

ارزیابی قابلیت داده‌های SPOT5-HRG به منظور برآورد تراکم درختان در جنگلهای زاگرس شمالی (مطالعه موردی: جنگلهای شهرستان بانه)

مهتاب پیرباوقار^{۱*}، لقمان قهرمانی^۲ و پرویز فاتحی^۳

*- نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج. پست الکترونیک: mahtab_bavaghar@yahoo.com

۲- استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج.

۳- کارشناس ارشد پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سنندج.

تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۲۶

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۴

چکیده

با توجه به ساختار منحصر به فرد جنگلهای زاگرس، در این مطالعه سعی شده تا با استفاده از تصاویر ماهواره SPOT5-HRG، امکان برآورد تراکم درختان در بخشی از جنگلهای بانه مورد بررسی قرار گیرد. به منظور جمع‌آوری داده‌های زمینی یک شبکه آماربرداری به روش منظم با نقطه شروع تصادفی، شامل ۳۱۲ قطعه نمونه دایره‌ای شکل ۰/۱ هکتاری در عرصه پیاده شد. پس از پردازش تصویر، ارزش‌های متناظر قطعات نمونه زمینی از تصاویر اصلی و باندهای حاصل از شاخص‌های گیاهی و مؤلفه‌های حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی، استخراج شدند. با استفاده از تحلیل رگرسیونی چندمتغیره و روش گام به گام رابطه بین مشخصه تعداد در هکتار به عنوان متغیر وابسته و ۴ باند اصلی و ۱۶ باند مصنوعی به عنوان متغیرهای مستقل بررسی شد. امکان واردسازی داده‌های کمکی شیب، ارتفاع و جهت جغرافیایی به مدل نیز بررسی گردید، اما نتایج معنی‌داری حاصل نشد. با وجود این، ارائه مدل رگرسیونی به تفکیک جهت‌های جغرافیایی سبب تغییراتی در نتایج گردید. در مدل کلی پیشنهادی برای جنگلهای مورد مطالعه، متغیرهای مستقل شامل مؤلفه دوم حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA2) و طول موج قرمز (B2) می‌باشند ($R^2 \text{ adj} = 0/26$ ، $\text{RMSE}/\% = 57/4$ ، $\text{Bias}/\% = -6/24$). در مدل پیشنهادی برای جنگلهای دامنه‌های شمالی، جنوبی، شرقی و غربی، متغیرهای مستقل به ترتیب شامل PCA2 و شاخص گیاهی PCA2، Ratio و شاخص گیاهی AVI، باند B1 (طول موج سبز)، شاخص‌های گیاهی PVI و AVI و طول موج مادون قرمز نزدیک (B3) و ضریب تبیین اصلاح شده بین ریشه دوم تعداد در هکتار و متغیرها به ترتیب برابر ۰/۳۱، ۰/۳۴، ۰/۱۹ و ۰/۴۲ می‌باشند. نتیجه سنجش اعتبار مدل‌های پیشنهادی حکایت از مناسب بودن مدلها دارد، اما به دلیل کم بودن ضریب تبیین مدلها، به منظور برآورد بهتر مشخصه تعداد در هکتار، باید راهکارهای دیگر را نیز دنبال نمود.

واژه‌های کلیدی: تراکم درخت، SPOT5، رگرسیون چندمتغیره، جنگلهای زاگرس شمالی.

مقدمه

روند تحولات کمی و کیفی این جنگلهای قهقرایی می‌باشد (فاتحی، ۱۳۷۳). مدیریت پایدار و استفاده صحیح از منابع جنگلی نیازمند داشتن اطلاعات دقیق از این جنگلهاست. مشخصه‌های کمی یک توده جنگلی همانند حجم، زی‌توده، متوسط قطر و ارتفاع توده، تعداد در هکتار، میزان تاج‌پوشش، سطح مقطع و سن، داده‌های با ارزشی

جنگلهای زاگرس که وسیع‌ترین جنگلهای ایران به‌شمار می‌روند به‌علت نقشی که در ذخیره آبهای زیرزمینی، حفاظت خاک و سایر ارزش‌های اجتماعی-اقتصادی دارند، از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشند. متأسفانه به دلیل دخل و تصرفهای فراوان و غیراصولی،

که به ترتیب مشخصه‌های متوسط ارتفاع، سن، رویه‌زمینی و قطر در باندهای مختلف بهترین نتیجه را حاصل نمودند، ولی تعیین تراکم درختان در این منطقه با استفاده از این تصاویر نتایج قابل قبولی را ارائه نداد. Sivanpillai et al. (2006) با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره Landsat7 و روش رگرسیون چندمتغیره، سن و تراکم توده را برآورد نمودند. مدل رگرسیونی با باندهای ۱، ۴ و ۷ به‌عنوان متغیرهای مستقل، نسبت به ترکیبات باندهای دیگر برآورد بهتری از تراکم توده ارائه داد ($R^2 = 0.60$). افزودن باندهای مصنوعی شامل شاخص‌های گیاهی NDVI، ETM4/ETM3 و مؤلفه‌های روشنایی و رطوبت حاصل از تبدیل تسلدکپ به بهترین مدل رگرسیونی حاصل شده از باندهای اصلی، بهبودی در نتایج حاصل نمود. (Mohammadi & Shataee, 2007) به بررسی رابطه بین تراکم توده جنگلی و ارزش‌های طیفی سنجنده ETM+ ماهواره Landsat7 پرداختند. رگرسیون چندمتغیره با باندهای ۴ و ۵ بهترین نتیجه را ارائه داد ($R^2 = 0.73/4$) و افزودن مشخصه شیب به نتایج حاصل سبب بهبود نتایج شد ($R^2 = 0.79$). (Vohland et al., 2007) از تصویر ماهواره‌ای سنجنده TM به‌منظور برآورد تعداد درخت در هکتار استفاده نمودند. از میان باندهای اصلی، باند مادون قرمز میانی ($R^2 = 0.58$) و از بین شاخص‌های مختلف گیاهی شاخص NDVI ($R^2 = 0.76$) برآورد بهتری از تعداد در هکتار ارائه دادند. استفاده از تجزیه و تحلیل طیفی خطی و رگرسیون چندمتغیره نتایج بهتری را نسبت به شاخص‌های گیاهی ارائه نمود ($R^2 = 0.85$). (Hudak et al., 2006) با استفاده همزمان از داده‌های چندطیفی ماهواره‌ای و داده‌های Lidar، توانستند مدل‌های رگرسیونی مورد قبولی ($R^2 = 0.90$) را برای سطح مقطع و تراکم درختان سوزنی‌برگ ارائه دهند. با وجود این که تحقیقات زیادی در طول دهه‌های گذشته در این زمینه انجام شده، اما نتیجه‌گیری درباره رابطه بین مشخصه‌های توده جنگلی و انعکاس‌های طیفی،

هستند که برای ارزیابی منابع جنگلی اهمیت به‌سزایی دارند.

به‌طور سنتی، اطلاعات آماربرداری با استفاده از عملیات میدانی، تفسیر عکس‌های هوایی و یا ترکیبی از این روشها انجام می‌شود (Sivanpillai et al., 2006). این روشها، پُرهزینه و زمان‌بر می‌باشند و همچنین احتیاج به نیروی کار زیادی دارند (Trotter et al., 1997). استفاده از فناوری سنجنش از دور در مواقعی که داده‌های ماهواره‌ای با مشخصه‌های اندازه‌گیری شده زمینی همبستگی خوبی داشته باشند، گامی مهم در جهت کاهش هزینه‌های آماربرداری و پایش جنگل است.

در زمینه برآورد برخی از مشخصه‌های کمی توده از داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از روشهای مختلف رگرسیونی و همبستگی، مطالعات زیادی تاکنون انجام شده است (Andersen, 1998; Trotter et al., 1997; Mohammadi & Shataee, 2007; McRoberts, 2008; خرمی و همکاران، ۱۳۸۶؛ عزیزی، ۱۳۸۷). برای ایجاد یک رابطه صحیح بین پوشش جنگل و داده‌های ماهواره‌ای، درک چگونگی ارتباط بین تصاویر ماهواره‌ای و مشخصه‌های توده جنگلی ضروریست (Franklin, 1986; Wulf et al., 1990; Lu et al., 2004). مشخصه تعداد در هکتار درخت یکی از مشخصه‌های مهم در آماربرداری توده است.

(Wulf et al., 1990) در تحقیقی به بررسی امکان برآورد مشخصه‌های کمی توده جنگلی با استفاده از داده‌های چند طیفی و پانکروماتیک ماهواره SPOT1 پرداختند. نتایج آنها نشان داد که باندهای سبز و قرمز این ماهواره برای برآورد مشخصه‌های کمی از قابلیت مطلوبی برخوردار نبودند، در حالی که استفاده از باند پانکروماتیک SPOT1 نتایج خوبی را نشان داد. (Donoghue & Watt, 2002) به‌منظور برآورد مشخصه‌های ارتفاع، قطر، رویه‌زمینی، سن و تراکم در سطح توده از تصاویر ماهواره‌ای SPOT4 و Landsat7 استفاده نمودند. به‌طوری

عبارتند از: وی‌ول (*Quercus libani* Oliv.)، برودار (*Quercus brantii* Lindl.) و مازودار (*Quercus infectoria* Oliv.). گونه‌های درختی همراه در ترکیب این جنگلهای عبارتند از: زالزالک وحشی (*Crataegus* spp.)، گلابی وحشی (*Pyrus* spp.)، کیکم (*Acer monspessulanum*) و بنه (*Pistacia atlantica*). فرم کلی رویشی جنگلهای منطقه، شاخه‌زاد کهن (درختان تک‌پایه) و دانه و شاخه‌زاد (شاخه‌زاد کهن) می‌باشد. وضعیت منطقه از نظر تراکم تاج‌پوشش تنک، متوسط تا نیمه‌انبوه و تاج‌پوشش منطقه حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد است.

داده‌های مورد استفاده

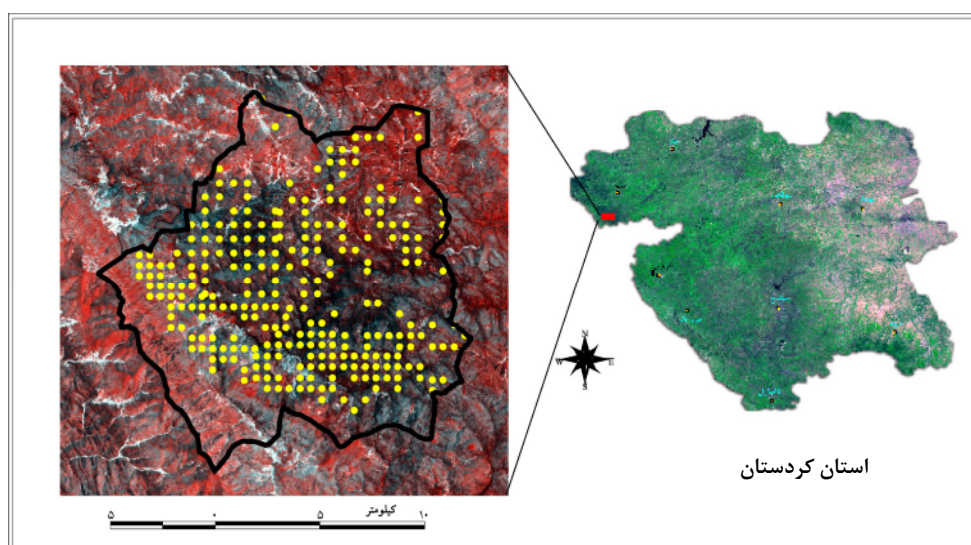
داده‌های ماهواره‌ای شامل یک فریم از تصویر سنجنده HRG ماهواره SPOT5 مربوط به تاریخ نهم جولای سال ۲۰۰۵ میلادی برابر هجدهم تیرماه سال ۱۳۸۴ هجری خورشیدی، با اندازه تفکیک مکانی ۱۰ متر در باندهای سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک و ۲۰ متر در باند مادون قرمز میانی بود. دو برگ نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ به شماره 5161-I و 5161-IV برای ایجاد نقشه‌های جهت، شیب، ارتفاع و همچنین بررسی میزان صحت هندسی تصاویر رقومی شدند.

با توجه به خصوصیات مناطق مورد مطالعه متفاوت بوده است (Lu et al., 2004). با توجه به ساختار منحصر به فرد جنگلهای زاگرس و از آن جا که تاکنون تحقیقی در مورد برآورد مشخصه تعداد درخت در هکتار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در این جنگلهای انجام نشده، در این مطالعه تلاش شده تا با استفاده از تصاویر ماهواره SPOT5-HRG، امکان برآورد این مشخصه در بخشی از جنگلهای بانه مورد بررسی قرار گیرد. امکان تأثیر داده‌های کمکی ارتفاع، شیب و جهت جغرافیایی بر بهبود نتایج مدل نیز مورد بررسی قرار گرفت. همچنین مدل‌های برآورد کننده تراکم درخت به تفکیک جهات مختلف جغرافیایی نیز ارائه شد.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۵۷۰۰ هکتار در زاگرس شمالی در استان کردستان و غرب ایران (۱۵' ۵۵" تا ۳۵' ۴۵" عرض شمالی و ۴۰' ۵۵" تا ۴۵' ۴۵" طول شرقی) واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع از سطح دریا بین ۱۲۰۰ تا ۲۲۰۰ متر متغیر است. گونه‌های اصلی تشکیل دهنده جنگلهای مورد مطالعه



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان کردستان و قطعات نمونه در منطقه

روش تحقیق

برداشت قطعات نمونه زمینی

به منظور جمع‌آوری داده‌های زمینی، یک شبکه آماربرداری به روش منظم با نقطه شروع تصادفی در عرصه پیاده شد. با توجه به هدف مطالعه و مساحت منطقه، ۳۱۲ قطعه نمونه دایره‌ای شکل ۰/۱ هکتاری در تابستان ۱۳۸۴ برداشت شد. شبکه آماربرداری با ابعاد ۵۵۰×۵۵۰ متر برای جنگل مورد مطالعه طراحی گردید. بازبینی مراکز قطعات نمونه زمینی با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) بر روی زمین انجام (شکل ۱) و تعداد درختان داخل هر قطعه نمونه یادداشت شد (قطرهای بیشتر از ۵ سانتی‌متر مورد شمارش قرار گرفتند).

پردازش اولیه تصاویر و ایجاد شاخص‌های گیاهی

تصحیحات هندسی و رادیومتری تصاویر ماهواره‌ای برای بسیاری از تحقیقات ضروریست (Lu et al., 2004). تصویر ماهواره‌ای SPOT5-HRG مورد استفاده، توسط شرکت عرضه‌کننده (SPOT Image) از نظر رادیومتری و هندسی در سطح Ortho (تصحیح هندسی همراه با رفع اثر جابجایی ناشی از پستی و بلندی) مورد تصحیح قرار گرفته بود. بنابراین به منظور اطمینان از عدم وجود خطا، پس از نمایش تک باندها و ترکیبات مختلف رنگی بر روی صفحه مانیتور به کمک بزرگنمایی آنها در قسمت‌های مختلف، تصویر به لحاظ خطاهای رادیومتری مانند راه راه شدگی (Striping & Banding)، خطای زیر هم قرار نگرفتن دسته‌های خطوط اسکن و پیکسل‌های دوبله مورد بررسی قرار گرفت و هیچ کدام از موارد یادشده در آن مشاهده نشد. همان‌طور که ذکر شد، تصحیح هندسی تصاویر در سطح اورتو بوده و دارای دقت زیادی می‌باشد. از آن جا که نقشه‌های بزرگ مقیاس برای این منطقه موجود نبود، بررسی دقت مناطق مجاور این منطقه (که نقشه ۱:۲۵۰۰۰ منطقه و یا نقشه‌های بزرگ مقیاس‌تر

شهری در دسترس بودند)، حکایت از دقت هندسی بسیار خوب داده‌ها داشت. به منظور اطمینان و بررسی وضعیت هندسی داده‌ها، از بخشی از جاده‌های بخش غربی منطقه که قبلاً در قالب تحقیقی دیگر از طریق عملیات میدانی برداشت شده بودند نیز استفاده شد. انطباق خوب لایه راه‌ها بر روی داده‌های ماهواره‌ای نشان دهنده تطابق هندسی مناسب داده‌های ماهواره‌ای با نقشه و عدم لزوم تصحیح هندسی آن بود. با مشاهده هیستوگرام تک‌باندها و بررسی مشخصه‌های آماری مانند میانگین و انحراف معیار، توزیع نرمال داده‌ها تشخیص داده شد.

در راستای استخراج هر چه بهتر اطلاعات، تصاویر ماهواره‌ای مورد پردازش‌هایی قرار می‌گیرند. تهیه شاخص‌های مختلف گیاهی و تجزیه مؤلفه‌های اصلی نیز بدین منظور انجام می‌شوند. قبل از شروع محاسبات، به منظور همسان‌سازی اندازه سلول، اندازه سلول باند مادون قرمز میانی نیز به ۱۰ متر تبدیل گردید.

معمولاً از تجزیه مؤلفه‌های اصلی برای فشرده‌سازی اطلاعات چند باند در یک باند استفاده می‌شود (Sivanpillai et al., 2006). شاخص‌های گیاهی و باندهای حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) مورد استفاده در این تحقیق به ترتیب زیر می‌باشند:

شاخص‌های گیاهی PVI, AVI, DVI, NDVI, Ratio, SAVI, WdVI, TVI, NRVI, RVI3, PVI2, PVI1

PCA1 و PCA2 (مؤلفه‌های اول و دوم حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی ۴ باند)؛ PCA1-2 و PCA3-4 (مؤلفه‌های اول حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱ و ۲ و باندهای ۳ و ۴).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

ابتدا ارزش‌های متناظر قطعات نمونه زمینی از تصاویر اصلی و باندهای حاصل از شاخص‌های گیاهی و مؤلفه‌های حاصل از تحلیل PCA، استخراج شدند. متوسط

اعتبارسنجی مدل‌ها

به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها، حدود ۱۰ درصد از قطعات نمونه (۳۱ قطعه نمونه) به طور تصادفی انتخاب و برای احراز اعتبار مدل‌های پیشنهادی کنار گذاشته شدند. این قطعات نمونه در تعیین میزان همبستگی و نیز تجزیه و تحلیل رگرسیونی مورد استفاده قرار نگرفتند.

اعتبارسنجی مدل‌ها به روشهای مختلفی انجام می‌شود؛ در این تحقیق با استفاده از داده‌های قطعات نمونه شاهد، مدل‌های مناسب براساس کمتر بودن مقدار RMSE و آزمون معنی دار بودن t برای اریبی (Bias) براساس جدول t_Student انجام شد.

نتایج

آمار توصیفی تراکم درختان

متوسط تعداد درخت در هکتار (تراکم) در جنگلهای مورد بررسی ۳۴۲ اصله و در دامنه‌های شمالی، جنوبی، شرقی و غربی به ترتیب ۴۱۱، ۳۱۳، ۳۰۱ و ۳۲۴ اصله است (جدول ۱).

شیب، جهت و ارتفاع قطعات نمونه نیز استخراج شدند. سپس از تجزیه و تحلیل رگرسیونی چندمتغیره با استفاده از روش گام به گام به منظور تحلیل رابطه بین مشخصه تعداد در هکتار (به دلیل نتایج بهتر از ریشه دوم این مشخصه استفاده شد) به عنوان متغیر وابسته و ۴ باند اصلی و ۱۶ باند مصنوعی به عنوان متغیرهای مستقل و همچنین داده‌های کمکی شیب، جهت و ارتفاع استفاده شد.

تحلیل رگرسیونی گام به گام، مجموعه‌ای از متغیرهای مستقلی را که بیشترین تغییرات متغیر وابسته را توجیه می‌کنند، انتخاب می‌کند (Sivanpillai *et al.*, 2006). بهترین مدل رگرسیونی براساس نتایج تجزیه واریانس رگرسیون (F)، آزمون انفرادی ضرایب رگرسیون، در نظر گرفتن معیارهای خطای برآورد (MSE) و اریبی (Bias) و سنجش اعتبار مدل انتخاب شد. نتایج حاصل وقتی معتبر و دارای مفهوم هستند که فرض‌های مربوط به باقیمانده‌های مدل رگرسیونی صادق باشند (رضائی و سلطانی، ۱۳۷۷). فرض نرمال بودن توزیع باقیمانده‌ها به وسیله نمودار احتمال نرمال و انجام آزمون کلموگروف-اسمیرنف بررسی گردید. ابتدا ارائه مدل‌های رگرسیونی برای کل منطقه و سپس به تفکیک جهت‌های جغرافیایی انجام شد.

جدول ۱- آمار توصیفی مشخصه تعداد درختان در کل منطقه و به تفکیک جهت‌های جغرافیایی

حد اکثر	حداقل	انحراف از معیار	میانگین	جهت جغرافیایی
۱۲۷۰	۱۰۰	۲۱۰	۳۴۲	کل قطعات نمونه (n= ۳۱۲)
۱۲۷۰	۱۰۰	۲۷۴	۴۱۱	جهت شمالی (n= ۹۶)
۹۳۰	۱۰۰	۱۶۷	۳۱۳	جهت جنوبی (n= ۷۸)
۶۵۰	۱۲۰	۱۴۶	۳۰۱	جهت شرقی (n= ۷۶)
۹۶۰	۱۰۰	۱۹۱	۳۲۴	جهت غربی (n= ۶۲)

برآورد تراکم درختان با استفاده از تحلیل مدل رگرسیونی

مدل کلی پیشنهادی برای جنگلهای مورد مطالعه بدون لحاظ نمودن جهت جغرافیایی در مدل پیشنهادی برای جنگلهای مورد مطالعه، متغیرهای پیشگویی کننده شامل مؤلفه دوم حاصل از تجزیه مؤلفه اصلی (PCA2) و B2 (طول موج قرمز) است. ضریب تبیین اصلاح شده ($R^2 \text{ adj}$) بین ریشه دوم تعداد در هکتار و متغیرهای مذکور ۰/۲۶ می باشد. براساس نتایج تجزیه واریانس رگرسیون، فرضیه نامناسب

بودن مدل خطی در برازش مدل رگرسیونی با اطمینان ۹۹ درصد رد می شود ($P < ۰/۰۱$ و $F = ۵۰/۲۹$) (جدول ۲). فرض مساوی صفر بودن ضرایب رگرسیون و عرض از مبدأ مدل در سطح ۱ درصد رد شد (جدول ۲). نتیجه آزمون تک نمونه ای کولموگروف-اسمیرنوف نشان دهنده نرمال بودن توزیع خطاها (باقیمانده ها) است ($P = ۰/۱۰۰$). آزمون معنی دار بودن t برای اریبی (Bias) براساس جدول t_Student نشان داد که در مدل ارائه شده میزان اریبی معنی دار نبوده و بنابراین قابل قبول می باشد.

جدول ۲- ضرایب رگرسیونی و خطای معیار مدل کلی پیشنهادی برای جنگلهای مورد مطالعه

Beta	P	t	SE	برآورد ضرایب	ضرایب مدل
-	<۰/۰۱	۱۲/۷۳۱	۳/۲۰۵	۴۰/۷۹۹	b_0
-۰/۳۵۱	<۰/۰۱	-۵/۸۶۹	۰/۰۲۹	-۰/۱۶۸	b_1
-۰/۲۳۸	<۰/۰۱	-۳/۹۸۰	۰/۰۳۲	-۰/۱۲۷	b_2

$$\text{SQRT}(N) = b_0 + b_1 \text{PCA2} + b_2 \text{B2}$$

$F = ۵۰/۲۹۴$ $P < ۰/۰۱$ $\text{MSE} = ۱۹/۸۶$ $R^2_{\text{adj}} = ۰/۲۶$ $n = ۲۸۱$

$\text{RMSE} = ۲۳۲ \text{ tree/ha}$ $\text{RMSE}_r = ۰/۵۷/۴$ $\text{Bias} = -۲۰ \text{ tree/ha}$ $\text{Bias} = -۰/۶۲۴$

$t = -۱۰۱/۴۸$

مدل پیشنهادی برای جهت شمالی

در مدل پیشنهادی برای جنگلهای دامنه های شمالی، متغیرهای مستقل (پیشگویی کننده) شامل PCA2 و Ratio (NIR/R) است. ضریب تبیین اصلاح شده بین ریشه دوم تعداد در هکتار و متغیرهای مذکور ۰/۳۱ می باشد. براساس نتایج تجزیه واریانس رگرسیون، فرضیه نامناسب بودن مدل خطی در برازش مدل رگرسیونی با اطمینان ۹۹ درصد رد می شود و مدل ارتباط متغیرهای پیشگویی کننده را با ریشه دوم تعداد در هکتار به طور معنی داری بیان

می کند ($P < ۰/۰۱$ و $F = ۱۹/۶۲۲$) (جدول ۳). فرض مساوی صفر بودن ضرایب رگرسیون و عرض از مبدأ مدل در سطح ۱ درصد رد شد (جدول ۳). نتیجه آزمون تک نمونه ای کولموگروف-اسمیرنوف نشان دهنده نرمال بودن توزیع خطاها (باقیمانده ها) است ($P = ۰/۱۸۹$). آزمون معنی دار بودن t برای اریبی (Bias) براساس جدول t_Student نشان داد که در مدل ارائه شده میزان اریبی معنی دار نبوده و قابل قبول می باشد.

جدول ۳- ضرایب رگرسیونی و خطای معیار مدل پیشنهادی برای جنگلهای شمالی

ضرایب مدل	برآورد ضرایب	SE	t	P	Beta
b_0	۱۱۸/۲۹۸	۳۲/۷۴۱	۳/۶۱۳	<۰/۰۱	-
b_1	-۴۷/۷۳۳	۱۸/۴۶۶	-۲/۵۸۵	<۰/۰۱	-۱/۰۰۲
b_2	-۰/۹۲۱	۰/۲۴۰	-۳/۸۴۴	<۰/۰۱	-۱/۴۹۱

$SQRT(N) = b_0 + b_1 \text{Ratio} + b_2 \text{PCAC2}$
 $F = ۱۹/۶۲ \quad P < ۰/۰۱ \quad R^2_{adj} = ۰/۳۱ \quad n = ۸۶$
 $RMSE = ۲۳۳ \text{ tree/ha} \quad RMSE_r = ٪۶۱/۸ \quad Bias = -۲۷ \text{ tree/ha} \quad Bias = -٪۷/۲۱$
 $t = -۴۷/۷۲$

- مدل پیشنهادی برای جهت جنوبی

در جهت جنوبی، ریشه دوم تعداد در هکتار بیشترین همبستگی را با PCA2 ($r = ۰/۵۴$) دارد. در مدل پیشنهادی برای جنگلهای جنوبی متغیرهای مستقل (پیشگویی کننده) شامل شاخص گیاهی AVI (NIR-R) و مؤلفه دوم حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی PCA2 است. ضریب تبیین اصلاح شده بین ریشه دوم تعداد در هکتار و متغیرهای مذکور ۰/۳۴ می‌باشد. براساس نتایج تجزیه واریانس رگرسیون، فرضیه نامناسب بودن مدل خطی در برازش

مدل رگرسیونی با اطمینان ۹۹ درصد رد می‌شود و مدل ارتباط متغیرهای پیشگویی کننده را با ریشه دوم تعداد در هکتار به‌طور معنی‌داری بیان می‌کند ($P < ۰/۰۱$) و ($F = ۱۸/۶۳۲$) (جدول ۴). فرض مساوی صفر بودن ضرایب رگرسیون و عرض از مبدأ مدل در سطح ۱ درصد رد شد (جدول ۴). نتیجه آزمون تک‌نمونه‌ای کولموگروف-اسمیرنوف نشان دهنده نرمال بودن توزیع خطاها (باقیمانده‌ها) است ($P = ۰/۹۲۷$).

جدول ۴- ضرایب رگرسیونی و خطای معیار مدل پیشنهادی برای جنگلهای جنوبی

ضرایب مدل	برآورد ضرایب	SE	t	P	Beta
b_0	۲۴/۷۴۷	۳/۱۰۶	۷/۹۶۷	<۰/۰۱	
b_1	-۰/۱۷۰	۰/۰۴۷	-۳/۵۸۷	<۰/۰۱	-۰/۳۹۸
b_2	۰/۴۵۸	۰/۱۷۱	۲/۶۷۷	<۰/۰۱	۰/۲۹۷

$SQRT(N) = b_0 + b_1 \text{PCAC2} + b_2 \text{AVI}$
 $F = ۱۸/۶۳۲ \quad P < ۰/۰۱ \quad R^2_{adj} = ۰/۳۴ \quad n = ۷۰$
 $RMSE = ۱۲۸ \text{ tree/ha} \quad RMSE_r = ٪۴۳/۲ \quad Bias = -۱۱ \text{ tree/ha} \quad Bias = -٪۳/۷۴$
 $t = -۶۷/۴۹$

- مدل پیشنهادی برای جهت شرقی

در مدل پیشنهادی برای جنگلهای شرقی، متغیر پیشگویی کننده شامل B1 است ($R^2_{adj} = ۰/۱۹$). براساس

نتایج تجزیه واریانس رگرسیون، فرضیه نامناسب بودن مدل خطی در برازش مدل رگرسیونی با اطمینان ۹۹ درصد رد می‌شود و مدل ارتباط شاخص B1 را با ریشه

دوم تعداد در هکتار به طور معنی داری بیان می کند (جدول ۵). فرض مساوی صفر بودن ضرایب رگرسیون و عرض از مبدأ مدل در سطح ۱ (P < ۰/۰۱ و F = ۱۶/۸۱) (جدول ۵). نتیجه آزمون تک نمونه ای کولموگروف- اسمیرنوف نشان دهنده نرمال بودن توزیع خطاها (باقیمانده ها) است (P = ۰/۸۲۷).

جدول ۵- ضرایب رگرسیونی و خطای معیار مدل پیشنهادی برای جنگلهای شرقی

ضرایب مدل	برآورد ضرایب	SE	t	P	Beta
b ₀	۴۶/۷۰۶	۷/۲۶۷	۶/۴۲۷	<۰/۰۱	-
b ₁	-۰/۲۲۳	۰/۰۵۴	-۴/۱۰۰	<۰/۰۱	-۰/۴۵۱

SQRT(N) = b₀ + b₁B1

F = ۱۶/۸۱ P < ۰/۰۱ MSE = ۱۳/۴۴ R²_{adj} = ۰/۱۹ n = ۶۸

RMSE = ۱۲۹ tree/ha RMSE_r = %۴۴/۲ Bias = -۱۳ tree/ha Bias = -%/۴۸

t = -۶۱/۱۸

است. براساس نتایج تجزیه واریانس رگرسیون، فرضیه نامناسب بودن مدل خطی در برازش مدل رگرسیونی با اطمینان ۹۹ درصد رد می شود (P < ۰/۰۱ و F = ۱۴/۰۹) (جدول ۶). نتیجه آزمون ضرایب رگرسیون و عرض از مبدأ مدل در جدول ۶ آمده است. نتیجه آزمون تک نمونه ای کولموگروف- اسمیرنوف نشان دهنده نرمال بودن توزیع خطاها (باقیمانده ها) است (P = ۰/۶۵۶).

مدل پیشنهادی برای جهت غربی

در مدل پیشنهادی برای جنگلهای غربی، متغیرهای مستقل شامل شاخص گیاهی PVI (PVI = sin(σ)NIR - cos(σ)R) که σ شیب خط خاک است، باند مادون قرمز نزدیک (B3) و شاخص گیاهی AVI (NIR-R) می باشند. ضریب تبیین اصلاح شده بین ریشه دوم تعداد در هکتار و متغیرهای مذکور، ۰/۴۲

جدول ۶- ضرایب رگرسیونی و خطای معیار مدل پیشنهادی برای جنگلهای غربی

ضرایب مدل	برآورد ضرایب	SE	t	P	Beta
b ₀	۵۶/۳۱	۷/۹۹۲	۷/۰۴۶	<۰/۰۱	-
b ₁	-۰/۷۴۱	۰/۱۱۶	-۶/۳۸۲	<۰/۰۱	-۰/۹۱۵
b ₂	-۰/۲۱۸	۰/۰۵۶	-۳/۸۶۶	<۰/۰۱	-۰/۵۵۳
b ₃	-۰/۷۹۵	۰/۳۴۵	-۲/۳۰۳	<۰/۰۵	-۰/۲۵۸

SQRT(N) = b₀ + b₁PVI + b₂B3 + b₃AVI

F = ۱۴/۰۹ P < ۰/۰۱ MSE = ۱۴/۵۷ R²_{adj} = ۰/۴۲ n = ۵۶

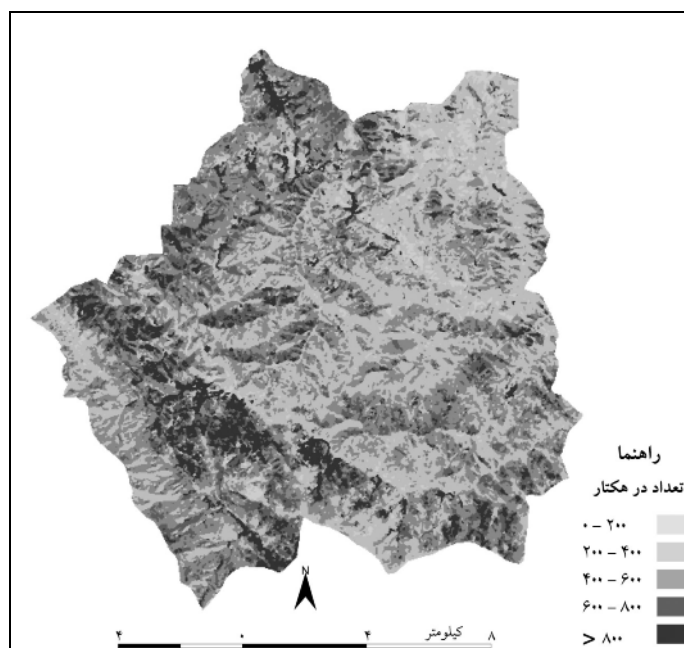
RMSE = ۱۳۵ tree/ha RMSE_r = %۴۳/۲ Bias = -۱۴ tree/ha Bias = -%/۳۲

t = -۵۴/۴۵

تهیه نقشه تراکم درختان

نقشه تراکم درختان با استفاده از مدل رگرسیونی انتخاب شده برای کل منطقه و نیز به تفکیک برای چهار جهت جغرافیایی تهیه شد. مناطقی که با رنگ تیره‌تر

مشخص شده‌اند دارای تراکم بیشتر و مناطقی که با رنگ روشن‌تر مشخص شده‌اند دارای تراکم کمتری می‌باشند. در شکل ۲ نقشه تراکم درختان کل منطقه (بدون تفکیک جهت جغرافیایی) نشان داده شده است.



شکل ۲- نقشه تراکم درختان (تعداد در هکتار) کل منطقه، حاصل از تصویر ماهواره‌ای SPOT5

بحث

در این تحقیق رابطه بین انعکاس طیفی ثبت شده در باندهای سنجنده HRG ماهواره SPOT5 و مشخصه تراکم جنگل (تعداد در هکتار)، مورد بررسی قرار گرفت. متغیرهای مستقل تشکیل دهنده بهترین مدل رگرسیونی برای کل منطقه ($R^2_{adj} = 0/26$ و $RMSE = 232$)، شامل باند قرمز سنجنده به همراه مؤلفه دوم حاصل از تحلیل PCA بر روی ۴ باند اصلی بود. تحقیقات مشابه (Mohammadi & Shataee (2007) و Sivanpillai *et al.* (2006) که با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ انجام شد، به ترتیب با $R^2_{adj} = 0/73$ ، $RMSE = 170/13$ و $R^2_{adj} = 0/60$ ، $RMSE = 312/15$ ، حکایت از برآورد بهتر مشخصه تعداد در هکتار داشته است. Gebreslasie *et al.*

(2010) با استفاده از داده‌های سنجنده Aster، مدلی با ضریب تبیین $0/65$ و $RMSE = 168$ برای برآورد تراکم درختان ارائه نمودند. ضریب تبیین کمتر حاصل شده در این تحقیق به علت تراکم کمتر تاج‌پوشش درختان و در نتیجه انعکاس طیفی کمتر در محدوده باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک است (Danson & Curran, 1993). با وجود تراکم زیاد درختان در منطقه، بیشتر درختان دارای ابعاد کوچکی هستند و به دلیل سرشاخه‌زنی در منطقه تاج‌پوشش نیز ناچیز می‌باشد. بنابراین DN ثبت شده تنها نتیجه بازتاب تاج‌پوشش نیست، بلکه تحت تأثیر عوامل دیگر نیز قرار می‌گیرد.

Donoghue & Watt (2002) در تحقیق خود به منظور برآورد مشخصه‌های توده با استفاده از داده‌های

ETM+ و SPOT4 به نتایج قابل قبولی برای برآورد تعداد در هکتار دست نیافتند.

باندهای قرمز، مادون قرمز نزدیک و یا نسبتی از آنها نقش مهمی در بهبود نتایج ارائه نمودند. در تحقیقات (Vohland (2007؛ Sivanpillai et al. (2006 و (Jakubauskas & Price (1997 نیز باندهای مادون قرمز برآورد بهتری از تعداد در هکتار ارائه کردند. افزودن باندهای حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی در این تحقیق، سبب بهبود نتایج این تحقیق شده است. نتایج حاصل از تحقیق (Sivanpillai et al. (2006 نیز مؤید این مطلب است. وارد شدن شاخص‌های گیاهی به مدل در جهت‌های شمالی، جنوبی و غربی، استفاده از این شاخص‌ها را در این گونه مطالعات مورد تأکید قرار می‌دهد (ناصری و همکاران، ۱۳۸۳؛ علوی‌پناه، ۱۳۸۵؛ ارزانی، ۱۳۷۶؛ درویش‌صفت و همکاران، ۱۳۸۲). حسینی (۱۳۸۱) و مرادی (۱۳۸۸) در استفاده از شاخص‌های گیاهی نتایج ضعیفی بدست آوردند. در این بررسی استفاده از رگرسیون چندمتغیره سبب بهبود نتایج شده است. ناصری و همکاران (۱۳۸۳)، خرمی و همکاران (۱۳۸۶)، حسینی (۱۳۸۱) و Xu et al. (2003) نیز این مسئله را بیان کرده‌اند. اعمال تبدیلات ریاضی (لگاریتم، توان، ریشه دوم، معکوس) بر روی متغیر تابع (تراکم درخت) و بررسی روابط متغیرهای جدید با متغیرهای مستقل (ارزش‌های طیفی مناظر قطعات نمونه زمینی در باندهای اصلی و مصنوعی مختلف)، نشان دهنده افزایش میزان ضریب همبستگی بوده است؛ به گونه‌ای که بیشترین ضریب همبستگی بین ریشه دوم مشخصه تعداد در هکتار با متغیرهای مستقل بدست آمد. خرمی و همکاران (۱۳۸۶)، عزیززی (۱۳۸۷)، Xu et al. (2003)، (Ripple et al. (1991 و Donoghue & Watt (2002) با اعمال تابع لگاریتم بر روی متغیر پیشگویی کننده نتایج بهتری را بدست آوردند.

افزودن داده‌های کمکی ارتفاع، شیب و جهت جغرافیایی به‌عنوان متغیرهای مستقل تأثیری در بهبود نتایج مدل نداشت. علت این امر را می‌توان در عدم تأثیر معنی‌دار این مشخصه‌ها در تراکم درختان در منطقه و همچنین بر روی انرژی انعکاس یافته از پدیده‌ها دانست. عزیززی (۱۳۸۷) نیز به نتیجه مشابهی دست یافت. (Mohammadi & Shataee (2007 به نقش مثبت افزودن داده کمکی شیب در بهبود نتایج اشاره داشته‌اند. ارائه مدل‌های رگرسیونی جداگانه برای چهار جهت اصلی جغرافیایی، بیان کننده تغییر در دقت برآورد می‌باشد، به‌طوری که در میزان ضریب تبیین اصلاح شده مدل مربوط به جهت غربی، افزایش قابل توجه ۱۶ درصد حاصل شد. ضریب تبیین اصلاح شده در جهت‌های جنوبی و شمالی نیز نسبت به حالت کلی به ترتیب ۸ و ۵ درصد افزایش یافتند که علت را می‌توان در همگنی بیشتر توده‌ها در جهات مختلف جغرافیایی دانست. خرمی و همکاران (۱۳۸۶) نیز به منظور حذف اثر جهت، مطالعه خود را فقط در تیپ راش خالص و در جهت شمالی انجام دادند.

کم بودن ضرایب تبیین مدل‌ها، نشان‌دهنده این واقعیت است که سایر مشخصه‌ها (بازتابش خاک و...) سهم زیادی از بازتابش را به‌خود اختصاص داده و به‌شدت برآورد این مشخصه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین برای برآورد بهتر مشخصه تعداد در هکتار باید راهکارهای جدیدتری را جستجو نمود.

منابع مورد استفاده

- ارزانی، ح.، ۱۳۷۶. کاربرد اطلاعات رقومی ماهواره لندست در تخمین تولید و پوشش گیاهی. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۰ (۱): ۲۱-۳.
- حسینی، س.ز.، ۱۳۸۱. بررسی قابلیت داده‌های ETM جهت تهیه نقشه کاربری اراضی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشگاه تهران، ۱۲۵ صفحه.

- Project, Final reports.
http://www.geography.dur.ac.uk/research/bnsc_cpp/bnsc_cpp.html
- Franklin, J., 1986. Thematic mapper analysis of coniferous forest structure and composition. *Int. J. of Remote Sens.*, 7 (10): 1287-1301.
 - Gebreslasie, M.T., Ahmed, F.B. and Van Aardt, J.A.N., 2010. Predicting forest structural attributes using ancillary data and ASTER satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12 (1): 23-26.
 - Hudak, T., Crookston, N.L., Evans, J.S., Falkowski, M.J., Smith, A.M.S., Gessler, P.E. and Morgan, P., 2006. Regression modeling and mapping of coniferous forest basal area and tree density from discrete-return lidar and multispectral satellite data. *Can. J. Remote Sens.*, 32 (2): 126-138.
 - Jakubauskas, M.E. and Price, K.P., 1997. Empirical relationships between biotic and spectral factors of Yellowstone lodgepole pine forests. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63 (12): 1375-1381.
 - Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. and Moran, E., 2004. Relationships between forest stand parameters and landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. *For. Ecol. Manage.*, 198: 149-167.
 - McRoberts, R., 2008. Using satellite imagery and the k-nearest neighbors technique as a bridge between strategic and management forest inventories. *Remote Sens. of Environ.*, 112: 2212-2221.
 - Mohammadi, J. and Shataee, Sh., 2007. Forest stand density mapping using Landsat ETM+ data, Loveh's forests, North of Iran. *Proceedings of Asian association on remote sensing (ACRS)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 7 p.
 - Ripple W.J., Wang, S., Isaacson, D.L. and Paine, D.P., 1991. A preliminary comparison of Landsat TM and Spot-1 HRV multi spectral data for estimating coniferous forest volume. *Int. J. of Remote sens.*, 12 (9): 1971-1977.
 - Sivanpillai, R., Smith, C.T., Srinivasan, R., Messina, M.G. and Ben Wu, X., 2006. Estimation of managed loblolly pine stand age and density with Landsat ETM+ data. *For. Ecol. and Manage.*, 223: 247-254.
 - Trotter, C.M., Dymond, J.R. and Goulding, C.J., 1997. Estimation of timber volume in a coniferous plantation forest using Landsat TM. *Int. J. Remote Sens.*, 18: 2209-2223.
 - Vohland, M., Stoffels, J., Hau, Ch. and Schueler, G., 2007. Remote sensing techniques for forest parameter assessment: Multispectral classification and linear spectral mixture analysis. *Silva Fennica*, 41 (3): 441-455.
 - Wulf, R.R., Goossens, R.E. and Roover, B.P., 1990. Extraction of forest stand parameters from panchromatic and multispectral Spot-1 data. *Int. J. of Remote Sense.*, 11 (9): 1571-1588.
 - Xu, B., Gong, P. and Pu, R., 2003. Crown closure estimation of oak Savannah in a dry season with Landsat TM imagery: comparison of various indices through correlation analysis. *Int. J. Remote sens.*, 24 (9): 1811-1822.
 - خرمی، ر.، درویش‌صفت، ع. و نمیرانیان، م.، ۱۳۸۶. بررسی قابلیت داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ در برآورد موجودی سرپای توده‌های راش (مطالعه موردی: جنگلهای سنگده). *مجله منابع طبیعی ایران*، ۶۰ (۴): ۱۲۸۹-۱۲۸۱.
 - درویش‌صفت، ع.، پویافر، ا. و سرداری، ف.، ۱۳۸۲. بررسی امکان تعیین تراکم توده‌های تاغ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *اولین همایش تاغ و تاغ‌کاری در ایران*: ۵۲-۴۶.
 - رضائی، ع. و سلطانی، ا.، ۱۳۷۷. مقدمه‌ای بر تحلیل رگرسیون کاربردی. *مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان*، ۲۹۴ صفحه.
 - عزیززی، ز.، ۱۳۸۷. ارزیابی برآورد حجم سرپای جنگل و تغییرات آن در اثر احداث جاده‌های جنگلی با استفاده از تصاویر IRS. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد جنگلداری*، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۵۷ صفحه.
 - علوی‌پناه، س.ک.، ۱۳۸۵. کاربرد سنجنش از دور در علوم زمین (خاک). *انتشارات دانشگاه تهران*، ۳۰۰ صفحه.
 - فتاحی، م.، ۱۳۷۳. بررسی جنگلهای بلوط زاگرس و مهمترین عوامل تخریب آن. *مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور*، نشریه شماره ۱۰۱، ۶۳ صفحه.
 - مرادی، ر.، ۱۳۸۸. بررسی ساختار و بررسی تغییرات گستره جنگل در زاگرس شمالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای SPOT5 (مطالعه موردی: جنگلهای بانه). *پایان‌نامه کارشناسی ارشد جنگلداری*، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، ۸۹ صفحه.
 - ناصری، ف.، درویش‌صفت، ع.ا.، سبحانی، ه. و نمیرانیان، م.، ۱۳۸۳. ارزیابی داده‌های لندست ۷ برای برآورد نقشه تراکم جنگل در نواحی خشک و نیمه‌خشک. *مجله منابع طبیعی*، ۵۷ (۱): ۱۱۹-۱۰۹.
 - Andersen, G.L., 1998. Classification and estimation of forest and vegetation variables in optical high resolution satellites: A review of methodologies. *Interim Report, international institute for applied systems analysis, IR-98-085*, 18 p.
 - Danson, F.M. and Curran, P.J., 1993. Factors affecting the remotely sensed response of coniferous forest plantations. *Remote Sens. Environ.*, 43: 55-65.
 - Donoghue, D. and Watt, P., 2002. Monitoring of woodland establishment and growth for the UK forest industry. *BNSC Customer Partnership*

Evaluation of the capability of SPOT5-HRG data for predicting tree density in the northern Zagros forests

M. Pir Bavaghar ^{1*}, L. Ghahramani ² and P. Fatehi ³

1* - Corresponding author, Assistant professor, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

E-mail: mahtab_bavaghar@yahoo.com

2- Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

3- Senior research expert, Research Center of Agriculture and Natural Resources of Kurdistan province, Sanandaj, Iran.

Received: 23.02.2010 Accepted: 17.12.2010

Abstract

Quantitative attributes of forest stands are valuable data that are very important for the evaluation of forest resources. Regarding to unique structure of Zagros forests, we tried to predict tree density using SPOT5-HRG satellite data in this study. A systematic random grid consisting of 319 circle plots (0.1 ha) were used to collect field data. Spectral values related to field plots were extracted from original and the artificial bands composed of vegetation indices and principle component analysis. Ancillary data such as slope, aspect and elevation were also used. Multiple regression and stepwise method were used to predict tree density from 4 original spectral bands and 16 artificial bands as independent variables. Ancillary data didn't improve the results. For considering geographic aspects effects, the study also was done for different aspects, separately. In the general model, predictive variables were PCAC2 (the 2nd component of PCA) and B2 (Red band) with the adjusted coefficient of determination of 0.26%. In the suggested models for the northern, southern, eastern and western forests, independent variables are PCAC2, Ratio; PCAC2, AVI; B1 and PVI, AVI, B3, with the adjusted coefficient of determination of 31%, 34%, 19% and 42%, respectively. The Results of model validation tests showed that all of the presented equations had a reliable validation and are useful for this area, however, for better estimation of tree density, we should find the other approaches.

Key words: Tree density, SPOT5, multiple regression, northern Zagros forests.