نتایج جدید از پروازهای عکسبرداری به همراه سیستم GPS

هانس دیترآرنولد(HANS - DIETER ARNOLD) وپیترهرمس
(PETER HERMS) و رالف اِشروت (RALF SCHROTH)

برگردان:مهندس عباسعلی صالح‌آبادی

چکیده

این مقاله فعالیتهای انجام‌گرفته طی دوسال اخیر شرکت هانسالوفت بیلد (HANSA LUFTBILD) رادرجهت به‌کارگیری سیستم GPS در زمینه‌های نقشه‌برداری در ناوبری هوایی، مثلث بندی هوایی شرح می‌دهد. در کنار آشنا شدن با مؤلفه‌های مختلف این سیستم، تأکید اساسی ماآشنا نمودن با نتایج عملی به دست آمده از ناوبری هوایی براساس سیستم GPS می‌باشد. بخش دیگر این مقاله به کارگیری روش روش کینماتیک (متحرک) GPS را با توجه به محاسن و معایب این تکنیک، جهت نقشه‌برداری هوایی مورد نقد و بررسی قرار می‌دهد.

پیشگفتار

هانسالوفت بیلد شرکتی است که از دوازده سال گذشته تاکنون در به کارگیری مقاصد الکترونیکی در زمینه ناوبری و نقشه‌برداری هوایی مشغول می‌باشد. در اینجا باید توجه نمود که این موضوع برخلاف وجود یک سابقه کار برروی پروژه‌های نقشه‌برداری خارج از کشور، که اغلب اوقات ناوبریهای هوایی با کیفیت (به طور مثال موضوعات نقشه‌برداری کوچک مقیاس با کیفیت ضعیف منسوخ شده) نامناسب را در پی دارد، می‌باشد. شرکت مزبور جهت اجرای پروژه‌های وسیع جهانی، در حال حاضر بیش از ۴ نوع سیستم ناوبری، که براساس گیرنده‌های ناوبری GPS کارمی‌کنند را، برروی هواپیماهای نقشه‌برداری خویش به خدمت گرفته است. در حالی که سیستم ناوبری GPS به مرحله اجرا می‌رسد با به کارگیری تکنولوژی مورد لزوم سیستم GPS و تکمیل پوشش فضایی ماهواره‌ها آزمایشات اولیه جهت پروازهای مقدماتی به روش کینماتیک (متحرک) GPS در مثلث بندی هوایی آغازگردیده است (آکرمن ۱۹۸۸) .

هردو مناطق نامبرده شده فوق در بخش ذیل مورد بحث قرار گرفته‌اند. جهت شروع، شرحی از ساختار و ترکیب سیستم، که هدف از آن مروری بر کاربرد تکنولوژی مزبور می‌باشد داده شده است.

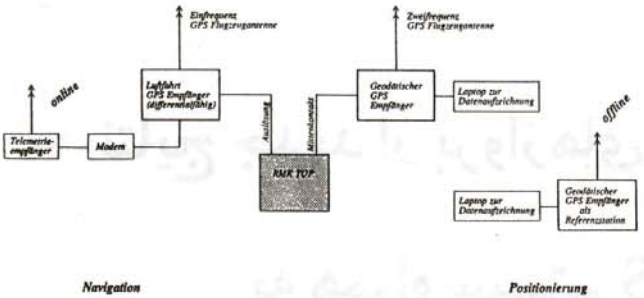
۲) ساختار سیستم

اجرای هر روزه عملیات نقشه‌برداری هوایی، در شرکت هانسالوفت بیلد بدون به کارگیری سیستم GPS غیرقابل باور به‌نظر می‌رسید. سیستم GPS به همان خوبی که جهت ناوبری هوایی به کار گرفته شده، می‌تواند جهت تعیین مختصات مراکز تصویر عکسهای هوایی نیز مورد استفاده واقع گردد. سیاست شرکت ما بحث بر روی ناوبری و تعیین موقعیت به صورت دو مقوله جداگانه بوده است و این امر براساس دقت تجهیزات تکنیکی به‌کارگرفته شده می‌باشد که در آینده نیز دنبال خواهد شد. لذا کارشناسان فن با مشاهده هواپیمایی که مجهز به دو آنتن GPS می‌باشد به سرعت متوجه این موضوع خواهند شد. (نگاره۱) . نگاره ۲ حکایت ازترتیب دوربینهای قرار گرفته بر روی هواپیما و خطوط ناوبری GPS و گیرنده‌های ماهواره‌ای GPS به کارگرفته شده جهت تعیین موقعیت دارد.

۳) ناوبری براساس سیستم GPS

ناوبری‌به‌وسیله‌GPSتمامی‌امیدهای دیده شده درآن رابه‌واقعیت مبدل‌نموده است. این نوع ناوبری‌که تابعی از زمان است، هنگامی مطرح گردید که هنوز سیستم‌سنتی‌ناوبری‌بصری‌به‌خوبی‌جایگزین‌نشده‌بود.شرکت هانسالوفت‌بیلد در حال حاضر دارای چهار هواپیما مجهز به سیستم ناوبری CCNS (Computer Controlled Navigation System) یعنی سیستم ناوبری کنترل شده توسط کامپیوتر می‌باشد. سیستمی که کارائی خویش را در عمل به خوبی به اثبات رسانیده است. جهت اطلاع بیشتر به (۱۹۹۱ - HERMS) و به (۱۹۹۲ - Grimm) مراجعه شود. جهت کاربرد وسیع

(نگاره ۱)
یک هواپیما استفاده کننده از تکنولوژی GPS



(نگاره ۲)
ساختار سیستم برای ناوبری و تعیین موقعیت GPS

سیستم، چندین تغییر ویژه به تدریج در سیستم به اجرا درآمده است که سهم بزرگی در کاربرد روزانه سیستم در کمک به انجام پروژه‌های نقشه برداری با کیفیت استاندارد بالا داشته است.

۱ - ۳) ترکیب GPS با ژیروسکوپ جهت یاب

مسیر هواپیماهای بالای سطح زمین از طریق مشاهدات پیوسته تغییرات موقعیت GPS حاصل می‌گردد که در اصطلاح علم بین‌المللی هوانوردی به Track موسوم است. و از طرفی از طریق ژیروسکوپ جهت یاب در واقع سمتی که دماغه هواپیما به سوی آن نشانه می‌رود را نمایان می‌کند که در اصطلاح علم بین المللی هوانوردی به Heading معروف است. (نگاره ۳) مشاهده شود.

اختلاف بین (Track) و (Heading) هدینگ را دریفت هواپیما به ما می‌دهد. دریفت در واقع یک مقدار عددی مورد لزوم می‌باشد که ما را از لحاظ موازی قرارگرفتن دوربین هواپیما و مسیر پرواز مطمئن می‌سازد. به هر حال مشخص گردیده است که با نمایش همزمان هدینگ و تراک برروی صفحه نمایش مانیتور خلبان، می‌توانیم کیفیت پروازهای نقشه‌برداری هوایی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهیم. بنابراین خلبان مستقیماً تیلت (زاویه انحراف) هواپیما و دوربین را مشاهده می‌نماید. با این روش خلبان قادر است که تیلت عکسها را می‌نیمم کند و یا اینکه محور عکسها را به موازات محور شیت نقشه قرار داده و توجیه نماید. زمانی که انحراف قابل توجهی در تراک ظاهر شود، عمل متقابلی به فعالیت واداشته می‌شود که در آن صورت اطلاعات موردنظر در مورد تغییر دریفت، مورد قبول نبوده، و این امر باعث می‌شود که خلبان نسبت به آن عمل عکس العمل نشان دهد. اگر باد در حال وزیدن باشد که اغلب اوقات این چنین است در آن صورت پرواز بسیار سخت خواهد بود. به هر حال هنگامی‌که هدینگ و تراک به طور همزمان نمایش داده می‌شوند، خلبان قادر خواهد بود که به سرعت به کوچکترین تغییرات دریفت عکس العمل نشان دهد. به عبارتی می‌توان گفت که هواپیما نیازی به خاموش نمودن دریفت مسیر خود، قبل از هر گونه عکس العملی را ندارد.

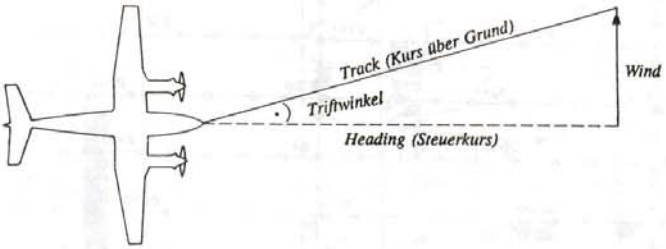
۲ - ۳) مسائل مربوط به تغییرخطوط پروازبابه‌کارگیری سیستمهای GPS

یکی از جنبه‌های با ارزش دستیابی به پروازهای نقشه‌برداری کارآمد، اجراء چرخش مابین خطوط پرواز در حداقل زمان ممکن است. از دست دادن موقعیت به دست آمده توسط GPS در هنگام چرخش هواپیما، امکان دارد که به طور قابل ملاحظه‌ای باعث افزایش زمان پرواز گردد. در این صورت وضعیت ناهنجاری که ممکن است اتفاق بیافتد این است که ناوبری هوایی به‌طریق ابتدائی ودستی نسبت به ناوبری هوایی با GPS کارآمدتر باشد. سیستمهایی که در شرکت هانسا لوفت بیلد استفاده شده‌اند مسئله فوق را به وسیله واکنش سریع گیرنده (به علت تجهیزات هوانوردی) و پردازش سریع اطلاعات ماهواره‌ای (سه ماهواره جهت تعیین موقعیت دوبعدی کافی است) و همچنین مدله نمودن (Modelling) تأثیر باد حل شده است. در این صورت چرخشهای هواپیما در بین خطوط پرواز، سریعاً ممکن است بعد از خاموش شدن سوئیچ دوربینن آغاز گردد، و پس از راست نمودن دماغه هواپیما می‌توان به خوبی آن را در موقعیت خط پرواز جدید قرار داد.

۳ - ۳) کالمن فیلترینگ تضمین شده توسط اطلاعات ژیروسکوپی

پردازش متوالی ماهواره‌ها، باعث تغییرات قابل ملاحظه‌ای در موقعیت گیرنده GPS می‌گردد. از طرفی خراب شدن زمان GPS به علت وجود خطای ظاهری S.A (دسترسی انتخابی) نیز باعث نوسانات پریودی کوتاه مدت در موقعیت می‌گردد. CCNS4 تأثیرات مزبور را به‌وسیله فرآیند کالمن فیلترینگ بک‌آپ شده به همراه اطلاعات وزن دار مناسب ژیروسکوپ جهت یاب خنثی و بی اثر می‌نماید.

در مرحله اول، این فرآیند، یک تصویر ثابتی را برای خلبان تولید می‌نماید تا بدون هرگونه اضطراب و فشاری و به آرامی بتواند کار پروازهای طولانی نقشه‌برداری را به خوبی به انجام برساند. خلبان خودکار (Auto Pilot) فقط می‌تواند به طور مؤثر پروازهای سنجش از دور را مورد استفاده قرار دهد، البته زمانی که تصویر ساکن نمایش داده شده در این روش، در مورد



(نگاره ۳) تعیین دریفت

اطلاعات چپ و راست هواپیما باشد.

در مرحله دوم، در ارتباط با کاربردهای عملی هرروزه دریافته‌ایم که برای خطوط ناوبری به سطح بالاتری از دقت نسبت به آنچه که به طور تئوری تشخیص داده شده است می‌توانیم دست یابیم. حتی زمانی که سوئیچ ارسال خطای ظاهری S.A روشن باشد.، به دقت ناوبری پیوسته حدود ۵۰ متر (حد تلورانس) دست یافته‌اند. در تمامی پروژه‌های نقشه‌برداری هوایی بزرگ مقیاس معروف (همانند مقیاسهای عکسی بزرگتر از ۱:۲۵۰۰) که تاکنون انجام پذیرفته است پس از به حساب آوردن دقت هواپیما که توسط خلبان اجرا می‌شود، هیچگونه انحراف بیش از ۷۰ متر از مسیر اتفاق نیفتاده است.

فرض قبلی در مورد پروازهای عکسی در مقیاسهای بزرگتر از (1:8000) فقط از طریق تکنیکهای تفاضلی GPS - Online می‌تواند قابل دسترسی باشد که البته تا این زمان چنین وضعیت خوبی به اثبات نرسیده است. با این حال روشهای تفاضلی GPS در حال توسعه می‌باشند، زیرا اجرای آنها برای پروژه‌های نقشه برداری خاص ضروری می‌باشد. به عنوان مثال، پروازهای نقشه‌برداری در مقیاسهای بزرگ و یا در کاربرد با اسکنرهای لیزری، جائی‌که دقت موقعیت ناوبری بهتر از ۵۰ متر مورد نیاز می‌باشد. در اینجا باید توجه نمود که در حال حاضر انواع فرستنده‌های رادیویی موجود می‌باشند که امواج تصحیحاتی را برای تکنیکهای تفاضلی GPS ارسال می‌نمایند این امواج می‌توانند توسط هر کسی مورد استفاده قرار گیرند،ایستگاههای فرستنده مزبور در باندهای فرکانس مختلفی کار می‌کنند،که در زمان حاضر RTCM 104 و خودش را به‌وضوح به عنوان یک کد استاندارد تثبیت نموده‌است. در تکنیکهای تفاضلی GPS،به علاوه گیرنده GPS،یک گیرنده رادیویی که در باند فرکانس مناسبی کار می‌کند برای برقراری ارتباط تله‌متریک با فرستنده وجود دارند.این گیرنده رادیویی همچنین به‌عنوان یک نمونه ویژه مورد نیاز جهت دریافت امواج تصحیحات تفاضلی (Differential Corrective) مورد استفاده واقع می‌شود. بحث در مورد انواع کاربردهای ممکن ایجاد شده توسط این فرستنده‌های تله‌متریک جهت تکنولوژی نقشه‌برداری،ماورای اهداف این مقاله می‌باشد.

۴) مثلث‌بندی هوایی توسط GPS

در مقایسه با ناوبری مثلث‌بندی هوایی توسط GPS در ارتباط با تعیین موقعیت دقیق مرکز تصویر در لحظه عکسبرداری هوایی می‌باشد که این تعیین موقعیت در سیستم مختصات سه‌بعدی و در لحظه دقیق بازشدن شاتر دوربین صورت می‌پذیرد. این موقعیت به کمک روش تعیین موقعیت کینماتیک (متحرک) GPS در هنگامی که دو گیرنده به کار گرفته‌شده باشند قابل دسترسی است. ((۱۹۹۰) Frieβ مشاهده شود).

شرکت هانسالوفت‌بیلد بیش از ۳ سال است که این روش را روی پروژه‌ها و گیرنده‌های ماهواره‌ای مختلف آزمایش نموده‌است. ارزیابی نتایج به‌دست آمده از این آزمایشات،در دانشگاههای اشتوتگارت و هانوور قرار دارد که این نتایج به‌طور موفقیت‌آمیزی پتانسیل و روش متحرک GPS را جهت انجام مثلث‌بندی هوایی به اثبات می‌رساند.((۱۹۹۱) Feriβ). در ذیل آخرین آزمایشات انجام‌شده جهت کاربرد سیستم GPS در زمینه مثلث‌بندی هوایی را بیان می‌کند.

۱-۴)اطلاعات پایه

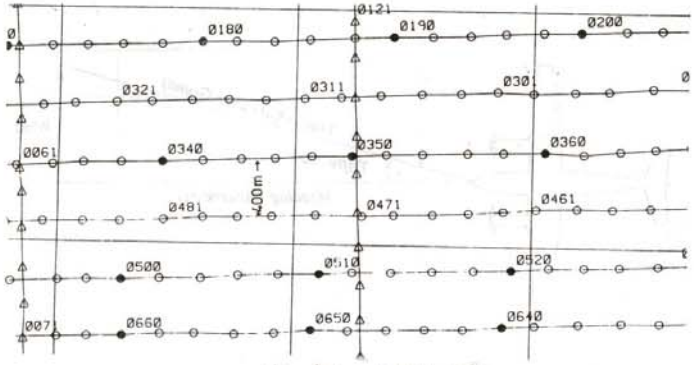
منطقه مورد آزمایش در حدود ۳۵×۲۲۰ کیلومترمربع می‌باشد که در ناحیه خشک شبه جزیره عربستان واقع شده‌است. و روی هم رفته منطقه موردنظر به دو قسمت دارای پوشش B_1 و B_2 تقسیم شده‌است،زیرا که کل طول ۲۲۰ کیلومتر منطقه مورد بحث،حکایت از وجود شرایط غیرقابل دسترسی جهت برقراری و جبران دید برجسته‌بینی در سالهای بعد را دارد. بنابراین پروازهای نقشه‌برداری فوق توسط یک توربوکماندور مدل 690 A انجام پذیرفت و سیستم تجهیزات ذیل مورد استفاده قرار گرفتند.

دوربین: زایس مدل RMK TOP

ناوبری: CCNS4 به همراه گیرنده GPS از نوع تریمبل

تعیین موقعیت: دو گیرنده GPS از نوع اشتک مدل L-XII

نرخ نوسان دتاها جهت همزمانی مشاهدات GPS (گیرنده‌های مستقر روی هواپیما و روی نقطه زمینی مبنا) ۲ هرتز بود. ماکزیمم فاصله بین دو گیرنده حدود ۱۲۰ کیلومتر و ارزیابی دتاهای GPS و محاسبات مثلث‌بندی



(نگاره ۴) اندکس خط پرواز

هوایی توسط دو پیمانکار تحت قرارداد با شرکت هسانسالوفت‌بیلد در اشتوتگارت انجام پذیرفت. پیمانکاران تحت قرارداد،یکی .TopScam Ltd و دیگری. INPHO Ltd بودند.

۲-۴) ارزیابی داده‌های GPS

پروازهای نقشه‌برداری برای بلوکهای B_1 و B_2 در روزهای ۲۴ و ۲۸ اکتبر سال ۱۹۹۲ میلادی به اجرا در آمد. و دتاهای مبنای دو (Binary) اشتک به‌عنوان داده‌های GPS مورد استفاده واقع شدند. تنها اندازه‌گیریهای شبه فاصله C/A کد و مشاهدات فاز موج حامل L_1 جهت محاسبه موقعیتهای دوربین مورد استفاده واقع شدند. مشاهدات GPS گردآوری شده از دو گیرنده در ابتدا دی کد شده،سپس مشاهدات فاز جهت کشف خطاهای بزرگ و دقت داخلی برآوردشده مشاهدات به‌طور تجربی مورد ارزیابی قرار گرفتند. و هرگونه قطعی در ارسال اطلاعات ثبت شده و امواج دریافتی از ماهواره، به معنای عدم توانایی در محاسبه موقعیت مرکز تصویر عکسها (حداقل ۴ عکس) می‌باشد نتایج به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل دقتهای تجربی با انتظارات تئوری ما مطابقت داشت. از طرفی انحراف در مشاهدات فاز حامل (Cycle slip) تصحیح و انحراف در مدار ماهواره‌های GPS پیدا نشد. دقت داخلی Npise مختصات GPS به طورتجربی در حدود ۰/۲ سانتیمتر جهت مختصات مسطحاتی و ۰/۸ سانتیمتر جهت ارتفاعی (ارتفاع از بیضوی) مشخص شده است. نهایتاً موقعیتهای GPS به همراه زمانهای اکسپوژر(زمان لحظه باز شدن شاتردوربین هوایی) که توسط گیرنده ثبت شده است واسطه یابی یا انترپوله گردید.

۳ - ۴) تعدیل خطاهای بلوک فتوگرامتری (Block adjustment)

مجموعاً پارامترهای فتوگرامتری ذیل جهت بلوک مورد قبول می‌باشد.

فاصله کانونی	۱۵۳/۸۱۱ میلیمتر
مقیاس عکس	۱:۵۰۰۰۰
پوشش طولی عکسها	٪۶۰
پوشش عرضی عکسها	٪۲۰
تعداد خطوط پرواز	۴
تعداد خطوط گرهی	۳
تعداد عکسها	(بلوک B_2) ۱۴۳ - (بلوک B_1) ۱۳۶
پوشش بلوک	(۳۵×۱۳۰)کیلومترمربع -(۳۵×۱۳۰)کیلومترمربع
تعداد نقاط چک زمینی	(بلوک B_2) ۶۳-(بلوک B_1) ۵۷
تعداد نقاط عکسی	(B_2) ۳۱۰۷-(B_1) ۲۹۸۵
تعداد نقاط بلوک	(B_2) ۶۲۳-(B_1) ۶۵۵
تعدادموقعیتهایGPS	(B_2) ۱۴۲-(B_1) ۱۳۴

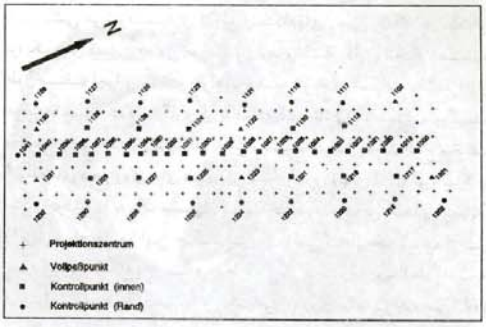
دستگاه سیستم تحلیلی به نام اینترگرگراف - اینترمپ (Intergraph-Intermap) برای اندازه‌گیری مختصات عکسی مورد استفاده قرار گرفت. برنامه PATBRS به همراه کالیبراسیون داخلی مربوطه جهت محاسبات بلوک اجسمنت (تعدیل خطاهای بلوک) مورد استفاده واقع شد. انحراف استانداردهای اولیه ذیل مورد استفاده قرا می‌گیرند.

مختصات عکسی	(انحراف‌معیار y,x) میلیمتر	Sigma (x,y)=۰/۰۰۸
مختصات نقطه کنترل	(انحراف‌معیار Y,X) متر	Sigma (x,y)=۰/۲۵
	(انحراف‌معیار Z) متر	Sigma (z)=۰/۵۰
موقعیتهای دوربینGPS	(انحراف‌معیار Y,X) متر	Sigma (x,y,z)=۰/۱۰

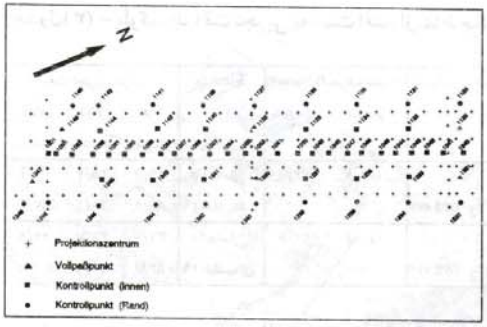
تعیین موقعیت نقاط کنترل و نقاط چک به کمک مشاهدات GPS در غالب یک پروژه نقشه‌برداری ژئودتیک انجام پذیرفته است. در کنار یک بلوک اجسمنت قراردادی تغییرات دوبلوک مزبور نیز محاسبه شده است.

GPS 6VP) باندل بلوک اجسمنت با استفاده از GPS به همراه ۶ نقطه کنترل زمینی (۴ خط اصلی و ۳ خط گرهی Tielines). باندل بلوک اجسمنت در واقع تعدیل خطاهای بلوک از طریق تعدیل خطای دسته شعاعهای تشکیل دهنده عکسها به صورت رقومی است.

GPS 4VP) باندل بلوک اجسمنت با استفاده از GPS به همراه ۴ نقطه کنترل زمینی (۴ خط اصلی ۲ خط گرهی) و فقط شامل زیر بلوک B_2



(نگاره ۵) طرح بلوک منطقه B_1



(نگاره ۶)طرح بلوک منطقه B_2

می‌باشد.

طرح بلوکها در نگاره‌های (۵و۶) نمایش داده شده است.برای بلوک B_1، تغییرات GPS 4VP به‌واسطه قطعی در اطلاعات ثبت شده از GPS نمی‌تواند معین شود.

الف) دقت مختصات آنتن GPS

موقعیتهای آنتن GPS جهت هر دو بلوک به‌علاوه مشاهدات،داخل اجسمنت آورده می‌شوند. از طرفی به‌علت قطعی در دتاهای GPS ثبت شده مجموعه‌های مستقلی از پارامترهای دریفت مجبور است که معرفی گردند. بعد از تعدیل و اجسمنت هر دو بلوک جذر خطای مربعی متوسط R.M.S)باقیمانده‌های مختصات آنتن در حدود ۲ سانتیمتر برای مسطحاتی و در حدود ۵ سانتیمتر جهت ارتفاعی (جدول ۱ مشاهده شود) و پارامترهای دریفت GPS به‌واسطه هندسه بلوک در همه حالت‌ها به‌طور دقیق می‌باشند. این نتایج نشان می‌دهد که خطاهای سیستماتیک در مختصات آنتن GPS به طور مناسب به وسیله تصحیحات خطی حتی بر روی فواصل بلندتر از حدود ۱۳۰ کیلومتر نیز می‌تواند مدله شوند.

جدول (۱) - دقت ثانویه مختصات آنتن GPS

تغییرات بلوک	تعداد موقعیتها	باقیمانده‌های مختصات آنتن V(x) سانتیمتر	V(y) سانتیمتر	V(z) سانتیمتر
B_1 GPS کل	۱۳۴	۱/۷	۲/۱	۴/۴
B_1 GPS 6VP	۱۳۴	۱/۶	۲/۰	۴/۴
B_2 GPS کل	۱۴۲	۱/۹	۲/۰	۵/۵
B_2 GPS 6VP	۱۴۲	۱/۸	۲/۰	۵/۲
B_2 GPS 4VP	۱۳۴	۱/۸	۲/۰	۵/۰

ب) دقت تجربی بلوک اجسمنت با کاربرد GPS

مختصات نقاط چک (Check Points) به کار برده نشده در اجسمنت یا سرشکنی، به عنوان مقادیر ایده‌آل (آزاد از خطا) در آنالیز تجربی دقت، در بلوک های B_1 و B_2 کار شده با GPS در نظرگرفته شده‌اند. مقادیر تجربی دقت داده شده (جداول شماره ۲ و ۳ ملاحظه شوند) براساس مقایسه با مختصات تعدیل شده (به دست آمده از طریق بلوک اجسمت به وسیله GPS) با مختصات نقاط چک (که از طریق روشهای زمینی معین شده‌اند) به دست آمده است. آنها شامل تمامی خطاهای سیستماتیک مشاهداتی هستند که به اندازه انحراف استانداردشان از نقاط چک تصحیح نشده‌اند. خطاهای سیستماتیکی که حذف نشده‌اند به‌طور کلی برروی نقاطی از بلوک که ضعیف ترین وضعیت هندسی را دارند تجمع یابند، این موضوع در حاشیه و مرز بلوک مشهود است. بنابراین جهت نقاط داخلی و نقاط حاشیه‌ای بلوک دقت تجربی به طور جداگانه رفتار می‌کنند.

جدول (۲)بلوک B_1، دقت تجربی به‌دست آمده از نقاط چک

تغیرات بلوک	Sigma(0) (انحراف معیار) سانتیمتر	میلیمتر	تعدادنقاط	دقت تجربی بلوک V(x) سانتیمتر	V(y) سانتیمتر	V(z) سانتیمتر
B_1 GPS 6VP	۳۶/۱	۰/۰۰۷	۳۴ داخلی	۶۵/۱	۳۰/۷	۶۹/۳
			۱۷ حاشیه‌ای	۶۹/۲	۵۲/۳	۱۲۷/۷

جدول(۳) - بلوک B_2، دقت تجربی به‌دست آمده از نقاط چک

تغیرات بلوک	Sigma(0) (انحراف معیار)		تعدادنقاط	دقت تجربی بلوک		
	میلیمتر	سانتیمتر		V(x)	V(y)	V(z)
				سانتیمتر	سانتیمتر	سانتیمتر
B_2 GPS 6VP	۰/۰۰۶	۳۲/۷	۳۸ داخلی	۲۹/۶	۲۵/۴	۳۹/۰
			۱۹ حاشیه‌ای	۸۱/۴	۲۰/۲	۸۷/۹
B_2 GPS 4VP	۰/۰۰۶	۳۱/۶	۴۰ داخلی	۳۲/۰	۳۴/۷	۴۱/۸
			۱۹ حاشیه‌ای	۸۳/۶	۴۴/۹	۱۰۲/۵

دقت تجربی به‌دست آمده برای بلوک B_2 بهتر از آنچه می‌باشد که از طریق تئوری انتظار می‌رفت، مقادیر ۲۹/۶ سانتیمتر در x و ۲۵/۴ سانتیمتر در y و ۳۹/۰ سانتیمتر در z برای حالتی که ۶ نقطه کنترل به کار برده شده‌اند و ۳۲/۰ سانتیمتر در x و ۳۴/۷ سانتیمتر در y و ۴۱/۸ سانتیمتر در z برای شیفت با ۴ نقطه کنترل است. بنابراین دقت تجربی بلوک B_1 در مقایسه کمی بدتر از بلوک B_2 است. در مورد نقاط کنترل واقع در مرکزبلوک B_1 مقادیر خطای کوادراتیک (RMS) اختلافات در x حدود ۶۵/۱ سانتیمتر و در y حدود ۳۰/۷ سانتیمتر و در z، ۶۹/۳ سانتیمتر می‌باشد. از نظر دقت مطلق، سطح دقت به‌دست آمده برای مقیاس ۱:۵۰،۰۰۰ بسیارخوب است. براساس پیش‌بینی، هردو بلوک اختلافات بزرگتری بین مختصات مقایسه شده و مقادیر ایده‌آل در حاشیه‌های بلوک را آشکار می‌کنند. بسیاری از نقاط بلوک که نقاط بیرونی هستند بااندازه‌گیری در دوعکس و به سادگی تعیین می‌شوند (فقط دو عکس اندازه‌گیری شده است). آنها را از لحاظ توپوگرافی و کارتوگرافی به عنوان عارضه گردآوری شده‌اند. اما مناطق خارج از بلوک شامل ارزیابی نمی‌باشند. لذا خطاهای بزرگ یا سیستماتیک فقط در این نوع نقاط نمی‌توان کشف نمود.

۵) نتیجه

کاربرد سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS برای ناوبری و تعیین موقعیت در طول مراحل اولیه عملیات، به طرز موفقیت آمیزی کارآیی خودش را به اثبات رسانده است. همان‌طور که قبلاً گفته شد در زمینه ناوبری امکان صحبت کردن از یک رویه استاندارد وجود دارد، و در زمینه مثلث‌بندی هوایی به کمک GPS مسائل تکنیکی بسیاری به واسطه کثرت مؤلفه‌های مختلف سیستم و ناسازگاری آنها با یکدیگر ممکن است اتفاق بیافتد. طراحی خوب یک سیستم از لحاظ ترکیب و ساختار و کنترل آن قبل و بعد از پرواز نقشه‌برداری بی‌نهایت مهم می‌باشد زیرا که لزوم تکرار یک پرواز به لحاظ نامناسب بودن اطلاعات در طول پرواز حکایت از دو برابر شدن هزینه های غیر ضروری می‌کند. بنابراین عنصر ریسک، در ارتباط با پروازهای نقشه‌برداری ناچاراً افزایش خواهد یافت. لذا یکی از شروط اساسی این است که گروه یا شرکت مربوطه تجربه مورد نیاز جهت به‌کارگیری این تکنولوژی جدید را داشته باشد. ارزش ثانویه ای که در مثلث‌بندی به کمک GPS نهفته شده است از اجرا و ساخت ایستگاههای زمینی مبنا در روی زمین ناشی می‌شود. بسیاری از این ایستگاههای زمینی حداقل در آینده‌ای نزدیک برای کسانی که می‌خواهند پروازهای نقشه‌برداری انجام دهند به طور مستقیم اجرا و ساخته خواهند شد. به هر حال عملیات نقشه‌برداری هوایی با مسئله عدم سازگاری گیرنده‌ها به علت تنوع زیاد سیستمهای گیرنده ماهواره‌ای مواجه می‌باشند. لذا با این وضعیت شرکت یا باید انواع مختلف گیرنده‌های ماهواره‌ای برای هواپیمای نقشه‌برداری (بهای گران) تهیه نماید یا اینکه خودش را به یک مشتری یا سازنده‌گیرنده‌خاص محدود نماید. مؤثرترین راه حل در این حالت، برای شرکتی که از یک طرف گرفتار اندازه‌گیری ایستگاههای مبنا و از طرف دیگر مجبور به تهیه ایستگاه پایه هواپیما (ایستگاهی که هواپیما براساس آن روی باند توجیه می‌شود) می‌باشد، این است که فاصله تعیین شده تا گیرنده مبنا (ساکن در طول عملیات) نباید هیچگونه تأثیری برروی نتایج به‌دست آمده از پرواز آزمایشی داشته باشد، فاصله مورد نظر ذکر شده در این مقاله حدود ۱۲۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است. در آینده کاربرد GPS جهت مثلث‌بندی هوایی به وسیله یک سری فاکتورهای خارجی تعیین خواهد شد. کیفیت نتایج و توانایی اجراء تکنیکی سیستم امروزه دور از شک و تردید است. □

منابع

Ackermann F. (1988): Combined Adjustment of Airborne Navigation Data and Photogrammetric Blocks ISPRS Congress, Comm.III.Kyoto.

Global Positionsbestimmung für die Aerotriangulation mit dem NAVSTAR Global Position ing System. DGK Series C,No.359.

Frieβ, P. (1991): GPS supported aerial triangulation-empirical results. 2nd International Workshop High Precision Navigation, Freudenstadt.

Grimm, A. (1992): Navigation and Positioning for Remote Sensing Flights. ISPRS Congress, Comm. I, Washington.

Herms, P. (1991): Einsatz von CCNS/GPS und RMK Top-Neue Erfahrungen und Überlegungen zur Bildflugnavigation. Photogrammetric Week, Stuttgart.