2ND. INTERNATIONAL CONFERENCE ON
SCIENCE AND ENGINEERING
18 March 2016 ISTANBUL - TURKEY

ices

CERTIFICATE

Code: 2ices100322

Certification of Oral Presentation

Rouzbeh Shad

Dear Researcher

This is to certify that the paper entitled:

« Evaluate the accuracy of image classification algorithms in the integration of spatial-temporal satellite images »

Has been approved by the scientific committee of "**The 2nd International Conference on Science & Engineering**" held on the 18th of March 2016 at Istanbul-Turkey.

Chairman of Conference
Professor Piero Formica

www.2icesconf.com

2ND. INTERNATIONAL CONFERENCE ON
SCIENCE AND ENGINEERING
18 March 2016 ISTANBUL - TURKEY

ices

CERTIFICATE

Code: 2ices100520

Certification of Oral Presentation

Ali Rakhsh Mahpour

Dear Researcher

This is to certify that the paper entitled:

« Evaluate the accuracy of image classification algorithms in the integration of spatial-temporal satellite images »

Has been approved by the scientific committee of "**The 2nd International Conference on Science & Engineering**" held on the 18th of March 2016 at Istanbul-Turkey.

Chairman of Conference
Professor Piero Formica

www.2icesconf.com

Australian Universal Academy

This certificate is proudly awarded to

Ali Rakhsh Mahpour

In acknowledgement of attendance at

2nd International Conference Science and Engineering

Istanbul - Turkey

conducted by

MIPV

AUA Director

Certificate No: AU/IR1722

Date: 18 March 2016

www.aus-academy.com.au

ارزیابی دقت الگوریتم‌های طبقه‌بندی تصویر در عملکرد ادغام زمانی- مکانی تصاویر ماهواره‌ای

علی رخش ماهپور
دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور- دانشگاه فردوسی مشهد- مشهد- ایران
ali.rakhsh@yahoo.com

روزبه شاد
استادیار گروه عمران- دانشکده‌ی مهندسی- دانشگاه فردوسی مشهد- مشهد- ایران
Rouzbeh_shad@yahoo.com

چکیده

امروزه به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای به طور چشمگیری در حال افزایش بوده و استفاده از آن در پایش پدیده‌های روزانه کاملا احساس می‌گردد. به طور معمول سنجنده‌هایی که قدرت تفکیک زمانی بالایی دارند از قدرت تفکیک مکانی مناسبی برخوردار نمی‌باشند. اما در سال‌های اخیر الگوریتم‌های ادغام زمانی- مکانی توسعه‌ی زیادی یافته و بدین ترتیب امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، به منظور آنالیز پدیده‌ای روزانه فراهم گردیده است. طبقه‌بندی مناسب تصویر، از جمله مهمترین مراحل بسیاری از الگوریتم‌های مذکور بوده که دقت آن در نتایج نهایی تاثیرگذار است. از این رو در این تحقیق تاثیر انواع روش‌های طبقه‌بندی تصویر در الگوریتم ادغام زمانی- مکانی STDFM مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که دقت مراحل پیش‌پردازش و ضریب کاپای مربوط به روش‌های طبقه‌بندی به طور مستقیم بر نتایج الگوریتم مذکور تاثیرگذر بوده و هر چه ضریب کاپا بزرگتر باشد دقت الگوریتم مورد نظر نیز افزایش خواهد یافت. همچنین دیگر عوال خطا(مانند یکسان نبودن محدوده‌ی طیفی) باعث تاثیرات چشمگیری در نتایج خواهند شد.

واژگان کلیدی: ادغام، زمانی- مکانی، STDFM.

۱- مقدمه

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به توجه به در دسترس بودن و هزینه‌های پایین، بسیار مورد توجه قرار گرفته و این تصاویر نقش زیادی در بررسی محیط اطراف انسان دارند(Samarasinghea et al.,2010). یکی از کاربردهای اساسی و مرسوم تصاویر ماهواره‌ای پایش پدیده‌های مختلف است. این پدیده‌ها با توجه به دوره‌ی رخدادشان، بایستی توسط سنجنده‌های مختلفی مورد بررسی قرار گیرند(Römer et al.,2012).معمولا در طراحی سنجنده‌ها و سنسورهای ماهواره‌ای سعی بر آن است تا بتوان با به کارگیری آن‌ها طیف وسیعی از پدیده‌ها را مورد مطالعه قرار داد. با این وجود، به دلیل گستردگی کاربردها و محدودیت‌های فنی در طراحی و ساخت سنجنده‌ها، هر سنجنده در کاربرد خاصی مناسب بوده و دارای محدودیت‌هایی در زمینه سایر کاربردها می‌باشد. از این جهت در بیشتر مواقع، لازم است تا به منظور یک کاربرد خاص و یا پایش پدیده‌های گوناگون، اطلاعات و داده‌های سنجنده‌های مختلف را به منظور استفاده از مزیت‌های تمامی آن‌ها مورد استفاده قرار داد. به عبارتی دیگر، داده‌ها و تصاویر اخذ شده توسط سنجنده‌های مختلف با یکدیگر به نحوی تلفیق شوند و داده و یا تصاویر جدید، دارای خصوصیات و ویژگی‌های تمامی تصاویر و یا داده‌های اولیه باشد. به این نحو از تلفیق تصاویر(داده) به اصطلاح ادغام (Fusion) می‌گویند(Ramachandra et al.,2004). به طور کلی، فرآیند ادغام داده‌ها بسیار ساده‌تر و اقتصادی‌تر از طراحی و ساخت یک سنسور پیشرفته‌ای است که در آن قدرت تفکیک مکانی و طیفی به صورت توام منظور شده باشند (هر چند که از لحاظ تئوری هم ساخت چنین سنجنده‌هایی با محدودیت‌های بسیار بزرگی رو به رو است). لذا بدون شک، به‌کارگیری توام اطلاعات مکانی و طیفی بدون استفاده از روش‌های تلفیق داده‌ها، امکان پذیر نمی‌باشند(Zeng, et al.,2006). یکی از مهمترین مباحث ادغام تصاویر ماهواره‌ای، ادغام زمانی- مکانی (Temporal-Spatial) آن‌ها است. در این نوع از ادغام، تصاویر با قدرت تفکیک زمانی بالا، با تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا ادغام می‌گردند. در تصاویر ماهواره‌ای معمولا به منظور افزایش قدرت تفکیک زمانی(مدت زمان بین دو عبور متوالی ماهواره از یک مکان مشخص در سطح زمین) لازم است تا قدرت تفکیک مکانی کاهش یابد. به عبارت ساده‌تر، این دو پارامتر معکوس هم هستند. ادغام تصاویر به شیوه‌ی طیفی- مکانی(پن شارپنینگ) از مدت‌ها قبل و بلا فاصله بعد از ظهور ماهواره‌هایی با قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا بوجود آمد. با این وجود مباحث مربوط به ادغام زمانی- مکانی به نسبت جدیدتر می‌باشند و الگوریتم‌های مربوط به آن در سال‌های اخیر ابدا شده‌اند. فرآیند ادغام اطلاعات سنسوری، داده‌ها از منابع مختلف را با یکدیگر مربوط نموده و دقت‌های بالاتری را فراهم می‌آورد. مفهوم ترکیب اطلاعات سنسوری زمینه‌ای جدید می‌باشد که در بسیاری از مسائل علمی مورد توجه قرار گرفته است. این مساله نه تنها در حوزه‌ی سنجش از دور حائز اهمیت می‌باشد، بلکه کاربردهایی نظیر کنترل کیفیت صنعتی، صنایع نظامی، بینایی ربات‌ها و نظیر آن نیز از ادغام سنجنده‌ها و اطلاعات حاصل از آن‌ها استفاده می‌نمایند(Notarnicola et al.,2013). در سنجش از دور کاربردهای مهم ادغام اطلاعات سنجنده‌ها در مقولاتی مانند مسائل نظامی، مشکلات زیست محیطی، کشاورزی، هدایت وسیله نقلیه و نظیر آن اجرا می‌گردند. در سال‌های اخیر، مفهوم ترکیب اطلاعات سنسوری از مجموعه‌ای از تکنیک‌های بی‌قاعده به راهبردهای منظم علمی و مهندسی، تغییر یافته است. اصطلاحات مختلفی در ترکیب اطلاعات سنسوری مورد استفاده قرار می‌گیرند که هر یک معنی خاص خود را دارد. در این تحقیق، مساله فیوژن با تعریفی به صورت: "ادغام اطلاعات به دست آمده از چندین منبع برای تولید یک داده‌ی واحد و یک پارچه"، مد نظر قرار گرفته است. از جمله مرسوم‌ترین تلفیق زمانی- مکانی، ادغام داده‌های سنجنده‌های ابر طیفی مانند Hyperion و MODIS (سنجنده‌های با بیش از ۳۰ باند) و چند طیفی مانند سنجنده‌های سری لندست MS و + ETM (کمتر از ۳۰ باند) می‌باشند. سنجنده‌ی مدیس دارای قدرت تفکیک زمانی بسیار

بالا است، به طوری که تصاویر آن به صورت روزانه برای هر ناحیه‌ای از زمین، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در مقابل، قدرت تفکیک مکانی آن بسیار پایین می‌باشد(قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰،۵۰۰ متر و ۱ کیلومتر). با این وجود سنجنده‌ی لندست، دارای قدرت تفکیک مکانی بالا(۳۰ متر برای باندهای چندطیفی و ۱۵ متر برای باند پنکروماتیک)، و قدرت تفکیک زمانی پایین(۱۶ روزه) می‌باشد. بنابراین با ادغام زمانی- مکانی سنجنده‌های لندست و مدیس، می‌توان تصاویری به دست آورد که به صورت روزانه و با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر و یا ۳۰ متر، در دسترس هستند. این کار امکان پایش روزانه‌ی پدیده‌ها و یا عوارض را با قدرت تفکیک مکانی بالا فراهم می‌کند. قدرت تفکیک مکانی مذکور، در بسیاری از کاربردها به خصوص در حوزه‌ی کشاورزی مناسب بوده و از این جهت با به کارگیری ادغام زمانی- مکانی، می‌توان بسیاری از پدیده‌ها و نواحی کشاورزی را مورد پایش قرار داد (Zhang, et al.,2013). همزمان با پیشرفت وسایل تصویربرداری مورد استفاده، تحقیق در این عرصه نیز به طور مداوم در حال پیشرفت می‌باشد. در (Haq et al., 2012) کارهای موجود در زمینه‌ی فیوژن تصاویر چند سنجنده‌ای را مرور شده است. در تحقیق مذکور، دامنه‌ای جامع از تکنیک‌های ادغام و ویژگی‌های آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در پژوهش مذکور، فرآیند بررسی تکنیک‌های ریاضیاتی پایه نظیر جمع (نسبت‌گیری تصویر)، تکنیک‌های مبتنی بر تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA[1]) و تکنیک‌های چند قدرت تفکیکی مبتنی بر موجک (Wavelet)، انجام شده است. الگوریتم فیوژن زمانی کارآمد می‌باشد که عوارض رادیومتریک و مکانی مهم تصاویر حفظ شوند و یا در طول فرآیند فیوژن عوارض مذکور بارزتر گردند. بنابر این، در مرحله‌ی اول باید ویژگی‌های مکانی را استخراج نمود. سپس، برای به‌دست آوردن ویژگی‌های واحد در ورودی و دستیابی به فیوژنی کارآمد الگوریتم اجرا می‌شود، به طور مثال (Ochego et al., 2003, Kostiuk et al., 2002)، با استفاده از پیرامید لاپلاسین(Laplasian) تکنیک‌هایی را پیشنهاد نمودند که تصویر ورودی را به مجموعه‌ای از شکل‌های هندسی اولیه تجزیه می‌کند. شکل‌های هندسی مربوطه توسط الگوهای ادراکی تعریف می‌شوند. در سال ۲۰۰۶، محققان، به منظور دستیابی به تصاویر با وضوح بهتر و قدرت تفکیک زمانی- مکانی بالاتر، الگوریتمی را برای ترکیب تصاویر سنجنده‌های (ETM+) و مودیس (MODIS) ابداع کردند(Schaaf et al., 2002 , Gao et al., 2006). این الگوریتم به اختصار STARFM[2] نام گرفت. الگوریتم مذکور یکی از الگوریتم‌های مبنایی و مرسوم در ادغام زمانی – مکانی می‌باشد. در ادامه در (Hilke et al., 2009)، الگوریتم وفقی به منظور ادغام زمانی و مکانی ارائه شد. الگوریتم مذکور، عملکرد مشابه الگوریتم STARFM دارد، ولی به صورت محلی و وفقی اعمال می‌گردد. در تحقیق مذکور ادعا شده که در برخی نواحی(که صحنه پیچیدگی بالایی دارد) الگوریتم پیشنهادی می‌تواند نسبت به الگوریتم STARFM دقت بالاتری ارائه دهد. با توجه به اهمیت ادغام زمانی- مکانی، با توسعه‌ی مفاهیم و الگوریتم‌های زیر پیکسل(Subpixel)، در (Walker et al., 2013)، الگوریتمی بر مبنای اختلاط طیفی، ارائه شد(STDFM[3]). الگوریتم مذکور با استفاده از اختلاط طیفی، تصاویر لندست روزانه را پیش‌بینی می‌کند. الگوریتم مذکور نسبت به الگوریتم STARFM زمان محاسباتی کمتری نیاز داشته و همچنین در نواحی که یکنواختی کمتر باشد، به مراتب دقت بالاتری دارد. همچنین به منظور بهبود الگوریتم ارائه شده در (Walker et al., 2013)، در پژوهشی دیگر (Dongjie et al., 2013) ، نسخه‌ی بهبود یافته‌ی آن ارائه گردید. تا کنون تحقیقات دیگری(Caroline et al., 2014, Amorós-López et al., 2013) نیز بر مبنای الگوریتم‌های STARFM و همچنین مبتنی بر اختلاط طیفی ارائه شده‌اند، که مبنای تمامی آن‌ها، الگوریتم‌های STARFM و همچنین الگوریتم پیشنهادی در (Walker et al., 2013)

[1] Principal Component Analysis
[2] Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model
[3] Spatial and Temporal Data Fusion Model

است. در این تحقیق، به منظور ادغام زمانی- مکانی، در ابتدا مفاهیم کلی ادغام در داده‌ها، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه تئوری الگوریتم STDFM بررسی شده و سپس با طبقه‌بندی تصاویر لندست و مدیس به روش‌های مختلف، تاثیر دقت روش‌های مذکور در نتایج الگوریتم مورد نظر بررسی خواهد شد.

۲. مبانی ادغام زمانی- مکانی

ادغام زمانی- مکانی از جمله پرکاربردترین ادغام تصاویر در سنجش از دور به شمار می‌رود که در دهه‌ی اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از این رو در پژوهش‌های جدیدتر سعی بر آن است تا دقت الگوریتم‌های موجود افزایش داده شود.

۱,۲. ملاحظات لازم

از آن جهت که در ادغام زمانی- مکانی تصاویر ماهواره‌ای، از دو تصویر با قدرت تفکیک زمانی بالا و قدرت تفکیک مکانی بالا استفاده می‌گردد، از این رو، در وهله‌ی اول، انتخاب مناسب باندها از اهمیت به سزایی برخوردار است. از آن جهت که هدف اصلی در اغام زمانی – مکانی در تصاویر ماهواره‌ای، بهبود قدرت تفکیک مکانی یک تصویر با قدرت تفکیک زمانی بالا است، از این رو در طی فرایند مذکور، نبایستی طیف مواد موجود در صحنه دچار تغییر قابل ملاحظه‌ای شود(به طوری که ماهیت آن را تغییر دهد). زیرا هدف اصلی، افزایش قدرت تفکیک مکانی تصویر مذکور است. از این جهت، یکسان بودن محدوده‌ی طیفی تصاویر انتخاب شده به منظور ادغام زمانی – مکانی، پارامتری بسیار مهم است. و در ادغام مورد نظر، بایستی باندهایی از دو تصویر انتخاب گردند که تا حد امکان محدوده‌ی طیفی یکسانی داشته باشند. از دیگر نکات قابل توجه، وجود حداقل دو تصویر با قدرت تفکیک مکانی بالا است. زیرا عدم محاسبه‌ی دقت و خطای الگوریتم در هیچ روشی معقول نمی‌باشد. همچنین با توجه به اینکه در تصاویر فراطیفی، تعداد باندها بسیار زیاد می‌باشد، از این رو انتخاب باندهای مناسب و نظیر در دو تصویر با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا، از اهمیت بیشتری برخوردار است. علاوه بر آن، در چنین مواقعی، الگوریتم‌های بایستی انتخاب شوند که زمان محاسباتی و پیچیدگی کمتری دارند.

۲,۲. پیش‌پردازش‌ها

مهمترین مراحل پیش‌پردازش در تصاویر مختلف ماهواره‌ای، تصحیحات هندسی و تصحیحات رادیومتریکی می‌باشند که معمولا با توجه به کاربرد و حوزه‌ی به کارگیری تصاویر، اندکی متفاوت خواهند بود. در تصحیح هندسی، با به کارگیری نقاط زمین با مختصات معلوم، سیستم مختصات تصاویر به یک سیستم مرجع زمینی انتقال می‌یابد. و در تصحیح رادیومتریکی، بسته به هدف، تصحیحات نسبی و یا مطلق رادیومتریکی به منظور تبدیل مقادیر خام تصاویر به بازتابندگی سطح زمین، انجام می‌گیرد.

در ادغام زمانی- مکانی تصاویر، در گام اول بایستی سیستم مختصات دو تصویر یکسان باشند. اما به دلیل اینکه سیستم‌های مختصاتی تصاویر لندست و مدیس یکسان نمی‌باشند، در وهله‌ی اول، بایستی سیستم تصویر(مختصاتی) تصاویر مدیس نسبت به سیستم مختصاتی تصویر لندست تغییر یابند. که برای این کار با مرجع قرار دادن تصویر لندست زمان مبنا(پس از زمین مرجع‌سازی آن)، سیستم مختصاتی مدیس با انتخاب نقاط متناظر در دو تصویر به راحتی با سیستم تصویر لندست یکسان خواهد شد. در مرحله‌ی تصحیح رادیومتریکی، چون هدف در ادغام زمانی- مکانی، فقط پیش‌بینی تصاویر لندست است، و از آن جهت که نحوه‌ی تشکیل تصویر از یک صحنه در دو سنجنده‌ی مذکور یکسان نیست، بنابراین بایستی مقادیر خام تصاویر دو سنجنده‌ی مذکور تبدیل به بازتابندگی سطح زمین شوند. بدین مظور برای تصاویر مدیس، محصولات تصحیح شده وجود دارد(MOD09GA) و به منظور تصحیح تصاویر لندست نیز می‌بایست از بسته‌های نرم افزاری موجود استفاده کرد. همچنین

به منظور دقت بیشتر، در اینجا بعد از تبدیل بازتابندگی در تصاویر مدیس و لندست، از فرایند. انطباق هیستوگرام نیز استفاده شده است.

۳,۲. الگوریتم STDFM(Spatial and Temporal Data Fusion Model)

این روش بر مبنای تئوری اختلاط طیفی (خطی) اجرا می‌گردد. مطابق با تئوری مذکور، بازتابندگی هر پیکسل، به صورت ترکیب خطی از میانگین بازتابندگی پیکسل‌های خالص درون آن در نظر گرفته می‌شوند (رابطه‌ی(۱)).

$$C(t,b) = \sum_{c=1}^{ne} \overline{F(c,t,b)} \times A(c,t) + \epsilon \qquad (۱)$$

در رابطه‌ی(۱)، b و t، به ترتیب بیانگر باند و زمان، F نشان دهنده‌ی بازتابندگی ماده‌ی خالص و A نیز درصد حضور ماده‌ی خالص را نشان می‌دهد. همچنین ne و ε نیز به ترتیب تعداد ماده‌ی خالص درون پیکسل و خطای اتفاقی را بیان می‌نمایند. با نوشتن رابطه‌ی (۱) برای هر پیکسل تصویر مودیس، و مفروض بودن تصویر لندست برای زمان مرجع (با استفاده از آن درصد حضور ماده‌ی خالص برای هر پیکسل تعیین می‌گردد)، می‌توان میانگین بازتابندگی مواد خالص درون پیکسل‌های مودیس را با استفاده از روش کمترین مربعات به دست آورد. همچنین مقدار تغییرات بازتابندگی میانگین از رابطه‌ی (۲) قابل محاسبه می‌باشد.

$$\Delta\overline{F(c,\Delta tk,b)} = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}(F(c,t0,b,j) - F(c,tk,b,j)) \qquad (۲)$$

در رابطه (۲)، m تعداد پیکسل‌های مربوط به ماده‌ی خالص c در تصویر لندست و F(c,t,b,j)، بازتابندگی پیکسل jام تصویر لندست (متعلق به ماده‌ی خالص c در زمان t) می‌باشند. با توجه به فرض یکسان بودن تغییرات زمانی ماده‌ی خالص در یک همسایگی، رابطه‌ی (۳) را به صورت زیر می‌توان نوشت.

$$F(c,t0,b,j) - F(c,tk,b,j) = F(c,t0,b,l) - F(c,tk,b,l) \quad j,l \in [1,m] \qquad (۳)$$

با در نظر گرفتن روابط (۲) و (۳)، رابطه‌ی (۴) و رابطه‌ی(۵) استخراج می‌گردند.

$$\Delta\overline{F(c,\Delta tk,b)} = F(c,t0,b,j) - F(c,tk,b,j) \qquad (۴)$$

$$F(c,t0,b,j) = F(c,tk,b,j) + \Delta\overline{F(c,\Delta tk,b)} \qquad (۵)$$

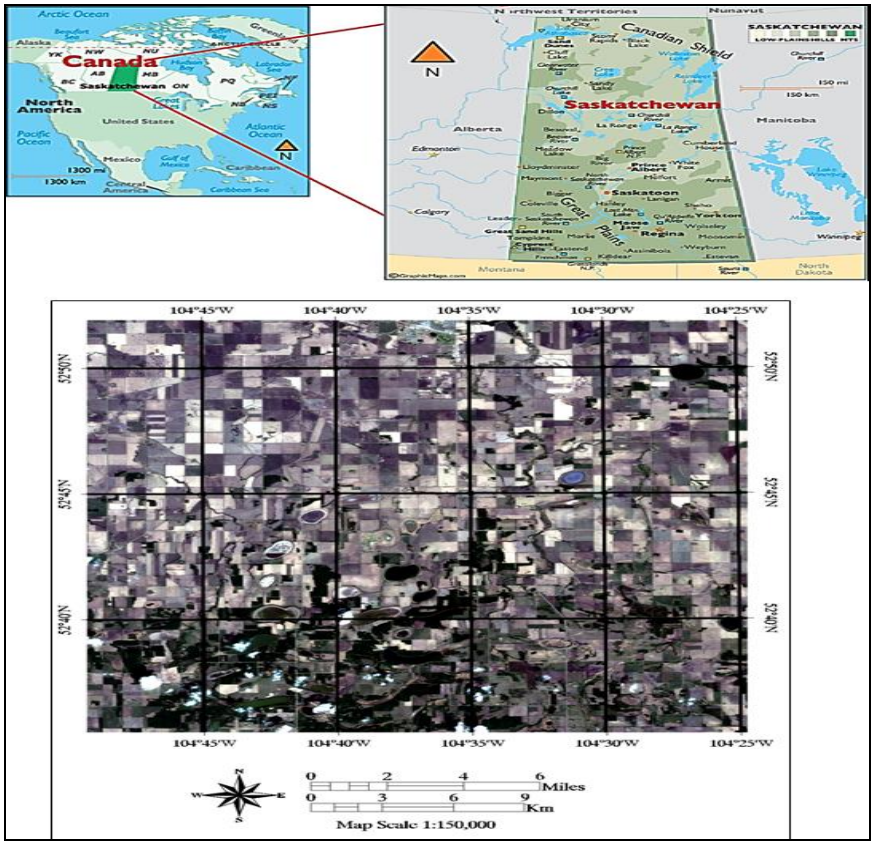
رابطه‌ی(۵) مبین آن است که بازتابندگی یک پیکسل در تصویر لندست در زمان پیش‌بینی، با حاصل جمع بازتابندگی همان پیکسل در زمان مرجع و تغییرات زمانی ماده‌ی خالص (در آن پیکسل) برابر می‌باشد. با حل رابطه‌ی (۳-۹) برای دو تصویر مودیس (زمان مرجع و زمان پیش‌بینی)، تغییرات زمانی ماده‌ی خالص (در طول زمان) به دست می‌آید. به عبارتی، از رابطه‌ی (۶) می‌توان استفاده نمود.

$$F(c,t0,b,j) = F(c,tk,b,j) + \Delta U(\Delta tk,b),\ \Delta U(\Delta tk,b) = U(t0,b) - U(tk,b) \quad (۶)$$

در رابطه‌ی(۶)، U(t,b) بیانگر تصویر مودیس (فرایند Unmixing بر روی آن بـا اسـتفاده از رابطـه‌ی (۶) اجـرا شـده اسـت)، در زمان t می‌باشد. بنابراین با استفاده از رابطه‌ی (۶)، می‌توان بازتابندگی تصویر لندست را در بازه‌های زمانی که تصـویر مـودیس در دسترس می‌باشد، پیش‌بینی نمود. بدین ترتیب تصاویر لندستی به دست خواهند آمد که هم دارای قدرت تفکیک مکـانی بـالا و هم دارای قدرت تفکیک زمانی بالا باشند.

۳. منطقه‌ی مطالعاتی

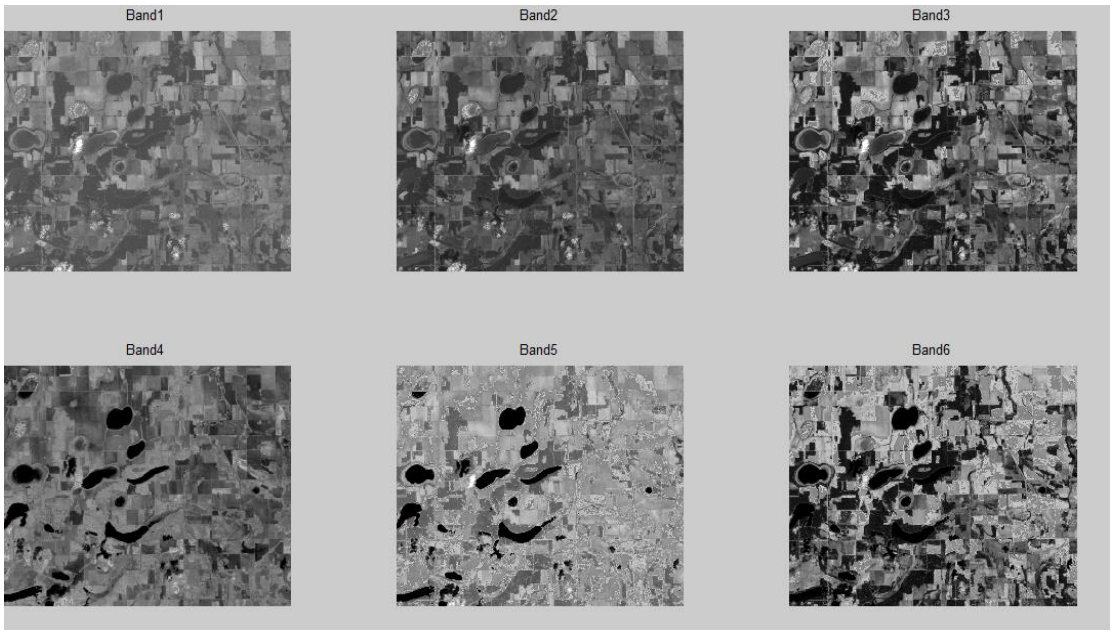
محدوده تحت بررسی در این پروژه در کشور کانادا واقع می‌باشد. این استان از نظر موقعیت جغرافیایی به دوبخش شرقی و غربی تقسیم شده است. ساسکاچوان(Saskatchewan) یکی از استان‌های کانادا و با گستردگی۶۵۱۹۰۰ کیلومتر مربع و مرکزیت شهری به نام رجینا و از شرق به منیتبا (Manitoba) و از غرب به آلبرتا (Alberta) از شمال به نواحی شمال غرب (Northwest Territories) و از جنوب به ایالات متحده آمریکا (USA) محدود می‌شود. (شکل۱).



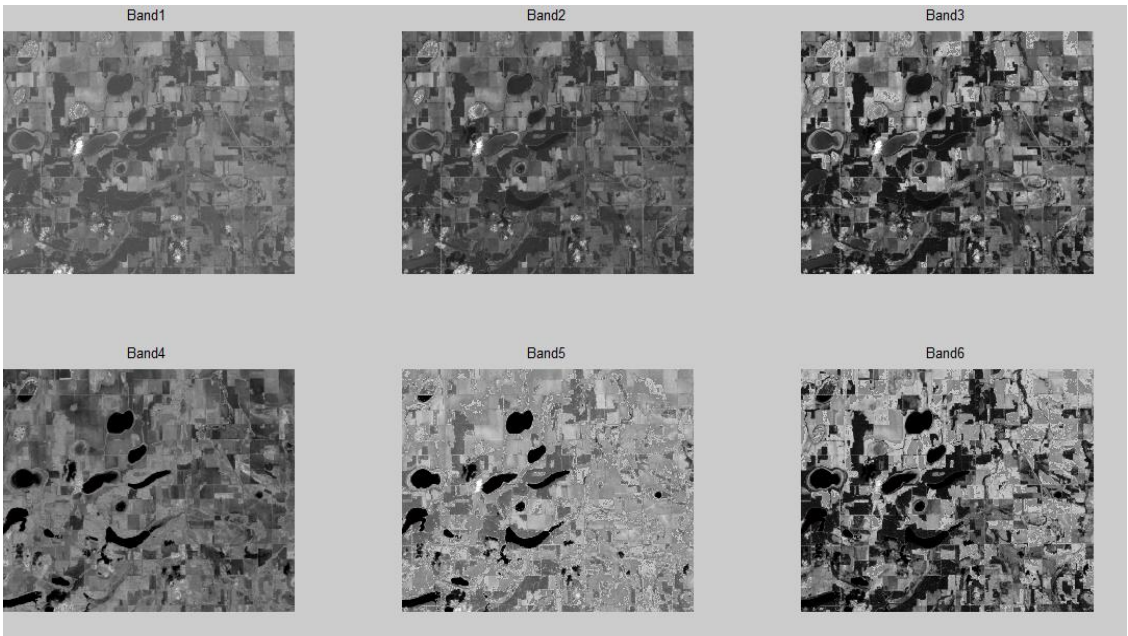
شکل۱: منطقه‌ی مطالعاتی

۴. نتایج

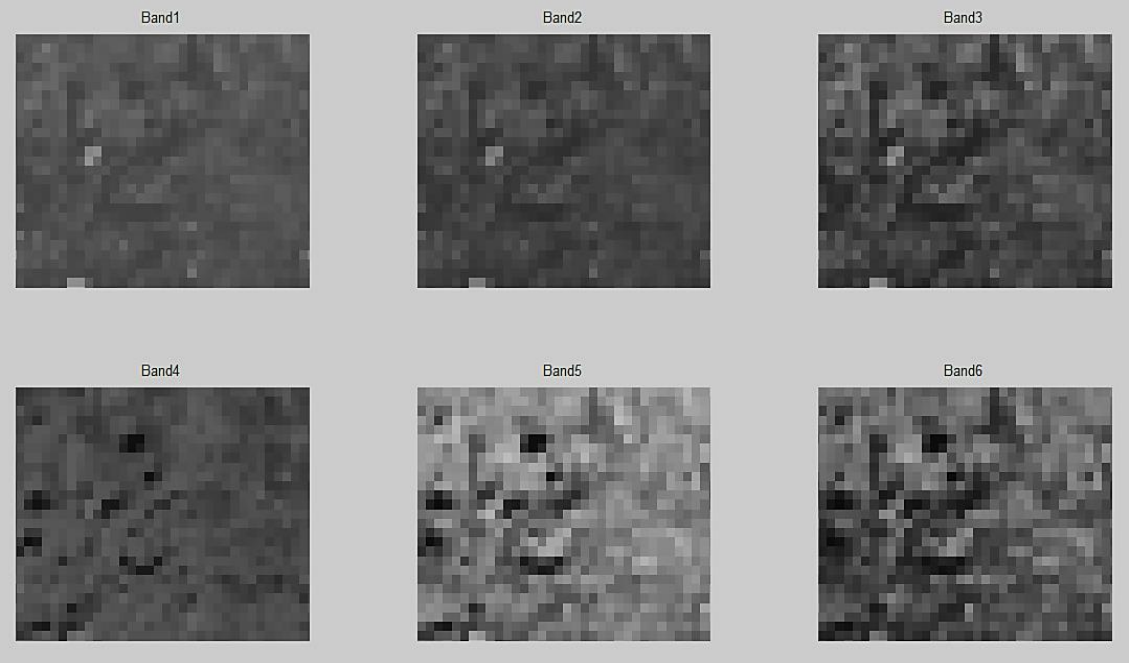
به منظور امکان مقایسه‌ی بصری، در شکل‌های۲ تا ۵، تصاویر لندست و تصاویر مدیس مورد استفاده آورده شده‌اند.



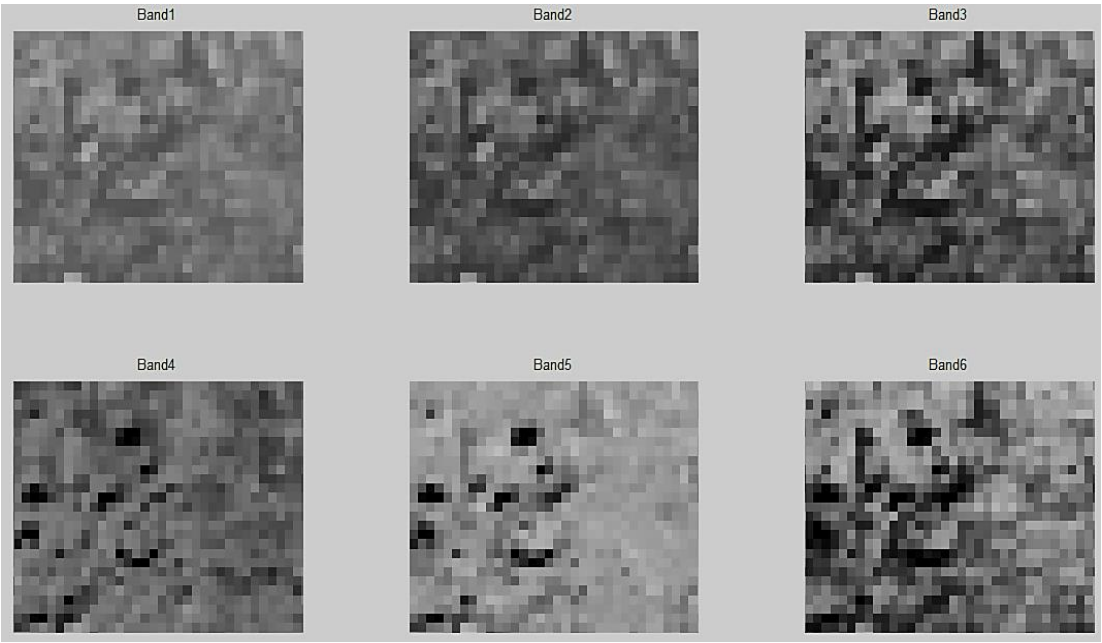
شکل۲: تصویر لندست مربوط به زمان۱.



شکل۳: تصویر لندست مربوط به زمان دوم.

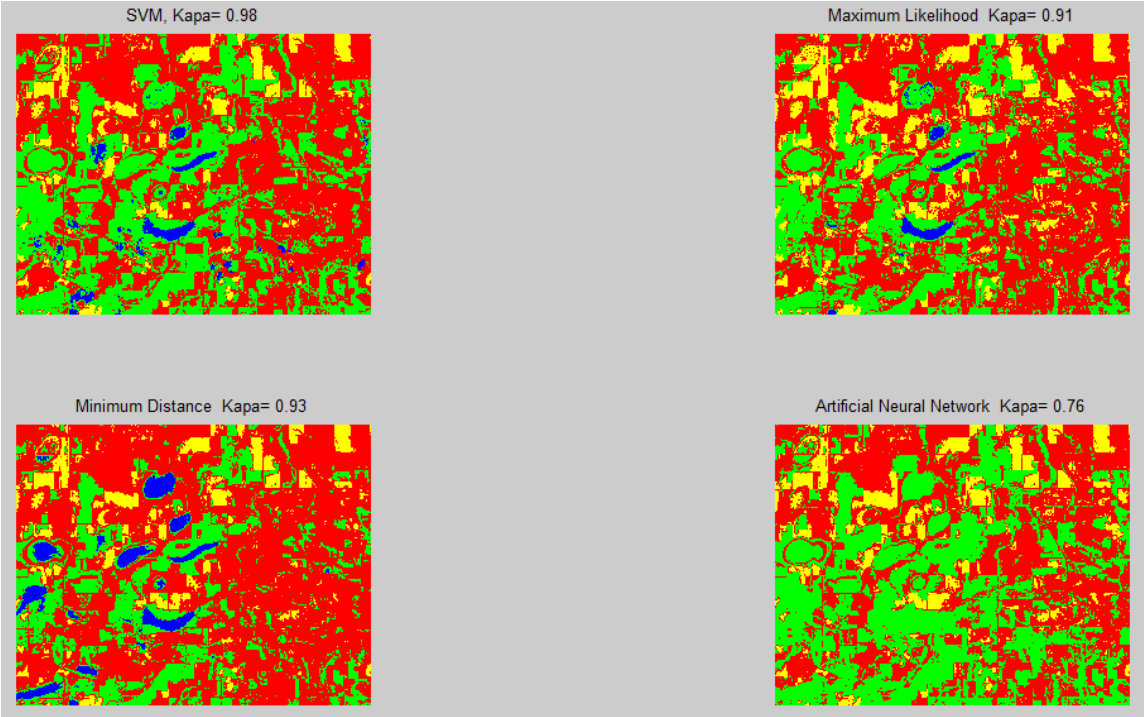


شکل ۴ :تصویر مدیس مربوط به زمان اول

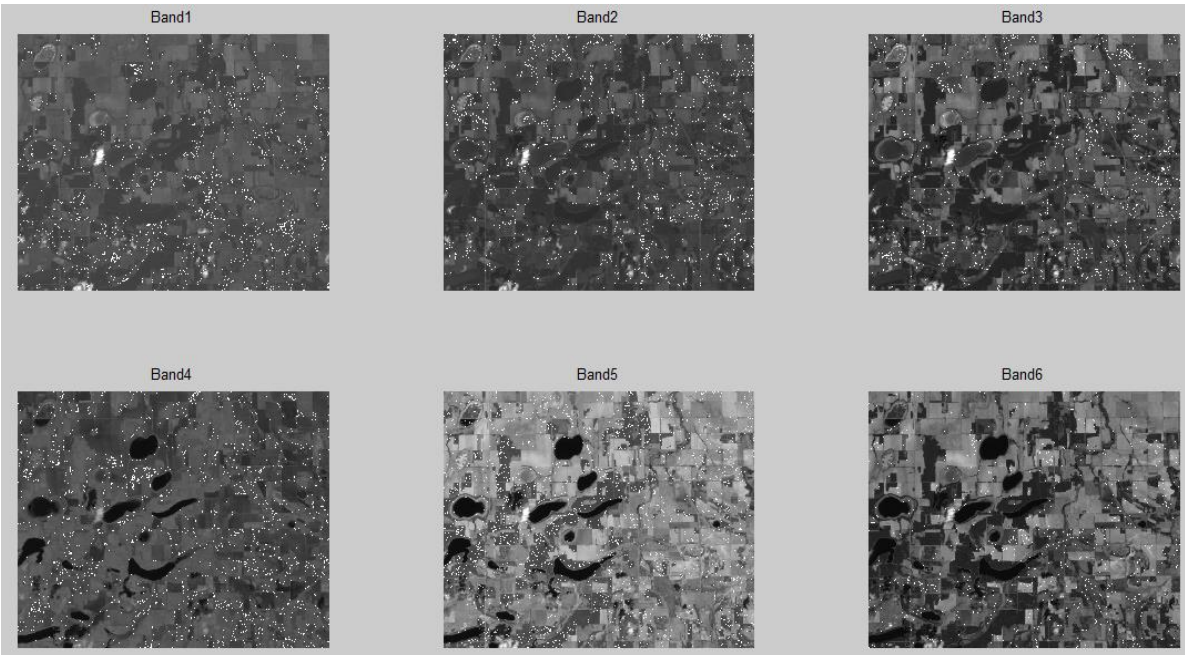


شکل ۵ :تصویر مربوط مدیس مربوط به زمان دوم

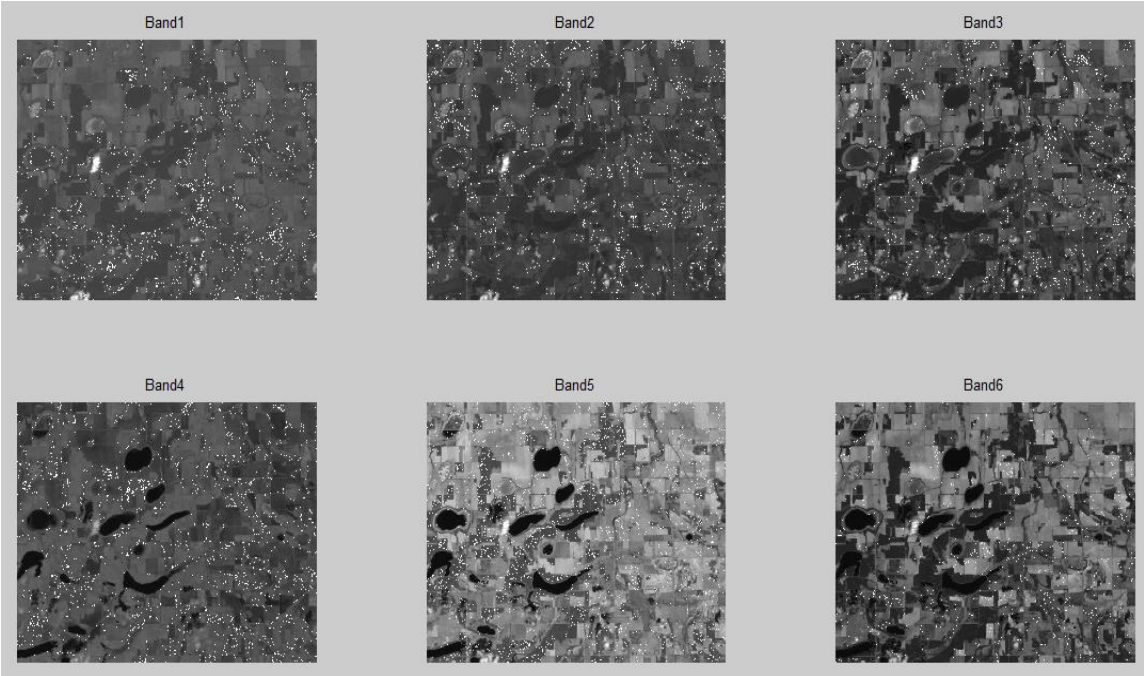
در شکل‌های۶ تا ۱۰ نتایج مربوط به روش‌های مختلف طبقه‌بندی و همچنین تصویر لندست پیش‌بینی شده با به کارگیری هر یک از آن‌ها نشان داد شده است.



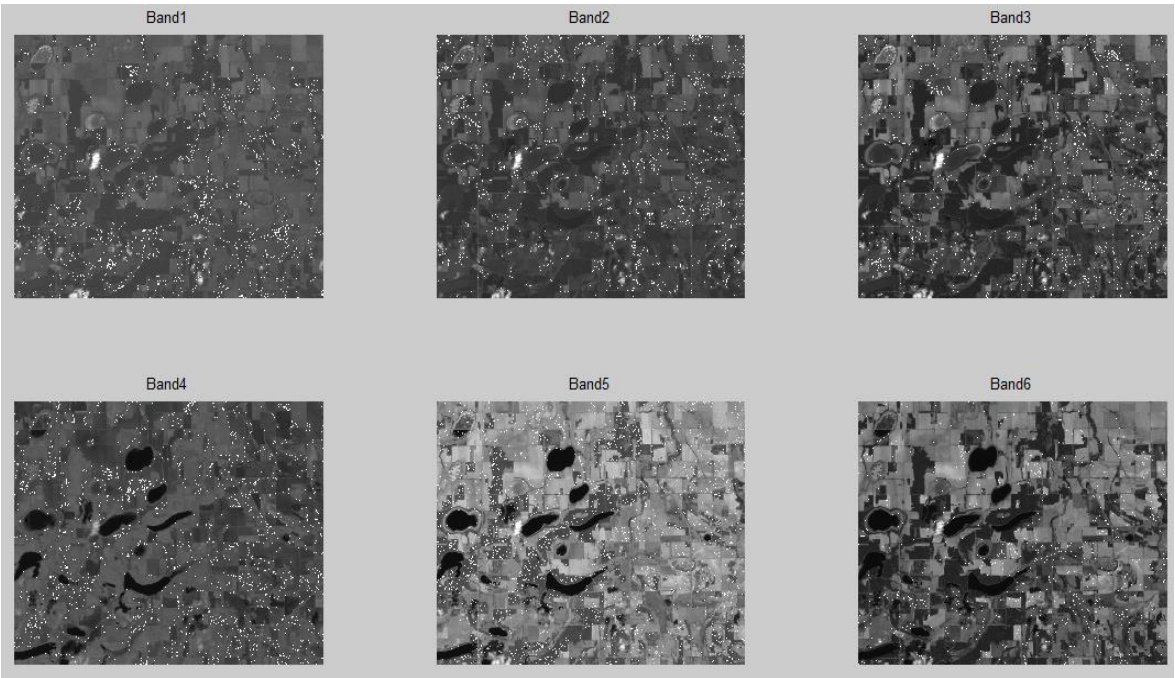
شکل ۶ : نتایج حاصل از طبقه بندی لندست زمان اول جهت اعمال الگوریتم ها



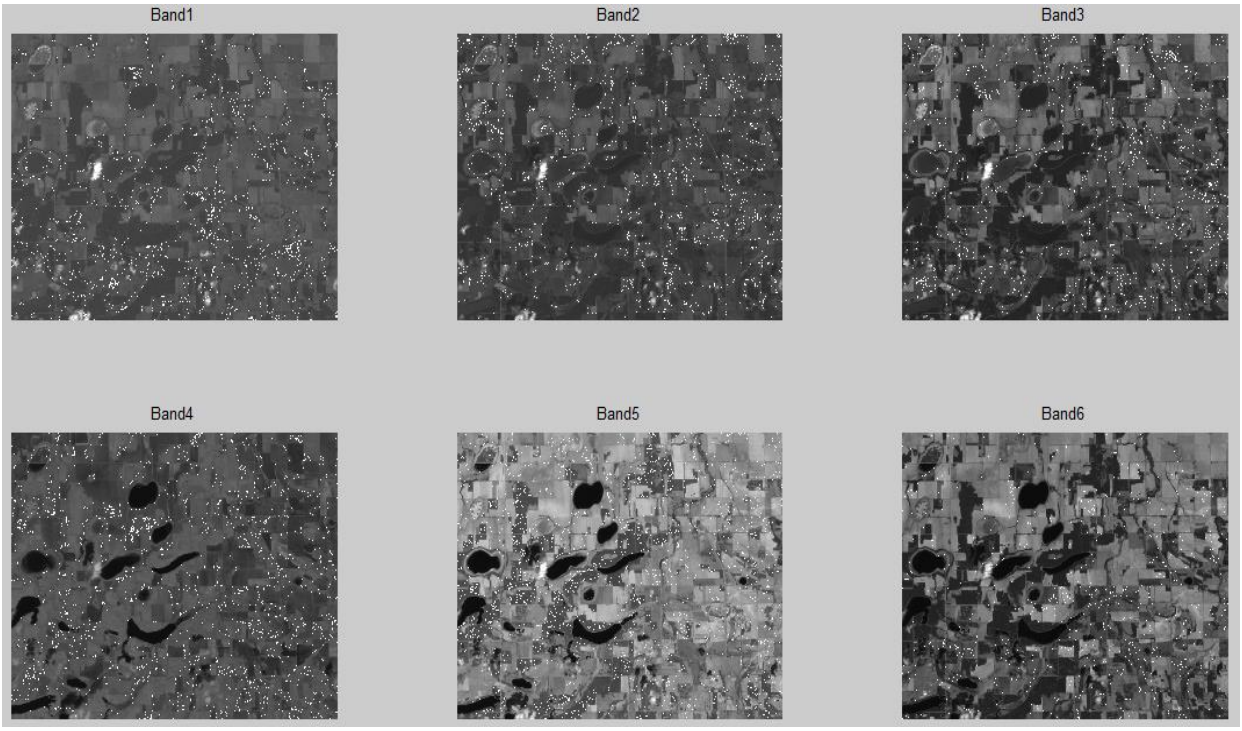
شکل۷: تصویر لندست پیش‌بینی شده توسط الگوریتم STDFM با به کارگیری طبقه‌بندی SVM.



شکل۸: تصویر لندست پیش پینی شده توسط الگوریتمSTDFM با بکارگیری طبقه بندی حداقل فاصله



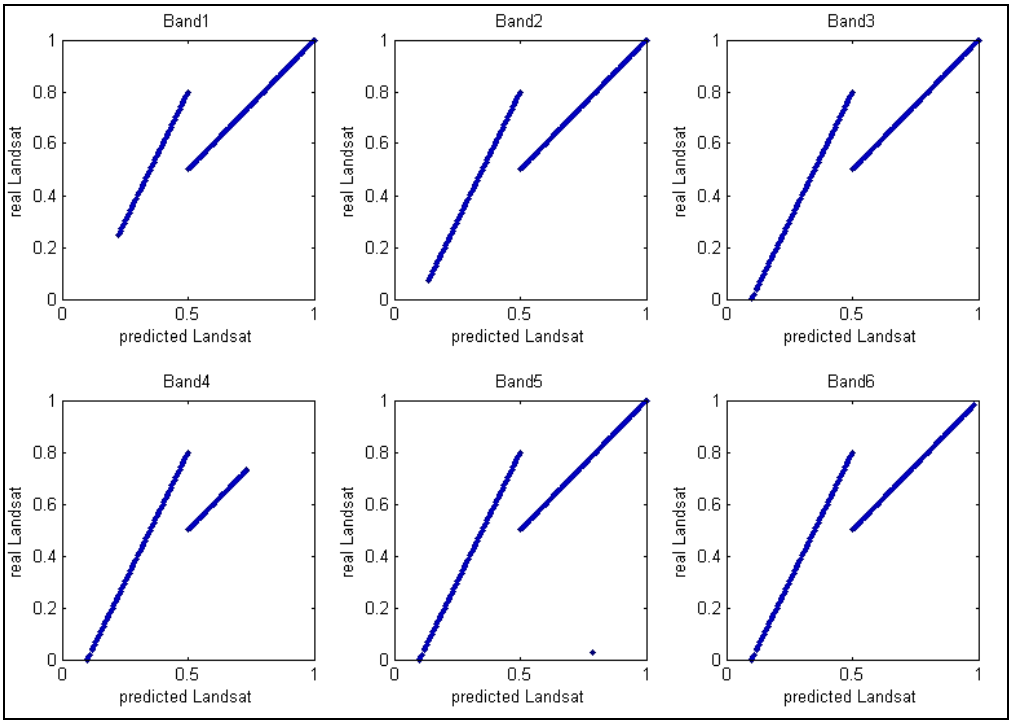
شکل۹: تصویر لندست پیش پینی شده توسط الگوریتم STDFM با بکارگیری طبقه بندی حداکثر احتمال



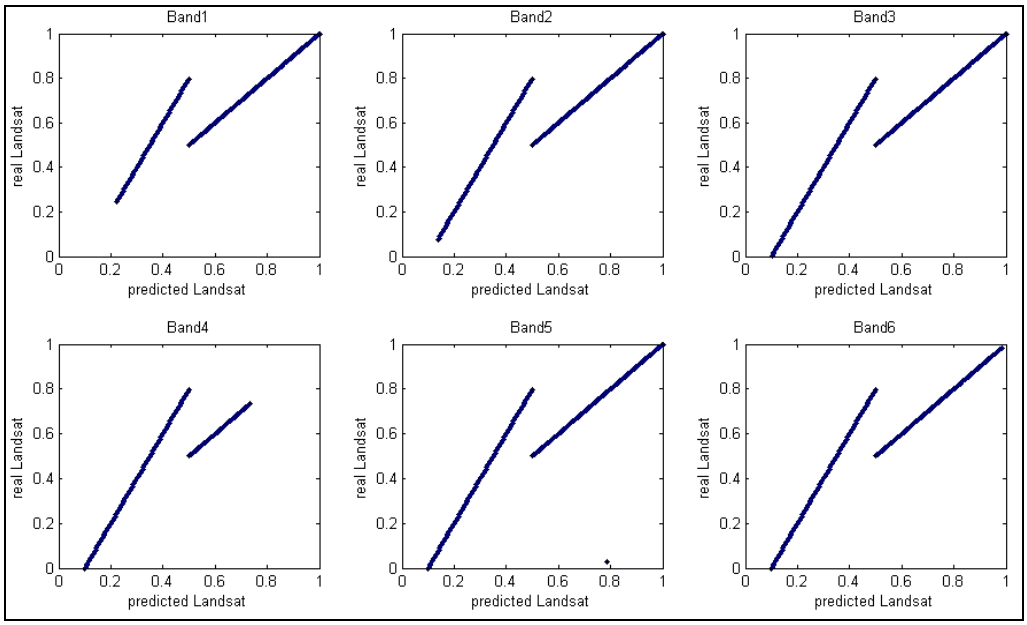
شکل۱۰: تصویر لندست پیش‌بینی شده توسط الگوریتم STDFM با به کارگیری طبقه‌بندی شبکه‌ی عصبی.

۵. اعتبار سنجی

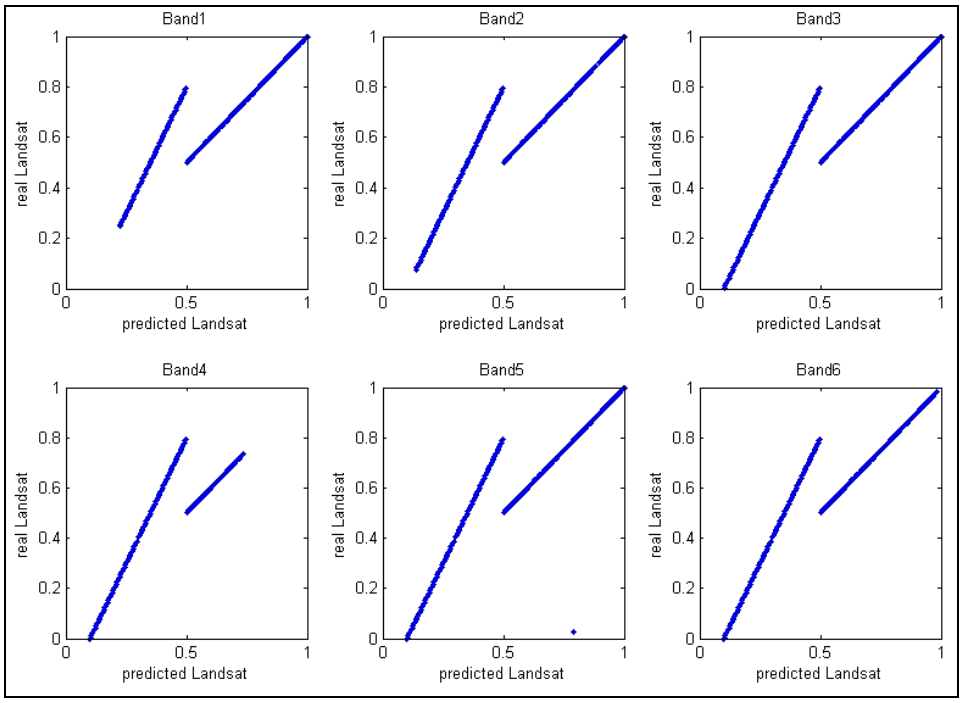
به منظور اعتبار سنجی نتایج حاصل از الگوریتم‌های ادغام زمانی- مکانی، به طور معمول از نمایش طیف‌نگار دو بعدی تصویر لندست مربوط به زمان دوم و تصویر پیش‌بینی شده توسط الگوریتم، به صورت باند به باند، استفاده می‌گردد. که این نتایج برای روش‌های مختلف مورد استفاده در اینجا در شکل‌های ۱۱تا ۱۴ آورده شده‌اند. طیف‌نگار دوبعدی شکل‌های مذکور، در واقع بیانگر میزان نزدیکی و یکسانی مقادیر بازتابندگی در تصویر لندست پیش‌بینی شده و تصویر لندست واقعی(مربوط به زمان۲) است. بنابراین هر چه مقادیر نشان داده شده در طیف‌نگارهای دوبعدی، به قطر اصلی نزدیکتر باشند و میزان پراکندگی آن‌ها نسبت به آن(خط ۴۵ درجه) کمتر باشد، الگوریتم مذکور با دقت بیشتری تصویر لندست مربوط به زمان۲ رو پیش‌بینی کرده است. با توجه به این مفهوم، نزدیکی مقادیر مشاهده شده در طیف‌نگارهای شکل‌های مذکور، بیانگر دقت مناسب الگوریتم STDFM در تخمین مقادیر بازتابندگی تصویر لندست مربوط به زمان۲ است. با این وجود مطابق با شکل‌های مذکور، مشاهده می‌گردد که برای مقادیر بازتابندگی کمتر از ۰/۵ در تصویر لندست زمان۲، الگوریتم STDFM مقادیر کمتری را پیش‌بینی کرده است. با توجه به اینکه این اثر در تمامی باندها و برای کلیه‌ی روش‌های طبقه‌بندی مورد استفاده در اینجا وجود دارد، می‌توان گفت که این نتیجه می‌تواند بر اثر وجود یک خطای ثابت و یا یک تغییر صحنه در تصویر لندست زمان۲ نسبت به زمان ۱ باشد.



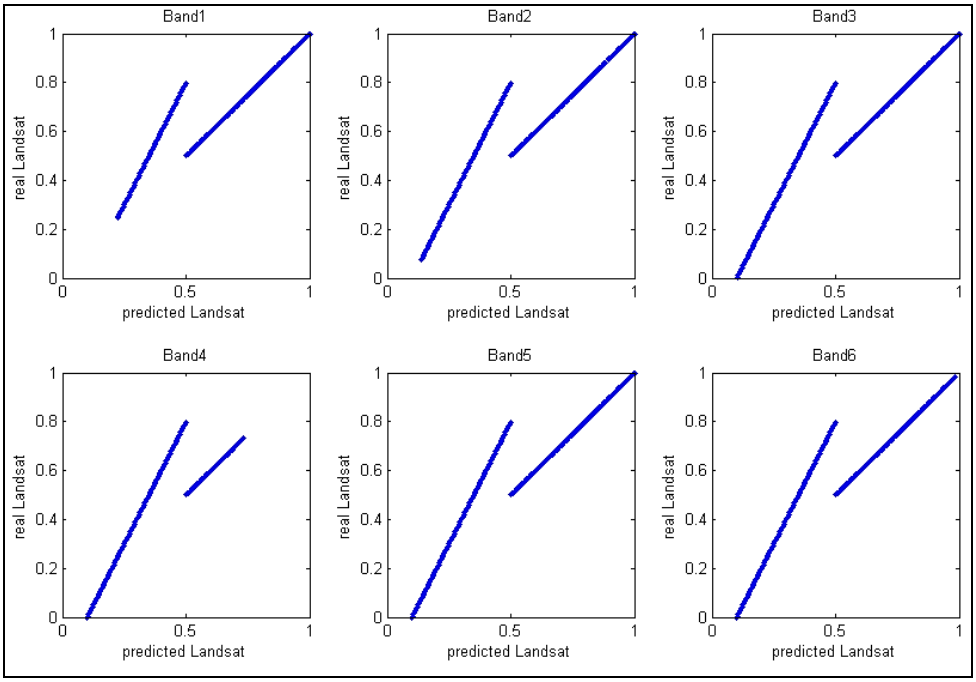
شکل۱۱: طیف نگار دوبعدی لندست واقعی و پیش‌بینی شده توسط الگوریتم STDFM(SVM).



شکل۱۲: طیف نگار دوبعدی لندست واقعی و پیش‌بینی شده توسط الگوریتم STDFM (حداقل فاصله).



شکل۱۳: طیف نگار دوبعدی لندست واقعی و پیش‌بینی شده توسط الگوریتم STDFM (حداکثر احتمال).



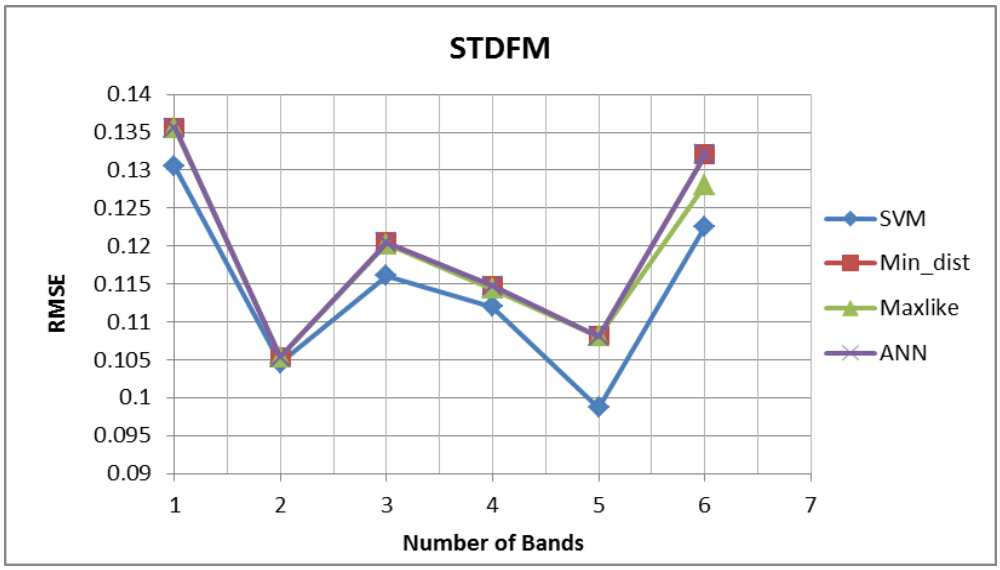
شکل۱۴: طیف نگار دوبعدی لندست واقعی و پیش‌بینی شده توسط الگوریتم STDFM (شبکه‌ی عصبی).

برای روشن‌تر شدن موضوع، لازم است تا بیان گردد که از آن جهت که در الگوریتم STDFM از تصویر لندست اولیه(زمان۱) و تصاویر مدیس مربوط به دو زمان برای تخمین لندست مربوط به زمان ثانویه استفاده می‌گردد، از این رو در بهترین حالت (در حالتی که خطاهای تصاویر لندست مربوط به زمان دوم و زمان اول در فرایند واسنجی و تبدیل درجات خاکستری به بازتابندگی یکسان باشند) اگر تغییرات ایجاد شده در صحنه در طول دوره‌ی پیش‌بینی (۱۶روزه) در تصویر مدیس مربوط به زمان دوم نسبت به زمان اول قابل تشخیص باشد، در این صورت می‌توان انتظار داشت که این تغییرات در تصویر لندست پیش‌بینی شده توسط الگوریتم فوق، در نظر گرفته می‌شود، در غیر این صورت، اگر تغییرات موجود در صحنه آن قدر کوچک باشد که توسط تصاویر مدیس قابل تعیین نباشد، بنابراین تصویر لندست تخمین زده شده، به تصویر لندست زمان۱، نزدیکتر بوده و مقادیر بازتابندگی به طور سیستماتیک کوچکتر از مقادیر بازتابندگی موجود در تصویر واقعی لندست زمان۲ خواهد بود. همچنین مشاهده می‌گردد که تصاویر لندست پیش‌بینی شده، به تصویر لندست زمان۱، کمی نزدیکتر است، که این موضوع در طیف‌نگارهای دوبعدی، با وضوح بیشتری نمایش داده شده است. با این وجود، از آن جهت که میزان پراکندگی مقادیر پیش-بینی شده و مقادیر واقعی نسبت به هم کم بوده و مقادیر در طیف‌نگار دوبعدی به صورت خط راست دیده می‌شوند، از این رو می‌توان گفت که الگوریتم STDFM ، با دقت مناسبی تصویر لندست زمان۲ را پیش‌بینی کرده است. اما وجود یک تغییرات کوچک(تغییرات واقعی و یا تغییرات کاذب به سبب وجود اتمسفر و عدم دقت کافی در مرحله‌ی واسنجی) باعث گردیده تا مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر واقعی، در بازتابندگی‌های پایین دچار یک خطای سیستماتیک شده و مقادیر بازتابندگی پیش‌بینی شده از مقادیر واقعی کوچک‌تر باشند. چرا که در رابطه‌ی ۵، مقادیر تصویر لندست برای زمان دوم حاصل جمع مقادیر بازتابندگی مربوط به تصویر لندست زمان اول و میزان تغییرات ایجاد شده در طول دوره‌ی پیش‌بینی (که حاصل اختلاف دو تصویر مدیس می‌باشد) خواهد بود. از این رو در صورتی که تغییرات ایجاد شده در طول زمان پیش‌بینی توسط تصاویر مدیس قابل تشخیص نباشند و یا مقادیر تشخیص داده شده، از مقدار واقعی کوچکتر باشد، تصویر پیش‌بینی شده به تصویر لندست زمان۱ نزدیکتر خواهد بود. اما با این وجود همواره نمی‌توان گفت که وجود تغییرات کوچک در تصویر واقعی لندست زمان دوم نسبت به زمان اول (که توسط تصاویر مدیس قابل تشخیص نبوده‌اند)، تغییرات واقعی هستند. چرا که قبل از به کارگیری الگوریتم STDFM، بایستی مقادیر درجه خاکستری تصاویر، تبدیل به بازتابندگی گردند، و از آن جهت که در فرایند تبدیل به بازتابندگی بایستی تصحیحات مطلق اتمسفری انجام گیرند، و این تصحیحات همواره با عدم قطعیت‌های مختلف همراه هستند(به واسطه‌ی کامل نبودن مدل‌های مورد استفاده، عدم وجود اطلاعات کاز ساختار اتمسفر در ناحیه‌ی مورد نظر، عدم یکسان بودن محدوده‌ی طیفی باندهای مدیس و لندست، شرایط هندسی مختلف اخذ تصاویر در دو سنسور و نظیر آن). از این رو، در بسیاری از مواقع وجود تغییراتی که توسط تصاویر مدیس قابل تشخیص نیستند، بیشتر به واسطه‌ی عدم قطعیت‌های موجود در مرحله‌ی واسنجی است. بنابراین بایستی همواره وجود خطاها و عدم قطعیت‌های بیان شده را در نظر داشت. از دیگر نتایجی که از طیف‌نگارهای شکل‌های فوق به دست می‌آید این موضوع است که در سه باند اول (باندهای مرئی) دقت الگوریتم STDFM، بیشتر است(زیرا مقدار بیشتری از داده‌های موجود در طیفنگار بر روی خط ۴۵ درجه وجود دارند). که این نتیجه بیشتر به دلیل نزدیکی محدوده‌ی طیفی باندهای مدیس و لندست در ناحیه‌ی مرئی است. به عبارتی دیگر، از آن جهت که ناحیه‌ی طیفی باندهای مرئی در سنسورهای لندست و مدیس در ناحیه‌ی مرئی همپوشانی بیشتری دارند، از این رو تغییراتی که توسط تصاویر مدیس دراین ناحیه‌ی طیفی تشخیص داده شده است بیشتر بوده و بنابراین دقت الگوریتم STDFM افزایش یافته است. و یا به زبانی دیگر، همپوشانی بیشتر طیفی در باندهای مدیس و لندست باعث می‌گردد که خطاها و عدم قطعیت‌ها در مرحله‌ی واسنجی کاهش یافته و از این رو نتایج حاصل از الگوریتم مذکور افزایش بیابند.وجود عدم تاثیر زیاد نتایج پیش‌بینی شده برای تصویر لندست زمان دوم با به کارگیری روش‌های مختلف طبقه‌بندی، می‌تواند ناشی

از بالا بودن دقت آن‌ها (ضریب کاپای تمامی روش‌های طبقه‌بندی مورد استفاده در اینجا در محدوه‌ی قابل قبول و مناسبی قرار دارد) و همچنین یکسان انتخاب کردن مقادیر بازتابندگی هر عضو خالص در تمامی باندهای تصویر لندست اولیه(برای اعمال فرایند Unmixing تصاویر مدیس) باشد. چرا که در صورت می‌بایست با تغییر باند و همچنین تصویر طبقه‌بندی شده، مقادیر بازتابندگی پیش‌بینی شده برای تصویر لندست زمان۲ تغییرات بیشتری داشته باشد(که نتایج مربوط به عدم یکسان در نظر گرفتن مقادیر بازتابندگی در باندهای مختلف، در پیوست آورده شده است). اما با این وجود نیز، چون در نهایت تصاویر طبقه-بندی حاصل از به کارگیری روش‌های مختلف طبقه‌بندی یکسان نمی‌باشند، بنابراین نتایج نهایی الگوریتم STDFM نیز یکسان نخواهد بود.

۶. بحث و نتیجه‌گیری

مطابق با نتیج به دست آده در اینجا، مشاهده گردید که در مواقعی که دقت روش‌های طبقه‌بندی در محدوده‌ی مناسبی باشند و همچنین ضریب کاپای روش‌های مذکور مقدار بزرگی باشد، نتایج نهایی الگوریتم STDFM ممکن است از لحاظ بصری تفاوت چندانی نداشته باشد با این وجود با به کارگیری یک معیار کمی مناسب، می‌توان دقت روش‌های مختلف طبقه‌بندی را متمایز کرد. بدین منظور در شکل۱۵، نتایج معیار RMSE برای نتایج حاصل از روش‌های مختلف طبقه‌بندی نشان داده شده است.



شکل۱۵: شاخص RMSE برای نتیجه‌ی حاصل از الگوریتم STDFM.

با بررسی شکل مذکور، می‌توان گفت که خطای پیش‌بینی در باندهای اول و آخر نسبت به باندهای میانی بیشتر است. که این موضوع می‌تواند به دلایل مختلفی ایجاد شده باشد، به طور مثال اگر میزان دقت عملیات واسنجی در باندهای مختلف یکسان نباشد، این نتیجه می‌تواند رخ دهد. با این وجود از آن‌جا که در اینجا به منظور افزایش دقت از فرایند هیستوگرام مچینگ نیز استفاده شده است، از این رو امکان دارد که نتیجه‌ی فوق به دلیل استفاده از آن باشد. ولی عمده‌ی مسئله و نکته در آن است که دلیل اصلی افزایش خطا در باندهای ۱و ۶، به صورت قطعی را نمی‌توان تعیین کرد، چرا که با وجود عدم قطعیت‌های فراوان

در تصاویر ماهواره‌ای(مانند تغییر در محدوده‌ی طیفی واقعی و اسمی، تغییر قدرت تفکیک مکانی با تغییر وضعیت سنجده، عدم یکسان بودن قدرت تفکیک رادیومتریکی اسمی و واقعی و نظیر آن) و همچنین عدم وجود اطلاعات کامل از اتمسفر ناحیه(به منظور تصحیح مطلق رادیومتریکی) بعلاوه کامل نبودن مدل‌های واسنجی رادیومتریکی، نمی‌توان به راحتی گفت دلایل افزایش خطا و یا کاهش خطا در یک باند مشخص ناشی از چه عواملی هستند، ولی از آن جهت که شاخص RMSE یک معیار عددی است، می‌تواند در کمی سازی دقت و نتایج بسیار مناسب باشد. با وجود عدم تعیین دقیق دلایل افزایش و کاهش خطا در باندهای خاص، می‌توان دقت نسبی روش‌های مختلف طبقه‌بندی مورد استفاده در اینجا را تعیین کرد. مطابق با شکل۱۵ ، می‌توان گفت که دقت روش طبقه‌بندی، ماشین بردار پشتیبان، نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی، بهتر بوده است. که این موضوع نشان می‌دهد با افزایش دقت طبقه‌بندی، نتایج مربوط به الگوریتم STDFM نیز بهبود خواهند یافت. از این رو اگر طبقه‌بندی تصویر(تعیین عضوهای خالص) با دقت بیشتری همراه باشند، می‌توان انتظار داشت که نتایج نهایی نیز از اعتبار بیشتری برخوردار باشند. همچنین با بررسی بیشتر شکل مذکور می‌توان به این نکته پی‌برد که از آنجا که عملکرد روش‌های مختلف طبقه‌بندی در باندهای مختلف، تقریبا یکسان می‌باشد (رفتار نمودارهای RMSE مربوط به روش‌های مختلف طبقه-بندی شبیه یکدیگر است)، که این موضوع نشان می‌دهد که افزایش و یا کاهش دقت نهایی الگوریتم STDFM در یک باند معین، ناشی از عواملی است که در روش‌های طبقه‌بندی تاثیر زیادی ندارند به عبارتی خطاهای مذکور (به طور مثال، کاهش دقت در باندهای ابتدایی و انتهایی) بیشتر به همان دلایلی است که در بالا ذکر شد. زیرا این کاهش و یا افزایش دقت در به کارگیری روش‌های مختلف طبقه‌بندی یکسان می‌باشد.

۷. منابع

Amorós-López, J., Gómez-Chova, L., Alonso, L., Guanter, L., Zurita-Milla, R., Moreno, J., & Camps-Valls, G. (2013). Multitemporal fusion of Landsat/TM and ENVISAT/MERIS for crop monitoring. International journal of Applied earth observation and Geoinformation, 23, 132-141.

Gevaert, C. M., & García-Haro, F. J. (2015). A comparison of STARFM and an unmixing-based algorithm for Landsat and MODIS data fusion. Remote sensing of Environment, 156, 34-44.

Fu, D., Chen, B., Wang, J., Zhu, X., & Hilker, T. (2013). An improved image fusion approach based on enhanced spatial and temporal the adaptive reflectance fusion model. Remote Sensing, 5(12), 6346-6360.

Feng, M., Sexton, J. O., Huang, C., Masek, J. G., Vermote, E. F., Gao, F., ... & Townshend, J. R. (2013). Global surface reflectance products from Landsat: Assessment using coincident MODIS observations. Remote Sensing of Environment, 134, 276-293.

Gao, F., Masek, J., Schwaller, M., & Hall, F. (2006). On the blending of the Landsat and MODIS surface reflectance: Predicting daily Landsat surface reflectance. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 44(8), 2207-2218.

Haq, M., Akhtar, M., Muhammad, S., Paras, S., & Rahmatullah, J. (2012). Techniques of remote sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: a case study of Sindh province, Pakistan. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 15(2), 135-141.

Hilker, T., Wulder, M. A., Coops, N. C., Seitz, N., White, J. C., Gao, F., ... & Stenhouse, G. (2009). Generation of dense time series synthetic Landsat data through data blending with MODIS using a spatial and temporal adaptive reflectance fusion model. Remote Sensing of Environment, 113(9), 1988-1999.

Kostiuk, M. (2002). Using Remote Sensing Data to Detect Sea Level Change. INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 34(1), 105-113.

Notarnicola, C., Duguay, M., Moelg, N., Schellenberger, T., Tetzlaff, A., Monsorno, R., ... & Zebisch, M. (2013). Snow cover maps from MODIS images at 250 m resolution, Part 1: Algorithm description. Remote Sensing, 5(1), 110-126.

Ochego, H. (2003, December). Application of remote sensing in deforestation monitoring: a case study of the Aberdares (Kenya). In 2nd FIG Regional Conference. Marrakech, Morocco.

Ramachandra, T. V., & Kumar, U. (2004, September). Geographic Resources Decision Support System for land use, land cover dynamics analysis. In Proceedings of the FOSS/GRASS Users Conference (pp. 12-14).

Römer, H., Willroth, P., Kaiser, G., Vafeidis, A. T., Ludwig, R., Sterr, H., & Revilla Diez, J. (2012). Potential of remote sensing techniques for tsunami hazard and vulnerability analysis–a case study from Phang-Nga province, Thailand. Natural Hazards and Earth System Science, 12(6), 2103-2126.

Samarasinghea, S. M. J. S., Nandalalb, H. K., Weliwitiyac, D. P., Fowzed, J. S. M., Hazarikad, M. K., & Samarakoond, L. (2010). Application of remote sensing and GIS for flood risk analysis: a case study at Kalu-Ganga river, Sri Lanka. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, 38(Pt 8), 110-115.

Schaaf, C. B., Gao, F., Strahler, A. H., Lucht, W., Li, X., Tsang, T., ... & Lewis, P. (2002). First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS. Remote sensing of Environment, 83(1), 135-148.

Walker, J. J., De Beurs, K. M., Wynne, R. H., & Gao, F. (2012). Evaluation of Landsat and MODIS data fusion products for analysis of dryland forest phenology. Remote Sensing of Environment, 117, 381-393.

Zeng, Y., Zhang, J., & Van Genderen, J. L. (2006). Comparison and analysis of remote sensing data fusion techniques at feature and decision levels. In ISPRS Commission VII Mid-term Symposium" Remote Sensing: From Pixels to Processes.

Zhang, W., Li, A., Jin, H., Bian, J., Zhang, Z., Lei, G., ... & Huang, C. (2013). Article An Enhanced Spatial and Temporal Data Fusion Model for Fusing Landsat and MODIS Surface Reflectance to Generate High Temporal Landsat-Like Data.