

تفکر مکان محور برای پیشرفت جامعه



دومین همایش بین‌المللی تهیه نقشه و اطلاعات مکانی
و نوزدهمین همایش ملی ژئوماتیک



سازمان نقشه‌برداری کشور
استه به معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

باسمه تعالی

**جناب آقایان میلاد نیرومند جدیدی، مجتبی جنتی، علی رضا
صفدری نژاد، محمود رضا صاحبی و مهدی مختارزاده**

بدین وسیله از حضور گرانقدرتان در " همایش ملی ژئوماتیک
۹۱" و انتخاب مقاله ارزشمندتان تحت عنوان: " ارزیابی و
بهینه‌سازی نتایج شاخص درجه خلوص پیکسلی به‌منظور
استفاده در مدل اختلاط طیفی خطی" به عنوان یکی از
مقالات برتر این همایش تشکر و قدردانی می‌گردد.
از درگاه خداوند سبحان سلامتی، سعادت، و توفیق روزافزون
برایتان آرزومندم.

هادی واعظی

معاون فنی سازمان نقشه برداری کشور

دبیر کل همایش

تفکر مکان محور برای پیشرفت جامعه



دومین همایش بین‌المللی تهیه نقشه و اطلاعات مکانی
و نوزدهمین همایش ملی ژئوماتیک



سازمان نقشه‌برداری کشور

محققین ارجمند:

**میلاذ نیرومندجدیدی، مجتبی جنتی، علی‌رضا صفدری‌نژاد،
محمودرضا صاحبی و مهدی مختارزاده**

بدین‌وسیله از حضور ارزنده شما و ارائه مقاله تحت عنوان:
"ارزیابی و بهینه‌سازی نتایج شاخص درجه خلوص پیکسلی
به منظور استفاده در مدل اختلاط طیفی خطی" به صورت
سخنرانی در نوزدهمین همایش ملی ژئوماتیک ۹۱ تشکر و
قدردانی می‌گردد

از درگاه خداوند سبحان سلامتی، سعادت، و توفیق روز
افزون برایتان آرزومندیم.

و من ا.ا.التوفیق

هادی واعظی

معاون فنی سازمان نقشه‌برداری کشور

و

دبیر کل همایش

ارزیابی و بهینه‌سازی نتایج شاخص درجه خلوص پیکسلی به منظور استفاده در مدل اختلاط طیفی خطی

میلاذ نیرومند جدیدی^۱، مجتبی جنتی^۱، علی‌رضا صفدری نژاد^۲، محمودرضا صاحبی^۳، مهدی مختارزاده^۳

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی (niroumand, m.jannati)@sina.kntu.ac.ir
۲. کارشناسی‌ارشد مهندسی سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی safdari_nezhad@sina.kntu.ac.ir
۳. استادیار، گروه مهندسی سنجش از دور، دانشکده مهندسی ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی (sahebi, m_mokhtarzade)@kntu.ac.ir

چکیده

با توجه به مشکل پیکسل‌های مخلوط، استخراج اطلاعات در سطح زیرپیکسل از اهمیت بسزایی در تخمین دقیق پوشش اراضی برخوردار می‌باشد. در این راستا، مدل اختلاط طیفی خطی از روش‌های رایج در زمینه برآورد سهم کلاس‌های مختلف در سطح زیرپیکسل محسوب می‌گردد. دقت این مدل به طور قابل توجهی به معرفی پیکسل‌های خالص اولیه وابسته می‌باشد. بدین منظور روش‌های مختلفی جهت تعیین پیکسل‌های خالص توسعه یافته است. درجه خلوص پیکسلی (PPI) به عنوان یک شاخص هندسی رایج در این حوزه شناخته شده است. از مشکلات عمده این شاخص می‌توان به تعداد زیاد پیکسل‌های خالص اولیه و کیفیت نامناسب آنها و همچنین عدم تفکیک آنها به کلاس‌های مورد نظر اشاره نمود. در تحقیق حاضر به منظور تفکیک پیکسل‌های به دست آمده از PPI، از خوشه‌بندی تصویر بر اساس ماسک پیکسل‌های خالص استفاده گردیده است. همچنین آستانه‌گذاری بر روی نتایج PPI به منظور افزایش احتمال خلوص پیکسل‌ها پیشنهاد شده است. با برآورد تعداد پیکسل‌های با سهم تعلق منفی یا بزرگتر از یک و همچنین RMSE نتایج مدل اختلاط طیفی خطی، دقت پیکسل‌های خالص اولیه به دست آمده از شاخص درجه خلوص پیکسلی و همچنین پیکسل‌های انتخاب شده بر اساس آستانه‌گذاری مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر اساس نتایج، با افزایش حدآستانه اعمال شده بر روی تصویر PPI تعداد پیکسل‌های با سهم تعلق خارج از بازه [۰-۱] در نتایج مدل اختلاط طیفی خطی به طور قابل توجهی کاهش یافته و کمتر از ۵ درصد برآورد گردیده است.

واژه‌های کلیدی: شاخص درجه خلوص پیکسلی، پیکسل خالص، تجزیه اختلاط طیفی

۱- مقدمه

روش‌های طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور را می‌توان در دو دسته کلی سخت و نرم در نظر گرفت. با توجه به تک‌برچسبی بودن هر پیکسل در نتایج روش‌های طبقه‌بندی سخت^۱، استفاده از طبقه‌بندی کننده‌های نرم^۲ به منظور افزایش اطلاعات در سطح زیرپیکسل اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در روش‌های طبقه‌بندی نرم با برآورد سهم تعلق کلاس‌های مختلف برای هر پیکسل، نقشه‌های نسبتی^۳ به ازای هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی تولید می‌گردد. روش‌های مختلفی مانند تجزیه اختلاط طیفی خطی^۴ (LSU) [۲]، FCM^۵ [۳ و ۴] و طبقه‌بندی کننده نرم شده مبتنی

بر الگوریتم‌های SVM^۵ [۵] بیشترین شباهت [۶]، و پرسپترون چندلایه [۷] برای طبقه‌بندی نرم توسعه یافته است. LSU یکی از روش‌های رایج در این حوزه محسوب می‌گردد. دو مرحله در تجزیه اختلاط طیفی مورد توجه می‌باشد. در مرحله نخست، طیف عناصر خالص از روی کتابخانه طیفی (عناصر خالص معلوم)^۷ و یا از روی تصویر (عناصر خالص اشتقاقی)^۸ تعیین می‌گردد. معمولاً به منظور فراهم آوردن شرایط اتمسفری یکسان در فرآیند تجزیه اختلاط طیفی، از عناصر خالص اشتقاقی استفاده می‌گردد. در مرحله دوم، با برآورد ضرایبی (سهم تعلق)، پیکسل‌های مخلوط به عنوان ترکیبی از این عناصر خالص لحاظ می‌گردند. بدین ترتیب، معرفی پیکسل‌های خالص اولیه از مهمترین عوامل تاثیرگذار در عملکرد مدل اختلاط طیفی خطی^۹ (LSMM) محسوب می‌گردد. در این راستا، الگوریتم‌های مختلفی به منظور استخراج عناصر خالص از تصاویر توسعه یافته است. این روش‌ها را می‌توان در چهار دسته کلی روش‌های هندسی، مورفولوژیکی، آماری غیرپارامتریک و آماری پارامتریک در نظر گرفت [۱]. روش‌های هندسی شامل شاخص درجه خلوص پیکسلی^{۱۰} (PPI) [۸]، N-Finder [۹]، VCA^{۱۱} [۱۰] و SMACC^{۱۲} [۱۱] می‌باشند. الگوریتم PPI از جمله روش‌های متداول هندسی برای استخراج پیکسل‌های خالص می‌باشد که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است. این الگوریتم در یک فرآیند تکراری، نقاط واقع در نمودار پراکنش^{۱۳} بعدی را بر روی بردارهای تصادفی تصویر کرده و خروجی آن تصویری است که درجات خاکستری آن بیانگر تعداد دفعاتی است که هر پیکسل به عنوان پیکسل خالص شناخته شده است. از محدودیت‌های الگوریتم PPI می‌توان به عدم تفکیک پیکسل‌های خالص به کلاس‌های مختلف و منحصر بفرود نبودن نتایج الگوریتم اشاره نمود.

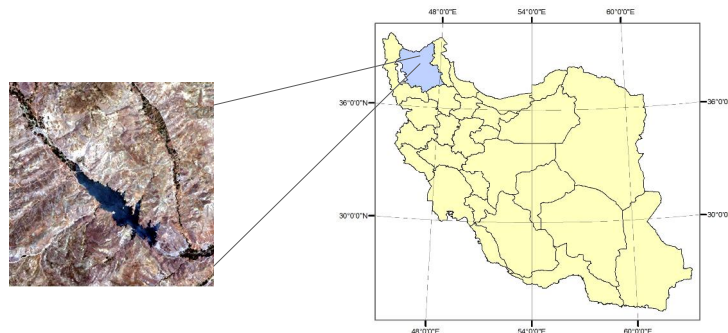
در تحقیق حاضر، نخست یک فرآیند مبتنی بر خوشه‌بندی نظارت نشده k-means، به منظور تفکیک پیکسل‌های خالص به دست آمده از الگوریتم PPI پیشنهاد شده است. سپس نتایج الگوریتم PPI با استفاده از مدل اختلاط طیفی خطی مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور تعداد پیکسل‌های با سهم تعلق منفی یا بزرگتر از یک و همچنین RMSE محاسبه گردیده است. همچنین به منظور بهینه‌سازی الگوریتم PPI، آستانه‌گذاری در نتایج آن پیشنهاد و مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در بخش بعد، مدل اختلاط طیفی خطی و شاخص درجه خلوص پیکسلی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در ادامه، روش پیشنهادی برای تفکیک نتایج الگوریتم PPI به کلاس‌های مورد نظر و همچنین نحوه بهینه‌سازی آن ارائه شده است. نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی در بخش ۳ بیان گردیده است. در نهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهادات در بخش ۴ تشریح گردیده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبریز سد ستارخان انتخاب شده است. این حوضه از نظر تقسیمات سیاسی-اداری، در شهرستان‌های اهر و ورزقان در استان آذربایجان شرقی واقع گردیده است. منطقه انتخاب شده در مختصات جغرافیایی «۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه» تا «۴۶ درجه و ۵۷ دقیقه» طول شرقی و «۳۸ درجه و ۲۶ دقیقه» تا «۳۸ درجه و ۳۱ دقیقه» عرض شمالی واقع شده است. از تصویر ETM+ سال ۲۰۰۸ منطقه استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه از سه پوشش غالب پوشش گیاهی، آب و زمین بایر تشکیل شده است.



شکل ۱، منطقه مورد مطالعه و تصویر ETM+ (۲۰۰۸)

۲-۲- مدل اختلاط طیفی خطی

تجزیه اختلاط طیفی خطی (LSU)، به عنوان یک روش متداول برای حل مشکل پیکسل‌های مخلوط، بر این فرض استوار است که طیف دریافتی از عوارض مختلف داخل پیکسل به صورت خطی ترکیب می‌شوند [۱۲، ۱۳] و [۱۴]. رابطه زیر برای به دست آوردن سهم کلاس‌ها در سطح زیرپیکسل طی فرآیند LSU در نظر گرفته می‌شود:

$$x_k = Ef + e \quad (1)$$

در رابطه بالا، E ماتریس مربوط به طیف عناصر خالص، f برداری است که سهم هر یک از کلاس‌ها را در سطح زیرپیکسل تعیین می‌نماید و بر اساس آن نقشه‌های نسبتی (به ازای هر کلاس یک نقشه) تولید می‌گردد. e نیز خطای باقیمانده را نشان می‌دهد.

برای حل معادله مدل اختلاط طیفی خطی روش‌های مختلفی وجود دارد. در برخی روش‌ها، دو شرط مثبت بودن سهم کلاس‌ها و واحد بودن مجموع آنها لحاظ می‌گردد که به روش‌های شرطی موسوم می‌باشند. در این روش‌ها به منظور تامین این شروط، مقادیر محاسبه شده برای سهم کلاس‌ها تغییر می‌یابند که مستعد ایجاد عدم قطعیت می‌باشد. در روش دیگری که غیرشرطی نامیده می‌شود، معادله مذکور بدون در نظر گرفتن هیچ شرطی حل می‌شود. بدین ترتیب ممکن است مقادیر f_i در خارج از بازه $[0-1]$ قرار بگیرند. مزیت روش غیرشرطی این است که می‌توان عملکرد LSMM را در توصیف داده‌های مورد نظر، تخمین زد. شاخص‌های زیر برای ارزیابی میزان انطباق مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- مقدار باقیمانده (e_i) در معادله اختلاط: در هر باند طیفی یک مقدار باقیمانده وجود دارد که نشانگر اختلاف بین مقدار پیکسل مشاهداتی و مقدار محاسبه شده از LSMM می‌باشد. RMSE کل مربوط به هر پیکسل مطابق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

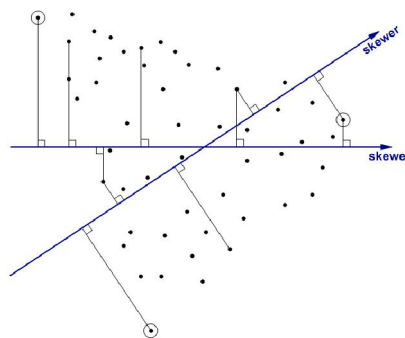
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{b=1}^m e_b^2}{m}} \quad (2)$$

خطای RMS برای تمام پیکسل‌های تصویر محاسبه شده و در مقیاس ۰-۲۵۵ در نظر گرفته می‌شود تا تصویر خطای RMS تولید گردد. هرچه قدر این خطا بزرگتر باشد، انطباق مدل کمتر می‌باشد. با توجه به فرض تصادفی بودن باقیمانده‌ها، هر گونه الگوی مکانی در تصویر RMSE بیانگر این است که عناصر خالص احتمالی دیگری در مدل لحاظ نشده یا عناصر خالص انتخاب شده مناسب نمی‌باشند. همچنین ممکن است رابطه خطی $Ef = x$ برای توصیف ارتباط بین طیف پیکسل و طیف عناصر خالص مناسب نبوده است [۱۵ و ۱۶].

- تعداد پیکسل‌هایی که مقادیر f_i در خارج از بازه منطقی $[0 - 1]$ قرار می‌گیرند: اگر تعداد پیکسل‌های با مقادیر f_i منفی 1^4 و بزرگتر از یک 1^5 بیشتر از ۵ درصد باشد، مدل انطباق خوبی ندارد [۱۵].
- در تحقیق حاضر، به منظور ارزیابی پیکسل‌های خالص به دست آمده از الگوریتم PPI از این دو معیار استفاده خواهد شد. در ادامه شاخص PPI و روش پیشنهادی مبتنی بر این شاخص برای تفکیک و بهینه‌سازی پیکسل‌های خالص ارائه شده است.

۲-۳- شاخص درجه خلوص پیکسلی

شاخص درجه خلوص پیکسلی (PPI)، توسط Boardman و همکاران [۸] معرفی گردید. این شاخص مبتنی بر هندسه مجموعه‌های محدب بوده [۱۷] و به عنوان یکی از روش‌های مناسب برای استخراج پیکسل‌های خالص محسوب می‌گردد. شاخص PPI در یک فرآیند تکراری و بر اساس تصویر نمودن نقاط در نمودار پراکنش n بعدی (n تعداد باندها) بر روی یک بردار یکه تصادفی محاسبه می‌گردد (شکل ۲). پیکسل‌های خالص در هر نگاشت ذخیره شده و تعداد دفعاتی که هر پیکسل به عنوان پیکسل خالص مشخص شده، محاسبه می‌گردد. بدین ترتیب تصویر PPI تولید می‌گردد به گونه‌ای که در آن درجه خاکستری مربوط به هر پیکسل متناظر با تعداد دفعاتی است که هر پیکسل به عنوان پیکسل خالص تعیین شده است. در الگوریتم PPI، یک حدآستانه برای اختلاف درجات خاکستری پیکسل‌های خالص در نظر گرفته می‌شود. این حدآستانه معمولاً ۲ یا ۳ برابر سطح نویز داده در نظر گرفته می‌شود [۱۸]. به عنوان نمونه در تصاویر Landsat که سطح نویز کمتر از یک DN می‌باشد، حدآستانه ۲ یا ۳ مناسب می‌باشد. هر چقدر مقدار حدآستانه بزرگتر انتخاب گردد، تعداد پیکسل‌های بیشتری انتخاب می‌شوند ولی احتمال خالص بودن آنها کاهش می‌یابد.



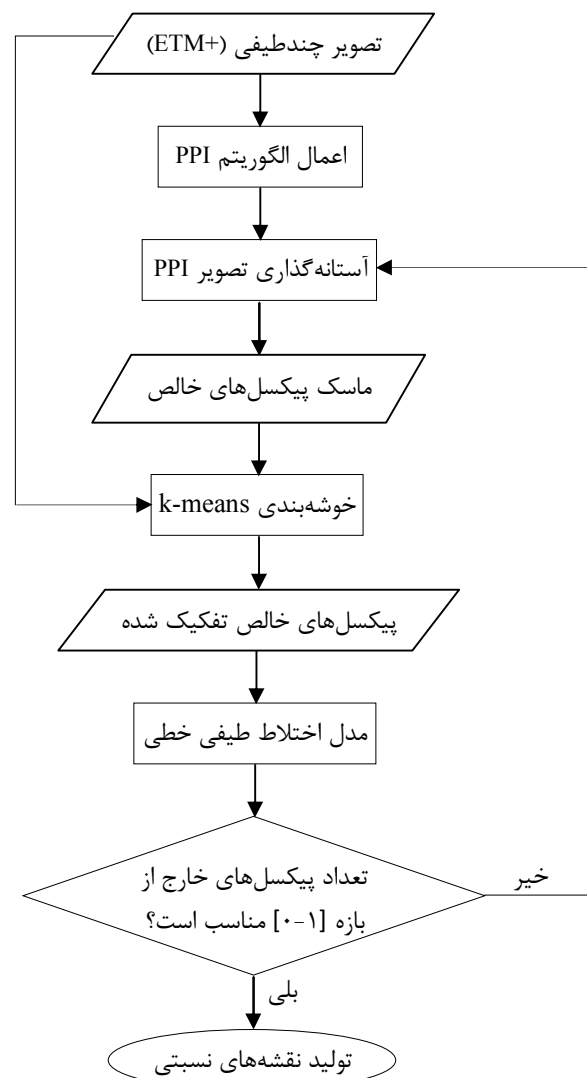
شکل ۲، محاسبه PPI بر اساس نگاشت نقاط واقع در فضای نمودار پراکنش بر روی بردارهای تصادفی

الگوریتم PPI، قادر به تعیین نوع عناصر خالص نبوده [۱۹] و به تنهایی نمی‌تواند راه حلی برای استخراج پیکسل‌های خالص باشد. همچنین نتایج این الگوریتم منحصر بفرد نمی‌باشد. برای حل این مشکل الگوریتم‌های تکامل یافته‌تری مانند APPI^{۱۶} توسعه یافته است [۲۰]. در تحقیق حاضر از الگوریتم پایه PPI استفاده شده و نتایج آن با استفاده از LSMM ارزیابی شده و روشی برای بهینه‌سازی آن ارائه گردیده است.

۲-۴- روش پیشنهادی

پیکسل‌های خالص اولیه به دست آمده از الگوریتم PPI معمولاً شامل تعداد زیادی پیکسل می‌باشد که حتی پیکسل‌های با تعداد دفعات اندک که به عنوان پیکسل خالص شناخته شده‌اند را نیز شامل می‌شود. در این تحقیق، به

منظور انتخاب پیکسل‌های بهینه از آستانه‌گذاری بر روی تصویر PPI استفاده شده است. به عنوان نمونه حدآستانه ۵۰ به این معنی است که پیکسل‌هایی که بیش از ۵۰ بار به عنوان پیکسل خالص شناخته شده‌اند را از نتایج اولیه PPI انتخاب می‌نماید. بدین ترتیب، نخست الگوریتم PPI بر روی تصویر مورد نظر اعمال شده و با آستانه‌گذاری درجات خاکستری تصویر PPI، ماسک پیکسل‌های خالص به ازای حدآستانه‌های مختلف تولید می‌گردد. در ادامه به منظور تفکیک پیکسل‌های خالص به کلاس‌های مورد نظر، تصویر بر اساس ماسک به دست آمده از مرحله قبل و با استفاده از الگوریتم نظارت نشده k-means خوشه‌بندی می‌شود. به منظور ارزیابی پیکسل‌های خالص به دست آمده به ازای حدآستانه‌های مختلف، این پیکسل‌ها به عنوان ورودی LSMM در نظر گرفته شده است. تعداد پیکسل‌های با سهم تعلق منفی یا بزرگتر از یک در نتایج LSMM تعیین شده و فرآیند افزایش حدآستانه تا کاهش مجموع تعداد پیکسل‌های خارج از بازه [۰-۱] به کمتر از ۵ درصد، ادامه می‌یابد (شکل ۳).

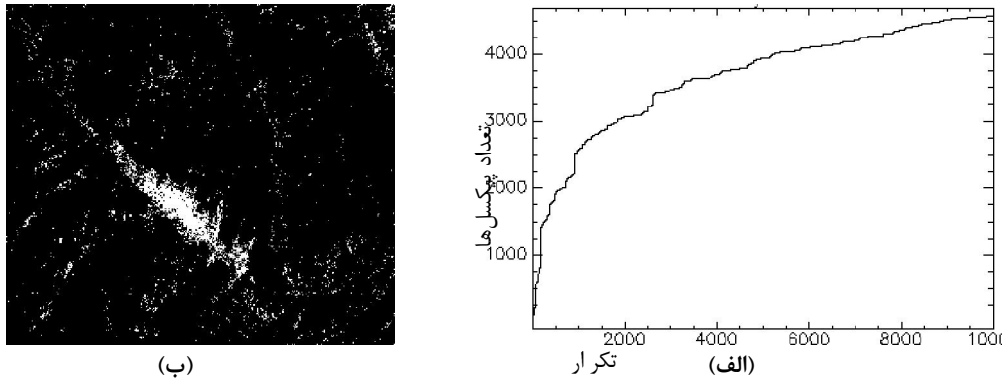


شکل ۳، روند کلی ارزیابی و بهینه‌سازی نتایج شاخص خلوص پیکسلی

۳- نتایج

نخست الگوریتم PPI با ۱۰۰۰۰ بار تکرار بر روی تصویر ETM+ اعمال گردید. به طور کلی ۴۸۳۴ پیکسل به عنوان پیکسل‌های خالص اولیه انتخاب گردید (شکل ۴). با تولید ماسک پیکسل‌های خالص به ازای حدآستانه‌های

مختلف در تصویر PPI، پیکسل‌های خالص انتخاب شده توسط الگوریتم k-means خوشه‌بندی شده و بر اساس تفسیر بصری به سه کلاس (آب، بایر و پوشش گیاهی) تفکیک گردیدند. این پیکسل‌ها به عنوان نماینده طیف عناصر خالص به الگوریتم LSMM معرفی شده و درصد پیکسل‌های با سهم تعلق منفی یا بزرگتر از یک محاسبه گردیده است. تعداد پیکسل‌های خالص انتخاب شده به ازای حدآستانه‌های مختلف و همچنین درصد تعداد پیکسل‌های خارج از بازه [0-1] در جدول (1) آمده است.

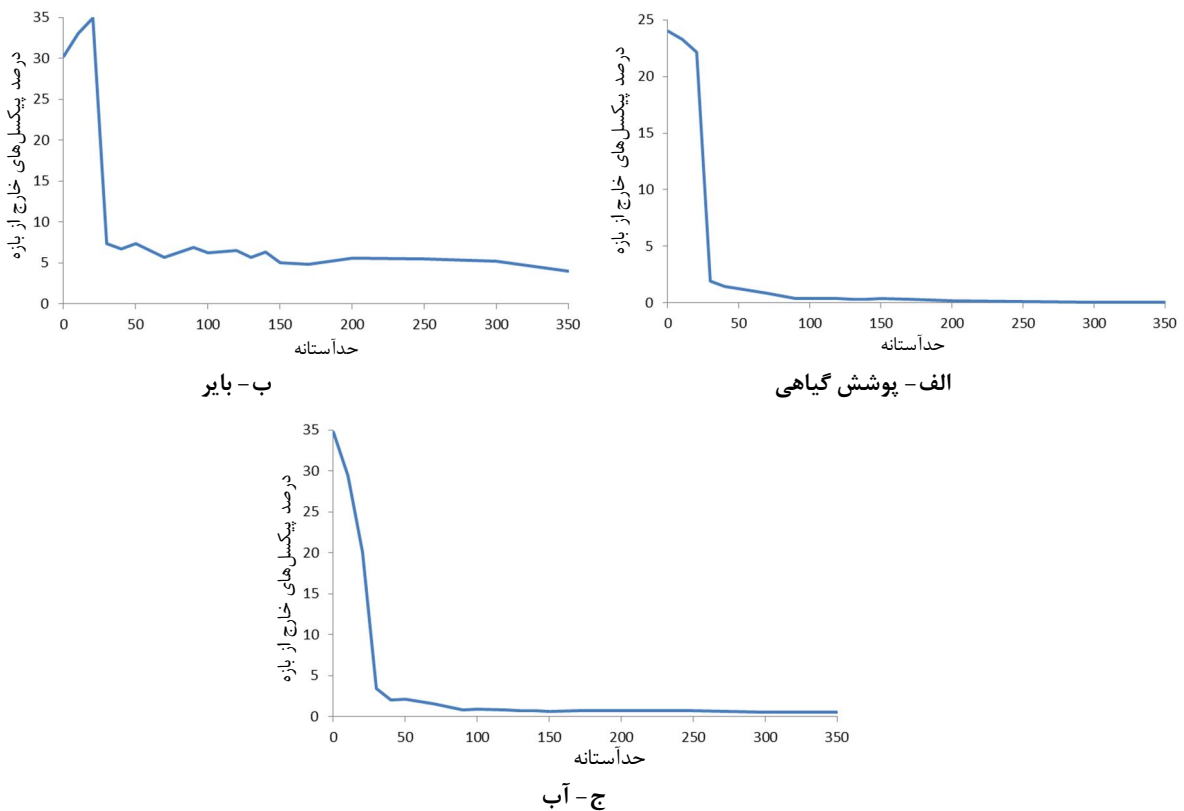


شکل 4، تعداد پیکسل‌های خالص حاصل از الگوریتم PPI در تکرارهای مختلف (الف) و پراکندگی پیکسل‌های خالص اولیه (ب)

جدول 1، تعداد پیکسل‌های خالص (n) و درصد پیکسل‌های خارج از بازه [0-1] در نتایج LSU (uo%)

پوشش گیاهی		بایر		آب		حدآستانه
uo%	n	uo%	n	uo%	n	
۲۴	۱۶۲۵	۳۰/۲۶	۶۰۷	۳۴/۶۹	۲۶۰۲	۰
۲۳/۲۱	۸۳۸	۳۲/۳۴	۴۸۳	۳۲/۲۴	۳۶۶	۱۰
۲۲/۱۶	۱۱۳	۳۴/۹۲	۳۷۶	۲۰/۰۷	۲۶۰	۲۰
۱/۹۴	۶۱	۷/۳۷	۸۶	۳/۴۸	۲۵۱	۳۰
۱/۴۶	۴۴	۶/۷۴	۶۴	۲/۰۶	۲۴۶	۴۰
۱/۲۵	۳۷	۷/۳۵	۴۹	۲/۱۱	۱۸۹	۵۰
۰/۸۵	۲۸	۵/۶۸	۳۶	۱/۵۸	۱۴۱	۷۰
۰/۳۹	۲۳	۶/۸۶	۲۴	۰/۸۶	۱۱۱	۹۰
۰/۳۶	۲۱	۶/۲۶	۲۲	۰/۹۲	۱۰۰	۱۰۰
۰/۳۸	۱۹	۶/۵۳	۱۹	۰/۸۵	۸۷	۱۲۰
۰/۳۵	۱۸	۵/۷۲	۱۹	۰/۷۷	۸۳	۱۳۰
۰/۳۴	۱۷	۶/۳۸	۱۸	۰/۷	۸۱	۱۴۰
۰/۳۶	۱۶	۵/۰۶	۱۵	۰/۶۸	۷۴	۱۵۰
۰/۳	۱۶	۴/۸۴	۱۵	۰/۶۹	۶۷	۱۷۰
۰/۲۲	۱۴	۵/۵۸	۱۳	۰/۷۱	۶۰	۲۰۰
۰/۱۴	۱۴	۵/۴۸	۱۲	۰/۷	۴۹	۲۵۰
۰/۰۷	۱۴	۵/۱۸	۱۰	۰/۵۸	۴۲	۳۰۰
۰/۰۷	۱۱	۴/۰۲	۱۰	۰/۵۲	۳۶	۳۵۰

نتایج اولیه الگوریتم PPI شامل ۲۶۰۲ پیکسل آب، ۶۰۷ پیکسل بایر و ۱۶۲۵ پیکسل پوشش گیاهی بوده که به ترتیب ۳۴/۶۹، ۳۰/۲۶ و ۲۴ درصد پیکسل خارج از بازه [۰-۱] برای سه کلاس مورد نظر را در نتایج LSU منجر می‌شود (جدول ۱). با افزایش حدآستانه، به طور کلی درصد پیکسل‌های خارج از بازه کاهش می‌یابد (شکل ۵). همچنین میزان RMSE در نتایج LUS با اعمال حدآستانه ۳۰۰ نسبت به نتایج اولیه PPI (حدآستانه صفر)، از ۴/۷ به ۴/۹ تغییر یافته است.



شکل ۵. روند تغییر درصد پیکسل‌های خارج از بازه [۰-۱] به ازای افزایش حدآستانه تصویر PPI

۴- نتیجه‌گیری

معرفی پیکسل‌های خالص از اهمیت بسزایی در عملکرد مدل اختلاط طیفی خطی برخوردار می‌باشد. در این تحقیق پیکسل‌های خالص به دست آمده از شاخص درجه خلوص پیکسلی (PPI) با استفاده از LSMM مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس پیکسل‌های اولیه به دست آمده از این شاخص، در مجموع ۴۸۳۴ پیکسل به عنوان پیکسل خالص انتخاب شده که تعداد زیادی از این پیکسل‌ها (به عنوان نمونه برای کلاس آب ۳۴/۶۹ درصد) با سهم تعلق منفی یا بزرگتر از یک می‌باشد. با آستانه‌گذاری تصویر PPI تنها پیکسل‌هایی که دفعات بیشتری به عنوان پیکسل خالص شناخته شده‌اند، انتخاب گردید. بدین ترتیب احتمال خالص بودن پیکسل‌ها افزایش یافته و همان‌گونه که انتظار می‌رفت عملکرد مدل اختلاط طیفی با در نظر گرفتن تعداد پیکسل‌های خارج از بازه [۰-۱]، به طور قابل توجهی بهبود یافته و با حدآستانه ۳۵۰، در مجموع ۵۷ پیکسل خالص برای سه کلاس آب، بایر و پوشش گیاهی انتخاب گردید و درصد کل پیکسل‌های خارج از بازه، به ۴/۶۱ درصد کاهش یافته است. بدین ترتیب بدون در نظر گرفتن هیچ شرطی برای LSMM، مجموع پیکسل‌های خارج از بازه به کمتر از ۵ درصد بهینه شده است. همچنین

مقدار RMSE با ۰/۲ افزایش، تغییر محسوس نداشتته است. همچنین به منظور تفکیک پیکسل‌های خالص به دست آمده از PPI، از خوشه‌بندی تصویر مورد نظر بر اساس ماسک پیکسل‌های خالص استفاده گردید و مشکل PPI در زمینه تفکیک پیکسل‌ها مرتفع گردید. در این تحقیق با توجه به دانش فنی موجود نسبت به تعداد کلاس‌های موجود در منطقه، از الگوریتم k-means استفاده گردید. پیشنهاد می‌شود در مواردی که شناخت کافی از منطقه و تعداد کلاس‌ها موجود نمی‌باشد، از الگوریتم IsoData برای شناسایی تمام خوشه‌های ممکن در نتایج PPI استفاده گردد. افزایش حدآستانه به طور کلی عملکرد LSMM را بهبود می‌دهد. اما باید توجه داشت که با افزایش حدآستانه، پیکسل‌های باقیمانده برای هر کلاس به تعداد کافی موجود باشد. همچنین لازم به ذکر است که سایر عوامل مانند غیرخطی بودن مدل اختلاط پیکسل‌ها و یا عدم شناخت دقیق تعداد عناصر خالص نیز بر عملکرد LSMM مؤثر بوده و بررسی جوانب مختلف آن نیازمند تحقیقات بیشتر می‌باشد.

پانوشت

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. Hard Classification | 9. Linear Spectral Mixture Model |
| 2. Soft Classifiers | 10. Pixel Purity Index |
| 3. Fractional Maps | 11. Vertex Component Analysis |
| 4. Linear Spectral Unmixing | 12. Sequential Maximum Angle Convex Cone |
| 5. Fuzzy C-means | 13. Scatterplot |
| 6. Support Vector Machine | 14. Under-Shoots |
| 7. Known Endmembers | 15. Over-Shoots |
| 8. Derived Endmembers | 16. Automatic Pixel Purity Index |

مراجع

- حیدری مظفر، مرتضی، ۱۳۸۸، استخراج پیکسل‌های خالص مواد معدنی با استفاده از روش‌های هندسی و آماری در تصاویر فراطیفی به منظور طبقه‌بندی تصویر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی.
- Footy, G.M. and Cox, D.P., 1994. Sub-pixel land cover composition estimation using a linear mixture model and fuzzy membership functions, *International Journal of Remote Sensing*, 15: pp. 619-631.
- Footy, G.M., 1996. Approaches for the production and evaluation of fuzzy land cover classifications from remotely-sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, 17: pp. 1317-1340.
- Bezdek, J.C., Ehrlich, R. and Full, W., 1984. FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm, *Computers and Geosciences*, 10: pp. 191-203.
- Brown, M., Gunn, S.R. and Lewis, H.G., 1999. Support vector machines for optimal classification and spectral unmixing, *Ecological Modelling*, 120: pp. 167-179.
- Bastin, L., 1997. Comparison of fuzzy c-means classification, linear mixture modelling and MLC probabilities as tools for unmixing coarse pixels, *International Journal of Remote Sensing*, 18 (17): pp. 3629-3648.
- Paola, J.D. and Schowengerdt, R.D., 1995. Review article: A review and analysis of back propagation neural networks for classification of remotely sensed multispectral imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 16: pp. 3033-3058.

8. Boardman, J.W., Kruse, F.A., and Green, R.O., 1995. *Mapping Target Signatures via Partial Unmixing of AVIRIS Data*, in Summaries of the V JPL Airborne Earth Science Workshop.
9. Winter, M.E., 1999. *N-FINDR: an algorithm for fast autonomous spectral end-member determination in hyperspectral data*, SPIE Proc., 3753, 266-275.
10. Nascimento, J.M.P., 2000. *Vertex Component Analysis: A Fast Algorithm to Unmix Hyperspectral Data*, project POSI/34071/CPS/.
11. Gruninger, J, A. J. Ratkowski and M. L. Hoke., 2004. *The Sequential Maximum Angle Convex Cone (SMACC) Endmember Model*. Proceedings SPIE, Algorithms for Multispectral and Hyperspectral and Ultraspectral Imagery, Orlando FL, April.
12. Cross, A.M., Settle, J.J., Drake, N.A. and Paivinen, R.T.M., 1991. Subpixel measurement of tropical forest cover using AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 12: pp. 1119-1129.
13. Drake, N. and White, K., 1991. *Linear mixture modelling of Landsat thematic Mapper data for mapping the distribution and abundance of gypsum in the Tunisian Southern Atlas*, Proceedings of Spatial Data 2000, Remote Sensing Society, Nottingham, pp. 168-177.
14. Lucas, N.S., Shanmugam, S. and Barnsley, M., 2002. Sub-pixel habitat mapping of a coastal dune ecosystem, *Applied Geography*, 22: pp. 253-270.
15. Mather, P. M., 2004. *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*. Third Edition. London: John Wiley & Sons Ltd.
16. Richards, J.A., Jia, X., 2006. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. 4th Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
17. Ifarraguerri, A. and CHANG, C.-I., 1999. Multispectral and hyperspectral image analysis with convex cones, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 37 (2), 756-770.
18. Van der Meer, F., 1999. Image classification through spectral unmixing. In: Stein, A., Van der Meer, F. and Gorte, B., eds. *Spatial Statistics for Remote Sensing: Remote Sensing and Digital Image Processing*, pp. 185-193. Netherlands: Springer, ISSN: 1567-3200.
19. Martínez, P.J., Pérez, R.M., Plaza, A., Aguilar, P.L., Cantero, M.C, and Plaza, J., 2006. Endmember extraction algorithms from hyperspectral images. *Annals of Geophysics*, 49 (1). pp. 93-101.
20. Chang, C.I., 2006. A Fast Iterative Algorithm for Implementation of Pixel Purity Index, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3 (1).

The Evaluation and Optimization of the Pixel Purity Index (PPI) in order to Use in Linear Spectral Mixture Model

Milad Niroumand Jadidi^{a,*}, Mojtaba Jannati, Alireza Safdarinezhad^a, Mahmood Reza Sahebi^a, Mehdi Mokhtarzade^a

^a Dept. of Remote Sensing Engineering, Geomatics Engineering Faculty, K. N. Toosi University of Technology, ValiAsr Street, Mirdamad Cross, P.C. 19967-15433, Tehran, Iran - (niroumand, m.jannati, safdari_nezhad)@sina.kntu.ac.ir, (sahebi, m_mokhtarzade)@kntu.ac.ir

Abstract

The extraction of sub-pixel information plays a major role in accurate estimation of land cover due to the mixed pixels problem. In this regard, Linear Spectral Mixture Model (LSMM) could be considered as a common method in estimating the fractions of different classes within a pixel. The accuracy of this model is significantly related to the introduction of pure pixels. Thus, different methods have been developed for identifying pure pixels. Pixel Purity Index (PPI) is known as a prominent geometric index in this area. Large number of selected pixels, their poor quality and also unclassified nature of the output pixels could be considered as major limitations of this algorithm. In this study, clustering of image pixels based on the pure pixels' mask is used in order to clustering of pixels obtained from the PPI. Likewise, thresholding on the PPI results is proposed to enhance the purity of the pixels. Then, the accuracy of the initial pure pixels obtained from the PPI and also the selected pixels based on the thresholding is evaluated by determining the number of under/over-shoot pixels and the RMSE of LSMM results. According to the results, the number of under/over-shoot pixels is decreased considerably by increasing the threshold value applied on the PPI image and is determined less than 5 percent of total image pixels.

Keywords: Pixel Purity Index (PPI), Pure Pixel, Linear Spectral Mixture Model (LSMM)