



## به کارگیری الگوریتم RANSAC+RPC به منظور توجیه نسبی پایدار تصاویر استریو ماهواره‌ای

نوراله تتر<sup>۱\*</sup>، محمد سعادت سرشت<sup>۲</sup>، حسین عارفی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران  
۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

### چکیده:

زمین مرجع‌سازی یکی از مهمترین مراحل پردازش تصاویر ماهواره‌ای و بخصوص تصاویر استریو ماهواره‌ای است. امروزه اکثر شرکت‌های تولیدکننده تصاویر استریو ماهواره‌ای از توابع رشنال برای زمین مرجع‌سازی استفاده می‌کنند. اما از آنجا که تولید توابع رشنال برای هر تصویر به طور جداگانه انجام می‌گیرد، در عمل علاوه بر خطای مطلق این توابع، بین توابع رشنال این تصاویر یک نوع خطای نسبی نیز وجود دارد که برای اهداف برجسته‌بینی و استخراج مختصات سه‌بعدی به نظر میرسد که باید تصحیح شود. ایده‌ی مطرح برای تصحیح نسبی این توابع، استفاده از نقاط متناظر عکسی است. در حال حاضر اپراتورهای بینایی رایانه می‌توانند به صورت اتوماتیک نقاطی را استخراج و تناظریابی کنند؛ اما تناظریابی این نقاط با اشتباهاتی همراه هستند که بایستی از چرخه محاسبات تصحیح نسبی ضرایب توابع رشنال حذف شوند. در این تحقیق برای تصحیح نسبی توابع رشنال و همچنین حذف همزمان اشتباهات تناظریابی، الگوریتم RANSAC+RPC پیشنهاد داده شده است. نتایج بدست آمده بر روی زوج تصاویر ماهواره‌ای GeoEye1 از منطقه شهری قم و تصاویر ماهواره‌ای IRS P5 از منطقه رودهن نشان می‌دهد اگرچه این استراتژی برای توجیه نسبی پایدار تصاویر ماهواره‌ای از موفقیت بالایی برخوردار است، اما میزان تاثیر تصحیحات روی نقاط سه بعدی بازسازی شده در حد زیر پیکسل است.

واژه‌های کلیدی: توابع رشنال، تصحیح نسبی توابع رشنال، تصاویر استریو ماهواره‌ای، RANSAC+RPC، شناسایی اشتباهات تناظریابی.



## ۱- مقدمه

یکی از مهمترین مراحل پردازش‌های تصاویر استریو ماهواره‌ای، بحث زمین مرجع‌سازی آن‌هاست. زمین مرجع‌سازی تصاویر ماهواره‌ای با دو روش، یکی به کمک مدل‌های فیزیکی و دیگری مدل‌های ریاضی انجام می‌گیرد. مدل‌های فیزیکی که عمدتاً بر اساس هندسه تصویر برداری، پارامترهای کالیبراسیون سنجنده و معادلات شرط هم خطی نوشته می‌شوند از دقت بالاتری برخوردار هستند. اما این مدل‌ها به دلایل اقتصادی، کاهش پیچیدگی و یا امنیتی در اختیار کاربران قرار نمی‌گیرند [۱].

مدل‌های دسته دوم که برای زمین مرجع‌سازی تصاویر ماهواره‌ای به کار گرفته می‌شوند، مدل‌های مبتنی بر توابع ریاضی هستند. یکی از معروف‌ترین و پرکاربردترین این توابع، توابع رشنال<sup>۱</sup> می‌باشد. توابع رشنال، توابع ریاضی هستند که ارتباط بین مختصات زمینی و عکسی را برقرار می‌کنند [۲]. امروزه به همراه تصاویر ماهواره‌ای، ضرایب این توابع در اختیار کاربر قرار داده می‌شوند. در حال حاضر کمتر سنجنده‌ای دیده می‌شود که از توابع رشنال برای زمین مرجع‌سازی تصاویر ماهواره‌ای استفاده نکند. دلیل اصلی استفاده از توابع رشنال را می‌توان سادگی و کاهش سطح دسترسی کاربر به پارامترهای فیزیکی سنجنده‌ها دانست [۱].

در زمین مرجع‌سازی تصاویر ماهواره‌ای با توابع رشنال، برای نوارهای با طول کمتر از ۵۰ کیلومتر، یک نوع خطای شیفت و دریفت گزارش شده است [۳، ۴]. علاوه بر این، از آنجا که فرآیند تولید ضرایب توابع رشنال برای هر تصویر ماهواره‌ای جداگانه انجام می‌گیرد؛ در تصاویر استریو ماهواره‌ای یک نوع خطای شیفت و دریفت نسبی نیز وجود دارد [۵]. بنابراین برای هم مرجع‌سازی تصاویر استریو به تنهایی نمی‌توان از توابع رشنال استفاده کرد. یکی از راهکارهایی که می‌تواند برای هم مرجع‌سازی تصویر انجام بگیرد، اندازه‌گیری نقاط متناظر تصویری است. برای اندازه‌گیری اتوماتیک نقاط عکسی الگوریتم‌های بینایی رایانه متعددی وجود دارد؛ اما در تمامی این الگوریتم‌ها اشتباهات<sup>۲</sup> تناظریابی وجود دارد. یکی از راهکارهای حذف اشتباهات تناظریابی، به کارگیری الگوریتم RANSAC با مدل‌های افاین، پروژکتیو و یا هندسه اپی‌پولار (ماتریس بنیادی) است [۶]. اما هندسه‌ی تصاویر ماهواره‌ای به گونه‌ای است که نمی‌توان هیچ کدام از مدل‌های فوق را به کاربرد [۷].

در این مقاله برای حذف اشتباهات تناظریابی در تصاویر استریو ماهواره‌ای با توان تفکیک بالا و همچنین تصحیح نسبی توابع رشنال، الگوریتم RANSAC با توابع رشنال تلفیق می‌شود. در ادامه پس از معرفی توابع رشنال، راهکار پیشنهادی جهت به کارگیری الگوریتم RANSAC با توابع رشنال بیان می‌شود. سپس آزمایشات انجام گرفته روی تصاویر استریو ماهواره‌ای تشریح شده و در پایان ارزیابی نتایج بدست آمده ارائه می‌شود.

## ۲- توابع رشنال

توابع رشنال، توابع ریاضی هستند که ارتباط بین مختصات زمینی و عکسی را برقرار می‌کنند [۲]. به‌طور معمول توابع رشنال در دو حالت مستقیم و معکوس مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ با توجه به هدف این مقاله مبنی بر تصحیح ضرایب توابع رشنال در حالت مستقیم، در ادامه تنها معادلات و روابط این حالت ارائه می‌شود.

منظور از توابع رشنال در حالت مستقیم؛ انتقال مختصات سه‌بعدی نقاط زمینی به مختصات دو بعدی عکسی است. در حال حاضر تمامی شرکت‌ها و سازمان‌ها این نوع از توابع رشنال را در اختیار کاربران قرار می‌دهند. فرم کلی این توابع در حالت مستقیم به صورت زیر است [۲].

<sup>۱</sup> Rational Polynomial Coefficient (RPC)

<sup>۲</sup> Outliers



$$l = \begin{bmatrix} ua^T \\ ub^T \end{bmatrix} l_s + l_0 \quad (1)$$

$$S = \begin{bmatrix} uc^T \\ ud^T \end{bmatrix} S_s + S_0 \quad (2)$$

متغیرهای روابط (1) و (2) عبارتند از:

$$V^2 U^2 W^2 UVW V^3 VU^2 VW^2 u = [1 V U W VU VW UW \quad (3)$$

$$V^2 U U^3 UW^2 V^2 W U^2 W W^3]$$

$$a = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_{20}] \quad (4)$$

$$b = [1 \ b_1 \ \dots \ b_{19}] \quad (5)$$

$$c = [c_1 \ c_2 \ \dots \ c_{20}] \quad (6)$$

$$d = [1 \ d_1 \ \dots \ d_{19}] \quad (7)$$

$$V = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_s} \quad (8)$$

$$U = \frac{\varphi - \varphi_0}{\varphi_s} \quad (9)$$

$$W = \frac{h - h_0}{h_s} \quad (10)$$

که در آن‌ها؛

$U, V, W$ : مختصات نرمالیزه شده‌ی نقطه‌ی زمینی.

$\lambda, \varphi, h$ : به ترتیب عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع از روی دیتوم.

$s, l$ : مختصات عکسی (سطر و ستون).

: به ترتیب شیفت عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی، ارتفاع از روی دیتوم، سطر تصویر و ستون تصویر.

: به ترتیب مقیاس عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی، ارتفاع از روی دیتوم، سطر تصویر و ستون تصویر.

به همراه توابع رشنال زمین مستقل، علاوه بر ضرایب  $a, b, c$  و پارمترهای نرمالیزاسیون  $l_0, S_0, h_0, \lambda_0, \varphi_0$  نیز در اختیار کاربر قرار داده می‌شوند.  $l_s, S_s, h_s, \lambda_s, \varphi_s$

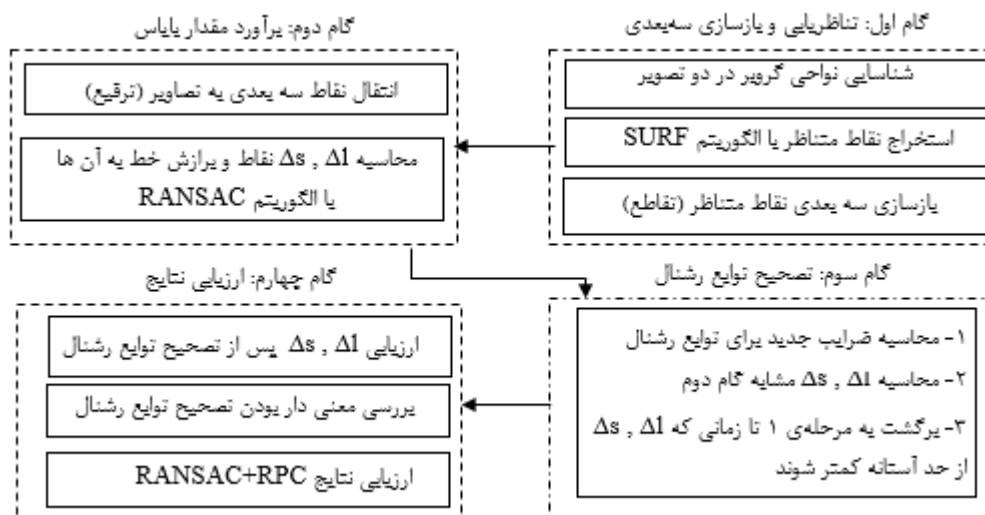


### ۳- الگوریتم RANSAC+RPC

به منظور تصحیح نسبی توابع رشنال و شناسایی متناظرهای اشتباه در فرآیند تناظریابی و تصحیح توابع رشنال گام - های ارائه شده در شکل (۱) مطرح می‌شوند. از آنجا که هدف از تصحیح توابع رشنال، انجام تقاطع فضایی صحیح بین نقاط متناظر عکسی است؛ در گام اول تناظریابی و بازسازی سه‌بعدی صورت می‌گیرد. پس از بازسازی سه‌بعدی نقاط، برای بررسی میزان تناظر پرتوهای متناظر و همچنین شناسایی اشتباهات، ترفیع فضایی انجام می‌گیرد. بنابراین در گام دوم علاوه بر شناسایی اشتباهات تناظریابی، مقدار خطاهای شیفت و دریفت نسبی بین توابع رشنال محاسبه می‌شود.

در گام سوم مقدار تصحیح این خطا به توابع رشنال اعمال شده و توابع رشنال جدید برآورد می‌شوند.

و در گام چهارم نیز ارزیابی نتایج و معنی‌دار بودن تصحیح نسبی توابع رشنال مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۱: مراحل روش پیشنهادی در الگوریتم RANSAC+RPC

#### ۳-۱- گام اول: تناظریابی و بازسازی سه‌بعدی

همانطور که پیشتر گفته شد، هدف از تصحیح توابع رشنال؛ انجام تقاطع فضایی صحیح بین نقاط متناظر عکسی است. بنابراین بایستی یکسری نقاط گرهی در دو تصویر استریو شناسایی شود. برای استخراج اتوماتیک نقاط متناظر از الگوریتم SURF [۸] استفاده می‌شود. اما از آنجا که اجرای این الگوریتم‌ها بر تصاویر با ابعاد بزرگ زمان پردازشی بالایی را می‌طلبد، این فرآیند تنها برای نواحی خاصی مانند نواحی گروپر<sup>۳</sup> انجام می‌گیرد. همچنین در این مرحله با تشکیل دستگاه معادلات (۱) و (۲) و حل آن به صورت کمترین مربعات، مختصات سه‌بعدی نقاط متناظر محاسبه می‌شود.

#### ۳-۲- گام دوم: محاسبه مقدار خطا

برای برآورد مقدار خطای توابع رشنال و شناسایی اشتباهات تناظریابی، نقاط زمینی به فضای تصویر انتقال داده می‌شوند. از اختلاف مختصات محاسباتی با مختصات اولیه نقاط عکسی، یک خطای در حد چند پیکسلی بدست می‌آید که یا از خطای نسبی توابع رشنال ناشی می‌شود و یا اینکه مربوط به اشتباهات تناظریابی است. منظور از اشتباهات، نقاطی

<sup>3</sup> Gruber Area



است که در راستای محور سمپل<sup>۴</sup> خطا دارند، زیرا اگر در راستای لاین<sup>۵</sup> هم خطایی وجود داشته باشد در مقدار ارتفاع حل می‌شود. این فرآیند به مانند این است که هندسه‌ی اپی پولار در تصاویر استریو ماهواره‌ای با یک خط تخمین زده می‌شود [۹، ۱۰]. زیرا اثبات شده که با این فرآیند می‌توان هندسه‌ی اپی پولار را با یک خط تخمین زد [۱۱]. پس از این مراحل با الگوریتم RANSAC به مقدار خطاهای محاسبه شده، یک خط برازش داده می‌شود؛ تا هم شیفت و هم دریافت نسبی (در صورت وجود) برآورد شود و هم اینکه اشتباهات تناظرابی شناسایی شوند.

### ۳-۳- گام سوم: تصحیح توابع رشنال

پس از برآورد مقدار خطای  $\Delta S'$ ,  $\Delta l'$ ,  $\Delta S''$ ,  $\Delta l''$  در هر دو تصویر، این مقادیر به روابط (۱) و (۲) اضافه می‌شوند.

$$\frac{l-l_0}{l_s} = \left[ \frac{ua^T}{ub^T} \right] + \frac{\Delta l}{l_s} \quad (11)$$

$$\frac{S-S_0}{S_s} = \left[ \frac{uc^T}{ud^T} \right] + \frac{\Delta S}{S_s} \quad (12)$$

در روابط (۱۱) و (۱۲) با یک طرفین-وسطین ساده می‌توان برای ضرایب  $a$ ,  $c$  یکسری ضریب جدید که اصلاح شده‌اند محاسبه نمود. ضرایب جدید از روابط زیر بدست می‌آیند:

$$a_{new} = a - \frac{\Delta l}{l_s} b \quad (13)$$

$$c_{new} = c - \frac{\Delta S}{S_s} d \quad (14)$$

توابع رشنال جدید همان توابع رشنال قبلی هستند با این تفاوت که ضرایب بدست آمده از روابط (۱۳) و (۱۴) به جای ضرایب قبلی جایگزین می‌شوند.

پس از این مراحل با توابع رشنال جدید، مقدار خطای بدست آمده از گام دوم، دوباره محاسبه می‌شود. اگر مقدار خطاها از حدآستانه (در اینجا کمتر از یک پیکسل) کمتر بود، توابع رشنال تصحیح شده‌اند؛ در غیر این صورت تا رسیدن به خطای کمتر از حدآستانه، مرحله بازسازی سه‌بعدی و گام‌های دوم و سوم تکرار می‌شوند.

### ۳-۴- گام چهارم: ارزیابی نتایج

پس از تصحیح توابع رشنال با بررسی مقدار خطاهای  $\Delta S'$ ,  $\Delta l'$ ,  $\Delta S''$ ,  $\Delta l''$  ارزیابی نتایج صورت می‌گیرد. همچنین برای معنی دار بودن فرآیند انجام شده، مختصات سه بعدی نقاط قبل از تصحیح توابع رشنال و پس از تصحیح توابع رشنال با هم مقایسه می‌شود.

### ۴- پیاده سازی و ارزیابی نتایج

در این بخش ابتدا داده‌های مورد استفاده معرفی شده، سپس گام‌های عملیاتی تشریح می‌شوند. در پایان نیز ارزیابی نتایج انجام می‌گیرد.

<sup>4</sup> Sample

<sup>5</sup> Line

## ۴-۱- معرفی داده

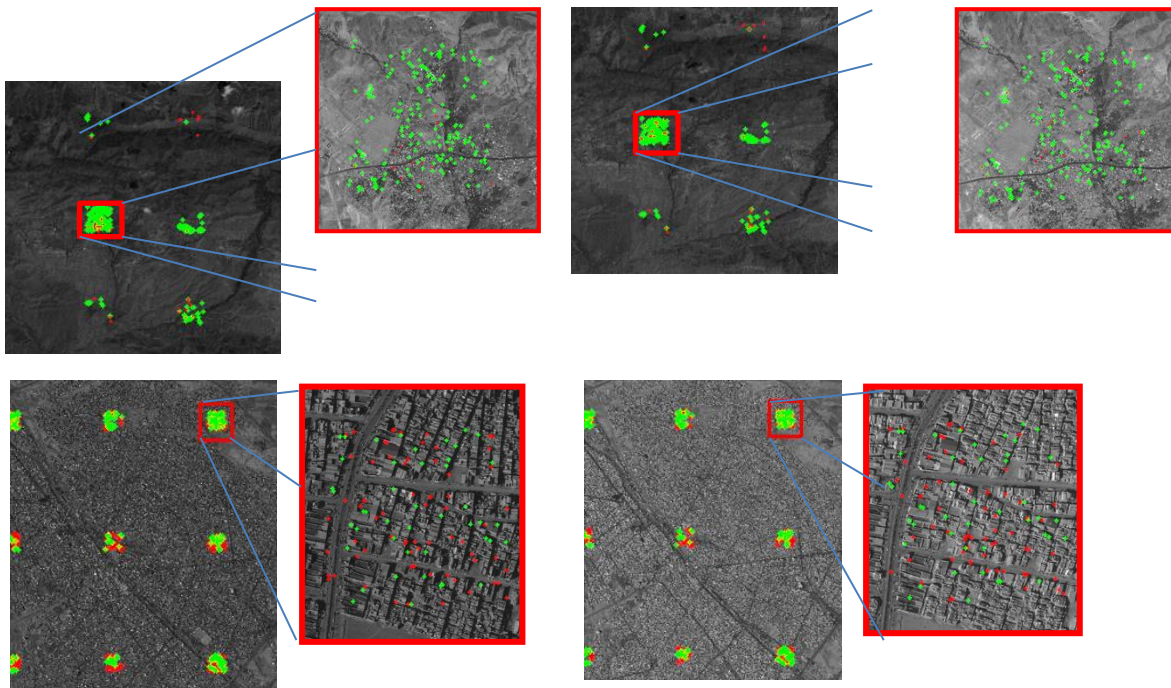
در این تحقیق از یک جفت تصویر استریو ماهواره‌ای GeoEye1 با پیکسل سایز زمینی ۰.۵ متر و یک جفت تصویر استریو ماهواره‌ای IRS P5 با پیکسل سایز زمینی ۲.۵ متر استفاده شده است. تصاویر مربوط به GeoEye1 از یک محدوده با بافت شهری و تصاویر IRS P5 از یک محدوده با بافت کوهستانی، شهری و تپه ماهور اخذ شده‌اند (مشخصات این تصاویر در جدول (۱) نشان داده شده است).

جدول ۱: مشخصات داده‌های ورودی

سنجنده	موقعیت	سال اخذ (میلادی)	ابعاد تصویر (پیکسل)
GeoEye1	ایران، شهر قم	۲۰۱۴	۱۷۰۰۰*۱۴۱۰۰
IRS P5	ایران، رودهن	۲۰۰۷	۱۲۰۰۰*۱۲۰۰۰

## ۴-۲- گام‌های عملیاتی

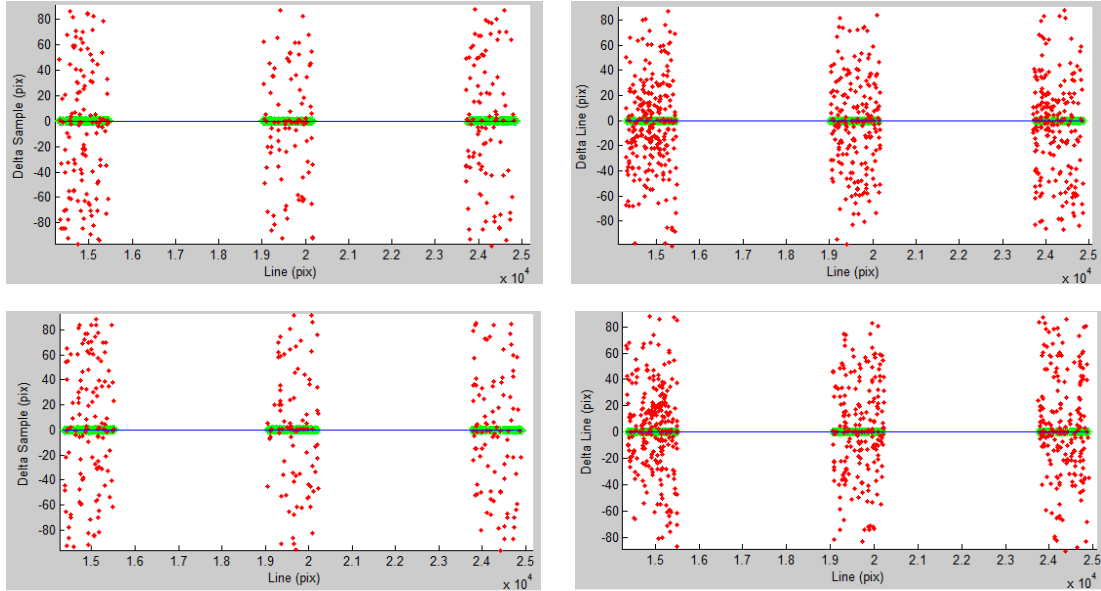
همانطور که پیشتر اشاره شد، پس از شناسایی نواحی گروبر، برای استخراج نقاط متناظر عکسی، اپراتور SURF به کار گرفته می‌شود. پس از استخراج نقاط متناظر، با استفاده از توابع رشنال و حل دستگاه معادلات بدست آمده از روابط (۱) و (۲)؛ مختصات سه‌بعدی این نقاط محاسبه می‌شود. برای محاسبه مقدار خطای نسبی توابع رشنال، مختصات سه‌بعدی محاسبه شده، با ترفیع فضایی به فضای عکسی انتقال می‌یابد. (نتیجه این گام در شکل (۲) نشان داده شده است).



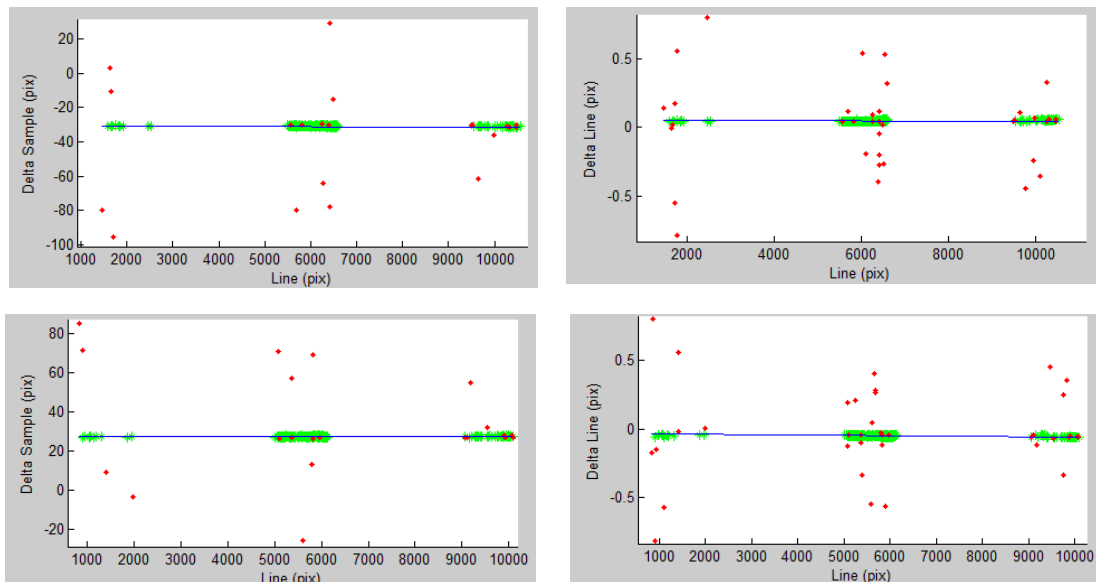
شکل ۲: استخراج نقاط متناظر با اپراتور SURF؛ بالا-راست: تصویر جلونگر سنجنده IRS P5؛ بالا-چپ: تصویر عقب نگر سنجنده IRS P5؛ پایین-راست: تصویر با زاویه دید مایل سنجنده GeoEye1؛ پایین-چپ: تصویر با زاویه دید تقریباً ارتو سنجنده GeoEye1؛ نقاط قرمز رنگ: نقاط متناظر اشتباه؛ نقاط سبز رنگ: نقاط متناظر صحیح



پس از برآورد مقدار خطاهای  $\Delta S'$ ,  $\Delta I'$ ,  $\Delta S''$ ,  $\Delta I''$ ، برای حذف اثر ناشی از خطای توابع رشنال با الگوریتم RANSAC به این مقادیر یک خط برازش داده می‌شود؛ تا هم خطای شیفت و هم خطای دریفیت (در صورت وجود) از روی داده‌ها برداشته شود. نتایج حاصل از این عملیات، برای تصاویر سنجنده GeoEye1 در شکل (۳) و برای تصاویر سنجنده IRS P5 در شکل (۴) ارائه شده‌اند.



شکل ۳: مقدار خطاهای  $\Delta S'$ ,  $\Delta I'$ ,  $\Delta S''$ ,  $\Delta I''$  و برازش خط با الگوریتم RANSAC؛ بالا: مقادیر این خطاها در تصویر تقریباً ارتو سنجنده GeoEye1؛ پایین: مقادیر این خطاها در تصویر با زاویه دید مایل سنجنده GeoEye1



شکل ۴: مقدار خطاهای  $\Delta S'$ ,  $\Delta I'$ ,  $\Delta S''$ ,  $\Delta I''$  و برازش خط با الگوریتم RANSAC؛ بالا: مقادیر این خطاها در تصویر عقب نگر IRS P5؛ پایین: مقادیر این خطاها در تصویر جلونگر سنجنده IRS P5

پس از برآورد مقدار خطاهای  $\Delta S'$ ,  $\Delta I'$ ,  $\Delta S''$ ,  $\Delta I''$ ، به کمک روابط (۱۳) و (۱۴) و براساس آنچه در بخش ۳-۳ آمده است؛ ضرایب تصحیح شده‌ی توابع رشنال محاسبه می‌شوند.



## ۴-۳- ارزیابی نتایج

برای ارزیابی نتایج، ابتدا تاثیر تصحیح نسبی توابع رشنال مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این کار مقادیر خطاهای  $\Delta S'$ ,  $\Delta l'$ ,  $\Delta S''$ ,  $\Delta l''$  قبل و پس از تصحیح توابع رشنال محاسبه می‌شوند. نتایج حاصل از این عملیات در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲: مقدار خطا قبل و پس از تصحیح توابع رشنال

سنجنده	قبل از تصحیح توابع رشنال (pix)				بعد از تصحیح توابع رشنال (pix)			
	$\Delta S'$	$\Delta l'$	$\Delta S''$	$\Delta l''$	$\Delta S'$	$\Delta l'$	$\Delta S''$	$\Delta l''$
GeoEye1	۰.۰۱۱	۰.۰۰۳	-۰.۰۱۲	-۰.۰۰۲	۰.۰۱۱	۰.۰۰۳	-۰.۰۱۲	-۰.۰۰۲
IRS P5	-۰.۷۸۱	۰.۰۴۸	۰.۶۷۸	-۰.۰۵۱	-۳۰.۸۸	۰.۰۴۸	۲۷.۵۲	-۰.۰۵۱

یکی دیگر از آزمون‌هایی که انجام آن ضروری به نظر می‌رسد معنی‌دار بودن تصحیح توابع رشنال است. بدین منظور بین مختصات سه بعدی محاسبه شده با توابع رشنال قبل از تصحیح و بعد از تصحیح مقایسه‌ای انجام گرفته است. با توجه به اینکه نتیجه تقاطع با توابع رشنال، مختصات نقاط را در سیستم مختصات ژئودتیک می‌دهد؛ این مختصات‌ها به سیستم تصویر ترانسفر مرکاتور جهانی<sup>۶</sup> انتقال داده شده‌اند. نتایج حاصل از این آزمون، در جدول (۳) ارائه شده‌اند.

جدول ۳: تاثیر تصحیح توابع رشنال بر مختصات زمینی نقاط

سنجنده	مولفه	$\Delta Z$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta X$ (m)
GeoEye1	میانگین	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
	انحراف معیار	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
IRS P5	میانگین	۰.۳۹۰	۰.۴۱۰	-۱.۴۸۰
	انحراف معیار	۰.۰۳۴	۰.۰۰۸	۰.۰۰۱

## ۵- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله هدف تصحیح نسبی توابع رشنال همراه با شناسایی اشتباهات تناظریابی در تصاویر استریو ماهواره‌ای بود که نتایج آزمایشات انجام گرفته بر روی تصاویر ماهواره‌های GeoEye1 و IRS P5 نشان از موفقیت این الگوریتم داشت. در این الگوریتم برای اتوماتیک کردن سطح اتوماسیون از الگوریتم‌های بینایی رایانه مانند SURF و RANSAC بهره گرفته شد.

نتایج ارائه شده در شکل‌های (۳) و (۴) و همچنین جدول (۲) نشان داد، در تصاویر فوق تنها خطای شیفت وجود داشته و برای تصحیح نسبی توابع رشنال، الگوریتم پیشنهادی از توانایی بالایی برخوردار است. در روش پیشنهادی برای اطمینان بیشتر، فرآیند تصحیح به صورت تکراری ارائه شده است؛ ولی در عمل با همان تکرار اول، مقدار خطاها به دقت زیر یک پیکسل می‌رسند. نکته‌ی مهم دیگری که می‌توان از نتایج بدست آورد اینست که در راستای لاین هیچ گونه خطایی دیده نمی‌شود و تنها در راستای سمپل مقدار خطایی وجود دارد. دلیل این مسئله را می‌توان در هندسه‌ی تصویربرداری و هندسه‌ی اپی‌پولار دانست؛ زیرا در راستای لاین هرچه قدر هم خطا وجود داشته باشد، این خطا می‌تواند خودش را در مقدار پارالاکس (ارتفاع) مخفی کند.

<sup>6</sup> Universal Transverse Mercator (UTM)





ارزیابی ارائه شده در جدول (۳) نشان می‌دهد که در تصاویر فوق حتی اگر تصحیح نسبی توابع رشنال انجام نگیرد، در مختصات نهایی اختلاف چشمگیری بوجود نمی‌آید. زیرا خطای متوسط در راستای محور X حداکثر ۱.۴۸ متر برای تصاویری است که پیکسل سائز زمینی آن ۲.۵ متر است که به معنی تصحیح خطاها در حد زیرپیکسل است. البته برای تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک بالا اگر چنین خطایی وجود داشته باشد بهتر است که حل شود.

مهمترین نتیجه تحقیق پیش رو را می‌توان به کارگیری الگوریتم نوین RANSAC+RPC دانست که در آن برای توجیه نسبی پایدار تصاویر ماهواره‌ای، از هندسه تصاویر ماهواره‌ای برای شناسایی اشتباهات تناظرایی استفاده شده است.

## مراجع

- [1] Javan, F. D. and Azizi, A. (2011). "Investigations on Applicability of Affine Transformation for Geo-Referencing of Cartosat-1 imageries". *Journal of Geomatics Science and Technology*.vol. 1, p. 11.
- [2] Grodecki, J. and Dial, G. (2003). "Block adjustment of high-resolution satellite images described by rational polynomials". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*.vol. 69, pp. 59-68.
- [3] Tao, C. V. and Hu, Y. (2001). "A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*.vol. 67, pp. 1347-1358.
- [4] Fraser, C. S. and Hanley, H. B. (2003). "Bias compensation in rational functions for IKONOS satellite imagery". *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*.vol. 69, pp. 53-57.
- [5] Azizi, A., Hadilou, A., Shankayi, M., and Aslani, M. (2013). "The Effect of Shift and Drift Errors in 3D Coordinates Extracted from IRS P5 Imagery". *Geospatial Engineering Journal*.vol. 4, p. 9.
- [6] Fischler, M. A. and Bolles, R. C. (1981). "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography". *Communications of the ACM*.vol. 24, pp. 381-395.
- [7] Gupta, R. and Hartley, R. (1997). "Linear pushbroom cameras". *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*.vol. 19, pp. 963-975.
- [8] Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., and Van Gool, L. (2008). "Speeded-up robust features (SURF)". *Computer vision and image understanding*.vol. 110, pp. 346-359.
- [9] Tatar, N., Saadatseresht, M., Arefi, H., and Hadavand, A. (2015) "QUASI-EPIPOLAR RESAMPLING OF HIGH RESOLUTION SATELLITE STEREO IMAGERY FOR SEMI GLOBAL MATCHING". presented at the Sensors and models in Photogrammetry and Remote Sensing (3<sup>rd</sup> SMPR), Kish Island, Iran.
- [10] Wang, M., Hu, F., and Li, J. (2011). "Epipolar resampling of linear pushbroom satellite imagery by a new epipolarity model". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.vol. 66, pp. 347-355.
- [11] Wang, M., Hu, F., and Li, J. (2010). "Epipolar arrangement of satellite imagery by projection trajectory simplification". *The Photogrammetric Record*.vol. 25, pp. 422-436.



## Using RANSAC+RPC Algorithm for Robust Relative Orientation of Satellite Stereo Imagery

Tatar, N. <sup>\*1</sup>, Saadatseresht, M. <sup>2</sup>, Arefi, H. <sup>2</sup>

1-Ms.c student of Photogrammetry in School of Surveying and Spatial Information Engineering, College of Engineering, University of Tehran

2- Assistant professor in School of Surveying and Spatial Information Engineering, College of Engineering, University of Tehran

### Abstract

Satellite image providers often present the rational polynomial coefficients (RPCs) for georeferencing issue. Since the RPCs are determined independently for each image scene, they have both absolute and relative biases when a stereo scene is used. For relative orientation of a stereo scene, conjugate image points should be extracted. SURF operator is a powerful computer vision algorithm enable to detect image features in image scenes. Usually some of these features are not actually matched and are outliers. In this paper RANSAC+RPC algorithm is employed to simultaneously detect these outliers as well as correct the relative bias of RPCs. Our experiments on GeoEye-1 over Qom city and IRS-P5 over Rudehen district, both in the center of Iran, demonstrated the capability of our proposed algorithm. Though the RPC modification was done robustly for relative orientation of stereo scenes, improvement in the reconstructed 3D coordinates in the range of sub pixel accuracy.

**Keywords:** Rational Polynomial Coefficients (RPC), RPC Modification, Satellite Stereo Imagery, RANSAC+RPC, Outlier Detection.

Correspondence Address: Photogrammetry Group, School of Surveying and Geo-spatial Information Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. **Tel: +98 21-88008837.**

**Email:** [n.tatar@ut.ac.ir](mailto:n.tatar@ut.ac.ir)