

## ارزیابی دقت تصاویر مودیس در استخراج سطوح برفی با استفاده از تصاویر لندست به روش Subpixel (مطالعه‌ی موردی ارتفاعات شمال تهران)

ابراهیم ساعی مهربانی\*<sup>۱</sup>، علی سرکارگر اردکانی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۷/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۸/۲۷

صفحات: ۲۰-۷

### چکیده

در چند سال اخیر علاوه بر تکنیک‌های پیکسل مبنا از تکنیک‌های زیرپیکسل نیز جهت تهیه نقشه پوشش برف استفاده شده است زیرا در اکثر مدل‌های هیدرولوژیکی نیاز به تهیه نقشه پوشش برف به صورت مکرر و با فاصله زمانی کوتاه می‌باشد که تهیه این نقشه‌ها تنها با بکارگیری تصاویری با قدرت تفکیک زمانی بالا امکان پذیر است. تصاویری که دارای قدرت تفکیک زمانی بالا هستند، از نظر قدرت تفکیک مکانی پایین و یا متوسط می‌باشند که در چنین تصاویری امکان وجود پیکسل‌های مخلوط افزایش می‌یابد. استخراج اطلاعات از پیکسل‌های مخلوط، تنها با بکارگیری تکنیک‌های زیرپیکسل امکان پذیر می‌باشد. در این مطالعه از تصاویر ماهواره ترا سنجنده مودیس (سایت ناسا) و ماهواره لندست سنجنده OLI (سایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده USGS) استفاده گردید. برای انجام مراحل مختلف این تحقیق از نرم افزارهای Envi 4.8 و ArcGIS 10.3 استفاده گردیده است. در این روش سطوح برفی تصویر مودیس ۱۸۵۰ کیلومتر مربع و سطوح برفی لندست ۱۹۲۶ کیلومتر مربع برآورد گردید و دقت این روش برای دقت کلی برابر با ۹۰٪ و برای ضریب کاپا ۰/۸۶ محاسبه شد. همچنین مقدار ضریب همبستگی برای این تکنیک ۰/۹۳ محاسبه گردید. لذا با توجه به مقادیر ارائه شده میتوان به صحت و دقت برآورد اعتماد نمود.

کلید واژه‌ها: دقت کلی، زیرپیکسل، ضریب کاپا، لندست، مودیس.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی یزد. ebrahim.saie@gmail.com

۲- عضو هیئت علمی، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی یزد.

## ۱- مقدمه

برف یکی از منابع بزرگ آب در بیشتر نقاط دنیا می‌باشد. بنابراین مطالعه میزان پوشش برف در حوضه‌های آبریز جهت مدیریت منابع آب امری ضروری می‌باشد. مدیریت منابع آب، مقابله و کنترل حوادث ناشی از ذوب برف مانند سیل‌های ناگهانی، پدیده بهمن در مناطق کوهستانی، همچنین شرایط اقلیمی و کم آبی کشور و تاثیر برف در مسائل هواشناسی و هیدرولوژی اهمیت مسئله را روشن‌تر می‌سازد. در این تحقیق تصاویر سنجنده MODIS<sup>۳</sup> به دلیل قابلیت بالا در مطالعات برف سنجی مورد استفاده قرار خواهند گرفت. از بی‌سنجنده‌های اپتیک، سنجنده MODIS دلیل قدرت تفکیک زمانی و طیفی مناسب و همچنین دسترسی آسان، برای مطالعه سطح پوشش برف مورد توجه می‌باشد. یکی از معایب این سنجنده، قدرت تفکیک مکانی آن است که ۲۵۰ و ۵۰۰ متر می‌باشد. بطور کلی تصاویری که دارای قدرت تفکیک زمانی بالا بوده و از نظر هزینه برای بررسی روزانه پوشش برف مناسب هستند، از نظر قدرت تفکیک مکانی پایین و یا متوسط می‌باشند که در چنین تصاویری امکان وجود پیکسل‌های مخلوط بالا است. پیکسل مخلوط پیکسلی است که شامل بازتاب طیفی پدیده‌های مختلف موجود در منطقه می‌باشد. استخراج اطلاعات از پیکسل‌های مخلوط، تنها با به کارگیری تکنیک‌های Subpixel<sup>۴</sup> امکان پذیر می‌باشد. همچنین برای دقت بیشتر از تصاویر لندست که دارای قدرت تفکیک مکانی دقیق‌تری می‌باشند کمک گرفته خواهد شد. این تحقیق سه هدف اصلی را دنبال می‌کند نخست اندازه‌گیری سطح پوشش برف با استفاده از روش‌های سنجش از دور بدون حضور فیزیکی دوم ارزیابی دقت

تحقیق به کمک تصاویر با توان تفکیک متوسط و بالا (تصاویر لندست) سوم بررسی الگوریتم LSU بعنوان بهترین و دقیق‌ترین روش برای پایش سطح پوشش برف. (داداشی و همکاران، ۱۳۸۷) به پایش پوشش برف در مقیاس زیرپیکسل در حوضه‌های آبریز کرج و لتیان با استفاده از تصاویر مودیس و IRS-P6<sup>۵</sup> پرداختند. (شاهرخ ملک‌زاده بافقی و همکاران، ۱۳۹۳) با استفاده از تصاویر MODIS و ETM+<sup>۶</sup> به پایش برف در منطقه کوهستانی شیرکوه یزد به روش زیرپیکسل پرداختند. (سجاد باصری‌نام و همکاران، ۱۳۹۳) با استفاده از تصاویر مودیس و لندست به پایش برف در منطقه کوهستانی شمال استان فارس در مقیاس زیرپیکسل پرداختند. (Painter و همکاران، ۲۰۰۹) با استفاده از تصاویر مودیس به پایش برف در مقیاس زیرپیکسل پرداختند. (Mishra و همکاران، ۲۰۰۹) به ارزیابی اطلاعات زیرپیکسل پوشش برف در منطقه هیمالیا با استفاده از تصاویر مودیس همت گماردند. (کورتس و همکاران، ۲۰۱۳) با استفاده از تصاویر لندست به تجزیه و تحلیل برف در مقیاس زیرپیکسل در رشته کوه‌های آند پرداختند.

## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز سد کرج با وسعت ۸۴۴/۹۸ کیلومتر مربع در شمال شرقی شهر کرجین طولهای ۵۱°۰۰' تا ۵۱°۲۵' و عرض‌های ۳۵°۵۰' تا ۳۶°۱۴' واقع شده است. براساس تقسیمات طرح جامع آب کشور در حوضه آبریز مرکزی، زیرحوضه کرج جاجرود و در واحد هیدرولوژیک تهران کرج واقع شده است. حوضه آبریز سد لتیان واقع در شمال شرقی شهر تهران در حد فاصل طولهای شرقی ۵۱°۳۹' تا ۵۲°۱۳' و عرض‌های

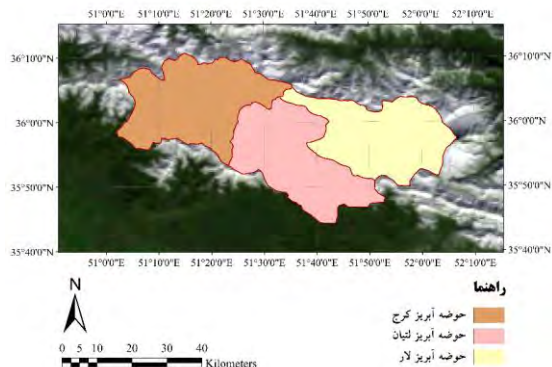
۳- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

۵- Indian Remote Sensing Satellite

۶- Enhanced Thematic Mapper Plus

۴- زیر پیکسل

حوالی تهران و تأمین‌کننده آب مورد نیاز آبیاری‌های کشاورزی منطقه می‌باشد (شکل ۱).



شمالی  $35^{\circ}36'$  تا  $36^{\circ}05'$  می‌باشد. سد لتیان بر روی رودخانه جاجرود که در ۲۵ کیلومتری شمال شرقی تهران و در لواسان قرار دارد. حوضه آبریز سد لار در ۷۵ کیلومتری شمال شرق تهران و در ۱۰۰ کیلومتری شهر آمل قرار دارد. محدوده جغرافیایی حوضه حد فاصل طولهای شرقی  $51^{\circ}33'$  تا  $52^{\circ}07'$  و عرض‌های شمالی  $35^{\circ}50'$  تا  $36^{\circ}05'$  قرار دارد. سد لار، یکی از سدهای خاکی تأمین‌کننده آب آشامیدنی

## روش تحقیق

### جمع‌آوری داده‌ها

در این مطالعه از تصاویر ماهواره ترا سنجنده مودیس به تاریخ ۲۰۱۴/۱۱/۷ برابر با ۱۶ آبان ماه ۱۳۹۳ سایت ناسا<sup>۷</sup> استفاده گردید. تصویر دانلود شده از نوع Level B1 می‌باشد که در حقیقت محصول کالیبره شده و رادیانسرا در اختیار ما قرار می‌دهد. قدرت تفکیک تصاویر فوق ۵۰۰ متر می‌باشد. علاوه بر استفاده از تصاویر سنجنده مودیس، از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست به تاریخ ۲۰۱۴/۱۱/۶ برابر با ۱۵ آبان ماه ۱۳۹۳ برای ارزیابی دقت نقشه‌های تهیه شده و واقعیت زمینی استفاده گردید. تصاویر فوق از سایت (سازمان زمین شناسی ایالات متحده) USGS<sup>۸</sup> دانلود گردیده است و از نوع Level 1 می‌باشد. قدرت تفکیک مکانی تصاویر فوق ۲۸/۵ متر می‌باشد. بعلاوه تصاویر مودیس از نوع سطح B1 و تصاویر لندست از نوع سطح L1 می‌باشند لذا روی تصاویر فوق تصحیحات رادیومتریک صورت پذیرفته و در مرحله بعد روی آنها تصحیحات هندسی انجام گرفت. تصحیح هندسی تصویر مودیس در محیط نرم افزار ENVI صورت

گرفت، همچنین نوع سیستم تصویر نیز در این مرحله بر اساس WGS-84 تعیین گردید. پیش فرض نرم افزار برای تعیین نقاط GCP<sup>۹</sup> برحسب ۵۰ نقطه تنظیم شده بود که پذیرفته شد. همچنین تصحیح هندسی بر روی تصویر لندست نیز انجام شد، بدین منظور از تصویر لندست ژئورفرنس شده استفاده گردید و از ۱۳ نقطه کنترل زمینی استفاده گردید، میزان خطای RMSE<sup>۱۰</sup> این تصحیح ۳/۹۷ درصد تعیین شد که بسیار پایین و قابل قبول بود. ضمناً سیستم تصویر فوق مطابق با سیستم تصویر مودیس بر اساس WGS-84 تعیین گردید (شکل ۲).

### استخراج سطوح برفی با استفاده از تکنیک

#### زیرپیکسل

احتمال وجود پیکسل‌های مخلوط در تصاویری با قدرت تفکیک پایین تا متوسط بسیار بالا می‌باشد. تصاویر سنجنده MODIS در زمره تصاویری با قدرت تفکیک مکانی متوسط تا پایین به شمار می‌رود. به همین دلیل در بسیاری از مواقع DN یک

۷-<https://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>

۸-<https://glvovis.usgs.gov>

۹- Ground Control Point

۱۰- Root Mean Square Error

### تحلیل‌های ترکیب طیفی

تحلیل‌های ترکیب طیفی روش‌هایی برای برگرداندن داده‌های چند طیفی و فراطیفی به نقشه‌هایی در مقیاس Subpixel می‌باشند (Okin et al., 2001). لذا برای جداسازی طیفی در تصاویر چند طیفی و فراطیفی لازم است ابتدا مدل ترکیبی پدیده‌های مختلف که در یک پیکسل باعث ایجاد طیف ترکیبی شده‌اند، مورد بررسی قرار بگیرند. در کل دو نوع ترکیب طیفی برای پیکسل‌های مخلوط وجود دارد، ترکیب طیفی خطی و غیر خطی. در ترکیب طیفی خطی<sup>۱۲</sup> یک ارتباط خطی بین فراوانی نسبی یک پدیده و میزان سهم آن در انعکاس طیفی پیکسل وجود دارد. در واقع در مدل ترکیب خطی فرض می‌شود که طیف دریافت شده از هر پیکسل، ترکیب خطی از طیف اجزاء خالص در میدان دید پیکسل‌ها می‌باشد و ضرایب این ترکیب خطی برابر قسمتی از پوشش میدان دید پیکسل با اجزاء خالص متناظر می‌باشد (داداشی، ۱۳۸۷).

### روش‌های جداسازی طیفی<sup>۱۳</sup>

تکنیک‌های جداسازی طیفی برای تخمین فراوانی پدیده‌های مختلف در هر پیکسل تصویر، به کار گرفته می‌شوند. مدل جداسازی طیفی، بیشتر برای سنجنده‌هایی مانند اسپکترومترها که دارای تعداد باندهای زیاد هستند مناسب است اما برای سنجنده‌های چند طیفی مانند ETM+ نیز کاربرد دارد. در جداسازی طیفی، فرض بر این است که یک پیکسل از چندین کلاس تشکیل شده است و سعی بر این است که این پوشش‌ها شناخته شوند (داداشی، ۱۳۸۷). یکی از روش‌های جداسازی طیفی، بر اساس

پیکسل MODIS مربوط به پدیده‌های مختلفی است که در سطحی برابر اندازه یک پیکسل MODIS بر روی زمین قرار گرفته‌اند، در نتیجه، پیکسل‌های مخلوط به دلیل محدودیت قدرت تفکیک مکانی سنجنده و همچنین ناهمگن بودن پوشش سطح زمین بوجود می‌آیند و با توجه به اینکه در هنگام شناسایی پدیده‌ها مشکلات زیادی در پیکسل‌های مخلوط بوجود می‌آید لذا روش‌های مختلفی جهت جداسازی طیفی پدیده‌ها به کار گرفته می‌شود تا فراوانی هر پدیده، در پیکسل مخلوط تعیین گردد. جهت پیاده‌سازی تکنیک Subpixel آگاهی از نحوه ترکیب طیفی، روش‌های جداسازی طیفی، تعیین EM<sup>۱۱</sup>، روش طیفی جداسازی خطی مورد نیاز می‌باشد (داداشی، ۱۳۸۷). همانطور که میدانیم در هنگام تصویربرداری با پیکسل‌های مخلوط و خالص مواجه هستیم، پیکسل‌های مخلوط در مرز بین عوارض و همچنین در محیط‌های با تغییر فضایی بالا ایجاد می‌گردد. طبقه‌بندی پیکسل‌های خالص به کلاسهای مختلف با الگوریتم‌های ساده متداول قابل انجام است، مشکلی که وجود دارد در مورد پیکسل‌های مخلوط است بعنوان مثال در محیط‌های شهری که تنوع پدیده‌ها بسیار زیاد می‌باشد با پیکسل‌های مخلوط زیادی مواجه هستیم، به منظور طبقه‌بندی این نوع پدیده‌ها بایستی از تکنیک‌ها و روش‌های پیشرفته‌تری استفاده گردد که تا کنون الگوریتم‌های متنوعی در این زمینه توسعه یافته است. یکی از این روش‌ها تکنیک Unmixing می‌باشد، با توجه به اینکه معمولاً تصاویر ماهواره‌ای بصورت Multispectral و Hyperspectral برداشت می‌شوند، می‌توان بصورت تئوریک در فضای طیفی دوبعدی و یا چندبعدی روش Unmixing را تشریح و بیان نمود (سرکارگر اردکانی، ۱۳۹۲).

۱۲-Linear Mixture Model (LMM)

۱۳-Spectral Unmixing

۱۱-Endmember (انتهای عضویت)

## ۲-۲-۶- جداسازی طیفی خطی

در این روش، معادله ترکیب خطی که برای هر باند در نظر گرفته می‌شود به این ترتیب می‌باشد:

$$R_{s,\lambda} = \sum_{i=1}^N F_i R_{\lambda,i} + \varepsilon_{\lambda}(1)$$

در این رابطه فرض می‌شود که  $N$  نوع پوشش خالص در تصویر وجود دارد.  $N$  تعداد Endmembers طیفی است و فراوانی‌های مختلف در یک پیکسل با  $F_i$  نمایش داده می‌شود.  $\lambda$  میزان انعکاس (عامل بازتاب)  $EM_i$  در طول موج  $\lambda$  و  $\varepsilon_{\lambda}$  میزان خطا در طول موج  $\lambda$  برای  $EM$  نام می‌باشد (Gillespie et al., 1990). در واقع این معادله بیان می‌کند که بازتاب مشاهده شده در هر باند، اجتماع خطی از بازتاب  $EM$  ها می‌باشد و در این حالت فرض می‌شود که انرژی منعکس شده، فقط یکبار از سطح منعکس شده و نه بیشتر. در هنگام استفاده از روش LSU چنانچه تعداد  $EM$  ها  $K$  باشد، در نهایت  $K+1$  خروجی خواهیم داشت که  $K$  تصویر مربوط به  $EM$  ها بوده و یک تصویر نیز مربوط به  $RMS$  می‌باشد که میزان خطا را برای هر پیکسل نمایش می‌دهد. در واقع تصویر  $RMS$  تنها عنصری است که برای ارزیابی نتایج می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. ارزش‌ها در هر تصویر از صفر تا ۱ متغیر می‌باشد که در واقع نشانگر میزان درصد هر پدیده در پیکسل است و جمع ارزش‌ها برای هر پیکسل نباید در نهایت کمتر از صفر و یا بیش از ۱ باشد.

## ۲-۲-۷- اندازه‌گیری خطای میانگین

### مربعات<sup>۱۶</sup> RMSE

خطای ریشه میانگین مربعات، یک اندازه‌گیری طیفی گسترده و مناسب را برای مدل مخلوط فراهم می‌کند، این خطا بر اساس رابطه زیر قابل محاسبه است :

$$=RMSE \quad (2)$$

مدل ترکیب طیفی خطی (LSU)<sup>۱۴</sup> می‌باشد. در این مدل فرض بر این است که رادیانس‌های اندازه‌گیری شده توسط سنجنده، ترکیبی خطی از انعکاس Endmembers است که هر یک دارای یک علامت طیفی منحصر به فرد هستند (Sabolet al., 1992). هر  $EM$  در واقع نشانگر بازتاب پیکسل‌های خالص مربوط به یک پدیده می‌باشد. در نهایت، به‌کارگیری جداسازی طیفی موجب تهیه تعدادی تصویر می‌شود که در هر یک از آنها، درصد یک پدیده مشخص شده است. بنابراین جداسازی طیفی نتایج بهتری را نسبت به روش‌های معمول طبقه‌بندی ارائه می‌دهد. در هنگام پیاده‌سازی تکنیک جداسازی طیفی خطی باید نکاتی مد نظر قرار گیرد. اولاً علائم طیفی پیکسل‌های خالص شناسایی گردد و همچنین تعداد  $EM$ <sup>۱۵</sup> های تعریف شده، کمتر از تعداد باندهای در نظر گرفته شده باشد (Omran et al., 2000). در مرحله پیاده‌سازی تکنیک LSU در ابتدا یک  $EM$  برای هر پدیده معرفی می‌گردد. با توجه به اینکه یک پدیده در یک تصویر ممکن است از نظر بازتاب طیفی تا حدودی متغیر باشد لذا فرض بر این است که  $EM$  در نظر گرفته شده میانگینی از این بازتاب‌های طیفی می‌باشد (Solberg, 2000).

### روش‌های تعیین $EM$

برای تعیین  $EM$  های تصویر روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور کلی  $EM$  ها با توجه به کتابخانه‌های طیفی موجود تعیین می‌شوند و یا با مراجعه به منطقه مورد مطالعه و اندازه‌گیری بازتاب طیفی هر پدیده بدست می‌آیند و یا نمونه‌برداری جهت تعیین  $EM$  از خود تصویر صورت می‌گیرد (داداشی، ۱۳۸۷).

۱۴-Linear Spectral Unmixing

۱۵-Endmember

۱۶- Root Mean Squared Error (RMSE)

در این رابطه  $M$  تعداد باندهای مورد استفاده و  $L$  طول موج و  $\epsilon$  خطای طول موج می‌باشد. RMSE یک معیار اساسی برای بهینه‌سازی انتخاب مدل در آنالیزهای طیفی مخلوط برای چند Endmember می‌باشد (Dennison and Roberts, 2003).

## ۲-۲-۸- برآورد دقت طبقه‌بندی

برآورد دقت برای درک بهتر نتایج بدست آمده می‌باشد و بکار بردن این نتایج برای تصمیم‌گیری بسیار اهمیت دارد. معمول‌ترین پارامترهای برآورد دقت شامل، دقت کلی<sup>۱۷</sup>، دقت تولیدکننده<sup>۱۸</sup>، دقت کاربر<sup>۱۹</sup> و ضریب کاپا<sup>۲۰</sup> می‌باشد (Lu et al., 2004). برای ارزیابی نتایج از روش ماتریس خطا استفاده می‌شود، ماتریس خطا از روش‌های ارزیابی نتایج، با استفاده از داده‌های زمینی استفاده می‌کند در حقیقت ماتریس خطا تشکیل شده از عنصرهای قطری که بیانگر پیکسل‌هایی هستند که بطور صحیح طبقه‌بندی شده‌اند و المانهای غیرقطری که بیانگر پیکسل‌هایی هستند که بطور صحیح طبقه‌بندی نشده‌اند. یکی از روش‌هایی که مورد ارزیابی قرار می‌گیرد دقت کلی است که نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به جمع کل پیکسل‌ها می‌باشد، برای محاسبه دقت کلی از این فرمول استفاده می‌شود (علوی‌پناه، ۱۳۸۷):

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (۳)$$

در فرمول فوق:

$OA$  = دقت کلی،  $N$  = تعداد پیکسل‌های آزمایشی و

$P_{ii}$  = عنصر قطر اصلی ماتریس خطا می‌باشند.

به دلیل ایرادهای وارده بر دقت کلی، غالباً در کارهای اجرایی که مقایسه دقت طبقه‌بندی مد نظر است از

شاخص کاپا استفاده می‌شود. چون شاخص کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مد نظر قرار می‌دهد. ضریب کاپا، یکی دیگر از پارامترهای دقت است که از ماتریس خطا استخراج می‌شود. مقدار صفر برای کاپا یعنی طبقه‌بندی بدون هیچ ضابطه‌ای و کاملاً تصادفی انجام شده است و مقدار ۱ بدان معنی است که طبقه‌بندی کاملاً صحیح بر اساس نمونه‌های گرفته شده می‌باشد. مقادیر منفی کاپا به معنی ضعف طبقه‌بندی و نتایج بسیار بد، تفسیر می‌شوند (اکبری و شکاری، ۱۳۹۲).

فرمول کاپا به شکل زیر می‌باشد (Congalton, 1991):

$$Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_i * x_i)}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_i * x_i)} \quad (۴)$$

که در رابطه فوق:

$N$  = تعداد کل پیکسل‌های تصویر،  $X_{ii}$  = عناصر قطر اصلی ماتریس،  $X_i +$  = عناصر سطر  $i$  ام،  $X_i$  = عناصر ستون  $i$  ام.

طبقه‌بندی شده و داده‌های مرجع را بررسی می‌کند. دقت تولید کننده (Producer's Accuracy)، احتمال اینکه طبقه‌بندی کننده پیکسلی را به یک کلاس خاص نسبت داده باشد، در صورتی که کلاس واقعی آن مشخص باشد، را بیان می‌کند. به بیان دیگر نسبت عنصر قطری هر کلاس به جمع مقادیر هر ستون (هر کلاس) می‌باشد. در صورتی که دقت کاربر (User's Accuracy) احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص مطابق با همان کلاس در نقشه واقعیت زمینی را بیان می‌کند. به بیان دیگر نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به مجموع پیکسل‌های یک سطر (کلاس) می‌باشد. این دقت برای کاربر مهم است (اکبری و شکاری، ۱۳۹۲).

$$*100 \frac{ta}{ga} PA = (۵)$$

۱۷- Overall Accuracy

۱۸- Producer's accuracy

۱۹- User's accuracy

۲۰- Kappa coefficient

$$*100 \frac{ta}{n} UA = (6)$$

در روابط فوق:

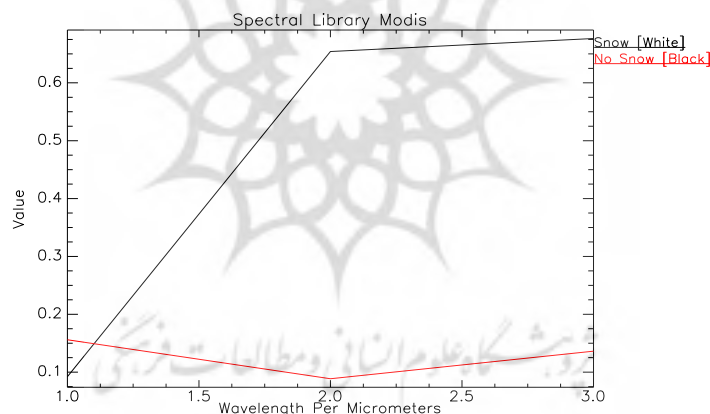
$PA$  = درصد دقت کلاس  $a$  برای دقت تولید کننده،  
 $ta$  = تعداد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده  
 کلاس  $a$  ،  $ga$  = تعداد پیکسل‌های کلاس  $a$  در  
 واقعیت زمینی،  $UA$  = درصد دقت کلاس  $a$  برای  
 دقت کاربر،  $nl$  = تعداد پیکسل‌های کلاس  $a$  در  
 نتیجه طبقه‌بندی.

خطای Commission، بیانگر درصد پیکسل‌هایی  
 است که متعلق به کلاس مورد نظر نبوده ولی  
 طبقه‌بندی کننده، آن‌ها را جزء آن کلاس خاص در  
 نظر گرفته است و میزان آن، یک منهای خطای کاربر  
 می‌باشد. در صورتی که خطای Omission، مربوط

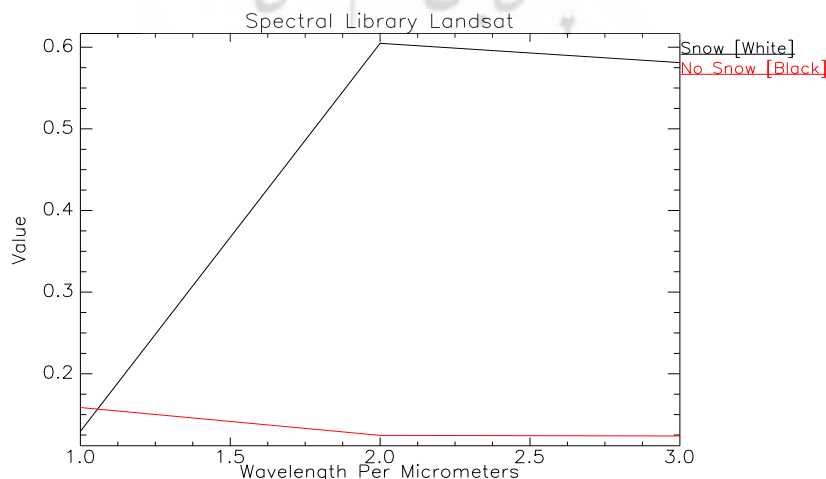
به آن درصد از پیکسل‌هایی است که در واقعیت  
 زمینی مربوط به کلاس مورد نظر است ولی جزو  
 کلاسهای دیگر طبقه‌بندی شده‌اند و میزان آن، یک  
 منهای خطای تولیدکننده است.

### ۳- یافته‌ها (نتایج)

پس از پیاده‌سازی تکنیک‌های پیکسل مینا، در این  
 مرحله به تهیه نقشه پوشش برف در حد زیرپیکسل  
 پرداخته شد. به همین منظور از تکنیک LSU برای  
 جداسازی طیفی پدیده‌های مختلف در تصویر استفاده  
 گردید. برای اجرای تکنیک فوق از باندهای ۲، ۴ و ۶  
 مودیس و لندست استفاده شد. نمودارهای بعدی  
 وضعیت طیفی باندها را نمایش می‌دهند.



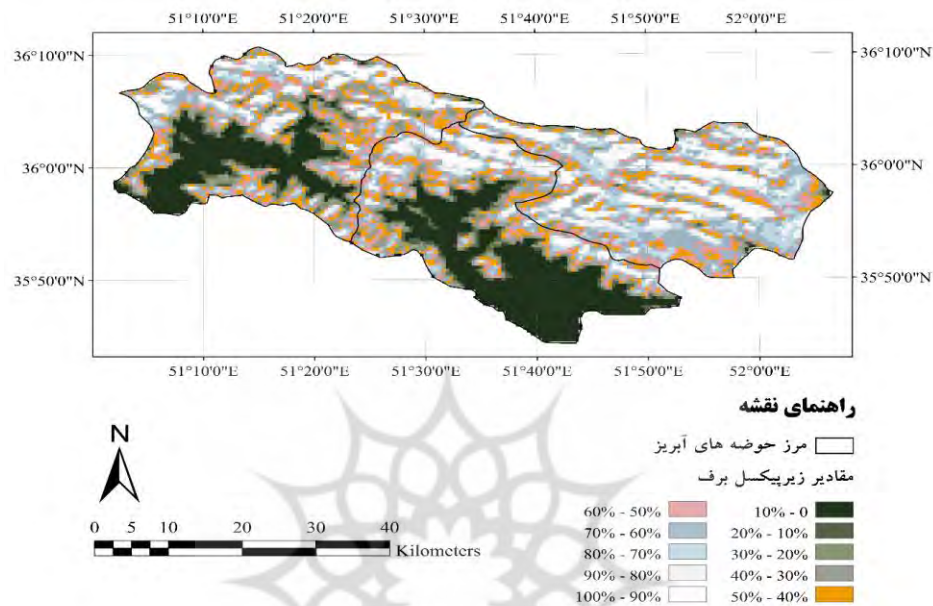
نمودار ۱. منحنی انعکاس طیفی برف و عدم برف بر اساس EM های تعیین شده روی تصویر مودیس.



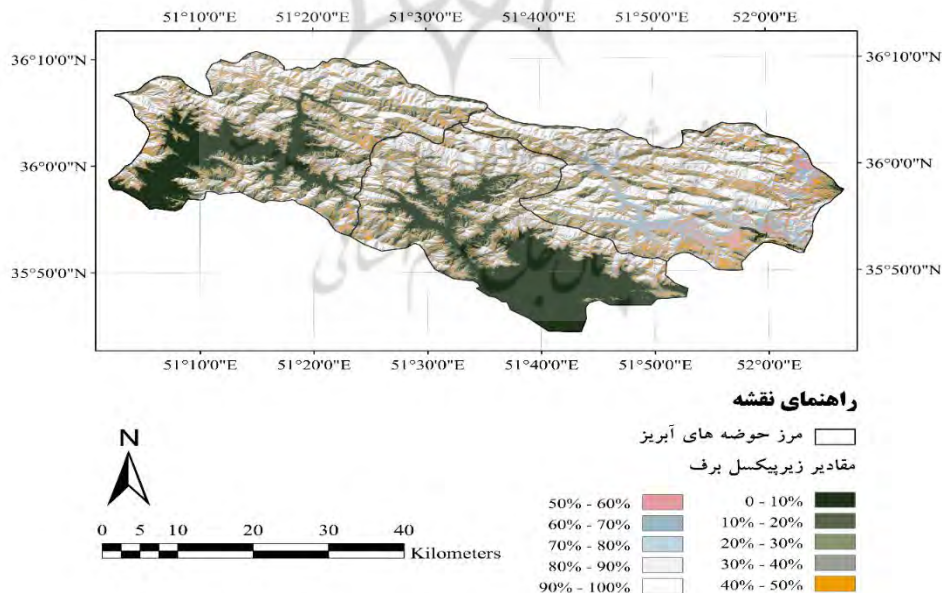
نمودار ۲. منحنی انعکاس طیفی برف و عدم برف بر اساس EM های تعیین شده روی تصویر لندست.



پس از اجرای الگوریتم LSU نقشه زیرپیکسل برف تهیه گردید سپس به ۱۰ کلاس طبقه‌بندی شد و خروجی زیر بدست آمد.



نقشه ۱. زیرپیکسل پوشش برف - سنجنده مودیس بر حسب درصد پوشش برف بین صفر تا ۱۰۰ درصد.

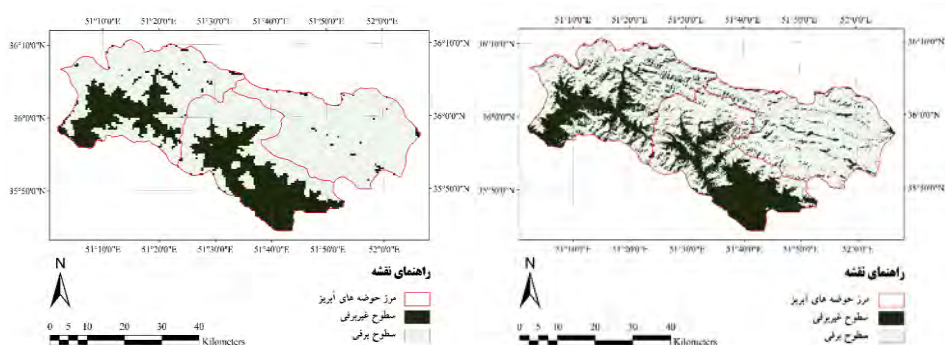


نقشه ۲. زیرپیکسل پوشش برف - ماهواره لندست بر حسب درصد پوشش برف بین صفر تا ۱۰۰ درصد.

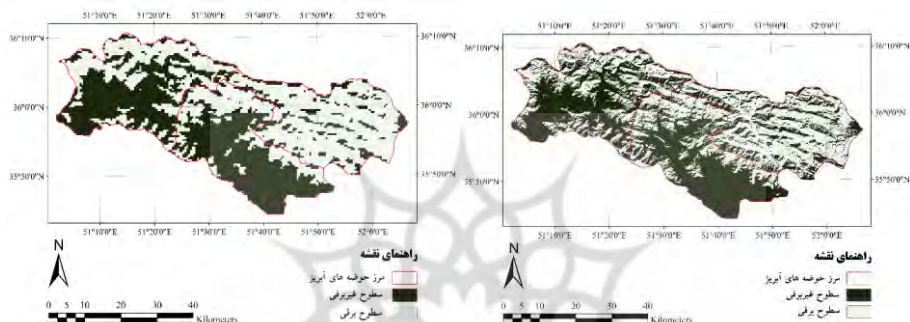
برآورد سطح برفی سه حوضه به روش زیرپیکسل برای نقشه مودیس ۱۸۵۰ کیلومتر مربع و برای نقشه لندست ۱۹۲۶ کیلومتر مربع می‌باشد. براساس نقشه زیرپیکسل

برف میتوان دریافت که هرچه درصد پوشش برف بیشتر شود سطح توزیع برف کمتر خواهد شد (مطابق نقشه‌های شماره ۳ تا ۸).

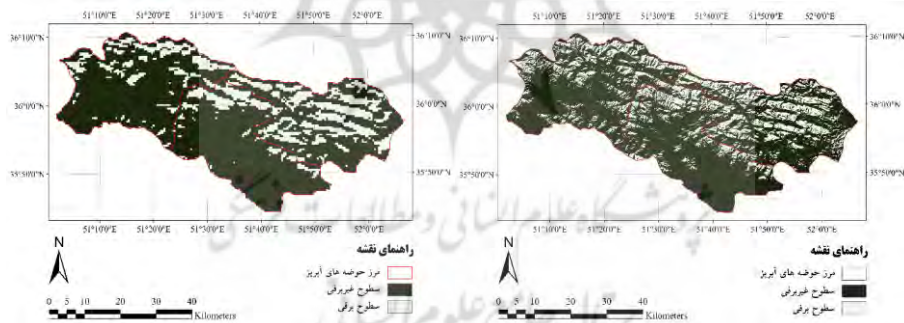




نقشه ۳. زیرپیکسل بیشتر از ۲۵ درصد برفمودیس      نقشه ۴. زیرپیکسل بیشتر از ۲۵ درصد برف لندست



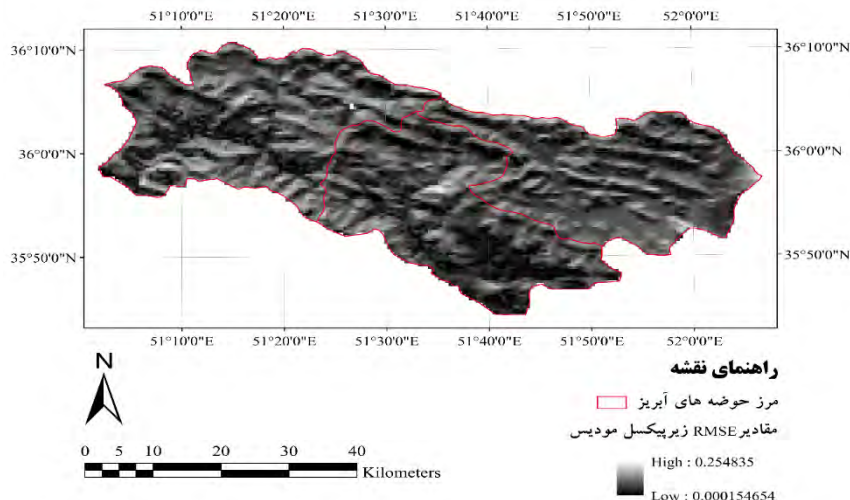
نقشه ۵. زیرپیکسل بیشتر از ۵۰ درصد برف مودیس      نقشه ۶. زیرپیکسل بیشتر از ۵۰ درصد برف لندست



نقشه ۷. زیرپیکسل بیشتر از ۷۵ درصد برف مودیس      نقشه ۸. زیرپیکسل بیشتر از ۷۵ درصد برف لندست

جدول ۱. مقایسه سطوح استخراج شده برحسب درصد پوشش برف (مقادیر برحسب کیلومتر مربع می باشد)

نام سنجنده	سطح برف بالای ۲۵ درصد	سطح برف بالای ۵۰ درصد	سطح برف بالای ۷۵ درصد
مودیس	۱۶۹۱	۱۲۱۷	۵۱۸
لندست OLI	۱۶۳۲	۱۱۱۹	۵۶۴



نقشه ۹. خطای زیرپیکسل برف - سنجنده مودیس را نشان می‌دهد، همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار بیشترین خطا ۰/۲۵ و کمترین خطا ۰/۰۰۱۵ می‌باشد همچنین نمایش نحوه توزیع خطا برحسب

رنگ از سیاه تا سفید می‌باشد که هرچه پوشش تصویر به رنگ سیاه باشد نشان‌دهنده دقت بالا است.



نقشه ۱۰. خطای زیرپیکسل برف - ماهواره لندست را نشان می‌دهد، همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار بیشترین خطا ۰/۱۸ و کمترین خطا ۰/۰۰۰۱۲ می‌باشد همچنین نمایش نحوه توزیع خطا برحسب رنگ از سیاه تا سفید می‌باشد که هرچه پوشش تصویر به

گردید، بدین منظور ۱۰۰ نمونه آموزشی بصورت رندوم از سطح نقشه انتخاب شد و مقادیر به ۴ دسته تا ۲۵٪ برف، بین ۲۵٪ تا ۵۰٪ برف، بین ۵۰٪ تا ۷۵٪ برف و بیش از ۷۵٪ برف تفکیک شد و نقاط نمونه در نقشه مودیس و لندست نظیر به نظیر با هم مقایسه شد و جدول ماتریس خطا تشکیل شد.

رنگ سیاه باشد نشان‌دهنده دقت بالا است. برای ارزیابی دقت الگوریتم LSU از روش دقت کلی، ضریب کاپا، دقت کاربر، دقت تهیه‌کننده و ضریب همبستگی بین زیرپیکسل مودیس و لندست نیز استفاده

جدول ۲. نحوه توزیع ۱۰۰ نمونه آموزشی

زیر پیکسل	بیش از ۷۵٪ برف	بین ۵۰٪ تا ۷۵٪ برف	بین ۲۵٪ تا ۵۰٪ برف	تا ۲۵٪ برف
مودیس	۳۳	۳۴	۲۰	۱۳
لندست	۳۳	۲۹	۲۴	۱۴

جدول ۳. ماتریس خطای تکنیک زیرپیکسل

کلاس	تا ۲۵٪ برف	بین ۲۵٪ تا ۵۰٪ برف	بین ۵۰٪ تا ۷۵٪ برف	بیش از ۷۵٪ برف	کل
تا ۲۵٪ برف	۱۲	۱	۰	۰	۱۳
بین ۲۵٪ تا ۵۰٪ برف	۲	۱۸	۰	۰	۲۰
بین ۵۰٪ تا ۷۵٪ برف	۰	۳	۲۹	۲	۳۴
بیش از ۷۵٪ برف	۰	۲	۰	۳۱	۳۳
کل	۱۴	۲۴	۲۹	۳۳	۱۰۰

جدول ۴. نتایج ماتریس خطای تکنیک زیرپیکسل

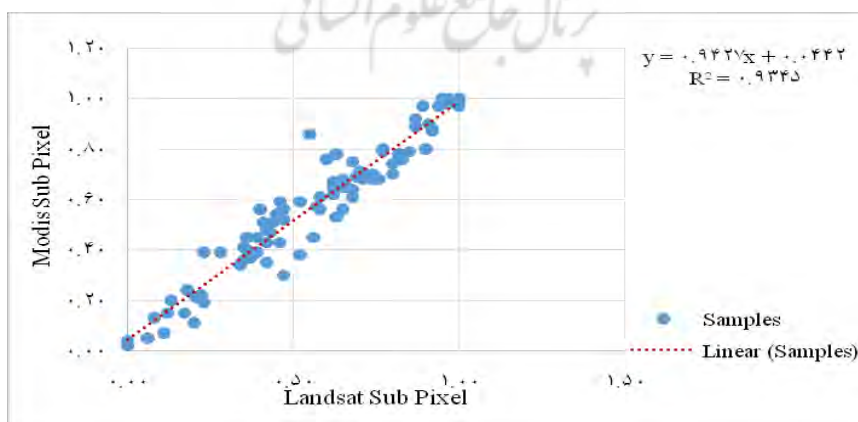
$\sum(x_i + x_{i+1})$	۲۷۳۷
$\sum(x_{ii})$	۹۰
N	۱۰۰
$N^2$	۱۰۰۰۰
Kappa	۰/۸۶
Overall Accuracy	۰/۹

جدول ۵. دقت تولید کننده و کاربر تکنیک زیرپیکسل

Class	Producer's Accuracy	Omission Error	User's Accuracy	Commission Error
تا ۲۵٪ برف	۰/۸۶	۰/۱۴	۰/۹۲	۰/۰۸
بین ۲۵٪ تا ۵۰٪ برف	۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۹	۰/۱
بین ۵۰٪ تا ۷۵٪ برف	۱	۰	۰/۸۵	۰/۱۵
بیش از ۷۵٪ برف	۰/۹۴	۰/۰۶	۰/۹۴	۰/۰۶

بنابراین دقت کلی روش زیرپیکسل ۹۰ درصد و ضریب کاپای این روش ۰/۸۶ است، دقت تولید کننده برای برف تا ۲۵٪ برابر ۸۶ درصد، برای بین ۲۵٪ تا ۵۰٪ برف برابر ۷۵ درصد، برای بین ۵۰٪ تا ۷۵٪ برف برابر ۱۰۰ درصد و برای بیش از ۷۵٪ برف ۹۴ درصد می باشد. دقت کاربر برای برف تا ۲۵٪ برابر ۹۲ درصد، برای بین ۲۵٪ تا ۵۰٪

برف برابر با ۹۰ درصد، برای بین ۵۰٪ تا ۷۵٪ برف برابر با ۸۵ درصد و برای بیش از ۷۵٪ برف برابر با ۹۴ درصد می باشد که بیانگر دقت مناسبی است. در نهایت برای ارزیابی دقت روش از همبستگی نقشه زیرپیکسل مودیس به لندست استفاده شد و نتایج محاسبه ضریب همبستگی به شرح ذیل بدست آمد.



بین مقادیر زیرپیکسل هر دو روش ۰/۹۳ می باشد که دقت مناسبی است.

نمودار ۳. همبستگی زیرپیکسل مودیس و لندست و معادله خط بین آنها را نشان می دهد، همانطور که ملاحظه می شود ضریب همبستگی

در قیاس تحقیق حاضر با تحقیقات دیگر که با این روش انجام شده می‌توان به تحقیقمتکان و همکاران، ملک‌زاده و همکاران، باصری‌نام و همکاران، Painter و همکاران، کورتس و همکاران اشاره کرد. علی‌اکبر متکان و همکاران سال ۱۳۸۷ در مقاله خود تحت عنوان (تعیین سطح پوشش برف در مقیاس Subpixel با استفاده از تصاویر MODIS) به تعیین سطح پوشیده از برف در دو حوضه آبریز کرج و لتیان با استفاده از تصاویر MODIS و IRS پرداختند، متکان در این تحقیق برای ارزیابی دقت روش از دقت کلی کمک گرفت. شاهرخ ملک‌زاده باقی و همکاران سال ۱۳۹۳ در مطالعه خود با عنوان (تعیین سطح پوشش برف در مقیاس Subpixel و Pixelbase با استفاده از تصاویر MODIS و ETM+) سطح پوشش برف در ارتفاعات شیرکوه یزد را استخراج کردند و سطح برف مستخرج از دو روش Subpixel و NDSI را با هم مقایسه نمودند. سجاد باصری‌نام و همکاران سال ۱۳۹۳ در مطالعه خود تحت عنوان (ارائه الگوریتمی جهت بهبود دقت نقشه‌ی پوشش برف با استفاده از تصاویر MODIS) اقدام به استخراج سطوح برفی بهبودی روش، یکی در سطح پیکسل و دیگری طبقه‌بندی نرم در سطح زیر پیکسل نمودند،

### بحث و نتیجه‌گیری

با ارزیابی و بررسی تکنیک‌ها و الگوریتم‌های مختلف برای استخراج سطوح برفی می‌توان گفت تکنیک زیرپیکسل به دلیل توانایی تعیین میزان درصد برف در هر پیکسل یک رویکرد جدید به شمار می‌رود. در این تحقیق تصاویر سنجنده مودیس به دلیل قابلیت تفکیک زمانی بالا در مطالعات برف‌سنجی، مورد استفاده قرار گرفت، همچنین از تصاویر لندست به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالا بعنوان واقعیت زمینی استفاده گردید. نتایج این مطالعه را در چند بند میتوان بیان کرد (۱) استخراج اطلاعات از پیکسل‌های مخلوط، تنها با بکارگیری تکنیک‌های زیرپیکسل امکانپذیر می‌باشد (۲) در تکنیک زیرپیکسل تعداد زیاد باندهای مورد استفاده، نه تنها محدودیتی ایجاد نمی‌کند بلکه موجب تهیه منحنی طیفی بهتر و در نهایت جداسازی طیفی

باصری‌نام از تصاویر MODIS و سنجنده‌ی OLI ماهواره‌ی Landsat8 بعنوان واقعیت زمینی استفاده کرد همچنین در روش اول به دقت ۱۰۰٪ و در روش دوم و با انجام تناظر یابی پیکسل به پیکسل بین نقشه‌های برفی دو تصویر، به دقت ۹۸/۶٪ دست یافت و با ایجاد رابطه‌ی رگرسیونی لگاریتمی بین مقادیر مذکور، میزان همبستگی ۰/۷۲ بین مقادیر را محاسبه نمود. Painter و همکاران سال ۲۰۰۹ در مقاله‌ای تحت عنوان (Retrieval of subpixel snow covered area, grain size, and albedo from MODIS) به روش جداسازی طیفی پدیده‌های برف، پوشش گیاهی، سنگ و خاک را استخراج نمودند و میانگین خطای RMS برای منطق‌ه‌ی پوشیده از برف برابر با ۵٪ تعیین گردید. کورتس و همکاران سال ۲۰۱۳ در تحقیق خود با عنوان (Analysis of sub-pixel snow and ice extent over the extratropical Andes using spectral unmixing of historical Landsat imagery) با استفاده از تصاویر لندست و با تجزیه و تحلیل برف و میزان یخ به روش Unmixing طیفی سطح پوشش برف در رشته کوه‌های آند را استخراج نمودند.

مطلوب‌تر می‌گردد (۳) بهترین حالت برای تعیین EM مراجعه به زمین و تهیه نمودار طیفی هر پدیده با استفاده از اسپکترومتر می‌باشد که این روش بسیار پرهزینه است اما نتایج نشان داد که در صورت داشتن تصاویری با قدرت تفکیک مکانی بالا امکان افزایش دقت در تعیین EM بدون نیاز به مراجعه به زمین نیز فراهم است (۴) مشخص شد که دقت تکنیک زیرپیکسل تابع کیفیت باندها و نحوه تعیین EM ها میباشد. با توجه به نتایج آماری تحقیق می‌توان نتیجه گرفت که مطالعه پیش رو در برآورد سطح پوشش برف در مقیاس زیرپیکسل از دقت و صحت مناسبی برخوردار می‌باشد.

### پیشنهادها

- ✓ در این تحقیق تکنیک زیرپیکسل براساس دو کلاس برف و عدم برف تعیین شد، پیشنهاد می‌شود تعداد کلاس‌ها افزایش داده شود در نتیجه تعداد EM های قابل شناسایی نیز بیشتر خواهد شد و نتیجه آن با نتایج این تحقیق مقایسه گردد.
- ✓ در این تحقیق از تصاویر حرارتی استفاده شد، پیشنهاد می‌شود از تصاویر راداری نیز برای استخراج سطوح پوشش برف استفاده شود و نتایج آن با این تحقیق مقایسه شود.

- ✓ پیشنهاد می‌شود از تکنیک‌های دیگری مانند منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی به منظور استخراج سطح پوشش برف در مقیاس زیرپیکسل مورد آزمون قرار گیرد و نتایج آن با این تحقیق مقایسه شود.
- ✓ پیشنهاد می‌شود از تصاویر ماهواره‌ای دیگر با قدرت تفکیک مکانی متفاوت استفاده شود و نتایج آن با این تحقیق مقایسه گردد.

### مراجع

- [۱] داداشی خانقاه، سپیده (۱۳۸۷). مطالعه پوشش برف در حوضه‌های کرج و لتیانبا استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای. دانشگاه شهید بهشتی، گروه سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، ص ۴۸-۶۳.
- [۲] علوی پناه، سید کاظم (۱۳۸۷). سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ص ۲۱-۲۷.
- [۳] سرکارگر اردکانی، علی (۱۳۹۲). جزوه دروس سنجش از دور. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات واحد یزد.
- [۴] اکبری، الهه و شکاری، علی (۱۳۹۲). پردازش و استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره ای با استفاده از نرم افزار Envi. انتشارات ماهواره، جلد ۱، ص ۲۴۰.
- [۵] ملک‌زاده بافقی، شاهرخ؛ اصلاح، مهدی؛ مفیدی‌فر، مهدی و المدرسی، سیدعلی (۱۳۹۳). تعیین سطح پوشش برف در مقیاس Subpixel و Pixelbase با استفاده از تصاویر MODIS و ETM+. نخستین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی در آمایش سرزمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، ص ۳.
- [۶] دهقانی، مریم؛ اسماعیلی، علی و باصری‌نام، سجاد (۱۳۹۳). ارائه الگوریتمی جهت بهبود دقت نقشه‌ی پوشش برف با استفاده از تصاویر MODIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی کرمان، دانشکده نقشه‌برداری.
- [7] Congalton, R.G. 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. Department of Forestry and Resource Management. University of California, Berkeley. 36-45.
- [8] Lu, D; Mausel, P; Brondi'zio, E and Moran, E. 2004. Change Detection Techniques Int.J. RemoteSensing. 25(12): 2365-2407.
- [9] Dennison, P.E and Roberts, D.A. 2003. Endmember selection for multiple endmember spectral mixture analysis using endmember average RMSE. Remote Sensing of Environment. (87): 123-135.
- [10] Omran, G.H; Andries, P; Saman, A; Shaghri, J; Tescher, A and Jaradi, F. 2000. A PSO based endmember selection method for spectral unmixing of ultispectral satellite images. Journal of Imaging Science and Technology. (44): 196-203.
- [11] Gillespie, A.R; Smith, M.O; Adams, J.B; Willis, S.C; Fischer, A.F. and Sabol, D.E. 1990. Interpretation of residual images: spectral mixture analysis of AVIRIS images California. Second Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop. 243- 270.
- [12] Sabol, D.E; Adams, J.B. and Smith, M.O. 1992. Quantitative subpixel spectral detection of targets in multispectral images. Journal of Geophysical Research. (97): 2659-2672.
- [13] Saghri, J; Tescher, A and Omran, M. 2002. Class-Prioritized Compression of Multispectral Imagery Data. Journal of Electronic Imaging. (2): 246-256.
- [14] Okin, G.S; Roberts, D.A; Murray, B and Okin, W.J. 2001. Practical limits on hyperspectral vegetation discrimination in arid and semiarid environments. Remote Sensing of Environment. (77): 212-225.
- [15] Solberg, R. 2000. A new method for sub-pixel snow-cover mapping using hyperspectral imagery-first results. Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop Land Ice and Snow. Dresden/FRG, 16-17.
- [16] Mishra, V.D; Negi, H.S; Rawat, A.K; Chaturvedi, A and Singh, R.P. 2009. Retrieval of sub-pixel snow cover information in the Himalayan region using medium and coarse resolution remote sensing data. International Journal of Remote Sensing. (30): 4707-4731.
- [17] Painter, T.H; Rittger, K; McKenzie, C; Slaughter, P; Davis R.E and Dozier, J. 2009. Retrieval of sub-pixel snow covered area, grain size, and albedo from MODIS. Remote Sensing of Environment. (113): 868-879.

## Careful assessment of MODIS images on snowy surfaces extracted using Landsat images using techniques Subpixel (Case study Mountains north of Tehran)

### Abstract:

Snow is a huge water resource in most parts of the world. So the amount of snow cover in Tabriz basins for water resource management is essential. In recent years, in addition to pixel-based techniques Subpixel techniques also have been used for mapping snow cover. Because in most hydrological models require snow cover mapping on a frequent basis and at short intervals is That produce these maps is possible only with the use of images with high temporal resolution. Images with high spatial resolution, The spatial resolution is low or medium Mixed pixels is increased in such images possible. Extract data from pixel mixture, is possible only by using Subpixel techniques. This study follows three main objectives First measurable snow cover using remote sensing techniques without the physical presence The second study to help assess the accuracy of medium and high resolution images (Landsat image) Third LSU algorithm as the best and most accurate way to monitor the level of snow cover. In this study of satellite images Terra MODIS (NASA website) and Landsat ETM OLI (Site United States Geological Survey USGS) was used. To conduct various stages of research Envi 4.8 and ArcGIS 10.3 software was used. The MODIS image Snow level 1850 square kilometers and 1926 square kilometers were estimated Landsat Snow levels And the accuracy of the method for overall accuracy of 90% and kappa coefficient was calculated 86/0. R Square value was calculated for this technique also 93/0. However, due to the precision and accuracy of the values given can be trusted.

**Keywords:** Kappa coefficient, Landsat, MODIS, overall accuracy, Subpixel.

