٪

جدول ۶ - جدول خطا (ستونها: واقعیت زمینی و ردیفها: نقشه حاصل از مدل) طبقه‌بندی در ۷ طبقه

طبقات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	جمع	صحت کاربر
/									/
/									/
/									/
/									/
/									/
/									/
/									/
	/	/	/	/	/	/	/		
									%
									%

بحث

پیشرفت علم و فناوری سنجش از دور سبب تولید داده‌های دقیق‌تر و روشهای بهتر تجزیه و تحلیل شده‌است. آزمون روشهای جدید که نتایج مطلوبی در مناطق دیگر داشته‌است باید به‌عنوان پیش‌شرط استفاده از آن روشها در منطقه موردنظر مد نظر قرار گیرد. با آنکه استفاده از مدل FCD در برخی مناطق (از جمله کشورهای

آسیایی مجاور اقیانوس آرام که خاستگاه این روش در آنجاست) نتایج مطلوبی در برآورد تراکم تاج پوشش جنگلی به‌همراه داشته‌است و صحت نقشه‌های تراکم تولید شده با این روش در آن مناطق بیشتر از ۹۰ درصد گزارش شده‌است، اما در مطالعه حاضر صحت کلی به‌دست آمده از مقایسه نتایج مدل با واقعیت زمینی منطقه، حداکثر ۶۱٪ و ضریب کاپا نیز ۰/۳۸ بود (طبقه‌بندی در ۵

پایین‌تر، دقیق عمل نمی‌کند. توصیه می‌شود مدل FCD در جنگل‌کاری‌ها و مناطقی که احیاء در آنها صورت گرفته‌است مورد آزمون قرار گیرد. با توجه به این‌که مدل در چنین مناطقی توسعه یافته، این احتمال وجود دارد که کاربرد مدل در این مناطق، نتایج بهتری به همراه داشته باشد. در هر صورت عدم نیاز مدل FCD به نمونه‌های تعلیمی، یکی از امتیازات اصلی این روش تجزیه و تحلیل می‌باشد.

استفاده از عکسهای هوایی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ امکان تهیه واقعیت زمینی بدون انجام آماربرداری میدانی را فراهم ساخت. مقیاس مناسب عکسهای هوایی و استفاده از توان بزرگ‌نمایی رایانه‌ای در حد مقیاس ۱:۲۰۰۰ برای عکسهای رقومی که جزئیات زیادی از آن را نمایان ساخت، در کنار استفاده از استریوسکوپ و عکسهای هوایی چاپ شده، امکان تفکیک تاج پوشش از سایر پدیده‌ها را به‌سادگی فراهم ساخت. به‌طور نظری، استفاده از روش مورد استفاده در این تحقیق، دقت بسیار مناسبی برای تهیه واقعیت زمینی از تراکم تاج پوشش منطقه به‌دنبال دارد. همچنین در به‌کارگیری این شیوه، امکان انجام هر نوع طبقه‌بندی تراکم (طبقه‌بندی ۵ طبقه‌ای و ۷ طبقه‌ای) پس از تهیه واقعیت زمینی به سهولت میسر است. اما گذشته از دقت زیاد آن در عمل، اجرای چنین روشی در مناطق وسیع نسبت به سایر روشها وقت‌گیرتر است. بنابراین پیشنهاد می‌شود تهیه واقعیت زمینی از روی عکسهای هوایی از طریق روش مورد استفاده در این مطالعه و سایر روشها نظیر استفاده از شبکه نقطه‌چین، از نظر دقت، زمان و هزینه در چند عکس هوایی با مقیاس مناسب از مناطق شامل طبقات تراکمی مختلف مورد مقایسه قرار گیرد.

تفاوت موجود میان نتایج مطالعه حاضر با نتایج طرح اصلی جوفکا (Rikimaru & Miyatake, 1997) از نظر پایین بودن میزان صحت، می‌تواند مربوط به تفاوت در شرایط و وضعیت رویشگاههای جنگلی در آن طرح و در مطالعه حاضر به‌ویژه از نظر همسال بودن توده، خالص بودن توده و وضعیت توپوگرافی باشد. چرا که گونه‌های مختلف بازتاب کم و بیش متفاوتی دارند و حتی بازتاب یک توده در سنین مختلف نیز متفاوت می‌باشد و شرایط مختلف توپوگرافی نیز شدیداً بر بازتاب اثر می‌گذارند. بنابراین این شرایط متفاوت می‌تواند بر بازتاب متفاوت تراکم‌های مختلف اثرگذار باشد. زیاد بودن صحت حاصل از اجرای این مدل در تحقیق ساعی و آبکار (۱۳۸۳) و Saei Jamalabad & Abkar, (2004) که در بخشی از جنگلهای استان گیلان انجام شده‌است می‌تواند مربوط به واقعیت زمینی با نمونه‌های انتخابی و تعیین تراکم به‌صورت کیفی باشد، درحالی‌که در تحقیق حاضر یک واقعیت زمینی ۱۰۰٪ که براساس عکسهای هوایی تهیه شده‌است مبنای تعیین صحت بوده‌است.

در تحقیق حاضر میزان صحت کلی و ضریب کاپا در طبقه‌بندی در ۵ طبقه، بیش از میزان مشابه در طبقه‌بندی در ۷ طبقه گزارش شد. دلیل بارز این امر ادغام طبقه‌ها با تراکم کمتر در یکدیگر است که سبب کاهش تداخل میان طبقه‌های تراکمی و در نتیجه کاهش خطا شده‌است.

بیشترین میزان صحت کاربر و صحت تولیدکننده در طبقه‌بندی در ۷ طبقه، مربوط به طبقه جنگل بسیار انبوه (تاج پوشش بیش از ۷۵ درصد) می‌باشد و به‌ترتیب برابر با ۹۰٪ و ۷۶٪ است. پایین‌ترین میزان صحت کاربر و تولیدکننده نیز به طبقه اراضی جنگلی (تاج پوشش بین ۱ تا ۵ درصد) مربوط می‌شود و به‌ترتیب برابر با ۱۱ درصد و ۸ درصد می‌باشد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که کارایی مدل در جنگلهایی با شرایط مشابه منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر، در تفکیک جنگل بسیار انبوه نسبتاً مناسب است، درحالی‌که مدل در تفکیک طبقات با تراکم

Model using Indices of Vegetation, Bare soil and Shadow. www.gisdevelopment.net/aars/1997/.

- Rikimaru, A, Utsuki, Y., and Yamashita, S., 1998. The Basic Study of the Maximum Logging Volume Estimation for Consideration of Forest Resources Using Time Series FCD Model. www.gisdevelopment.net/aars/1998/ps2.
- Rikimaru, A., Miyatake, S., and Dugan, P., 1999. Sky Is the Limit For Forest Management Tool. ITTO Tropical Forest Update. www.itto.or.jp/newsletter/v9n3/4.html
- Roy, P. S., 1997. Space Remote Sensing for Forest Management. Indian Institute of Remote Sensing (National Remote Sensing Agency). www.biospec.org/bpmt/P.S.Roy_Biodata.doc
- Roy, P. S., Miyatake, S., and Rikimaru, 1996. Biophysical Spectral Response Modeling Approach for Forest Density Stratification. www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1996/ts5.
- Saei Jamalabad M. & Abkar, A.A., 2004. Forest Canopy Density monitoring, using satellite images. Map Asia 2003.

منابع مورد استفاده

- ساعی، م.، و آبکار، ع.ا.، ۱۳۸۳. تهیه نقشه تراکم جنگل با استفاده از فناوری سنجنش از دور. همایش ژئوماتیک ۸۳ سازمان نقشه برداری کشور.
- Firman, H., Ketut, W. and Irawan, S., 2004. Implementation of Forest Canopy Density model to monitor fragmentation in Mt. Simpang and Mt Tilu nature reserves, West Java, Indonesia. 3rd FIG Regional Conference Jakarta, Indonesia, October 3- 7, 2004.
- JOFCA, 1997. Utilization of remote sensing in site assessment and planning for rehabilitation of logged-over forest. Project report prepared for ITTO. Rep. 68p.
- Rikimaru. A., 2003. Concept of FCD Mapping Model and Semi-Expert System. Japan Overseas Forestry Consultants Association. Rep. 72p.
- Rikimaru. A and Miyatake, S., 1997. Development of Forest Canopy Density Mapping and Monitoring

Evaluation of FCD Model for estimation of forest density using Landsat 7 imagery (Case study: Chalus Forest)

S.M. Moeinazad Tehrani^{1*}, A.A. Darvishsefat² and M. Namiraniyan²

1*- Corresponding author, Ms.c. Forest Management. Faculty of Natural Resource, University of Tehran.

E-mail: moeinazad@hotmail.com

2- Assoc. Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran.

Abstract

The present study is focused on the evaluation of FCD (Forest Canopy Density model) for the estimation of forest density in northern forests of Iran using Landsat 7 satellite data. The model was developed as a semi-expert system in Asia-Pacific region that estimates forest canopy density without any training areas. In this study, an ETM⁺ image dated July 18th, 2000 was analyzed. After preprocessing the satellite image, four basic indices of FCD model (Vegetation Index, Bare Soil Index, Shadow Index and Thermal Index), were calculated. Vegetation Density Index and Advanced Shadow Index were then calculated and forest density map (derived from FCD model) was finally extracted. The forest density map was classified according to the form presented by Forest, Range & Watershed Management Organization of Iran (7 classes), and another form (5 classes). In order to assess the accuracy of classified forest density map, a ground truth map of the entire study area was generated using aerial photos - at the scale of 1:10000 dated August, 1999. In this way, at first, the geometric correction of digital photos was implemented and the mosaic of photos was generated. Then, the Ground truth map was produced using on-screen digitizing method based on visual interpretation and applying stereoscope and printed photos. In this study, the highest overall accuracy and kappa coefficient - were obtained in classification in five classes - equal to 61% and 0.38, respectively. The overall accuracy and kappa coefficient in case of classification in 7 classes were less than those calculated in case of classification in 5 classes. This is because of the spectral similarity among the lower density classes. Hence, it could be concluded that in such forests, the potential of the model in separating high density forests, was relatively acceptable whereas the model could not correctly separate the lower density classes.

Key words: Landsat 7 satellite images, FCD Model, forest density, aerial photos, ground truth, accuracy, index.