مثلث‌بندی هوایی با GPS در آسمان تهران

اشاره‌ای به اجرای طرح نوین مثلث‌بندی هوایی با تعداد محدودی از نقاط کنترل زمینی در فتوگرامتری

گزارش از :
مهندس عباسعلی صالح‌آبادی

مقدمه

در راستای انجام تحقیقات و پژوهش در عرصه علوم نقشه‌برداری سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح همزمان با فرا رسیدن بیست و یکمین سالگرد پیروزی شکوهمند انقلاب اسلامی طرح نصب و راه‌اندازی آنتن GPS را بر روی هواپیماهای فوکر و فالکن را با موفقیت به انجام رسانید. این پروژه جهت انجام عکسبرداری هوایی با استفاده از مشاهدات ماهواره‌ای سیستم GPS انجام گرفت. در این پروژه تحقیقاتی کارشناسان سازمان توانستند دوربین هوایی RC-10A RC-10 را به نسل جدیدی از گیرنده‌های GPS که توان دریافت امواج ارسالی از ماهواره‌های Glonass و GPS را دارند، متصل نمایند. انجام این پروژه در حالی بود که شرکتهای سازنده این نوع دوربین‌ها از اجرای آن ممانعت می‌ورزیدند و انجام آن را کاری غیرممکن می‌دانستند. با اجرای پروژه فوق یک پرواز آزمایشی با سیستم جدید برفراز تهران در منطقه ورامین انجام پذیرفت که نتایج حاصل از آن پس از پردازش و تجزیه و تحلیل خطاهای مربوط به این روش با دقت مناسب محاسبه گردید. در پرواز آزمایشی موردنظر مراکز عکسهای هوایی گرفته شده از منطقه با دقت ۲ الی ۳ سانتی متر روی دیتم محاسباتی ایران محاسبه شدند. این سطح از دقت جهت مراکز تصویر عکسهای هوایی برای تهیه نقشه‌های پوششی در فتوگرامتری بسیار رضایت‌بخش است .

با این حال جهت مطمئن شدن از صحت اندازه گیری‌ها و محاسبات نتایج حاصل از مثلث‌بندی هوایی در تهیه نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ آزمایش گردید که نتایج حاصل از این مقایسه رضایت‌بخش و مناسب بودند. لذا با انجام عکسبرداری و مثلث‌بندی هوایی همراه با GPS می‌توان ادعا کرد که از نظر هندسی بدون آنکه مشکلی برای دقت نقشه‌های پوششی ایجاد شود، هزینه و زمان اجرای پروژه‌های متداول فتوگرامتری را که به روشهای قدیمی اجراء می‌شدند، به میزان $\frac{1}{3}$ کاهش می‌یابد.

۱ - هدف از اجرای طرح

با توجه به اینکه در تهیه نقشه‌های پوششی نیاز به مثلث‌بندی هوایی است و جهت اجرای آن احتیاج به انتخاب یکسری نقاط کنترل زمینی جهت ترانسفورماسیون و تصحیح هندسی عکسهای هوایی می‌باشد لذا هزینه قابل ملاحظه‌ای در ارتباط با تعیین موقعیت و تعیین مختصات نقاط کنترل زمینی به وسیله روشهای قدیمی و متداول نقشه‌برداری صرف می‌شود، که از نظر زمان مشاهدات نیز بسیار طولانی خواهد بود. بنابراین اندازه‌گیری مختصات نقاط کنترل زمینی جهت انجام مثلث‌بندی هوایی بوسیله روشهای نقشه‌برداری زمینی بسیار پرهزینه و وقت‌گیر است . بر همین اساس هدف اصلی ما از اجرای طرح بنیادی مثلث‌بندی هوایی با GPS در واقع کم کردن تعداد نقاط کنترل زمینی و همچنین انتقال نقش اساسی آنها به نقاط کنترلی است که بصورت مراکز تصویر عکسهای هوایی توسط گیرنده GPS در هواپیما ثبت می‌گردد با این عمل نقش اساسی در کم کردن هزینه و زمان پروژه‌های مربوط به تهیه نقشه‌های پوششی دارد.

۲ - مراحل مختلف طرح

مثلث‌بندی هوایی روشی است در فتوگرامتری جهت تعیین و تکثیر نقاط کنترل زمینی بصورت دستگاهی و در دفتر کار از طریق مجموعه‌ای از اندازه گیریهای انجام شده روی عکسهای هوایی پوشش دار که معمولاً در تهیه نقشه‌های پوششی و مملکتی بسیار متداول است .برای برقراری ارتباط هندسی بین سیستم مختصات دوبعدی مربوط به عکسهای هوایی و سیستم مختصات سه‌بعدی مربوط به زمین، در بلوک فتوگرامتری در بعضی از عکسها نیاز به یک سری نقاط کنترل زمینی داریم. ویژگی این نقاط کنترل زمینی بگونه‌ای است که موقعیت آنها بر روی عکسها و بر روی زمین به عنوان عوارضی مشخص و یکسان علامت گذاری شده است و سپس از طریق مشاهدات مستقیم نقشه‌برداری زمینی مختصات آنها اندازه گیری و محاسبه می‌گردد از طرف دیگر مختصات عکسی آنها در دفتر با دستگاههای فتوگرامتری بوسیله عامل اندازه گیری می‌شوند، حال با یک سری مختصات کنترلی سروکار داریم که مختصاتشان در دو سیستم دستگاهی (دوبعدی) و سیستم زمینی (سه‌بعدی)

معلوم است که بوسیله مثلث‌بندی هوایی با اجرای محاسبات نرم‌افزاری، مختصات تمامی عوارض موجود در دیگر عکسهای بلوک فتوگرامتری را پس از مثلث‌بندی شده بوسیله مختصات زمینی نقاط کنترل به سیستم مختصات سه بعدی زمینی منتقل می‌کنیم. با این کار وضعیتی بوجود می‌آید که عملاً عامل پشت دستگاه تبدیل با مشاهده تصویر برجسته از عکسها و انجام محاسبات مثلث‌بندی در واقع همانند یک عامل نقشه‌بردار در سرزمین قرار می‌گیرد بنابراین با حرکت نقاط شناور (فلوتینگ مارکها) بر روی تصویر سه بعدی مدل کلیه عوارض موجود در آنها را بصورت نقشه ترسیم نماید.

البته امروز یکی از مهمترین بحث‌های تحقیقاتی در مثلث‌بندی هوایی، کم کردن تعداد نقاط کنترل زمینی می‌باشد که مستقیماً در هزینه و زمان تهیه نقشه تأثیر اساسی دارد. از زمان پرتاب ماهواره‌های سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای GPS نقشه‌برداران بکار برد GPS در حل مسائل نقشه برداری از جمله فتوگرامتری پی‌برده‌بودند. **کاربردهای مختلف GPS بشرح ذیل است**

۱ - ایجاد و تعیین موقعیت نقاط کنترل زمینی با استفاده از GPS

۲ - ناوبری هوایی با استفاده از GPS

۳ - تعیین موقعیت دقیق دوربین عکسبرداری هوایی جهت مثلث‌بندی هوایی

۴ - تعیین موقعیت سنجنده‌های هوایی مانند اسکنرهای لیزری

مثلث‌بندی هوایی در فتوگرامتری تعیین‌کننده مختصات نقاط گره‌ای و عوامل توجیه خارجی جهت هر یک از عکسهای هوایی است که این کار با انتخاب و اندازه‌گیری تعداد قابل ملاحظه‌ای از نقاط کنترل زمینی انجام می‌گیرد.

مثلث‌بندی هوایی با استفاده از GPS تعداد نقاط کنترل زمینی را به حداقل می‌رساند و امکان مثلث‌بندی هوایی بدون نقطه کنترل زمینی را هم بوجود می‌آورد، البته زمانی که پارامترهای تبدیل و ترانسفرماسیون به سیستم مختصات مبناء (دیتم کشور) وجود داشته باشد. در این روش، مختصات مراکز تصویر عکسهای هوایی با استفاده از مشاهدات GPS تعیین می‌گردد. مختصات GPSای این نقاط می‌بایست با وزن مشخص سرشکنی (بلوک اجستمنت) فتوگرامتری با نقاط کنترل زمینی در بلوک فتوگرامتری معرفی می‌شوند بدان علت که از نظر نسبت تعداد مختصات‌های حاصل از GPS که مربوط به مراکز تصویر عکسهای هوایی هستند بیشتر از تعداد مختصات‌های نقاط کنترل زمینی هستند.

در حقیقت در مثلث‌بندی هوایی با GPS بلوک حاصل از عکسهای هوایی در فضابوسیله مختصات مرکز تصویر هر عکس که از طریق مشاهدات GPS محاسبه می‌گردد کنترل می‌شود. مزیت عمده این روش کاهش بسیار زیاد تعداد نقاط کنترل زمینی و دقت یکسان مختصات‌ها در تمامی مناطق از بلوک فتوگرامتری است.

۳ - اطلاعات ماهواره‌ای

اطلاعات ماهواره‌ای GPS به سه دسته تقسیم می‌شود:

۱ - اطلاعات شبه فاصله یا سود و رنج؛

۲ - اطلاعات اختلاف فاز حامل و

۳ - اطلاعات تغییرات فرکانس یا داپلرکانت.

با توجه به دقت زیادی که در مثلث‌بندی هوایی با آن روبرو هستیم، استفاده از اطلاعات اختلاف فاز حامل GPS بسیار ضروری است جهت حذف خطاهای سیستماتیک تکنیک‌های دیفرانسیل GPS مورد استفاده قرار می‌گیرند. در روش مثلث‌بندی هوایی بطریق GPS گیرنده‌ای بعنوان گیرنده متحرک یا ریموت در درون هواپیما نصب می‌شود که این گیرنده از طریق یک کامپیوتر به دوربین هوایی هواپیما متصل می‌گردد. از طرف دیگر جهت اجرای تکنیک تفاضلی یا دیفرانسیلی در عکسبرداری هوایی با GPS یک گیرنده دیگر بعنوان گیرنده ثابت یا مستمر روی زمین در یک ایستگاه مختصات‌دار معلوم مستقر می‌شود.

این دو گیرنده بطور همزمان مشاهداتی را از ماهواره‌های GPS در حین عکسبرداری دریافت می‌کنند. پس از مشاهدات و انجام پردازش‌های نهایی مختصات نقاط مربوط به مراکز تصویر عکسهای هوایی از طریق نرم افزارهای پیشرفته محاسباتی که در این زمینه تهیه شده است محاسبه و تعیین می‌گردند. و در نهایت مختصات مراکز عکسها بعنوان نقاط کنترل زمینی جدید به جای مختصات‌های کنترل زمینی بدست آمده از طریق مشاهدات مستقیم نقشه‌برداری زمینی، به بلوک فتوگرامتری جهت سرشکنی و تعدیل خطاها معرفی میگردند. این عمل در پرواز آزمایشی انجام شده برفراز تهران در منطقه ورامین اجراء شد که نتایج بدست آمده حاصل از آن بسیار رضایت‌بخش بود.

اما در انجام سرشکنی بلوک فتوگرامتری با مشاهدات GPS مسائل پیچیده‌ای وجود دارد که می‌بایستی همواره آنها را در حین مثلث‌بندی هوایی بطریق GPS مدنظر داشت این مسائل عبارتند از :

۱ - جدایی بین مرکز دوربین عکسبرداری هوایی از مرکز فاز آنتن هوایی GPS که روی سقف هواپیما نصب شده است .

۲ - کالیبراسیون زمانهای عکسبرداری دوربین هوایی نسبت به مرجع زمان GPS (که یک زمان اتمی است)

۳ - معرفی و تعیین پارامترهای مربوط به سیستم مختصات مبناء (پارامترهای دیتم ایران)

۴ - رفع ابهام و حل امبیوتی در مشاهدات اختلاف فاز حامل GPS در حین پرواز (روش OTF)

۵ - آشکار سازی و تصحیح cycle slip به روش کالمن فیلترینگ یا اسموتینگ

۴ - مراحل اجرای طرح

مراحل مختلف اجرای طرح فوق بشرح ذیل است

۱ - مطالعه بر روی نوع دوربین عکسبرداری هوایی و گیرنده ماهواره‌ای GPS همراه با مشخصات و توان آنها

۲ - طراحی سیستمی جهت برقراری ارتباط الکترونیکی بین گیرنده ماهواره‌ای GPS و دوربین هوایی RC10A,RC-10

۳- طراحی و نصب محل مناسبی برای آنتن گیرنده GPS روی سقف هواپیما

۴ - اندازه‌گیری جدایی محل قرارگیری آنتن گیرنده از مرکز دوربین هوایی به طریق مدلهای نقشه‌برداری

۵- طراحی سیستمی که لحظه‌های عکسبرداری و حرکت شاتل دوربین رابر روی داده‌های GPS ثبت نماید

۶-عکسبرداری هوایی تحت حمایت اندازه گیری‌های GPS به روش کینماتیک

۷- تهیه نرم‌افزارهای دقیق محاسباتی جهت پردازش داده‌های خام GPS در حین پرواز و پس از آن

۸- تهیه نرم‌افزار مناسب جهت سرشکنی بلوک عکسهای فتوگرامتری با استفاده از داده‌های GPS

۹- پرداز ش مشاهدات کینماتیک گیرنده‌های GPS با نرم‌افزار pinnacle

۱۰- پردازش و سرشکنی بلوک فتوگرامتری بوسیله مختصات مراکز تصویر عکسهای حاصل از GPS با نرم‌افزار ALBANY 6.82

۱۱- استفاده از المانهای توجیه بدست آمده از بلوک اجستمنت به روش فوق جهت توجیه دستی مدلها (برای کنترل آنها)

۱۲- کنترل مختصات‌های حاصل از بلوک اجستمنت به روش فوق با یکسری نقاط مختصات دار معلوم که در محاسبات دخیل نبودند (check points).

با توجه به آنکه امر مثلث‌بندی هوایی جهت تهیه نقشه‌های پوششی بوسیله روشهای متداول نقشه‌برداری کلاسیک بسیار پرهزینه و وقت‌گیر می‌باشد، مخصوصاً جهت تهیه نقاط کنترل زمینی در نقاط کوهستانی کویری لذا اجرای این پروژه به منافع ملی کشور کمک فراوانی خواهدکرد. و از طرفی با عنایت به تهیه نقشه‌های پوششی ۱:۲۵۰۰۰ توسط ساز مان جغرافیایی نیروهای مسلح ، کاربرد این روش نوین در مثلث‌بندی هوایی و سرشکنی بلوک‌های فتوگرامتری هزینه تهیه نقشه‌ها و زمان اجراء پروژه را بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

۵ - اجرای طرح

درراستای اجرای طرح تحقیقاتی اتصال GPS به دوربین هوایی هواپیمای عکسبرداری بوسیله کارشبانه‌روزی کارشناسان سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح انجام پذیرفت و اتصال گیرنده ماهواره‌های GPS به دوربین RC-10 ,RC-10A نیز اجرا گردید. درانجام این پروژه مشکل اساسی دربرقراری ارتباط الکترونیکی بین پالس‌های دریافتی گیرنده با پالس‌های ارسالی از شاتل دوربین RC-10A بود به‌این‌علت که دوربین RC-10 با آنکه قدیمی‌تر از دوربین RC-10A بود ولی مجهز به پرت خروجی پالس از دوربین بود در حالی که چنین خروجی برای دوربین RC-10A براحتی قابل تشخیص و دریافت نبود که پس از بررسی و فعالیت متخصصین الکترونیک که به ساختار الکترونیکی دوربین آشنا بودند این اتصال انجام پذیرفت لازم به ذکر است که اشاره نمایم هیچگونه دستورالعمل و مشخصات فنی یا نقشه از مدارهای الکترونیکی دوربین‌ها در دسترس ما وجود نداشت.

پس‌از دریافت اولین پالس مثبت ازدوربین وثبت آن‌بوسیله گیرنده GPS مشخص شد که پالس ارسالی از دوربین مربوط به بازوبسته شدن شاتل دوربین‌هوایی است و زمان ارسالی آن برحسب ساعت کوارتز موجود درگیرنده ثبت می‌گردد. دراینجاباید‌اشاره کردکه‌ساعت کوارتز گیرنده‌های GPS برحسب زمان شبانه‌روزی تصحیح شده یا زمان VTCTime است درحالی که زمانهای مربوط به ارسالی افمرنیرها از ماهواره‌های GPS که توسط گیرنده نیزثبت می‌گردد و مربوط به تعیین موقعیت مراکز تصویر عکسهای هوایی است برحسب زمان GPS است (GPS Time).

زمان VTC نسبت به زمان GPS دارای یک انحراف ثانیه‌ای جهشی است که مقدار آن در اول سال ۲۰۰۰ میلادی برابر با ۱۳ ثانیه بوده است لذا عدم اطلاع از این ناهمزمانی بین زمانهای VTC و GPS می‌تواند در حین حرکت هواپیما و عکسبرداری خطاهای بسیار بزرگی را در تعیین موقعیت مراکز تصویر عکسها ایجاد کند. این موضوع مهم در پرواز آزمایشی که بر فراز تهران انجام پذیرفت کشف گردید که موجب دستیابی به نتایج بسیار رضایت‌بخشی در محاسبه موقعیت مراکز تصویر عکسبرداری شد.

۶ - نصب آنتن GPS

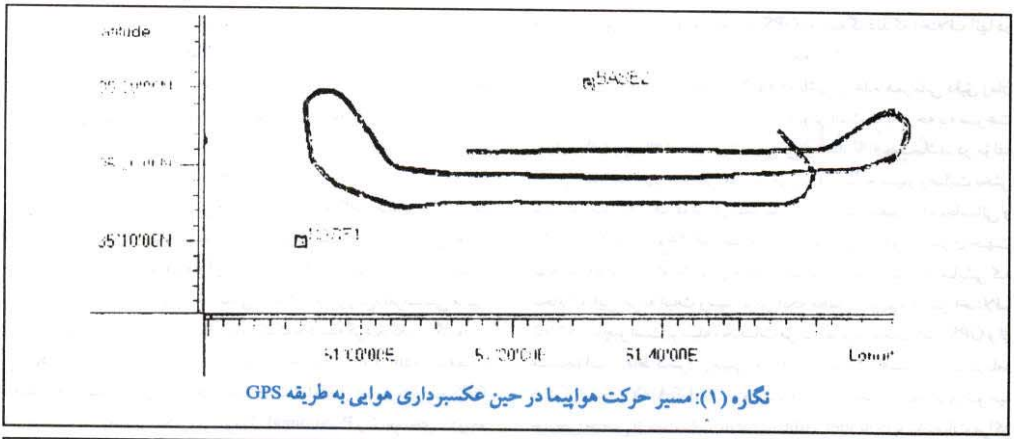
پس از برقراری ارتباط بین دوربین‌های RC-10, RC-10A به گیرنده ماهواره‌های GPS مرحله نصب آنتن گیرنده بر روی سقف هواپیما مطرح گردید، که‌بر ای‌نصب‌آنتن‌برروی‌هواپیمابایستی‌به‌دونکته مهم توجه داشت؛

۱ - نصب دقیق مرکز فاز آنتن در راستای قائم یا نزدیکی مرکز دوربین روی هواپیما

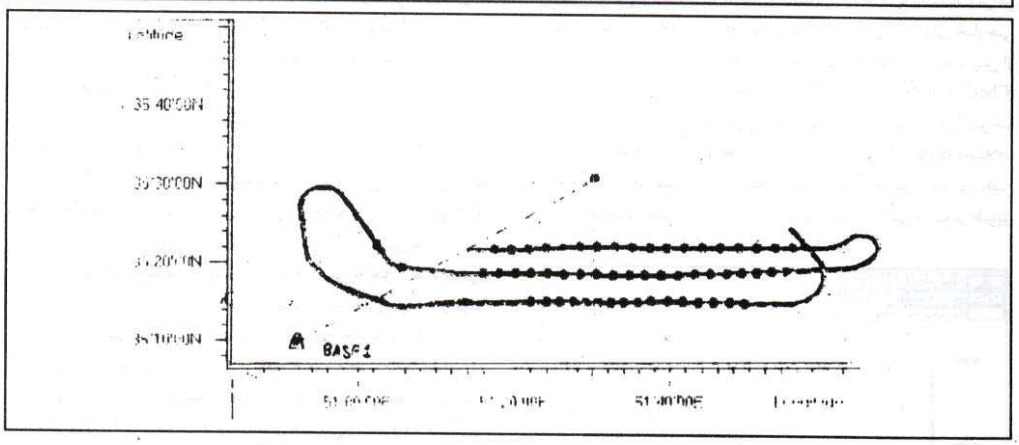
۲ - در صورت عدم نصب آنتن در بالای مرکز دوربین اندازه‌گیری دقیق خارج از ایستگاهی آن

بعلت مشکلاتی که در ایمنی پرواز در ارتفاع زیاد با هواپیما وجود دارد و بعلت آنکه ممکن است سوراخ کردن سقف هواپیما موجب بهم ریختن تعادل فشار داخل و خارج هواپیما در حین پرواز شود لذا نصب دقیق مرکز فاز آنتن در بالای دوربین روی هواپیما جزء مهمترین بخشهای اجرای طرح بود. از طرفی کارشناسان پرواز و متخصصان ایمنی پرواز به ما اجازه نصب آنتن را در جائی از بدنه هواپیما را نمی‌دادند و از طرف دیگر می‌بایستی برای حذف دورانی‌های Yaw,Roll,Pich که ما در فتوگرامتری به &,w,q می‌شناسیم، آنتن را دقیقاً در راستای قائم مرکز دوربین هواپیما نصب کرد و این محل مکانی بود که اسکلت اصلی بدنه هواپیما از آن عبور می‌کرد، لذا بناچار آنتن را در نزدیکی این محل نصب کرده و انحراف مرکز فاز آنتن را از محل ایده‌آل بر روی هواپیما (راستای قائم مرکز دوربین) با دقت دهم میلی‌متر اندازه‌گیری نمودیم.

اما آنتن GPS برای تقویت امواج دریافتی از ماهواره‌ها مجهز به یک آمپلی فایر بود که در کنار آنتن روی هواپیما نصب می‌شود این آمپلی فایر نمی‌بایستی درمعرض جریان سریع هوا بر روی سقف‌هواپیما باشد لذا محل مناسبی را در جداره فوقانی هواپیما در داخل آن برای نصب آمپلی فایر طراحی گردید. در نهایت آنتن هوایی دو فرکانسه گیرنده‌های ماهواره‌های GPS که توان دریافت افمرنیر ماهواره‌های GPS و Glonass بر روی دو فرکانس L1,L2 را دارا می‌باشد روی هواپیمای فوکر F-27 سازمان جغرافیایی نصب گردید. از طرف دیگر از طریق یک کامپیوتر PC (کنترل کننده) پالس خروجی از دوربین RC-10A ساخت شرکت لایکا سوئیس به گیرنده GPS موجوددر هواپیمامتصل گردید. بنابراین گیرنده GPS هم وظیفه ثبت پالس‌های دریافتی ازآنتن هوایی دوفرکانسه GPSو Glonass را داشت



نگاره (۱): مسیر حرکت هواپیما در حین عکسبرداری هوایی به طریقه GPS



نگاره (۲): محل مراکز تصویر عکسهای هوایی در طول مسیر حرکت هواپیما از طریق GPS

و هم موظف به ثبت پالس‌های ارسالی از شاتل دوربین RC-10A بود.

۷ - پرواز باGPS بر فراز ورامین

برای آزمایش صحت مراحل مختلف طرح یک پرواز آزمایشی بوسیله هواپیمای فوکر با دوربین RC-10A مجهز به گیرنده ماهواره‌ای GPS بر روی تهران در منطقه ورامین در ساعت ۱۵:۳۰ بعد از ظهر سی‌ام مهر ماه ۱۳۷۸ هجری شمسی انجام پذیرفت. این پرواز آزمایشی که شامل سه رن فتوگرامتری بود در ارتفاع هفت هزارمتری از سطح دریاهای آزاد در منطقه ورامین اجرا شد. مقیاس عکسبرداری ۱:۴۰۰۰۰ و دوربین هوایی RC-10A با فاصله کانونی 152.99 میلی متربود. تعداد عکسهای گرفته شده در این پرواز ۶۵ عدد می‌باشد. رن ۱ شامل ۱۸ عکس و رن ۲ شامل ۲۰ عکس و رن ۳ شامل ۲۱ عکس می‌باشد و تعداد ۶ عکس نیز در محلهای دور زدن هواپیما در ابتدا رن‌ها گرفته شده است که در محاسبات فتوگرامتری و مثلث‌بندی آنها را حذف کرده‌ایم. در نگاره (۱) مسیر حرکت هواپیما که از طریق مشاهدات ماهواره‌ای و کینماتیک GPS حاصل شده است مشاهده می‌کنید در نگاره (۲) مسیر حرکت هواپیما به اضافه موقعیت مراکز تصویر ثبت شده و محاسبه شده روی مسیر را مشاهده می‌نمائید که این موقعیت‌ها پس از محاسبه و انتر پوله موقعیت VTC حاصل از لحظه‌های عکسبرداری (Events) با موقعیت‌های مشاهداتی GPS نسبت به زمان GPS حاصل می‌شوند. بعبارتی در نگاره (۲) موقعیت مراکز تصویر دوربین در حین عکسبرداری هواپیما که از طریق گیرنده GPS مشاهده و محاسبه شده‌اند ارائه می‌شود. دقت موقعیت‌های برآورد شده در حدود ۲ الی ۳ سانتی متر است. برای محاسبه چنین موقعیتهایی دو گیرنده ثابت GPS روی ایستگاههای زمینی تپه میل و ایستگاه کوشک که دارای مختصات ژئودتیک معلوم در دیتم مملکتی هستند مستقر شده‌اند. این دو گیرنده بعنوان ایستگاههای زمانی لازم را با گیرنده مستقر در هواپیما نداشت در محاسبه

دیفرانسیل تعیین موقعیت مراکز تصویر دوربین دخالت داده نشد.

ایستگاه تپه میل یک نقطه ژئودزی است و در نزدیکی آتشکده ساسانیان در جنوب شرقی تهران در منطقه ورامین قرار دارد. مختصات این نقطه ژئودزی در روی بیضوی هایتور از دیتم‌اروپایی محاسبه و تعیین شده‌است.

۸ - انجام محاسبات بلوک اجستمنت

پس از انجام پرواز آزمایشی مشاهدات گیرنده GPS مستقر در هواپیما و گیرنده‌های زمینی مستقر در نقاط تپه میل و کوشک جهت محاسبه و تعیین موقعیت‌مراکز تصویربه‌دفترکارآورده‌شده‌واطلاعات آنها در داخل کامپیوتر تخلیه گردید،بوسیله‌نرم‌افزارمحاسباتی Pinnacle به‌روش‌دیفرانسیلی مسیر حرکت هواپیما از طریق محاسبات کینماتیک محاسبه گردید که در نگاره(۱) نشان‌داده‌شده‌است.سپس‌ازطریق‌زیربرنامه‌محاسباتی Event Edit موقعیت لحظه‌های عکسبرداری با موقعیت‌های بدست آمده از طریق گیرنده GPS انتروپوله شدند. بعبارتی یک پولی نومیال Polynomial و ۵ جمله‌ای با درجه ۲ بر موقعیت‌های بدست آمده از طریق گیرنده GPS آزموده شد. که این کار با همزمان کردن مرجع زمانی لحظه‌های Event (زمانهای شاتلینگ) با زمان GPS مربوط به موقعیت آنتن GPS بدست می‌آید. با این فرآیند پردازش موقعیت مرکز تصویر ۴۸ عکس هوایی که متعلق به رن ۱ و ۲ بودند محاسبه گردید. برای کنترل مختصات‌های بدست آمده، به همان روش متداول قدیمی یک گروه نقشه بردار زمینی به منطقه تحت پوشش عکسهای گرفته شده اعزام گردید. این گروه نقشه‌بردار بدون توجه به پرواز هواپیما با GPS برای تبدیل و مثلث‌بندی بلوک فتوگرامتری مزبور طبق اندکس طراحی شده توسط کارشناسان فتوگرامتری یک سری نقاط زمینی به عنوان نقاط کنترل جهت بلوک در محلهای طراحی شده در اندکس انتخاب و از طریق روشهای نقشه‌برداری زمینی مختصات آنها را مشاهده و محاسبه نمودند. سپس مختصات این نقاط کنترل زمینی همراه با مختصات نقاطی که طبق اندکس در دستگاههای فتوگرامتری بوسیله عامل تبدیل در سیستم مختصات دستگاه اندازه‌گیری و قرائت شده بودند مثلث‌بندی هوایی شدند و دو مجموعه مختصات در بلوک اجستمنت بکار رفتند. بعبارتی از طریق روش قدیمی و متداول فتوگرامتری بلوک عکسبرداری شده مشتمل بر سه رن پروازی است بوسیله انتخاب نقاط کنترل زمینی محاسبه و سرشکن شد.

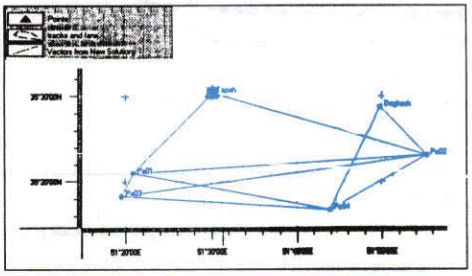
پس از انجام محاسبات بلوک اجستمنت مختصات مراکز تصویر عکس‌ها که از طریق این روش متداول محاسبه شده بود با مختصات‌های

G.C.P.	ΔX (به‌متر)	ΔY	ΔZ	Mean (RMS)
701	+2.601	2.531	1.337	
702	2.049	-1.92	0494	2.049
703	-3.470	+2.300	-0.480	
704	-1.342	-2.661	-1.47	

جدول (۱) : مقایسه بین مختصات بدست آمده از دو روش بلوک اجستمنت (روش با نقاط کنترل زمینی و روش با نقاط کنترل زمینی به اضافه مشاهدات GPS)

مراکز تصویر بدست آمده از طریق GPS مقایسه گردید که اختلاف آنها در حد متر بود که در جدول (۱) نشان داده شده است.

بیشترین اختلاف در مؤلفه X بود که ناشی از عدم همزمانی دقیق زمان Eventها با زمان GPS موقعیت مراکز تصویر است که با توجه به سرعت بسیار زیاد هواپیما ۱۲۰ متر برثانیه می‌تواند بسیار با اهمیت باشد. در مؤلفه Z این اختلاف حتی به سانتی متر نیز می‌رسید و نتایج بسیار رضایت بخش بود . بهرحال اختلاف دوسری مختصات از مراکز تصویر (محاسباتی و مشاهداتی) در مجموع از ۲/۵ متر بیشتر تجاوز نمی‌کرد و این میزان جهت تهیه نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ بسیار مناسب است و در عمل نیز با آزمایشی که انجام شد این امر به اثبات رسید. برای آنکه مطمئن شویم که این اختلاف ۲/۰۵ متر ناچیز است بوسیله مختصات مراکز تصویر بدست آمده GPS و از مشاهدات نقاط کنترل زمینی، محاسبات بلوک اجستمنت با برنامه فتوگرامتری ALBANY انجام پذیرفت و از مقایسه المانهای توجیه خارجی حاصل از محاسبات Boundel Adjustement با مختصات مراکز تصویر حاصل از GPS نشان داد که می‌توان بوسیله این المانهای خارجی مدلهای فتوگرامتری مربوط به هر زوج عکس را توجیه مطلق نمود، پس از توجیه و قرائت مختصات نقاط مختصات‌دار کنترلی(Check Points) اختلاف حاصل از مختصات زمینی آنها و مختصات حاصل از مدل توجیه شده بوسیله بلوک اجستمنت حاصل از پرواز با GPS نشان داد که اختلاف در حد همان ۲/۰۵ متری می‌باشد که در مقایسه اولیه حاصل شده بود. این آزمایش صحت مختصات مراکز تصویر دوربین هوایی راکه از طریق مشاهدات کینماتیک GPS بدست آمده بود را تأئید کرد.



نگاره (۳): شبکه ژئودزی مربوط به نقاط کنترل زمینی
نقاط فیکس Tapeh و Doghosh
نقاط کنترل زمینی عکسی Pa01 - Pa02 - pa03 - pa04

۹ - ارزیابی نتایج حاصل از بلوک اجستمنت با GPS

بر ای آنکه‌بدانیم آیامی‌توان‌بدون‌نقاط کنترل‌زمینی‌وصرفاًبامختصات‌های بدست آمده از طریق روش کینماتیک GPS برای مراکز تصویر نیز می‌توان مثلث‌بندی هوایی و بلوک اجستمنت انجام داد مختصات چهار ایستگاه کنترل زمینی بدست آمده از طریق مشاهدات مستقیم نقشه‌برداری (نگاره(۳)) را بعنوان نقاط چک پوینت و کنترلی در نظرگرفتیم که نتایج زمینی بیشتر از وزن مراکز تصویر حاصل از GPS در نظر گرفته شده است.

G.C.P.	ΔX (به‌متر)	ΔY	ΔZ	Mean (RMS)
701	-2.382	-3.193	-1.610	
702	-2.837	1.619	-0.367	2.05
703	3.668	-1.000	1.964	
704	1.188	-1.005	0.002	

جدول (۲) : مقایسه مختصات زمینی حاصل از بلوک اجستمنت بدون نقاط کنترل یا مختصات نقاط چک پوینت وزن نقاط زمینی 0.01 وزن مراکز تصویر حاصل از GPS برابر 0.2

مقایسه این دو جدول نشان می‌دهد که استفاده از مراکز تصویر بدست آمده از روش کینماتیک GPS تا چه حد می‌توان در تهیه نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ پوششی به‌روش فتوگرامتری جوابگوباشد وهمچنین نشان‌دهنده‌این مطلب است که چگونه می‌توان بدون نقاط زمینی یا حداقل با تعداد محدودی نقطه کنترل که در گوشه‌های بلوک (معمولاً چهارگوشه) در نظر گرفته شده است، از نظر دقت از GPS در تهیه نقشه‌های پوششی کمک گرفت.

بنابراین می‌توان در حمایت مشاهدات کینماتیک GPS به نتایج بسیار مناسبی در تهیه نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ از عکسهای هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ دست یافت.

۱۰ - نتیجه‌گیری

از نتایج مهمی که در زمینه کاربردی GPS در انجام مثلث‌بندی هوایی دست یافتیم این مطلب بود که بوسیله عکسبرداری هوایی در حمایت مشاهدات ماهواره‌ای GPS می‌توان نقشه‌های پوششی در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ تهیه نمود. در این پروسه عملیاتی و محاسباتی مراکز تصویر عکسبرداری از طریق مشاهدات کینماتیک GPS محاسبه می‌گردند و بعنوان نقاط کنترل زمینی (که‌درفضاقراردارند) به محاسبات سرشکنی بلوک اجستمنت معرفی می‌گردند. همچنین مشخص شد که جهت انجام محاسبات بلوک اجستمنت جهت تهیه نقشه‌های فوق نیازی به طراحی و اندازه گیری نقاط کنترل زمینی زیاد در سرزمین‌نیست، وبا انتخاب تعداد معدودی از نقاط کنترل مسطحاتی وارتفاعی که‌معمولاً درگوشه‌های بلوک عکس‌ها ودرمحل شکستگی رن‌های پروازی گرفته می‌شوند می‌توان مشکل محاسبات فتوگرامتری را حل نمود. بنابراین با اتخاذ این روش نوین و بنیادی انتخاب نقاط کنترل زمینی با توجه به وضعیت توپوگرافی منطقه عکسبرداری (کوهستانی یا دشت) به $\frac{1}{3}$ الی $\frac{1}{4}$ تعداد نقاطی که در روشهای قدیمی گرفته می‌شود کاهش داد. از نظر زمان و هزینه اجرای کار نیز این روش نوین بسیار سریع و به صرفه اقتصادی است.

همچنین در حین محاسبات بلوک اجستمنت معلوم گردید که جهت رسیدن به نتایج رضایت‌بخش و مناسب می‌بایستی در محاسبات بلوک اجستمنت توأم با GPS وزن مشاهدات GPS یعنی مراکز تصویر حاصل از روش کینماتیک GPS را نسبت به وزن نقاط کنترل زمینی حاصل از روشهای مستقیم زمینی از وزن کمتری برخوردار باشند. زیرا تعداد آنها نسبت به نقاط کنترل زمینی به مراتب بیشتر است. لذا انتخاب وزن یکسان باعث خواهد شد تا خطاهای ذاتی موجود در مشاهدات و تعیین موقعیت‌های GPS دقت و صحت مختصات نقاط زمینی را تحت تأثیر قرار دهند ما از طریق محاسبات مکرر و مقایسه‌های تجربی دریافتیم که وزن مناسب جهت معرفی هر دو نوع مختصات زمینی و مراکز تصویری حاصل از GPS در برنامه بلوک اجستمنت ALBANY بدین نسبت است که وزن نقاط کنترل زمینی(GCP) را 0.01 انتخاب کنیم و وزن موقعیت مراکز تصویر حاصل از GPS را برابر با 0.2 در محاسبات توأم معرفی نمائیم.

همچنین در فرایند محاسبات فتوگرامتری جهت مثلث‌بندی هوایی و سایر محاسبات مشخص گردید که بایستی ابتدا تمامی زوج عکسهای گرفته شده توجیه نسبی و مطلق شوند و سپس قرائت‌های دستگاهی روی آنها انجام گیرد و در نهایت پس از ایجاد مدلهای مستقل استریپ‌های متشکل از چندین مدل مستقل ایجاد شدند و در نهایت استریپ فتوگرامتری بطور مستقل با نقاط کنترل زمینی موجودش که معمولاً در ابتدا و انتهای استریپ هستند مثلث‌بندی هوایی شود سپس برای محاسبات اولیه ابتدا بلوک فتوگرامتری متشکل از چند استریپ با کلیه نقاط کنترل زمینی انتخاب شده و اندازه‌گیری شده محاسبه گردد تا به یک سری نتایج اولیه‌ای در مورد وضعیت خطاها و هندسه بلوک دست یابیم. حال در همین مرحله می‌توان مختصات مراکز تصویر حاصل از روش کینماتیک GPS را بعنوان نقاط کنترل اضافی و مکمل با وزن نسبی کمتر به محاسبات بلوک اجستمنت مربوط به زوج عکسهای هوایی منطقه موردنظر وارد کرد. در این حالت بلوک اجستمتی خواهید داشت که صحت هندسه تصاویرش از طریق یکسری نقاط فیکس واقع بر روی سطح زمین و بالای زمین کنترل می‌شود. کسب دانش و تجربیات بیشتر در اجرای این روش نوین و بنیادی تهیه نقشه در فتوگرامتری می‌تواند ما را در تهیه نقشه‌های بزرگ مقیاس‌تر یاری دهد و همچنین می‌تواند ما را به سوی وضعیتی که بلوک فتوگرامتری را بدون هیچ نقطه کنترل زمینی سرشکن نمائیم هدایت کند.

همچنین در این روش از تهیه نقشه‌های پوششی ما دریافتیم که اندازه‌گیری و معرفی دورانها و المانهای توجیه دوربین هوایی (Pich و Roll و Yaw) تغییر چندانی‌رادر محاسبه موقعیت فضایی مراکز تصویر بوجود نمی‌آورد و این تغییرات در حدود ۲۰ الی ۳۰ سانتی‌متر است که اثر آن در تهیه نقشه‌های پوششی ۱/۲۵۰۰۰ ناچیز است روش مناسبی که می‌توان این المانها را اندازه‌گیری کرد آن است که ژیروسکوپی که جهت ناوبری در کنار دوربین هوایی استفاده می‌شود به دوربین هواپیما نیز متصل باشد تا بصورت خودکار و رقومی مقدار این دورانها را برای هر فرم از عکسهای گرفته شده در یک رن اندازه‌گیری و ثبت نماید.

البته روش ایده‌آل ونوین‌دیگری که‌زمینه فتوگرامتری باGPS در مرحله تحقیقات وجود دارد آن است که سه آنتن GPS در جهت y, x (جلو و روی بالها) روی هواپیما نصب شود تا بدین وسیله آنها بتوانند مراکز تصویر و دورانهای Pich و Roll و Yaw رابرای تک عکس گرفته شده در یک رن پرواز رامشاهده واندازه‌گیری نمایند در این‌حالت‌می‌توان‌بدون‌ایجادمدل‌سه‌بعدی فتوگرامتری‌به‌راحتی‌باپارامترهای ترانسفورماسیون اندازه‌گیری شده از طریق GPS یعنی سه‌دوران‌وسه‌انتقال ویک‌مقیاس مختصات‌هرعارضه روی عکس را به مختصات سه بعدی همان عارضه روی زمین تبدیل کرد. □