فصلنامهٔ علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۱۷ شمارهٔ ۱، صفحهٔ ۶۳-۵۱، (۱۳۸۸)

بررسي قابليت داده‌هاي رقومي سنجنده ETM^+ در تفكيك تيپهاي جنگلي (مطالعه موردي: منطقه لفور سوادكوه)

فرحناز رشیدی[1*]، ساسان بابایی کفاکی[2] و جعفر اولادی[3]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران. پست الکترونیک: fr_nrms@yahoo.com
۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.
۳- استادیار، دانشگاه مازندران.

تاریخ دریافت: ۸۶/۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۷/۳/۲۵

چکیده

با هدف بررسی قابلیت داده‌های رقومی سنجنده ETM^+ در تفکیک تیپ‌های جنگلی، مطالعه‌ای در سری گزو واقع در منطقه لفور شهرستان سوادکوه انجام شد. باندها از نظر خطای رادیومتری و هندسی مورد بازبینی قرار گرفتند. باند ۱ به‌دلیل وجود خطای رادیومتری و اهمیت کمتر آن در مطالعات پوشش گیاهی حذف و تصحیحات هندسی با استفاده از ۲۱ نقطه کنترل زمینی و DEM منطقه تا سطح تصحیح خطای جابجایی با دقت زیر نیم‌پیکسل (۰/۳ پیکسل) انجام شد. عمل طبقه‌بندی به‌روش نظارت شده و با استفاده از باندهای اصلی و مصنوعی به طبقه‌های راشستان خالص، راشستان آمیخته، ممرزستان آمیخته، جاده و فضاهای خالی، کلهوستان و پهن‌برگ آمیخته انجام شد. نقشه واقعیت زمینی برای تهیه جدولهای خطا به‌صورت ۲٤ درصد از سطح منطقه بدست آمد. بیشترین میزان صحت کلی برای طبقه‌بندی ٦ طبقه، مربوط به طبقه‌بندی کننده حداکثر احتمال با صحت کلی ۳۸/۲۹٪ و ضریب کاپای ۲۷/۷٪ بدست آمد. سپس طبقه‌های با بیشترین تداخل طیفی در هم ادغام شده و طبقه‌بندی با ۵ طبقه قابل تفکیک انجام شد که نتایج مربوط به طبقه‌بندی کننده حداکثر احتمال، افزایش ۱۵ درصدی صحت کلی و ۷ درصدی ضریب کاپا را نشان داد. در مجموع، با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان بیان داشت که استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ETM^+ در مطالعاتی که نقشه تیپ به‌عنوان نقشه پایه با حداکثر تعداد تیپ موجود در منطقه مورد نظر باشد، مناسب نخواهد بود. به‌منظور افزایش صحت طبقه‌بندی، استفاده از دیگر روشهای طبقه‌بندی مانند روش شیء ـ پایه و اطلاعات جنبی و داده‌های چندزمانه قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: سنجنده ETM^+، تصحیحات هندسی، نقشه واقعیت زمینی، طبقه‌بندی، صحت کلی، ضریب کاپا، تیپ‌بندی جنگل.

مقدمه

تهیه اطلاعات اولیه موضوعی، لازمه هر گونه برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار جنگل می‌باشد. در این راستا تهیه نقشه‌های تیپ جنگل به‌عنوان اطلاعات پایه در تهیه طرحهای جنگل‌داری بسیار مورد توجه است. از آن جا که نقشه‌های تیپ جنگلی با روشهای متفاوت از انجام عملیات میدانی تا استفاده از عکسهای هوایی تهیه و تولید می‌شوند، صرف وقت و هزینه زیاد و شرایط سخت کار در عرصه و عدم دسترسی آسان به عکسهای به‌هنگام، ازجمله موانع در تهیه این نقشه‌ها می‌باشند. به‌کارگیری روشهای آسان‌تر و به‌هنگام‌تر، لازم و ضروری می‌باشد. علم سنجش از دور با توجه به قابلیتهای فراوان ازجمله دستیابی به تصاویر به‌هنگام و تصویربرداری وسیع و مکرر می‌تواند یکی از این راه‌حلها باشد. مطالعه تحقیقات انجام

شده در خارج از کشور نتایج مطلوبی را در این راستا نشان می‌دهد. در یک بررسی، ارزیابی کمی و کیفی کاربری داده‌های TM بر روی ۹ تیپ گیاهی حاکی از صحت کلی طبقه‌بندی ۹۲/٤ درصد بود. این مقدار از دو مؤلفه حداقل صحت (۷۹/۷ برای Scots pine) و حداکثر صحت (۱۰۰ درصد برای طبقه آب) بدست آمده است (Oladi, 1997 به‌نقل از Kartris, 1990)

در مطالعه دیگری برای جداسازی تراکم تیپهای پوششی جنگل از ۳ داده (CASI، PAN SPOT و TM) استفاده شد. نتایج صحت برای تراکم گونه‌های جنگلی ۸۱/۳۹٪ برای CASI، ٤۹/۲۳٪ برایSPOT و ۸۱/۰۳٪ برای TM بدست آمد (Oladi, 1997 به‌نقل از Franklin *et al.*, 1992).

شناسایی گونه‌های غالب جنگلی در شمال‌شرقی آمریکا با استفاده از تصاویر TM مربوط به فصول بهار، تابستان و اوایل پاییز انجام شده است. داده‌ها به‌کمک GPS زمین‌مرجع شده و طبقه‌بندی به روش حداقل فاصله از میانگین بر روی گونه‌های غالب منطقه شامل راش، بلوط، افرا، زبان‌گنجشک، کاج و توس انجام شد که در نتیجه بدست آمده از این مطالعه صحت کلی برابر با ۷۸/۹٪ بدست آمد (بخشنده ناورود،۱۳۸۰ به نقل از Mickelson & Daniel, 1998).

Scott & Graves (2001) طبقه‌بندی تیپهای مختلف پوشش زمین را در منطقه فورت بنینگ در جنوب شهر کلمبیا با استفاده از داده‌های ETM^+ به‌روش طبقه بندی نظارت شده و به شیوه حداکثر احتمال انجام دادند. نتیجه حاصل از طبقه‌بندی، نقشه‌ای با ۹ طبقه (آب، گیاه همیشه‌سبز، سوزنی‌برگان، پهن‌برگان، بوته‌ها، علفی‌ها، اراضی لخت، جاده آسفالته، اقامتگاه موقت نظامیان) بود. نتیجه مقایسه نقشه طبقه‌بندی شده با نقشه واقعیت زمینی بیانگر بهترین تطابق بود و دقت مربوط به طبقه‌های اصلی جنگل (پهن‌برگان و سوزنی‌برگان) با صحت کاربر ۸۵٪ (پهن‌برگان) و ۸۳٪ (سوزنی‌برگان) و صحت کلی معادل ٦۹/۵٪ بدست آمد.

Vogelmann *et al.* (2002) با استفاده از سنجنده ETM^+ به تهیه نقشه پوشش گیاهی در ایالت یوتای آمریکا با استفاده از داده‌های کمکی (Ancillary data) نظیر DEM (مدل رقومی ارتفاع منطقه)، اطلاعات گیاهی موجود، اطلاعات بیوفیزیکی و داده‌های زمینی پرداختند که صحت کلی طبقه‌بندی با استفاده از مدل تصمیم‌گیری درختی (boosting)، DEM منطقه و اطلاعات زمینی (بدون اطلاعات بیوفیزیکی یا اطلاعات گیاهی موجود) حدود ٦۰٪ بدست آمد. سپس با افزودن ۵ لایهٔ بیوفیزیکی، (متوسط دمای روزانه، تبخیر و تعرق قابل انجام، تبخیر و تعرق حقیقی، دمای خاک، شاخص سطح برگ) و اطلاعات گیاهی موجود به‌همراه اطلاعات مرحله قبل، طبقه‌بندی انجام شد که افزایش دقتی حدود ٦۲٪ را برای تیپهای جنگلی به‌همراه داشت.

با بررسی جدول خطا و ادغام دو تیپی که تفکیک‌پذیری کمی داشتند، دقت طبقه‌بندی تیپهای جنگل به ۷۱٪ رسید. از طرف دیگر، در داخل کشور شتایی جویباری (۱۳۷۵) با استفاده از داده‌های رقومی سنجنده TM اقدام به تهیه نقشه جنگل در پارک جنگلی نور واقع در استان مازندران نمود و بیشترین صحت کلی با استفاده از روش حداکثر احتمال را معادل ۹۵/۱٤٪ بدست آورد. این میزان از صحت، بیانگر توانایی خوب داده‌ها برای تهیه نقشه جنگل در جنگلهای جلگه‌ای شمال کشور می‌باشد. مطالعه دیگری به‌منظور تهیه نقشه پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک توسط زارع (۱۳۷٦) در منطقه زیرکوه قائن واقع در استان خراسان رضوی به مساحت ۹۰۰۰ هکتار انتخاب شد. در نهایت طبقه‌بندی با روش نظارت شده و با استفاده از طبقه‌بندی کننده حداکثر احتمال برای شش تیپ تاغستان، دیبدالستان (دیبدال نام متداول گونه Ammodenderom persica در منطقه می‌باشد)، درمنه‌زار، قیچ‌زار، تاغزار و تاغز (گز ـ تاغ)

انجام شد. زارع نتایج بدست آمده به‌صورت صحت کلی معادل ٦٨٪ و ضریب کاپای معادل ٦٠٪ را نمایانگر قابلیت نسبتاً زیاد داده‌های لندست TM در این رابطه بیان کرده است. با ظهور سنجنده ETM^+ و برتری آن نسبت به سنجنده TM، عباسی (۱۳۸۰) به بررسی امکان تهیه نقشه تیپ راش در جنگلهای خیرودکنار نوشهر به‌کمک داده-های این سنجنده پرداخت. وی تصویر ماهواره‌ای را به تیپ‌های راش خالص، راش غالب، راش مخلوط و غیر راش طبقه‌بندی نمود. بیشترین میزان صحت کلی با روش حداکثر احتمال و با بهترین مجموعه ۵ باندی معادل ۳۲٪ بدست آمد. محقق به‌دلیل پایین بودن میزان صحت و با توجه به تشابه بازتاب تیپ‌های راش خالص و راش غالب اقدام به ترکیب این دو طبقه نمود و در نتیجه طبقه‌بندی با سه طبقه (راش خالص ـ غالب، راش مخلوط و غیر راش) دوباره انجام شد که صحت کلی به ٤٦/٦٪ افزایش یافت. عباسی (۱۳۸۰) این میزان از صحت را برای تهیه نقشه تیپ راش در جنگلهای شمال کشور با استفاده از داده‌های ETM^+ مناسب ندانست.

در این راستا مطالعه دیگری با استفاده از داده‌های سنجنده ETM^+ برای تهیه نقشه تیپهای جنگل در سه سری دیگر جنگل خیرودکنار نوشهر در مساحت ۲۱۷۰ هکتار توسط شتایی جویباری (۱۳۸۲) انجام شد. در بهترین حالت طبقه‌بندی، برای روش فراوانی کل درختان، صحت کلی و ضریب‌کاپا معادل ٤٩/٧٧٪ و ۲۸/۰۵٪ بدست آمد.

در این مطالعه برای افزایش صحت نتایج، تیپ‌های راش خالص و راش آمیخته و همچنین ممرز خالص و ممرز آمیخته را که دارای تفکیک‌پذیری پایین بودند در هم ادغام کرده و طبقه‌بندی نهایی با ۵ طبقه انجام شد که نتایج طبقه‌بندی اخیر به‌صورت صحت کلی ٥٤/٨٥٪ و ضریب کاپای ۲۸/۵۳٪ بدست آمد.

مطالعه حاضر نیز گامی دیگر در راستای بررسی داده‌های رقومی سنجنده ETM^+ در شناسایی و تفکیک تیپهای مختلف جنگلی می‌باشد.

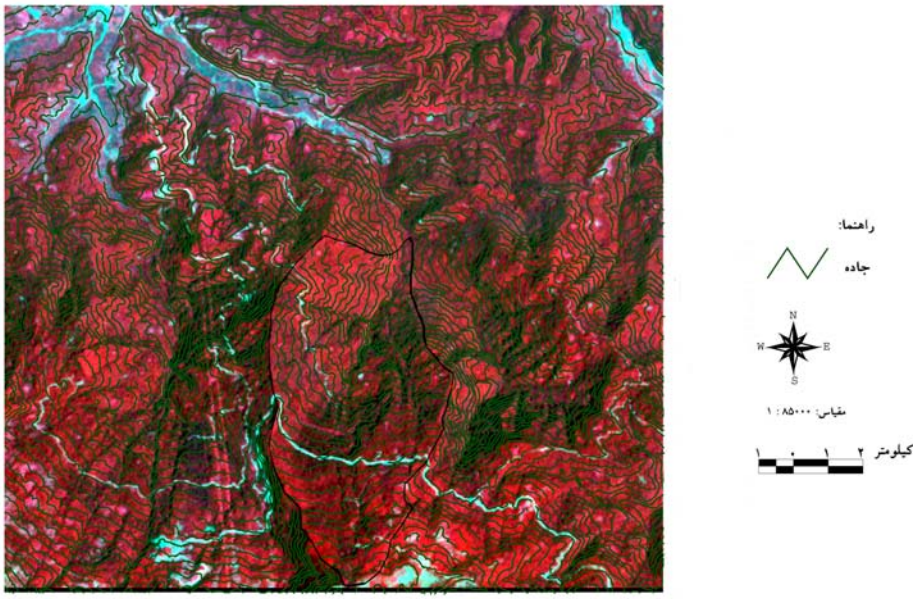
مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد بررسی در سری گزو واقع در طرح جنگل‌داری آذررود در ٤٨ کیلومتری شهر شیرگاه (شکل ۱) با موقعیت جغرافیایی "۳۹ ´۱۰ °۳٦ تا "٥٤ ´٦ °۳٦ شمالی و "۲۰ ´۵۰ °۵۲ تا "۵۰ ´۵۲ °۵۲ شرقی در زون ۳۹ سیستم مختصاتی UTM و به مساحت ۱۷۳۷ هکتار قرار دارد. از خصوصیات منطقه می‌توان به کوهستانی بودن و تنوع توپوگرافی با حداقل ارتفاع ٤٥٠ متر و حداکثر ۲۱۱۷ متر و با شیب متوسط ۵۰ تا ٦٠ درصد اشاره کرد (شکل ۲). منطقه با پهن‌برگانی نظیر راش، افرا، نمدار، ممرز، توسکا، ملج، بارانک، گیلاس وحشی و گونه سوزنی‌برگ سرخدار به‌همراه گیاهان معرف، جزء جنگلهای ناهمسال آمیخته می‌باشد.

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده‌هاي مورد استفاده

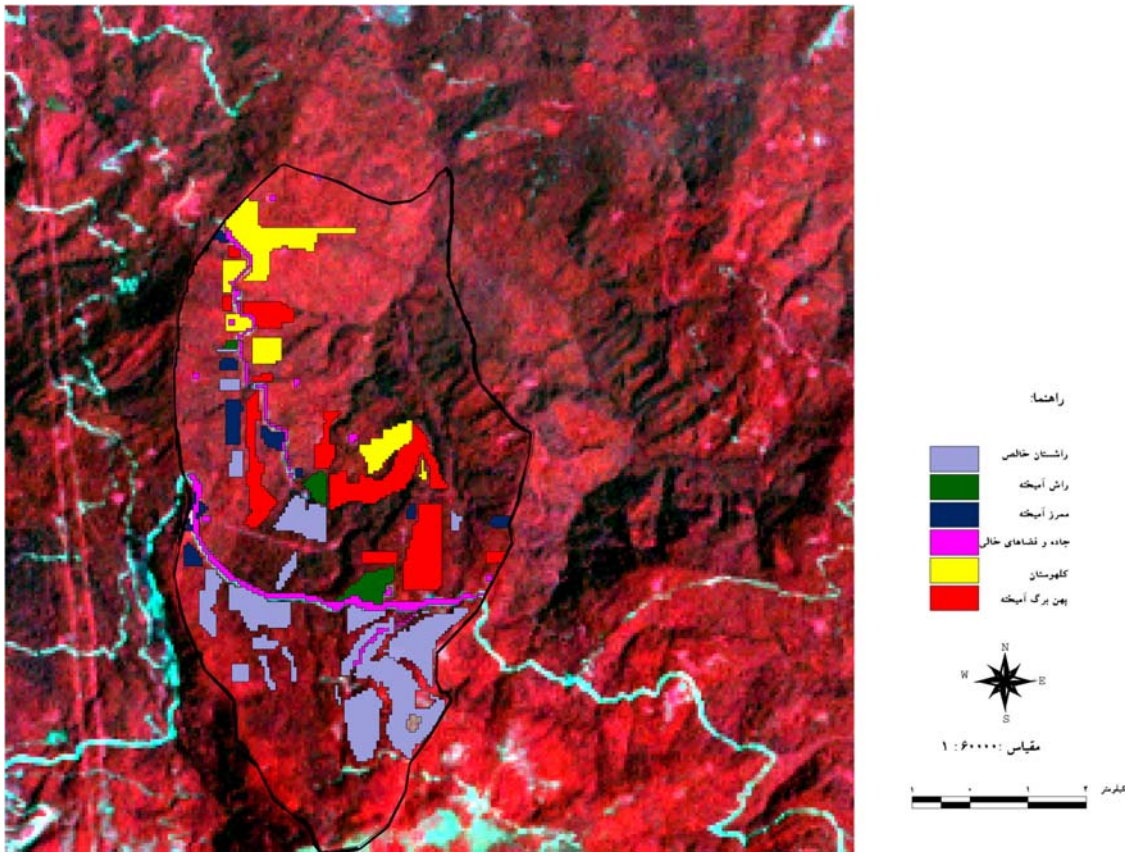
در این تحقیق از داده‌های رقومی سنجنده ETM^+ مربوط به تابستان سال ۲۰۰۰ در ٦ باند۳۰ متری و باند پانکروماتیک ۱۵ متری و همچنین نقشه‌های توپوگرافی رقومی و کاغذی ۱:۲۵۰۰۰ استفاده شد که عمده حجم عملیاتی با استفاده از نرم‌افزارهای Geomatica 8/1 و Idrisi 2 انجام شد و از نرم‌افزارهای میکرواستیشن،Arcview (3/a) و Arc/info (3.5.1) برای انجام فرایندهای جانبی استفاده گردید.



شکل ۲- وضعیت توپوگرافي منطقه مورد مطالعه

تهیه نقشه واقعیت زمینی

نقشه واقعیت زمینی براساس مطالعات شتایی جویباری (۱۳۸۲)، زارع (۱۳۷٦) و عباسی (۱۳۸۰) می‌تواند به‌روش پیمایشی و براساس مطالعات درویش‌صفت (۱۳۷٦) و Saxena *et al.* (1990) می‌تواند با استفاده از عکسهای هوایی و یا خود تصویر ماهواره‌ای تهیه شود. در این تحقیق این نقشه به‌منظور برآورد صحت نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر از طریق کار میدانی و به‌صورت پیمایش صحرایی و با توجه به عوارض طبیعی سری مورد مطالعه بدست آمد. با توجه به مساحت زیاد (۱۷۳۷ هکتار) و پستی و بلندی زیاد منطقه، عملاً امکان تهیه نقشه کامل تیپهای منطقه امکان‌پذیر نبود. از طرف دیگر بر پایه مطالعه فلاح شمسی و درویش‌صفت (۱۳۷٦)، با استفاده از یک نقشه واقعیت زمینی با شدت آماربرداری ۲٪ از مساحت منطقه، می‌توان صحت نقشه‌های موضوعی را با صحت ۹٤ تا ۹٦ درصد برآورد نمود. بنابراین نقشه تیپ در ۲٤٪ از سطح منطقه در عملیات زمینی تهیه شد (شکل ۳). لازم به ذکر است که در تهیه این نقشه، از روشی که عملاً در طرحهای جنگل‌داری برای تهیه نقشه تیپ استفاده می‌شود بکارگرفته شد. بدین صورت که با حرکت بر روی مرزهای هر پارسل و مشخص نمودن شروع و اتمام یک تیپ، با استفاده از عوارض طبیعی، GPS و ارتفاع‌سنج و سپس با ورود به عرصه پارسل حدود تیپهای مورد نظر تعیین و بر روی نقشه توپوگرافی موجود در طرح جنگل‌داری با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ منطبق و مشخص شد. تیپهای منطقه به‌روش فراوانی کل (گرجی بحری، ۱۳۷۹) به ۵ طبقه شامل راشستان خالص، راشستان آمیخته، ممرزستان آمیخته، کلهوستان، پهن‌برگ آمیخته (طبقات ۱، ۲، ۳، ۵ و ٦) و یک طبقه هم تحت عنوان جاده و فضاهای خالی (طبقه ٤) طبقه‌بندی شد. زمان تهیه نقشه منطبق با تاریخ داده‌های ماهواره‌ای در اواخر مرداد و اوایل شهریورماه ۱۳۸۱ (۲۰۰۲ میلادی) بود.



شکل ۳- نقشه واقعیت زمینی

جمع‌آوري نمونه‌هاي تعليمي

نمونه‌های تعلیمی معمولاً از نقشه واقعیت زمینی تهیه شده بدست می‌آید (عباسی،۱۳۸۰)، ولی روشهای دیگری همچون پیمایش و ثبت نقاط به روشهای مختلف مانند استفاده از GPS توسط Brook & Kenkel (2002) و یا استفاده از تصویر ماهواره‌ای توسط Scott & Graves (2001) و Sadhakar *et al.* (1992) برای تعیین نمونه‌های تعلیمی بکار گرفته شده است. در این مطالعه مکان نمونه های تعلیمی، همزمان با تهیه نقشه واقعیت زمینی به طریق عملیات صحرایی و به‌روش تصادفی در تیپهای مشخص شده برداشت شد و محل آنها بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ موجود در طرح جنگل‌داری با استفاده عوارض طبیعی (یالها و دره‌ها)، متر و آلتی‌متر و با در نظر گرفتن حداقل سطح ۱ هکتار برای هر تیپ مشخص شد. سپس نمونه‌های تعلیمی پیاده شده بر روی نقشه طرح در عرصه، با دقت بسیار بر روی تصویر انتخاب شدند. لازم به ذکر است که برای بدست آوردن مؤلفه‌های آماری مربوط به هر طبقه، حداقل به حدود ۱۰۰ پیکسل در هر طبقه نیاز است (Robert, 1987) که در این مطالعه حداقل تعداد ۱۰۰ پیکسل و حداکثر۷۰۰ پیکسل در هر طبقه انتخاب شد.

بررسي و تصحيحات راديومتری و هندسي

به‌منظور بررسی خطای احتمالی، داده‌ها به‌صورت تک‌باندی و ترکیب رنگی پس از بهبود کنتراست و با بزرگ‌نماییهای مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. باند ۱

به‌دلیل وجود خطای رادیومتری حذف شد. خطاهای قابل مشاهده راه راه شدگی تصاویر و پیکسلهای تکراری در تصویر دیده نشد. تصحیحات هندسی با استفاده از ۲۱ نقطه کنترل زمینی با استفاده از DEM منطقه (با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰) تا سطح تصحیح خطای جابه‌جایی ناشی از اختلاف ارتفاع با دقت RMSE= 0.3 پیکسل و با استفاده از معادله درجه اول و روش درون‌یابی نزدیکترین همسایه انجام شد. بررسی تصویر تصحیح شده با نقشه رقومی منطقه، با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی گاوسراها، رودخانه‌ها و جاده‌ها نمایانگر تطابق مناسب تصویر بود.

طبقه‌بندي

معمولاً طبقه‌بندی نظارت نشده با صرف زمان و هزینه کم برای مناطق وسیع و غیرقابل دسترس استفاده می‌شود، درصورتی‌که طبقه‌بندی نظارت شده مستلزم صرف زمان و هزینه زیاد برای جداسازی و تعیین نمونه‌های تعلیمی می‌باشد. به‌طورکلی طبقه‌بندی نظارت شده برای تهیه نقشه تیپ و یا مناطق با بازتابهای انعکاسی مشابه، قابل قبول‌تر از طبقه‌بندی نظارت نشده می‌باشد (Liu *et al.*, 2002). بنابراین در این مطالعه از طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد. در برخی مطالعات مانند Scott & Graves (2001) ابتدا طبقه‌بندی نظارت نشده به‌منظور تعیین تیپ کلی انجام و سپس طبقه‌بندی نظارت شده برای تهیه نقشه تیپ بکار می‌رود. ابتدا عملیات طبقه‌بندی نظارت شده با انتخاب نمونه‌های تعلیمی مشخص شده در عملیات زمینی شروع شد. سپس نمونه‌های تعلیمی از نظر همگنی و تفکیک‌پذیری مورد ارزیابی قرار گرفتند. با مشاهده هیستوگرام نمونه‌های تعلیمی و با استفاده از شاخص واگرایی، فاصله باتاچاریا، نمونه‌های ناهمگن و دارای همپوشانی (با بررسی میانگین و انحراف معیار هیستوگرامها) اصلاح و بهترین نمونه‌ها با حداقل همپوشانی انتخاب شدند. جدولهای ۱، ۲، ۳ و ٤ بیانگر بهترین تفکیک‌پذیری براساس شاخص واگرایی و فاصله باتاچاریا می‌باشند.

جدول ۱- تفکیک‌پذیری طبقه‌ها براساس معیار فاصله باتاچاریا برای ٦ طبقه قابل تفکیک

طبقه‌ها	۱	۲	۳	٤	٥
۲	۰/۷۱۲۸٦۷				
۳	۰/۹٥۰۳۸۹	۰/۹۰٥۸۲٦			
٤	۱/۹۹۷۸۹٦	۱/۹۹۸۳٦۸	۱/۹۹٤۹٦۸		
٥	۱/٥۲٥۹٦۷	۱/۲٤۸۷٦۰	۱/٤۱۸۷۰٥	۱/۹۹۷۳۰۸	
٦	۱/٦۷۱۹۹۳	۱/۸۰٤۹٦٤	۱/٦٦۲٦۳٤	۱/۹٦٥۲۳۳	۱/۹۱٦۱۰۳

تفکیک‌پذیری متوسط: ۱/٥۸٤۷۹۹, حداقل تفکیک‌پذیری: ۰/۷۱۲۸٦۷, حداکثر تفکیک‌پذیری:۱/۹۹۸۳٦۸, حداقل تفکیک‌پذیری: بین طبقه ۱ و ۲

جدول ۲- تفکیک‌پذیری طبقه‌ها براساس فاصله باتاچاریا برای ۵ تیپ

طبقه‌ها	۱	۲	۳	٤
۲	۱/۸۵۵۹۰٦			
۳	۱/۹۲۲۱٦۸	۱/۹۹٦۰۹۰		
٤	۱/۸۰۱۱۲۵	۱/۸٦۲۰۳۸	۱/۹۹۱۳۱۰	
۵	۰/۸۹۸۳۰۸	۱/۸۳۲۳٤۹	۱/۹۳٦۷۷٦	۱/۸۲۹۲۲۸

تفکیک‌پذیری متوسط: ۱/۷۹۲۵۳۰, حداقل تفکیک‌پذیری: ۰/۸۹۸۳۰۸, حداکثر تفکیک‌پذیری: ۰/۹۹٦۰۹, حداقل تفکیک‌پذیری: بین طبقه ۱ و ۵

مطالعات بیانگر آن هستند که نسبت‌گیریهای طیفی می‌توانند قابلیت بیشتری در تفکیک پدیده‌های موردنظر نسبت به باندهای انعکاسی خود سنجنده داشته باشند. بدین منظور لزوم انتخاب شاخص مرتبط و مؤثر برای هر پوششی آشکارتر می‌شود (ارزانی و همکاران، ۱۳۷٦). در این مطالعه نیز برای تفکیک هر چه بهتر پدیده‌ها از باندها و تبدیلهای طیفی مناسب برای تفکیک بهتر پوشش گیاهی و کاهش اثر خطای نوردهی مانند انواع نسبت‌گیریها ($\frac{4}{3}$، $\frac{4}{2}$، $\frac{4}{2+3}$، $\frac{4-3}{4+3}$، $\frac{4-5}{4+5}$، $\frac{5}{4}$، $\frac{4}{7}$، $\frac{4-7}{4+7}$، $\frac{4}{3+5}$) و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA_1 و PCA_2) تحت عنوان باندهای مصنوعی استفاده شد. سپس با استفاده از نشانه‌های طیفی حاصل از نمونه‌های تعلیمی و بهترین ترکیبات باندی (باندهای مصنوعی و باندهای سنجنده)، عملیات طبقه‌بندی به‌روش نظارت شده و با استفاده از الگوریتمهای حداکثر احتمال، متوازی‌السطوح و حداقل فاصله از میانگین برای ٦ طبقه قابل تفکیک انجام شد. لازم به ذکر است که انتخاب بهترین ترکیب باندی براساس معیارهای آماری صورت گرفت، سپس باندهای پیشنهادی به‌وسیله نرم‌افزار براساس تفکیک بهتر نمونه های تعلیمی مورد بازبینی واقع شدند و باندهای نهایی مناسب در عملیات طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند. سپس به‌منظور تعیین دقت نقشه طبقه‌بندی شده با ٦ طبقه قابل تفکیک به‌صورت پیکسل به پیکسل با نقشه واقعیت زمینی تهیه شده در محل مقایسه شد که نتایج به‌صورت جدولهای خطا ارائه شده است.

میزان کم صحت کلی و ضریب کاپا حاصل از جدولهای خطا منجر به ادغام دو طبقه راشستان خالص و آمیخته با تشابه زیاد طیفی بین دو تیپ شد که دوباره طبقه‌بندی با ۵ طبقه قابل تفکیک انجام گرفت.

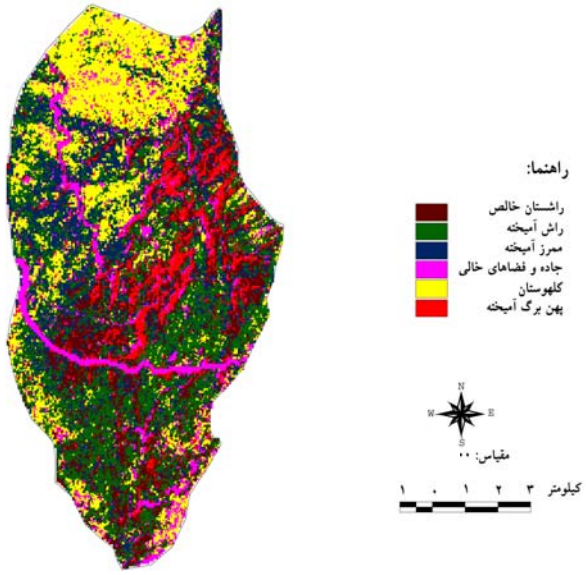
نتایج

بهترین نتیجه طبقه‌بندی مربوط به طبقه‌بندی کننده حداکثر احتمال با صحت کلی ۳۸/۲۹٪ و ضریب کاپای ۲۷/۷٪ (جدول ۳) با بهترین ترکیب ۸ باندی ۳، ٤، NDVI، PCA_1، $\frac{4}{3+5}$، $\frac{4-7}{4+7}$، $\frac{5}{4}$، PCA_2 برای ٦ تیپ بدست آمد (شکل ٤).

جدول ۳- جدول خطای مربوط به طبقه‌بندی با ٦ طبقه

تیپ	راشستان خالص	راشستان آمیخته	ممرزستان آمیخته	جاده و فضاهاي خالي	کلهوستان	پهن‌برگ آمیخته	صحت کاربر
راشستان خالص	٥٤٢	١٥	١٥	٢	١٥	١٣٥	٧٤/٨٦
راشستان آمیخته	٦٣٢	١٠٣	٥٠	٩	٨٩	٣٨١	٨/١٤
ممرزستان آمیخته	٢٤٦	٣٥	١٣٣	١٤	٧٧	٣٢٩	١٥/٩٤
جاده و فضاهاي خالي	٨٠	٣	٢٠	٣٧٦	٨٣	٤٢	٦٢/٢٥
کلهوستان	١٨٦	١٨	٢٧	٧	٣٩٨	١١١	٥٣/٢٧
پهن‌برگ آمیخته	١٦٧	٢٢	١١	١٤	٤١	٢٣٣	٤٧/٧٤
صحت تولید کننده	٢٩/٢٤	٥٢/٥٥	٥١/٩٥	٨٩/٠٩	٥٦/٦١	١٨/٩٢	

صحت کلي: ٣٨/٢٩%, ضریب کاپا: ٠/٢٧٧٠



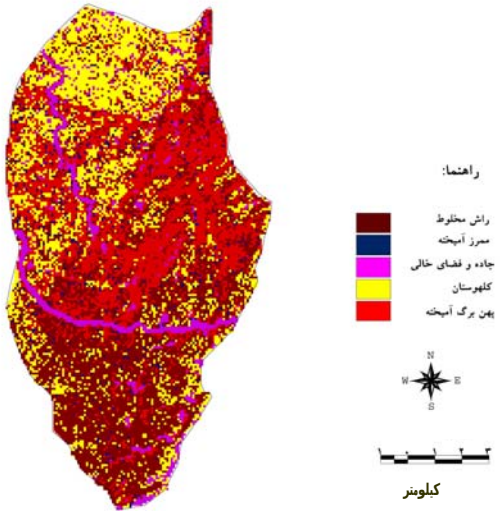
شکل ٤- نقشه تیپ با ٦ طبقه

سپس با توجه به بیشترین تداخل طیفي مربوط به دو طبقه راشستان خالص و آمیخته (جداولهای ۱ و ۲) این دو طبقه در هم ادغام شد و طبقه‌بندي با ٥ تیپ دوباره انجام شد (شکل ٥) که بهترین نتیجه طبقه‌بندي مربوط به طبقه‌بندي کننده حداکثر احتمال با ٨ باند طیفي ٣، ٤، $\frac{4}{3}$، PCA_1، $\frac{5}{4}$، $\frac{4}{3+5}$، ٢، $\frac{4-3}{4+3}$ به‌صورت صحت کلي ٥٣/٢٢% و ضریب کاپاي ٣٤/٧١% (جدول ٤) بدست آمد.

جدول ٤- جدول خطای مربوط به ٥ طبقه قابل تفکیک

تیپ	راشستان مخلوط	ممرزستان آمیخته	جاده و فضاهاي خالي	کلهوستان	پهن‌برگ آمیخته	صحت کاربر
راشستان مخلوط	١١٤٥	٤٥	٢٩	١٤٦	٣٨٤	٦٥/٤٦
ممرزستان‌آمیخته	٤٩	١٢	١	١٥	٥٣	٩/٢٣
جاده و فضاهاي خالي	٣٨	١٥	٣٠٢	٥٠	١٧	٧١/٥٦
کلهوستان	٣٦٧	٥٥	١٢	٤١٦	٢٢٩	٣٨/٥٥
پهن‌برگ آمیخته	٣٩٣	١١٨	٣٤	٩٢	٥٦٢	٤٦/٨٧
صحت تولید کننده	٥٧/٤٧	٤/٨٩	٧٩/٨٩	٥٧/٨٥	٤٥/١٤	

صحت کلي: ٥٣/٢٢%, ضریب کاپا: ٠/٣٤٧١



شکل ٥- نقشه تیپ با ٥ طبقه قابل تفکیک

بحث

با توجه به جدول ٣، بیشترین صحت کاربر (٧٤/٨٦٪) مربوط به طبقه راشستان خالص و کمترین صحت کاربر (٨/١٤٪) مربوط به طبقه راشستان آمیخته می‌باشد که بیانگر آن است که طبقه‌بندی کننده با استفاده از نمونه‌های تعلیمی توانسته است بهترین تفکیک را در طبقه راشستان خالص و کمترین تفکیک را در طبقه راش آمیخته و ممرز آمیخته داشته باشد. این نتیجه تأکید می‌کند که تیپهای خالص نسبت به تیپهای آمیخته بهتر جدا می‌شوند.

بیشترین میزان صحت تولید کننده (٨٩/٠٩٪) مربوط به طبقه جاده و فضاهای خالی و کمترین (١٨/٩٢٪) مربوط به طبقه پهن‌برگ آمیخته می‌باشد که بیانگر میزان صحت طبقه‌بندی است. نتایج همچنین نشان می‌دهد که طبقه ٦ (پهن‌برگ آمیخته) و طبقه ١ (راش خالص) خوب طبقه‌بندی نشده‌اند ولی بهترین تفکیک برای طبقه جاده و فضای خالی می‌باشد. صحت کلی (٣٨/٢٩٪) نشان می‌دهد که ٣٨/٢٩ درصد پیکسل‌ها به‌کمک این طبقه‌بندی و با استفاده از باندهای مربوطه، درست طبقه‌بندی شده‌اند و

عدد کاپای ۲۷/۷ درصد هم نشان‌دهنده میزان توافق بین طبقه‌بندی رایانه و داده‌های واقعیت زمینی می‌باشد. بدین معنا که به اندازه عدد کاپا صحت کلی با طبیعت توافق دارد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود صحت کاربر و تولید کننده کم تعدادی از طبقه‌ها مانند صحت کاربر تیپ ۲ (با مقدار عددی ۸/۱٤) و تیپ ۳ (با مقدار عددی ۱۵/۹٤) و صحت تولید کننده طبقه ٦ (با مقدار عددی۱۸/۹۲) به‌همراه طبقه‌هایی با صحت زیاد باعث پایین آمدن نتایج کلی طبقه‌بندی با ضریب کاپا در حدود ۰/۲۸ و صحت کلی ۳۸/۲۹ درصد شده است. صحت کلی ۳۸/۲۹ درصد و ضریب کاپای حدود ۰/۲۸ بیانگر پایین بودن صحت نقشه بدست آمده از تیپ‌بندی می‌باشد.

با توجه به جدولهای تفکیک طیفی (۱ و ۲) و جدول ماتریس خطا (۳) کمترین میزان تفکیک‌پذیری و بیشترین تداخل طیفی مربوط به دو طبقه راشستان خالص (طبقه ۱) و راشستان آمیخته (طبقه ۲) می‌باشد، بنابراین برای رسیدن به دقت بیشتر تصمیم به ترکیب این دو طبقه گرفته شد.

نتایج طبقه‌بندی با ۵ تیپ قابل تفکیک بیانگر آن است که بیشترین صحت کاربر (۷۱/۵٦٪) مربوط به طبقه جاده و فضاهای خالی و کمترین آن (۹/۲۳٪) مربوط به طبقه ممرز آمیخته می‌باشد که نتایج بیشترین و کمترین طبقه در صحت تولید کننده نیز به‌همین ترتیب است.

صحت کلی ۵۳/۲۲٪ و ضریب کاپای ۳٤/۷ درصد بعد از ادغام دو طبقه یادشده بیانگر آن است که صحت کلی حدود ۱۵٪ و ضریب کاپا حدود ۷٪ نسبت به نتایج طبقه‌بندی کننده ٦ طبقه افزایش داشته است.

در مرحله قبل اختلاف صحت کلی و ضریب کاپا حدود۱۰ ٪ و در حال حاضر در طبقه‌بندی با ۵ طبقه حدود ۱۸٪ می‌باشد که علت آن را می‌توان بدین گونه توضیح داد که افزایش صحت تولید کننده در طبقهٔ راش آمیخته، باعث افزایش صحت کلی شده است. بدین معنی که طبقهٔ راش آمیخته به‌دلیل گستردگی و خوب طبقه‌بندی شدن باعث افزایش صحت کلی شده، ولی به‌دلیل همین وسعت، تعداد پیکسلهایی که از طبقه دیگر به غلط وارد این طبقه شده و یا به غلط وارد طبقه دیگر شده‌اند نیز زیاد می‌باشد. در نتیجه باعث افزایش زیاد ضریب کاپا نشده است. یعنی درستی نقشه بدست آمده در مجموع به‌میزان ۷٪ افزایش یافته است.

به‌طورکلی می‌توان گفت که هرچه تداخل طیفی طبقه‌ها با یکدیگر بیشتر باشد با ادغام آنها و تشکیل طبقه‌ای کلی‌تر با جزئیات کمتر و دامنه طیفی بیشتر، تفکیک‌پذیری این طبقه نسبت به طبقه قبلی بیشتر خواهد بود. نتیجه حاصل از این مطالعه بیانگر صحت کلی و ضریب کاپای بیشتر نسبت به مطالعات انجام شده در داخل کشور (شتائی جویباری، ۱۳۸۲) با صحت کلی ٥٤/۸۵٪ و ضریب کاپای ۲۸/۵۳٪ برای ۵ طبقه و در روش فروانی کلی عباسی، ۱۳۸۱ با صحت کلی ٤٦/٦٪ با ۳ طبقه می‌باشد.

Liu *et al.* (2002) در مطالعه‌ای به صحت کلی حدود ۷۰٪، Vogelmann *et al.* (2002) به صحت کلی حدود ٦۰٪، Scott *et al.* (2002) به صحت کلی ٦۹/۵٪، Saxena *et al.* (1990) به صحت کلی ۸۵٪، Sadhakar *et al.* (1992) به صحت کلی ۸۸/۰٦٪ و Bruce (2002) به صحت کلی ٤۲/۵٪ و ضریب کاپای ۲۷/۲٤٪ دست یافتند. تمامی مطالعات یادشده برای تهیه نقشه پوشش گیاهی انجام شده‌اند.

نتیجه بدست آمده از مطالعه Bruce (2002) نشان‌دهنده صحت کمتر و سایر نتایج بیانگر صحت بیشتر نسبت به تحقیق حاضر می‌باشند. البته لازم به ذکر است که بیشتر نتایج مطالعات یادشده به‌علت ارائه نشدن ضریب کاپا که یک مؤلفه اساسی برای تعیین صحت نقشه می‌باشد، قابل اعتماد نخواهد بود. با توجه به اهمیت نحوه مقایسه نقشه تهیه شده با نقشه واقعیت زمینی (در مقایسه پیکسل به پیکسل صحت کلی کمتری نسبت به‌روش تصادفی مورد انتظار است) و تأثیر آن در نتیجه بدست

آمده و مشخص نبودن نوع روش انتخابی توسط محققان، مقایسه نتایج دشوار می‌باشد.

از دیگر عوامل مؤثر در تعیین صحت نقشه می‌توان به تعداد و نوع تیپ انتخابی در منطقه اشاره کرد. به‌عنوان نمونه تیپهای انتخابی Liu *et al.* (2002) برای تهیه نقشه به‌صورت جنگلهای خزان کننده ـ جنگلهای غان ـ جنگلهای مخلوط ـ توندرا و سوزنی‌برگ بوده است که نوع تیپهای انتخابی، متفاوت از بررسی حاضر می‌باشد که به‌علت تفاوت زیاد در میزان انعکاس طیفی سوزنی‌برگان و پهن‌برگان، افزایش صحت کلی دور از انتظار نخواهد بود. بنابراین برای انجام یک مقایسه علمی باید شرایط منطقه مورد بررسی و نوع تیپها تا حد ممکن به‌هم نزدیک باشند و همچنین زمان تهیه نقشه بسیار مهم بوده و باید مد نظر قرار گیرد.

از آن جایی که اگر میزان صحت کلی و ضریب کاپا زیاد و نزدیک به‌هم و یا برابر باشند، نشان از طبقه‌بندی و تفکیک مناسب تیپها دارد، با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ETM^+ در مطالعاتی که نقشه تیپ به‌عنوان نقشه پایه با حداکثر تعداد تیپ موجود در منطقه مورد نظر باشد، مناسب نخواهد بود.

از علل پائین بودن صحت نتایج، می‌توان به‌وجود پیکسلهای مرزی اشاره کرد، بدین صورت که طبقه‌بندی کننده در تفکیک مرزها دچار مشکل می‌شود و هر چقدر هم که تعداد طبقات بیشتر و جزئی‌تر شود، میزان پیکسلهای مرزی افزایش یافته و باعث می‌شود که پیکسلهایی به غلط به طبقات دیگر اختصاص یابند و در نتیجه منجر به کاهش صحت خواهد شد.

یکی دیگر از دلایل کاهش صحت را می‌توان مربوط به مناطقی دانست که به‌دلیل توپوگرافی شدید، دره‌های عمیق و وجود سایه (با وجود یکسان بودن تیپ) دارای بازتاب انعکاسی متفاوتی هستند. وجود این مناطق باعث طبقه‌بندی نادرست پیکسلها در این تحقیق شد. بنابراین می‌توان از روشهای دیگری مانند روش مینه‌آرت برای حذف اثر توپوگرافی استفاده نمود (سپهری، ۱۳۸۱) و همچنین به انتخاب نمونه‌های تعلیمی مناسبتر با جمع‌آوری نمونه‌ها در مناطق سایه و بدون سایه برای یک تیپ مشخص اقدام نمود.

از دیگر عوامل مؤثر بر روی انعکاس طیفی گیاهان، علاوه بر تیپ جنگل، می‌توان به زیراشکوبها، ترکیب ساختاری توده‌ها، توپوگرافی، تأثیرات اتمسفری و همچنین حجم، تراکم و سطح مقطع توده اشاره کرد (Liu *et al.*, 2002).

بنابراین پیچیدگی ساختار اکوسیستم‌ها باعث ایجاد نتایج متفاوتی خواهد شد که سبب می‌شود برای رسیدن به مقایسه صحیح، نتایج مطالعات هر منطقه با مناطق مشابه از نظر ساختارهای اکولوژیک صورت گیرد.

به‌منظور افزایش صحت طبقه‌بندی، انجام دوباره مطالعه در مناطق دیگر و استفاده از دیگر روشهای طبقه‌بندی مانند روش شیء ـ پایه (object-base) و اطلاعات جنبی مانند شیب، جهت، ارتفاع از سطح دریا (شتائی جویباری، ۱۳۸۲) و داده‌های چندزمانه (Multitemporal) و همچنین به‌کارگیری باندهای پانکروماتیک سنجنده‌های دیگر و ادغام آن با سنجنده ETM^+ و سنجنده‌های دیگری مانند سنجنده‌های راداری، اسپات و سنجنده‌های مختلف با قدرت تفکیک مکانی، طیفی و رادیومتریک متفاوت به‌منظور افزایش صحت نتایج قابل توصیه می‌باشد.

منابع مورد استفاده

- ارزانی، ح.، کینگ، گ. و فورستر، ب.، ۱۳۷۶. کاربرد اطلاعات رقومی ماهواره لندست تی‌ام در تخمین تولید و پوشش گیاهی. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۰ (۱): ۲۱-۳.
- بخشنده ناورود، ب.، ۱۳۸۰. مطالعه امکان تفکیک درصد اختلاط گونه‌های راش و ممرز جنگلهای شمال ایران با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی جنگل

چوئه ژیه). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه مازندران، ۱۳۰ صفحه.

- درویش صفت، ع. ا.، ۱۳۷٦. مقایسه قابلیت داده‌های ماهواره‌ای لندست و اسپات جهت تهیه نقشه جنگل و تیپ‌بندی آن. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۰ (۱): ٦۸-٦۱.
- زارع، ع.، ۱۳۷٦. بررسی امکان تهیه نقشه تاغزارهای قائن با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای به‌روش رقومی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۰۷ صفحه.
- شتایی جویباری، ش.، ۱۳۷۵. تهیه نقشه جنگل به‌کمک تصاویر ماهواره‌ای به‌روش رقومی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۹۹ صفحه.
- شتایی جویباری، ش.، ۱۳۸۲. بررسی امکان تهیه نقشه تیپهای جنگل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی: جنگل آموزشی و پژوهشی خیرودکنار نوشهر). رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۵۵ صفحه.
- عباسی، م.، ۱۳۸۰. بررسی امکان تهیه نقشه تیپ راش با استفاده از داده‌های سنجندهETM^+ (در سری چلیر جنگل خیرود کنار نوشهر). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۱٤ صفحه.
- فلاح شمسی، س.ر. و درویش‌صفت، ع.ا. ، ۱۳۷٦. برآورد صحت نقشه‌های حاصل از داده‌های ماهواره‌ای به‌روش نمونه‌گیری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۸٦ صفحه.
- گرجی بحری، ی.، ۱۳۷۹. بررسی طبقه‌بندی، تیپولوژی و برنامه‌ریزی جنگل تحقیقاتی واز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، ۱۷۰ صفحه.

-Brook, R.K. and Kenkel, N.C., 2002. A multivariate approach to vegetation mapping of MANITOBA'S HUDSON Bay Lowlands., Remote sensing Journal, 23 (21): 4761-4776.

-Bruce, D.A., 2002. Improved object classification accuracy through the combination of VNIR, MULTI-FREQUENCY SAR and MULTI-POLAR netric SAR: A case study from south Australia. HTTP://www.aars-acrs.org/acrs/proceeding/ACRS2002/Papers/SAR02-9.pdf

-Liu, Q.J., Takamura, T., Takeuchi, N. and Shao, G., 2002. Mapping of boreal vegetation of a temperate mountain in china by multitemporal landsat TM imagery. Remote sensing Journal, 23(17): 3385-3405.

-Mickelson, J.G. and Daniel, J., 1998. Delineating forest canopy species in the northeastern united states using multi-temporal TM images. PE & RS Journal, 64(9): 891-904.

- Oladi, D.J., 1997. Developing a framework and methodology for plantation assessment using remotely sensed data., Ph.D. Thesis, University of new Brunswick, Canada, 123 p.

- Robert, A.S., 1987. Techniques for image processing and classification. Remote sensing University of Arizona, Academic Press, New York, 387 p.

- Saxena, K.G., Tiwari, A.K., Porwal, M.C. and Menon, A.R.R., 1990. Vegetation maps, mapping needs and scope of digital processing of Landsat thematic mapper data in tropical region of South- West India. International Journal of Remote Sensing, 13(11): 2017-2037.

- Scott, G.B. and Graves, M. R., 2001. Classification of land-cover types for the Fort Benning Ecoregion using enhanced thematic mapper data. HTTP://www. gisdevelopment.net

- Sadhakar, S., Krishnan, N., Das, P.K., Raha, A.K. and Ghash, A.K., 1992. Forest resource management survey with IRS-1A data, ITC Journal, 3: 285-290.

- Vogelmann, J.E., Huang, C. and Tolk, B., 2002. Factors affecting vegetation cover mapping for LANDFIRE, HTTP://www.gisdevelopment.net

Investigation on the capability of digital data of ETM$^+$ sensor in seperating of forest types (Case study: Lafoor area of Savadkooh)

F. Rashidi[1*], S. Babaie Kafaki[2] and J. Oladi[3]

1*- Corresponding author, Ph.D. student, Islamic Azad University, Science and Research branch. Tehran.
E-mail: fr_nrms@yahoo.com
2- Assistant Prof., Islamic Azad University, Science and Research branch, Tehran.
3- Assistant Prof., Mazandaran University, Sari.

Abstract

This study was carried out in order to investigate the capability of digital data of ETM$^+$ sensor in separation of forest types in Gazoo district of Lafoor area in Savadkooh. The bands were controlled according to radiometric and geometric errors, separately. Band 1, was omitted because of the existence of radiometric error and its less importance in vegetation cover study. Geometric correction was performed by 21 ground control points with DEM, up to ortho rectification level with precision of less than half pixel (0.3 pixel). The supervised classification was performed by using basic and synthetic bands to 6 classes, (pure beech type, mixed beech type, mixed hornbeam, road and non covered area, persimmon, mixed broad leaf). Ground truth map prepared through sampling in 24% of whole area. The highest overall accuracy was belong to maximum likelihood classification for 6 classes which was 38.29% and Kappa coefficient was 27.7%. Six vegetation types were merged because of radiometric mixing, therefore classification with 5 classes was performed again. Accuracy assessment of classification results indicated that the highest overall accuracy and Kappa coefficient were 53.22% and 34.71%, respectively. Results showed that the ML classification increases %15 of overall accuracy and %7 in Kappa coefficient. Overall, using ETM$^+$ data is not so appropriate in the studies which the map type is considered as a base map with maximum number of existing type in the area. In order to increase the classification accuracy, using of other classification methods like object-base method and the other information and multitemporal data is suggestible.

Key words: ETM$^+$, geometric correction, ground truth, classification, overall accuracy, Kappa coefficient, forest type mapping.