

# تبدیل عکس به نقشه

## داده‌های PAN IRS-1C (ماهواره تصویر برداری هند)

### با استفاده از مدل ارتفاع مداری و حداقل یک نقطه کنترل زمینی

نویسندگان:

P.V.Radhadevi, R.Ramachandran, A.S.R.K.V.Murali Mohan

برگردان: خسرو خواجه

#### چکیده

به منظور دستیابی به روش دقیق تبدیل تصویر برداری PAN از تصویر فضایی به شش فضایی یک مدل ریاضی طراحی شده است که در آن برای تعیین توجیه خارجی تصاویر از حداقل یک نقطه کنترل زمینی<sup>(1)</sup> (GCP) استفاده می‌گردد. این مدل ریاضی در ابتدا برای تصاویر ماهواره اسپات تهیه شده بود که از معادلات همخطی جهت تهیه مدل مسیر ماهواره استفاده می‌گردد، در حالی که اختلاف ارتفاع ماهواره با زمان با استفاده از چندجمله‌ای درجه بالا مدل سازی تحقق می‌یافت. اطلاعات اولیه مداری از داده‌های افه مریز مفروض بدست آمده است و پالایش نیز با استفاده از راه حل حداقل مربعات تکراری انجام پذیرفته است. این مدل ریاضی برای سه حالت متفاوت مورد آزمون قرار گرفت: (۱) تصویر تکی (۲) استریپ (ناشی از یک آشکارساز در طی گذر مداری) و (۳) زوج برجسته. برای حالت‌های (۱) و (۲) خطای میانگین ۹/۱ متر در عرض و ۷/۶ در طول را می‌توان با استفاده از یک نقطه کنترل زمینی GCP برای مدل سازی بدست آورد. استفاده از یک نقطه کنترل زمینی از یک نقشه مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ شناسایی گردید. دقت‌های به ترتیب ۳۸/۳ متر در عرض، ۴۲/۶ متر در طول و ۲۳/۸ متر در ارتفاع برای زوج برجسته بدست آمد. نتایج مدل را تأیید می‌کند و تاحدی ایده‌هایی را مطرح می‌سازد که با آن PAN (IRS-1C) خواهد توانست در تحولات آبی فتوگرامتری و کارتوگرافی مؤثر باشد. نرم‌افزاری که برای مدل سازی ارتفاع مداری در این مقاله بیان شده است بخشی از SOFTSPACE، ایستگاه فتوگرامتری رقومی برای کار با داده‌های استریوی تصاویر IRS-1C PAN، و اسپات است که یک بسته نرم‌افزاری چندکاره پیش پردازش، تبدیل عکس به نقشه، مدل رقومی زمین (DTM) و مدل‌های گردآوری عرضه شده است.

#### واژه‌های کلیدی

IRS-1C PAN، مدل‌سازی حالت مداری، تصویر تکی، زوج برجسته؛

دقت تعیین موقعیت 3D

#### پیشگفتار

ماهواره IRS-1C در ۲۸ دسامبر ۱۹۹۷ با موفقیت به فضا پرتاب گردید. این ماهواره یک ماهواره که با سه محور بدنه آن به تقارن رسیده است و در یک مدار قطبی همگام با خورشید با میلی ۹۸/۶ درجه در ارتفاع ۸۱۷ کیلومتری زمین قرار گرفته است تجهیزات ماهواره شامل سه سنجنده PAN، LISS-III و WIFS است.

جزئیات ماهواره (IRS-1C) و سیستم‌های دوربین آن توسط KASTURIRANGAN و JOSEPH و همکاران آنها در ۱۹۹۶ ارائه شده است. دوربین PAN از قدرت تفکیک مکانی ۵/۸ متر برخوردار است و شامل سه آرایه CCD است که هر یک از آنها از ۴۰۹۰ عنصر فعال سنجنده دارا می‌باشد. یک منظره کامل پان PAN شامل ۹ منظره است که هر یک از این منظره‌ها دارای ۲۳/۵×۲۳/۵ کیلومتر است. دوربین این ماهواره را می‌توان تا مثبت و منفی ۲۵ درجه میل داد که به نوبه خود قابلیت دیدار مجدد را افزایش می‌دهد. سنجنده LISS-III داده‌های چندطیفی را فراهم می‌کند که در چهارباند محدوده مرئی، فروسرخ نزدیک (NIR) و فروسرخ کوتاه (SWIR) جمع آوری شده است. توان تفکیک مکانی کانالهای فروسرخ نزدیک ۲۳/۵ متر و کانال فروسرخ کوتاه ۷۰/۵ متر است. (WIFS) داده‌ها را در دو باند طیفی با توان تفکیک مکانی ۱۸۸/۳ متر گردآوری می‌کند. قدرت تفکیک بالا، قابلیت دید انحراف از قائم و قابلیت انعطاف دریافت داده‌ها ابتکاری‌ترین مشخصه‌های دوربین IRS-1C PAN می‌باشد. به خاطر همین مزیت‌هاست که می‌توان تصویربرداری PAN را که به طریقه ژئومتری تصحیح شده است به طور مؤثری برای کاربردهای کارتوگرافی به کار برد.

در حال حاضر، سیستم‌های سنجنش از دور گوناگونی، از جمله IRS-1C PAN برای کارتوگرافی فضایی در دسترس است. تعدادی از

مقالات Kornuy, Dowman, 1991 و همکاران (۱۹۹۵) رهیافت‌های متفاوتی را جهت تعیین مدار و ارتفاع این ماهواره‌ها انتشار داده‌اند. این رویکردها یا رهیافت‌ها از نظر کاربرد کنسرتیت‌ها (از کنسرتیت‌ها جهت رفع نقص در تعریف سیستم مختصات استفاده می‌شود) و از نظر روش تعیین مقادیر اولیه مجهولات با هم مغایرت دارند. روشهای مزبور نیاز به کنترل متعدد ترمیم تصویر می‌باشد. نیاز به کنترل بسیار دقیق در نواحی دور، که ماهواره IRS-IC PAN برای نقشه برداری کار توگرافی بسیار مفید است، مسئله عمده‌ای به شمار می‌رود. بنابراین با هدف کاهش نیازمندیهای کنترل به حداقل، مدلی برای توجیه داده‌های ماهواره IRS-IC PAN ارائه شده است. این مدل مبتنی بر مدلی است که از سوی مؤلفین برای ماهواره اسپات (Radhadevi و همکاران وی در ۱۹۹۴) ارائه شده است. بنابر دلایلی که در ذیل آمده است، توجیه تصویربرداری بان مشکلاتی بروز می‌دهد که با ماهواره اسپات (Spot) متفاوت است:

۱) سیستم مختصاتی که در آن اطلاعات افه مریز داده شده است (یعنی سیستم اینرشیال زمین مرکزی) با سیستم مختصات ماهواره اسپات (WGS-84) تفاوت دارد.

۲) به جای آنگهای حالت از زوایای حالت برای پردازش چندجمله‌ای‌ها جهت استخراج تقریب‌های اولیه پارامترها استفاده شده است. در معادلات ۹ تا ۷ فقط عبارتهای ثابت به عنوان مجهولات عمل می‌گردد. ضرایب باقی مانده از زوایای حالت استخراج می‌گردد که در فاصله یک ثانیه‌ای در داده‌های افه مریز داده شده است.

۳) همانطور که ژنومتری داخلی سنجنده کاملاً تفاوت دارد، ماتریسهای وزنی پارامترها در روش تعدیل می‌باید تغییر یابند.

۴) به جای مفهوم آیینه انتخاب (Strip Selecting Mirror) که در ماهواره اسپات استفاده می‌گردد، پسان دارای یک مکانیزم هدایت تجهیزات (Payload Steering Mechanism) دارد و در نتیجه ژنومتری پرتوافکنی (تصویرکردن) دستگاه نوری متفاوت است.

این مقاله رویکردی برای مدل سازی ژنومتری فرایند تصویربرداری ماهواره PAN با استفاده از یک نقطه کنترل زمینی GCP و برای تعیین نقطه 3D با در نظر گرفتن حقایق بالا تشریح می‌کند.

### مدل ریاضی

به منظور محاسبه مختصات زمینی از مختصات تصویر نیاز به استفاده از یک مدل ریاضی است که رابطه بین این دو مجموعه مختصات را تشریح نماید.

هر مشاهده‌ای از GCP منتهی به مجموعه‌ای از دو معادله همخطی می‌گردد که از رابطه بین موقعیت ماهواره، مختصات سیستم و مختصات GCP در سیستم مختصات زمین مرکزی یعنی:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ g_s \\ -f \end{bmatrix} = \lambda M \begin{bmatrix} X - X_p \\ Y - Y_p \\ Z - Z_p \end{bmatrix} \quad (1)$$

از این معادله مؤلفه  $(g_s)$  مختصات تصویر بر سیستم مختصات سنجنده با مبدأ در مرکز پرسپکتیو، محور  $\lambda$  موازی با آرایه آشکارسازها و محور  $Z$ ها

عمود بر محور  $\lambda$  است که آرایه به طرف مرکز پرسپکتیو هدایت شده است.  $f$  طول کانونی دوربین PAN یعنی فاصله عمودی بین مرکز پرسپکتیو و آرایه خاص CCD است که با آن تصویر برداشت شده است. آنرا باید مقیاس گذاری نمود تا با طول خط تصویر سازگاری داشته باشد. مختصات  $g_s, F$  یا مختصات در سیستم مختصات سنجنده مطابقت دارند.  $(\lambda)$  یک فاکتور مقیاس است.  $X, Y, Z$  مختصات نقطه زمینی در سیستم مختصات ژنوستریک کارترین WGS84 است. مختصات زمینی را که بر مبنای داده‌های ژنودزی منطقه‌ای قرار دارند می‌توان در سه مرحله به WGS84 تبدیل نمود. مرحله اول آن است که ارتفاعات ژنوتیدی را برای تفکیک بین ژنوتید و الیپسوتید تصحیح نمود. سپس، مختصات از سیستم مختصات ژنودزی به سیستم مختصات ژنوستریک در داده‌های منطقه‌ای تبدیل می‌گردد. بالاخره مرحله سوم آن است که مختصات ژنوستریک کارترین از داده‌های منطقه‌ای به داده‌های WGS84 تبدیل نمود.  $Z_p, Y_p, X_p$  مختصات مرکز پرسپکتیو دوربین PAN در سیستم مختصات زمین مرکزی است. این پارامترها با زمان تغییر پیدامی‌کنند و بر حسب پارامترهای مداری کپلری (حرکت کپلری که در اثر نیروی جاذبه، نظیر حرکت سیارات و ماهواره‌ها) سیال می‌گردد. در این مطالعه، از یک مدل ساده مداری استفاده شده است. فرض بر آن است که در طی مدت زمان یک منظره، مدار را می‌توان به وسیله یک مدار دایره‌ای صفحه با دقت کافی نزدیک نمود. با این همه، به شعاع مداری امکان داده شده است که با زمان تغییر پیدا کند تا شکل فرم بیضوی مدار را توجیه نماید.

بدین ترتیب، پارامترهای مداری که می‌باید با استفاده از مدل ما به هنگام سازی شوند عبارتند از:  $(i)$  میل،  $(\Omega)$  طول جغرافیایی نقطه گره صعودی،  $v$  انومالی میانگین، و  $t$  شعاع. در ابتدا پارامترهای مداری از موقعیت و سرعت ماهواره که در افه مریز داده شده است بدست می‌آید.

افه مریز در سیستم مختصات اینرشیال ژنوستریک داده شده است که مبدأش در مرکز زمین، محور  $X$  آن به طرف نقطه ورنال، محور  $Z$  به طرف قطب شمال سماوی نشانه روی شده است و بالاخره محور  $X$  آن هم سیستم راست گر را کامل می‌کند. موقعیت ماهواره که سیستم مختصات اینرشیال داده شده است با دوران صفحه  $XY$  به وسیله زاویه نجومی به مختصات حقیقی تبدیل می‌گردد.

$M$  یک ماتریس دورانی راستگوش جهت تبدیل از ژنوستریک به سیستم مختصات سنجنده است. این ماتریس با زمان تغییر پیدامی‌کنند و می‌توان آنرا به صورت ذیل بیان نمود:

$$M = (R_{GF} \cdot R_{FB} \cdot R_{BS})^T \quad (2)$$

در این عبارت  $(R_{GF})$  ماتریس تبدیل ژنوستریک پروازی است که به عنوان حاصل سه دوران پارامترهای نوسان کننده  $i, v, (\Omega)$  بدست می‌آید. پارامتری فوق و  $t$  توابعی از زمان می‌باشند:

$$\Omega(t) = \Omega_0 + \Omega_1 t \quad (3)$$

$$i(t) = i_0 + i_1 t \quad (4)$$

$$v(t) = v_0 + v_1 t \quad (5)$$



داده‌های افه مرز مشخص نشده است) بیان می‌کند که در آن هر پارامتری می‌تواند تغییر پیدا کند. وزنهای مزبور برای پارامترها کتسرتیت‌هایی ایجاد می‌کند که گویا نمی‌باشد یاو (چرخش ماهواره حول محور قائم آن) و میل، بیج (چرخش ماهواره حول محور افقی، بالا و پایین رفتن ماهواره) و زاویه مابین ماهواره و کانون مدار (true anomaly)، و رول (چرخش ماهواره حول محور طولی خود) و طول نقطه گره صعودی و غیره به شدت همبستگی دارند. همبستگی‌ها (وابستگی‌ها) بین این پارامترها از راه تجربی بعد از آزمایش با تعداد زیادی از مجموعه داده‌ها استخراج شده است. حالا حل تکرار می‌گردد. بعد از هر تکرار، که با استفاده از پارامترهای به هنگام سازی ماهواره انجام می‌گردد، مختصات زمینی GCPs به کار رفته محاسبه می‌شود. چنانچه اختلاف بین مقادیر محاسبه شده و مقادیر اولیه قابل اغماض باشد، تکرارها پایان می‌یابد.

### تعیین مختصات زمینی

دقت تعیین نقطه 3D بستگی به دو فاکتور (عامل) دارد: (a) دقت اندازه گیریهای مختصات تصویر و (b) دانستن دقیق از ژئومتری تصویربرداری. بعد از بالاایش پارامترهای وضع و حالت مداری، فرض می‌کنیم ژئومتری تصویربرداری کاملاً معلوم است. نتایج مدل وضع و حالت قرارگیری مدار خودمان را برای سه ساختار مختلف تحلیل می‌کنیم. (a) تصویر تکی (b) استریپ و (c) زوج برجسته.

### تصویر تکی

تصویر تکی نمایش دو بعدی از یک شی فضایی سه بعدی است. هر نقطه تصویر دو معادله همخطی را ارائه می‌نماید. توجه پرتو تصویربرداری به شدت نسبت به دقت اندازه گیریهای مختصات تصویر حساسیت دارد. اگر پارامتر به هنگام شده ماهواره با استفاده از رویکرد مدل سازی پیشنهادی بدست آمده باشد و ارتفاع نقطه زمینی معلوم باشد، مختصات مسطحاتی (پلانیمتری) هر نقطه تصویر را می‌توان از طریق حل معادلات همخطی بدست آورد.

### استریپ (نوار) تصویری

تصویربرداری IIRS-1C PAN لازم است که در یک روش استریپ پیوسته باشد و هر سگمنت یا بخش منظره‌ای یک پنجره مصنوعی را نشان دهد که از تصویر دیجیتال (رقومی) با طول اساساً نامعلوم بدست آمده و در یک سیستم مختصات یکدست مشخص گردیده است. فایل عنوان یا سرآمد دارای زمانهای ثبت برای خطوط و کوری در هر سگمنت تصویر است و اختلاف زمان را می‌توان به انحراف مختصات انتقال داد. با شناسایی نقاط مشترک در دو تصویر یک نوار (استریپ) و اندازه گیری مختصات X آنها در هر یک از دو سیستم مختصات تصویر همچنین امکان محاسبه پوشش (سطح مشترک دو تصویر متوالی) را می‌دهد که معمولاً برای هر جفت منظره یا تصویر فرعی مجاور متفاوت است. وقتی پوشش یا همپوشانی محاسبه گردیده، استریپ را می‌توان به منزله یک تصویر تکی در نظر گرفت و مختصات مسطحاتی (پلانیمتری) را می‌توان با استفاده از ارتفاع به عنوان ورودی همانند مورد تصویر رنگی محاسبه کرد.

$$r(t) = r_0 + r_1 t + r_2 t^2 + r_3 t^3 \quad (6)$$

(R<sub>FF</sub>) ماتریس تبدیل بدنه پروازی که تابعی از زوایای غلتیدن، تکان و نوسان است. اینها زوایای دوران است که رابطه زاویه‌ای بین سیستم مختصات پلانفرم ایده‌آلی و واقعی را مشخص می‌سازد. این زوایا با معادلات زیر ارائه می‌گردد.

$$w(t) = w_0 + w_1 t + w_2 t^2 + w_3 t^3 \quad (7)$$

$$\phi(t) = \phi_0 + \phi_1 t + \phi_2 t^2 + \phi_3 t^3 \quad (8)$$

$$k(t) = k_0 + k_1 t + k_2 t^2 + k_3 t^3 \quad (9)$$

(R<sub>BS</sub>) ماتریس تبدیل بدنه سنجنده است که تابعی از زوایای دوران است که رابطه زاویه‌ای بین PAN و سیستم مختصات پلانفرم واقعی تعیین می‌کند که از زوایای نگرش آشکار ساز بدست می‌آید. زوایای مزبور در این مدل به عنوان زوایای ثابت عمل می‌گردد. پارامترهای توجیه داخلی نظیر زاویه نگرش، انحرافات همراستایی و غیره ثابت در نظر گرفته می‌شود و در ماتریس دورانی بالا گنجانده می‌گردد. تأثیر خطاهای اندازه گیری پارامترهای مزبور در هنگام بهنگام سازی زوایای مجهول، حالت در طی تکرارها تصحیح خواهد شد. مشاهدات پارامتری با معادلات همخطی رابطه پیدامی‌کنند. با مجموعه‌ای از مقادیر تخمینی شروع می‌کنیم که با آن مدار و پارامترهای حالت از داده‌های افه مرز استخراج می‌گردد. در معادلات ۹ تا ۱۳ عبارتهای ثابت، خطی، کوادراتیک (درجه دوم) و مکعب از داده‌های افه مرز معلوم استخراج می‌شود. سپس، عبارتهای ثابت در هنگام تکرار بهنگام سازی می‌شود. صورتهای خطی شده معادلات شرط (در سرشکنی کمترین مربعات) با استفاده از بسط سریهای تایلر در اطراف مشاهدات پارامترهای گسترش می‌یابد و فقط عبارت درجه اول حفظ می‌شود. آنگاه، حل کمترین مربعات تخمین زده می‌شود. معادلات شرط در فرم و صورت ماتریس را می‌توان به شرح ذیل مجدداً فرمول بندی نمود:

$$AV + BA = E^0 \quad (10)$$

در این معادله، A ماتریس دارای مشتق درجه اول با توجه به مشاهدات است، B ماتریس است که مشتق‌های درجه اول از لحاظ پارامترها در خود جای داده است، E<sup>0</sup> معادلات همخطی با اولین مجموعه مشاهدات و پارامتری می‌باشد و V عبارت است از باقیمانده مشاهدات و (Δ) هم تصحیحات (AQ, Δi, Δv, Ar, Δw, Δφ, Δk) نسبت به پارامترهای تقریبی است. مادر اینجا یک ماتریس هم عامل (cofactor) را برای مشاهدات و یک ماتریس وزنی را برای تخمین‌های پارامتر در سیستم دخالت می‌دهیم. مقادیر هم عامل یک ماتریس برای مشاهدات عدم قطعیت و نامعلومی را در اندازه گیریهای نقطه کنترل را نشان می‌دهد. به همان ترتیب، وزنهای از علت به معلول رسیده پارامترهای عدم قطعیت و نامشخصی را در افه مرز و اطلاعات حالت (نامشخصی ۱ کیلومتر برای موقعیت، ۵/۵ درجه برای غلتیدن و تکان خوردن و ۲/۲ درجه برای نوسان است) را نشان می‌دهد. هفت مجهول (تصحیحات نسبت به مدار و پارامترهای حالت و طرز قرارگیری) فقط با یک GCP از طریق استفاده از وزنهای مناسب جهت پارامترها حل می‌گردد که بدین وسیله وزن‌ها حد‌ها را (که با عدم قطعیت

## زوج تصویر

چنین خطاهایی معمولاً در انتقال نقطه کنترل از زمین به تصویر روی می‌دهد. و این خطاها وقتی بزرگترند که از دید تک چشمی استفاده می‌گردد. اگرچه بدیهی است که کنترل ناشی از نقشه بدتر از کنترلی است که از عکس هوایی یا از نقشه برداری زمینی بدست آمده است. گزینه دیگری در نواحی وجود نداشت، بدین ترتیب بخش مهمی از خطاهای مختصات 3D مستقیماً ناشی از دقت محدود نقاط کنترل می‌باشد و این خود مهمترین محدودیت در دقت موقعیت بدست آمده در این آزمایشهاست.

## دقت مختصات تصویر

دقت قابل حصول اندازه گیریهای مختصات تصویر بستگی به عوامل زیادی نظیر کنتراست منطقیهای تصویر، مشخصه‌های زمین و شرایط نور دارد. خطاهای اندازه گیری مختصات تصویر نقاط کنترل زمینی GCPs و همچنین نقاط مقابله به دلیل اندازه گیری‌های مختصات تصویر دستی و منوسکویی ناهمگون (پیکسل) می‌باشد. به علت شناسایی مسائل در دید منوسکویی، به نحوی چشمگیری از دقت پلانیمتری و ارتفاع از دست می‌رود. این مسائل را نمی‌توان با تقویت و تباین تصویر جبران نمود.

## نتایج و بحث

مدل حالت مداری با استفاده از انواع مجموعه‌های داده‌ای و نقاط کنترل مورد آزمایش قرار گرفت. مختصات زمینی با استفاده از پارامترهای مداری به هنگام شده جهت مشاهده مختصات تصویر نقاط مقابله‌ای محاسبه گردید و با مختصات زمینی معلوم مقایسه شد. خطاهای RMS برای حالتیهای مختلف در جدول ۱ تا ۳ و نگاره‌های ۱ تا ۶ ارائه شده است.

جدول (۱) دقت‌های حاصله را برای ۴۰ مجموعه داده را نشان می‌دهد. ۴۰ مجموعه داده که به وسیله آشکارسازهای دوربین PAN با زوایای دید مختلف گرفته شده است برای آزمایش سازگاری و درستی مدل ارزیابی قرار گرفت. همانطور که می‌توان در جدول (۱) مشاهده نمود، دقتیهای تا ۸۷ متر در طول و ۷/۸ متر در عرض را می‌توان برای یک منظره تک‌بانه با نقشه برداری تنها یک نقطه کنترل زمینی بدست آورد. وقتی یک GCP از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت، خطای میانگین ۳۴/۵ متر (یعنی از میانگین ۴۰ مجموعه داده‌ای) در حالت و طرز قرارگیری و ۲۷/۸ متر در طول بدست آمد. حداکثر خطاهای وضعی و طول حاصل از نقاط کنترل نقشه ۱:۵۰۰۰۰، ۵۱/۸ متر و ۵۶/۴ متر بود در حالی که حداکثر مقادیر به ترتیب ۱۱/۵ متر و ۱۲/۸ متر بود. نگاره (۲ و ۱) فراوانی (فرکانس) مجموعه‌های داده‌ای در مقایسه با خطاهای پلانیمتری RMS را نشان می‌دهد.

از ارتفاعات ژئوئیدی در سرشکنی بدون تبدیل آنها به ارتفاعات الیپسوییدی استفاده گردید و علت این امر هم آن بود که چارت تبدیل از ارتفاعات سطح متوسط آبهای دریا (یعنی ارتفاعات MSL) به ارتفاع بالای بیضوی مقایسه در دسترس نبود. چنین امری به افزایش خطا انجامید. دقت کنترل ویژه برای نقاط کنترل نقشه برداری شده ۱۰-۵ متر و برای نقاط از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ حدود ۲۵-۳۵ بود. دقت بدست آمده نزدیک به این مقادیر صرفاً با یک GCP بود.

در پرتو مقاطع چهار معادله همخطی ارائه می‌کند که می‌توان از آن مختصات زمینی در 3D را تخمین زد. برای دید استرنوسکویی بهتر و دقت بیشتر در تعیین ارتفاع، به نسبت باز به ارتفاع (B/H) یعنی دیدن دو تصویر را در زوایای مقابل و انحراف از قائم، نیاز می‌باشد. دقت مسطحاتی بطور محسوس به زاویه انحراف از قائم بستگی دارد.

## جزئیات تست

تستهای زیادی جهت بررسی پتانسیل دقت منظره‌های تصویر ماهواره‌ای IRS-IC PAN انجام گرفت، که با مدل وضعیت مداری ترسیم شده است. اهداف تست‌ها عبارتند از: (۱) تعیین دقت که به توان برای تصویر تکمی، زوج و استریپ تصاویر بان IRS-IC PAN بدست آورد. (۲) تعیین تعداد نقاط کنترل مورد نیاز (۳) تأیید و درستی سازگاری و استحکام مدل (۴) مقایسه دقت‌های بدست آمده در هنگام استفاده از انواع مختلف کنترل. مجموعه داده‌های حالت تک تصویری مورد ارزیابی قرار گرفت به طوری که ۳ مجموعه داده برای حالتیهای زوج و استریپ مورد استفاده قرار گرفت. جزئیات درباره داده‌های تصویری GCPs و دقت مختصات تصویر در ذیل آمده است.

## داده‌های تصویری

داده‌های ماهواره‌ای IRS-IC PAN که فقط تحت تصحیحات رادیومتری قرار گرفته‌اند، برای این بررسی و مطالعه استفاده شده است. مجموعه داده‌های بسیاری که با آرایه‌های مختلف CCD دوربین بان PAN گرفته شده است، برای ارزیابی درستی، سازگاری و دقت مدل ژئومتری مورد استفاده قرار گرفت. با هر یک از منظره‌های PAN به منزله تصویر تکمی عمل شد. داده‌های تصویری و مشخصات ژئومتری تصویربرداری در جدول ۱ تا ۳ آمده است. منظره‌های فرعی که با یک آشکارساز در یک روز دریافت شده است را می‌توان به عنوان یک استریپ در نظر گرفت. یک زوج تصویر اصلی به نحوی انتخاب می‌گردد که نسبت (B/H) حداکثر باشد. همچنین، دو تصویر یک زوج استرنو باید تا آنجایی که امکان دارد از نظر زمانی نزدیک باشد تا بتوان در تعیین بهترین نقاط استفاده نمود.

نقاط کنترل از دو منبع مختلف گردآوری گردید. چند نقطه کنترل نقشه برداری شده در دسترس بود، درحالی که اغلب نقاط از رقومی کردن دستی نقشه‌های توپوگرافی هند با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ بدست آمد. نقاط نقشه برداری شده با GPS اندازه گیری انجام گرفت و از دقت تقریبی ۲ متر در X, Y, Z بر خوردار بودند لیکن دلیل شناسایی (دستی) این تصاویر خطا می‌تواند به تا ۱۰ متر برسد. نقشه‌ای به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ دارای خطای تقریبی ۱۲/۵ متر در پلانیمتری و ۲۰ متر در ارتفاع است.

در عمل در طی رقومی کردن یک عارضه خاص برای کنترل، متوجه شدیم که خطا می‌تواند به ۲۵ تا ۳۵ متر در پلانیمتری برسد. اندازه این خطاها با تکرار رقومی کردن تعدادی از نقاط تخمین گردید. ارتفاع نیز با تقریب نزدیکترین منحنی میزان یا با درونیابی بدست آمد. نقاط کنترل نقشه برداری شده می‌تواند خطایی بین ۱۰ تا ۵ متر (تقریباً ۱ تا ۲ پیکسل) داشته باشند.



جدول (۱): خطاهای RMS بدست آمده برابری ۴۰ مجموعه داده‌های متفاوت (حالت تک تصویری) را نشان می‌دهد.

Table 1  
RMS errors obtained for forty different datasets (single-image case)

Image description			Source of control/ terrain height range (m)	No. of GCPs	No. of check points*	RMS (m)	
path/row/subscene	date	looking angle (degr.)				lat.	long.
100/60/C9	11.4.96	-17.1	Surveyed/400-600	1	5	8.7	7.8
				2	5	11.4	10.3
				3	5	8.0	9.6
				1	28	34.2	35.2
				2	28	28.1	36.2
100/60/D7	20.1.96	-0.8	Surveyed/400-600	1	7	9.3	10.8
				5	7	9.1	10.3
				1	19	22.8	28.9
				3	19	20.8	23.5
				1	5	11.5	41.0
94/57/D2	26.3.96	2.3	1:50,000 map/0-150	1	5	11.5	41.0
94/59/D1	15.12.96	0.9	1:50,000 map/400-600	1	11	15.6	28.3
94/59/B8	26.3.96	2.3	1:50,000 map/20-100	1	7	30.8	47.6
94/59/B7	26.3.96	1.5	1:50,000 map/0-50	1	5	39.0	28.9
95/49/C4	11.6.96	-0.8	1:50,000 map/200-400	1	5	19.0	26.2
95/49/C5	11.6.96	0.0	1:50,000 map/200-600	1	8	42.2	47.3
96/51/A5	9.4.96	23.3	1:50,000 map/200-300	1	11	49.2	37.7
96/51/A6	9.4.96	24.2	1:50,000 map/200-300	1	2	12.5	41.1
96/51/A9	9.4.96	24.2	1:50,000 map/200-300	1	5	14.7	31.7
96/51/A8	9.4.96	23.3	1:50,000 map/200-300	1	23	47.1	49.1
96/52/A3	11.11.96	22.4	1:50,000 map/200-400	1	15	47.6	48.1
96/52/B4	17.11.96	-15.6	1:50,000 map/200-400	1	10	16.4	32.1
96/52/A6	11.11.96	22.4	1:50,000 map/200-400	1	12	27.9	56.4
96/52/B1	17.11.96	-15.6	1:50,000 map/200-400	1	13	47.6	49.7
97/52/C2	22.2.96	-2.4	1:50,000 map/100-200	1	4	35.6	12.8
97/52/C6	22.2.96	-1.5	1:50,000 map/100-200	1	6	37.7	20.3
97/50/D4	13.2.96	-18.8	1:50,000 map/200-500	1	18	45.3	44.4
97/50/D6	7.2.96	19.6	1:50,000 map/200-500	1	22	47.1	40.9
99/61/B4	20.4.96	1.5	1:50,000 map/400-600	1	5	32.5	32.4
99/61/B7	20.4.96	1.5	1:50,000 map/400-600	1	5	43.0	57.2
99/61/B5	20.4.96	2.3	1:50,000 map/500-700	1	12	40.1	36.1
99/61/B8	20.4.96	2.3	1:50,000 map/500-600	1	6	36.6	34.9
100/60/D8	20.1.96	0.0	1:50,000 map/400-600	1	14	27.2	49.8
100/60/D9	20.1.96	0.8	1:50,000 map/400-600	1	10	22.3	48.7
100/60/D1	20.1.96	-0.8	1:50,000 map/400-600	1	11	21.6	14.4
100/60/D5	20.1.96	0.0	1:50,000 map/400-600	1	11	36.6	40.8
100/60/D6	20.1.96	0.8	1:50,000 map/400-600	1	13	17.3	29.1
100/60/C7	11.4.96	-18.8	1:50,000 map/400-600	1	5	51.8	30.7
102/60/C3	6.1.96	0.8	1:50,000 map/20-100	1	6	41.7	36.4
102/66/C3	29.5.96	-1.5	1:50,000 map/20-100	1	6	50.5	32.6
103/58/B2	13.11.96	9.3	1:50,000 map/200-400	1	12	47.8	37.4
103/58/B2	9.11.96	-20.0	1:50,000 map/200-400	1	7	40.2	28.0
103/58/B3	9.11.96	-19.1	1:50,000 map/200-400	1	16	45.7	39.4
103/58/B1	13.11.96	8.5	1:50,000 map/200-400	1	5	34.7	25.9
105/56/C7	9.3.96	-3.2	1:50,000 map/200-300	1	3	42.3	44.9
107/56/B1	6.5.96	1.5	1:50,000 map/20-100	1	21	47.7	48.5
107/56/B1	12.9.96	22.1	1:50,000 map/20-100	1	20	41.6	49.1
108/56/C3	28.10.96	-1.5	1:50,000 map/0-100	1	6	18.7	48.6

\* When for one dataset the number of GCPs was changed, the same check points were used.

جدول (۲): خطاهای RMS را برای سه زوج استرنو (در تمامی موارد فقط یک GCD استفاده شد)

Table 2  
RMS errors obtained for three stereopairs (in all cases only one GCP was used)

Left image			Right image			Source of control/terrain height range (m)	No. of check points	RMS (m)		
path/row/ subscene	date	looking angle (degr.)	path/row/ subscene	date	looking angle (degr.)			lat.	long.	ht.
97/50/D4	13.2.96	-18.8	97/50/D6	7.2.96	19.6	1:50,000 map/200-500	12	37.9	46.7	19.1
96/52/A3	11.11.96	22.4	96/52/B1	17.11.96	-15.6	1:50,000 map/200-540	9	49.1	49.3	30.1
103/58/B2	13.11.96	9.3	103/58/B3	9.11.96	-19.1	1:50,000 map/200-400	10	28.1	31.8	22.3



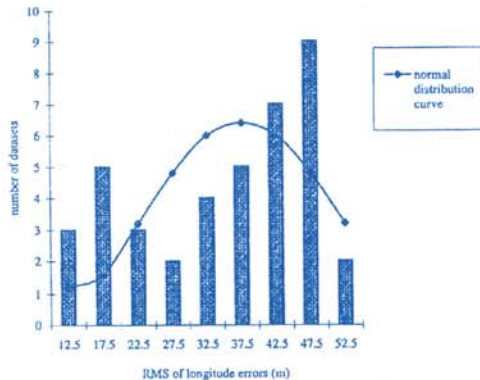
Table 3  
RMS errors obtained for three strips

جدول (۳)

Image description			Source of control/ terrain height range (m)	No. of GCPs	No. of check points*	RMS (m)	
path/row/subscenes	date	looking angle (degr.)				lat.	long.
100/60/C3	11.4.96	-17.1	Surveyed/400-600	1	8	9.3	5.3
100/60/C6				3	8	8.0	6.0
100/60/C9				5	8	7.1	4.0
			1: 50,000 map/400-600	1	44	26.5	43.4
				2	44	23.7	42.2
				3	44	20.1	43.5
				8	44	21.6	42.3
100/60/D4	20.1.96	-0.8	Surveyed/400-600	1	6	9.8	9.6
100/60/D7				4	6	8.9	8.3
				1	24	23.1	36.2
				2	24	23.3	37.2
				4	24	19.4	35.4
100/60/C1	11.4.96	-18.8	1: 50,000 map/400-600	1	12	39.8	36.0
100/60/C4				3	12	38.2	35.5
100/60/C7							

\* When for one dataset the number of GCPs was changed, the same check points were used

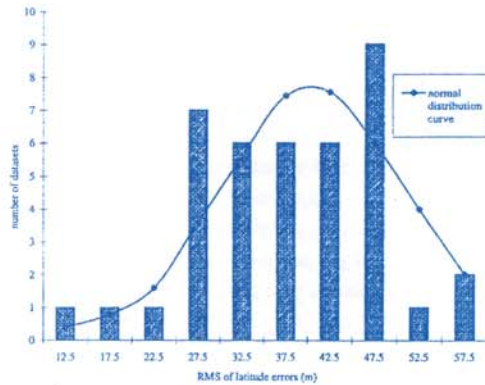
مفادات را نشان می‌دهد. میانگین خطای ۳۸/۳ متر در عرض، ۴۲/۹ متر در طول و ۲۳/۸ متر در ارتفاع بدست آمده است. RMS در ارتفاع کوچکتر از RMS در پلانیمتری است. این امر ممکن است به دلیل نسبت وسیع B/H برای کلیه مجموعه‌های داده‌ای باشد. نگاره (۴) نمایش گرافیکی از جدول (۲) نشان می‌دهد.



نگاره (۲): RMS خطاهای طولی (متر)

RMS خطاهای طولی را برای ۴۰ مجموعه (حالت تک‌تصویری) نشان می‌دهد. از یک GCP استفاده شده است و منبع کنترل از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ است.

جدول (۳) خطاهای RMS حاصله برای استریپ‌های مختلف را نشان می‌دهد. میانگین خطای ۹/۵ متر در عرض و ۷/۵ متر در طول با یک GCP نقشه‌برداری شده حاصل شده است. وقتی نقاط کنترل و مقابله از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ بدست آمده باشد، میانگین خطای ۲۹/۸ متر در عرض و ۳۸/۵ متر در طول مشاهده گردید.

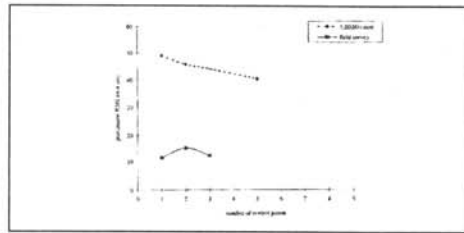


نگاره (۱): خطاهای وضعی RMS (برحسب متر)

RMS خطاهای طول بدست آمده برای ۴۰ مجموعه داده‌ای (حالت تک‌تصویری) را نشان می‌دهد. از یک GCP استفاده گردید و منبع کنترل هم از نقشه ۱:۵۰۰۰۰ بود. حتی اگر GCP استفاده شده برای مدل‌سازی در یک گوشه منظره باشد، نقاط مقابله به طور یکدست توزیع شده و نتایج حتی برای نواحی که در گوشه مقابل منظره قرار دارند رضایتبخش می‌باشد.

آزمونها با افزایش تعداد نقاط کنترل (به نگاره ۳ با خطاهای پلانیمتری برای تک‌تصویر و تعداد و منابع مختلف نقاط کنترل مراجعه شود) نشان می‌دهد که خطاها قاطعانه به تعداد نقاط کنترل بستگی ندارند بلکه بیشتر به دقت نقاط کنترل / مقابله بستگی دارد. حتی اگر GCP استفاده شده برای مدل‌سازی در یک گوشه منظره باشد، نقاط مقابله بطور یکدست توزیع شد و نتایج حتی برای نواحی که در گوشه مقابل منظره قرار دارند رضایتبخش می‌باشد. از اینرو، روش برای موقعیت GCP که برای مدل‌سازی استفاده شده است، حساس نمی‌باشد. جدول (۲) دقت‌های حاصله را برای زوج‌های تصویری

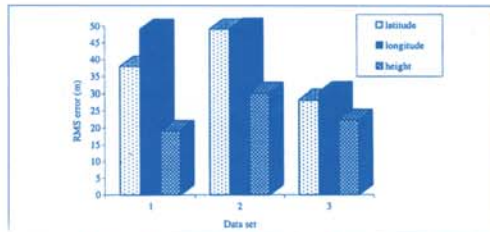
بدلیل شناسایی و رقومی کردن خطاها می‌توانند ناهمگون باشند. دو جدول (۳ و ۱) دقت پلانیمتری در هنگام استفاده از GCPs از نقشه نیز به دلیل خطاهای ارتفاعی که در تعیین طول و عرض بکار رفته است، کاهش می‌یابد.



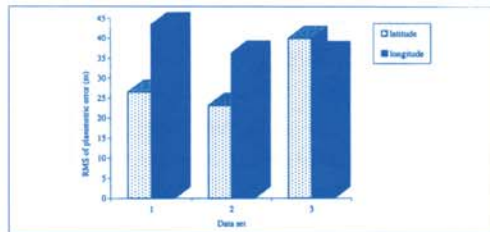
تعداد نقاط کنترل

نگاره (۳): RMS خطاهای پلانیمتری برای تک تصویر (یک مجموعه داده) با استفاده از منابع مختلف رانشان می‌دهد.

با مقایسه اطلاعاتی که جدول (۱) و جدول (۳) برای ساختار تصویر تکی و تصویر استریپ بدست داده است، بدیهی است که مدل پیشنهادی رومی‌توان برای توجیه استریپ‌های طولانی (تقریباً  $2385 \times 140$  کیلومتر که در آن ۱۴۰ کیلومتر طول ۲ منظره کامل پان را نشان می‌دهد) بدون تنزلی یا با اندک تنزلی رادرفیت توجیه قابل حصول در یک تصویر تکی نشان می‌دهد. نگاره (۵) نمایش گرافیکی جدول (۳) و ارائه می‌کند. نگاره (۶) نشان می‌دهد که همانند حالت تصویر تکی افزایش تعداد GCPs به افزایش دقت چشمگیر نمی‌انجامد. این تعداد نقاط کنترل/مقایسه نیست بلکه کیفیت آنهاست که بر دقت اثر دارد.



نگاره (۴): خطاهای RMS برای زوجهای تصویری مختلف را نشان می‌دهد. از یک (GCP) استفاده شده است و منبع کنترل نقشه ۱:۵۰۰۰۰ می‌باشد.



نگاره (۵): خطاهای (RMS) حاصله را برای استریپ‌های مختلف را نشان می‌دهد. از یک (GCP) استفاده شده و منبع کنترل نیز نقشه ۱:۵۰۰۰۰ می‌باشد.

در هر دو نگاره (۳ و ۶) توجه بیشتر به نقاط نقشه برداری شده معطوف شده است که دارای دقت یکدست می‌باشد در صورتی که نقاط کنترل نقشه

### تعداد نقاط کنترل

نگاره (۶): RMS خطاهای پلانیمتری را برای استریپ (یک مجموعه داده) با استفاده از منبع کنترل را نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

نتیجه‌گیریهای عمده عبارتند از:

- دقت‌های مشابهی برای تصاویر تکی و استریپ بدست آمده است. مدل پیشنهادی برای طرز قرارگیری مداری امکان تولید نقشه برداری با فرآورددهای کیفی در استریپ‌های طولانی (برای ثبات طرز قرارگیری پلانیمتر معلوم - ماهواره دارای سنجنده - تاحدود  $23/5 \times 140$  کیلومتر استریپ) با حداقل گب (نقاط تصویر برداری نشده) داده‌های تصویری و سازگاری قابل قبول ژئومتری در داده‌ها در سراسر محدوده‌های منظره‌های فراهم می‌سازد.
- برای نقاط کنترل زمینی نیاز به یک سرشکنی دقیق کاملاً وزن دار نیاز دارد. برای تبدیل تصویر به نقشه یک GCP تکی کافی است.
- مدل به موقعیت GCP مورد استفاده حساسیت ندارد.
- خطاها بستگی به تعداد نقاط کنترل ندارد بلکه به کیفیت تعداد آنها بستگی دارد.

- دقت بدست آمده برای تعیین 3D برای کاربرد نقشه برداری مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ کفایت می‌کند. تحلیل نتایج نشان می‌دهد که مشخصه‌های کارایی سیستم IRS-IC PAN نسبتاً برآورده می‌شود. با GCPs دقیق بیشتر و اندازه گیریهای دقیق تر مختصات تصویر، می‌باید امکان دستیابی به دقت تعیین موقعیت (3D) یک پیکسل یا کمتر فراهم گردد. قدرت تفکیک بالنسبه بالای سنجنده PAN قابلیت استرنو و قابلیت انعطاف در یافت داده‌ها امکان نقشه برداری سیستماتیک و روشمند نواحی وسیعی را فراهم می‌آورد. با انجام دقیق سرشکنی بلوکی از تصاویر IRS-IC PAN و مدل‌سازی کامل خطاهای منظم و سیستماتیک، می‌توان به امکان دقت واقعی سنجنده دست یافت.

### پاورقی

1) Ground Control Point (GCP)