

فصل ششم مشاهدات کمکی و ابزارهای جانبی

۶-۱) مقدمه

هدف از به کار گرفتن مشاهدات کمکی، تعیین مقدار بعضی از پارامترهای توجیه خارجی پیش از مثلث‌بندی هوایی است.

با این کار، تعدادی از پارامترهای سرشکنی کم شده و یا دارای مقدار مشاهداتی (تقریبی) می‌شوند. در نتیجه از تعداد نقاط کنترل زمینی می‌توان کاست.

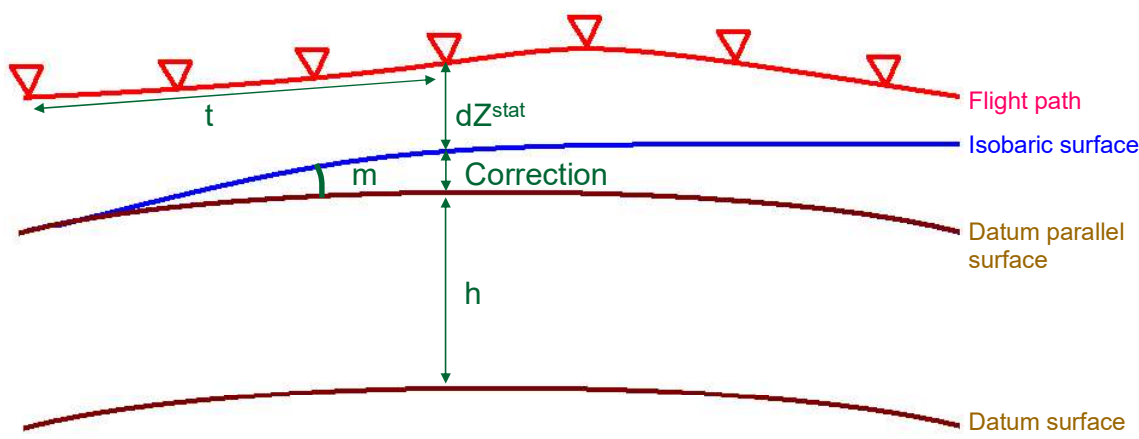
انواع مشاهدات کمکی و ابزارهای جانبی عبارتند از:

- ارتفاع‌سنجی با فشار هوا (Statoscope)
- رادار (یا لیزر) ارتفاع‌سنج (Airborn Profile Recorder APR)
- GPS
- خط ساحلی (Lake Shoreline)
- ...

این ابزارها و داده‌ها به صورت معادلات مشاهدات وارد سرشکنی مثلث‌بندی می‌شوند. در ادامه به معادلات حاصل برای هر نوع داده می‌پردازیم.

۶-۲) ارتفاع سنج (Statoscope)

ارتفاع سنج وسیله‌ای ساده و ارزان است که می‌تواند با اندازه‌گیری فشار هوا، ارتفاع را نسبت به سطوح هم‌فشار محاسبه کند. البته سطوح هم‌فشار با سطح مبنای ارتفاع لزوماً موازی نیستند و تصحیح مربوط به این موازی نبودن باید در نظر گرفته شود. از طرف دیگر محاسبه ارتفاع با استفاده از فشار، ممکن است دارای شیفت سیستماتیک ناشی از تغییر فشار هوا در فصلهای مختلف سال و ساعت‌های متفاوت روز باشد. شکل زیر شیفت و موازی نبودن مذکور را نشان می‌دهد.



خطای سیستماتیک ارتفاع سنج مجهول است و مدل زیر نحوه استفاده از این ابزار را به عنوان یک مشاهده کمکی نشان می‌دهد.

$$Z_0^i = (h_b + m_b \cdot t_i) + dZ_i^{stat} + v_i^{stat}$$

پارامترهای m_b و h_b برای هر باند مجهول هستند و dZ^{stat} مشاهده انجام شده است. t_i نیز زمان عکسبرداری در طول باند نسبت به عکس اول باند است که برای عکسها کاملاً معلوم است.

معادله تصحیح فوق، تصحیح Henry نامیده می‌شود. در معادله فوق تصحیح از درجه یک (خطی) در نظر گرفته شده اما این تصحیح می‌تواند از درجه دو (توان دو) در نظر گرفته شود. در این صورت سه مجهول خواهیم داشت.

مشاهده ارتفاع سنج در طول هر باند عکسبرداری، دو مجهول اضافه می‌کند. این مشاهده برای همه نقاط مرکز تصویر معادله مشاهده ایجاد می‌کند. معادله فوق در روشهای مثلث‌بندی مدل مستقل M3 و باندل قابل استفاده است. بنابر این اگر در طول یک باند پرواز n مرکز تصویر مشترک بین هر دو مدل مجاور داشته باشیم، با این مشاهده $n-2$ درجه آزادی اضافه در روش M3 خواهیم داشت. در هر باند دیگر نیز به همین صورت دو مجهول دیگر و n معادله دیگر (برای n مرکز تصویر آن باند) اضافه می‌شود.

$$dZ_i^{stat} + v_i^{stat} = Z_0^i - (h_b + m_b \cdot t_i) \Rightarrow Z_0^i - [1 \quad t_i] * \begin{bmatrix} h_b \\ m_b \end{bmatrix} = dZ_i^{stat}$$

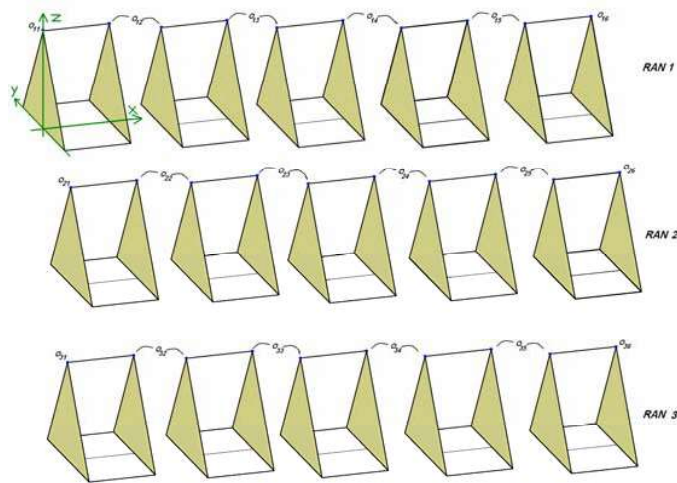
معادله مشاهده ارتفاع سنج در مثلث بندی به روش M3

$$[y \quad -x \quad 1]^{i,j} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\Omega \\ \Delta\Phi \\ Z_t \end{bmatrix}^i = [Z_j - z_{i,j}] \quad \text{کنترل}$$

$$[y \quad -x \quad 1]^{i,j} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\Omega \\ \Delta\Phi \\ Z_t \end{bmatrix}^i - Z_j = -z_{i,j} \quad \text{گرهی}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \begin{bmatrix} 0 & z & 0 \\ -z & 0 & 0 \\ y & -x & 1 \end{bmatrix}^{i,j} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\Omega \\ \Delta\Phi \\ Z_t \end{bmatrix}^i - I_{3 \times 3} \cdot \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}^j = \begin{bmatrix} -x \\ -y \\ -z \end{bmatrix}^{i,j} \\ \\ Z_0^i - [1 \quad t_i] * \begin{bmatrix} h_b \\ m_b \end{bmatrix} = dZ_i^{stat} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{مرکز تصویر} \\ \\ \text{ارتفاع سنج برای مرکز تصویر } i \end{array}$$

مشاهده ارتفاع سنج یک معادله اضافه برای هر مرکز تصویر مشترک ایجاد می کند و همزمان دو مجهول برای هر **باند** اضافه می کند. در این صورت برای بلوک زیر که شامل ۴ مرکز تصویر مشترک در هر یک از ۳ باند است:



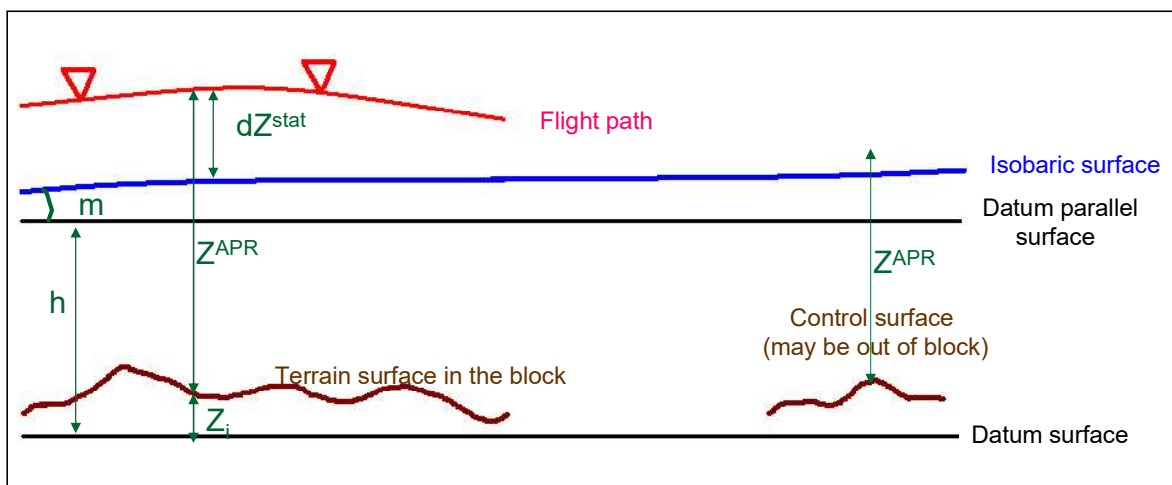
تعداد ۴ معادله برای هر باند و همزمان دو مجهول اضافه می شود. در مجموع ۱۲ معادله و ۶ مجهول و درجه آزادی M3 شش درجه افزایش خواهد داشت.

(۳-۶) رادار ارتفاع سنج (Airborn Profile Radar APR)

APR ابزار بسیار گران قیمتی است که از سه جزء تشکیل شده است: یک ارتفاع سنج فشاری، یک رادار یا لیزر طولیاب که در راستای قائم ارتفاع هواپیما تا سطح زمین را اندازه گیری می کند و یک دوربین ۳۵ میلیمتری ساده.

ارتفاع هواپیما تا سطح زمین و ارتفاع فشارسنجی به طور پیوسته اندازه گیری می شوند. در هر نقطه از سطح مدل داریم:

$$Z_i = dZ_i^{stat} + (h_b + m_b * t_i) - Z_i^{APR}$$



معادله مشاهده APR در مثلث بندی به روش M3

$$\begin{bmatrix} y & -x & 1 \end{bmatrix}^{i,j} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\Omega \\ \Delta\Phi \\ Z_t \end{bmatrix}^i = [Z_j - z_{i,j}]$$

نقاط کنترل

$$\begin{bmatrix} y & -x & 1 \end{bmatrix}^{i,j} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\Omega \\ \Delta\Phi \\ Z_t \end{bmatrix}^i - Z_j = -z_{i,j}$$

نقاط گرهی عادی

معادلات مشاهده نقاط گرهی حاصل از APR:

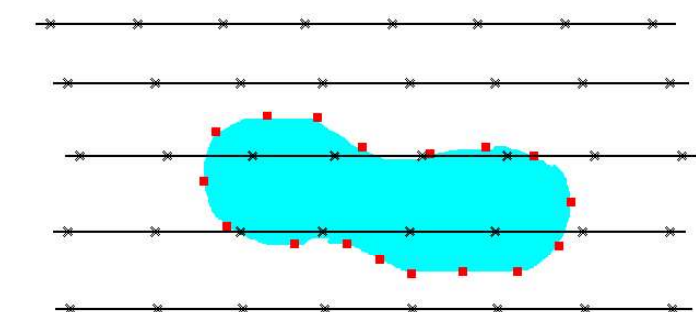
$$\begin{cases} \begin{bmatrix} y & -x & 1 \end{bmatrix}^{i,j} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\Omega \\ \Delta\Phi \\ Z_t \end{bmatrix}^i - Z_j = -z_{i,j} \\ Z_j - \begin{bmatrix} 1 & t_{i,j}^b \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} h_b \\ m_b \end{bmatrix} = dZ_{i,j}^{stat} - Z_{i,j}^{APR} \\ Z_j = H_j \end{cases}$$

معادله آخر به دلخواه اضافه می شود و نقطه APR اگر خارج از بلوک باشد، معادله اول حذف شده و معادله آخر حتماً اضافه می شود.

۴-۶) خط ساحلی دریاچه (Lakes Shorelines)

اگر در محدوده بلوک، دریاچه‌ای وجود داشته باشد، نقاطی که بر روی خط ساحل (در محل داغ آب دریاچه و یا در محل اتصال آب و خشکی) قرائت شوند دارای ارتفاع یکسان ولی مجهول هستند. معادله زیر می‌تواند به سرشکنی بلوک به روش M3 اضافه شود:

$$\begin{bmatrix} y & -x & 1 \end{bmatrix}^{i,j} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\Omega \\ \Delta\Phi \\ Z_t \end{bmatrix}^i - Z^{Lake} = -z_{i,j}^{Lake}$$



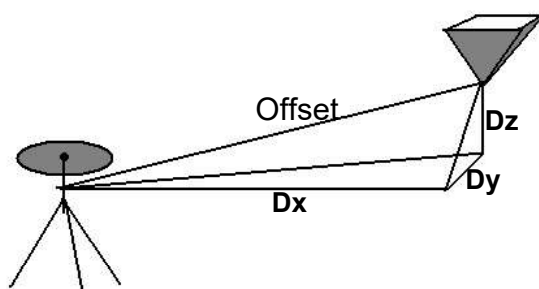
در روش باندل اجسمنت چطور؟

۵-۶) سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS

GPS در حالت متحرک می‌تواند در طول مدت عکسبرداری هوایی موقعیت هواپیما (مرکز آنتن GPS نصب شده در هواپیما) را تعیین و ثبت کند. استفاده از این سیستم می‌تواند تعداد نقاط کنترل لازم در بلوک را به طور چشمگیری کاهش دهد. برای حصول دقت لازم برای مثلث‌بندی باید از مشاهدات فاز و روش DGPS استفاده نمود.

برای استفاده از GPS مسائل زیر باید مد نظر قرار گیرد:

الف- اختلاف مکان مرکز تصویر دوربین و مرکز آنتن GPS



تعیین offset با میکروژنودزی !!

مجهول گرفتن offset در مثلث‌بندی !!!

ب- اختلاف زمان لحظه تصویربرداری دوربین و اندازه‌گیری آنتن GPS

برای حل این مشکل باید زمان دقیق باز شدن شاتر و اندازه‌گیریهای GPS دقیقاً ثبت شود تا با انتریولاسیون روی داده‌های GPS محل مرکز تصویر در لحظه باز شدن شاتر تعیین شود. برای درک اهمیت مساله توجه کنید که سرعت هواپیما ۵۰ تا ۱۰۰ متر در ثانیه است. دقت ثبت زمان باز شدن شاتر باید بهتر از ۱ ms و ثبت مختصات توسط GPS باید با فواصل حداقل باشد.

پ- اختلاف سیستم مختصات

سیستم مختصاتی که GPS مختصات نقاط را در آن تعیین می‌کند، WGS84 است در حالی که سیستم مختصات مثلث‌بندی هوایی معمولاً سیستم محلی بر مبنای بیضوی محلی است. تبدیل مسطحاتی مختصات نیاز به تعدادی نقطه کنترل مشترک بین دو سیستم دارد. بنابر این در مثلث‌بندی هوایی همواره به نقاط کنترل نیاز خواهیم داشت. برای تبدیل ارتفاعی به ارتفاع از سطح ژئوئید نیاز به دانستن پارامترهای ژئوئید نسبت به بیضوی دارد.

ت- ابهام فاز، پرش ارتباط و دیگر مشکلات GPS متحرک

این مشکلات به روشهای معمول در مبحث GPS متحرک قابل حل و کنترل هستند.

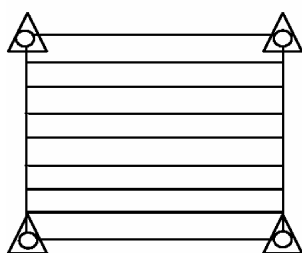
ج- معادله مشاهده GPS

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}^i + R_{\omega, \varphi, \kappa} \cdot \begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{bmatrix} + \left(\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} \cdot (t - t_{ref}) \right)^b = \begin{bmatrix} X_0^{GPS} \\ Y_0^{GPS} \\ Z_0^{GPS} \end{bmatrix}$$

ماتریس دوران R (عناصر دوران) و مختصات مرکز تصویر که از قبل به عنوان مجهول به حساب آمده‌اند. ضرایب (a_x, a_y, a_z) و (b_x, b_y, b_z) برای هر باند مجهول هستند. بنابر این مشاهده GPS برای هر مرکز تصویر از هر باند ۳ معادله مشاهده و در هر باند ۶ مجهول اضافه می‌کند. اگر (dx, dy, dz) را نیز مجهول بگیریم، ۳ مجهول دیگر برای کل بلوک اضافه می‌شود.

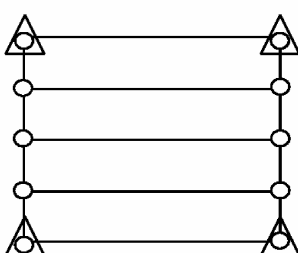
چ- یک نکته در مورد استفاده از GPS

Ackermann سه حالت زیر را برای بلوک فتوگرامتری که از GPS در مثلث‌بندی آن استفاده می‌شود، پیشنهاد کرده است. از این سه حالت، حالت سوم که اقتصادی‌تر است توصیه می‌شود. اگر شکل بلوک چهار ضلعی نبود و یا چهار ضلعی بلوک دارای طول زیاد بود باید تعداد باندهای عرضی و نقاط کنترل را بیشتر کرد.



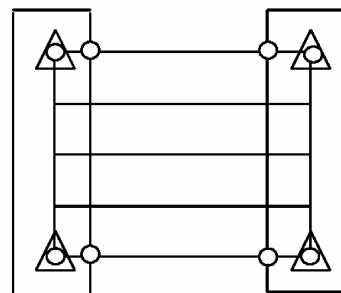
حالت اول

با پوشش عرضی ۶۰٪



حالت دوم

با نقاط کنترل ارتفاعی در عرض بلوک



حالت سوم

با باندهای عرضی

۶-۶) ترکیب GPS و INS و اختلاف با سیستم مرکز تصویر

