

## بررسی قابلیت تصاویر IRS-P6-LISS IV برای تهیه نقشه انبوهی جنگل‌های پسته وحشی (مطالعه موردی: جنگل خواجه کلات خراسان)

فائزه سادات حسینی<sup>۱\*</sup>، علی اصغر درویش صفت<sup>۲</sup> و نصرت‌الله ضرغام<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

<sup>۲</sup>آستاد و دانشیار گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۰/۲۸/۸۹، تاریخ پذیرش: ۱۶/۲/۹۱)

### چکیده

به منظور بررسی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه انبوهی جنگل‌های پسته وحشی، داده‌های سنجنده LISS IV ماهواره IRS-P6 با اندازه تفکیک مکانی ۵ متر مربوط به سال ۱۳۸۶ تجزیه و تحلیل شد. این مطالعه در منطقه‌ای به وسعت ۵۰۰ هکتار در خواجه کلات استان خراسان رضوی اجرا شد. تصحیح هندسی تصویر با استفاده از نقاط کنترل استخراج شده از تصویر آرتوشده دیگری از منطقه، انجام شد. خطای RMS کمتر از یک پیکسل بود. علاوه بر باندهای اصلی، چند باند مصنوعی حاصل از پردازش‌هایی مانند نسبت‌گیری و مؤلفه‌های اصلی، در تجزیه و تحلیل‌ها استفاده شد. مجموعه باندهای مناسب طبقه‌بندی بر اساس معیار واگرایی و نمونه‌های تعلیمی انتخاب شد. برای ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی، یک نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای شامل ۳۴ قطعه ۱ هکتاری با پراکنش منظم تصادفی، تهیه و درصد تاج‌پوشش درختان موجود در این قطعه‌ها در طبقات انبوهی ۵-۰، ۱۰-۵، ۱۵-۱۰، ۲۰-۱۵ و بیش از ۲۰ درصد بر روی زمین برآورد شد. طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش‌های حداقل فاصله از میانگین، حداکثر تشابه و فازی در ابتدا با پنج طبقه انبوهی انجام گرفت. به دلیل تفکیک‌پذیری کم بین برخی از طبقه‌ها، این طبقه‌ها در هم ادغام و طبقه‌بندی با سه طبقه انبوهی (۵-۰، ۲۰-۵ و بیش از ۲۰ درصد) تکرار شد. در طبقه‌بندی اخیر، صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۷۰ درصد و ۰/۴۴ برآورد شد. بیشترین ضریب کاپا مربوط به طبقه ۲ انبوهی (۲۰-۵ درصد) و برابر با ۰/۵۰ بود. هر چند که صحت کلی ۷۰ درصد برای طبقه‌بندی سه طبقه‌ای را می‌توان به نسبت خوب ارزیابی کرد، ولی با توجه به ضریب کاپای کم (۰/۴۴) در مجموع نتایج طبقه‌بندی را نمی‌توان مطلوب دانست. از این رو این داده‌ها از قابلیت لازم برای تهیه نقشه انبوهی جنگل‌های پسته وحشی به‌طور اجرایی، برخوردار نیست.

**واژه‌های کلیدی:** سنجنده IRS-P6-LISS IV، واقعیت زمینی، نقشه انبوهی، جنگل پسته وحشی، طبقه‌بندی.

## مقدمه و هدف

رویشگاه‌های طبیعی پسته خراسان رضوی به‌عنوان یکی از مجموعه پوشش‌های جنگلی کشور، علاوه بر ویژگی‌های اکولوژیکی خاص، تأثیرات مهمی بر زندگی مردم منطقه دارد. گونه پسته وحشی (*Pistacia vera*) فقط در این ناحیه از ایران ظاهر می‌شود (فدائی، ۱۳۸۶). بهره‌برداری از این درختان موجب شده که این توده‌ها همانند بسیاری از مناطق جنگلی دستخوش تغییرات شدید و تخریب‌هایی شود، از این‌رو تلاش برای حفظ رویشگاه‌های طبیعی این گونه که امروزه تنها سطح اندکی از جنگل‌های نیمه‌انبوه آن باقی مانده است ضرورت دارد. برای شناسایی و مدیریت این اکوسیستم با ارزش به نقشه‌های موضوعی مرتبط با جنگل نیاز است. آگاهی از وضعیت انبوهی (درصد تاج‌پوشش) این جنگل‌ها برای اجرای رویکردهای مدیریت و کنترل (حفظ و احیای) از مهم‌ترین اقدامات اولیه‌ای است که در شناسایی این جنگل‌ها ضرورت پیدا می‌کند. روش‌های مختلفی به‌منظور دستیابی به این اطلاعات وجود دارد که بیشتر آنها نیازمند صرف زمان طولانی و هزینه زیاد است. سنجش‌از‌دور ماهواره‌ای با کمک داده‌های چندطیفی با توان تفکیک زیاد می‌تواند گزینه‌ای مناسب در این زمینه باشد و نقش مهمی را در به‌دست آوردن اطلاعات به‌هنگام ایفا کند. نتایج تحقیقات سنجش‌از‌دور در شرایط متنوع رویشگاهی و وضعیت جنگل بسیار متفاوت بوده است. از این‌رو ضروری است که قابلیت داده‌های ماهواره‌ای در شرایط مختلف تعیین و با یکدیگر مقایسه شوند. از نتایج این گونه مقایسه‌ها می‌توان در انتخاب داده‌های ماهواره‌ای در کارهای اجرایی استفاده کرد. متأسفانه در حال حاضر اطلاعات کافی در مورد جنگل پسته وحشی خواجه‌کلات وجود ندارد و این نوع اطلاعات بیشتر پراکنده‌اند. ارزیابی تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان یکی از راه‌های تهیه اطلاعات، نه تنها در مورد محاسبه انبوهی، بلکه در خصوص دیگر مشخصه‌های کمی این جنگل‌ها نیز صورت گرفته است.

طبقه‌بندی، یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای استخراج اطلاعات موضوعی است. در بیشتر مطالعات و تحقیقات در زمینه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از خوارزمیک طبقه‌بندی‌کننده سخت حداکثر احتمال به‌عنوان دقیق‌ترین

و رایج‌ترین خوارزمیک طبقه‌بندی‌کننده یاد می‌شود (ساعی و آبکار، ۱۳۸۳؛ ساروئی، ۱۳۷۸؛ لطیفی و همکاران، ۱۳۸۶). وقتی که از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده سخت استفاده می‌شود، پدیده‌های زمینی که ابعاد کوچک‌تر از یک پیکسل دارند و به‌وسیله پدیده‌های بزرگ احاطه شده‌اند، مبهم یا محو می‌شوند. به‌کمک روش طبقه‌بندی نرم می‌توان اطلاعات مفیدی را در مورد پیکسل‌های مخلوط و پیکسل‌های واقع در مرز بین پدیده‌ها به‌دست آورد. تا کنون مطالعات زیادی در داخل و خارج از کشور در زمینه استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای تهیه نقشه انبوهی جنگل انجام گرفته است. ساروئی (۱۳۷۸) امکان طبقه‌بندی جنگل از نظر تراکم در جنگل‌های زاگرس را به‌کمک داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست بررسی کرد. بیشترین صحت کلی و ضریب کاپا به‌ترتیب ۷۰ درصد و ۰/۴۵ با طبقه‌بندی‌کننده حداکثر تشابه و با ۳ کلاس تراکم ۱-۲۵، ۲۵-۷۵ و بیش از ۷۵ درصد به‌دست آمد. شاه‌بابی (۱۳۸۳) قابلیت داده‌های سنجنده ETM+ از ماهواره لندست ۷ را در تهیه نقشه‌های تیپ و تراکم جنگل در گرگان بررسی کرد. صحت کلی و ضریب کاپا در تیپ‌بندی به‌ترتیب ۶۳ درصد و ۰/۳۹ و برای طبقات تراکمی به‌ترتیب ۵۸/۱۹ و ۰/۴۱ گزارش شد. پاک‌خصال (۱۳۸۵) قابلیت داده‌های IRS LISS III و Landsat ETM+ را برای تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش جنگل در گیلان بررسی کرد. صحت کلی و ضریب کاپا در طبقه‌بندی داده‌های LISS III به روش حداکثر تشابه، به‌ترتیب ۷۲ درصد و ۰/۵۱ برآورد شد. این مقادیر برای طبقه‌بندی داده‌های ETM+ با استفاده از مدل FCD<sup>1</sup>، به‌ترتیب ۷۲/۲۱ درصد و ۰/۶۱ به‌دست آمد. رجب‌پور (۱۳۸۷)، به‌منظور ارزیابی قابلیت ماهواره SPOT5 در تهیه نقشه انبوهی جنگل‌های دیلمان گیلان با استفاده از روش حداکثر تشابه و چهار کلاس انبوهی، صحت کلی و ضریب کاپای به‌ترتیب ۷۴ درصد و ۰/۳۳ را به‌دست آورد. پرما (۱۳۸۸) در ارزیابی قابلیت داده‌های طبقه تراکمی تنک و نیمه‌انبوه، صحت کلی و ضریب کاپای به‌ترتیب ۷۵ درصد و ۰/۴۶ را گزارش داد.

1- Forest Canopy Density

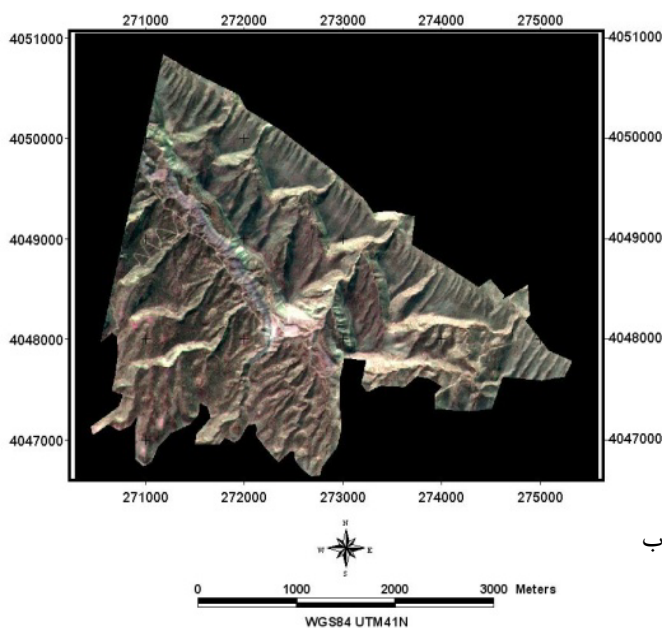
نشده است و از سویی دیگر، تفاوت زیاد ویژگی‌های این جنگل‌ها با جنگل‌های مناطق رویشی خزری و زاگرسی سبب می‌شود که نتوان از نتایج دیگر تحقیقات استفاده کرد. از این‌رو هدف اصلی این تحقیق تعیین توانمندی داده‌های سنجنده LISS IV ماهواره IRS-P6 برای تهیه نقشه انبوهی جنگل‌های پسته وحشی در بخشی از جنگل‌های خراسان است تا در صورت تأیید قابلیت این داده‌ها، بتوان از آن به‌صورت اجرایی در تأمین بخشی از اطلاعات لازم در مدیریت و پایش منابع استفاده کرد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد بررسی

منطقه جنگلی خواجه کلات در فاصله ۱۴۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان مشهد، در بخش شرقی ارتفاعات هزارمسجد و نزدیک مرز ترکمنستان واقع شده است. این منطقه در محدوده جغرافیایی ۵۸° ۲۰' تا ۶۰° ۲۷' ۵۵ طول شرقی و ۳۱° ۳۲' تا ۳۶° ۳۶' ۴۸ عرض شمالی و در دامنه ارتفاعی ۵۰۰ تا ۱۲۴۳ متر از سطح دریا قرار دارد (خسروجردی، ۱۳۸۸). تیپ خالص پسته وحشی (*Pistacia vera*) کل محدوده جنگلی این سامان را به خود اختصاص داده است (شکل ۱).

Wang et al. (1998) داده‌های لندست TM و تصویر PAN ماهواره IRS-1C را به‌منظور طبقه‌بندی تراکمی جنگل در منطقه‌ای در جنوب فنلاند، ادغام کردند. نتایج نشان داد که در مقایسه با استفاده از تصاویر TM یا IRS به تنهایی، با داده‌های ادغام‌شده، صحت طبقه‌بندی افزایش می‌یابد. برای طبقه‌بندی چهار کلاسه‌ای، صحت کلی ۷۰/۲ درصد و ضریب کاپا ۰/۴۶ به‌دست آمد. Memahan et al. (2003) به‌منظور طبقه‌بندی پوشش گیاهی در جنوب شرق ایالت آیداهو در آمریکا، روش‌های طبقه‌بندی فازی و حداکثر تشابه را مقایسه کردند. صحت کلی روش‌های حداکثر تشابه و فازی به‌ترتیب ۴۷/۵ درصد و ۵۰/۵ درصد به‌دست آمد. Xu et al. (2003) در تحقیقی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای را در برآورد تاج‌پوشش جنگل‌های بلوط کالیفرنیا بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده قابلیت خوب باندهای قرمز، مادون قرمز و آبی در برآورد تاج‌پوشش جنگل است. Berberoglu & Satir (2008) به‌منظور طبقه‌بندی تیپ‌های مختلف جنگلی در منطقه مدیترانه‌ای ترکیه از روش‌های طبقه‌بندی نرم و سخت استفاده کردند. صحت کلی برای این دو روش به‌ترتیب ۸۰ و ۵۰ درصد به‌دست آمد. اهمیت جنگل‌های پسته وحشی ایران موجب شده است که ایده تهیه نقشه‌های موضوعی آن با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مطرح شود. قابلیت تصاویر در این جنگل‌ها بررسی



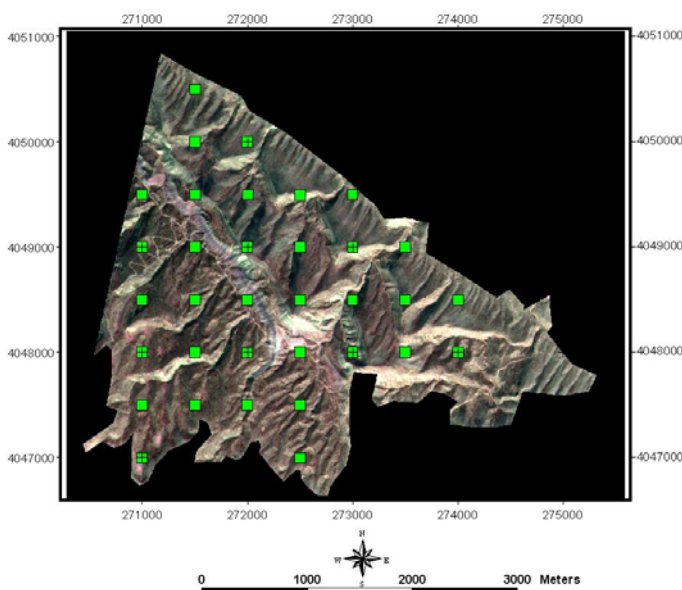
ب

الف

شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی در استان خراسان رضوی (الف) و تصویر ماهواره‌ای رنگی منطقه تحقیق (ب)

منابع طبیعی استان خراسان رضوی طبقات تراکمی جدیدی برای این جنگل‌ها تعریف کرده است که شامل ۵ طبقه انبوهی تاج پوشش ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰ و بیشتر از ۲۰ درصد است، و عملاً توده‌های مترکم‌تر وجود ندارد. در تحقیق حاضر، از این طبقات تراکمی استفاده شد.

- نقشه واقعیت زمینی  
برای برآورد صحت نقشه‌های حاصل از داده‌های ماهواره‌ای، نقشه واقعیت زمینی نمونه‌ای از منطقه مورد بررسی تهیه شد. شبکه‌ای به ابعاد  $500 \times 500$  متر و  $34$  قطعه به مساحت ۱ هکتار به‌طور منظم تصادفی روی نقشه توپوگرافی منطقه طراحی شد. این نقاط با استفاده از GPS در جنگل بازیابی شدند. در جنگل مورد بررسی به دلیل کم بودن قطر برابر سینه درختان، نمی‌توان از این مشخصه در تفکیک طبقات انبوهی جنگل استفاده کرد. با مدنظر قرار دادن این نکته که بازتاب عمده ثبت شده در تصاویر ماهواره‌ای مربوط به تاج پوشش است، از مشخصه درصد تاج پوشش درختان برای محاسبه انبوهی تاج پوشش استفاده شد. با جنگل گردشی در داخل هر قطعه نمونه و مشاهده کل قطعه نمونه از نقطه‌ای مرتفع مشرف بر آن، درصد تاج پوشش بر اساس تخمین تصویر افقی تاج درختان روی زمین و تعیین طبقه انبوهی آن برآورد شده و نقشه واقعیت زمینی در پنج کلاس انبوهی ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۵-۲۰، ۲۰-۱۵ و بیش از ۲۰ درصد برای هر قطعه نمونه تهیه شد. در شکل ۳، قطعات نمونه واقعیت زمینی روی تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد بررسی، نشان داده شده است.



شکل ۳- قطعات نمونه واقعیت زمینی روی تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد بررسی

گونه‌های درختچه‌ای نظیر قیچ و بادام کوهی به‌صورت بسیار پراکنده به‌عنوان گونه همراه در این جنگل مشاهده می‌شود. فرم پرورشی این جنگل شاخه و دانه‌زاد است. آب و هوای منطقه، کویری با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد، بارندگی کم، پوشش گیاهی به‌صورت درختی با ارتفاع کم و درختچه‌ای و بوته‌ای است. (بی‌نام، ۱۳۸۸). تحقیق حاضر در بخشی از این جنگل‌ها به وسعت ۵۰۰ هکتار که در تصویر ماهواره‌ای به‌هنگام منطقه قرار داشت، انجام گرفته است. این منطقه کوچک دارای حالت تپه‌ماهوری و نیمه‌کوهستانی با ارتفاع متوسط ۵۴۰ متر است (شکل ۲).



شکل ۲- سیمای طبیعی بخشی از منطقه مورد بررسی

- داده‌های مورد استفاده  
پنجره‌ای از داده‌های سنجنده LISS IV ماهواره IRS-P6 با سه باند طیفی B3, B2, B4 با اندازه تفکیک مکانی ۵ متر مربوط به ۳۱ جولای ۲۰۰۷ میلادی از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح دریافت و تجزیه و تحلیل شد. همچنین از نقشه توپوگرافی منطقه (ویرایش سال ۱۳۸۸ هجری شمسی) با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای تهیه لایه برداری جاده‌ها و آبراهه‌ها به‌منظور کنترل تصحیح هندسی تصاویر و یک پنجره از تصویر IRS-P6 تصحیح هندسی شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور مربوط به سال ۲۰۰۷ میلادی به‌عنوان مبنای تصحیح هندسی استفاده شد.

- طبقه‌بندی تراکم جنگل  
در جنگل پسته خواجه کلات به دلیل کم‌تراکم بودن درختان و تاج پوشش جنگل نمی‌توان از طبقات تراکمی تعریف شده از سوی شورای عالی جنگل، مرتع و خاک سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور بهره برد. لذا اداره کل

حداکثر تشابه و حداقل فاصله از میانگین انجام گرفت. پس از انتخاب نمونه‌های تعلیمی با بررسی نمودار، مشخصه‌های آماری، تفکیک‌پذیری نمونه‌ها و طبقه‌بندی اولیه تصاویر و اصلاح و بازبینی نمونه‌ها، بهترین نمونه‌های تعلیمی برای طبقه‌بندی تعیین شد. این نمونه‌ها، حدود ۱/۴ درصد از مساحت منطقه مورد بررسی را دربر می‌گرفت. با استفاده از نمونه‌های تعلیمی و بر اساس معیارهای فاصله باتاچاریا<sup>۳</sup> و واگرایی<sup>۴</sup> تبدیل‌شده (Richards & Jia, 2006)، مقدار همبستگی باندها و نمودار ارزش‌های طیفی طبقه‌های تراکمی بهترین مجموعه‌های باندی انتخاب شد. با توجه به اینکه با استفاده از این روش طبقه‌بندی فازی می‌توان اطلاعات مفیدی را در مورد پیکسل‌های مخلوط به‌دست آورد، طبقه‌بندی فازی نیز با استفاده از مجموعه نمونه‌های تعلیمی تهیه‌شده و مجموعه باندهای مختلف انجام گرفت. حاصل هر طبقه‌بندی فازی، چند تعدادی تصویر برابر با تعداد کلاسه‌های تعریف شده است. این تصاویر برای ارزیابی صحت به نتایج قطعی تبدیل شد.

جدول ۱- بهترین مجموعه‌های باندی انتخاب‌شده

ترتیب اولویت	مجموعه‌های باندی
۱	PCA1(B1,2,3), PVI3, DVI
۲	PVI1, PCA1(B2,3,4), PVI3, DVI
۳	PVI1, PVI2, PVI3, DVI
۴	B2,B3, PCA1(B2,3,4), PVI3, WDWI

PVI: Perpendicular Vegetation Index,  
DVI: difference Vegetation Index,  
WDVI: Weighted Vegetation Index

از آنجا که ضریب کاپای طبقات بیانگر تشابه و تداخل طیفی زیاد بین طبقه‌های ۲، ۳ و ۴ انبوهی بود، طبقه‌بندی با سه کلاسه انبوهی (۵-، ۰-۲۰، ۲۰-۵۰ و بیش از ۲۰ درصد) تکرار شد. انتخاب بهترین نمونه‌های تعلیمی و مجموعه‌های باندی برای طبقه‌بندی سه کلاسه‌ای نیز تکرار شد. سپس به‌منظور حذف پیکسل‌های منفرد، فیلتر مُد در پنجره‌ای به ابعاد ۷ × ۷ پیکسل (۳۵ × ۳۵ متر) اجرا شد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر به‌صورت پیکسل به پیکسل با نقشه واقعیت زمینی

- بررسی کیفیت و تصحیح هندسی داده‌ها  
تصاویر از نظر وجود خطاهای اتفاقی رادیومتری از طریق نمایش تصویر، بررسی شد. روی هم‌گذاری لایه برداری جاده با تصاویر ماهواره‌ای، عدم تطابق هندسی دقیق داده‌ها با نقشه را نشان داد. برای از بین بردن خطای هندسی تصاویر، از یک تصویر زمین‌مرجع‌شده LISS-IV که پیشتر توسط سازمان نقشه‌برداری کل کشور، اُرتو شده بود به‌عنوان مبنا استفاده شد و تطابق هندسی تصویر به تصویر انجام گرفت. در این فرایند با استفاده از روش چندجمله‌ای و ۹ نقطه کنترل با معادله درجه اول و روش نمونه‌گیری مجدد نزدیک‌ترین همسایه، تصحیح هندسی تصاویر باندهای مختلف با اندازه تفکیک ۵ متر انجام گرفت.

- پردازش تصاویر

باندهای مصنوعی متعددی با تبدیل‌های طیفی مختلف بر روی باندهای اصلی از جمله تحلیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۱</sup> و شاخص‌های گیاهی<sup>۲</sup> ایجاد و استفاده شد. برای کاهش نقش بازتاب خاک در جنگل مورد مطالعه که تراکم پوشش گیاهی آن کم است، شاخص‌های متداول پوشش گیاهی مبتنی بر خط فرضی خاک حاصل از نمودار دوبعدی باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک (علوی‌پناه، ۱۳۸۲) محاسبه شد. در این زمینه بخش‌هایی از منطقه که بدون پوشش گیاهی بود، ضمن کارهای میدانی تعیین شد و برازش خطی بین DN باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک انجام گرفت. مشخصه‌های خط خاک (شیب و اضافه ثابت) به‌دست‌آمده از این برازش‌ها در محاسبات شاخص‌ها به‌کار گرفته شد. همچنین از تحلیل مؤلفه‌های اصلی با هدف فشرده‌سازی اطلاعات (دریوش‌صفت و همکاران، ۱۳۹۰) استفاده شد. باندهای مصنوعی تولیدشده به‌همراه باندهای اصلی در تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱).

- طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی صحت

در آغاز براساس اطلاعات حاصل از بازدید میدانی و به‌منظور تفکیک کلاسه‌های انبوهی تاج‌پوشش، طبقه‌بندی اولیه پنج کلاسه‌ای با استفاده از خوارزمیک‌های سخت

3- Bhattacharya

4- Divergence

1- Principle Component Analysis

2- Vegetation Index

### نتایج

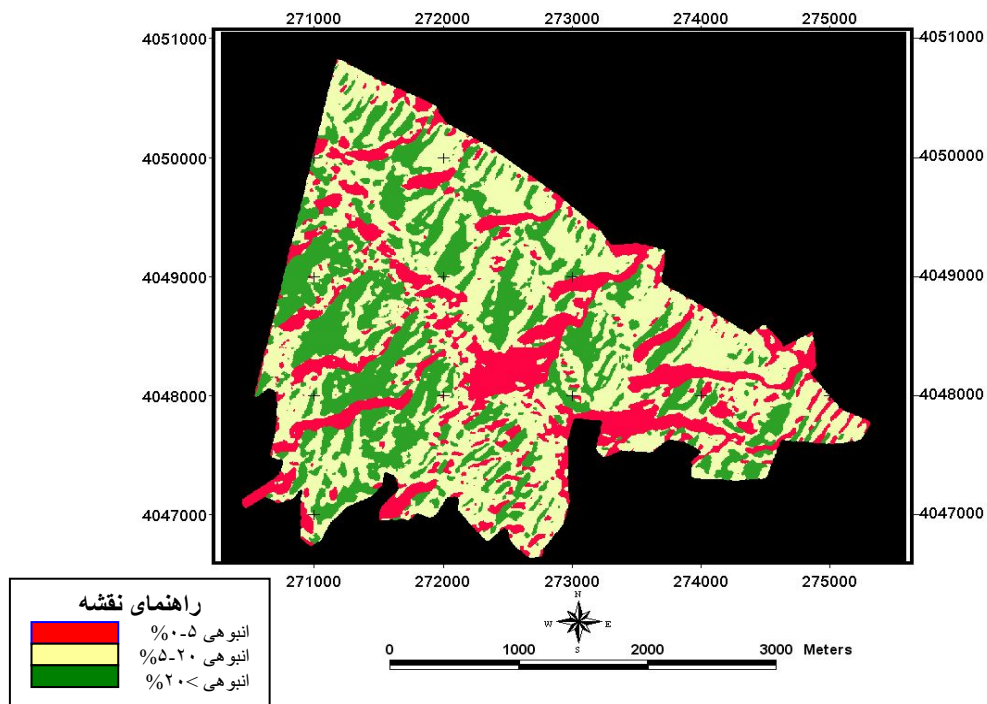
تصحیح هندسی تصویر با خطای زیر یک پیکسل (کمتر از ۵ متر) انجام گرفت و انطباق بسیار خوب لایه برداری جاده و آبراهه حاصل از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ روی تصویر تصحیح هندسی شده، حاکی از درستی و دقت فرایند تصحیح هندسی است.

مجموع مساحت ۳۴ قطعه نمونه واقعیت زمینی، ۷ درصد سطح منطقه مورد بررسی است. نتایج انتخاب بهترین مجموعه‌های بانندی بر اساس حد تفکیک‌پذیری آنها نشان داد که مجموعه سه بانندی (PVI3, DVI) و PCA1(B1,2,3) بهترین نتیجه را دربر داشت. نتایج به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی‌ها با واقعیت زمینی به‌صورت پیکسل به پیکسل مقایسه شد. اجرای فیلتر مد در پنجره‌ای به ابعاد ۷×۷ پیکسل روی طبقه‌بندی موجب افزایش صحت به مقدار ۳ درصد شد. نتایج به‌دست‌آمده برای هر کدام از خوارزمیک‌ها در جدول ۲ و نقشه‌های به‌دست‌آمده از طبقه‌بندی‌های حداکثر تشابه و فازی در شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده است.

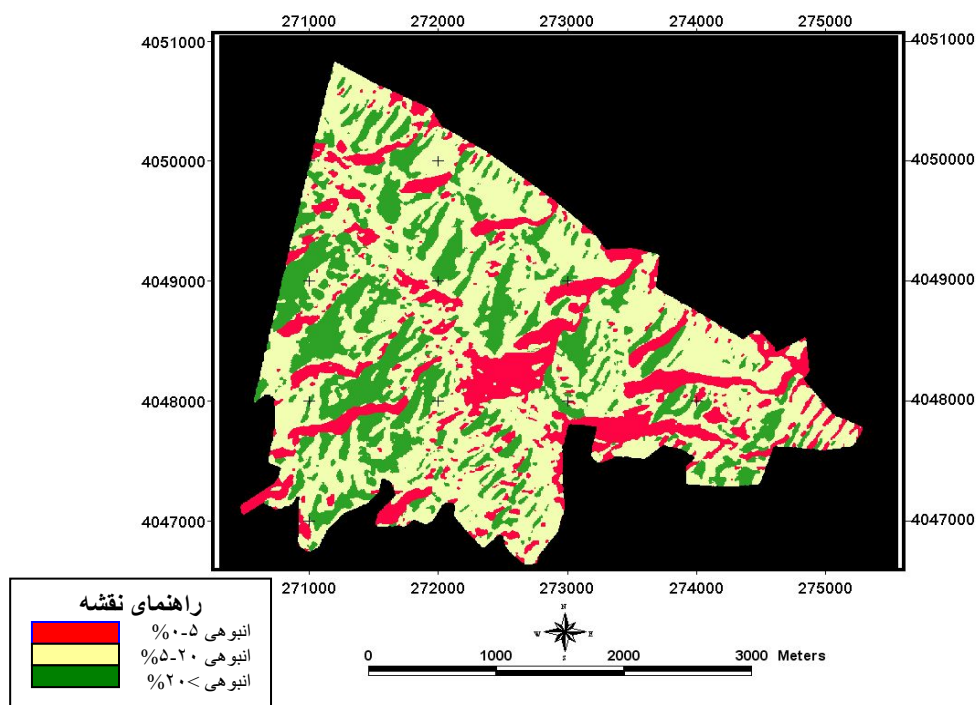
مقایسه و جدول خطا تشکیل شد. براساس این جدول، معیارهای صحت کلی و ضریب کاپای کل و ضریب کاپای هر طبقه، محاسبه شد. طبقه‌بندی اولیه با پنج کلاسه انبوهی با خوارزمیک نرم فازی نیز انجام گرفت. خروجی این طبقه‌بندی پنج تصویر به‌ازای پنج کلاسه انبوهی و یک تصویر عدم اطمینان<sup>۱</sup> بود. به‌منظور اطمینان از درستی طبقه‌بندی، میانگین عدم اطمینان در هر کلاسه محاسبه شد. نتایج بیانگر عدم اطمینان زیاد سه کلاسه ۲، ۳ و ۴ انبوهی (۱۰-۵، ۱۵-۱۰ و ۲۰-۱۵ درصد) بود، به‌منظور افزایش صحت طبقه‌بندی، این سه کلاسه در هم ادغام و طبقه‌بندی با سه کلاسه انبوهی تکرار شد. استخراج میانگین عدم اطمینان حاصل از طبقه‌بندی سه کلاسه‌ای نشان‌دهنده اطمینان بیشتر این طبقه‌بندی بود. به‌منظور تهیه یک تصویر قطعی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی فازی، مقدار عضویت هر کلاسه، پیکسل به پیکسل مقایسه شد و هر پیکسل به کلاسه‌ای که دارای بالاترین عضویت در آن بود، تعلق گرفت. تصویر قطعی به‌دست‌آمده نیز مورد ارزیابی صحت قرار گرفت.

جدول ۲- نتایج بررسی صحت نقشه کلاسه‌های انبوهی حاصل از طبقه‌بندی تصاویر

خوارزمیک												
حداکثر تشابه			حداقل فاصله			فازی						
صحت کلی			۵۰ درصد			۴۵ درصد			۴۵ درصد			
کاپای کلی			۰/۳۱			۰/۲۲			۰/۲۷			
کلاسه انبوهی	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کاربر (درصد)	کاپای طبقه	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کاربر (درصد)	کاپای طبقه	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کاربر (درصد)	کاپای طبقه			
۱	۶۴	۶۳	۰/۴۰	۶۱	۶۸	۰/۳۴	۶۸	۶۲	۰/۳۹			
۲	۹	۴۴	۰/۳۴	۳۱	۲۹	۰/۱۷	۴۷	۲۷	۰/۱۴			
۳	۳۳	۴۲	۰/۲۷	۲۰	۲۴	۰/۰۵	۲۴	۳۷	۰/۲۰			
۴	۶۵	۴۰	۰/۱۹	۳۰	۴۳	۰/۲۲	۱۸	۴۱	۰/۱۹			
۵	۶۰	۶۵	۰/۴۹	۵۸	۵۶	۰/۳۵	۷۲	۶۰	۰/۴۰			
خوارزمیک												
حداکثر تشابه			حداقل فاصله			فازی						
صحت کلی			۶۷ درصد			۵۹ درصد			۷۰ درصد			
کاپای کلی			۰/۴۰			۰/۳۰			۰/۴۴			
کلاسه انبوهی	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کاربر (درصد)	کاپای طبقه	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کاربر (درصد)	کاپای طبقه	صحت تولیدکننده (درصد)	صحت کاربر (درصد)	کاپای طبقه			
۱	۶۹	۵۲	۰/۲۷	۵۹	۶۳	۰/۴۰	۶۸	۶۸	۰/۳۴			
۲	۶۱	۸۲	۰/۵۴	۵۶	۸۵	۰/۶۰	۷۰	۸۱	۰/۵۰			
۳	۷۳	۵۸	۰/۳۸	۶۳	۴۶	۰/۲۰	۶۸	۶۱	۰/۴۲			



شکل ۴- نقشه حاصل از طبقه‌بندی سه کلاسه‌ای با استفاده از خوارزمیک حداکثر تشابه



شکل ۵- نقشه حاصل از طبقه‌بندی سه کلاسه‌ای با استفاده از خوارزمیک طبقه‌بندی فازی

### بحث

بر اساس نتایج حاصل از جدول خطای مربوط به تصاویر حاصل از طبقه‌بندی‌کننده‌های سخت و نرم با مجموعه‌های باندی مختلف، طبقه‌بندی سه کلاسه‌ای (۰-۵، ۵-۲۰ و بیش از ۲۰ درصد) با استفاده از روش نرم فازی و با مجموعه سه باندی با تفاوت اندک نسبت به روش سخت حداکثر تشابه، بهترین نتیجه را در برداشت. شایان ذکر است که مجموعه سه

در چنین تحقیقاتی که قابلیت تصویری بررسی می‌شود، واقعیت زمینی نقش بسیار مهمی دارد. به دلیل نبود عکس‌های هوایی بزرگ‌مقیاس و به‌هنگام از منطقه برای تهیه نقشه واقعیت زمینی این نقشه به صورت کیفی و نمونه‌ای در سطحی معادل ۷ درصد وسعت منطقه مورد بررسی تهیه شد.

تفکیک مکانی زیاد، ممکن است ناشی از باز بودن تاج پوشش و تداخل طیفی خاک زمینه با تاج پوشش باشد، هر چند که شاخص‌های خط خاک نیز برای حذف اثر زمینه، محاسبه و استفاده شد. بزرگ بودن مساحت قطعات برداشت شده برای تهیه نقشه واقعیت زمینی نیز ممکن است نقش مؤثری داشته باشد. زیاد بودن مساحت این قطعات (۱ هکتار) سبب می‌شود که برآورد درصد تاج پوشش و تعیین کلاس مربوط مشکل باشد. در صورت کوچک تر بودن قطعات نمونه و محاسبه تاج پوشش به روش کمی، می‌توان درصد تاج پوشش در آن را با اطمینان بیشتری برآورد کرد و نتایج مقایسه نقشه واقعیت زمینی با تصاویر طبقه بندی شده دقیق تر و صحیح تر خواهد بود. همچنین اگرچه سنجنده مورد استفاده در این تحقیق دارای توان تفکیک مکانی بیشتری نسبت به بسیاری از داده‌های مورد استفاده در دیگر تحقیقات مشابه است (ساروئی، ۱۳۷۸؛ رفیعیان، ۱۳۸۲؛ شاه‌بابایی، ۱۳۸۳)، توان تفکیک طیفی کمتر و در حقیقت تعداد باندهای طیفی کمتر ممکن است موجب این تفاوت و ارائه نتایج نه‌چندان مطلوب شده باشد. البته شرایط رویشگاهی در جنگل‌های پسته وحشی با جنگل‌های شمال و غرب کشور نیز متفاوت است. این جنگل‌ها در مقایسه با دیگر جنگل‌های ایران از نظر نوع گونه، قطر، ارتفاع، پراکنش و تراکم، شرایط رویشگاهی و ساختار متفاوتی دارند. پوشش جنگلی تنک، تغییرات تدریجی انبوهی، نزدیک و مشابه بودن طبقه‌های انبوهی، ممکن است بر نتایج تحقیق تأثیر گذاشته باشد. مقایسه نتایج حاصل از طبقه بندی کننده‌های سخت و نرم در این تحقیق بیانگر تفاوت اندک در صحت نتایج به دست آمده است. این نکته با نتیجه گیری‌های بعضی از تحقیقات پیشین (Berberoglu & Satir, 2008; McMahan et al., 2003; Amici et al., 2010) همسو نیست. در این پژوهش‌ها صحت حاصل از طبقه بندی نرم فازی تفاوت بیشتری را نسبت به روش‌های سخت نشان داد. این تفاوت اندک ممکن است ناشی از اندازه تفکیک کوچک داده‌های رقومی مورد استفاده و در نتیجه کم بودن تعداد پیکسل‌های مخلوط باشد. زیرا اندازه تفکیک زیاد داده‌های ماهواره‌ای، یکی از عوامل ایجاد پیکسل‌های مخلوط است. بنابراین توصیه می‌شود تنها در مواردی که داده‌های با اندازه

باندی شامل باندهای PCA1(B1,2,3)، PVI3 و DVI در روش‌های مختلف طبقه بندی، به عنوان بهترین مجموعه باندی استفاده شد. نتایج به دست آمده از طبقه بندی کننده‌های سخت نشان داد که تداخل طیفی زیادی بین کلاس‌ها وجود دارد. اختلاف زیاد بین صحت‌های تولید کننده و صحت کاربر و کم بودن این مقادیر در مورد طبقه‌های میانی انبوهی (۱۰-۵، ۱۵-۱۰ و ۲۰-۱۵ درصد) بیانگر عدم طبقه بندی مطلوب این کلاس‌هاست. در مقابل برابری نسبی صحت‌های کاربر و تولید کننده در مورد طبقه ۵ نشان دهنده طبقه بندی خوب این کلاس است. در طبقه بندی سه کلاس‌ای جدید، صحت‌های تولید کننده و کاربر به نسبت افزایش یافتند و به هم نزدیک تر شدند. در طبقه بندی سه کلاس‌ای، طبقه ۲ انبوهی (۲۰-۵ درصد)، در هر دو طبقه بندی نرم و سخت بیشترین ضریب کاپای طبقه به ترتیب ۰/۵ و ۰/۵۴ است و نشان دهنده طبقه بندی مطلوب این کلاس در هر دو روش است. زیاد بودن مقدار صحت‌های کاربر و تولید کننده در طبقه ۲ نسبت به دیگر کلاس‌ها و نیز نزدیک بودن مقدار آنها با یکدیگر، گویای این مطلب است که این کلاس بهتر از دیگر کلاس‌ها تفکیک شده است. طبقه یک انبوهی (۵-۰ درصد) به دلیل تشابه طیفی زیاد با خاک زمینه، در دو روش نرم و سخت، دارای کمترین ضریب کاپای طبقه به ترتیب ۰/۳۴ و ۰/۲۷ است. به رغم صحت کلی به نسبت خوب کسب شده در طبقه بندی با سه کلاس انبوهی (۷۰ درصد)، به دلیل ضریب کاپای کم (۰/۴۴)، نتایج طبقه بندی را نمی‌توان چندان مطلوب ارزیابی کرد. تاکنون تحقیق مشابهی در جنگل‌های پسته وحشی کشور صورت نگرفته است، ولی در جنگل‌های شمال و غرب کشور، شاهد تحقیقات زیادی بوده‌ایم. نقشه‌های انبوهی که براساس داده‌های ماهواره‌ای در جنگل‌های شمال کشور تهیه شد (شاه‌بابایی، ۱۳۸۳؛ پاک‌خصال، ۱۳۸۵) دارای صحت کلی به ترتیب ۵۸/۱۹ و ۷۲ درصد و ضریب کاپای به ترتیب ۰/۴۱ و ۰/۵۱ بود و در جنگل‌های غرب (ساروئی، ۱۳۷۸؛ پرما، ۱۳۸۸) صحت کلی به ترتیب ۷۰ و ۷۵ درصد و ضریب کاپا به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۴۶ به دست آمد. تحقیق حاضر نیز نتایج مشابهی را گزارش می‌دهد، هر چند که ویژگی‌های جنگل خواجه کلات با آن جنگل‌ها متفاوت است. اندک بودن صحت حاصل از طبقه بندی با وجود استفاده از داده‌هایی با قدرت



ماهواره‌ای به روش رقومی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۱۲۲ ص.

ساعی، موسی و علی آبکار، ۱۳۸۳. تهیه نقشه تراکم جنگل با استفاده از فناوری سنجش از دور، همایش ژئوماتیک ۸۸، سازمان نقشه‌برداری کشور.

شاه‌بابایی، سعید، ۱۳۸۳. قابلیت داده‌های ماهواره‌ای رقومی در تهیه نقشه‌های تیپ و تراکم جنگل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۵۶ ص.

علوی‌پناه، سیدکاظم، ۱۳۸۲. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۸ ص.

فدائی، هادی، ۱۳۸۶. بررسی کیفی بذر پسته وحشی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۸۱ ص.

لطیفی، هومن، جعفر اولادی، سعید ساروئی و حمید جلیلود، ۱۳۸۶. ارزیابی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای ETM+ جهت تهیه نقشه طبقات پوششی جنگل-اراضی درختچه‌ای-مرتع، مطالعه موردی: حوزه نکا-ظالم‌رود-مازندران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۴۰ (۱۱): ۴۴۷-۴۳۹.

Amici, V., F. Geri & P. Csontos, 2010. Fuzzy and boolean forest membership: on the actual separability of land cover classes, *Applied Ecology and Environmental Research*, 8(1): 39-50.

Berberoglu, S. & O. Satir, 2008. Fuzzy Classification of Mediterranean type using ENVISAT MERIS data, The International Archives of the photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, part B8.

Mcmahan, J.B., K.T. Weber & J. Sauder, 2003. Fuzzy classification of heterogeneous vegetation in a complex arid ecosystem, Proceedings of the VII<sup>th</sup> International Rangelands Congress, 726-728.

Richards, J.A. & X. Jia, 2006. Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction, 4th Edition, Springer-Verlag, 439p.

Wang, G., M. Holopainen & E. Lukkarinen, 1998. Data Fusion of Landsat TM and IRS Image in forest classification, Integrated Tools Proceedings, Boise, Idaho, USA. 654-663.

Xu, B., P. Gong & R. Pu, 2003. Crown closure estimation of oak savannah in a dry season with Landsat TM imagery: comparison of Various indices through correlation analysis, *International Journal of Remote Sensing*, 24(9): 1811-1822.

تفکیک متوسط سبب ایجاد پیکسل‌های مخلوط زیادی می‌شود، از روش طبقه‌بندی فازی استفاده کرد.

بر اساس نتایج این تحقیق، استفاده اجرایی از این نوع تصویر برای تهیه نقشه انبوهی جنگل‌های پسته توصیه نمی‌شود. البته جا دارد تحقیقات بیشتری با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با توان تفکیک طیفی بیشتر، تهیه واقعیت‌زمینی در سطحی وسیع‌تر و با قطعه‌های کوچک‌تر و تعیین تاج‌پوشش به روش‌های کمی، صورت گیرد.

## منابع

بی‌نام، ۱۳۸۸. طرح تجدید نظر مطالعات پوشش جنگل پسته خواجه‌کلات، اداره کل منابع طبیعی استان خراسان رضوی، ۱۳۹ ص.

پاکخصال، الهام، ۱۳۸۵. طبقه‌بندی تراکم تاج‌پوشش جنگل با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدوری در حوزه شرفارود گیلان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه گیلان، ۱۰۴ ص.

پرما، روح‌ا...، ۱۳۸۸. تهیه نقشه تراکم تاج‌پوشش با استفاده از تصاویر سنجنده LISS III ماهواره IRS-P6، همایش ژئوماتیک ۸۹.

خسروجردی، ابراهیم، ۱۳۸۸. تأثیر عوامل فیزیوگرافی بر برخی خصوصیات کمی و کیفی درخت پسته وحشی (*Pistacia Vera*) در جنگل‌های خواجه‌کلات استان خراسان رضوی، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۷(۳): ۳۴۷-۳۳۷.

درویش‌صفت، علی‌اصغر، مهتاب پیر باوقار و منیژه رجب‌پور (مترجمان)، ۱۳۹۰. سنجش از دور برای مدیران GIS، انتشارات دانشگاه تهران، ۷۱۰ ص.

رجب‌پور، منیژه، ۱۳۸۷. بررسی توان داده‌های ماهواره SPOT5 برای تهیه نقشه انبوهی جنگل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۷۴ ص.

رفعیان، امید، ۱۳۸۲. بررسی تغییرات گستره جنگل‌های شمال کشور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۲۲ ص.

ساروئی، سعید، ۱۳۷۸. بررسی امکان طبقه‌بندی جنگل به لحاظ تراکم در جنگل‌های زاگرس به کمک داده‌های

## Investigation of the capability of IRS-P6-LISS IV data for density mapping of pistachio forests (Case study: Khaje kalat forest in Khorasan)

F. Hosseini<sup>\*1</sup>, A.A. Darvishsefat<sup>2</sup> and N. Zargham<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduat, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

<sup>2,3</sup>Prof. and Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 17 January 2011, Accepted: 5 May 2012)

### Abstract

The aim of this study was to investigate the capability of IRS-P6-LISS IV data for forest density mapping in the Pistachio forests. So LISS IV images (5 m), dated 2007 from Khaje Kalat (500ha) in Khorasan Razavi were analyzed. The geometric correction of images was implemented using nine control points extracted from an orthorectified image of the study area. The RMSE was less than one pixel. In addition to original bands, different synthetic bands from principal component analysis and transformation methods were created and used. The suitable bands set were selected by training areas and divergence indices. In order to assess the accuracy of classification results, a ground truth map covering 7% of the total area was prepared through fieldwork using 34 sample areas and canopy percent was estimated.

Satellite data were classified by supervised classification methods including minimum distance to mean (MD), maximum likelihood (ML) and fuzzy. There were spectral interferences between medium density classes (5-10%, 10-15% and 15-20%). Therefore these classes were merged. In hard supervised classification method, the highest overall accuracy and kappa coefficient, 67% and 0.40, respectively, were obtained by ML classifier with three classes (0-5%, 5-20% and > 20%). Using mode filter with a 7×7 pixel increased the accuracy up to 3%. The results of Fuzzy algorithm showed higher accuracy and kappa coefficient, 70% and 0.44, respectively. In both methods, second density class (5-20%) represented highest kappa coefficient. It could be concluded that the result of classification was not desirable regarding to low kappa, even if reaching to pretty good overall accuracy. To obtain a better result, it is suggested to use higher spectral resolution data and preparing fieldwork in smaller sample area and determining canopy percentage quantitatively.

**Key words:** IRS-P6-LISS IV sensor, Ground truth, Density map, Pistachio forest, Classification.