

جغرافیا و توسعه شماره ۲۲ اردیبهشت ۱۳۹۰

وصول مقاله : ۱۳۸۸/۳/۶

تأیید نهایی : ۱۳۸۹/۸/۱۰

صفحات : ۲۳-۳۸

## ارایه‌ی الگوریتمی برای بازسازی تصاویر معیوب ناشی از کار نکردن تصحیح‌کننده‌ی خط اسکن (SLC) ماهواره لندست ۷ سنجنده ETM+ و کاربرد آن در تهیه‌ی نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی، نمونه موردی: منطقه زنجان

دکتر محسن احدنژاد روشنی  
استادیار جغرافیا دانشگاه زنجان

### چکیده

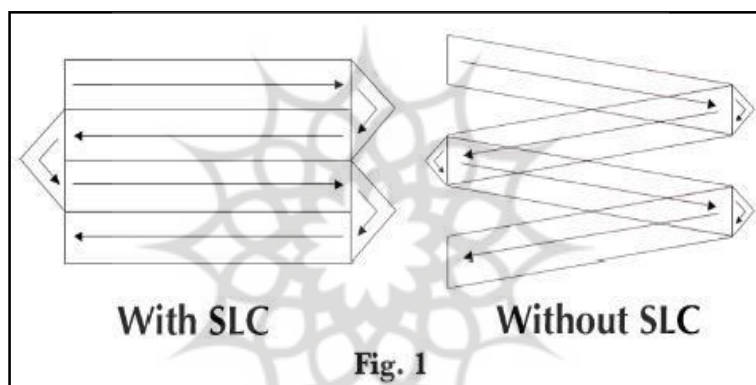
بر اثر از کار افتادن تصحیح‌کننده خط اسکن (SLC) ماهواره‌ی لندست ۷ سنجنده ETM+ در تاریخ ۲۰۰۳/۵/۳۱، تصاویر دریافتی از این تاریخ به بعد دچار اختلالاتی شده است، به طوری که در این تصاویر، تنها ۳۶ کیلومتر (۱۲۰۰ پیکسل) در قسمت مرکزی هر گذر فاقد عیب است و هر قدر به حاشیه‌های گذر نزدیک می‌شود فضای خالی یا ناحیه مفقوده بین خطوط اسکن و یا دو نوار برداشت به تدریج افزایش یافته، به ۱۴ پیکسل می‌رسد که موجب بروز مشکلاتی در امر پردازش و به کارگیری این تصاویر می‌شود. با توجه به کاربردهای گسترده و متعدد تصاویر ماهواره‌ای لندست در رشته‌های مختلف علوم زمین، تاکنون روش‌های متعددی برای برطرف نمودن این مشکل ارایه گردیده که از جمله آنها می‌توان به روش جایگزینی خطوط اسکن مفقوده با استفاده از داده‌های سایر ماهواره‌ها، فیلترهای وفق‌دهنده و درون‌یابی اشاره کرد که هر کدام از آنها با توجه به نوع کاربردها دارای معایب و مزایایی هستند. در این مقاله با استفاده از روش برداشت متوالی داده‌های ماهواره لندست و محاسبات آماری مورد نیاز، به بازسازی تصاویر معیوب پرداخته شده است. برای اطمینان از نتایج به کارگیری این الگوریتم، با استفاده از تصاویر بازسازی‌شده، نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی منطقه زنجان تهیه شده است. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده‌ی دقت زیاد این روش در مقایسه با روش‌های قبلی است و می‌توان با به‌کارگیری این الگوریتم علاوه بر بازسازی تصاویر معیوب، به پردازش آنها جهت کاربردهای مختلف در علوم زمین پرداخت.

کلیدواژه‌ها: تصحیح‌کننده خط اسکن، لندست، SLC، کاربری اراضی، الگوریتم.

### مقدمه

تصاویر نقشه بردار موضوعی بهبود یافته (ETM+) ماهواره لندست به طور گسترده‌ای در علوم مختلف زمین، امور آموزشی و تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سنجنده دارای هشت باند طیفی در محدوده‌های طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک، میانی و حرارتی و قدرت

تفکیک از ۱۵ تا ۶۰ متر می باشد و از قدرت تفکیک زمانی بالایی برای کاربردهای مختلف از جمله تهیه نقشه های کاربری و پوشش اراضی و پایش تغییرات زمانی آنها برخوردار است. به هر حال، ماهواره ای چنین سودمند با از کار افتادن تصحیح کننده خط اسکن<sup>۱</sup> (SLC) آن در تاریخ ۳۱ می ۲۰۰۳ تا حدود زیادی اهمیت خود را از دست داد. تصحیح کننده خط اسکن قسمتی از سنجنده ETM+<sup>۲</sup> می باشد که باعث حرکت آینده ای اسکن کننده ی سنجنده به صورت پیاپی به جلو و عقب در هنگام اخذ تصویر می شود و در نتیجه سبب تولید نوارهای اسکن شده موازی از صحنه می گردد (مباشری، ۱۳۸۴:۲). بدون این ابزار، نواحی اسکن شده به وسیله ی سنجنده متمایل به الگوی زیگزاگ می شود و در نتیجه قسمتی از داده های اخذ شده به حالت تکراری درمی آید و قسمتی دیگر از آن به طور کامل ذخیره نمی شود (شکل شماره ۱).



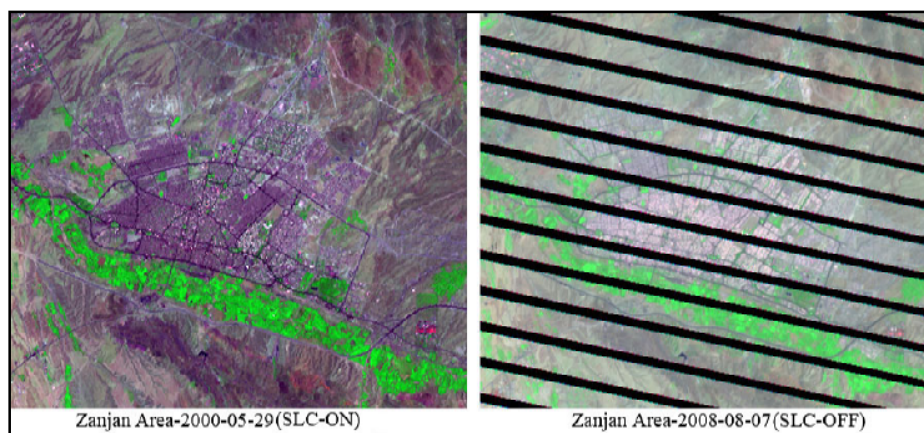
شکل ۱: مسیر خط اسکن سنجنده نقشه بردار موضوعی با و بدون تصحیح کننده ی خط اسکن (USGS, 2007:12)

این داده ها به طور عمومی تولیدات "L1G"<sup>۳</sup> نامیده می شود. در این گونه داده ها نواحی تکراری و قسمت های ضبط نشده ی تصویر به وسیله ی ارزش های صفر پر می شود. این بدان معنا است که این تصاویر، ترکیبی از داده های حقیقی و داده های بدون ارزش در تمامی باندها و به صورت ورقه ورقه می باشد (شکل شماره ۲).

1-Scan Line Corrector (SLC)

2-Enhanced Thematic Mapper(ETM+)

3-Radiometrically and Geometrically Corrected, Rotated and Georeferenced



شکل ۲: تصویر ماهواره‌ای لندست ETM+ از منطقه زنجان قبل و بعد از معیوب شدن SLC  
 مأخذ: تصاویر لندست، پردازش توسط نگارنده

این شکاف‌ها<sup>۱</sup> با نزدیک شدن به مرکز تصویر کمتر می‌شود به طوری که در قسمت مرکزی تصویر در تمامی باندهای سنجنده در حد ۱۲۰۰ پیکسل بدون شکاف و به طور صحیح اسکن می‌شود، اما هر قدر از مرکز به لبه‌ها نزدیک می‌شویم، بر مقدار شکاف‌ها افزوده می‌گردد، به طوری که در لبه‌ها مقدار آن به ۱۴ پیکسل می‌رسد. به طور کلی این شکاف‌ها در حدود ۲۲ درصد از کل تصویر هر گذر اخذ شده را شامل می‌شود (USGS, 2007:2).

در زمینه‌ی حذف و جایگزینی نواحی مفقوده در تصاویر ارسالی لندست بعد از زمان از کار افتادن تصحیح‌کننده‌ی خط اسکن تحقیقات زیادی در کشورهای مختلف دنیا با تأکید بر کاربردهای ویژه بعد از انجام تصحیحات، صورت گرفته است که در زیر به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. مباشری (۱۳۸۴) در مقاله‌ای تحت عنوان ارایه‌ی روشی جهت معترسازی داده‌های لندست ETM+7 برای برآورد تبخیر و تعرق پس از معیوب شدن تصحیح‌کننده‌ی خط اسکن (SLC)، ابتدا با استفاده از روش بازسازی نواحی مفقوده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای LISSIII/IRS به برآورد تبخیر و تعرق در دشت خوزستان با استفاده از مدل سبال پرداخته است.

Maxwell S.K et al (2008)، در مقاله‌ای تحت عنوان استفاده از روش سگمنت پایه<sup>۲</sup> برای کاربرد تصاویر SLC جهت تهیه‌ی نقشه‌ی توزیع محصولات کشاورزی، با استفاده از روش جانشین کردن داده‌های ماهواره لندست ۵ در نواحی مفقوده، به تهیه‌ی نقشه‌ی محصولات

#### 1-Gap

۲- منظور از روش *Segment-Base* روشی است که با استفاده از آن تعدادی از پیکسل‌های همجوار در یک پنجره از تصویر که از نظر ارزش‌های عددی و بافت دارای همگنی باشند در یک ناحیه تحت عنوان سگمنت قرار بگیرند.

کشاورزی در ایالت نبراسکا پرداخته و به این نتیجه رسیده است که با استفاده از این روش می‌توان دقتی در حدود ۷۵-۹۵ درصد را برای نتایج به دست آمده برآورد نمود.

Bedard F et al (2007)، در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی روش سگمنت پایه جهت استفاده از تصاویر SLC لندست ۷ برای طبقه‌بندی پوشش اراضی، با به‌کارگیری این روش به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با هدف تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی پرداخته و به این نتیجه رسیده است که با به‌کارگیری این روش در حدود ۱.۸ درصد از دقت طبقه‌بندی کاسته می‌شود.

Zhang C et al (2007)، در مقاله‌ای تحت عنوان پر نمودن شکاف‌های ناشی از کار نکردن SLC ماهواره لندست ۷ با استفاده از نظریه زمین‌آمار، از روش‌هایی همچون درون‌یابی و فنون کریجینگ<sup>۱</sup> زمین‌آمار برای پر کردن شکاف‌ها استفاده نموده و به این نتیجه رسیده است که روش کریجینگ از اطمینان بیشتری جهت بازسازی این شکاف‌ها برخوردار می‌باشد.

Christian (2007)، با گزارشی تحت عنوان توسعه‌ی یک الگوریتم بهبود یافته برای پر نمودن شکاف‌های SLC داده‌های ماهواره لندست، با استفاده از فنون برنامه‌نویسی و روش‌های متعددی از جمله استفاده از داده‌های لندست ۷، به جانشینی و پر کردن شکاف‌ها می‌پردازد.

همچنین گزارش‌های زیادی توسط تیم راهبردی لندست و سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده به رشته‌ی تحریر درآمده که در اینجا برای رعایت اختصار آورده نشده است.

این مقاله درصدد آن است تا با به‌کارگیری یک الگوریتم مناسب، شکاف‌هایی را که نتیجه‌ی از کار افتادن تصحیح‌کننده‌ی خط اسکن است، حذف کند و از داده‌های به‌دست آمده جهت تهیه‌ی نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی استفاده نماید.

## مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این مقاله مربوط به دو سری تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ سنجنده ETM+ از منطقه‌ی زنجان است که در تاریخ‌های ۲۰۰۸/۰۷/۰۶ و ۲۰۰۸/۰۸/۰۷ اخذ شده و به عنوان داده‌هایی که دارای وضعیت SLC-Off بوده است، برای تصحیح و جانشینی نواحی مفقوده انتخاب شده و بعد از انجام تصحیحات لازم، برای تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری پوشش و کاربری اراضی منطقه‌ی زنجان مورد استفاده قرار گرفته است.

۱- روش کریجینگ (Kriging) یک روش درون‌یابی مبنی بر الگوریتم حداقل مربعات جنرالیزه شده با استفاده از واریوگرام‌هایی به عنوان توابع می‌باشد.

### روش‌های برطرف نمودن شکاف‌ها (نواحی مفقوده)

تاکنون روش‌های مختلفی برای حذف ارزش‌های صفر (نواحی مفقوده) و پر کردن آنها به کار گرفته شده که هر کدام از آنها بسته به نوع کاربرد مورد انتظار بعد از بازسازی تصاویر دارای مزایا و معایبی بوده است که در زیر به آنها اشاره می‌شود:

#### روش استفاده از تصاویر سایر ماهواره‌ها

این روش زمانی کاربرد دارد که ماهواره‌ی دوم از لحاظ ویژگی‌های تصویربرداری با ماهواره نلدست مشابهت داشته باشد. به عنوان نمونه عده‌ای از کاربران از تصاویر ماهواره‌ای IRS و ASTER برای پر کردن این شکاف‌ها استفاده نموده‌اند که ممکن است برای کاربردهایی مثل تهیه‌ی نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی مفید باشد ولی برای سایر مقاصد از جمله تهیه‌ی نقشه‌های حرارتی از سطح زمین دقت کافی را نداشته باشد. معمولاً اصطلاحی که متخصصان سنجش از دور برای چنین روش به کار می‌گیرند اصطلاح هاشورزنی<sup>۱</sup> می‌باشد که هدف اصلی از آن صرفاً پر کردن نواحی مفقوده است، زیرا علاوه بر تفاوت‌های موجود در ماهواره‌ها از لحاظ ساختاری و فنی ممکن است که عواملی مثل رطوبت موجود در اتمسفر و دیگر مواد موجود در آن، زمان روز متفاوت و در نتیجه زوایای مختلف خورشید و شدت روشنایی آن، در تصاویر اخذ شده توسط دو سنجنده‌ی مختلف تأثیرات قابل توجه و چشمگیری داشته باشد، بدین ترتیب در صورت استفاده از این روش برای حل این مشکل، نتایج به دست آمده از دقت بالایی برخوردار نخواهد بود (Christian, 2007:4).

#### استفاده از فیلترهای وفق‌دهنده<sup>۲</sup>

این روش یکی از روش‌هایی است که برای بازیابی پیکسل‌های مفقود در یک ناحیه‌ی محدود کاربرد دارد. بر اساس این روش مقدار ارزش هر پیکسل مفقود، تابعی از اختلاف بین مرکز پیکسل و دیگر مقادیر واقع شده (حداکثر و حداقل درجات روشنایی) در داخل یک پنجره تعریف شده توسط کاربر می‌باشد. از آنجایی که مقدار شکاف‌ها و نواحی مفقود در تصاویر اخذ شده، از مرکز تصویر به لبه‌ها افزایش پیدا می‌کند، این روش تنها برای نواحی محدودی از تصویر که متمایل به مرکز باشد، کاربرد دارد و برای لبه‌ها که مقدار شکاف‌ها در آن نواحی به ۱۴ پیکسل می‌رسد، نتیجه، نامطلوب و دور از واقعیت خواهد بود و روش به کار رفته صرفاً برای پر کردن ظاهری شکاف‌ها است و تصاویر به دست آمده ارزش پردازشی نخواهند داشت.

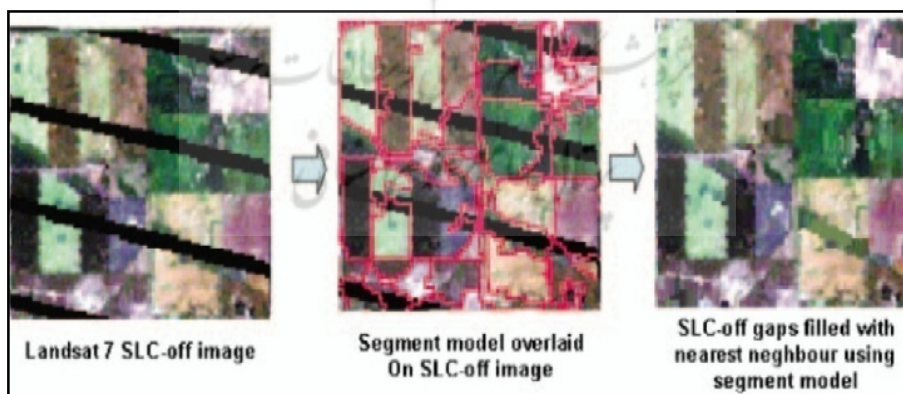
1-Striping  
2-Adaptive Filter

### بی‌نیازی به جانشینی پیکسل‌های مفقود

این روش برای آن دسته از کاربرانی اهمیت دارد که اشکال به‌وجود آمده بر اثر از کارافتادگی تصحیح‌کننده‌ی خط اسکن برایشان بی‌اهمیت و یا کم‌اهمیت باشد. الگوریتم رایج در این روش طبقه‌بندی اولیه تصویر و سپس جانشینی نواحی مفقود با ارزش‌های واقعی به جای قرار دادن درجات روشنایی می‌باشد. به‌عنوان مثال این روش برای تهیه‌ی نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی در مقیاس محدود می‌تواند کاربرد داشته باشد که پس از طبقه‌بندی تصویر بتوان با روش‌های بصری به ویرایش و جانشینی ارزش‌های مفقود پرداخت. از آنجایی که در این روش بروز خطاهای انسانی به‌ویژه در نواحی حاشیه‌ی تصویر اجتناب‌ناپذیر است و علاوه بر این به وقت بیشتری برای تصحیح نتایج نیاز دارد، این روش برای مناطق وسیع و کاربردهای بیشتر توصیه نمی‌شود.

### روش سگمنت‌سازی تصاویر

از این روش صرفاً می‌توان برای تهیه‌ی نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی استفاده نمود. اساس این روش تعریف یک پنجره با تعداد پیکسل‌های معین مثلاً  $5 \times 5$  یا  $3 \times 3$  و سپس قطعه قطعه نمودن تصویر بر اساس خصوصیات آماری پیکسل‌های واقع شده در یک پنجره است و با استفاده از آن تا حدود زیادی می‌توان شکاف‌ها را پر نمود. برای مثال می‌توان به مقاله Bedard (2007) اشاره کرد که در آن از این روش برای تهیه‌ی نقشه کاربری و پوشش اراضی در کانادا استفاده نموده است (شکل شماره ۳). این روش با استفاده از نرم‌افزار Ecognition نتایج اطمینان بخشی را ارائه می‌دهد.



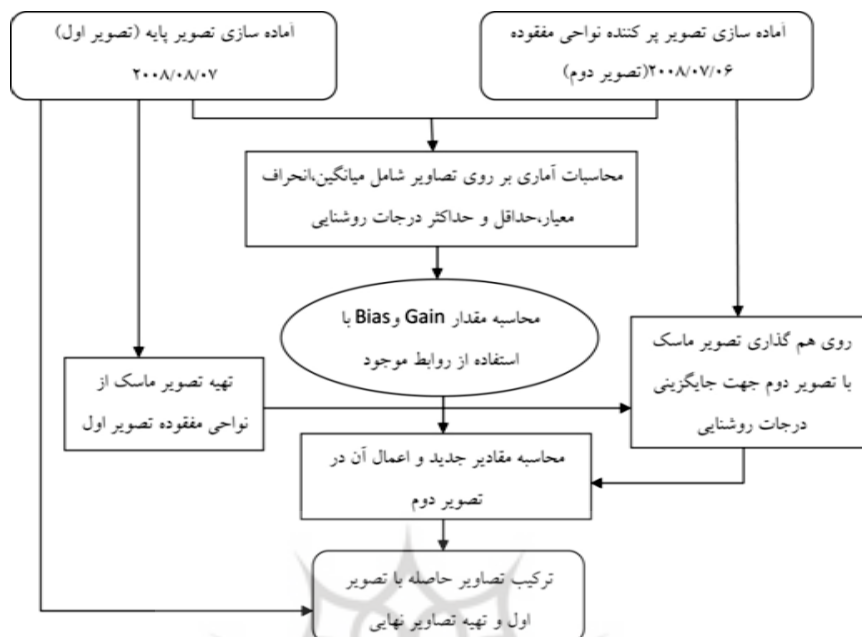
شکل ۳: مراحل سگمنت‌سازی تصاویر SLC-OFF برای تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری و پوشش اراضی (Bedard, 2007: 2084)

### روش جانشینی نواحی مفقود با استفاده از داده‌های ماهواره لندست

این روش در صورتی می‌تواند کاربرد داشته باشد که گذرهای متعددی از یک صحنه تصویر موجود باشد. از آنجایی که قدرت تفکیک زمانی ماهواره‌ی لندست ۱۶ روز می‌باشد، می‌توان با در اختیار داشتن تصاویر اخذ شده متوالی به جانشین کردن نواحی مفقود پرداخت. با توجه به این که داده‌های جانشین شده در نواحی مفقود از لحاظ ساختار تصویربرداری دارای حالت مشابه است، نتایج به دست آمده با این روش می‌تواند در مقایسه با سایر روش‌ها از دقت بیشتری برخوردار باشد و تفاوت‌های جزئی ناشی از اختلاف زمانی تصویربرداری‌های متوالی برای کاربردهایی نظیر تهیه‌ی نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی اثر چندانی ندارد و می‌توان به نتایج آن اطمینان بیشتری داشت. با توجه به کارایی و اهمیت این روش، در این مقاله برای رفع نواحی مفقود از این روش استفاده شده که مراحل انجام آن در شکل شماره‌ی ۴ شرح داده می‌شود.

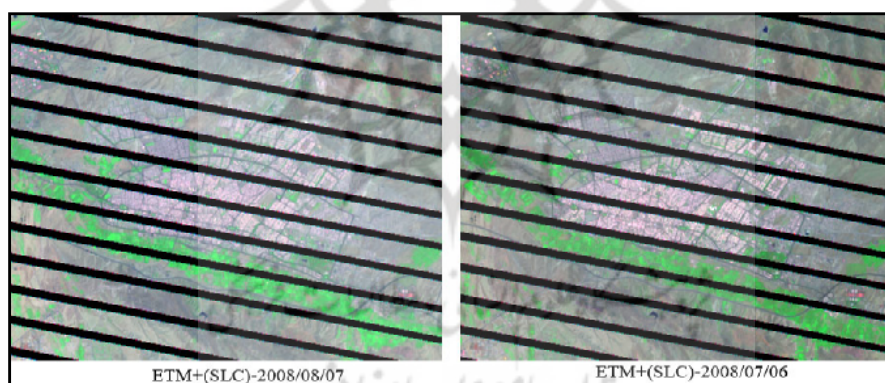
### انتخاب تصویر منطقه‌ی مورد مطالعه

با توجه به در دسترس بودن تصاویر ماهواره‌ای از محدوده‌ی شهری زنجان، در این مرحله دو سری تصویر در تاریخ‌های متفاوت، فاقد پوشش ابری و در صورت امکان از دو گذر متوالی و یا دو گذر یک در میان بسته به امکان جانشینی نواحی مفقود، انتخاب شد. در این مقاله از تصویر مربوط به تاریخ ۲۰۰۸/۰۸/۰۷ به عنوان تصویر پایه و از تصویر مربوط به تاریخ ۲۰۰۸/۰۷/۰۶ به عنوان تصویر پرکننده‌ی نواحی مفقود تصویر اول استفاده شده است. شکل شماره‌ی ۵ تصاویر انتخاب شده برای انجام تصحیحات را نشان می‌دهد.



شکل ۴: نمودار فرایند انجام تحقیق

مأخذ: نگارنده



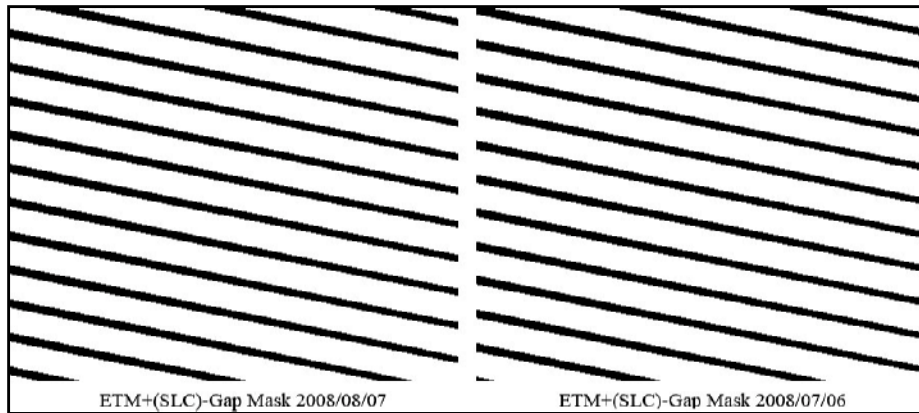
شکل ۵: تصاویر انتخاب شده شهر زنجان برای به کارگیری الگوریتم جانشینی نواحی مفقود

مأخذ: تصاویر لندست، پردازش توسط نگارنده

### تهیه ی تصویر نواحی مفقود

در این مرحله با اعمال حد آستانه بر روی درجات روشنایی تصاویر نواحی مفقود از تصاویر دو زمانه تهیه می شود که نتیجه ی آن یک تصویر دو ارزشی می باشد که در آن نواحی دارای درجات روشنایی ارزش ۱ و مناطق فاقد درجات روشنایی (نواحی مفقود) ارزش صفر دریافت می کند. شکل شماره ی ۶ تصاویر حاصل از این مرحله را نشان می دهد.

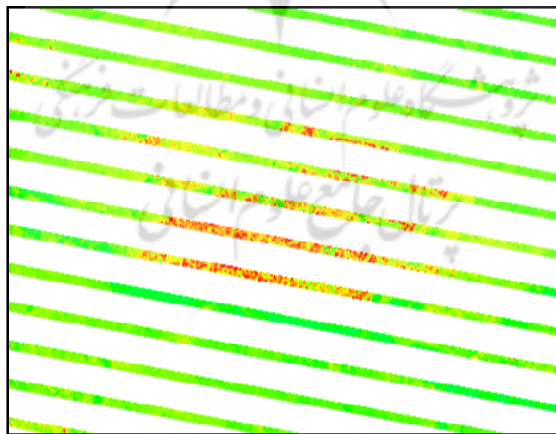




شکل ۶: تصویر نواحی مفقود حاصل از اعمال حد آستانه بر روی تصاویر شهر زنجان  
 مأخذ: تصاویر لندست، پردازش توسط نگارنده

### روی هم‌گذاری تصاویر به دست آمده

در این مرحله تصاویر حاصل از مرحله قبلی با توجه به انتخاب کاربر و با توجه به وضعیت تصاویر به صورت اختیاری انتخاب و بر روی تصویر تاریخ قبل یا بعد خودش روی هم‌گذاری می‌شود تا بدین ترتیب نواحی مفقود در یکی از تصاویر با توجه به ارزش‌های واقعی تصویر مقابل پر شود. همچنان که در شکل شماره ۷ معلوم است تصویر به دست آمده نواحی مفقود تصویر اول را نشان می‌دهد که با استفاده از تصویر دوم تصحیح شده است. این عملیات باید به‌طور جداگانه بر روی تمامی هشت باند تصاویر لندست انجام شود.



شکل ۷: تصویر حاصل از روی هم‌گذاری تصویر نواحی مفقود تاریخ اول به تصویر تاریخ دوم  
 مأخذ: تصاویر لندست، پردازش توسط نگارنده

### اعمال محاسبات آماری جهت به‌دست آوردن مقادیر جدید برای تصویر دوم

در این مرحله از محاسبات آماری بر روی تصاویر برای به‌دست آوردن مقدار اریب<sup>۱</sup> (Bias) و مقدار تابع انتقال<sup>۲</sup> (Gain) انجام می‌شود. برای به‌دست آوردن این مقادیر باید مراحل زیر صورت بگیرد (6: Scaramuzza, 2007).

$$gain = \frac{\sigma_P}{\sigma_F} \quad \text{رابطه‌ی ۱:}$$

$$bias = \mu_P - \mu_F * gain \quad \text{رابطه‌ی ۲:}$$

که در آن:

رابطه‌ی ۳: (میانگین مقادیر درجات روشنایی تصویر اول)

$$\mu_P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N PrimaryDN_i$$

رابطه‌ی ۴: (انحراف استاندارد مقادیر درجات روشنایی تصویر اول)

$$\sigma_P = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (PrimaryDN_i - \mu_P)^2$$

رابطه‌ی ۵: (میانگین مقادیر درجات روشنایی در تصویر دوم)

$$\mu_F = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N fillDN_i$$

رابطه‌ی ۶: (انحراف استاندارد مقادیر درجات روشنایی تصویر دوم)

$$\sigma_F = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (fillDN_i - \mu_F)^2$$

مقدار عدد به دست آمده برای مقدار Gain باید از عدد ۳ کمتر و از یک سوم بیشتر باشد. در صورتی که مقادیر به دست آمده در این دامنه قرار نگیرد، مقدار Gain برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود و برای به‌دست آوردن مقدار Bias از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$bias = \mu_P - \mu_F \quad \text{رابطه‌ی ۷:}$$

در نهایت برای محاسبه مقادیر جدید برای تصویر دوم یا تصویر پرکننده نواحی مفقود از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود:

۱- اریب یا Bias یک خطای سیستماتیک در جمع‌آوری و پردازش داده‌ها است. خطای سیستماتیک خطایی است که تصادفی

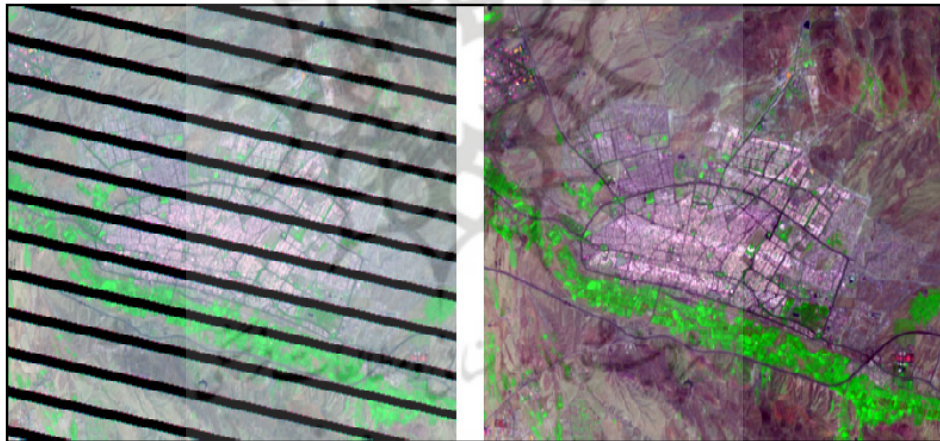
نیست و به همین جهت نمی‌توان انتظار داشت که بر نتایج کار بی‌تأثیر باشد.

۲- مقدار تابع انتقال یا Gain، مقدار توانایی مدارهای سنجنده برای افزودن توان یادامنه‌های سیگنال ورودی است. به عبارت

دیگر حاصل نسبت سیگنال خروجی بر سیگنال ورودی تابع انتقال نامیده می‌شود.

$$\text{mergedDN} = \text{fillDN} * \text{gain} + \text{bias} \quad \text{رابطه‌ی ۸:}$$

با به‌دست آوردن مقدار ضریب برای تصویر پرکننده‌ی نواحی مفقود با استفاده از رابطه‌ی بالا و اعمال آن در تصویر مورد نظر، مقادیر جدید برای ترکیب با تصویر اول حاصل می‌شود. از آنجایی که مقادیر به دست آمده در این روابط با بهره‌گیری از درجات روشنایی دو تصویر حاصل شده است، در صورت ترکیب این دو تصویر با همدیگر تصویر خروجی یک تصویر کاملاً مطلوب برای کاربردهای بعدی خواهد بود. در مقاله‌ی حاضر از تصویر مربوط به تاریخ ۲۰۰۸/۰۸/۰۷ به عنوان تصویر پایه یا مبنا و از تصویر مربوط به تاریخ ۲۰۰۸/۰۷/۰۶ به عنوان تصویر پرکننده‌ی نواحی مفقود در تصویر پایه استفاده شده است. بعد از محاسبات آماری برای باندهای مختلف مقادیر gain, bias و مقدار ضریب برای تصویر پرکننده نواحی مفقود با اعمال این ضرایب به تمام باندها و سپس ادغام مقادیر جدید در تصویر پایه در نهایت تصاویر بازسازی شده برای تمامی باندها تهیه شد. شکل شماره‌ی ۸ تصویر ترکیب رنگی ۷،۴،۲ بازسازی شده و تصویر اولیه‌ی مورد استفاده در این مقاله را نشان می‌دهد.



شکل ۸: تصویر قبل و بعد از به‌کارگیری الگوریتم بازسازی نواحی مفقود شهر زنجان  
مأخذ: تصاویر لندست، پردازش توسط نگارنده

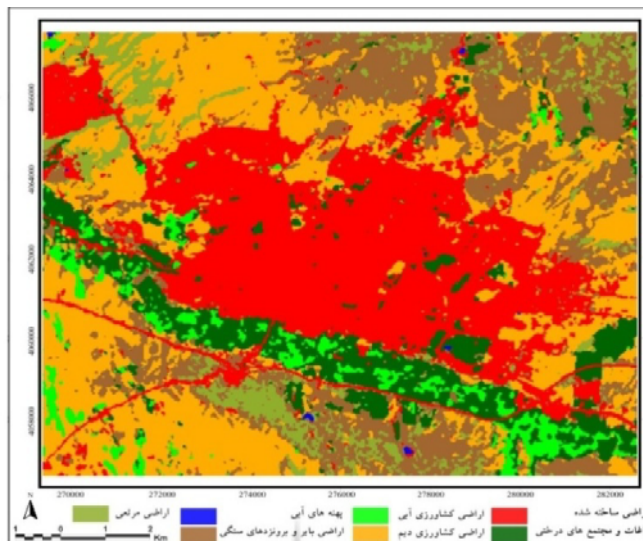
همچنان که از شکل بالا معلوم است می‌توان با به‌کارگیری این الگوریتم با اطمینان بیشتری به پردازش تصاویر حاصل جهت کاربردهای مختلف از جمله تهیه‌ی نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی به‌روز از مناطق مختلف کشور پرداخت. برای اطمینان از دقت الگوریتم به‌کار رفته در این مقاله با استفاده از داده‌های بازسازی شده به تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری و پوشش اراضی منطقه‌ی زنجان پرداخته شده که در ادامه، فرایند انجام آن شرح داده می‌شود.

### طبقه‌بندی تصاویر

برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و استخراج نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی و سایر اطلاعات مورد نظر از آنها روش‌های مختلفی وجود دارد که بسته به نوع و ماهیت پژوهش‌ها می‌توان از آنها استفاده کرد. با توجه به گسترش و بهبود روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و فازی در طی سال‌های اخیر، روش‌های قدیمی و سنتی طبقه‌بندی نظارت شده از جمله روش حداکثر احتمال، روش حداقل فاصله از میانگین و روش جعبه‌های موازی که قبلاً به طور گسترده برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شد به تدریج اهمیت خود را از دست داده است، زیرا در این الگوریتم‌ها برای طبقه‌بندی تنها از ماهیت نمونه‌های آموزشی پیروی می‌شد که این امر تا حدود زیادی دقت طبقه‌بندی را پایین می‌آورد، در حالی که در روش‌های عصبی استفاده از خاصیت نرون‌ها و در نهایت مشابهت آنها که در اثر اتصال به نرون‌های متعدد در یک شبکه‌ی عصبی ایجاد می‌شود، باعث افزایش دقت طبقه‌بندی نسبت به روش‌های معمول و سنتی می‌گردد (Ahadnejad, 2007: 4).

در این روش مجموعه‌ای از عناصر پردازشگر، مشابه سلول عصبی انسان (نرون‌ها) در یک ساختار توپولوژیکی با یکدیگر قرار می‌گیرد و به صورت موازی عملیات پردازش اطلاعات را انجام می‌دهد و انواع مختلفی از توابع را می‌توان در شبکه‌ها به کار برد، مانند توابع خطی، توابع زیگموتید، توابع تانژانت هایپربولیک و توابع دوحدی. مهمترین مؤلفه شبکه‌های عصبی توابع انتقال می‌باشد که تعیین می‌کند که نرون‌ها به چه نحوی سیگنال‌های ورودیشان را به پاسخ مورد نظر تبدیل کنند و در نهایت بسته به انتخاب نمونه‌های آموزشی و محاسبات آماری دقیق آنها در کدام طبقه یا کلاس قرار بگیرند (Muchoney, 2001: 2).

در این مقاله برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و استخراج نقشه کاربری و پوشش اراضی از روش فازی مبتنی بر نظریه‌ی شدت انطباقی<sup>۱</sup> که جزء روش‌های بسیار دقیق و پیشرفته برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای محسوب می‌شود، استفاده شده است. برای این منظور، ابتدا از تصاویر تهیه شده در مرحله‌ی قبل تصویر ترکیب رنگی ۷،۴،۱ (قرمز ۷، سبز ۴، آبی ۱) تهیه شد و بعد از انتخاب نمونه‌های آموزشی از طبقات مورد نظر، تصاویر به ۷ طبقه شامل اراضی ساخته شده، باغات و مجتمع‌های درختی، اراضی کشاورزی آبی، اراضی کشاورزی دیم، مراتع، برنزدهای سنگی و اراضی بایر و پهنه‌های آب طبقه‌بندی شد (شکل شماره ۹).



شکل ۹: نقشه‌ی کاربری و پوشش اراضی منطقه زنگان استخراج شده از تصاویر بازسازی شده (SLC-OFF) مأخذ: تصاویر کاندست، پردازش توسط نگارنده

با توجه به نقشه‌ی تهیه شده از روی تصاویر بازسازی شده به روش فازی، می‌توان به نتایج به دست آمده اطمینان بیشتری داشت. تجزیه و تحلیل این نقشه‌ها نشان می‌دهد که در منطقه‌ی مورد مطالعه اراضی ساخته شده با ۴۴۰۲.۴۴ هکتار بیشترین سطح کاربری را به خود اختصاص داده که شامل اراضی شهری زنگان و مناطق صنعتی و راهها و سایر اراضی ساخته شده می‌باشد. جدول شماره‌ی ۱ توزیع مساحت کاربری و پوشش اراضی را در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول ۱: توزیع مساحت کاربری‌ها و پوشش اراضی در منطقه‌ی زنگان

ردیف	نوع کاربری و پوشش اراضی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
۱	اراضی ساخته شده	۴۴۰۲.۴۴	۳۰.۳۱
۲	باغات و مجتمع‌های درختی	۱۴۹۴.۱۸	۱۰.۲۹
۳	اراضی کشاورزی آبی	۵۹۷.۴۲	۴.۱۱
۴	اراضی کشاورزی دیم	۴۲۷۴.۸۲	۲۹.۴۳
۵	پهنه‌های آبی	۱۱.۵۲	۰.۰۸
۶	اراضی بایر و برونزدهای سنگی	۲۸۰۴.۳۱	۱۹.۳۰
۷	اراضی مرتعی	۹۴۱.۸۵	۶.۴۸
	مجموع	۱۴۵۲۶.۵۴	۱۰۰

مأخذ: نگارنده

## ارزیابی دقت

یکی از مهمترین مواردی که در استفاده از تصاویر ماهواره‌ای باید مد نظر قرار بگیرد، دقت نتایج حاصل از پردازش تصاویر و تطبیق آن با واقعیت‌های موجود می‌باشد که این کار باید با به‌کارگیری روش‌های موجود در این زمینه صورت بگیرد. در این مقاله با توجه به وضعیت اولیه داده‌های ماهواره‌ای لندست و بازسازی مجدد آن با استفاده از الگوریتم ذکر شده، ارزیابی دقت با حساسیت بیشتری انجام شده‌است تا علاوه بر تطبیق نتایج به‌دست آمده با واقعیت زمینی‌شان، آثار به‌کارگیری این الگوریتم بر روی نتایج هم مورد ارزیابی قرار بگیرد.

جدول ۲: ماتریس خطاهای طبقه‌بندی و ارزیابی دقت تصاویر طبقه‌بندی شده با واقعیت زمینی

دقت استفاده‌کننده	خطای کمیشن	مجموع	رتبه	سنگری بایر و برونزد	کشاورزی دیم	کشاورزی آبی	آب	بافت	ساخته شده	کاربری و پوشش‌ها
۹۹.۷	۰.۰۰۲	۴۶۲	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۴۶۱	ساخته شده
۹۷.۶	۰.۰۲۱	۲۳۰	۰	۰	۰	۵	۰	۲۲۵	۰	باغات
۱۰۰	۰	۴۲	۰	۰	۰	۰	۴۲	۰	۰	پهنه‌های آب
۸۶.۲	۰.۱۲۸	۲۱۹	۰	۰	۰	۱۹۱	۰	۲۸	۰	کشاورزی آبی
۹۷.۲	۰.۰۱۹	۱۰۲۱	۰	۱۲	۱۰۰۲	۶	۰	۱	۰	کشاورزی دیم
۸۴.۹	۰.۱۱۹	۶۹۵	۴۴	۶۱۲	۲۱	۱۴	۳	۰	۱	بایر و برونزد سنگری
۹۶.۷	۰.۰۲۸	۳۵۶	۳۴۶	۷	۲	۱	۰	۰	۰	مرتع
-	-	۳۰۲۵	۳۹۰	۶۳۱	۱۰۲۵	۲۱۸	۴۵	۲۵۴	۴۶۲	مجموع
-	۰.۰۴۸۳	-	۰.۱۱۳	۰.۰۳۰	۰.۰۲۲	۰.۱۲۴	۰.۰۰۶	۰.۱۱۴	۰.۰۰۲	خطای امیشن
۹۳.۸	-	-	۸۷.۲	۹۶.۹	۹۶.۶	۸۶.۶	۹۳.۲	۸۷.۶	۹۹.۷	دقت تولیدکننده %

مأخذ: نگارنده

با توجه به در دسترس بودن عکس‌های هوایی و نقشه‌های بزرگ مقیاس و بازدیدهای زمینی از منطقه‌ی مورد مطالعه، و همچنین استفاده از روش‌های جدید طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، مقدار دقت نهایی طبقه‌بندی در حدود ۹۳.۸۷ درصد برآورد گردیده است. جدول شماره ۲ نتایج ارزیابی دقت برای تصاویر طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد. با توجه به جدول بالا، در بین کاربری‌ها پهنه‌های آبی با صددرصد بیشترین دقت استفاده‌کننده و اراضی کشاورزی آبی با ۸۶.۲ درصد دقت، کمترین دقت استفاده‌کننده<sup>۱</sup> را به خود اختصاص داده‌اند.

همچنین در دقت تولیدکننده<sup>۱</sup> اراضی ساخته شده با ۹۹.۷ درصد دقت بیشترین و اراضی کشاورزی آبی با ۸۶.۶ درصد دقت کمترین دقت تولیدکننده را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به جدول بالا دقت کلی طبقه‌بندی تصاویر در منطقه‌ی مورد مطالعه ۹۳.۸۷ درصد می‌باشد که حاکی از دقت بالای طبقه‌بندی است؛ بنابراین به‌کارگیری الگوریتم جانشینی داده‌های لندست برای پر کردن ارزش‌های نواحی مفقود می‌تواند یک الگوریتم قابل اطمینان برای تصحیح خطاهای ناشی از کار نکردن تصحیح‌کننده‌ی خط اسکن باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از به‌کارگیری الگوریتم استفاده از خود داده‌های ماهواره‌ی لندست جهت جانشینی نواحی مفقود نشان می‌دهد که این الگوریتم می‌تواند برای تصحیح داده‌های SLC-OFF روش مناسبی در مقایسه با سایر روش‌های ذکر شده در این مقاله باشد. از آنجایی که تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده توسط ماهواره‌های مختلف در شرایط تقریباً متفاوتی از لحاظ ویژگی‌های ساختاری، فنی و اتمسفریک اخذ می‌شوند، در صورت استفاده از داده‌های سایر ماهواره‌ها جهت تکمیل نواحی مفقود از تصاویر SLC-OFF باید دقت زیادی نمود. علاوه بر این ممکن است دسترسی به تصاویر به‌طور همزمان برای همه‌ی کاربران امکان‌پذیر نباشد. در جهت اطمینان از صحت داده‌های حاصل از به‌کارگیری این الگوریتم از نظر ویژگی‌های رادیومتریک و طیفی، در این مقاله از داده‌های حاصل شده جهت طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی استفاده گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که به‌کارگیری این الگوریتم ارزش‌های طیفی درجات روشنایی تصاویر خروجی را در حد بسیار جزئی و ناچیز تغییر داده و علت آن هم اختلاف زمانی تقریباً یک‌ماهه‌ی تصاویر مورد استفاده است که ممکن است شرایط اتمسفریک یکسانی را در زمان تصویربرداری نداشته باشند. همچنین علاوه بر کاربرد ذکر شده در این مقاله می‌توان از تصاویر حاصل، برای اهدافی دیگر همچون تهیه‌ی نقشه‌های پوشش گیاهی و رطوبت و... با اطمینان بیشتر استفاده نمود.

### پیشنهادها

۱- برای بهتر شدن نتایج استفاده از الگوریتم ذکر شده در این مقاله پیشنهاد می‌شود داده‌های مورد استفاده دارای بازه‌ی زمانی طولانی نباشند زیرا ممکن است تفاوت‌های ماهانه و فصلی از نظر اقلیمی و اتمسفریک و تغییرات سریع برخی از عوامل نظیر رشد و نمو گیاهان باعث تنزل

کیفیت ظاهری و طیفی تصاویر خروجی شود که در صورت استفاده از آنها نتایج حاصل از اطمینان کمتری برخوردار خواهند شد.

۲- با استفاده از این داده‌ها می‌توان نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی را برای مناطق مورد نظر به صورت بهنگام تهیه نمود. از آنجایی که تاکنون نقشه‌ی کاربری و پوشش اراضی بهنگام از کشور با اتکا به داده‌های ماهواره‌ای تهیه نشده این داده‌ها و این الگوریتم می‌تواند با سرعت و دقت بیشتری به تولید نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی را در سطوح یک و دو منجر شود.

۳- از آنجایی که ناتوانی از تصویربرداری مناسب از مناطق دارای پوشش ابر به شیوه اپتیکال، یکی از معایب این سنجنده‌ها محسوب می‌شود، استفاده از این الگوریتم برای جایگزینی نواحی مفقود در تصاویری که از پوشش ابری بالایی برخوردار هستند، توصیه نمی‌شود.

### منابع

- ۱- مباشری، محمدرضا (۱۳۸۶). *ارایه روشی جهت معتبرسازی داده‌های لندست ETM+7 برای برآورد تبخیر و تعرق پس از معیوب شدن تصحیح‌کننده‌ی خط اسکن (SLC)، پژوهش‌های جغرافیایی*. شماره ۶۰. دانشگاه تهران.
- 2- Ahadnejad Reveshty, M (2007). The Evaluation and Forecasting of Human Impacts with Emphasis to Land use Changes with Use of Multi-Temporal Satellite Imagery and GIS Integration (A case Study Exclusion region of Zanjan City), Earth From Space conference , Moscow.
- 3- Bédard, F, Reichert, G, Dobbins, R. and Trépanier, I. (2007). Evaluation of segment-based gap-filled Landsat ETM+SLC-off satellite data for land cover classification in southern Saskatchewan, Canada', *International Journal of Remote Sensing*, 29:7, 2041-2054.
- 4- Menke Christian (2007), Development of an enhanced gap-filling algorithm for Landsat 7 SLC-off data, Georg-August-University Göttingen, Germany.
- 5- Dung Muchoney and James Williamson, A Gassian (2001). Adaptive Resonance Theory Neural Network Classification Algorithm Applied to Supervised Land Cover Mapping Using Multi Temporal vegetation Index Data, *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 39:9, 1869-1976.
- 6- Maxwell, S. K. and Craig, Michael E (2008). Use of landsat ETM+ SLC-off segment-based gap-filled imagery for croptype mapping', *Geocarto International*, 23:3, 169-179.
- 7- Maxwell, S. K, Schmidt, G. L. and Storey, J. C (2007). A multi-scale segmentation approach to filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images', *International Journal of Remote Sensing*, 28:23, 5339- 5356.
- 8- Zhang, C, Li, W and Travis, D (2007). Gaps-fill of SLC-off Landsat ETM+ satellite image using a geostatistical approach', *International Journal of Remote Sensing*, 28:22, 5103-5122.
- 9- Scaramuzza Pat, Micijevic Esad, Chander Gyanesh (2007). SLC-off Gap-Filled Products and Gap-Fill Algorithm Methodology, USGS, USA.