

بررسی امکان تهیه نقشه‌های تنوع و تراکم تاج‌پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ (مطالعه موردی جنگل‌های قلاجه استان کرمانشاه)

روح‌الله پرما*^۱ و شعبان شتابی^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۲ دانشیار گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۸/۳/۸۸، تاریخ پذیرش: ۲۷/۵/۸۹)

چکیده

در این تحقیق قابلیت داده‌های سنجنده ETM+ در تهیه نقشه‌های تنوع و تراکم تاج‌پوشش درختان جنگلی جنگل‌های قلاجه استان کرمانشاه تجزیه و تحلیل شد. اطلاعات زمینی از طریق نمونه‌برداری سیستماتیک و با ۱۱۴ قطعه نمونه ۰/۳۶ هکتاری تهیه شد. تطابق هندسی تصاویر با روش نقاط کنترل زمینی انجام گرفت. باندهای مصنوعی از راه اعمال نسبت‌گیری طیفی، ایجاد شاخص‌های گیاهی مناسب، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، تبدیل تسلدکپ و ادغام ایجاد شد. برای طبقه‌بندی تراکمی تاج‌پوشش، نمونه‌های تعلیمی انتخاب و مجموعه باندهای مناسب برای طبقه‌بندی به کمک نمونه‌های تعلیمی و با استفاده از شاخص واگرایی برگزیده شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها به روش طبقه‌بندی حداکثر تشابه به انجام رسید و نقشه به دست آمده با نقشه واقعیت زمینی مورد ارزیابی صحت قرار گرفت. نتایج نشان داد نقشه حاصل دارای صحت کلی ۵۲ درصد و ضریب کاپای ۰/۲۵ برای چهار طبقه تراکمی و صحت کلی ۷۱ درصد و ضریب کاپای ۰/۳۹ برای دو طبقه کلی تنک و نیمه‌انبوه است. در تهیه نقشه تنوع از شاخص تنوع گونه‌ای شانون-وینر استفاده شد و مقدار این شاخص در هر قطعه نمونه محاسبه شد. پس از استخراج مقادیر ارزش‌های طیفی هر قطعه نمونه در باندهای اصلی و مصنوعی و انجام آزمون نرمال‌سازی کولموگروف-اسمیرنوف، برای انتخاب بهترین باندها از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد و از بین ۴۰ باند اصلی و مصنوعی، ۳ باند ETM4، NDVI و MSAVI2 انتخاب شدند. برای تجزیه و تحلیل ارتباط بین تنوع گونه‌ای و باندهای مذکور، از رگرسیون بهترین زیرمجموعه استفاده شد. نتایج حاصل از رگرسیون نشان داد که ترکیب خطی مورد بررسی به عنوان متغیرهای مستقل در مقایسه با دیگر باندها و ترکیبات به کار گرفته شده بهتر می‌تواند تنوع گونه‌ای درختان و درختچه‌ها را برآورد کند ($R_{adj}^2 = 0/327$). نتایج به دست آمده نشان‌دهنده قابلیت به نسبت کم داده‌های ETM+ در تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش و برآورد تنوع گونه‌ای درختی و درختچه‌ای در منطقه مورد بررسی است.

واژه‌های کلیدی: تراکم تاج‌پوشش، تنوع درختی، ETM+، زاگرس، قلاجه.

مقدمه و هدف

جنگل‌های زاگرس از جمله مناطق مهم و باارزش منابع طبیعی کشور ایران است که در سطح ۵/۲ میلیون هکتار آن، بالغ بر ۱۹۰ گونه درختی و درختچه‌ای وجود دارد (فتاحی، ۱۳۸۴). از آنجا که استفاده از روش‌های معمول برای طبقه‌بندی تراکمی در شرایط جنگل‌های زاگرس با صرف وقت و هزینه زیاد همراه است، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را می‌توان به لحاظ داشتن ویژگی‌های خاص، در تهیه نقشه تراکم و تنوع جنگل مورد ارزیابی قرار داد (درویش‌صفت و همکاران، ۱۳۸۸). نتایج چنین بررسی‌هایی در شرایط متفاوت رویشگاهی جنگل، بسیار متفاوت خواهد بود. از این‌رو ضروری است که این قابلیت‌ها در شرایط مختلف تعیین و با یکدیگر مقایسه شوند. نتایج چنین مقایسه‌هایی می‌تواند در انتخاب داده‌های ماهواره‌ای مناسب در کارهای اجرایی، استفاده شود (Howarth & Wichware, 1981). پژوهش‌های مختلفی برای تهیه نقشه تراکم با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ در ایران و جهان انجام گرفته است. ناصری (۱۳۸۲)، در طبقه‌بندی تراکمی جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک، از روش نظارت‌شده استفاده کرد که به دلیل اندک بودن مقدار تاج‌پوشش جنگلی، بازتاب خاک نقش مهمی را در بازتاب نهایی ثبت‌شده توسط سنجنده ایفا کرد و این امر مانع از دستیابی به نتایج مطلوب شد. ساروئی (۱۳۷۸) در طبقه‌بندی چهار طبقه تراکمی خیلی تنک، تنک، نیمه‌انبوه و انبوه، صحت کلی ۴۵ درصد و ضریب کاپای ۰/۲۵ را نتیجه گرفت که پس از ادغام طبقات ۲ و ۳، طبقه‌بندی برای سه طبقه تراکمی تکرار شد و صحت کلی ۷۰ درصد و ضریب کاپای ۰/۴۵ به‌دست آمد. ساعی (۱۳۸۲)، در طبقه‌بندی چهار طبقه غیرجنگل، ۴۰-۵۰، ۵۰-۷۰ و ۷۱-۱۰۰ درصد با استفاده از خوارزمی حداکثر تشابه، صحت کلی ۸۳ درصد و ضریب کاپای ۰/۷۵ را به‌دست آورد. احمدی ثانی (۱۳۸۴) با تصاویر ASTER، نقشه تراکم جنگل‌های منطقه مریوان را در چهار طبقه تراکمی ۱۰-۵، ۲۵-۵۰، ۷۵-۱۰۰ و ۱۰۰-۲۵ درصد تهیه و صحت کلی و ضریب کاپا را به‌ترتیب ۶۸ درصد و ۰/۵۱ برآورد کرد. Jofar (1993) در برآورد تراکمی درختان در جنگل‌های بلوط جنوب اسپانیا در چهار طبقه تراکمی ۱۰-۲۵،

۲۶-۴۵، ۴۶-۶۵ و ۱۰۰-۶۶ درصد، نشان داد که بیشترین همبستگی بین داده‌های TM و داده‌های تراکم برابر با ۰/۵۳ برای چهار باند وجود دارد و اثر خاک سبب کاهش همبستگی می‌شود. Roy et al. (1998) نقشه تراکم جنگل‌های خزان‌کننده هند را با چهار طبقه تراکمی (۲۰-۱۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و > ۸۰ درصد) با استفاده از داده‌های TM با صحت کلی ۹۰ درصد به‌دست آوردند. Xu et al. (2003) در تحقیقی قابلیت داده‌های TM را در برآورد تاج‌پوشش جنگل‌های بلوط کالیفرنیا بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده قابلیت خوب باندهای قرمز، مادون قرمز و آبی در برآورد تاج‌پوشش جنگل است. Joao et al. (2006) در طبقه‌بندی جنگل‌های بلوط جنوب پرتغال با استفاده از داده‌های TM به این نتیجه رسیدند که بهترین معادله خطی بین باندهای ۳، ۴، ۵ و ۷ با $R^2 = 0.75$ با داده‌های حاصل از آماربرداری وجود دارد.

تنوع گونه‌ای یکی دیگر از خصوصیات مهم جوامع زیستی است که به روش‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود (Krebs, 1988). شناخت الگوی پراکنش مکانی و تنوع گونه‌های جنگلی، ابزاری لازم برای مدیریت بهینه در بسیاری از عرصه‌های جنگلی جهان است (صفری و همکاران، ۱۳۸۹). برای احیای جنگل‌های با ارزش زاگرس و غنی‌سازی آنها، باید نیازها و خصوصیات اکولوژیکی رویشگاه‌های گونه‌های آن شناخته شوند (جزیره‌ای و ابراهیمی، ۱۳۸۲). مدیریت اصولی و صحیح جنگل، به افزایش تنوع بیولوژیکی منتهی می‌شود (Halpern & Spies, 1995; Larsen, 1995). طبقه‌بندی و گروه‌بندی اکولوژیک اراضی و رویشگاه‌های جنگلی از دهه ۱۹۸۰ تا به امروز از مباحث اصلی مدیریت جنگل بوده است (Barnes et al., 1998). بحث تنوع زیستی، اغلب در اصطلاح تنوع گونه‌ای یا تنوع اکوسیستم‌ها متمرکز شده است و تنوع گونه‌ای مشهورترین آنهاست (Lust & Nachtergale, 1996; Daniels et al., 1995). داده‌های سنجش از دور می‌تواند، منبع اطلاعات تنوع گونه‌ای در مقیاس محلی، قاره‌ای و جهانی به‌شمار آید (Willis & Whittaker, 2002; Turner et al., 2003).

Smith et al. (1990) معتقدند که شاخص‌های گیاهی خط خاک کمک خوبی در راستای کاهش اثر دیگر پدیده‌ها

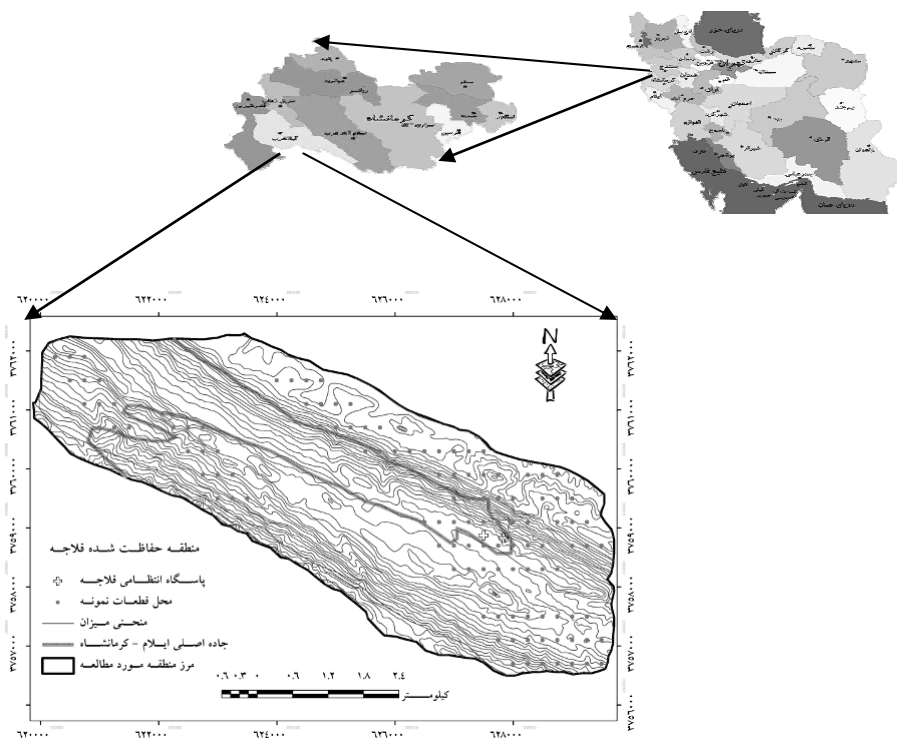
گرمسیری جنوب فلوریدای آمریکا با استفاده از داده‌های ETM+، ضریب تبیین اصلاح‌شده ۰/۵۰ را برای شاخص NDVI به‌دست آورد. Gillespie *et al.* (2008) در ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای به‌منظور تعیین تنوع درختی ارتفاعات چیاپاس مکزیک، به این نتیجه رسیدند که داده‌های ماهواره‌ای، منبع اطلاعاتی مهمی در حفاظت از تنوع گونه‌های درختی و درختچه‌ای برای مدیران منابع طبیعی به‌شمار می‌روند. Gillespie *et al.* (2009) برای تعیین غنای گونه‌های درختی جنگل‌های گرمسیری پاناما از شاخص NDVI سنجنده ETM+ استفاده کردند و به ضریب تبیین اصلاح‌شده ۰/۵۸ دست یافتند.

هدف اصلی این تحقیق، بررسی امکان تهیه نقشه‌های تنوع و تراکم تاج‌پوشش درختان و درختچه‌های جنگلی مناطق جنگلی زاگرس با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی با مساحتی در حدود ۲۱۱۰ هکتار در جنگل‌های قلاجه استان کرمانشاه با طول جغرافیایی ۰۵' ۱۸' ۴۶" تا ۱۸' ۲۲' ۴۶" و عرض جغرافیایی ۴۲' ۵۸' ۳۳" تا ۲۶' ۰۱' ۳۴" و در دامنه ارتفاعی ۲۰۰۰-۱۵۰۰ متری قرار دارد (شکل ۱). منطقه شامل دو دامنه کلی و بارز شمالی و جنوبی است. گونه‌های عمده درختی و درختچه‌ای منطقه شامل بلوط ایرانی (*Quercus brantii* var. *persica*)، پیسته وحشی (*Pistacia atlantica*)، کیکم (*Acer cinerascense*)، زالزالک (*Crataegus spp*)، ارچن (*Amigdalus orientalis*)، انجیر (*Ficus carica*) و پلاخور (*Lonicera nommularifolia*) است.

همچون خاک زمینه، صخره‌ها، مناطق آبی و نظیر آن است. بررسی پوشش گیاهی از طریق سنجش از دور در محل-هایی که تاج‌پوشش کمتر از ۴۰ درصد است، به‌دلیل غلبه انعکاسی خاک و صخره‌ها مشکل است، اما با استفاده از این شاخص‌ها و روش‌های مناسب، می‌توان به وضعیت پوشش گیاهی در این مناطق پی برد. با توجه به اینکه قابلیت شاخص‌های گیاهی در برآورد مشخصه‌های پوشش گیاهی به اثبات رسیده است و پوشش گیاهی برآوردشده با مقادیر محاسبه‌شده بر اساس شاخص‌های گیاهی، همبستگی زیادی دارد، می‌توان انتظار داشت که چنین رابطه‌ای بین مقادیر تنوع برآوردشده از شاخص‌های گیاهی با مقادیر تنوع حاصل از سطح تاج‌پوشش داده‌های زمینی وجود داشته باشد. نعیمی (۱۳۷۸) به‌منظور ارزیابی و تهیه نقشه تنوع غنای گونه‌های پارک ملی گلستان از داده‌های TM استفاده کرد و همبستگی بین مقادیر شاخص‌های گیاهی را با غنا و تنوع بر اساس داده‌های زمینی مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد بین شاخص‌های پوشش گیاهی با تنوع فلورستیکی رابطه قوی وجود دارد. به‌گفته Sellers (1987) و Tucker (1979) استفاده از NDVI به‌منظور ارزیابی پارامترهای گوناگون بیوفیزیکی (پوشش گیاهی، بیوماس، شاخص سطح برگ) مفید است. Bawa *et al.* (2002) در بررسی تنوع و غنای گونه‌های جنگلی با استفاده از شاخص‌های گیاهی، همبستگی بین شاخص گیاهی NDVI و مقادیر غنای حاصل از شاخص شانون بر اساس داده‌های زمینی را تعیین کردند. نتایج نشان داد که همبستگی مثبت بین NDVI و تنوع گونه‌های درختی وجود دارد. Walker *et al.* (1992) در تحقیقی در کالیفرنیا، وجود همبستگی بین غنای گونه‌های گیاهی و شاخص گیاهی NDVI را تأیید کردند. Gillespie (2005) به‌منظور بررسی تنوع گونه‌های چوبی جنگل‌های خشک



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی در ایران و استان کرمانشاه

- داده‌های ماهواره‌ای

در این تحقیق از داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ مربوط به ۲۹ جولای ۲۰۰۲ برابر با ۷ مرداد ماه ۱۳۸۱ استفاده شد. از باند ۶ سنجنده ETM+ به دلیل داشتن تفکیک مکانی ۶۰ متر و حرارتی بودن طول موج آن، استفاده نشده است.

- تهیه اطلاعات زمینی

در این تحقیق از روش نمونه‌برداری سیستماتیک با شبکه‌ای به ابعاد ۲۵۰×۴۰۰ متر استفاده شد. ۱۱۴ قطعه نمونه مربع شکل با ابعاد ۶۰×۶۰ متر پیاده شد. مرکز هر قطعه نمونه با استفاده از GPS مشخص و اطلاعاتی همچون نوع گونه، قطر برابر سینه (بزرگ‌تر از ۲/۵ سانتی‌متر)، قطر تاج در دو جهت شمالی- جنوبی و غربی- شرقی در ماه‌های مرداد و شهریور ۱۳۸۶، جمع‌آوری شد.

- پیش‌پردازش و پردازش داده‌های ماهواره‌ای

کیفیت داده‌های ETM+ به لحاظ وجود خطاهای رادیومتری از طریق هیستوگرام آنها، بررسی شد. برای از بین بردن خطای هندسی تصاویر، یک تصویر زمین مرجع شده ETM+، به عنوان مبنا قرار داده شد. تصاویر با استفاده

از ۵۵ نقطه کنترل زمینی و ریشه میانگین مربع خطا ($RMSE^1$) کمتر از نیم پیکسل زمین مرجع شدند. به منظور آشکارسازی بهتر پوشش گیاهی برای طبقه‌بندی، باندهای مصنوعی از طریق نسبت‌گیری باندها^۲، تجزیه مؤلفه‌های اصلی^۳، تبدیل تسلدکپ^۴ و شاخص‌های گیاهی^۵ ایجاد شدند. از شاخص‌هایی مثل PVI، MSAVI2 و TSAVI2 برای کاهش این اثرها استفاده شد. همچنین به منظور استفاده همزمان از قابلیت طیفی تصاویر چندطیفی و مکانی تصویر پانکروماتیک از روش‌های ادغام Pansharpen و تبدیل فضای رنگ HIS^۶ استفاده شد.

- طبقه‌بندی

طبقات تراکمی خیلی تنک (۹-۵ درصد)، تنک (۲۵-۱۰ درصد)، نیمه‌انبوه (۵۰-۲۶ درصد) و انبوه (۷۵-۵۱ درصد) (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۳) مورد طبقه‌بندی قرار

1- Root Mean Square Error

2- Band Ratioing

3- Principal Component Analysis

4- Tasseled Cap Transformation

5- Vegetation Index

6- Hue, Intensity, Saturation

ترتیب با استفاده از روش‌های آماری رگرسیون، تعداد درختان در هکتار در محل‌هایی که دارای داده‌های معیار بود، تخمین زده شد و سپس با استفاده از معیارهای آماری MSE و RMSE (رابطه‌های ۱ و ۲)، نتایج حاصل از مدل رگرسیونی مقایسه شد (محمدی و چیت‌ساز، ۲۰۰۲).

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{N}} \quad (2)$$

در این رابطه‌ها، N تعداد نمونه‌های معیار، \hat{y}_i مقدار برآورد شده و y_i مقدار واقعی است. بهترین برآورد در نقاط مشاهده نشده، برآوردی است که دارای حداقل MSE و RMSE است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۷).

نتایج

پس از تصحیح هندسی تصاویر، با قرار دادن لایه برداری جاده بر روی آن، از صحت خوب هندسی تصاویر اطمینان حاصل شد. علاوه بر باندهای اصلی (چندطیفی و پانکروماتیک) از کل باندهای ایجاد شده، هفت باند نیز به-عنوان بهترین باند برای طبقه‌بندی چهار و دو طبقه‌ای انتخاب شدند. بهترین نتایج طبقه‌بندی با استفاده از خوارزمی حداکثر تشابه و در نظر گرفتن سطح احتمال ۹۵ درصد و بهترین ترکیب باندی (باندهای اصلی) برای هر دو حالت طبقه‌بندی، بوده است. نتایج حاصل از صحت کلی و ضریب کاپا برای دو طبقه‌بندی دو طبقه‌ای و چهار طبقه‌ای در ترکیب‌های باندی مختلف با استفاده از طبقه‌بندی کننده حداکثر تشابه، در جدول ۱ آورده شده است.

گرفتند. برای تعیین نمونه‌های تعلیمی در طبقه‌بندی نظارت شده، ۲۵ درصد قطعات نمونه از هر طبقه تراکمی انتخاب و مناسب‌ترین باندها با استفاده از شاخص واگرایی تبدیل شده^۱ برگزیده شد. طبقه‌بندی با چهار طبقه تراکمی با خوارزمی حداکثر تشابه صورت گرفت. به دلیل تفکیک پذیری کم بین دو طبقه خیلی تنک و تنک و همچنین دو طبقه نیمه‌انبوه و انبوه، این طبقات در هم ادغام و طبقه‌بندی با دو طبقه تراکمی تنک و نیمه‌انبوه تکرار شد. در نهایت نتایج طبقه‌بندی با نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای، مقایسه شد.

- بررسی تنوع درختی و درختچه‌ای

استخراج اطلاعات در محل قطعات نمونه

از ۱۱۴ قطعه نمونه برداشت شده در این تحقیق، ۹۶ قطعه نمونه (۸۵ درصد) در فرایند مدلسازی و ۱۸ قطعه نمونه (۱۵ درصد) برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت. میانگین ارزش‌های طیفی پیکسل‌های متناظر هر قطعه نمونه در باندهای مختلف استخراج شد.

- تحلیل‌های آماری

از طریق رگرسیون بهترین زیرمجموعه^۲ ارتباط بین شاخص تنوع شانون-وینر و ارزش‌های طیفی بررسی و بهترین مدل رگرسیونی شناسایی شد. در رگرسیون بهترین زیرمجموعه تمامی مدل‌های رگرسیونی ممکن مربوط به متغیرهای مستقل بررسی و بر اساس معیارهای ضریب تبیین، ضریب تبیین اصلاح شده^۳، آماره C_p و RMSE، بهترین مدل رگرسیونی انتخاب می‌شود. در نهایت مدلی انتخاب می‌شود که بیشترین ضریب تبیین اصلاح شده و کمترین C_p و میانگین مربع خطا (MSE^5) را دارا باشد (مصدافی، ۱۳۸۳).

- بررسی اعتبار مدل‌های رگرسیونی

به منظور ارزیابی مدل‌های رگرسیونی و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری، ۱۵ درصد از داده‌ها به صورت تصادفی انتخاب و به عنوان داده‌های معیار در نظر گرفته شد. به این

- 1- Transformed Divergence
- 2- Best Sub Setting
- 3- Adjusted R^2
- 4- Mallows C_p Statistic
- 5- Mean Square Error

جدول ۱- نتایج حاصل از صحت کلی و ضریب کاپا برای دو طبقه‌بندی دو طبقه‌ای و چهار طبقه‌ای

باند‌های مورد استفاده	دو طبقه‌ای	چهار طبقه‌ای
	صحت کلی و ضریب کاپا	صحت کلی و ضریب کاپا
شش باند اصلی	۷۱ درصد و ۰/۳۹	۵۲ درصد و ۰/۲۵
هفت باند انتخابی	۵۸ درصد و ۰/۲۶	۵۴ درصد و ۰/۱۸
باند‌های ادغام‌شده به روش Pansharp	۶۷ درصد و ۰/۳۰	۴۹ درصد و ۰/۲۲
باند‌های ادغام‌شده به روش IHS	۶۱ درصد و ۰/۱۹	۴۵ درصد و ۰/۱۰

- تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش

از آنجا که طبقات خیلی تنک با تنک و نیمه‌انبوه با انبوه دارای همپوشانی و تداخل طیفی بود، این طبقات با هم ادغام شدند. و نقشه با دو طبقه تراکمی تهیه شد.

بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرونوف نشان داد که مقادیر شاخص تنوع شانون- وینر از توزیع نرمال برخوردار نبوده است ($p < 0.05$)، از این رو تبدیل لگاریتمی روی این مقادیر صورت گرفت ($p > 0.05$). منحنی هیستوگرام مقادیر شاخص تنوع شانون- وینر پس از تبدیل حاکی از نرمال بودن آن است. با توجه به وجود همبستگی زیاد بین برخی از باندها که نشان‌دهنده نوعی تکرار اطلاعات است، باید از میان این مجموعه باندی، باندهایی که دارای کمترین حد همبستگی هستند انتخاب شوند. بر این اساس باندهای ETM4، NDVI و MSAVI2 برای بررسی همبستگی و مدلسازی انتخاب شدند (جدول ۲).

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین ۳ باند انتخاب‌شده

باند	ETM4	NDVI
NDVI	۰/۸۶	۱
MSAVI2	۰/۴۳	۰/۴۷

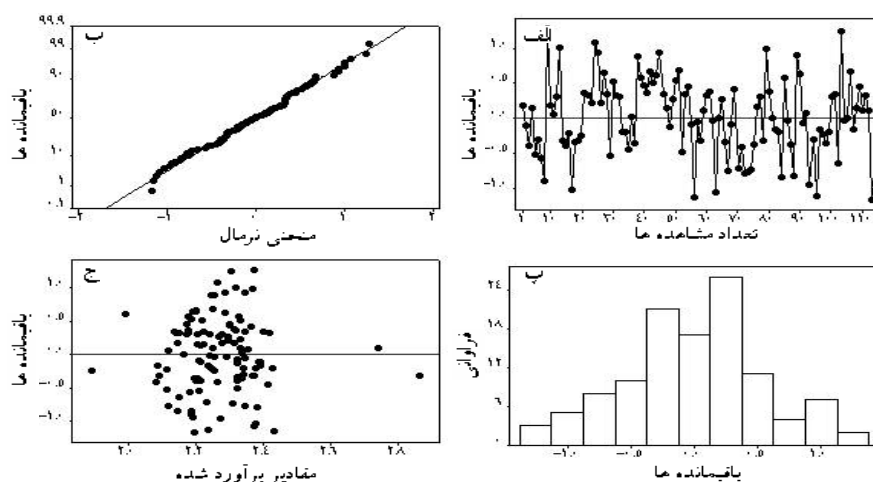
با استفاده از رگرسیون بهترین زیرمجموعه ارتباط بین شاخص تنوع گونه‌ای شانون- وینر (متغیر وابسته) و ارزش‌های طیفی (متغیر مستقل) بررسی و بهترین مدل رگرسیونی شناسایی شد. مقادیر محاسبه‌شده R^2 ، $R^2_{(adj)}$ ، MSE و آماره C_p برای کلیه مدل‌های رگرسیونی متغیر تعداد در هکتار محاسبه شد و نتایج تحلیل رگرسیون نشان داد که ترکیب خطی ETM4، NDVI و MSAVI2 به‌عنوان متغیرهای مستقل در مقایسه با دیگر ترکیبات به‌کار رفته، تنوع گونه‌ای درختان و درختچه‌ها را بهتر برآورد می‌کند (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تحلیل رگرسیون چندگانه در برآورد تنوع گونه‌ای با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+

	$Y=10(B_0+B_1X_1+B_2X_2+\dots+B_nX_n)$ پارامترهای مدل					$\frac{C}{V}$	R^2	$R^2_{(adj)}$	MSE	RMSE
شاخص تنوع شانون- وینر	B_0	B_1X_1	B_2X_2	B_3X_3		۱	۰/۳۳	۰/۳۲۷	۱/۲۵۷	۰/۵
	۱/۷۵	۰/۱۳۲ (ETM4)	۰/۰۰۱۴۳ (NDVI)	-۰/۰۵۲۵ (MSAVI2)						

مقادیر تطبیق‌یافته، نشان از پراکنش یکنواخت در دو سوی محور صفر و ثبات واریانس دارند (شکل ۲- ج). به‌طور کلی نمودارهای شکل ۲ نشان‌دهنده تناسب مدل رگرسیونی خطی بین داده‌هاست.

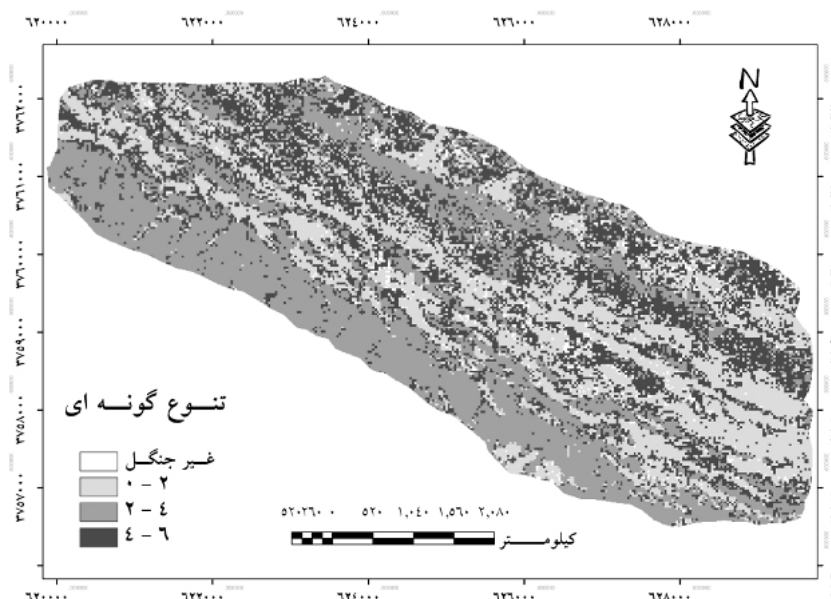
ارزیابی اعتبار مدل‌های رگرسیونی با به‌کارگیری ۱۵ درصد از داده‌های کنار گذاشته‌شده انجام گرفت. نتایج تحلیل باقی‌مانده‌های شاخص تنوع گونه‌ای شانون- وینر نشان داد که میانگین باقی‌مانده‌ها تقریباً صفر (شکل ۲- الف) و دارای توزیع نرمال است (شکل ۲- ب). همچنین هیستوگرام باقی‌مانده‌ها چولگی ندارد (شکل ۲- پ) و نمودار باقی‌مانده‌ها در مقابل



شکل ۲- تناسب مدل رگرسیون خطی بین داده‌ها: الف) نمودار باقی‌مانده‌ها در مقابل تعداد مشاهدات و میانگین باقی‌مانده‌ها، ب) نمودار نرمال باقی‌مانده‌ها، پ) هیستوگرام باقی‌مانده‌ها، ج) نمودار باقی‌مانده‌ها در مقابل مقادیر تطبیق‌یافته

نشان‌دهنده توده‌های با تنوع گونه‌ای کم و تن رنگ خاکستری تیره‌تر نشان‌دهنده تنوع گونه‌ای زیاد است (شکل ۳).

با اعمال مدل تنوع و ضرایب همبستگی آن در متغیرهای مستقل (MSAVI2 و NDVI، ETM4)، نقشه تنوع درختان و درختچه‌ها تهیه شد. در این نقشه تن خاکستری روشن‌تر



شکل ۳- نقشه تنوع درختی و درختچه‌ای به روش رگرسیون چندمتغیره

بحث

هندسی تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد بررسی اطمینان حاصل شد. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های پیشین در تهیه نقشه تراکم در ایران با استفاده از داده‌های ETM+ نشان‌دهنده اهمیت این پژوهش‌ها در مناطق کوهستانی است. در این بررسی نیز قابلیت داده‌های سنجنده ETM+ در تهیه نقشه تنوع و تراکم جنگل‌های زاگرس، ارزیابی شد. به‌منظور دستیابی به نتایج مطلوب‌تر، طبقه‌بندی با چهار

قبل از به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای در تجزیه و تحلیل‌ها، باید کیفیت هندسی و رادیومتری این داده‌ها بررسی شود. وجود خطاهای هندسی در تصاویر ETM+ در این تحقیق مطلب یادشده را تأیید می‌کند. با انطباق خوب لایه برداری جاده و نقاط برداشت‌شده توسط GPS با مسیرها و نقاط متناظر در روی تصویر تطابق‌یافته، از درستی تصحیح

نکردن از داده‌های کمکی در فرایند طبقه‌بندی، تفاوت در نوع داده مورد استفاده و نیز وضعیت پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه دانست. از طرفی، شاید دلیل اصلی بیشتر بودن مقدار صحت کلی در این تحقیق نسبت به تحقیق ناصری (۱۳۸۲) و ساروئی (۱۳۷۸)، تراکم بیشتر درختان در منطقه مورد بررسی باشد.

مشخصه تنوع به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم پوشش گیاهی که تعیین آن نیازمند اندازه‌گیری‌های صحرایی است، محدودیت‌های خود را دارد و باید برای برآورد آن از ابزارها و روش‌های کمکی مانند داده‌های رقومی ماهواره‌ای استفاده شود. در بررسی‌های همبستگی بین ارزش‌های طیفی و مشخصه‌های کمی و کیفی مانند تنوع، تصاویر باید از کیفیت رادیومتری و صحت هندسی زیادی برخوردار باشند، زیرا اعتبار مدل‌های رگرسیونی در مرحله نخست به واقعی بودن داده‌ها (متغیرهای مستقل و متغیرهای پیش-بینی‌شده) وابسته است. ضمن اینکه باید هم‌خوانی مکانی دقیقی نیز بین نمونه‌های برداشت‌شده از زمین و ارزش‌های طیفی متناظر برقرار باشد.

بر پایه نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون در این تحقیق و بررسی (Bawa *et al.* (2002)، ترکیب خطی باندهای ETM4، NDVI و MSAVI2 به‌عنوان متغیر مستقل در مقایسه با دیگر باندها و ترکیبات به‌کار گرفته شده بهتر توانست تنوع گونه‌ای درختان و درختچه‌ها را نشان دهد. بر اساس تحقیقات (Gillespie (2005؛ Gillespie *et al.* (2008) و Gillespie (2009) که از شاخص NDVI برای بررسی تنوع استفاده کردند و حضور این شاخص در بهترین ترکیب همبستگی، این شاخص گیاهی از قابلیت خوبی در بررسی‌های پوشش گیاهی برخوردار است. به‌دلیل بالا بودن انعکاس طیفی در طول موج مادون قرمز، این طول موج در برآورد تنوع گونه‌ای درختان و درختچه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است (Bawa *et al.*, 1992; Walker *et al.*, 2002). وجود رابطه معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+، نرمال بودن باقی‌مانده‌ها، ثبات واریانس، ضریب تبیین اصلاح-شده $R^2_{adj}=0/327$ و ریشه میانگین مربع خطا $(RMSE = 0/5)$ نشان‌دهنده قابلیت به‌نسبت متوسط این

مجموعه باندهای اصلی، باندهای انتخابی، باندهای حاصل از ادغام به روش Pansharp و باندهای حاصل از ادغام به روش IHS صورت گرفت. در نهایت مجموعه باندهای اصلی نسبت به مجموعه باندهای دیگر بهتر بودند. استفاده همزمان از داده‌های چندطیفی و پانکروماتیک در فرایند ادغام تصاویر سبب بهبود قدرت تفسیر بصری داده‌ها می‌شود، ولی به لحاظ قابلیت تفسیر رقومی، تصویر امتیاز چندانی نسبت به استفاده از داده‌های اصلی ندارد. بنابراین صحت طبقه‌بندی در تصاویر ادغام‌شده نسبت به تصاویر اصلی افزایش نمی‌یابد که از دلایل آن می‌توان به تغییر ارزش رقومی در نقطه‌ای یکسان از دو تصویر ترکیب‌شده و ناهمگنی طیفی بیشتر در این تصاویر نسبت به تصاویر اصلی اشاره کرد.

مقایسه نتایج حاصل از طبقه‌بندی نشان می‌دهد که همپوشانی طیفی طبقه‌ها موجب طبقه‌بندی اشتباه پیکسل‌ها و کاهش صحت طبقه‌بندی می‌شود که از دلایل آن، باز بودن تاج‌پوشش در این جنگل‌ها و بازتاب زیاد خاک است، هرچند که در این بررسی برای کاهش اثر خاک از شاخص‌های گیاهی PVI، MSAVI2، WDVI و TSAVI2 استفاده شده است. از این‌رو پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی از شاخص‌هایی که به طور مؤثرتری بازتاب طیفی خاک را کاهش می‌دهد استفاده شود. در طبقه‌بندی چهار طبقه‌ای مطابق با نتایج ناصری (۱۳۸۲) و ساروئی (۱۳۷۸)، طبقات خیلی تنک با تنک و همچنین نیمه‌انبوه با انبوه، با هم تداخل طیفی دارند که این امر موجب تفکیک‌پذیری نامناسب طبقات می‌شود. به‌دست آوردن صحت کلی ۵۷ درصد و شاخص کاپای ۰/۲۸ ممکن است به‌دلیل تداخل طیفی زیاد بین این دو باشد. پس از ادغام دو طبقه خیلی تنک و تنک و دو طبقه نیمه‌انبوه و انبوه، صحت تولیدکننده و صحت کاربر نسبت به مرحله قبل افزایش یافت، به‌طوری که صحت تولیدکننده و کاربر برای طبقه تنک به ترتیب ۸۱/۵۲ درصد و ۸۶/۶۶ درصد و برای طبقه نیمه‌انبوه ۸۵/۳۳ درصد و ۸۸/۷۱ درصد به‌دست آمد.

در مجموع، دلایل کم بودن صحت کلی به‌دست آمده در این تحقیق نسبت به تحقیقات ساعی (۱۳۸۲)، احمدی ثانی (۱۳۸۴) و Roy *et al.* (1998) را می‌توان در استفاده

منابع

- احمدی‌ثانی، 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.
- جزیره‌ای، محمدحسین و مرتضی ابراهیمی رستاقی، ۱۳۸۲. جنگل‌شناسی زاگرس، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۶۰ ص.
- درویش‌صفت، علی‌اصغر، مژگان عباسی و محمدرضا مروی مهاجر، ۱۳۸۸. بررسی امکان تهیه نقشه تیپ راش به کمک داده‌های سنجنده ETM+ (مطالعه موردی: جنگل خیرودکنار نوشهر)، مجله جنگل ایران، ۱(۲): ۱۱۳-۱۰۵.
- ساروئی، سعید، ۱۳۷۸. بررسی امکان طبقه‌بندی تراکمی جنگل در جنگل‌های زاگرس به کمک داده‌های ماهواره‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۵۵ ص.
- ساعی جمال‌آباد، مهدی، ۱۳۸۲. آشکارسازی تغییرات مساحت و تراکم جنگل با استفاده از فن‌آوری سنجنش از دور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۱۲ ص.
- صفری، امیر، نقی شعبانیان، سیدیوسف عرفانی‌فرد، رضا حسین حیدری و مرتضی پوررضا، ۱۳۸۹. بررسی الگوی پراکنش مکانی گونه بنه (مطالعه موردی: جنگل‌های باینگان استان کرمانشاه). مجله جنگل ایران، ۲(۲): ۱۸۵-۱۷۷.
- عباسی، مژگان، علی‌اصغر درویش‌صفت، Michael Schaepman، محمد رضا مروی مهاجر و هوشنگ سبحانی، ۱۳۸۸. بررسی تفاوت انعکاس طیفی برگ مهم‌ترین گونه‌های درختی جنگل‌های خزری با استفاده از طیف سنجی زمینی. مجله علمی- پژوهشی جنگل و صنوبر ایران، ۱۷(۴): ۵۸۰-۵۶۸.
- فتاحی، محمد، ۱۳۸۴. روش‌های مدیریت جنگل‌های زاگرس، مجله دهاتی، ۵۲(۳): ۴۲-۲۳.
- محمدی، جهانگرد و وحید چیت‌ساز، ۱۳۸۱. مقایسه تخمین‌گرهای زمین‌آماری و رگرسیون خطی جهت برآورد خصوصیات سطح خاک با استفاده از داده‌های سنجنده TM، مجله علمی-پژوهشی علوم آب و خاک، ۱۶(۲): ۲۰۲-۱۹۶.
- داده‌ها برای برآورد تنوع گونه‌ای درختان و درختچه‌ها در منطقه مورد بررسی است. از دلایل اصلی کم بودن ضریب تبیین اصلاح‌شده در این تحقیق نسبت به تحقیق Gillespie (2005) و (2009) Gillespie که به ترتیب $(R^2=0/50)$ و $(R^2=0/58)$ بوده است، می‌توان به تراکم کمتر این جنگل‌ها و بازتاب زیاد پوشش غیر جنگل اشاره کرد. هرچند که بر اساس نتایج این تحقیق، برآورد تنوع گونه‌ای درختان و درختچه‌ها، با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+، نتایج به‌نسبت رضایت‌بخشی داد، ولی ضرورت دارد تا تحقیقات مشابه‌ای برای اطمینان از اعتبار این نتیجه انجام شود. ضرایب همبستگی بین تنوع گونه‌ای و ارزش‌های طیفی متناظر در باندهای مختلف مثبت بوده است و با افزایش بازتاب طیفی در طول موج‌های مختلف، تنوع درختی و درختچه‌ای نیز افزایش می‌یابد (Gillespie, 2005). اما این افزایش بازتاب می‌تواند ناشی از عوامل دیگری نظیر تراکم پوشش گیاهی نیز باشد. از سویی دیگر بازتاب همه گونه‌های درختی یکسان نیست و تفاوت بازتاب گونه‌های مختلف ممکن است باعث کاهش میانگین بازتاب شود، هرچند که ممکن است تنوع زیاد باشد. از این رو ضرورت دارد تا تحقیقات گسترده و منسجمی در رابطه با نقش عوامل مختلف در بازتاب به‌ویژه به کمک طیف‌سنجی زمینی (عباسی و همکاران، ۱۳۸۸) صورت گیرد. از آنجا که ناهمواری‌های شدید، نظیر منطقه مورد مطالعه که در دو دامنه بارز شمالی و جنوبی قرار دارد، نقش زیادی در وضعیت نوردهی^۱ دارد و باعث تغییر بازتاب یک پدیده معین که در شرایط مختلف توپوگرافی قرار دارد شود، ضرورت دارد تا تصحیحات ویژه نوردهی^۲ با استفاده از مدل رقومی زمین دقیق و آگاهی از زوایای تابش خورشید انجام شود. همچنین استفاده از داده‌هایی با قابلیت تفکیک مکانی بیشتر و استفاده از روش‌های نوین مدل‌سازی برای برآورد مشخصه‌های کمی جنگل پیشنهاد می‌شود.

1- Illumination

2- Illumination Correction

- International Journal of Remote Sensing*, 30(6): 1629-1634.
- Halpern, C.B. & T.A. Spies, 1995. Plant species diversity in natural and managed forests of the Pacific Northwest, *Journal of ecological application*, 5(4): 913-934.
- Howarth, P.J. & G.M. Wichware, 1981. Procedures for change detection using Landsat digital data, *International Journal of Remote Sensing*, 2(3): 277- 291.
- Joao, M.B., M.C. Jose & S. Joao, 2006. Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodlands using remote sensing, *Forest Ecology and Management*, 223: 45-53.
- Jofer, R., 1993. Estimation tree density in oak savanna-like Dehesa of southern Spain from SPOT data, *International Journal of Remote Sensing*, 14(4): 685-697.
- Krebs, J.C., 1988. Ecological methodological, Edition Wesley Longman, 650p.
- Larsen, J.B., 1995. Ecological stability of forest and sustainable silviculture, *Journal of forest Ecology and Management*, 73: 85-96.
- Lust, N. & L. Nachtergale, 1996. Towards the challenge of biodiversity in forest and forestry, *Silva Scandinavian*, 61: 15-32.
- Roy, P.S., K.P. Sharma & A. Jain, 1998. Stratification of density in dry deciduous forest using satellite remote sensing digital data- An approach based on spectral indices, *Journal of Biosciences*, 21: 723-734.
- Sellers, P.J., 1987. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration II. The role of biophysics in the linearity of their interdependency, *Remote Sensing of Environment*, 21: 143-183.
- Smith, M.O., S.L. Ustin, J.B. Adams & A.R. Gillespie, 1990. Vegetation in Deserts: Regional Measure of Abundance from Multispectral Images, *Remote Sensing of Environment*, 31: 1-26.
- Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, *Remote Sensing of Environment*, 8: 127-10.
- Turner, W., S. Spector, N. Gardiner, M. Fladeland, E. Sterling & M. Steiniger, 2003. Remote sensing for biodiversity science and conservation, *Trends in Ecology and Evolution*, 18: 306-314.
- Walker, R.E., D.M. Stoms, J.E. Estes & K.D. Cayocca, 1992. Relationships between biological diversity and multi-temporal vegetation index data in California. ASPRS ACSM held in Albuquerque, New Mexico. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 15: 562-571.
- محمدی، جهانگیر، شعبان شتایی، هاشم حبشی و فرهاد یغمایی، ۱۳۸۷. مقایسه سنجش از دور و زمین‌آمار در برآورد تعداد درختان در هکتار (مطالعه موردی جنگل‌های بلوط لوه گرگان)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۵(۱): ۲۱-۱۰.
- مصداقی، منصور، ۱۳۸۳. روش‌های رگرسیون در تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، ۲۹۰ ص.
- ناصری، فرزین، ۱۳۸۲. طبقه‌بندی تیپ‌های جنگلی و برآورد مشخصه‌های کمی آنها با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک، رساله دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۲۰۲ ص.
- نعیمی، بهروز، ۱۳۷۸. ارزیابی و تهیه نقشه تنوع و غنای گونه‌های گیاهی پارک ملی گلستان با استفاده از داده‌های TM، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۹۵ ص.
- وزارت جهاد کشاورزی، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، دفتر فنی- مهندسی، ۱۳۸۳. دستورالعمل اجرایی تهیه نقشه مناطق جنگلی زاگرس در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ با استفاده از عکس‌های هوایی مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، تهیه‌شده در گروه آمار و تفسیر عکس‌های هوایی، دفتر فنی.
- Barnes, B.V., D.R., Zak, S.R. Denton & S.H. Spurr, 1998. Forest ecology, (4th ed.), John Wiley and Sons, Inc., 773 p.
- Bawa, K., J. Rose, N.K. Ganeshaiah, N. Barve, M.C. Kiran & R. Umashaanker, 2002. Assessing Biodiversity from space: an Example from the Western Ghats, *India. J. Conservation Ecology*, 6: 2-7.
- Daniels, R.J., M. Gadgil & N.V. Joshi, 1995. Impact of human extraction on tropical humid forests in the Western Ghats in Uttara Kannada, South India, *Journal of Applied Ecology*, 32, 866-874.
- Gillespie, T.W., 2005. Predicting woody-plant species richness in tropical dry forests: a case study from south Florida, USA, *Ecological Application*, 15(1): 27-37.
- Gillespie, T.W., G.M. Moody, D. Rocchini, A.P. Giorgi & S. Saatchi, 2008. *Progress in Physical Geography*, 32(2): 203-221.
- Gillespie, T.W., S. Saatchi, U. Pau, S. Bohlman, A.P. Giorgi & S. Lewis, 2009. Towards quantifying tropical tree species richness in tropical forests,

Willis, K. J. & R.J. Whittaker, 2002. Species diversity- scale matter. *Science* 295,1245-1248.

Xu, B., P. Gong & R. Pu, 2003. Crown closure estimation of oak savanna in a dry season with Landsat TM imagery, *International Journal of remote sensing*, 24(9): 1811-1822.

Capability study on mapping the diversity and canopy cover density in Zagros forests using ETM+ images (case study Ghalajeh forests, Kermanshah province)

R. Parma^{*1} and Sh. Shataee²

¹M.Sc. Graduate, Forestry Faculty, Gorgan University of Agriculture Science and Natural Resource, I. R. Iran

²Associate Prof., Forestry Faculty, Gorgan University of Agriculture Science and Natural Resource, I. R. Iran

(Received: 8 Jun 2009, Accepted: 18 August 2010)

Abstract

Capability of ETM+ Data in canopy cover and tree diversity mapping were investigated in Ghalajeh Forests in the Kermanshah province. Land information were provided in 114 plots with 0.36 ha through systematic sampling method. The images were georeferenced using ground control points. Synthetic bands were generated using rationing, Vegetation indices, principal component analysis, Tasseled Cap transformation and fusion. For supervised classification, some training areas were selected and selection of the appropriate bands was performed using divergence separability index. Classification of images was done using maximum likelihood classifier and map obtained was assessed by sampling ground truth map. The results showed that the classified map had an overall accuracy of 52% and Kappa coefficient 0.25 for four density classes and for two merged classes of sparse and semi dense classes with an overall accuracy and Kappa coefficient of 71% and 0.39, respectively. Results generally showed a moderate capability ETM+ data to provide canopy cover map in Zagros forest. For diversity mapping, the Shannon-Weiner index was calculated for each plot. After the extraction of spectral values of plots in the original and processing bands and the Kolmogorov-Smirnov normalization test, the Pearson correlation coefficient was used for selection of the best bands in regression model. Among 40 original and synthetic bands, the 3 band of ETM4, NDVI and MSAVI2 had better linear combination for modeling by using the best subset regression method. Results showed that the linear combination ETM4, NDVI and MSAVI2 could better be estimated ($R_{adj}^2=0.327$) for the scrubs and trees diversity in comparison with other combinations and bands. Obtained results are expressing moderate low capability of ETM+ data in scrub and trees species diversity estimation in study region.

Key words: Canopy cover density, Tree diversity, ETM+, Zagros, Ghalajeh.