

## ارزیابی امکان برآورد برخی مشخصه‌های کمی جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره IRS-P6 (مطالعه موردی: جنگل‌های شهرستان بانه)

مهتاب پیرباوقار\*

استادیار گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

(تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۲۲، تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۳۰)

### چکیده

هدف از تحقیق حاضر، بررسی امکان برآورد مشخصه‌های تراکم (تعداد پایه در هکتار) و سطح مقطع درختان با استفاده از تصاویر سنجنده‌های LISS-III و PAN ماهواره IRS-P6، در بخشی از جنگل‌های زاگرس شمالی در شهرستان بانه استان کردستان است. به منظور جمع‌آوری داده‌های زمینی از یک شبکه آماربرداری به روش منظم تصادفی شامل ۳۱۲ قطعه نمونه دایره‌ای شکل ۰/۱ هکتاری استفاده شد. تصحیح هندسی تصاویر با استفاده از ۲۹ نقطه کنترل به روش چندجمله‌ای با خطای ۶/۸۱ متر انجام شد. پس از پردازش تصاویر، ارزش‌های متناظر قطعه‌های نمونه زمینی (آماره‌های میانگین، انحراف معیار و دامنه) به عنوان متغیر مستقل از تصاویر اصلی، شاخص‌های گیاهی متناسب و مولفه‌های حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی استخراج و تعداد در هکتار و سطح مقطع به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. با استفاده از تحلیل رگرسیون چندگانه و روش گام به گام بهترین مدل‌های رگرسیونی تولید و با در نظر گرفتن معیارهای ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، اریبی (Bias)، همبستگی و مقدار F، مدل مناسب انتخاب شد. ضریب تعیین بهترین مدل برآوردکننده سطح مقطع و تراکم به ترتیب ۰/۴۲ و ۰/۳۱ با استفاده از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده (باند‌های اصلی و شاخص‌های گیاهی) حاصل شد. مقادیر RMSE و اریبی بهترین مدل‌ها به ترتیب ۴۰ و ۱/۲۷ درصد برای سطح مقطع و ۴۶ و ۹/۵ درصد برای مشخصه تعداد در هکتار به دست آمد. افزودن داده‌های کمکی فیزیوگرافی سبب بهبود مدل‌های به دست آمده نشد.

واژه‌های کلیدی: تراکم جنگل، سطح مقطع، IRS-P6، رگرسیون چندگانه، جنگل‌های زاگرس شمالی.

## مقدمه و هدف

جنگل‌های زاگرس که وسیع‌ترین جنگل‌های ایران به‌شمار می‌روند به‌علت نقشی که در ذخیره آب‌های زیرزمینی، حفاظت خاک و دیگر خدمات اجتماعی- اقتصادی ایفا می‌کنند، از اهمیت به‌سزایی برخوردارند. به همین دلیل به اطلاعات به‌هنگام برای برنامه‌ریزی دقیق نیاز دارند. مشخصه‌های کمی یک توده جنگلی مانند حجم زی‌توده، متوسط قطر و ارتفاع توده، تعداد در هکتار، مقدار تاج‌پوشش، سطح مقطع و سن، داده‌های با اهمیتی برای ارزیابی منابع جنگلی هستند.

استفاده از عملیات میدانی برای تعیین مشخصه‌های جنگل، پرهزینه و زمان‌بر است و همچنین نیروی کار زیادی نیاز دارد (Trotter et al., 1997). استفاده از فن‌آوری سنجش از دور در مواقعی که داده‌های ماهواره‌ای با مشخصه‌های اندازه‌گیری‌شده زمینی همبستگی خوبی داشته باشند، گامی مهم برای کاهش هزینه‌های آماربرداری و پایش جنگل است.

تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه برآورد برخی از مشخصه‌های کمی توده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به روش‌های مختلف رگرسیونی و همبستگی، انجام شده است (ناصری، ۱۳۸۲؛ خرمی، ۱۳۸۶؛ عزیزی، ۱۳۸۷؛ Trotter et al., 1997; Donoghue & Watt, 2002; Sirvanpillai et al., 2006; Mohammadi & Shataee, 2007; Vohland et al., 2007; McRoberts, 2008; Ozdemir & Karnieli, 2011).

با این وجود نتیجه‌گیری درباره رابطه بین مشخصه‌های توده جنگلی و انعکاس‌های طیفی، بسته به خصوصیات مناطق مورد بررسی متفاوت است (Lu et al., 2004). برای ایجاد یک رابطه صحیح بین پوشش جنگل و داده‌های ماهواره‌ای، درک چگونگی ارتباط بین تصاویر ماهواره‌ای و مشخصه‌های توده جنگلی ضروری است (Franklin, 1986; wulf et al., 1990; Lue et al., 2004).

از آنجا که مشخصه‌های کمی جنگل ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلف فیزیوگرافی قرار داشته باشند، احتمال دارد استفاده از این داده‌ها به‌عنوان داده‌های کمکی به بهبود نتایج منجر شود. (Holmgren et al., 2000). در برآورد حجم تنه و سطح مقطع برابر سینه، (Mora et al., 2011). در تهیه نقشه توده‌های جنگلی تجدید حیات یافته، (Dobrowski et al.,

(2006) در تهیه نقشه پراکنش گونه‌ها و Mohammadi & Shataee (2007) در برآورد ترکم پایه و تهیه نقشه تیپ از داده‌های کمکی، برای بهبود نتایج استفاده کردند. پرما و شتایی (۱۳۸۹) به بررسی امکان تهیه نقشه‌های تنوع و تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ پرداختند. عبداللهی و شتایی (۱۳۸۸) و احمدی‌ثانی (۱۳۸۴) به ترتیب قابلیت داده‌های سنجنده ETM+ و ASTER را در تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل در جنگل‌های زاگرس بررسی کردند. با توجه به ساختار منحصر به فرد جنگل‌های زاگرس و تحقیقات اندک صورت‌گرفته در زمینه امکان برآورد مشخصه‌های سطح مقطع و تعداد درخت در هکتار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در این جنگل‌ها، در این بررسی تلاش شده است تا با استفاده از تصاویر سنجنده‌های LISS-III و PAN ماهواره IRS-P6، امکان برآورد این مشخصه‌ها در بخشی از جنگل‌های بانه مورد بررسی قرار گیرد. تأثیر داده‌های کمکی ارتفاع، شیب و جهت جغرافیایی بر بهبود نتایج مدل نیز بررسی شد.

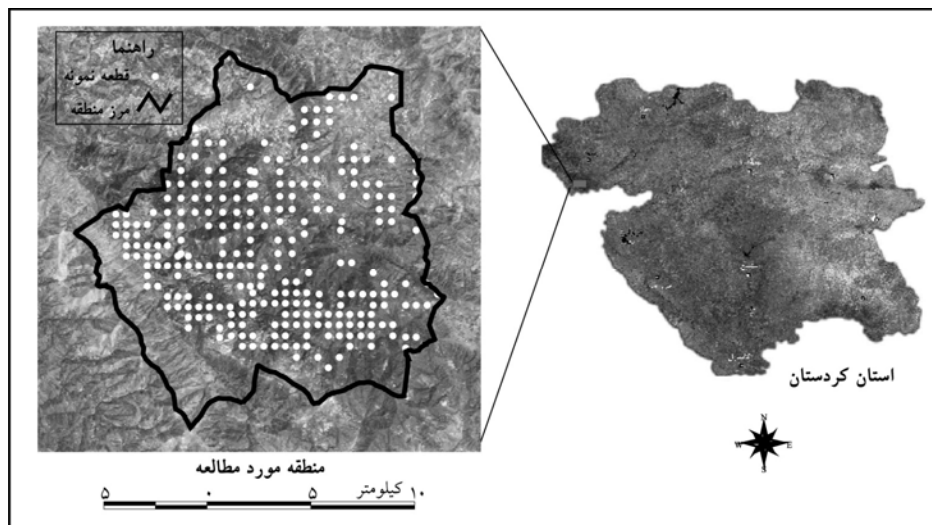
## مواد و روش‌ها

### - منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی با مساحت ۱۵۷۰۰ هکتار در زاگرس شمالی در شهرستان بانه استان کردستان و غرب ایران (۱۵° ۱۵' تا ۳۵° ۴۵' ۴۵' عرض جغرافیایی شمالی و ۵۵° ۴۰' تا ۴۵° ۴۵' ۵۰' طول جغرافیایی شرقی) واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۱۵۵۰ متر و میانگین سالیانه بارندگی بر اساس آمار ثبت‌شده از ایستگاه هواشناسی بانه، ۷۶۰ میلی‌متر است. گونه‌های اصلی تشکیل‌دهنده جنگل‌های مورد بررسی عبارتند از وی‌ول (*Quercus Libani Oliv.*)، برودار (*Quercus branti Lindl*) و مازودار (*Quercus infectoria Oliv.*). گونه‌های درختی زالزالک وحشی (*Crataegus spp.*)، گلابی وحشی (*Pyrus spp.*)، کیکم (*Acer cineracens*) و بنه (*Pistacia atlantica*) به‌عنوان گونه‌های درختی همراه در ترکیب این جنگل‌ها وجود دارند. فرم کلی رویشی جنگل‌های منطقه، شاخه‌زاد کهن (درختان تک‌پایه) و دانه و شاخه‌زاد

متوسط تا نیمه‌انبوه و حدود ۴۰-۳۵ درصد است (شکل ۲).

(شاخه‌زاد کهن) است. به دلیل گلازنی در منطقه، تاج پوشش اندک است. وضعیت منطقه از نظر تراکم تاج پوشش، تنک،



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی در استان کردستان، تصویر ماهواره‌ای و موقعیت قطعه‌های نمونه در منطقه



شکل ۲- سیمای ظاهری منطقه مورد بررسی (عکس از ایوب مرادی)

- داده‌های مورد استفاده

یک فریم از تصویر سنجنده‌های LISS-III و PAN ماهواره IRS-P6 مربوط به تاریخ ۲۳ تیر سال ۱۳۸۴ هجری خورشیدی، به ترتیب با اندازه تفکیک مکانی ۲۳/۵ متر در باندهای سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک و میانی و ۵/۸ متر در باند PAN و دو برگ نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ رقومی استفاده شدند.

- روش پژوهش

- برداشت قطعه‌های نمونه زمینی

در این تحقیق از ۳۱۲ قطعه نمونه دایره‌ای شکل ۰/۱ هکتاری که در تابستان ۱۳۸۴ (هم‌زمان با تاریخ تصاویر) در قالب طرح ساماندهی گلازنی (غضنفری، ۱۳۸۴) در منطقه اجرای تحقیق برداشت شده بود، استفاده شد. منطقه از ۵ بخش تشکیل شده است. نمونه‌برداری به صورت منظم تصادفی و برای هر بخش به صورت جداگانه انجام گرفت. به منظور اجرای نمونه‌برداری، شبکه آماربرداری برای هر

دهنده تطابق هندسی مناسب داده‌های ماهواره‌ای با نقشه بود. قابل ذکر است که برای این بررسی از جاده‌های برداشت‌شده با GPS و همچنین لایه‌های استخراج‌شده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی استفاده شد. امکان تصحیح هندسی به روش آرتو به دلیل عدم وجود فایل header تصویر وجود نداشت. از آنجا که موقعیت منطقه در نزدیکی خط نادیر تصویر قرار گرفته بود تصحیح هندسی به روش معمول نتیجه خوبی را ارائه کرد.

با مشاهده هیستوگرام ارزش‌های استخراج‌شده از تک‌باندها و بررسی مشخصه‌های آماری مانند میانگین و انحراف معیار، نرمال بودن توزیع داده‌ها تأیید شد. پردازش‌هایی چون تهیه شاخص‌های مختلف گیاهی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی روی تصاویر ماهواره‌ای در راستای استخراج هرچه بهتر اطلاعات، انجام شد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی هم به صورت انتخابی روی باندهایی که همبستگی بیشتری با هم دارند (دو باند مرئی و همچنین دو باند مادون قرمز) و هم روی کل چهار باند انجام شد. در روش انتخابی تنها از مؤلفه اول و در روش دوم از مؤلفه اول و دوم در ارائه مدل استفاده شد. شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ آمده است. همچنین به منظور استفاده همزمان از اطلاعات طیفی تصاویر چندطیفی و اطلاعات مکانی تصویر پانکروماتیک، ادغام داده‌ها به روش تبدیل فضای رنگ انجام شد. شایان ذکر است که به منظور هماهنگ‌سازی اندازه تفکیک باندهای طیفی با باند پانکروماتیک، اندازه سلول همه باندها به ۵ متر کاهش داده شد.

بخش به صورت رقومی در محیط GIS، طراحی و در هر قطعه نمونه، دو مشخصه قطر برابر سینه و تعداد پایه اندازه‌گیری شد (درختان با قطر یقه بیش از ۵ سانتی‌متر). بر اساس نتایج حاصل از برداشت زمینی، میانگین سطح مقطع و تعداد پایه در هر قطعه نمونه محاسبه شد. به دلیل این که این جنگل‌ها مورد گلزنی قرار می‌گیرند، مشخصه تراکم تاج پوشش اندازه‌گیری نشد.

نقشه رقومی قطعه‌های نمونه که به صورت برداری تهیه شده بود، به ساختار رستری تبدیل شد تا با استفاده از این لایه، از باندهای اصلی و مصنوعی، ارزش‌های رقومی (DN) متناظر با قطعه‌های نمونه زمینی استخراج شود. قابل ذکر است که هر قطعه نمونه ۰/۱ هکتاری دربرگیرنده حداکثر حدود ۲ پیکسل از تصاویر سنجنده LISS-III (۲۳/۵ متر) و حدود ۲۹ پیکسل از تصویر PAN (۵/۸ متر) است (از آنجا که قطعه نمونه‌ها دایره‌ای شکل بودند، تعیین دقیق تعداد پیکسل‌ها امکان‌پذیر نبود).

- تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای

- پردازش اولیه تصاویر و ایجاد شاخص‌های گیاهی  
به منظور بررسی خطای رادیومتری پس از نمایش تک‌باندها و ترکیب‌های مختلف رنگی بر روی صفحه نمایش رایانه، تصویر از نظر خطاهای رادیومتری مانند وجود پیکسل‌های دوبله و ابر بررسی شد و هیچکدام از موارد فوق در آن مشاهده نشد. تصحیح هندسی تصاویر LISS-III و PAN بر اساس تصویر آرتوشده SPOT5 منطقه و ۲۹ نقطه کنترل به ترتیب با خطای ۶/۸۱ و ۵/۲ متر انجام شد. انطباق خوب لایه راه‌ها و آبراهه‌ها بر روی داده‌های ماهواره‌ای نشان-

جدول ۱- شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در تحقیق

شاخص‌های طیفی	رابطه
SR <sup>1</sup>	$NIR^* / RED^{**}$
NDVI <sup>2</sup>	$(NIR - RED) / (NIR + RED)$
RVI <sup>3</sup>	$RED / NIR$
NRVI <sup>4</sup>	$(RVI - 1) / (RVI + 1)$
DVI <sup>5</sup>	$RED - NIR$
RDVI <sup>6</sup>	$\sqrt{NDVI \times DVI}$
TVI <sup>7</sup>	$\sqrt{NDVI + 0.5}$
TTVI <sup>8</sup>	$\sqrt{ABS(DVI + 0.5)}$
CTVI <sup>9</sup>	$(NDVI + 0.5) / (ABS(NDVI + 0.5) + \sqrt{ABS(NDVI + 0.5)})$
WDVI <sup>10</sup>	$NIR - \alpha \cdot RED$ $\alpha$ : شیب خط خاک
MSAVI <sup>11</sup>	$\frac{NIR - RED}{(NIR + RED + L)(1 + L)}$ که در آن $L = 1 - 2S \cdot NDVI \cdot WDVI$ و $S$ ، شیب خط خاک
TSAVI <sup>12</sup>	$\frac{((\sigma + (NIR - \sigma \cdot RED - b)) / ((\sigma \cdot NIR + R - \sigma \cdot b + X(1 - \sigma^2)))$ $\sigma$ : عرض از مبدأ خط خاک، $b$ : شیب خط خاک و $X$ : فاکتور تنظیم برای به حداقل رساندن نویز خاک
PVI <sup>13</sup>	$\sin(\sigma)NIR - \cos(\sigma)RED$ $\sigma$ : شیب خط خاک

\* باند مادون قرمز نزدیک و \*\*: باند قرمز

- 1- Simple Ratio
- 2- Normalized Difference Vegetation Index
- 3- Ratio Vegetation Index
- 4- Normalized Ratio Vegetation Index
- 5- Difference Vegetation Index
- 6- Ratio Difference Vegetation Index
- 7- Transformed Vegetation Index
- 8- Thiam's Transformed Vegetation Index
- 9- Corrected Transformed Vegetation Index
- 10- Weighted Difference Vegetation Index
- 11- Modified Soil Adjusted Vegetation Index
- 12- Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index
- 13- Perpendicular Vegetation Index

در یک قطعه نمونه و شاخصی از بافت تاج‌پوشش به‌شمار می‌روند) از باندهای اصلی و باندهای حاصل از شاخص‌های گیاهی و تحلیل PCA، استخراج شدند. متوسط ارتفاع، شیب و جهت قطعه‌های نمونه نیز از روی نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، شیب و جهت منطقه استخراج شد. تعداد در هکتار، سطح مقطع و همچنین جذر و لگاریتم این دو مشخصه به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. از تجزیه و تحلیل رگرسیونی چندگانه خطی با استفاده از روش گام به گام به‌منظور تحلیل رابطه استفاده شد.

بهترین مدل رگرسیونی بر اساس ضریب تعیین، نتایج تجزیه واریانس رگرسیون (F) و آزمون انفرادی ضرایب رگرسیون انتخاب و سپس با در نظر گرفتن معیارهای خطای برآورد (RMSE) و آریبی اعتبارسنجی شدند. به‌منظور اطمینان از عدم وجود هم‌راستایی چندگانه بین متغیرهای مستقل مدل‌ها، عامل تورم واریانس<sup>۱</sup> (VIF) نیز در مورد هر مدل بررسی گردید.

به‌منظور اعتبارسنجی مدل‌ها، حدود ۱۰ درصد از قطعه‌های نمونه (۳۰ قطعه نمونه) به‌عنوان نمونه ارزیابی به‌طور تصادفی انتخاب و برای احراز اعتبار برآورد مدل‌های پیشنهادی کنار گذاشته شدند. این قطعه‌های نمونه در تعیین مقدار همبستگی و نیز تجزیه و تحلیل رگرسیونی استفاده نشدند. اعتبارسنجی مدل‌ها با استفاده از معیارهای مختلفی انجام می‌شود، در این تحقیق با استفاده از داده‌های ارزیابی، برآوردهای مدل‌های مناسب بر اساس پایین‌تر بودن RMSE و آزمون معنی‌دار بودن t برای آریبی بر اساس جدول Student-t اعتبارسنجی شد (Makela & Pekkarinen, 2004).

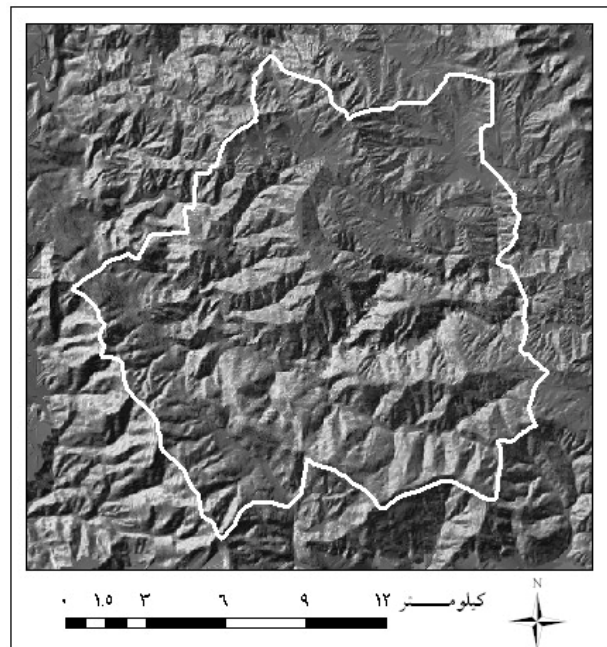
علاوه بر آن، فاصله پیش‌بینی برآوردهای مدل با مقادیر ارزیابی در سطح اطمینان ۹۵ درصد محاسبه شد (رابطه ۱). مقدار واقعی مشخصه‌ها در قطعه‌های نمونه با مقدار پیش‌بینی‌شده توسط مدل مقایسه شدند. معیار پذیرش مدل، قرار گرفتن مشخصه اندازه‌گیری‌شده در محدوده فاصله پیش‌بینی مدل است (شاهکار و بزرگ‌نیا، ۱۳۷۸؛ Montgomery & Peck, 1992).

فرض نرمال بودن توزیع خطای باقیمانده‌ها که یک اصل کلی در پذیرش یک مدل رگرسیونی است، به‌وسیله نمودار

برای تعیین خط خاک و قرار دادن ضریب‌های آن در رابطه‌های ذکرشده به‌صورت زیر عمل شد:

نقاطی را که خالی از پوشش گیاهی بوده و فقط خاک لخت وجود داشت، در عملیات میدانی به‌صورت پلی‌گن برداشت شدند. این پلی‌گن‌ها رستری شدند، سپس ارزش‌های عددی باندهای قرمز و مادون قرمز به‌صورت جداگانه در محل این پلی‌گن‌ها، استخراج شد. با استفاده از رگرسیون رابطه رگرسیونی بین باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک، مقدار شیب خط خاک تعیین شد.

- تهیه داده‌های کمکی ارتفاع، شیب و جهت مدل رقومی ارتفاع با استفاده از نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد. شکل ۳ وضعیت توپوگرافی منطقه را با استفاده از تصویر سایه و روشن پستی و بلندی‌ها، نمایش می‌دهد. نقشه‌های شیب و جهت نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاع تهیه و متوسط ارزش آن‌ها در محل قطعه‌های نمونه، برای استفاده در مدل به‌عنوان داده‌های کمکی، استخراج شد.



شکل ۳- تصویر سایه و روشن پستی و بلندی‌های منطقه

- تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها ارزش‌های رقومی (DN) متناظر قطعه‌های نمونه زمینی (آماره‌های میانگین، انحراف معیار و دامنه ارزش‌ها به این دلیل که نشان‌دهنده تغییرات ارزش‌های رقومی پیکسل‌ها

1- Variance Inflation Factor

احتمال نرمال و انجام آزمون کلموگروف-سمیرنوف بررسی شد.

**نتایج**

- آمار توصیفی تراکم درختان (تعداد در هکتار) متوسط سطح مقطع و تعداد درخت در هکتار در جنگل‌های مورد بررسی به ترتیب ۱۴/۳ متر مربع و ۳۴۲ اصله است. (جدول ۲).

$$\hat{Y}_0 \pm t_{\alpha/2, n-p-1} \sqrt{MS_{res} (1 + \frac{1}{n} + X' : (XX)^{-1} X_0)^{1/2}} \quad ۱$$

جدول ۲- آمار توصیفی مشخصه‌های سطح مقطع و تعداد در هکتار

مشخصه	تعداد	میانگین	انحراف از معیار	حداقل	حداکثر
سطح مقطع (متر مربع)	۳۱۲	۱۴/۳	۷/۷	۲/۲	۴۲/۳
تعداد در هکتار	۳۱۲	۳۴۲	۲۱۰	۱۰۰	۱۲۷۰
نمونه‌های سطح مقطع (متر مربع)	۳۰	۱۴/۹	۷/۱	۲/۲	۴۱/۸
اعتبارسنجی تعداد در هکتار	۳۰	۳۲۰	۱۶۰/۲۹	۱۰۰	۸۷۰

- برآورد تراکم و سطح مقطع درختان با استفاده از تحلیل مدل رگرسیونی بر اساس نتایج تحلیل رگرسیون گام به گام، بهترین مدل‌های رگرسیونی برای حالت اول یعنی حالتی که متغیرهای مستقل فقط شامل آماره‌های (میانگین، انحراف معیار و دامنه) باندهای اصلی و حالت دوم یعنی حالتی که متغیرهای مستقل شامل آماره‌های (میانگین، انحراف معیار و دامنه) باندهای اصلی و مصنوعی (شاخص‌های گیاهی) است، ارایه شد. نتایج حاصل از نمودار احتمال نرمال و آزمون

کلموگروف-سمیرنوف روی داده‌های اولیه نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد، داده‌ها از توزیع نرمال برخوردارند. داده‌های کمکی (داده‌های فیزیوگرافی) و مؤلفه‌های حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی در هیچ یک از مدل‌ها وارد نشدند، بنابراین کمکی به بهبود نتایج نکردند. بهترین مدل‌ها و ضریب تعیین، F، RMSE، آرایی و t مربوط به آن‌ها در جدول ۳ ارایه شده است. نتایج تحلیل و بررسی عامل تورم واریانس نیز نشان داد که همراستایی معنی‌داری بین متغیرهای مستقل مدل‌ها وجود ندارد.

جدول ۳- نتایج تحلیل رگرسیونی برای مشخصه‌های سطح مقطع و تعداد در هکتار

متغیر وابسته	مدل	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	F	RMSE درصد	درصد آرایی	t
سطح مقطع (متر مربع در هکتار)	باند‌های اصلی	۰/۳۰	۴۱/۲۱	۴۰	۱/۲۷	۰/۱۶
	باند‌های اصلی و مصنوعی	۰/۴۲	۶۷/۴۸	۴۱	۱/۴۷	۰/۱۹
تعداد در هکتار	باند‌های اصلی	۰/۳۰	۵۹/۲۴	۴۴	۴/۷۹	۰/۵۸
	باند‌های اصلی و مصنوعی	۰/۳۱	۱۱۹/۶۴	۴۶	۹/۵۰	۱/۱۱

مدل‌ها در سطح احتمال ۹۵ درصد (P = ۰/۰۵) معنی‌دارند

Sqrt B: جذر سطح مقطع؛ Log B: لگاریتم سطح مقطع؛ Sqrt N: جذر تعداد در هکتار؛ N: تعداد در هکتار

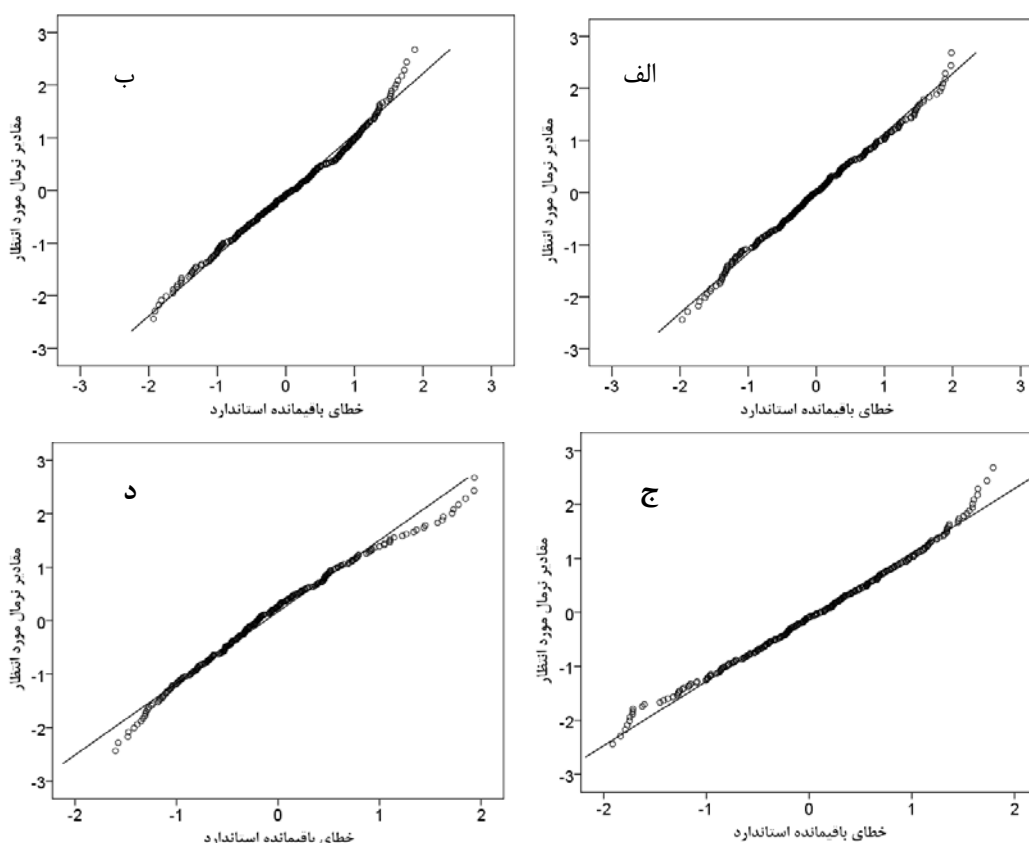
M: میانگین؛ R: دامنه؛ SD: انحراف معیار

Fus: ادغام با باند PAN

RVI، NDVI، DVI، NRVI: شاخص‌های گیاهی؛ B1، B2، B3 و PAN: باندهای سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک و پانکروماتیک

باند‌های اصلی)، ۲ (لگاریتم سطح مقطع و باندهای اصلی و مصنوعی)، ۳ (جذر تعداد در هکتار و باندهای اصلی) و ۴ (تعداد در هکتار و باندهای اصلی و مصنوعی) است. نتایج حاصل از نمودار احتمال نرمال و انجام آزمون کلموگروف-سمیرنوف نشان داد که در سطح اطمینان ۹۵ درصد، خطای باقیمانده‌ها از توزیع نرمال برخوردار است (شکل ۴).

علاوه بر قابل قبول بودن نتایج آریبی و RMSE مدل، نتیجه سنجش اعتبار به روش تعیین فاصله پیش‌بینی مدل در سطح اطمینان ۹۵ درصد و بررسی قرار گرفتن مشخصه اندازه‌گیری شده در محدوده فاصله پیش‌بینی، بیان‌کننده ضرایب کارایی ۹۷ درصد (فقط ۱ نمونه از ۳۰ نمونه در محدوده فاصله پیش‌بینی مدل قرار نگرفت)، ۹۳، ۹۳ و ۱۰۰ درصد به ترتیب برای مدل‌های ۱ (جذر سطح مقطع و



شکل ۴- نمودارهای احتمال نرمال خطای باقیمانده مدل‌ها، الف: جذر سطح مقطع و باندهای اصلی، ب: لگاریتم سطح مقطع و باندهای اصلی و مصنوعی، ج: جذر تعداد در هکتار و باندهای اصلی و د: تعداد در هکتار و باندهای اصلی و مصنوعی

## بحث

تطابق هندسی آرتو و نیز کم بودن قدرت تفکیک رادیومتری تصاویر (۷ بیت)، می‌تواند از جمله دلایل ضعیف بودن نتایج این تحقیق در مقایسه با پاره‌ای از تحقیقات انجام شده، باشد.

ناصری (۱۳۸۲)، در تحقیقی که به منظور برآورد تعداد در هکتار در جنگل‌های تنک تا نیمه‌انبوه مناطق نیمه‌خشک ایران انجام داد، به ضریب تعیین ۰/۷۵ تا ۰/۷۷ دست یافت. درویش‌صفت و همکاران (۱۳۸۲)، داده‌های رقومی سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ را برای برآورد تراکم توده‌تاغ

در این تحقیق رابطه بین انعکاس طیفی ثبت شده در باندهای سنجنده‌های LISS-III و PAN ماهواره IRS-P6 و مشخصه‌های تراکم جنگل (تعداد در هکتار) و سطح مقطع، بررسی شد. ضریب تعیین بهترین مدل برآوردکننده سطح مقطع و تراکم به ترتیب ۰/۴۲ و ۰/۳۱ با استفاده از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده (باندهای اصلی و شاخص‌های گیاهی) حاصل شد. شرایط خاص منطقه، کوچک بودن قطعه‌های نمونه نسبت به اندازه تفکیک تصاویر، عدم امکان



همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج تحقیقات بسته به شرایط مناطق مورد بررسی، متفاوت بوده است. ضریب تعیین کم حاصل‌شده در این تحقیق، به‌علت تراکم کمتر تاج‌پوشش درختان در منطقه و در نتیجه انعکاس طیفی کمتر در محدوده باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک است (Danson & Curran, 1993). به‌دلیل گلازنی در منطقه و در نتیجه میزان تاج‌پوشش اندک، انعکاس خاک بخش زیادی از مقدار انعکاس ثبت‌شده را به خود اختصاص می‌دهد. استفاده از شاخص‌های خط خاک نیز تنها به مقدار اندکی سبب بهبود نتایج شد.

کوچک بودن اندازه قطعه نمونه‌ها می‌تواند دلیل دیگر ضعیف بودن نتایج باشد. همان‌طور که در بخش‌های قبل مطرح شد، در این تحقیق از قطعه‌های نمونه ۰/۱ هکتاری از پیش برداشت‌شده به‌منظور آماربرداری جنگل، استفاده شد و اندازه آن‌ها متناسب با اندازه تفکیک تصاویر مورد استفاده نبود.

با وجود تطابق هندسی خوب داده‌ها (تطابق خوب جاده‌ها و آبراهه‌ها با تصویر)، به‌دلیل کوهستانی بودن منطقه، تصحیحات هندسی دقیق‌تر با حذف خطای جابجایی ناشی از ارتفاع نیز می‌تواند منجر به بهبود نتایج شود. همراه نبودن داده‌های header تصاویر ماهواره‌ای هندوستان، انجام تصحیحات هندسی آرتو را ناممکن می‌سازد.

Donoghue & Watt (2002) در تحقیق خود برای برآورد مشخصه‌های توده با استفاده از داده‌های ETM+ و SPOT4 به نتایج قابل قبولی برای برآورد تعداد در هکتار دست نیافتند. افزودن باندهای حاصل از تجزیه مؤلفه‌های اصلی در این تحقیق، سبب بهبود مدل نشد. این نتیجه در تحقیق Sivanpillai et al. (2006) نیز مشاهده شد.

وارد کردن شاخص‌های گیاهی در مدل‌ها و اثر آن‌ها بر بهبود نتایج مدل، استفاده از این شاخص‌ها را در این گونه بررسی‌ها مورد تأکید قرار می‌دهد (ناصری، ۱۳۸۲؛ علوی پناه، ۱۳۸۵؛ درویش صفت و همکاران، ۱۳۸۲).

باندهای قرمز، مادون قرمز نزدیک یا نسبی از آن‌ها، نقش مهمی در بهبود نتایج ارائه کردند. باند قرمز در معادله‌ها با ضریب منفی وارد شد، به این معنی که در مناطقی با تراکم و سطح مقطع بالاتر، مقدار انعکاس در این باند کمتر است. به‌طور کلی به‌دلیل جذب کلروفیلی در باند قرمز، پوشش

بررسی و بیان کردند که شاخص NDVI همبستگی خوبی (۰/۶۵) با مشخصه تراکم دارد. نتایج تحقیق Mohammadi Shataee (2007) & که با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ در جنگل‌های شمال ایران با تراکم تاج‌پوشش بالا انجام شد، نشان داد که رگرسیون چندگانه با باندهای ۴ و ۵ بهترین نتیجه را ارائه می‌دهد ( $R^2_{adj} = 0/73$ ). نتایج تحقیق Sivanpillai et al. (2006) نیز با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ در جنگل‌های سوزنی برگ شرق تگزاس ( $R^2_{adj} = 0/60$ )، حاکمی از برآورد بهتر مشخصه تعداد در هکتار بوده است. Sivanpillai et al. (2006) بیان کرد که افزودن باندهای مصنوعی مانند شاخص‌های گیاهی NDVI، ETM4/ETM3 و مؤلفه‌های روشنایی و رطوبت حاصل از تبدیل تسلدکپ به بهترین مدل رگرسیونی حاصل از باندهای اصلی، در بهبود مدل تأثیری نداشت.

Gebreslasie et al. (2009) با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER، مدلی با ضریب تعیین ۰/۶۵ و  $RMSE = 168$  برای برآورد تراکم درختان ارائه کردند. Khoram (1992) با استفاده از داده‌های اسپات و لندست TM نشان دادند که بین باند XS3 (مادون قرمز) اسپات و باندهای (۲،۳،۴،۵،۷) TM با رویه زمینی، همبستگی کم، اما معنی‌داری وجود دارد. Freekey et al. (2005) در تحقیقی که در جنگل‌های تروپیکال برای برآورد مشخصه‌های کمی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که مشخصه‌های سطح مقطع و تراکم در هکتار با شاخص‌های گیاهی حاصل از باندهای سنجنده ETM+ همبستگی معنی‌داری ندارد.

Franklin (1986) همبستگی بالایی را در استفاده از داده‌های TM در برآورد سطح مقطع جنگل‌های سوزنی‌برگ کالیفرنیا شمالی به‌دست آورد. Hudak et al. (2006) با استفاده همزمان از داده‌های چندطیفی ماهواره‌ای و داده‌های لیدار، مدل‌های رگرسیونی مورد قبولی (درصد  $R^2 = 90$ ) برای سطح مقطع و تراکم درختان سوزنی‌برگ ارائه دادند. Ozdemir & Karnieli (2011) در جنگل‌های خشک رژیم صهیونیستی برای تعداد در هکتار و سطح مقطع به‌ترتیب مدلی با ضریب تعیین ۰/۵۴ و ۰/۴۲ ارائه کردند.

جهت و ارتفاع در تهیه نقشه تپ اشاره کردند. (Wulder *et al.* (2004)؛ Danson & Curran (1993)؛ Gercek (2004) و Liu *et al.* (2002) نیز با استفاده از داده‌های کمی به نتایج مطلوب‌تری دست یافتند. به‌عنوان نتیجه کلی می‌توان بیان کرد که وجود رابطه معنی‌دار در روابط رگرسیونی با استفاده از داده‌های سنجنده LISS III در سطح اطمینان ۹۵ درصد، نرمال بودن باقیمانده‌ها، مقدار ضریب تعیین اصلاح‌شده، ریشه میانگین مربع خطا و مقدار اریبی، نشان‌دهنده قابلیت به نسبت متوسط این داده‌ها برای برآورد مشخصه‌های تعداد در هکتار و سطح مقطع است. بدیهی است با استفاده از قطعه‌های نمونه متناسب با اندازه تفکیک تصاویر، انجام تصحیح هندسی ارتو، تصحیح اثر نوردهی و همچنین استفاده از تصاویری با قدرت تفکیک رادئومتر بیشتر، به نتایج بهتری می‌توان دست یافت.

#### منابع

- احمدی ثانی، ناصر، ۱۳۸۴. بررسی قابلیت تصاویر سنجنده ASTER جهت تهیه نقشه تراکمی جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: جنگل‌های شهرستان مریوان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۸۷ ص.
- پرما، روح‌الله و شعبان شتایی جویباری، ۱۳۸۹. بررسی امکان تهیه نقشه‌های تنوع و تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ (مطالعه موردی: جنگل‌های قلاجه استان کرمانشاه)، مجله جنگل ایران، ۲ (۳): ۲۴۲-۲۳۱.
- خرمی، رمضانعلی، علی‌اصغر درویش‌صفت و منوچهر نمیرانیان، ۱۳۸۶. بررسی قابلیت داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ در برآورد موجودی سرپای توده‌های راش (مطالعه موردی: جنگل‌های سنگده)، مجله منابع طبیعی، ۶۰ (۴): ۱۲۸۹-۱۲۸۱.
- درویش‌صفت، علی‌اصغر، امیرمسعود پویافر و فرهاد سرداری، ۱۳۸۲. بررسی امکان تعیین تراکم توده‌های تاغ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، اولین همایش تاغ و تاغ‌کاری در ایران، ۵۲-۴۶.
- گیاهی تیره‌تر و خاک و لاشبرگ‌ها روشن‌تر در تصویر ظاهر می‌شوند (Ingram *et al.*, 2005; Richardson & Wiegand, 1990). در تحقیقات (Vohland (2007)؛ Sivanpillai *et al.* (2006) و (Jakubauskas & Price (1997) باندهای مادون قرمز برآورد بهتری ارائه دادند.
- اعمال تبدیلات ریاضی (لگاریتم و ریشه دوم) روی متغیرهای تابع (تراکم درخت و سطح مقطع) به افزایش مقدار ضریب همبستگی منجر شد. خرمی و همکاران (۱۳۸۶)؛ عزیزی و همکاران (۱۳۸۷)؛ Xu *et al.* (2003)؛ Ripple *et al.* (1991) و Donoghue & Watt (2002) نیز با اعمال تابع لگاریتم بر روی متغیر پیش‌گویی‌کننده، نتایج بهتری را به دست آوردند.
- افزودن داده‌های کمی فیزیوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت جغرافیایی) به‌عنوان متغیرهای مستقل تأثیری بر بهبود نتایج مدل نداشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پراکنش متغیرهای مورد بررسی در هر یک از طبقات ارتفاع، شیب و جهت، نامنظم است که یکی از دلایل آن را می‌توان ناشی از دخالت و بهره‌برداری از این جنگل‌ها و دست‌خوردگی جنگل دانست که در اثر این دخالت همبستگی بین متغیرهای کمی جنگل با متغیرهای فیزیوگرافی از حالت طبیعی آن خارج شده و از نظم خاصی پیروی نمی‌کند. بنابراین طبیعی است در چنین مناطقی داده‌های فیزیوگرافی نمی‌توانند مفید باشند. شاید عدم محاسبه دقیق متغیرها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در این قطعه نمونه‌های کوچک ۱۰ آری را بتوان از دلایل دیگر وارد نشدن این داده‌ها در مدل دانست. در تحقیق عزیزی (۱۳۸۷) نیز، استفاده از داده‌های کمی سبب بهبود نتایج نشد. Mora *et al.* (2011) اشاره داشتند که در تهیه نقشه توده‌های جنگلی تجدید حیات یافته، استفاده از داده‌های کمی شیب و جهت سبب بهبود نتایج نشد، در حالی که داده‌های کمی ارتفاع و آبراهه به افزایش صحت منجر شد. Dobrowski *et al.* (2006) اظهار داشتند که داده‌های کمی شیب، جهت و ارتفاع به دلیل ارتباط غیرمستقیم با پراکنش گونه‌ها سبب افزایش صحت در تهیه نقشه پراکنش گونه‌ها شد. Mohammadi & Shataee (2007)، به نقش مثبت استفاده از داده کمی شیب در برآورد تراکم پایه و داده‌های کمی

- Freekey, K., T.W. Gillespie & J.W. Terborgh, 2005. The utility of spectral indices from Landsat ETM+ for measuring the structure and composition of tropical dry forests, *Biotropical*, 37(4): 508-519.
- Franklin, J., 1986. Thematic mapper analysis of coniferous forest structure and composition, *International Journal of Remote sensing*, 7(10): 1287-1301.
- Gebreslasie, M.T., 2009. Predicting forest structural attributes using ancillary data and ASTER satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Doi: 10.1016/j.jag.2009.11.006.
- Gercek, D. 2004. Improvement of image classification with the integration of topographical data. In Proc. ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, 6 pp.
- Hudak, T., N.L. Crookston, J.S. Evans, M.J. Falkowski, A.M.S. Smith, P.E. Gessler & P. Morgan, 2006. Regression modeling and mapping of coniferous forest basal area and tree density from discrete-return lidar and multispectral satellite data, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32(2): 126-138.
- Holmgren, J., S. Joyce, M. Nilsson & H. Olsson, 2000. Estimating stem volume and basal area in forest compartments by combining satellite image data with field data, *Scandinavian Journal of forest Research*, 15(1): 103-111.
- Ingram, J.C., T.P. Dawson & R.J. Whittaker, 2005. Mapping tropical forest structure in southeastern Madagascar using remote sensing and artificial neural networks, *Remote sensing of environment*, 94: 491-507.
- Jakubauskas, M.E. & K.P. Price, 1997. Empirical relationships between biotic and spectral factors of Yellowstone lodgepole pine forests. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(12): 1375-1381.
- Liu, X., A.K. Skidmore & H.V. Oosten, 2002. Integration of classification methods for improvement of land-cover map accuracy. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing*, 56: 257-268.
- Lu, D., P. Mausel, E. Brondizio & E. Moran, 2004. Relationships between forest stand parameters and landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin, *Forest Ecology and Management*, 198: 149-167.
- Makela, H. & A. Pekkarinen, 2004. Estimation of forest stands volumes by Landsat TM imagery and stand-level field-inventory data. *Forest Ecology and Management*, 196: 245-255.
- شاهکار، غلامحسین و ابوالقاسم بزرگ‌نیا، ۱۳۷۸. رگرسیون کاربردی (ترجمه)، مرکز نشر دانشگاهی، ۸۶۸ ص.
- عبداللهی، هیوا و شعبان شتابی جویباری، ۱۳۸۸. بررسی قابلیت داده‌های لندست ۷ در تهیه نقشه تراکم تاج پوشش جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: جنگل‌های شهرستان جوانرود)، سومین همایش ملی جنگل، دانشکده منابع طبیعی کرج، ایران، ۸ ص.
- عزیزی، زهرا، 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 ص.
- علوی‌پناه، سیدکاظم، ۱۳۸۵. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (خاک). انتشارات دانشگاه تهران، ۳۰۰ ص.
- غضنفری، هدایت، ۱۳۸۴. طرح جنگلداری چندمنظوره با تأکید بر سامان‌دهی و مدیریت گلازنی در حوزه آرم‌رده، دانشگاه کردستان/ مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی، ۵۵۱ ص.
- ناصری، فرزین، ۱۳۸۲. طبقه‌بندی تیپ‌های جنگلی و برآورد مشخصه‌های کمی آن‌ها با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در جنگل‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، رساله دکتری در رشته جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۲۰۲ ص.
- Brockhause, J.A. & S. Khoram, 1992. A comparison of Spot and Landsat-TM data for use in conducting inventories of forest resources, *International Journal of remote sensing*, 13(16): 3035-3043.
- Danson, F.M. & P.J. Curran, 1993. Factors affecting the remotely sensed response of coniferous forest plantations. *Remote Sensing of Environment*, 43: 55-65.
- Dobrowski, S.Z., J.A. Greenberg, C.M. Ramirez & S.L. Ustin, 2006. Improving image derived vegetation maps with regression based distribution modeling, *Ecological Modelling*, 192: 126-142.
- Donoghue, D. & P. Watt, 2002. Monitoring of woodland establishment and growth for the UK forest industry. Final reports of BNSC Customer Partnership Project, Department of Geography, Durham University, 6 pp.

- McRoberts, R., 2008. Using satellite imagery and the k-nearest neighbors technique as a bridge between strategic and management forest inventories, *Remote Sensing of Environment*, 112: 2212-2221.
- Mohammai, J. & Sh. Shataii, 2007. Forest stand density mapping using Landsat ETM+ data, Loveh's forests, North of Iran, In the proc. Asian association on remote sensing (ACRS), Tokyo, Japan, 7 pp.
- Montgomery, D.C. & E.A. Peck, 1992. Introduction to linear regression analysis, 2<sup>nd</sup> Ed., John Wiley & Sons Inc., New York, 527pp.
- Mora, B., R.A. Fournier & S. Foucher, 2011. Application of evidential reasoning to improve the mapping of regenerating forest stands, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13: 458-467.
- Ozdemir, I. & A. Karnieli, 2011. Predicting forest structural parameters using image texture derived from WorldView-2 multispectral imagery in a dryland forest, Israel, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13: 701-710.
- Richardson, A.J. & C.L. Wiegand, 1990. Comparison of two models for simulating the soil-vegetation reflectance of a developing cotton canopy, *International Journal of Remote sensing*, 51: 1915-1921.
- Ripple W.J., S. Wang, D.L. Isaacson & D.P. Paine, 1991. A preliminary comparison of Landsat TM and Spot-1 HRV multi spectral data for estimating coniferous forest volume, *International Journal of Remote sensing*, 12(9): 1971-1977.
- Sivanpillai, R., C.T. Smith, R. Srinivasan, M.G. Messina & X. Ben Wu, 2006. Estimation of managed loblolly pine stand age and density with Landsat ETM+ data. *Forest Ecology and Management*, 223: 247-254.
- Trotter, C.M., J.R. Dymond & C.J. Goulding, 1997. Estimation of timber volume in a coniferous plantation forest using Landsat TM. *International Journal of Remote sensing*, 18: 2209-2223.
- Vohland, M., J. Stoffels, Ch. Hau & G. Schueler, 2007. Remote sensing techniques for forest parameter assessment: Multispectral classification and linear spectral mixture analysis, *Silva Fennica*, 41 (3): 441-455.
- Wulder, M.A., R.S. Skakum, W.A. Kurz & J.C. White, 2004. Estimating time since forest harvest using segmented Landsat ETM+ imagery, *Remote Sensing of Environment*, 93: 179-187.
- Xu, B., P. Gong & R. Pu, 2003. Crown closure estimation of oak Savanah in a dry seavon with Landsat TM imagery: comparison of various indices through correlation analysis, *International Journal of Remote sensing*, 24(9): 1811-1822.

## Evaluation of capability of IRS-P6 satellite data for predicting quantitative attributes of forests (case study: Northern Zagros forests)

**M. Pir Bavaghar\***

Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, I. R. Iran

(Received: 13 November 2010, Accepted: 21 August 2011)

### Abstract

The aim of this research was to predict tree density and basal area using IRS-P6 satellite data in the northern Zagros forests. A random-systematic sampling grid consists of 312 circular sample plots (each plot, 0.1 ha) were used to collect field data. The images were georeferenced using 29 ground control points. Spectral values related to field plots were extracted from original and synthetic bands composed of vegetation indices, principle component analysis and data fusion. Ancillary data such as slope, aspect and elevation are also extracted. Multiple regression and stepwise method were used to predict tree density and basal area from original and synthetic bands as independent variables. The best models (at first just original bands and then combined of original and synthetic bands) were selected using RMSE, Bias, Correlation and the F values (the best model for tree density:  $R^2_{adj} = 0.31$  & for basal area:  $R^2_{adj} = 0.38$ ). Using slope, aspect, and elevation ancillary data did not improve the results.

**Key words:** Forest density, Basal area, IRS-P6, Multiple regressions, Northern Zagros forests.