

ترکیب تصاویر IRS و MODIS با استفاده از تکنیک جداسازی طیفی

دکتر عباس علیمحمدی، استادیار دانشگاه خواجه نصیر طوسی
دکتر پرویز ضیائیان فیروزآبادی، استادیار دانشگاه تربیت معلم
علی اکبر متکان، استادیار دانشگاه شهیدبهشتی
مریم نقدی زادگان جهرمی، دانشجوی کارشناسی ارشد شهیدبهشتی

چکیده

تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا مانند IRS به منظور استخراج اطلاعات پوشش زمین در مقیاس محلی تا ناحیه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما استفاده از این تصاویر به صورت چندزمانه بسیار پرهزینه و محدود است. از سوی دیگر، تصاویر سنجنده MODIS به صورت روزانه از نواحی گسترده در ۳۶ باند مختلف و با توان‌های تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر با سهولت زیادی قابل دسترس است. ولی به علت ضعف قدرت تفکیک مکانی، این تصاویر برای بررسی جزئیات در محیط‌های پیچیده با تنوع پوشش بالاناسب نمی‌باشند. لذا استفاده همزمان از تصاویر MODIS و IRS می‌تواند مفیدتر باشد. در این تحقیق، امکانات ترکیب تصاویر IRS و MODIS اخذ شده از بخشی از نواحی استان تهران با استفاده از تکنیک جداسازی طیفی مورد بررسی قرار گرفته است. در این تکنیک، ابتدا تصویر IRS طبقه‌بندی شده، سپس سهم هر کلاس در هریک از پیکسل‌های تصویر MODIS محاسبه می‌شود. با محاسبه رادیانس هریک از پیکسل‌های MODIS و اعمال الگوریتم جداسازی طیفی، مشخصه طیفی برای هریک از انواع پوشش‌های زمینی موجود محاسبه شده و بر مبنای آن تصویر ترکیب شده تولید می‌شود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که تصویر ترکیب شده، استفاده از توان تفکیک طیفی تصویر MODIS به منظور بارزسازی بیشتر عوارض در نواحی ناهمگن را امکان‌پذیر می‌سازد. ضمناً واریانس محلی و نوع پوشش تأثیر زیادی بر کیفیت تصویر ترکیبی دارند. نتایج این روش رابطه زیادی با دقت زمین مرجع نمودن تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا و پایین نشان می‌دهند و با افزایش آن، کیفیت تصاویر تولیدی نیز افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: ترکیب تصویر، جداسازی طیفی، MODIS، IRS

۱. مقدمه و هدف

تنوع پوشش موجود در قسمت‌های مختلف سطح زمین نشان می‌دهد که تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا، منابع ارزشمندی از اطلاعات برای تهیه نقشه‌های پوشش زمینی با دقت بیشتر می‌باشند (Knight et al., ۲۰۰۶). تصاویر با توان تفکیک طیفی بالانیز، با استفاده از باندهای متعدد خود، شناسایی و تمایز پوشش‌های مختلف با دقت بالاتر را امکان‌پذیر می‌سازند (Zhukov et al., ۱۹۹۶). در واقع هر یک از مواد تشکیل‌دهنده صحنه تصویربرداری، انرژی تابشی را به گونه‌ای بازتاب، جذب و گسیل می‌نماید. بطوری که انرژی دریافت شده توسط سنجنده، بستگی زیادی به شکل و ساختار مولکولی صحنه تصویربرداری دارد. چنانچه انرژی رسیده به سنجنده در طول موج‌های نزدیک به هم و بر روی محدوده نسبتاً وسیعی از باندهای طیفی اندازه‌گیری شود، از هر ماده حاضر در صحنه تصویربرداری منحنی طیفی حاصل می‌گردد که مقایسه آن منحنی، بامشخصه‌های طیفی موجود در کتابخانه طیفی می‌تواند، به آشکارسازی هویت آن ماده کمک نماید. اما سهم مکانی اشغال شده توسط یک عارضه، ممکن است از اندازه زمینی پیکسل سنجنده کمتر باشد. در نتیجه انرژی دریافت شده توسط سنجنده، ترکیبی از اجزاء مختلف تشکیل‌دهنده آن پیکسل می‌باشد (Show and Bruke, ۲۰۰۳). بنابراین برای به دست آوردن اطلاعات موجود در پیکسل‌های مخلوط نیاز به روش‌هایی است که آنها را به اجزاء تشکیل‌دهنده‌شان تجزیه کنند.

یکی از مزایای استفاده از داده‌های هم‌زمان چند سنجنده، امکان استفاده از تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا به منظور جداسازی ترکیب پیکسل‌های مخلوط در تصاویر اخذ شده توسط سنجنده‌های با توان تفکیک مکانی پایین می‌باشد (Zhukov et al., ۱۹۹۵). در واقع استفاده هم‌زمان از داده‌های چند سنجنده، شانس

استفاده از الگوریتم جداسازی طیفی رافراهم می‌کند (Zhukov et al., ۱۹۹۷). علاوه بر آن، این الگوریتم امکان استفاده از بهترین خصوصیات هر دو تصویر (مکانی، طیفی و زمانی) را نیز میسر می‌سازد (Minghelli, ۲۰۰۶).

تصاویر MODIS با استفاده از اطلاعات باندهای متعدد، امکان شناسایی مواد با استفاده از مشخصه‌های طیفی خود را افزایش می‌دهند. از سوی دیگر از آنجا که پیاده‌سازی الگوریتم جداسازی خطی نیاز به تصاویر با توان تفکیک مکانی بالا دارد، تصویر سنجنده IRS نیز در کنار تصویر MODIS به منظور اجرای الگوریتم می‌تواند مفید باشد.

Zhukov و همکاران (۱۹۹۹)، از الگوریتم جداسازی طیفی، برای ترکیب تصاویر سنجنده‌های متفاوت با توان تفکیک مکانی و طیفی مختلف (تصویر TM و تصویر شبیه‌سازی شده ASTER) استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که به کارگیری الگوریتم جداسازی طیفی محدود، منجر به حفظ اطلاعات رادیومتریک موجود در تصاویر با توان تفکیک مکانی پایین می‌شود.

Minghelli و همکاران (۲۰۰۱)، با ترکیب تصویر شبیه‌سازی شده MERIS با توان تفکیک مکانی ۲۴۰ متر و TM (۳۰ متر)، توان تفکیک مکانی MERIS را بهبود بخشیدند. بطوری که تصویر ترکیب شده حاصل دارای توان تفکیک مکانی تصویر TM و توان تفکیک زمانی و رادیومتریک تصویر شبیه‌سازی شده MERIS می‌باشد. Minghelli و همکاران (۲۰۰۶)، از ترکیب تصاویر واقعی MERIS و TM برای بررسی خط ساحلی استفاده کردند. نتایج به دست آمده مؤید توانایی این الگوریتم در ترکیب این تصاویر می‌باشد. در نهایت این تحقیق پتانسیل بالای این تکنیک را برای ارزیابی مناطق ساحلی مورد تایید قرار می‌دهد.

Ouarab و همکاران (۲۰۰۶)، با استفاده از الگوریتم جداسازی خطی، تصاویر MERIS و ETM را با هم ترکیب کردند. الگوریتم مورد استفاده در این تحقیق با آنچه در بررسی‌های پیشین مورد استفاده قرار گرفته، کاملاً مشابه می‌باشد. در این تحقیق، مدل جداسازی طیفی برای ترکیب تصاویر IRS و MODIS در یکی از نواحی استان تهران به کار گرفته شده است. پس از ترکیب، نتایج حاصله برای ارزیابی مزایا و معایب این الگوریتم مورد بررسی قرار گرفتند. توجه به این نکته بسیار حائز اهمیت است که در این تحقیق تنها از ۶ باند تصاویر MODIS و ۲ باند تصاویر IRS استفاده شده است. زیرا به دلیل کیفیت پایین باندهای ۱ کیلومتری تصاویر MODIS، این تحقیق تنها به باندهای ۲۵۰ و ۵۰۰ متری محدود شده است. همچنین باندهای ۱ و ۴ تصاویر IRS به دلیل پایین بودن کیفیت و زیاد بودن نوفه، برای ترکیب مورد استفاده قرار نگرفتند.

۲. ترکیب تصاویر MODIS و IRS

تصاویر MODIS از نظر هندسی با تصاویر IRS، زمین مرجع شدند. از آنجایی که تصاویر MODIS دارای سه توان تفکیک مکانی متفاوت می‌باشند، لذا ابتدا تصاویر MODIS با توان تفکیک مکانی ۲۵۰ متر به تصاویر IRS زمین مرجع شدند. سپس تصاویر MODIS با اندازه پیکسل ۵۰۰ متر با تصاویر MODIS زمین مرجع شده، هم مختصات شدند. این عملیات، حساس‌ترین مرحله اعمال الگوریتم مربوطه می‌باشد زیرا که نسبت توان تفکیک مکانی دو تصویر زیاد است و این بحث بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Minghelli_Roman و همکاران، ۲۰۰۱). مطابق توصیه‌های موجود، خطای زمین مرجع نباید بیشتر از ۰/۲-۰/۱ اندازه پیکسل در تصویر با توان تفکیک مکانی پایین باشد (Zhakov و همکاران، ۱۹۹۹).

سپس طبقه‌بندی برای تصاویر IRS به منظور استخراج N_c کلاس اعمال شد. مهم‌ترین شرط لازم در این مرحله، تخصیص همه پیکسل‌ها به یکی از کلاس‌های موجود است به نحوی که هیچ پیکسل، طبقه‌بندی نشده باقی نماند. در ادامه تصاویر IRS و MODIS به پیکسل‌های ۲۵ متری تبدیل شدند. سپس سهم هر کلاس در هر پیکسل MODIS محاسبه شد و پروفیل طیفی میانگین با حل سیستم جبری زیر حاصل شد:

$$S^i = \sum_{k=1}^{N_c} C_k L_k^i \quad (1) \quad \text{فرمول شماره ۱}$$

که در رابطه فوق

S^i : رادیانس باند i ام تصویر MODIS

N_c : تعداد کل کلاس‌ها

C : بردار حاوی سهم هر کلاس در هر پیکسل MODIS

L^i : بردار مجهول حاوی رادیانس طیفی هر کلاس در باند i ام تصویر MODIS

$N_{b_{MODIS}}$: تعداد باندهای MODIS

توجه به این نکته حائز اهمیت است که برای حل معادله فوق، تعداد پیکسل‌های MODIS باید بیشتر یا مساوی با تعداد کلاس‌ها باشد. با حل معادله ۱، پروفیل طیفی کلاس‌ها در هر پیکسل MODIS برای هر پیکسل طبقه‌بندی شده محاسبه شد.

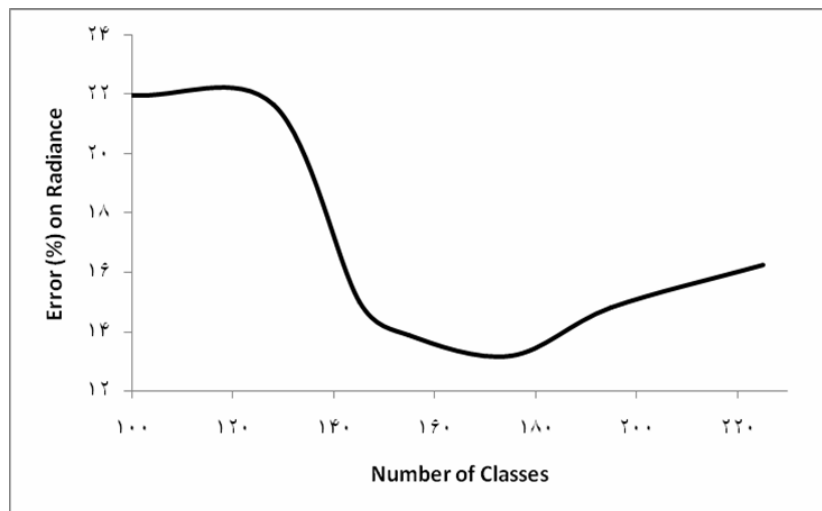
۳. تعیین تعداد کلاس مطلوب

برای بررسی تعداد کلاس‌های مطلوب در تصویر ترکیب شده خروجی، طبقه‌بندی تصویر IRS با تعداد کلاس‌های متفاوت (۸ ، ۳۲ ، ۶۴ ، ۱۲۸ و ...) مورد استفاده

قرار گرفت. به منظور دستیابی به بهترین نتیجه، باندهای تصویر ترکیب شده حاصل، با باندهای تصویر IRS اولیه مورد مقایسه قرار گرفتند. خطای متوسط ریشه مربعات (RMSE)، با استفاده از اختلاف میانگین (m_{diff}) و انحراف معیار (σ_{diff}) برای بررسی تعداد کلاس‌های مطلوب طبق رابطه زیرمورد استفاده قرار گرفت.

$$RMS = \sqrt{m_{diff}^2 + \sigma_{diff}^2} \quad (\text{فرمول شماره ۲})$$

تعداد کلاس‌های مطلوب با استفاده از حداقل میزان RMSE برابر ۱۷۵ تعیین شد. این بدین معناست که وقتی تعداد کلاس کمتر از ۱۷۵ باشد، خطا به دلیل همگنی غیر رادیومتریک در هر کلاس افزایش می‌یابد، اما هرگاه تعداد کلاس‌ها مساوی ۱۷۵ شود، همگنی درون کلاس و تعداد کلاس‌های شناخته شده متوازن می‌شود (Minghelli-Roman و همکاران، ۲۰۰۱).



شکل شماره ۱: رابطه بین خطا (محور عمودی) و تعداد کلاس‌ها (محور افقی) در خوشه‌بندی

۴. تصویر خطا

با مقایسه رادیانس تصویر ترکیبی و تصویر IRS اولیه می‌توان میزان خطا را محاسبه نمود. باتوجه به اینکه تصویر ترکیبی دارای اندازه پیکسل ۲۵ متر می‌باشد، لذا برای محاسبه میزان خطا، پیکسل‌های تصویر IRS با استفاده از فیلتر میانگین به اندازه پیکسل ۲۵۰ متر تبدیل شدند. سپس با تفریق دو تصویر MODIS و ترکیبی ۲۵۰ متری، میزان خطا برای هر پیکسل ۲۵۰ متری محاسبه شد. بررسی میزان و پراکندگی خطا در تصویر خطا به مشخص کردن منابع آن کمک زیادی می‌کند.

خطای موجود در تصویر ترکیبی می‌تواند ناشی از منابع مختلفی باشد. این منابع ممکن است، ابعاد تصویر با توان تفکیک مکانی پایین (MODIS)، ناهمگنی محدوده مورد بررسی و یا نوع کاربری‌های موجود در منطقه مورد مطالعه باشند.

۵. خطای ناشی از ابعاد تصویر

از آنجایی که ابعاد تصویر تعیین‌کننده تعداد پیکسل‌های موجود در تصویر می‌باشند لذا این ابعاد بر کیفیت تصویر خروجی تاثیر بسیاری می‌توانند داشته باشند. ابعاد تصویر در واقع به صورت مستقیم بر عملکرد الگوریتم جداسازی طیفی موثرند. زیرا که پیکسل‌های تصویر MODIS مبین تعداد معادلات می‌باشد. لذا برای حل این معادلات، تعداد پیکسل‌های تصویر MODIS باید لزوماً از تعداد کلاس‌های انتخاب شده بیشتر باشند و هرچه تعداد معادلات بیشتر از تعداد مجهولات باشد، دقت نتیجه حاصل نیز می‌تواند بیشتر باشد. در همین راستا در این بررسی الگوریتم جداسازی طیفی برای تصویر MODIS با ابعاد متفاوت 200×200 ،

۴۰۰*۴۰۰ و ۱۰۰۰*۱۰۰۰ انجام شد. تصویر ترکیبی حاصل از هر یک، در نهایت با رادینس تصویر ورودی، مقایسه و تصویر خطا برای هر یک تعیین شد.

۶. بررسی تاثیر واریانس تصویر بر میزان خطا

همگنی و ناهمگنی تصویر به دلیل تاثیر بسیار مهمی که در ایجاد کلاسترهای کوچک و یا بزرگ در تصویر دارد، می تواند در میزان خطا نقش اساسی داشته باشد. در همین راستا تصویر IRS اولیه به روش بیشترین شباهت به پنج کلاس اصلی مزارع کشاورزی، مناطق مسکونی، دشت های سیلابی، رودخانه و مراتع، طبقه بندی شد. سپس برای هر کلاس، واریانس مربوط به هر پلی گون و نیز خطای متعلق به آن، محاسبه گردید. در ادامه همبستگی واریانس با خطای معادل آن در هر کلاستر بررسی شد.

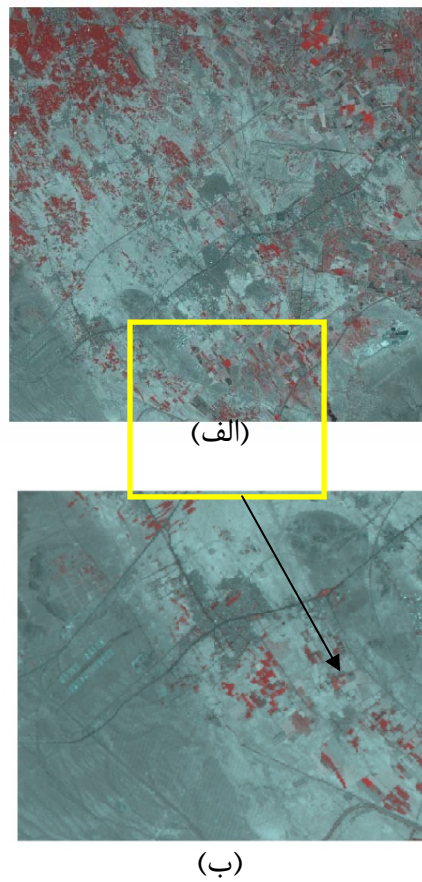
۷. بررسی تاثیر نوع پوشش زمین بر میزان خطا

نوع پوشش زمینی به دلیل تاثیری که بر طبقه بندی نظارت نشده اولیه و به تبع آن بر ابعاد و همگنی پلی گون ها دارد، می تواند بر میزان خطا مؤثر باشد. با محاسبه میزان خطای میانگین و نیز میانگین و انحراف معیار برای پلی گون های متعلق به هر کلاس و مقایسه آنها با هم، می توان میزان تاثیر پوشش های مختلف را در ایجاد خطا بررسی نمود. وجود همبستگی بالا بین خطا و تراکم هر پوشش می تواند مؤید تاثیر پوشش فوق در ایجاد خطا باشد.

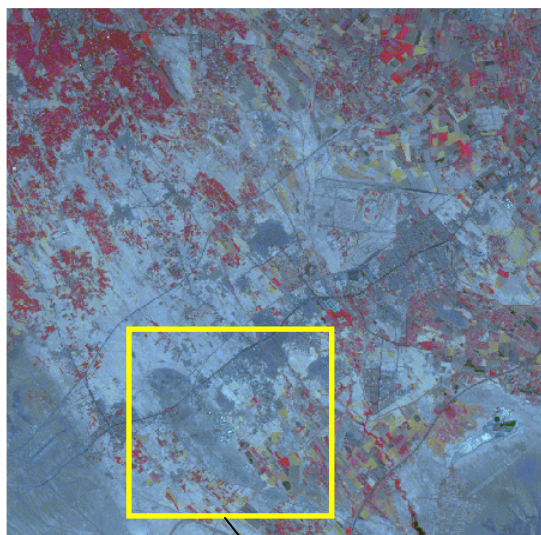
۸. نتایج

ترکیب رنگی تصاویر IRS، MODIS و تصویر ترکیب شده در شکل های ۲ و ۳ نشان داده شده است. تصویر ترکیبی با تفکیک مکانی ۲۵ متر و ۶ باند طیفی

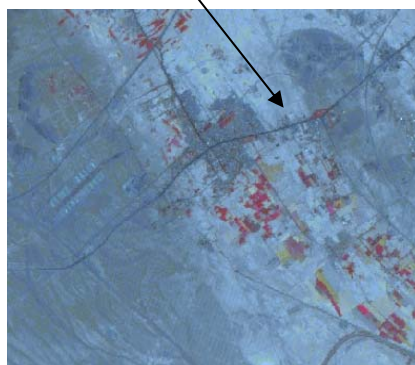
معادل با باندهای سنجنده MODIS است. در واقع رادیانس تصویر MODIS و نیز خصوصیات مکانی تصویر IRS در تصویر ترکیبی حاصل ترکیب شده‌اند.



شکل شماره ۲: ترکیب رنگی تصویر IRS (باندهای ۲، ۳ و ۴) بخشی از تصویر (الف) در تصویر (ب) با بزرگ‌نمایی بیشتر نمایش داده شده است.



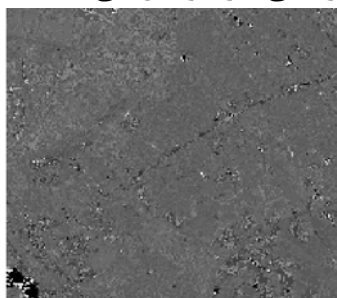
(الف)



(ب)

شکل شماره ۳: تصویر رنگی مربوط به باندهای ۱ و ۲ تصویر IRS و باند ۴ حاصل از تصویر ترکیب شده. بخشی از تصویر (الف) در تصویر (ب) با بزرگ‌نمایی بیشتر نمایش داده شده است.

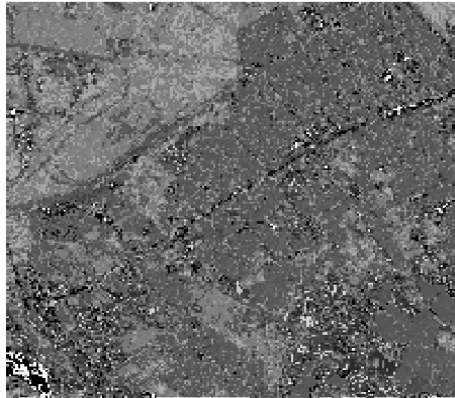
مقایسه تصاویر در دو شکل ۲ و ۳ نشان می‌دهد که در تصویر ترکیبی خصوصیات مکانی تصویر IRS به خوبی حفظ شده است. علاوه بر آن، بعضی از عوارض به دلیل افزایش و تنوع باندهای موجود در تصویر ترکیبی بارزتر شده‌اند. روش‌های کلاسیک جداسازی طیفی نیاز به داشتن دانش قبلی از علائم طیفی خالص دارد که بدون دسترسی به اطلاعات زمینی ممکن نمی‌باشد. در صورتی که قابلیت استفاده روش مورد بررسی، تنها در صورتی محدود می‌شود که تعداد کلاس‌ها کمتر از تعداد پیکسل‌های موجود در تصویر با توان تفکیک مکانی پایین باشد که این مسئله با انتخاب ابعاد مناسب تصویر بندرت می‌تواند محدود کننده باشد. نتایج حاصل از عملکرد ترکیب برای ابعاد مختلف تصویر در شکل ۴ نمایش داده شده است. همان طوری که در تصاویر فوق دیده می‌شود، با افزایش ابعاد تصویر، کیفیت تصویر ترکیبی نیز افزایش می‌یابد.



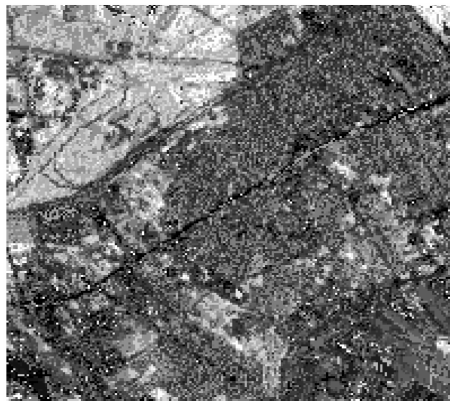
(الف)



(ب)

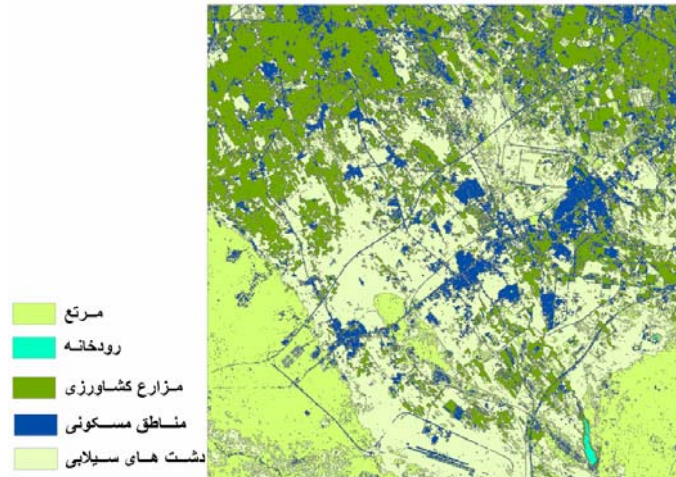


(ج)



(د)

شکل شماره ۴ (الف) تصویر IRS بخشی از منطقه مورد مطالعه، (ب) تصویر ترکیبی با ابعاد ۲۰۰ در ۲۰۰، (ج) ۴۰۰ در ۴۰۰ و (د) ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ پیکسل.



شکل شماره ۵: تصویر طبقه بندی شده IRS

شکل شماره ۵ تصویر طبقه بندی شده IRS را نشان می‌دهد. میانگین میزان خطا و واریانس برای هر یک از ۵ کلاس کاربری در جداول شماره ۱ و ۲ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که حداکثر میزان خطا مربوط به کاربری مسکونی می‌باشد. بعبارت دیگر، حداکثر میزان خطا متعلق به نواحی است که حداکثر میزان ناهمگنی را دارند. از آنجا که به دلیل تنوع رادینانس در این کاربری، تعداد کلاسترهای این کلاس بیشتر از سایر کلاس‌ها می‌باشد، لذا با وجود رفع سایر خطاهای احتمالی، خطای ناشی از کاربرد مدل در این کاربری مجموعاً از سایر کاربری‌ها بیشتر می‌باشد.

| مرتع | دشت‌های سیلابی | مناطق مسکونی | مزارع کشاورزی | |
|------|----------------|--------------|---------------|--------------|
| ۱/۲۰ | ۱/۰۵ | ۱/۳۱ | ۱/۱۵ | میانگین |
| ۰/۳۳ | ۰/۲۸ | ۰/۳۶ | ۰/۲۹ | انحراف معیار |

جدول ۱: میانگین و انحراف معیار خطا برای کلاس‌های مختلف کاربری در تصویر IRS

همان طور که در جدول فوق مشاهده می‌شود، کلاس آب بعلت تعداد بسیار کم نمونه‌ها در بررسی‌های انجام شده در نظر گرفته نشده است.

| | | Variance | Error |
|----------|---------------------|----------|----------|
| Variance | Pearson Correlation | 1 | .802(**) |
| | Sig. (2-tailed) | | .000 |
| | N | 1221 | 1221 |
| Error | Pearson Correlation | .802(**) | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .000 | |
| | N | 1221 | 1221 |

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

(الف)

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|---------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | .802(a) | .643 | .642 | .034481342 |

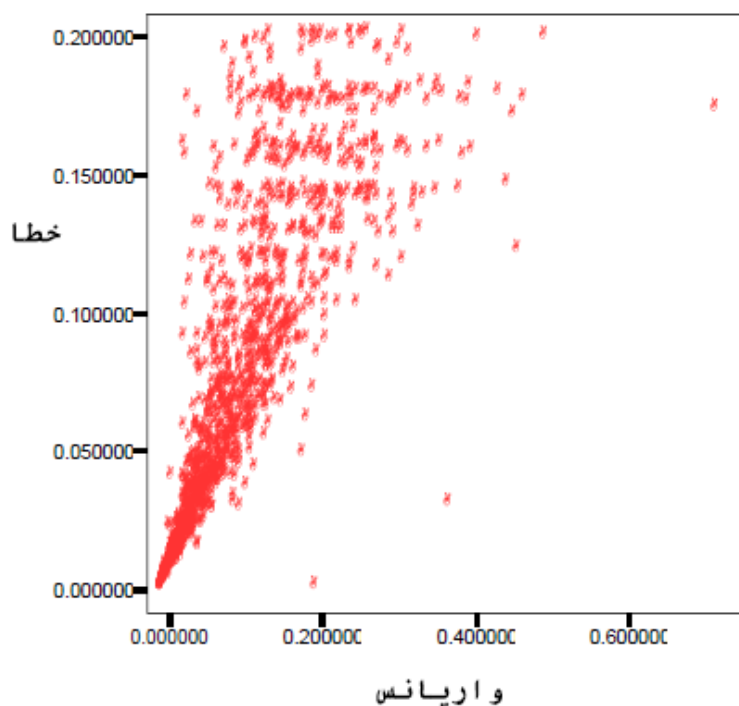
a Predictors: (Constant)

(ب)

| Model | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | | Sig. |
|--------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------------|------|
| | B | Std. Error | Beta | B | Std. Error | |
| 1 (Constant) | .021 | .002 | | 13.535 | | .000 |
| VAR00001 | .518 | .011 | .802 | 46.820 | | .000 |

(ج)

جدول ۲: الف) ضریب همبستگی خطا در تصویر ترکیبی و واریانس تصویر IRS برابر با ۸۰٪ می‌باشد. ب) R2 برابر با ۰/۶۴ است. ج) ضرائب مربوط به واریانس



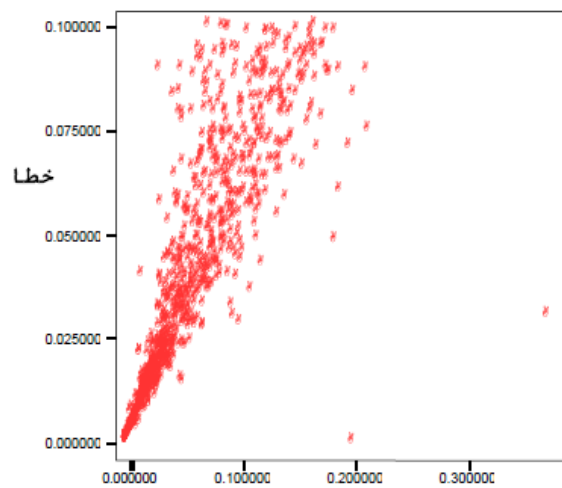
شکل شماره ۶: همبستگی بین خطا در تصویر ترکیبی و واریانس محلی در تصویر IRS

همان طور که در جدول ۲ و شکل ۶ مشاهده می‌شود، واریانس و میزان خطا در کلاس مزارع کشاورزی از همبستگی نسبتاً بالایی برخوردار است، اما میزان این همبستگی با بالا رفتن میزان خطا از ۰/۱۳ کاهش می‌یابد. بررسی پلی‌گون‌های با میزان خطای بیشتر از ۰/۱۳، نشان داد که علت این همبستگی پایین، پلی‌گون‌هایی هستند که تنها از یک پیکسل تشکیل شده‌اند. با حذف این پلی‌گون‌ها، همبستگی مجدداً محاسبه شد.

| | | Variance | Error |
|----------|---------------------|----------|----------|
| Variance | Pearson Correlation | 1 | .835(**) |
| | Sig. (2-tailed) | | .000 |
| | N | 815 | 815 |
| Error | Pearson Correlation | .835(**) | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .000 | |
| | N | 815 | 815 |

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

جدول ۳: ضریب همبستگی خطا در تصویر ترکیبی و واریانس در تصویر ETM برابر با ۸۳٪ می باشد.



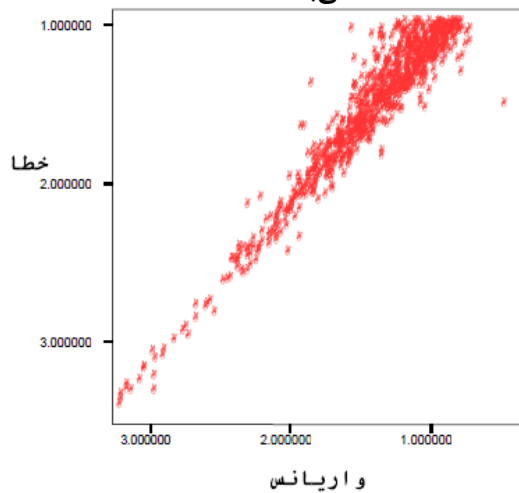
شکل شماره ۷: همبستگی خطای تصویر ترکیبی و واریانس در تصویر IRS

همان طور که در شکل فوق مشاهده می‌شود، میزان این همبستگی با حذف پلی‌گون‌های تک پیکسلی افزایش می‌یابد. با تبدیل لگاریتمی واریانس و میزان خطا، همبستگی دوباره محاسبه گردید. نتایج حاصل از همبستگی در جدول ۴ و نمودار مربوط به آن در شکل ۸ نمایش داده شده است.

| | | Variance | Error |
|----------|---------------------|----------|----------|
| Variance | Pearson Correlation | 1 | .961(**) |
| | Sig. (2-tailed) | | .000 |
| | N | 815 | 814 |
| Error | Pearson Correlation | .961(**) | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .000 | |
| | N | 814 | 814 |

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

جدول ۴: ضریب همبستگی خطای در تصویر ترکیبی و واریانس در تصویر IRS برابر با ۹۶٪ می‌باشد.



شکل شماره ۸: همبستگی خطای تصویر ترکیبی و واریانس تصویر IRS

با توجه به نمودار فوق، با افزایش واریانس تصویر IRS، میزان خطا همبستگی زیادی را با واریانس نشان می‌دهد. این همبستگی با حذف پلی‌گون‌های با تعداد پیکسل کم (کمتر از ۱۰ پیکسل) در تصویر با توان تفکیک مکانی بالا به حداکثر مقدار خود رسید. در واقع مناطق دارای واریانس بالا، در طبقه‌بندی و ایجاد کلاسترهای با اندازه متفاوت و به خصوص کوچک نقش بسیار کلیدی دارند. از آنجا که هر پیکسل تصویر MODIS، در حدود صد پیکسل تصویر IRS را در برمی‌گیرد، رادیانس تخصیص داده شده به هر یک از این کلاسترهای کوچک با مقداری خطا همراه خواهد بود. مجموعه این خطاها، سبب افزایش خطا در این مناطق می‌شود.

۹. نتیجه‌گیری

تصویر ترکیبی به دست آمده از ترکیب تصاویر IRS و MODIS با استفاده از الگوریتم جداسازی طیفی دارای خصوصیات طیفی و مکانی مطلوب‌تری نسبت به تصاویر اولیه مورد استفاده می‌باشد. این الگوریتم استخراج رادیانس میانگین مربوط به هر کلاس، در هر پیکسل تصویر با توان تفکیک مکانی پایین را امکان‌پذیر می‌سازد. از سوی دیگر، استفاده از ابعاد تصویر مناسب در روش جداسازی طیفی تصویر مبنای نقش اساسی در بهبود دقت تصویر ترکیبی حاصل دارد. هرچه ابعاد این تصویر و در نتیجه تعداد پیکسل‌های تصویر بیشتر باشد، دقت تصویر ترکیبی به دست آمده نیز بیشتر می‌باشد. زیرا تعداد پیکسل‌های تصویر با توان تفکیک مکانی پایین معرف تعداد معادلات در الگوریتم جداسازی طیفی می‌باشند و هرچه تعداد این معادلات از تعداد مجهولات (تعداد کلاس‌ها) بیشتر باشد، جواب به دست آمده به مقدار واقعی (رادیانس تصویر با توان تفکیک مکانی پایین) نزدیک‌تر است. همچنین در الگوریتم جداسازی طیفی تصویر مبنای نوع پوشش تصویر به دلیل

تاثیری که در واریانس تصویر دارد، در دقت تصویر ترکیبی حاصل مؤثر است. افزایش واریانس سبب افزایش میزان خطامی شود. نوع کاربری نیز به لحاظ تاثیری که در واریانس تصویر دارد، در میزان خطا مؤثر است. همان طوری که قبلاً اشاره شد، کاربری‌هایی که دارای واریانس بیشتری می‌باشند، به دلیل تاثیری که در ایجاد کلاسترهای کوچک دارند، در ایجاد خطای بیشتر بسیار مؤثر هستند.

روش جداسازی طیفی مورد بررسی در این تحقیق، در کنار مزایایی که به آن اشاره شد دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. از جمله این محدودیت‌ها به شرح زیر می‌باشد.

➤ پروفیل طیفی به دست آمده در این روش به کلاس‌های موجود در تصویر (در روش تصویر مینا) تخصیص داده می‌شود. در نتیجه رادیانس هر پیکسل تصویر ترکیبی، در واقع مقدار میانگین رادیانس پیکسل‌های مربوط به کلاسی است که پیکسل در آن واقع شده است.

➤ انطباق هندسی تصاویر اهمیت زیادی دارد و کیفیت نتایج حساسیت زیادی به روش مورد استفاده در تطبیق هندسی نتایج نشان می‌دهد.

۱۰. منابع

1. Knight, J. F., Lunetta, R. L., Ediriwickrema, J., & Khorram, S., 2006: *Regional scale land-cover characterization using MODIS-NDVI 250 m multitemporal imagery: A phenology based approach*. GIScience and Remote Sensing, 43, 1–23.
2. Li, Shutao, James T. Kwok, Yaonan Wang. 2002: *Using the discrete wavelet frame transform to merge Landsat TM and SPOT panchromatic images*, Information Fusion 3, pp. 17-23.
3. Minghelli-Roman. A., Mangolini. M. M., Petit. M., and Polidori. L. 2001: “*Spatial resolution improvement of MeRIS images by fusion with TM images*,” IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 39, no. 7, pp.1533–1536.
4. Minghelli-Roman et al. 2006: *Spatial Resolution Improvement by Merging MERIS-ETM Images for Coastal Water Monitoring*, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, vol.3.no.2.pp., 227- 231, April.
5. Ouarab. N., Smara. Y., Gueciouer. L. & Hasnaoui. F. 2006: *Fusion of Satellite Images by Spectral Signatures Method*, ISPRS Commission VII Mid-term Symposium "Remote Sensing: From Pixels to Processes", Enschede, the Netherlands, pp. 8-11.
6. Richards. J. A.. 1986: *Remote Sensing Digital Image Analyzes. An Introduction*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
7. Settel. J. J. and Drake. N. A. 1993: “*Linear mixing and the estimation of ground cover proportions*,” Int. J. Remote Sensing, vol. 14, pp.1159–1177.
8. Zhukov, B. and Oertel D. 1995: “*A technique for combined processing of the data of an imaging spectrometer and of a multispectral camera*,” Proc. SPIE, vol. 2480, pp. 453–465, Apr.
9. Zhukov, B., Oertel, D., Strobl, P., Lehmann, F., and Lehner M., 1996: “*Fusion of airborne hyperspectral and multispectral images*,” Proc. SPIE, vol.2758, pp. 148–159, Apr.
10. Zhukov B., Oertel D., and Lehner M., 1997: “*TM/LANDSAT thermal image unmixing*,” Proc. SPIE, vol. 3071, pp. 85–96.
11. Zhukov. B., Oertel. D., Lanzl. F., and Reinhäckel. G. 1999: *Unmixing-based multi sensor multi-resolution image fusion*: IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., vol. 37, no. 3, pp. 1212–1226.