3rd. International Conference on

RESEARCH IN SCIENCE & TECHNOLOGY

CERTIFICATE

Certification of Oral Presentation

Dear Researcher **Rouzbeh Shad**

Hereby certifies that the scientific paper as:

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

Has been approved by the **scientific committee** in **3rd International Conference on Research in Science and Technology which was held on July 9th 2016 in Berlin-Germany**.

Scientific Committee Chairman

Dr. Ahmad Asadzadeh

9 July . 2016

www.3rstconf.com

BERLIN - GERMANY

3rd. International Conference on

RESEARCH IN SCIENCE & TECHNOLOGY

CERTIFICATE

Certification of Oral Presentation

Dear Researcher **Ali Rakhsh Mahpour**

Hereby certifies that the scientific paper as:

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

Has been approved by the **scientific committee** in **3rd International Conference on Research in Science and Technology which was held on July 9th 2016 in Berlin-Germany.**

Scientific Committee Chairman

Dr. Ahmad Asadzadeh

www.3rstconf.com

9 July . 2016

BERLIN - GERMANY

3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON RESEARCH IN SCIENCE AND TECHNOLOGY
BERLIN . GERMANY 9 July, 2016
سومین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی
برلین - آلمان ۱۹ تیرماه ۱۳۹۵

ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی تصویر بر عملکرد الگوریتم STARFM

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

روزبه شاد
استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(Rouzbeh_shad@yahoo.com)

چکیده

امروزه به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای به عنوان ابزاری مناسب جهت پایش پدیده‌های مختلف مبدل گشته است. با این وجود، ماهواره‌هایی که تصاویر آن‌ها به صورت روزانه در دسترس هستند، دارای قدرت تفکیک مکانی پایینی هستند. از این رو نمی‌توان پدیدهای روزانه را با دقت مکانی مناسب مورد پایش قرار داد. اما در سال‌های اخیر توسعه‌ی الگوریتم‌های ادغام زمانی- مکانی تصاویر ماهواره‌ای این امکان را فراهم آورده است. الگوریتم STARFM از جمله معروفترین الگوریتم‌های ادغام زمانی- مکانی است. طبقه‌بندی مناسب تصویر از جمله مهمترین گام‌های اولیه الگوریتم‌های مذکور است. از این رو در این تحقیق، دقت روش‌های مختلف طبقه‌بندی تصویر بر عملکرد الگوریتم STARFM ، در ادغام تصاویر لندست و مدیس، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که دقت مراحل پیش‌پردازش و دیگر خطاها به طور مستقیم بر نتایج الگوریتم مذکور تاثیرگذار بوده و هر چه ناحیه‌ی مورد بررسی هموژن‌تر باشد دقت نهایی افزایش خواهد یافت. همچنین عامل یکنواختی و هموژنی بسیار بیشتر از دقت روش‌های طبقه‌بندی تصویر، تاثیر گذار است و در نواحی غیر یکنواخت، افزایش ضریب کاپا، لزوما دقت الگوریتم مذکور را بهبود نخواهد بخشید. بعلاوه، دیگر عوامل خطا (مانند یکسان نبودن محدوده‌ی طیفی) باعث تاثیرات چشمگیری در نتایج خواهند شد.

واژگان کلیدی: ادغام، زمانی- مکانی، طبقه‌بندی تصویر، تصاویر ماهواره‌ای.

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) 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.

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

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 سنجنده ی 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 STARFM

این الگوریتم بر مبنای محاسبه‌ی اوزان مناسب پیکسل‌های همسایه، مقدار پیکسل مرکزی را در تصویر لندست زمان دوم پیش‌بینی خواهد کرد. بنابراین این الگوریتم به صورت یک پنجره‌ی لغزان بر روی تصویر طبقه‌بندی شده‌ی لندست زمان

اول، لغزانده شده و با توجه به تصاویر زمان اول و دوم مدیس و تصویر طبقه‌بندی شده‌ی لندست مربوط به زمان۱، اعمال خواهد شد. در یک پیکسل غیر هموژن مدیس رابطه‌ی (۱) را به صورت زیر می‌توان نوشت.

$$C_t = \sum(F_i^t \times A_i^t) \qquad (۱)$$

که در آن (Ct) بازتابندگی در مدیس، F_i^t بازتابندگی در لندست و A_i^t درصد تشکیل دهنده‌ی F_i^t در پیکسل C_t می‌باشند. به عبارتی F_i^t را می‌توان بازتابندگی پیکسل‌های هموژن لندست در نظر گرفت. اگر به نحوی F_i^t را بتوان از طریق پیکسل‌های همسایه در تصویر مدیس به دست آورد (زیرا ممکن است در یک زمان خاص تصویر لندست موجود نباشد)، آن‌گاه نتایج بهبود خواهند یافت. از این رو گام اصلی پیدا کردن پیکسل‌های همسایه هموژن و طیفی یکسان است. برای یک پیکسل هموژن مدیس، بازتابندگی مشاهده شده توسط لندست از رابطه (۲) به دست می‌آید. با توجه به آن‌که پیکسل مدیس هموژن می‌باشد، (یعنی تعداد پیکسل‌های لندستی که در آن قرار می‌گیرند، همگی دارای بازتابندگی یکسانی هستند)، در نتیجه میانگین پیکسل‌های لندستی که به عنوان بازتابندگی در پیکسل مدیس قرار می‌گیرند، یکسان در نظر گرفته خواهد شد. بنابراین رابطه‌ی مذکور منطقی خواهد بود.

$$L(x_i, y_j, t_k) = M(x_i, y_j, t_k) + \varepsilon_k \qquad (۲)$$

در رابطه‌ی (۲)، (x_i, y_j) موقعیت پیکسل داده شده برای تصاویر لندست و مدیس و t_k تاریخ اکتساب دو تصویر مدیس و لندست در نظر گرفته می‌شوند. همچنین، ε_k نشان دهنده‌ی تفاوت بین بازتاب سطحی مشاهده شده مدیس و لندست (ناشی از پهنای باند مختلف و هندسه‌ی متفاوت خورشید) می‌باشد. لذا با فرض ثابت بودن ε_k در طول دوره‌ی پیش‌بینی و همچنین این موضوع که در طول دوره‌ی پیش‌بینی، t_0 و t_k ، تغییری در خطاهای سیستمی در پیکسل (x_i, y_j) اتفاق نیافتد، معادله‌ی $\varepsilon_0 = \varepsilon_k$ برقرار خواهد بود. در نتیجه، رابطه (۳) بازتابندگی لندست را به صورت زیر پیش‌بینی خواهد نمود.

$$L(xi, yj, t0) = M(xi, yj, t0) + \big(L(xi, yj, tk) - M(xi, yj, tk) \big) \qquad (۳)$$

رابطه‌ی مذکور برای پیکسل‌های هموژن در تصویر مدیس کاملا منطقی خواهد بود (بدین مفهوم که در پیکسل‌های هموژن دارای اعتبار می‌باشد). باید توجه داشت که اگر رابطه‌ی (۳) در تمامی سطح تصویر مورد استفاده قرار گیرد باعث بروز چندین مشکل اساسی خواهد شد.

الف- تمام پیکسل‌های مدیس همواره هموژن و یکنواخت نیستند.

ب- در طول دوره‌ی پیش‌بینی نوع پوشش زمین تغییر نموده و ممکن است که پیکسلی که در زمان t0 در مدیس هموژن باشد، در زمان (t0) دیگر هموژن نباشد.

ج- در طول دوره پیش بینی، تغییرات BRDF و آب و هوایی در نظر گرفته نمی‌شوند.

بدین منظور، با استفاده از اطلاعات اضافی حاصل از همسایگی پیکسل‌های مدیس و تابع وزن، بازتابندگی مشاهده شده توسط لندست را به صورت زیر می‌توان تعریف نمود.

$$L(x_{w/2}, y_{w/2}, t_0) = \sum\sum\sum W_{ijk} \times (M(xi, yj, t0) + L(xi, yj, t_k) - M(xi, yj, t_k)) \qquad (۴)$$

برای اطمینان از اینکه در رابطه (۴) اطلاعات صحیحی قرار گرفته و پیکسل‌های همسایه هموژن هستند، تنها از پیکسل‌های طیفی مشابه (که به یک کلاس طیفی تعلق دارند) استفاده می‌شود. بنابراین یک تصویر لندست اولیه‌ی طبقه بندی شده، مورد نیاز خواهد بود. دلیل این موضوع آن است که پیکسل‌های مشابه از نظر طیفی، از طریق تصویر لندست اولیه قابل استخراج هستند.

برای به دست آوردن بازتابندگی لندست در مناطقی که هموژن نیستند، از همسایه‌های هموژن آن منطقه می‌توان استفاده نمود (رابطه (۱))، زیرا در همسایه‌های هموژن، مقدار بازتابندگی مدیس و لندست یکسان می‌باشند. بنابراین با توجه به معلوم بودن بازتابندگی مدیس، بازتابندگی همسایه‌های هموژن پیکسل مرکزی پنجره را نیز همان بازتابندگی مدیس می‌توان در نظر گرفت. همچنین، با دادن وزن به همسایه های هموژن، میزان بازتابندگی برای یک پیکسل مشخص از تصویر لندست قابل پیش‌بینی می‌باشد. در نتیجه، اساس فرآیند مذکور، پیدا کردن پیکسل‌های هموژن موجود در اطراف پیکسل مرکزی در تصویر لندست اولیه خواهد بود. وزن Wijk، میزان مشارکت پیکسل‌های همسایه مرکزی را در تخمین بازتابندگی بیان می‌کند. برای محاسبه وزن Wijk در نظر گرفتن سه پارامتر زیر ضروری است.

الف- اختلاف بین بازتابندگی MODIS و+ETM در مکانی معین، به‌صورت زیر می‌باشد.

$$S_{ijk} = |L(x_i, y_j, t_k) - M(x_i, y_j, t_k)| \qquad (۵)$$

این تخمین در واقع اختلاف بازتابندگی لندست و متوسط بازتابندگی همسایه‌های آن (مدیس) را نشان می‌دهد. بنابراین هرچه اختلاف کمتر باشد، به مفهوم یکسان بودن (و یا هموژن بودن) پیکسل مدیس در آن نقطه خواهد بود. همچنین بازتابندگی مدیس در آن نقطه وزن بزرگتری را خواهد داشت. در بعضی مواقع ممکن است که بازتابندگی لندست با بازتابندگی متوسط آن در همسایه‌ها (بازتابندگی مدیس) یکسان باشد. اما به دلیل وجود تغییرات زمانی، شرایط برابری مذکور از بین خواهد رفت. لذا در این مواقع، لازم است که اندازه‌گیری‌های دیگری مانند تغییرات زمانی بازتابندگی مدیس نیز انجام گیرد. لذا در نواحی غیر

هموژن، میزان دقت کار افزایش می‌یابد. به عبارتی تغییرات اندک بازتابندگی مدیس، باعث اطمینان بیشتر در مناطق غیر هموژن خواهد شد.

ب- رابطه‌ی (۶) تغییرات زمانی بازتابندگی پیکسل مورد نظر در مدیس را نشان می‌دهد که به صورت زیر می‌باشد.

$$T_{ijk} = |M(x_i, y_j, t_k) - M(x_i, y_j, t_0)| \qquad (۶)$$

این تغییرات هر اندازه کوچکتر باشند، وزن Wijk افزایش خواهد یافت. دلیل این موضوع آن است که تغییر صحنه در طول فرآیند پیش‌بینی تغییر نمی‌کند. اما اگر تغییرات به وجود آمده آن‌قدر ناچیز بوده که توسط اختلاف پیکسل‌های مدیس قابل تشخیص نباشند، در این صورت الگوریتم مذکور قادر نخواهد بود که آن را مشخص کند. همچنین اگر دو تغییر متضاد ایجاد شده که باعث خنثی شدن تغییرات کلی شود، بازهم الگوریتم مذکور قادربه تشخیص آن نخواهد بود.

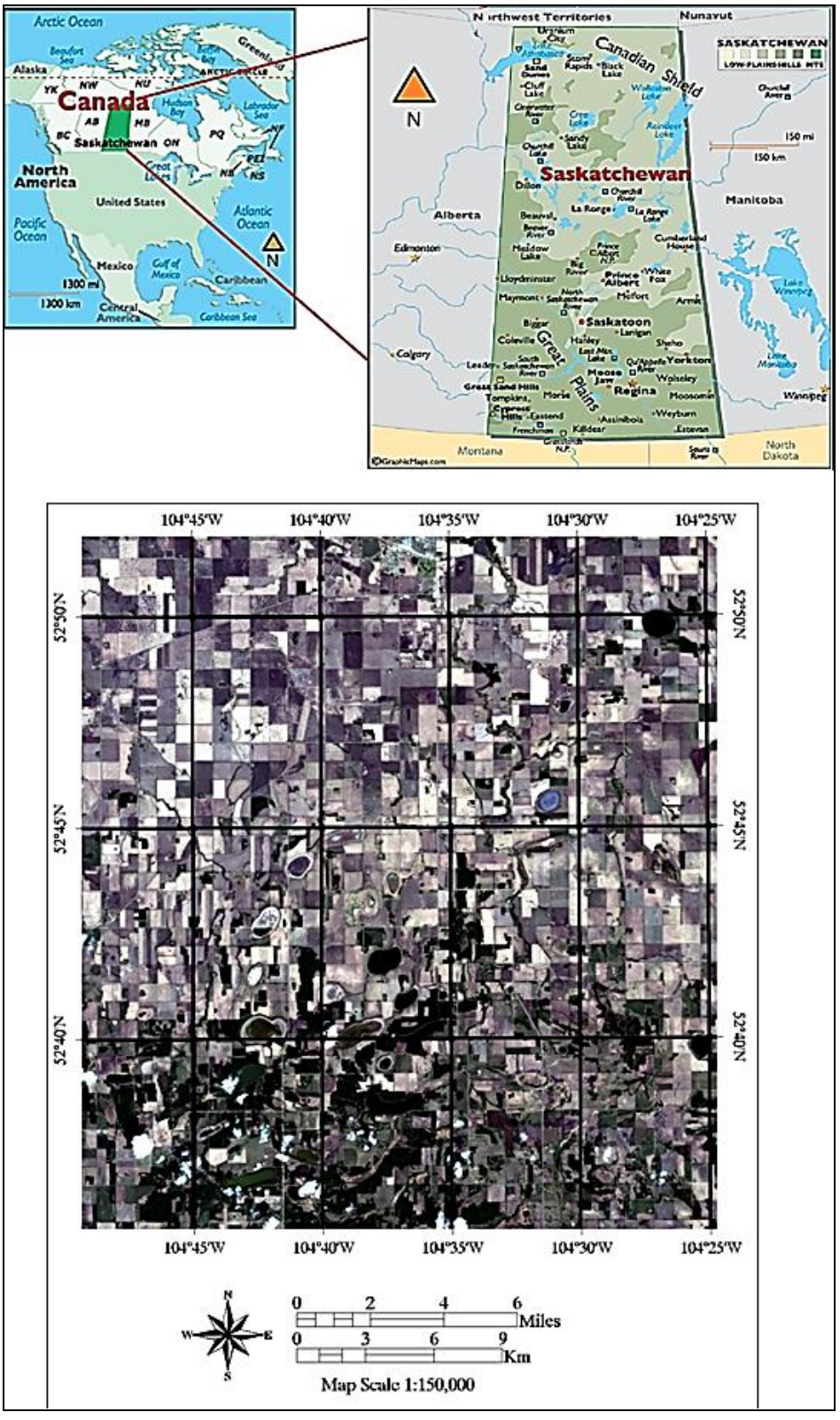
ج- اختلاف مسطحاتی (فاصله مکانی) بین پیکسل مرکزی (xw/2, yw/2) و پیکسل کاندید (xi, yj)، که بیانگر مناطق هموژن هستند، در تاریخ tk به شرح زیر خواهد بود.

$$d_{ijk} = \sqrt{\left(X_{\frac{W}{2}} - X_i\right)^2 + \left(Y_{\frac{W}{2}} - Y_i\right)^2} \qquad (۷)$$

در این فرمول، فاصله مکانی بین پیکسل مرکزی پیش‌بینی شده و پیکسل مشابه طیفی پیرامونی (همسایه) کاندید اندازه‌گیری می‌شود. لذا هرچه فاصله d کمتر باشد، مقدار وزن بزرگتر خواهد شد. وزن هر پیکسل همسایه(Wijk) از ضرب روابط(۵) تا (۷) حاصل میگردد.

۳. منطقه‌ی مطالعاتی

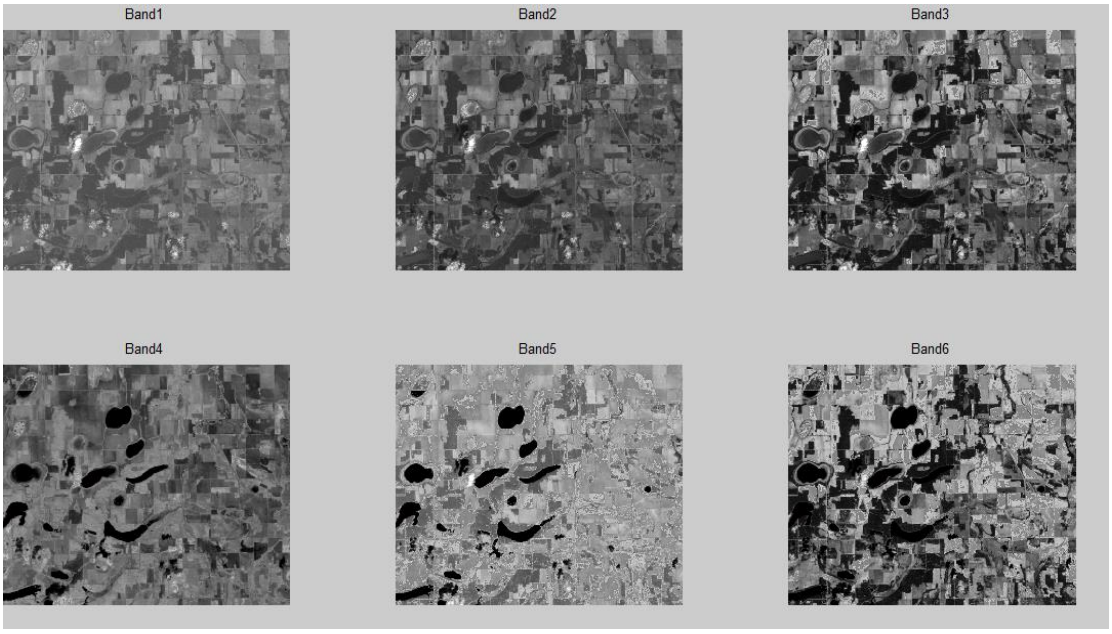
محدوده تحت بررسی در این تحقیق در کشور کانادا واقع می‌باشد. این استان از نظر موقعیت جغرافیایی به دوبخش شرقی و غربی تقسیم شده است. ساسکاچوان(Saskatchewan) یکی از استان‌های کانادا و با گستردگی ۶۵۱۹۰۰ کیلومتر مربع و مرکزیت شهری به نام رجینا و از شرق به منیتبا (Manitoba) و از غرب به آلبرتا (Alberta) از شمال به نواحی شمال غرب Northwest (Territories) و از جنوب به ایالات متحده آمریکا (USA) محدود می‌شود. (شکل۱).



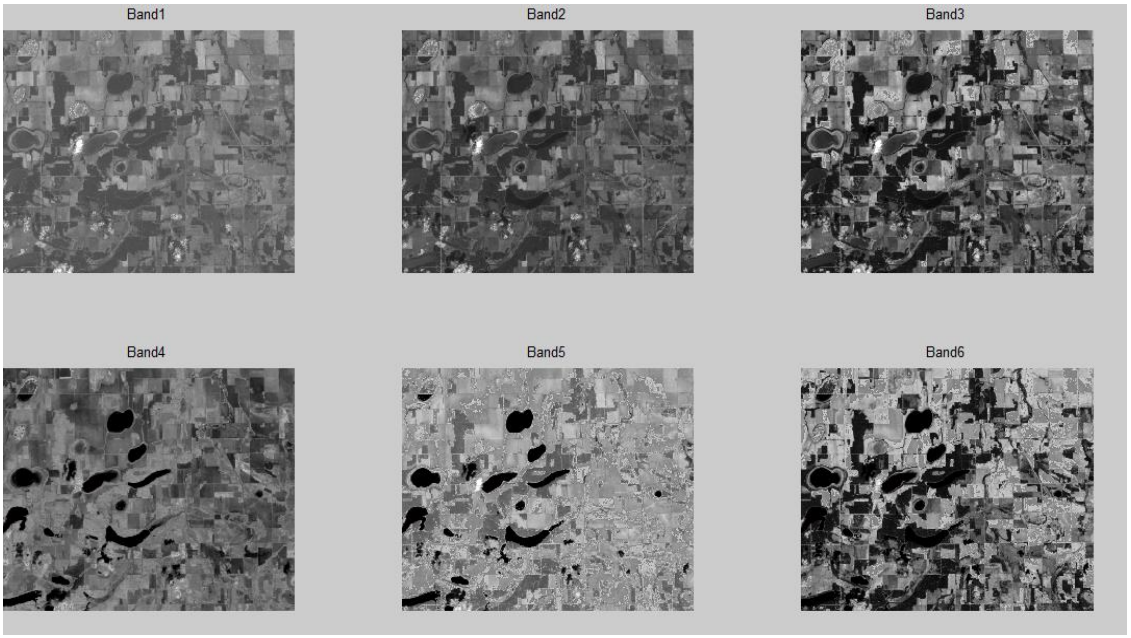
شکل۱: منطقه‌ی مطالعاتی

۴. نتایج

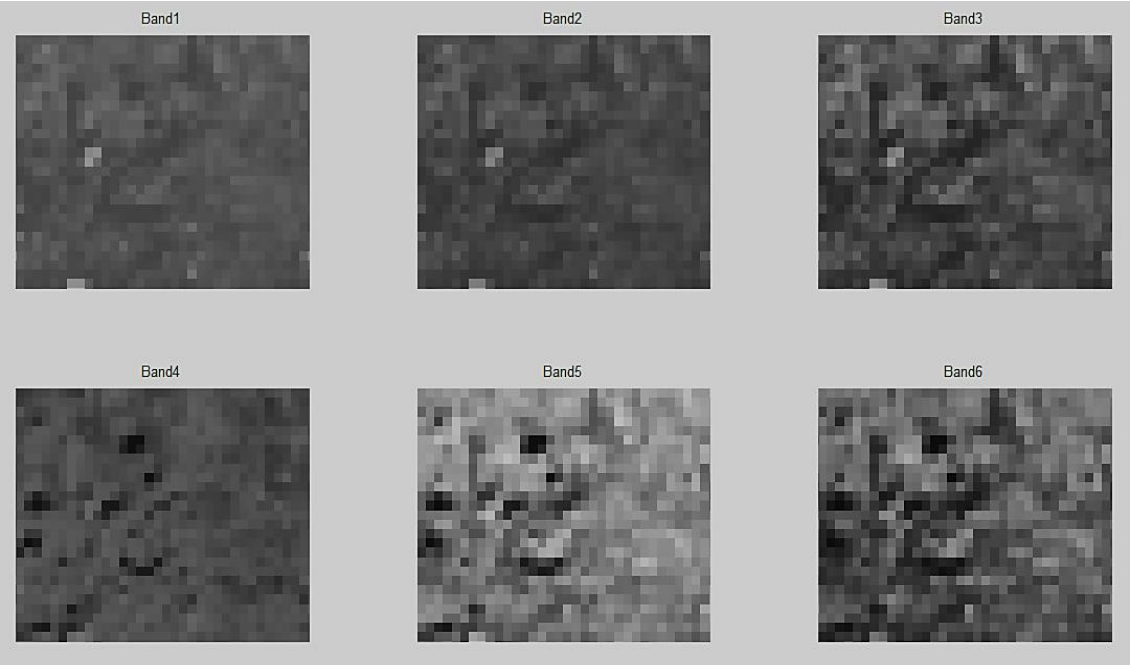
به منظور امکان مقایسه‌ی بصری، در شکل‌های۲ تا ۵، تصاویر لندست و تصاویر مدیس مورد استفاده آورده شده‌اند.



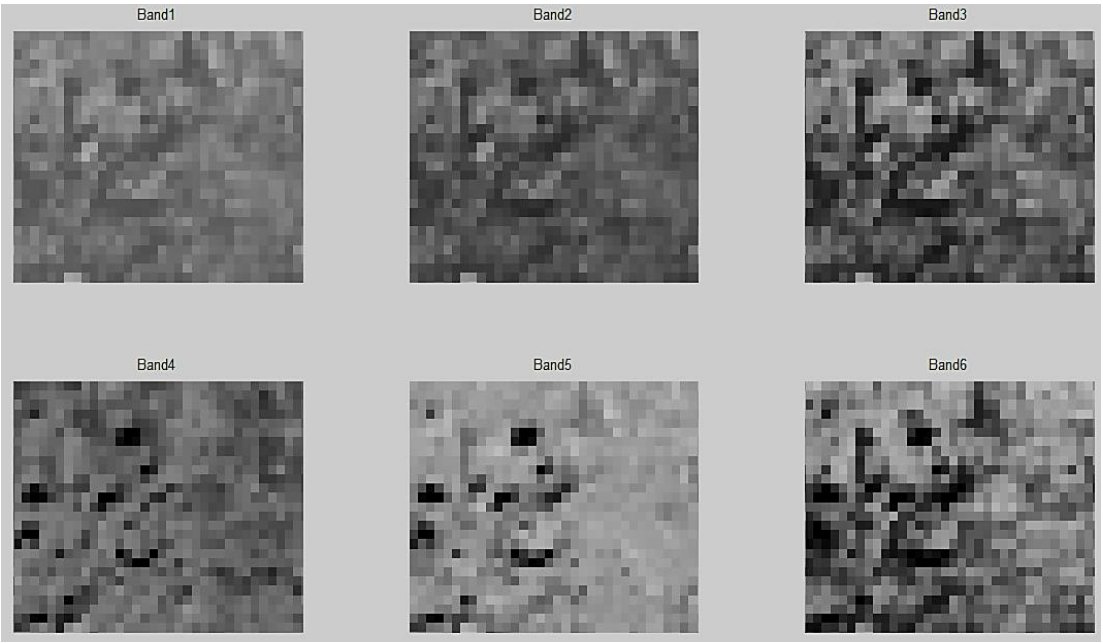
شکل۲: تصویر لندست مربوط به زمان۱.



شکل۳: تصویر لندست مربوط به زمان دوم.

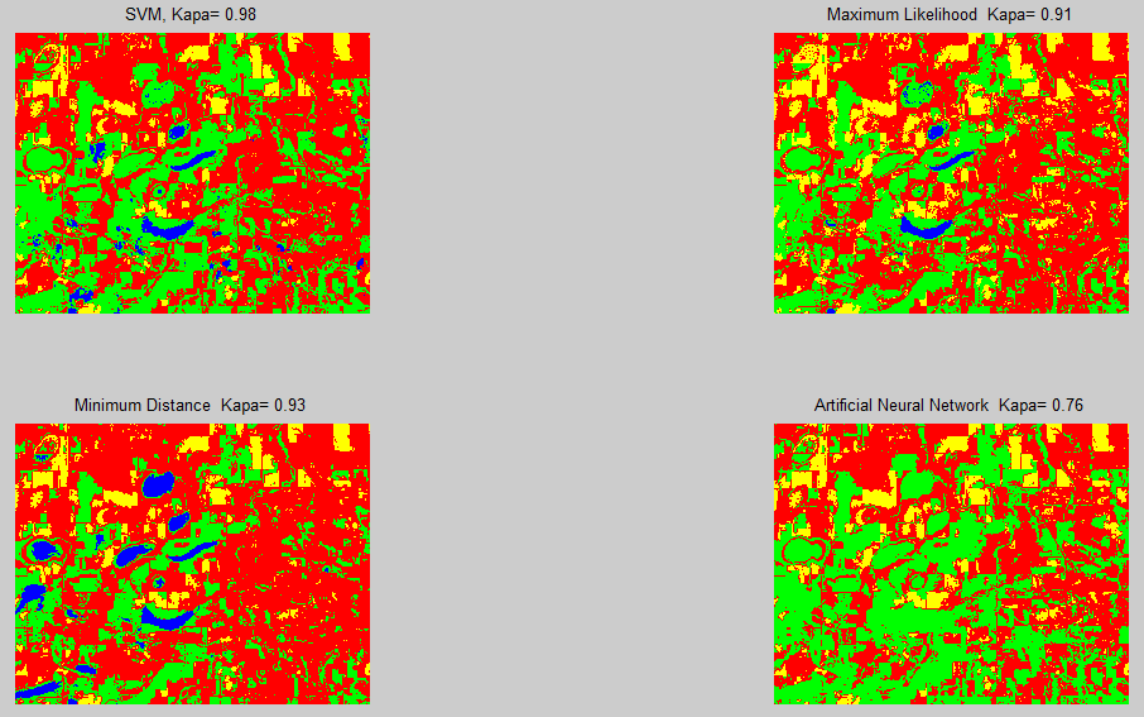


شکل ۴ :تصویر مدیس مربوط به زمان اول

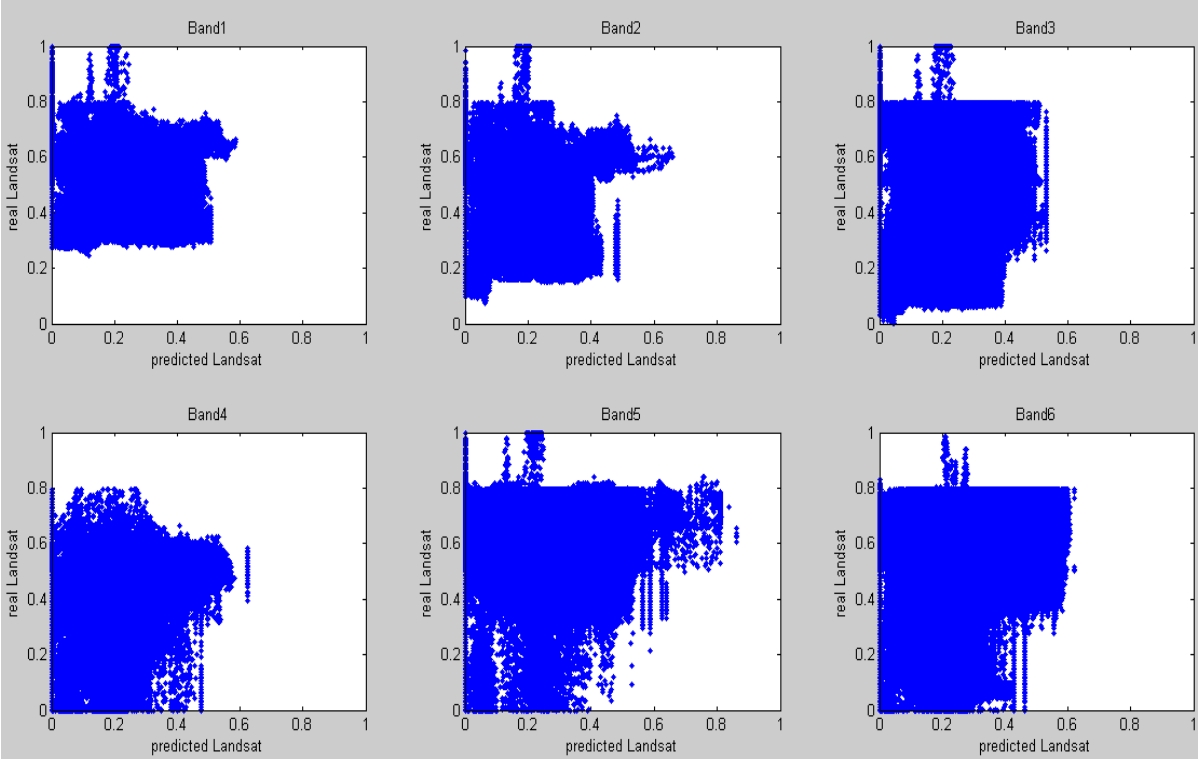


شکل ۵ :تصویر مربوط مدیس مربوط به زمان دوم

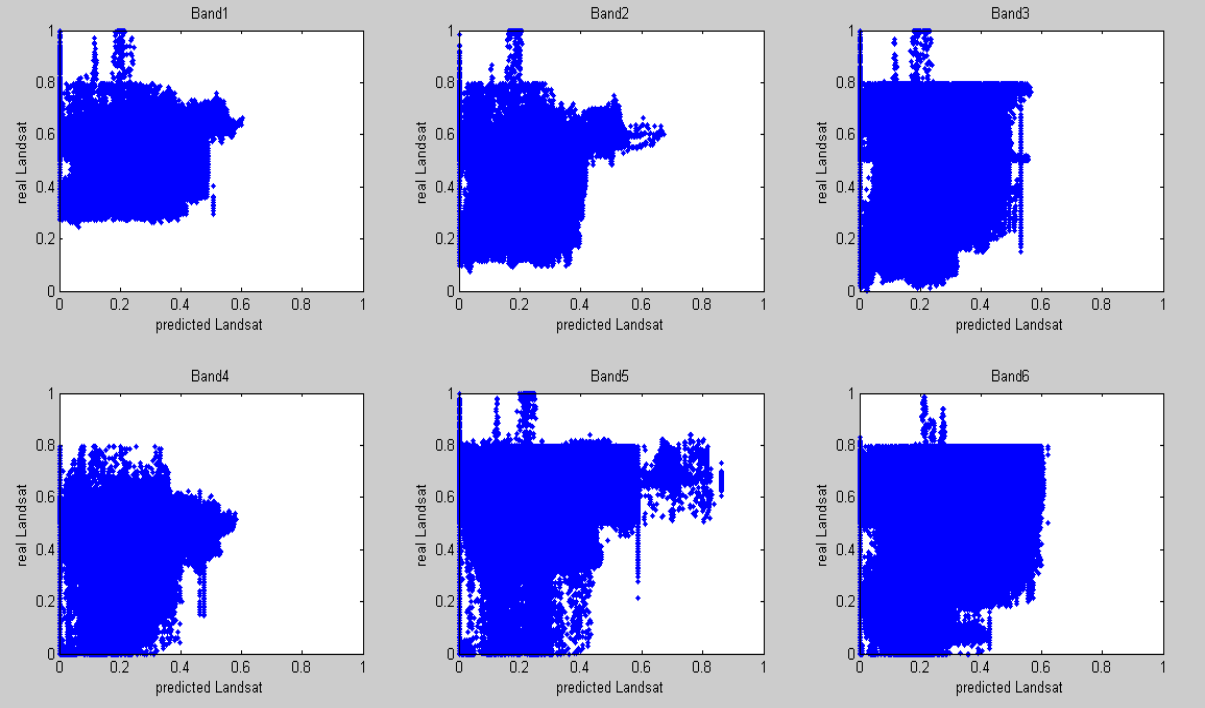
در شکل‌های۶ تا ۱۰ نتایج مربوط به روش‌های مختلف طبقه‌بندی و طیف‌نگار دوبعدی تصویر لندست زمان دوم و لندست پیش‌بینی شده، آورده شده‌اند.



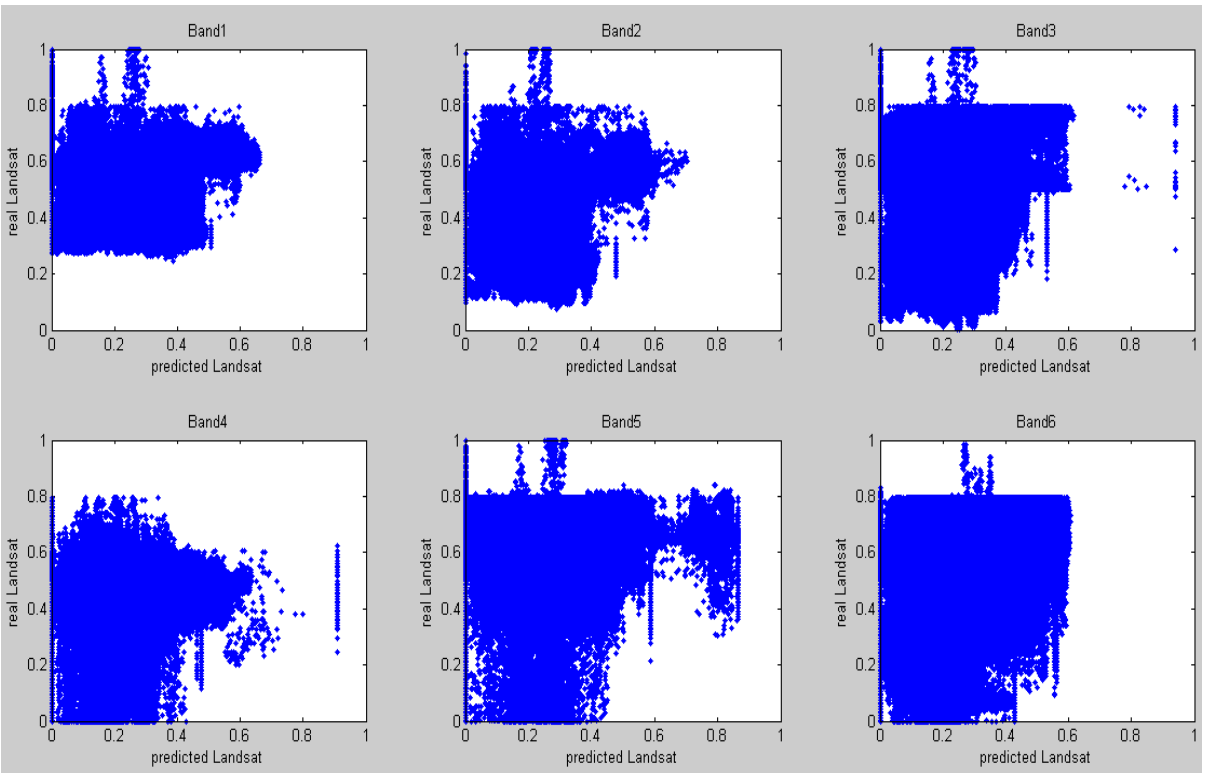
شکل ۶ : نتایج حاصل از طبقه بندی لندست زمان اول جهت اعمال الگوریتم ها



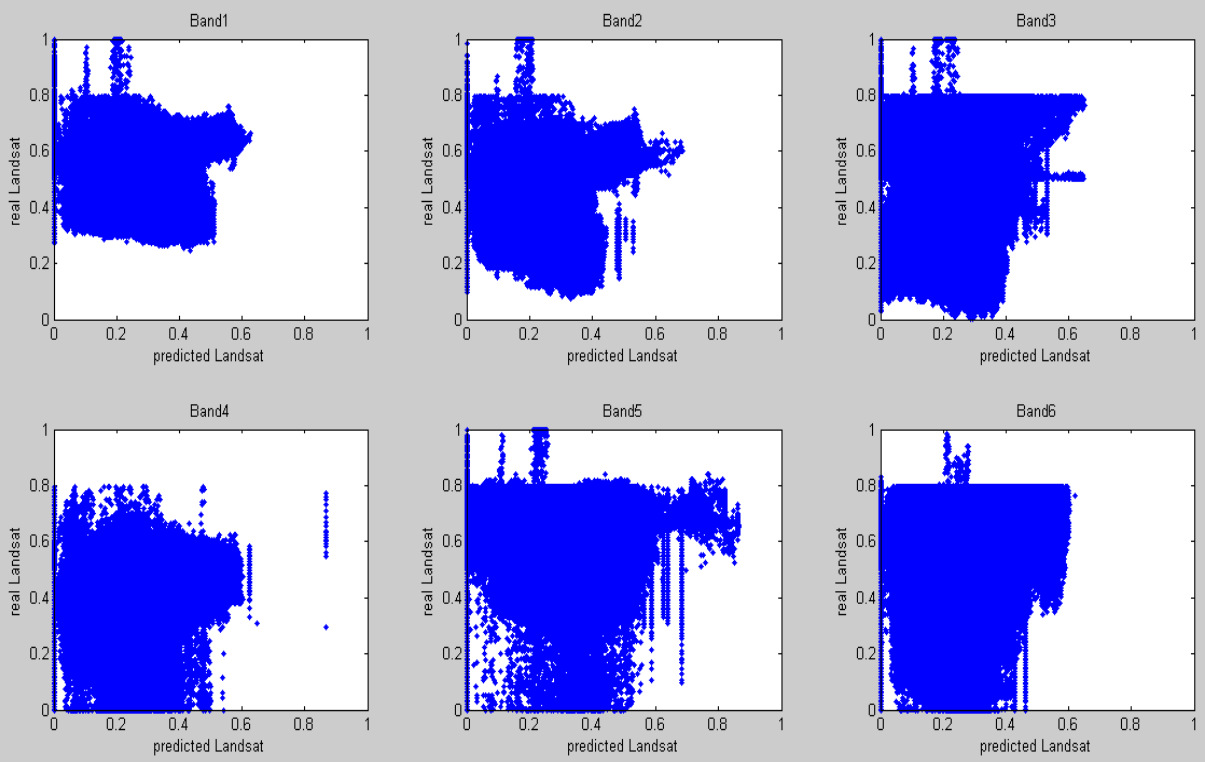
شکل۷: طیف نگار دوبعدی لندست واقعی و پیش‌بینی شده توسط الگوریتم **STARFM** (**SVM**).



شکل۸: طیف نگار دوبعدی لندست واقعی و پیش‌بینی شده توسط الگوریتم **STARFM** (حداقل فاصله).



شکل۹: طیف نگار دوبعدی لندست واقعی و پیش‌بینی شده توسط الگوریتم **STARFM** (حداکثر احتمال).



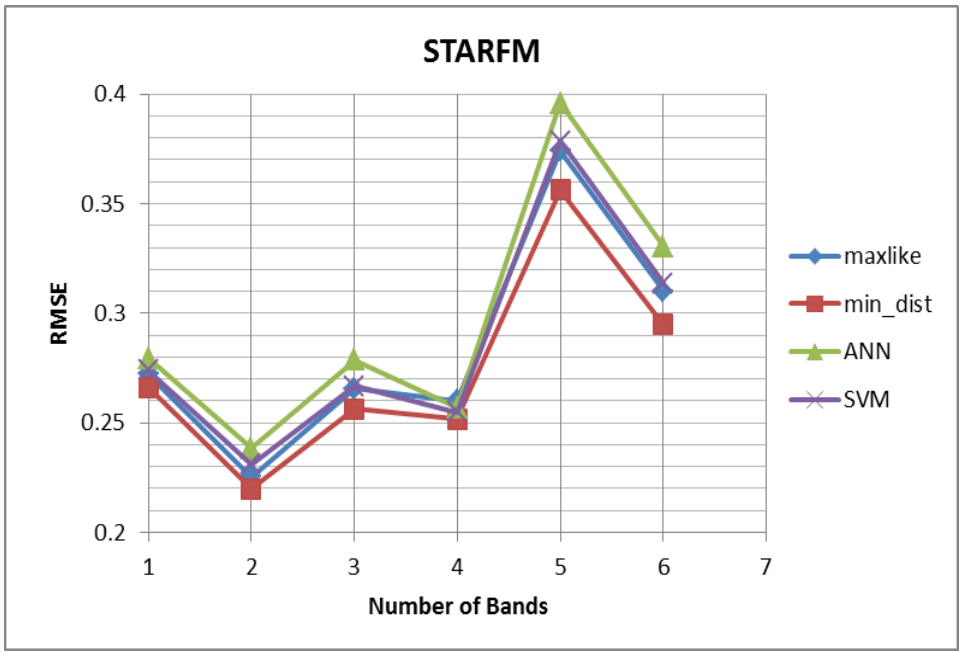
شکل۱۰: طیف نگار دوبعدی لندست واقعی و پیش‌بینی شده توسط الگوریتم STARFM (شبکه‌ی عصبی).

نتایجی که در شکل‌های ۷ تا ۱۰، نشان داده شده‌اند، بیانگر این موضوع هستند که الگوریتم STARFM وابستگی بسیار شدیدی به یکنواختی ناحیه‌ی مورد مطالعه دارد. و عدم یکنواختی و وجود تنوع زیاد در منطقه، می‌تواند نتایج حاصل از اعمال این الگوریتم را بسیار متاثر سازد. از این رو اولین نکته که از نتایج شکل‌های مذکور به دست می‌آید وابستگی زیاد الگوریتم مذکور به تنوع کلاس‌های موجود در تصویر است. علاوه بر آن، با افزایش و یا کاهش دقت روش‌های طبقه‌بندی، نتایج نهایی بهبود زیادی نخواهند داشت، به عبارتی تاثیر یکنواختی ناحیه‌ی مورد بررسی بیش از هر چیز دیگری نتایج نهایی را تحت تاثیر قرار داده و حتی در صورت افزایش دقت طبقه‌بندی، باز هم نمی‌توان انتظار داشت در مناطق با تنوع زیاد، الگوریتم مذکور نتایج رضایت بخشی داشته باشد. البته این نتیجه از ابتدا نیز تا حدودی قابل حصول بود، زیرا مطابق با مبنای تئوری این روش، وجود مناطق غیر یکنواخت در تصویر لندست اولیه، باعث کاهش دقت این الگوریتم خواهد شد. پراکندگی داده‌ها نسبت به قطر اصلی(خط۴۵ درجه) بسیار زیاد است و این موضوع نشان می‌دهد که در باندهای پیش‌بینی شده می‌توان پیکسل‌هایی را یافت که کاملا در دو تصویر لندست پیش‌بینی شده و لندست مربوط به زمان۲، مستقل هستند و از لحاظ طیفی هیچ ارتباطی به یکدیگر ندارند. با بررسی بیشتر شکل‌های مذکور، بایستی گفت که الگوریتم STARFM، محدوده‌ی بازتابندگی تصویر واقعی را کوچکتر کرده است، که با توجه به مبنای وزن دهی در این الگوریتم، می‌توان گفت که اوزان مربوط به پیکسل‌های دارای بازتابندگی بزرگتر، کوچکتر محاسبه شده‌اند، که این موضوع به دلیل همان عدم تعیین تغییرات کوچک در تصاویر مدیس می-

باشد، زیرا مطابق با روابط ۵ و ۶، در صورتی که تغییرات کوچک توسط تصاویر مدیس قابل تعیین نباشند، وزن محاسبه شده، ممکن است مقدار صفر محاسبه شده و در آن صورت، بایستی انتظار داشت که نتیجه‌ی بازتابندگی پیش‌بینی شده، کوچکتر از مقدار واقعی بازتابندگی پیکسل است.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در شکل۱۱، شاخص RMSE برای تصویر لندست پیش‌بینی شده و لندست مربوط به زمان۲ حاصل از اعمال الگوریتم STARFM، آورده شده است. بایستی گفت که علت اصلی کاهش دقت در باند ۵، از آن‌جایی که ناشی از عوامل زیادی بوده و به علت وجود عدم قطعیت‌های زیاد، این عوامل را نمی‌توان دقیقا بیان کرد. با این وجود، امکان مقایسه‌ی نسبی عملکرد روش-های مختلف طبقه‌بندی همچنان با دقت بالا امکان پذیر است و بدین منظور می‌توان بیان کرد که در این الگوریتم دقت روش حداقل فاصله از روش ماشین بردار پشتیبان (علی رغم کمتر بودن ضریب کاپا) بیشتر است. این موضوع نشان می‌دهد که حساسیت الگوریتم STARFM نسبت به هموژنی منطقه بیشتر از حساسیت آن به پیکسل‌های مشابه پیکسل مرکزی در پنجره‌ی لغزان می‌باشد. زیرا علی‌رغم یکسان بودن کلیه‌ی شرایط در روش‌های طبقه‌بندی گوناگون، ممکن است در یک کلاس خاص از تصویر طبقه‌بندی شده توسط روش حداقل فاصله، میزان اوزان محاسبه شده در این الگوریتم افزایش یافته و باعث شده دقت الگوریتم STARFM افزایش یابد. همچنین از نظر عددی میزان افزایش دقت در روش طبقه‌بندی حداقل فاصله نسبت به ماشین بردار پشتیبان زیاد نمی‌باشد.



شکل۱۱: شاخص RMSE برای نتایج حاصل از الگوریتم STARFM.

عملکرد یکسان روش‌های طبقه‌بندی مختلف، این موضوع را بیان می‌کند که عوامل افزایش و کاهش دقت بیشتر از آن که متاثر از دقت روش‌های طبقه‌بندی باشند، به منابعی دیگر وابسته‌اند، و به منظور افزایش دقت نهایی الگوریتم‌های مذکور، مناسب است تا منابع مختلف خطا و عدم قطعیت‌های دیگر، کنترل شوند.

به طور خلاصه بایستی گفت که در این تحقیق تاثیر دقت روش‌های مختلف طبقه‌بندی تصویر در عملکرد الگوریتم STARFM مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مبنای تئوریک الگوریتم مذکور، وابستگی زیاد آن به یکنواخت و هموژن بودن ناحیه، باعث می‌شود که افزایش دقت روش‌های مختلف طبقه‌بندی در صورت وجود نواحی غیر یکنواخت در تصویر لزوما باعث افزایش دقت نهایی تصویر لندست پیش‌بینی نگردد(شکل‌های ۷ تا ۱۰). به عبارتی دیگر، فاکتور یکنواختی پیکسل‌ها، تاثیر بسیار بزرگتری نسبت به فاکتور دقت روش‌های طبقه‌بندی در نتایج نهایی الگوریتم مورد نظر دارد. از این رو پیشنهاد میگردد که الگوریتم STARFM بیشتر در نواحی یکنواخت مورد استفاده قرار گیرد.

۶. 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.

Dongjie 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.

Caroline M. Gevaert , F. Javier García-Haro(2014) A comparison of STARFM and an unmixing based algorithm for Landsatand MODIS data fusionRemote Sensing of Environment 156 (2015) 34–44

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.