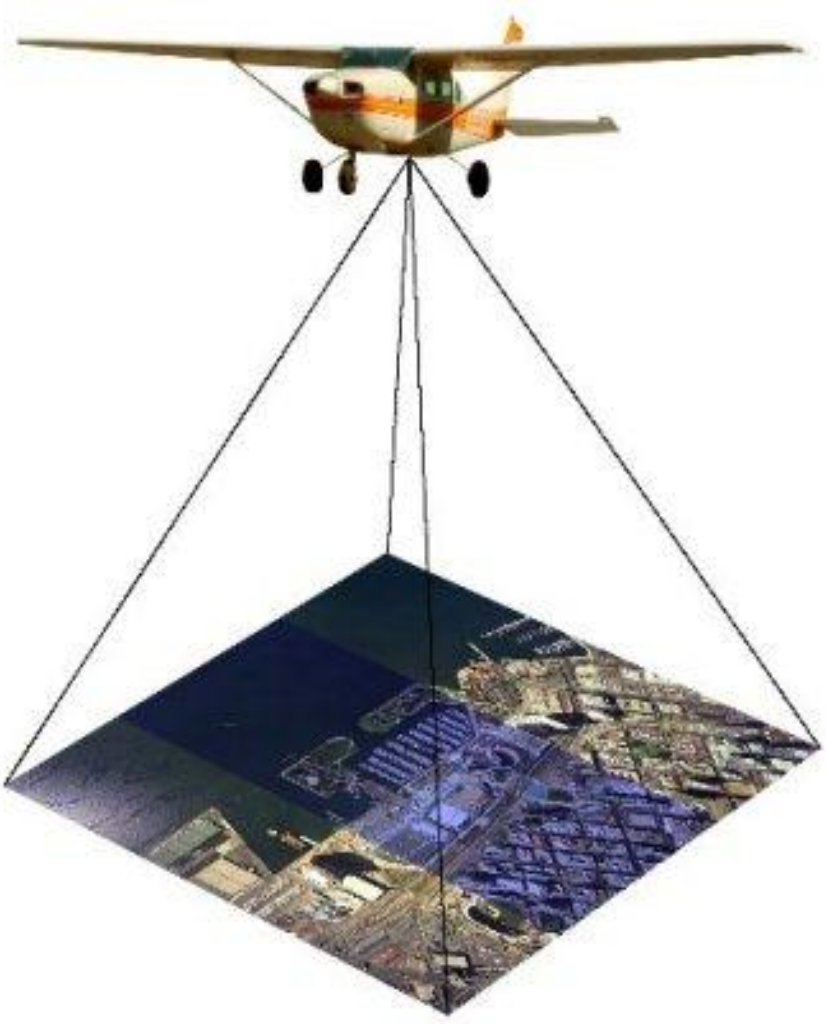
بسمه تعالی

جزوه درس فتوگرامتری ۲

مهندس امیر طالعی



پاییز ۹۲

تقدیم به

بهترین های زندگانی ام

پدر ، مادر،

همسر

و خواهران مهربانم

مهندس طالعی

فهرست

مقدمه: ..... - ۸ -

تعریف فتوگرامتری: ..... - ۸ -

انواع فتوگرامتری براساس فاصله‌ی شی موردنظر تا دوربین ..... - ۸ -

تعریف عکس : ..... - ۸ -

انواع عکس ها از لحاظ نوع ماده ی حساس: ..... - ۹ -

تفاوت image و Photo (تصویر و عکس) ..... - ۱۰ -

انواع سیستم های تصویر در فتوگرامتری : ..... - ۱۰ -

دوربین ها: ..... - ۱۱ -

مشخصات هندسی دوربین های عکسبرداری هوایی: ..... - ۱۲ -

خطاها ..... - ۱۴ -

عکسبرداری هوایی : ..... - ۱۵ -

مشخصات عکس و سیستم عکسبرداری: ..... - ۱۶ -

تعاریف ..... - ۱۶ -

اندازه گیری های عکس قائم : ..... - ۱۸ -

اندازه گیری مختصات عکس : ..... - ۱۸ -

اندازه گیری عکس های مایل : ..... - ۱۹ -

اندازه گیری مختصات عکسی در عکس مایل: ..... - ۲۰ -

مقیاس عکس مایل: ..... - ۲۰ -

مقدمه ..... - ۲۲ -

سیستم‌های مختصات در فضای تصویر و شیء ..... - ۲۳ -

تعریف مدل: ..... - ۲۳ -

سیستم مختصات علائم کناری ..... - ۲۴ -

سیستم مختصات عکسی ..... - ۲۴ -

مرکز تصویر ..... - ۲۴ -

مهندس طالعی

سیستم مختصات مدل ..... - ۲۶ -
تعریف تیلت..... - ۲۷ -
سیستم‌های مختصات در فضای شیء..... - ۲۷ -
سیستم مختصات جهانی- زمین مرکز (ژئوسنتریک) ..... - ۲۸ -
سیستم مختصات ژئودتیک ..... - ۲۸ -
سیستم مختصات محلی..... - ۲۹ -
تبدیل بین سیستم‌های مختصات..... - ۳۰ -
تبدیلات دو بعدی: 2-D ..... - ۳۰ -
تبدیلات سه بعدی: 3-D ..... - ۳۰ -
الف) تبدیل ساده‌ی ۲ بعدی (کانفرمال) ..... - ۳۰ -
کاربردهای معادله‌ی کانفرمال دو بعدی فتوگرامتری..... - ۳۳ -
تبدیل آفاین دو بعدی : ..... - ۳۳ -
تبدیل ترانسفورماسیون پروژکتیو دو بعدی : ..... - ۳۵ -
تبدیل Poly nomial (چند جمله‌ای)..... - ۳۵ -
انواع اعوجاجات شایع در یک عکس و راه‌های کاهش و یا حذف آن به وسیله‌ی ترانسفورماسیون‌های دو بعدی:- ۳۶ -
مقدمه ..... - ۴۰ -
دستگاه تبدیل: ..... - ۴۰ -
شکل دستگاه تبدیل ..... - ۴۱ -
ساختمان دستگاه ها: ..... - ۴۱ -
انواع مختلف دستگاه‌های تبدیل آنالوگ: ..... - ۴۲ -
مقدمه: ..... - ۴۵ -
توجیه داخلی(آنالوگ): ..... - ۴۵ -
توجیه داخلی تحلیلی: ..... - ۴۷ -
مقدمه: ..... - ۴۹ -
تعریف توجیه نسبی: ..... - ۴۹ -
توجیه نسبی دوطرفه: ..... - ۵۹ -

توجیه نسبی یک طرفه با استفاده از پروژکتور سمت چپ: ..... - ۵۹ -
توجیه نسبی یک طرفه با استفاده از پروژکتور سمت راست:..... - ۵۹ -
توجیه نسبی یک طرفه..... - ۶۱ -
مقدمه:..... - ۶۴ -
مقایسه‌ی بین ورودی و خروجی توجیه مطلق، نسبی، داخلی ..... - ۶۷ -
توجیه مطلق(M7) ..... - ۶۷ -
مقدمه:..... - ۷۱ -
مقدمه:..... - ۷۴ -
شرط هم خطی:..... - ۷۴ -
شرط هم صفحه‌ای..... - ۷۶ -
ترفیع فضایی (Space Resection) ..... - ۷۷ -
تقاطع فضایی (Space Intersection):..... - ۷۹ -
حل ترفیع و تقاطع با هم ..... - ۸۰ -
ترمیم کردن (Rectify)..... - ۸۳ -
تعریف ترمیم:..... - ۸۳ -
ارتوفتو ..... - ۸۵ -
(DEM) چیست؟ ..... - ۸۶ -

مهندس طالعی

فصل اول:

مروری بر فتوگرامتری یک

مهندس طالعی

مقدمه:

در ابتدا لازم دانسته ایم که جهت یادآوری اصول و مفاهیم فتوگرامتری، مروری بر درس فتوگرامتری ۱ داشته باشیم. در این فصل ضمن تعریف فتوگرامتری و ارائه اهداف این علم، دوربین های متریک و انواع آنها را می شناسیم. اندازه گیری بر روی عکس های قائم و مایل توضیح داده می شود و اندکی نیز با خطا هایی که بر روی هندسه عکس ها تاثیر می گذارند، آشنا می شویم. لازم به ذکر است که مطالب این فصل به صورت کاملا خلاصه می باشد و نمی توان از آن جهت منبع بهره برداری نمود.

تعریف فتوگرامتری:

فتوگرامتری علم و هنر بدست آوردن مختصات (تعیین موقعیت اشیا زمینی) توسط عکس ها و بدون دسترسی مستقیم به شیء می باشد.

انواع فتوگرامتری براساس فاصله‌ی شی موردنظر تا دوربین

۱- فتوگرامتر فضایی Space -Photogrammetry ← تصاویر ماهواره‌ای

در این نوع از فتوگرامتری سنجنده بر روی یک سکوی فضایی مثل ماهواره نصب است.

۲- فتوگرامتری هوایی Areal- Photogrmmetry ← تصاویر هوایی

در این نوع از فتوگرامتری سنجنده بر روی یک سکوی هوایی مثل هواپیما نصب است. و بسته به نوع سنجنده(دوربین) دارای دو نوع می باشد:

-متریک

-غیر متریک (تفسیری)

۳- فتوگرامتری برد کوتاه Close range- Photogrmmetry ← براساس تصاویری که در فاصله‌ی چند متر تا چند ۱۰ متری از اشیا گرفته شده است. اغلب تصاویر در این نوع از فتوگرامتری از سکو های زمینی اخذ می گردد.

تعریف عکس :

منظور از عکس تصویری است دو بعدی که از تصویر نور بازتاب یافته از اشیا روی زمین بر روی لایه ی حساس به نور مستقر بر روی صفحه ی کاغذ، فیلم یا شیشه ایجاد می شود.

لایه ی حساس باید حداکثر ضخامتی برابر با ۰.۰۳ تا ۰.۰۴ میلیمتر داشته باشد در غیر این صورت انعکاس کلی اتفاق افتاده و تصویر دقیقی بدست نخواهد آمد. در شکل ۱ نمونه ای از تصاویر فتوگرامتری آمده است.

شکل (۱)- نمونه ای از تصویر فتوگرامتری

انواع عکس ها از لحاظ نوع ماده ی حساس:

الف)عکس های پانکروماتیک سیاه و سفید :(معمولاً از آنها در فتوگرامتری برای تهیهی نقشه و تفسیر عکس استفاده می شود.

ب)عکس هایی با لایه حساس رنگی

ج)عکس هایی با لایه حساس سیاه وسفید و حساس به اشعه ی مادون قرمز

د)عکس هایی با لایه حساس رنگی و حساس به اشعه ی مادون قرمز

در عکس های سیاه و سفید ، تیره و روشن بودن رنگ تصویر به میزان و شدت نور بازتاب یافته از آن عارضه بستگی دارد ، هرچه این نور بیشتر باشد تصویر مثبت متناظر با آن عارضه روشن تر می شود.

تفاوت image و Photo (تصویر و عکس)

در فتوگرامتری و سنجش از دور از واژه‌های image و Photo مکرراً استفاده می‌شود. معمولاً از Photo به مفهوم عکس آنالوگ (یعنی عکس چاپ شده) و از Image به مفهوم تصویر دیجیتال استفاده می‌شود.

در دوربین‌های آنالوگ حلقه یا رول فیلم در داخل دوربین قرار داده می‌شود و نور مربوط به محیط بر روی آن ثبت می‌شود. با پیشرفت تکنولوژی و با وجود دوربین‌های دیجیتال دیگر اثری از فیلم نیست و در آن‌ها به جای فیلم معمولاً از یک ماتریس و یا یک آرایه‌ای از CCDها استفاده شده است.

مزایای استفاده از دوربین‌های دیجیتال بسیار است در عکس‌برداری دیجیتال مشکلاتی همچون فیلم مناسب، نصب آن در دوربین و ظهور و ثبت فیلم وجود ندارد. همچنین در این نوع تکنولوژی مشکل وجود مکان مناسب برای ثبت فیلم‌های (نگاتیو) حل شده است.

نکته: کامپیوترها و نرم‌افزارهای امروزی تحول شگرفی را در فتوگرامتری و سنجش از دور سبب شده است.

این نرم‌افزارها به ما این امکان را می‌دهد که داده‌های دیجیتال را به راحتی پردازش و آنالیز کنیم. انواع وسایل ذخیره‌سازی داده‌های دیجیتال همچون CDها و DVDها و فلش مموری‌ها، کارت‌های حافظه و هارد دیسک‌ها ذخیره و آرشیو تصاویر دیجیتال را به سادگی امکان‌پذیر نموده است. از طرفی دیگر تکنولوژی‌های بسیاری پیشرفته‌ی مخابراتی امروزه این امکان را فراهم نموده تا بتوان تصاویر دیجیتال را به سادگی از یک نقطه‌ی جهان به نقطه‌ای دیگر ارسال کنیم (بدون هزینه و زمان زیاد).

بطور خلاصه پیشرفت‌های بسیار مهم در این عرصه‌ها را می‌توان در چهار بخش تقسیم‌بندی نمود:

۱- اخذ داده‌ی دیجیتال به کمک دوربین‌های رقومی

۲- ذخیره و آرشیو به کمک CDها و DVD و هارد دیسک

۳- پردازش و تجزیه و تحلیل به کمک کامپیوتر و نرم‌افزارها

۴- ارسال و دریافت داده به کمک تکنولوژی‌های مخابراتی مانند اینترنت

انواع سیستم های تصویر در فتوگرامتری :

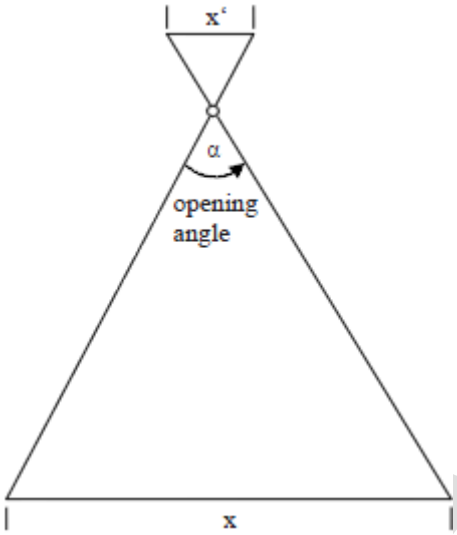
۱-موازی

- قائم: اندازه ی تصویر هر عارضه از نظر طول و زاویه با اندازه ی واقعی برابر است.

- مایل: از نظر طول و زاویه با اندازه های واقعی تفاوت دارد .

۲-مرکزی

- قائم (ایده آل): طول ها با نسبت مشخصی کوچکتر از اندازه ی واقعی و از نظر زاویه برابر با زاویه ی افقی واقعی است.



- مایل: طول ها و زوایا با اندازه های واقعی برابر نبوده وحتی دارای نسبت مشخص هم نمی باشد. تنها حسن استفاده از آن این است که میتواند از منطقه ای با وسعت زیاد تر تصویر برداری کند .

*لازم به ذکر است که تصاویر مایل ناشی از تیلت است و به دو دسته ی کلی تقسیم میشود :

۱-تصاویر با میل کم

۲-تصاویر با میل زیاد: در این گونه تصاویر ممکن است که افق نیز دیده شود.

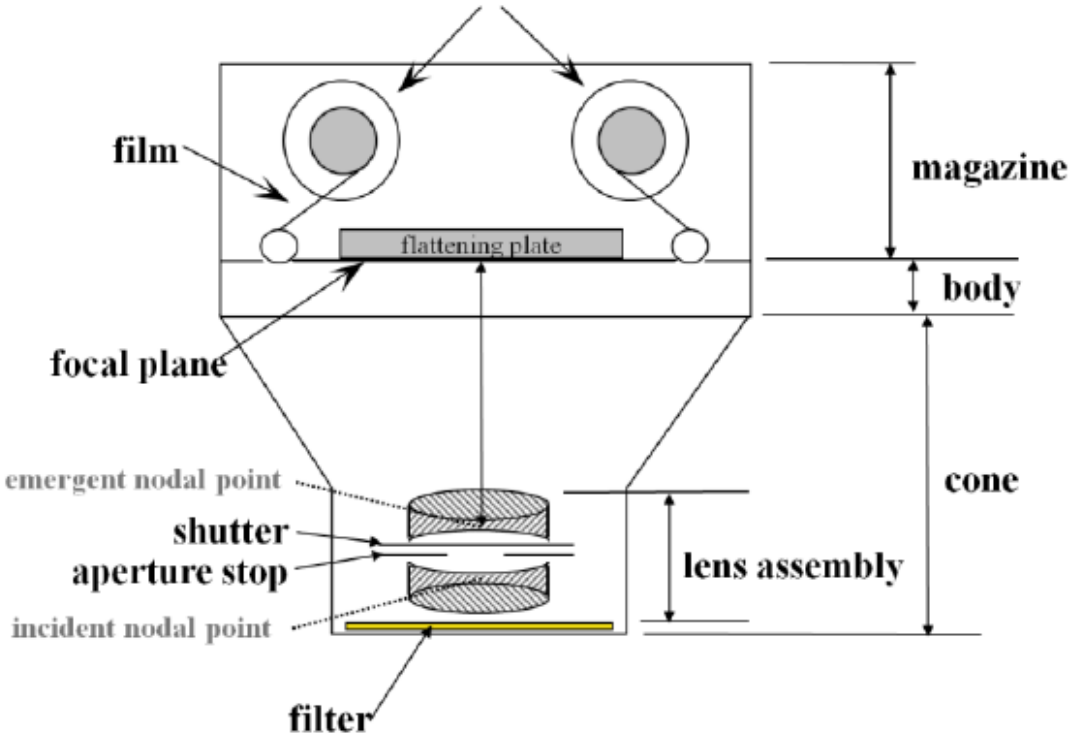
*تصاویر با تیلت زیر ۴ درجه را میتوان به عنوان تصاویر قائم در نظر گرفت.

دوربین ها:

هر دوربین دارای سه قسمت اساسی است:

الف)**مخزن**: شامل دو قرقره ،دستگاه چرخاننده ی قرقره ها و دستگاه مکش هوا است.

ب) **بدنه**: شامل قابی واقع در صفحه ی کانونی است که فیلم دارای لایه حساس بر روی آن قرار می گیرد و درای علائمی است که با عبور شعاع های نوری تصویر کننده از آن بر روی فیلم منفی علاوه بر تصاویر عوارض تصاویر مربوط به علائم کناری نشانه های مقیاس ، تراز کروی و ..... میشود. اظلاع این قاب در دوربینهای مخطلف متفاوت است که معمولاً"۹ در"۹ میباشد که برابر ۲۳*۲۳ سانتیمتر است.



شکل (۲)- شکل شماتیک از دوربین عکاسی

ج) مخروط حاوی عدسی:

شامل مجموعه ی عدسی ها ، شاتر، دیافراگم و فیلتر است. میزان نور عبور کننده از عدسی با تغییر قطر دهانه ی دیافراگم و زمان باز و بسته شدن شاترکه درحد فاصل دو نقطه ی گرهی قرار دارند تنظیم می شود.

سرعت هواپیما که به ارتفاع پرواز ، نوع عدسی ، موقعییت جغرافیایی منطقه، شرایط جوی ، زمان و نوع دوربین عکسبرداری بستگی دارد، تعیین کننده ی اندازه ی قطر دهانه ی دیافراگم و تعیین کننده ی مدت زمان باز بودن آن توسط شاتر می باشد.

فاکتور روشنایی = $\frac{D}{F}$

در رابطه فوق D قطر دهانه دیافراگم و f فاصله کانونی دوربین است. معکوس رابطه فوق را f-stop گویند که بیان کننده عددی است که بر دور عدسی دوربین نوشته شده است.

مشخصات هندسی دوربین های عکسبرداری هوایی:

مشخصات هندسی دوربین، توسط پارامترهایی که هرم نوری بخش داخلی دوربین را مشخص میکنند تحلیل و تعیین میگردد.

این پارامتر ها امکان بازسازی هرم نوری دوربین را مشابه با هرم نوری در لحظه ی عکسبرداری را فراهم می کند. این هرم، هرمی است به رأس نقطه ی گرهی عقبی و به ارتفاع فاصله ی اصلی و به قائده ی قاب دوربین. مشخصات این هرم بیان کننده ی پارامتر های توجیه داخلی است که عبارتند از:

۱-نقطه ی اصلی: نقطه ی پای ارتفاع هرم

۲-فاصله ی اصلی : طول ارتفاع هرم نوری(در دوربین های متریک این فاصله برابر با فاصله ی کانونی عدسی است)

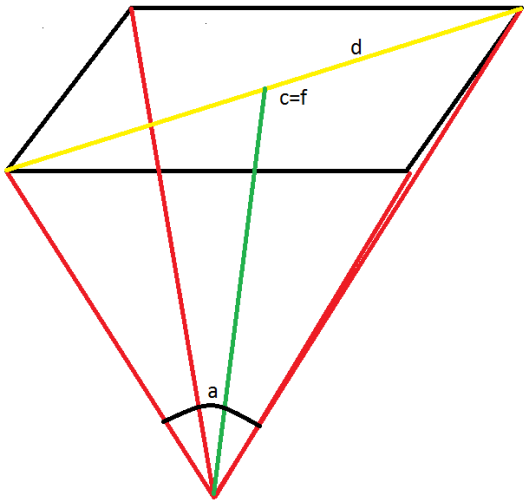
۳-شکل و ابعاد قاب دوربین

۴-زاویه ی عکس برداری دوربین

این زاویه بزرگترین زاویه بین شعاع های نوری تصویر کننده است که مربوط به علائم کناری قاب دوربین است.

فیدوشل مارکها :معمولاً ۸ عدد هستند و از برخورد علائم کناری مقابل هم نقطه ی اصلی به وجود می آید. به عبارت دیگر علائم کناری و گوشه ای و ابعاد قاب دوربین یا همان قاعده ی هرم را مشخص می کند.

در شکل روبه رو α زاویه ی عکس برداری دوربینی با فاصله ی اصلی C و با قابی به قطر d است.



$$\alpha = 2\tan^{-1}(\frac{d}{2f})$$

انواع دوربینها با توجه به زاویه میدان دید:

۱- دوربین بازاویه باریک f=۳۰۵mm± ۳mm

۲-دوربین با زاویه معمولی f=۲۱۰mm± ۳mm

۳- دوربین با زاویه معمولی f=۱۵۲mm± ۳mm

۴- دوربین با زاویه معمولی f=۸۸.۵mm± ۳mm

*عکس های برداشت شده با زاویه ی کوچک معمولاً دارای مقیاس کوچک میباشد و برای شناسایی و تفسیر کلی منطقه است.

*معمولترین نوع دوربین،دوربین های با زاویه ی باز هستند.

*از دوربین های با زاویه ی خیلی باز برای تصویر برداری از مناطق نسبتاً مسطح با برجستگی های کم می باشد.

خطاها:

خطاهای ناشی از عدسی: این خطاها ناشی از عدم تطابق فاصله ی کانونی تصویر یا به عبارت دیگر مانع از تشکیل تصویر به صورت نقطه و در موقعیت دقیق آن در صفحه ی کانونی است.

این خطاها را ابریشن های ناشی از عدسی میگویند و عبارتند از:

۱-ابریشن رنگی

۲-کروی

۳-کوما

۴-استیگماتیسم

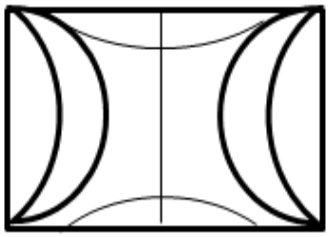
که باعث می شوند یک نقطه به شکل دایره ، بیضی یا خط تصویر شود.

دیستورسیون یا اعوجاج عدسی : ابریشنی است که باعث می شود امتداد پرتو نوری که به نقطه ی گرهی جلویی برخورد میکند پس از عبور از نقطه ی گرهی تغییر جهت یابد و در نتیجه ایجاد جابه جایی تصویر در امتداد شعاع کند به طوری که زاویه ی هر شعاع نوری با محور نوری عکس برداری در داخل دوربین با زاویه ی شعاع نوری نظیر آن در خارج از دوربین تفاوت می کند.

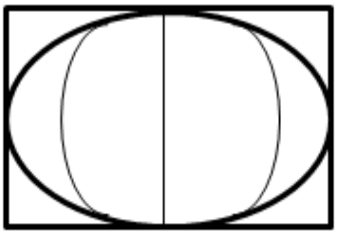
هرچه فاصله ی نقطه ای از مرکز عکس دورتر شود، جابه جایی ناشی از اعوجاج عدسی در آن نقطه بیشتر می شود.

جابه جایی شعاعی : ممکن است به صورت دور شدن از مرکز باشدکه اعوجاج شعاعی را مثبت، یا برعکس اگر جابه جایی شعاعی به سمت مرکز یا داخل باشد اعوجاج شعاعی منفی است.

تغییر شکل ها :



شبکه با اعوجاج منفی

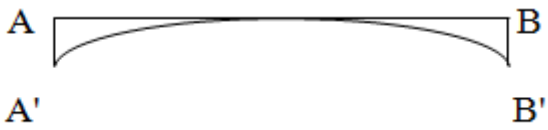


شبکه با اعوجاج مثبت

ابریشن دیگری نیز وجود دارد که ناشی از عدسی نیست و دلیل آن ترکیب عناصر عدسی است و با دیستورسیون عدسی شناخته می شود.

این دیستورسیون باعث جا به جایی تصویر در امتداد عمود بر امتداد شعاع می شود.

در اثر اعوجاج مماسی تصویر خط AB مستقیم نبوده و بصورت خط انحنا دار B'A' تصویر میشود، همانند شکل:



کلیه ی عدسی ها دارای ابریشن ولی به مقدار متفاوت می باشند.

برای کاهش دادن یا از بین بردن ابریشن ها :

۱-می توان از عدسی با ابریشن مخالف استفاده کرد که به آن عدسی تصحیح می گویند.

۲-می توان با کاهش قطر دهانه ی دیافراگم و در برخی از عدسی ها با استفاده از فیلتر این کار را انجام داد.

عکسبرداری هوایی :

به صورتی انجام می شود که هواپیما در یک خط افقی و در یک اتفاع مشخص پرواز کند. همچنین دوربین به گونه ای محکم در کف هواپیما نصب می شود که دارای هیچ گونه حرکت و لرزشی نباشد و امتداد ضلع قاب دوربین در امتداد طول هواپیما و در واقع در امتداد محور پرواز باشد .

با پرواز هواپیما در مسیر افقی مشخص از منطقه که امتداد محور پرواز نامیده می شود و در اتفاع ثابت و مشخصی تحت سیستم تصویر مرکزی قائم از منطقه عکس برداری می شود .

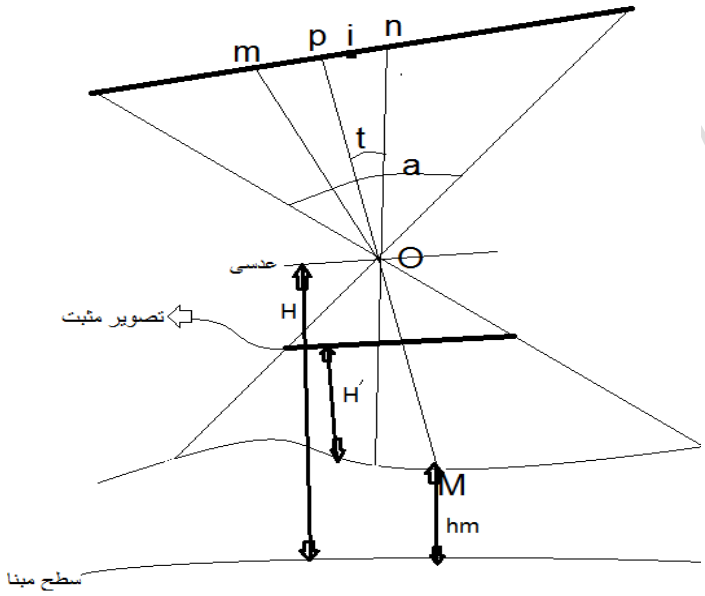
البته امکان پرواز در شرایط ایده ال وجود ندارد و همیشه زاویه ی چرخشی که آن را به عنوان تیلت می شناسیم در عکسها دیده می شود. معمولاً در صورتی که تیلت کمتر از ۴ درجه باشد عکسبرداری را قائم و در غیر اینصورت عکس برداری را مایل می نامیم.

تصویر برداشت شده توسط دوربین منفی است که پس از چاپ به تصویر مثبت تبدیل می شود .

اگر تصویر بر روی کاغذ چاپ شود به آن عکس می گویند ودر صورتی که تصویر بر روی فیلم یا شیشه چاپ شود به آن دیاپوزتیو گفته می شود.

پس عکس تصویر مثبتی است که در مقیاس فیلم منفی تهیه می شود.

مشخصات عکس و سیستم عکسبرداری:



F: فاصله ی کانونی

P: نقطه ی اصلی

n: نقطه ی نادیر

i :نقطه ی همبار

O: مرکزتصویر

t :زاویه ی تیلت

α: زاویه ی عکس برداری

m: تصویر نقطه ی دلخواه زمینی

H: ارتفاع پرواز از سطح مبنا $H=H'+hm$

H': ارتفاع پرواز از سطح متوسط منطقه

hm: ارتفاع متوسط منطقه از سطح مبنا

C: فاصله ی اصلی

تعاریف :

مرکز تصویر : نقطه ای است که همه ی شعاع های نوری از آن می گذرد.

فاصله کانونی: فاصله ی بین نقطه ی گرهی عقبی تا صفحه ی قاب.

فاصله ی اصلی : فاصله ی مرکز تصویر تا صفحه ی تصویر، معمولاً فاصله ی اصلی با فاصله ی کانونی برابر است .

محور اصلی : خط عمودی که از مرکز تصویر بر صفحه ی تصویر فرود آید.(ارتفاع هرم)

نقطه ی اصلی : محل برخورد محور اصلی با سطح تصویر .

نقطه ی نادیر : محل برخورد امتداد خط شاقولی با صفحه ی تصویر.

زاویه ی تیلت : زاویه ی بین محور عکس برداری و امتداد شاقولی به عبارتی این زاویه همان زاویه ی بین صفحه ی افق و صفحه ی تصویر است.

$$\tan t = \frac{pn}{f} \Rightarrow t = \tan^{-1}(\frac{pn}{f})$$

نقطه ی هم بار : محل برخورد خط نیم ساز زاویه ی بین دوامتداد قائم و محور عکس برداری ،یا نیم ساز زاویه ی تیلت.

$$i = \frac{\overline{pn}}{2}$$

در صورتی که عکس برداری قائم باشد در عمل معمولاً از فاصله ی کوچک صرف نظر شده و نقطه ی نادیر و اصلی منطبق بر هم فرض می شود.

خط اصلی : خطی است که از برخورد نقطه ی نادیر و نقطه ی اصلی به دست می آید .

خط هم بار : امتداد محور دوران را که خطی افقی و گذرنده از نقطه ی هم بار و عمود بر خط اصلی است را خط هم بار می گویند.

اندازه گیری های عکس قائم :

اندازه گیری مختصات عکس :

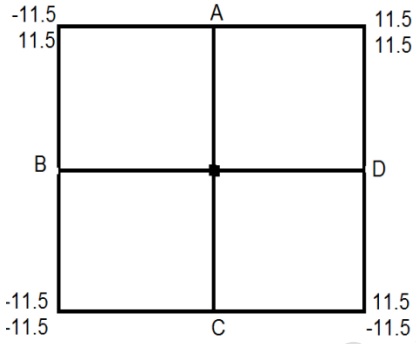
این اندازه گیری ها با روابط ریاضی مربوطه در دستگاه مختصاتی انجام می شود که محور X آن منطبق بر محور پرواز و محور Y آن عمود بر محور پرواز و محور Z آن منطبق بر محور نوری سیستم تصویر یا همان محور عکسبرداری می باشد.

در اینجا فرض می شود که دوربین مورد استفاده عاری از هر گونه خطای عناصر مربوط به خود است و تصویر بردای به صورت کاملاً قائم انجام شده است.

برای اندازه گیری، نقاط فیدوشل مارک کناری را به یکدیگر وصل کرده، محورX،Y بدست می آید ونقطه ی اصلی نیز همان تقاطع این دو محور است و مختصات هر نقطه روی این سیستم به راحتی به دست می آید.

مختصات مسطحاتی:

علائم کناری در دستگاه مختصات تعریف شده عبارت است از:



A=(۰وYa)

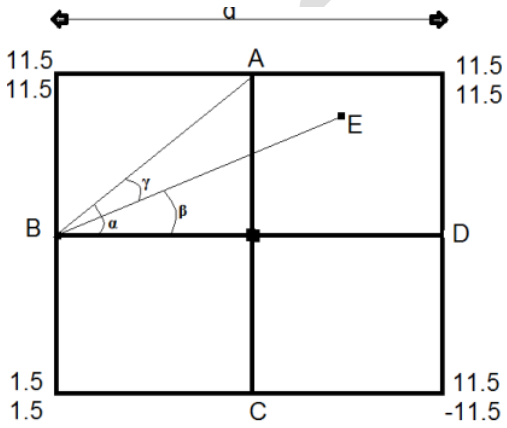
B=(-Xbو۰)

C=(۰,-Cc)

D=(۰,Dd)

مختصات نقطه ی دلخواه E را میتوان با دانستن فاصله ی

آن از دو علامت کناری بدست آورد.



$$Xe = Xb + \overline{EB} * \cos\beta$$

$$Ye = \overline{EB} * \sin\beta$$

$$\beta = \alpha - \gamma$$

$$\tan\alpha = \frac{y_a}{x_b} = \frac{d/2}{d/2} = 1 \Rightarrow \alpha = 45^0$$

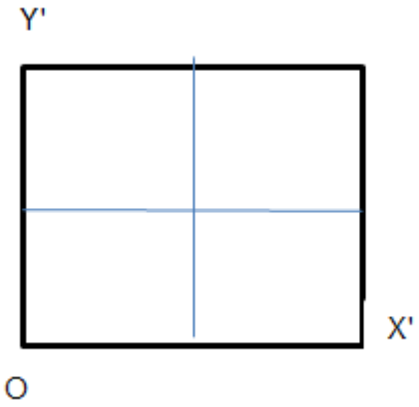
$$\left(\overline{AE}\right)^2 = \left(\overline{BA}\right)^2 + \left(\overline{BE}\right)^2 - 2\left(\overline{BA} * \overline{BE}\right)^2 COS\,\gamma$$

$$COS\,\gamma = \frac{\left(\overline{BA}\right)^2 + \left(\overline{BE}\right)^2 - \left(\overline{AE}\right)^2}{2\left(\overline{BA}\right) * \left(\overline{BE}\right)}$$

$$\overline{BA} = \frac{\sqrt{2}}{2} d$$

$$\beta = 45 - \gamma$$

در بعضی از موارد برای جلوگیری از ایجاد مختصات منفیt یکی از علائم گوشه ای را مبدأ و امتداد محدود به علائم گوشه ای مجاور را محور های X' , Y' در نظر می گیرند:



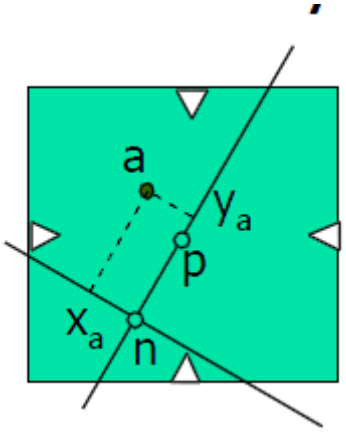
اندازه گیری عکس های مایل :

در زمانی که خلبان موفق نشود در زمان عکس برداری هواپیما را به صورت افقی نگه دار صفحه ی نیز افقی نبوده و با افق زاویه ی تیلت می سازد ،در این حالت سه نقطه ی اصلی ، نادیر و همبار از همـدیگرمجزا مـی باشند .

تصویر منطقه ی مربع شکل در عکس برداری قائم مربع است در حالی که در عکس برداری مایل شکلی نامشخص دارد.

اندازه گیری مختصات عکسی در عکس مایل:

در عکسبرداری مایل، محاسبات عکسی در دستگاه مختصاتی، به مبدأ نقطه ی نادیر صورت می گیرد که محور Y امتداد خط اصلی به طوری که جهت مثبت آن به سمت نقطه ی اصلی باشد و امتداد X نیز به صورت عمود بر آن نقطه است. این دستگاه را (Yn'X') می نامند.



با مقایسه ی دو دستگاه علائم کناری و Yn'X' ملاحظه می شود که ابتدا دستگاه باید حول نقطه ی اصلی به مقدار زاویه ی θ دوران داد سپس مبدأ مختصات را از P بر روی n انتقال داد.

برای انجام اندازه گیری ها در سیستم عکس مایل ابتدا مختصات را در سیستم دوران یافته بدست آورده و سپس به مختصات Y بدست آمده انتقال pn را معرفی می کنیم.

مقیاس عکس مایل:

مقیاس در هرنقطه از عکس مایل متفاوت است زیرا فاصله ی ایستگاه عکسبرداری تا نقاط مختلف متفاوت است.

در عکس قائم اختلاف مقیاس ناشی از مسطح نبودن منطقه است، ولی در عکس مایل علاوه بر اختلاف ارتفاع نقاط، وجود تیلت نیز باعث تغییر مقیاس می شود. مقیاس فقط برای نقاط واقع در امتدادی به موازات محور X' (به موازات نقطه ی هم بار) که خط عمود بر خط بزرگترین شیب نیز هست تقریباً مساوی می باشد.

در هر نقطه با داشتن X', h می توان مقیاس را از رابطه ی زیر محاسبه نمود:

$$S=\frac{\frac{f}{\cos t}-Y'\sin t}{H-h}$$

فصل دوم:

انواع سیستم های مختصات در فتوگرامتری و تبدیل بین آنها

مهندس طالعی

مقدمه

همواره در فتوگرامتری ما با دو نوع فضای کاملاً متفاوت روبرو هستیم:

الف- فضای تصویر ← image space: در این درس فضای تصویر همان فضای عکس هوایی است (تصویر و عکس)

ب- فضای شیء ← object space: در این درس فتوگرامتری (II) فضایی شی برمی‌گردد به زمین یعنی منظور از شی زمین است.

هدف در فتوگرامتری پیدا کردن یک سری روابط ریاضی و هندسی است که این دو فضا را به خوبی به هم متصل نماید. به عبارت دیگر ما می‌خواهیم با داشتن مختصات یک نقطه در یکی از این دو فضا به راحتی به مختصات آن در فضای دیگر دسترسی پیدا کنیم.

برای هر یک از این دو فضا سیستم‌های مختصات متنوعی پیشنهاد شده است. به طور کلی به سیستم‌های مختصات تعریف شده در فضای تصویر سیستم مختصات تصویر گفته می‌شود.

به سیستم‌های مختصات تعریف شده در فضای شی سیستم‌های مختصات شیء گفته می‌شود.

هر کدام از این دو دسته از سیستم‌های مختصات می‌تواند دو بعدی یا سه بعدی باشد با توجه به کاربردی که می‌خواهیم این دو نمونه تعریف می‌شود.

از طرف دیگر هر کدام از این‌ها می‌تواند کارتزین، قطبی، استوانه‌ای و ... باشد.

2D: 2dimentional

- کارتزین(y,x)
- قطبی(θ,r)

3D: 3dimentional

- کارتزین(z,y,x)
- قطبی(h,λ,ϕ)
- استوانه ای(z,θ,r)

امروزه در فتوگرامتری به منظور ساده کردن کارهای محاسباتی از سیستم مختصات کارتزین استفاده می‌شود. منظور از سیستم مختصات تصویر می‌تواند سیستم مختصات عکسی یا سیستم مختصات مدل باشد و منظور از سیستم مختصات شی در این درس همان سیستم مختصات زمینی است.

نکته: توجه کنید که شیء می‌تواند کره‌ی زمین یا هر چیز دیگری باشد. یعنی صرفاً در این درس چون هدف تهیه نقشه بخشی از کره‌ی زمین است به جای عبارت سیستم مختصات شیء از عبارت سیستم مختصات زمینی استفاده می‌کنیم.

سیستم‌های مختصات در فضای تصویر و شیء

همان‌طور که در مقدمه گفته شد سیستم‌های مختصات به دو دسته تقسیم می‌شود:

الف) سیستم‌های مختصات تصویری

ب- سیستم‌های مختصات شیء

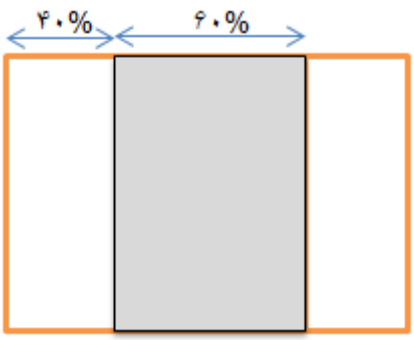
سیستم‌های مختصات تصویری نیز به دو دسته تقسیم می‌شود:

۱- سیستم مختصات عکسی

۲- سیستم مختصات مدل

تعریف مدل:

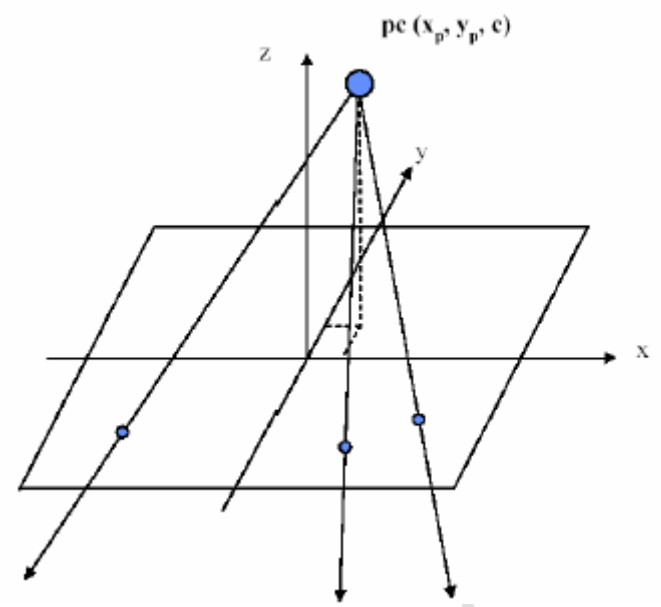
مدل در حقیقت عبارت است از یک فضای سه بعدی که امکان برجسته بینی در آن وجود دارد و از روی ناحیه هم‌پوشانی یک زوج عکس به وجود آمده است. به صورت استاندارد $Overlap \geq 60\%$ (محدوده هم‌پوشانی شده)



به لحاظ تئوری میزان همپوشانی یک زوج عکس باید بیش از ۵۰ درصد باشد ولی به خاطر احتیاط و نیز تیلت و وجود برخی از خطاها در حین عملیات پرواز این میزان معمولاً ۶۰ در نظر گرفته می‌شود.

سیستم مختصات علائم کناری

از وصل کردن علائم کناری حاصل می‌شود و یک سیستم مختصات دو بعدی کارتزین است. در این سیستم محور X همان محور پرواز بوده و محور Y عمود بر آن انتخاب می شود. همچنین جهت مثبت محورX جهت پرواز می باشد. مبدا نیز در این سیستم محل تقاطع خط واصل فیدوشل مارک ها می باشد.



سیستم مختصات عکسی

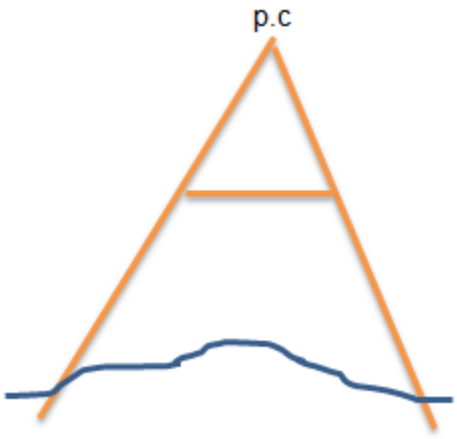
یک سیستم مختصات سه بعدی کارتزین (متعامد) در دست راستی است. مبدا آن بر روی مرکز تصویر قرار دارد. صفحه‌ی عکس به عنوان صفحه‌ی y و x می‌باشد که در فاصله‌ی ثابتی در مرکز تصویر قرار گرفته است.

عکس مثبت Z= +f

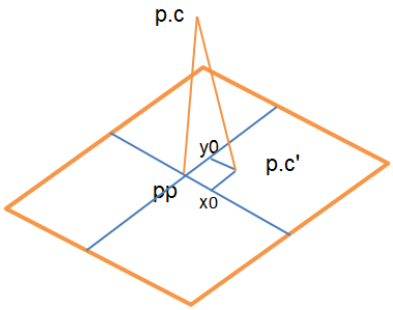
عکس منفی Z= -f

مرکز تصویر

یعنی نقطه‌ای که همه‌ی پرتوهای نوری از آن عبور می‌کند. بسیاری از مواقع مرکز تصویر را با (O) نشان می‌دهند.



در یک دوربین سالم و صدرصد کالیبره (ایده‌آل) نقطه‌ی تصویر مرکز تصویر (PC) بر نقطه‌ی (P.P) منطبق است.



معمولاً بین نقطه‌ی تصویر (P.C) و (P.P) چند میکرون فاصله وجود دارد که در هنگام کالیبراسیون دوربین مقدار فاصله به صورت y_0 و x_0 در گزارش کالیبراسیون دوربین داده می‌شود.

اگر تصویر نقطه‌ی مرکز تصویر یا همان (P.C) را O' قرار دهیم مختصات O' در سیستم مختصات علائم کناری به مقدار y_0 و x_0 می‌باشد (گاهی اوقات نقطه‌ی (P.P) را (C) نیز می‌نامند.

اگر مختصات نقطه‌ی a در سیستم مختصات علائم کناری را y_0 و x_0 فرض کنیم. بنابراین بردار $(\vec{V_a})$ نسبت به مرکز تصویر چنین است.

$$\overrightarrow{Va} = \begin{bmatrix} Xa - X0 \\ Ya - Y0 \\ Za - Z0 \end{bmatrix}$$

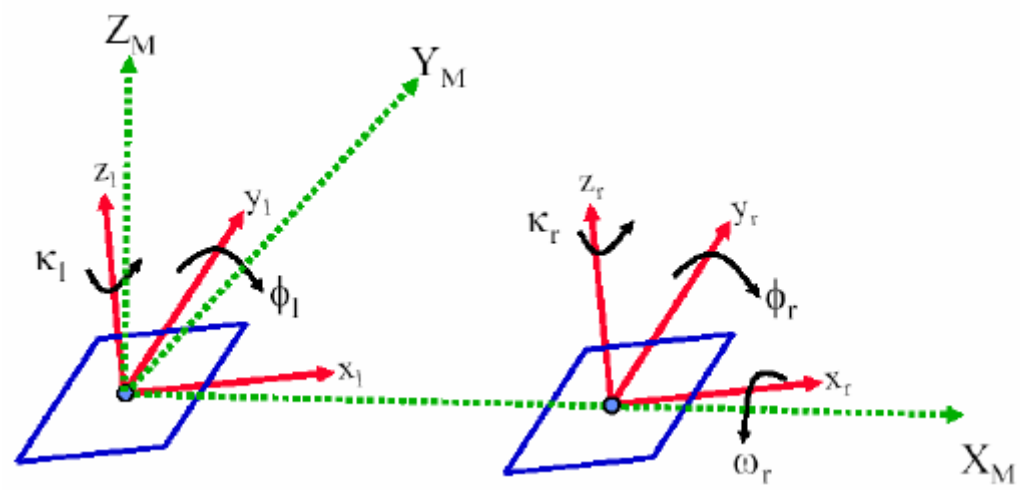
در صورتی که نقطه‌ی مرکز تصویر را O و تصویرش را O' بنامیم ($x_0=x_0'$, $y_0=y_0'$) و اگر دوربین کاملاً کالیبره باشد خواهیم داشت:

$$\overrightarrow{Va} = \begin{bmatrix} Xa \\ Ya \\ Za \end{bmatrix}$$

سیستم مختصات مدل

سیستم مختصات مدل برمی‌گردد به تصویر مختصات عکسی در یک مدل سه بعدی که می‌توان به صورت نوری مکانیکی (آنالوگ) یا تحلیلی رقومی (دیجیتال) تشکیل شود.

سیستم مختصات مدل معمولاً با باز عکسبرداری و یا محورهای باز دستگاه مرتبط است. سیستم مختصات مدل یک سیستم مختصات متعامد سه بعدی و دست راستی است به طوری که مرکز آن روی مرکز تصویر عکس سمت چپ و محور x آن در امتداد باز دوربین است (یا محور پرواز) و محور z در امتداد محور نوری دوربین است (و محور y نیز عمود بر محورهای z و x به گونه‌ای که سیستم دست راستی باشد.



اگر مقدار B (باز هوایی) را در مقیاس عکسی ضرب کنیم باز عکسی بدست می‌آید (b) که شامل سه مولفه b(bx, by, bz) می‌باشد. در حالت ایده‌آل by bz=0 است. پس b=bx

b=بازعکسی

B=باز هوایی

$$B = \begin{bmatrix} bx \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$ در حالت ایده ال B*مقیاس=b

مثال: اگر مختصات مرکز عکس سمت راست بر روی عکس سمت چپ از مختصات مرکز عکس سمت چپ بر روی همان عکس سمت چپ به اندازه‌ی ۹۰mm فاصله داشته باشد و مقیاس عکس برابر $\frac{1}{10000}$ آنگاه مقدار بازهوایی را محاسبه کنید؟

$$b = 90 \quad , S = \lambda \frac{1}{10000} \qquad B = 90mm * 10000 = 900000mm = 900m$$

نکته: در فتوگرامتری کلیه ی سیستم‌های مختصات سه بعدی به صورت متعامد و دست راستی تعریف می‌شود.

دوران یک عکس حول محور x را (ω)، حول محور y(φ) و حول محور z را (κ) برای عکس با حروف کوچک

$\omega = \text{Rol} \ (\text{رول})$

$\emptyset = \text{pich} \ (\text{پیچ})$

$k = \text{yaw} \ (\text{یا})$

در صورتی که دوران برای مدل به وجود آید (مدل)

دوران حول محور x : Ω

دوران حول محور y : ϕ

دوران حول محور z : K

تعریف تیلت

میزان انحراف محور نوری از محور شاغولی را تیلت گویند. از این سه زاویه (κ,φ,ω) فقط زاویه k تولید تیلت نمی‌کند.

سیستم‌های مختصات در فضای شیء

این سیستم‌ها برای تعریف مختصات نقاط در فضای شیء کاربرد دارد. در این درس منظور از شیء زمین است. لذا یکی از سیستم‌های مختصات زمینی را می‌توان به کار برد.

سیستم‌های زمینی متفاوتی وجود دارد که در درس ژئودزی با آن‌ها آشنا شده‌اید. با این حال در فتوگرامتری از یکی از سیستم‌های مختصات زیر استفاده می‌شود:

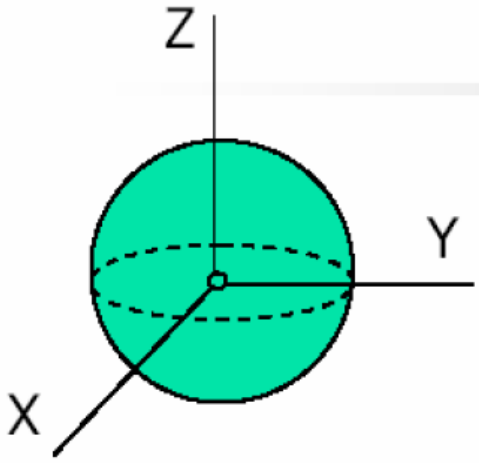
۱- سیستم مختصات جهانی- زمین مرکز (Geocentric- coordinate system)

۲- سیستم مختصات ژئودتیک (Goodetic coordinate system)

۳- سیستم مختصات محلی (Local coordinate system)

سیستم مختصات جهانی- زمین مرکز (ژئوسنتریک)

سیستمی قائم‌الزاویه که هر نقطه با (x,y,z) بیان می‌شود. معمولاً در مواقعی که از طریق فتوگرامتری بخواهیم نقشه منطقه‌ی وسیعی از زمین را تهیه کنیم استفاده می‌شود. این سیستم متعامد بوده و مرکز آن بر مرکز زمین منطبق است. صفحه‌ی y و x منطبق بر صفحه‌ی استوای زمینی است و محور x از نصف‌النهار گرینویچ می‌گذرد.



سیستم مختصات ژئودتیک

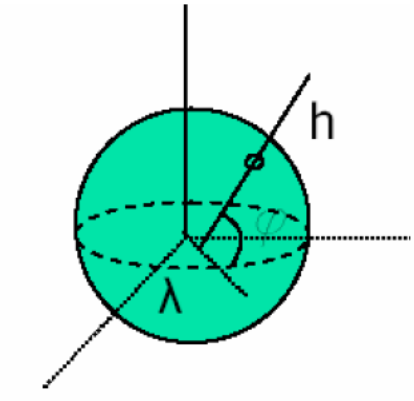
هر نقطه با (φ,λ,h) نمایش داده می‌شود در فتوگرامتری از این سیستم به صورت مستقیم استفاده نمی‌شود بلکه این مختصات تبدیل به یک مختصات قائم‌الزاویه مثل سیستم مختصات زمین مرکز تبدیل می‌گردد.

$$e^2 = \frac{a^2 + b^2}{a^2}$$

$$e'^2 = \frac{a^2+b^2}{b^2}$$

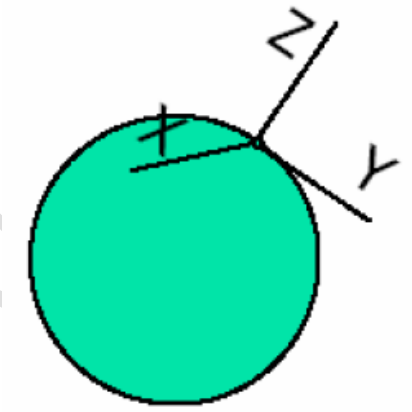
$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2.sin^2\emptyset}}$$

$$X = (N+h)\cos\varnothing\cos\lambda$$
$$Y = (N+h)\cos\varnothing\sin\lambda$$
$$Z = (N(1-e)+h)\sin\varnothing$$



سیستم مختصات محلی

این سیستم مختصات به شکل گسترده‌ای در فتوگرامتری استفاده می‌شودt مخصوصاً در مواقعی که بخواهیم که منطقه‌ای کوچکی از زمین را نقشه‌برداری کنیم. این سیستم قائم‌الزاویه دست راستی بوده و مرکز آن نقطه‌ی در سطح زمین یا نزدیک به سطح زمین است. محور z عمود بر سطح بیضوی، محور y به سمت شمال جغرافیایی و x به شکلی است که سیستم دست راستی باشد.



هنگامی که در هر دو بعد ناحیه کاری اضلاع کوچکتر از ۱۰ کیلومتر باشد می‌توان از انحنای زمین صرف‌نظر نمود.

وقتی ابعاد ناحیه موردنظر بیش از ۳۰ کیلومتر باشد باید انحنا را حتماً در نظر گرفت. استفاده از سیستم مختصات محلی دارای چند مزیت است:

۱- برای نوشتن مختصات احتیاج به استفاده از رقم‌های بزرگ نمی‌باشد.

۲- چون محور z در امتداد خط شاغولی تعریف شده لذا این امکان فراهم آمده که محاسبات با جدا کردن مقادیر مسطحاتی از مقادیر ارتفاعی صورت گیرد.

نکته: سیستم مختصات محلی را می‌توان به راحتی به سیستم زمین مرکز تبدیل نمود. این تبدیل یک تبدیل ساده هفت پارامتری است. این پارامترها عبارتند از: λ, x, y, z, ω, φ, k.

تبدیل بین سیستم‌های مختصات

هر وقت لازم است ارتباط بین دو سیستم مختصات به منظور انتقال مختصات از یک سیستم به سیستم دیگر انجام شود روابط ریاضی که ارتباط بین دو سیستم مختصات را در فتوگرامتری برقرار می‌سازد اصطلاحاً تبدیل یا ترانسفورماسیون (Transformation) نام گرفته است.

تبدیلات فراوانی وجود دارد که در فضای سه بعدی و در حالت ساده‌تر در فضای دو بعدی قابل استفاده است. این تبدیلات به شرح زیر است.

تبدیلات دو بعدی: 2-D

۱- تبدیل ساده ۲ بعدی (کانفرمال دو بعدی)

۲- آفاین دوبعدی

۳- پروژکتیو دو بعدی

۴- با استفاده از چند جمله‌ای‌ها ۲ بعدی.

تبدیلات سه بعدی: 3-D

۱- تبدیل ساده ۳ بعدی (کانفرمال سه بعدی)

۲- آفاین سه بعدی

۳- پروژکتیو ۳ بعدی

۴- چند جمله‌ای ۳ بعدی

الف) تبدیل ساده‌ی ۲ بعدی (کانفرمال)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} cosk & sink \\ -sink & cosk \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x0 \\ y0 \end{bmatrix}$$

$$x = \lambda \cos k(x) + \lambda \sin k(y) + xo$$
$$y = -\lambda \sin k(x) + \lambda \cos k(y) + yo$$

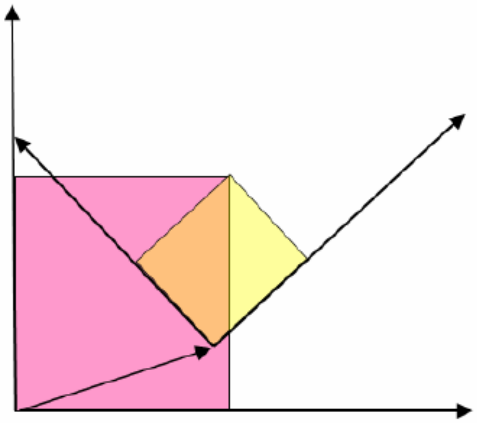
این تبدیل شامل چهار پارامتر است

λ: مقیاس

زاویه دوران= K

(شیفت) جابه‌جایی در راستای x_0=x

(شیفت) جابه‌جایی در راستای y_0=y



اگر بخواهیم ارتباط بین دو سیستم مختصات دوبعدی را با یک تبدیل ساده برقرار کنیم باید مقادیر این چهار پارامتر را بدست آوریم.

بدست آوردن مقادیر پارامترهای ترانسفورماسیون کانفرمال ۲ بعدی از طریق معادله‌ای که نوشته شد به صورت مستقیم کمی مشکل است. لذا برای ساده کردن کار معادله‌ی تبدیل را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 & 0 \\ -y & x & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}$$

که در آن:

$$\lambda = \sqrt{a^2 + b^2} \quad , \quad k = \tan^{-1}\left(\frac{-b}{a}\right) \quad , \quad X0 = c \ , \quad Y0 = d$$

به عبارت دیگر مقادیر d, c, b, a نقش مقادیر x_0, y_0, k, λ را بازی می کنند.

مثال: با فرض آن که مختصات سه نقطه‌ی P و Q و R در دو سیستم مختصات معلوم باشد و بخواهیم ارتباط این دو را از طریق کانفرمال ۲ بعدی برقرار کنیم. ضمن نوشتن ماتریس‌های مربوطه تعداد معادلات، مجهولات و درجه آزادی را حساب کنید.

نام نقطه	مختصات در سیستم علائم کناری	مختصات در سیستم دستگاهی
P	YP,XP	YP,XP
Q	YQ,XQ	YQ,XQ
R	YR,XR	YR,XR

نکته: در کانفرمال همیشه مجهولات ۴ تا می‌باشد x_0, y_0, k, λ

$$\begin{bmatrix} XP \\ \mathrm{YP} \\ \mathrm{XQ} \\ \mathrm{YQ} \\ \mathrm{XR} \\ \mathrm{YR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} XP & YP & 1 & 0 \\ -YP & XP & 0 & 1 \\ XQ & YQ & 1 & 0 \\ -YQ & XQ & 0 & 1 \\ XR & YR & 1 & 0 \\ -YR & XR & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ \mathrm{c} \\ \mathrm{d} \end{bmatrix}$$

تعداد مجهولات – تعداد معلومات= درجه آزادی

چون در حالت دو بعدی برای هر نقطه دو معادله می‌توان نوشت لذا با داشتن سه نقطه دارا ۶ معادله هستیم پس درجه آزادی برابر ۲=۴-۶ می‌باشد.

نکته: تعداد مجهولات هیچ ارتباطی با تعداد نقاط ندارد.

نمونه سوال: آیا با داشتن مختصات یک نقطه در دو سیستم مختصات می‌توان مجهولات ترانسفورماسیون را حل کرده و سیستم مختصات‌ها را به هم ربط دهیم؟

خیر- زیرا با داشتن یک نقطه‌ی مشترک دو معادله داریم و تعداد مجهولات برابر ۴ است لذا از آنجایی که تعداد مجهولات بیشتر از تعداد معادلات است حل نشدنی است. یعنی برای کانفرمال حداقل ۲ نقطه‌ی کنترل نیاز می‌باشد.

کاربردهای معادله‌ی کانفرمال دو بعدی فتوگرامتری

۱. کاربرد در توجیه داخلی: ترانسفرماسیون را می‌توان برای تبدیل مختصات اندازه‌گیری شده توسط یک دستگاه تحلیلی مانند کامپراتور به مختصات علائم کناری به کاربرد در این حالت [x,y] مختصات در سیستم دستگاهی است و [x,y] مختصات در سیستم عکسی است.

۲. کاربرد دیگر آن M4 در فاز توجیه مطلق است در آینده روش (M4) توضیح داده می‌شود.

تبدیل آفاین دو بعدی :

در تبدیل آفاین دو بعدی شش پارامتر مجهول وجود دارد. این شش پارامتر عبارتند از:

1- λ_x (فاکتور مقیاس x)

۲- λ_y (فاکتور مقیاس y)

۳- θ (دوران سیستم مختصات)

۴- ε (دوران ناشی از عدم تعامد محورهای مختصات

5- x_0

6- y_0

معادله‌ی ترانسفورماسیون آفاین دو بعدی به صورت زیر است:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & sin \in \\ 0 & cos \in \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda x & 0 \\ 0 & \lambda y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} cos\theta & sin\theta \\ -sin\theta & cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X0 \\ Y0 \end{bmatrix}$$

نکته۱: در تبدیل کانفرمال ۴ پارامتر مجهول و در اینجا ۶ پارامتر داریم.

نکته۲: در تبدیل کانفرمال مقیاس در هر دو جهت یکسان فرض شده ولی در افاین مقیاس‌ها متفاوت می‌باشد.

نکته۳: در تبدیل کانفرمال زاویه بین محورهای مختصات ۹۰ درجه فرض شده ولی در آفاین این زاویه ۹۰ درجه نیست و به اندازه ε تفاوت دارد.

نکته۴: اگر فرض کنیم $\lambda_x=\lambda_y=\lambda$ و $\varepsilon=0$ باشد آنگاه تبدیل آفاین به یک کانفرمال تبدیل می‌شود.

از آنجایی که محاسبه‌ی شش پارامتر مجهول از طریق معادله‌ی مذکور کمی با مشکل مواجه می‌شود معادله‌ی ترانسفورماسیون آفاین دو بعدی را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{X} \\ \mathbf{Y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{X} & \boldsymbol{Y} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \boldsymbol{X} & \boldsymbol{Y} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{a} \\ \mathbf{b} \\ \mathbf{c} \\ \mathbf{d} \\ \boldsymbol{e} \\ \mathbf{f} \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{\lambda x} = \sqrt{\boldsymbol{a^2 + c^2}} \quad , \boldsymbol{\lambda y} = \sqrt{\boldsymbol{b^2 + d^2}} \quad , \in = \mathbf{tan^{-1}}\left(\frac{\boldsymbol{ab+cd}}{\boldsymbol{ad+bc}}\right) \quad , \ \boldsymbol{\theta} = \mathbf{tan^{-1}}\left(\frac{\mathbf{-c}}{\boldsymbol{a}}\right)$$

$$\mathrm{X0} = \mathrm{e} \quad , \mathrm{Y0} = \mathrm{f}$$

$$\mathrm{Y} = \mathrm{AX} \Rightarrow \quad \mathrm{X} = (A^t A)^{-1} A^t \omega Y \Rightarrow \quad X = (A^t A)^{-1} A^t Y$$

نکته: پس از بدست آوردن مقادیرم جهول a,b,c,d,e,f بهتر است آن‌ها را در معادلات فوق قرار داده و به دنبال مقادیر مجهول اصلی باشیم.

مثال: با فرض آن که مختصات ۱۳ نقطه را درون دو سیستم مختصات مختلف داشته باشیم و بخواهیم با استفاده از یک ترانسفورماسیون آفاین دوبعدی ارتباط بین این دو را برقرار کنیم مطلوب است نوشتن ماتریس‌های مربوطه و نیز محاسبه‌ی تعداد معادلات و مجهولات و درجه آزادی؟

معلومات = ۲۶=۲*۱۳

مجهولات = ۶

$$\mathrm{df} = 26 - 6 = 20$$

$$\begin{bmatrix} X1 \\ \mathrm{Y1} \\ . \\ . \\ . \\ \mathrm{X13} \\ \mathrm{Y13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X1 & Y1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & X1 & Y1 & 0 & 1 \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ X13 & Y13 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & X13 & Y13 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a \\ \mathrm{b} \\ \mathrm{c} \\ \mathrm{d} \\ \mathrm{e} \\ \mathrm{f} \end{bmatrix}$$

همواره ابعاد ماتریس A برابر است تعداد معادلات در تعداد مجهولات و همچنین اگر x یک ماتریس ستونی باشد تعداد سطرهای آن برابر است با تعداد مجهولات.

$$\mathrm{X1} = \mathrm{ax1} + \mathrm{by1} + \mathrm{e}$$

$$Y1 = cx1 + dy1 + f$$

تبدیل ترانسفورماسیون پروژکتیو دو بعدی :

این ترانسفورماسیون دارای ۸ پارامتر مجهول می‌باشد که در اینجا به ذکر آن‌ها نمی‌پردازیم و تنها روابط ساده شده‌ی آن‌ها را می‌نویسیم.

$$X = \frac{a1X + b1Y + C1}{a3X + b3Y + 1}$$

$$Y = \frac{a2X + b2Y + C2}{a3X + b3Y + 1}$$

$$\begin{bmatrix} X1 \\ Y1 \\ . \\ . \\ . \\ Xn \\ Yn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X1 & 0 & -X1Y1 & Y1 & 0 & -Y1X1 & 1 & 0 \\ 0 & X1 & -X1Y1 & 0 & Y1 & -Y1X1 & 0 & 1 \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ X8 & 0 & -X8Y8 & Y8 & 0 & -Y8X8 & 0 & 0 \\ 0 & X8 & X8Y8 & 0 & Y8 & -Y8X8 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a1 \\ b1 \\ a2 \\ b2 \\ a3 \\ b3 \\ c1 \\ c2 \end{bmatrix}$$

برای حل معادلات پروژکتیو دو بعدی نیاز به حداقل چهار نقطه‌ی معلوم داریم.

تبدیل Poly nomial (چند جمله‌ای)

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy + \cdots$$

$$y' = b_0 + b_1x + bb_2y + b_3x^2 + b_4y^2 + b_5xy + \cdots$$

تعداد مجهولات در چند جمله‌ای‌ها بستگی به درجه‌ی چند جمله‌ای که استفاده شده دارد. در کمترین درجه (درجه ۲) تعداد مجهولات برابر ۱۰ مجهول می‌باشد. پس می‌توان با پنج نقطه‌ی معلوم این مجهولات را برآورد کرد.

اگر از چند جمله‌ای درجه (۳) تعداد مجهولات به ۱۸ عدد می‌رسد که با (۹) نقطه قابل حل می‌باشد.

مثال: با فرض آن که مختصات ۹ نقطه در دو سیستم مختصات مختلف مشخص باشد و بخواهیم با استفاده از پروژکتیو دو بعدی ارتباط دو سیستم مختصات را برقرار کنیم تعداد معادلات تعداد مجهولات و درجه آزادی را محاسبه کنید؟

معلومات =۱۸

مجهولات = ۸

$$df = 18 - 8 = 10$$

مثال: در مثال فوق اگر به جای ۹ نقطه صرفاً از ۳ نقطه استفاده شود آیا این مسئله قابل حل است؟ خیر، مسئله به دلیل زیاد بودن مجهولات قابل حل نمی‌باشد (۶ معادله و ۸ مجهول).

نکته: برای حل یک مسئله سه حالت اتفاق می‌افتد:

۱- تعداد معادلات مساوی باشد با تعداد مجهولات. (در این صورت یک دسته جواب منحصر به فرد داریم (مثل معادلات ریاضی)

۲- تعداد معادلات کمتر از تعداد مجهولات (در این حالت مسئله قابل حل نمی‌باشد).

۳- تعداد معادلات بیشتر از تعداد مجهولات. (در این حالت جواب‌های زیادی داریم ولی جواب بهینه از روش کمترین مربعات بدست می‌آید (روش کمترین مربعات در درس سرشکنی).

در فتوگرامتری به دنبال حالت ۳ می‌باشیم. چرا که جواب دقیق‌تر وقتی بدست می‌آید که تعداد معادلات بیشتری داشته باشیم. زیاد بودن تعداد معادلات از مجهولات مزایای زیر را به دنبال دارد:

۱- افزایش دقت (هرچه تعداد معادلات بیشتر باشد مجهولات با دقت بیشتری محاسبه می‌شود).

۲- کشف اشتباهات احتمالی (اگر در مشاهدات ما اشتباه فاحشی وجود داشته باشد (باقی‌مانده‌ها در بعضی نقاط اعداد بسیار بزرگی شوند) می‌توان اشتباهات را پیدا کرد.

۳- برآورد دقت در حل مسئله (می‌توان دریابیم که مسئله را در چه دقتی حل کنیم).

انواع اعوجاجات شایع در یک عکس و راه‌های کاهش و یا حذف آن به وسیله‌ی ترانسفورماسیون‌های دو بعدی:

اعوجاجات یکسان: این اعوجاجات از طریق کانفرمال دوبعدی می‌توانند حذف شوند (مانند چرخش یک عکس)

اعوجاجات غیریکسان: به دو دسته تقسیم می‌شود:

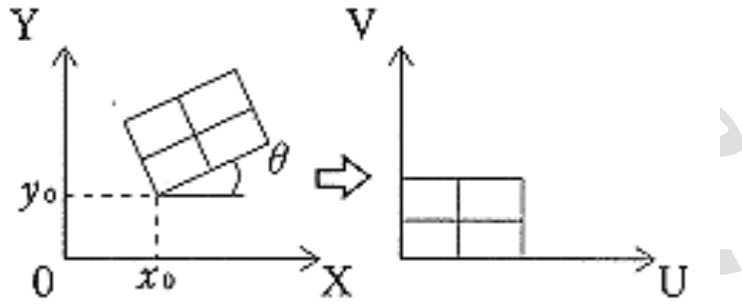
۱- خطی

الف) اعوجاج کم است در حدی که خطوط موازی هنوز موازی باقی‌مانده‌اند. در این حالت می‌توان از ترانسفورماسیون افاین دو بعدی استفاده کرد.

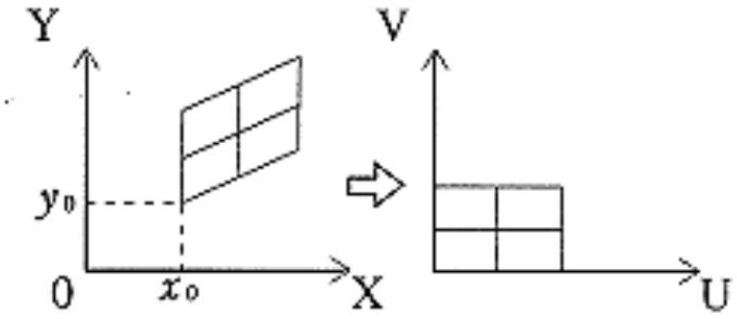
ب) اعوجاج نسبتاً زیاد است درحدی که خط، خط راست باقی‌مانده باشد ولی خطوط موازی، توازی خود را از دست داده‌اند در این حالت بهتر است پروژکتیو دو بعدی برای پالای مختصات عکس استفاده کرد.

۲- غیرخطی: اعوجاج بسیار زیاد است تا جایی که نه تنها خطوط موازی توازی خود را از دست داده‌اند بلکه خط راست نیز به یک خط منحنی تبدیل شده است. در این حالت از چند جمله‌ای‌ها استفاده می‌شود.

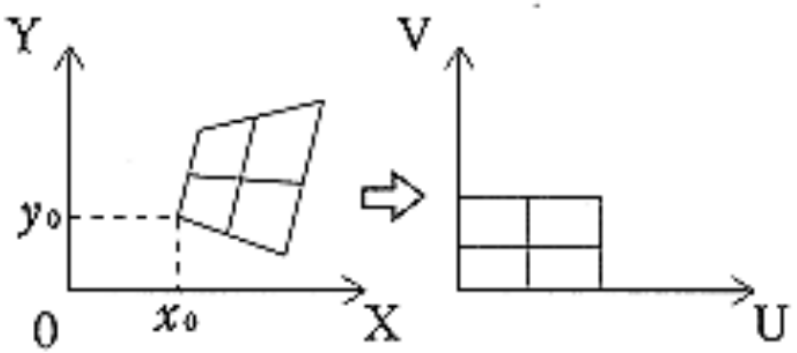
در شکل های زیر تغییرات ناشی از انواع تبدیلات آورده شده است.



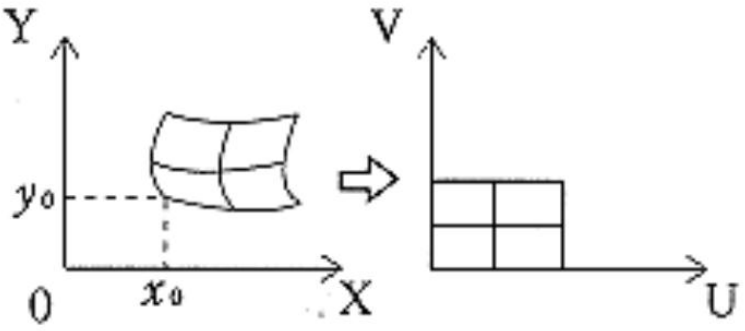
تبدیل کانفرمال ۲ بعدی



تبدیل افاین ۲ بعدی



تبدیل پروژکتیو ۲ بعدی



تبدیل چند جمله ای ۲ بعدی

- در تبدیل کانفورمال دو بعدی اصل تشابه حفظ می شود.$\frac{a1}{b1} \neq \frac{a2}{b2}$
- در تبدیل پروژکتیو دو بعدی نه تنها اصل تشابه حفظ نمی‌شود بلکه زوایای شکل در هم ریخته و از همه مهمتر خطوط موازی توازی خود را از دست می‌دهد.
- در ترانسفورماسیون چند جمله ای، نه تنها خطوط موازی توازی خود را از دست می‌دهند بکله خط راست نیز به منحنی تبدیل می‌شود.

مهندس طالعی

فصل سوم:

آشنایی با دستگاه های تبدیل

مهندس طالعی

مقدمه:

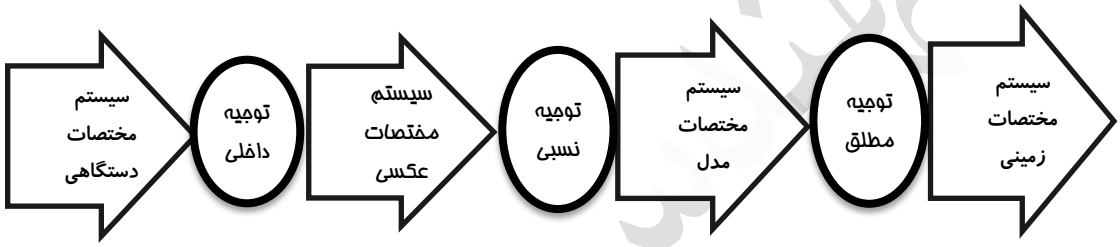
تشکیل یک مدل سه بعدی در سیستم مختصات زمینی (شی) شامل سه مرحله‌ای زیر است:

۱- توجیه داخلی Interior orientation

۲- توجیه نسبی Relative orientation

۳- توجیه مطلق Absolute orientation

پس از انجام این سه مرحله مختصات هر نقطه‌ای در مدل سه بعدی با مختصات زمینی آن برابر می‌گردد.



در این فصل به بحث در خصوص اولین مرحله‌ی توجیه یعنی توجیه داخلی می‌پردازیم. روش های توجیه های ذکر شده در دو نوع متفاوت می باشد. یکس با استفاده از دستگاه های تبدیل است و دیگری از روش نوین تحلیلی صورت می پذیرد. در هر فصل توجیه های ذکر شده را در هر دو روش مورد بررسی قرار می دهیم. پس لازم است تا قبل از شروع توجیه ها با دستگاه های تبدیل آشنا شویم. به همین خاطر، این فصل را به معرفی این دستگاه ها اختصاص داده ایم. لازم به ذکر است که استفاده از فتوگرامتری آنالوگ سال ها است که منسوخ شده و دستگاه های تبدیل دیگر کارایی ندارند ولی از آنجایی که هدف در این درس آن است تا دانشجویان اصول فتوگرامتری را درک کنند لازم است تا با این دستگاه ها و روش های قدیمی نیز آشنایی پیدا کنند.

دستگاه تبدیل:

این دستگاه ها امکان تشکیل، مشاهده و ترسیم مدل ۳ بعدی را در اختیار می گذارد.اگر دیاپوزتیو های تهیه شده از تصاویر منفی را در پروژکتور های دستگاه قرار دهیم، پس از انجام توجیه های داخلی، نسبی و مطلق مدل تشکیل شده متشابه زمین طبیعی و در مقیاس کوچکتر خواهد بود. در شکل زیر نمونه ای از دستگاه های تبدیل را مشاهده می نماییم.

شکل دستگاه تبدیل

در دستگاه های تبدیل برای تشکیل مدل ۳ بعدی باید دیاپوزیتیو ها همان شرایطی را داشته باشند که دوربین در لحظه اخذ تصاویر داشته است. این شرایط هم مربوط به فضای داخلی دوربین و هم شعاع های نوری در محیط خارجی است که باید شبیه سازی گردد. پس بر همین اساس هر دستگاه تبدیل باید مجهز به سیستم و ابزار هایی باشد تا بتوان شرایط هندسی شعاع های نوری تصویر کننده در زمان عکسبرداری را شبیه سازی نمود و مدل ۳ بعدی را تشکیل داد. همچنین دستگاه های تبدیل شامل سیستم هایی جهت دید مدل ۳ بعدی به صورت برجسته و ترسیم نقشه ها نیز می باشد.

ساختمان دستگاه ها:

گرچه انواع دستگاه های تبدیل وجود دارد ولی در تمامی این دستگاه ها سه بخش یا سیستم با وظیفه مشخص وجود دارد که عبارتند از:

۱- سیستم تصویر ۲- سیستم مشاهده ۳- سیستم اندازه گیری و ترسیم

- **سیستم تصویر:**

در دستگاه های تبدیل که مدل در آنها تشکیل می شود دو پروژکتور وجود دارد که محل قرار گرفتن دیاپوزتیو ها می باشند. هر کدام از پروژکتور ها دارای سیستم تصویر مجزا می باشد. سیستم تصویر هر پروژکتور شامل ۱-دیاپوزتیو ۲-شعاع های نوری تابیده شده از منبع نور ۳- عدسی و ۴- پیچ های مربوط به حرکت های افقی و دورانی هر پروژکتور که در تشکیل مدل ۳ بعدی مورد استفاده قرار می گیرد.

هر پروژکتور حداکثر می تواند دارای ۶ عنصر حرکتی باشد که ۳ تای آن عناصر دورانی κ,φ,ω که به ترتیب دوران حول محور های x ،yو z است و ۳ عنصر انتقالی bx ، by و bz که مربوط به انتقال در راستای ۳ محور می باشد. Bx در تمام دستگاه ها وجود دارد ولی by وbz ممکن است در برخی از دستگاه ها بسته به هدف وجود نداشته باشد.

- **سیستم مشاهده:**

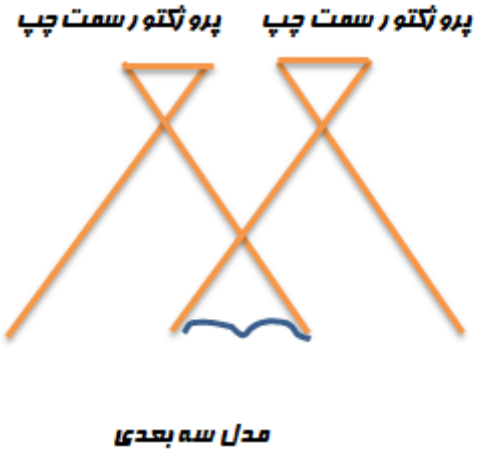
سیستمی که مشاهده کننده را قادر به مشاهده تصویر می کند را سیستم مشاهده می گویند.

- **سیستم اندازه گیری و ترسیم:**

این سیستم امکان اندازه گیری در سطح مدل و سپس انتقال و پیاده کردن اندازه ها را بر روی شیت نقشه فراهم می کند.

انواع سیستم های تصویر و سیستم های اندازه گیری و ترسیم وجود دارد که بنا به دلایلی که ذکر شد در این جزوه مطرح نمی گردد.

شمایی از یک دستگاه آنالوگ



انواع مختلف دستگاه‌های تبدیل آنالوگ:

۱- دستگاه‌های نوری Belplex, multiplex

۲- نوری- مکانیکی

۳- مکانیکی: مثل دستگاه‌های A7، A9، A10 و B8 ساخت کمپانی wild

امروزه با پیشرفت فتوگرامتری، فتوگرامتری تحلیلی جای فتوگرامتری آنالوگ را گرفته‌اند لذا سال‌هاست که استفاده از دستگاه‌های آنالوگ منسوخ شده است.

مهندس طالعی

فصل چهارم:

توجیه داخلی (Interior orientation)

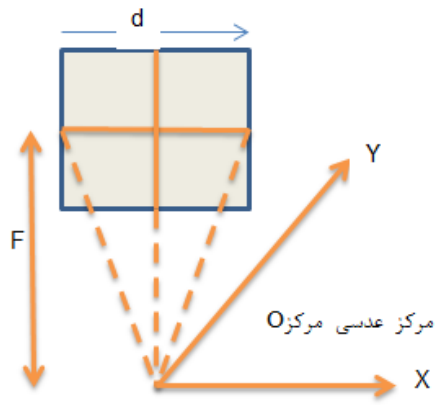
مهندس طالعی

مقدمه:

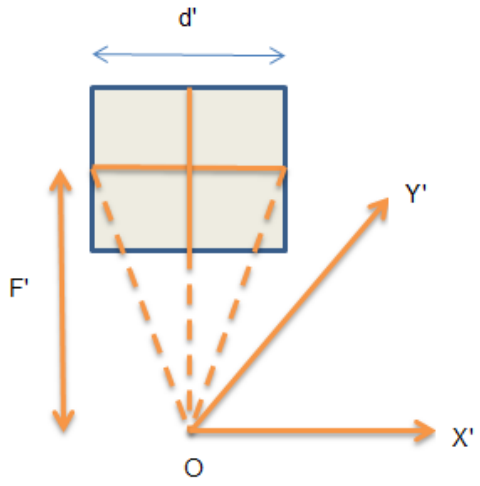
هدف از توجیه داخلی آنالوگ بازسازی هرم نوری دوربین در دستگاه تبدیل می‌باشد. (بازسازی شرایط داخلی دوربین). توجیه داخلی تحلیلی این عدف را به گونه ای دیگر دنبال می کند. در توجیه داخلی تحلیلی می خواهیم از سیستم مختصات علائم کناری به سیستم مختصات تصویر برویم.

توجیه داخلی(آنالوگ):

معرفی شرایط هندسی بخش داخلی دوربین عکسبرداری (شرایط هندسی داخل مخروط حاوی عدسی) را به پروژکتور دستگاه تبدیل توجیه داخلی می‌نامند. به عبارت دیگر با انجام توجیه داخلی هرم داخلی دوربین تشکیل شده و پرتوهای نوری در سیستم تصویر دستگاه تبدیل به دیاپوزتیو متشابه با هرم نوری نظیر آن در دوربین عکسبرداری به قاعده‌ی قاب دوربین می‌شود. یعنی زاویه شعاع نوری هر نقطه از تصویر با امتداد قائم پروژکتور باید برابر با زاویه شعاع نوری نظیر آن در زمان عکسبرداری با محور قائم دوربین شود.



هرم نوری بخش داخلی دوربین عکس برداری



هرم نوری سیستم تصویر دستگاه تبدیل

برای مشابه ساختن هرم نوری سیستم تصویر دستگاه با هرم نوری بخش داخلی دوربین باید دو مرحله‌ی زیر در یک دستگاه آنالوگ انجام شود.

الف) مرکزیت دادن (سنتر کردن): باید دیاپوزتیو را چنان در قاعده‌ی هرم نوری سیستم تصویر قرار داد که امتداد قائم آن از مرکز دیاپوزتیو بگذرد به عبارت دیگر باید مرکز دیاپوزتیو در مرکز قابل حامل آن منطبق گردد.

ب) معرفی فاصله‌ی اصلی پروژکتور (ارتفاع هرم): مقدار f باید طوری تنظیم گردد که را رابطه‌ی زیر صدق کند.

$$\frac{F'}{F} = \frac{d'}{d}$$

بدیهی است که چون توجیه داخلی در پروژکتور مستقل از هر پروژکتور دیگر است پس این عمل باید به صورت مستقل و جداگانه برای هر پروژکتور انجام شود.

نکته: تصاویر تشکیل‌دهنده‌ی مدل باید عاری از خطاهای همچون خطاهای اعوجاج عدسی، خطای تغییر بعد فیلم، خطای شکست نور در اتمسفر، خطای کشیدگی تصویر و ... باشد تا دقت انجام کار بالاتر شود. برای انجام توجیه داخلی دقیق‌تر بهتر است از مختصات عکسی پالایش شده استفاده کرد. در گذشته برای حذف برخی از این خطاها از روش‌های آنالوگ استفاده می‌شد ولی امروزه حفظ این خطاها با روش‌های کاملاً رقومی صورت می‌گیرد که به مراتب راحت‌تر دقیق‌تر و سریع‌تر است.

نکته: اگر سیستم مختصات زمینی را به صورت ژئوسنتریک در نظر بگیریم نیازی به تصحیح خطای کرویت نیست.

توجیه داخلی تحلیلی:

در توجیه داخلی تحلیلی از روابط تبدیل های دو بعدی استفاده می شود. به عبارت دیگر در سیستم های تحلیلی هدف تبدیل سیستم مختصات دستگا هی به سیستم مختصات عکسی می باشد که بسته به نوع تصویر و نوع خطاهای موجود در تصویر از انواع تبدیل های دو بعدی کانفورمال، افاین و ... استفاده می شود. لازم به ذکر است که همان طور که قبلا نیز ذکر شد برای تبدیل بین سیستم های مختصات نیاز به یک سری از نقاط می باشد که مختصات های این نقاط در سیستم ورودی و سیستم خروجی دقیقا مشخص باشد. این نقاط را نقاط کنترل می نامیم. در توجیه داخلی به روش تحلیلی نقاط کنترل همان نقاط فیدوشل مارک ها در تصویر می باشد. مختصات عکسی این فیدوشل مارک ها در فایل کالیبراسیون دوربین موجود می باشد و مختصات دستگاهی نیز در کامپیوتر قابل اندازه گیری است.

مثال:

جهت انجام توجیه داخلی در نرم افزار مختصات ۳ نقطه فیدوشل مارک را اندازه گیری کرده ایم. روش ترانسفورماسیون را Projective انتخاب کرده ایم. با انتخاب نقطه سوم کلید محاسبات پروژکتیو روشن نمی شود. علت را توضیح دهید؟

فصل چهارم:

توجیه نسبی

Relative Orientation

مهندس طالعی

مقدمه:

همان طور که گفته شد، تشکیل یک نقشه، در سه مرحله انجام می‌شود که عبارتند از توجیه داخلی، نسبی و مطلق. در این فصل به تشریح مورد دوم یعنی توجیه نسبی می‌پردازیم. لازم به ذکر است که در این فصل به دلیل آنکه توجیه نسبی تحلیلی نیاز به استفاده از معادلات شر ط هم خطی دارد و این شرط هنوز مورد بحث قرار نگرفته است، تنها به توجیه نسبی آنالوگ بسنده کرده و توجیه نسبی تحلیلی را به فصول بعد موکول می کنیم.

تعریف توجیه نسبی:

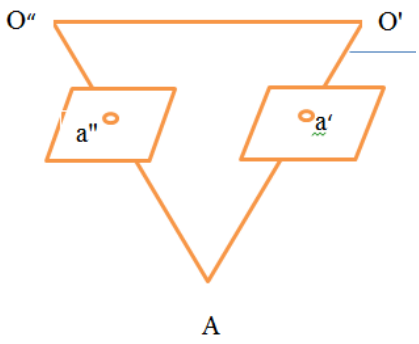
مدل سه بعدی در صورتی ساخته می‌شود که دو پروژکتور نسبت به هم، همان زوایای را بسازد که هرم دوربین در دو لحظه‌ی عکسبرداری نسبت به هم داشته‌اند. به طور خلاصه توجیه نسبی عبارت است از مولفه‌ی موقعیت هندسی دو دسته اشعه‌های نوری تصویرکننده در دو لحظه‌ی عکسبرداری نسبت به هم به دو دسته اشعه‌های نوری مربوط به دو پروژکتور دستگاه نسبت به هم.

- تعریف دیگر توجیه نسبی

توجیه نسبی عبارت است مقاطع نمودن شعاع‌های نوری نظیر از دو سیستم تصویر پروژکتور که با حذف پارالاکس y در پنج نقطه از مدل صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر حذف پارالاکس y در پنج نقطه در مدل را می‌توان تعریفی برای توجیه نسبی دانست.

هدف از توجیه نسبی تشکیل مدل سه بعدی از قسمت پوشش‌دار زوج عکس می‌باشد.

باید توجه کرد که برای ایجاد یک مدل سه بعدی باید شعاع‌های نوری دو نقطه متناظر هم، یکدیگر را در فضا قطع کنند. اگر برای ۵ نقطه از یک مدل این اتفاق به صورت همزمان بیافتد به لحاظ تئوری سایر نقاط موجود در مدل نیز دارای این خاصیت خواهند شد. به عبارت دیگر گفته می‌شود که برای هر زوج پرتو متناظر یک صفحه‌ی اپیپولار تشکیل شده است.



صفحه‌ی اپی‌پولار نقطه‌ی A گذرانده از o_1, o_2, a_1

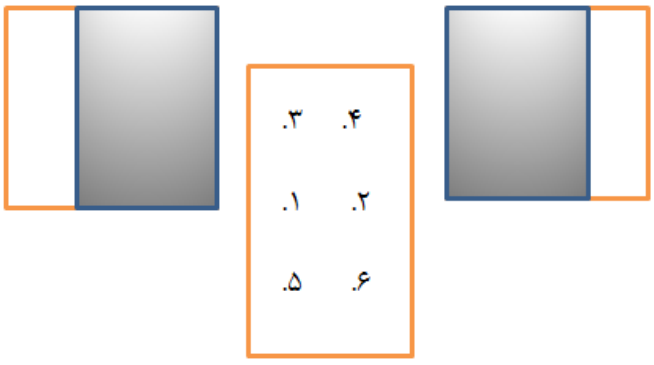
توجیه نسبی در گذشته به روش آنالوگ و بعد از آن به روش تحلیلی و امروزه به روش رقومی انجام می‌گیرد. توجیه نسبی به روش آنالوگ با استفاده از دستگاه‌های تبدیل آنالوگ صورت می‌گیرد.

در توجیه نسبی تحلیلی ابتدا مختصات نقاط عکس برروی یک زوج عکس اندازه‌گیری شده و سپس با انجام محاسبات لازم برروی مختصات‌های اندازه‌گیری شده مقادیر دوران و انتقال برای هر یک از پروژکتورها بدست می‌آید.

مبانی توجیه نسبی رقومی مشابه توجیه نسبی تحلیلی است. توجیه نسبی تحلیلی و یا رقومی هم با استفاده از معادلات شرط هم خطی و هم شرط هم صفحه‌ای قابل اجرا می‌باشد.

همان طور که گفته شد اگر به صورت هم‌زمان پنج پرتوی متناظر (پنج زوج پرتو) یکدیگر را در فضا قطع کند آنگاه کلیه پرتوهای متناظر همدیگر را در فضا قطع خواهد نمود. برای یافتن ۵ پرتوی متناظر باید نقاطی را پیدا کنیم که در داخل عکس عمل انترپولاسیون صورت‌پذیر باشد. بنابراین نقاط را دورتادور ناحیه مشترک بین زوج عکس انتخاب می‌کنیم.

شش نقطه‌ی نشان داده شده در شکل زیر، نقاط استانداردی هستند که باید پارالاکس y را برای آنان حذف کنیم. چون ما احتیاج به برآورد دقت و پیدا کردن اشتباه داریم لذا از یک نقطه‌ی اضافه (نقطه‌ی ششم) استفاده می‌کنیم تا تعداد معادلات ما از تعداد مجهولات بیشتر شود.



نقاط استاندارد در محدوده مدل

شایان ذکر است به لحاظ تئوری همان پنج نقطه کافیست. پس از حل توجیه نسبی می‌گویند که مدل سه بعدی تشکیل شده است. وقتی توجیه نسبی حل می‌شود، از دو فضای سه بعدی که مجازی است (دو سیستم مختصات عکسی) به یک فضای سه بعدی حقیقی می‌رسیم.

توجیه نسبی (۵ پارامتر) :
- ۱- آنالوگ ← استفاده از دستگاه‌های تبدیل
- ۲- رقومی ← کامپیوتر

توجیه نسبی آنالوگ:
- یک طرفه (فقط یک تصویر دوران می‌یابد)
- دو طرفه (دو تصویر دوران می‌یابد)

مشتق (تغییرات)

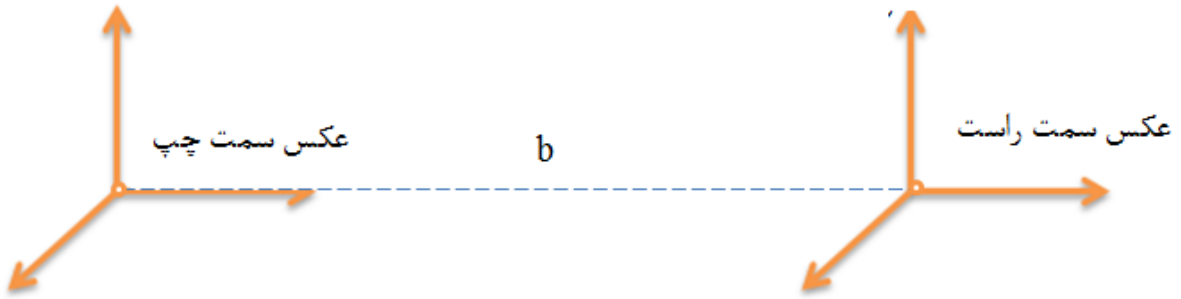
در توجیه نسبی هدف متقاطع ساختن دسته اشعه‌های نوری است به قسمی که بتوان مدل منطقه را مشاهده نمود. در اینجا می‌خواهیم بدانیم در صورتی که به یک پروژکتور به اندازه‌ی المان‌های dbx، dby و dbz حرکت انتقال و به اندازه‌ی dω، dφ و dk حرکت دورانی اعمال کنیم چه تغییر در تصویر مختصات نقاط ایجاد می‌شود.

$$dX = f1(dbx, dby, dbz.\, d\omega, b\varphi, dk)$$

$$dY = f2(dbx, dby, dbz.\, d\omega, b\varphi, dk)$$

$$\text{مشتق} => \begin{cases} dx' = dbx' + \frac{x}{z} * dbz' + \frac{xy}{z} * d\omega' - z\left(1 + \frac{x^2}{z^2}\right) d\varphi' - ydk' \\ dy' = dby' + \frac{y}{z} * dbz' + z\left(1 + \frac{y^2}{z^2}\right) d\omega' - \frac{xy}{z} d\varphi' + xdk' \end{cases}$$

دو معادله‌ی مذکور به ما می‌گوید که مولفه‌ی x و مولفه‌ی y یک نقطه در اثر دوران‌ها و انتقال پروژکتور سمت چپ چه میزان تغییر می‌کند. برای پروژکتور سمت راست معادلات مشابه معادلات فوق است با این تفاوت که باید به جای x مقدار (x-b) را جایگزین کنیم.

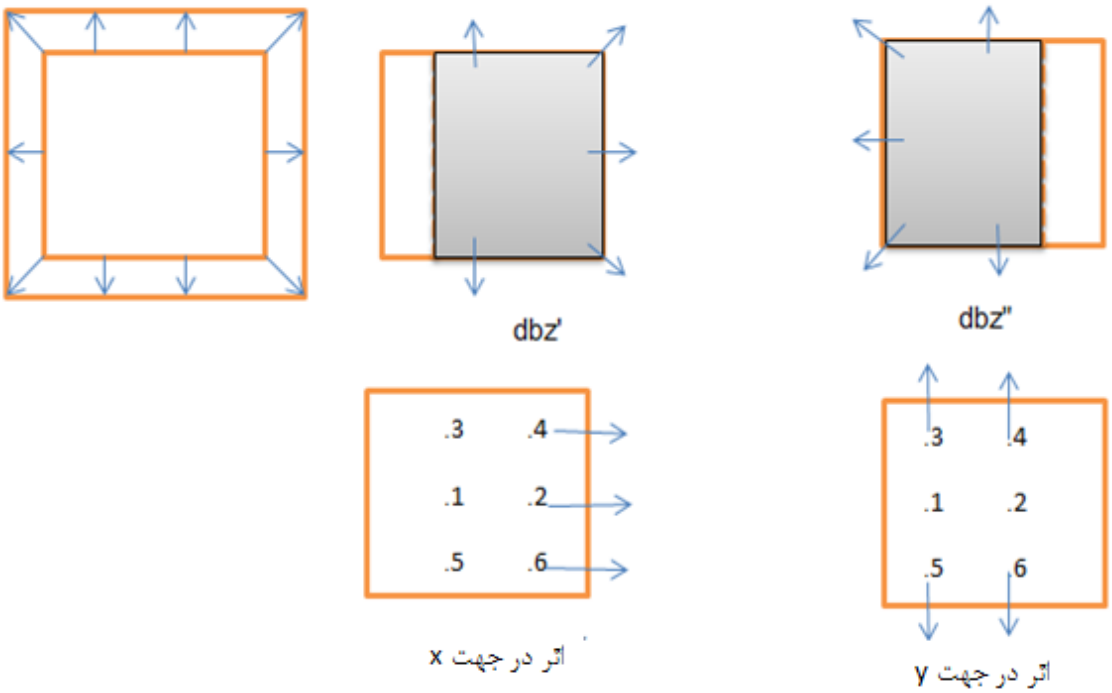


$$\text{مشتق} => \begin{cases} \mathrm{dx}' = \mathrm{dbx}' + \dfrac{(x-b)}{z} * dbz' + \dfrac{(x-b)y}{z} * d\omega' - z\left(1 + \dfrac{(x-b)^2}{z^2}\right) d\varphi' - ydk' \\ dy' = dby' + \dfrac{y}{z} * dbz' + z\left(1 + \dfrac{y^2}{z^2}\right) d\omega' - \dfrac{(x-b)y}{z} d\varphi' + (x-b)dk' \end{cases}$$

برای توجیه نسبی به دنبال حذف پارالاکس y نقاط هستیم. لذا مقادیر dx' و dx" برای ما اهمیتی ندارد. این عناصر تنها باعث تغییر در ارتفاع مدل می شود. پس تا به اینجا می‌توان از المان انتقالی و دورانی که ۵ تا مربوط به پروژکتور سمت چپ و ۵ تا مربوط به پروژکتور سمت راست می‌باشد، استفاده کرد.

در مرحله‌ی بعدی می‌خواهیم بدانیم آیا می‌توان در انجام توجیه نسبی از همه پیچ‌ها استفاده نکنیم و فقط یک سری از آن‌ها را به کار گیریم. برای پی بردن به این موضوع اثر تک‌تک دوران‌ها و انتقال‌ها را به صورت گرافیکی بررسی می‌کنیم.

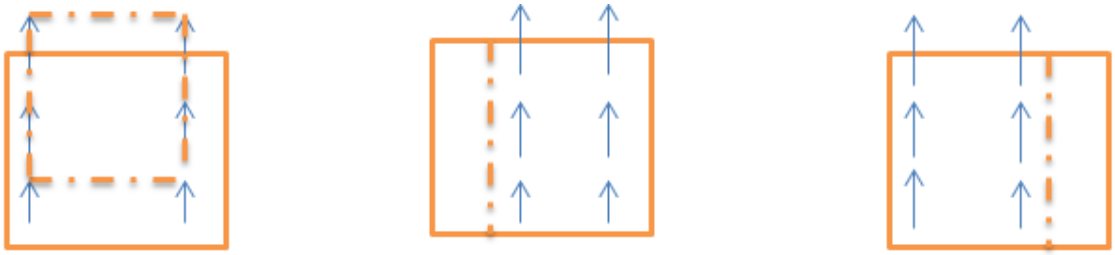
۱- **تأثیر dbz+** (حرکت انتقال در جهت z) تصویر بالا می‌آید (یعنی به طرف ناظر)



همانگونه که مشاهده می‌شود تأثیر dbz' و dbz" روی نقاط مدل یکی بوده و می‌توان یکی از آن‌ها را حذف کرد (تغییرات مولفه‌ی y را فقط از یکی استفاده می‌کنیم.)

نکته: همان‌طور که مشاهده می‌شود تأثیر دو المان مذکور بر پارالاکس y نقاط ۱ و ۲ صفر است. dbz صرفاً بر y نقاط ۳ و ۴و ۵و ۶ تأثیرگذار است در نتیجه برای حذف پارالاکس y نقاط ۱ و ۲ نمی‌توان از المان 'dbz استفاده کنیم.

۲- **تأثیر dby+** (حرکت انتقالی در جهت y)

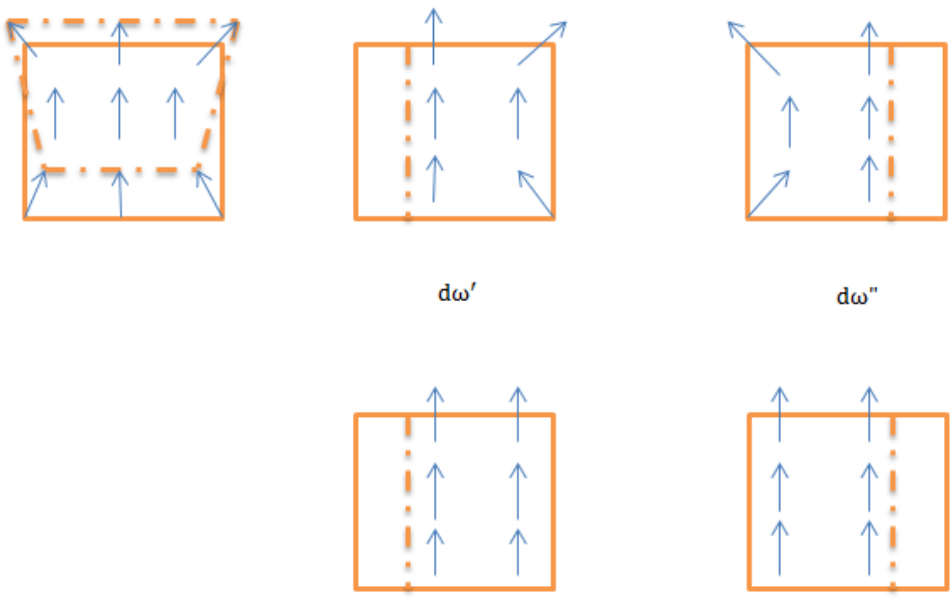


ydb'　　ydb"

همانطور که مشاهده می‌شود المان‌های عناصر 'dby و "dby برروی پارالاکس y هر ۶ نقطه مؤثر است و تأثیر مشابه‌ای دارد. و تاثیرشان روی نقاط مدل یکی بوده و می‌توانیم یکی از آن‌ها را نیز حذف کنیم تا اینجا از ۱۰ پیچ دو پیچ حذف شد.

۳- **تأثیر dbx+**: چون در توجیه نسبی هدف حذف پارالاکس y است و ما در این مولفه‌ی y نداریم لذا از المان‌های 'dbx و "dbx در توجیه نسبی نمی‌توان بهره برد.

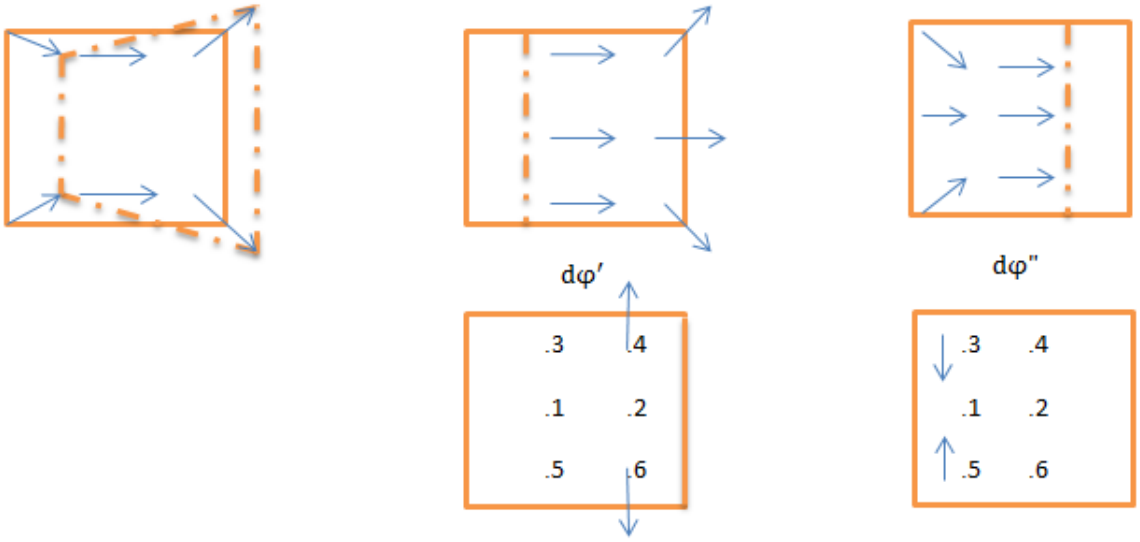
۴- **تاثیر dω+:** (دوران حول محور x)



dω'　　dω"

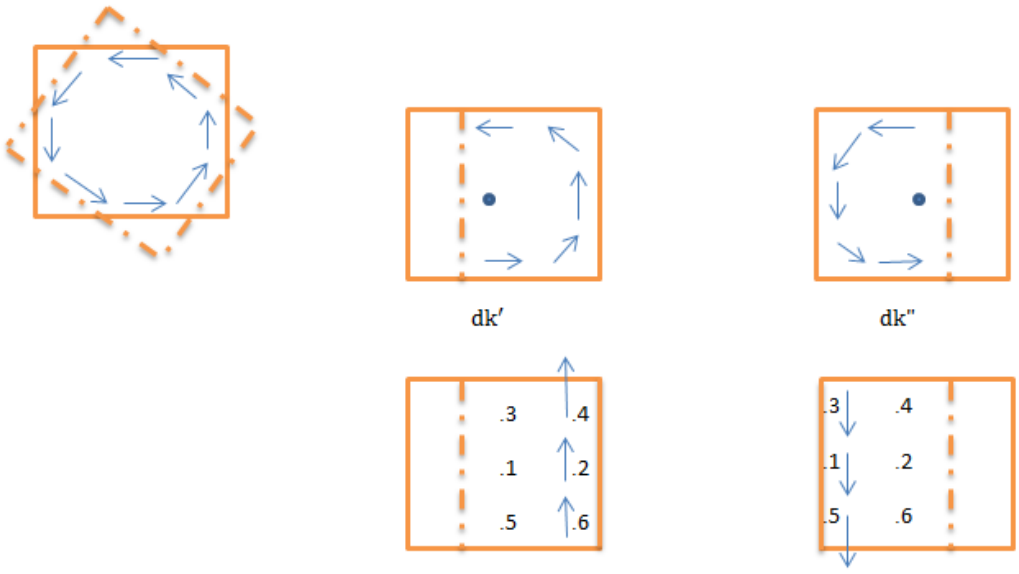
همانطور که مشاهده می‌شود عنصر dω' و dω" بر پارالاکس y در هر ۶ نقطه‌ی استاندارد توجیه نسبی موثر است ولی تأثیر آن‌ها در نقاط ۳ و ۴ و ۵ و ۶ خیلی بیشتر از نقاط ۱ و ۲ می‌باشد. استفاده از پیچ‌های w' و w" نیز برروی مدل اثر یکسان دارد پس می‌توان یکی را حذف نموده و از دیگر استفاده کرد.

۵- **تأثیر dφ+**: (دوران حول محور y)



همانطور که مشاهده می‌شود المان dφ' صرفاً بر پارالاکس y نقاط ۴ و ۶ مؤثر است و المان dφ" صرفاً بر نقاط ۳ و ۵ تأثیرگذار است. تأثیر این المان‌ها برروی نقاط مدل یکسان نیست پس برای حذف پارالاکس y احتیاج به هردوی این پیچ‌ها می‌باشد.

۶- **تأثیر dk+**: (دوران حول محور z)



در ایجا نیز مشاهده می‌شود که پیچ k' فقط برروی نقاط ۶ و ۴ و ۲ تأثیرگذار است و k" برروی نقاط ۵ و ۳ و ۱ تأثیرگذار می‌باشد. پس به این نتیجه می‌رسیم که نمی‌توان پیچ‌های دورانی k' یا k" را حذف کرد و از هر دوی این پیچ‌ها باید استفاده نمود.

نکته: با توجه به موارد ذکر شده پیچ‌های زیر در توجیه نسبی به کار برده می‌شود.

dk', dk", dω', dφ', dφ" , dby', dbz'

dω" dby" dbz"

نکته ۱: در صورتی که توجیه نسبی یک طرفه باشد تنها از عناصر دورانی و انتقالی یک پروژکتور استفاده می‌شود پس در انتخاب پیچ‌ها یا (پریم‌ها '□) وجود دارند یا (زگوندها "□).

نکته ۲: اگر توجیه نسبی یک طرفه و از طریق پروژکتور سمت چپ صورت پذیرد فقط (پریم‌ها '□) حضور دارد. اگر توجیه نسبی یک طرفه و از پروژکتور سمت راست استفاده شود فقط (زگوندها "□) وجود دارد.

مولفه‌های توجیه یک طرفه با استفاده از پروژکتور سمت چپ:

dk', dω', dg', dby', dbx'

مولفه‌های توجیه یک طرفه با استفاده از پروژکتور سمت راست:

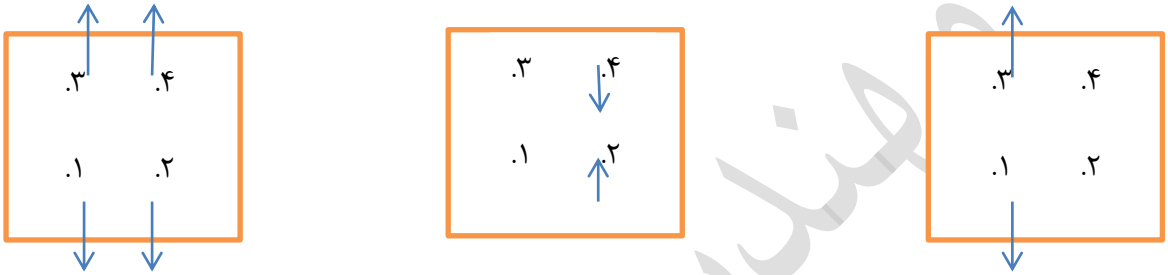
dk", dω", dg", dby", dbx"

نکته ۳: در صورتی که فقط دوران داشته باشیم الزاماً توجیه نسبی دو طرفه صورت می‌گیرد.

در ادامه می‌خواهیم ببینیم آیا باز هم می‌توان تعداد پیچ‌های مورد نیاز را کم کرد یا خیر؟ برای این هدف نگاه می‌کنیم ببینیم آیا تأثیر همه‌ی پیچ‌ها مستقل از یکدیگر هستند یا می‌توان پیچ‌های را پیدا کنیم که تأثیرشان وابسته باشد. یعنی اثر آن‌ها را بتوان با ترکیب پیچ‌های دیگر اعمال کرد (مفهوم وابستگی).

به این ترتیب داریم:

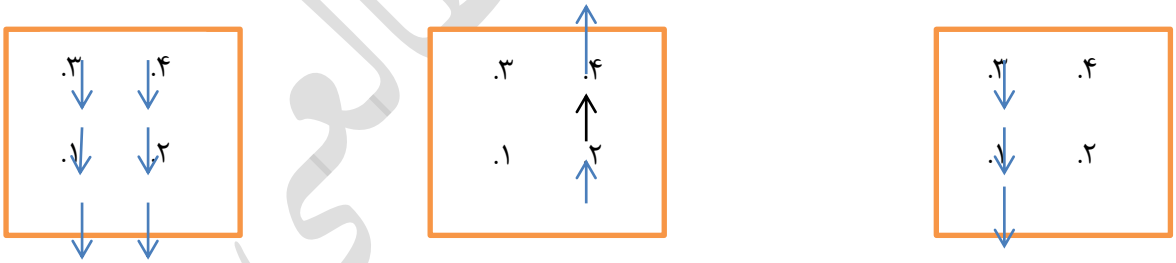
1 - dbz را با ترکیب dφ' و dφ'' در نظر می‌گیریم:



dbz dφ′ dφ"

در نتیجه dbz را حذف و از dφ' و dφ" استفاده می‌کنیم (پس dφ' را منفی می‌کنیم.)

۲- ترکیب dby را با dk' و dk'' در نظر می‌گیرد.



dby dk′ dk"

سپس dk' را باید منفی در نظر گیریم.

در نتیجه dby را حذف و از dk' و dk" استفاده می‌کنیم.

بدین ترتیب تنها پنج پیچ دورانی dφ' و dφ" و dω و dk' و dk" برای انجام توجیه نسبی کافی می‌باشد.

پیچ‌های مورد نیاز برای توجیه نسبی دو طرفه

dφ', dφ", dω', dk', dk"

پیچ‌های مورد نیاز برای توجیه نسبی سمت چپ:

dφ', dω', dk', dby', dbz'

پیچ‌های مورد نیاز برای توجیه نسبی سمت راست:

dφ', dω'', (dω'), dk'', dby'', dbz''

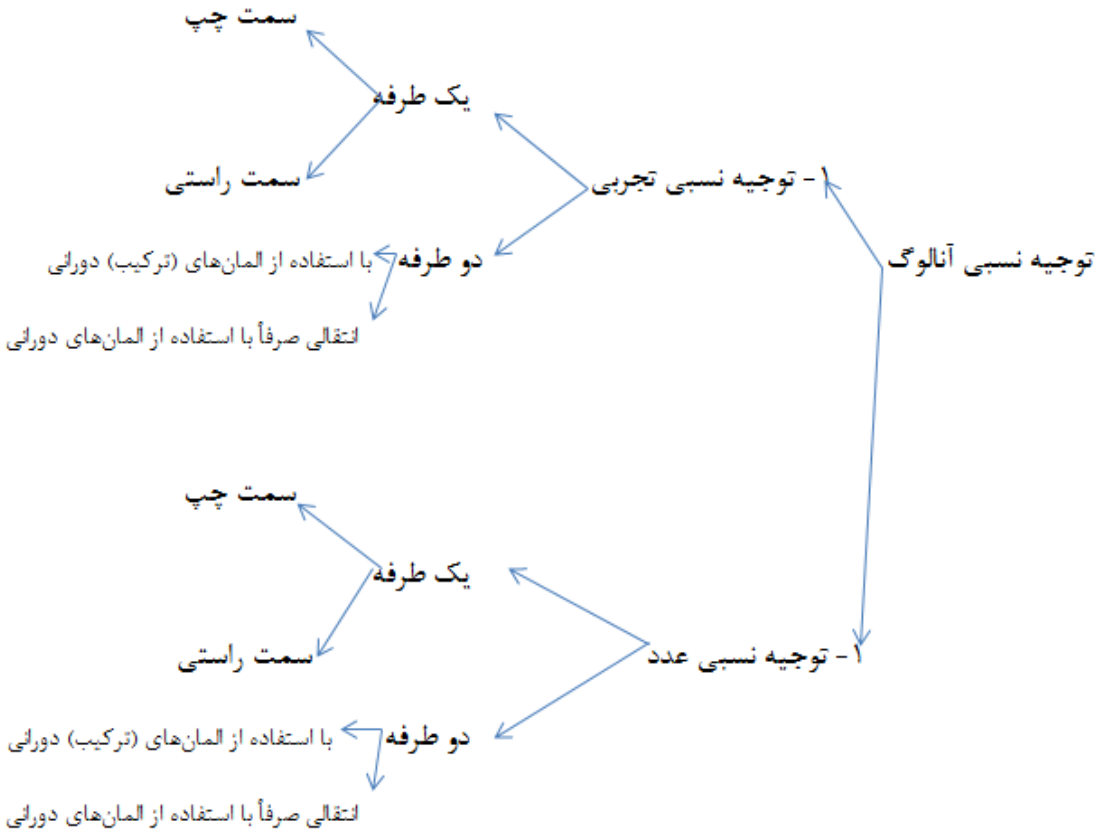
حال که با تأثیر پیچ‌های انتقالی و دورانی روی نقاط مدل و تعداد پیچ‌های مورد نیاز آشنا شدیم می‌توان توجه نسبی مدل را انجام دهیم. برای این کار اگر پارالاکس y موجود در پنج نقطه‌ی استاندارد مدل را حذف کنیم می‌توان ادعا کرد که این پارالاکس y برای کل مدل حذف شده است.

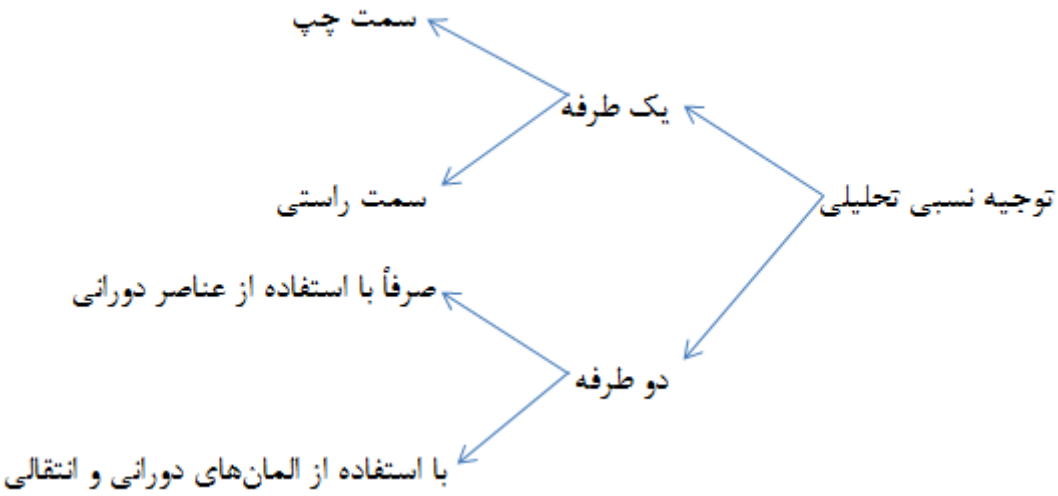
این کار را می‌توان برای هر نقطه از یک مدل (با استفاده از یک پیچ) انجام دهیم، ولی نکته‌ای که باید در نظر گرفت آن است که مثلاً پارالاکس نقطه‌ی ۱ را حذف کرده‌ایم و حال می‌خواهیم پارالاکس نقطه‌ی ۲ را حذف کنیم. باید در نظر گرفت که پیچی که در نقطه‌ی دو باید استفاده شود نباید تأثیری در نقطه‌ی ۱ داشته باشد. به عبارت دیگر حذف پارالاکس نقطه‌ی ۲ نباید منجر به وجود آمدن پارالاکس در نقطه‌ی ۱ شود.

نمودار انواع روش‌های توجیه نسبی:

۱- توجیه نسبی آنالوگ: با استفاده از دستگاه‌های تبدیل

توجیه نسبی تحلیلی: با استفاده از ریاضیات دقیق


توجیه نسبی آنالوگ
۱- توجیه نسبی تجربی
یک طرفه
سمت چپ
سمت راستی
دو طرفه
با استفاده از المان‌های (ترکیب) دورانی
انتقالی صرفاً با استفاده از المان‌های دورانی
۱- توجیه نسبی عدد
یک طرفه
سمت چپ
سمت راستی
دو طرفه
با استفاده از المان‌های (ترکیب) دورانی
انتقالی صرفاً با استفاده از المان‌های دورانی


توجیه نسبی تحلیلی
یک طرفه
سمت چپ
سمت راستی
دو طرفه
صرفاً با استفاده از عناصر دورانی
با استفاده از المان‌های دورانی و انتقالی

توجیه نسبی دوطرفه:

در توجیه نسبی دو طرفه، می توان از پیچ های هر دو پروژکتور استفاده کرد. این نوع توجیه نسبی می تواند تنها با استفاده از عناصر دورانی و یا عناصر دورانی- انتقالی صورت پذیرد. برای اینکه بهتر بتوان موضوع را فهمید به عملکرد هر کدام از پیچ های دورانی بر روی هر نقطه استاندارد از مدل می پردازیم:

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۱: dk" و dω'

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۲: dk' و dω'

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۳: dk" و dφ" و dω'

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۴: dk" وdφ' و dω'

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۵: dk" و dφ" و dω'

اگر بخواهیم صرفا از عناصر دورانی استفاده کنیم می بایست برای این امر برای هر نقطه از عناصری که زیر آنها خط کشیده شده است استفاده نمود. با اندکی تامل می توان فهمید که اگر جهت انجام توجیه نسبی به غیر از پیچ های نشان داده شده از دیگر پیچ ها استفاده شود از آنجایی که بر نقاط دیگر تاثیر گذار است، باعث می شود که در نقاطی که قبلا پارالاکس y آنها حذف شده است پارالاکس ایجاد گردد.

توجیه نسبی یک طرفه با استفاده از پروژکتور سمت چپ:

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۱: dby' و dω'

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۲: dk' و dω' و dby'

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۳: bdy' و dbz' و dω'

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۴: dk' و dφ' و dω' و dbz' و bdy'

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۵: dbz' و bdy' و dω'

لازم به ذکر است که اعمال این دوران‌ها و انتقال‌ها باید به ترتیب صورت گیرد. همچنین چون مقدار dω' در سایر نقاط نیز تأثیر دارد حتماً باید این مراحل چندین بار تکرار شود.

توجیه نسبی یک طرفه با استفاده از پروژکتور سمت راست:

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۱: dby' و dω' و dk"

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۲: dω' و dby''

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۳: dφ'' و dbz' و bk'' و dby' و dω''

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۴: dω'' و dbz'' و bdz''

پیچ‌های مؤثر در حذف پارالاکس y نقطه‌ی ۵: bk'' و dφ'' و dbz'' و bdy'' و dω''

همان‌طور که قبلاً گفته شد توجیه نسبی را هم می‌توان به شیوه آنالوگ و هم به صورت تحلیلی انجام داد در گذشته از روش آنالوگ و امروزه به شیوه‌ی تحلیلی یا رقومی توجیه نسبی را حل می‌کنیم.

توجیه نسبی آنالوگ خود به دو روش عددی و تجربی قابل انجام است.

در توجیه نسبی آنالوگ به شیوه‌ی تجربی اپراتور از طریق آموزش‌ها و با استفاده از تجربیات خودش اقدام به حذف پارالاکس y می‌نماید.

در توجیه نسبی آنالوگ به شیوه‌ی عددی نیز اپراتور از دستگاه تبدیل استفاده می‌کند. لیکن به جای آن که خود از تجربه‌ی شخصی‌اش برای حذف پارالاکس y استفاده کند از یک سری فرمول‌ها و معادلات استفاده کرده که مبتنی بر میزان پارالاکس y اولیه در هر یک از ۶ نقطه‌ی استاندارد می‌باشد. این فرمول‌ها بدین صورت بود که مقدار هر یک از المان‌های دورانی و یا انتقالی را که می‌توانست منجر به حذف پارالاکس y شود را به ما می‌داد.

شایان ذکر است که فرمول‌های توجیه نسبی عددی نسبتاً دقیق بود و نه کاملاً. به خاطر آن که در این فرمول‌ها از یک سری تقریبات استفاده شده بود.

نکته مهم: حال این سوال پیش می‌آید که روش تجربی بهتر است یا عددی؟

حقیقت این است که با آن که معادلاتی که برای حل عددی توجیه نسبی به کار گرفته می‌شود نسبتاً دقیق است ولی چون دستگاه‌های فتوگرامتری کالیبره نبوده‌اند لذا با معادلات مذکور هماهنگی کاملی نداشت. بنابراین توجیه تجربی هم به دلیل این که برای اپراتور آسان‌تر از توجیه نسبی عددی بود و هم به دلیل آن که با عملیات سعی و خطا میزان پارالاکس y به حداقل ممکن می‌رسید ارجحیت داشت.

بنابراین در گذشته در سازمان‌هایی که به روش فتوگرامتری آنالوگ با استفاده از عکس‌های هوایی اقدام به تهیه نقشه می‌نمودند (سازمان نقشه‌برداری و سازمان جغرافیایی) توجیه نسبی آنالوگ به روش تجربی رایج بود و نه آنالوگ عددی.

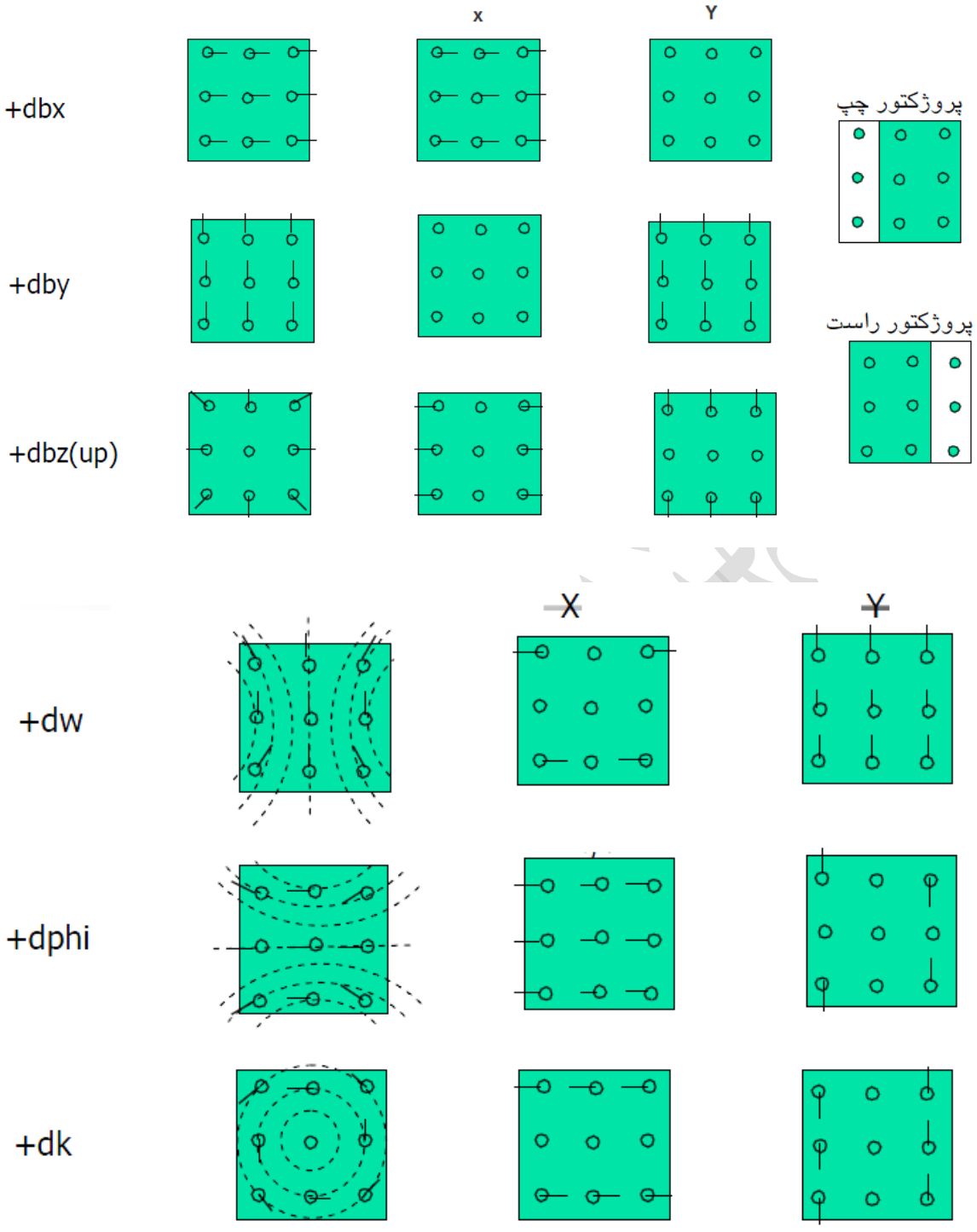
توجیه نسبی یک طرفه

در توجیه نسبی یک طرفه هدف آن است که جهت حذف پارالاکس y تنها از پیچ‌های مربوط به یکی از پروژکتورها استفاده کرد و کاری به پیچ‌های پروژکتور دیگر نخواهیم داشت حسن استفاده از این روش آن است در مدل پیوسته در دستگاه‌های تبدیل کاربرد دارد (مدل پیوسته: مدل سه بعدی کل منطقه).

توجیه نسبی دو طرفه

در توجیه نسبی دو طرفه استفاده از هر دو پیچ‌های پروژکتورها مجاز می‌باشد و می‌توان هر دو پیچ را حرکت داد.

لازم به ذکر است که توجیه نسبی به طریقه تحلیلی نیز صورت می پذیرد و امروزه تنها روشی که عملا کاربرد دارد و نرم افزار های فتوگرامتری طبق آن عمل توجیه نسبی را انجام می دهند نیز همین روش تحلیلی است. توجیه نسبی تحلیلی با استفاده از معادلات شرط هم خطی و هم صفحه ای صورت می پذیرد و در آینده به صورت مختصر بررسی می گردد. توجیه نسبی تحلیلی در درس فتوگرامتری ۳ به صورت کامل تشریح می گردد.


x
Y
+dbx
پروژکتور چپ
+dby
پروژکتور راست
+dbz(up)
X
Y
+dw
+dphi
+dk

فصل پنجم:

توجیه مطلق

مهندس طالعی

مقدمه:

در توجیه مطلق هدف آن است که از سیستم مختصات مدل به سیستم مختصات زمینی برسیم. یعنی کاری کنیم تا تمام نقاط مدل دارای مختصات‌های زمینی گردد. بدین منظور می‌بایست یک تبدیل کانفرمال سه بعدی صورت پذیرد. پارامترهای این تبدیل سه بعدی هفت پارامتر زیر است:

Ω و ϕ و K (دوران حول محورهای x و y و z)

X_c و Y_c و Z_c (شیفت درجه‌ها X و Y و Z)

λ ضریب مقیاس

نکته: تنها توجیه مطلق نیاز به نقاط کنترل زمینی دارد و دیگر توجیهات نیازی به نقاط زمینی ندارند.

معادله‌ی کانفرمال سه بعدی به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{bmatrix} X- \\ Y- \\ Z- \end{bmatrix} = \lambda R \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$R = R\Omega . R\varphi . Rk = R\Omega\varphi k$$

در روابط فوق ماتریس دورانی R یک ماتریس متعامد است. ماتریس متعامد ماتریسی است که مجموع سطر و ستون‌ها ۱ می‌شود. همچنین معکوس متریس برابر با ترانهاده آن است.

نکته: هر نقطه‌ی کنترلی روی زمین سه پارامتر دارد.

در معادله‌ی فوق ماتریس R یک ماتریس متعامد سه بعدی است یعنی $(R^{-1}= R^T)$ همچنین می‌توان از سیستم مختصات زمینی به سیستم مختصات مدل رسید برای این کار کافی است که معادلات معکوس بالا را بنویسیم.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} R^{-1} \begin{bmatrix} X- \\ Y- \\ Z- \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda} M \begin{bmatrix} X- \\ Y- \\ Z- \end{bmatrix}$$

مسئله: در صورتی که پنج نقطه‌ی کنترل زمینی داشته باشیم و بخواهیم با یک کانفرمال سه بعدی توجیه مطلق را حل کنیم تعداد معادلات، تعداد مجهولات و درجه آزادی را بنویسید؟

تعداد معادلات = ۵ × ۳ = ۱۵ $\qquad$ df = ۱۵-۷ = ۸

۷= تعداد مجهولات

نکته: مجهولات توجیه مطلق را می‌توان به دو دسته تقسیم شود:

دسته‌ی اول شامل چهار پارامتر می‌باشد که این چهار پارامتر عبارتند از:

λ و k و X_c و Y_c

و دسته دوم شامل:

Ω و ϕ و Z_c

علت این دسته‌بندی آن است که با اندکی توجه در می‌یابیم که چهار پارامتر اول مسطحاتی می‌باشدو ۳ پارامتر دیگر بر روی ارتفاع تاثیر گذار است.

مجهول‌های فوق برای راحت‌تر کردن مدل توجیه مطلق به دو دسته‌ی مسطحاتی و ارتفاعی تقسیم شده‌اند، به چهار مجهول مسطحاتی اصطلاحاً مجهولات (Scaling) و به سه مجهول ارتفاعی مجهولات (Leveling) گفته می‌شود.

روش دیگری برای حل توجیه مطلق وجود دارد که به روش M_4M_3 معروف است. این روش بدین گونه است که ابتدا مجهولات Scaling را حل کرده و سپس سراغ مجهولات Leveling می‌رویم و این عملیات را به صورت تکراری انجام داده تا خطا حذف گردد.

نکته: توجیه مطلق در صورتی که نقاط فول (نقاطی که دارای x و y و z دقیق می‌باشد) در دسترسی باشد با حداقل سه نقطه قابل حل می‌باشد.

در روش M_4M_3 ابتدا چهار مجهول Scaling با استفاده از یک تبدیل کانفورمال ۲ بعدی حل می گردد. پس از آن می توان مجهولات Leveling را حل نمود.

برای حل توجیه مطلق از روش M_4M_3 می‌توان از انواع نقاط کنترل زمینی بهره گرفت، مرحله‌ی scaling با دو نقطه‌ی فول یا دو نقطه‌ی کنترل مسطحاتی قابل حل است. مرحله‌ی Leveling را می‌توان با حداقل ۳ نقطه ارتفاعی یا ۳ نقطه‌ی فول انجام داد. نقاط فوق حداقل نقاط لازم می‌باشد که به لحاظ تئوری جواب‌گو است ولی در عمل تعداد نقاط را بیشتر در نظر می‌گیریم تا به دقت بالاتری برسیم.

نکته: مجهولات Scaling و Leveling باید با استفاده از نقاط کنترل مسطحاتی با ارتفاعی در اطراف مدل حل شود.

$B = a * s * (1 - \%\ Overlap)$ $a =$ اندازه ظلع قاب دوربین

$d = a * s * (1 - \%\ Sidelap)$

مثال: اگر مقیاس عکس را $\frac{1}{6000}$ در نظر بگیریم و ابعاد آن را ۲۳ سانتی‌متر با پوشش طولی ۶۰ درصد و پوشش عرضی ۲۵ درصد همچنین سرعت هواپیما برای ۲۵۰ کیلومتر بر ساعت باشد فاصله‌ی زمانی بین دو عکس‌برداری متوالی را بدست آورید؟

$B = 0.23 * 6000 * (1 - 0.60) = 552m$ $a =$ اندازه ظلع قاب دوربین

$$X = v.t => t = \frac{X}{V} \quad => Vm/s = 2500 * \left(\frac{1000}{3600}\right) = 69050m/s$$

$$t = \left(\frac{552}{69.50}\right) = 7.94s$$

تمرین: با فرض آن که هر یک از پارامترهای توجیه مطلق محاسبه شده و برابر با (Ω=1°) (ϕ=2°) (K=3°) باشد مختصات هر یک از نقاط p و q را در سیستم مختصات زمینی محاسبه نماید.

nombN	x	y	z
P	۲۲۲	۴۴۴	۳۳۳
Q	۱۱۱	۵۵۵	۷۷۷

$Xc = 5000m$

$Yc = 6000m$

$Zc = 1.34$

$\lambda = 10000$

توجه داشته باشید که ماتریس M که حاصل ضرب ماتریس‌های M بود به صورت زیر بدست می‌آید :

$$M = \begin{bmatrix} cos\emptyset.cosk & cos\emptyset.sink + sin\Omega.\sin\varphi.\cos k & sin\Omega.\sin k - \cos\Omega.\sin\varphi \\ -cos\emptyset.sink & cos\Omega.\sin k - \sin\Omega.\sin\varphi - \sin k & sin\Omega.\cos k + \cos\Omega.\sin\varphi \\ sin\emptyset & -sin\Omega.\cos\varphi & cos\Omega.\cos\varphi \end{bmatrix}$$

نکات:

نکته ۱: در عملیات توجیه داخلی احتیاج به نقطه‌ی کنترل زمینی نیست.

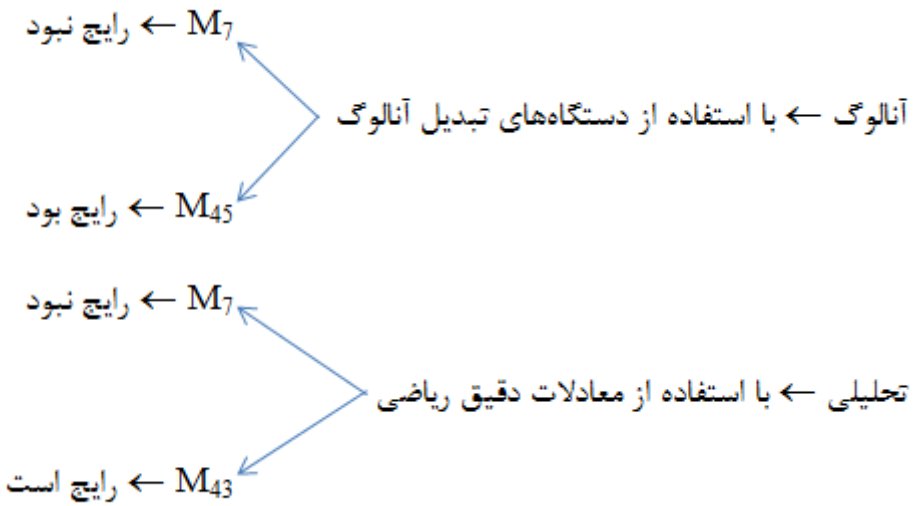
نکته ۲: در عملیات توجیه نسبی احتیاج به نقطه‌ی کنترل زمینی نیست.

نکته ۱: در عملیات توجیه مطلق به چند نقطه‌ی کنترل زمینی احتیاج داریم.

مقایسه‌ی بین ورودی و خروجی توجیه مطلق، نسبی، داخلی

نام عملیات	ورودی	خروجی
توجیه داخلی	یک عکس که توجیه داخلی نشد	یک عکس که توجیه داخلی شد
توجیه نسبی	یک زوج عکس که تک‌تک عکس‌ها توجیه داخلی شده ولی نسبت به هم توجیه نشده	مدل ۳ بعدی که فاقد مختصات زمینی است
توجیه مطلق	مدل سه بعدی حاصل از عملیات توجیه نسبی	مدل سه بعدی که دارای مختصات زمینی واقعی است

توجیه مطلق(M7)



منظور از M_7 آن است هر هفت مجهول توجیه مطلق را یکجا حل کنیم و مقصود را M_4M_3 آن است که از میان این هفت مجهول ابتدا چهار مجهول Scaling (K, X, Y_0) را محاسبه کنیم و سپس در مرحله‌ی بعد سه مجهول Leveling را بدست آوریم.

علت تفکیک این هفت مجهول به دو دسته‌ی مسطحاتی و ارتفاعی این است که چهار مجهول اول نقش مسطحاتی دارد (به استثنای λ) که به آن‌ها مجهولات مسطحاتی یا مجهولات Scaling (مقیاس‌گذاری) و سه مجهول دیگر نقش ارتفاعی داشته و آن‌ها مجهولات ارتفاعی یا Leveling (ترازگذاری) می‌گوییم.

چون در فاز M_4 دنبال حل مسطحاتی هستیم و Z نقاط کنترل زمینی احتیاجی نداریم پس برای ما فرقی نمی‌کند که نقطه‌ی کنترل از نوع فول باشد یا از نوع مسطحاتی.

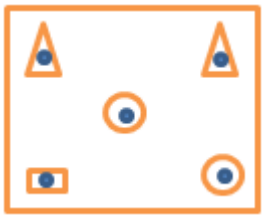
انواع نقاط کنترل از نقطه‌نظر معلوم و یا مجهول بود (Z, Y, X) آن

الف) نقطه‌ی کنترل فول: به نقطه‌ی کنترلی گویند که Z, Y, X آن دقیقاً معلوم است و آن را با نماد نمایش می‌دهند.

ب) نقطه‌ی کنترل مسطحاتی: درآن Y, X دقیق است و Z تقریبی این نقطه را با نماد نشان می‌دهند.

ج) نقطه‌ی کنترل ارتفاعی: نقطه‌ای که ترازیابی شده Z آن دقیق و X و Y آن تقریبی با نماد نشان داده می‌شود.

مثال: فرض کنید می‌خواهیم مدل سه بعدی را با استفاده از روش M_7 توجیه مطلق تحلیلی کنیم با توجه به شکل زیر و نوع نقاط مورد استفاده تعداد معادلات، تعداد مجهولات و درجه آزادی را محاسبه نماید؟



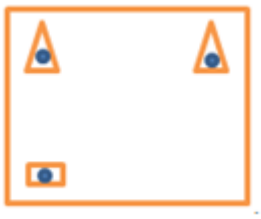
جواب: برای هر نقطه با توجه به معادلات کانفرمال سه بعدی سه معادله می‌توان نوشت در نتیجه ۵ نقطه‌ی کنترل داریم که ۱۵=۳ × ۵ معادله ولی چون برای همه‌ی نقاط صرف‌نظر از نوع آن معادله نوشته‌ایم باید در محاسبات تعداد مجهولاتی دقت کنیم. اولاً ۷ پارامتر مجهول مربوط به کانفرمال سه بعدی داریم ثانیاً Y و X نقطه‌ی (f, c) و همچنین (Z) نقطه‌ی (D) را باید در نظر گرفت بنابراین تعداد مجهولات برابر با

$$7 + 2 + 2 + 1 = 12$$

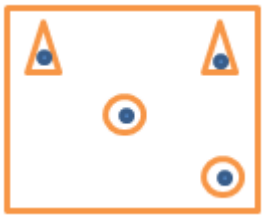
پس درجه‌ی آزادی برابر است با: $df = 15 - 12 = 3$

مثال: مسئله‌ی قبل را فرض آن که بخواهیم از توجیه مطلق تحلیلی به روش M_{43} ($_4M_3$) استفاده کنیم را حل کنید؟

الف) در حل M_4 از کانفرمال دو بعدی بهره می‌گیریم. که دارای چهار پارامتر مجهول ۱ بنابراین در این مرحله صرفاً نقاط کنترل فول و مسطحاتی کاربرد دارد.



حال به سراغ مرحله‌ی M_3 می‌رویم در این مرحله به نقاط کنترل مسطحاتی نیازی نیست و چون تنها برای Z هر نقطه یک معادله بیشتر نمی‌توان نوشت. بنابراین تعداد معادلات برابر ۴= ۱ × ۴ می‌باشد.



تعداد مجهولات نیز همان سه مجهول M_3 است. سپس در کل تعداد کل معادلات ۱۰=۴+۶ تعداد کل مجهولات ۷=۴+۳

df =۱۰-۷ =۳

فصل ششم:

توجیه خارجی

مهندس طالعی

مقدمه:

توجیه خارجی عبارت است از تعیین پارامترهای بیان‌کننده موقعیت تصویر (توجیه نسبی) و وضعیت تصویر (توجیه نسبی) در سیستم مختصات زمینی. نقطه‌ی مرکز تصویر نشانگر موقعیت عکس و سه پارامتر (Ω و ϕ و K) نشان‌دهنده‌ی وضعیت تصویر هستند.

به عبارت دقیق‌تر توجیه خارجی عبارت است از بازسازی مجدد موقعیت و وضعیت دوربین عکسبرداری، دقیقاً مطابق با لحظه‌ی عکس‌برداری که شامل شش پارامتر مجهول برای هر عکس می‌باشد که آن‌ها را می‌توان به دو دسته زیر تقسیم نمود.

الف) پارامترهای موقعیت مرکز تصویر در لحظه‌ی عکس‌برداری در سیستم مختصات زمینی

ب) پارامترهای دوران عکس در لحظه‌ی عکس‌برداری که به آن‌ها المان‌های توجیه زاویه‌ای نیز می‌گویند.

سه روش کلی برای رسیدن به مختصات زمینی با استفاده از فتوگرامتری وجود دارد:

۱-

توجیه مطلق ⟵ توجیه نسبی ⟵ توجیه داخلی

۲-توجیه خارجی <====== توجیه داخلی

۳-Self calibration -سلف کالیبراسیون

روش سوم جدیدتر از روش دوم و روش دوم جدیدتر از روش اول است.

به لحاظ دقت نیز به همین شکل می‌باشد یعنی روش سوم دقیق‌تر از روش دوم و روش دوم از روش اول دقیق‌تر است.

علت دقیق‌تر بودن آن نیز این است که عملیات‌های توجیه داخلی و خارجی و مجهولات آن‌ها یکجا حل می‌شود.

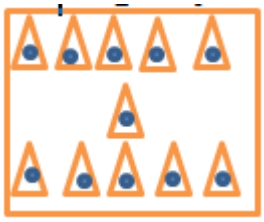
نکته: معمولاً در فتوگرامتری هنگامی که مجهولات را به صورت همزمان حل می‌کنیم به دقت بیشتری دست می‌یابیم، ضمن اینکه معمولاً شاهد افزایش سرعت اجرای کار نیز هستیم.

نکته: همانطور که قبلاً گفته شد در توجیه خارجی هر عکس‌دارای ۶ پارامتر است پس مجموعاً دارای ۱۲ پارامتر می‌باشند که در توجیه خارجی هر ۱۲ پارامتر به صورت یکجا حل می‌شود.

امروزه اکثر نرم‌افزارهای فتوگرامتری به جای آن که توجیه نسبی و مطلق را جداگانه حل کند به یکباره توجیه خارجی را انجام می‌دهد. روش حل توجیه خارجی با استفاده از معادلات شرط هم خطی است. این معادلات در ادامه توضیح داده خواهد شد. فقط لازم است بدانیم که به ازای هر نقطه کنترل در هر عکس با استفاده از معادلات شرط هم خطی ۲ معادله ایجاد می گردد.

مثال: با فرض آن که هدف پیدا کردن پارامترهای مجهول توجیه خارجی عکس زیر باشد تعداد معلومات و مجهولات را محاسبه کنید؟

نکته برای حل مسئله: روش شرط هم خطی به ازای هر نقطه در هر عکس دو معادله به ما می‌دهد بنابراین یک نقطه و متناظر آن در عکس دیگر چهار معادله تولید می‌کند.



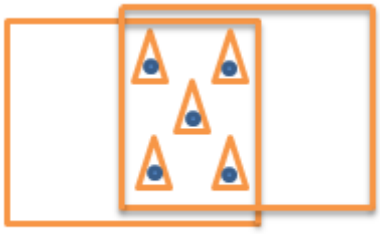
با استفاده از معادلات شرط هم خطی برای هر نقطه دو معادله می‌توان نوشت پس:

$$\text{تعداد معادلات} = 11 * 2 = 22$$

$$\text{تعداد مجهولات} = 6$$

$$\text{df} = 22 - 6 = 16$$

مثال: در صورتی که هدف توجیه خارجی زوج عکس زیر باشد (با استفاده از معادلات شرط هم خطی تعداد معادلات، مجهولات و درجه آزادی؟



جواب: چون دو عکس داریم پس تعداد مجهولات برابر است با: ۱۲= ۲ × ۶

تعداد معادلات ۲۰= ۱۰= ۵×۲ + ۱۰= ۵×۲

df =۲۰-۱۲ =۸

فصل ۷:

شرط هم‌خطی و هم صفحه‌ای و کاربردهای آن

مهندس طالعی

مقدمه:

برای حل مسائل مختلف مطرح شده در فتوگرامتری لازم است تا به وسیله‌ی یک سری از معادلات شرط ارتباط بین مشاهدات و پارامترهای مورد نیاز مشخص گردد.

از این نوع معادلات، که بیشترین استفاده را در فتوگرامتری دارند می‌توان به معادلات شرط هم‌خطی و هم صفحه‌ای اشاره کرد. این معادلات به همراه اثبات آنها در درس فتوگرامتری ۳(تحلیلی) به صورت مفصل بحث می گردد. ولی به دلیل اهمیت این مطلب و استفاده از این شروط در مطالب این جزوه، مروری مختصر بر آنها داریم.

شرط هم خطی:

این شرط بر این اصل استوار است که نقطه تصویربرداری، نقطه تصویر و نقطه نظیر آن بر روی زمین، همگی بر روی یک خط قرار گرفته اند و طبق آن:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \lambda R \begin{bmatrix} x \\ \mathrm{y} \\ \mathrm{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x0 \\ \mathrm{Y0} \\ \mathrm{Z0} \end{bmatrix} => \begin{bmatrix} x - & x0 \\ y - & y0 \\ z - & z0 \end{bmatrix} = \lambda R \begin{bmatrix} x \\ \mathrm{y} \\ \mathrm{z} \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{\lambda} = k \ , R^t = \mathrm{R}^{-1} R^t = M$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = kM \begin{bmatrix} x - & x0 \\ y - & y0 \\ z - & z0 \end{bmatrix}$$

در یک سیستم مختصات عکسی، برداری که نشان‌دهنده‌ی موقعیت نقطه‌ای مثل p است به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\vec{\mathrm{r}} = \begin{bmatrix} xp - & x0 \\ yp - & y0 \\ 0 - & f \end{bmatrix}$$

همچنین در یک سیستم مختصات زمینی نقطه‌ای مانند p به شکل زیر نمایش داده می‌شود:

$$\vec{\mathrm{R}} = \begin{bmatrix} Xp - & X0 \\ Yp - & Y0 \\ Zp - & Z0 \end{bmatrix}$$

در صورتی که توجیه خارجی عکس درست انجام شده باشد دو بردار $\vec{r}$ و $\vec{R}$ در یک امتداد می‌باشند. بنابراین خواهیم داشت:

$$\lambda = \left|\frac{\vec{\mathrm{r}}}{\vec{R}}\right|$$

(۱) نشان اندازه می‌باشد)

با توجه به آن که در عمل دو بردار $\vec{r}$ و $\vec{R}$ در یک راستا نیستند و با اعمال ماتریس دورانی M دریک راستا قرار می‌گیرند می‌توان نوشت:

$$\vec{\mathrm{r}} = \begin{bmatrix} x- & x0 \\ y- & y0 \\ 0- & f \end{bmatrix} = kM \begin{bmatrix} X- & X0 \\ Y- & Y0 \\ Z- & Z0 \end{bmatrix} = kM\vec{R} \quad , \quad M = \begin{bmatrix} m11 & m12 & m13 \\ m21 & m22 & m23 \\ m31 & m32 & m33 \end{bmatrix}$$

در رابطه‌ی فوق با تقسیم سطر اول و سطر دوم بر سطر سوم و حذف پارامتر K می‌توان به دو معادله‌ی متداول زیر دست یافت.

$$\mathrm{xp} - \mathrm{x0} = -\mathrm{f}\frac{m11(Xp - X0) + m12(Yp - Y0) + m13(Zp - Z0)}{m31(Xp - X0) + m32(Yp - Y0) + m33(Zp - Z0)}$$

$$\mathrm{yp} - \mathrm{y0} = -\mathrm{f}\frac{m21(Xp - X0) + m22(Yp - Y0) + m23(Zp - Z0)}{m31(Xp - X0) + m32(Yp - Y0) + m33(Zp - Z0)}$$

روابط فوق نشان می‌دهد که نقطه‌ی زمینی و تصویر آن و مرکز تصویر در امتداد یک خط راست می‌باشد. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد ماتریس M شامل ترکیب‌هایی از سه دوران K و ϕ و Ω می‌باشد.

نکته: شرط هم‌خطی در صورتی برقرار است که تأثیر عوامل فیزیکی روی مشاهدات تصحیح شده باشد. به عبارت دیگر پالایش مختصات عکسی نقاط صورت پذیرفته باشد (مانند: انکسار، کرویت، اعوجاجات، کشیدگی و ...)

نکته: مشکلی که در خصوص شرط هم‌خطی با آن مواجه هستیم آن است که معادلات فوق غیرخطی می‌باشند و مشکل دیگر این است که تعداد نقاط اندازه‌گیری برای حل مسئله بیش از تعداد نقاط لازم است (به دلیل وجود sin و cos).

نکته: در معادلات شرط هم‌خطی ۹ پارامتر مجهول وجود دارد. این پارامترها شامل:

$X_p, Y_p, Z_p, \omega, \varphi, \kappa, Xo, Yo, Zo$

جهت خطی کردن معادلات شرط هم‌خطی از بسط سری تیلور استفاده می‌گردد. برای این منظور معادلات فوق را بازنویسی و نام‌گذاری می‌کنیم.

$$F = x0 - f\frac{m11(xp - x0) + m12(yp - y0) + m13(zp - z0)}{m31(xp - x0) + m32(yp - y0) + m33(zp - z0)} - xp = 0$$

$$G = y0 - f\frac{m21(xp - x0) + m22(yp - y0) + m23(zp - z0)}{m31(xp - x0) + m32(yp - y0) + m33(zp - z0)} - yp = 0$$

با استفاده از بسط سری تیلور داریم:

$$F = F_0 + \left(\frac{\partial f}{\partial \omega}\right)_0 d\omega + \left(\frac{\partial f}{\partial \varphi}\right)_0 d\varphi + \left(\frac{\partial f}{\partial k}\right)_0 dk + \left(\frac{\partial f}{\partial x_0}\right)_0 dx_0 + \left(\frac{\partial f}{\partial y_0}\right)_0 dy_0 + \left(\frac{\partial f}{\partial z\,0}\right)_0 dz_0 + \left(\frac{\partial f}{\partial xp}\right)_0 dx_p + \left(\frac{\partial f}{\partial y_p}\right)_0 dy_p + \left(\frac{\partial f}{\partial z_p}\right)_0 dz_p + \left(\frac{\partial f}{\partial xp}\right)_0 x_p = 0$$

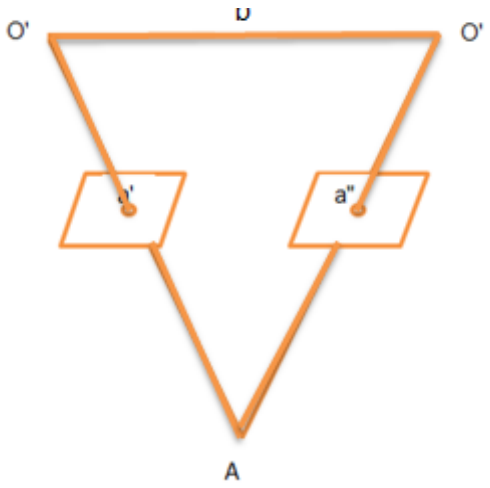
$$G = G_0 + \left(\frac{\partial G}{\partial \omega}\right)_0 d\omega + \left(\frac{\partial G}{\partial \varphi}\right)_0 d\varphi + \left(\frac{\partial G}{\partial k}\right)_0 dk + \left(\frac{\partial G}{\partial x_0}\right)_0 dx_0 + \left(\frac{\partial G}{\partial y_0}\right)_0 dy_0 + \left(\frac{\partial G}{\partial z\,0}\right)_0 dz_0 + \left(\frac{\partial G}{\partial xp}\right)_0 dx_p + \left(\frac{\partial G}{\partial y_p}\right)_0 d\,y_p + \left(\frac{\partial G}{\partial z_p}\right)_0 dz_p + \left(\frac{\partial G}{\partial xp}\right)_0 x_p = 0$$

علت آن که از مقادیر (f), (x_0), (y_0) مشتق گرفته نشده آن است که این مقادیر ثابت هستند و مشتق آن‌ها صفر می‌باشد. همچنین F_0 و G_0 مقادیر دو تابع به ازای مقادیر اولیه و تقریبی می‌باشد.

مقادیر در $\bar{F}$ قرار می‌گیرد و جوابی می‌دهد یعنی $d\omega$ و $d\varphi$ و dk .بعد این تصحیحات را در معادله‌ی F_0 قرار می‌دهیم و باز در معادله‌ی F می‌گذاریم و باز تصحیحات را بدست آورد و در فرمول (F) می گذاریم این عمل را بارها تکرار کرده تا به دقت کافی برسیم.

شرط هم صفحه‌ای

بنا به تعریف طی شرط هم صفحه‌ای دو مرکز تصویر O_1 و O_2 هر نقطه مانند p ، نقاط عکسی نظیر روی زوج عکس‌ها در یک صفحه قرار می‌گیرند.



معادله‌ی شرط هم صفحه‌ای

در رابطه‌ی روبروی بردار $\vec{b}$ فاصله‌ی بین مراکز تصویر است و بردار $\vec{R}_1$ و $\vec{R}_2$) نیز بردار در فضای شی که به ترتیب از نقطه‌ی عکس سمت چپ و سمت راست می‌گذارد. بیشترین کاربرد معادلات شرط هم صفحه‌ای توجیه نسبی یک عکس می‌باشد.

$$F = \vec{b}.(\vec{R}1 * \vec{R}2) = 0$$

$$F = \begin{bmatrix} bx & by & bz \\ x1 & y1 & z1 \\ x2 & y2 & z2 \end{bmatrix}$$

ترفیع فضایی (Space Resection)

می‌دانیم که در فتوگرامتری به ازای هر عکس ۶ عدد مجهول وجود دارد که عبارت است از ω و φ و k و X_0 و Y_0 و Z_0 روش محاسبات این ۶ مجهول برای یک تک عکس در فتوگرامتری را ترفیع فضایی می‌گوییم. (سه مجهول X_p و Y_p و Z_p به دلیل وجود مختصات زمینی معلوم می‌باشد و مشتق آن صفر می‌شود که دیگر در معادله‌ی ترفیع فضایی آورده نمی‌شود).

در حل مسئله ترفیع فضایی معلومات مختصات نقطه کنترل زمینی می‌باشد. پس می‌توان با استفاده از شرط هم‌خطی این ۶ پارامتر را محاسبه نمود.

$$X = -f\frac{M1x}{M3x} = F$$

$$Y = -f\frac{M1x}{M3x} = G$$

$$F = f0 + \left(\frac{\partial f}{\partial \omega}\right)0d\omega + \left(\frac{\partial f}{\partial \varphi}\right)0d\varphi + \left(\frac{\partial f}{\partial k}\right)0dk + \left(\frac{\partial f}{\partial x0}\right)0dx0 + \left(\frac{\partial f}{\partial y0}\right)0dy0 + \left(\frac{\partial f}{\partial z0}\right)0dz0$$

$$G = f0 + \left(\frac{\partial G}{\partial \omega}\right)0d\omega + \left(\frac{\partial G}{\partial \varphi}\right)0d\varphi + \left(\frac{\partial G}{\partial k}\right)0dk + \left(\frac{\partial G}{\partial x0}\right)0dx0 + \left(\frac{\partial G}{\partial y0}\right)0dy0 + \left(\frac{\partial G}{\partial z0}\right)0dz0$$

در معادلات فوق مقادیر $d\omega$ و $d\varphi$ و dk و dx_0 و dy_0 و dz_0 مقادیر جزیی تصحیحات می‌باشند که مجهول هستند.

$$\begin{bmatrix} F \\ G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial f}{\partial \omega}\right)0 & \left(\frac{\partial f}{\partial \varphi}\right)0 & \left(\frac{\partial f}{\partial k}\right)0 & \left(\frac{\partial f}{\partial x0}\right)0 & \left(\frac{\partial f}{\partial y0}\right)0 & \left(\frac{\partial f}{\partial z0}\right)0 \\ \left(\frac{\partial G}{\partial \omega}\right)0 & \left(\frac{\partial G}{\partial \varphi}\right)0 & \left(\frac{\partial G}{\partial k}\right)0 & \left(\frac{\partial G}{\partial x0}\right)0 & \left(\frac{\partial G}{\partial y0}\right)0 & \left(\frac{\partial G}{\partial z0}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\omega \\ d\varphi \\ dk \\ x0 \\ y0 \\ z0 \end{bmatrix}$$

$Y = AX \Rightarrow$ کمترین مربعات $\Rightarrow X = (A^tA)^{-1}A^ty$

که مقادیر تصحیحات $d\omega$ و $d\varphi$ و dk و dx_0 و dy_0 و dz_0 بدست می‌آید.

$$\omega = \omega0 + d\omega\,,\ \varphi = \varphi0 + d\varphi\,,\ k = k0 + dk\,,\ X0 = (x0)0 + dX0\,,\ Y0 = (y0)0 + dY0\,,\ Z0 = (z0)0 + dZ0$$

این مقادیر را با تکرار بارها بدست می‌آوریم تا به بهترین دقت دست یابد.

نمونه سوال: در دو عکس چهار نقطه‌ی کنترل زمینی دیده شده می‌خواهیم ترفیع فضایی انجام دهیم. درجه آزادی چیست؟

- اولاً ترفیع به ازای یک تک عکس انجام می‌شود.
- ثانیاً اگر هر چهار نقطه در دو عکس دیده شود آنگاه ترفیع قابل حل است چرا که برای عکس سمت چپ تعداد معادلات می‌شود ۸=۲×۴

و مجهولات ۶ تا می‌باشد. سپس ۲=۶-۸= df

و برای عکس سمت راست به همین شکل: ۴= ۲×۲ =(df) کلی

اگر چهار نقطه‌ی فوق در دو عکس دیده نشود حالات زیر اتفاق می‌شود.

	راست	چپ
غیرقابل حل ⇒	۲	۲
غیرقابل حل برای راست ⇒	۱	۳

و حل برای چپ و df =۶-۶=۰

نکته۱: حداکثر هر نقطه می‌توان در شش عکس پدیدار شود یعنی ۳ تا در طول و در عرض هم می‌باشد.

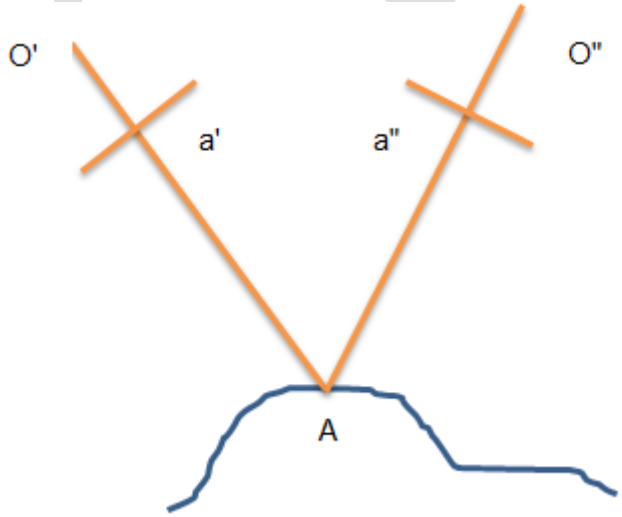
نکته۲: حداقل نقاط لازم برای اجرای ترفیع فضایی ۳ نقطه می‌باشد.

نکته۳: باید توجه داشت که ترفیع برای تک عکس انجام می‌شود.

نکته۴: معادلات شرط هم‌خطی برای ارتباط میان زمین و عکس می‌باشد.

تقاطع فضایی (Space Intersection):

تقاطع برای دو عکس است باید توجه داشت که قبل از تقاطع باید هر شش پارامتر عکس توسط ترفیع حل شده باشد. یعنی در تقاطع ۲ عکس داریم هر ۱۲ پارامتر دو عکس مشخص است.



در تقاطع کلاً سه مجهول داریم عبارتند از مختصات نقطه‌ی زمینی: $\begin{bmatrix} XA \\ YA \\ ZA \end{bmatrix}$

به عبارت دیگر هدف از تقاطع تعیین مختصات نقاط در فضایی شی می‌باشد. همانطور که می‌دانید معادلات شرط هم‌خطی شامل سه گروه پارامتر ۱ المان‌های دورانی ۲- مختصات شی و ۳- مختصات مرکز تصویر

می‌باشد پس در صورتی که دو گروه در پارامترها که همان المان توجیه خارجی هستند معلوم باشند مختصات هر نقطه‌ی زمینی قابل محاسبه می‌باشد.

تعداد معادلات یک نقطه در مدل ۴ می‌باشد (معادلات شرط هم‌خطی) یعنی ۲ معادله در عکس سمت چپ و۲ معادله در عکس سمت راست و تعداد مجهولات در تقاطع ۳ می‌باشد پس درجه‌ی آزادی ۱ می‌باشد.

نمونه سوال: حداکثر درجه‌ی آزادی برای تقاطع یک نقطه را حساب کنید؟

$df = (۶\times۲) - ۳ = ۹$

هر نقطه حداکثر می‌تواند در ۶ عکس قرار گیرد.

حل ترفیع و تقاطع با هم

مجهولات ما عبارتند از:

ω'	ω''	$x1$
φ'	φ''	$y1$
k'	k''	$z1$
$x0'$	$x0''$	⋮
$y0'$	$y0''$	xn
$z0'$	$z0''$	yn
		zn

تعداد معادلات =۴*n

تعداد مجهولات=۱۲+۳n

$$df = 4 * n - [1 + 3n] = n - 12$$

اگر بخواهیم ترفیع و تقاطع را با هم حل کنید باید حداقل ۱۲ نقطه‌ی کنترل در سطح مدل داشته باشیم.

در فتوگرامتری سه نوع نقطه داریم که باید آن‌ها را بشناسیم.

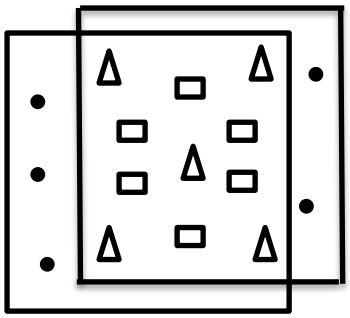
۱- Single point: تقاطعی هستند که به صورت تکی فقط در یک عکس ظاهر شد.

۲- Tie point (نقطه ی گره‌ای): نقاطی هستند که در هر دو عکس وجود دارند.

ولی مختصات زمینی آن‌ها مشخص نیست.

۳- control point (نقاط کنترل): نقاطی که در هر دو عکس ظاهر شده و مختصات زمینی آن‌ها مشخص نیست.

مثال: در صورتی که بخواهیم ترفیع و تقاطع را در شکل زیر با هم حل کنیم درجه‌ی آزادی را بدست آورید؟



نقطه کنترل $\rightarrow \Delta$

Single point $\rightarrow \cdot$

Tie point $\rightarrow$ □

ترفیع $\begin{cases} \text{عکس سمت راست} & 13 * 2 = 26 \\ \text{عکس سمت چپ} & 14 * 2 = 28 \end{cases} \Rightarrow df = 54 - 12 = 42$

تقاطع $\begin{cases} \text{معادلات} & 11 * 4 = 44 \\ \text{مجهولات} & 6 * 3 = 18 \\ \text{درجه آزادی} & df = 44 - 18 = 26 \end{cases}$

تقاطع و ترفیع $\begin{cases} \text{معادلات} & 11 * 4 = 44 \\ \text{مجهولات} & 12 + (6 * 3) = 30 \\ \text{درجه آزادی} & df = 44 - 30 = 14 \end{cases}$

مهندس طالبی

فصل نهم:

ترمیم Rectification **و ارتوفتو** orthophoto

مهندس طالعی

ترمیم کردن (Rectify)

در فتوگرامتری تک عکس مبحثی وجود دارد به نام ترمیم که در ذیل به شرح آن می‌پردازیم: خطاهای موجود در یک عکس را به دو دسته‌ی اصلی و فرعی (خطاهای بزرگ و کوچک) تقسیم‌بندی می‌کنند.

خطاهای عمده (بزرگ)

- خطاهای ناشی از تیلت عکس (مهمترین خطا در فتوگرامتری)
- جابه‌جایی ناشی از اختلاف ارتفاع

خطاهای فرعی (کوچک) :

۱- خطای ناشی از اعوجاج عدسی دوربین

۲- خطای ناشی از تغییر بعد فیلم

۳- خطای ناشی از شکست نور در اتمسفر

۴- خطای ناشی از کشیدگی تصویر در اثر حرکت روبه جلو رفتن هواپیما

۵- خطای ناشی از کرومیت زمین

اگر این خطاهای فرعی را حذف کنیم به این عمل پالایش مختصات عکسی می‌گوییم.

پالایش مختصات عکسی، قبل از توجیه داخلی و یا همزمان با توجیه داخلی انجام می‌شود.

اگر در انجام یک پروژه‌ی فتوگرامتری نیازی به دقت بالا نداشته باشیم، آنگاه می‌توان از خطاهای کوچک موجود در یک عکس با رعایت یک سری از استانداردها صرف‌نظر نمود ولی صرف‌نظر کردن از خطاهای بزرگ و به خصوص خطاهای ناشی از تیلت به هیچ وجه امکان‌پذیر نیست.

تعریف ترمیم:

اگر فقط خطای ناشی از تیلت عکس را از داخل عکس بیرون بکشیم و آنها را حذف کنیم، آنگاه می‌گویند ترمیم برای تک عکس انجام پذیرفته است.

توجه داشته باشید که تیلت یک عکس ناشی از ω و φ می‌باشد و هیچ ارتباطی به κ ندارد.

یعنی باید حول محور x یا y بچرخد تا تیلت به وجود آید. $Tilt= f(\omega,\phi)$

اگر برروی یک عکس ترمیم شده نام بعضی از محل‌ها و مشخصات آن‌ها نوشته شود و برای آن عکس مشابه یک نقشه راهنما قرار داده شود و نیز برخی از عوارض را با کشیدن خط و یک سری علامتگذاری‌ها از دیگر عوارض متمایز کنیم و مقیاس را در زیر آن عکس بنویسیم به محصولی رسیده‌ایم که به آن فتومپ Photo map (نقشه عکسی) گفته می‌شود.

در گذشته برای تولید عکس ترمیم شده از دستگاه‌های آنالوگ مختلفی استفاده می‌شده است این دستگاه‌ها عموماً به دستگاه ترمیم مشهور بوده‌اند.

به وسیله‌ی این دستگاه‌ها می‌توانستند با عکس‌برداری مجدد از عکسی تیلت‌دار تلیت عکس را حذف کنند.

به عبارت دیگر با عکس‌برداری مجدد از یک عکس تیلت‌دار تحت شرایط خاص اقدام به تولید یک عکس بدون تیلت می‌نمودند.

ترمیم آنالوگ مبتنی بود بر عکسبرداری مجدد از عکسی که در آن چهار نقطه کنترل زمینی مشاهده می‌شدند. کافی بود که این چهار نقطه کنترل زمینی از نوع مسطحاتی باشند و نیاز به فول بودن آن‌ها نبود.

با اعمال دوران به عکس تیلت‌دار و مشابه ساختن وضعیت عکس تیلت‌دار مطابق با لحظه‌ی عکسبرداری و تاباندن نور به آن و در نهایت تشکیل تصویر عکس برروی یک صفحه‌ی سفید و عکسبرداری از تصویر تشکیل شده به یک عکس فاقد تیلت می‌رسیدیم.

برای ترمیم دو کاربرد مهم می‌توان برشمرد:

۱- در فتوگرامتری تک عکس که در آن از روی یک عکس تیلت‌دار یک عکس بدون تیلت از منطقه تولید می‌شود و سپس آن را به Photo map تبدیل می‌کنیم.

۲- برای ترمیم حذف تیلت از عکسی بود که به دلیل تیلتش قابل استفاده در دستگاه‌های تبدیل آنالوگ نبود.

مزیت فتومپ Photomap

مزیت آن این است که هم مزایای یک عکس را دارد کلیه عوارض موجود در یک منطقه دیده می‌شود. و هم یکی از مزیت‌های بزرگ نقشه را دارد یعنی فاقد تیلت است. علاوه بر آن داشتن نام برخی از مناطق راهنما و غیره از دیگر مزایای آن است. در حال حاضر ترمیم تحلیلی (دیجیتال) جایگزین ترمیم‌های آنالوگ قدیمی گشته است. در حال حاضر برای انجام ترمیم رقومی از ترانسفورماسیون بروژ کتیو دو بعدی استفاده می‌شود

که دارای هشت پارامتر مجهول است و برای بدست آوردن پارامترهای مجهول نیاز به ۴ نقطه کنترل زمینی مسطحاتی می‌باشد.

ارتوفتو

اگر هم خطای ناشی از تیلت عکس و هم خطای ناشی از اختلاف ارتفاع عوارض موجود در یک عکس را از یک عکس حذف کنیم آنگاه علاوه بر آن که عکس موردنظر ترمیم شده محصولی بسیار بهتر از آن داریم کهبه آن اصطلاحاً ارتوفتو می‌گوییم.

در گذشته ارتوفتو به کمک روش‌ها نوری مکانیکی تولید می‌شد. این روش پیچیده، کم دقت و پرهزینه بود و در نهایت حاصل کار ارتوفتو واقعی نبود و تقریباً به صورت تقریبی به یک ارتوفتو می‌رسیدیم.

حذف خطاهای ناشی از اختلاف ارتفاع عوارض موجود در یک عکس نسبت به حذف خطای ناشی از تیلت بسیار سخت‌تر است به همین دلیل در گذشته زیاد به فکر ارتوفتو نبودند.

اصلی‌ترین کاربرد ارتوفتو در جایی است که از ناحیه‌ی موردنظر صرفاً یک تک عکس داشته باشیم.

اگر از ناحیه‌ی موردنظر یک زوج عکس داشتیم آنگاه به دنبال فتوگرامتری تک عکس نبودیم و مشکل خود را با استفاده از فتوگرامتر زوج عکس (توجیه نسبی، مطلق) حل می‌کردیم. اگر برروی ارتوفتو تولید شده نام مناطق مهم و عوارض مهم را بنویسیم و محل عوارض مهم را با کشیدن خط از دیگر عوارض متمایز کنیم، مقیاس را بنویسیم و یک راهنما برای آن بگذاریم به محصولی رسیده‌ایم که به آن ارتوفتو مپ

(Ortho- photo-map) می‌گوییم.

تولید ارتوفتو با استفاده از روش‌های تحلیلی فرمول‌های ریاضی پیچیده‌ای دارد برخلاف روش آنالوگ که محصول آن ارتوفتو تقریبی بود در این جابه ارتوفتو دقیق می‌رسیم.

نکته: واژه ارتوفتو از آنجا استفاده می‌شد که تولید ان توسط عکس‌های آنالوگ استفاده می‌شد. امروزه به دلیل استفاده از عکس‌های دیجیتال به آن (ortho- image) می‌گویند.

اگر توپوگرافی منطقه را داشته باشیم آنگاه تولید عکس ترمیم شده بسیار آسان می‌شود. منظور از توپوگرافی در این جا (DEM) منطقه است.

(DEM) چیست؟

مخفف (Digital Elevation Model) است. مقصود از آن مدل تغییرات ارتفاعی زمین است. به عبارت دیگر DEM منطقه به ما می‌گوید که در هر نقطه از زمین چه ارتفاعی را داریم. این DEM حل بسیاری از مسائل را برای ما ساده می‌کند.

اگر به جای داشتن دو عکس پوشش‌دار و المان‌های توجیه خارجی هر دو عکس فقط یک عکس از منطقه به همراه المان‌های توجیه خارجی آن داشته باشیم، آیا با داشتن DEM منطقه می‌توان ارتوفتو منطقه را تهیه کرد؟

بلی، زیرا می‌توان معادلات شرط هم‌خطی را برای خط مربوطه نوشت و با قطع دادن آن با DEM منطقه به سادگی مختصات زمینی نقطه‌ی A را بدست آورد. پس تقاطع فضایی صرفاً با استفاده از یک عکس در صورتی قابل انجام است که DEM منطقه را داشته باشیم.

مجهولات ۶ پارامتر می‌باشد پس نیاز به سه نقطه‌ی کنترل زمینی بود.

نکته: برای ارتوفتو نمی‌توان ابتدا ترسیم انجام داد بعد DEM را انتقال داد. زیرا باید (X_0, Y_0, Z_0) را (مختصات مرکز عکس) بدانیم که در ترسیم نمی‌توان بفهمیم.