

# مفاهیم مثلث‌بندی هوایی خودکار

WERNER MAYR

مهندس مسعود عابدی پشتیبری

نویسنده:

ترجمه:

## چکیده:

اساس کار در فتوگرامتری رقومی، تصاویر رقومی است. با داشتن این تصاویر اندازه‌گیری اتوماتیک امکان‌پذیر خواهد بود. یکی از وظایف اصلی در مثلث‌بندی هوایی، اندازه‌گیری تصاویر است سازماندهی در روند اندازه‌گیریها در کارایی مثلث‌بندی هوایی موثر است. از امتیازات مطرح در فتوگرامتری رقومی انجام قدم به قدم تمام مراحل کار با استفاده از کامپیوتر می‌باشد. مشخصه اصلی مثلث‌بندی هوایی خودکار، در روشهای اندازه‌گیری خودکار نهفته است. مفاهیمی چند از این تکنیک جدید در این مقاله بررسی خواهد شد.

## ۱) پیشگفتار

مراحل کار در مثلث‌بندی هوایی کلاسیک به سه مرحله تقسیم‌بندی می‌شود:

۱) تهیه؛

۲) اندازه‌گیری؛

۳) محاسبات بلوک اجستمنت

این مراحل عیناً در مثلث‌بندی هوایی اتوماتیک (AAT) مورد استفاده قرار می‌گیرد. هر چند اساسی کار در AAT بر مبنای تصاویر رقومی، تکنیکهای اتوماتیک اندازه‌گیری و تقریباً روشهای اتوماتیک شده استوار است. تصاویر رقومی معمولاً با استفاده از یک اسکنر فتوگرامتری تهیه و تولید می‌شوند. برای انجام اندازه‌گیری اتوماتیک از روشهای انطباق تصویر آ بر مبنای انطباق عارضه<sup>۲</sup> یا انطباق سطح<sup>۳</sup> استفاده می‌شود. از خصوصیات بارز AAT نسبت به مثلث هوایی کلاسیک، تکنیکهای اتوماتیک اندازه‌گیری نقاط و روند اتوماتیک در مراحل مختلف را می‌توان نام برد.

محاسبات اصلی برای تعیین عناصر توجیه و مختصات مجهول نقاط بر مبنای پاندل بلوک<sup>۵</sup> بارز AAT زمینه تحقیق و پژوهش بسیاری از متخصصین فتوگرامتری از جمله:

Ackermann 1991, Tsingas 1992, 1994 Jakola and Sarjakoski 1994

است.

## ۲) فرضیات اولیه:

با توجه به این که اصطلاحات فنی در AAT هنوز به طور قطعی مورد تأیید تمام متخصصین واقع نشده است، به ناچار معنی برخی از اصطلاحات در این مقاله بیان می‌شود. در مثلث‌بندی هوایی رقومی<sup>۶</sup> تکنیک اندازه‌گیری تصاویر رقومی، به صورت اتوماتیک می‌باشد. پیشرفته بودن روش، منوط به این خواهد بود که در حین انجام کار چه مقدار از عملیات به طور اتوماتیک یا دستی انجام گیرد.

## ۱-۲) اطلاعات مورد نیاز

وظیفه اصلی AAT اتصال تمام تصاویر هوایی در یک بلوک با استفاده از تکنیکهای اندازه‌گیری اتوماتیک است. به طوری که مراحل کار توسط خود برنامه کنترل می‌شود. داده‌های ذیل به عنوان ورودی در برنامه وارد می‌شود:

● اطلاعات پرواز

● اندکس پرواز

● اسناد مربوط به پرواز

● تصاویر رقومی عناصر توجیه داخلی و تصویر در سطوح<sup>۷</sup> هرمی مختلف



Geometric resolution	Original image	Pyramid levels 1 to 6	Original + pyramid levels 1 to 6	Pyramid levels 2 to 6	Original + pyramid levels 2 to 6
	15 [μm]	30 to 960 [μm]	15 to 960 [μm]	60 to 960 [μm]	15, 60 to 960 [μm]
1 image	0.24	0.08	0.32	0.02	0.26
50 images	12	4	16	1	13
100 images	24	8	32	2	26
500 images	120	40	160	10	130
1000 images	240	80	320	20	260

جدول (۱)

## ۲-۲) خصوصیات تصویر

اصول تکنیکی انطباق تصویر مانند تکنیکهای که در مقاله‌های

Rosenfeld and kak 1981

Forstner 1986, Heipke 1990

Agouris and schenk 1992

Krupnik 1994

بیان شده در این جا مورد بررسی قرار نخواهد گرفت.

نکته قابل توجه در انجام عملیات AAT، حجم عظیم داده‌هاست. از تصاویر رقومی معمولاً به تنهایی برای مثلث‌بندی هوایی رقومی استفاده نمی‌شود، بلکه برای کاربردهای دیگر، از جمله تهیه مدل رقومی زمین DTM ارتوفتورقومی و تبدیل رقومی به صورت اتوماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین تصاویر باید به صورت خوبی اسکن شده باشند.

برای رسیدن به دقت‌های بهتر در مثلث‌بندی هوایی باید از تصاویر با قدرت تفکیک هندسی بالا هنگام اسکن کردن استفاده نمود. قدرت تفکیک هندسی ۱۵ میکرون برای انجام عملیات، مطلوب خواهد بود. با در نظر گرفتن این مسئله دستیابی به دقت‌های کمتر از یک پیکسل حدود  $\frac{1}{3}$  یا  $\frac{1}{5}$  قدرت تفکیک اولیه امکان‌پذیر می‌باشد، که در واقع همانند دقت‌های مطرح در مثلث بندی هوایی کلاسیک است. با فرض تصویربرداری تک رنگ، ۲۵۶ سطح خاکستری و ۸ بیت در هر پیکسل حجم مورد نیاز تصاویر در جدول (۱) ذکر شده است.

جدول (۱) - ظرفیت ذخیره‌سازی برحسب GB در یک بلوک برای تصاویر در سطح‌های هرمی مختلف، به نسبت تصاویر تک رنگ، حجم تصاویر رنگی سه برابر بیشتر خواهد بود. بلوکهای بزرگ اغلب مشکل از ۱۰۰۰ تصویر یا بیشتر هستند. بنابراین در AAT توجه ویژه‌ای به این حجم عظیم داده‌ها شده است. استفاده از تصویر در سطح‌های هرمی مختلف برای حذف روش‌های مشابه فشرده‌سازی به کار گرفته می‌شود. جدول (۱) ظرفیت ذخیره‌سازی بدون در نظر گرفتن تصاویر در سطح‌های هرمی مختلف را نیز نشان می‌دهد. متعاباً خواهیم دید که انجام AAT بدون داشتن تصاویر در سطح‌های هرمی مختلف نیز امکان‌پذیر خواهد بود، و نهایتاً ظرفیت

● اطلاعات مربوط به نقاط کنترل شامل اندکس، نام و مختصات نقاط

● داده‌های دوربین هوایی

● در صورت امکان نقشه‌های کمکی

یک بلوک شامل چندین نوار (استریپ) است که هر استریپ به تنهایی مشکل از چند تصویر می‌باشد. در حالت معمول یک بلوک از چند نوار (استریپ) درست شده است. بلوکهایی که از نقاط کنترل GPS، در آنها استفاده شده است و این نقاط در اطراف و در نوارهای متقاطع در بلوک طراحی و مورد استفاده قرار می‌گیرند. بلوکها، ممکن است از چند یا یک استریپ در جهت های دلخواه درست شده باشند.

پیرامون یک بلوک، معمولاً از یک شکل هندسی ساده مانند مستطیل پیروی نمی‌کند. بلوکهایی از این نوع در AAT مورد استفاده قرار می‌گیرند، به همراه قابلیت اندازه‌گیری اتوماتیک در یک بلوک، اندازه‌گیری دستی نیز لازم خواهد بود. در این عملیات، استفاده کننده متقابلاً هر نوع نقطه‌ای را می‌تواند اندازه‌گیری کند. این نقاط شامل نقاط Tie، نقاط کنترل زمینی<sup>۹</sup> (GCPS) و نقاط جدید تصویری می‌باشد. اندازه‌گیری دستی به علت کنترل یا اندازه‌گیریهای بیشتر در حین انجام عملیات اتوماتیک صورت می‌گیرد. این عمل مزیتی از مثلث‌بندی هوایی رقومی نسبت به نوع کلاسیک می‌باشد. در مثلث‌بندی هوایی رقومی به ویژه در AAT نقاط کنترل GCPS یا نقاط تصویری جدید هم زمان در بیشتر از دو پنجره می‌تواند اندازه‌گیری شود. یکی از خصوصیات تکنیک اندازه‌گیری اتوماتیک، مشخص نبودن مسیر انجام کار برای عامل است.

در صورت نیاز، عامل می‌تواند از برنامه سوال کرده و متقابلاً پاسخ دریافت نماید. با وجود این به واسطه حجم عظیم داده‌ها، عامل بهتر است برای دیدن نتایج یا انجام عملیات دستی وارد برنامه نشود. در حین انجام عملیات کیفیت تصاویر رقومی کاهش نمی‌یابد. تنها در مواردی که فشرده‌سازی غیر معمول روی تصاویر انجام می‌گیرد سبب کاهش کیفیت تصاویر خواهد شد.

Jaakola and orava 1994 با این وجود در عملیات AAT

این مسئله مطرح نیست.

ذخیره‌سازی لازم در این حالت مشخص می‌شود. با استفاده از این خصوصیت امکان داشتن یک بلوک بزرگ با قدرت تفکیک هندسی بالا در آن واحد وجود خواهد داشت. مطالب فوق در ادامه بیشتر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

### ۳ مفاهیم نظری

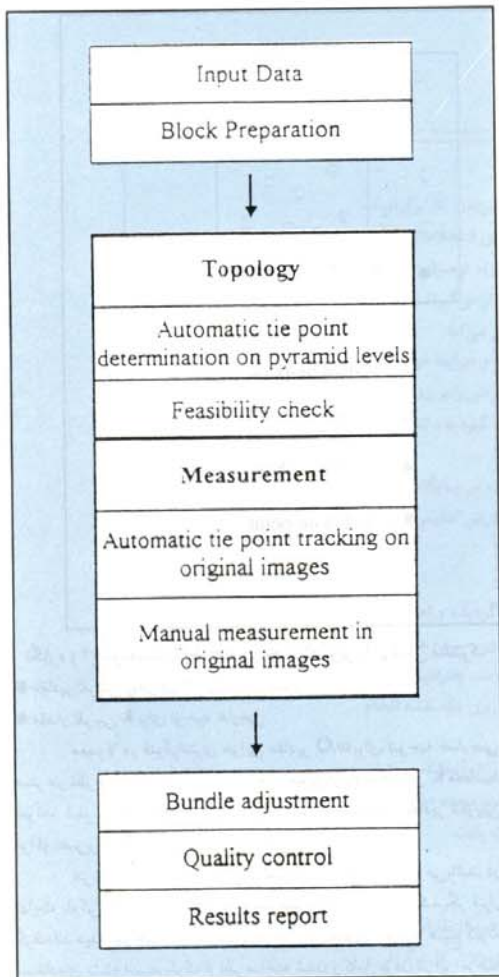
مفهوم اولیه با در نظر گرفتن تعدادی از شروط اصلی شروع می‌شود. در این روش، تهیه بلوک نسبت به حالت مثلث‌بندی هوایی کلاسیک، متفاوت خواهد بود.

فرق اصلی در نظر گرفتن و ساخت توپولوژی در سطحهای هرمی بالا از تصاویر اندازه‌گیری با استفاده از تصاویر اولیه می‌باشد.

این دو جزء جایگزینی برای اندازه‌گیری در حالت مثلث‌بندی هوایی کلاسیک خواهند بود. محاسبات، به روش بانند بلوک اجستمنت و کنترل کیفیت و نمایش نتایج مراحل بعدی و نهایی در AAT خواهد بود. در روند اتوماتیک عملیات، در نظر گرفتن قسمت‌های مختلف جهت تأیید صحت کار لازم و ضروری است. در واقع وجود تست‌های مختلف، بی‌انگیز توانایی‌های AAT در اجرای درست عملیات است. شیوه‌های عملیاتی که در AAT اتخاذ می‌شود متفاوت با مثلث‌بندی هوایی کلاسیک است. در این جا تمام عملیات تهیه بلوک در یک کامپیوتر صورت می‌گیرد. همان‌طور که در نگاه (۱) مشخص است مرحله اندازه‌گیری در مثلث‌بندی هوایی کلاسیک با دو مرحله ساخت توپولوژی و اندازه‌گیری جایگزین شده است. داده‌های ورودی در محاسبات بانند اجستمنت مانند داده‌های مشابه در حالت قراردادی شامل مختصات تصویر و مختصات نقاط نظیر است. به همین دلیل می‌توان از برنامه‌های محاسباتی معمول بدون سرمایه‌گذاری برای تهیه برنامه‌های خاص استفاده نمود. چگونگی اتصال یک برنامه محاسباتی به AAT سئوالی است که در قسمت دستگاه‌های جانبی باید به آن پاسخ داد.

استفاده از تصاویر در سطحهای هرمی مختلف، اساس کار در AAT می‌باشد. همان‌طور که در نگاه (۱) دیده می‌شود، اطلاعات اولیه برای تهیه یک بلوک در دسترس است. همچنین روند ساخت توپولوژی و امکان اجرای عملیات نیز مشاهده می‌شود. مراحل ساخت توپولوژی و اندازه‌گیری، مقدمه‌ای بر اندازه‌گیری اتوماتیک خواهد بود.

برای حذف روش‌های فشرده‌سازی داده‌ها، از تصاویر در سطحهای هرمی مختلف و بهینه‌سازی تصاویر می‌توان استفاده کرد. مهمتر از همه بلوک را می‌توان به چند زیر بلوک تقسیم کرد. انجام این عمل اقتباسی از مثلث‌بندی هوایی کلاسیک می‌باشد. نتایج نهایی هم‌زمانی عملیاتی که در شرف انجام است در مدت زمان کوتاهی قابل دسترسی خواهد بود. به عبارت دیگر بهترین نتایج به همراه مقادیر تصحیح در معرض دید قرار خواهد گرفت. در عملیات AAT برای تسریع در انجام کار، وجود زیر بلوکها مفید خواهد بود، زیرا چند عامل می‌توانند بطور هم‌زمان قسمت‌های مختلف از یک بلوک را کار کنند.

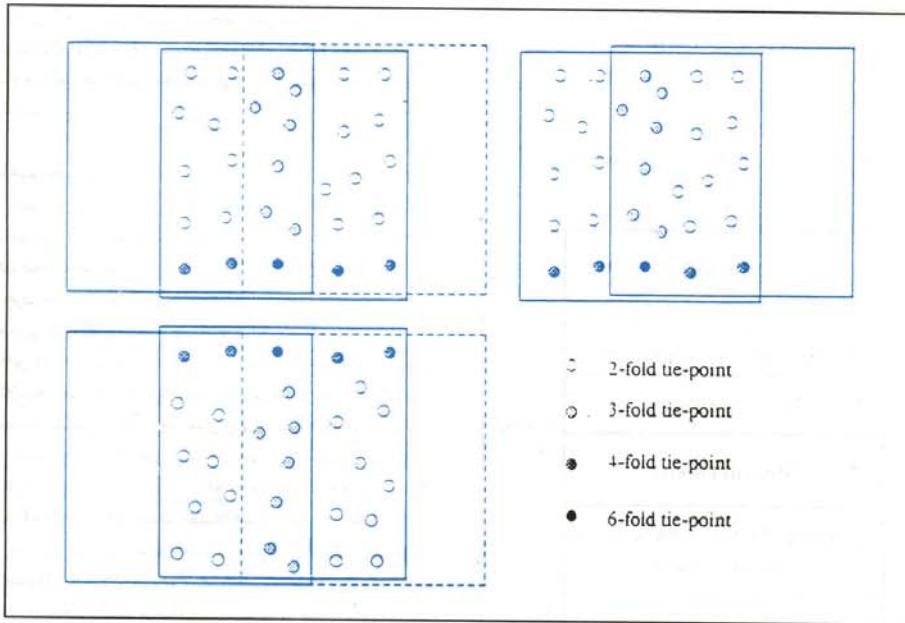


نگاره (۱) اجزای اصلی AAT

#### ۱-۳) تهیه بلوک:

تهیه بلوک، شامل دریافت تمام داده‌های ورودی و ساخت تقریبی بلوک شامل کلیه تصاویر می‌باشد. برای این کار جدولی که محتوی مراکز تصویر است لازم خواهد بود. این جدول شامل اطلاعات مهم در ارتباط با تقریب‌های هندسی<sup>۱۱</sup> برای هر تصویر در بلوک است. این اطلاعات عبارتند از:

- شماره پرواز
- شماره هر تصویر در ماموریت پرواز



نگاره (۲) موقعیت نقاط Tie در چند تصویر با پوشش مشترک

● مقادیر تقریبی  $X_0, Y_0, Z_0$  برای مراکز تصویر

● مقدار تقریبی  $k$  برای توجیه خارجی

معمولاً در فتوگرامتری هوایی مقادیر  $\omega, Q$  برای توجیه خارجی صفر در نظر گرفته می‌شود. آزمایش هر تصویر از زاویه دورانی  $k$  محاسبه خواهد شد. ساخت بلوک استریپ به استریپ با استفاده از مقادیر تقریبی مراکز تصویر و دیگر اطلاعات موجود امکان‌پذیر خواهد بود.

هر نوار (استریپ) متشکل از تصاویری با یک آزمایش می‌باشد. در نهایت بلوکی به صورت نوارهایی (استریپهایی) که در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند دیده خواهد شد. تا این مرحله، از داده‌های تصویر هیچ گونه استفاده‌ای نشده است. بلوک از نظر ساخته شدن و کامل بودن در این مرحله آزمایش می‌شود. همچنین تقسیم بلوک به زیر بلوکها در این مرحله به طور متقابل بین کامپیوتر و عامل مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله بعدی تمام تصاویر و پارامترهای مربوطه که قسمتی از بلوک هستند توسط AAT شناسایی می‌شوند. از جمله چیزهایی که مورد شناسایی قرار می‌گیرد، وجود تصویر در سطحهای هرمی مختلف، وجود توجیه داخل و اطلاعات ضروری پرواز می‌باشد. پارامترهای پرواز به صورت متقابل از عامل گرفته می‌شود با این که AAT طی تولید تصویر در سطحهای هرمی مختلف خود آنها را محاسبه می‌کند.

روشهای توجیه داخلی خودکار schickle 1995 و تولید تصاویر در سطحهای هرمی مختلف از وظایف AAT است. با این کار، نمایش یک

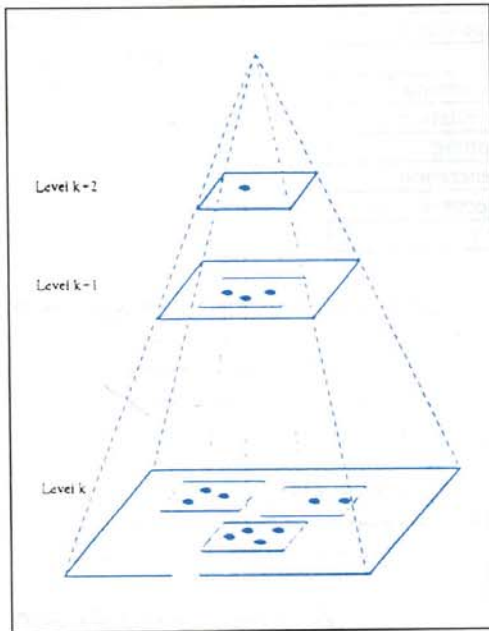
تصویر امکان‌پذیر بود و صحت آن برای ادامه کار مشخص می‌شود. بعد از تهیه مراکز تصویر، مرحله بعدی ساخت توپولوژی است.

### ۳-۲) ساخت توپولوژی

در مثلث بندی هوایی کلاسیک، پریک نقاط، ترانسفر نقاط نظیر و اندازه گیری نقاط، در یک مرحله می‌تواند انجام شود. در AAT این مرحله با توجه به خودکار بودن عملیات به دو مرحله جداگانه تقسیم بندی می‌شود. ساخت توپولوژی شامل اندازه گیری خودکار نقاط Tie است. استفاده از تصاویر در سطحهای هرمی مختلف با قدرت تفکیک پایین برای این منظور موثر است. ساخت توپولوژی یک بلوک کامل بدون احتیاج به یک تصویر، تنها با قدرت تفکیک اولیه امکان پذیر خواهد بود. هندسه بلوک با استفاده از توپولوژی مشخص می‌شود. تحلیل هندسه بلوک جهت تسریع در انجام عملیات موثر است. برای مثال جستجوی عوارض در چندین سطح هرمی باید صورت گیرد. هدف اصلی از جستجوی عوارض پایداری هندسی بلوک و بهینه سازی و کاهش تعداد نقاط Tie است.

نتیجه کار در توپولوژی، محاسبه پوشش مشترک بین تصاویر خواهد بود، که نهایتاً برای اندازه گیریهای نهایی آماده می‌شوند.

\* اندازه گیری خودکار نقاط Tie در سطحهای هرمی پایین این مرحله شامل توجیه نسبی بین تصاویر  $n$  و  $n+1$  و همچنین تصاویر  $n+2$  و  $n$  و دسته بندی نقاط نظیر در تصاویر مختلف می‌باشد. برای انجام این



نگاره (۳) جستجوی عارضه

عمل از توجه نسبی خودکار  $12$  (ARO) استفاده می‌شود. توجه نسبی خودکار ARO شامل روشهای استخراج  $13$  عارضه - انطباق عارضه  $14$  دنبال کردن عارضه  $15$  و بصورت برآورد آماری  $16$

Tang and Heipke 1993, 1994

Hellwich 1994

مورد استفاده واقع می‌شود.

نقاط نظیر در عرض و امتداد هر نوار (استریپ) مرتب می‌شوند. هدف اصلی، کشف تصاویر دوتایی، سه‌تایی و یا هر تعداد از نقاط Tie می‌باشد. زمانی که نقاط چهارتایی، پنج‌تایی و یا شش‌تایی وجود داشته باشد، مسئله مهم این است که این نقاط حداقل در دو نوار (استریپ) با یکدیگر پوشش مشترک داشته باشند.

در این جا برای مرتب کردن نقاط از روشهای مختلف استفاده می‌شود، در اکثر این روشها به علت تعداد بی‌شمار نقاط Tie هندسه بلوک نسبت به جدول مقادیر اولیه مراکز تصویر بهتر تعریف خواهد شد. اکنون زمان کشف اشتباهات و خطاها در اندازه‌گیری خودکار نقاط Tie است.

### \*\* کنترل عملیات

طی این مرحله از عملیات خودکار، تمام مدل‌های توجیه شده به یک سیستم مختصات مشترک منتقل می‌شوند. کشف خطاهای بزرگ در این قسمت از برنامه در نظر گرفته شده است. ارزیابی کیفیت اندازه‌گیریها و تأثیر هندسه بلوک در نتایج در این قسمت قابل بررسی خواهد بود.

کاهش تعداد نقاط Tie به واسطه مشاهده خطا در آنها می‌باشد، همچنین برای این که استحکام بلوک از بین نرود نقاط Tie باقی‌مانده به روش جستجوی عارضه در قدرت تفکیک بالا و پائین از سطحهای هرمی تصویر مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرند.

### - جستجوی عارضه میان سطحهای هرمی مختلف

در این قسمت هدف اصلی، استحکام بیشتر نقاط Tie در فضای تصویر و فضای مجهول جهت اندازه‌گیری دقیق‌تر پارامترهای توجیه است. به همین دلیل در حالت پیشرفته برای جستجوی عارضه در سطحهای بالا معمولاً یکی از حالت‌های ذیل مدنظر خواهد بود.

- تشخیص یک عارضه خوب؛ در صورتی که عارضه هنوز در قدرت تفکیک بالایی از تصویر وجود داشته باشد امکان پذیر است.
- نمایان ساختن چندین عارضه خوب؛ با رفتن به سطح بالایی تصویر، عارضه از عوارض مجاور جدا و بهتر قابل تشخیص خواهد بود.
- یک شبه عارضه که در سطحهای بالای تصویر وجود ندارد؛ یک شبه عارضه از چند عارضه در قدرت تفکیک پایین یا سطحهای مختلف خاکستری که تصادفاً روی یکدیگر قرار گرفته و مجموعاً یک ارزش خاکستری واحد را درست می‌کنند بوجود می‌آید.

طی عملیات خودکار الگوریتم برنامه طوری طراحی شده است که برای صحت عملیات چندین آزمایش انجام می‌گیرد و این خود تأثیر مثبتی در روند عملیات خودکار است. دسترسی به تصاویر اصلی لازم نیست. در این مرحله بلوک از نظر سازگاری آزمایش می‌شود که در بیشتر موارد تکرار این مرحله لازم است.

### ۳-۳ اندازه‌گیری تصاویر اصلی

بعد از این که بلوک از نظر استحکام پذیرفته شده، اندازه‌گیری نقاط Tie و نقاط کنترل زمینی GCPS و دیگر نقاط تصویری را می‌توان شروع کرد.

در این جا به واسطه حجم عظیم داده‌های راستری تصاویر دو شرط مدنظر خواهد بود.

- فقط یک پنج بره مناسب تصویر قابل دسترسی باشد.
- تمام پنج بره‌هایی که در پوشش مشترک بین تصاویر هستند، طی اندازه‌گیری خودکار در دسترس باشند. AAT تمام پنج بره‌های مناسب را اندازه‌گیری کرده و امکان دستیابی به این پنج‌بره‌ها توسط عامل از طریق ذخیره و بازیابی در دستگاههای ذخیره‌سازی سخت‌افزاری را میسر می‌سازد. اندازه‌گیری به صورت خودکار برای نقاط Tie و غیر خودکار برای نقاط کنترل GCPS و دیگر نقاط تصویری انجام می‌گیرد.



جدول (۲)  
تولیدات PHODIS و  
برنامه‌های کاربردی  
برای فتوگرامتری رقومی

PHODIS Product	Photogrammetric Application
PHODIS SC	photogrammetric scanning
PHODIS AT	automatic aerotriangulation
PHODIS ST	digital Stereoplotting
PHODIS TS	automatic DTM-generation
PHODIS OP	digital orthorectification
PHODIS M	monoplotting

در واقع همان کار کمپاراتورهای رقومی در این جا انجام می‌گیرد. واضح است که اندازه‌گیری رقومی تصویر در این روش نسبت به اندازه‌گیری دستی که چند نقطه کمتر یا بیشتر به صورت جداگانه اندازه‌گیری شوند بهتر خواهد بود.

دومین اختلاف در رابطه با پوشش مشترک تصاویر که از ضروریات مثلث‌بندی هوایی هستند، می‌باشد. نقاط Tie در هر منطقه‌ای که قرار گرفته باشند اندازه‌گیری خواهند شد. روش اندازه‌گیری که قبلاً به آن اشاره شد برای این مرحله، ایده‌آل است. زیرا با این روش هم‌زمان می‌توان اندازه‌گیری را در n تصویر که با یکدیگر پوشش مشترک دارند انجام داد.

Heipke 1990, Raad and scarpce 1995

که خود یکی از مزایای AAT نسبت به مثلث‌بندی کلاسیک است. همچنین همانطور که قبلاً اشاره شد امکان اندازه‌گیری دستی در AAT امکان‌پذیر می‌باشد. می‌توان تصور کرد که AAT یک مثلث‌بندی هوایی رقومی دستی نیز هست.

#### ۳-۴) باندل بلوک اجستمنت

در AAT مختصات نقاط تصویر اندازه‌گیری می‌شود. روش محاسباتی، باندل بلوک اجستمنت است. باندل بلوک اجستمنت، در واقع مکملی است در طی انجام عملیات AAT برای کشف اشتباهات، محاسبه عناصر توجیه و محاسبه مختصات دستگاهی.

AAT از طریق یک مبدل مختصات مشاهده شده را به برنامه محاسباتی وارد کرده و متقابلاً نتایج را برای ارزیابی کنترل کیفیت دریافت می‌کند.

#### ۳-۵) کنترل کیفیت

نتایج باندل بلوک اجستمنت برای ارزیابی صحت عملیات مانند وجود اشتباهات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

AAT نقاط را به صورت مرتب از نظر مختصات جغرافیایی نمایش داده و امکان این که عامل، نقاطی را بخواهد دوباره اندازه‌گیری کند میسر خواهد بود. در این جا از توانایی اندازه‌گیری دستی در AAT سود خواهیم بود.

عملیات باندل بلوک اجستمنت جهت رسیدن به نتایج بهتر چندین

#### ● اندازه‌گیری خودکار نقاط Tie در تصاویر اصلی

نقاط Tie معمولاً با استفاده از روش جستجوی عارضه در قدرت تفکیک پایین از سطحهای هرمی تصویر اندازه‌گیری می‌شوند. الگوریتمهای مشابه حین ساخت توپولوژی، ممکن است استفاده شوند. به علاوه انتخاب جایگاه اندازه‌گیری نقاط Tie در طی انجام عملیات به طور مؤثری مقدار نقاط را کاهش می‌دهد.

از معایب این روش این است که نقاط Tie ممکن است در مکانهای استاندارد قرار نگیرد. در نتیجه باقی‌مانده خطاها بعد از توجیه نسبی فاحش بوده و ضرایب وابستگی پیشینه خواهد بود.

#### ■ اندازه‌گیری دستی در تصاویر اصلی

اندازه‌گیریهای دستی مکملی در انجام عملیات AAT است. در واقع هدف اصلی کمک در اندازه‌گیری نقاط کنترل زمینی GCPS و نقاط دستگاهی جدید می‌باشد. البته نقاط Tie هم ممکن است به صورت دستی اندازه‌گیری شوند.

این، زمانی لازم خواهد بود که نقاط Tie در محاسبات باندل اجستمنت جواب ندهد یا در روش جستجوی عارضه برای اندازه‌گیری نقاط Tie به جواب مطلوبی نرسیده باشیم.

دو اختلاف اساسی بین اندازه‌گیری مشاهدات در AAT نسبت به مثلث‌بندی هوایی کلاسیک در دستگاههای تحلیلی وجود دارد:

اولاً: عملیات اندازه‌گیری به واسطه ماهیت رقومی بودن تصاویر و کمک از کامپیوتر در دو مرحله مکان‌یابی<sup>۱۷</sup> و شناسایی<sup>۱۸</sup> تقسیم‌بندی می‌شود. این مرحله اندازه‌گیری رقومی نیز نامیده می‌شود تا این زمان انجام عملیات به صورت مجزا امکان‌پذیر نبود. در تصاویر رقومی یا الگوریتم مناسبی می‌توان مکان و محدوده‌ای که نقطه در آن واقع است را شناسایی کرده و مختصات آن را اندازه‌گیری کرد.

احتمالاً اصول اندازه‌گیری بر مبنای انطباق تصویر با استفاده از روشهای انطباق تصویر به طریق کمترین مربعات<sup>۱۹</sup> (LSM) یا انطباق تصویر از طریق انطباق عوارض<sup>۲۰</sup> (FBM) خواهد بود. برای اندازه‌گیری نقاط کنترل زمینی GCPS و نقاط جدید دیگر اغلب از روش LSM استفاده می‌شود. بدین صورت که یک نقطه در یک تصویر ثابت در نظر گرفته شده و سپس به تصویر یا تصویرهای مشترک دیگر ترانسفر می‌شود.



بار تکرار خواهد شد. تکرار محاسبات در محاسبات مثلث‌بندی هوایی کلاسیک کاملاً شناخته شده است.

### ۳-۶) پردازش نتایج

AAT نتایج سرشکنی لمانهای توجیه تمام تصویر، مختصات مجهول نقاط به همراه باقیمانده‌های مربوطه و خطاهای RMS در بلوک را به صورت گزارش در اختیار قرار می‌دهد. در واقع اینها نتایج باندل اجستمنت خواهند بود. جهت استفاده نتایج در حالت استریو، عناصر توجیه و مختصات نقاط کنترل با مختصات تصویری سرشکن شده به یک دستگاه تحلیلی فرستاده می‌شود.

اکثراً از یک دستگاه تحلیلی به جای یک دستگاه رقومی برای تشکیل مدل و عملیات تبدیل استفاده میشود. توجه خاصی برای تبدیل فورمت داده‌ها به انواع مورد استفاده در فتوگرامتری شده است. پردازش نتایج در حالت پیشرفته، بستگی به امکانات موجود در AAT خواهد داشت.

### ۴) دستگاههای جانبی

مفاهیمی که درباره سیستمهای AAT ذکر شد مربوط به سیستم جدید PHODISAT ساخت Carlzeiss می‌باشد. در واقع PHODISAT یک قسمت از سری تولیدات PHODIS می‌باشد (جدول ۲) که برای اهداف فتوگرامتری رقومی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برنامه‌ها و دستگاههای مورد نیاز برای انجام عملیات AAT به مفهوم کلی PHODIS پیدا می‌شود، به ویژه برای کاربردهای مورد نیاز در AAT.

### ۱-۴) مفهوم کلی PHODIS

برنامه‌های کاربردی PHODIS تمام داده‌های مناسب را انتخاب و برای استفاده در پروژه ذخیره می‌کند. جهت انجام هر پروژه رابطی بین استفاده کننده و سیستم وجود دارد که کارهای اضافه کردن - حذف کردن - کپی برداری و کارهای از این نوع و تهیه لیستهای گزارشی را انجام می‌دهد.

در AAT پارامترهای پروژه شامل شماره نوارها (استریپها) و تصاویر پردازش شده و نشده در بلوک می‌باشد. استفاده کننده هر زمان که خواست می‌تواند از برنامه خارج شده و در صورت نیاز مجدداً به برنامه وارد شود. برای انجام این عمل سیستم متناوباً متغیرهای جاری سیستم را ذخیره می‌کند. از مزایای مهم برنامه‌های کاربردی PHODIS، استفاده از کلمات اختصاری است که امکان تعریف و تفسیر و غیرقابل تغییر بودن آنها برای اجتناب از وارد کردن کلمات طویل در اختیار استفاده کننده خواهد بود. هر استفاده کننده‌ای نسبت به میل خود از کلمات اختصاری تعریف شده می‌تواند استفاده کند. برنامه از این کلمات استفاده کرده و هر کلمه مفهوم خاصی در حین اجرای عملیات خواهد داشت. همچنین تغییر کلمات اختصاری در یک پروژه قدیمی و تعریف مجدد آنها امکان‌پذیر

می‌باشد. کلمات اختصاری در تمام برنامه‌های کاربردی PHODIS قابل استفاده بوده و توانایی استفاده کننده را در انجام عملیات بی‌نهایت زیاد خواهد کرد.

پارامترهای تصویر در PHODIS جدا از داده‌های راستری تصویر، در فایل‌های جداگانه ذخیره می‌شود. پارامترهای تصویر شامل پارامترهای ترانسفورماسیون توجیحات داخلی و خارجی - پارامترهای دوربین تصویربرداری - مختصات تصویری اندازه‌گیری شده و پارامترهایی که مشخص کننده نوع تصویر در سطحهای هرمی مختلف می‌باشد. با این شیوه داده‌ها مانند داده‌های راستری در یک دستگاه جانبی خارجی ذخیره و دسترسی به پارامترهای تصویر امکان‌پذیر خواهد بود. بیشتر اطلاعات در این روش برای انجام برنامه‌های کاربردی قابل دسترس است. در این مراحل اولیه AAT، کارهای زیادی با این اطلاعات انجام می‌شود. قدم اول برای جدا کردن پارامترهای تصویر از داده‌های راستری تصویر، جدا کردن تصویر در سطحهای هرمی مختلف از تصویر اولیه می‌باشد. بنابراین نگهداری سطحهای هرمی تصویر در فایل‌های جداگانه و دسترسی به تصویر اصلی و پارامترهای تصویر در PHODIS امکان‌پذیر است. به علاوه ذخیره تصاویر خاص فقط در سطحهای هرمی ۲ و ۴ و ۵ و ۶ وجود خواهد داشت.

در این حالت برای ذخیره تصاویر در سطحهای هرمی مختلف فقط احتیاج به یک هاردیسک، جهت ذخیره‌سازی خواهیم داشت. به عبارت دیگر از داده‌ها فقط هنگام نیاز استفاده می‌کنیم. این مثالی دیگر برای مقایسه شیوه‌های کاهش حجم داده‌های نسبت به فشرده‌سازی داده‌ها است. انتقال و دریافت اطلاعات راستری در فرمهای مختلف با استفاده از تبدیل کننده مخصوص در PHODIS امکان‌پذیر است. تبدیل داده‌ها قبل یا بعد از اتمام عملیات انجام می‌شود. PHODIS، پردازش را به صورت خودکار انجام می‌دهد. با فرستادن پیامهایی برای استفاده کننده، اتمام عملیات را خیر می‌دهد. برنامه‌ای هم برای کمک به استفاده کننده در نظر گرفته شده که به صورت متقابل و همزمان جهت استفاده صحیح از دستورات به او کمک می‌کند.

### ۲-۴) برنامه‌های کاربردی ویژه

مثلث‌بندی هوایی معمولاً با داده‌های با حجم زیاد سروکار دارد، بنابراین نیاز به داشتن راهنمای کامل و داشتن ارتباط متقابل بین استفاده کننده و برنامه در AAT لازم است. اصول PHODISAT بر مبنای ارتباط متقابل بین سیستم و استفاده کننده پی‌ریزی شده است. برنامه‌های کاربردی به اسکنر خاصی وابستگی ندارند، با این همه PHODISAT داده‌ها را مستقیماً از اسکنر فتوگرامتریک (PHODISSC (Mehlo 1995 که پایه‌ای برای تمام برنامه‌های کاربردی PHODIS هستند دریافت می‌کند.

جدول مراکز تصویر در یک فایل اسکن، موجود و به راحتی قابل قرائت است. در این شیوه استفاده کننده به راحتی عملیات اضافه کردن و



این ظرفیت نیازهای استفاده کننده را برطرف خواهد کرد، استفاده از هاردیسک با ظرفیت مشابه در کنار سیستم فوق بهتر خواهد بود. مشخصات فنی یک سیستم مسئله‌ای است که در انجام AAT باید به آن توجه کرد.

استفاده از تصاویر راقومی عامل بوجود آمدن مسائل پیچیده‌ای است. اما در عوض عملیات اندازه‌گیری به صورت خودکار انجام می‌شود. با این که مثلث‌بندی هوایی با فتوگرامتری تحلیلی انجام می‌شود آغاز عملیات در AAT با فتوگرامتری راقومی است.

نویسنده معتقد است که AAT یکی از اجزای استاندارد در انجام کارهای فتوگرامتری در آینده خواهد بود. □

بررسی صحت اطلاعات را انجام می‌دهد.

با توجه به این مطلب نحوه قرارگیری مدلها در بلوک قابل تشخیص خواهد بود. استفاده کننده هر تصویر را با توجه به پارامترهای آن می‌تواند در معرض دید قرار دهد. استفاده کننده همچنین با ارتباط متقابل با سیستم می‌تواند یک زیربلوک را تعریف کند.

سپس این اطلاعات توسط برنامه PHODISAT مورد استفاده قرار گرفته و تمام تصویر شناسایی و اندازه‌گیری خودکار شروع می‌شود.

توپولوژی در خود برنامه انجام می‌شود، اصول اولیه برای اندازه‌گیری نقاط روشهای LSM<sup>21</sup> و FBM<sup>22</sup> با در نظر گرفتن فیلترهای مختلف می‌باشد. در حالت اندازه‌گیری دستی امکان ترانسفر نقطه از یک تصویر به تصویر دیگر امکان‌پذیر است. در هر حالت مرکز عارضه در نظر گرفته شده به عنوان ترانسفر، در تصاویر دیگر فرض می‌شود. نتایج اندازه‌گیری به عنوان ورودی در برنامه‌های بلوک اجستمنت از جمله PAT-B و ALBANY می‌تواند استفاده شود.

## 5 چشم‌اندازی به آینده

با توجه به مطالب بیان شده در این مقاله - روند اجرای عملیات در AAT نسبت به مثلث‌بندی هوایی کلاسیک تغییراتی دارد. هدف اصلی در AAT مثلث‌بندی هوایی خودکار است.

اختلاف اساسی نسبت به مثلث‌بندی هوایی کلاسیک، خودکار بودن در اجرای عملیات اندازه‌گیری می‌باشد. برای کمک بیشتر به استفاده کننده، توانایی اندازه‌گیری دستی در بیشتر از دو تصویر هم زمان امکان‌پذیر بوده و بررسی صحت عملیات در مراحل اولیه پردازش خودکار امکان‌پذیر است. با استفاده از تکنیک هرمهای تصویر در یک لحظه، امکان دسترسی به یک بلوک بزرگ وجود خواهد داشت. کنترل تعداد و شماره‌بندی نقاط Tie در پردازش خودکار امکان‌پذیر است. یکی از منابع مهم وجود خطاها در مثلث‌بندی هوایی کلاسیک، شماره‌بندی نقاط است که زمان نسبتاً زیادی را هم برای درست کردن به خود اختصاص می‌دهد.

به نظر حجم عظیم داده‌ها برای وارد و خارج کردن، یکی از معایب در AAT می‌باشد. برای حل این مشکل تدابیر مختلفی تحت آزمایش است. یکی از تواناییهای خوب، اتصال مستقیم AAT به یک اسکتر است، مانند PHODIS SC که داده‌ها مستقیماً از مأموریت پرواز مورد استفاده قرار می‌گیرند، که این خود باعث مثلث‌بندی هوایی کاملاً خودکار خواهد شد.

ثبت و مشاهده خودکار نقاط کنترل زمینی با استفاده از برنامه‌ها و وسایل مختلف هنوز مورد تحقیق و بررسی است. ترکیب تصاویر هوایی با تصاویری با هندسه متفاوت مانند تصاویر SPOT یا تصاویر دوربینهای CCD هنوز بیشتر یک سوال است تا یک توانایی تکنیکی برای انجام عملیات. با توجه به حجم داده‌ها برای نگهداری در آرشیو یک سیستم Juke box متشکل از CD های با قابلیت خواندن و نوشتن با ظرفیت 200GB لازم است.

## پاورقی:

- 1) automatic aerotriangulation (AAT)
- 2) Image Matching
- 3) Feature based matching
- 4) area based matening
- 5) Bundle block adjustment
- 6) Didital aerotrian gulation
- 7) Image pyramid Levels
- 8) Tie points
- 9) Ground Control Points (GCPS)
- 10) Block Preparation
- 11) geomtric approximation
- 12) Automatic relative orientation (ARO)
- 13) Feature extraction
- 14) Feature matching
- 15) Feature Tracking
- 16) robust parameter estination
- 17) Localizing
- 18) Identifying
- 19) Leat squares matching (LSM)
- 20) Feature-based matching (FBM)
- 21) Feature-based Matching (FBM)
- 22) Leat squares Maching (LSM)