تأسیس ۱۳۴۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

فتوگرامتری ۱

(دورهٔ کارشناسی)

تهیه و تدوین از:
مهندس شایسته مانی

انتشارات دانشکدهٔ عمران

قیمت آزاد ریال

قیمت بالیست آموزش ریال

(فهرست مطالب)

عنوان	صفحه
فصل اوّل - معرفی وکلیات	۱
۱) معرفی	
۱-۱: تعریف	۱
۱-۲: تاریخچه فتوگرامتری	۲
۲) کلیات	
۱- تعریف عکس	۶
۲- سیستمهای تصویر (سیستم تصویر موازی و سیستم تصویر مرکزی)	۸
۳- دوربین عکسبرداری (ساختمان دوربین عکسبرداری، مشخصات هندسی دوربین، انواع دوربینهای عکسبرداری، خطاهای دوربین، تنظیم‌های دوربین عکسبرداری)	۱۱
فصل دوّم - هندسه واندازه‌گیریهای عکسی	۲۳
۱) مشخصات عکس	
۱-۱: مقدمه	۲۴
۱-۲: تعاریف	۲۵
۲) اندازه‌گیری‌های عکس قائم	
۱- اندازه‌گیری مختصات عکسی	۲۹
۲- خطاهای سیستماتیک مؤثر بر مختصات عکسی (عدم انطباق نقطه اصلی بر مرکز عکس، تغییر بعد تصویر، وجود اعوجاج شعاعی عدسی دوربین، اثر شکست اتمسفری نور، اثر کرویت زمین)	۳۱

عنوان	صفحه
۳- مقیاس عکس	۳۶
۴- جابجایی ناشی از تغییر مقیاس	۳۸
۵- اندازه گیری مختصات زمینی از مختصات عکسی	۳۹
۶- جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع	۴۱
۷- تعیین مقیاس صحیح عکس قائم	۴۴
۸- تعیین ارتفاع پرواز	۴۴
۹- بررسی خطا ها در اندازه گیری ارتفاع پرواز	۴۷
۳) اندازه گیری عکسهای مایل	
۱- مشخصات عکس مایل	۴۸
۲- اندازه گیری مختصات عکسی در عکس مایل	۴۹
۳- مقیاس عکس مایل	۵۱
۴- تعیین مختصات زمینی از مختصات عکس مایل	۵۲
۵- جابجایی ناشی از تیلت	۵۳
۴) اثر تغییر مکان هواپیما	
۱- اثر حرکت انتقالی هواپیما (اثر bx، by و bz)	۵۴
۲- اثر حرکت دورانی هواپیما (اثر ω، φ و κ)	۵۹
۳- جابجایی ناشی از هرشش حرکت هواپیما	۶۴
فصل سوم - برجسته بینی و پارالاکس	۶۵
۱) برجسته بینی	

عنوان	صفحه
۱- تعریف	۶۵
۲- ساختمان چشم انسان	۶۵
۳- اصل برجسته بینی	۶۷
۴- رعایت اصل برجسته بینی در عکسبرداری	۷۱
۵- ایجاد دید برجسته بینی (برجسته بینی با دید متقاطع، متقارب و موازی)	۷۴
۶- استرئوسکوپ (استرئوسکوپ جیبی، استرئوسکوپ آینه دار)	۷۹
۷- علل وجود Δp در تصاویر نظیر	۸۶
۸- بزرگ بینی عمودی در برجسته بینی	۸۷
۲) پارالاکس	
۱- تعریف پارالاکس (پارالاکس استرئوسکوپی، پارالاکس)	۹۱
۲- محاسبه مختصات زمینی به کمک پارالاکس مطلق (استرئوسکوپی)	۹۶
۳- اندازه گیری ارتفاع به کمک اختلاف پارالاکس x	۹۷
۴- پارالاکس بار	۱۰۰
۵- نقطه شناور	۱۰۱
۶- اندازه گیری بوسیله استرئوسکوپ و پارالاکس بار	۱۰۴
۷- نقشه (مزایای نقشه خطی نسبت به نقشه عکسی و بالعکس، انواع نقشه)	۱۱۰
فصل چهارم - مراحل کار فتوگرامتری برای تهیه نقشه	۱۱۳
۱) طراحی و انجام پرواز برای عکسبرداری	۱۱۵
۱-۱: تعیین زمان عکسبرداری	۱۱۶

عنوان	صفحه
۲-۱: تعیین مسیر پرواز و پوشش عکسها	۱۱۶
۳-۱: انتخاب نوع دوربین عکسبرداری	۱۲۵
۴-۱: انتخاب مقیاس عکس	۱۲۸
۵-۱: انتخاب دستگاه مناسب	۱۳۰
۶-۱: تعیین ارتفاع پرواز	۱۳۱
۷-۱: تعیین سرعت هواپیما	۱۳۲
۸-۱: تهیه راهنمای (اندکس) پرواز	۱۳۳
۲) چاپ و تهیه تصویر مثبت	۱۳۵
۱-۲: چاپ مستقیم (کنتاکت)	۱۳۵
۲-۲: چاپ غیرمستقیم (با سیستم تصویر مرکزی)	۱۳۶
۳) عملیات نقشه برداری زمینی	۱۳۷
۴) تهیه	۱۳۷
۵و۶) مثلث بندی و محاسبات فتوگرامتری	۱۴۱
۷) تبدیل	۱۴۳
۸و۹) کارتوگرافی و چاپ نقشه	۱۴۶
فصل پنجم - دستگاه های فتوگرامتری	۱۴۷
۱) ساختمان دستگاه	۱۴۸
۱-۱: سیستم تصویر دستگاه (سیستم تصویر نوری، مکانیکی، ابتکلی مکانیکی و تحلیلی)	۱۴۸

عنوان	صفحه

۲-۱: سیستم مشاهده (سیستم مشاهده تام، آناگلیف (دورنگی)، تنادبی تصویر (SIA) و سیستم های دیگر) ۱۵۷

۳-۱: سیستم اندازه گیری و ترسیم (سیستم های اندازه گیری، سیستم های ترسیم مستقیم و غیر مستقیم (سیستم ترسیم قطبی، متوازی الاضلاع و کارتزین) ۱۶۳

۲) طبقه بندی دستگاه ها

۱-۲: طبقه بندی برمبنای نوع سیستم تصویر ۱۷۴

۲-۲: طبقه بندی برمبنای دقت ۱۷۶

فصل ششم - توجیه داخلی

۱) تعریف ۱۷۸

۲) مراحل توجیه داخلی (منظم ساختن هم نوری، معرفی فاصله اصلی پروژکتور) ۱۷۹

۳) نحوه انجام توجیه داخلی (حذف خطای اعوجاج شعاعی عدسی دوربین، نحوه استقرار تصاویر، سنتر کردن، معرفی فاصله اصلی سیستم تصویر) ۱۸۱

فصل هفتم - توجیه نسبی

۱) مقدمه ۱۹۱

۲) تعریف توجیه نسبی ۱۹۲

۳) انجام توجیه نسبی ۱۹۲

۴) اثر عناصر حرکتی بر نقاط مدل (اثر dx ها، dy ها، dz ها، ω ها، φ ها و κ ها بر P_x و P_y نقاط مدل، معادلات پارالاکس) ۱۹۷

۵) توجیه نسبی تجربی ۲۱۲

عنوان	صفحه
۵-۱ : توجیه‌پذیری دوطرفه (توجیه‌پذیری به روش حذف P_{ij} و تکرار، به روش مساوی کردن P_{ij} و معرفی تصحیح اضافی، به روش حذف P_{ij} و معرفی تصحیح کلی (اضافی)، به روش حذف P_{ij} در هر مقطع)	۲۱۳
۵-۲ : توجیه‌پذیری یکطرفه (به روش حذف P_{ij} با استفاده از عناصر بردار کنترل سمت راست، به روش حذف P_{ij} با استفاده از عناصر بردار کنترل سمت چپ)	۲۲۲
۵-۳ : تعیین S_{ij} (تصحیح کلی واضافی) در حالت کلی	۲۲۴
۵-۴ : توجیه‌پذیری مدلهای ناقص	۲۲۶
۵-۵ : توجیه‌پذیری مدلهای کوهستانی	۲۲۹
۵-۶ : تعیین S_{ij} به روش ترسیمی (استفاده از دایره کاسپر، روش واسطه یابی)	۲۳۱
۵-۷ : معادله شرط توجیه‌پذیری و رابطه P_{ij} نقاط با یکدیگر	۲۳۵
۵-۸ : سرشکن کردن P_{ij} باقیمانده	۲۳۷
۵-۹ : تعیین مقدار تغییر لازم در عناصر برای انجام سرشکنی	۲۴۴
۶) توجیه‌پذیری محاسباتی	۲۴۵
۷) تغییر شکل (تابیدگی) مدل	۲۵۰
۸) مراحل کار دستگاهی برای انجام توجیه‌پذیری (صفر صفر کردن، تنظیم سیستم مشاهده، معرفی باز تقریبی)	۲۵۴
فصل هشتم - توجیه مطلق	۲۶۲
۱) توجیه مسطحاتی	
۱- تعریف توجیه مسطحاتی	۲۶۲

عنوان	صفحه

۲- مراحل انجام توجیه مطمئنی (آماده سازی دستگاه، استقرار صحیح
شیت، معرفی مقیاس انتخاب شده، مدل (مقیاس گذاری)، ۲۶۳
معرفی مولفه های بردار تبدیل به مقیاس شده، مدل)

۲) توجیه ارتفاعی

۱- تعریف ۲۷۰

۲- نحوه ترازگذاری مدل ۲۷۱

(ترازگذاری امتداد x و y مدل با نقطه ارتفاعی در موقعیت دلخواه،
ترازگذاری مدل در صورت دارا بودن نقاط ارتفاعی
در امتداد محاور x و y با دوران ω (حول x) و دوران
φ و یا ترازگذاری امتداد x مدل با دو (محور x و z))

۳- سرشکن کردن خطای ارتفاعی ۲۸۳

(مراحل اجرای سرشکنی در ترازگذاری به روش تحلیلی،
محاسبه تصحیحات زاویه ای ω و φ برای ترازگذاری و سرشکنی)

۴- مراحل اجرایی توجیه مطلق ۲۸۶

۵- دقت اندازه گیری در مدل (ترسیم نقشه) ۲۸۷

- مسائل و تمرینات ۲۸۹

فصل اول

معرفی و کلیات

۱) معرفی

۱-۱: تعریف

واژه فتوگرامتری از سه جزء photo به معنی نور، grama به معنی ثبت شده و metry به معنی اندازه گیری، تشکیل یافته است و به علمی که در آن اندازه گیری های مورد نظر از روی عکس - یا در واقع، تصویر ثبت شده حاصل از تأثیر پرتو نورهای بازتاب یافته از اجسام مورد نظر بر سطح لایه حساس کاغذ - انجام می پذیرد، اطلاق می شود. چون اکثر عکسهای مورد استفاده در فتوگرامتری، عکسهای هوایی (عکسهایی که از ایستگاه هایی در فضا توسط دوربین عکسبرداری برداشته می شوند) می بودند به این علم نقشه برداری هوایی نیز گفته می شد. لیکن امروزه به سبب ترویج استفاده از عکسهای زمینی (عکسهایی که از ایستگاههای زمینی توسط فتو تئودولیت ها برداشته می شوند) فتوگرامتری زمینی نیز متداول شده است و همچنین در کار با عکسهای ماهواره ای به سنجش از دور یا ریموت سنسینگ شناخته می شود. پس فتوگرامتری را می توان به شاخه های زیر تقسیم بندی کرد:

۱- فتوگرامتری هوایی یا نقشه برداری هوایی (Aerial Photogrammetry) با استفاده از عکسهای هوایی؛

۲- فتوگرامتری زمینی (Terrestrial Photogrammetry) با استفاده از عکسهای زمینی؛

۳- فتوگرامتری ماهواره ای یا سنجش از دور (Remote Sensing) با استفاده از عکسهای ماهواره ای.

فتوگرامتری را براساس موارد کاربرد عکس نیز به دو دسته زیر تقسیم می کنند:

۱- فتوگرامتری اندازه گیری (Metric Photogrammetry)؛

۲- فتوگرامتری تفسیری (Interpretative Photogrammetry).

- در مواردی که اندازه گیریهای دقیقی از روی عکس، برای بدست آوردن اطلاعاتی از جمله مختصات نقاط، فواصل، زوایا، ارتفاعات، مساحت، حجم، اندازه و شکل عوارض طبیعی یا اجسام مصنوعی، مورد نظر باشد فتوگرامتری مترتیک مورد بهره برداری قرار می گیرد. با ثبت اندازه گیریهای انجام شده بر روی برگ کاغذهایی می توان حاصل کار را بصورت نقشه های مسطحاتی (Planimetric) یا مسطحاتی و ارتفاعی (Topographic) ارائه داد. در فتوگرامتری مترتیک، عکسهای هوایی بیشترین مورد استفاده را دارند؛ استفاده از عکسهای ماهواره ای هنوز زیاد رایج نشده است.

- در فتوگرامتری تفسیری، برای شناسایی عوارض سطحی و زیر سطحی زمین (از جمله منابع، معادن و ...) در زمینه های عمرانی، کشاورزی، زمین شناسی، گیاه شناسی، اکتشاف معادن، باستان شناسی، جرم شناسی، پزشکی، تحقیقات و ...، عکسهای هوایی، زمینی و بالاخص عکسهای ماهواره ای مورد تفسیر و تجزیه و تحلیل قرار می گیرند.

فتوگرامتری بعلت دارا بودن سرعت عمل زیاد، صرف هزینه خیلی کم و کار در محیطی دور از مشکلات ناشی از برخورد مستقیم با طبیعت، در مقابل با نقشه برداری زمینی، پیشرفت شایان توجهی در مدت کوتاهی نموده است.

۲-۱: تاریخچه فتوگرامتری

پیدایش فتوگرامتری به سالهای پیش از اختراع عکاسی منتسب می باشد. در اوائل قرن هیجدهم دکتر بروک تیلور (Dr. Brook Taylor) با عنوان نمودن تصویر برداری خطی و در فاصله خیلی کوتاهی پس از او جی. اچ. لامبرت (J. H. Lambert) با بیان اصول سیستم تصویری که می تواند در تهیه نقشه مورد استفاده قرار بگیرد، فتوگرامتری حاضر را پایه ریزی کردند.

گرچه فعالیتی در این زمینه صورت نگرفت تا سال ۱۸۳۹ که لوئیز داگور (Louis Daguerre)

فرانسوی عکسی، بر روی صفحه ای فلزی که دارای پوششی از نقره حساس بود، تهیه کرد.

کمی بعد از اختراع داگور، آراگو (Arago)، رئیس این آکادمی علوم فرانسه، کاربرد عکس را در تهیه نقشه های توپوگرافی به اثبات رساند.

اولین تجربه فتوگرامتری در تهیه نقشه توپوگرافی در سال ۱۸۴۹، توسط اداره مهندسی ارتش فرانسه تحت فرماندهی کلنل ایم لائوسدات (Colonel Aime Laussedat) با عکسبرداری هوایی از داخل کایت (kite) و بالن (balloon)، توسط دوربینی که در آن از شیشه استفاده شده بود، بوقوع پیوست. از این عکسها، بدلیل اشکالاتی که در تهیه نقشه از عکسهای هوایی پیش آمد، فقط برای شناسایی استفاده شد. لائوسدات از عکسهای زمینی، که بوسیله فتوتئودولیت (مجموعه دوربین عکسبرداری و تئودولیت) برداشته می شدند، برای تهیه نقشه استفاده نمود. او گزارشی از موفقیت خود در تهیه نقشه از عکسهای زمینی را در سال ۱۸۵۹ به آکادمی علوم فرانسه ارسال داشت. پس از تحقیقات و بررسیهایی که افراد دیگر در این زمینه انجام دادند، آکادمی علوم فرانسه این روش را به رسمیت شناخت. به لائوسدات، بسبب پیشقدم بودن در اجرای فتوگرامتری برای تهیه نقشه، لقب "پدر فتوگرامتری" داده شده است.

در سال ۱۸۹۸ در فرانسه شخصی بنام شوالیه (Chevallier) دستگاهی ساخت که در آن منشوری دسته شعاعهای نوری را پس از برخورد تحت زاویه ۹۰° شکست داده و تصویر را بر روی سطحی افقی ثبت می کرد. این دستگاه را فتوگرامتیک بلاک تیبل (Photogrammetric Plane table) نامگذاری نمود.

در اوائل قرن نوزدهم شخصی ایتالیایی بنام پورو (Porro) دوربینی اختراع کرد که قادر بود مساحت وسیعی از زمین را بر روی نوار کاغذی که در یک استوانه پیچیده شده بود،

عکسبرداری نماید. این دستگاه مجهز به یک تلسکوپ جهت مشاهده یک پرگار و یک ترازبود.

درسال ۱۸۸۶ کاپیتان دویل (Doville)، نقشه بردار ارشد کانادایی، با تحقیق و بررسیهای دامنه داری استفاده از اصول روش لاوسدات را در تهیه نقشه حتی از منطقه خلیج ناهموار غرب کانادا، مفید تشخیص داد. اولین دستگاه دارای لوله برجسته بینی درسال ۱۸۹۵ توسط این شخص کراهی و ساخته شد.

درسال ۱۸۶۱ تهیه عکس با سه رنگ ابداع شد و درسال ۱۸۹۱ حلقه فیلم ساخته شد.

استولز (F. Stolze) اصل نقطه شناور (Floating Mark) را درسال ۱۸۹۲ پایه گذاشت و پس ازاو درسال ۱۹۰۱ دکتر کارل پولفریش (Dr. Carl Pulfrich) آلمانی روش اندازه گیری بکمک نقطه شناور را پیدا نمود و توانست با تجربیاتی که در ایجاد دید برجسته بینی از زوج عکس بدست آورد فتوگرامتری دستگاهی را - که امروزه هم در تهیه نقشه رایج است و کاربرد فراوان دارد - باعث شود. دراین دوره دستگاههایی براساس دید سه بعدی و استفاده از نقطه شناور بنامهای استرئوکمپارا تور و استرئو اوتوگراف ساخته شد.

اختراع هواپیما توسط برادران رایت (Wright Brothers) درسال ۱۹۰۲ بزرگترین قدم در پیشرفت فتوگرامتری هوایی نوین بود. اولین عکسبرداری باهواپیما درسال ۱۹۰۹ از یکی از شهرهای ایتالیا انجام شد.

پس از آن درسال ۱۹۱۲، که جنگ جهانی اول جریان داشت، عکسبرداری از داخل هواپیما برای تهیه نقشه انجام شد؛ با این عکسها حتی موزائیک عکسی نیز تهیه گردید.

در دوره بین دو جنگ جهانی، کاربرد فتوگرامتری هوایی در تهیه نقشه توپوگرافی به نقطه اوج خود رسید بطوریکه شرکتهای خصوصی و سازمانهای دولتی زیادی در اروپا و امریکای شمالی برای تهیه

نقشه به روش فتوگرامتری تاسیس شد.

درزمان جنگ جهانی دوم، به دلیل نیاز شدید به وجود نقشه، روشهای تازه‌ای ابداع و دستگاههای جدیدی طراحی و ساخته شد تا بتوان در کوتاهترین زمان ممکن نقشه‌های مورد نیاز را تهیه نمود درنتیجه، پیشرفت و گستردگی قابل ملاحظه‌ای در تکنیکهای فتوگرامتری برای تهیه نقشه پدید آمد. تفسیر عکس نیز در این دوره به اوج خود رسید.

دستگاه مولتی پلکس (Multiplex) از دستگاههائیست که در این دوره توسط ارتش امریکا برای تهیه نقشه‌های مورد نیاز در جنگ ساخته شد.

با پیشرفت روشها و دستگاههای جدید فتوگرامتری در سالهای اخیر، تهیه نقشه‌ای با دقت بالا، سرعت زیاد و حداقل قیمت فقط با بهره گیری از روشهای فتوگرامتری امکان پذیر می‌باشد.

در این جزوه فقط مبانی ریاضی و نحوه تهیه نقشه از عکسهای هوائی مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

۲) کلیات

۱- تعریف عکس

منظور از عکس تصویری دوبعدی است که از تأثیر پرتو نورهای بازتاب یافته از عوارض طبیعی یا اجسام بر لایه حساس به نور (Emulsion) مستقر بر روی سطح کاغذ، فیلم یا شیشه ایجاد می شود. ضخامت لایه حساس از ۰/۰۲ یا ۰/۰۴ میلیمتر نباید بیشتر باشد. لایه حساس با ضخامت بیش از ۰/۰۴ سبب ایجاد انعکاس کلی شده و در نتیجه تصویر دقیقی بدست نخواهد آمد. ماده حساس ممکن است درشت دانه یا ریزدانه باشد. ماده حساس درشت دانه دارای سرعت انعکاس زیاد ولی حساسیت کم می باشد.

کاغذها و فیلمهای عکاسی با لایه حساس های مختلفی وجود دارد که به چند نمونه به اختصار اشاره می شود:

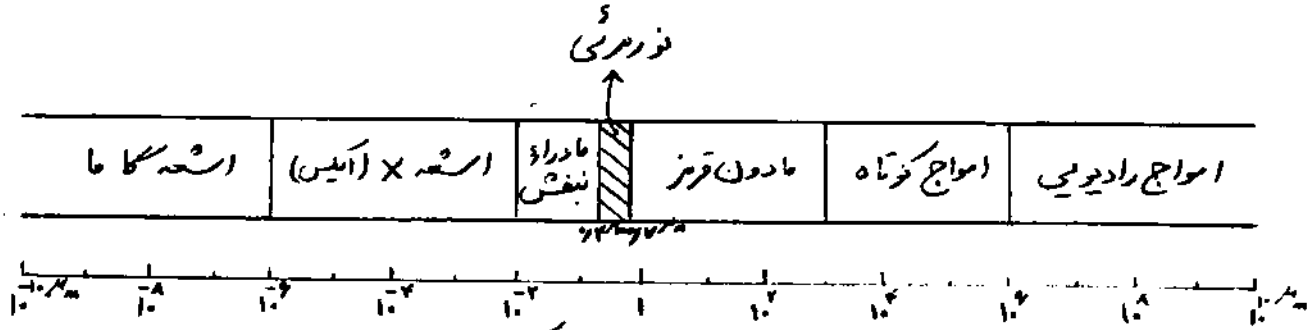
الف) عکسهای با لایه حساس پانکروماتیک سیاه و سفید (Panchromatic Black & White) که از بر سر نقره تشکیل یافته است، در فتوگرامتری معمولاً برای تهیه نقشه و تفسیر عکس بکار برده می شوند.

ب) عکسهای با لایه حساس رنگی (Color) که برای تفسیر و در وسعت محدودی برای تهیه نقشه مورد استفاده قرار می گیرند.

ج) عکسهای با لایه حساس سیاه و سفید حساس به اشعه مادون قرمز (Infrared Black & White) که در تفسیر عکس برای جاسوسی، شناسایی و اکتشافات بکار می روند. این اشعه بدلیل دارا بودن طول موج بلند، راحت به داخل مه و تیرگی نفوذ می کند و برای نمایان ساختن اجسام پنهان شده مورد استفاده قرار می گیرد؛ در تهیه نقشه بندرت بکار گرفته می شود.

د) عکسهای با لایه حساس رنگی حساس به اشعه مادون قرمز (Infrared Color (False Color)) یا عکسهای با رنگ مجازی که برای تفسیر عوارض مخصوص در تفکیک جهت شناسایی انواع گیاهان، آفتهای گیاهی و محصولات کشاورزی، تشریح و شناسایی خاک، آلودگی آب و... کاربرد دارد.

نور مورد استفاده در عکسبرداری هوایی برای تهیه نقشه، اشعه الکترومغناطیس (Electromagnetic Spectrum) است که عکسهای با لایه حساس پانکروماتیک سیاه و سفید فقط نسبت به قسمتی از آن، که نور مرئی نامیده می‌شود، حساس می‌باشند. اشعه الکترومغناطیس را با توجه به طول موجهای مختلف بصورت زیر تقسیم بندی کرده‌اند:



طول موج برحسب میکرومتر

(شکل ۱)

چون منبع نور مورد استفاده در عکسبرداری هوایی خورشید است، سیستم عکسبرداری را "غیرفعال" می‌نامند. به دلیل دور بودن منبع نور، فرض می‌شود که پرتو نورهای تابشی بطور موازی به زمین می‌رسند. شعاعهای نور مرئی پس از برخورد به عوارض سطح زمین چون نمی‌توانند از اجسام کدر عبور کنند، بازگشت پیدا کرده و تحت سیستم تصویر در نظر گرفته شده، تصویر عوارض موجود را بر روی سطح لایه حساس به نور مرئی ثبت می‌کنند.

نور مرئی با طول موج $0.4\mu m < \lambda < 0.7\mu m$ - که چشم انسان قادر به رؤیت آن میباشد - پس از برخورد به لایه حساس پانکروماتیک سیاه و سفید که از املاح نقره تشکیل یافته است، نقره لایه را آزاد می‌سازد. این قسمت از لایه حساس پس از ظهور به رنگ سیاه دیده می‌شود. هرچه میزان نور برخورد کننده به لایه حساس بیشتر و شدیدتر باشد نقره بیشتری آزاد شده و رنگ تصویر پس از ظهور (این تصویر، تصویر منفی است) سیاه‌تری می‌شود. پس در عکسهای سیاه و سفید، تیره و روشن بودن رنگ تصویر هر عارضه به میزان و شدت نور

بازتاب یافته از آن عارضه بستگی دارد. واضح است که هرچه مقدار نور بازگشتی - که به میزان نور دریافتی، جنس، نوع و رنگ عارضه بستگی دارد - بیشتر باشد تصویر مثبت آن روشن‌تر می‌شود.

برای شناخت کیفیت هندسی تصاویر عکسی، اشاره مختصری به شرایط هندسی انواع سیستمهای تصویر ضروری می‌نماید.

۲- سیستمهای تصویر

بسته به آنکه پرتو نورهای بازگشتی که شعاعهای نوری تصویر کننده نیز می‌باشند - پس از برخورد پرتو نورهای تابشی به عوارض - کدام یکدیگر را قطع کنند یا بصورت موازی از عارضه بازتاب یابند، سیستمهای تصویر را به دو دسته کلی می‌توان تقسیم کرد:

۱- سیستم تصویر موازی

۲- سیستم تصویر مرکزی

هر دسته از سیستمهای تصویر دارای حالتهای مختلفی است که در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱: سیستم تصویر موازی

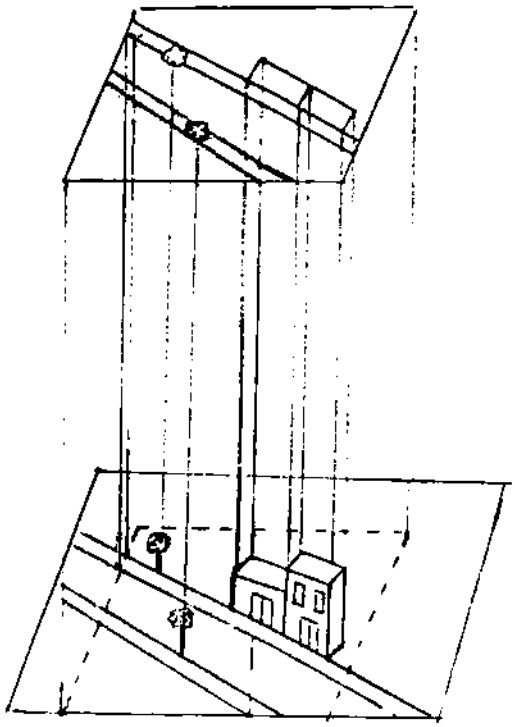
در این سیستم، شعاعهای نوری تصویر کننده موازی با یکدیگر می‌باشند.

سیستم تصویر موازی دو حالت دارد:

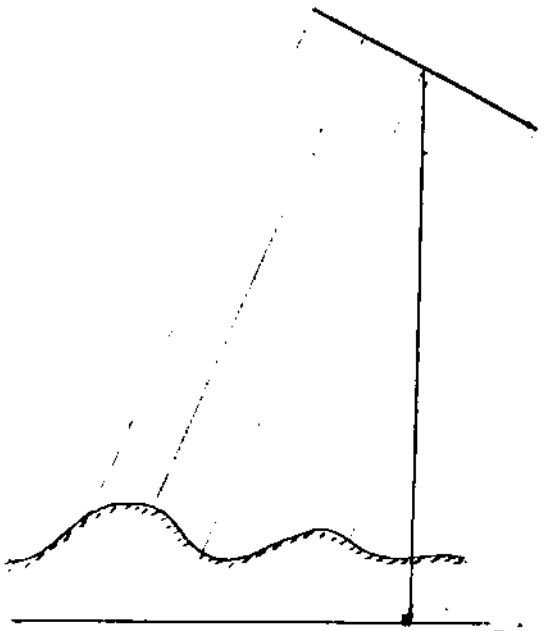
الف) سیستم تصویر موازی قائم: در این حالت شعاعهای نوری تصویر کننده بطور موازی و قائم از سطح زمین بازگشت یافته و بر سطح فیلم دارای لایه حساس نیز عمود می‌باشند. پس سطح فیلم باید افقی (موازی با سطح متوسط زمین) قرار گیرد و اندازه تصویر هر عارضه با اندازه واقعی آن از نظر طول و زاویه افقی

مادی خواهد شد (شکل ۲، الف)

ب) سیستم تصویر موازی مایل: در این حالت، اجسام توسط دسته شعاعهای نوری موازی و غیر قائم تصویر می شوند (شکل ۲، ب). تصویر بدست آمده از نظر طول و زاویه با اندازه های واقعی تفاوت می کند.



الف ـ تصویر قائم



ب ـ تصویر موازی مایل

(شکل ۲)

۲-۱۲: سیستم تصویر مرکزی

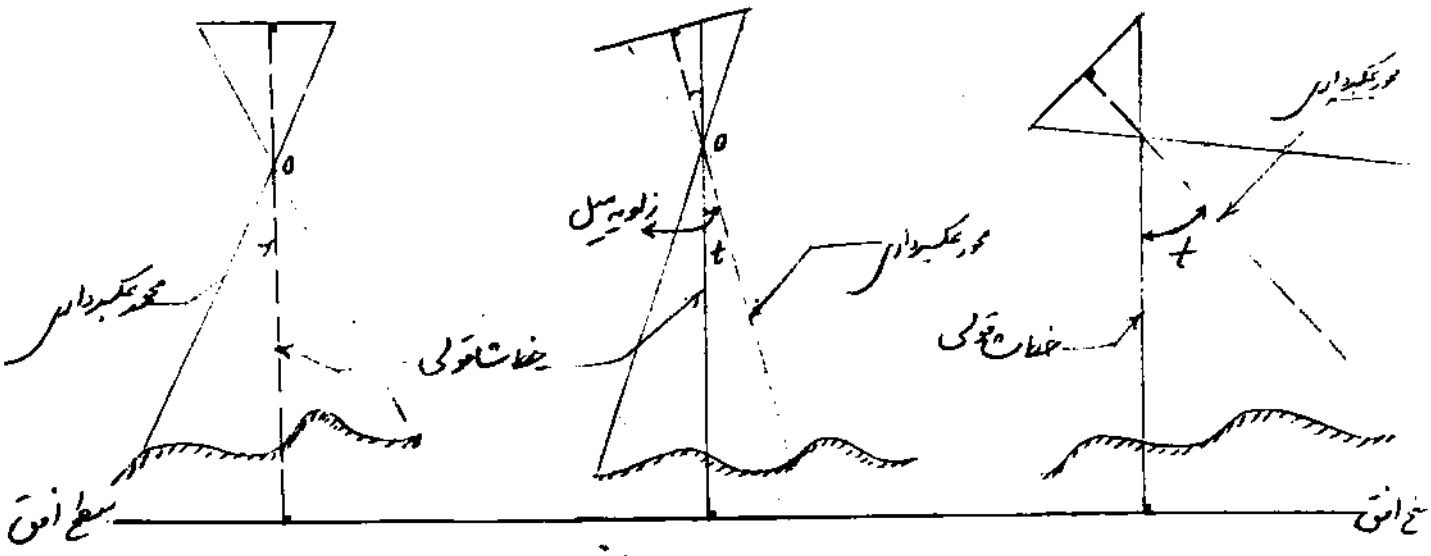
در این سیستم تصویر شعاعهای نوری تصویر کننده بصورت متقارب بازتاب یافته و یا دیگر را در یک نقطه که مرکز تصویر نامیده می شود، قطع می کنند. این سیستم تصویر نیز دو حالت دارد.

الف) سیستم تصویر مرکزی قائم: در این حالت سطح منظم ـ که تصویر بر آن ثبت می شود ـ باید افقی و شعاع نوری قائم بر زمین، که از مرکز تصویر O گذشته، بر سطح منظم نیز عمود باشد. به عبارت دیگر محور تصویر داری در امتداد خط شاقولی قرار داشته باشد. تصویر بدست آمده تحت سیستم تصویر مرکزی قائم، از نظر طول ها نسبت مشخصی کوچکتر از اندازه واقعی فواصل

نظیر واز نظر زاویه برابر با زوایای افقی واقعی می باشد (شکل ۳، الف).

ب) سیستم تصویر مرکزی مایل: در این حالت نیز شعاعهای نوری تصویر کننده همگی از یک نقطه گذشته ولی شعاع نوری قائم بر زمین بر سطح فیلم (تصویر) عمود نمی باشد. بعبارت دیگر سطح فیلم افقی نبوده و محور عکسبرداری قائم بر زمین نمی باشد. تصاویر بدست آمده در این حالت از نظر طولها و زوایا با اندازه های واقعی مساوی نبوده و حتی دارای نسبت مشخصی نیز نمی باشند. استفاده از حسن این سیستم تصویر اینستکه می توان تصویر منطقه با وسعت بزرگتری را در عکس با ابعاد مشخصی گنجانید.

تصاویر مایل بسته به میزان زاویه تمایل، به دو دسته: تصاویر با میل کم (شکل ۳، ب) و تصاویر با میل زیاد (شکل ۳، ج) تقسیم می شوند. در تصاویر با میل زیاد معمولاً افق نیز وجود دارد.

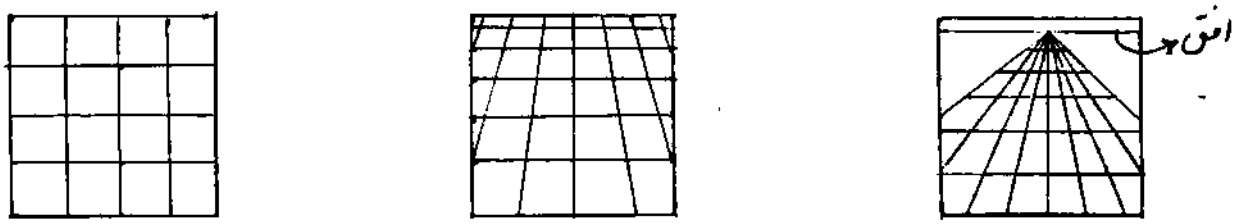


ج- تصویر مرکزی مایل (با میل زیاد) ب- تصویر مرکزی مایل (با میل کم) الف- تصویر مرکزی قائم

(شکل ۳)

اگر صفحه مشبک قائم الزاویه ای را روی زمین در نظر بگیریم تصویر آن بر روی سطح فیلم با

حالتهای مختلف سیستم تصویر مرکزی بصورت زیر می باشد:



تصویر با میل زیاد　　تصویر با میل کم　　تصویر قائم

(شکل ۴)

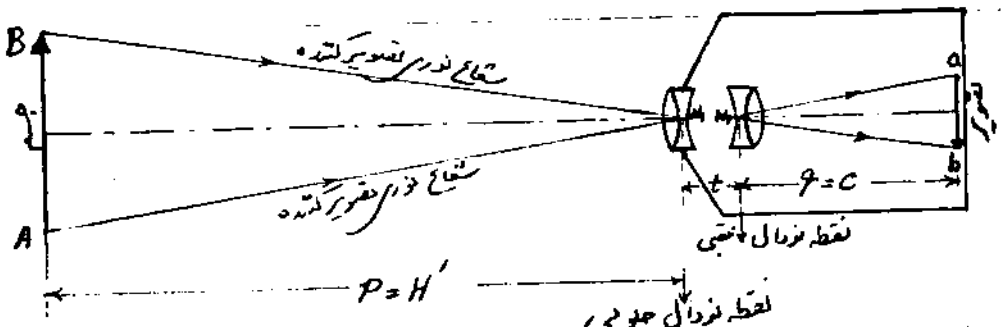
عکسهای هوایی مورد استفاده در فتوگرامتری برای تهیه نقشه، اکثراً تحت سیستم تصویر مرکزی قائم برداشته می شوند که خطوط قائمی بر محور عکسبرداری منطبق و تصویر عوارض به شکل و زوایای واقعی، لیکن در مقیاس مشخصی کوچکتر از اندازه حقیقی خود می باشند. نسبت کوچک شدگی تصویر را مقیاس آن می نامند از رابطه زیر می توان بدست آورد:

$$\frac{\text{اندازه طول تصویر}}{\text{اندازه واقعی طول نظیر روی زمین}} = \text{مقیاس تصویر}$$

با توجه به اینکه عکسهای هوایی توسط دوربینهای عکسبرداری مستقر در کف هواپیما تهیه می شوند لذا شناخت انواع دوربینها و ساختمان متشکله آنها، در حد مورد نیاز، ضروری بنظر میرسد.

۳- دوربین عکسبرداری هوایی

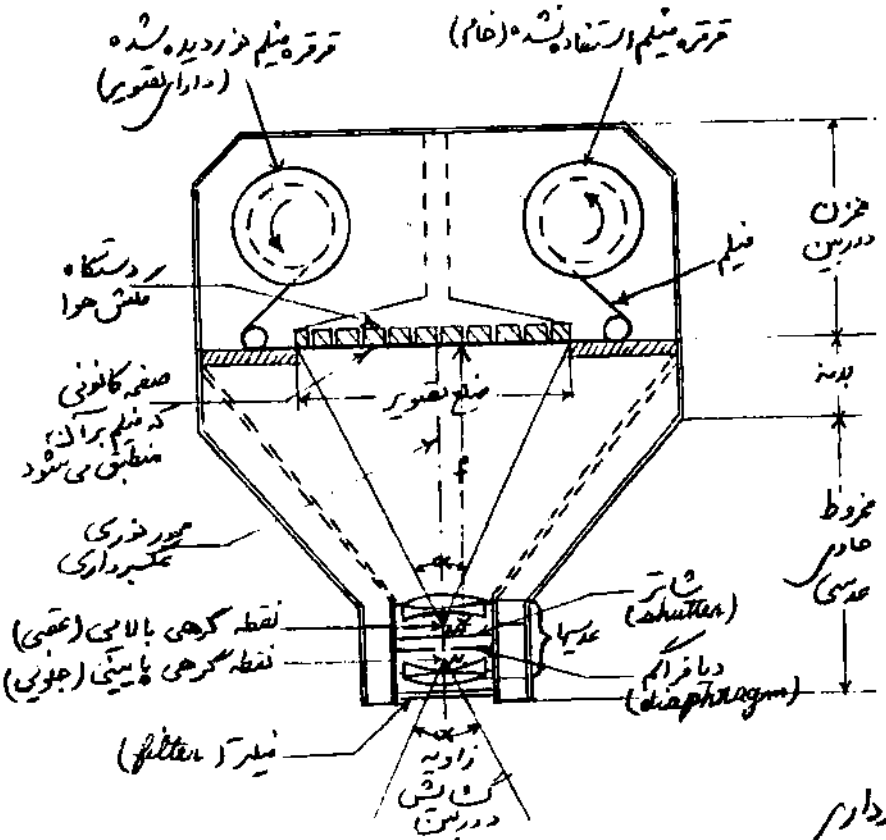
دوربین عکسبرداری محفظه ای است که در یکطرف آن مجموعه ای از عدسی قرار داده شده تا شعاعهای نوری تصویر کننده را بسمت فیلم خامی که در طرف دیگر محفظه قرار دارد، هدایت کند شکل ۵، مسیر شعاعهای نوری تصویر کننده (بازتاب یافته) را از جسم تا تصویر، از نظر هندسی، نشان میدهد.



نحوه عملکرد عدسیای دوربین عکسبرداری از نظر هندسی

(شکل ۵)

دوربینهای عکسبرداری انواع مختلفی دارند لکین همگی دارای ساختمان شبیهی مانند شکل ۶ می باشند. در زیر اجزاء تشکیل دهنده و نحوه عملکرد دوربین عکسبرداری آورده می شود.



(شکل ۶)

طرح ساختمان داخلی دوربین عکسبرداری

۱-۳: ساختمان دوربین عکسبرداری

هر دوربین عکسبرداری از سه قسمت اصلی بشرح زیر تشکیل یافته است (شکل ۶).

۵- مخزن دوربین

مخزن دوربین جعبه ای است که دارای دو قرقره، دستگاهی که قرقره ها را می چرخاند و دستگاه مکش هوا می باشد. بر روی یکی از قرقره ها فیلم خام فاقد تصویر قرار داده می شود و بر روی دیگر

فیلمی که با چرخش قرقره از روی قرقره اصل باز شده و دارای تصویر منفی است، قرار می‌گیرد. دستگاه مکش هوا فیلم را در صفحه کانونی مجموعه عدسی دوربین عکسبرداری با مکیدن هوا، از سوراخهای ریز صفحه‌ای واقع در پشت فیلم، کاملاً بصورت مسطح و مستوی حفظ می‌کند.

مخزن دوربین را می‌توان از بدنه آن جدا کرد و بدون اینکه فیلم داخل آن تحت تأثیر نور قرار گیرد، برای چاپ عکس‌ها به قسمت مربوطه فرستاد.

ب - بدنه دوربین

بدنه دوربین شامل قابی است واقع در صفحه کانونی مجموعه عدسی دوربین که فیلم یا شیشه دارای لایه حساس خام بر روی آن قرار می‌گیرد، و دارای علائمی است که با عبور شعاعها نوری تصویر کشته، از آنها، بر روی فیلم منفی، علاوه بر تصاویر عوارض، ثبت می‌شوند از جمله: علائم کناری و گوشه‌ای یا نقطه‌ای شکل مارکها (Fiducial Marks)، نشانه‌های مقیاسی (Scale Marks)، تراز کروی، کنتور نشان دهنده شماره عکس و فاصله از سطح دریا (ارتفاع پرواز) و ... اضلاع این قاب در دوربینهای مختلف متفاوت است. دوربین‌های عکسبرداری هوایی معمولاً دارای قاب به ابعاد $14^{cm} \times 14^{cm}$ (۵/۵" x ۵/۵" اینچ) یا $18^{cm} \times 18^{cm}$ (۷" x ۷") یا $23^{cm} \times 23^{cm}$ (۹" x ۹" اینچ) می‌باشند.

بدنه دوربین همچنین شامل قسمتی است که نگهدارنده قاب و حد فاصل قاب و مخزن و حاوی عدسیها می‌باشد.

ج - مخروط حاوی عدسی

شامل مجموعه عدسی، دیافراگم، شاتر و فیلتر است.

مجموعه عدسیها که مهمترین و گرانقیمت‌ترین قسمت هر دوربین عکسبرداری است، تصویر عوارض را که در بینهایت فرض می‌شوند توسط شعاعهای نوری تصویر کشته و مستقیم الخط در صفحه کانونی خود،

فوکوس می کند. چون فاصله تا جسم نسبت به فاصله کانونی مجموعه عدسی (فاصله نقطه گرهی عقبی تا صفحه قاب دوربین) خیلی بزرگتر است لذا جسم در بینهایت فرض می شود در شکل ۵، عملکرد دهنده عدسیهای دوربین عکسبرداری نشان داده شده است با توجه به فرمول نیوتن در مورد عدسیها می توان نوشت:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f}$$

در عکسبرداری هوایی $p = H'$ (ارتفاع پرواز) می باشد که اگر $p=\infty$ در نظر گرفته شود

در نتیجه $q=f$ خواهد شد: $\frac{1}{\infty}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} \Rightarrow f=q$

یعنی تصویر در فاصله f از مرکز تصویر (نقطه گرهی بالایی) که محل صفحه کانونی) عدسی است، تشکیل می شود. بزرگنمایی خطی عدسی برابر با $m=\frac{\text{اندازه تصویر}=ab}{\text{اندازه جسم}=AB}=\frac{q}{p}$.

میزان نور عبور کرده از عدسی با تغییر قطر دهانه دیافراگم (دریچه توقف) و زمان باز و بسته شدن شاتر - که در حد فاصل دو نقطه گرهی قرار دارند - تنظیم می شود.

سرعت هواپیما - که به ارتفاع پرواز یا بعبارتی به مقیاس عکس بستگی دارد -، نوع حرکت جلو، موقعیت جغرافیایی منطقه، شرایط جوی، فصل، زمان و نوع دوربین عکسبرداری عوامل تعیین کننده اندازه قطر دهانه دیافراگم و مدت زمان باز بودن آن توسط شاتر می باشند تا بتوان با تنظیم میزان نور برخورد کننده به سطح حساس فیلم، تصویری با کیفیت رنگی خوب تهیه کرد.

مقدار نوری که از مجموعه عدسی عبور می کند با مساحت دهانه دیافراگم و بعبارت دیگر با مربع قطر دریچه توقف متناسب است؛ در ضمن میدانیم که روشنایی متناسب با عکس مربع فاصله - فاصله مورد نظر در دوربین عکسبرداری، فاصله سطح تصویر تا صفحه دیافراگم یا در واقع فاصله کانونی آن است - می باشد. اگر d قطر دهانه دیافراگم و f فاصله کانونی مجموعه عدسی باشد روشنایی که به سطح تصویر میرسد بانسبت $\frac{d^2}{f^2}$ متناسب می باشد بدین جهت

$\frac{d}{f}$ را فاکتور روشنایی گویند. عکس این نسبت ($n=\frac{f}{d}$) عددی است که بر روی حلقه نصب شده دور عدسی هر دوربین عکسبرداری نوشته شده است که عبارتند از:

۱۶ ، ۱۱ ، ۸ ، ۵/۶ ، ۴ ، ۲/۸ و ۲

هر شماره n ، ۲ برابر شماره ماقبل خود است پس با تغییر n به شماره کوچکتر قبل از خود، قطر دهانه دیافراگم ۲ برابر بزرگتر و در نتیجه روشنایی عبور کننده از دریچه که به صفحه تصویر میرسد دو برابر می‌شود پس از رابطه $d=\frac{f}{n}$ می‌توان قطر دریچه را به دست آورد.

نسبت زمان باز و بسته شدن شاتر برای رسیدن نور با روشنایی مساوی از دو دریچه با قطرهای مختلف - برای دوربینهای با فاصله کانونی مساوی - برابر با عکس نسبت مساحت دهانه دو دریچه عامل باشد یعنی:

$$S_a \cdot t_a = S_b \cdot t_b \quad \rightarrow \quad \frac{t_a}{t_b} = \frac{S_b}{S_a}$$

S_a = مساحت دهانه دریچه a

$$\frac{\pi d_a^2}{4} \cdot t_a = \frac{\pi d_b^2}{4} \cdot t_b$$

S_b = مساحت دهانه دریچه b

$$\frac{t_a}{t_b} = \frac{d_b^2}{d_a^2}$$

t_a = زمان باز و بسته شدن شاتر در حالت a

t_b = زمان باز و بسته شدن شاتر در حالت b

$$\frac{t_a}{t_b} = \frac{(\frac{f}{n_b})^2}{(\frac{f}{n_a})^2}$$

d_a = قطر دهانه دریچه a

d_b = قطر دهانه دریچه b

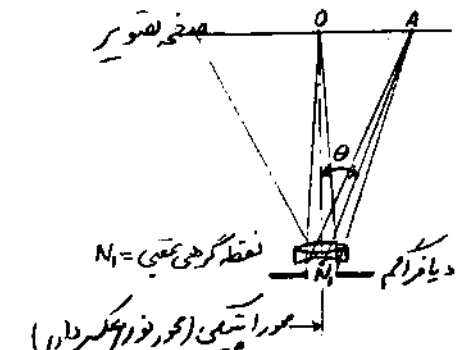
$$\frac{t_a}{t_b} = \frac{n_a^2}{n_b^2} = (\frac{n_a}{n_b})^2$$

روشنایی رسیده به کناره‌های عکس کمتر از روشنایی رسیده به مرکز عکس می‌باشد.

در صورتیکه E_θ = روشنایی مربوط به نقطه‌ای باشد که شعاع نوری آن با محور استیلی دارای زاویه θ است و E_0 = روشنایی مربوط به نقطه محل برخورد محور استیلی با صفحه تصویر (مرکز قاب) باشد رابطه روبرو بنا به دلایل زیر بین آنها برقرار است:

$$E_\theta = E_0 \cdot \cos^4\theta$$

الف) دهانه دایره ای شکل دیافراگم برای پرتو نورهای مربوط به نقطه O ، دایره است در حالیکه برای پرتو نورهای مربوط به نقطه A بصورت بیضی ظاهر می شود.



(شکل ۷)

در شکل ۷ نقاط ذکر شده و مسیر شعاعهای نوری نظیر آنها نشان داده شده است.

چون مساحت بیضی به نسبت ضریب $\cos\theta$ از مساحت دایره نظیر آن کوچکتر است پس روشنایی بعور کننده از بیضی، $\cos\theta$ برابر روشنایی عبور کننده از دایره متناظر آن می باشد.

ب) مایل بودن نور برخورد کننده به صفحه تصویر در نقطه A ، سبب کاهش روشنایی به نسبت ضریب $\cos\theta$، بنابقانون لامبرت (Lambert's law) ، می شود.

ج) فاصله عدسی تا نقطه A به نسبت $\frac{1}{\cos\theta}$ برابر بزرگتر از فاصله محوری است بنابراین با توجه به قانون متناسب بودن روشنایی با عکس مربع فاصله ، روشنایی به نسبت $\cos^2\theta$ برابر کاهش می یابد.

پس هرچه تصاویر از محور عکسبرداری دور شوند، به سبب کم شدن روشنایی ، از کیفیت تصاویر کاسته می شود.

فیلتری در جلوی عدسی دوربین قرار داده شده است که وظایف زیر را برعهده دارد :

الف) کم کردن اثر سه آلودگی و غبارگونه انتشار و جلوگیری از تاثیر نور آبی نام که توسط مه و ابر موجود در اتمسفر ایجاد می شود در هنگامی که از فیلم سیاه و سفید برای عکسبرداری استفاده می شود.

ب) ایجاد یکنواختی در پخش نور قسمت داخلی دوربین.

ج) محافظت عدسی دوربین از ضایعات ناشی از برخورد اجسام خارجی به آن و گرد و خاک موجود در هوا.

بدنه و سایر سطوح خارجی دوربین از فلزی سخت و محکم ساخته شده است تا در اثر تغییر دما، رطوبت و فشار هوا تحت تأثیر قرار نگرفته و این تغییرات را از خود بروز ندهد که سبب تغییر بعد و تغییر شکل یافتن قاب دوربین (فیلم عکسبرداری) تا تغییر فاصله اصلی و ... خواهند شد.

۲-۳: مشخصات هندسی دوربین عکسبرداری هوایی

مشخصات هندسی بخش داخلی دوربین عکسبرداری توسط پارامترهایی که وضعیت هندسی هرم نوری بخش داخلی دوربین را مشخص می کنند، تعریف و تعیین می شوند. این پارامترها که امکان بازسازی هرم نوری اشعه با هرم نوری عکسبرداری، که هوایی است معمولاً منتظم به رأس نقطه (هی عقبی، به ارتفاع فاصله اصلی و به قاعده قاب دوربین، را میسر می کنند پارامترهای توجیه داخلی نیز گفته می شوند که عبارتند از:

۱- نقطه اصلی (نقطه پای ارتفاع هرم)، که وضعیت هرم را از نظر منتظم بودن مشخص می کند؛

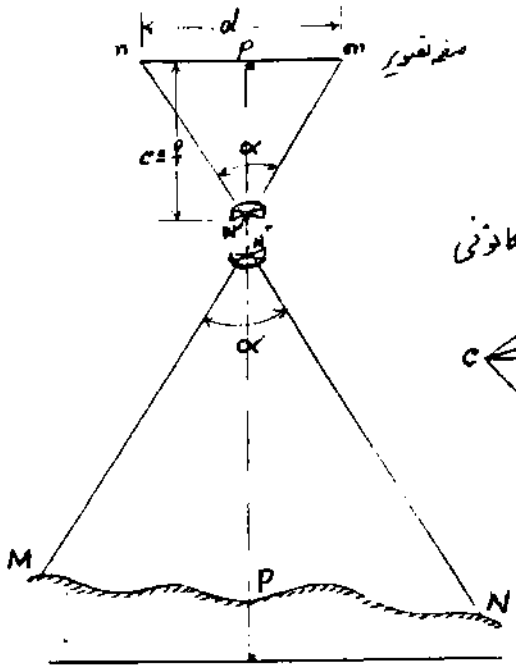
۲- فاصله اصلی (طول ارتفاع هرم نوری)، که در دوربینهای عکسبرداری هوایی برابر با فاصله کانونی عدسی آن است؛

۳- شکل و ابعاد قاب دوربین (ضلع قاب مربع شکل دوربین عکسبرداری هوایی) که قاعده هرم را مشخص می کند؛

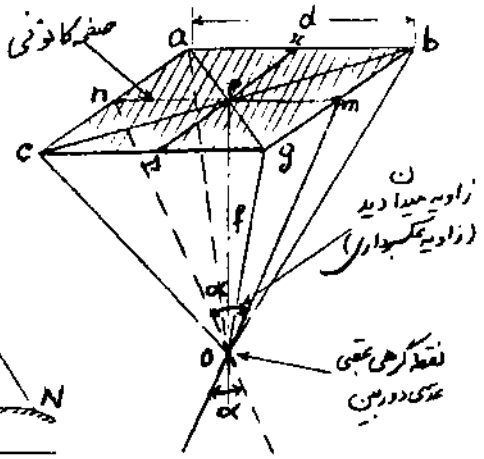
۴- زاویه عکسبرداری دوربین، بزرگترین زاویه بین شعاعهای نوری تصویر کننده، که مربوط به علائم کناری قاب دوربین می باشد، است.

فیدوشل مارکا (Fiducial Marks) معمولاً ۸ عدد هستند، به چهار علامت واقع در وسط اضلاع قاب دوربین "علائم کناری" و به چهار علامت واقع در گوشه های قاب دوربین "علائم گوشه ای" گفته می شود. از برخورد علائم کناری یا گوشه ای مقابل هم نقطه اصلی بدست می آید. بعبارت دیگر علائم کناری و گوشه ای، شکل و ابعاد قاب دوربین (قاعده هرم) را مشخص می کنند. قاب برخی از دوربینهای عکسبرداری فقط دارای چهار فیدوشل-مارک می باشد. در شکل ۶، α زاویه عکسبرداری (زاویه دید) دوربینی به فاصله اصلی c و با قاب به ضلع d در نظر گرفته شده است. در شکل $\overline{om}$ قائم الزاویه می توان نوشت:

(o نقطه اصلی است)



$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}=\frac{\overline{mp}}{\overline{op}=f\cong c}=\frac{\text{نصف ضلع قاب دوربین}}{\text{فاصله اصلی دوربین}}$$



$$\overline{mp}=\frac{\overline{ab}}{2}=\frac{\overline{nm}}{2}=\frac{d}{2}$$

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}=\frac{d}{2f\cong 2c}$$

α = زاویه میدان عکسبرداری برابر (شکل ۸) α = زاویه میدان عکسبرداری

خواهد شد با: $\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}=\frac{1}{2}\cdot\frac{d}{f\cong c}$ یا $\alpha=2\operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{d}{2f}\right)$

۳-۳ : انواع دوربینهای عکسبرداری هوایی

دوربینهای هوایی را با توجه به زاویه میدان عکسبرداری آنها، در چهار دسته طبقه بندی کرده اند:

نوع دوربین	زاویه عکسبرداری	فاصله کانونی
۱- دوربینهای باز زاویه با باریک (Narrow Angle Camera):	$\alpha<50^\circ$	$305\pm3\ mm\ (12'')$
۲- دوربینهای باز زاویه معمولی (Normal Angle Camera):	$50^\circ<\alpha<75^\circ$	$210\pm3\ mm\ (8\frac{1}{4}'')$
۳- دوربینهای باز زاویه باز (Wide Angle Camera):	$75^\circ<\alpha<100^\circ$	$152\pm3\ mm\ (6'')$
۴- دوربینهای باز زاویه خیلی باز (Super-Wide Angle Camera):	$100^\circ<\alpha$	$88.5\pm3\ mm\ (3\frac{1}{2}'')$

فاصله کانونی های ذکر شده مربوط به دوربین های دارای قاب به ابعاد $23\ cm\times 23\ cm$ ($9''\times 9''$ اینچ مربع) می باشد

- عکسهای برداشته شده با دوربینهای باز زاویه باریک معمولاً دارای مقیاس کوچک می باشند

و برای شناسایی و تفسیر کلی منطقه و تهیه موزائیک عکسی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

- عکسهای برداشته شده با دوربینهای با زاویه معمولی برای تفسیر عکس، تهیه نقشه از مناطق کوهستانی، عکسبرداری رنگی و تهیه موزائیک عکسی از عکسهای قائم، بکار برده می‌شوند.

- دوربینهای با زاویه باز متداول‌ترین نوع دوربین عکسبرداری برای تهیه نقشه از عکس هوائی می‌باشد.

- از دوربینهای با زاویه خیلی باز در موارد تهیه نقشه از مناطق نسبتاً مسطح و با برجستگی کم استفاده می‌شود.

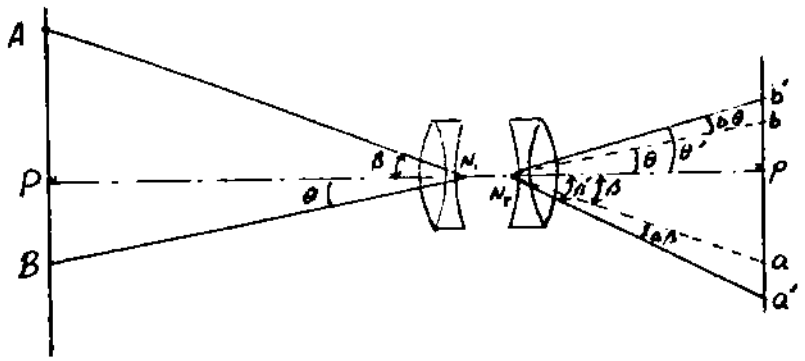
۳-۴ : خطاهای تصویری ناشی از خطاهای عدسی دوربین

خطاهای ناشی از عدسی دوربین عکسبرداری را که سبب عدم انطباق کانونی تصویر و یا بعبارتی دیگر مانع از تشکیل تصویر نقطه‌ای بصورت نقطه و در موقعیت صحیح فرضی آن در صفحه کانونی می‌شوند، آبریشن‌های عدسی (Lens Aberrations) گویند که عبارتند از :

الف) ابریشن رنگی، کروی، کوما، استیگماتیسم که باعث می‌شوند یک نقطه بشکل دایره، بیضی یا خط تصویر شود.

ب) دیستورسیون (Distortion) یا اعوجاج عدسی، ابریشنی است که سبب می‌شود امتداد پرتوئی که به نقطه گرهی جلوئی برخورد می‌کند، پس از عبور از نقطه گرهی عقبی تغییر جهت یابد در نتیجه ایجاد جابجائی تصویری در امتداد شعاع می‌کند بطوریکه زاویه هر شعاع نوری با محور نوری عکسبرداری در داخل دوربین با زاویه شعاع نوری نظیر آن در خارج از دوربین تفاوت می‌کند پس هرچه فاصله نقطه‌ای از مرکز عکس دورتر (زاویه شعاع نظیر آن با محور عکسبرداری بیشتر) شود، جابجائی تصویری ناشی از اعوجاج عدسی در آن نقطه بیشتر می‌شود.

در شکل زیر ملاحظه می شود که پرتو نوری که از نقطه P واقع بر محور عکسبرداری می گذرد در امتداد خود از عدسی عبور می کند در حالیکه پرتو نوری که از نقطه A به N_1 (نقطه گرهی جلویی) میرسد پس از عبور از N_2 (نقطه گرهی عقبی)، بجای اینکه در همان امتداد یعنی $N_2 a$ ادامه یابد در اثر خطای اعوجاج عدسی از امتداد خود خارج شده، و مسیر $N_2 a'$ را طی می کند.



$\beta' \neq \beta$ ، $\beta' = \beta + \Delta\beta$

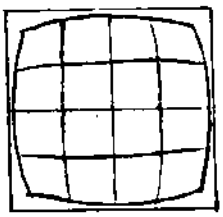
$\theta' \neq \theta$ ، $\theta' = \theta + \Delta\theta$

$\Delta r_a = \overline{aa'}$

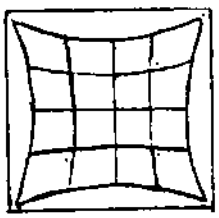
$\Delta r_b = \overline{bb'}$

(شکل ۹) اعوجاج (دیستورسیون) شعاعی عدسی

این جابجایی شعاعی ممکن است بسمت دور شدن از مرکز (بسمت خارج) باشد که اعوجاج شعاعی را مثبت در نظر می گیرند و بالعکس اگر جابجایی بسمت مرکز (بسمت داخل) باشد اعوجاج شعاعی منفی است. شکل ۱۰ تصویر عارضه مربع شکلی را که در اثر اعوجاج شعاعی مثبت و منفی عدسی دوربین عکسبرداری تغییر شکل یافته است، نشان میدهد.



الف - تغییر شکل ناشی از اعوجاج شعاعی منفی

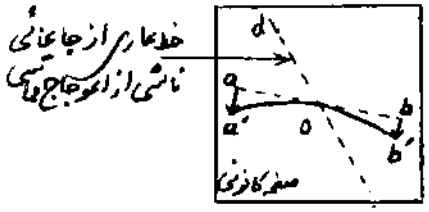


ب - تغییر شکل ناشی از اعوجاج شعاعی مثبت

(شکل ۱۰)

دیستورسیون دیگری نیز وجود دارد که ابریشن عدسی نیست ولی ناشی از بی عیب نبودن ترکیب عناصر عدسی است و به دیستورسیون حاصلی شناخته می شود که باعث ایجاد

جابجایی در امتداد محور برامتداد شعاع می شود چنانچه در شکل نیز مشخص شده است در اثر اعوجاج ماسی تصویر خط a b دیگر مستقیم نبوده و بصورت خط انحنا دار a' b' تصویر می شود.



(شکل ۱۱)

(دیستورسیون) اعوجاج ماسی

کلیه عدسیها دارای ابریشن های مختلف ولی به مقدار متفاوت می باشند. برای کاهش دادن یا از بین بردن ابریشن ها، می توان از عدسی دارای ابریشن مخالف استفاده کرد که به آن عدسی تصحیح میگویند. برخی از ابریشن ها را می توان با کاهش قطر دهانه دیافراگم و برخی دیگر را می توان با استفاده از فیلتر کم نمود.

کلیه ابریشن ها نیز ابریشن رنگی در مورد نور تک رنگ، در صورتیکه انحناء سطوح عدسی، ضریب انکسار شیشه و ضخامت عدسی مشخص باشند، قابل محاسبه اند.

۵-۳: تنظیم های دوربین عکسبرداری

هر دوربین عکسبرداری دارای عوامل و عناصر ثابت و مشخصی است که تعیین کننده شرایط هندسی آن می باشند. مقادیر و موقعیتهای آنها در کارخانه سازنده آزمایش شده، بطور دقیق تعیین و در اختیار استفاده کننده از آن دوربین قرار داده می شود. لیکن در اثر عواملی، این عناصر به مرور تغییر یافته و سبب ایجاد تغییر در شرایط هندسی دوربین می شود که نتیجه آن جابجا شدن موقعیت تصویری نقاط از محل صحیح شان می باشد. بدین ترتیب در صورت در اختیار نداشتن، مقادیر واقعی عناصر داخلی دوربین، اندازه گیری عکس نیز دارای خطایی نامعلوم خواهد شد. پس باید هر از چند گاهی دوربین عکسبرداری توسط کارخانه سازنده یا

با استفاده کننده، با کمک وسائل دقیق اندازه گیری مورد تست واقع شده و مقدار پارامترهای هندسی مورد نظر و موقعیت تعیین شوند تا در صورت تغییر و جابجایی مورد اصلاح و تنظیم قرار گیرند.

پارامترهایی که مورد تست و اندازه گیری واقع می شوند عبارتند از:

۱- فاصله کانونی دوربین و فاصله کانونی تعدیل شده؛

۲- متوسط اعوجاج شعاعی و مماسی عدسی دوربین؛

۳- موقعیت مرکز قاب (محل برخورد خطوط متصل کننده علائم کناری روبروی هم) یا موقعیت علائم کناری و گوشه ای (فیدوشل مارکها) قاب دوربین؛

۴- فاصله بین علائم کناری و گوشه ای مقابل هم؛

۵- زاویه بین خطوط متصل کننده علائم کناری و گوشه ای مقابل هم؛

۶- صفحه ای بودن صفحه کانونی دوربین (هم صفحه بودن چهارگوشه قاب دوربین).

در مورد عدسیها، سیستم های نوری، ابریشن ها و خطاهای حاصل از عدسی بطور مفصل در درس فیزیک نور بحث و بررسی خواهد شد.

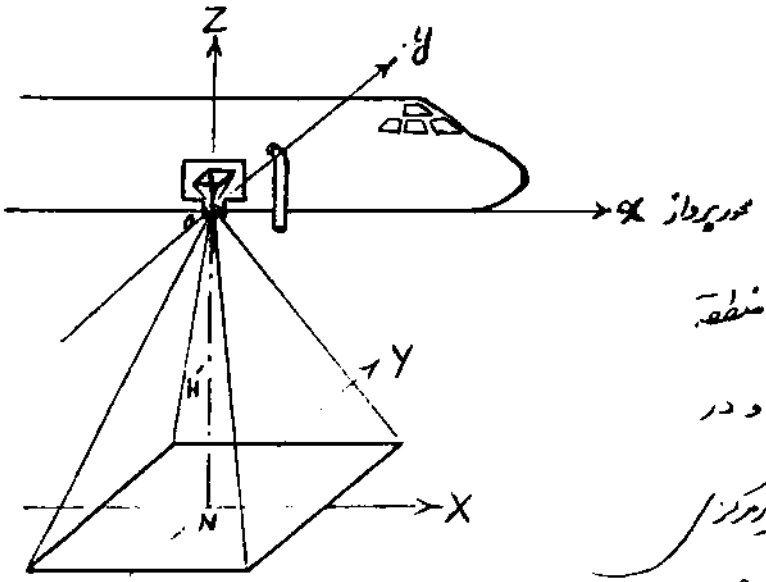
فصل دوم

هندسه و اندازه گیری عکسی

۱) مشخصات عکس

۱-۱: مقدمه

برای انجام عکسبرداری هوایی، دوربین عکسبرداری در کف هواپیمای مخصوصی چنان محکم نصب می‌شود که دارای هیچگونه حرکت و لرزشی نباشد بطوریکه امتداد ضلع قاب دوربین در امتداد طول هواپیما یا در واقع در امتداد محور پرواز و عدسی دوربین در سوراخی واقع در کف هواپیما قرار گیرد مانند شکل روبرو:



(شکل ۱)

با پرواز هواپیما در مسیر مشخص از نقطه افقی که امتداد محور پرواز نامیده می‌شود، و در ارتفاع مشخص و ثابتی تحت سیستم تصویر مرکزی قائم، از منطقه مورد نظر عکسبرداری می‌شود.

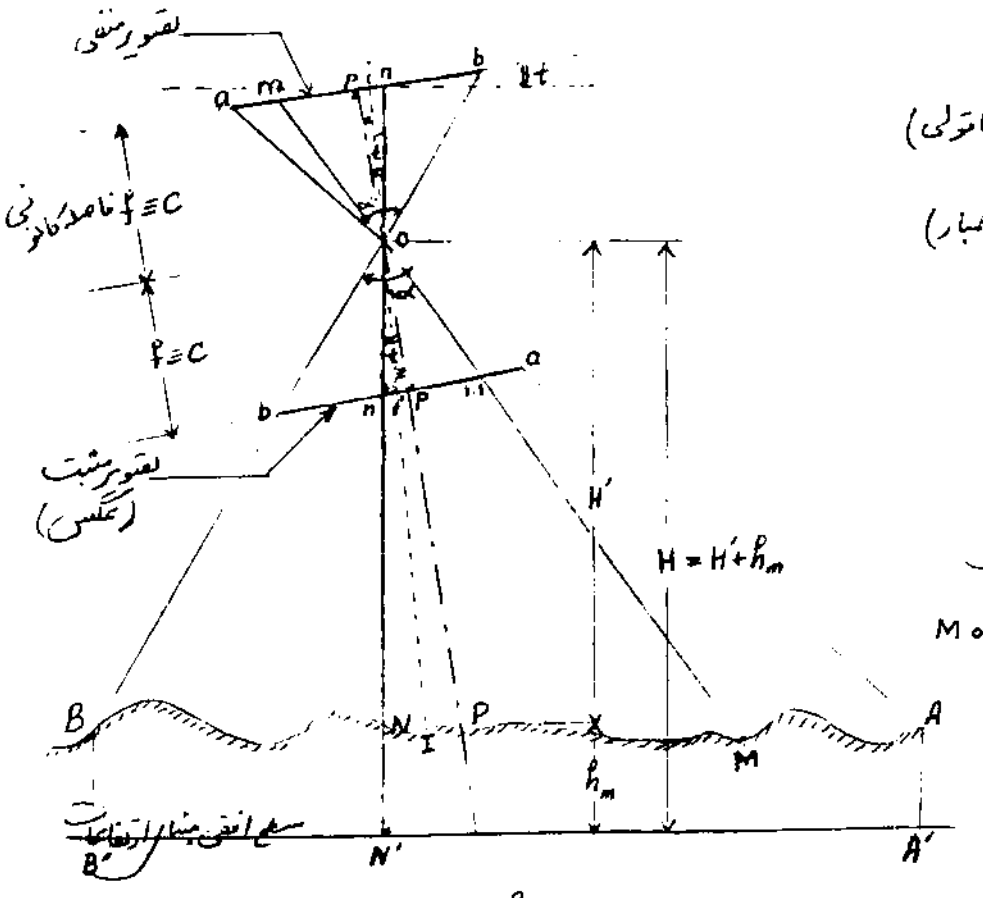
برای حفظ سیستم تصویر مرکزی قائم در عکسبرداری، هواپیما باید در حالت کاملاً افقی پرواز نموده و عکسبرداری انجام شود. این نحوه پرواز ایده آل برای عکسبرداری قائم است که معمولاً به سبب بروز چرخشها و جابجایی هایی در مسیر حرکت هواپیما در اثر عوامل ناساعد جوی و ...، امکان رعایت یا حفظ آن وجود ندارد. بنابراین هیچگاه عکسبرداری کاملاً قائم یا بعبارتی دیگر صفحه تصویر کاملاً افقی نمی تواند باشد؛ زاویه چرخش هواپیما را تیلت (tilt) می‌گویند و در صورتیکه زاویه تیلت کوچکتر از ۴° ($\hat{t} \ll 4^\circ$) باشد

عکسبرداری قائم و در غیر اینصورت مایل گفته می شود. تصویر برداشته شده توسط دوربین، تصویری منفی است که پس از چاپ مجدد تصویر مثبت یا عکس از آن بدست می آید.

تصویر منفی برداشته شده توسط دوربین عکسبرداری، اورژینال (Original) می باشد که باید حفظ و نگهداری شود بدین سبب معمولاً مورد استفاده مستقیم قرار نمی گیرد تا در اثر بروز عوامل مختلف از نظر کیفیت تصویری و ابعاد تغییری در آن ایجاد نشود.

تصویر مورد استفاده معمولاً با عکسبرداری مجدد از تصویر منفی اصلی بدست می آید که اگر بر روی کاغذ بصورت مثبت چاپ شود عکس گفته می شود و چنانچه بر روی فیلم یا شیشه بصورت مثبت چاپ شود به آن دیاپوزیتیو (Diapositive) می نامند. پس عکس تصویر مثبتی است که معمولاً در مقیاس فیلم منفی تهیه می شود.

سایر مشخصات عکس و سیستم عکسبرداری در شکل زیر نشان داده شده است.



p = نقطه اصلی

n = نقطه نادیر (نقطه شاقولی)

i = نقطه ایزوسنتر (نقطه همبار)

o = نقطه مرکز تصویر

t = زاویه تیلت

α = زاویه عکسبرداری

m = تصویر نقطه زمینی دلخواه M

d = ba = طول و عرض تصویر

H = ارتفاع پرواز از سطح مبنا

H' = ارتفاع پرواز از سطح متوسط منطقه

h_m = ارتفاع متوسط منطقه از سطح مبنا

(شکل ۲)

۲-۱: تعاریف

- مرکز تصویر (O) Perspective Center

نقطه‌ای را که همه شعاعهای نوری تصویرکننده از آن می‌گذرند (نقطه گرهی عقبی)، مرکز تصویر گویند که با فاصله f (فاصله کانونی) از سطح صفحه کانونی عدسی قرار دارد. مرکز تصویر موقعیت ریاضی ایستگاه عکسبرداری نیز می‌باشد.

- فاصله کانونی (f) Focal Length

فاصله کانونی عدسی هر دوربین عکسبرداری مقداری مشخص و ثابت است که در دوربین هوایی برابر یا فاصله نقطه گرهی عقبی (مرکز تصویر) تا صفحه قاب حامل تصویر دوربین می‌باشد.

- فاصله اصلی (c) Principal Distance

فاصله مرکز تصویر تا صفحه تصویر را فاصله اصلی گویند و به حرف c نمایش می‌دهند و در واقع فاصله صفحه‌ای است از مرکز تصویر که تصویر در آن صفحه فوکوس می‌شود. در عکسبرداری هوایی چون جسم در بینهایت فرض می‌شود تصویر آن در صفحه کانونی فوکوس می‌شود پس فاصله اصلی با فاصله کانونی برابری می‌باشد

زیرا: $p=\infty \Rightarrow \frac{1}{p}=0 \Rightarrow c \equiv f$ ← نیابر اطه نیوتن $\frac{1}{p=H'}+\frac{1}{c}=\frac{1}{f}$

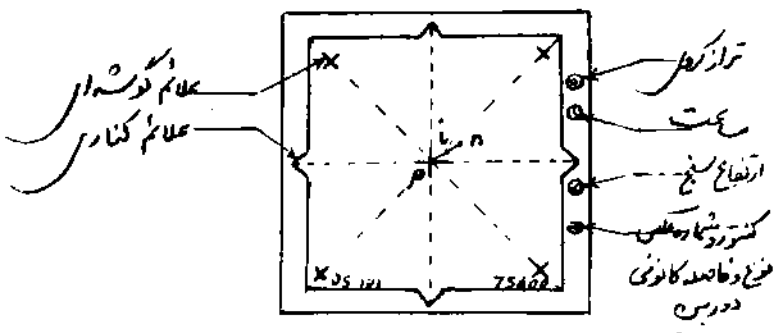
- محور اصلی Principal Axis

خط عمودی که از مرکز تصویر بر صفحه تصویر فرود آید محور اصلی یا محور نوری عکسبرداری نامیده می‌شود.

- نقطه اصلی (p) Principal Point

محل برخورد محور نوری عکسبرداری (امتداد عمود از مرکز تصویر بر صفحه کانونی) را با سطح تصویر نقطه اصلی گویند.

نقطه اصلی را می‌توان تصویر نقطه مرکز تصویر بر صفحه تصویر دانست.



(شکل ۳) نمایش علائم روی عکس

که در صورت عدم وجود خطاهای مربوط به دوربین عکسبرداری ذکر شده در فصل اول - امتداد نوری عکسبرداری از مرکز تاب خواهد گذشت پس در اینصورت نقطه مرکز تصویر که از برخورد خطوط مربوط بین علائم کناری یا گوشه ای مقابل هم بدست می آید، نقطه اصلی می باشد (شکل ۳).

- نقطه نادیر (n) Nadir Point

محل برخورد امتداد خط شاقولی (امتداد قائم بر افق) مار بر مرکز تصویر را با صفحه تصویر نقطه نادیر یا نقطه شاقولی گویند که در روی عکس به n و در روی زمین به N نشان داده می شود.

- زاویه تیلت (t) Tilt Angle

اگر عکسبرداری کاملاً قائم نباشد یعنی محور عکسبرداری در امتداد قائم قرار نگرفته باشد، زاویه ای بین امتداد شاقولی و محور عکسبرداری تشکیل می شود که زاویه تیلت نامیده می شود. زاویه بین سطح صفحه کانونی عدسی و صفحه افق نیز همان زاویه تیلت است.

اگر $t=0$ باشد $\overline{pn}=o$ می شود یعنی دو امتداد شاقولی و محور دوربین عکسبرداری بر یکدیگر منطبقند.

با توجه به شکل ۲، از مثلث قائم الزاویه npo می توان نوشت:

$$tg\, t = \frac{\overline{pn}}{f} \quad \Rightarrow \quad \hat{t} = arc\, tg \frac{\overline{pn}}{f}$$

- نقطه هممبار یا ایزوسنتر (i) Isocenter Point

محل برخورد خط نیمساز زاویه بین دو امتداد قائم و محور عکسبرداری را - در صفحه این دو امتداد - با صفحه تصویر نقطه ایزوسنتر یا نقطه هممبار گویند که در روی تصویر به i و بر روی زمین به I نشان داده می شود. نقطه i بر روی پاره خط pn قرار می گیرد و در صورت تیلت $\hat{t} < 40^\circ$ باشد نقطه i از وسط $\overline{pn}$ می توان در نظر گرفت و نوشت:

$$\overline{pi} = \overline{in} = \frac{\overline{pn}}{2} = \frac{1}{2} f\, tg\, t$$

در حالت کلی نقطه i را می توان بکمک رابطه: $\overline{pi} = f\, tg \frac{t}{2}$ تعیین کرد. در صورت تیلت

عکسبرداری قائم باشد در عمل معمولاً از فاصله های کوچک صرفنظر شده و نقاط نادیر و اصلی منطبق بر هم فرض می شوند.

- خط اصلی Principal Line

خط اصلی خطی است که از برخورد نقطه نادیر و نقطه اصلی بدست می آید.

- صفحه اصلی Principal Plane

صفحه اصلی صفحه ای است که از خط اصلی و مرکز تصویر می گذرد پس شامل نقطه نادیر، نقطه اصلی، نقطه هبار، محور اصلی و خط اصلی هم می باشد.

- خط هبار یا ایزولاین Isoline

امتداد محور دوران راکه خطی افقی، گذرنده از نقطه هبار و عمود بر خط اصلی است - خط هبار یا ایزولاین گویند.

- ارتفاع پرواز (H) Flight Height

فاصله مرکز تصویر تا صفحه افقی مبنای ارتفاعات را ارتفاع پرواز گویند که معمولاً کنتورنشان دهنده مقدار آن بر روی تصویر ثبت می شود.

- ارتفاع متوسط منطقه (H_m)

H_m متوسط ارتفاعهای نقاط مختلف منطقه یا بعبارت دیگر ارتفاع سطح متوسط منطقه از سطح مبنا می باشد.

- تصویر عکسی نقطه ای از زمین (a)

تصویر هر نقطه دلخواه از زمین مانند A نقطه ای است که از برخورد امتداد شعاع نوری OA با سطح حاس منظم (تصویر) بدست می آید.

در حاشیه هر عکس علائم و مشخصاتی چاپ می شوند (مانند شکل ۳) از جمله:

- ترازگردی، که وضعیت سطح صفحه کانونی (سطح تصویر) را نسبت به سطح افق نشان

میدهد. اگر حباب ترازکاملاً درمرکز قرارداشته باشد دلیل برآن است که عکسبرداری کاملاً تمام انجام گرفته است درغیراینصورت با دانستن دقت تقسیم بندی ترازمی توان مقدار انحراف حباب یا درواقع زاویه تمایل را محاسبه کرد.

- ساعت، که زمان عکسبرداری آن تصویر (عکس) را نشان میدهد.

- ارتفاع سنج، که ارتفاع پرواز هواپیما از سطح مبنا (H) را نشان میدهد.

- کنتور، که نشان میدهد عکس مزبور چندمین عکس گرفته شده از منطقه مورد نظر توسط این دوربین می باشد.

- دربالا و پائین کنتور، در برخی دیگر از دوربینهای عکسبرداری در لبه یکی از اضلاع قاب (تصویر)، شماره و نام دوربین عکسبرداری و همچنین فاصله کانونی آن نوشته می شود.

- درتکی از کناره های عکس دوسری شماره نوشته می شود، که بر روی قاب دوربین عکسبرداری نمی باشند بلکه درهنگام چاپ تصویر مثبت برکناره آن ثبت می شوند.

یکی از شماره ها که درتمام عکسهای مربوط به یک طرح پرواز، برای عکسبرداری از منطقه مشخص، مشترک است شماره طرح نامیده می شود که معمولاً پنج رقمی است و از دو قسمت دو رقمی و سه رقمی تشکیل می گردد. قسمت اول (قسمت دو رقمی) سال عکسبرداری و قسمت دوم شماره طرح پرواز را نشان میدهند؛ مثال آورده شده درشکل ۳ مربوط به طرح پرواز شماره ۶۰۶ که درسال ۷۵ میلادی برداشته شده است، می باشد.

شماره دیگر نیز از دو جزء تشکیل می یابد که جزء اول شماره باند پرواز و جزء دوم شماره عکس از آن باند را بیان میدارند؛ عکس آورده شده درشکل ۳، یکصد و یکمین عکس از ردیف عکسهای باند عکسبرداری پنجم می باشد.

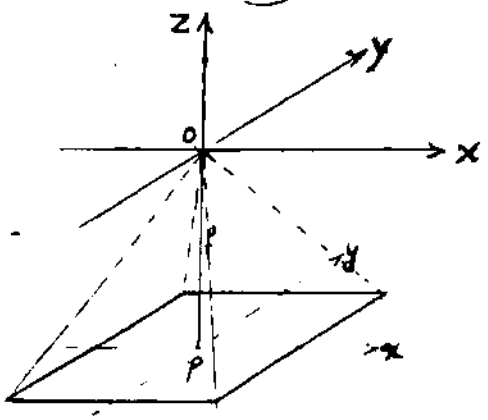
بعضی از سازمانهای اجرایی سیستم دیگری را جهت شماره گذاری عکسها رعایت می کنند.

۲) اندازه‌گیری‌های عکس قائم

۱- اندازه‌گیری مختصات عکسی

اندازه‌گیری مختصات نقاط مورد نظر بر روی عکس و روابط ریاضی مربوط به اندازه‌گیری سایر پارامترهای هندسی سیستم تصویر، در دستگاه مختصاتی انجام می‌گیرد که محور X آن منطبق بر محور پرواز، محور Y آن در امتداد عمود بر محور پرواز و محور Z منطبق بر محور نوری سیستم تصویر (محور عکسبرداری) می‌باشند که با یکدیگر در نقطه مرکز تصویر برخورد می‌کنند.

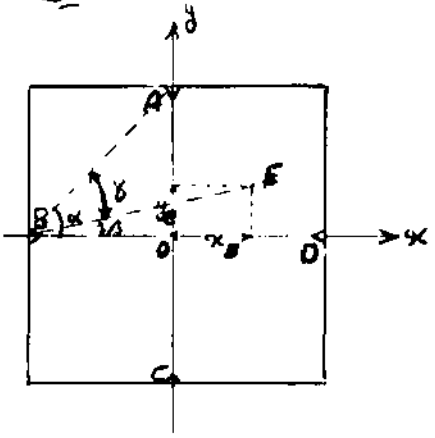
در اینجا فرض می‌شود که دوربین مورد استفاده عاری از هرگونه خطای مربوط به عناصر داخلی خود می‌باشد و عکسبرداری کاملاً قائم انجام شده است.



(شکل ۴)

برای یافتن مختصات نقطه‌ای بر روی عکس، می‌توان مختصات را نسبت به دستگاه مختصاتی که محورهای آن (شکل ۵) تصویر محورهای X و Y بر روی صفحه عکس می‌باشند، در نظر گرفت. چنانچه امتداد محور پرواز بموازات یکی از ضلع‌های قاب دوربین عکسبرداری باشد پس محورهای x و y (تصویر محورهای X و Y بر روی صفحه عکس) را می‌توان از برخورد خطوط کناری متقابل هم بدست آورد و نقطه اصلی (تصویر مرکز تصویر در صفحه عکس) نیز مبدأ مختصات

نمایش دستگاه مختصات



(شکل ۵)

در صفحه عکس می‌باشد. بدین ترتیب مختصات مسطحاتی هر نقطه دلخواه از عکس (مانند E) بسادگی

قابل اندازه گیری می باشد. ملاحظه می شود که علائم کناری نقاط با اهمیتی می باشند و می توان برای اندازه گیریهای مختلف از آنها نیز کمک گرفت. مختصات سطحی علائم کناری در دستگاه مختصات تعریف شده بر صفحه عکس عبارتند از:

$A(0, y_A)$ ، $B(-x_B, 0)$

$C(0, -y_C)$ ، $D(x_D, 0)$

اگر عکس که تصویری مربع است دارای ضلع d باشد خواهیم داشت:

$A(0, \frac{d}{2})$ ، $B(-\frac{d}{2}, 0)$ ، $C(0, -\frac{d}{2})$ ، $D(\frac{d}{2}, 0)$

مختصات نقطه دلخواه E را می توان با دانستن فاصله آن از دو علامت کناری بدست آورد.

اگر $\overline{EA}$ و $\overline{EB}$ مشخص باشند خواهیم داشت: (با توجه به شکل)

$$\begin{cases} x_E = x_B + \overline{EB} \cdot \cos\beta \\ y_E = \overline{EB} \cdot \sin\beta \end{cases}$$

زاویه β بدینصورت قابل محاسبه است:

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

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{y_A}{x_B} = \frac{\frac{d}{2}}{\frac{d}{2}} = 1 \quad \Rightarrow \quad \alpha = 45^\circ$$

در مثلث BAE داریم:

$$(\overline{AE})^2 = (\overline{BA})^2 + (\overline{BE})^2 - 2(\overline{BA} \cdot \overline{BE}) \cos\gamma$$

پس:

$$\cos\gamma = \frac{(\overline{BA})^2 + (\overline{BE})^2 - (\overline{AE})^2}{2(\overline{BA}) \cdot (\overline{BE})}$$

و داریم:

$$\overline{BA} = \sqrt{x_B^2 + y_A^2} = \sqrt{\frac{d^2}{4} + \frac{d^2}{4}} = \frac{\sqrt{2}}{2} d$$

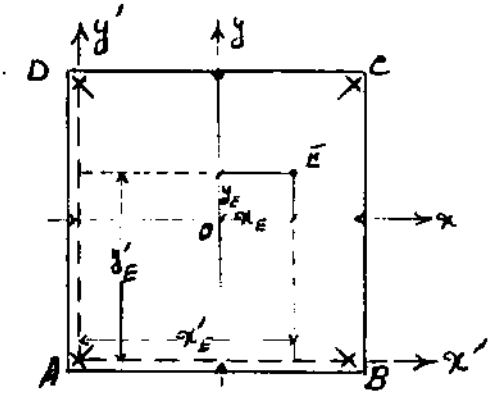
پس:

$$\gamma = \arccos(\cos\gamma)$$

و:

$$\beta^\circ = 45^\circ - \gamma^\circ$$

در بعضی موارد برای جلوگیری از ایجاد مختصات منفی، یکی از علائم گوشه ای را مبدأ و امتداد محدود به علائم گوشه ای مجاور را محورهای x و y دستگاه مختصات در نظر می گیرند مطابق شکل زیر. دستگاه مختصات xy که مبدأ نقطه A و محورهایی در امتداد اضلاع عکس در نظر گرفته شده است باید دقت کرد که محور x موازی با محور پرواز انتخاب شود.



(شکل ۶)

$$\begin{cases} x_E = x'_E - x'_O \\ y_E = y'_E - y'_O \end{cases}$$

و داریم:

$$\begin{cases} x'_O = \dfrac{x'_B + x'_C}{۲} \\ y'_O = \dfrac{y_C + y_O}{۲} \end{cases}$$

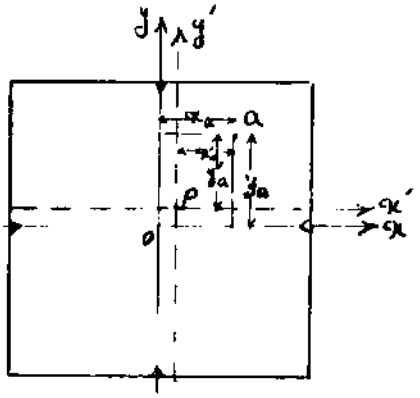
۲- خطای سیستماتیک مؤثر در مختصات عکسی

دقت مختصات عکسی نقطه‌ای که بدین ترتیب محاسبه می‌شود معلت وجود خطاهای سیستماتیک پائین می‌آید مگر اینکه اثر این خطاها محاسبه و مختصات نقاط تصحیح شوند.

منابع خطاها عبارتند از:

۲-۱: عدم انطباق نقطه اصلی بر محل برخورد امتداد علائم کناری مقابل هم

بندرت اتفاق می‌افتد که نقطه اصلی دقیقاً بر محل برخورد خطوط گذرنده از علائم کناری مقابل هم منطبق شود در نتیجه اختلافی در مختصات سطحی عکسی هر نقطه که نسبت به دستگاه مختصات xoy بدست می‌آید وجود دارد که برابر با مختصات نقطه اصلی p می‌باشد.



p = نقطه اصلی
O = مرکز عکس

(شکل ۷)

پس مختصات صحیح هر نقطه نسبت به دستگاه مختصات xpy و به مبدأ مرکز اصلی p را با توجه به شکل ۷ از روابط زیر می‌توان بدست آورد:

$$\begin{cases} x'_a = x_a - x_p \\ y'_a = y_a - y_p \end{cases}$$

۲-۲ : تغییر بعد فیلم یا عکس (تصویر)

چنانچه فاصله علائم کناری مقابل هم در روی عکس مساوی با مقدار مشخص ذکر شده در مشخصات دوربین عکسبرداری نباشد باید تصحیحی در مختصات عکسی نقاط طبق روابط زیر اعمال کرد.

اگر x_a و y_a مختصات اندازه گیری شده و x'_a و y'_a مختصات عکسی تصحیح شده نقطه دلخواه a باشند، می توان نوشت :

$$\begin{cases} x'_a = k\, x_a \\ y'_a = k'\, y_a \end{cases}$$

که $k = \frac{x_c}{x_m}$ و $k' = \frac{y_c}{y_m}$ می باشند در حالیکه x_c و y_c فواصل x و y علائم کناری مقابل هم که در مشخصات دوربین عکسبرداری آورده شده اند و x_m و y_m فواصل اندازه گیری شده علائم کناری در امتداد x و y بر روی عکس می باشند. این تصحیح باید پس از تصحیح مربوط به تبدیل مختصات به مبدأ نقطه اصلی انجام شود.

$$\begin{cases} x'_a = \left(\frac{x_c}{x_m}\right) x_a \\ y'_a = \left(\frac{y_c}{y_m}\right) y_a \end{cases}$$

۲-۳ : وجود دیستورسیون شعاعی عدسی دوربین

چنانکه دیدیم اثر اعوجاج شعاعی عدسی دوربین که قابل ملاحظه‌ترین است ایجاد جابجایی تصویری در امتداد شعاع به مرکز نقطه اصلی می باشد در نتیجه با دانستن این جابجایی شعاعی می توان مختصات صحیح هر نقطه را بدست آورد. لازم به تذکر است که این تصحیح باید پس از اعمال تصحیحات مربوط به تبدیل مختصات به مبدأ نقطه اصلی و حذف اثر تغییر ابعاد عکس در نظر گرفته شود. اگر مختصات عکسی نقطه a یعنی x_a و y_a بدست آمده باشد و Δr دیستورسیون شعاعی عدسی در آن نقطه باشد خواهیم داشت :

$$r = \sqrt{x_a^2 + y_a^2}$$

r = فاصله نقطه a تا نقطه اصلی (طول شعاع نقطه a)

$$r' = r - \Delta r$$

اگر x'_a و y'_a مختصات تصحیح شده در نظر گرفته شوند، از روابط زیر قابل محاسبه می باشند:

$$\begin{cases} x'_a = \left(\frac{n'}{n}\right) x_a \\ y'_a = \left(\frac{n'}{n}\right) y_a \end{cases}$$

اصطلاح شعاعی (δr) را می توان به کمک منحنی مربوطه δr نسبت به r که توسط کارخانه سازنده ارائه می شود بدست آورد.

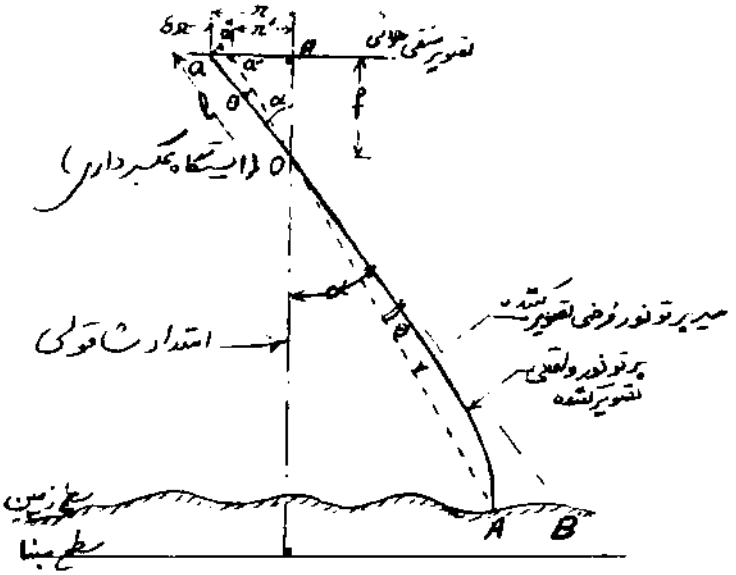
۴-۲ : اثر شکست اتمسفری نور

در سیستم های تصویر فرض بر اینست که شعاعهای نوری تصویر کننده خطوط مستقیم می باشند. در حالیکه پرتو نورهای تصویر کننده پس از بازتاب از سطح زمین، بعلت عدم وجود تعادل در تراکم ذرات و مه موجود در سطوح مختلف اتمسفر، چندین مرتبه شکسته می شوند تا به ایستگاه تعبیرداری میرسند. مقدار شکست نور با افزایش ارتفاع کاهش می یابد.

میر پرتو نوری را که دارای شکستهای متفاوت و بیشماری می باشد می توان خطی منحنی فرض کرد که سبب می شود هر نقطه در موقعیت صحیح خود تصویر نشده و دارای جابجایی تصویری در امتداد شعاع نسبت به نقطه شاقولی (نادیر) گردد و تنها پرتو نور قائم است که عاری از شکست می باشد. با دانستن زاویه شکست نور (θ) می توان مختصات صحیح هر نقطه را با توجه به شکل روبرو، بدست آورد.

ملاحظه می شود P پرتو نور تصویر کننده نقطه زمینی دلخواه A پس از طی میر منحنی $\overline{OA}$ تصویر A را بجای a در نقطه a ثبت می کند.

پس $\overline{aa'} = \delta r$ جابجایی تصویری شعاعی ناشی از شکست اتمسفری نور می باشد.



(شکل ۸)

عکسبرداری قائم در نتیجه نقاط نادیر واصلی منطبق برهم فرض شده اند.

اگر x_a و y_a مختصات نقطه دلخواه A باشد که زاویه پرتو نور نظیر تصویر آن (نقطه a) با امتداد قائم برابر با α می باشد می توان نوشت:

$$r_a = \sqrt{x_a^2 + y_a^2}$$

$$\delta r_a = \frac{l_a \cdot \theta^{Rd}}{\cos\alpha}$$

$l_a = \overline{oa}$ و θ برحسب رادیان می باشد،

و از طرف دیگر $f = l_a \cos\alpha$ است:

پس:

$$\cos\alpha = \frac{f}{l_a}$$

با جایگذاری مقادیر l و $\cos\alpha$

$$l = \sqrt{r_a^2 + f^2}$$ ،

می توان δr_a را بدست آورد،

$$\delta r_a = \frac{l_a^2 \cdot \theta^{Rd}}{f}$$

$$\Rightarrow \quad \delta r_a = \left(\frac{r_a^2 + f^2}{f}\right)\theta^{Rd}$$

پس از بدست آوردن δr_a، طول شعاع صحیح را می توان محاسبه کرد.

$$r'_a = r_a - \delta r_a$$

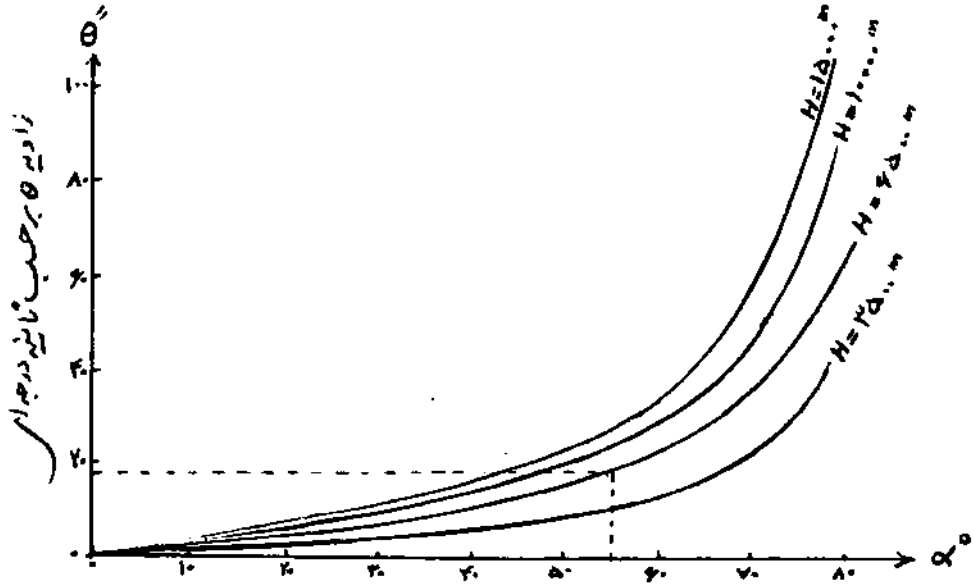
اگر x'_a و y'_a مختصات تصحیح شده نقطه a یا بعبارت دیگر مختصات نقطه a' باشند، از روابط زیر قابل محاسبه می باشند:

$$\begin{cases} x'_a = \left(\frac{r'}{r}\right) x_a \\ y'_a = \left(\frac{r'}{r}\right) y_a \end{cases}$$

مقدار زاویه θ را می توان از گرافهایی استخراج کرد که نمونه آن در زیر آورده شده است. این گراف مقدار زاویه θ را برحسب زاویه α (زاویه امتداد پرتو نور با امتداد قائم) برای نقاط در ارتفاع متوسط ۳۰۰۰ متری از سطح دریا را در عکسبرداری با ارتفاع پروازهای مختلف نشان میدهد.

پس با محاسبه α از رابطه $\alpha = \text{arc tg}\left(\frac{r}{f}\right)$ و با در دست داشتن ارتفاع پرواز میتوان

زاویه θ را از گراف بدست آورده سپس r_a و آنگاه مختصات صحیح نقطه مورد نظر محاسبه می‌شوند.



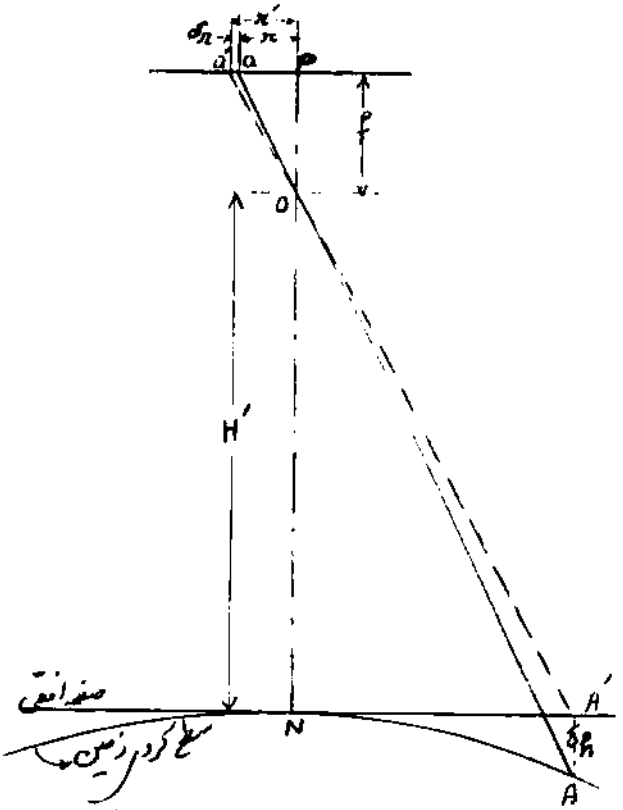
بطور مثال:
اگر $H=۶۵۰۰$ و $\alpha=۵۵^\circ$ باشد $\theta=۱۸''$ خواهد شد.

گراف تعیین کننده زاویه θ برحسب زاویه α برای عکسبرداری قائم از نقطه‌ای به ارتفاع متوسط ۳۰۰۰ متر از سطح دریا

(شکل ۹)

۵-۲: اثر کرویت زمین

چون سطح زمین کروی است درحالیکه تصویر بر روی صفحه ثبت می‌شود با لطبع محل صحیح تصویر نقطه زمینی A نمی‌باشد و دارای جابجایی در امتداد شعاع نسبت به نقطه نادیر می‌باشد. در عکسبرداری قائم که نقطه اصلی بر نقطه نادیر منطبق است اگر x_a و y_a مختصات عکسی نقطه‌ای به دلخواه به مبدا مختصات نقطه اصلی باشند با توجه به شکل روبرو



جابجائی تصویری ناشی از کرویت زمین

(شکل ۱۰)

می‌توان نوشت:

$$r_a=\sqrt{x_a^2+y_a^2}$$

و اگر δr_a جابجایی شعاعی تصویری ناشی از کرویت زمین باشد از رابطه زیر قابل اندازه‌گیری است

(اثبات بعهده دانشجویان)

$$\delta r_a = \frac{H' r_a^3}{2 R f^2}$$

بکمک آن می توان شعاع مربوط به تصویر صحیح نقطه A (شعاع نقطه a') را بدست آورد:

$$r_a' = r_a + \delta r_a$$

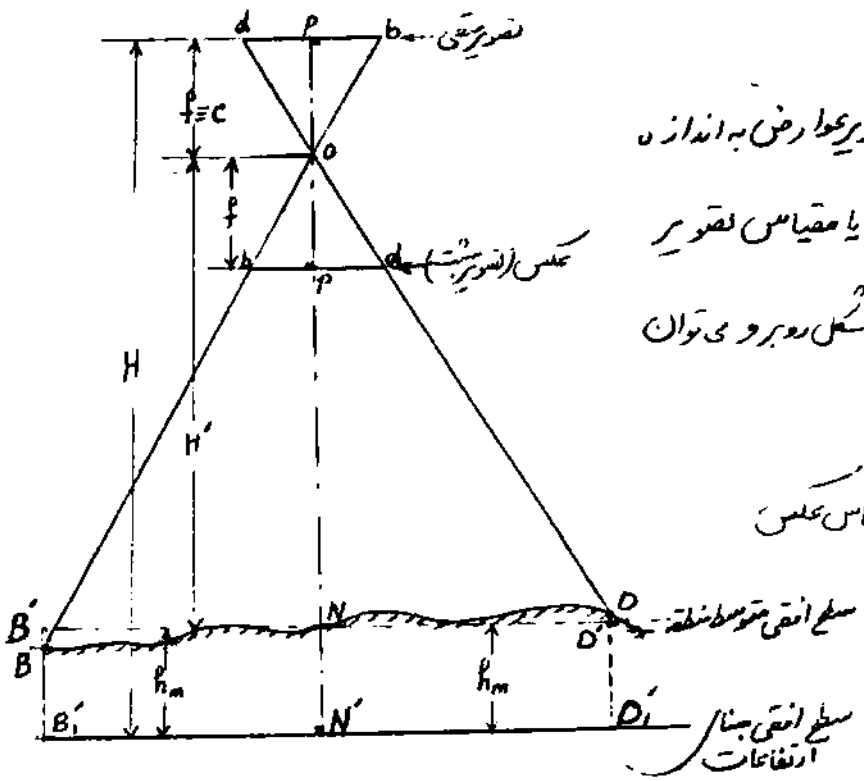
و مختصات صحیح تصویر نقطه a (مختصات نقطه a') برابر خواهد شد با:

$$\begin{cases} x_a' = \left(\frac{r'}{r}\right) x_a \\ y_a' = \left(\frac{r'}{r}\right) y_a \end{cases}$$

۳- مقیاس عکس

نسبت اندازه کوچک شده تصویر بحوار ض به اندازه واقعی شان را نسبت کوچک شدگی یا مقیاس تصویر گویند. در مورد عکسهای قائم با توجه به شکل روبرو می توان نوشت:

$$\text{مقیاس عکس } S = \frac{\text{طول تصویر روی عکس}}{\text{طول افقی واقعی (زمینی)}} = \frac{\overline{bd}}{\overline{B'D'}}$$



(شکل ۱۱)

از تشابه مثلثهای obd و $OB'D'$، نسبت تشابه زیر را می توان نوشت:

$$\frac{\overline{bd}}{\overline{B'D'}} = \frac{\overline{op}}{\overline{ON}} = \frac{c \equiv f}{H'} = \frac{f}{H - h_m}$$

عکسبردار قائم و $\hat{t} = 0$ فرض شده است؛

$$\Rightarrow \quad S = \frac{f \equiv c}{H - h_m}$$

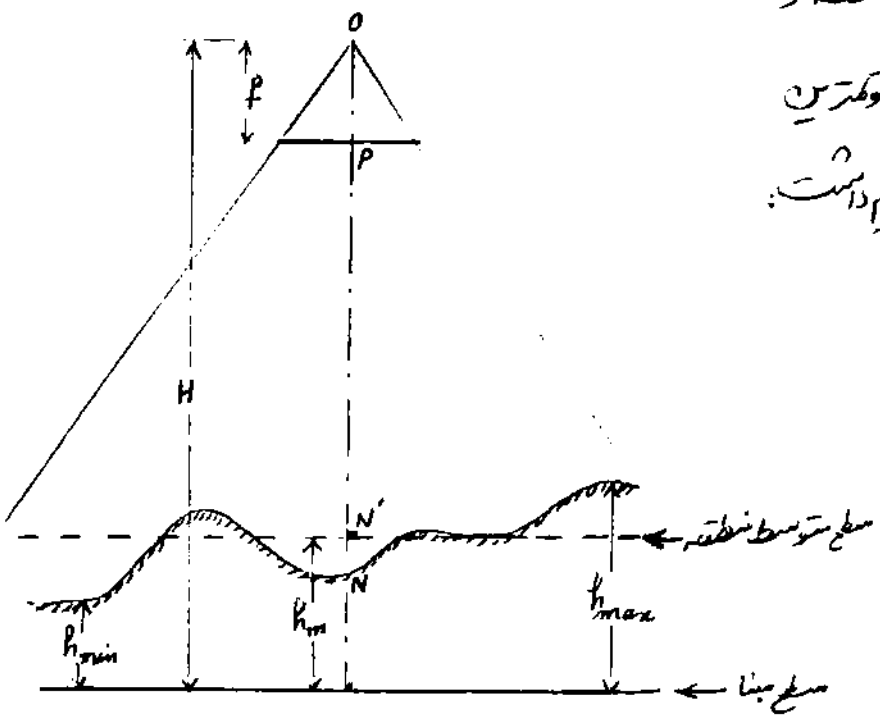
f = فاصله کانونی عدسی، c = فاصله اصلی، h_m = ارتفاع سطح متوسط منطقه و H و H' بترتیب ارتفاع پرواز از سطح مبنا و از سطح متوسط منطقه می باشند.

مقیاس بصورت کسری نشان داده می‌شود که صورت آن عدد واحد (۱) و مخرج آن عددی صحیح و مثبت و مضرب ۱۰ ($n=2,3,\dots$) می‌باشد؛ مخرج کسر را عدد مقیاس نیز می‌گویند. مطور مثال $S=\frac{1}{6000}$

بدین معنی است که هر واحد روی عکس، بطور طولی برابر با ۶۰۰۰ واحد روی زمین است، عدد ۶۰۰۰ عدد مقیاس عکس می‌باشد.

در حالت کلی مقیاس را می‌توان بصورت $S=\frac{1}{m}$ نشان داد که m عدد مقیاس عکس می‌باشد.

در صورتیکه منطقه مسطح یا دارای شیب یکنواخت و ملایم باشد مقیاس تصاویر در قسمتهای مختلف یکسان و ثابت است ولی اگر منطقه مسطح نباشد یعنی دارای اختلاف ارتفاع نقاط با زیاد و شیبهای تند باشد ملاحظه می‌شود که مقیاس در قسمتهای مختلف عکس مساوی نیست و با تغییر ارتفاع، تغییر می‌کند. در چنین حالتی باید مقیاس متوسطی برای عکس بدست آورد.



(شکل ۱۲)

اگر h_m ارتفاع سطح متوسط منطقه و h_{max} و h_{min} بترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع های منطقه باشند خواهیم داشت:

$$h_m=\frac{1}{2}(h_{min}+h_{max})$$

پس مقیاس متوسط عکس برابر است با:

$$S_m=\frac{f}{H-h_m}$$

و یا می‌توان بزرگترین و کوچکترین

مقیاس عکس را به ترتیب مربوط به نقاط با حداکثر و حداقل ارتفاع می باشند، بدست آورده و آنگاه مقیاس متوسط را تعیین نمود:

$$S_{max} = \frac{f}{H - h_{max}}$$

$$\Rightarrow S_m = \frac{1}{2}(S_{max} + S_{min})$$

$$S_{min} = \frac{f}{H - h_{min}} \quad \text{و}$$

- منطقه ای مسطح گفته می شود که حداکثر اختلاف ارتفاع نقاط آن کمتر از یکصدم ارتفاع پرواز باشد.

$$\Delta h = h_{max} - h_{min} < 0.01\, H'$$

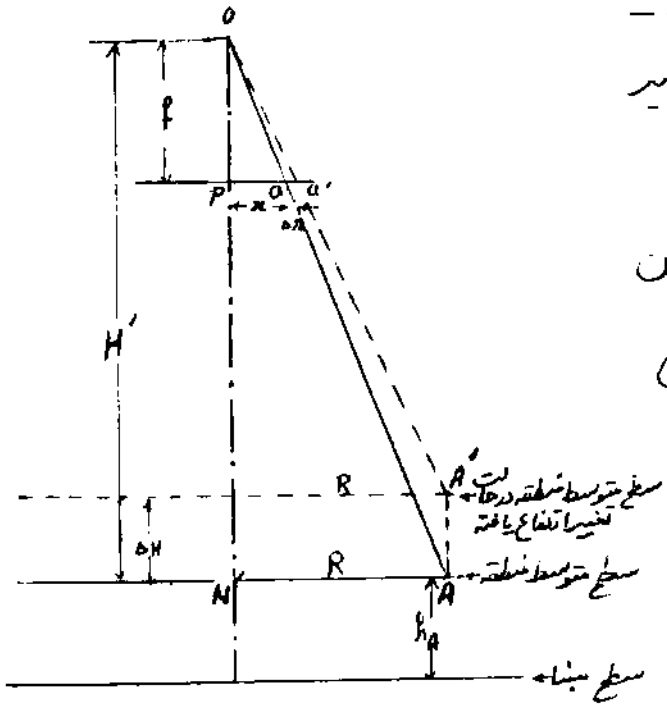
اگر نقشه ای با مقیاس مشخص در دست باشد، مقیاس عکس آن منطقه را از رابطه زیر می توان بدست آورد.

$$\frac{S_{Pk}}{S_k}\ \begin{matrix}\text{عکس}\\ \text{نقشه}\end{matrix} = \frac{\text{فاصله دو نقطه روی عکس}}{\text{فاصله آن دو نقطه روی نقشه}} = \frac{d_{Pk}}{d_k}$$

$$S_{Pk} = \frac{d_{Pk}}{d_k} \cdot S_k$$

۴- جابجایی ناشی از تغییر مقیاس

تغییر ارتفاع پرواز از سطح زمین که ناشی از تغییر ارتفاع هواپیما از سطح مبنای دریا و یا تغییر ارتفاع عوارض مختلف است سبب ایجاد تغییر در مقیاس عکس می شود. تغییر مقیاس در نقاط مختلف عکس باعث ایجاد جابجایی در موقعیت صحیح تصاویر نقاط می شود. جابجایی تصویری ناشی از تغییر مقیاس در امتداد شعاع به مرکز نقطه مورد نظر اصلی می باشد و با فاصله نقطه تا نقطه اصلی



(شکل ۵-۱۲)

(مرکز عکس) متناسب است.

بطور مثال اگر ارتفاع پرواز کم شده باشد با کاسته شدن ارتفاع پرواز از سطح متوسط منطقه، مقیاس عکس بزرگتر می‌شود در نتیجه تصویر عکسی طول R نیز بزرگتر خواهد شد $(r+\Delta r)$.

این حالت را می‌توان با بالا بردن سطح متوسط منطقه از سطح مبنا یا افزایش ارتفاع نقطه کلی دانست بدین معنی P جابجایی تصویری نقطه a ناشی از کم شدن ارتفاع پرواز به اندازه ΔH برابر است با جابجایی تصویری نقطه a بازاء از دیاد ارتفاع آن (نقطه زمینی) به میزان ΔH یعنی $h_{A'} = h_A + \Delta H$. و بالعکس اگر ارتفاع پرواز افزایش یابد جابجایی تصویری ناشی از تغییر مقیاس حاصل از آن برابر با جابجایی تصویری ناشی از پایین رفتن نقطه (کم شدن ارتفاع نقطه) می‌باشد. مطابق شکل فوق اگر r تصویر طول R (عکسی) در ارتفاع پرواز H' باشد، تصویر طول R در ارتفاع پرواز $H' - \Delta H$ برابر با $r + \Delta r$ شده و می‌توان نوشت:

$$r = R \cdot S \qquad \text{درحالیکه} \quad S = \frac{f}{H'}$$

$$r + \Delta r = R \cdot S' \qquad \text{و} \quad S' = \frac{f}{H' - \Delta H} \text{ می‌باشند.}$$

$$\Delta S = S' - S$$

$$\frac{r + \Delta r}{r} = \frac{R \cdot S'}{R \cdot S}$$

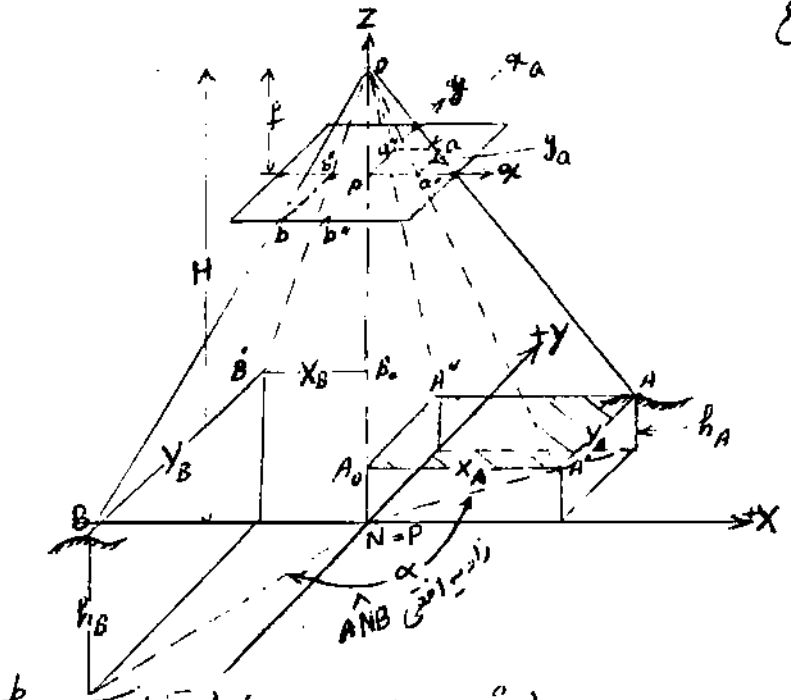
$$\Rightarrow \Delta r = r \frac{S' - S}{S} \rightarrow \Delta r = \frac{r}{S} \Delta S, \quad \Delta r = r \cdot \frac{\Delta S}{S}$$

و همچنین: $S = \frac{f}{H} \Rightarrow dS = f \cdot \frac{-dH}{H^2} \Rightarrow \frac{dS}{S} = \frac{-dH}{H} \rightarrow \Delta r = -r \cdot \frac{\Delta H}{H}$

۵- اندازه‌گیری مختصات زمینی از مختصات عکسی

با اندازه‌گیری مختصات عکسی هر نقطه از عکس قائم نسبت به نقطه اصلی (p)، می‌توان مختصات زمینی آن نقطه را نسبت به نقطه اصلی روی زمین (P) بکمک مقیاس محاسبه کرد. از تشابه دو مثلث قائم‌الزاویه opa و OA_0A' در شکل ۱۳ داریم:

(نقطه A اختیاری و دلخواه است با ارتفاع h_A).



(شکل ۱۳) رابطه بین مختصات زمینی و عکسی نقاط

$$\frac{\overline{pa'}}{\overline{A_0A'}} = \frac{x_a}{X_A} = \frac{f}{H-h_A} = S_a$$

پس:

$$x_a = X_A \cdot S_a$$

و $$X_A = \frac{x_a}{S_a} = x_a\left(\frac{H-h_A}{f}\right)$$

می شود.

و بطور مشابه از تشابه دو مثلث قائم الزاویه opa' و OA_0A' داریم:

$$\frac{\overline{aa''}}{\overline{A_0A''}} = \frac{y_a}{Y_A} = \frac{f}{H-h_A}$$

$$\rightarrow Y_A = y_a\left(\frac{H-h_A}{f}\right)$$

مختصات زمینی هر نقطه دلخواه را در حالت کلی بطور مشابه، از روابط زیر می توان بدست آورد،

$$\begin{cases} X = x\left(\frac{H-h}{f}\right) \\ Y = y\left(\frac{H-h}{f}\right) \end{cases}$$

$\frac{H-h_m}{f} = m$ عدد مقیاس عکس

و طول افقی دو نقطه A و B: $\overline{AB} = \sqrt{(X_B-X_A)^2+(Y_B-Y_A)^2}$ می باشد.

بعبارت دیگر می توان گفت که مختصات زمینی هر نقطه در عکس دارای قائم برابر است با حاصلضرب مختصات عکسی آن نقطه در عدد مقیاس عکس در آن نقطه.

$$\begin{cases} X = \frac{H-h}{f} \cdot x \\ Y = \frac{H-h}{f} \cdot y \end{cases}$$

همچنین می توان زاویه افقی دو امتداد NA و NB را

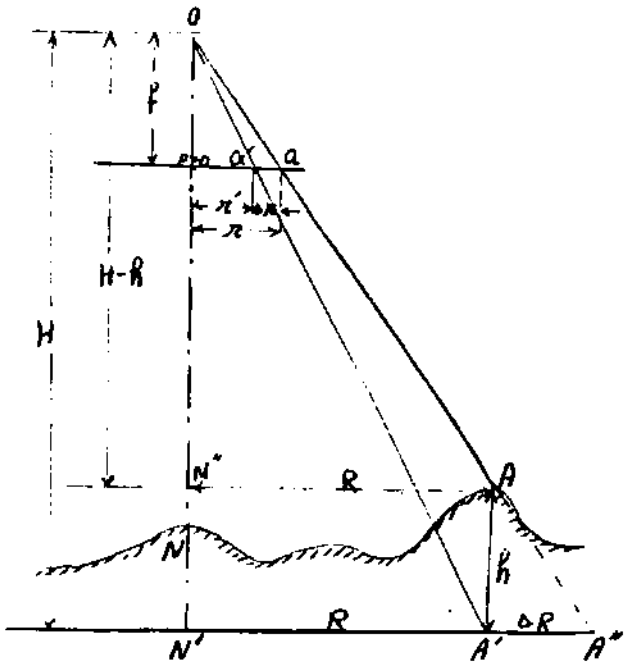
$$\hat{ANB} = 90^\circ + \text{arctg}\left(\frac{X_B}{Y_B}\right) + \text{arctg}\left(\frac{Y_A}{X_A}\right)$$

بدست آورد.

۶- جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع

وجود نقاط با ارتفاع های مختلف سبب ایجاد جابجایی های تصویری متفاوت در موقعیت تصویر عکسی آن ها و در نتیجه ایجاد اختلاف در مختصات عکسی نقاط نسبت به یکدیگر می شود. این جابجایی نسبت به نقطه نادیر شعاعی است و با دور شدن نقطه از مرکز، افزایش می یابد.

پس با دانستن ارتفاع هر نقطه می توان میزان جابجایی و در نتیجه مختصات صحیح آن نقطه را بدست آورد و یا برعکس با داشتن جابجایی تصویری، ارتفاع نقطه را محاسبه کرد.



جابجایی تصویری ناشی از ارتفاع

(شکل ۱۴)

۶-۱: تعیین جابجایی ناشی از ارتفاع

عکس دارای قائم فرض شده است پس نقطه نادیر بر نقطه اصلی منطبق می باشد. چنانکه از شکل ۱۴ برمی آید موقعیت صحیح تصویر نقطه A زمینی، نقطه تصویری a' است نه a و جابجایی تصویری $\Delta r = \overline{aa'}$ که شعاعی است، با ارتفاع h نقطه A و شعاع $r = \overline{pa}$ متناسب است.

از تشابه دو مثلث قائم الزاویه opa و ON''A داریم:

$$\frac{\overline{pa}}{\overline{N''A}} = \frac{\overline{op}}{\overline{ON''}}$$

با جایگزین کردن مقادیر نظیر خواهیم داشت:

$$\frac{r}{R} = \frac{f}{H-h} \rightarrow \quad R = r \cdot \frac{H-h}{f} \quad , \quad r = R \cdot \frac{f}{H-h}$$

و از تشابه دو مثلث قائم الزاویه opa' و $ON'A'$ می توان نوشت:

$$\frac{\overline{pa'}}{\overline{op}} = \frac{\overline{N'A'}}{\overline{ON'}} \quad \Rightarrow \frac{\pi'}{f} = \frac{R}{H} \quad \Rightarrow R = \pi' \cdot \frac{H}{f} \;, \quad \pi' = R \cdot \frac{f}{H}$$

میدانیم $\Delta\pi$ جابجایی تصویری برابر است با :

$$\Delta\pi = \pi - \pi'$$

$$\Delta\pi = R \cdot \frac{f}{H-h} - R \cdot \frac{f}{H} = R\left(\frac{f(H-H+h)}{H(H-h)}\right) = R \cdot \frac{f.h}{H(H-h)}$$

با جایگذاری مقدار R برحسب π خواهیم داشت :

$$\Delta\pi = \pi \cdot \frac{H-h}{f} \cdot \frac{f \cdot h}{H(H-h)} = \pi \cdot \frac{h}{H}$$

که h ارتفاع نقطه مورد نظر از سطح مبنا ،

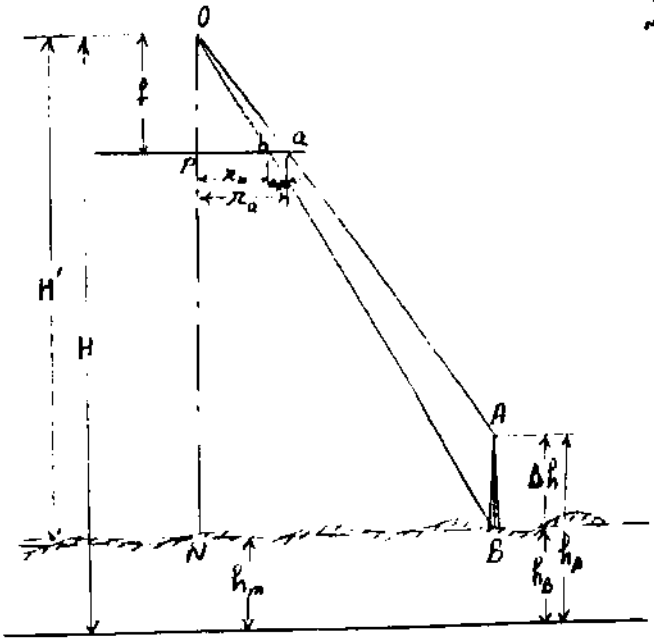
و H ارتفاع پرواز از سطح مبنای ارتفاعات

$$\Delta\pi = \frac{\pi \cdot h}{H}$$

می باشند . با تعیین $\pi = \pi - \Delta\pi$ می توان مختصات صحیح نقطه مورد نظر را بدست آورد .

۲-۶ : تعیین اختلاف ارتفاع بکمک جابجایی تصویری ناشی از آن

در عکسبرداری قائم در صورتیکه سطح افقی متوسط منطقه را سطح مبنا فرض کنیم می توان از روابط فوق برای تعیین اختلاف ارتفاع هر نقطه نسبت به ارتفاع متوسط منطقه، تعیین اختلاف ارتفاع هر دو نقطه دلخواه و یا محاسبه ارتفاع ساختمانها ، برجها ، دکلها و ... استفاده کرد .



(شکل ۱۵)

با توجه به شکل ۱۵، ملاحظه می شود که از روابط جابجایی ناشی از ارتفاع برای تعیین Δh ارتفاع دکل AB می توان استفاده کرد .

دو نقطه A و B با اینکه در امتداد قائم یکدیگر قرار دارند و دارای مختصات مسطحاتی زمینی مساوی

می باشند بر روی عکس دارای دو تصویر a و b با مختصات عکسی متفاوت می شوند، چون نقاط تصویری a و b بر روی عکس قابل رویت می باشند پس می توان دو فاصله $\overline{pa}$ و $\overline{ba}$ را اندازه گیری نموده و ارتفاع دکل (اختلاف ارتفاع دو نقطه A و B) را محاسبه نمود:

جای h، اختلاف ارتفاع Δh و

جای H، ارتفاع پرواز از سطح متوسط منطقه (H') $\Delta r = r \cdot \frac{\Delta h}{H'}$

$\Rightarrow \Delta h = \frac{\Delta r}{r} \cdot H'$

جایگزین می شود.

۳-۶: تعیین موقعیت صحیح امتداد عوارض خطی

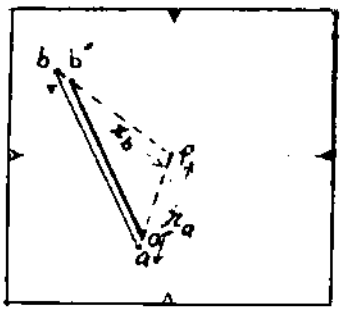
از این روابط برای مشخص کردن محل صحیح امتداد عوارض مستقیم الخط نیز استفاده می شود. با در اختیار داشتن ارتفاع دو نقطه از چنین عارضه‌ای مانند A و B و اندازه گیری طول شعاعهای مربوط به تصویر این دو نقطه از نقطه اصلی عکس قائم (r_a و r_b) میزان جابجایی تصویری در هر نقطه بدست می آید:

$$\Delta r_a = r_a \cdot \frac{h_A}{H}$$

$$\Delta r_b = r_b \cdot \frac{h_B}{H}$$ ،

$$r'_a = r_a - \Delta r_a \quad , \quad r'_b = r_b - \Delta r_b$$

با تعیین Δr_a و Δr_b، نقاط a' و b' (موقعیتهای تصویری صحیح نقاط A و B) را بر روی عکس مشخص نموده در نتیجه امتداد a'b' موقعیت صحیح تصویر خط AB بدست می آید.



(شکل ۱۶)

برای مشخص کردن موقعیت صحیح تصویری هر عارضه، می توان با تقسیم آن به چند پاره خط مستقیم، در صورت در اختیار داشتن ارتفاع نقاط دو سر هر پاره خط، به نتیجه مطلوب دست یافت.

۷- تعیین مقیاس صحیح عکس قائم

مقیاس اسمی عکس معمولاً مقیاس واقعی آن نمی باشد، زیرا اولاً، انجام پرواز در ارتفاع تعیین شده بطور ثابت، مشکل و حتی گاهی اوقات غیر ممکن است پس با بروز تغییر در ارتفاع پرواز مربوط بهر ایستگاه عکسبرداری، عکسهای منطقه دارای مقیاسهای متفاوت با مقیاس در نظر گرفته شده برای عکس، می باشند؛ ثانیاً چون منطقه های با نقاط هم ارتفاع خیلی کم وجود دارد در نتیجه قسمتهای مختلف عکس دارای یک مقیاس نمی باشند حتی اگر ارتفاع پرواز صحیح حفظ شده باشد. لذا با توجه به رابطه مقیاس $S=\frac{f}{H'}=\frac{f}{H-h}$ ، مقیاس صحیح عکس یا قسمتهای مختلف عکس را، بدلیل ثابت بودن فاصله کانونی دوربین عکسبرداری، در صورتی می توان تعیین کرد که ارتفاع پرواز از سطح منطقه مشخص باشد.

ارتفاع پرواز را می توان کمیت نسبتاً مهمی بشمار آورد زیرا در اکثر روابط محاسباتی و عملیات مورد استفاده قرار می گیرد.

۸- تعیین ارتفاع پرواز

روشهای مختلفی برای اندازه گیری ارتفاع پرواز (ارتفاع ایستگاه عکسبرداری) از سطح منطقه مورد نظر وجود دارد که نمونه هایی در زیر آورده می شود:

۸-۱: ملاحظه می شود که این کمیت در روابط تعیین جابجایی تصویری ناشی از ارتفاع بکار برده شده است؛ پس با داشتن ارتفاع یک نقطه و اندازه گیری جابجایی تصویری و شعاع تصویری آن نقطه می توان ارتفاع پرواز را محاسبه کرد. برای بالا بردن دقت تعیین ارتفاع پرواز، می توان از ارتفاع چند نقطه استفاده نمود و متوسط ارتفاع پروازها را بدست

آمده را بعنوان بهترین ارتفاع پرواز درنظرگرفت. باید درنظرداشت که منطقه باید نسبتاً مسطح و یا نقاط با ارتفاع معلوم تردیک بهم باشند تا بتوان مقیاس صحیح عکس مربوط به منطقه مسطح و یا مقیاس قسمت مشخصی از عکس را تعیین کرد.

$$H=\frac{f}{\Delta\pi}\cdot h \quad , \quad H'=H-h$$

۲-۸: درصورتیکه منطقه نسبتاً مسطح باشد با در دست داشتن طول افقی دو نقطه هم ارتفاع روی زمین و فاصله آن دو نقطه روی عکس قائم، می توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$S=\frac{\overline{ab}}{\overline{AB}}=\frac{f}{H'} \quad \rightarrow \quad H'=\frac{\overline{AB}}{\overline{ab}}\cdot f$$

۳-۸: با داشتن فاصله افقی زمینی و ارتفاع دو نقطه و اندازه گیری مختصات عکسی آن دو نقطه نیز می توان ارتفاع پرواز را بصورت زیر تعیین نمود.

اگر D طول افقی زمینی دو نقطه A و B، h_A و h_B ارتفاع های نقاط A و B و (x_a, y_a) و (x_b, y_b) مختصات عکسی تصاویر این دو نقطه باشند داریم:

$$D=\overline{AB} \quad , \quad D^2=(X_B-X_A)^2+(Y_B-Y_A)^2$$

چون $X_A=x_a\cdot\frac{H-h_A}{f}$ ، $Y_A=y_a\frac{H-h_A}{f}$ ، $X_B=x_b\cdot\frac{H-h_B}{f}$ و $Y_B=y_b\frac{H-h_B}{f}$ می باشند، پس:

$$D^2=\left[x_b\left(\frac{H-h_B}{f}\right)-x_a\left(\frac{H-h_A}{f}\right)\right]^2+\left[y_b\left(\frac{H-h_B}{f}\right)-y_a\left(\frac{H-h_A}{f}\right)\right]^2 \qquad (1)$$

با حل این رابطه، معادله درجه دومی برحسب H (که مجهول این رابطه است) بدست می آید بصورت:

$$aH^2+bH+c=0$$

با حل معادله درجه دوم فوق که ریشه های آن عبارتند از:

$$H=\frac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$$

ارتفاع پرواز H، با صرفنظر کردن از ریشه منفی، تعیین می شود.

۸-۴ : برای دست یافتن به بهترین مقدار ارتفاع پرواز H از روابط مربوط، می‌توان از روش تکرار استفاده کرد. پارامترهای معلوم همانهایی هستند که در روش ۸-۳ مورد نظر بودند. نحوه عملکرد بدین ترتیب است که :

۱- ارتفاع پرواز تقریبی را به کمک مقیاس تقریبی عکس و رابطه $S=\frac{\overline{ab}}{\overline{AB}}=\frac{f}{H-h}$ بدست آورده و آنرا H_1 می‌نامیم.

$h=\frac{h_A+h_B}{2}$ ارتفاع متوسط دو نقطه A و B است.

و $\overline{ab}=\sqrt{(x_b-x_a)^2+(y_b-y_a)^2}$

۲- H_1 بدست آمده را برای تعیین طول AB در رابطه (۱) ذکر شده در روش ۸-۳ قرار میدهیم، در صورتیکه D محاسبه شده که آنرا D_1 می‌نامیم برابر با طول واقعی AB باشد $H=H_1$ ارتفاع پرواز صحیح است، معمولاً در عمل $D_1 \neq D$ می‌شود که در اینصورت باید عملیات را ادامه دهیم.

۳- ارتفاع پرواز جدید را با استفاده از نسبت روبرو $\frac{D}{H-h}=\frac{D_1}{H_1-h}$ بدست آورده و H_2 می‌نامیم.

۴- طول AB را توسط ارتفاع پرواز H_2 از رابطه (۱) محاسبه کرده و آنرا D_2 نامگذاری می‌کنیم؛ چنانچه $D_2=D$ باشد : $H=H_2$ ارتفاع پرواز صحیح است درغیراینصورت عملیات فوق از بند ۳ به بعد تکرار می‌شود،

$\frac{D}{H_2-h}=\frac{D_2}{H_2-h}$

تا جایکه D_n بدست آمده توسط H_n ، برابر با D واقعی شود. تا وقتی مذکور هیچگاه دقیقاً برقرار نمی‌شود لکن عملیات را تا جایی که ΔD اختلاف دو طول نظیر ($\Delta D=D-D_n$) به حد خطای قابل قبول برسد، ادامه میدهیم. معمولاً پس از ۲ تا ۳ بار تکرار به نتیجه خواهیم رسید.

$H=H_n$ ارتفاع پرواز صحیح مورد نظر می‌باشد.

۹- بررسی خطاها در اندازه گیری ارتفاع پرواز

خطاهای مؤثر در اندازه گیری یا در محاسبات مورد بحث خطاهای سیستماتیک و اتفاقی هستند که باید سعی کرد اثر آنها را به حداقل ممکن رسانید. منابع خطاهای مؤثر عبارتند از:

۹-۱: خطاهای مربوط به اندازه گیری های روی عکس از جمله مختصات عکسی نقاط؛

۹-۲: خطاهای مربوط به اندازه گیری های زمینی از جمله طول افقی و ارتفاعات دامنه نقاط؛

اثر این دو نوع خطای اتفاقی را می توان با بکار گیری وسائل دقیق، روشهای مناسب و دقت کافی در قرائتها به حداقل رسانید.

اگر خطای اندازه گیری های زمینی را d_{AB} در نظر بگیریم اثر آن در ارتفاع پرواز dH_{AB} خواهد بود که:

$$H = f \cdot \frac{\overline{AB}}{\overline{ab}} + h_m$$

$$dH_{AB} = \frac{f}{\overline{ab}} \cdot d_{AB}$$

و اگر خطای اندازه گیری های عکسی d_{ab} باشد خواهیم داشت:

$$dH_{ab} = -\frac{f \cdot \overline{AB}}{(\overline{ab})^2} d_{ab}$$

خطای ارتفاع پرواز، ناشی از تأثیر این دو خطا، برابر خواهد شد با:

$$dH = \sqrt{(dH_{AB})^2 + (dH_{ab})^2}$$

۹-۳: خطای مربوط به تغییر ابعاد فیلم یا کاغذ عکس و دیستورسیون عدسی

نحوه محاسبه و رفع اثر این خطاها در مختصات عکسی در مباحث ۲-۲ و ۳-۲ از همین فصل آورده شده است.

۹-۴: خطای ناشی از تیلت

در کلیه اندازه گیری ها و محاسبات این بخش فرض شده است که عکسبرداری قائم و نقطه نادیر بر نقطه اصلی منطبق است. در صورتیکه عکسبرداری کاملاً قائم نباشد یا اندازه گیری ها با دقت خیلی بالایی مورد نظر باشد باید اثر زاویه چرخش (تیلت) را نیز که در بخش بعد مورد بررسی قرار می گیرد در نظر گرفت.

۳) اندازه گیری عکسهای مایل

۱- مشخصات عکس مایل

چنانچه خلبان موفق نشود، در زمان عکسبرداری هواپیما را بصورت کاملاً افقی هدایت کند؛ صفحه تصویر نیز افقی نبوده و نسبت به صفحه افقی دارای چرخشی می باشد که زاویه تیلت نامیده میشود. زاویه تیلت بعبارت دیگر برابر است با زاویه بین امتداد شاقولی و محور عکسبرداری. در این حالت سه نقطه اصلی، نادیر و هیار از یکدیگر مجزا می باشند.

(شکل ۱۷)

طبق شکل روبرو می توان نوشت:

$$\overline{np} = f \operatorname{tg} t$$

$$\overline{pi} = f \operatorname{tg} \frac{t}{2}$$

و $\hat{poi} = \hat{ion} = \frac{1}{2}\hat{t}$

تصویر منطقه ای مربع شکل در عکسبرداری قائم، مربع است در حالیکه در عکسبرداری مایل شکلی نامشخص می باشد. و در صورتیکه محور چرخش موازی با یکی از اضلاع مربع باشد تصویر آن ذوزنقه ای خواهد شد مانند شکل روبرو:

(شکل ۱۸)

A، B، C و D تصویر زمینی چارگوشه مربع عکس قائم و A'، B'، C'، D' تصویر زمینی چارگوشه مربع در عکسبرداری مایل با چرخش زاویه t (تیلت) حول محوری بموازات اضلاع AD و BC می باشند.

مشاهده می‌شود که مقیاس در کلیه امتدادها و اضلاع در سطح مربع تغییر یافته است نیز در امتداد محور دوران که خط MQ است. این خط، که خطی افقی است خط همبار می‌باشد. P نقطه اصلی، N نقطه نادیر و I نقطه همبار است که برروی عمیاز زاویه $\hat{NOP}$ قرار دارد. خط مستقیم NIP (خط اصلی) بر خط همبار MQ عمود می‌باشد. امتداد رئوس AA'، BB'، CC' و DD' هکلی از نقطه همبار I می‌گذرند پس ملاحظه می‌شود که جابجایی (تصویری) ناشی از تیلت در هر نقطه، نسبت به نقطه همبار سطح اولیه با فاصله نقطه مورد نظر از نقطه همبار متناسب می‌باشد. در عکسبرداری مایل، تصویر خط مستقیم، خطی مستقیم است.

۲- اندازه‌گیری مختصات عکسی در عکس مایل

در عکسبرداری مایل، محاسبات کلی دستگاه مختصاتی به مبدأ n (نقطه نادیر) صورت می‌گیرد که محور y امتداد خط اصلی است بطوریکه جهت مثبت آن سمت نقطه اصلی در باشد و محور x نیز امتداد عمود بر آن از نقطه n که جهت مثبت آن با جرخش ۹۰° جهت مثبت محور y در جهت گردش ساعت مشخص می‌شود. این دستگاه را x'ny' می‌نامیم.

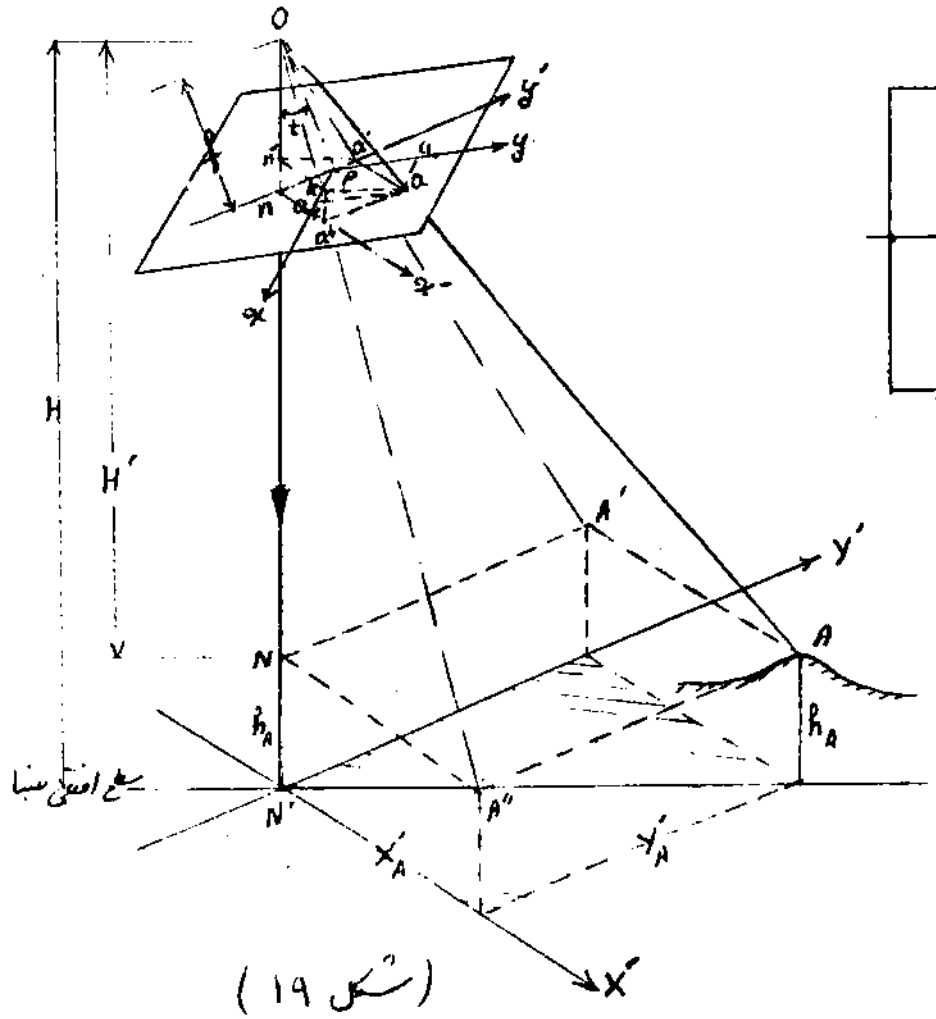
با حالیه دو دستگاه مختصات xpy - که مربوط به علائم کناری عکس) است - و x'ny' ملاحظه می‌شود که ابتدا باید دستگاه مختصات xy را حول نقطه اصلی p به مقدار زاویه θ (زاویه جرخش دو دستگاه مختصات بسمت دوران) دوران داد و سپس مبدأ مختصات را از p به روی n انتقال داد.

برای انجام اندازه‌گیری در سیستم عکس مایل، ابتدا مختصات را در سیستم دوران یافته تحت زاویه θ بدست آورده و سپس به مختصات y بدست آمده انتقال np را معرفی می‌کنیم.

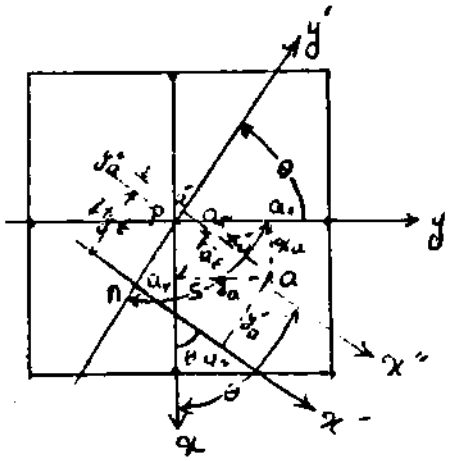
در شکل ۱۷، دو دستگاه مختصات نسبت به یکدیگر و امتداد محورهای مختصات هر دستگاه مشخص شده است.

$\hat{\theta} + \hat{s} = 180^\circ$

اگر مختصات x_a و y_a مختصات عکسی نقطه دلخواه a در دستگاه xy و پس از دوران دستگاه مختصات تحت زاویه θ حول مبدأ بر ابر با x'_a و y''_a (در دستگاه مختصات $x'y'$) باشند، با توجه به شکل های ۱۹ و ۲۰ خواهیم داشت:



(شکل ۱۹)



(شکل ۲۰)

$$y'_a = y''_a + \overline{np}$$

$$\overline{np} = f\,tg\,t \Rightarrow y'_a = y''_a + f\,tg\,t$$

$$\theta = 180^\circ - S$$

اگر جهت مثبت θ (جهت مثبت دوران دستگاه مختصات xy را برای منطبق شدن جهت مثبت محور y بر جهت مثبت محور y') را جهت مثلثاتی در نظر بگیریم، داریم:

$$x'_a = \overline{a'a_2} + \overline{a_2 a} \quad , \quad \overline{a'a_2} = x_a \cos\theta \quad , \quad \overline{a_2 a} = y_a \sin\theta$$

$$x'_a = x_a \cos\theta + y_a \sin\theta$$

a_2 یا a_3 عمود از a_1 بر aa' است، پس:

$$y''_a = \overline{a_2 a_3} = \overline{a_1 a_3} - \overline{a_1 a_2} \quad , \quad \overline{a_1 a_3} = y_a \cos\theta \quad , \quad \overline{a_1 a_2} = x_a \sin\theta$$

پس:

$$y''_a = -x_a \sin\theta + y_a \cos\theta$$

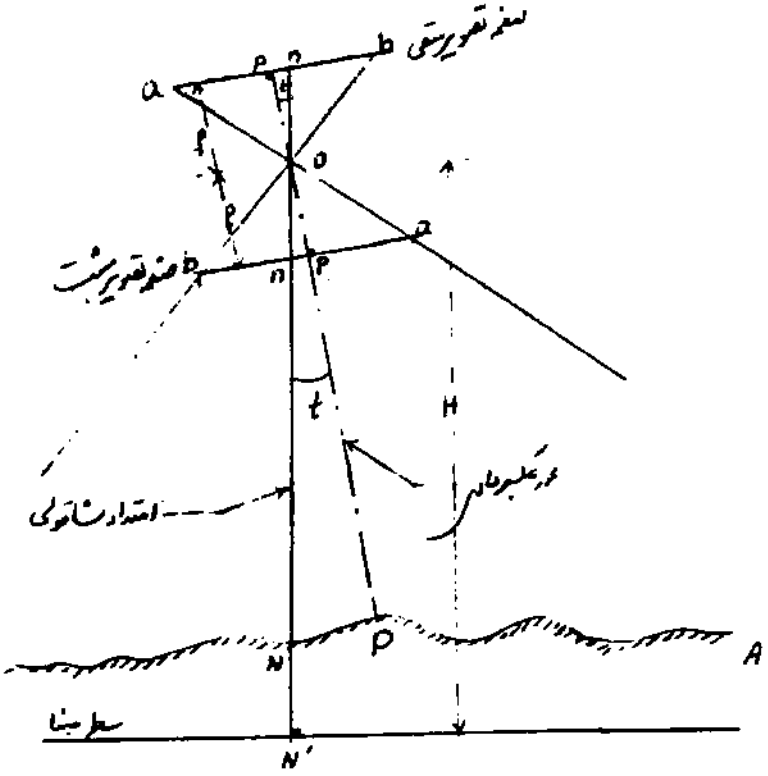
از آنجا که پس از انتقال مبدأ از p به n خواهیم داشت:

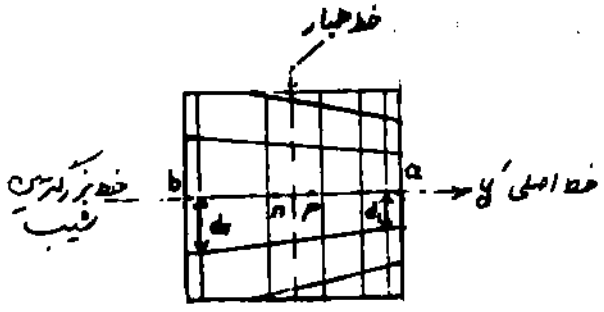
$$y'_a = y''_a + f\,tg\,t$$

پس مختصات x' و y' در دستگاه مختصات x و y برابر خواهد شد با:

$$\begin{cases} x' = x\cos\theta + y\sin\theta \\ y' = -x\sin\theta + y\cos\theta + f\,tg\,t \end{cases}$$

۳- مقیاس عکس مایل





(شکل ۲۱)

در عکسبرداری مایل، که شکل زیر را دارد نیز عکسبرداری با سیستم تصویر مرکزی مایل و عکس حاصل از آن را نشان میدهد، مقیاس در هر نقطه از عکس مایل متفاوت است زیرا فاصله ایستگاه عکسبرداری تا نقاط مختلف تفاوت دارد. در عکس قائم اختلاف مقیاس در قسمتهای مختلف یک عکس ناشی از مسطح نبودن منطقه (هم ارتفاع نبودن نقاط مختلف عکس) می شد لیکن در عکسبرداری مایل و علاوه بر اختلاف ارتفاع نقاط مختلف زمین، وجود زاویه تیلت نیز سبب تغییر مقیاس می شود.

مقیاس فقط برای نقاط واقع در امتدادی به موازات محور x' (به موازات خط هبار) که خط عمود بر خط بزرگترین شیب (خط اصلی y' خط بزرگترین شیب عکس می باشد) نیز است تقریباً مساوی می باشد. با توجه به شکل فوق چون

نقاط واقع بر $\overline{OA} > \overline{OB}$ است پس متیاس در نقطه a، با خط گذرنده از a به موازات خط عبارت کمتر

از متیاس در نقطه b، یا خط گذرنده از b عمود بر γ'، می باشد در نتیجه $d_1 < d_2$ خواهد شد.

برای تعیین متیاس در هر نقطه از عکس، مانند a به مختصات x'_a و y'_a و ارتفاع h_A، صفحه افقی

$AA'NA''$ را از A و صفحه افقی $aa'n'k$ را از a (مطابق شکل 19) می گذرانیم.

از تشابه دو مثلث $OA'A$ و $Oa'a$ و دو مثلث $On'a'$ و ONA' می توان نوشت:

$$S_a = \frac{\overline{a'a}}{\overline{AA'}} = \frac{\overline{Oa'}}{\overline{OA'}} = \frac{\overline{On'}}{\overline{ON}} \qquad \overline{On'} = \overline{On} - \overline{nn'}$$

از مثلث OPA (قائم الزاویه): $\overline{On} \cdot \cos t = f$

از مثلث قائم الزاویه $n'na'$: $\overline{nn'} = \overline{na'} \cdot \sin t$

$$S_a = \frac{\overline{On} - \overline{nn'}}{\overline{ON}} \quad ,$$

پس:

$$S_a = \frac{\frac{f}{\cos t} - y'_a \sin t}{H' = H - h_A}$$

در نتیجه در حالت کلی می توان متیاس عکس

را در هر نقطه با داشتن y' و h، که به ترتیب مختص y' و ارتفاع آن نقطه می باشند از رابطه زیر

به دست آورد.

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

۴- تعیین مختصات زمینی از مختصات عکس مایل

با در دست داشتن زاویه تیلت و سرنشی θ، ابتدا مختصات x' و y' نقطه مورد نظر را

به دست آورده و سپس مختصات زمینی آن نقطه را از روابط زیر محاسبه می کنیم. با توجه به شکل

19، از تشابه دو مثلث ONA'' و $On'k$ داریم:

$$\frac{\overline{NA''}}{\overline{n'k}} = \frac{\overline{ON}}{\overline{On'}}$$

با استفاده از رابطه $S_a = \frac{\overline{On'}}{\overline{ON}}$ می توان نوشت:

$$\overline{NA''} = \overline{n'k} \cdot \frac{1}{S_a} \quad , \quad \overline{NA''} = X'_A \quad , \quad \overline{n'k} = x'_a$$

$$\rightarrow X'_A = x'_a \cdot \frac{1}{S_a} \rightarrow \qquad X'_A = \frac{H - h_A}{f/\cos t - y'_a \sin t} \cdot x'_a$$

و بطور مشابه از تشابه دو مثلث ONA' و $On'a'$ داریم:

$$\frac{\overline{NA'}}{\overline{n'a'}} = \frac{\overline{ON}}{\overline{On'}} = \frac{1}{S_a} \Rightarrow \overline{NA'} = \overline{n'a'}/S_a \;,\; \overline{NA'} = y'_A \;,\; \overline{n'i} = \overline{na'}\cos t = y'_a \cdot \cos t$$

$$\Rightarrow y'_A = \frac{H - h_A}{f/\cos t - y'_a \sin t} \cdot y'_a \cdot \cos t$$

پس در حالت کلی مختصات زمینی هر نقطه را می‌توان از روابط زیر بدست آورد. با معلوم بودن مختصات تناظری توان سایر عوامل مورد نظر از جمله طول، زاویه، مساحت... را محاسبه کرد.

$$\begin{cases} X' = \dfrac{H - h_A}{f/\cos t - y' \sin t} \cdot x' \\ Y' = \dfrac{H - h_A}{f/\cos t - y' \sin t} \cdot y' \cos t \end{cases}$$

۵ - جابجایی ناشی از تیلت

جابجایی تصویری ناشی از تیلت هواپیما شعاعی است نسبت به نقطه هم‌ارتفاع (ایزوسنتر).

و با فاصله شعاعی از نقطه هم‌ارتفاع افزایش می‌یابد. در شکل ۲۲

اگر a تصویر عکسی نقطه زمینی A بر روی خط اصلی باشد

و a, a' به موازات oi (نیمساز زاویه تیلت $n\hat{o}p$) ترسیم شود

نقطه a_1 تا a' تشابه را تأمین خواهد شد پس:

$$\overline{ia'_1} = \overline{ia_1} = y'_{1a} = y'_a - \overline{ni}$$

$\overline{ni} = x_a$ و y'_{1a} مؤلفه شعاع ia بر روی خط اصلی، است از تشابه دو مثلث oia و $a_1a'a'$ داریم:

$$\frac{\overline{a_1a'_1}}{\sin t} = \frac{\overline{ia_1}}{\sin(90^\circ - t_A)} = \frac{y'_{1a}}{\cos t_A}$$

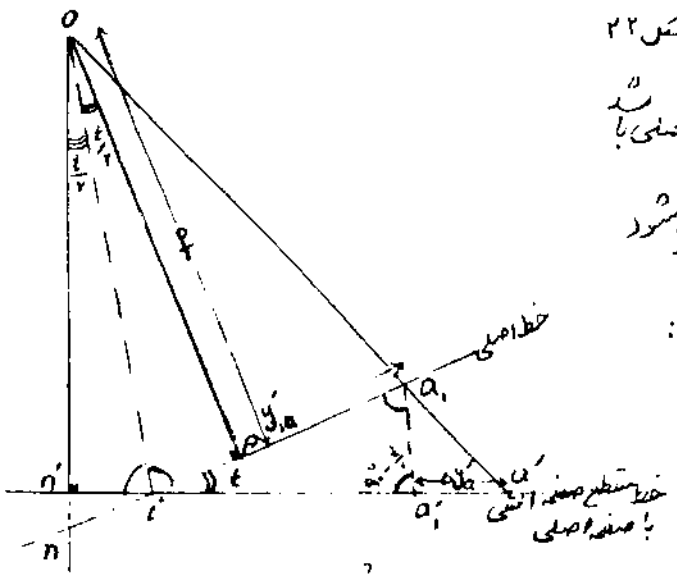
زیرا در مثلث $ia_1a'_1$ داریم: $\dfrac{\overline{a'_1a'}}{\overline{ia'}} = \dfrac{\Delta y'_a}{y'_a + \Delta y'_a} = \dfrac{\overline{a_1a'_1} = y'_{1a} \cdot \frac{\sin t}{\cos t_A}}{\overline{oi} = f/\cos t_A}$

و برای نقطه دلخواه خواهیم داشت: $\Delta y' = \dfrac{y'^2}{f/\sin t - y'}$

اگر $\gamma = \hat{aop}$ باشد داریم: $y' = r\cos\theta$ و $\Delta y' = \Delta r \cos\theta$:

$$\Delta r = \frac{r^2 \cos\theta}{f/\sin t - r\cos\theta}$$

در صورتیکه $t < 45^\circ$ باشد می‌توان از $\cos r$ در مقابل $f/\sin t$ صرفنظر کرد و نوشت: $\Delta r = \dfrac{r^2 \sin t \cos\theta}{f}$



(شکل ۲۲)

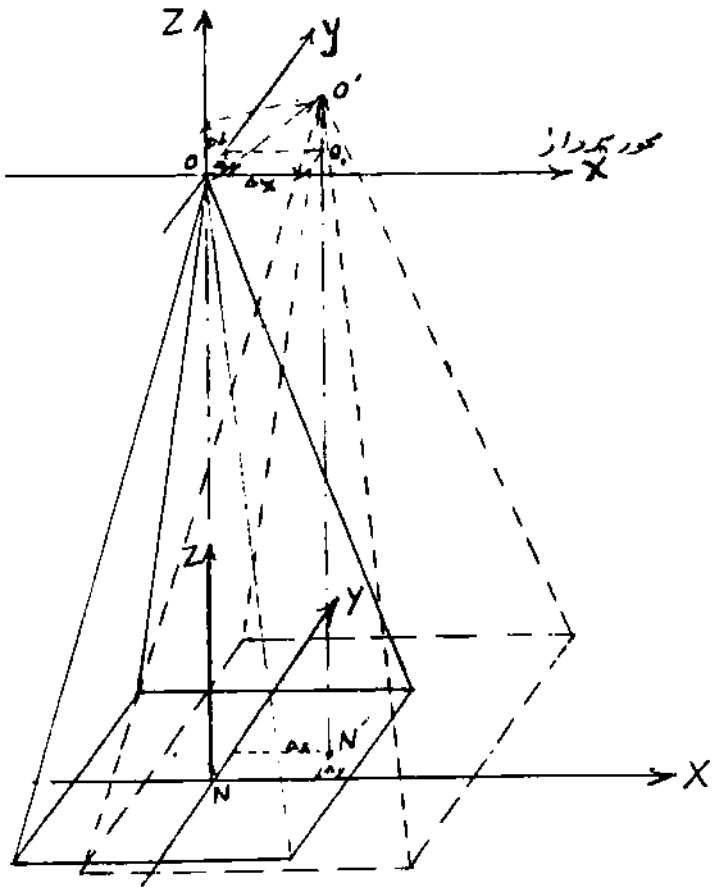
۴) اثر تغییر مکان هواپیما

چنانکه قبلاً نیز گفته شده است، هواپیما در حین عکسبرداری باید در مسیری مشخص، با ارتفاعی ثابت و بصورت افقی پرواز کند تا از نقاطی (ایستگاههای عکسبرداری) با مختصات تعیین شده، در لحظات معینی، عکسبرداری انجام شود. لیکن در صورتی که هواپیما از مسیر اصلی خود خارج شود یا موقعیت ایستگاه عکسبرداری تغییر کند. در تصویر عوارض برروی عکس، جابجایی ایجاد خواهد شد. برای تعیین کردن میزان جابجایی در تصاویر عکسی باید مقدار و جهت تغییر مکان واقع شده در مسیر هواپیما و ایستگاه عکسبرداری را دانست.

انحراف هواپیما از مسیر اصلی پرواز در لحظات عکسبرداری بر دو نوع حرکت، حرکت انتقالی و دورانی، تقسیم می شود.

۱- اثر حرکت انتقالی هواپیما

فرض می شود که عکسبرداری تائم انجام شده است. انتقال هواپیما از مسیر اصلی خود سبب ایجاد جابجایی در موقعیت ایستگاه عکسبرداری (مرکز تصویر O) می شود. چنانچه O موقعیت ایستگاه عکسبرداری جابجا شده را نشان دهد $\overline{OO'}$ میزان جابجایی مرکز تصویر، دارای سه مؤلفه در راستای محورهای مختصات می باشد (شکل ۲۳).



(شکل ۲۳)

دستگاه مختصات در نظر گرفته شده به مبدأ O، محور X در امتداد محور اصلی پرواز (افقی)، محور Y در امتداد عمود بر آن در صفحه افقی و محور Z آن در امتداد قائم می باشد.

و دستگاه مختصات نظیر آن در روی زمین به مبدأ N (نقطه شاقولی زمینی) و محورهای مختصات موازی با محورهای دستگاه به مبدأ مرکز تصویر می باشد.

برای بررسی اثر OO' می توان اثر سه حرکت انتقالی مجزا را در امتدادهای X، Y و Z به میزان ΔX، ΔY و ΔZ بر روی موقعیت تصویری نقطه دلخواه زمینی مورد بررسی قرار داد.

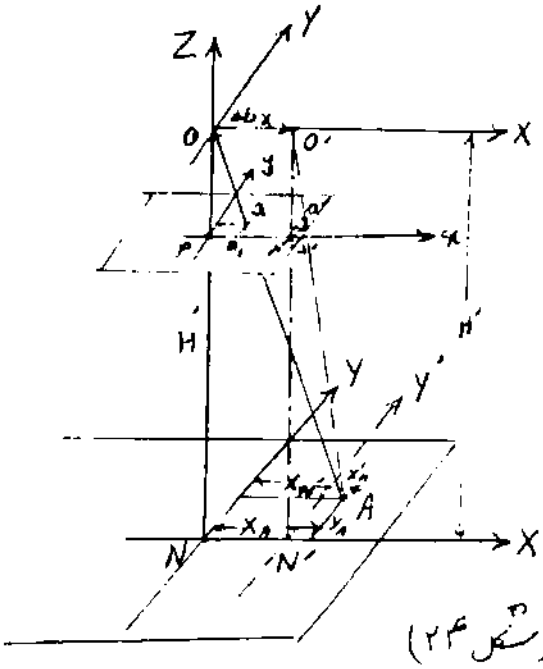
در شکل ۲۴، خطوط خط چین نما یانگر شعاعها و محدوده تصویر جابجا شده می باشند.

جهت مثبت سه حرکت انتقالی در امتداد محورهای مختصات - که bX، bY و bZ نامیده می شوند - در جهت مثبت محورهای دستگاه مختصات است.

۱-۱: اثر حرکت انتقالی bX

حرکت انتقالی ایستگاه عکسبرداری را در امتداد محور پرواز (محور X)، که بعلت ایجاد تغییر در سرعت حرکت هواپیما و یا عوامل دیگر سبب می شود، bX گویند. انتقال bX، جابجایی ΔX_0 را در موقعیت مرکز تصویر باعث می شود که در عکسبرداری قائم $\Delta X_0 = \Delta bX$ می باشد.

تغییر bX به میزان $\pm \Delta bX$ جابجایی را به همان میزان و در همان جهت در موقعیت زمینی تصویر ایستگاه عکسبرداری ایجاد می کند.



(شکل ۲۴)

با توجه به شکل ۲۴ ملاحظه می شود که مختصات زمینی نقطه دلخواه A، پس از تغییر N به میزان $\Delta X_0 = \Delta bX$، نسبت به مبدأ مختصات جدید N برابر خواهد بود با:

$$\begin{cases} X'_A = X_A - X_{N'} \\ Y'_A = Y_A \end{cases}$$

از آنجا که $\Delta X_0 = X_N = \Delta X_N = \Delta bX$ و

$$\begin{cases} X'_A = X_A + \Delta X \\ Y'_A = Y_A + \Delta Y \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta X_{(bX)} = -\Delta bX \\ \Delta Y_{(bX)} = 0 \end{cases}$$

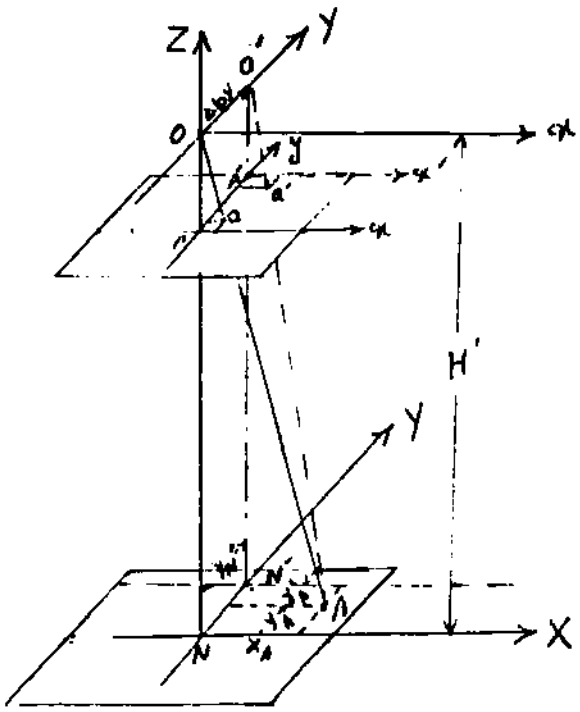
جابجایی ناشی از تغییر bX در مختصات عکسی هر نقطه دلخواه از زمین برابر خواهد بود با:

ΔbX جابجایی ایستگاه عکسبرداری و $S_{ph} = \frac{f}{H'}$ مقیاس عکس می باشند.

$$\begin{cases} \Delta x_{(bX)} = -\Delta bX \cdot S_{ph} \\ \Delta y_{(bX)} = 0 \end{cases}$$

۲-۱: اثر حرکت انتقالی by

به تعریف ۵ به حرکت انتقالی هواپیما را در امتداد محور پرواز اصلی (محور X)، که سبب ایجاد جابجایی Δy_0 در موقعیت مرکز تصویر می شود را by گویند. در عکسبرداری قائم جابجایی Δby از مساوی و در همان جهت در موقعیت زمینی ایستگاه عکسبرداری پیاپی گذارده و در نتیجه مختصات زمینی هر نقطه را نیز همان میزان تغییر خواهد داد.



(شکل ۲۵)

با توجه به شکل ۲۵ می توان نوشت:

$$\begin{cases} X'_A = X_A + \Delta X \\ Y'_A = Y_A + \Delta Y \end{cases} \quad , \quad Y'_A = Y_A - Y_{N'}$$

$$\Delta X = 0 \quad , \quad \Delta Y = -Y_{N'} = -\Delta by \quad \leftarrow \quad Y_{N'} = \Delta Y_0 + \Delta by$$

پس:

$$\Delta X_{(by)} = 0 \quad , \quad \Delta Y_{(by)} = -\Delta by$$

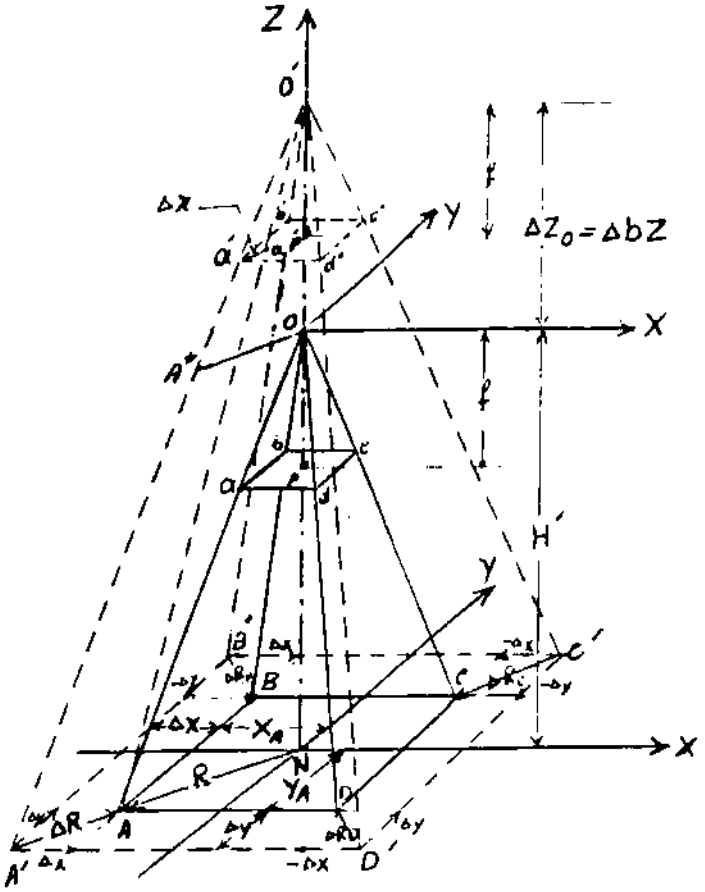
جابجایی ناشی از تغییر Δby در مختصات عکسی هر نقطه دلخواه زمینی برابر است با:

$$\begin{cases} \Delta x_{(by)} = 0 \\ \Delta y_{(by)} = -\Delta by \cdot S_{pk} \end{cases}$$

$S_{pk} = \frac{f}{H}$ مقیاس عکس می باشد.

۳-۱: اثر حرکت انتقالی bZ

حرکت انتقالی هواپیما را در امتداد قائم، حرکت bZ گویند که سبب ایجاد جابجایی ΔZ_o در ارتفاع ایستگاه عکسبرداری می شود. در عکسبرداری قائم، $\Delta Z_o = \Delta bZ$ می باشد. بعبارت دیگر می توان گفت که تغییر bZ سبب ایجاد تغییر در ارتفاع پرواز و در نتیجه تغییر مقیاس عکس (تغییر اندازه تصویر عکسی) می شود. جابجایی تصویری ناشی از تغییر bZ (ΔbZ) که نسبت به نقطه اصلی شعاعی و با فاصله تا مرکز متناسب می باشد،



(شکل ۲۶)

در نقاط مختلف متفاوت است لیکن از نظر قدر مطلق، برای نقاط هم فاصله تا نقطه اصلی، مساوی می باشد.

با توجه به شکل ۲۶، ملاحظه می شود که در عکسبرداری با ارتفاع پرواز H' (از ایستگاه O)، نقطه زمینی A با فاصله R از نقطه شاقولی N، در گوشه عکس (نقطه a) تصویر می شود، در حالیکه در عکسبرداری با ارتفاع پرواز $H' + \Delta Z_o$ (از ایستگاه O') در اثر تغییر $\Delta bZ +$

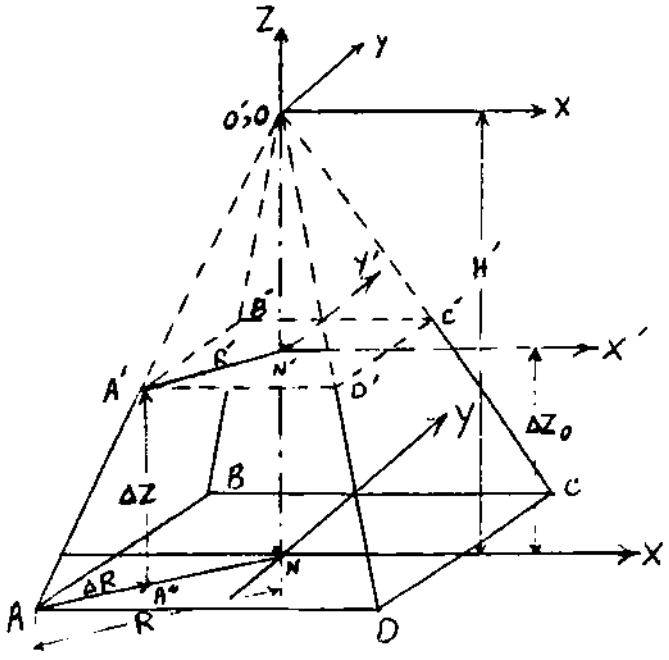
به دلیل کوچک شدن مقیاس عکس منطقه وسیعتری از سطح زمین را می پوشاند و نقطه A دیگر دگرگونه عکس تصویر نمی شود بلکه نقطه دیگری مانند A' با فاصله $R+\Delta R$ از نقطه شاقولی N در گوشه عکس تصویر خواهد شد و تصویر نقطه A (نقطه a) در داخل سطح عکس قرار می گیرد. در نتیجه می توان جابجایی ناشی از تغییر $\Delta Z_0 = \Delta bZ$ را در تصویر نقطه A، فاصله تصاویر نقاط A و A' یعنی $\overline{a'a} = \Delta r$ بر روی عکس و $\Delta R = \overline{NA'} - \overline{NA}$ بر روی زمین دانست.

از تشابه دو مثلث "A'OO و ONA می توان نوشت:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{-\Delta Z}{H'} \quad \Rightarrow \quad \Delta R = -\frac{R}{H'}\Delta Z$$

- چون با تغییر bz در جهت مثبت محور Z ($+\Delta bz$) ارتفاع پرواز افزایش می یابد در حالیکه ایجاد شده در ΔR جابجایی نقطه، در جهت عکس افزایش طول R می باشد علامت منفی در نسبت فوق قرار داده شده است.

شکل ۲۷ - جابجایی ناشی از تغییر bZ را بصورت دیگری بیان میدارد، بدین صورت که با افزایش ارتفاع پرواز به اندازه ΔZ_0 مقیاس متناظر بزرگ می شود پس می توان تصویر محدوده ABCD را در ارتفاع پرواز $H' + \Delta Z$، تصویر بزرگ شده A'B'C'D' دانست که به فاصله ΔZ_0 به مرکز تصویر نزدیکتر شده است. ملاحظه می شود که با این تعریف، می توان جابجایی ناشی از تغییر ارتفاع پرواز (ΔZ_0) را با جابجایی ناشی از تغییر ارتفاع $\Delta h = \Delta Z_0$ مساوی، ولی با علامت مخالف دانست.



(شکل ۲۷)

رابطه مذکور را نیز در این حالت می‌توان از تشابه دو مثلث $A'A''A$ (تمام الزاویه) و ONA بدست آورد:

$$\frac{\Delta R_A}{R_A} = -\frac{\Delta Z}{H'} \quad \rightarrow \quad \Delta R = -\frac{R}{H'}\Delta Z$$

چنانچه R و ΔR را بر روی محورهای x و y تصویر کنیم، مؤلفه‌های طول R برای هر نقطه دلخواه A، طولهای x_A و y_A (مختصات آن نقطه) و مؤلفه‌های ΔR، مقادیر Δx_A و Δy_A جابجایی نقطه A در امتدادهای x و y می‌باشند که خواهیم داشت (با توجه به شکل ۲۶):

$$\frac{\Delta R_A}{R_A} = \frac{\Delta x_A}{x_A} = \frac{\Delta y_A}{y_A}$$

پس در حالت کلی می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} \Delta x_{(bz)} = -\dfrac{x}{H'}\cdot\Delta bz \\ \Delta y_{(bz)} = -\dfrac{y}{H'}\cdot\Delta bz \end{cases}$$

(H' ارتفاع پرواز از سطح متوسط منطقه است)

میزان جابجایی ناشی از تغییر ارتفاع پرواز Δbz را بر روی مختصات عکسی هر نقطه به مختصات زمینی x و y، از روابط زیر می‌توان محاسبه کرد.

اگر S_{pH} مقیاس عکس و x، y مختصات عکسی نقطه باشند داریم:

$$y = Y\cdot S_{pH}$$

$$\Delta y = \Delta Y\cdot S_{pH} \Rightarrow \quad \frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta Y}{Y}$$

پس:

$$\begin{cases} \Delta y_{(bz)} = \dfrac{-y}{H'}\cdot\Delta bz \\ \Delta x_{(bz)} = \dfrac{-x}{H'}\cdot\Delta bz \end{cases}$$

و بطور مشابه برای Δx:

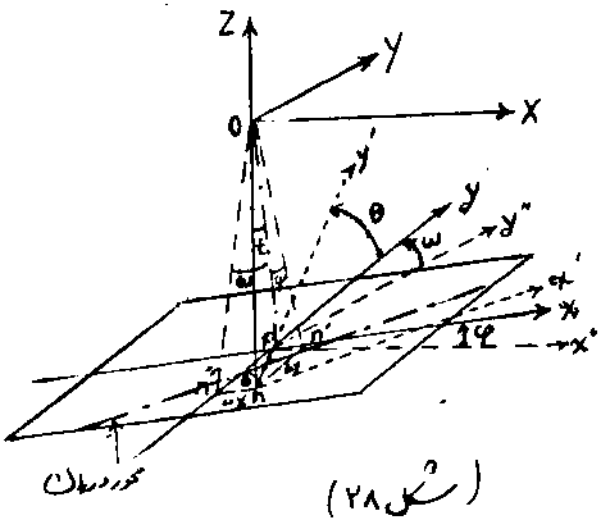
۲- اثر حرکت دورانی هواپیما

در عکسبرداری هوایی، بجز در موارد خاصی، سعی بر آن است که پرواز افقی و در امتداد خطی مستقیم (محور x) صورت گیرد. لیکن در عمل، اجرای چنین شرایط ایده‌آلی برای عکسبرداری امکان پذیر نمی‌باشد.

درحالت کلی، امکان دوران هواپیما حول سه محور مختصات وجود دارد؛ این سه دوران حول محورهای X، Y و Z را بترتیب ω (امگا، Omega)، φ (فی، Phi) و κ (کاپا، Kappa) می نامند. در عکسبرداری هوایی معمولاً زوایا کوچکتر از 4° می باشند.

زوایای ω و φ ناشی از افقی نبودن صفحه قاب دوربین عکسبرداری یا بعبارتی دیگر، قائم نبودن محور عکسبرداری تحت زاویه تیلت $\hat{t}$ و سمت θ می باشند. با مشخص بودن θ (زاویه محور دوران با محور x) و $\hat{t}$ (زاویه تیلت) می توان ω و φ (دورانهای حول محور پرواز و محور عمود بر آن) را بدست آورد. با توجه به شکل ۲۸، داریم:

* x و y تصویر محورهای x و y بر روی صفحه افقی گذرنده از نقطه اصلی o می باشند.



(شکل ۲۸)

$$\overline{pn''} = \overline{pn}\cdot\cos\theta$$

$$\overline{pn''} = f\cdot tg\,t\cdot\cos\theta$$

از طرف دیگر: $\overline{pn''} = f\cdot tg\,\omega$

پس: $f\cdot tg\,\omega = f\cdot tg\,t\cdot\cos\theta$

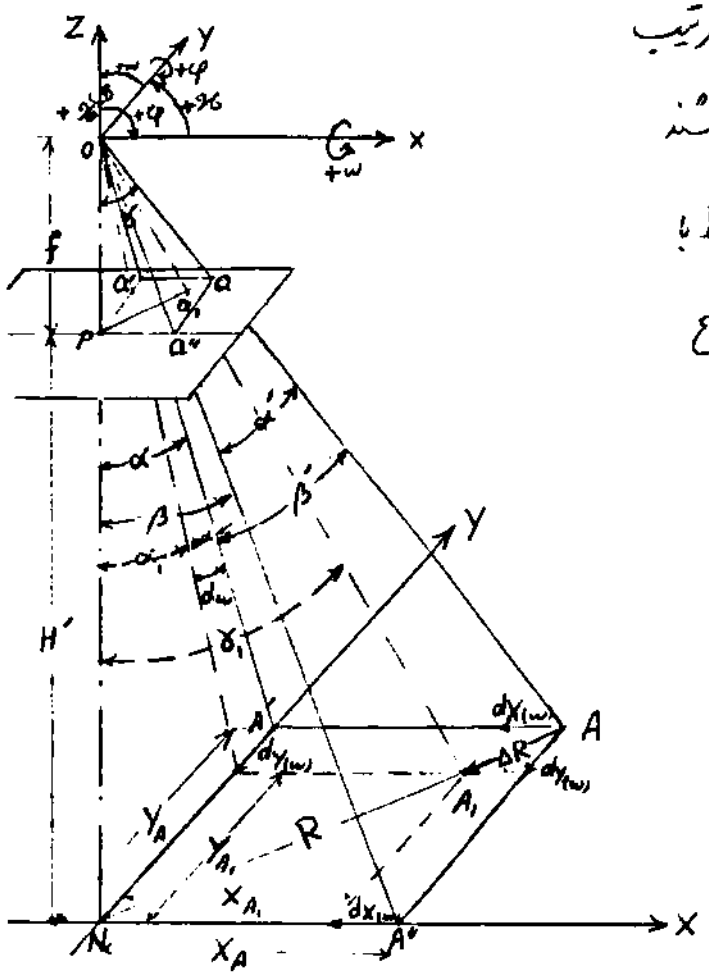
$$\rightarrow\quad tg\,\omega = tg\,t\cdot\cos\theta$$

و بطور مشابه برای زاویه φ خواهیم داشت:

$$tg\,\varphi = tg\,t\cdot\sin\theta$$

$$\rightarrow\quad \begin{cases} \omega = tg^{-1}(tg\,t\cdot\cos\theta) \\ \varphi = tg^{-1}(tg\,t\cdot\sin\theta) \end{cases}$$

در بررسی اثر دوران های هواپیما در مختصات زمینی نقاط، منطقه مسطح فرض شده است. در شکل ۲۸، A نقطه ای زمینی به مختصات زمینی X و Y نسبت به M (تصویر زمینی ایستگاه عکسبرداری که نقطه ای به ارتفاع H از سطح متوسط منطقه است) و نقاط A' و A'' بترتیب تصویر نقطه A بر روی



(شکل ۲۹)

محورهای x و y می باشند. a، a' و a'' بترتیب تصاویر نقاط A، A' و A'' بر روی سطح تصویر می باشند که از برخورد شعاعهای تصویر کننده این نقاط با سطح عکس بدست آمده اند. اگر کانون شعاع نوری نقطه A با محور قائم باشد ($\hat{NOA} = 0$).

α و β بترتیب تصویر زاویه ω بر روی صفحات yz و zx می باشند.

با دوران ω حول محورهای x و y بترتیب زوایای α (تصویر ω بر روی صفحه yz) و β (تصویر ω بر روی صفحه zx) تغییر می کند؛ پس برای بررسی تغییر مختصات زمینی ناشی از دورانهای ω و φ برای هر نقطه دلخواه مانند A، گاهی است که تغییرات مختصات را بترتیب در اثر تغییر زوایای α و β بدست آوریم.

۱-۲: اثر حرکت دورانی ω

با دوران ω حول محور x در جهت مثبت دوران، به میزان $d\omega > 0$، چون ارتفاع نمای از عکس که در حدود ۷۰ قرار دارد، بیشتر می شود این نما از عکس تصاویر نقطه بزرگتری از زمین را شامل خواهد شد در نتیجه نقطه ای مانند A به مختصات زمینی X_A و Y_A، واقع در این نما، به مرکز عکس نزدیکتر می شود. در نمای دیگر (که ۷۰ است) بر عکس، تصاویر بزرگتر و نقاط در موقعیت جدید (پس از دوران حول x) از مرکز دور می شوند. با توجه به شکل ۲۹، موقعیت

زمینی تصویر جدید نقطه A ، نقطه‌ای مانند A_1 به مختصات جدید X_{A_1} و Y_{A_1} و به زاویه α_1 می‌باشد که تصویر زاویه آن (α_1) در صفحه yz ، زاویه α_1 خواهد بود که برابر است با:

$$\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha \quad , \quad \text{چون } \Delta\alpha = -\Delta\omega \Rightarrow \alpha_1 = \alpha - \Delta\omega$$

و $X_{A_1} = X'_A = X_A + \Delta X_A$ ، $Y_{A_1} = Y'_A = Y_A + \Delta Y_A$

برای تعیین ΔX_A و ΔY_A ناشی از $\Delta\omega$ ، مختصات نقطه را برحسب زاویه α بدست می‌آوریم. در این جا فرض شده است که α اولین چرخش و β دومین چرخش باشد.

در مثلث قائم‌الزاویه $OA'A$ داریم: $X_A = \overline{OA'} \, tg\beta'$

در مثلث قائم‌الزاویه ONA داریم: $Y_A = \overline{OA'} \cdot \sin\alpha$ ، $H' = \overline{OA'} \cdot \cos\alpha$

$$\Rightarrow \begin{cases} X_A = \dfrac{H'}{\cos\alpha} \cdot tg\beta' \\ Y_A = H' \cdot tg\alpha \end{cases}$$

برای بدست آوردن تغییرات x و y نسبت به تغییرات α ، از طرفین روابط فوق نسبت به α دیفرانسیل می‌گیریم.

$$\begin{cases} dX_A = H' \cdot tg\beta' \cdot \dfrac{\sin\alpha}{\cos^2\alpha} \cdot d\alpha \\ dY_A = H'(1 + tg^2\alpha)\, d\alpha \end{cases}$$

با جایگذاری مقادیر $tg\beta' = \dfrac{X_A}{\overline{OA'}}$ ، $\cos\alpha = \dfrac{H'}{\overline{OA}}$ ، $tg\alpha = \dfrac{Y_A}{H'}$ و $(\overline{OA'})^2 = Y_A^2 + H'^2$ و $d\alpha = -d\omega$ در روابط فوق dx ، dy تعیین می‌شوند:

$$\begin{cases} dX_A = -H' \cdot \dfrac{X_A}{\overline{OA'}} \cdot \dfrac{Y_A}{H'} \cdot \dfrac{\overline{OA'}}{H'} \cdot d\omega \\ dY_A = -H'\left(1 + \dfrac{Y_A^2}{H'^2}\right) d\omega \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} dx_{(\omega)} = -\dfrac{XY}{H'} \cdot d\omega \\ dy_{(\omega)} = -H'\left(1 + \dfrac{Y^2}{H'^2}\right) d\omega \end{cases}$$

برای بدست آوردن جابجایی ناشی از تغییر $d\omega$ بر روی مختصات عکسی باید جابجایی‌ها را زمینی را در مقیاس عکس ضرب نمود. اگر مقیاس $S_{ph} = \dfrac{f}{H'}$ عکس باشد خواهیم داشت:

$$\begin{cases} dx_{(\omega)} = dX_{(\omega)} \cdot S_{ph} \\ dy_{(\omega)} = dY_{(\omega)} \cdot S_{ph} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} dx_{(\omega)} = -\dfrac{xy}{f} \cdot d\omega \\ dy_{(\omega)} = -f\left(1 + \dfrac{y^2}{f^2}\right) d\omega \end{cases}$$

۲-۲ : اثر حرکت دورانی φ

جابجایی های ناشی از دوران $\delta\varphi$ را می توان با توجه به روابط مربوط به اثر $\delta\omega$ یا چرخش 90° یا تبدیل محور X به Y بدست آورد. چون φ دوران حول محور Y است در نتیجه جای δX با δY و جای X با Y عوض می شود و چون تغییرات δX و δY با تغییر φ در جهت مثبت دوران $(+\delta\varphi)$، در جهت مثبت می باشند پس $d\beta = +d\varphi$ و روابط بصورت روبرو خواهند بود:

$$\begin{cases} dX_{(\varphi)} = +H'\left(1+\frac{X^2}{H'^2}\right)d\varphi \\ dY_{(\varphi)} = +\frac{XY}{H'}\cdot d\varphi \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} dx_{(\varphi)} = f\left(1+\frac{x^2}{f^2}\right)d\varphi \\ dy_{(\varphi)} = \frac{xy}{f}\,d\varphi \end{cases}$$

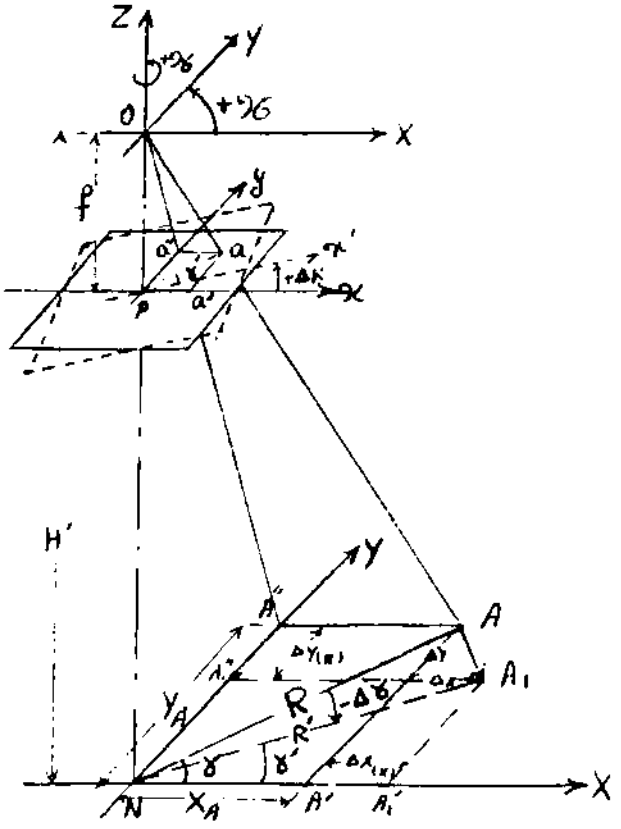
در این حالت باید H' بعنوان اولین دوران و φ دومین دوران در نظر گرفته شوند.

اثبات به عهده دانشجویان می باشد.

۲-۳ : اثر حرکت دورانی K ($\varkappa$)

K دوران حول محور Z است.

در این حالت از وجود دورانهای دیگر صرفنظر شده است. برای بررسی اثر دوران K $(+\delta K)$ در هواپیما، می توان چنین فرض کرد که بجای هواپیما، زمین به میزان $-\delta K$ حول محور Z چرخیده است. چنانچه ملاحظه میشود جابجایی ناشی از تغییر δK در نقاط مختلف بستگی دارد و نسبت



(شکل ۳۰)

به نقطه نادیر سطح مبنای او با فاصله سطح مبنای نقطه متناسب می باشد. اگر A نقطه دلخواه زمینی با مختصات قطبی (γ, R) در نظر گرفته شود؛ پس از دوران هواپیما به میزان $+\Delta K$، زاویه γ نیز به میزان ΔK تغییر یافته و مختصات جدید قطبی نقطه A، (γ', R) خواهد شد بطوریکه:

$$\gamma' = \gamma + \Delta\gamma \quad , \quad \text{چون } \Delta\gamma = -\Delta K \rightarrow \gamma' = \gamma - \Delta K$$

اگر X_A و Y_A مختصات کارتزین نقطه A و X_{A_1} و Y_{A_1} مختصات نقطه A_1 (موقعیت نقطه A پس از دوران $+\Delta K$) باشد خواهیم داشت:

$$\begin{cases} X_{A_1} = X_A + \Delta X_A \\ Y_{A_1} = Y_A + \Delta Y_A \end{cases}$$

برای یافتن ΔX و ΔY ناشی از تغییر ΔK می توان از روابط دیفرانسیل گرفته و بجای $\Delta\gamma = -\Delta K$ قرار داد.

$$\begin{cases} X_A = R.\cos\gamma \\ Y_A = R.\sin\gamma \end{cases}$$

$$\begin{cases} dX_A = -R.\sin\gamma \cdot d\gamma \\ dY_A = R.\cos\gamma . d\gamma \end{cases}$$

با جایگذاری مقادیر $Y = R.\sin\gamma$ و $X = R\cos\gamma$ خواهیم داشت:

$$\begin{cases} dX_{(K)} = Y \cdot dK \\ dY_{(K)} = -X\, dK \end{cases}$$

جابجایی های ناشی از تغییر $+dK$

برروی مختصات عکسی برابر است با:

$$dx_{(K)} = y.dk \quad , \quad dy_{(K)} = -x.dk$$

۳- جابجایی ناشی از هرشش حرکت هواپیما

برای بررسی اثر هر حرکت چه انتقالی و چه دورانی، فرض شد که حرکت دیگری وجود ندارد. بدیهی است که این فرض در عمل صادق نمی باشد. اگر هواپیما در حین عکسبرداری دارای هرشش حرکت باشد جابجایی کلی ناشی از آنها در مختصات زمینی X و Y برابر خواهد شد با:

$$\begin{cases} dX = -db_X - \frac{X}{H'} db_Z - \frac{XY}{H'} d\omega + H'\left(1+\frac{X^2}{H'^2}\right) d\varphi + Y dK \\ dY = -db_Y - \frac{Y}{H'} db_Z - H'\left(1+\frac{Y^2}{H'^2}\right) d\omega + \frac{XY}{H'} d\varphi - X dK \end{cases}$$

فصل سوم

برجسته بینی و پارالاکس

۱) برجسته بینی

۱- تعریف

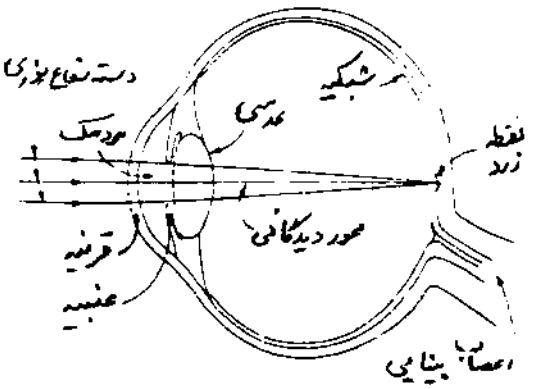
افراد بشر به دلیل دارا بودن دو چشم مجزا از هم و یا در واقع دارا بودن دو دسته سلولهای دیدگانی قادرند که اجسام و فضای محیط اطراف خود را بصورت سه بعدی (Stereoscopy) به بینند. عواملی از جمله وجود سایه، مقایسه اندازه ابعاد اجسام (وجود اختلاف در اندازه ابعاد عوارض)، اشیاء ناپیدا در پشت اجسام دیگر و وجود اختلاف در فاصله فوکوس شدن چشم برای دیدن اجسام با فاصله های مختلف از چشم، باعث می شود که تشخیص عمق اجسام یا دیدن سه بعدی اجسام در طبیعت به سادگی صورت پذیرد. وجود چنین عواملی در روی تصاویر عکسی منطقه ای، حتی ممکن است تشخیص برجسته بینی (Binocular Vision) منطقه را بطور حدسی میسر سازد در صورتیکه عکس تصویری دو بعدی است و فقط با دید دو بعدی (Monocular Vision) مشاهده می شود بدین معنی که مشاهده آن با دید تک چشمی یا دو چشمی تفاوتی با یکدیگر نخواهند داشت.

برای درک بهتر اصول برجسته بینی آشنایی مختصری با ساختمان چشم ضروری می نماید.

۲- ساختمان چشم انسان

اجزاء تشکیل دهنده و نحوه عملکرد چشم انسان، شباهت بسیار زیادی به دوربین عکسبرداری دارد. در واقع، دوربین عکسبرداری با تقلید از چشم ساخته شده است.

چشم انسان، عضوی کروی شکل است که پرتو نورهای بازتابیده از اجسام (اشعه‌های نوری دیدگانی) از طریق دریچه‌ای دایره‌ای - که "مردمک" نامیده می‌شود - پس از عبور از عدسی چشم، بر سلولهای حساس سطح "شبکیه" تأثیر می‌گذارد. تطر کوچکترین سلول نوری حدود ۲/۵ میکرون است. مغز با دریافت تأثیرات نوری سلولهای حساس سطح شبکیه از طریق اعصاب بینایی، تصویر اشیاء را تجسم می‌سازد. مردمک چشم (به قطر ۲ تا ۸ میلیمتر) دهانه پرده "عنبیه" (قسمت رنگی چشم) است - که بجای دیافراگم دوربین عکسبرداری عمل میکند و هما نطور که برای تنظیم میزان نور عبور کننده از عدسی می‌توان قطر دهانه آنرا تغییر داد - قطر مردمک چشم نیز تحت تأثیر نور باشدتهای متفاوت بطور اتوماتیک کوچک و بزرگ می‌شود. از مردمک چشم سطح شفافی بنام "قرنیه" - که نقش فیلتر دوربین عکسبرداری را دارد - محافظت می‌کند.



ساختمان چشم انسان
(شکل ۱)

"عدسی" چشم - عیناً مانند عدسی دوربین عکسبرداری - عدسی ای محدب النازلین است با این تفاوت که فاصله کانونی آن متناسب با فواصل اجسام نسبت به چشم، با تغییر تحدب سطوح عدسی توسط ماهیچه های کناری عدسی، تغییر می‌کند: زیرا فاصله تصویر در چشم ثابت است و برابر با فاصله عدسی تا نقطه زرد شبکیه می‌باشد. برای فوکوس شدن تصویر در روی سطح شبکیه، بنا به رابطه نیوتن، باید f با تغییر p، تغییر کند.

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

چون $q = c\frac{1}{c}$ $\Rightarrow$ $\frac{1}{q} = c$ $\Rightarrow$ $f = \frac{p}{1+cp}$

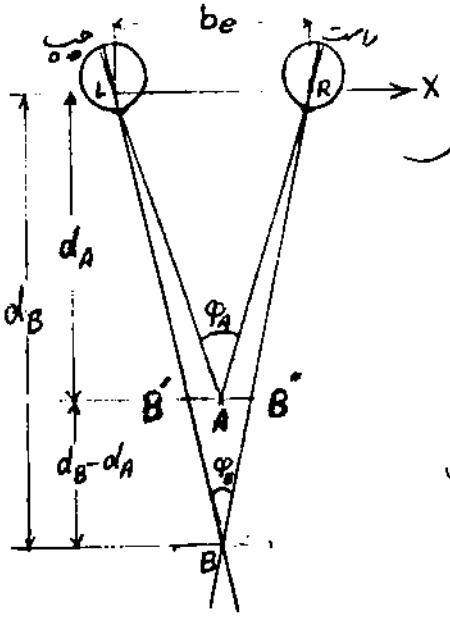
فاصله ای را که جسم واقع در آن فاصله، بر روی سطح شبکیه فوکوس می‌شود "فاصله تطابق" چشم گویند

که از ۱۵۰ میلیمتر تا بینهایت متغیر است، بهترین فاصله تطابق که برای خواندن و نوشتن هم مناسب است رعایت شود، بطور معمول ۲۵۰ میلیمتر می باشد. سطح حساس شبکیه - درست مانند سطح حساس میلم یا شیشه عکاسی - در مقابل نور حساس و تحت تأثیر قرار می گیرد. در روی سطح شبکیه حفره ای در امتداد محور دیدگانی (شعاع دیدگانی نمود بررسی چشم) وجود دارد بنام "نقطه زرد" که بعلت تراکم سلولهای حساس دارای حداکثر قدرت تشخیص و تفکیک در دید می باشد و هرچه تصویر در روی سطح شبکیه از طرفین نقطه زرد دور شود از وضوح آن بسرعت کاسته می شود و در حدود ۴۰° اطراف آن به صفر نزدیک می شود. بدین سبب میدان وضوح دید هر چشم محدود می باشد. برای دیدن نقاط مختلف در طبیعت، چشم که قادر است حول مرکز خود گردش کند، در حالتی قرار می گیرد که تصویر نقطه مورد نظر در نقطه زرد شبکیه قرار گیرد. دو نقطه در صورتی مجزا از هم دیده می شوند که بر روی دو سلول مختلف تصویر شوند؛ در اینصورت زاویه ای که شعاعهای مربوط به دو سلول مجاور تشکیل میدهند "حد تفکیک چشم" نامیده می شود که حدود "۱۵ کمانی است؛ ولی در عمل قابل تشخیص نمی باشد.

۳- اصل برجسته بینی

دو چشم انسان در فاصله مشخصی از هم - که "باز چشم" (Eye Base = b_e) نامیده می شود و فاصله بین مراکز چشمها از یکدیگر است - و معمولاً بر امتدادی افقی قرار گرفته اند، در سیستم مختصات دیدگانی، امتداد گذرنده از مراکز چشمها به موازات محور X می باشد. باز چشم افراد مختلف متفاوت است؛ باز متوسط چشم بزرگسالان $b_e = 65^{mm}$ می باشد. وجود دو چشم سالم و طبیعی، امکان دید سه بعدی را میسر می سازد. بعد سوم در برجسته بینی را عمق اجسام گویند و منظور از امتداد بعدی از اجسام است که عمود بر امتداد

بازچشم و در صفحه ابی پولار (Epipolar) جسم قرار داشته باشد. صفحه ابی پولار هر نقطه، صفحه‌ای است که از دو مرکز چشم ها و نقطه تقارب شعاعهای دیدگانی مربوط به نقطه مورد نظر، می گذرد.



(شکل ۲)

وقتی با دو چشم به نقطه ای مانند A نگاه شود محورهای دیدگانی دو چشم در آن نقطه متقارب می شوند. فاصله نقطه تا محور بازچشمها (d_A) را فاصله تقارب A گویند چنانچه فاصله تقارب در میدان تغییرات فاصله تطابق چشم ($۲۰۰^{mm} < d_A < ۴۰۰^{mm}$) باشد؛ نقطه A بوضوح و راحت دیده می شود در غیر اینصورت ($d_A < ۲۰۰^{mm}$)، هم از وضوح دید نقطه کم می شود و هم به چشم فشار وارد آمده و سبب خستگی شدید چشم می شود.

زاویه محورهای دیدگانی متقارب را در هر نقطه زاویه پارالاکتیک (Parallactic) یا زاویه تقارب آن نقطه گویند که به φ نشان داده می شود. زاویه پارالاکتیک نقطه ای مانند A به فاصله d_A از استاد باز چشم برابر است با:

$$\varphi_A = ۲\,tg^{-1}\left(\frac{be}{۲d_A}\right)$$

زاویه پارالاکتیک نقطه ای که در فاصله تقارب و تطابق ۲۵۰ میلیمتری قرار داشته باشد برای چشم با باز متوسط، ۱۵° می باشد.

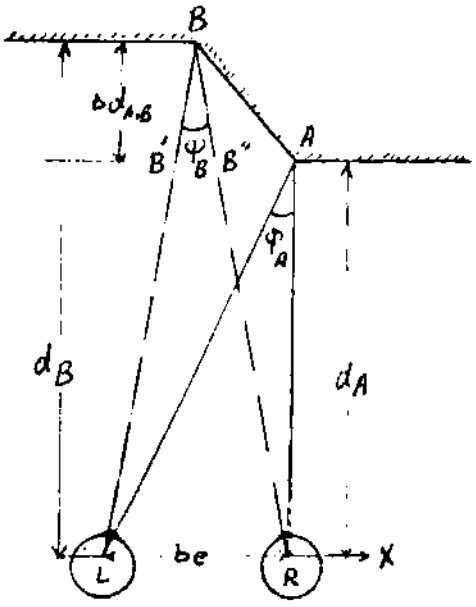
$$\varphi_{(۲۵۰^{mm})} = ۲\,tg^{-1}\left(\frac{۳,۲۵}{۲۵}\right) \rightarrow \varphi = ۱۵^\circ$$

اگر نقطه B در عمق بیشتر از چشم ($d_B > d_A$) قرار داشته باشد برای فوکوس شدن تصویرش، تحدب سطوح عدسی چشم ها باکشیده شدن ماهیچه ها کمتر و در نتیجه فاصله کانونی آن بیشتر می شود؛ با انجام چنین تغییراتی محورهای دیدگانی چشم ها در نقطه B متقارب می شوند. بدین ترتیب چشم می تواند عمق دو نقطه A و B یعنی $\Delta d = d_B - d_A$ را با تغییر زاویه تقارب محورهای دیدگانی خود - که همان اختلاف زاویه پارالاکتیک آن در نقطه است - تشخیص دهد.

هر چشم فقط دارای دید دو بعدی است و در نتیجه تصویری دو بعدی از اجسام را در صفحه ای مورد بر صفحه ابی پرلار و بموازات محور باز چشم می بیند. چنانچه به دو نقطه A و B، در شکل ۲، بطور یک چشمی نگاه شود و قتی با چشم چپ به نقطه A نگاه می شود، نقطه B در B' و در حالی که با چشم راست به نقطه A، نقطه B در B'' دیده می شود. هرچه B از A دورتر شود B'B'' نیز بزرگتر می گردد و بالعکس. پس اندازه B'B'' با عمق AB ($d_B - d_A$) متناسب است.

براین اساس می توان تعریف دیگری بیان داشت که اگر تصاویر دو نقطه با دید یک چشمی و بطور مستقل دارای فاصله مساوی و هم جهت باشند دو نقطه یک فاصله از چشم ها قرار دارند در غیر اینصورت دو نقطه دارای عمقی ($\Delta d_{A,B}$) نسبت به یکدیگر می باشند.

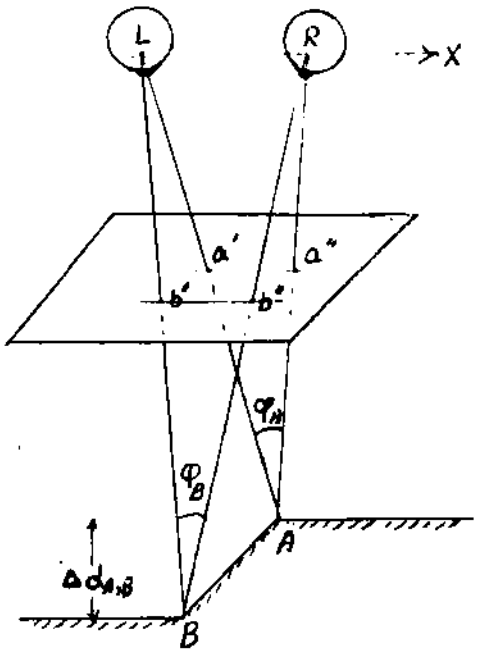
مثال آورده شده در شکل ۳، اثباتی بر تعریف ذکر شده در فوق می باشد. اگر شخصی با دو چشم خود به جسمی که بین نقاط آن بطور مثال A و B، اختلاف عمق وجود دارد، بنگرد می تواند به سهولت یا در واقع اختلاف عمق نقاط A و B ($\Delta d_{A,B} = d_B - d_A$) را تشخیص دهد زیرا وقتی با چشم چپ به A و B نگاه می کند طول AB را به اندازه AB' و با مشاهده با چشم راست این طول را به اندازه AB'' می بیند، یعنی از طول AB بدلیل هم فاصله بودن A و B از چشمها، دو تصویر با اندازه های متفاوت بطور یک چشمی دیده خواهد شد (AB'' AB').



(شکل ۳)

مغز دو تصویر نامساوی را که بر روی شبکیه چشم ها ثبت شده اند می گیرد و با تلفیق آنها، تصویر سه بعدی AB در ذهن مجسم شده، یعنی عمق ($\Delta d_{A,B}$) دیده می شود.

در صورتیکه از جسم نشان داده شده در شکل ۳ ،
از دو نقطه در امتداد محورهای دیدگانی عکسبرداری شود،
مشاهده خواهد شد بدلیل وجود عمق بین دو نقطه A و B
فاصله تصویر دو نقطه در روی دو عکس مساوی نمی باشد
($a'b' \neq a''b''$) . حال اگر دو عکس بر روی میزی چنان
کنار یکدیگر قرار داده شوند که $a'a''$ و $b'b''$ موازی یکدیگر
و عمود یا مساوی باز جسم مشاهده کننده ، باشند . سپس ، با
گذاردن کاغذی بین دو چشم و دو تصویر، چنان به عکسها



(شکل ۴)

نگاه شود که امتداد باز چشم به موازات خطوط $a'a''$ و $b'b''$ قرار گرفته شد . چون هر تصویر فقط
با یکی از چشم ها دیده می شود یعنی بفرض چشم راست فقط $a''b''$ و چشم چپ فقط $a'b'$
را می بیند . با مشاهده دو چشمی . تصاویر نظیر بر هم منطبق (a' بر a'' و b' بر b'' منطبق می شوند)
و تصویر جسم AB بصورت سه بعدی دیده می شود . چون $a'a'' < b'b''$ است نقطه A نزدیکتر از
B به چشم رویت می شود (شکل ۴) .

پس اگر بین تصاویر نظیر نقاط مختلف جسمی که از دو نقطه عکسبرداری شده ، اختلاف طول
در امتداد ایستگاه های عکسبرداری مشاهده شود . جسم دارای عمق است و می توان آنرا بصورت
سه بعدی مشاهده کرد . برای ایجاد دید سه بعدی ، چشم ها باید در امتداد گذرنده از ایستگاه های
عکسبرداری (محور X) منطبق و بعبارتی دیگر چشم ها باید بجای ایستگاه های عکسبرداری قرار گیرند .
اختلاف فواصل ناشی از اختلاف عمق بین نقاط نیز در امتداد ایستگاه های عکسبرداری (محور X) بوده
و به موازات امتداد باز چشم باید قرار داده شوند .

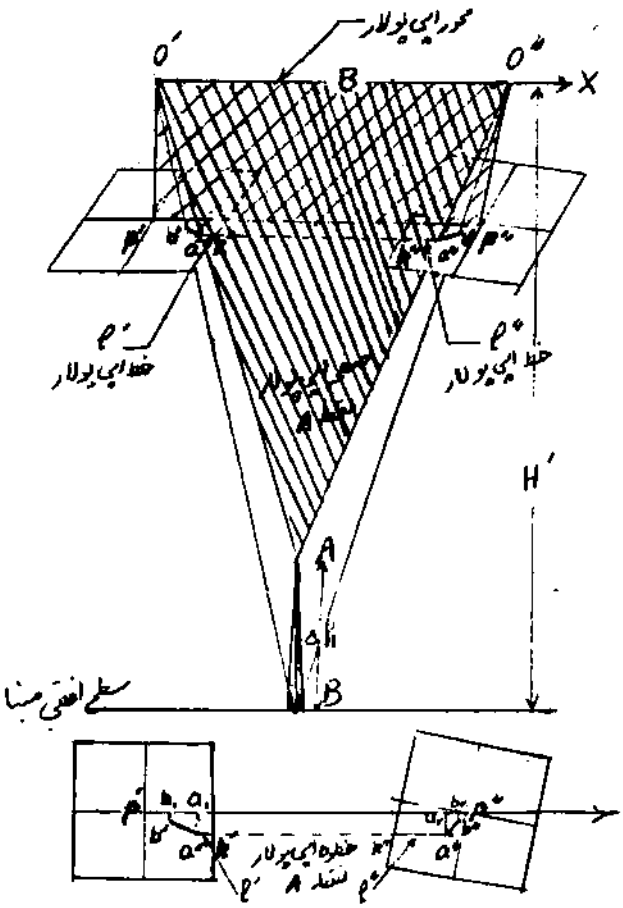
$$\overline{b'b''} - \overline{a'a''} = \Delta X$$

وقتی جسم سه بعدی ، در مشاهده برجسته بینی مشاهده شود جسم واقعی دیده می شود که زوایای پارالاکتیک جسم مشاهده
شونده با زوایای پارالاکتیک از ایستگاه های عکسبرداری برابر باشند .

۴- رعایت اصل برجسته بینی در عکسبرداری

برای اینکه بتوان منطقه‌ای را از تصاویر عکسی آن، بصورت سه‌بعدی مشاهده کرد، باید در عکسبرداری از منطقه اصول برجسته بینی رعایت شود یعنی:

۴-۱: عکسبرداری از دو ایستگاه با فاصله مشخص B (که باز هوایی نامیده می‌شود) چنان از منطقه مورد نظر انجام شود که محور دوربین در دو ایستگاه عکسبرداری در یک صفحه قرار گیرند. بعبارت دیگر صفحات اپی‌پولار دو نقطه اصلی، از دو عکس، برهم منطبق شوند. یعنی $O'H \equiv O''H$ یک صفحه باشد.



صفحه‌ای که از دو ایستگاه عکسبرداری و نقطه مورد نظر (Epipolar plane) می‌گذرد صفحه اپی پولار آن نقطه نامیده می‌شود. در شکل روبرو صفحه گذرنده از A و $O'O''$ صفحه اپی پولار نقطه A است. فصل مشترک این صفحه را با صفحه عکس "خطوط اپی پولار" (Epipolar Lines) گویند. در شکل ۵، $a'k'=l'$ و $a''k''=l''$ خطوط اپی پولار نقطه A می‌باشند. در عکسبرداری قائم امتداد خطوط اپی پولار به موازات محور پرواز (محور X) می‌باشد. امتداد ایستگاه‌های عکسبرداری را "محور اپی پولار" (Epipolar Axis) گویند.

a_1b_1 و a_2b_2 بترتیب تصویر طولی تصویری پرتو AB بر روی عکس‌ها یعنی $a'b'$ و $a''b''$ می‌باشند.

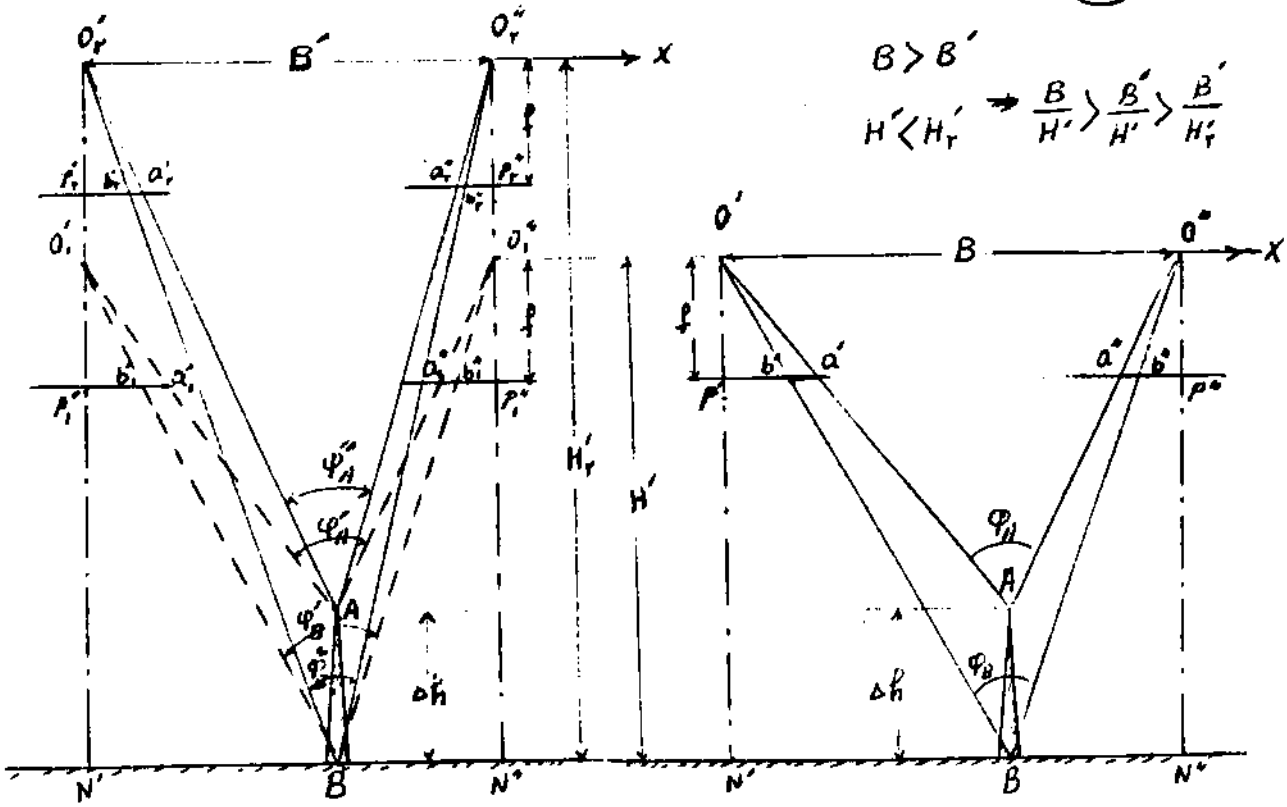
$\Delta X = \overline{b'b''} - \overline{a'a''} = b_1b_2 - a_1a_2$

$\Delta X = \overline{b_1a_1} + \overline{a_2b_2}$ (شکل ۵)

پس عکسبرداری باید با محورهای موازی انجام شود یا محورهای عکسبرداری متقارب باشند تا در یک صفحه قرار گیرند. اگر محورهای عکسبرداری از دو ایستگاه مجاور خطوط متناظر باشند، عکسهای برداشته شده، قابل مشاهده بصورت سه‌بعدی نمی‌باشند.

۴-۲ : مقیاس در عکس تقریباً یکی باشد، یعنی ارتفاع پرواز در دو لحظه عکسبرداری بطور مساوی حفظ شود. اختلاف مقیاس تا ۱۵٪ بعد دید برجسته بینی را مختل نمی سازد لیکن اختلاف مقیاس بیش از ۳۰٪ سبب ایجاد خستگی و پس از مدتی بروز صدمه چشمی غیرقابل جبران خواهد شد.

۴-۳ : نسبت $\frac{B}{H}$ که نسبت بازهوایی به ارتفاع پرواز است، باید مقدار مناسبی باشد زیرا کوچک شدن $\frac{B}{H}$ که در اثر کم شدن بازهوایی یا افزایش ارتفاع پرواز بوجود می آید سبب کوچک شدن زاویه پارالاکتیک و در نتیجه، کوچک شدن ΔX حاصل از اختلاف ارتفاع می شود. کوچکی ΔX از دقت دید برجسته بینی می کاهد. بدین جهت نسبت $\frac{B}{H}$ را بزرگ بینی عمودی گویند. اشکال زیر دلیلی بر این ادعا می باشند.



الف - عکسبرداری با بازهوایی B و ارتفاع پرواز H'

ب - عکسبرداری با بازهوایی B (B > B') و ارتفاع پرواز H'

ج - عکسبرداری با بازهوایی B' و ارتفاع پرواز H'₂ (H' < H'₂)

(شکل ۶)

اگر در شکل فوق بطولهای $b'a'$ ، $a''b''$ ، $b_1'a_1'$ ، $a_1''b_1''$ ، $b_2'a_2'$ و $a_2''b_2''$ مؤلفه های در امتداد محور X تصاویر عکسی برج AB بر روی عکسهای برداشته شده در حالتهای مختلف الف، ب و ج باشند مشاهده می شود که با کوچک شدن نسبت $\frac{B}{H}$ ، ΔX حاصل از اختلاف ارتفاع دو نقطه A و B (ارتفاع برج) نیز کوچک می شود. در حالت الف داریم:

$$\Delta X = \overline{b'b''} - \overline{a'a''} = \overline{b'a'} + \overline{a''b''}$$

در عکسبرداری حالت ب از برج AB که بازهوایی کاهش یافته داریم:

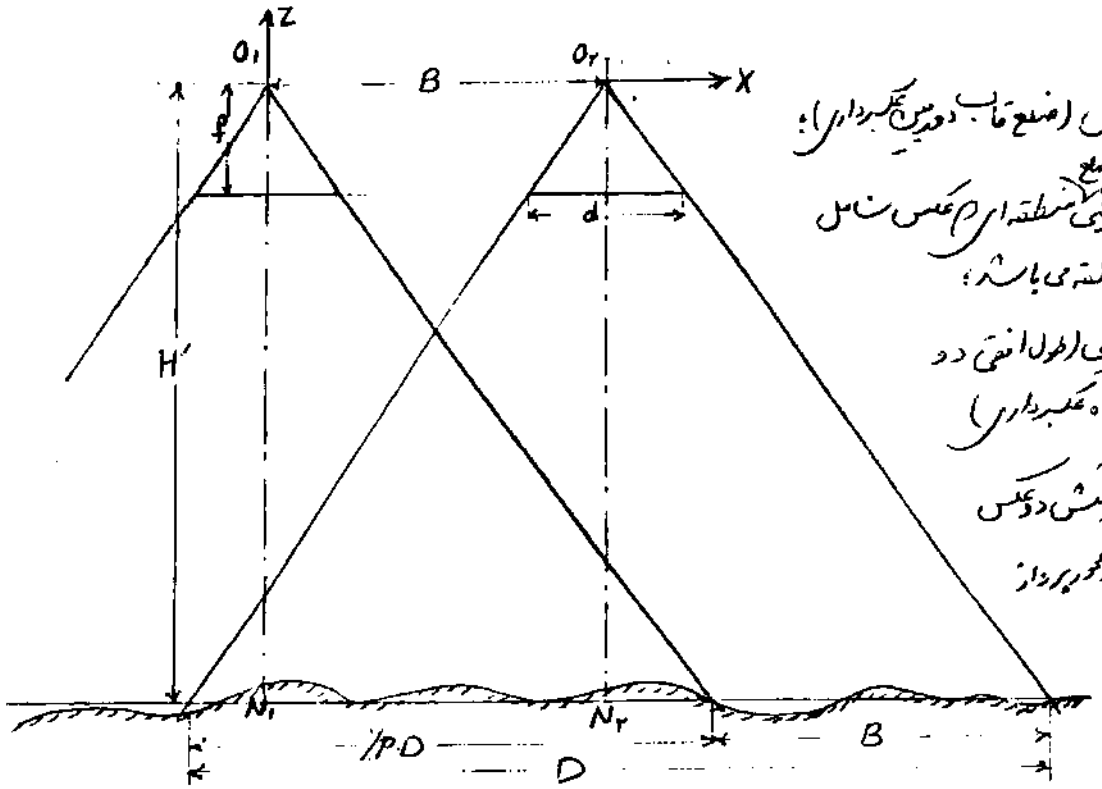
$$\Delta X_1 = \overline{b_1'b_1''} - \overline{a_1'a_1''} = \overline{b_1'a_1'} + \overline{a_1''b_1''}$$

در حالت ج که ارتفاع پرواز نیز افزایش یافته است داریم:

$$\Delta X_2 = \overline{b_2'b_2''} - \overline{a_2'a_2''} = \overline{b_2'a_2'} + \overline{a_2''b_2''}$$

در مقایسه سه حالت با یکدیگر نتیجه خواهد شد که:

$$\Delta X > \Delta X_1 > \Delta X_2$$



d = ضلع عکس (ضلع قاب دوربین عکسبرداری)

D = طول زمینی منطقه ای که عکس شامل آن منطقه می باشد (ضلع)

B = بازهوایی (طول افقی دو ایستگاه عکسبرداری)

p% = درصد پوشش دو عکس در امتداد محور پرواز

(شکل ۷)

عامل دیگری که تعیین کننده نسبت $\frac{B}{H}$ در عکسبرداری می باشد اینست که میزان پوشش دو عکس (قسمت مشترک دو عکس) برداشته شده با بازهوایی B و ارتفاع پرواز H به اندازه مناسب و مورد نظر باشد زیرا میدانیم که منطقه ای قابل برجسته دیدن می باشد که در دو عکس تصویر شده باشد پس فقط قسمت مشترک دو عکس را می توان

تبدیل به منطقه‌ای دارای دید سه‌بعدی نمود. اگر قسمت مشترک دو عکس p از ضلع عکس، یا بعبارتی p از ضلع منطقه تصویر شده در عکس، در امتداد محور پرواز باشد - که آنرا پوشش طولی می‌نامند - روابط زیر با توجه به شکل ۷، نشان میدهند که با تغییر B یا H' میزان پوشش عکسها نیز تغییر می‌کند.

$$B = D - (p)\cdot D$$

$$B = D(1-p)$$

از طرف دیگر داریم:

$$\frac{D}{H'} = \frac{d}{f} \quad \Rightarrow \quad D = \frac{d\cdot H'}{f}$$

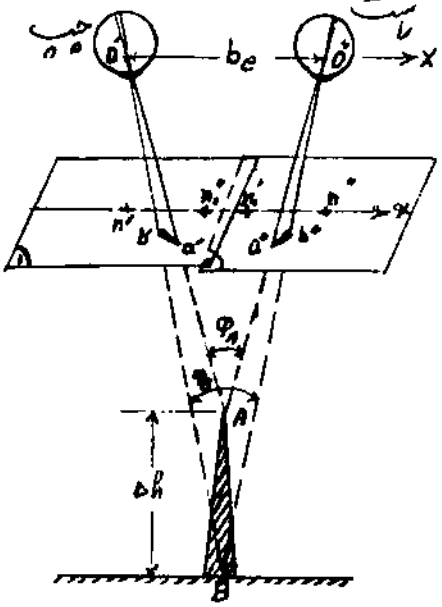
پس: $$B = \frac{dH'}{f}(1-p) \quad \Rightarrow \quad \frac{B}{H'} = (1-p)\frac{d}{f}$$

ملاحظه می‌شود که پوشش طولی مناسب عکسها نیز عامل تعیین کننده $\frac{B}{H}$ می‌باشد.

۵- ایجاد دید برجسته‌بینی

برای ایجاد برجسته بینی در مشاهده زوج عکس برداشته شده، از دو ایستگاه عکسبرداری، باید به تصاویر نظیر در امتداد شعاعهای نوری تصویرکننده، نگاه شود. بدین معنی که چشمها در موقعیت ایستگاههای عکسبرداری قرار گیرند و عکسها چنان نسبت بهم توجیه شوند که خطوط اپی پولار ایستگاههای عکسبرداری (نقاط نادیر) در یک امتداد و صفات اپی پولار نقاط اصلی عکسها بر یکدیگر منطبق گردند. حال اگر با تنظیم فاصله بین عکسها (تصاویر نظیر)، در امتداد بازچشمها، بتوان با هر چشم فقط یکی از تصاویر را دید، مغز تصاویر نظیر را از شبکیه‌ها دریافت داشته، با ترکیب و انطباق آنها تصویر سه‌بعدی (پرسپکتیو) عوارض را مجسم می‌نماید. نقاطی که فاصله بین تصاویرشان مساویست در دید فاصله از چشم دیده می‌شوند و نقاطی که در فاصله بین تصاویرشان اختلاف وجود داشته باشد در فواصل مختلف از چشم قرار گرفته و سه‌بعدی دیده می‌شوند. مانند برج AB نشان داده شده در شکل ۸؛ دو نقطه A و B از برج در دو ارتفاع مختلف با اختلاف Δh دیده می‌شوند زیرا در دو فاصله بین

تصاویر نظیر نقاط A و B یعنی a'a" و b'b" اختلاف وجود دارد. چون b'b" < a'a" می باشد دو شعاع o'a' و o"a" زودتر از دو شعاع o'b' و o"b" (مربوط به نقطه A) (مربوط به نقطه B) کلیدگیر را قطع می کنند در نتیجه چشمها که در موقعیتهای o' و o" (ایستگاه های عکسبرداری) قرار گرفته اند نقطه A را به ارتفاع Δh بالاتر از نقطه B می بینند و در نتیجه زاویه پارالاکتیک نقطه A بزرگتر از زاویه پارالاکتیک نقطه B خواهد شد. $\varphi_A > \varphi_B$



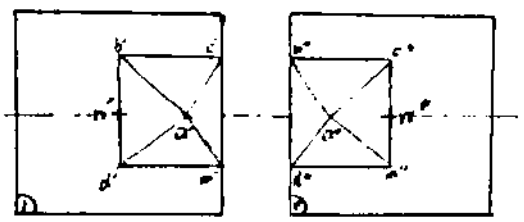
مشاهده سه بعدی برجسته AB

(شکل ۸)

ملاحظه می شود که اگر جای عکسهای ۱ و ۲ عوض شود، یعنی چشم چپ تصویر "a'b" و چشم راست تصویر "a'b را مشاهده کند، در اینصورت برجستگی سه بعدی ولی وارونه دیده خواهد شد زیرا چون "b'b < "a'a می شود، نتیجتاً شعاعهای مربوط به نقطه B زودتر از A کلیدگیر را قطع کرده و نقطه B به ارتفاع Δh بالاتر از نقطه A دیده می شود.

با توجه به نحوه قرارگرفتن عکسها کنار یکدیگر چند حالت زیر ممکن است پیش آید:

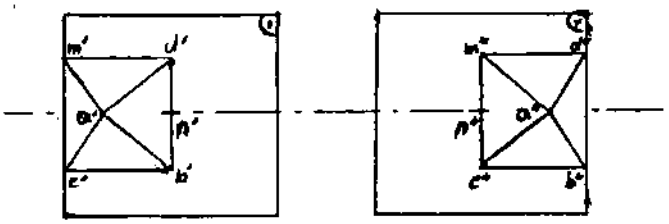
الف - اگر عکسها، جهت مشاهده طوری کنار یکدیگر قرار گیرند که قسمت مشترک آنها بسمت یکدیگر (با چرخش ۱۸۰° نسبت به وضعیت زمان عکسبرداری) و امتداد پرواز از دو عکس در یک راستا واقع شوند، دید برجسته بینی صحیح بوجود می آید که آنرا "ارتوسکوپی" (Orthoscopy) نامند. در این حالت - که گویند عکسها با پوشش داخلی قرار گرفته اند - برآمدگیها بصورت برجسته و فرورفتگیها، گود دیده می شوند. در شکل ۹، با ایجاد دید برجسته بینی معکوس تصویر شده در دو عکس بصورت صحیح (راس A بالاتر از قاعده آن) دیده می شود چون ... a'a" < b'b" می باشد.



(شکل ۹) پوشش داخلی عکسها

ب - در صورتیکه عکسها مانند زمان عکسبرداری کنار یکدیگر قرار گرفته شوند یعنی قسمت مشترک دو عکس بسمت خارج از یکدیگر باشند - با مشاهده برجسته بینی ، دید برجسته بینی کاذب یا "گودبینی" ایجاد می شود که به آن "پزودوسکوپی" (Pseudoscopy) گویند.

در این حالت برآمدگیها بصورت فرورفته و گودیها برجسته دیده می شود ، عکسها را گویند که با پوشش خارجی قرار گرفته اند.



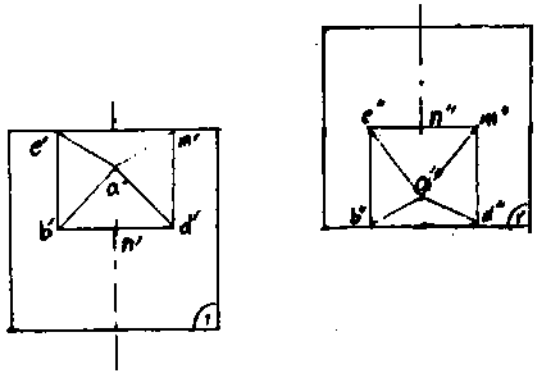
با ایجاد دید برجسته عکسهای شکل ۱۰، هرم تصویر شده ، در دو عکس یکه با پوشش خارجی قرار گرفته اند (دو تصویر نظیر هرم از هم دور شده اند)

(شکل ۱۰) پوشش خارجی عکسها

بصورت وارونه و سه بعدی دیده می شود یعنی رأس A گودتر از سطح قاعده آن دیده می شود زیرا $a'a'' > b'b'' = c'c'' = \dots$ می باشد.

عکسهای دارای پوشش خارجی ، از چرخش 180° عکسهای با پوشش داخلی حاصل شده اند.

ج - در صورتیکه محور پرواز دو عکس هم امتداد نباشند (موازی باشند) یعنی عکسها با چرخش 90° نسبت به زمان عکسبرداری قرار گرفته باشند منطقه کاملاً تخت (سطح Flat) دیده می شود لذا ایجاد منطقه ای سه بعدی امکان پذیر نمی باشد ، بطور مثال ، هرم تصویر شده در دو عکس ، در حالت شکل ۱۱ ، بدلیل عدم وجود اختلافی در فاصله تصاویر نظیر رأس و گوشه های قاعده آن ، با مشاهده برجسته بینی بصورت تخت دیده می شود (یعنی رأس هرم تنطبق بر سطح قاعده آن دیده خواهد شد. $a'a'' = b'b'' = c'c'' = \dots$



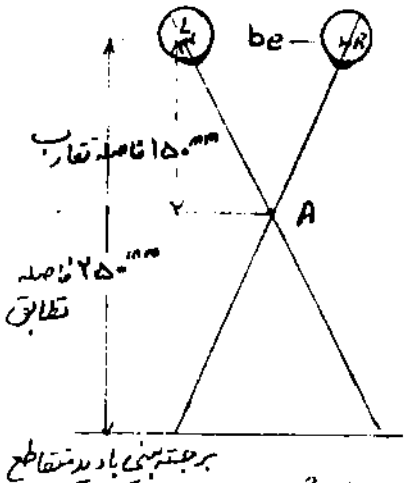
(شکل ۱۱)

لازم به تذکر است که اختلاف تصاویر نظیر در امتداد موازی با محور باز (برای دید برجسته بینی) مورد نظر است.

با توجه به فاصله تصاویر نظیر یا بعبارت دیگر وضعیت محور دیدگانی چشمها نسبت بهم، برای مشاهده سه بعدی تصاویر نظیر، سه حالت وجود دارد :

۵-۱ : برجسته بینی با دید متقاطع

درحالتی که محورهای دیدگانی در فاصله ای کوچکتر از فاصله تطابق چشم (۲۵۰ mm)، تقارب کنند، گوئیم که برجسته بینی با دید متقاطع صورت گرفته است. این روش برجسته بینی، جهت مشاهده عکسهای هوایی در فتوگرامتری مورد استفاده قرار نمی گیرد زیرا بامدت خستگی چشم، پس از چند لحظه مشاهده سه بعدی خواهد شد. بطور مثال اگر

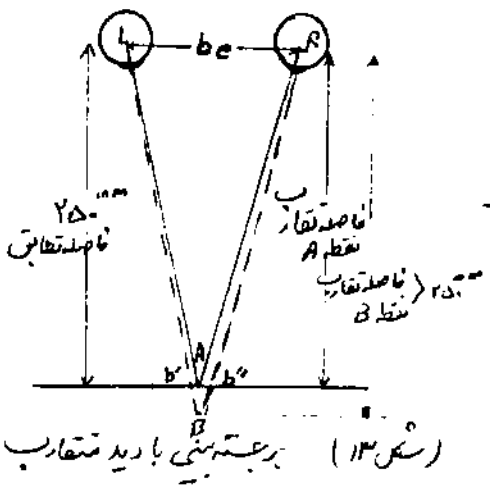


(شکل ۱۲)

تقارب در ۱۵۰ میلیمتری و تطابق در ۲۵۰ میلیمتری انجام شود، مشاهده برجسته بینی با دید متقاطع می باشد. در اینحالت تصویر سمت چپ به چشم راست و تصویر سمت راست به چشم چپ میرسد.

۵-۲ : برجسته بینی با دید متقارب

در صورتیکه، محورهای دیدگانی برای مشاهده تصاویر نظیر، در فاصله تطابق چشم متقارب شوند، برجسته بینی را با دید متقارب گوئیم بعبارت دیگر در مشاهده برجسته بینی با دید متقارب فاصله تقارب محورهای دیدگانی برابر با فاصله تطابق چشم (۲۵۰ mm) می باشد. برای ایجاد دید متقارب یا باید از وسیله ای برای هدایت تصاویر نظیر بطور مجزا به چشمها استفاده شود و یا باید تصاویر نظیر منطبق بر یکدیگر چاپ شوند تا مشاهده گردد،



(شکل ۱۳) برجسته بینی با دید متقارب

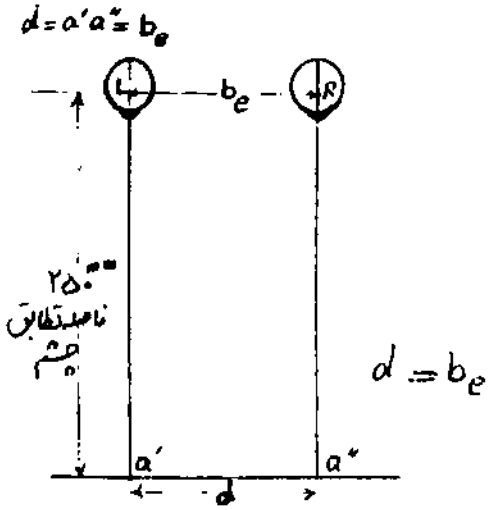
با استقرار صفحه تصویر در فاصله تطابق چشم، میتوانند تصاویر را در

(مشاهده نقطه A در شکل ۱۳)

فاصله تطابق ۲۵۰ میلیمتری مشاهده نمایید. اگر جفت تصاویر نظیر با دوربین مختلف و مکمل منطبق برهم و یا با استفاده از نور پولاریزه انجام شود می‌توان به سادگی با هدایت هر تصویر به یک چشم، دید برجسته بینی را برقرار نمود. مشاهده با محورهای دیدگانی متقارب را که فاصله تقارب بزرگتر از فاصله تطابق نیز باشد، برجسته بینی با دید متقارب گویند که باید $d = b'b'' > b_e$ باشد (مشاهده نقطه B در شکل ۱۳).

۳-۵: برجسته بینی با دید موازی

در برجسته بینی با دید موازی، محورهای دیدگانی چشمها برای مشاهده تصاویر نظیر، موازی یکدیگر می‌باشند. به عبارت دیگر تقارب در بینهایت صورت می‌گیرد درحالیکه تطابق در فاصله ۲۵۰ میلیمتری از چشم ها انجام می‌شود. در این حالت فاصله تصاویر نظیر باید در حد باز چشم باشد.



برجسته بینی با دید موازی

(شکل ۱۴)

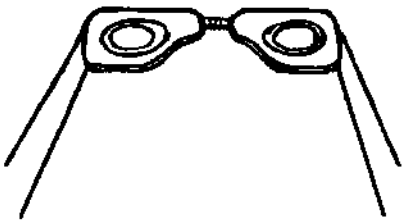
خیانچه قسمت مشترک دو عکس بیش از باز چشم باشد در نتیجه عکسها برهم سوار شده و امکان مشاهده تمامی قسمت مشترک از دست می رود. ضمناً چون در حالت طبیعی، چشم اشیاء محیط دور و بر خود را با دید متقارب مشاهده می‌کند مشکل می‌تواند بدون استفاده از وسیله ای (با چشم غیر مسلح) با محورهای دیدگانی موازی به عکسها نگاه کند.

در فتوگرامتری معمولاً از روش برجسته بینی با دید موازی استفاده می‌شود لذا نیاز به وسائل و دستگاههایی جهت موازی نمودن محورهای دیدگانی برای مشاهده برجسته بینی می‌باشد. ساده‌ترین وسیله استریوسکوپ (Stereoscope) ساخته شده می‌باشد که اصل برجسته بینی (مشاهده هر عکس بطور مجزا و فقط با یک چشم) را برقرار می‌سازد.

۶- استرئوسکوپ Stereoscope

دو نوع استرئوسکوپ وجود دارد، استرئوسکوپ عدسی دار (استرئوسکوپ جیبی) و استرئوسکوپ آینه دار (پایه دار بلند). هریک از استرئوسکوپها موارد استفاده خاص، مزایا و معایبی دارند که در زیر مورد بررسی و بحث قرار می گیرند.

۶-۱: استرئوسکوپ جیبی



استرئوسکوپ جیبی

(شکل ۱۵)

استرئوسکوپ جیبی (شکل روبرو) ساختمان بسیار ساده ای دارد. از دو عدسی محدب درشت کننده، که بر روی قابی پایه دار، با امکان دور و نزدیک شدن به یکدیگر نصب شده اند، تشکیل یافته است.

استرئوسکوپ جیبی بعلت کوچک بودن و ساده و حمل شدن، معمولاً در انجام کارهای زمینی مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین ارزان ترین وسیله ای است که امکان برقرار ساختن دید برجسته بینی را ایجاد می کند.

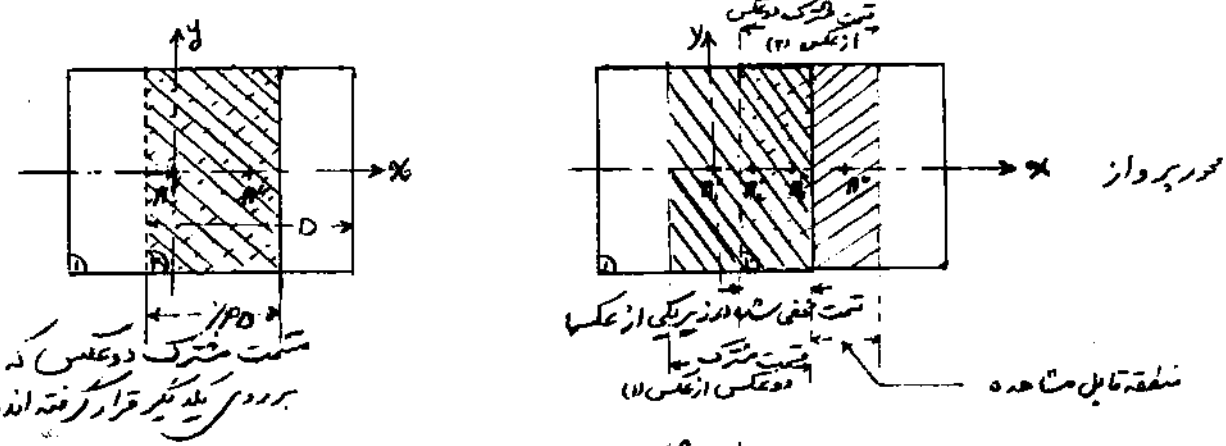
الف- نحوه کار با استرئوسکوپ جیبی

۱- فاصله مرکز عدسیها باید مساوی با باز چشم مشاهده کننده قرار داده شود.

۲- عکسها را بصورت پوشش داخلی، چنان بر روی میز و زیر استرئوسکوپ باید قرار داد که اولاً محور برداز از دو عکس (امتداد خطوط اپی پولار نقاط نادیر عکسها) در یک راستا قرار گیرند و ثانیاً فاصله تصاویر نظیر کوچکتر یا حداکثر مساوی باز چشم مشاهده کننده باشد.

در حالتی که $d = b_e$ باشد برجسته بینی با دید موازی و در غیر اینصورت که $d < b_e$ باشد، برجسته بینی با دید متقارب برقرار خواهد شد.

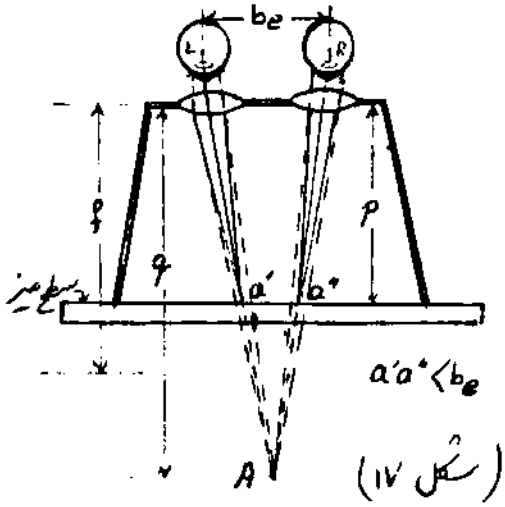
برای مشاهده راحت‌تر، معمولاً فاصله نقاط دیرنظیر کمی کمتر از باز چشم‌ها ($d<b_e$) قرار داده می‌شود. در صورتیکه قسمت مشترک دو عکس، که قابل برجسته دیدن می‌باشد، از d بزرگتر باشد - که معمولاً هم چنین است - مشاهده تمامی قسمت مشترک بعلت منطبق قرار گرفتن قسمتی از عکسها بر روی هم، امکان پذیر نمی‌باشد مگر اینکه عکسی را که بر روی دیگری قرار گرفته است در زیر قرار دهیم. و این از معایب استرئوسکوپ جیبی است.



(شکل ۱۶)

۳- استرئوسکوپ را طوری باید بر روی عکسها مستقر کرد که امتداد مرکز عدسیها (امتداد باز چشم مشاهده کننده) به موازات محور پرواز مشخص شده بر روی عکسها قرار گیرد.

میدان دید استرئوسکوپ محدود است و نمی‌توان در یک موقعیت استرئوسکوپ تمامی قسمت قابل برجسته بینی را رؤیت نمود بدین جهت برای مشاهده سایر قسمتها باید استرئوسکوپ را فقط در دو جهت x و y (x = امتداد محور پرواز و y = امتداد عمود بر آن در صفحه عکس) انتقال داد تا دید برجسته بینی مختل نشود.

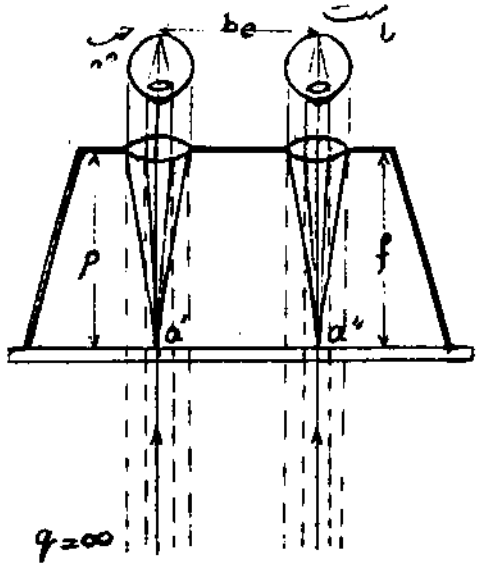


(شکل ۱۷)

شکل رو برده مسیر شعاعهای نوری بازتاب یافته از سطح عکس، مربوط به دو تصویر نظیر را برای رسیدن به چشم‌ها و نقطه‌ای از پرسپکتیو ساخته شده از برخورد امتداد آن شعاعها را، در حالت برجسته بینی با دید متقارب، نشان میدهد.

ب - اصول هندسی استرئوسکوپ جیبی

مشخصات هر استرئوسکوپ که عبارت از فاصله کانونی عدسی آن و ارتفاع آن تا صفحه استقرارش می باشد، توسط کارخانه سازنده در اختیار استفاده کننده قرار داده می شود.



(شکل ۱۸)

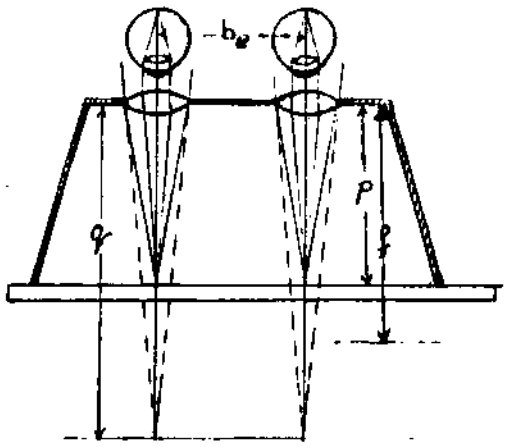
استرئوسکوپهای با فاصله کانونی و ارتفاع های مختلف وجود دارد از جمله:

۱- اگر فاصله کانونی عدسی و فاصله آن تا میز محل استقرار (ارتفاع) استرئوسکوپ مساوی باشند $f=p$، با توجه به رابطه نیوتن:

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} \qquad \rightarrow q=\infty$$

یعنی تصویر در بینهایت به چشم میرسد (شکل ۱۸).

۲- درصورتیکه فاصله کانونی بزرگتر از فاصله استرئوسکوپ تا میز (ارتفاع آن) باشد $f>p$، تصویر در فاصله q (که می توان آنرا از رابطه $\frac{1}{f}=\frac{1}{p}+\frac{1}{q}$ بدست آورد) به چشم میرسد.



(شکل ۱۹)

- در اکثر استرئوسکوپهای جیبی $f>p$ است.

ج- بزرگنمایی استرئوسکوپ

۱- در حالتی که $f=p$ باشد تصویر در فاصله تطابق ۲۵۰ میلیمتری (در واقع) تشکیل می شود و به راحتی قابل رویت است. پس بزرگنمایی برابر است با نسبت فاصله تطابق به فاصله کانونی عدسی.

$$\text{بزرگنمایی } m=\frac{250^{mm}}{f^{mm}}$$

۲- درحالتی که $p<4$ است بزرگنمایی برابراست با: $m=\frac{6}{p}$

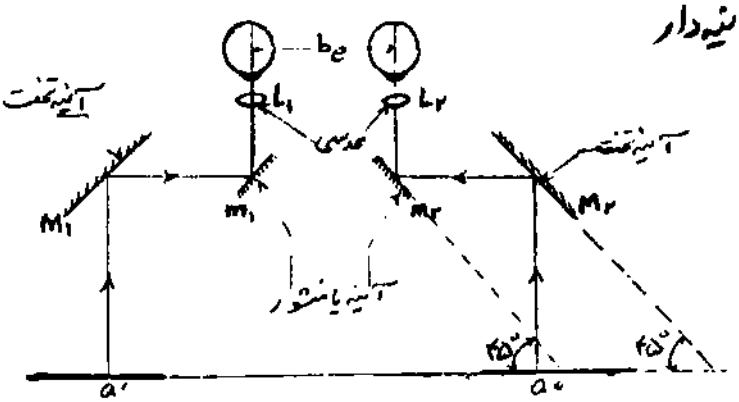
درکلیه استرئوسکوپهای جیبی $p<4$ است و بزرگنمایی برابر با ۲ می باشد.

$$m=\frac{6}{p}=2 \quad \rightarrow \quad 6=2p$$

۲-۶: استرئوسکوپ آینه دار

استرئوسکوپ آینه دار، استرئوسکوپ عدسی داری است که دارای دوسری آینه تخت نیز می باشد. به دلیل وجود این دوسری آینه، عکسها را می توان کاملاً جدا از هم در زیر آن قرار داد. بدین ترتیب عیب استرئوسکوپ جیبی رفع می شود، لکن استرئوسکوپ پایه دار بعلت دارا بودن پایه های بلند، حجم زیادی را اشغال می کند که براحتی استرئوسکوپ جیبی، نمی توان آنرا حمل و یا در هر اجابت استفاده مستقر کرد. ضمناً قیمت آن نیز به سبب وجود تجهیزات اضافه شده گران تر از استرئوسکوپ جیبی می باشد.

الف- ساختمان استرئوسکوپ آینه دار



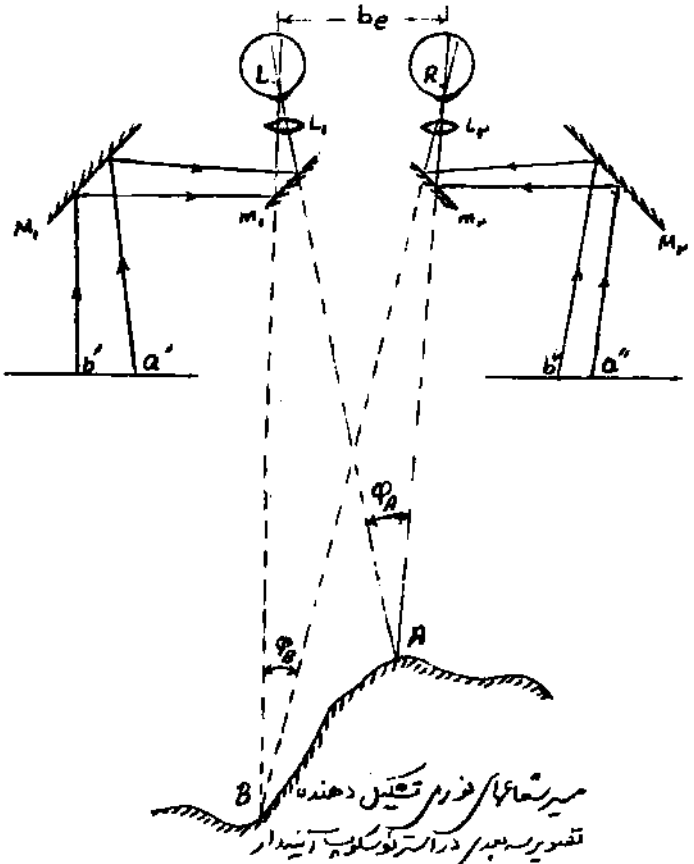
اجزاء یا نوری تشکیل دهنده استرئوسکوپ آینه دار

(شکل ۲۰)

استرئوسکوپ دارای دوسیستم تصویر مستقل از هم و قرینه نسبت به یکدیگر است که تعیین کننده میزان حرکت شعاعهای نوری بازتاب یافته از عکس تا چشم، جهت تشکیل تصویر سه بعدی می باشند. هریک از سیستمهای تصویر میدان دید را محدود می کنند و باعث می شوند که هر چشم فقط یکی از عکسها را که در میدان قابل رویت قرار گرفته است، مشاهده کند.

هر سیستم تصویر استرئوسکوپ آینه دار، دارای دو آینه تخت موازی و روبروی هم M_1 و M_2

$(M_2 \text{ و } m_2)$ می باشد که با صفحه افق استقرار استرئوسکوپ زاویه 45° می سازند. در برخی



(شکل ۲۱)

از استرئوسکوپ ها بجای آینه های m از منشور استفاده شده است. عدسی محدبی در مقابل آینه تخت چشمی m_1 (m_2) قرار دارد که هنگام مشاهده چشم باید در مرکز آن قرار گیرد. بزرگنمایی این عدسیها معمولاً کوچکتر از یک (۱×) می باشد، لذا از نظر اصول هندسی مانند استرئوسکوپ جیبی عمل می کنند.

فاصله عدسیهای چشمی دوسیستم تصویر بایستی تنظیم گردد که می توان با زاویه مشاهده کنترل به فاصله عدسیها معرفی کرد. شکل ۲۱ نحوه عملکرد استرئوسکوپ را جهت ایجاد برجستگی نشان میدهد.

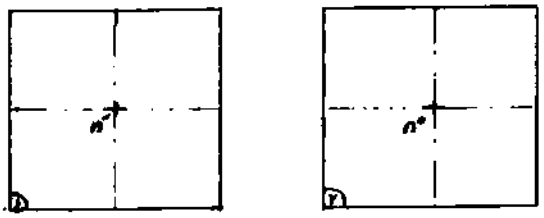
مشاهده، معمولاً از داخل مجموعه عدسی جزایی با درشت نمایی بیشتر و قابل نصب بر روی عدسی چشمی انجام می گیرد. بعضی از کارخانه های سازنده چندین چشمی با درشت نمایی های مختلف برای موارد استفاده گوناگون از جمله تفسیر عکس ساخته اند.

هرچه بزرگنمایی عدسیهای مورد استفاده بیشتر باشد میدان دید عکسها محدودتر و کوچکتر می شود. لذا برای دستیابی به نقاط مختلف منطقه مشترک زوج عکس، بجهت برجسته دیدن آن قسمت، باید استرئوسکوپ را در دو جهت x و y حرکت داد تا دید برجسته بینی مختل نشود.

مشخصات هر استرئوسکوپ از جمله: فاصله کانونی و درشت نمایی عدسیهای چشمی، فاصله ای را که هر شعاع نوری از تصویر عکسی تا عدسی چشمی طی می کند و ... معمولاً در دفترچه راهنمای استرئوسکوپ و یا کاتالوگ ارسالی از طرف کارخانه سازنده در اختیار خریدار و استفاده کننده قرار داده می شود.

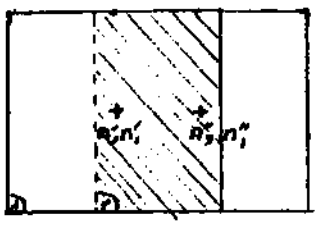
ب ـ نحوه استقرار و توجیه عکسها در استرئوسکوپ

۱ ـ ابتدا محل تصویر هر ایستگاه عکسبرداری در روی عکس مربوطه (نقطه نادیر) مشخص شود.
در عکسبرداری قائم نقطه نادیر (تصویر ایستگاه عکسبرداری) بر نقطه اصلی منطبق فرض می‌شود (نقاط n' و n'' که از برخورد عالم کناری هر عکس بدست می‌آید، شکل ۲۲)



(شکل ۲۲)

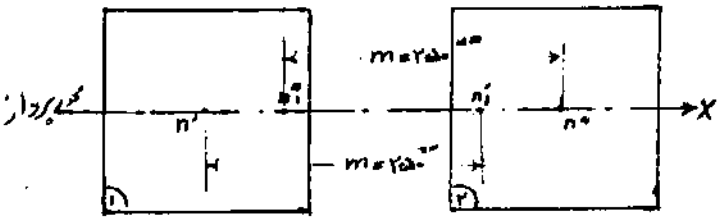
۲ ـ پیاده کردن هر نقطه نادیر (نقطه اصلی) بر روی عکس دیگر. با توجه به تقاطع نظیر می‌توان موقعیت تصویر نظیر n' و n'' را بر روی عکس دیگر پیدا کرد و یا با انطباق قسمت مشترک دو عکس بر روی یکدیگر موقعیت تصاویر نظیر n' و n'' را بر روی عکس دیگر علامت زد (شکل ۲۳).



(شکل ۲۳)

۳ ـ مشخص کردن امتداد محور پرواز بر روی هر عکس (محور پرواز خطی است که از تصویر دو ایستگاه عکسبرداری می‌گذرد) که بعبارت دیگر خطوطی بودند نقاط نادیر نیز می‌باشند (خطوط n'_1n'' و $n'n''_1$ بر روی دو عکس).

۴ ـ استقرار عکسها بر روی میز بلوریله تصویر از دوربینی خط پرواز در یک راستا و پوشش عکسها بسمت داخل و فاصله هر دو زوج تصویر نظیر نقاط نادیر (فاصله $n'n'_1$ و $n''n''_2$) برابر با m (m فاصله مرکز دو آینه تخت بزرگ استرئوسکوپ از یکدیگر می‌باشد).



(شکل ۲۴)

باشد. این فاصله در استرئوسکوپهای آینه‌دار ویلد (ST_4) برابر با ۲۵۰ میلیمتر می‌باشد.

در عمل به‌نحوی اجرا می‌شود که ابتدا یکی از عکسها را در موقعیت صحیح و مناسب بر روی میز ـ بلوریله امتداد محور پرواز از عکس به موازات لبه‌ای از میز که مشاهده کننده در آن سمت می‌نشیند

قرار گیرد - می چسبانیم . سپس خطکش بلندی را بر روی این عکس چنان قرار میدهیم که لبه خطکش در راستای خط پرواز قرار گیرد . آنگاه ، با قرار دادن عکس دیگر در زیر خطکش ، آنرا آنقدر جابجا می کنیم تا در ناحیه واستاد صحیح نسبت به عکس اوّل قرار گیرد . با چسبانیدن عکس دوّم به میز ، خطکش را برداشته و استرئوسکوپ را بر روی عکسها مستقر می کنیم .

۵ - استرئوسکوپ بر روی عکسهای چسبانیده شده به میز ، چنان باید استقرار یابد که استاد مرکز عدسیهای چشمی آن (استاد باز چشم مشاهده کننده) به موازات محور پرواز (محور X) عکسها قرار گیرد . در این حالت با تنظیم فاصله عدسیها به میزان باز چشم و فوکوس نمودن تصویر ، دید برجسته بینی برقرار می شود . مشاهده کننده می تواند با منطبق دیدن تصاویر نامشابه نظیر ، مدل سه بعدی صحیح را نظاره کند . در صورت عدم انطباق تصاویر نظیر ، باید یکی از عکسها یا استرئوسکوپ را در جهت اختلاف موجود بین تصاویر نظیر جابجا کرد یا کمی دوران داد تا با انطباق تصاویر نظیر دید سه بعدی برقرار گردد .

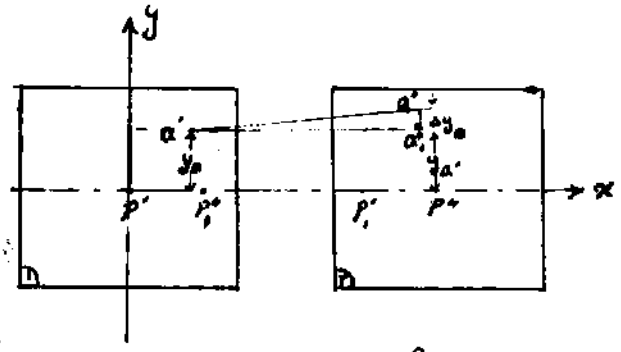
در صورتیکه استاد زوج تصویر نظیر هر نقطه به موازات محور پرواز (محور X) باشد با انتقال استرئوسکوپ در دو استاد X و Y ، تمامی نقاط مدل سه بعدی را می توان برجسته دید در غیر اینصورت که به علتی استاد دو تصویر نظیر نقطه ای موازی با محور X نمی باشد بین زوج تصویر آن نقطه (۵۷) جابجایی در جهت Y وجود خواهد داشت . چشم می تواند Y ها ی خیلی کوچک را حذف کند لیکن زود خسته می شود . اگر Y از حدی بزرگتر شود چشم دیگر قادر به حذف آن نمی باشد در نتیجه مشاهده کننده از آن نقطه دو تصویر جدا از هم در جهت Y می بیند و برجسته بینی از بین خواهد رفت .

در صورت استقرار صحیح عکسها و استرئوسکوپ ، چشم راست از داخل استرئوسکوپ تصویر راست و چشم چپ تصویر چپ را می بیند در غیر اینصورت منطقه را دارای دید سه بعدی کاذب شده و دارو نه دیده خواهد شد .

۷- علل وجود δ_y در تصاویر نظیر

در صورتیکه عکسبرداری قائم و عکسها هم مقیاس باشند، پس از توجیه عکسها جهت برجسته بینی با استریوسکوپ، امتداد هر زوج نقاط نظیر به موازات محور پرواز (محور x) می باشد در غیر اینصورت به سبب وجود عوامل زیر در تصاویر نظیر δ_y ایجاد می شود و امتداد زوج تصاویر نظیر، دیگر موازی با محور پرواز نخواهد بود.

۷-۱: وجود اختلاف مقیاس در عکسها



(شکل ۲۵) δ_y ناشی از تغییر مقیاس

ملاحظه شد که جابجایی ناشی از تغییر مقیاس در عکسبرداری قائم در امتداد شعاع نسبت به مرکز نقطه اصلی می باشد. جابجایی شعاعی ناشی از تغییر مقیاس دارای دو مؤلفه در امتداد محورهای x و y می باشد. مؤلفه δ_x، حاصل از وجود اختلاف مقیاس عکسهای توجیه شده برای مشاهده برجسته بینی، در زوج تصویر نظیر، سبب ایجاد تغییر در ارتفاع های شود و مؤلفه δ_y ناشی از اختلاف مقیاس، سبب ایجاد اختلال در مشاهده برجسته بینی می شود.

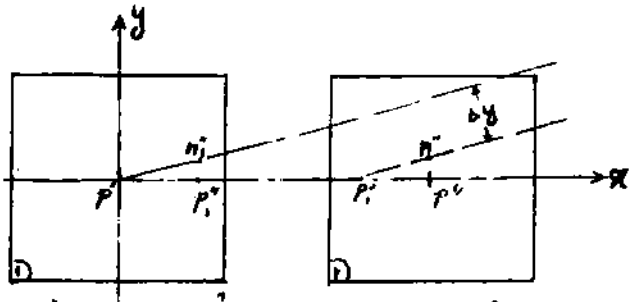
اگر S و S' ترتیب مقیاس عکسهای (۱) و (۲) باشند:

$$\delta y = y_{a'} - y_a = y_a \cdot \frac{S'}{S} - y_a = y_a\left(\frac{S'}{S} - 1\right)$$

$$\delta y = y_a\left(\frac{S+\delta S}{S} - 1\right) = y_a \cdot \frac{\delta S}{S}$$

$$\delta y = y_a \cdot \frac{\delta S}{S}$$

۷-۲: عدم انطباق نقطه نادیر بر نقطه اصلی



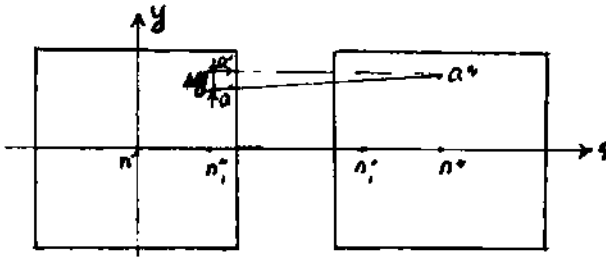
(شکل ۲۶) δ_y ناشی از عدم انطباق نقطه نادیر بر نقطه اصلی

چنانچه عکسبرداری کاملاً قائم نباشد تصویر ایستگاه عکسبرداری بر روی عکس، نقطه نادیر می باشد که بر نقطه اصلی منطبق نیست.

چون بدست آوردن نقطه نادیر بر روی عکس مشکل و معمولاً غیر ممکن است از نقطه اصلی بجای نقطه نادیر، جهت مشخص کردن امتداد پرواز استفاده می‌شود و همانطور که از شکل ۲۶ برمی‌آید اگر جرخش هوایما حول محور y (امتداد عمود بر محور پرواز) نباشد، نقطه نادیر دارای جابجایی δy نسبت به نقطه اصلی می‌باشد و در نتیجه در تصویر امتداد صحیح پرواز از دو عکس نیز دارای جابجایی δy می‌باشند که ایجاد اختلال در دید برجسته بینی خواهد کرد مگر اینکه هر دو عکس دارای تیلت مساوی و هم جهت باشند.

۳-۷: درصورت وجود تیلت

درصورت وجود اختلاف در جهت و مقدار تیلت زوج عکس مورد نظر، در موقعیت زوج تصویر نظیر نقاط جابجایی δy ایجاد خواهد شد حتی اگر امتداد های صحیح محور پرواز از دو عکس (امتداد نقاط نادیر) هم در یک راستا قرار گرفته شده باشند. مؤلفه های زاویه تیلت (ω و φ) در نقاط مختلف جابجایی y متفاوت ایجاد می‌کنند.



جابجایی y ناشی از وجود تیلت

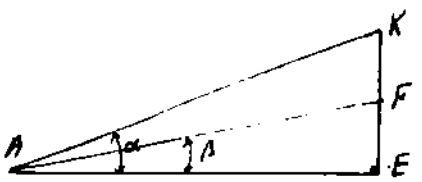
(شکل ۲۷)

با توجه به اثر دوربینهائی که در فصل دوم آورده شده است داریم:

$$\delta y = -f\left(1+\frac{y^2}{f^2}\right)\delta\omega + \frac{xy}{f}\delta\varphi \quad \left(\text{یا } \delta y = -H'\left(1+\frac{y^2}{H'^2}\right)\delta\omega + \frac{xy}{H'}\delta\varphi\right).$$

۸- بزرگ بینی عمودی در برجسته بینی

درصورتیکه مقیاس قائم تغییر کند، شیب همان نسبت تغییر نمی‌یابد. بفرض اگر مقیاس قائم دو برابر شود، در شکل روبرو، $EK = 2EF$ می‌شود

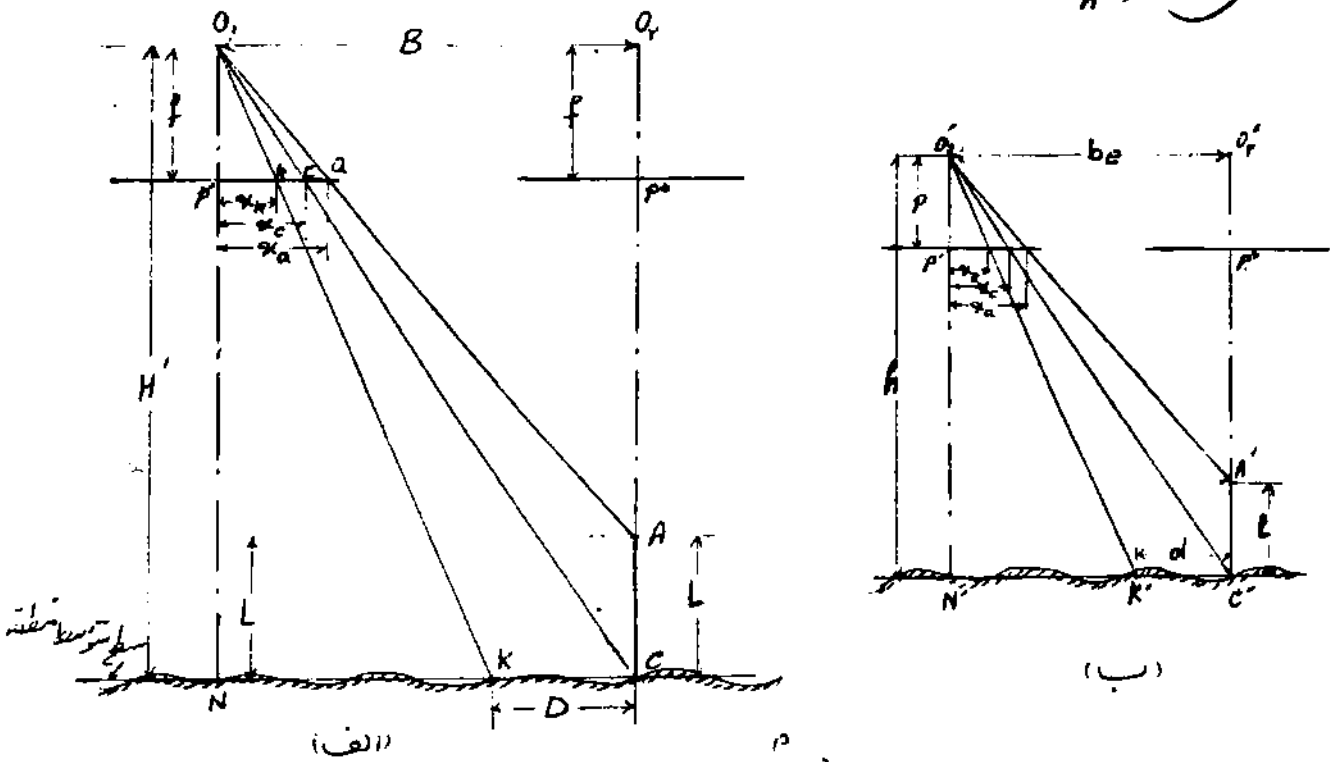


(شکل ۲۸)

بین شیب ظاهری α دوبرابر β دیده خواهد شد

با وجود اینکه $\operatorname{tg}\alpha = \frac{EK}{AE} = 2\frac{EF}{AE} = 2\operatorname{tg}\beta$ می‌باشد.

... ازاین رو در مشاهده حالت طبیعی شیبها ، معمولاً مقیاس قائم مدل سه بعدی بزرگتر از مقیاس افقی تنظیم میشود. این مقیاس ظاهری قائم را "بزرگ بینی عمودی" گویند . بزرگ بینی عمودی بانسبت باز هوایی به ارتفاع پرواز از سطح متوسط منطقه $\left(\frac{B}{H'}\right)$ متناسب است . و در حالت برجسته بینی مدل سه بعدی ، بزرگ بینی عمودی متناسب با نسبت باز جسم به فاصله سطح متوسط مدل سه بعدی از جسم $\left(\frac{b_e}{h}\right)$ میباشد.



(شکل ۲۹)

با توجه به شکل ۲۹ ، دو طول افقی و قائم مساوی در نظر گرفته می شود ($KC = AC$) ، نسبت مقیاس افقی و قائم را در مشاهده برجسته بینی مدل سه بعدی بررسی می کنیم . در شکل الف ، f = فاصله کانونی دوربین عکسبرداری ، H' = ارتفاع پرواز از سطح متوسط منطقه ، B = باز هوایی $(\overline{O_1O_2})$ ، $L = AC$ طول جسم قائم و $D = KC$ طول افقی نظیر آن $L = D$ می باشند . در شکل ب ، p = فاصله عکس از جسم ، h = فاصله سطح متوسط مدل سه بعدی از جسم ، b_e = باز جسم مشاهده کننده ، $l = A'C'$ طول تصویر سه بعدی جسم قائم و $d = K'C'$ = تصویر طول افقی در مدل سه بعدی می باشند .

از تشابه مثلثها در شکل ۲۹-الف می توان نوشت :

$$\frac{x_a}{B} = \frac{f}{H'-L} \Rightarrow x_a = \frac{f \cdot B}{H'-L}$$

$$\frac{x_c}{B}=\frac{f}{H'} \Rightarrow x_c=\frac{B\cdot f}{H'}$$

$$x_a-x_c=\frac{B\cdot f\cdot L}{H'(H'-L)} \qquad (1)$$

- از تشابه مثلثهای نظیر در شکل ۲۹-ب داریم :

$$\frac{x_a}{b_e}=\frac{P}{h-\ell} \Rightarrow x_a=\frac{P\cdot b_e}{h-\ell}$$

$$\frac{x_c}{b_e}=\frac{P}{h} \Rightarrow x_c=\frac{P\cdot b_e}{h} \Rightarrow x_a-x_c=\frac{P\cdot b_e\cdot \ell}{h(h-\ell)} \qquad (2)$$

با مساوی قرار دادن طرفین روابط (۱) و (۲) باهم داریم :

$$\frac{B\cdot f\cdot L}{(H')^2-H'L}=\frac{P\cdot b_e\cdot \ell}{h^2-h\ell}$$

چون مقادیر ℓ و L خیلی کوچکتر از h و H' می باشند از $h\ell$ و $H'L$ بترتیب در مقابل h^2 و $(H')^2$ می توان صرفنظر کرد.

$$\frac{B\cdot f\cdot L}{(H')^2}=\frac{P\cdot b_e\cdot \ell}{h^2}$$

$$\Rightarrow \frac{\ell}{L}=\frac{B\cdot f\cdot h^2}{(H')^2 P\cdot b_e} \qquad (3)$$

مقیاس قائم $=\frac{\ell}{L}$

همچنین از تشابه مثلثها می توان نوشت :

$$\frac{x_c-x_k}{D}=\frac{f}{H'} \Rightarrow D=(x_c-x_k)\frac{H'}{f}$$

و همچنین داریم :

$$\frac{x_c-x_k}{d}=\frac{P}{h} \Rightarrow d=(x_c-x_k)\frac{h}{P}$$

مقیاس افقی $=\frac{d}{D}$

$$\Rightarrow \frac{d}{D}=\frac{h\cdot f}{P\cdot H'} \qquad (4)$$

اگر رابطه (۴) را در رابطه (۳) جایگزین کنیم خواهیم داشت :

$$\frac{\ell}{L}=\frac{d}{D}\cdot\frac{B\cdot h}{H'\cdot b_e} \qquad (5)$$

درصورتی مقیاس قائم و مقیاس افقی مساوی می شوند که :

اگر $\frac{\ell}{L}=\frac{d}{D}$ $\Rightarrow$ $\frac{B\cdot h}{H'\cdot b_e}=1$ $\Rightarrow$ $\frac{B}{H'}=\frac{b_e}{h}$

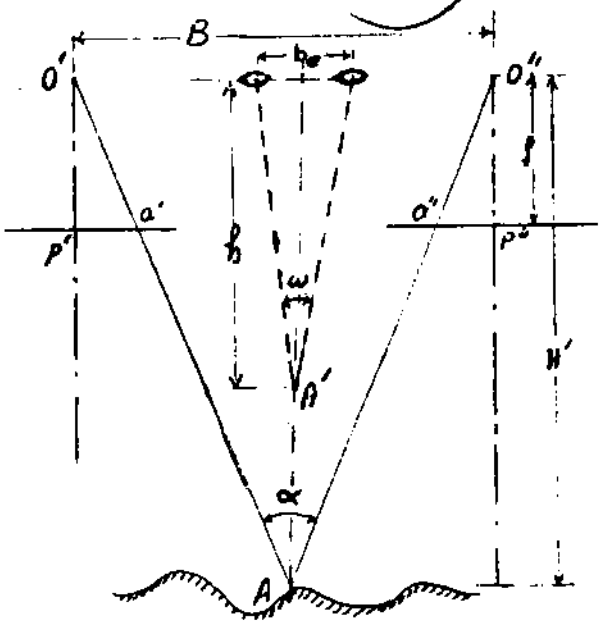
چون $D=L$ در نظر گرفته شده است پس $\ell=d$ می شود که در اینصورت گوشه ردیف برجسته بینی

ضریب بزرگ بینی قائم وجود ندارد. اگر $\sigma = \frac{B \cdot h}{H' \cdot b_e}$ باشد

که σ = ضریب بزرگ بینی عمودی است.

$\Rightarrow$ مقیاس قائم $\frac{l}{L} = \sigma \times$ (مقیاس افقی $\frac{d}{D}$)

اگر مقیاس قائم بزرگتر از مقیاس افقی باشد ضریب بزرگ بینی مثبت و در غیر اینصورت بزرگ بینی منفی است. بعبارت دیگر ضریب بزرگ بینی عمودی را می توان نسبت زاویه شعاعهای نظیر در حالت عکسبرداری به زاویه نظیر آن در مشاهده برجسته بینی مدل سه بعدی دانست.



(شکل ۳۰)

α = زاویه شعاعهای تصویر کننده نقطه A در عکسبرداری

ω = زاویه شعاعهای تشکیل دهنده مدل سه بعدی مربوط به نقطه A'

$$\alpha = \frac{B}{H'} \quad , \quad \omega = \frac{b_e}{f}$$

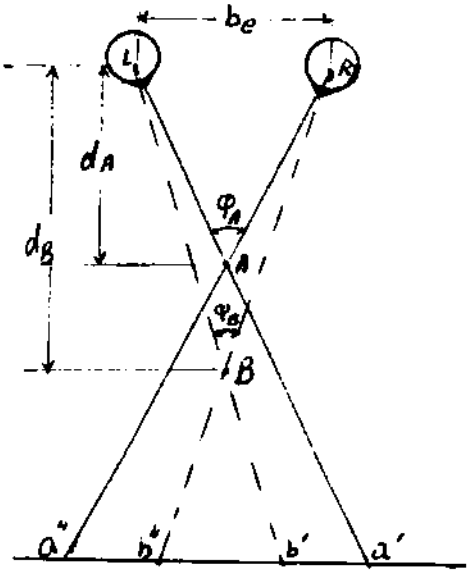
پس:

$$\sigma = \frac{\alpha}{\omega} = \frac{B \cdot f}{H' \cdot b_e}$$

بزرگ بینی عمودی می باشد.

۲) پارالاکس ونقطه‌شناور

۱- تعریف پارالاکس



(شکل ۳۱)

دیدیم که اگر به نقطه‌ای مانند A بطور یک چشمی نگاه شود؛ از A دو تصویر مجزا از هم بر روی صفحه‌ای غیر واقع بر A وجود خواهد داشت مانند a' و a'' که نشاندهنده نقطه A در مشاهده یک چشمی می‌باشند امتداد دو تصویر نظیر (a'a'') بموازات محور بازچشم مشاهده کننده می‌باشد. فاصله بین زوج تصویر نظیر هر نقطه ($\overline{a'a''}$) را پارالاکس (Parallax) یا اختلاف منظر آن نقطه گویند. در شکل فوق $\overline{a'a''}$ پارالاکس نقطه A و $\overline{b'b''}$ پارالاکس نقطه B می‌باشند. چون امتداد بازچشم در امتداد محور x در نظر گرفته شده است پس پارالاکسهای a'a'' و b'b'' نیز در امتداد x می‌باشند و می‌توان آنها را با پارالاکس x نامیده و به P_x نشان داد.

پس در شکل ۳۱ داریم: $P_{x_A} = \overline{a''a'}$ و $P_{x_B} = \overline{b''b'}$

اگر دو نقطه A و B هم فاصله تا چشم باشند دارای پارالاکس x مساوی می‌باشند و در صورتیکه دو نقطه A و B دارای دوری متفاوت از چشم‌ها باشند پارالاکس x آنها نیز با یکدیگر مساوی نمی‌باشد

یعنی: چون $d_A \neq d_B \Rightarrow \varphi_A \neq \varphi_B \rightarrow \overline{a''a'} \neq \overline{b''b'} \rightarrow P_{x_A} \neq P_{x_B}$

$\Delta P_{x_{A,B}}$ را اختلاف پارالاکس x دو نقطه A و B $\Delta P_{x_{A,B}} = P_{x_A} - P_{x_B}$

گوئیم که با عمق A و B متناسب است: $\Delta P_x = F(\Delta d)$

Δd عمق هر دو نقطه برابر با اختلاف فاصله دوری آنها از چشم می‌باشد: $\Delta d_{A,B} = d_B - d_A$

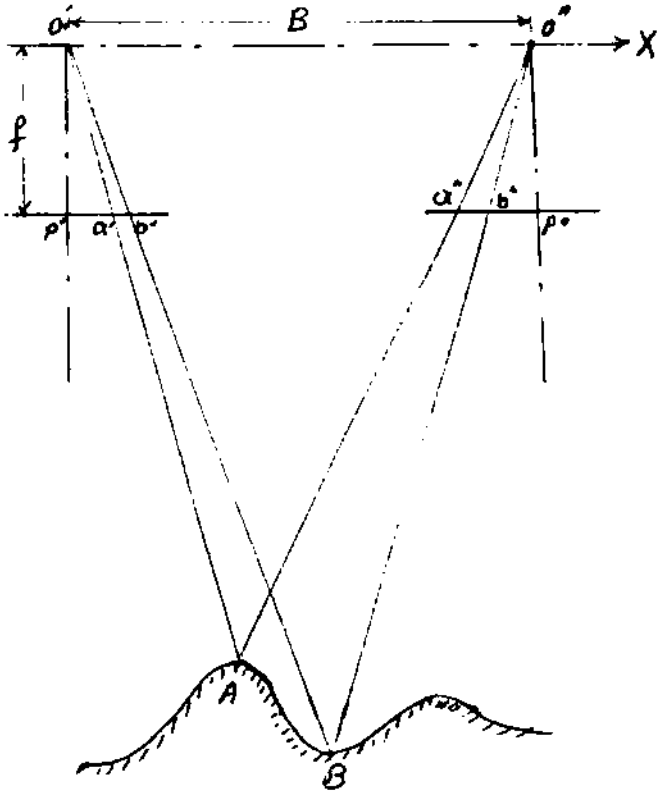
در صورتیکه $\Delta P_x = 0$ باشد $\Delta d = 0$ می‌شود یعنی $d_A = d_B$ و برعکس اگر $\Delta d = 0$ باشد

در نتیجه $\Delta P_x = 0$ می شود و برای دو نقطه دلخواه A و B خواهد شد $P_{x_A} = P_{x_B}$

در صورتیکه عکسبرداری با شرایط مناسب و خوبی انجام شده باشد، اختلاف تقاوت پارالاکس نظیر، پس از یافتن جهت صحیح عکسهای مربوطه برای ایجاد دید برجسته بینی، فقط در امتداد محور پرواز (محور X) می باشد به عبارت دیگر در زوج تصاویر نظیر فقط پارالاکس X وجود دارد. در غیر اینصورت، فاصله بین هر زوج تصویر نظیر را می توان به دو مؤلفه در امتداد محورهای X و Y تجزیه کرد که این مؤلفه ها را بترتیب پارالاکس X (P_x) و پارالاکس Y (P_y) می نامند.

مقدار پارالاکس هر نقطه که فاصله دو تصویر نظیر آن نقطه می باشد با کم و زیاد شدن فاصله دو عکس از یکدیگر تغییر می کند ولی اختلاف پارالاکس هر دو نقطه ثابت می ماند.

برای جلوگیری از ایجاد اختلاف در مقدار پارالاکس، "پارالاکس مطلق" یا "پارالاکس استروسکوپی" (Stereoscopic Parallax) را تعریف می کنیم.



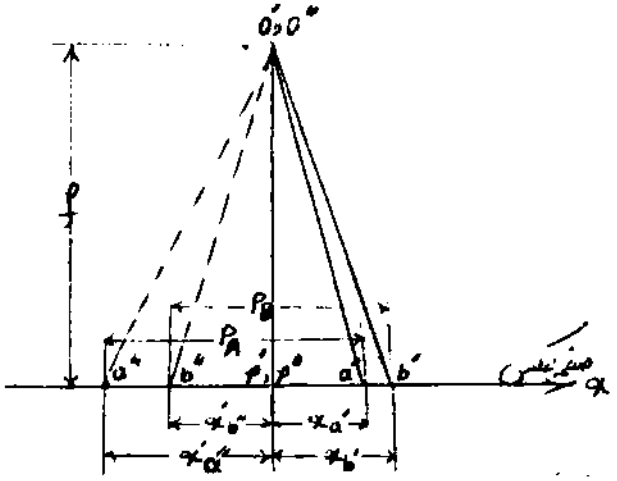
(شکل ۳۲)

۱-۱: پارالاکس مطلق (استروسکوپی) محور پرواز

فاصله دو تصویر نظیر را در صورتی که ایستگاههای عکسبرداری در محورهای عکسبرداری در عکس بر یکدیگر منطبق شوند، پارالاکس مطلق گویند. شکل ۳۲، عکسبرداری قائم از منطقه‌ای (نقاط A و B) را از دو ایستگاه هوایی O' و O'' نشان میدهد. در شکل ۳۳، دو ایستگاه عکسبرداری بر یکدیگر منطبق شده اند در نتیجه:

P_B مطلق $= \overline{b''b'}$ ، P_A مطلق $= \overline{a''a'}$

با در نظر گرفتن دستگاه مختصاتی با محور x (در استداد محور پرواز)، محور y (استداد محور پرواز) و مبدأ o (نقطه انطباق دو نقطه اصلی تکسها) در صفحهٔ عکسهای منطبق شده، در صورتیکه عکبرداری کاملاً قائم انجام شده باشد می‌توان نوشت:



(شکل ۳۳)

$$P_A = \overline{a''a'} = x_{a'} - x_{a''}$$

$$P_B = \overline{b''b'} = x_{b'} - x_{b''} \quad ,$$

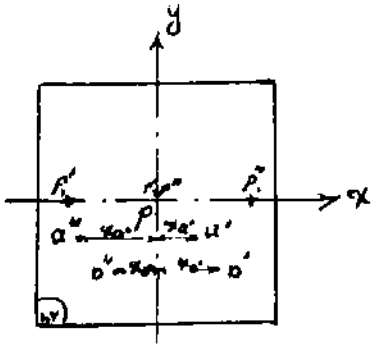
$x_{a'}$ و $x_{b'}$ طول تصاویر نقاط A و B

در عکس سمت چپ و $x_{a''}$ و $x_{b''}$ طول تصاویر نقاط A و B در عکس سمت راست می‌باشند که با انطباق دو استخوان محورهای عکبرداری از دو عکس بر یکدیگر $x_{a''} = x_{a}$ و $x_{b''} = x_{b}$ می‌شوند.

پس: P_B مطلق $= \overline{b''b'} = x_{b'} - x_{b}$ و P_A مطلق $= \overline{a''a'} = x_{a'} - x_{a}$

با پارالاکس مطلق نقاط را می‌توان با انطباق نقاط اصلی از دو عکس مجاور بدست آورد (شکل ۳۴).

چنانچه عکبرداری کاملاً قائم باشد پارالاکس مطلق فقط در استداد محور پرواز (محور x) می‌باشد که آنرا پارالاکس مطلق x گویند.



(شکل ۳۴)

P_A مطلق $= \overline{a''a'} = P_{x_A}$

P_B مطلق $= \overline{b''b'} = P_{x_B}$

در غیر اینصورت در نقاطی که جابجایی ارتفاعی از تثبیت وجود دارد پارالاکس مطلق دارای دو مؤلفه P_x (پارالاکس x) و P_y (پارالاکس y) می‌باشد پس پارالاکس مطلق در نقطه کمیتی است مثبت که

با دوری نقطه از ایستگاه عکسبرداری نسبت عکس دارد.

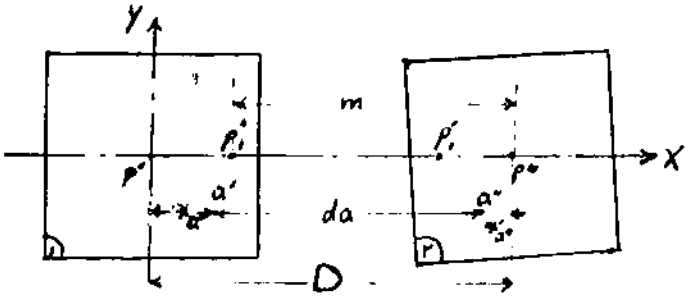
- پارالاکس مطلق x بزرگتر مربوط به نقطه با ارتفاع بالاتری باشد. $P_{X_A} > P_{X_B}$

- اختلاف پارالاکس مطلق x نقاط با اختلاف ارتفاع آنها متناسب است.

$$\Delta P_{X_{A,B}} = P_{X_A} - P_{X_B} = F(\Delta h_{A,B})$$

- مختصات هر نقطه را می توان تک تک با پارالاکس مطلق آن محاسبه نمود.

برای توجیه صحیح عکسها جهت ایجاد دید برجسته بینی با استرئوسکوپ یا به دار کافیست که یکی از عکسهای منطبق شده - برای اندازه گیری پارالاکس مطلق - را در امتداد محور برداز نقاط صفحه O از عکس دیگر دور کرد بطوریکه $D = m + \overline{p'p''}$ باشد که m فاصله مرکز دو آیپیس استرئوسکوپ (حدود ۲۵۰ mm) و $\overline{p'p''}$ فاصله تصویر دو ایستگاه عکسبرداری بر روی یک عکس می باشند.



(شکل ۳۵)

و بر عکس برای انطباق مراکز اصلی عکسهای توجیه شده در زیر استرئوسکوپ کافیست که یکی از آنها را به اندازه $D = \overline{p'p''}$ فقط در امتداد x انتقال دار.

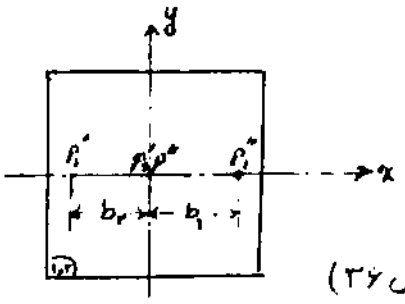
$$D = m + \overline{p'p_1''} = \overline{p'p''}$$

$$P_{X_A} = |\overline{a'a''} - \overline{p'p''}|$$

$$P_{X_B} = |da - D| = \alpha a'' - \alpha' a''$$

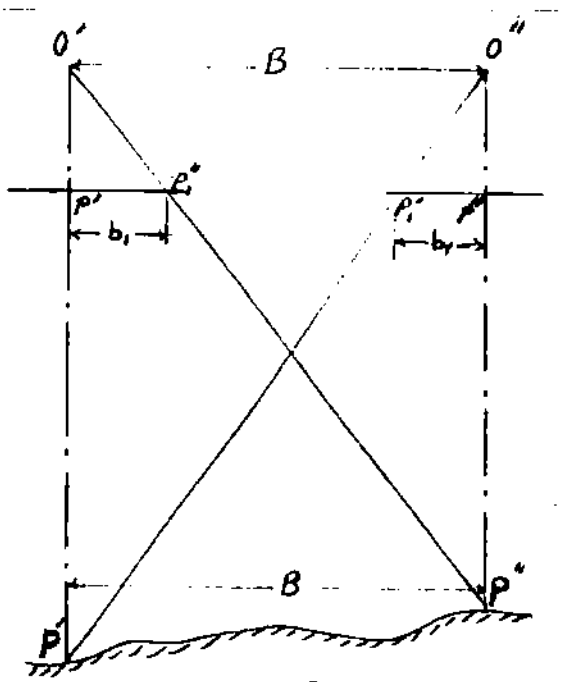
۲-۱: **بازعکس** (پارالاکس مطلق نقاط اصلی)

اگر قسمت متشکل (پوشش طولی) دو عکس بیش از ۵۰٪ هر عکس باشد تصویر نظیر مرکز هر عکس (توجیت



(شکل ۳۶)

تقریبی ایستگاه عکسبرداری) بر روی عکس دیگر وجود خواهد داشت. با انطباق عکسها بر یکدیگر بطوریکه نقاط اصلی منطبق بر هم و استداد خطوط پرواز در یک راستا قرار گیرند، می توان پارالاکس مطلق هر ایستگاه عکسبرداری را بدست آورد.



(شکل ۳۷)

با توجه به شکل ۳۶، می توان نوشت:

$$\overline{p'_1 p'} = P_{x_{p'}} \quad , \quad \overline{p'' p''_1} = P_{x_{p''}}$$

درصورتیکه مقیاس دو عکس مساوی، عکسبرداری قائم و منطقه مسطح باشد خواهیم داشت:

$$\overline{p' p''_1} = \overline{p'_1 p''}$$

($P_{x_{p'}} = P_{x_{p''}}$)، این فاصله، تصویر بازههوایی (فاصله دو ایستگاه عکسبرداری) بر روی عکس یا بعبارتی دیگر بازههوایی که عکس شده به مقیاس عکس می باشد که به آن "بازعکس" گفته می شود.

$$b_{ph} = B \cdot S_{ph}$$

b_{ph} = بازعکس، B = بازههوایی و S_{ph} = مقیاس عکس

در عکسبرداری قائم از منطقه مسطح و عکسهای هم مقیاس منطبق شده (شکل ۳۶)

$$b_{ph} = \overline{p' p''_1} = \overline{p'_1 p''} = \overline{p' p''} = \overline{p'_1 p'_1}$$

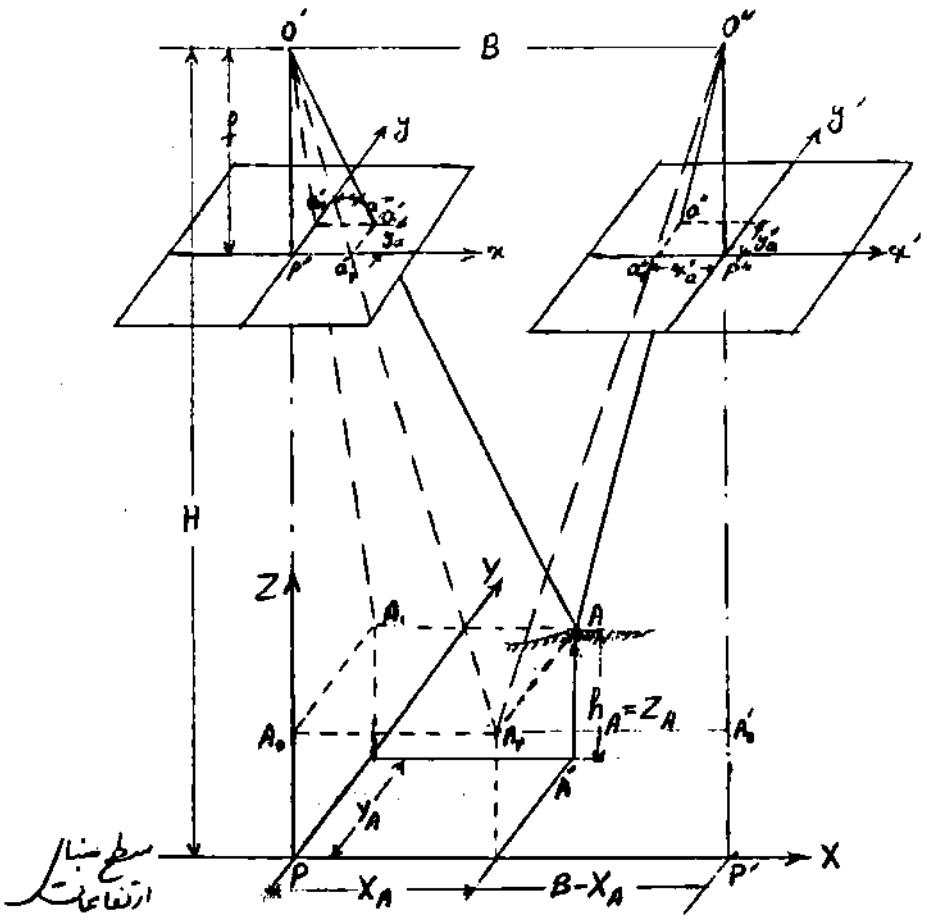
می باشد و یا در واقع $b_{ph} = P_{x_{p'}} = P_{x_{p''}}$ است.

در غیر اینصورت بازعکسها مساوی نخواهند بود که باز متوسط را ایجای بازعکس یا با پارالاکس X مطلق ایستگاه های عکسبرداری در نظر می گیریم. با توجه به شکل ۳۶:

$$b_1 = \overline{p' p''_1} = \overline{p'' p''_1} = P_{x_{p''}}$$

$$\begin{cases} b_2 = \overline{p'_1 p''} = \overline{p'_1 p'} = P_{x_{p'}} \\ b_1 = \overline{p' p''_1} = \overline{p'' p''_1} = P_{x_{p''}} \end{cases} \rightarrow b_{ph} = \frac{b_1 + b_2}{2} = \frac{P_{x_{p'}} + P_{x_{p''}}}{2} = P_{x_{p'p''}}$$

۲- محاسبه مختصات زمینی تکعکس یا رالاکس مطلق



(شکل ۳۸)

نقطه A به مختصات زمینی (X_A, Y_A, Z_A) در نظر گرفته شده است. تصویر آن در عکس سمت چپ a' و در عکس سمت راست a'' می باشد. مختصات عکسی نقاط تصویری a' و a'' به ترتیب (x_a, y_a) و (x'_a, y'_a) می باشند (شکل ۳۸).

مختصات زمینی نقطه A را در دستگاه مختصاتی به مبدأ P (تصویر ایستگاه عکسبرداری عکس سمت چپ که در عکسبرداری قائم بر تصویر زمینی نقطه اصلی منطبق است) که محور X آن در امتداد بر روی سطح افق محور پرواز، محور Y آن در امتداد عمود بر محور X بر روی سطح افقی مبنا و محور Z آن راستای قائم عکسبرداری عکس سمت چپ می باشد، بدست می آوریم. عکسبرداری قائم فرض شده است.

با توجه به شکل فوق، از تشابه مثلثهای $O'P'a'$ و $O'A_0A_1$ داریم:

$$\frac{Y_A}{y_a} = \frac{H - h_A}{f} \quad \Rightarrow \quad Y_A = \frac{y_a}{f}(H - h_A) \qquad (1)$$

و از تشابه مثلثهای $O''P''a''$ و $O''A_0A_2$ داریم:

$$\frac{X_A}{x_a} = \frac{H - h_A}{f} \quad \Rightarrow \quad X_A = \frac{x_a}{f}(H - h_A) \qquad (2)$$

همچنین از تشابه مثلثهای $O''a''p''$ و $O''A_2A_2'$ داریم :

$$\frac{-x'_a}{B-X_A}=\frac{f}{H-h_A} \quad \Rightarrow \quad X_A=B+\frac{x'_a}{f}(H-h_A) \qquad (۳)$$

- با مساوی قراردادن طرفین روابط (۲) و (۳) خواهیم داشت:

$$B+\frac{x'_a}{f}(H-h_A)=\frac{x_a}{f}(H-h_A)$$

$$(H-h_A)(x_a-x'_a)=B\cdot f \quad \Rightarrow \quad (H-h_A)\cdot P_{X_A}=B\cdot f$$

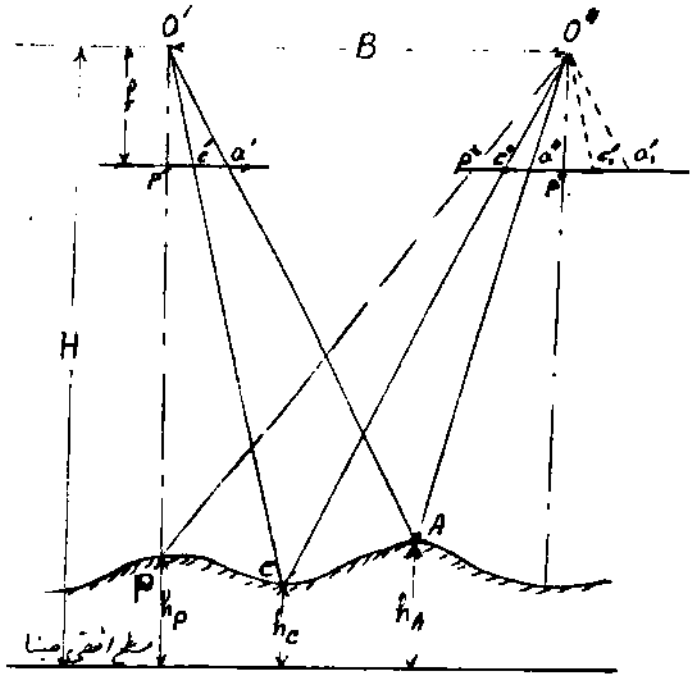
$$\Rightarrow h_A=H-\frac{B\cdot f}{P_{X_A}} \quad \Rightarrow \quad Z_A=H-\frac{B\cdot f}{P_{X_A}}$$

و با جایگذاری مقدار h_A در روابط (۱) و (۲) خواهیم داشت :

$$X_A=x_a\cdot\frac{B}{P_{X_A}} \quad , \quad Y_A=y_a\cdot\frac{B}{P_{X_A}}$$

P_{X_A} = پارالاکس مطلق نقطه A است .

۳- اندازه گیری ارتفاع بکمک اختلاف پارالاکس X



(شکل ۳۹)

با توجه به اینکه اختلاف پارالاکس X هردو نقطه متناسب با اختلاف ارتفاع آن دو نقطه است پس با اندازه گیری اختلاف پارالاکس هر نقطه نسبت به نقطه ای با ارتفاع معلوم می توان ارتفاع آن را بدست آورد.

در شکل رو برو A و C دو نقطه زمینی به ارتفاعهای h_A و h_C در نظر گرفته شده اند. نقاط

$a'a''$ تصاویر نظیر نقطه A و $c'c''$ تصاویر نظیر نقطه C بترتیب بر روی عکسهای قائم سمت چپ و راست که با دوربین با فاصله کانونی f، ارتفاع پرواز H و بازهوایی B برداشته شده اند- می باشند.

اگر از این نقاط a'' دو خط بموازات شعاعهای نوری $A'O'$ و $C'O'$ رسم کنیم، از تشابه مثلثهای $A''O'O''$ و $a''a'O'$ داریم:

$$\frac{a''a'}{B} = \frac{f}{H - h_A}$$

میدانیم که $\overline{a''a'} = P_{X_A}$ می باشد پس:

$$P_{X_A} = \frac{B \cdot f}{H - h_A}$$

و بطور مشابه، با استفاده از تشابه مثلثهای $C''O'O''$ و $C''C'O'$ می توان نوشت: $P_{X_C} = \frac{B \cdot f}{H - h_C}$

که P_{X_A} و P_{X_C} بترتیب پارالاکس های مطلق نقاط A و C می باشند که به P_A و P_C نیز نشان داده می شوند.

فرض می کنیم h_C معلوم باشد پس h_A را برحسب h_C بدست می آوریم.

داریم $B \cdot f = P_C (H - h_C)$ و با جایگذاری $B.f$ در رابطه $h_A = H - \frac{B \cdot f}{P_A}$

می توان نوشت: $h_A = H - \frac{P_C \cdot (H - h_C)}{P_A} = \frac{H \cdot P_A - H \cdot P_C + P_C h_C}{P_A}$

با اضافه و کم کردن $h_C P_A$ در صورت کسر خواهیم داشت:

$$h_A = \frac{H \cdot P_A - H P_C + P_C \cdot h_C + h_C P_A - h_C \cdot P_A}{P_A} = \frac{(H - h_C)(P_A - P_C) + h_C \cdot P_A}{P_A}$$

داریم: $P_A - P_C = \Delta P_{A,C}$ پس:

$$h_A = h_C + \frac{H - h_C}{P_A} \cdot \Delta P_{A,C} \quad \text{یا} \quad h_A = h_C + \frac{H - h_C}{P_C + \Delta P_{A,C}} \cdot \Delta P_{A,C}$$

اگر $H'_C = H - h_C$ باشد:

$$\rightarrow h_A - h_C = \frac{H - h_C}{P_C + \Delta P} \cdot \Delta P \Rightarrow \Delta h_{A,C} = \frac{H'_C}{P_C + \Delta P_{A,C}} \cdot \Delta P_{A,C}$$

از روابط فوق اختلاف ارتفاع یا اختلاف

$$\rightarrow \Delta P_{A,C} = \frac{P_C}{H'_C - \Delta h_{A,C}} \cdot \Delta h_{A,C}$$

پارالاکس مطلق هر دو نقطه مورد نظر را می توان بدست آورد.

از آنجایی که معمولاً در موقعیت تصاویر نقاط جابجایی هایی ناشی از وجود تیلت، اختلاف مقیاس، کشیدگی تصویر، انحراف عدسی دوربین عکسبرداری و ... وجود دارد اندازه گیری پارالاکس مطلق

نقاط عاری از خطا نخواهد بود. درنتیجه ارتفاعهای محاسبه شده، نیز دارای خطاهایی باشند.

درعمل برای کم کردن این خطا، نقطه اصلی عکس سمت چپ (تصویر ایستگاه عکسبرداری سمت چپ در عکسبرداری قائم) را بعنوان مبنای اندازه گیری یا در نظر می گیرند زیرا خطاهای ذکر شده در نقطه مرکزی عکس به حداقل میرسند و در ضمن اندازه گیری پارالاکس مطلق آن نیز به سادگی امکان پذیر می باشد. اگر O ایستگاه عکسبرداری سمت چپ و P نقطه اصلی عکس سمت چپ باشند خواهیم داشت: (تصویر زمینی نقطه)

$$P_P = b_{PA} \quad , \quad H'_P = H - h_P \qquad \text{ارتفاع پرواز از عکس سمت چپ}$$

$$\rightarrow h_A = h_P + \frac{H'_P}{b+\Delta P} \cdot \Delta P \qquad \text{یا} \qquad \Delta h_{A,P} = \frac{H'_P}{b+\Delta P_{مدل}} \cdot \Delta P_{A,P}$$

H'_P را می توان از مقیاس عکس سمت چپ بدست آورد $\quad , \quad \Delta P = \frac{b}{H'-\Delta h} \cdot \Delta h$

چنانچه اختلاف ارتفاع دو نقطه A و C مورد نظر باشد، ابتدا اختلاف ارتفاع هرکدام از نقاط را نسبت به نقطه مرکز عکس بدست آورده و سپس اختلاف ارتفاع این دو نقطه را نسبت بهم حساب می کنیم،

$$\Delta h_{A,C} = h_A - h_C = (h_A - h_P) - (h_C - h_P) = \Delta h_{A,P} - \Delta h_{C,P}$$

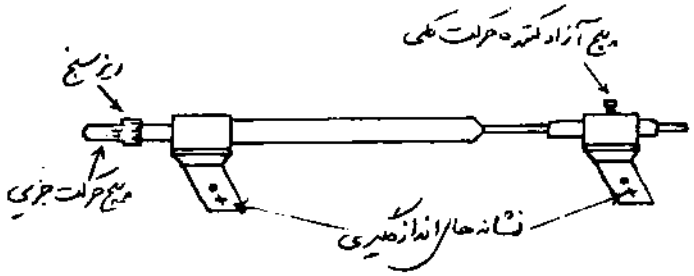
در مناطق غیر کوهستانی که اختلاف ارتفاع نقاط نسبت به یکدیگر زیاد نمی باشد ΔP (اختلاف پارالاکس X) نقاط نیز کوچک می باشد و می توان از ΔP در مقابل b (باز عکس) و از Δh در مقابل H' (ارتفاع پرواز) صرفنظر کرد و از روابط زیر استفاده نمود.

$$\Delta h = \frac{H'}{b} \cdot \Delta P \quad , \quad \Delta P = \frac{b}{H'} \cdot \Delta h$$

برای اندازه گیری اختلاف پارالاکس دو نقطه بطور دقیق، دستگاهی بنام پارالاکس بار وجود دارد که ΔP را با دقت ۰/۰۱ میلیمتر بدست میدهد. بالا بودن دقت اندازه گیری اختلاف پارالاکس، دقت محاسبه اختلاف ارتفاع را بالا می برد.

۴- پارالاکس بار

پارالاکس بار (Parallax Bar) وسیله ای است برای اندازه گیری اختلاف پارالاکس X نقاط و تشکیل یافته از میله ای که بر روی آن دو قطعه شیشه - دارای علائمی حک شده به شکلها و برخی به رنگهای مختلف - نصب می شود. طول میله و در نتیجه فاصله بین دو قطعه شیشه توسط پیچی واقع در انتهای میله تغییر می کند. میزان تغییرات فاصله بین علائم واقع بر قطعات شیشه ای را می توان با قرائت خطکش نصب شده بر روی میله پارالاکس بار در حد میلیمتر و ریزسنج واقع در کنار پیچ تغییر دهنده طول میله تا دقت ۰/۰۱ میلیمتر، اندازه گیری نمود. درجه بندی خطکش چنان است که اگر فاصله بین علائم واقع بر شیشه ها کم شود قرائت آن افزایش می یابد و بالعکس. زیرا میدانیم که با افزایش ارتفاع فاصله زوج تصاویر نظیر بر روی عکسهای توجیه شده زیراستروسکوپ (عکسهای با پوشش داخلی) کم میشود در حالیکه مقدار پارالاکس مطلق X با افزایش ارتفاع بیشتر می شود.



پارالاکس بار

(شکل ۴)

پارالاکس بار را باید بر روی عکسهای توجیه شده زیراستروسکوپ - جهت مشاهده مدل سه بعدی توسط استروسکوپ آینه دار - در امتداد محور پرواز (محور x) قرار داد. با انطباق علائم حک شده نظیر بازشیشه های پارالاکس بار - بر روی تصاویر نظیر دو نقطه دلخواه و قرائت خطکش و ریزسنج پارالاکس بار برای هر نقطه، می توان اختلاف پارالاکس X آن دو نقطه را - با کاهش دو قرائت انجام شده از یکدیگر - تا دقت ۰/۰۱ میلیمتر بدست آورد.

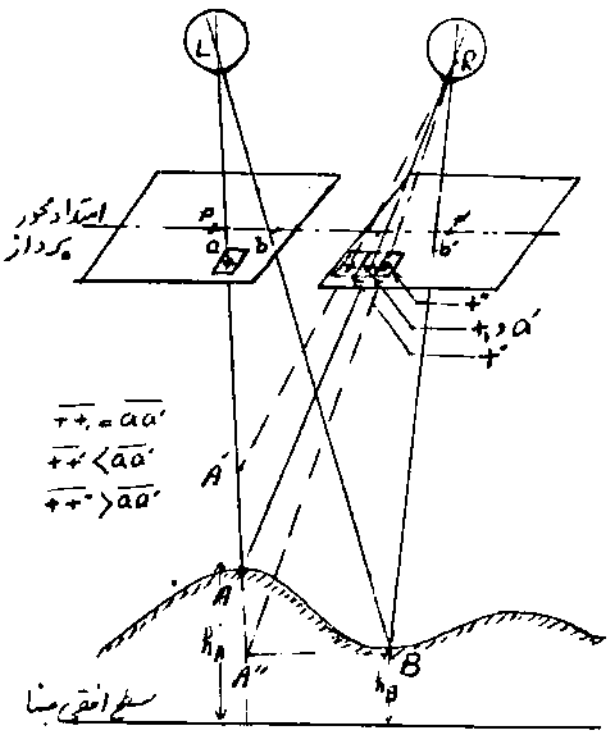
فاصله بین شیشه (طول میله) را می توان با باز کردن پیچی بطور آزاد تغییر داد بدون اینکه این تغییر بر روی خطکش ثبت شود. این حرکت آزاد و مستقل از خطکش، حرکت کلی است که بعلت

محدود بودن طول خطکش مدرج در پارالاکس بار، در نظر گرفته شده است. باید توجه داشت که در صورت باز شدن پیچ حرکت کلی، مبنای قرائت خطکش تغییر می کند. پس برای اندازه گرفتن اختلاف پارالاکس نقاط مربوط به هر دو جز عکس توجه شد. جهت مشاهده استریوسکوپی، ابتدا از حرکت کلی استفاده کرده فاصله علائم نظیر پارالاکس بار را با فاصله تصاویر نظیر عکسی برابر میدهیم و آنگاه پس از بستن حرکت کلی، معرفی و اندازه گیری اختلاف پارالاکس نقاط را فقط با استفاده از حرکت جزئی (بطئی) مرتبط به خطکش، انجام میدهیم.

۵- نقطه شناور (Floating Mark)

علائم حک شده بر روی شیشه های پارالاکس بار، برای انطباق بر تصاویر نظیر هر نقطه، از اصل نقطه شناور (فلوتینگ مارک) پیروی می کنند.

اگر دو علامت نظیر روی شیشه های پارالاکس بار (مثلاً +) دقیقاً بر تصاویر نظیر نقطه A (a و a') قرار گیرند؛ با مشاهده برجسته بینی، مرکب از دو علامت + و + فقط با یکی از چشمها و بترتیب در امتداد شعاعهای نوری مربوط به a و a' دیده می شوند. چون چشمها نقاط تصویری a و a' را برهم منطبق و در A می بینند با الطبع دو علامت + و + نیز برهم منطبق و در نقطه A دیده می شوند. بعبارت دیگر چشمها فقط یک علامت + و مماس بر سطح زمین در نقطه A می بینند. حال اگر علامت + جابجا شود و مثلاً در موقعیت + قرار گیرد که فاصله اش تا علامت +



(شکل ۴۱)

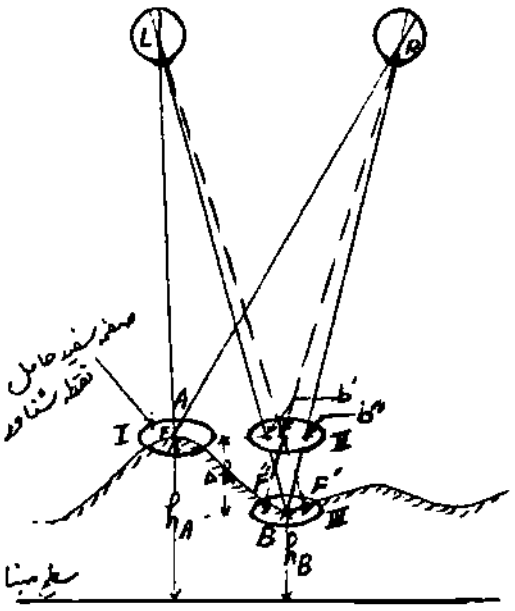
کمتر از حالت قبل $(\overline{aa'} = \overline{++'} < \overline{++''})$ باشد دیگر در امتداد شعاع دیدگانی نقطه تصویری a' منطبق نبوده و در نتیجه شعاعهای نوری علائم $+$ و $+'$ یکدیگر را در نقطه دیگری مجزا A و در ارتفاع بالاتر از ارتفاع A به سبب افزایش پارالاکس مطلق آن یا $\overline{aa'} < \overline{++''}$ قطع می کنند که با دید برجسته بینی در فضای سه بعدی مدل علامت $+$ در موقعیت A' بالاتر از سطح زمین دیده می شود. و اگر علامت $+$ از موقعیت a' در امتداد x جابجا شود بطوریکه نسبت به $+$ دور شده و در موقعیت جدید $+''$ قرار گیرد پس $\overline{++''} > \overline{aa'} = \overline{++}$ می باشد. با مشاهده برجسته بینی در فضای سه بعدی مدل، شعاعهای دیدگانی $+$ و $+''$ یکدیگر را در نقطه ای مانند A'' در ارتفاع پائین تری از A قطع می کنند چون در این حالت $P_A > P_{A''}$ یا $\overline{++''} > \overline{aa'}$ می باشد.

اگر با انتقال پارالاکس بار، دو علامت $+$ و $+''$ بدون تغییر فاصله x بین آنها بر نقاط تصویری a' و b' یعنی $\overline{++''} = \overline{ab}$ منطبق شوند، با دید سه بعدی، $+$ بر نقطه B حاس دیده می شود پس می توان گفت که دو نقطه A و B هم ارتفاع بوده و با ارتفاع $+$ (نقطه شناور) مساوی می باشند.

ملاحظه می شود که با در اختیار داشتن دو علامت قابل انتقال، که هر علامت در یکی از صفحات تصویر قرار داشته باشد، می توان با مشاهده برجسته بینی دو علامت را بر هم منطبق و بصورت یک علامت دید که با جابجا کردن آنها در دو جهت x و y و با تغییر فاصله x بین آن دو (انتقال در امتداد z)، علامت در سه بعد x، y و z در فضای مدل سه بعدی بصورت شناور حرکت می کند و با انطباق علامت شناور بر هر نقطه از سطح مدل سه بعدی، می توان مختصات علامت شناور را بعنوان مختصات آن نقطه از مدل و همچنین فاصله x آن دو علامت را با پارالاکس x آن نقطه در نظر گرفت. پس توسط علامت شناور براحتی می توان اندازه گیریهای مورد نظر را در فضای سه بعدی مدل انجام داد. بدین سبب هر یک از دو علامت را یک نشانه (علامت) اندازه گیری و ترکیب دو نشانه اندازه گیری را نقطه شناور (فلوتینگ مارک) می نامند.

در دستگاههای نقاط اندازه گیری (Measuring-Marks) به شکل و رنگ و اندازه های مختلفی مانند ○ ، ⊙ ، + ، ⊕ ، ⊗ و ... ساخته شده است. در اکثر دستگاه های فتوگرامتری نقطه شناور برنگ سیاه یا بصورت نورانی می باشد. نقطه شناور نورانی از دو نقطه نورانی (دو سوراخ که لامپ کوچکی در پشت هر یک روشن می شود) بعنوان نقاط اندازه گیری تشکیل یافته است. نقاط اندازه گیری (نقطه شناور) نورانی را می توان با کم و زیاد کردن نور آنها توسط رئوستاهای مربوطه، ریز یا درشت مشاهده نمود.

اگر صفحه حاوی نقطه شناور را بتوان در امتداد Z تغییر مکان داد، نیازی به وجود دو نقطه اندازه گیری برای تشکیل آن نمی باشد تا با تغییر پارالاکس p_z نقاط اندازه گیری امکان تغییر ارتفاع را در نقطه شناور ایجاد کرده. در دستگاههایی که از دو جفت نقاط بعنوان نقطه شناور استفاده می شود معمولاً صفحه دایره ای شکل و سفید رنگی وجود دارد که سوراخی در مرکز آن و لامپی در زیر سوراخ قرار داده شده است (گاهی اوقات از علامتی که شده بر روی این صفحه بعنوان نقطه شناور استفاده می شود). این صفحه، که تصویر نیز بر روی آن مشاهده می شود، مستقر بر پایه ای است که قابل حرکت در هر سه جهت X، Y و Z می باشد.



(شکل ۴۲)

در صورتیکه صفحه سفید حامل نقطه شناور در سطحی از فضای مدل سه بعدی قرار گیرد که شعاعهای نوری نظیر متقاطعند، مانند حالت I شکل ۴۲، نقطه شناور بر سطح نقاط تقاطع شعاعهای نظیر مانند A منطبق می باشد. اگر صفحه نقطه شناور در سطحی قرار گیرد که شعاعهای نوری نظیر متقاطع نیستند (مانند حالت II در شکل ۴۲) با انتقال صفحه از حالت I در دو جهت X و Y بدست آمده است) چون شعاعهای

(f' و f'')

شعاع B در این سطح متقاطع نیستند پس در دو نقطه صفحه نقطه شناور را قطع می‌کنند. با مشاهده برجسته بینی شعاعهای نظیر نقطه B متقاطع دیده می‌شوند لیکن از نقطه شناور در دو تصویر در امتداد پرتوهای نوری آن (F) بر سطح زمین هم سطح نقطه B، که مورد مشاهده است، دیده می‌شود اگر دو تصویر نقطه شناور را F' و F'' با سیم فاصله F'F'' با رالاکس x نقطه شناور F واقع در سطح صفحه II، که هم سطح نقطه A در نظر گرفته شده است، می‌باشد پس در واقع F'F'' اختلاف پارالاکس x نقاط BA نامیده از اختلاف ارتفاع h و موجود بین آن دو نقطه می‌باشد.

با تغییر ارتفاع صفحه سنجید فاصله F'F'' کم یا زیاد می‌شود و چنانکه ملاحظه می‌شود اگر به موقعیت III تغییر مکان دهد با تغییر ارتفاع h از حالت II - نقطه شناور F مماس بر نقطه B دیده خواهد شد. تغییر ارتفاع صفحه نقطه شناور فاصله دو تصویر نقطه شناور (نقاط F' و F'') را در امتداد محور باز چشم مشاهده کننده (محور x) تغییر میدهد پس F' و F'' در واقع نقش نقاط اندازه‌گیری را ایفا می‌کنند.

۶- اندازه‌گیری بوسیله استریوسکوپ و پارالاکس بار

عکسبرداری قائم و پوشش عکسها بیش از ۵۰٪ در نظر گرفته شده است.

۶-۱: اندازه‌گیری ارتفاع

با مشخص بودن ارتفاع یک نقطه از قسمت مشترک دو عکس با مقیاس مشخص، می‌توان ارتفاع سایر نقاط مدل سه بعدی را محاسبه نمود. مراحل اجرای عملیات بشرح زیر می‌باشند:

۱- مشخص کردن نقاط اصلی عکسها

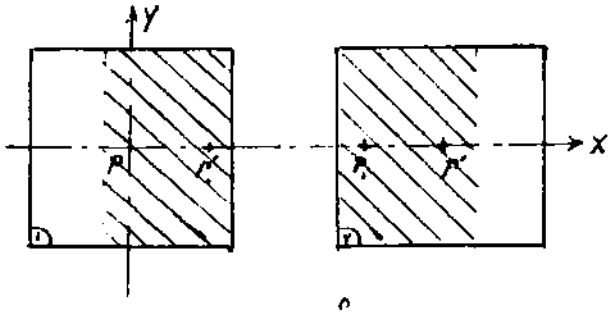
ابتدا مرکز هر عکس (نقطه اصلی آنرا) از برخورد خطوط کناری یا گوشه‌ای عکس بطور خیلی دقیق مشخص کرده، محل آنرا با سوزن علامت زده و شماره‌گذاری می‌کنیم.

برای مشخص کردن هر نقطه روی عکس، لایه حساس سطح عکس را در موقعیت آن نقطه توسط سوزنی دارای نوک نازک برمی داریم با این عمل نقطه مورد نظر بصورت نقطه سفید رنگی در مقابل نور دیده خواهد شد؛ به این کار سوزن زدن یا پریک کردن نقطه گویند.

سوزن های با نوک به قطرهای مختلف و دستگاههای مخصوصی برای انجام دقیق این عمل ساخته شده است که پریکر (Pricker) نامیده می شوند.

۲- توجیه عکسها برروی میز روشن

با تعیین موقعیت تقریبی مرکز هر عکس برروی عکس دیگر - بکمک یافتن تقویر نظیر هر مرکز برروی عکس دیگر - امتداد پرواز برروی هر عکس مشخص می شود. با در یک راستا قرار دادن امتداد های پرواز دو عکس در حالت پوشش داخلی، عکسها را در فاصله و موقعیت صحیح نسبت بهم توجیه می کنیم. یکی از عکسها را به میز چسبانیده و برروی عکس دیگر وزنه ای قرار میدهیم.



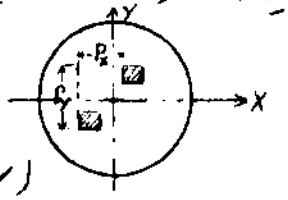
(شکل ۴۳)

برای چسبانیدن عکسها از چسبهای کاغذی استفاده می شود تا باکندن چسبها به لایه حساس عکس لطمه ای وارد نشده و از مقوای عکس جدا نشود.

۳- استقرار استریوسکوپ

استریوسکوپ آینه دار را طوری برروی عکسها مستقر می کنیم که امتداد محور X استریوسکوپ (امتداد مرکز چشمی های آن) به موازات محور پرواز عکسها قرار گیرد.

با تنظیم بازچشم و عدسیها، مشاهده کننده باید هر عکس را به واضح ترین صورت خود به بیند. با مشاهده دوچشمی، در صورتیکه تصاویر نظیر (عکسی) از یکدیگر جدا دیده شوند باید با معرفی انتقال یا دورانی جزئی به عکسی که با وزنه نگاهداشته شده است P_2، P'_2 موجود بین تصاویر نظیر را حذف کنیم



(شکل ۴۴)

تا تصاویر نظیر منطبق و منطقه بصورت سه بعدی دیده شود. حال عکس دوم را نیز به میز می چسبانیم. در صورتیکه توجیه عکسها صحیح باشد با جابجا شدن استریوسکوپ در جهات x و y، دید برجسته بینی برهم نخواهد خورد.

۴ - انتقال (ترانسفر) نقاط اصلی

استریوسکوپ را در موقعیتی قرار میدهیم که نقطه سوزن خورده مرکز عکس سمت چپ تقریباً در مرکز دایره دید استریوسکوپ قرار گیرد. آنگاه سوزن را روی عکس سمت راست حرکت می دهیم تا با دید برجسته بینی نوک آن منطبق بر نقطه سفید رنگ دیده شود. حال با قائم نمودن سوزن، بر روی عکس سمت راست علامتی می گذاریم (نقطه p، شکل ۴۳). در صورتیکه نقطه سوزن زده شده در روی عکس سمت راست دقیقاً تصویر نظیر مرکز عکس سمت چپ باشد دو نقطه سفید رنگ بصورت یک نقطه و عمود بر سطح زمین در مرکز عکس سمت چپ دیده می شوند و در صورت وجود خطا، دو نقطه سفید رنگ مجزا از هم و یا غیر عمود بر سطح زمین دیده خواهند شد.

با استقرار استریوسکوپ بر روی مرکز عکس سمت راست این نقطه را نیز بر روی عکس سمت چپ انتقال می دهیم (نقطه q، شکل ۴۳). برای واضح دیدن نقاط سوزن خورده، میز زیر عکسها باید روشن باشد و پس از انجام عمل ترانسفر می توان آنرا خاموش نمود.

- برای انتقال نقاط، دستگاههای مخصوصی ساخته شده است که در آنها از نقطه شناور برای انجام دقیق انتقال نقاط از عکسی به عکس دیگر استفاده می شود. نحوه عملکرد بدین صورت است که نقطه شناور را بر روی نقطه ای از سطح مدل - که مورد نظر جهت انتقال است - عمود می کنیم و پس موقعیت نقاط اندازه گیری را بر روی دو تصویر علامت می زنیم. از این دستگاهها برای بالا بردن دقت و سرعت عمل استفاده می شود. نمونه این دستگاهها PUG4 و یلد Transporter و ... می باشد.

۵- اندازه‌گیری بازعکس

با خط‌کش دقیقی فاصله بین دو تصویر این نشانه‌های نمدار (نقاط اصلی) را بر روی دو عکس (چپ و راست) اندازه می‌گیریم. متوسط دو اندازه‌گیری را بعنوان بازمتوسط عکس بدست می‌آوریم.

$$b_1 = \overline{P_1P_1'} \quad , \quad b_2 = \overline{P_2P_2'} \quad \rightarrow \quad b = \frac{b_1 + b_2}{2}$$

۶- استقرار پارالاکس بار و اندازه‌گیری اختلاف پارالاکس

اگر بنا بفرض ارتفاع نقطه‌ای مانند c در دست باشد، تفاوت آن و اختلاف پارالاکس χ، ارتفاع مرکز بعکس سمت چپ را بدست می‌آوریم.

بدین منظور از نقطه c شروع کرده و پارالاکس بار را بر روی نقطه c چنان قرار میدهیم که دو علامت مشابه از شیشه‌های پارالاکس بار بر روی تصاویر نظیر نقطه c (نقاط نادیر) قرار گیرند. آنگاه پیچ حرکت کلی را بسته و تا خاتمه اندازه‌گیریها دیگر آنرا باز نمی‌کنیم. حال با دید برجسته‌بینی و تغییر فاصله χ دو علامت، توسط پیچ حرکت جزئی، علائم را بر هم منطبق و مماس بر سطح نقطه c از مدل سه‌بعدی قرار میدهیم. خط‌کش در زیر سنج پارالاکس بار را قرائت کرده و آنرا m_c می‌نامیم.

استریوسکوپ را جابجا کرده و در موقعیت مرکز عکس سمت چپ قرار میدهیم. با انتقال پارالاکس بار، علامت شناور آنرا بر سطح نقطه مرکز عکس سمت چپ - با تغییر فاصله χ دو علامت توسط چرخاندن پیچ حرکت جزئی - مماس می‌کنیم. در این حالت نیز خط‌کش در زیر سنج پارالاکس بار را قرائت کرده و آنرا m_p می‌نامیم.

$$\Delta P_{P,C} = P_{x_P} - P_{x_C} = m_p - m_c$$

بدین ترتیب اختلاف پارالاکس χ دو نقطه c و p بدست می‌آید.

در اینجا ارتفاع مرکز عکس سمت چپ مورد نظر است. با توجه به فرمول پارالاکس داریم:

$$\Delta h = \frac{H'}{b+\Delta P} \cdot \Delta P$$

درصورت در اختیار نداشتن مقدار صحیح H'_p، می توان ارتفاع پرواز متوسط را از رابطه تقریبی $H' = \frac{f}{S_{ph}}$، یا در دست داشتن مقیاس صحیح عکس، و یا با داشتن باز هوایی از رابطه $H' = \frac{f \cdot B}{b}$، و یا از روابط دیگر بدست آورد.

مقادیر تعیین شده b، Δp و H' را در فرمول پارالاکس گذارده و Δh را محاسبه می کنیم. با مشخص شدن Δh (اختلاف ارتفاع نقاط P و C)، ارتفاع مرکز عکس سمت چپ را بدست می آوریم.

$$h_p = h_c - \Delta h$$

حال ارتفاع هر نقطه را که مورد نظر باشد مانند A، با استقرار پارالاکس بار بر روی آن و قرائت خط‌کش در زیر سنج آن - درحالیکه علامت شناور پارالاکس بار، با تغییر فاصله x بین دو علامت توسط پیچ حرکت جزئی، بر نقطه A مماس شده باشد - می توان بدست آورد:

$$\Delta P_{A,P} = m_A - m_P$$

$$h_A = h_p + \frac{H'}{b+\Delta P_{A,P}} \cdot \Delta P_{A,P}$$

۲-۶: تعیین موقعیت مسطحاتی

اگر حرکت پارالاکس بار بوسیله ای به یک قلم منتقل شود، با انطباق نقطه شناور پارالاکس بار بر هر نقطه از سطح مدل سه بعدی، می توان موقعیت آن نقطه را بر روی برگ کاغذی توسط قلم علامت گذاری کرد. با پیاده کردن نقاط مختلف از سطح مدل سه بعدی، موقعیت مسطحاتی آن نقاط در مقیاس عکس مشخص خواهند شد و می توان اندازه گیریهای مورد نیاز از جمله فاصله ها، شیبها یا موقعیت مرز عوارض مختلف را تعیین کرد.

با انتقال پارالاکس بار به دستگاه مختصات می‌توان حرکت‌های مکانیکی آنرا بصورت عددی تبدیل و قرائت کرد. بدین ترتیب مختصات هر نقطه از مدل سه‌بعدی را با بردن پارالاکس بار روی انطباق نقطه شناور آن بر روی آن نقطه، در دستگاه مختصاتی با مبنای قابل تنظیم می‌توان قرائت نمود.

۳-۶ - ترسیم نقشه بوسیله استرئوسکوپ و پارالاکس بار

چنانچه عکسبرداری کاملاً تمام انجام شده باشد می‌توان با تجهیز صحیح عکسها در زیر استرئوسکوپ نقشه توپوگرافی مدل سه‌بعدی تشکیل شده را به کمک پارالاکس بار در مقیاس عکس و یا با اتصال پانتوگرافی در مقیاس فاصل قلم و پارالاکس بار در مقیاسی غیر از مقیاس عکس ترسیم نمود.

برای ترسیم عوارض مسطحاتی، پارالاکس بار را چنان باید بر روی سطح عکس حرکت داد که نقطه شناور آن، مسیر عارضه مورد نظر را بطور مماس بر سطح آن طی کند. بالطبع قلم که از مسیر حرکت نقطه شناور (پارالاکس بار) پیروی می‌کند موقعیت صحیح عوارض را ترسیم خواهد کرد.

برای ترسیم منحنی های تراز، پارالاکس بار را چنان باید حرکت داد که نقطه شناور آن، بدون ایجاد تغییر در فاصله نقاط اندازه‌گیری آن (بدون تغییر دادن پیچ حرکت جزئی یا کلی)، در تمام نقاط طول مسیر حرکت خود مماس بر سطح زمین قرار گرفته باشد. قلم باطی مسیر حرکت نقطه شناور، منحنی های تراز مربوط به ارتفاع های مشخص را بر روی برگ نقشه ترسیم می‌کند. نقشه ای که بدین ترتیب توسط قلم دستگاه ترسیم می‌شود، نقشه خطی نامیده می‌شود.

در اینجا، ضرورت آشنایی با نقشه و انواع آن، بیان بحث مختصری در این مورد را اجتناب ناپذیر نموده است.

۷- نقشه

نقشه، تصویری مواری و قائم از سطح زمین بر صفحه‌ای افقی است که به نسبت مشخصی کوچک شده می‌باشد. این نسبت را مقیاس نقشه گویند. در مناطق مسطح (یا با شیب خیلی ملایم که اختلاف ارتفاع نقاط کمتر از ۱۰۰ ارتفاع پرواز باشند) تصویر مرکزی قائم را می‌توان بر تصویر مواری قائم در همان مقیاس منطبق دانست.

پس در مناطق مسطح، عکسی را که بصورت کاملاً قائم و در مقیاسی مشخص برداشته شده، می‌توان بعنوان نقشه در نظر گرفت که به آن نقشه عکسی (Photomap) می‌گویند.

نقشه عکسی را می‌توان با حذف جابجایی های ناشی از ارتفاع، تیلت، تغییر مقیاس و ... با استفاده از روشی ترمیم کلی یا ترمیم جزء به جزء تهیه کرد.

علاوه بر نقشه خطی و نقشه عکسی، نقشه عددی نیز وجود دارد که مجموعه‌ای از اعداد (Digital) یا در واقع مجموعه‌ای از نقاط مختصات دار است که از بحث این جزوه خارج است.

۷-۱: مزایای نقشه خطی نسبت به نقشه عکسی

۱- خواندن نقشه خطی برای عموم آسانتر است و مانند نقشه عکسی نیاز به تفسیر ندارد.

۲- بررسی و پیاده کردن پروژه های عمرانی بر روی نقشه های خطی، که برای آن مقصود تهیه شده اند، بهتر انجام می‌شود.

۳- تشخیص نوع عوارض به ظاهر مشابه (مانند ساختمانها و ...) به سبب استفاده از علائم اختصاری برای هر عارضه به سادگی انجام می‌پذیرد.

۲-۷: مزایای نقشه عکسی نسبت به نقشه خطی -

۱ - نقشه عکسی، به سبب دارا بودن کلیه عوارض، جامع تر از نقشه خطی است.

۲ - نقشه عکسی ارزان تر، سریع تر و آسان تر از نقشه خطی تهیه می شود.

۳ - نقشه عکسی چون، برخلاف نقشه خطی، برای مقاصد خاصی تهیه نمی شود و شامل کلیه عوارض است برای انجام کارهای عمرانی در هر زمینه ای قابل استفاده است.

۴ - با تفسیر عکس، هرگونه اطلاعاتی را که مورد نظر باشد می توان بدست آورد.

۵ - اصلاح، تکمیل و تجدید چاپ نقشه عکسی آسان تر است.

۶ - دقت مسطحاتی و ارتفاعی نقشه عکسی، با نقشه خطی هم مقیاس آن یکی است.

۷ - امکان تهیه اتوماتیک نقشه عکسی وجود دارد.

۳-۷: انواع نقشه

الف - در حالت کلی، با توجه به نوع نمایش عوارض، سه نوع نقشه وجود دارد:

۱ - نقشه خطی

۲ - نقشه عکسی

۳ - نقشه عددی

ب - نقشه ها، با توجه به نوع عوارض بررسی شده به سه دسته تقسیم بندی می شوند:

۱ - نقشه مسطحاتی (پلانیمتری Planimetry)؛

نقشه ای است که فقط نشاندهنده موقعیت مسطحاتی عوارض می باشد.

۲ - نقشه ارتفاعی (آلتیمتری Altimetry)؛

نقشه ای است که فقط نشاندهنده منحنی میزان یا نقاط ارتفاعی می باشد.

۳ـ نقشه سطحی و ارتفاعی (توپوگرافی Topography) :

نقشه‌ای است که هم شامل عوارض سطحی است و هم نشاندهنده موقعیت ارتفاعی نقاط مختلف منطقه می باشد.

ج - نقشه ها از نظر نوع کاربرد (مقیاس) نیز به سه دسته کلی تقسیم می شوند.

۱ - نقشه های عمرانی (بزرگ مقیاس) :

این نقشه‌ها که در مقیاس های بزرگ تهیه می شوند برای اجرای کارهای عمرانی خاصی مورد استفاده قرار می گیرند. تهیه این نقشه ها معمولاً براساس سفارش ارگان مجری انجام می پذیرد.

نقشه های بزرگ مقیاس دارای مقیاس $\frac{1}{500} > S > \frac{1}{10,000}$ می باشند.

۲ - نقشه های عمومی کشور :

نقشه های عمومی کشور ، نقشه های توپوگرافی متوسط یا کوچک مقیاس می باشند.

نقشه های متوسط و کوچک مقیاس دارای مقیاس $\frac{1}{15000} > S > \frac{1}{1,000,000}$ می باشند.

۳ - نقشه های جغرافیایی :

نقشه‌های جغرافیایی در مقیاسهای خیلی کوچک $S < \frac{1}{2,000,000}$ تهیه می شوند.

فصل چهارم

مراحل کار فتوگرامتری برای تهیه نقشه

برای تهیه نقشه منطقه‌ای، روش فتوگرامتری به‌سبب دارا بودن سرعت عمل بالا، صرف هزینه کم، کار در محیطی مناسب و دور از مشکلات برخورد مستقیم با طبیعت و امکان دستیابی به دقتی بالا نسبت به نقشه برداری زمینی از جمعیت دارد.

قبل از شروع هر کاری باید منطقه مورد نظر، مورد بازدید و شناسایی قرار گیرد و بسته به نوع کار برد عکسها یا نقشه مورد تقاضا، اطلاعات مورد نیاز جمع آوری شود، از جمله: کوهستانی یا مسطح بودن منطقه و تعیین بیشترین و کمترین شیب، نوع درختان در منطقه جنگلی، حداکثر ارتفاع ساختمانهای منطقه شهری، ارتفاع درختها در منطقه جنگلی و...

سپس با توجه به نوع منطقه و منظور از تهیه نقشه، براساس اطلاعات بدست آورده و دقت های ارتفاعی و مسطحاتی مورد درخواست، باید بررسیها و برنامه ریزیهایی در موارد زیر صورت پذیرد،

الف - طراحی برای انجام عکسبرداری

در همین فصل، برنامه ریزی برای انجام عکسبرداری هوایی بطور مفصل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ب - طراحی نقاط کنترل زمینی

برای ترسیم نقشه یا اندازه گیریهای مورد نیاز باید تعدادی نقطه با مختصات مشخص در دست باشد تا قرائتها، اندازه گیریها و محاسبات بر مبنای مختصات این نقاط معلوم انجام شوند. آنرا لازم باشد که اندازه گیریها بطریقه برجسته بینی انجام گیرند در هر مدل سه بعدی، نیاز به حداقل سه نقطه مسطحاتی و چار نقطه ارتفاعی می باشد و در صورتیکه هدف تهیه نقشه عکسی یا

اندازه گیری بطریقه دوبعدی باشد در هر عکس حداقل وجود چهار نقطه سطحاتی لازم می باشد.
ملاحظه می شود که در مناطق بزرگ، تعداد نقاط مورد نیاز که به نقاط کنترل عکسی (کنترل فرعی) معروفند خیلی زیاد می باشد و لذا تعیین مختصات آنها بطریقه زمینی، وقت بسیار زیادی لازم دارد. بدین لحاظ فقط تعداد نسبتاً کمی نقطه انتخاب می شود که مختصات آنها از طریق نقشه برداری مستقیم زمینی با دقتی بیش از دقت مورد نیاز برای نقشه، تعیین می شود. این نقاط را، نقاط کنترل زمینی می گویند که تعداد و موقعیت آنها با توجه به نوع منطقه، دقت و نوع نقشه مورد تقاضا و روش مثلث بندی مناسب، طراحی و انتخاب می شوند.
این نقاط یا قبل از عکسبرداری در روی زمین علامتگذاری می شوند (به شکلهای ▽، —|—، ✕ و یا ...) تا در موقع عکسبرداری در عکسها تصویر شوند و یا پس از عکسبرداری بر روی عکسها با سوزن زدن پیاده و شماره گذاری می شوند.

تعیین تعداد و موقعیت نقاط کنترل زمینی در مباحث بعدی و جزوات دیگر فتوگرامتری تحت عنوان "طراحی نقاط کنترل زمینی" بطور مفصل مورد بررسی قرار خواهد گرفت و خارج از بحث این جزوه می باشد.

ج - انتخاب دستگاه های مورد نیاز، که در حد امکانات سازمان اجرائی باشد و روشهای لازم برای بدست آوردن دقت خواسته شده.

با در نظر گرفتن دقت خواسته شده، دستگاهی با دقت مورد نیاز برای انجام مثلث بندی و تبدیل انتخاب می شود. همچنین با توجه به دقت خواسته شده، نوع نقشه و منظور متقاضی از تهیه نقشه، روش مناسبی برای انجام مثلث بندی و تهیه نقشه (خطی یا عکسی، سطحاتی، ارتفاعی توپوگرافی و ...) در نظر گرفته می شود تا دقت خواسته شده و هدف متقاضی از تهیه نقشه تامین شود.

در این مورد در بحث دستگاه های طبقه بندی بطور گسترده بحث خواهد شد.

د- تخمین هزینه و زمان لازم برای تهیه نقشه

هزینه و زمان مورد نیاز برای تهیه نقشه، با توجه به روشهای اتخاذ شده، محاسبه می شود و مقرون به صرفه بودن تهیه نقشه با اجرای روش برنامه ریزی شده مورد بررسی قرار می گیرد تا در صورت لزوم تغییراتی در آن اعمال گردد.

بحث در مورد قیمتها و خارج از حوصله این جزوه خارج است.

مراحل کار فتوگرامتری از شروع (برنامه ریزی برای تهیه عکس هوایی) تا ترسیم نقشه، بدین شرح می باشد:

۱- طراحی و انجام پرواز برای عکسبرداری

عکسبرداری، به سبب اینکه عکسهای مورد نیاز برای تهیه نقشه یا اندازه گیریها در این مرحله تهیه می شوند و نیز دارا بودن بالاترین هزینه (شامل هزینه هواپیما، خارج طلبان و گرد پرواز و ...) از مهمترین مراحل کار فتوگرامتری است که باید بطور دقیق و صحیح برنامه ریزی و اجرا شود تا هم با پیشگیری از تکرار عکسبرداری، هزینه به حداقل برسد و هم با تهیه عکسهایی با شرایط هندسی و مقیاس مناسب و کیفیت خوب، بتوان به دقت خواسته شده دست یافت.

برای انجام عکسبرداری هوایی از جمله: زمان عکسبرداری، پوشش میان عکس ها، مقیاس عکس، ارتفاع پرواز، نوع دوربین عکسبرداری، سیر حرکت هواپیما، موقعیت ایستگاههای عکسبرداری و سرعت هواپیما با توجه به نوع نقشه، دقت خواسته شده، نوع منطقه مورد نظر برای عکسبرداری و شرایط محیطی، از قبل تعیین و بررسی می شوند که به آن راهنمای (اندکس) پرواز گفته می شود.

نقشه راهنمای پرواز در اختیار کلیه پرواز و عکسبرداری قرار داده می شود تا پرواز در استاندارد

تحت شرایط تعیین شده انجام شود و عکسبرداری نیز در موقعیتهای مناسب در نظر گرفته شده طبق شرایط هندسی انتخاب شده صورت پذیرد.

تعیین

۱-۱: زمان عکسبرداری

برای تعیین زمان مناسب جهت عکسبرداری باید چند عامل زیر را با توجه به نوع منطقه و نوع نقشه مورد تقاضا در نظر گرفت،

الف - قابل رویت بودن سطح زمین

امکان مشاهده کلیه نقاط سطح طبیعی زمین عامل محدود کننده فصل و ماه مناسب جهت عکسبرداری می باشد.

چنانچه تهیه نقشه توپوگرافی مورد نظر باشد باید عکسبرداری در فصولی از سال انجام پذیرد که سطح زمین کاملاً مشخص و قابل رویت باشد؛ بعبارت دیگر درختان فاقد برگ باشند تا در مناطق جنگلی و پردرخت سطح زمین را در عکس مخفی ننمایند و همچنین سطح زمین از برفهای فرو ریخته شده پائیزی و یا برف زمستانی پوشیده نباشد.

زمان مناسب برای عکسبرداری از مناطق جنگلی یا پردرخت در ایران، اواخر پائیز یا اوائل بهار می باشد. چنانچه منطقه جنگلی از درختانی پوشیده شده باشد که در سرتاسر سال دارای برگ می باشند وجود لایه نازکی برف بدنیست زیرا تشخیص سطح طبیعی زمین پوشیده شده از درختان جنگلی را آسان می کند. در مناطق دیگر از جمله مناطق شهری، مناطق بی درخت یا کم درخت که تراکم درختها کم می باشد، در فصول دیگر هم که سطح زمین قابل رویت می باشد، عکسبرداری می تواند انجام شود.

ب - ارتفاع خورشید

عامل دیگری که تعیین کننده وقت و فصل مناسب جهت عکسبرداری است، ارتفاع خورشید در مناطق مختلف جغرافیایی می باشد. در زمانی که ارتفاع خورشید بیش از ۳۰° باشد انجام عکسبرداری مناسب است.

هرچه ارتفاع خورشید کمتر باشد، طول سایه ها بلندتر می شود و چنانچه طول سایه بیش از بلندی عارضه باشد، هم در ایجاد دید برجسته بینی اختلال بوجود خواهد آمد و هم اینکه تعدادی از عوارض که در سایه قرار می گیرند غیرقابل رویت می شوند.

بهمین دلیل عکسبرداری در صبح زود و در موقع غروب که ارتفاع خورشید کمتر از ۳۰° می شود نباید انجام گیرد. عکسبرداری در فصل و زمانی هم که بعلت بالابودن ارتفاع خورشید، عوارض فاقد سایه هستند، صحیح نمی باشد.

ج - یکنواختی هوا

عکسبرداری باید در روزی انجام شود که اولاً باد شدید نوزد. زیرا در صورت وجود جریان هوا و باد شدید، غلبان مشکل می تواند هواپیما را در مسیر و ارتفاع پرواز تعیین شده و یا در واقع شرایط هندسی در نظر گرفته شده برای عکسبرداری را حفظ کند. و تغییر در امتداد پرواز، ارتفاع پرواز و افقی نبودن هواپیما سبب ایجاد جابجایی تصویری در عکس و در نتیجه ایجاد تغییر در پوشش صحیح عکسها که گاهی اوقات پرواز و عکسبرداری مجدد را ضروری می سازد، می شود.

ثانیاً، در روز عکسبرداری آسمان باید فاقد ابر، گرد و خاک، دود، مه و رطوبت باشد. اگر ۱۰/۱ از آسمان هم پوشیده از ابر باشد برای عکسبرداری مناسب است. در صورت وجود ابر بیش از ۱۰/۱ ولی با تراکم کم، چنانچه ارتفاع ابر بیش از ارتفاع پرواز باشد، عکسبرداری می باشد.

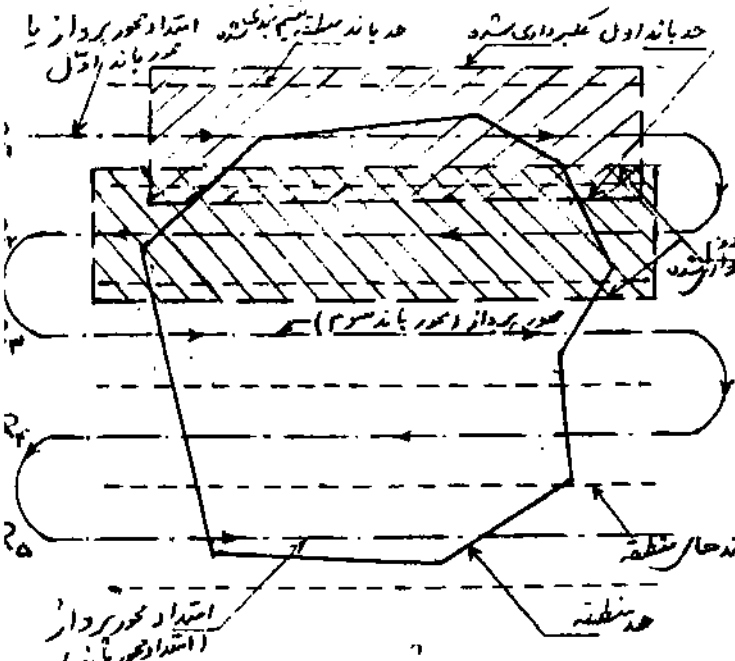
اثرات ناشی از وجود مه و رطوبت در پرکالذگی طیف آبی رنگ نور خورشید را می‌توان با قرار دادن فیلتر زرد رنگ در جلوی عدسی دوربین عکسبرداری از بین برد.

در مناطقی که آسمان آکنده از گرد و خاک و دود حاصل از کارخانه‌ها می‌باشد، عکسبرداری باید پس از بارش باران، که سبب تمیزی و صافی هوا می‌شود، انجام پذیرد.

تعیین
۲-۱: مسیر پرواز و پوشش عکسها

الف - مسیر پرواز

برای اینکه عکسهای برداشته شده کل منطقه مورد نظر را بپوشانند منطقه را به باندهایی موازی تقسیم می‌کنند. هواپیما پرواز را در مسیر خطی مستقیم، افقی و به موازات محور باند اول آغاز می‌کند. کمی قبل از ورود به محدوده منطقه، عکسبرداری شروع و همینکه هواپیما در مسیر پرواز تعیین شده به پیش می‌رود، در فواصل مشخص عکسبرداری انجام می‌شود. پس از خارج شدن از حد منطقه باز هم عکسبرداری ادامه می‌یابد تا بیرون از حد منطقه از هر طرف پنج عکس در دست باشد. با اتمام عکسبرداری باند اول، هواپیما دور می‌زند و باند دوم از منطقه - در حالیکه پرواز در امتداد خطی مستقیم، افقی، موازی با محور پرواز باند اول و بفاصله تعیین شده از محور پرواز باند ماقبل ادامه می‌یابد - عکسبرداری می‌شود. در انتهای باند دوم، که هواپیما از حد منطقه مورد نظر خارج می‌شود مجدداً دور زده و باند سوم از منطقه - با انجام پرواز در امتداد مسیری مستقیم، افقی، موازی با محور پرواز باندهای قبل و بفاصله تعیین شده از محور پرواز باند دوم - عکسبرداری

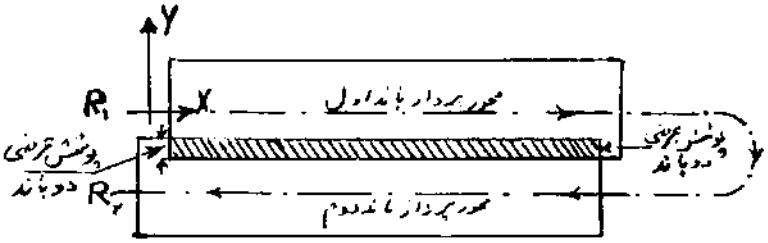


(شکل ۲۵)

می‌شود. روند پرواز و عکسبرداری بترتیب ذکر شده ادامه می‌یابد تا کل منطقه مورد نظر با عکسهای برداشته شده پوشیده شود. موقعیت اولین و آخرین باند پرواز باید چنان باشد که عکسهای باند اول و باند آخر شامل قسمتهایی خارج از محدوده منطقه مورد نظر باشند.

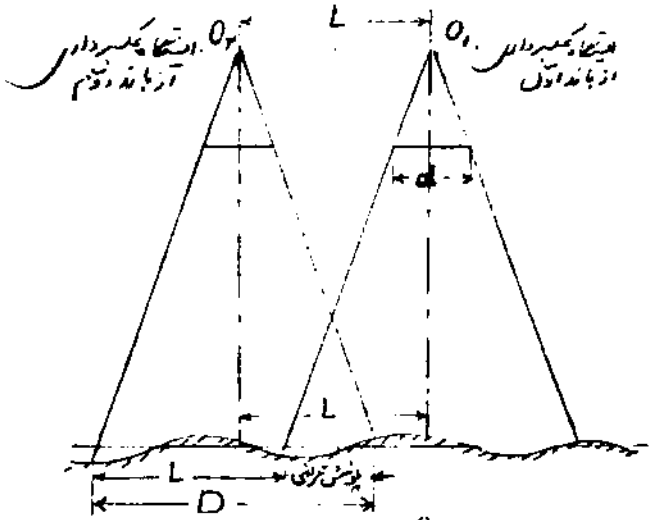
ب - پوشش عرضی

برای اینکه منطقه‌ای بطور کامل توسط عکسها پوشیده شود باید عکسهای هر باند پرواز با عکسهای باندهای مجاور، در قسمتی از منطقه مشترک باشند تا در اثر بروز عواملی که سبب ایجاد تغییر در پوشش عکسها می‌شوند بین عکسهای باندهای مجاور خلاء (گپ Gap) ایجاد نشود تا بتوان عکسها یا دسته باندهای مختلف را به کمک قسمت مشترک آنها، به یکدیگر انتقال و ارتباط داد. قسمت مشترک عکسهای هر دو باند مجاور را پوشش عرضی (Side lap) گویند زیرا در جهت عمود بر امتداد محور پرواز (محور X) می‌باشد - و معمولاً ۲۰٪ تا ۳۰٪ ضلع عکس (عرض باند مورد عکسبرداری) در نظر گرفته می‌شود.



اگر D = عرض باند عکسبرداری شده (ضلع منطقه پوشیده شده در یک عکس)، a = ضلع عکس، L = فاصله دو محور پرواز مربوط به دو باند مجاور و P_S = درصد قسمت مشترک دو باند (پوشش عرضی عکسهای دو باند) باشند رابطه زیر بین آنها برقرار است:

$$P_S = \left(\frac{D-L}{D}\right) \times 100$$



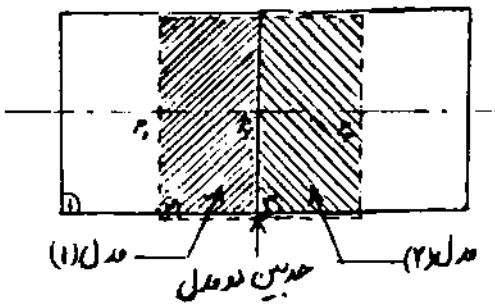
(شکل ۴۶)

با انتخاب درصد پوشش عرضی مناسب می‌توان فاصله هر دو باند پرواز مجاور را - برای تأمین پوشش عرضی در نظر گرفته شده - از رابطه فوق بدست آورد.

ج - پوشش طولی

چنانکه بررسی شد، برای ایجاد دید برجسته بینی باید از جسم مورد نظر دو تصویر برداشته شده از دو نقطه مختلف، در اختیار داشت. پس برای تهیه نقشه منطقه‌ای از مدل های سه بعدی آن، باید منطقه را چنان با عکسها پوشانید که هر نقطه از سطح زمین حداقل در دو عکس وجود داشته باشد.

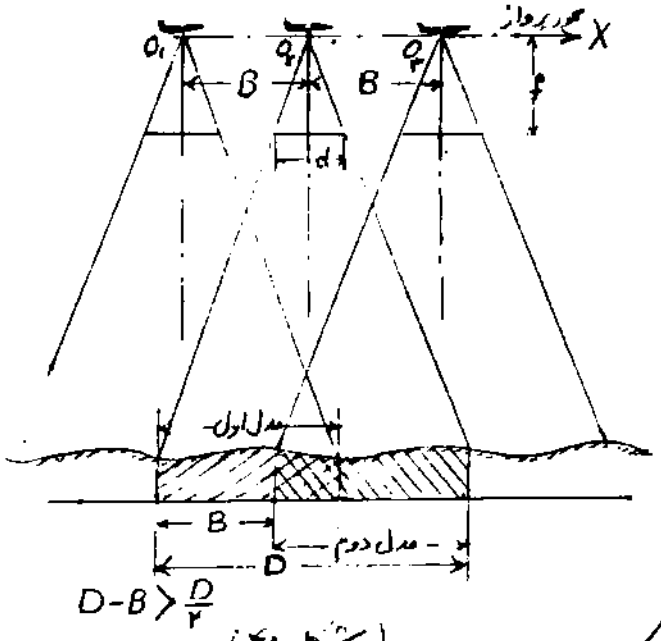
برای نیل به این هدف، عکسبرداری در طول هر باند پرواز چنان باید انجام گیرد که هر دو عکس مجاور در بیش از ۵۰٪ از منطقه تصویر شده با یکدیگر مشترک باشند زیرا مشترک هر دو عکس مجاور را که قابل برجسته دیدن است و مدل سه بعدی گفته می‌شود. اگر واحد در نظر بگیریم برای آنکه بتوان کل منطقه را با مدلها پوشانید پس هر دو مدل مجاور باید با یکدیگر مشترکی داشته باشند تا با تغییر پوشش بین مدلهای مجاور خلاء (فرق) ایجاد نشود. چنانچه از شکل ۴۷ برمی‌آید اگر پوشش عکسهای مجاور از هر باند ۵۰٪ باشد دو مدل مجاور در صورت عدم وجود جابجایی های تصویری، دقیقاً مماس خواهند بود در نتیجه پوشش هر دو عکس مجاور از هر باند، که به پوشش طولی (End Lap) معروف است نیز از امتداد محور پرواز (محور X) می‌باشد - علاوه بر آنکه نباید کمتر از ۵۰٪ باشد یکبار حتماً باید بیش از ۵۰٪ در نظر گرفته شود.



(شکل ۴۷)

پوشش طولی معمولاً ۶۰٪ تا ۸۰٪ انتخاب می‌شود.

در صورتیکه پوشش طولی عکسهای مجاور ۶۰٪ باشد پوشش هر دو مدل مجاور یا در واقع پوشش طولی دو عکس یک در میان ۲۰٪ خواهد شد. اگر D ضلع منطقه‌ای



(شکل ۴۸)

باشد که عکس به ضلع d آنرا می پوشاند، B فاصله دو ایستگاه عکسبرداری (بازهوایی) و PE درصد پوشش طولی دو عکس مجاور باشند، داریم:

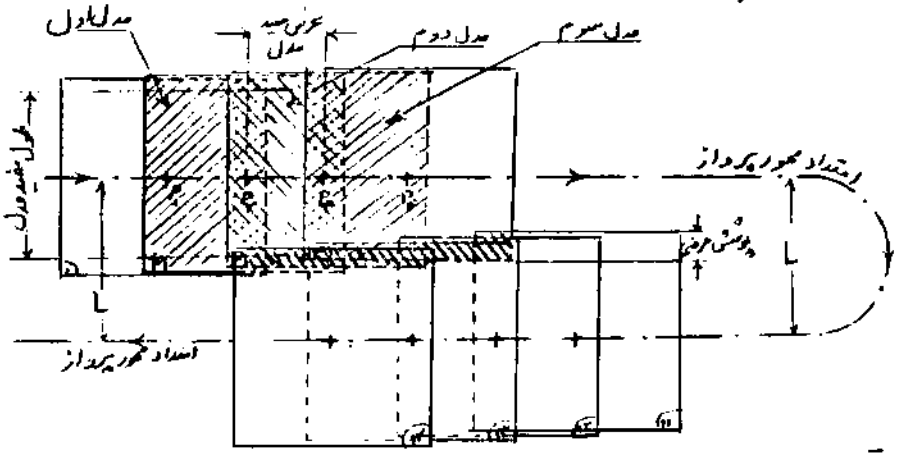
$$PE = \left(\frac{D-B}{D}\right) \times 100$$

که با انتخاب پوشش طولی مناسب، بازهوایی از رابطه فوق بدست می آید و مشخص می شود که پس از طی چه مسافتی توسط هواپیما، عکس بعدی باید برداشته شود.

مساحت قسمت مشترک دو عکس با پوشش طولی PE درصد، بر روی زمین برابر است با:

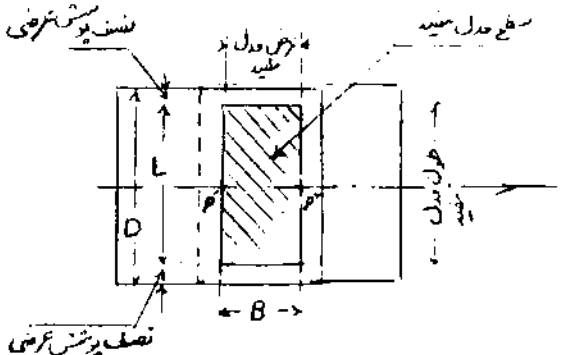
$$\text{سطح هر مدل} = (\%PE)\, D^2$$

د- سطح مفید مدل و تعداد عکسها



(شکل ۴۹)

با توجه به شکل ۴۹، ملاحظه می شود که بدلیل وجود قسمت مشترک بین هر دو مدل مجاور چه از نظر طولی و چه از نظر عرضی، حدود مفید هر مدل حد وسط قسمت مشترک مدلهای باشد که سطح محصور بین این حدود را، از نظر طولی (عرض مدل مفید) حد بین دو مرکز عکسهای هوایی (بازهوایی) و از نظر عرضی (طول مدل مفید) فاصله بین امتداد محور پرواز دو باند مجاور می باشد.



(شکل ۵۰)

سطح مفید مدل می تواند که بصورت زیر محاسبه می شود:

$$\text{سطح مدل} = (\%PE) \cdot D^2$$

$$\text{عرض مفید مدل} = B \quad D = \%(100 - PE) \quad D = [\%PE - 2(\%PE - \%50)]\, D = \%(100 - PE)\, D$$

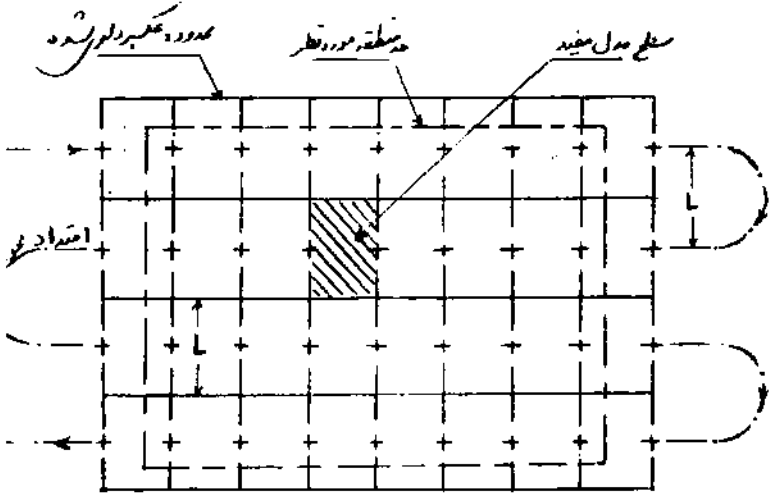
$$\text{طول مفید مدل} = L = D - 2\left(\frac{\%PS}{2}\right) \cdot D = \%(100 - PS)\, D \quad \text{فاصله دو محور پرواز از دو باند مجاور}$$

با توجه به شکل ۵۰ ، $S' = \%(100-PE)\times\%(100-PS)\cdot D^2$ سطح مفید مدل

یا $S' = B \cdot L$ سطح مفید مدل

چنانچه پوشش طولی ۶۰٪ و پوشش عرضی ۲۰٪ در نظر گرفته شده باشد

$$\text{سطح مفید مدل} = \%40 \times \%80 \times D^2$$



(شکل ۵۱)

بدین ترتیب، ملاحظه می‌شود که قبل از انجام عکسبرداری می‌توان تعداد عکسها و تعداد مدلهای مورد نیاز را محاسبه کرد.

$$n \text{ تعداد باندها} = \frac{\text{عرض منطقه}}{\text{فاصله دو محور پرواز}} + 1$$

$$n' \text{ تعداد مدلهای هر باند} = \frac{\text{طول منطقه}}{B} + n''$$

n'' تعداد مدلهایی است که در ابتدا و انتهای هر باند در خارج از محدوده منطقه مورد نیاز زند. پس اگر طول و عرض (حدود) منطقه مشخص باشد تعداد باندها و تعداد عکسهای هر باند و در نتیجه تعداد کل عکسهای مورد نیاز را می‌توان تعیین کرد:

$$N = n \cdot (n'+1)$$ تعداد کل عکسهای منطقه

اگر S مساحت و n تعداد باندهای منطقه باشند حداقل تعداد مدلهای مورد نیاز جهت پوشاندن منطقه برای ایجاد دید برجسته عبارتی از رابطه زیر بدست می‌آید:

S' = سطح مفید مدل

$$N' \text{ حداقل تعداد مدلهای مورد نیاز} = \frac{S}{S'}$$

$$N + n \text{ حداقل تعداد عکسهای مورد نیاز برای تشکیل } N \text{ مدل}$$

۵ـ عوامل مؤثر در تغییر و انتخاب پوشش

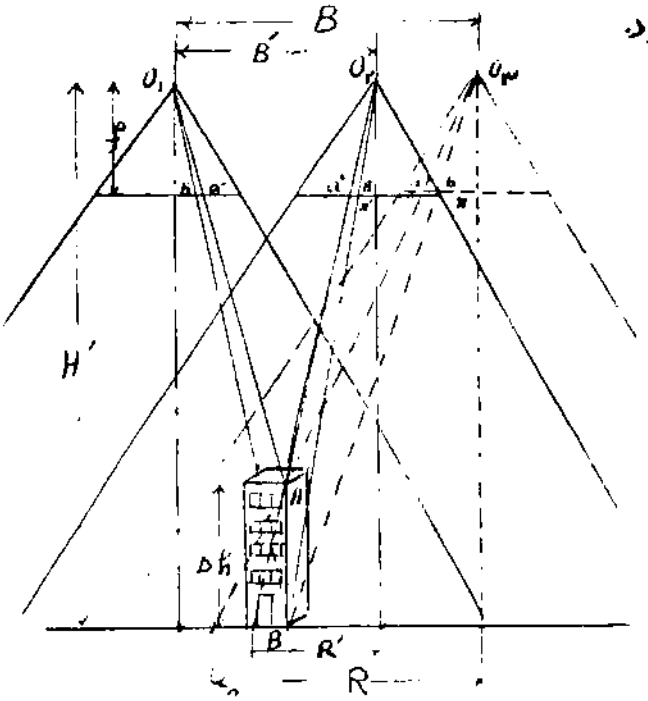
حداقل پوشش طولی ۶۰٪ و حداقل پوشش عرضی ۲۰٪ می‌باشد. معمولاً سعی می‌شود عکسبرداری با پوشش طولی و عرضی حداقل انجام شود تا تعداد مدلها نیز به حداقل برسد، زیرا با

افزایش تعداد مدلها که سبب از دیاد حجم کار می‌شود زمان لازم جهت اجرای کار و در نتیجه هزینه تهیه نقشه بالا می‌رود - مگر در صورت وجود سوارد که ایجاد تغییر در پوشش را ایجاب و یا ضروری می‌سازند تا دقت خواسته شده و حداقل پوشش مورد نیاز حفظ شود.

* - مناطق شهری

از مناطق شهری معمولاً نقشه در مقیاس بزرگ تهیه می‌شود در نتیجه عکسبرداری نیز باید در مقیاس بزرگ انجام گیرد و میدانیم که برای تهیه عکس بزرگ مقیاس، پرواز باید در ارتفاع پائین صورت پذیرد. در شهرهای با ساختمانهای مرتفع، به جهت جلوگیری از افزایش جابجایی تصویری ناشی از ارتفاع، بناچار باید پوشش عکسها را زیاد تر کرد.

با توجه به رابطه جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع: $\Delta r = \frac{r}{H'} \cdot \Delta h$ ، بدلیل کم بودن H' (در عکسهای بزرگ مقیاس) و زیاد بودن Δh (بلندی آسمانخراشها و آپارتمانها)، میزان Δr با از دیاد r (برای نقاط پیرامونی عکس) افزایش قابل توجهی می‌یابد و ممکن است به حدی برسد که حتی دید برجسته بینی را مختل ساخته و سه بعدی را برهم بزند. در نتیجه برای کاستن جابجایی Δr ناشی از اختلاف ارتفاع، تنها می‌توان r را کوچک نمود.



(شکل ۵۲)

با کوچک کردن (در سطح مدل مفید) می‌توان به این هدف دست یافت زیرا فاصله عوارض از مرکز عکسها کم می‌شود.

برای کوچک نمودن مدل مفید، باید ابتدا زاویه‌ای را که هش دار نباید به رابطه $B=y(100-PE)D$ و ثانیاً فاصله دو محور پرواز مجاور را کم نمود تا پوشش عرضی افزایش یابد زیرا: $L=y(100-Ps)D$

در شکل ۵۲ مشاهده می‌شود که جابجایی تصویری ناشی از اختلاف ارتفاع مربوط به ساختمان نشان داده شده.

در دو عکس برداشته شده از ایستگاه‌های هوایی O_1 و O_2 بفاصله ترتیب R و R' از ساختمان مورد نظر برابر می‌باشد با:

$$\Delta r = \overline{ba} = \frac{r}{H'} \cdot \Delta h$$

$$\Delta r' = \overline{b''a''} = \frac{r'}{H'} \cdot \Delta h$$

از $R > R' \leftarrow r > r'$

در نتیجه در شکل نیز ملاحظه می‌شود:

$$\Delta r > \Delta r' \rightarrow \overline{ba} > \overline{b''a''} \qquad (1)$$

در عکسبرداری با باز هوایی B (پوشش حدود ۶۰٪) پارالاکس x ناشی از اختلاف ارتفاع Δh برابر خواهد شد با:

$$\Delta P_1 = \overline{b'b} - \overline{a'a} = \overline{b'a'} + \overline{ab}$$

و در عکسبرداری با باز هوایی B' که $B' < B$ از دو ایستگاه عکسبرداری O_1 و O_2 (با پوشش طولی حدود ۸۰٪) اختلاف پارالاکس x ناشی از Δh برابری باشد با:

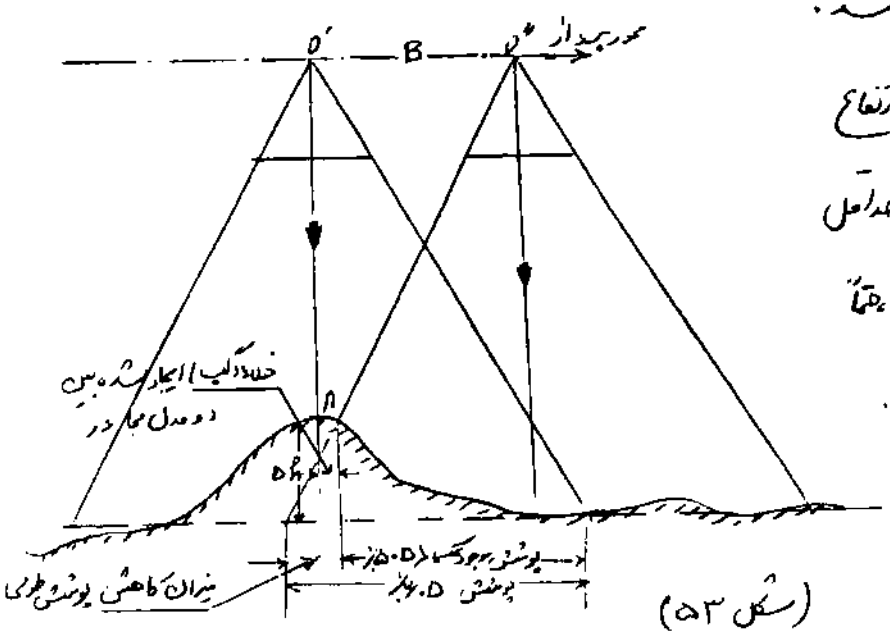
$$\Delta P_2 = \overline{b'b''} - \overline{a'a''} = \overline{b'a'} + \overline{a''b''}$$

با توجه به رابطه (۱) نتیجه می‌شود.

$$\Delta P_2 < \Delta P_1$$

در عکسبرداری از مناطق شهری در مقیاس بزرگ بکاهی پوشش طولی تا ۸۰٪ و پوشش عرضی تا ۶۰٪ نیز در نظر گرفته می‌شوند.

* ـ یکی از عواملی که تغییر پوشش را در عکسها موجب می‌شود وجود اختلاف ارتفاع زیاد در سطح ارض واقع در کناره عکس می‌باشد.



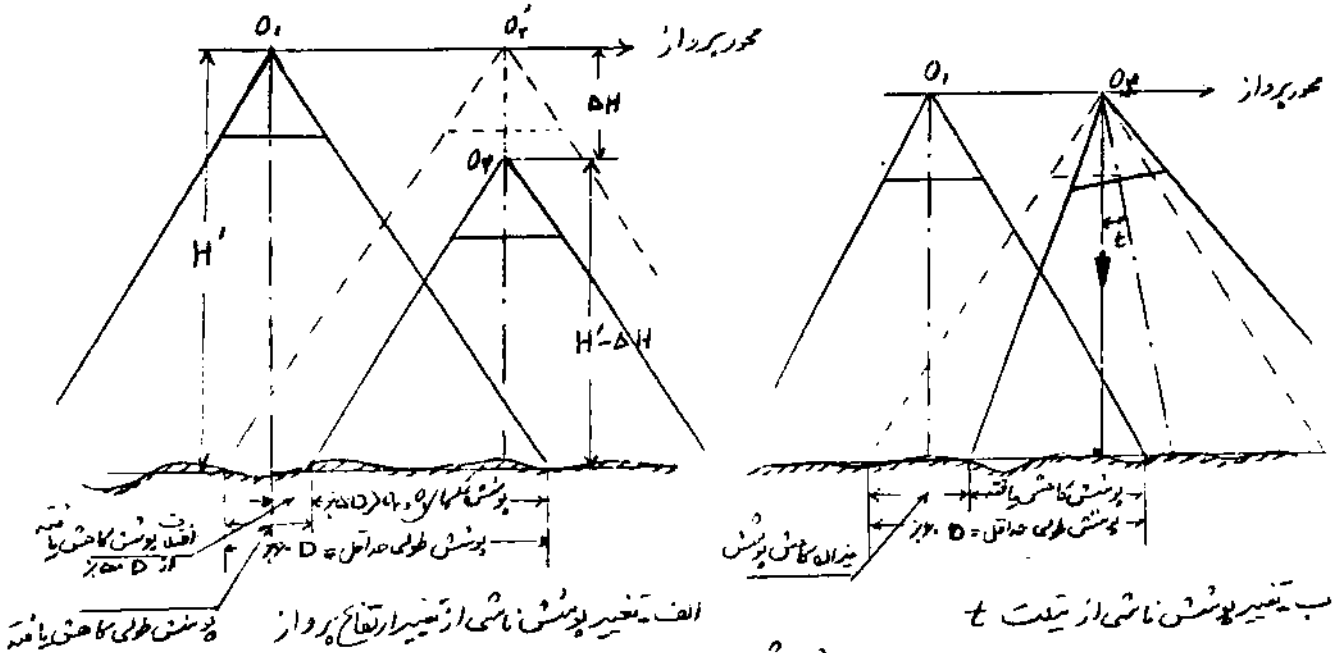
(شکل ۵۳)

پس در مناطق کوهستانی با اختلاف ارتفاع زیاد بهتر است که پوشش‌ها بیش از حد لازم در نظر گرفته شوند تا پس از کاهش، حتماً پوشش حداقل در عکسها حفظ شود.

در شکل ۵۳، ملاحظه می‌شود که بلندی A در کنار تپه σ باعث کم شدن پوشش

مشترک و عکس σ_1 و σ_2 بیش از حد ۵۰٪ شده است که ممکن است در حد فاصل دو مدل مجاور خلاء ایجاد کند.

* - اگر لازم شود که عکسبرداری در شرایط جوی نامساعد انجام شود: به سبب احتمال عدم توانائی خلبان در کنترل هواپیما جهت رعایت شرایط هندسی تعیین شده، امکان ایجاد تغییر در ارتفاع پرواز و چرخش (تیلت) هواپیما و در نتیجه تغییر در پوشش ها، وجود خواهد داشت؛ پس بهتر است پوشش های طولی و عرضی بیش از حداقل در نظر گرفته شوند تا پس از کاهش، پوشش حداقل مورد نیاز حفظ شود.



الف - تغییر پوشش ناشی از تغییر ارتفاع پرواز

ب - تغییر پوشش ناشی از تیلت t

(شکل ۵۴)

شکل ۵۴ تغییر پوشش طولی ناشی از تغییر ارتفاع پرواز و تیلت را نشان می دهد.

۳-۱: انتخاب نوع دوربین عکسبرداری

انتخاب نوع دوربین عکسبرداری به نوع منطقه از نظر کوهستانی بودن، نوع کار برد نقشه، مقیاس نقشه و دقت خواسته شده، برای نقشه بستگی دارد. برای روشن شدن ضوابط انتخاب، به مقایسه انواع دوربینها با کلید یکدیگر می پردازیم.

مقایسه

الف ـ مقایسه دوربین بازاویه باز (W.A) و زاویه خیلی باز (S.W.A) :

عکسهای برداشته شده با دوربین بازاویه خیلی باز دارای دقت ارتفاعی بالاتری نسبت به عکسهای تهیه شده با دوربین بازاویه باز در همان مقیاس می باشند. زیرا با کم شدن فاصله کانونی در دوربین S.W.A ، ارتفاع پرواز نیز باید کم شود تا مقیاس ثابت بماند. در نتیجه: اولاً به جهت بزرگتر بودن زاویه تقاطع شعاعهای نظیر (زاویه پارالاکتیک) و ثانیاً به جهت بزرگتر شدن $\frac{B}{H}$ دقت ارتفاعی زیادتر خواهد شد.

نوع دوربین	B/H
N.A	۰/۴۰
W.A	۰/۶۰
S.W.A	۱/۰۴
اندازه تاب	۲۳ cm × ۲۳ cm

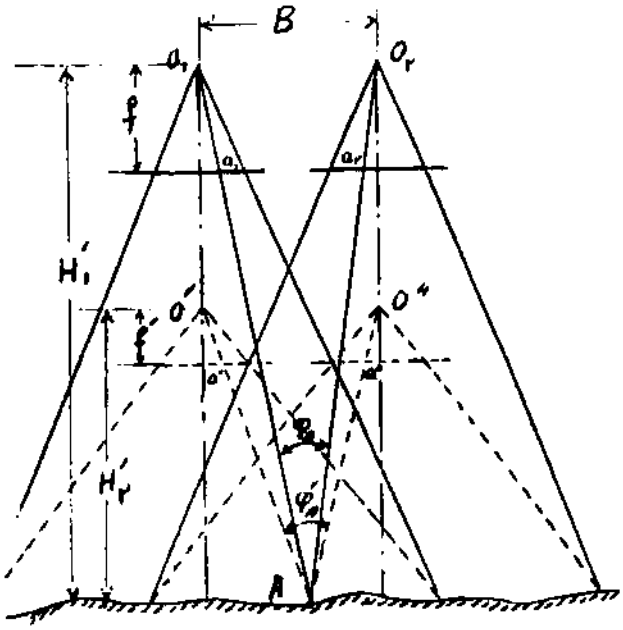
(شکل ۵۵)

در جدول روبرو نسبت $\frac{B}{H}$ برای دوربینهای مختلف با تاب به ضلع ۲۳ cm آورده شده است.

در مناطق با شیبهای تند، عکسهای تهیه شده با دوربین بازاویه خیلی باز به علت کمتر بودن ارتفاع پرواز، دارای جابجایی تصویری بیشتری از عکسهای هم مقیاس برداشته شده با دوربین بازاویه باز می باشند.

به این جهت دوربین بازاویه باز برای عکسبرداری از مناطق کوهستانی بر دوربین S.W.A ارجحان دارد.

عیب دیگر استفاده از دوربین S.W.A این است که امکان معرفی فاصله کانونی آن در اکثر دستگاههای فتوگرامتری بواحتی وجود ندارد.



(شکل ۵۶)

در شکل ۵۶، عکسبرداری از منطقه‌ای مشخص با دو نوع دوربین نشان داده شده است. از ایستگاههای O_1 و O_2، به ارتفاع پرواز H'_1 از دوربین بازاویه باز به فاصله کانونی f و از ایستگاههای O' و O'' (با شعاعهای نوری خط چین)، به ارتفاع پرواز H'_2 از دوربین بازاویه خیلی باز با فاصله کانونی

f' = جهت عکسبرداری همیشه از نقطه‌ای که ثابت است. اگر ارتفاع پرواز در هر دو حالت مساوی باشد داریم:

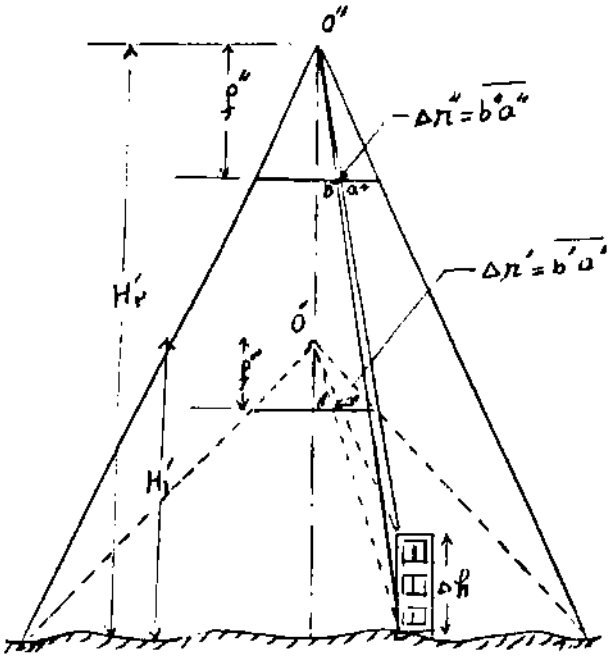
$$\frac{f}{H'_1} = \frac{f'}{H'_2}$$

چون $f > f' \Rightarrow H'_1 > H'_2 \Rightarrow \frac{B}{H'_1} < \frac{B}{H'_2}$ و $\varphi_A < \varphi'_A$

ب - مقایسه دوربین بازاویه باز (W.A) و دوربین بازاویه معمولی (N.A)

در مناطق خیلی کوهستانی که شیبها تند می‌باشند، استفاده از دوربین N.A بعلت باریک بودن زاویه عکسبرداری آن - بر دوربین W.A ترجیح داده می‌شود چون هرچه زاویه عکسبرداری دوربین کوچکتر باشد، شعاعهای نوری تقریباً تحت زاویه باریکتری کلیشه را قطع می‌کنند.

دوربین N.A در تهیه نقشه‌های شهری و کاداستر، تهیه موزائیک عکسی کنترل شده، انجام ترمیم و تهیه نقشه عکسی بعلت کوچک‌تر بودن جابجایی‌های ناشی از اختلاف ارتفاع عوارض، تثلیث و تغییر ارتفاع پرواز در عکسبرداری با آن، نسبت به دوربین W.A رجحان دارد.



استفاده از دوربین N.A بعلت بالابودن ارتفاع پرواز در عکسبرداریهای کوچک متیاس با آن، نسبت به عکسبرداری با دوربین W.A در همان مقیاس مناسب نمی‌باشد. شکل ۵۷، جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع Δh در عکسبرداری با دو دوربین W.A (از ایستگاه O') و N.A (از ایستگاه O'') نشان میدهد که: $H'_2 > H_1$ $f'' > f'$ (شکل ۵۷)

چون $\frac{f''}{H'_2} = \frac{f'}{H'_1}$ می‌باشد و $\overline{b'a'} = \Delta n' > \Delta n'' = \overline{b''a''}$

- عکسبرداری با دوربین N.A به سبب پایین بودن نسبت $\frac{B}{H}$ دارای دقت خوبی نمی باشد.

برای نقشه های توپوگرافی متوسط و کوچک مقیاس برای مناطق نسبتاً کوهستانی، دوربین بازاویه باز (W.A) ترجیح داده می شود.

در ایران، اکثر عکسبرداری های هوایی توسط دوربین بازاویه باز (W.A) انجام شده است.

۴-۱: انتخاب مقیاس عکس

مقیاس متوسط عکسبرداری از مهمترین عواملی است که در این مرحله باید انتخاب شود زیرا در صورت انجام عکسبرداری در مقیاسی کوچکتر از مقیاس مناسب، دقت حاصله کمتر از دقت مورد نیاز خواهد شد. و چنانچه مقیاس عکس تهیه شده، بزرگتر از مقیاس مناسب باشد حجم کار افزایش یافته و در نتیجه مدت زمان و هزینه‌های غیرضروری، بیش از حد مورد نیاز صرف خواهد شد. پس در هریک از این موارد، هدف اصلی در استفاده از روشهای فتوگرامتری که حفظ دقت مورد نیاز متقاضی در تهیه نقشه، با صرف حداقل هزینه و در کوتاهترین زمان ممکن می باشد، تأمین می شود.

مقیاس عکس با توجه به مقیاس نقشه، فاصله منحنی‌های تراز مورد درخواست و امکانات اجرایی قابل دسترس - از جمله دستگاههای موجود جهت انجام قرائتها، مثلث بندی یا تبدیل - باید انتخاب شود.

مقیاس عکس، معمولاً کوچکتر از مقیاس نقشه مورد نظر انتخاب می شود. معیار انتخاب مقیاس عکس در مقایسه با مقیاس نقشه و دقتهای ارتفاعی و سطحی خواسته شده، بشرح زیر می باشد:

الف - مقیاس عکس به مقیاس نقشه باید در حد امکانات دستگاهی موجود باشد. در دستگاههای تبدیل مکانیکی می توان نقشه ای در مقیاس حداکثر ۸ برابر مقیاس عکس تهیه نمود و در دستگاههای با دید مستقیم نوری، این نسبت حداکثر ۵ برابر می باشد. به این ترتیب

می‌توان کوچکترین مقیاس عکسی را با توجه به دستگاههای تبدیل قابل دسترس نسبت به مقیاس نقشه بدست آورد.

ب - میدانیم که فاصله ارتفاعی منحنی‌های تراز تعیین شده، در واقع معرف دقت ارتفاعی نقشه می‌باشد - هرچه دقت ارتفاعی بیشتر شود فاصله منحنی‌های تراز کمتر انتخاب می‌شود - و حداکثر خطای ارتفاعی نباید از نصف فاصله ارتفاعی دو منحنی تراز مجاور بیشتر باشد.

از طرف دیگر میدانیم که دقت ارتفاعی قابل حصول از عکسهای برداشته شده، در ارتفاع پرواز H'، برابر با ۰/۲ میلیمتر (یک میلیمتر = یک هزارم (۱/۱۰۰۰)) ارتفاع پرواز H' یا $H' = \frac{0/2}{1000} H'$ یا ۰/۲٪ می‌باشد که نباید از $\frac{3}{10}$ فاصله منحنی‌های تراز بیشتر باشد. اگر CI = فاصله ارتفاعی دو منحنی تراز و H' ارتفاع پرواز از سطح متوسط منطقه باشد باید:

$$0/2\% \, H' \leq \frac{3}{10} CI$$

بدین ترتیب، می‌توان کوچکترین مقیاس عکسی (یا بزرگترین H') را که دقت ارتفاعی مورد نیاز را تأمین می‌کند، بدست آورد.

ج - دقت مسطحاتی مورد نیاز، عامل مؤثر دیگری در انتخاب مقیاس عکس می‌باشد. دقت مسطحاتی که به مقیاس نقشه بستگی دارد معمولاً ۰/۲ میلیمتر در مقیاس نقشه در نظر گرفته می‌شود و همچنین دقت مسطحاتی عکس که برحسب تعداد خط قابل تشخیص در میلیمتر بیان می‌شود اگر ۲۰ خط در میلیمتر (برابر با ۵۰ میکرون در مقیاس عکس) باشد بدین ترتیب خواهیم داشت:

$$\frac{\text{مقیاس نقشه}}{\text{مقیاس عکس}} = \frac{0/2}{0/005} = 40$$

با در نظر گرفتن عوامل فوق، کوچکترین مقیاس عکسی که امکان تأمین هدفهای مورد نظر را فراهم می‌کند، انتخاب می‌شود. با مشخص بودن نوع دوربین عکسبرداری، فاصله کانونی (f) معلوم می‌باشد پس:

$$S_{min} = \frac{f}{H'}$$

H' در نظر گرفته شده باید حداکثر ارتفاع پرواز از سطح منطقه مورد نظر باشد زیرا در غیر اینصورت مقیاس عکس در قسمتهایی که ارتفاع پرواز در آنجا بیش از H' باشد کوچکتر از

S_{min} (کوچکترین مقیاس) خواهد شد لذا احتمال دیدن به دقت مورد نظر کاهش می‌یابد.

بدین جهت مقیاس متوسط عکسبرداری تعیین می‌شود که اگر حداکثر اختلاف ارتفاع نقاط منطقه مورد نظر Δh باشد، می‌توان ارتفاع پرواز متوسط را بدست آورد.

$$H'_{avg.} = H'_{max.} - \frac{\Delta h}{2} \quad \rightarrow \quad S_{avg.} = \frac{f}{H'_{avg.}}$$

پس با رعایت ارتفاع پرواز متوسط، مقیاس متوسط عکسبرداری تعیین می‌شود که باید کسری باشد با صورت واحد (عدد ۱) و در مخرج آن عددی روند (مضرب ۱۰۲ یا ۱۰۳ و ...) قرار داشته باشد در غیر اینصورت مقیاس متوسط عکس را باید تر دکترین کسر بزرگتر از $S_{avg.}$ (مقیاس متوسط محاسبه شده) در نظر گرفت که در صورت آن عدد واحد و در مخرج عددی باشد که حداقل مضرب ۱۰۲ است.

۵-۱: انتخاب دستگاه مناسب

دستگاه‌های فتوگرامتری در دقتها و میدان‌های حرکتی مختلف ساخته شده‌اند. پس دستگاهی باید انتخاب شود که اولاً از نظر امکانات حرکتی نسبت $\frac{\text{مقیاس نقشه}}{\text{مقیاس عکس}}$ قابل دسترس باشد و در ضمن بتواند دقت سطحاتی و ارتفاعی خواسته شده را تأمین سازد.

منظور دقت هر دستگاه از نظر سطحاتی قطر نقطه شناور آن و از نظر ارتفاعی c فاکتور (CF) آن می‌باشد. هرچه دقت دستگاه بالاتر باشد قطر نقطه شناور آن کوچکتر و c فاکتور آن بیشتر می‌باشد.

دقت سطحاتی هر دستگاه نصف قطر نقطه شناور آن است و قطر نقطه شناور هر دستگاه در راهنمای آن نوشته شده است پس می‌توان دستگاهی در حد دقت سطحاتی مورد نظر انتخاب کرد.

c فاکتور هر دستگاه نیز در راهنمای آن نوشته شده است. اگر H ارتفاع پرواز متوسط

و CI کمترین فاصله ارتفاعی منحنی های تراز باشد، CF دستگاه مناسب جهت تأمین دقت ارتفاعی مورد نظر را می توان از رابطه $CF = \frac{H'}{CI}$ بدست آورد.

و در نتیجه دستگاهی را باید انتخاب نمود که CF آن در حد CF بدست آمده، باشد.

و بالعکس، با مشخص بودن دستگاه می توان حساب کرد که چه دقت ارتفاعی را از عکسهای با مقیاس معلوم می توان بدست آورد، در نتیجه حداکثر فاصله منحنی های تراز قابل ترسیم مشخص می شود.

۶-۱: تعیین ارتفاع پرواز

ارتفاع پرواز مورد نیاز خلبان هواپیما جهت پرواز، ارتفاع از سطح مبنای ارتفاعی (ژئوئید یا سطح دریا) می باشد. با انتخاب مقیاس متوسط عکسبرداری (S_{avg}) و نوع دوربین عکسبرداری که فاصله کانونی (f) را بدست می دهد، ارتفاع پرواز از سطح متوسط منطقه (H'_{avg}) قابل محاسبه است.

$$H'_{avg} = \frac{f}{S_{avg}}$$

و چنانچه ارتفاع متوسط منطقه (h_{avg}) از سطح مبنا مشخص باشد (ارتفاع متوسط منطقه را براحتی می توان از نقشه های کوچک مقیاس موجود و یا برداشتهای زمینی بدست آورد)، ارتفاع پرواز از سطح دریا را می توان تعیین نمود.

$$H = H'_{avg} + h_{avg}$$

عکسبرداری در ارتفاع های بالاتر از ۱۰،۰۰۰ پا، گرانتر از عکسبرداری در ارتفاع های پائین تر می باشد زیرا در ارتفاع های بالاتر از ۱۰،۰۰۰ پا، باید از هواپیمای دو موتوره ای استفاده کرد که بدنه آن در مقابل تغییرات هوا مقاوم باشد و سبب افزایش سرعا، مجهز به وسائل گرم کننده و به سبب کاهش اکسیژن، عایق بندی شده باشد، ولی برای انجام پرواز در ارتفاعهای پائین می توان از هلیکوپتر یا هواپیماهای یک موتوره ارزان قیمت تر سود جست و در

ضمن نیازی به وجود تجهیزات اضافی برای محافظت از گازه و پرواز و عکسبرداری نیز می باشد.

۷-۱: تعیین سرعت هواپیما

سرعت هواپیما نیز مانند سایر عوامل ذکر شده، قبل از عکسبرداری باید تعیین شود. سرعت هواپیما با افزایش ارتفاع پرواز یا بعبارت دیگر با کاهش مقیاس عکس، نوع منطقه، زمان عکسبرداری، چگونگی هوا از نظر میزان آفتابی بودن و... متناسب است.

چون فاصله هر دو ایستگاه عکسبرداری (باز هوایی B) مشخص شده است، پس اختلاف زمان دو لحظه عکسبرداری مجاور هم (Δt) برای پرواز با سرعت v، می توان بدست آورد.

$$\Delta t = \frac{B}{v} \quad \rightarrow \quad v = B \cdot \Delta t$$

اختلاف زمان دو لحظه عکسبرداری پشت سر هم، باید آنقدر کم باشد که اندازه سایه اجسام پس از زمان Δt، تغییر محسوسی نکرده باشد و چنانچه برای کاستن زمان Δt سرعت هواپیما افزایش یابد، کشیدگی در تصاویر بوجود خواهد آمد. زیرا دریچه دوربین عکسبرداری برای عبور نور لازم باید مدت زمان t_e باز باشد پس: کشیدگی تصویر $\Delta x = v \cdot t_e$

کشیدگی تصویر در امتداد پرواز (امتداد x) می باشد و در شرایطی که t_e (زمان باز بودن دریچه دیافراگم) بیشتر می شود، افزایش می یابد. پس کشیدگی تصویر با افزایش سرعت هواپیما اضافه شده و با عکس ارتفاع پرواز متناسب است.

با افزایش ارتفاع پرواز، چون باز هوایی نیز بیشتر می شود، سرعت هواپیما را می توان افزایش داد تا جایی که کشیدگی تصویر ایجاد شده کیفیت تصویری را کاهش ندهد.

۸-۱ : تهیه راهنمای (اندکس) پرواز

بررسی نقشه ای به مقیاس خیلی کوچکتر از مقیاس عکس (تا $\frac{1}{20}$ مقیاس عکس) که از منطقه مورد نظر موجود است ، حدود منطقه مورد عکسبرداری و سپس باندهای پرواز بررسی آن پیاده می شوند.

امتداد باندهای پرواز (مسیر پرواز) برای عکسبرداری از مناطق خیلی بزرگ معمولاً شمالی جنوبی یا شرقی غربی - با توجه به زمان عکسبرداری و موقعیت جغرافیایی منطقه - در نظر گرفته می شود ولی برای مناطق کوچک، مسیر پرواز در امتداد طول منطقه انتخاب می شود تا با به حداقل رساندن تعداد باندهای پرواز، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد.

ابتدا فاصله بین هر دو محور پرواز مجاور، برای رعایت پوشش عرضی مناسب PS٪، محاسبه می شود. اگر S مقیاس متوسط عکس، f فاصله کانونی دوربین با قاب به ضلع d و PS٪ پوشش عرضی انتخاب شده باشند داریم:

$$D = \frac{d}{S}$$

L = فاصله دو محور پرواز مجاور یا عرض هر باند

$$L = \%(100 - Ps)\, D$$

L' تعداد L را در مقیاس نقشه راهنما، بدست می آوریم. حال بیشترین عرض منطقه را در روی نقشه راهنما بفواصل L' تقسیم بندی می کنیم بطوریکه ۳۰٪ تا ۵۰٪ از عکسهای باند اول و آخر، شامل مناطق خارج از محدوده مورد نظر جهت عکسبرداری باشد. تعداد باندهای مورد نیاز برای پوشاندن منطقه از رابطه روبرو بدست می آید.

$$n = \frac{\text{بیشترین عرض منطقه}}{\text{عرض هر باند} = L} + 1$$

با ترسیم مسیرهای پرواز (محور هر باند)، ایستگاههای عکسبرداری بررسی خطوط پرواز مشخص می شوند بطوریکه خارج از حدود منطقه در هر باند، چند عکس اضافی نیز در نظر گرفته شود.

فاصله هر دو ایستگاه عکسبرداری (باز هوایی)، اگر پوشش طولی مناسب، انتخاب شده PE٪ و b باز عکس باشند، از رابطه روبرو بدست می آید.

$$b = \%(100 - PE) \cdot d$$

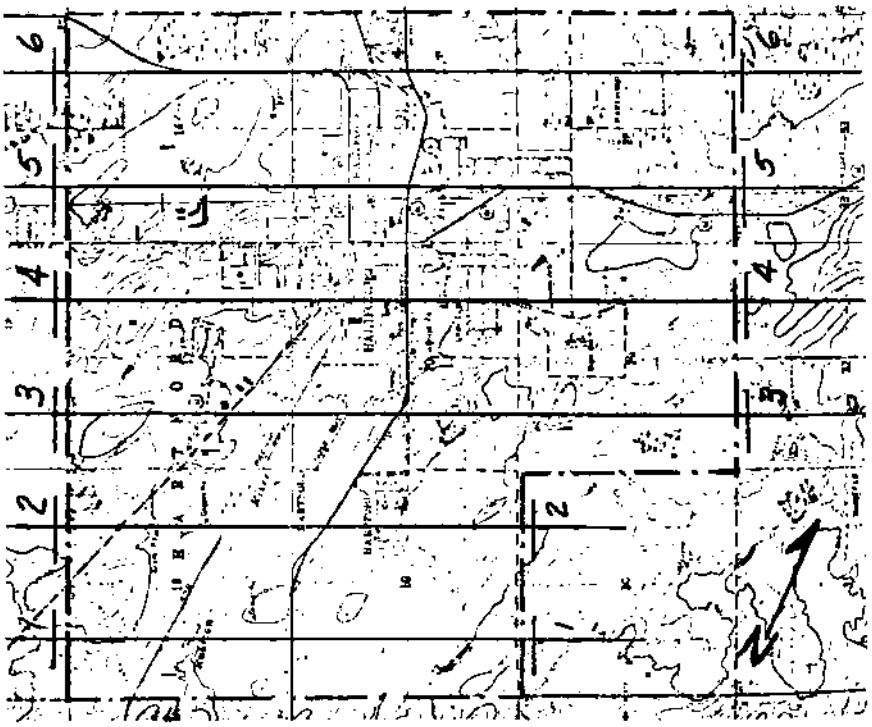
B: مقدار B (بازهوایی) در مقیاس $B = \%(100 - PE)\, D$

نقشه راهنما را بدست می‌آوریم. منطقه را در طول هر باند، بترتیب ذکر شده، بفواصل B تقسیم نموده و علامتگذاری می‌کنیم. بدین ترتیب موقعیت ایستگاههای عکسبرداری و تعداد عکسهای مورد نیاز مشخص می‌شود.

بررسی نقشه راهنما، ارتفاع پرواز از سطح مبنا (سطح دریا)، مقیاس عکسبرداری انتخاب شده، زمان مناسب جهت پرواز و عکسبرداری، سرعت انتخاب شده برای پرواز، تعداد باندهای پرواز، پوششهای طولی و عرضی، فاصله کانونی دوربین عکسبرداری مورد استفاده، فاصله هر دو محور پرواز و فاصله هر دو ایستگاه عکسبرداری نیز تهیه شده می‌شود.

به این ترتیب با مقیاس مشخص، پوشاننده مقدار محورهای پرواز، موقعیت ایستگاههای عکسبرداری و شامل اطلاعات مورد نیاز جهت پرواز و عکسبرداری ذکر شده در فوق می‌باشد. راهنمای پرواز یا اندکس پرواز می‌گویند.

راهنمای پرواز در اختیار گروه پرواز و عکسبرداری قرار داده می‌شود. خلبان باید سعی کند در امتداد مسیر تعیین شده، در ارتفاع مشخص شده، بر روی خطی مستقیم و افقی و با سرعت تعیین شده، پرواز انجام شود تا گروه عکسبرداری در موقعیتهای تعیین شده و بفواصل B، عکسبرداری را انجام دهند. خلبان از ابتدای باند اول (قبل از ورود به منطقه) پرواز را در مسیر مشخص شده شروع و پس از خروج از منطقه به مقدار تعیین شده، دور زده و مسیر باند دوم را بفاصله A از محور پرواز باند اول، طی می‌کند. روند پرواز و عکسبرداری بهمین ترتیب ادامه می‌یابد تا منطقه مورد نظر، بطور کامل توسط عکسهای برداشته شده، پوشانیده شود.



از سطح دریا $H = 5000^m$

$S_{ph} = 1:20000$

دوربین W.A، $f = 152^{mm}$

منطقه شامل ۶ باند پرواز

ارتفاع متوسط منطقه = 2000^m

پوشش طولی = ۶۰٪

پوشش عرضی = ۳۰٪

شماره طرح ۸۳۹۰۹

(شکل ۵۸)

اندکس پرواز

۲- چاپ و تهیه تصویر مثبت

تصاویر منفی حاصل از عکسبرداری به قسمت نقاشی و چاپ فرستاده می‌شود. پس از ظهور و ثبوت، تصویر دیگری از آنها تهیه می‌شود که مثبت است.

تصویر مثبت اگر بر روی کاغذ کدر (مقوا) چاپ شود عکس (Photo) نامیده می‌شود که معمولاً در چند نسخه و در مقیاس تصویر منفی چاپ می‌شود.

اگر تصویر مثبت بر روی شیشه یا فیلم چاپ شود دیاپوزیتیو (Diapositive) گفته می‌شود. دیاپوزیتیو ممکن است هم مقیاس فیلم منفی و یا در مقیاسی غیر از مقیاس تصویر منفی تهیه شود.

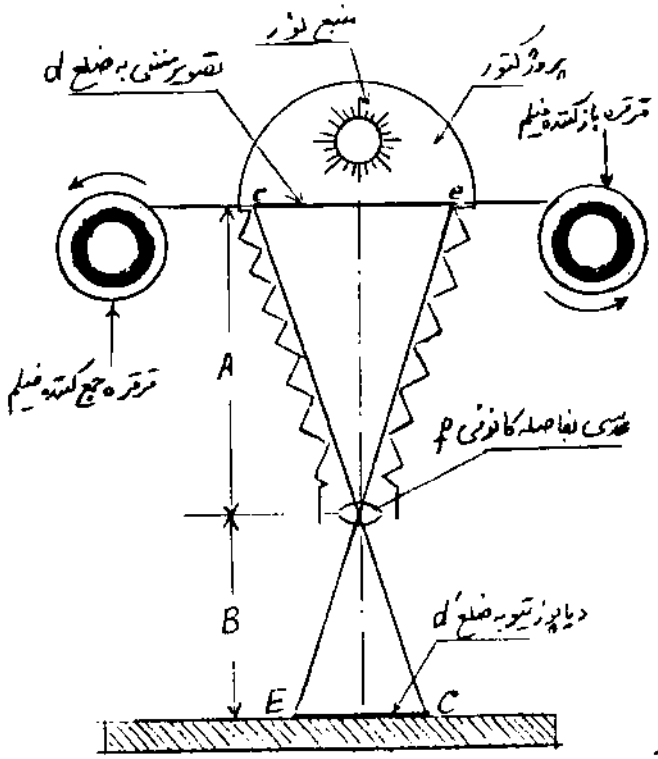
۲-۱: چاپ مستقیم (کنتاکت)

با استفاده از روش چاپ مستقیم، دیاپوزیتیو هم مقیاس تصویر منفی می‌شود.

دستگاه چاپ مستقیم ـــــ Contact-Printer است. در این دستگاه فیلم یا شیشه حاس به نور حاس بر سطح فیلم منفی قرار داده شده و توسط پرتو نورهای موازی و قائم، از تصویر منفی، تصویر مثبت چاپ می‌شود. بدین ترتیب نسبت مقیاس دیاپوزیتیو به مقیاس فیلم منفی ۱:۱ و فاصله اصلی دیاپوزیتیو با فاصله اصلی تصویر منفی (فاصله کانونی دوربین تکبر داری) برابر می‌شود. پس دیاپوزیتیو از نظر هندسی تقریباً شرایط تصویر منفی تکبر داری شده را دارا می‌باشد.

۲-۲: چاپ غیر مستقیم

در صورتیکه لازم باشد دیاپوزیتیو در مقیاسی کوچکتر یا بزرگتر از تصویر منفی چاپ شود از دستگاه چاپ کوچک کننده یا بزرگ کننده (مانند دستگاه آگراندیسمان) استفاده می‌شود. در این حالت تصویر مثبت، تحت سیستم تصویر مرکزی قائم، بر روی فیلم یا شیشه چاپ می‌شود. دستگاه چاپ تغییر دهنده مقیاس دارای هندسی متقارب کننده نورها در مرکز خود می‌باشد. اگر فاصله کانونی این هندسی f باشد رابطه نیوتن



(شکل ۵۹)

باید بین فاصله کانونی هندسی و فواصل مرکز آن تا تصویر منفی و دیاپوزیتیو برقرار باشد،

با توجه به شکل ۵۹:
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{A} + \frac{1}{B}$$

تا تصویر مثبت به کیفیت تصویر منفی چاپ شود. در ضمن نسبت بزرگ یا کوچک شدن دیاپوزیتیو برابر است با:
$$\frac{A}{B} = \frac{d}{d'}$$

که d = ضلع قاب در دوربین هوایی (ضلع تصویر منفی) و d' = ضلع دیاپوزیتیو (ضلع تصویر مثبت) می‌باشند. در بعضی از دستگاههای چاپ تغییر دهنده مقیاس فقط $A+B=$ ثابت می‌باشد

در این حالت ، فاصله اصلی دیاپوزیتیو برابر با فاصله اصلی تصویر منفی نمی باشد و در صورتیکه بخواهیم تصویر مثبت دارای همان شرایط هندسی تصویر منفی باشد باید رابطه زیر برقرار باشد :

$$\frac{P}{P'} = \frac{d}{d'} = \frac{A}{B}$$

که P و P' بترتیب فاصله اصلی تصاویر منفی و مثبت می باشند . در عکسبرداری هوایی $P = \infty$ (فاصله کانونی عدسی دوربین) است .

۳ - عملیات نقشه برداری زمینی

عکسهایی که محدوده انتخاب شده برای نقاط کنترل زمینی ، بر روی آنها پیاده شده اند به گروه نقشه برداری زمینی تحویل داده می شود . این گروه در منطقه مشخص شده بر روی عکسها بنقاط کنترل مناسبی بر روی زمین انتخاب و نشانه گذاری می کند . گروه کاملی از موقعیت نقاط علامتگذاری شده فیزیکی تسهیم می کند . آنگاه برداشتها و اندازه گیریهای مورد نیاز زمینی در حد دقت تعیین شده که بیش از دقت خواسته شده ، برای نقشه باید باشد انجام می شود .

نتیجات نقاط کنترل زمینی با استفاده از برداشتهای مستقیم زمینی و با دقتی در حد دقت قرائتهای انجام شده ، محاسبه و تعیین می شوند .

۴ - تهیه

تهیه مرحله ای است از کار نقشه برداری که خیلی حساس و ظریف بوده دارد :

۴-۱ : بررسی نحوه پرواز و عکسبرداری انجام شده .

بعلت وجود عوامل متعدد دیگری ، خلبان هیچگاه نمی تواند پرواز را در خط سیر تعیین شده و دقیقاً اولی انجام دهد . لذا مقیاس عکسهای برداشته شده ، بعلت تغییر ارتفاع پرواز ،

پوشش عرضی عکسها به سبب تغییر فاصله و یا متمایل شدن محورهای پرواز، وجود دوران حول محور پرواز و یا ایجاد تغییر در ارتفاع پرواز و پوشش طولی عکسها به جهت تغییر فاصله ایستگاه‌های عکسبرداری، ارتفاع پرواز و یا افقی نبودن محور پرواز، تغییر خواهند کرد. پس از اتمام عملیات عکسبرداری باید نخود پرواز و عکسبرداری انجام گرفته، بررسی و میزان پوشش‌های طولی و عرضی عکسهای موجود کنترل شود.

یک سری از عکسهای عایت شده برای این بررسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ابتدا عکسهای هر باند، از نظر طولی (امتداد محور پرواز) بصورت یک در میان، با توجه به تصاویر نظیر با یکدیگر مقایسه می‌شوند و چنانچه دارای قسمت مشترکی باشند بررسی هم قرار گرفته و جابجا نیده می‌شوند که به اینکار "موزائیک کردن" عکسها گویند (برای جابجا نیدن عکسها به یکدیگر از جعبه کاغذی استفاده می‌شود تا به لایه حساس عکس لطمه‌ای وارد نشده و راحت برداشته شود). در صورت تهیه دو عکس یک در میان دارای قسمت مشترکی نباشند، در واقع بین دو مدل مجاور که از این دو عکس و عکس میانی آنها تشکیل می‌شود، قسمت مشترکی وجود ندارد که گویند بین مدلها خلاء (Gap) ایجاد شده است.

پس از اینکه موزائیک طولی عکسهای هر باند تهیه و پوشش‌های طولی مورد بررسی قرار گرفت، موزائیک های مربوط به باند های مجاور، با توجه به تصاویر نظیر بر روی یکدیگر قرار داده می‌شوند. بدین ترتیب می‌توان وجود و میزان پوشش عرضی عکسهای موجود را کنترل نمود.

چنانچه پوشش طولی و عرضی عکسها، تقریباً در حد تعیین شده و قابل قبول باشند که فبها المراد و پس از این بررسی، مراحل بعدی انجام می‌شود.

در صورتی که پوشش‌ها کمتر از حد قابل قبول، یا صفر و یا زیادت عکسهای دسته‌ای از منطقه بیش از حد قابل قبول ($\pm 4\%$) باشد باید پرواز مجدد انجام شده و از قسمت های مورد نظر مجدداً عکسبرداری شود.

با توجه به اینکه از چه قسمت و یا از چه دسته‌ای از منطقه، باید عکسبرداری مجدد انجام شود، میزان و تعداد

باند های فرعی (باند پرواز مجدد) مورد نیاز طراحی می شود. معمولاً استداد باند های فرعی نسبت به استداد باند های اصلی، مورب در نظر گرفته می شود تا امکان اتصال عکسهای جدید به عکسهای مرحله اول، بخوبی وجود داشته باشد.

۴-۲ : تهیه راهنمای (اندکس) عکس

استداد مسیرهای پرواز و موقعیت ایستگاه های عکسبرداری بر روی شبیتی در مقیاس معمولاً $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{5}$ مقیاس عکس پیاده می شود. این کروکی که نمایش دهنده نحوه پرواز (استداد خطوط پرواز نسبت بهم) و عکسبرداری انجام شده، می باشد "راهنما یا اندکس عکس" نامیده می شود. قواصل مورد نیاز (از جمله فاصله محورهای پرواز و ایستگاه های عکسبرداری) برای ترسیم اندکس عکس، با اندازه گیری از روی موزائیک عکسی تهیه شده، بدست می آیند. بر روی موزائیک عکسی، استداد خطوط پرواز با توجه به موقعیت ایستگاه ها (مراکز عکسها) پیاده می شوند حتی الامکان سعی می شود خطی مستقیم برای محور پرواز هر باند که نسبت به مراکز عکسهای آن باند بهترین موقعیت را دارد، تعیین شود در صورتیکه نتوان خط مستقیمی بعنوان بهترین خط پرواز در نظر گرفت، ترجیحاً از خطوط شکسته برای نشان دادن محور پرواز استفاده می شود نه مسیری منحنی شکل.

۴-۳ : تعیین نقاط کنترل فرعی (عکسی)

موقعیت نقاط کنترل عکسی با انجام کار درگیری و یا فتن محدوده مشترک در حداقل دو مدل مجاور از هر باند و دو مدل از باندهای مجاور، در داخل این محدوده انتخاب می شود تا بتوان به کمک این نقاط مدلهای مختلف مجاور را به یکدیگر اتصال داد. البته در صورتی که اندازه گیری یا و یا تهیه نقشه بر مبنای مدل سه بعدی انجام شود که در این حالت در هر مدل حداقل چهار نقطه مختصات دار کنترل

عکس در گوشه های سطح منیه مدل مورد نیاز می باشد ...

و در صورتی که هدف استفاده از مدل سه بعدی نباشد، نقاط در محدوده ای انتخاب می شوند که فقط در عکسهای مجاور وجود داشته باشند.

نقاط تعیین شده بر روی عکسها و یا پوزیتیوهای مورد نیاز سوزن زده و شماره گذاری می شوند.

۴-۴: تکمیل راهنمای عکس و طراحی نقاط کنترل زمینی

نقاط کنترل عکسی تعیین شده که بر روی عکسها پیاده و شماره گذاری شده اند، بر روی راهنمای عکسی نیز با توجه به موقعیتشان نسبت به مراکز عکسها (ایستگاه های عکسبرداری) پیاده و همان شماره، شماره گذاری می شوند.

نقاط کنترل زمینی نیز با توجه به شکل و وسعت منطقه، مقیاس و نوع مثلث بندی و دقت خواسته شده بر روی آنس عکس طراحی، پیاده و شماره گذاری می شوند.

۴-۵: تهیه شیت ترسیم (شیت بندی)

شیتهایی که ترسیم بر روی آنها انجام می شود، شیتهایی دارای شبکه بندی $10cm \times 10cm$ می باشند. شبکه های شیتهای مورد نیاز در سیستم مختصات مورد نظر و بر مقیاس نقشه خواسته شده، مختصات گذاری می شوند سپس نقاط کنترل عکسی پس از تعیین مختصات، در مقیاس شیت نقشه، بر روی شیت پیاده و شماره گذاری می شوند. این برگ شیتها، جهت ترسیم به مشتمل تبدیل ارسال می شوند.

چون در مرحله تهیه، مقدمات لازم برای انجام مثلث بندی تدارک دیده می شود، در بعضی از کتب، تهیه بعنوان مرحله ای مستقل ذکر نشده است.

توضیح بیشتر در مورد نحوه تهیه و تکمیل روابط عکس و انتخاب نقاط کنترل فرعی در مبحث مثلث بندی و در جزوات بعدی خواهد آمد.

۵- مثلث بندی Triangulation

مثلث بندی روشی است که با استفاده از آن می توان مختصات تعداد زیادی نقاط کنترل عکسی را با یک مختصات معلوم تعداد محدودی نقاط کنترل زمینی بدست آورده. مختصات نقاط کنترل فرعی با دقت مورد نیاز برای تهیه نقشه، در این مرحله تعیین می شوند.

مثلث بندی روشهای گوناگونی دارد که با توجه به نوع نقاط کنترل فرعی، نوع نقشه خواسته شده و دقت مورد نیاز، روش مناسب انتخاب و اجرا می شود. در انتخاب روش مناسب مثلث بندی امکانات اجرایی قابل دسترس را نیز باید در نظر گرفت.

۵-۱: مثلث بندی شعاعی Radial Triangulation

این مثلث بندی در سطح دو بعدی عکس انجام می شود. در این روش با حذف جابجایی های ناشی از تیلت، اختلاف ارتفاع و اختلاف مقیاس در امتداد شعاع مربوط به هر نقطه که بر روی عکس مشخص شده است، بهترین موقعیت را برای نقاط می توان بدست آورده و مختصات مسطحاتی آنها را تعیین کرد. مثلث بندی شعاعی به سه روش ترسیمی، شکنی و محاسباتی قابل انجام است.

۵-۲: مثلث بندی فضایی Aero-Triangulation

در این روش مثلث بندی، مدل سه بعدی تشکیل می شود زیرا هدف تعیین مختصات فضایی نقاط کنترل فرعی می باشد. با انجام تراشها و اندازه گیریهای سه بعدی نقاط لازم در مدل برجسته و با اتصال

وارتباط مدلها به یکدیگر، مختصات دستگاهی یا زمینی نقاط کنترل فرعی براساس مختصات نقاط کنترل زمینی بدست می آیند.

مثلث بندی فضایی به چند روش: مثلث بندی به روش مدل پیوسته، مثلث بندی به روش مدل نیمه پیوسته (نیمه مستقل) و مثلث بندی به روش مدل مستقل انجام می شود.

اختلاف انواع مثلث بندی فضایی در حجم کار (و نوع) دستگاهی و محاسبات مورد نیاز برای هریک می باشد. در ایران، امروزه بدلیل امکان انجام محاسبات با حجم زیاد و سرعت بالا، معمولاً از مثلث بندی به روش مدل مستقل استفاده می شود. روش مدل مستقل نسبت به دو روش دیگر دارای کار دستگاهی کمتر، محاسبات بیشتر، سرعت بیشتر و هزینه کمتر می باشد.

۳-۵: مثلث بندی تحلیلی

این روش مثلث بندی به دو صورت: با دید دو بعدی و یا سه بعدی انجام می پذیرد. دستگاههای مورد استفاده در حالت دید دو بعدی را "مونو کامپاراتور" (Mono Comparators) گویند که فقط امکان قرائت مختصات x و y نقاط مورد نیاز در صفحه عکس وجود دارد.

دستگاه مورد استفاده در حالت لزوم ایجاد دید برجسته بینی را "استرئو کامپاراتور" (Stereo Comparator) گویند. در استرئو کامپاراتورها، مدل سه بعدی تشکیل می شود نکته فقط محدوده کوچکی که شامل نقطه کنترل فرعی یا نقاط مورد نیاز دیگر است، بطور موضعی برای ایجاد دید برجسته بینی توجیه شده و قرائتهای لازم انجام می گیرد.

۶- محاسبات فتوگرامتری

در این مرحله با انجام محاسبات و ترانسفرماسیونهای لازم، مختصات ماشینی نقاط کنترل

فرعی سلک مختصات زمینی نقاط کنترل زمینی به مختصات سه بعدی تبدیل می شوند.

در مثلث بندی بروش مدل مستقل، انتقال مدلها به یکدیگر نیز بطریق محاسباتی انجام می پذیرد.

در مثلث بندی تحلیلی، تشکیل خطوط مربوط به شعاع نوری نقاط مورد نظر، تقاطع دادن شعاعهای نوری نظیر و... تا تعیین مختصات زمینی نقاط کنترل عکسی، بطریق ریاضی و با انجام محاسبات کامپیوتری مورد نیاز انجام می گیرد.

مثلث بندی به روشهای مختلف ذکر شده و محاسبات مربوط به هر روش بحث مفصل و پر اهمیتی است که در جزواتی به همین نام ارائه خواهد شد.

۷ - تبدیل (تبدیل مدل به نقشه)

عکسها، و یا پوزیتیوهای شیشه‌ای که نقاط کنترل بر روی آنها پیاده و شماره گذاری شده اند، برای تشکیل مدل سه بعدی، انجام توجیه های لازم در هر مدل و پس از تراسیم نقشه آن به سمت تبدیل فرستاده می شوند. برای تشکیل مدلی سه بعدی و مشابه زمین باید دیاپوزیتیوها (زوج تصویر مثبت مجاور از هر باند) نسبت به یکدیگر و نسبت به سطح افق همان زوایایی را داشته باشند که در زمان عکسبرداری دارا بودند. برای نیل به این هدف باید دو توجیه داخلی و خارجی به دیاپوزیتیوها (پروژکتورهای دستگاه) معرفی شوند.

چنانچه شرایط هندسی نمش داخلی دوربین عکسبرداری به پروژکتور انتقال یابد، توجیه داخلی انجام شده است و چنانچه پروژکتورها نسبت بهم و نسبت به سطح افق در وضعیتی قرار گیرند که دوربینهای هوایی در دو لحظه عکسبرداری دارا بودند توجیه را خارجی گویند. پس از انجام توجیه ها، مدلی سه بعدی مشابه زمین طبیعی ولی در مقیاسی که در اختیار خواهیم داشت که حدت اندازگیریهای مورد نیاز در تراسیم آماده می باشد.

۷-۱: توجیه داخلی (توجیه درونی) Interior Orientation

معرفی شرایط هندسی هر نوری بخش داخلی دوربین عکسبرداری را به پرتونورهای بازسازی شده برای تشکیل تصویر از دیاپوزیتیو در پروژکتور دستگاه، "توجیه داخلی" گویند که شامل دو مرحله است:

۱- معرفی فاصله اصلی پروژکتور دستگاه که معمولاً برابر با فاصله کانونی دوربین عکسبرداری می‌باشد.

۲- هم مرکز نمودن دیاپوزیتیو و تاب حامل آن از پروژکتور دستگاه که به آن "سنتر کردن" یا هم مرکز نمودن گویند.

۷-۲: توجیه خارجی Exterior Orientation

و مرکز تصویر

معرفی شرایط هندسی تاب دوربین عکسبرداری نسبت به سیستم مختصات فضای خارجی دوربین (زمینی)، که شامل ۶ پارامتر (۳ دوران و ۳ انتقال) می‌باشد، را به تصویر، "توجیه خارجی" گویند. معمولاً بجای انجام توجیه خارجی برای هر تصویر از زوج تصویر مجاور، دو توجیه بنامهای "توجیه نسبی" و "توجیه مطلق" برای قسمت مشترک زوج تصویر اجرا می‌شود.

a- توجیه نسبی Relative Orientation

با انجام توجیه نسبی، دو دیاپوزیتیو چنان توجیه می‌شوند که نسبت بهم، همان زوایای تصادیر منفی را در زمان عکسبرداری نسبت بهم، دارا شوند. با توجیه دو دیاپوزیتیو (دو پروژکتور) نسبت بهم، دسته شعاعهای نوری نظیر متقاطع گشته و مدل سه بعدی تشکیل می‌شود.

b- توجیه مطلق Absolute Orientation

وضعیت مدل سه بعدی حاصل از انجام توجیه نسبی را باید از نظر مقیاس و سطح تراز مورد بررسی قرار داد و با انجام توجیه مطلق مدلی موازی سطح طبیعی زمین و در مقیاس مشخصی بطور سه بعدی باید داشته باشیم. پس در انجام توجیه مطلق، اولاً باید مقیاس مشخصی را به مدل سه بعدی معرفی نمود تا مدل از نظر مختصاتی قابل اندازه‌گیری باشد که به این عمل "مقیاس گذاری" گفته می‌شود. ثانیاً برای اینکه بتوان ارتفاعات صحیح زمینی یا شیب‌های واقعی را از مدل اندازه‌گیری کرد باید در مدل،

سطح اعمال و در نهایی به سطح مدل منتقل شد. سطح زمین طبیعی خود به عبارت دیگر اعتماد قائم بر مدل را بر حذف شاقولی منطبق ساخت. این کار را تراز گذاری و مجموعه این دو عمل را توجیه مطلق گویند پس توجیه مطلق دارای دو مرحله: مقیاس گذاری (Scaling) و تراز گذاری (لولینگ Leveling) می باشد.

برای انجام توجیه مطلق، تعدادی نقاط با مختصات معلوم مورد نیاز است. وجود حداقل دو نقطه سه بعدی برای انجام مقیاس گذاری و ۳ نقطه ارتفاعی برای انجام تراز گذاری لازم است. وجود حداقل یک نقطه سه بعدی و یک نقطه ارتفاعی اضافی برای کنترل توجیه مطلق کفایت می کند. این نقاط مورد نیاز همان نقاط کنترل زمینی می باشند که در مرحله تهیه، انتخاب و در مرحله عکس برداری مختصات گذاری شده اند.

در نتیجه باید در انتخاب موقعیت نقاط کنترل دقت نمود تا هم برای انجام توجیه مطلق مدل ها و هم برای اتصال مدلها به یکدیگر، مناسب ترین موقعیت را دارا باشند.

۳-۷: ترسیم

هر مدل پس از انجام توجیه مطلق، سطح سه بعدی مستقلی از منطقه مورد نظر را فقط در مقیاس مشخصی کوچکتر از سطح طبیعی زمین در اختیار ما قرار می گذارد. پس هر نوع اندازه گیری که مورد نظر باشد را می توان در سطح مدل سه بعدی انجام داد. ترسیم نیز نوعی اندازه گیری است زیرا با پیاده کردن تصویر تمام عوارض بر روی شیئی، موقعیت مسطحاتی و همین طور طول ضلع های تراز ترسیم شده، موقعیت ارتفاعی هر نقطه که مورد نظر باشد، قابل اندازه گیری است.

ترسیم، با استفاده از نقطه شناور انجام می شود. با حرکت دادن نقطه شناور در مسیر

عارضه مورد نظر و عاس بر سطح آن توسط حرکات x و y و z، قلم ترسیم نیز که بطریق مکانیکی یا الکترونیکی به سیستم حرکتی نقطه شناور متصل است، مسیر تصویر افقی عارضه مورد نظر را بر روی شیشتی - که بکلک نقاط کنترل فرعی در مرحله مقیاسگذاری نسبت به مدل توجیه شده است - ترسیم می کند.

برای ترسیم منحنی های تراز نیز، با معرفی ارتفاع مورد نظر برای منحنی تراز به نقطه شناور، نقطه شناور را چنان در سطح مدل باید حرکت داد که همواره بر سطح مدل مماس باشد؛ بعبارت دیگر نقاط هم ارتفاع را بهم متصل کند. قلم هم مسیر حرکت افقی نقطه شناور را بر روی شیت ترسیم خواهد کرد.

هریک از توجیه های ذکر شده در مرحله تبدیل عکس به نقشه، بدلیل اهمیت، در فصل جداگانه ای مورد بحث و بررسی قرار خواهند گرفت.

۸و۹ - کارتوگرافی و چاپ نقشه

نقشه تهیه شده در مرحله تبدیل برای آماده سازی جهت چاپ به قسمت کارتوگرافی فرستاده می شود. در این مرحله، خطوط، مسیرها، اعداد و نوشته ها بر روی شیتهای دیگری از جمله اسکرایب و ... پیاده می شوند. برای پیاده کردن خطوط، قوسها و اعداد معمولاً از پیستوله های شابلن و ابزار مخصوص دیگری استفاده می شود. عوارض به رنگها و علائم قراردادی مشخص می شوند.

از تصویر پیاده شده فیلم و زینک تهیه شده و برای چاپ نهایی به قسمت چاپخانه فرستاده می شوند. نقشه ها معمولاً رنگی چاپ می شود.

از مرحله کار توگرافی و چاپ نقشه معمولاً بعنوان مرحله ای جدا از فتوگرامتری و تکمیل کننده آن نام برده می شود.

دستگاههای فتوگرامتری

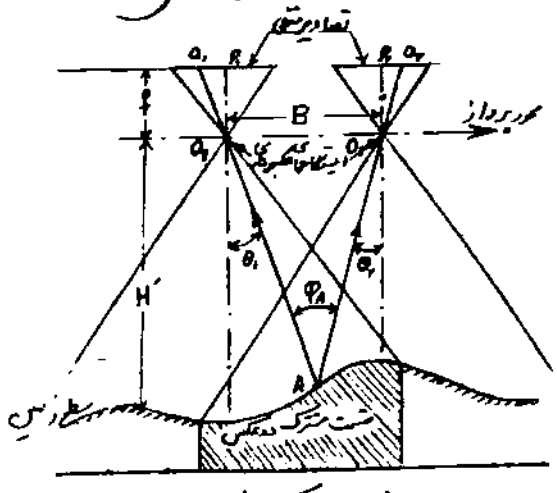
جهت انجام تبدیل عکس به نقشه که موضوع اصلی بحث در این جزوه می باشد آشنائی مختصری با انواع، ساختمان و طرز کار دستگاه های فتوگرامتری که برای تبدیل عکس به نقشه مورد استفاده قرار می گیرند، ضروری می نماید. در درس دستگاه های فتوگرامتری (فتوگرامتری II) بطور کاملا گسترده ای با ساختمان، طرز کار، تست و تنظیم، نحوه برخورد صحیح و مراقبت جهت حفظ دقت، مزایا، معایب، قیمت و هزینه استهلاک انواع دستگاه های مورد نیاز در فتوگرامتری آشنا خواهید شد.

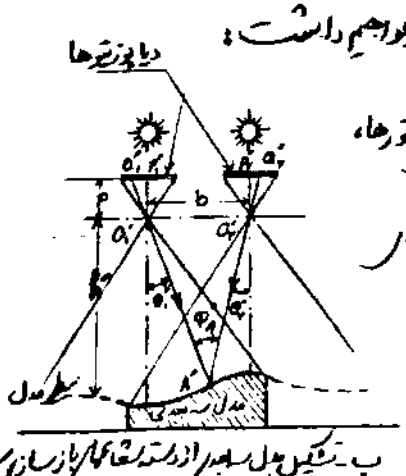
در مورد ساختمان و طرز کار دوربین عکسبرداری و استریوسکوپ در فصل های اول و سوم بحث و بررسی انجام شد.

دستگاه تبدیل دستگاهیست که امکان تشکیل، مشاهده و ترسیم مدل سه بعدی را در اختیار می گذارد. اگر دیاپوزیتیوهای تهیه شده از تصاویر منفی مربوط به دو ایستگاه عکسبرداری O_1 و O_2 را در پروژکتورهای دستگاه قرار دهیم، پس از انجام توجیه های داخلی، نسبی و مطلق، مدل تشکیل شده متشابه زمین طبیعی و در مقیاسی کوچکتر خواهد بود بطوریکه برای هر نقطه از مدل با توجه به اشکال زیر خواهیم داشت:

O'_1 و O'_2 مرکز تصویر پروژکتورها،

جایگزین ایستگاههای عکسبرداری در دستگاه تبدیل می باشند.





(شکل ۱)

مقیاس مدل $S_{Mod.} = \frac{h'}{p} \cdot S_{Ois.}$

$S_{Dia.} = \frac{P}{f} \cdot S_{Neg.}$

$S_{Dia.} \cdot S_{Mod.}$ و $S_{Neg.} = \frac{f}{H'}$ و $\rightarrow S_{Mod.} = \frac{h'}{H'}$

$S_{Neg.}$ بترتیب مقیاس مدل، $\rightarrow S_{Mod} = \frac{h'}{P} \cdot \frac{P}{f} \cdot \frac{f}{H'} = \frac{h'}{H'}$

مقیاس دیاپوزیتیو و مقیاس تصویر منفی عکسبرداری شده می باشند. در ضمن باید زوایای شعاعها نسبت بهم نظیر به نظیر با زوایای شعاعها در زمان عکسبرداری مساوی باشند تا مدل متشابه بازسازی واقعی شود.

یعنی برای هر نقطه دلخواه A باید: $\theta_1' = \theta_1$ و $\theta_2' = \theta_2$ و $\varphi_A' = \varphi_A$ باشند.

- بعبارت دیگر می توان گفت که برای تشکیل مدل باید شعاعهای نوری زمان عکسبرداری را، با همان شرایط هندسی، در دستگاه تبدیل بازسازی کرد.

- پس هر دستگاه تبدیل باید مجهز به سیستم و ابزاری برای معرفی شرایط هندسی شعاعهای نوری تصویر کننده در زمان عکسبرداری به شعاعهای نوری تشکیل دهنده مدل باشد. در ضمن باید مجهز به سیستم هایی نیز جهت مشاهده برجستگی مدل تشکیل شده، و امکان اندازه گیری در سطح مدل سه بعدی باشد.

- پس هر دستگاه تبدیل از چند بخش با عملکرد مستقل و مجزا تشکیل یافته است.

۱- ساختمان دستگاه

گرچه انواع دستگاههای تبدیل با ساختمانهای مختلف ساخته شده اند لیکن در تمامی آنها علاوه بر پایه ها و بدنه اصلی، سه بخش یا سه سیستم با وظیفه و عملکرد مجزا و مستقل از یکدیگر وجود دارد که عبارتند از: سیستم تصویر، سیستم مشاهده و سیستم اندازه گیری و ترسیم.

۱-۱: سیستم تصویر Projection System

در دستگاههای تبدیل که مدل در آنها تشکیل می شود دو پروژکتور وجود دارد که هر یک

از دو دیاپوزیتیو مورد نظر، جهت تشکیل مدل سه بعدی عددی از پروژکتورها قرار داده می شود.

هر پروژکتور دارای سیستم تصویری مجزا از دیگری می باشد. پس هر دستگاه تبدیل که امکان تشکیل مدل سه بعدی در آن وجود دارد، دارای دو سیستم تصویر مستقل می باشد.

سیستم تصویر هر پروژکتور تشکیل یافته است از مجموعه: دیاپوزیتیو، شعاعهای نوری تابیده شده از منبع نور - که در بالا یا پائین دیاپوزیتیو قرار داده شده است - عدسی (یا مجموعه عدسی های) که شعاعهای نوری را متقارب ساخته و پس از سمت دیگر نقطه تقارب (که مرکز تصویر سیستم بشمار می آید) درهان راستا امتداد میدهد و حرکت های دورانی و انتقالی مربوط به پروژکتور که عیناً به دسته شعاعهای نوری (تصویر تشکیل یافته) انتقال می یابد تا بتوان به کمک آنها با انجام توجیه نسبی و مطلق، دو دسته شعاعهای نوری متناظر را از دو پروژکتور متقاطع ساخته و مدلی سه بعدی متشابه با سطح زمین تشکیل داد.

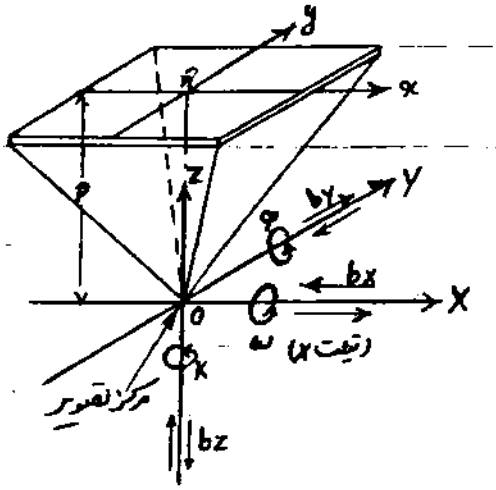
هر سیستم تصویر حداکثر دارای شش حرکت دورانی و انتقالی می باشد. سه حرکت دورانی ω، φ و κ که بترتیب دوران حول سه محور X، Y و Z دستگاه مختصات پروژکتوری باشند در سیستم تصویر کلیه دستگاههای تبدیل وجود دارند. از سه حرکت انتقالی b_x، b_y و b_z که بترتیب انتقال در امتداد محورهای مختصات سیستم تصویر می باشند، حرکت b_x در تمامی دستگاهها وجود دارد لیکن وجود b_y و b_z بستگی به هدف سازنده دستگاه و موارد کاربرد آن دارد که بفرض آیا دستگاه فقط برای انجام تبدیل مورد استفاده قرار می گیرد یا برای انجام مثلث بندی نیز مناسب است.

از دستگاه مختصات هر پروژکتور (هر سیستم تصویر) صحبت شد، لازم است یادآوری شود که هر سیستم تصویر شامل دستگاه مختصاتی است به مبدأ نقطه مرکز تصویر که محور X خطی افقی و در امتداد محور پرواز، محور Y خطی افقی و در امتداد عمود بر محور X از مرکز تصویر و محور Z آن

مرکز تصویر می باشد. دستگاه مختصات

یک سیستم تصویر وجهت مثبت هرکدام

آن در شکل روبرو مشخص شده است.



(شکل ۲)

میدانیم که برروی هر شعاع نوری تصویر

کننده در زمان عکسبرداری، سه نقطه مشخص

وجود دارد: نقطه A واقع بر سطح زمین، نقطه مرکز تصویر O و نقطه برخورد شعاع نوری با سطح تصویر

(فیلم خام) که نقطه تصویری a می باشد. درصورت عدم وجود خطا، سه نقطه باید در یک

راستا قرار گیرند (شکل ۱-الف). پس در امتداد هر شعاع نوری تشکیل دهنده مدل

در سیستم تصویر دستگاه نیز سه نقطه مشخص وجود خواهد داشت: نقطه تصویر، نقطه مرکز تصویر

و نقطه مدل که درصورت حذف خطاها در یک راستا قرار خواهند گرفت.

دستگاههای تبدیل با سیستم تصویر مختلف ساخته شده اند. چهار نوع سیستم تصویر بکار

برده شده در دستگاههای تبدیل در اینجا آورده می شود.

الف- سیستم تصویر نوری (اپتیکی) Optical Projection System

در دستگاههای ساخته شده براساس سیستم تصویر نوری مانند کلش (Kelsh)، دسته

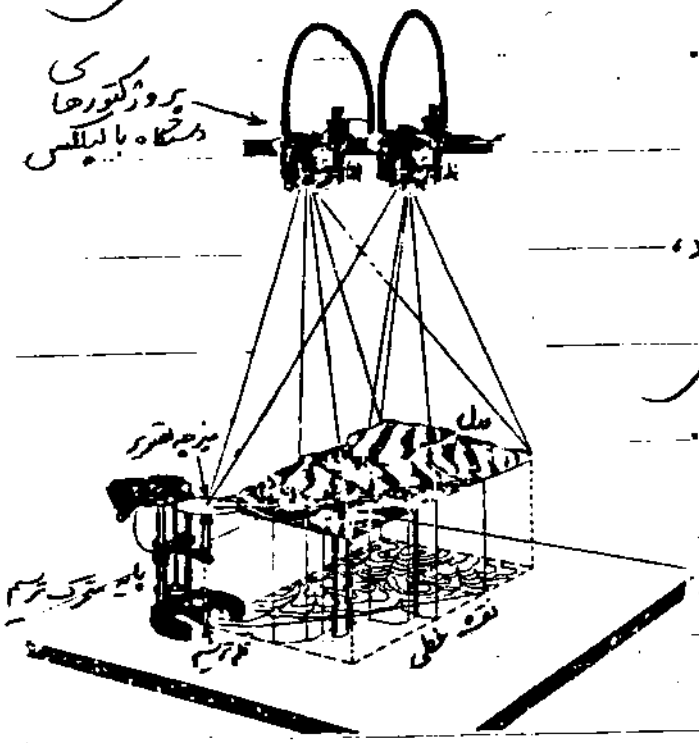
شعاعهای نوری خارج شده از منبع نور، پس از عبور از دیاپوزیتیو و مرکز عدسی (مرکز تصویر)

درهوا امتداد و بصورت خطوط پرتوهای نوری در فضا نمایش می شوند و تصویری نوری از

دیاپوزیتیو می سازند که از ترکیب دو تصویر نوری حاصل از دو دیاپوزیتیو (تقاطع شعاعهای

نوری نظیر) مدلی نوری تشکیل خواهد شد. بهمین علت است که بدستگاههایی که مدل آنها مدل حاصل از سیستم تصویرهایشان نوری است بدستگاههای نوری (اپتیکی) یا دستگاههای با دید مستقیم می گویند.

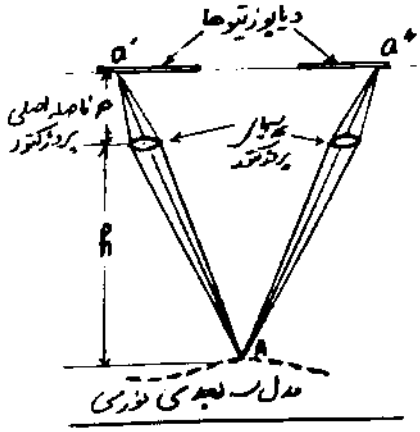
بعبارت دیگر می توان گفت که ساختمان هر پروژکتور دستگاه نوری، شباهت بسیار زیادی به ساختمان دوربین عکسبرداری دارد؛ پس عملکرد سیستم تصویر تشکیل دهنده مدل در دستگاه نیز مانند عملکرد سیستم تشکیل تصویر در زمان عکسبرداری می باشد ولی برعکس. یعنی دسته شعاعهای نوری، همان مسیر رفته را، از دیاپوزیتیو برمی گردند و با برخورد هر زوج شعاع نوری نظیر، مدل نوری را در فضا تشکیل میدهند (شکل ۳).



(شکل ۳)

چون رویت شعاعهای نوری و در نتیجه مدل نوری که واقعاً در فضای دستگاه وجود دارد، امکان پذیر می باشد از صفحه بعید و نیلی برای مشاهده تصویر بر روی آن، استفاده می شود.

قاب پروژکتور بعضی از دستگاههای نوری مانند مولتی پلکس و بالبلاس (شکل ۴) نیلی کوچکتر از قاب دوربین هوایی است، در نتیجه دیاپوزیتیو باید به نسبت مشخصی کوچکتر



(شکل ۴)

جاب شود. $\frac{\text{ناصله اصلی پروژکتور } p}{\text{ناصله کانونی دوربین } f} = \frac{\text{ضلع دیاپوزیتیو (ضلع قاب پروژکتور)}}{\text{ضلع تصویر عکسی (ضلع قاب دوربین)}}$

که اگر p ناصله اصلی پروژکتور دستگاه (ناصله نقطه گرهی بالایی عدسی تا دیاپوزیتیو)، h ناصله تصویر (ناصله نقطه فوقال پائینی عدسی تا صفحه ای که تصویر روی آن دارای حداکثر وضوح است) و f ناصله کانونی عدسی پروژکتور باشد رابطه فوق باید برقرار باشد:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{h} = \frac{1}{f}$$

ناصله اصلی پروژکتور دستگاه مولتی پلکس ۳۰۰ و بالبلاس ۳۰۰ میلی متر می باشند.

در صورتیکه تابش پروژکتور دستگاه نوری با تابش دوربین هوایی برابر باشد، مانند دستگاه مکش و ای، بین فاصله اصلی پروژکتور را با یک عدسی با فاصله کانونی دوربین در نظر گرفت.

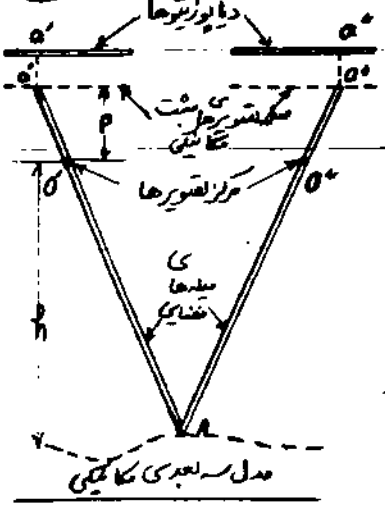
اگر f فاصله کانونی دوربین، f' فاصله کانونی عدسی پروژکتور دستگاه و h فاصله تصویر باشد باید رابطه $\frac{1}{f'} = \frac{1}{f} + \frac{1}{h}$ برقرار باشد.

در سیستم تصویر نوری، نقطه تصویر (که محل برخورد هر شعاع نوری با دیاپوزیتیو است)، مرکز تصویر (که مرکز عدسی پروژکتور دستگاه است) و نقطه انحدال (که محل برخورد هر زوج شعاع نوری نظیر می باشد) سه نقطه مشخص شده در امتداد هر شعاع نوری می باشند.

ب - سیستم تصویر مکانیکی — Mechanical Projection System

چنانچه در دستگاههای شعاعهای نوری مجبور نکنند از دیاپوزیتیوها جهت تشکیل مدل بصورت خطوط نوری در فضا نمایش نشوند در نتیجه مدل تشکیل یافته از دو تصویر آنها در فضا، نوری نخواهد بود.

در چنین دستگاههایی، از میله هایی فلزی بنام میله های فضایی یا اسپیس رودها (Space Rods) برای نشان دادن میزبرتوهای نوری - اگر مانند سیستم تصویر نوری در فضا امتدادی یافتند - استفاده می شود. چون میله های فضایی جایگزین شده شعاعهای نوری می باشند پس مکان هندسی نقطه برخورد میله های فضایی، محل تشکیل مدل است که نشاندهنده موقعیت مدل مکانیکی جایگزین شده مدل نوری - اگر پرتوهای نوری در فضا نمایش می شدند می باشد. نقطه برخورد میله های فضایی نیز موقعیت نقطه ای از سطح مدل را ارائه میدهد (شکل ۵).



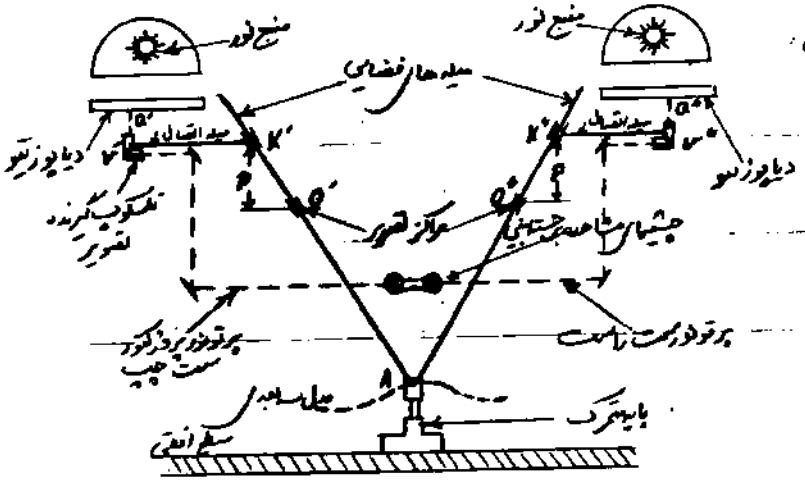
(شکل ۵)

بر روی هر میله فضایی، نقطه ای وجود دارد که در هر موقعیت

~~میله های فضایی ثابت مانده و تغییر مکان نمی یابد مانند این نقطه که معمولاً نقطه اتصال هر میله~~
فضایی به بدنه پروژکتور دستگاه نیز است، نمایشگر نقطه مرکز تصویر بصورت مکانیکی می باشد.
صفحه مکان هندسی نقطه ای از هر میله فضایی با صفحه P (نا صفحه اصلی پروژکتور) از نقطه مکانیکی
مرکز تصویر، صفحه تصویر جانشین دیاپوزیتیو در تشکیل مدل مکانیکی می باشد.

چنین سیستم تصویری که در آن کلیه اجزاء دارای ارتباطات و اتصالات بین آنها بحالی
نوری بودن، بصورت مکانیکی ارائه شده اند را سیستم "تصویر مکانیکی" می نامند.

شمای کلی سیستم تصویر مکانیکی در شکل
روبرو نشان داده شده است.
O' و O'' بترتیب مرکز تصویر مکانیکی
سیستم تصویر پروژکتور سمت چپ و راست
نقطه A محل برخورد میله های فضایی،
نقطه ای از سطح مدل مکانیکی و نقاط
K' و K'' بترتیب نشان دهنده موقعیت
مکانیکی نقاط تصویری a' و a'' (از دیاپوزیتیوها) می باشند.

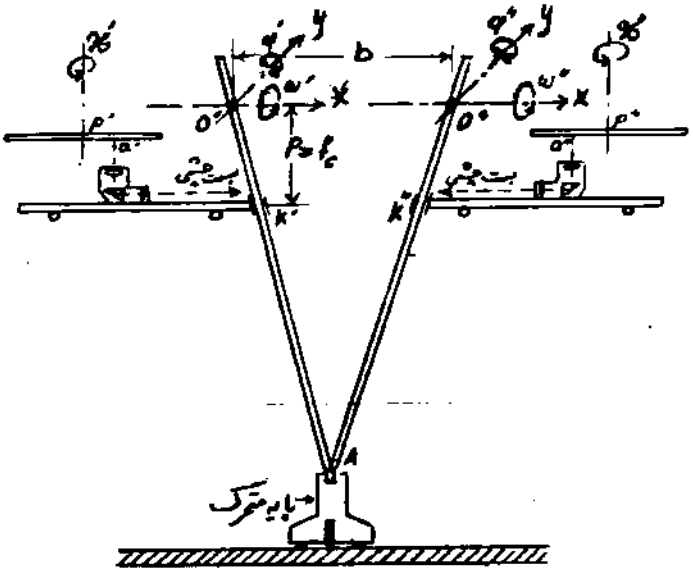


شمای کلی سیستم تصویر مکانیکی

(شکل ۶)

مکان هندسی نقاط K' و K'' در موقعیتهای مختلف میله های فضایی صفحه هایی به موازات
دیاپوزیتیوها می باشند که صفحات تصویر مکانیکی نامیده می شوند. در صفحه تصویر مکانیکی معمولاً
مجموعه ای از میله های فلزی در امتداد X و Y وجود دارد که امکان حرکت در دو جهت X و Y
را در صفحه تصویر میسر می سازند. میله در امتداد Z، که معمولاً تلسکوپ گیرنده تصویر را در یک
انتهای خود حمل می کند و از انتهای دیگر به میله فضایی متصل است (نقطه K' یا K'') را "میله انتقال"
(Tie Rod) می نامند. صفحه حرکت میله انتقال که موازی با دیاپوزیتیو می باشد همان

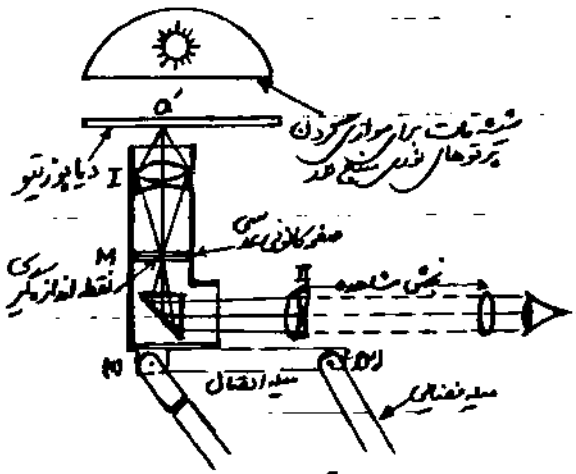
صفحه تصویر مکانیکی است و نقاط برخورد میله های فضایی با صفحه های انتقال (x' و x'') از هر سیستم تصویر، موقعیت مکانیکی تصاویر نظیر نقطه ای از فضا را مشخص می کنند که میله های فضایی در آن نقطه یکدیگر را قطع می کنند. صفحات تصویر مکانیکی با صفحه π (صفحه اصلی پروژکتور) از مراکز تصویر مکانیکی O' و O'' می باشند.



(شکل ۷)

در شکل ۷، سیستم تصویر مکانیکی یک از دستگاه های استوگرامتری و با محورهای مختصات مربوط به سیستم تصویر، اثر عناصر حرکتی و تلسکوپ مشاهده گیرنده تصویر، نشان داده شده است.

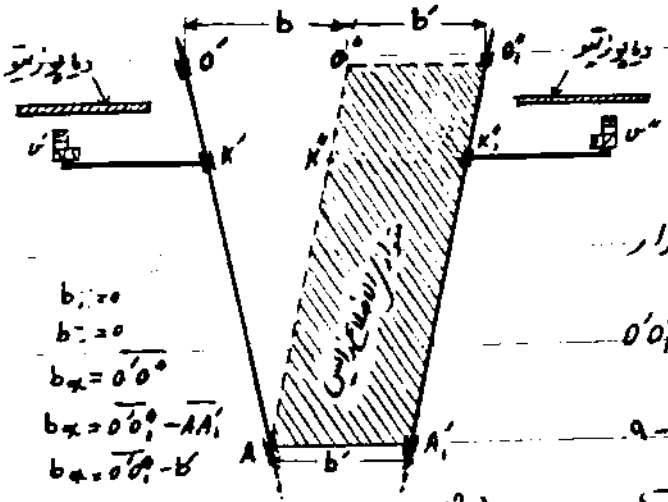
دسته شعاع نوری متوازی پس از عبور از دیاپوزیتیو، وارد تلسکوپ مشاهده شده و تصویر را در صفحه کانونی عدسی تلسکوپ تشکیل میدهد. در صفحه کانونی عدسی تلسکوپ صفحه ای شفاف که علامتی (معمولاً سیاه رنگ) بر روی آن حک شده یا سوراخی (که لامپی در پشت آن قرار گرفته) که همان نقطه اندازه گیری می باشد، قرار دارد. شعاعهای نوری پس از تشکیل تصویر در صفحه نقطه اندازه گیری، بطور موازی امتداد می یابند تا تصویر را از طریق چشمی ها، که پرتو نورهای تصویر بدانجا میرسند، قابل مشاهده سازند. شکل ۸، اجزاء تشکیل دهنده تلسکوپ گیرنده تصویر را: مجموعه عدسی I نقاط کانونی f'، صفحه کانونی آن که شامل نقطه اندازه گیری، منشور جهت شکستن پرتو نورها و مجموعه عدسی II



(شکل ۸)

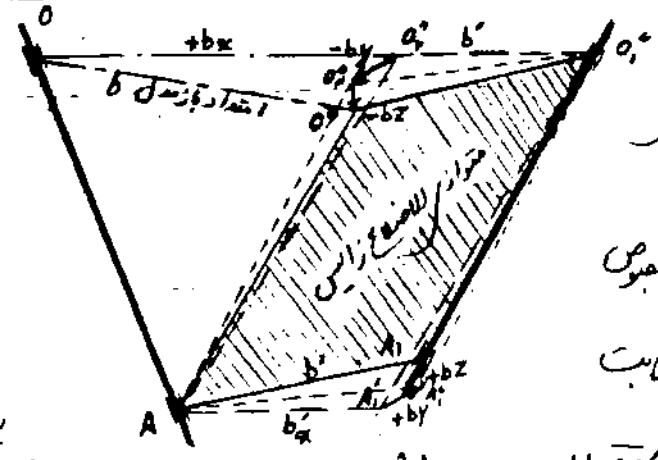
کمپرتوذرها را بصورت موازی خارج می کند، نشان میدهد. در برخی از دستگاه ها میله انتقال وجود ندارد و تلسکوپ در انتهای بالایی میله فضایی قرار داده شده است حالت (۱) شکل ۸ ؛ ولی در اکثر دستگاه های مکانیکی ارتباط میله فضایی و تلسکوپ از طریق میله انتقال برقرار می شود مانند حالت (۲) شکل ۸.

میله های فضایی در بعضی از دستگاه های مکانیکی مانند B8 و A8 و یلد، SII لنتونی بصورت متقاطع ساخته شده اند لکن در دستگاه های با دقت بالا و پیشرفته میله های فضایی جدا از هم و اغلب بصورت خطوط متنافر در فضا می باشند که با یکدیگر نقطه برخورد (یعنی ندارند. اگر از نقطه فرضی برخورد میله های فضایی (نقطه ای از مدل مکانیکی) خطی به موازات یکی از میله ها ترسیم شود متوازی الاضلاعی بین میله فضایی و خط موازی با آن بوجود می آید که به "متوازی الاضلاع زایس" (Zeiss Parallelogram) معروف شده است زیرا این ابتکار را اولین بار کارخانه زایس مورد استفاده قرار داد. بعبارت دیگر می توان گفت که یکی از میله های فضایی از موقعیت اصلی ($O''K''A''$) به موازات خود باندازه b'' خارج شده و در موقعیت جدیدی ($O_1''K_1''A_1''$) قرار گرفته است. در اینحالت فاصله دو مرکز تصویر $\overline{O'O_1''}$ برابر است با ($\overline{O'O_1''} = \overline{O'O''} + b'' = b + b''$) می باشد با توجه شکل ۱-۹



(شکل ۱-۹)

تا بازمدل ثابت است. با جدا بودن میله های فضایی امکانات حرکتی دستگاه افزایش می یابد بطوریکه می توان تعداد از حرکات ها را بجای تصویر به دسته شعاعهای نوری مربوطه به آن تصویر یعنی به میله فضایی نظیر آن معرفی کرد بخصوص حرکتهای انتقالی را که بدین ترتیب مراکز تصویر O' و O_1'' ثابت باقی می مانند بطور شماتیک برای افزایش b'' (بازمدل) $\overline{AA_1'} = b''$ را باید کم کرد زیرا: $b = O'O_1'' - b''$

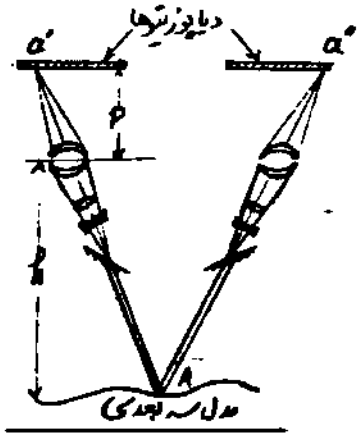


(شکل ۲-۹)

ج ـ سیستم تصویر اپتیکی مکانیکی Optical-Mechanical Projection System

این سیستم تصویر بنامهای سیستم تصویر نیمه مکانیکی یا نیمه اپتیکی نیز مشهور است.

همانطور که از نام این سیستم تصویر برمی آید شعاعهای تشکیل دهنده مدل، قسمتی از مسیر خود را بصورت نوری و قسمت باقیمانده را بصورت مکانیکی طی می کنند. در این سیستم تصویر معمولاً صفحه تصویر نوری و همان دیاپوزیتیو است ولی مدل بصورت مکانیکی (از برخورد میله های فضایی) ساخته می شود (شکل ۱۰).



(شکل ۱۰)

حسن این سیستم این است که در محرفی فاصله اصلی آنیزوتروکتور، که سبب تشکیل مدل در میدان وضوح عدسی می شود، محدودیتی وجود ندارد، لذا می توان از عکسهای برداشته شده با دوربینهای با فاصله کانونی بزرگ نیز، نقشه تهیه نمود.

د ـ سیستم تصویر تحلیلی Analitical Projection System

در این سیستم تصویر شعاعهای نوری و حرکتهای لازم بطریقه محاسباتی طبق برنامه های نوشته شده تعیین و محرفی می شوند و مدل بروش ریاضی تشکیل می شود.

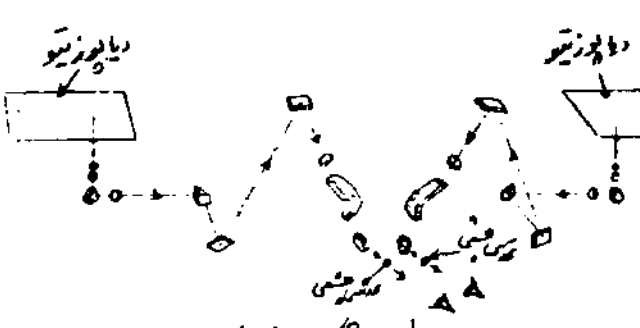
۲-۱۰ سیستم مشاهده — Viewing System

سیستمی که مشاهده کننده را قادر به مشاهده تصویر می کند "سیستم مشاهده" نامیده می شود. در دستگاههای با دید دو بعدی (یک چشمی) یک سیستم تصویر و در نتیجه یک سیستم مشاهده وجود دارد (ولی در دستگاههای با دید برجسته بینی که هر تصویر فقط به یکی از چشم ها باید برسد، سیستم مشاهده از دو بخش ترنیه و مستقل از هم یا ترکیبی از دو بخش تشکیل یافته است، به مجموعه دو بخش مشاهده، سیستم مشاهده برجسته بینی گفته می شود.

به سه نوع از انواع سیستم های مشاهده برجسته بینی، در اینجا اشاره می شود.

الف- سیستم مشاهده قائم دیاپوزیتیو — Orthogonal Viewing of Diapositive

در دستگاههای مکانیکی، تصویر دیاپوزیتیو که در صفحه کانونی عدسی تلسکوپ تشکیل می شود، توسط دسته پرتو نورهای موازی که مسیری شکسته را باید طی کنند از مجموعه ای از عدسیها، منشورها و آینه ها، طی می کنند- از طریق عدسی چشمی به چشم مشاهده کننده می رسد. بدین ترتیب با مشاهده دو چشمی که هر یک از چشمهای مشاهده کننده فقط در مقابل یکی از چشمیها قرار می گیرد، هر چشم فقط تصویر نظیر خود را بهمراه تصویر نقطه اندازه گیری منطبق بر صفحه تصویر، خواهد دید- بدین معنی که چشم راست از داخل چشمی سمت راست فقط تصویر و نقطه اندازه گیری مربوط به سیستم تصویر سمت راست را و چشم چپ از داخل چشمی سمت چپ فقط تصویر و نقطه اندازه گیری مربوط به سیستم تصویر سمت چپ را خواهند دید، با مشاهده دو چشمی دو تصویر نظیر، مغز با ترکیب آنها، درک برجسته بینی را ایجاد میکند. پس سیستم مشاهده ترکیب دو مجموعه مستقل و ترنیه که تشکیل از تعدادی ادوات نوری است، می باشد.



(شکل ۱۱)

چشمی های سیستم مشاهده دارای درشتنمایی می باشند. درشتنمایی چشمی های دستگاههای مختلف، متفاوت است. چشمی های مربوط به دستگاههای با دقت بالاتر، بیشتر می باشد.

نوری که مشاهده تصاویر را امکان پذیر می کند نوری یک رنگ سفید یا زرد است که از لامپ منبع نور به شیشه های مات یا فیلتر می تابد. پرتوهای نوری که بصورت موازی و عمود بر شیشه مات (فیلتر) از آن خارج می شوند بطور عمود بر دیاپوزیتیو به آن برخورد کرده و در امتداد خود از دیاپوزیتیو خارج می شوند. پرتو نورهای قسمتی از دیاپوزیتیو که تلسکوپ در مقابل آن قرار گرفته است، بطور موازی وارد تلسکوپ شده و تصویر نوری دیاپوزیتیو را در صفحه کانونی عدسی I تلسکوپ تشکیل میدهند. پرتو نورهای تصویر نوری و نقطه اندازه گیری پس از برخورد به مجموعه عدسی II تلسکوپ بصورت موازی امتداد می یابند و با عبور از مجموعه ادوات نوری به چشم مشاهده کننده میرسند. چون پرتوهای نوری عمود بر دیاپوزیتیو تابیده و از آن خارج می شوند می توان گفت که مشاهده کننده به تصویر دیاپوزیتیو بطور عمود می نگرد بدین سبب این سیستم مشاهده را تائم می گویند و برجسته بینی به روش دید موازی برقرار می شود.

ب - سیستم مشاهده آناگلیف (دورنگی) Anaglyphic Viewing System

در سیستم مشاهده آناگلیف از دو رنگ مکمل (دو رنگ که ترکیب آنها سیاه شود) مانند قرمز و آبی متمایل به سبز (سبز + آبی = سایان) استفاده می شود. رنگهای مکمل دیگری نیز وجود دارد لیکن استفاده از ترکیب دو رنگ قرمز و آبی متمایل به سبز ترجیح داده می شود.

از سیستم مشاهده آناگلیف در دستگاههای با سیستم تصویر نوری استفاده می شود. دیدیم که دسته پرتو نورهای هر پروژکتور که در فضا بخش می شوند تصویر را بر روی صفحه سفید رنگی قابل رویت می کنند. اگر شعاعهای نوری متناظر از دو سیستم تصویر متقاطع شوند دو تصویر نظیر بر روی

~~صفحه سفید و رنگ، منطبق بر هم دیده خواهند شد. برای مشخص کردن و تفکیک نمودن~~

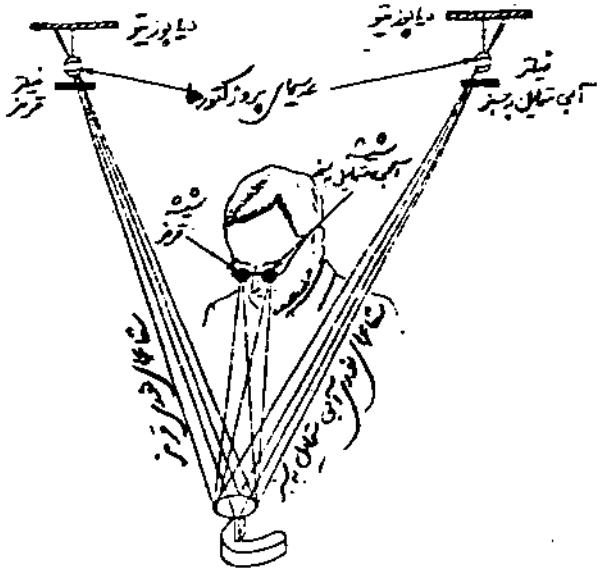
تصاویر از یکدیگر آنها را با گذاردن فیلتر با دو رنگ مکمل ذکر شده در پروژکتورها، به

تصاویر رنگی با رنگهای مختلف و مکمل تبدیل می کنیم.

اگر فرض در پروژکتور سمت راست فیلتر قرمز و در پروژکتور سمت چپ فیلتر آبی

قرار داده شود، پس تصویر قرمز مربوط به پروژکتور سمت راست است و تصویر پروژکتور

سمت چپ به رنگ آبی دیده می شود.



حال اگر مشاهده کننده از عینکی استفاده کند که شیشه های آن نظیر به نظیر هم رنگ با دو رنگ فیلترها باشد، دور قرمز (تصویر قرمز) از شیشه قرمز عینک و دور آبی (تصویر آبی) از شیشه آبی عبور می کنند. بدین ترتیب هر تصویر فقط به یکی از چشمها میرسد.

ملاحظه می شود که با استفاده از دو فیلتر

(شکل ۱۲)

و عینکی که شیشه هایش هر رنگ با دو رنگ مکمل فیلترها باشد؛ می توان خیلی ساده اصل برجسته بینی، یعنی مشاهده هر تصویر فقط با یک چشم، را برقرار ساخت.

پس می توان مجموعه دو فیلتر و عینک با دو رنگ مکمل را سیستم مشاهده برجسته بینی دورنگی (آناگلیف) دانست.

در این سیستم مشاهده، اگر چشم راست تصویر راست را و چشم چپ تصویر چپ را مشاهده کند برجسته بینی صحیح (ارتوسکوپی) برقرار می شود. و در غیر اینصورت، برجسته بینی کاذب و وارونه (پزودوسکوپی) می باشد. پس برای ایجاد دید صحیح برجسته بینی باید عینک خیال به

چشم زده شود که جهت دیدگاهای شیشه عینک هم جهت با فیلترهای هم رنگ خود باشد.

مغز با ترکیب دو تصویر نظیر با دو رنگ مکمل، که با استفاده از سیستم مشاهده آناگلیف بطور مجزا با هر چشم دیده شده اند، تصویری سه بعدی از منطقه را در زمینه ای سیاه و سفید در ذهن مجسم می سازد.

- برجسته بینی بنا بر اصل تقارب صورت می گیرد که فاصله تقارب، فاصله چشم مشاهده کننده تا صفحه سفید رنگ حامل تصویر است که معمولاً کمی بیش از فاصله تطابق ۲۵۰ mm می باشد. به صفحه حامل تصویر نباید بطور عمودی یا افقی نگاه شود تا درک برجسته بینی خوبی حاصل شود.

- عیب این سیستم مشاهده اینستکه: اولاً بدلیل استفاده از فیلترهای رنگی، مقدار زیادی از نور تصویر کاسته می شود زیرا میدانیم که فقط طیفی از نور سفید که هم رنگ فیلتر است می تواند از فیلتر عبور کند و سایر طیفها جذب فیلتر می شوند.

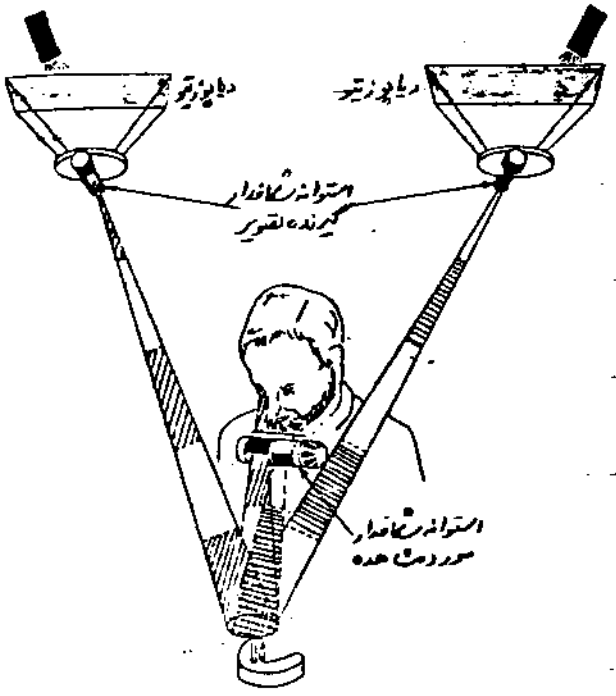
- ثانیاً تمامی پرتو نورهای تصویر کننده که پس از عبور از دیاپوزیتیو به صفحه سفید رنگ حامل تصویر برخورد می کنند، پس از بازتاب از صفحه حامل تصویر بچشم نمیرسند زیرا هر چقدر هم که دانه بندی ماده سازنده لایه سفید رنگ صفحه حامل تصویر متراکم باشد (حتی در حد میکرون) باز هم مابین ذرات آن خلاء وجود دارد که اجازه نمیدهد شعاعهای نوری برخورد کننده به حد فاصل ذرات، بازتاب یافته و به چشم برسند. برای از بین بردن این عیب در بعضی از دستگاهای نوری از سطحی دوار با گردش خیلی سریع (مثلاً ۹۰۰ دور در دقیقه) بجای صفحه سفید رنگ استفاده شده است تا بپوستگی ذرات تشکیل دهنده سطح سفید رنگ حامل تصویر، تا حد ممکن افزایش یابد.

می توان بجای استفاده از فیلترهای رنگی، دیاپوزیتیوها را بدو رنگ مورد نظر چاپ کرد.

عیب دیگر استفاده از سیستم مشاهده آناگلیف اینستکه اگر عکسبرداری رنگی انجام شده باشد، عکسهای رنگی قابل کاربرد نمی باشند.

ج- سیستم مشاهده تناوبی تصویر Stereo Image Alternator (SIA)

این سیستم مشاهده نیز در دستگاههای بالیستم تصویر نوری استفاده شده است. نحوه عملکرد آن بدینصورت است که نور معمولی سفید (زرد) رنگ تابیده شده به هر دیاپوزیتیو پس از عبور از مرکز تصویر به استوانه دوارهای برخورد می‌کند که دارای دو شکاف در مقابل هم به عرض $\frac{1}{4}$ دور استوانه می‌باشد. استوانه‌های شکافدار در دو پروژکتور چنان در محل مراکز تصویر قرار گرفته‌اند که در حال گردش، شکافها بطور متناوب نور هر پروژکتور را عبور میدهند؛ بدین معنی که وقتی نور از شکاف استوانه مربوط به پروژکتور سمت چپ عبور می‌کند شکاف استوانه سمت راست در مقابل نور نیست و بالعکس. پس به ازاء هر یک دور چرخش استوانه‌ها دو مرتبه نور از هر شکاف بر روی صفحه سفید رنگ مورد رویت می‌تابد و در هر لحظه فقط تصویر یکی از پروژکتورها بر صفحه سفید قابل مشاهده است.



سیستم SIA، سیستم مشاهده تناوبی تصویر

(شکل ۱۳)

حال اگر به صفحه سفیدی که تصاویر به تناوب بر روی آن قابل مشاهده می‌شوند از داخل شکافهای استوانه دواری، لطول بیش از باز چشم، نگاه شود در هر لحظه فقط یکی از تصاویر از داخل شکاف نظیر خود عبور کرده و فقط به یکی از چشم‌های مشاهده‌کننده (چشم نظیر تصویر و شکاف) می‌رسد. زیرا در هر نیمه استوانه (از نظر طولی) دو شکاف در مقابل هم به عرض $\frac{1}{4}$ دور استوانه قرار دارد که نور باز تابیده از صفحه سفید رنگ از داخل آنها عبور می‌کند. شکافهای

نیمه چپ و راست استوانه در کنار هم نیستند بدین معنی که وقتی شکاف واقع در نیمه سمت راست استوانه در مقابل چشم قرار گیرد شکاف نیمه سمت چپ استوانه دیده نمی شود و بالعکس.

— چرخش استوانه مورد مشاهده نسبت به دو استوانه مربوط به پروژکتورها چنان است که وقتی نور پروژکتور سمت راست به صفحه سفید برخورد می کند، شکاف سمت راست در مقابل چشم ستلر اقرار می گیرد و سپس رسیدن نور پروژکتور سمت راست به چشم راست می شود، در حالیکه نوری به چشم چپ نمی رسد و پس از چرخش $\frac{1}{4}$ دور استوانه که نور پروژکتور سمت چپ به صفحه سفید میرسد شکاف سمت چپ در مقابل دید قرار گرفته و نور پروژکتور سمت چپ را به چشم چپ میرساند. در این حالت نیز نوری به چشم راست نمی رسد. اگر سرعت چرخش استوانه ها بطور مساوی آنقدر زیاد شود که وقتی به استوانه نگاه می شود، بتوان نورهایی را که از شکافهای آن به تناوب به چشم ها میرسند، همزمان و بطور ممتد رویت نمود، می توان مدل سه بعدی حاصله را مشاهده کرد.

— ملاحظه می شود که به کمک سیستم مشاهده SIA، می توان با هر چشم فقط یکی از تصاویر را دید و در واقع اصل برجسته بینی را برای مشاهده مدل سه بعدی با دید برجسته بینی را برقرار کرد.

— حسن سیستم SIA نسبت به سیستم آناگلیف اینستکه از نور تصاویر کاسته نمی شود.

— مجموعه استوانه مشاهده شکافدار و دو استوانه شکافدار مربوط به پروژکتورها، سیستم مشاهده (تناوبی تصویر (SIA)) را تشکیل میدهند.

د- سیستم های مشاهده دیگری از جمله سیستم مشاهده با نورهای تجزیه شده، که در آن از فیلتر یا منشورهای تجزیه کننده نور استفاده می شود و سیستم مشاهده P.P.V که در آن با استفاده از تیغه های متوازی السطوح پرتو نورها را می توان دوران داد و همچنین صفحه سفید مورد رویت از ماده مخصوصی ساخته شده

است که بدون نقص از لحاظ تئوری و عملی کامل شده و عیوب سیستم مشاهده تا حد ممکن، و یا سیستم مشاهده با فرضهای تجریدی شده در آن از بین رفته اند.

۱-۳ : سیستم اندازه گیری و ترسیم

این سیستم امکان اندازه گیری در سطح مدل و سپس انتقال و پیاده کردن اندازه ها را بر روی برگ نقشه ای فراهم می سازد. پس از دو بخش سیستم اندازه گیری و سیستم ترسیم تشکیل یافته است که مستقل از هم نمی باشند سیستم ترسیم پیرو سیستم اندازه گیری است.

۱-۳-۱ : سیستم اندازه گیری Measuring System

سیستمی که امکان حرکت در سطح مدل را میسر می سازد، سیستم اندازه گیری است که از نقطه شناور و سه حرکت X، Y و Z مربوط به آن تشکیل می شود. چنانچه با اعمال سه حرکت، نقطه شناور بر نقطه ای از سطح مدل مماس شود می توان مختصات نقطه شناور را بعنوان مختصات نقطه مورد نظر از مدل بشمار آورده. بدین ترتیب اگر به هر یک از سه حرکت X، Y و Z نقطه شناور خطکش یا طبلکی مدرج متصل باشد مختصات هر نقطه از فضای مدل (مختصات نقطه شناور واقع در آن نقطه) را می توان قرائت نمود. دو نوع سیستم اندازه گیری در دستگاهها ساخته شده است.

الف - سیستم اندازه گیری دستگاههای نوری (با دید مستقیم)، از پایه ای قابل حرکت بر روی صفحه ای افقی که دارای میز چه سفید رنگ حامل نقطه شناور می باشد، تشکیل یافته است.

نقطه شناور سیستم اندازه گیری یا بصورت علامتی سیاه رنگ مانند +، ○، ... و یا نقطه نورانی (سوراخ کوچک روشنی در زیر آن قرار دارد) در مرکز صفحه سفید رنگ دایره ای شکلی که میز چه نامیده می شود

~~(جدول تقویر بردی آن رویت می شود) قرار دارد. میز چه تقویر در امتداد ستون تمام~~

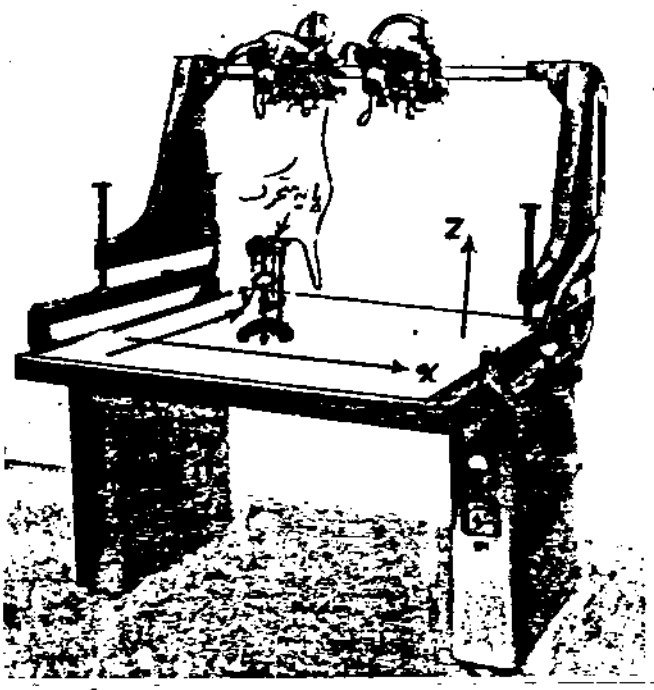
~~با یه متحرک~~ ـــ (Tracing Table) بالا و پائین می رود. پس با حرکت پایه متحرک بر روی

~~صفحه افقی y x~~، نقطه شناور در دو جهت x و y حرکت داده می شود و با پیمودن پیچی

~~بر روی پایه متحرک~~، میز چه تقویر در امتداد z حرکت داده شده و به تبعیت از آن نقطه

شناور نیز در امتداد z حرکت می کند. بدین ترتیب می توان نقطه شناور را در فضایی که

پایه در آن قابل حرکت است حرکت داد.



دستگاه پانکس

در این سیستم اندازه گیری فقط یک نقطه (نورانی یا سیاه رنگ) بعنوان نقطه شناور وجود دارد که با اصل کار آن در فصل سوم آشنا شدیم. در صورتیکه از سیستم مشاهده تا تکلیف در دستگاه استفاده شده باشد نقطه شناور معمولاً بصورت نورانی است. در مشاهده برجسته بینی دوربینی، اگر شعاعهای نوری نظیر مربوط به عارضه واقع در مرکز میز چه تقویر یکدیگر ـــــ (شکل ۱۴) ـــــ

را در سطح میز چه قطع کرده باشند، نقطه شناور بصورت یک نقطه نورانی با نور برنگ سفید (زرد) دیده می شود و چنانچه شعاعهای نوری نظیر مربوط به عارضه واقع در مرکز میز چه تقویر، یکدیگر را در سطح میز چه قطع نکرده باشند، پارالاکس موجود در تصاویر روی میز چه در نقطه شناور دیده می شود در اینحالت نقطه شناور بصورت دو نقطه نوری به رنگهای شیشه های عینک دیده می شوند.

حرکت x و y پایه متحرک را که به میز چه تصویر (نقطه شناور) منتقل می شود، می توان

~~در صورت امکان به کمک خطکشهای مدرج نصب شده بر صفحه افقی اندازه گرفت و در~~
صورت عدم وجود خطکش مدرج، می توان مختصات x و y نقطه شناور را بصورت گرافیکی
یک سیستم شبکه بندی شده در مقیاس مشخص مدل، اندازه گیری نمود.

— امتداد محور x دستگاه مختصات سیستم اندازه گیری به موازات محور x سیستم تصویر و امتداد محور
y عمود بر محور x در صفحه افقی می باشد جهت مثبت محور x بسمت راست و جهت مثبت
محور y بسمت مقابل اپراتور (دور شدن از اپراتور) می باشند (در شکل ۱۴ نشان داده شده است).
حرکت z میز چپ تصویر (نقطه شناور) در امتداد z (ارتفاع) بر روی کنسول یا طبلک مدرج
اندازه گیری می شود. جهت مثبت قرائتهای ارتفاعی از پایین بسمت بالا می باشد.

— ارتفاعات معمولاً، با استقرار چرخ دنده مناسب، به اندازه واقعی برحسب متر (یا فوت)
قابل اندازه گیری و قرائت می باشند. مختصات x و y اگر به کمک خطکشهای نصب شده و
مدرج قرائت شوند برحسب میلیمتر در مقیاس مدل، و اگر بصورت گرافیکی قرائت شوند
برحسب متر (یا فوت) و به اندازه واقعی خواهند بود.

— ب — سیستم اندازه گیری دستگاههایی که در سیستم تصویر خود دو علامت بنام نقطه
اندازه گیری دارند که از ترکیب آنها نقطه شناور تشکیل می شود. دستگاههای مکانیکی معمولاً
دارای چنین سیستمی می باشند. هر نقطه اندازه گیری باید بتواند در سطح تصویر مربوط به همان پروژکتور
حرکت کند و برای جابجا شدن از نقطه ای به نقطه دیگر از تصویر، باید در امتداد شعاعهای نوری
نقطه جدید قرار بگیرد. پس در دستگاههای مکانیکی باید میله های فضایی حرکت داده شوند تا بتوانند
موقعیت تمامی شعاعهای نوری منطقه مورد نظر را ارائه دهند و حرکت میله های فضایی بطور مستقیم یا
از طریق میله های اتصال به تلسکوپهایی که حاوی نقاط اندازه گیری می باشند، انتقال یابد.

میله های فضایی معمولاً به پایه متحرک اتصال دارند که می توان خودش را بطور مستقیم با دست بر روی صفحه افقی حرکت داده مانند دستگاه B8 ویلد، SII سنتوی و یا مانند تراس، و یا به دورپل محور برهم x و y متصل به دو دستگیره گردان، مرتبط است که با گرداندن دستگیره های گردان، متحرک در دو جهت x و y حرکت داده می شود؛ این حرکت از طریق میله های فضایی به نقطه شناور انتقال می یابد.

در دستگاههایی که دو حرکت x و y پایه متحرک، از یکدیگر مستقل نیستند معمولاً خطکش یا طبلک مدرجی برای قرائت مختصات x و y وجود ندارد و در صورت نیاز باید از روش گرافیکی استفاده نمود. لیکن در دستگاههایی که دو حرکت x و y پایه متحرک بطور مستقل توسط دو دستگیره معرفی می شوند یا با اتصال دو محور عمود برهم به پایه متحرک، امکان تفکیک دو مؤلفه x و y حرکت از یکدیگر میسر می شود؛ معمولاً تجهیزاتی از قبیل خطکش، طبلک و ویزیر مدرج یا کنتور برای قرائت مختصات x و y نقطه شناور وجود دارد. مختصات x و y برحسب میلیمتر در مقیاس مدل قرائت می شوند که به این واحد "مدل میلیمتر" نیز می گویند. جهت مثبت قرائتهای x و y هم جهت با دستگاه مختصات سیستم تصویر، بترتیب بسمت راست و بسمت مقابل اپراتور می باشد. از جمله دستگاههایی که امکان قرائت مختصات مطلق در آنها وجود دارد، برای انجام مثلث بندی نیز می توان استفاده نمود.

--- برای معرفی حرکت z، در دستگاههایی که پایه متحرک بطور مستقیم با دست حرکت داده می شود هیچ پیچی برای بالا و پائین بردن نقطه برخورد میله های فضایی در امتداد قائم وجود دارد و در دستگاههایی که مؤلفه های x و y حرکت بطور مستقل به پایه متحرک معرفی می شوند؛ صفحه ای گرد جهت معرفی ارتفاع (z) وجود دارد که به دیسک پایی معروف است و با چرخاندن آن بوسیله پا می توان نقطه برخورد میله های فضایی را در امتداد قائم حرکت داد. با بالا و پائین رفتن موقعیت نقطه برخورد

سیستم های فضایی مختلف بین آنها که همان زاویه پارالاکتیک است تغییر می کند. این تغییر زاویه سبب ایجاد تغییر در فاصله x نقاط دیگر میدهای فضایی از جمله نقاط اندازه گیری، نیز نقاط مربوط به مرکز تصویر، می شود. بدین ترتیب با ایجاد تغییر در پارالاکس x نقاط اندازه گیری، نقطه شناور در ارتفاع حرکت داده می شود. چرخش دیسک پایی یا پیچ مربوط به حرکت قائم نقطه شناور در کلیه دستگاهها قابل قرائت است. دستگاهها مجهز به خطکشهای مدرج قابل تعویض یا طبلک دریز سنج و یا کنتوری عددی که با تعویض چرخ دنده هایی می توان مقیاس قرائت را تغییر داد - می باشند که امکان قرائت ارتفاع نقطه شناور را به میزان واقعی زمینی برحسب متر (فوت) فراهم می سازند.

در برخی از دستگاهها، مختصات از طریق سیستمی الکترونیکی بصورت اعدادی روشن قابل قرائت می باشند. دستگاه نشان دهنده مختصات عددی، که حرکت های مکانیکی x، y و z سیستم اندازه گیری را از طریق ارتباط الکترونیکی گرفته و بصورت عددی تبدیل می کند، اکومات EK (Ecomat) نامیده می شود که قادر است مختصات عددی دریافت کرده را به دستگاههای ثبات مانند: ماشین تایپ کارت پانچ، نوار مغناطیسی یا کامپیوتر، جهت ثبت و محاسبات بعدی بفرستد.

دستگاههای تحلیلی و عددی، مجهز به سیستم اندازه گیری عددی خیلی دقیقی برای قرائت مختصات x، y و z نقطه شناور (نقاط اندازه گیری) می باشند.

۲-۳-۱: سیستم ترسیم Tracing System

دیدیم که برای حرکت در سطح مدل باید از نقطه شناور استفاده کرد. پس با پیاده کردن موقعیت نقطه شناور - توسط قلم ترسیم که با دکمه ای یا بوسیله پدال پایی پائین و بالا برده می شود - می توان موقعیت نقطه ای از سطح مدل را که نقطه شناور بر آن مماس است، بر روی نقشه مشخص

~~خود. پس سیستم ترسیم باید به سیستم اندازه گیری که حرکتهای نقطه شناور را تأمین می کند مرتبط~~
باشد. این ارتباط که نحوه انتقال حرکتهای X و Y سیستم اندازه گیری را به قلم ترسیم بیان میدارد
سیستم تصویری است که باید متشابه (کانفورم ــــ Conform) باشد. سیستم تصویر متشابه
سیستمی است که زوایا را به میزان حقیقی در تصویر حفظ می کند.

با توجه به نوع سیستم تصویری که برای برقرار ساختن ارتباط بین مدل و نقشه در دستگاه
انتخاب می گردد، سیستم ترسیم خاصی بکار گرفته می شود. در زیر به چند نوع از سیستمهای ترسیم اشاره شده است.

الف ـ سیستم ترسیم مستقیم

در این سیستم ترسیم قلم به پایه متحرک متصل است پس حرکت پایه (نقطه شناور) بهمان
اندازه و در همان جهت به قلم منتقل می شود و حرکت قلم برروی شیئی که در زیر پایه متحرک
پین و ثابت شده است، مثبت می شود. بدین ترتیب به کمک این سیستم ترسیم فقط می توان
نقشه ای تحت سیستم تصویر قائم از مدل (زیرا قلم در امتداد قائم نقطه شناور است) و در
مقیاس مدل ترسیم کرد. در این حالت پایه متحرک را پایه ترسیم نیز می گویند. در شکل ۳ همین
مقصل، نقشه ترسیم شده از مدل نوری را بر دستگاه با لپلکس توسط قلم متصل به پایه متحرک در
امتداد قائم نقطه شناور، نشان میدهند. در سیستم ترسیم مستقیم، نسبت مقیاس نقشه به مقیاس مدل ۱:۱ می باشد.

ب ـ سیستم ترسیم غیر مستقیم

این سیستم ترسیم معمولاً از میزی بنام "میز ترسیم" تشکیل یافته است که از طریق مکانیکی یا
الکترونیکی به سیستم اندازه گیری دستگاه ارتباط پیدا می کند. میز دارای بازوئی است که قلم ترسیم
برروی آن مستقر است و حرکت های X و Y سیستم اندازه گیری تحت سیستم تصویری به این بازو یا بعبارت

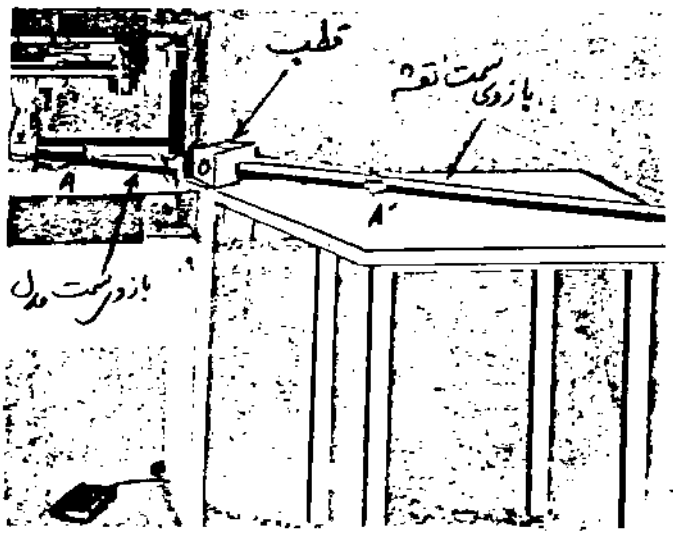
دیگر به قلم ترسیم انتقال می یابد. دو ترسیم غیر مستقیم از سیستم های تصویری استفاده می شود که امکان تهیه نقشه را در مقیاسی غیر از مقیاس مدل، فراهم می سازند. پس برای ترسیم نقشه ای در مقیاس بزرگتر یا کوچکتر از مقیاس مدل باید از سیستم ترسیم غیر مستقیم بهره گرفت. در این سیستم ترسیم امکان معرفی نسبت ۱:۱ نیز بین مقیاس نقشه و مدل وجود دارد.

سیستم ترسیم غیر مستقیم را به چند دسته می توان تقسیم نمود.

a- سیستم ترسیم با استفاده از سیستم تصویر قطبی

سیستم ترسیم قطبی براساس سیستم تصویر مرکزی طرح ریزی شده است. سیستم ترسیم قطبی در دستگاههایی بکار گرفته می شود که دو حرکت x و y از یکدیگر مجزا و توسط پایه متحرکی معرفی شوند.

سیستم ترسیم قطبی از پانتوگرافی که دارای دو بازوی هم راستا و کوتاه و بلند شونده است و حول نقطه ای بنام قطب (حول امتداد قائم نقطه قطب) واقع در حد فاصل دو بازو، می تواند دوران کند، تشکیل یافته است. طبق شکل روبرو که پانتوگراف مبنای ترسیم دستگاه B8 ویلد را نشان میدهد، AO بازوی سمت مدل، O نقطه قطب (مرکز دوران) و OA' بازوی سمت نقشه می باشند (A' موقعیت قلم مستقر بر پانتوگراف می باشد). قطب O در تمام طول ترسیم باید ثابت باشد و تغییر مکان ندهد. بازوی سمت مدل از نقطه A به پایه متحرک سیستم اندازه گیری دستگاه متصل است



پانتوگراف قطبی

(شکل ۱۵)

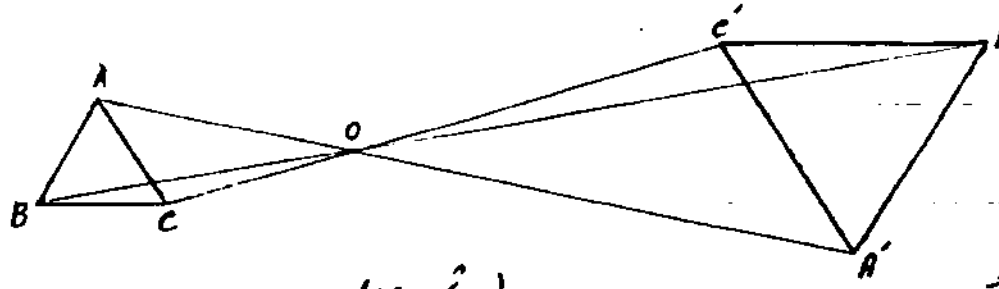
با حرکت پایه در سطح مدل، طول بازوی OA تغییر می کند و همین تغییر طول بازوی OA' (سمت نقشه) را

نیز باعث می‌شود، در واقع قلم ترسیم بر روی بازوی پانتوگراف حرکت می‌کند. اگر نقشه را به مقیاس n برابر مقیاس مدل، مورد نظر باشد، پس در هر موقعیت پایه متحرک اگر $\overline{OA}=l$ و $\overline{OA'}=l'$ باشد باید:

$$\frac{S_M}{S_K}=\frac{m_K}{m_M}=\frac{l}{l'}=\frac{1}{n} \quad \rightarrow \quad l'=n.l$$

S_K و S_M ترتیب مقیاس نقشه و مدل و m_K و m_M ترتیب عدد مقیاس نقشه و مدل می‌باشند.

ملاحظه شد که درصورت برقراربودن نسبت مقیاس ها بین طول دو بازوی پانتوگراف در هر نقطه از مدل و تصویرش از نقشه، سیستم تصویر متشابه خواهد شد (مانند شکل ۱۶).



اگر بخواهیم مثلث ABC را n برابر بزرگ

(شکل ۱۶)

کنیم، یعنی مثلث $A'B'C'$، پس هر ضلع از مثلث $A'B'C'$ باید n برابر اضلاع نظیر از مثلث ABC باشد و درصورت متشابه بودن سیستم تصویر، زوایای مثلث ها و زوایای بین شعاعهای تصویرکننده نظیر به نظیر مساوی میشوند پس با در نظر گرفتن مثلثهای متشابه می‌توان نوشت:

$$\frac{OA'}{OA}=\frac{OB'}{OB}=\frac{OC'}{OC}=\frac{A'B'}{AB}=\frac{A'C'}{AC}=\frac{B'C'}{BC}=n$$

برای آماده سازی پانتوگراف قطبی، بفرض در سیستم ترسیم دستگاه BB دیلد، بدینصورت عمل می‌کنیم: ابتدا توسط خطکش مخصوص طول مبنایی را به بازوی سمت مدل منتقل می‌کنیم (نظیر شکل ۵)، حال پایه قلم را در طول بازوی سمت نقشه حرکت می‌دهیم تا برروی خطکش مربوط به همان بازو، طول na را بخوانیم. با استقرار زوج چرخ دنده‌ای که نسبت شعاعهایشان n می‌باشد در محل مخصوص، پانتوگراف آماده جهت ترسیم بنسبت n برابر مدل می‌شود. باید دقت شود که در ترسیم با نسبتهای افزایشی چرخ دنده با شعاع کوچکتر و برای ترسیم با نسبتهای کاهشی، چرخ دنده

~~با شعاع بزرگتر در سمت بازوی ترسیم متمرکز می شود. عمل استقرار زوج چرخ دنده ها در محور نقاط~~
ثابت d می باشد، زوج چرخ دنده ها طوری ساخته شده اند که مجموع دو شعاع هر زوج چرخ دنده نظیر
برابر با d می باشد بعبارت دیگر طول d را به نسبتهای مختلف تقسیم نموده و زوج چرخ دنده هایی
برابر با آن نسبتها ساخته اند. با باز کردن خطکش مخصوص، اگر طول بازوی سمت مدل به میزان
$\pm b$ تغییر داده شود چون تعداد دورهای چرخ دنده سمت نقشه n برابر تعداد دورهای چرخ دنده
سمت مدل می شود (زیرا شعاع آن $\frac{1}{n}$ شعاع چرخ دنده سمت مدل است)، قلم ترسیم به میزان
$\pm nb$ برروی بازوی سمت نقشه جابجا خواهد شد. در این حالت طول بازوی سمت مدل برابر است با:

پس طول بازوی ——— $l = a \pm b$

سمت نقشه n برابر طول بازوی سمت مدل خواهد شد. $l' = na \pm nb = n(a \pm b) = n.l$

---

b- سیستم ترسیم با استفاده از پانتوگراف متوازی الاضلاع

این سیستم ترسیم نیز در دستگاههایی که دارای پایه متحرک جهت حرکت دادن نقطه شناور در سطح مدل
می باشند، قابل استفاده است. چهار بازوی تشکیل دهنده پانتوگراف این سیستم ترسیم چنان به یکدیگر
وصل می شوند که طول بازوهای روبرو مساوی باشد بدینصورت متوازی الاضلاعی حاصل می شود
که با تغییر طول اضلاع آن می توان نسبت مقیاس نقشه مورد ترسیم را به مقیاس مدل تغییر داد.

رئوس متوازی الاضلاع (محل اتصال بازوها) دارای حرکت دورانی می باشند بطوریکه با حرکت
متوازی الاضلاع توسط پایه متحرک که به یکی از بازوها وصل شده است، زوایای متوازی الاضلاع
تغییر می کند. نقطه ثابت اتکاء در امتداد یکی از بازوها واقع بر بدنه ثابت دستگاه و قلم نیز
در امتداد بازوی دیگر قرار گرفته اند. طول اضلاع متوازی الاضلاع پانتوگراف ترسیم را می توان با
توجه به نسبت مقیاس نقشه به مقیاس مدل مورد نظره از جدولهایی که در راهنمای دستگاه مورد

استفاده آموزشی است استخراج و

معرفی نمود.

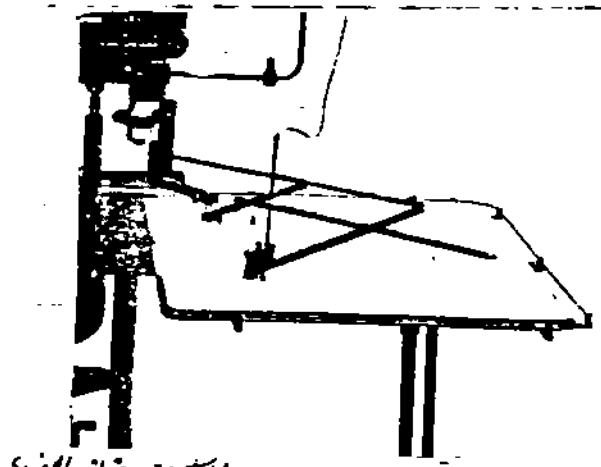
ازاین سیستم ترسیم معمولاً در دستگاههای

مکانیکی استفاده شده است.

در دستگاههای با سیستم تصویر نوری نیز

می توان با اتصال پانتوگراف متوازی الاضلاع

به بازوی متحرک، مقیاس نقشه را نسبت به مقیاس مدل تغییر داد.



پانتوگراف متوازی الاضلاع

(شکل ۱۷)

C - سیستم ترسیم قائم الزاویه (کارتزین)

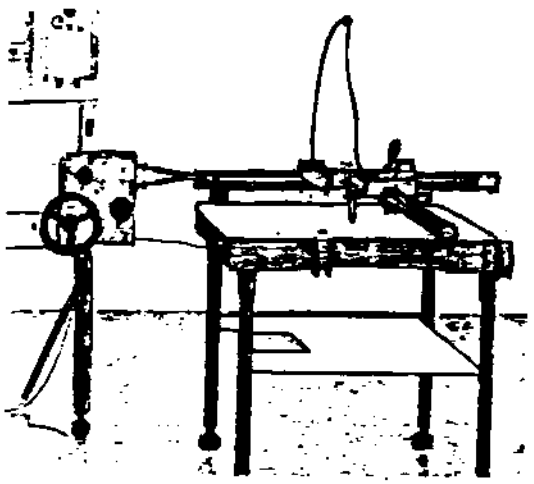
در دستگاههایی که امکان معرفی مؤلفه های حرکتی x و y سیستم اندازه گیری بطور مجزا با استفاده از دستگیره های گردان x و y و یا بالعکس دو محور عمود برهم به بازوی متحرک وجود دارد از این سیستم ترسیم استفاده می شود.

حرکت های x و y از طریق دو محور مکانیکی و یا دوسری رشته سیم الکترونیکی بطور مجزا به میز ترسیم انتقال می یابد. با انتقال حرکت y از دستگاه به میز ترسیم، میله ای که در امتداد y و کنار میز ترسیم قرار دارد، می چرخد و چرخش آن سبب حرکت بازوی در امتداد x میز ترسیم و قلم ترسیم مستقر بر روی بازوی حرکتی، در جهت y می شود. حرکت x از دستگاه به میله دیگری در امتداد y و واقع در کنار میز ترسیم انتقال یافته و آنرا می چرخاند. چرخش این میله، میله ای را که در امتداد x (واقع در بازوی حرکتی میز ترسیم) قرار دارد، چرخانیده و قلم ترسیم مستقر بر بازوی حرکتی را در امتداد این بازو (در امتداد x) جابجا می کند. در این سیستم ترسیم نیز بالعکس چرخ دنده های مناسب برای امتداد x و y، می توان حرکت قلم را به نسبت مقیاس نقشه به مقیاس مدل، بزرگتر یا کوچکتر

از حرکت دستگاهی تنظیم نمود. با شش بردار ... مقیاس نقشه / مقیاس مدل ... می توان بسیاری از چرخ دنده ها

مناسب را از جدولهای مربوط به هر دستگاه استخراج کرد.

— در کلیه دستگاه های مکانیکی و تحلیلی از این سیستم ترسیم استفاده شده است. مزیتی که این سیستم ترسیم نسبت به سیستم ترسیم های دیگر دارد اینستکه در صورت نیاز می توان نسبت تغییر مقیاس را در دو جهت x و y متفاوت در نظر گرفت. بطور مثال در ترسیم از برش



(شکل ۱۸)

منحرفی قطعه ای، برای بهتر نشان دادن اجزاء در امتداد y آن، می توان مقیاس ترسیم را بفرض ۲ برابر در جهت x و ۴ برابر در جهت y نسبت به مقیاس مدل بزرگ کرد.

— از این میز ترسیم می توان برای قرائت مختصات و یا وصل کردن نقاط بکمک مختصات، در صورت وجود خطکشهای مدرجی در امتداد x و y - بروی بازوی متحرک ترسیم و امتداد عمود بر آن - استفاده کرد. چنین میزی را "کوردیناتوگراف" (Coordinatograph) نیز می گویند.

— میزهای ترسیم پیشرفته و دقیقی با سیستم ترسیم کارتزین ساخته شده است که بطریقه الکترونیکی به دستگاه متصل می شوند، حرکتهای x و y نیز بطور الکترونیکی به قلم ترسیم انتقال می یابند و حتی می توان به قلم دستگاه فرمان داد که علائم اختصاری و قراردادی را برای عوارض مختلف ترسیم کند. در استفاده از چنین میزهایی جهت ترسیم، می توان از ثبت اسکرایب یا ثبت معمولی سود جست تا با ترسیم نقشه بروی ثبت اسکرایب، یک مرحله از کار کارتوگرافی کاسته شود.

d - سیستم ترسیم عددی

در این سیستم ترسیم از میزهای ترسیم (پلاترهای تخت یا استوانه ای) متصل به کامپیوتر و نرم افزارهای مخصوص ترسیم استفاده می شود.

۲- طبقه بندی دستگاهها

دستگاههای فتوگرامتری را به چند نوع می توان دسته بندی کرد:

۲-۱: طبقه بندی بر مبنای نوع سیستم تصویر

دسته بندی دستگاهها براساس نوع سیستم تصویر آنها، مرسوم ترین شیوه است.

الف - دستگاههای نوری (با دید مستقیم)

ب - دستگاههای مکانیکی

ج - دستگاههای مکانیکی - انتقالی

د - دستگاههای تحلیلی

هـ - دستگاههای عمودی

الف - نمونه دستگاههای انتقالی (نوری)، دستگاه مولتی پلکس، بالپلکس، کلش وامثی می باشند. سیستم تصویر همگی آنها نوری است ودیاپوزیتیو در مولتی پلکس وبالپلکس بایدکوهلپ چاپ شود. سیستم مشاهده آنها تاکیف (دوربینی) است. کارخانه سازنده دستگاه کلش، دستگاههای نوری جدید با میزچه تصویر دوار، سیستم مشاهده بانوردپولاریزه (تجزیه) شده، سیستم مشاهده P.P.V وسیستم مشاهده تناوبی تصویر نیز ساخته است. در دستگاههای نوری معمولاً از پایه متحرک وسیستم ترسیم منتقیم استفاده شده است. با اتصال پانتوگراف متوازی الاضلاع اضافی به پایه ترسیم امکان تهیه نقشه در مقیاسی بزرگتر یا کوچکتر از مقیاس مدل، و یا تهیه دو نقشه بطور همزمان در دو مقیاس، یکی هم مقیاس مدل ودیگری در مقیاسی غیراز مقیاس مدل، وجود دارد.

ب - دستگاههای مکانیکی مانند A10، A8، A7، B8، B9، AG1 و... ویلد سوییس، تویکارت، بالانیکارت، پلانیمات، استرئومتروگراف و... زایس آلمان و SIId، SIIc، G6،

C7 و... ساخت ایتالیا دارای دو سیستم تصویر مکانیکی مستقل از هم و سیستم مشاهده دارای دید قائم با استفاده از فوروسکوپ سفید (زرد) - که دسته پرتوهای موازی را پس از طی مسیری شکسته و یا عبور از ادوات اپتیکی مختلف، بطور موازی از طریق چشمی ها به چشمهای مشاهده کننده میرسانند - می باشد. سیستم ترسیم قطبی، متوازی الاضلاع، کارترین و مستقیم در دستگاههای مکانیکی کاربرد دارد.

- دستگاههای مکانیکی که به دستگاههای آنالوگ نیز معروفند، متداول ترین دستگاههای اجرایی در ایران می باشند. اندازه دیاپوزیتیو مورد استفاده معمولاً برابر با ضلع قاب دوربین هوایی چاپ می شود تا در دستگاههای مکانیکی قابل کاربرد باشد و فاصله اصلی پروژکتور دستگاه برابر با فاصله کانونی دوربین عکسبرداری هوایی معرفی می شود. امکان تبدیل عکسهای زمینی به نقشه نیز در دستگاههای مکانیکی وجود دارد.

ج - دستگاه C8 زایس، نمونه ای از دستگاههای اپتیکی - مکانیکی است. تعداد این دسته دستگاهها بسیار محدود می باشد. دستگاه C8 دارای سیستم مشاهده با دید قائم و فوروسکوپ سفید (زرد) و سیستم ترسیم کارترین می باشد.

د - دستگاههای تحلیلی تبدیل مانند DSR1، DSR12، DSR13 و DSR15 کرن AC19، BC2، BC3 و ویلد سوییس و... می باشند که شعاعهای نوری و در نتیجه مدل بصورت ریاضی (تحلیلی) تشکیل می شوند. سیستم ترسیم این دستگاهها نیز معمولاً تحلیلی می باشد.

هـ - نمونه دستگاه عددی DSP1 کرن سوییس می باشد که دارای سیستم تصویر و سیستم ترسیم عددی می باشد. در این دستگاهها که امکان رقومی کردن تصویر وجود دارد ترسیم نیز بصورت عددی از مدل رقومی (Digital) انجام می شود. مدل عددی مجموعه ای از ارقام و اعداد و مختصات نقاط مختلف مدل می باشد.

۲-۲ - طبقه‌بندی بر مبنای دقت

دستگاه‌های فتوگرامتری را براساس دقتشان به چهار دسته می‌توان دسته‌بندی کرد:

الف - دستگاه‌های با دقت خیلی بالا و یونیورسال

ب - دستگاه‌های دقیق تبدیل

ج - دستگاه‌های نیمه دقیق توپوگرافی

د - دستگاه‌های تقریبی

الف - دستگاه‌های تحلیلی که برای انجام مثلث بندی و تبدیل مورد استفاده قرار میگیرند مانند DSR های کرن، استرئوکامپاراتورها و مونوکامپاراتور و همچنین دستگاه‌های با سیستم اندازه‌گیری عددی از این دسته دستگاه‌ها می‌باشند. که امکان تهیه نقشه با دقت بالا و در مقیاسهای بزرگ را میسر می‌سازند. دستگاه‌های مکانیکی با دقت بالا که در انجام مثلث بندی و تبدیل بزرگ مقیاس مورد استفاده قرار می‌گیرند مانند A10، A7، A9، A5 ویلد و استرئوپلانیگراف C8، استرئوکارتوگراف مدل IV و V و استرئوتوپوگراف و پلانیمات و پلانیکارت زایس که قطر نقطه شناور آنها حدود ۴ میکرون و کمتر و خطای آنها بیش از ۲۰۰۰ می‌باشد. با این دستگاه‌ها امکان انجام تبدیل خیلی دقیق و مثلث بندی بروش مدل مستقل وجود دارد.

دستگاه‌های A7، A9، A5 ویلد، استرئوپلانیگراف C8، استرئوتوپوگراف و استرئوکارتوگراف V و IV راچون دارای باتر داخل و خارج (امکان تشکیل مدل با پوشش خارجی و داخلی هردو) می‌باشد دستگاه‌های "یونیورسال" گویند. با دستگاه‌های یونیورسال (Universal) امکان انجام مثلث بندی مدل پیوسته وجود دارد. دستگاه‌های یونیورسال به سبب مجهز بودن به باز داخل و خارج گران قیمت می‌باشند.

با این دسته دستگاه‌ها می‌توان نقشه‌های به مقیاس ۸ تا ۱۰ برابر مقیاس عکس تهیه کرد بدون اینکه از دقت مسطحاتی کاسته شود.

ب ـ دستگاههای دقیق تبدیل مانند A8 و بلید استرئوتوپوگراف زایس، SIIA و SIIB و G7 سنتونی و PG3 کرن سویس هستند که نظر نقطه شناور آنها ۴۰ تا ۶۰ میکرون و CF آنها ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ می باشد. از این دستگاهها برای تهیه نقشه های تا بزرگ مقیاس نیز میتوان استفاده کرد. در تبدیل عکس به نقشه می توان نقشه ای در مقیاس تا ۸ برابر مقیاس عکس، بدون آنکه از دقت مطلوبی آن کاسته شود، تهیه نمود. از این دسته دستگاهها برای انجام مثلث بندی بروش مدل مستقل یا نمه مستقل (با برخی از دستگاهها) برای تهیه نقشه های متوسط و کوچک مقیاس استفاده کرد.

ج ـ دستگاههای توپوگرافی یا دستگاههای نیمه دقیق مانند B8، A7 و B9 و بلید سویس، SIIC، G6 سنتونی ایتالیا، PG2 کرن سویس و بلانیتاب و توپوکارت زایس آلمان، دستگاههای نوری کلش، مولتی پلکس و بالپلکس آمریکایی و امی ساخت فرانسه، دارای نقطه شناور ۶۰ تا ۱۰۰ میکرون و C فاکتور ۶۰۰ تا ۱۵۰۰ می باشند. این دسته دستگاهها برای تهیه نقشه های متوسط و کوچک مقیاس مناسب می باشند و توسط آنها می توان مقیاس نقشه را حداکثر تا ۵ برابر مقیاس عکس بزرگ کرد. انجام مثلث بندی برای تبدیل عکس به نقشه های کوچک مقیاس را می توان با این دستگاهها انجام داد. بدین منظور باید دستگاه را مجهز به وسیله ای جهت قرائت مختصات نمود و یا مختصات را بطریقه گرافیکی (استفاده از شبکه بندی و مختصات گذاری شده در مقیاس مشخص) بدست آورد.

د ـ دستگاههای تقریبی مانند استرئومیکرومتر، استرئوتوپ و استرئوفلکس برای تهیه نقشه در مقیاس عکس یا کوچکتر از مقیاس عکس مناسب و ارزان ترین نوع دستگاهها می باشند.

توجیه داخلی

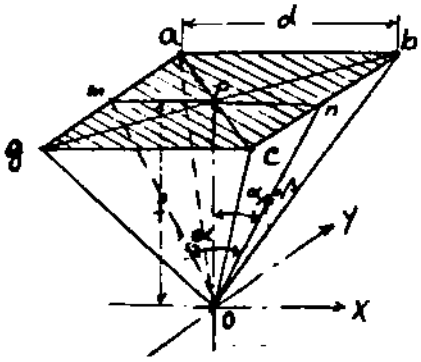
برای تشکیل مدلی سه بعدی متشابه با زمین از روی تصویر مجاور، در تبدیل عکس به نقشه، باید با انجام توجیه هایی شرایط هندسی عکسبرداری به روی تصاویر مثبت یا منفی مستقر در پروژکتورهای دستگاه تبدیل، معرفی شود. با انجام هر توجیه، بخشی از شرایط هندسی عکسبرداری به دستگاه (به تصاویر) معرفی می شود.

در بعضی از دستگاه ها امکان تبدیل تصاویر منفی نیز وجود دارد، ولی چون معمولاً از تصاویر مثبت چاپ شده بر روی فیلم یا شیشه که به "دیاپوزیتیو" معروف است استفاده می شود از این پس بجای تصویرهای مورد استقرار در دستگاه کلمه دیاپوزیتیو آورده می شود.

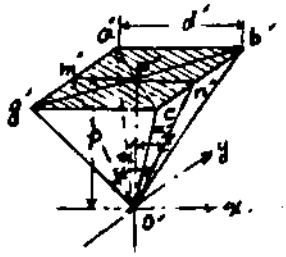
اولین قدم در معرفی شرایط هندسی، دوباره سازی دسته شعاعهای نوری زمان عکسبرداری در سیستم تصویر دستگاه است که در مرحله توجیه داخلی صورت می پذیرد.

۱- تعریف

معرفی شرایط هندسی بخش داخلی دوربین عکسبرداری (شرایط هندسی داخل مخروط حاوی شعاعهای نوری) را به پروژکتور (سیستم تصویر) دستگاه، "توجیه داخلی" (Interior Orientation) گویند. بعبارت دیگر با انجام توجیه داخلی، هرم تشکیل یافته از پرتوهای نوری هر سیستم تصویر دستگاه به قاعده دیاپوزیتیو متشابه با هرم نوری نظیر آن در دوربین عکسبرداری به قاعده قاب دوربین می شود. یعنی زاویه شعاع نوری هر نقطه از تصویر با امتداد محور قائم پروژکتور باید برابر با زاویه شعاع نوری نظیر آن در زمان عکسبرداری با محور عکسبرداری شود.



الف - هرم نوری بخش داخلی دوربین عکسبرداری



ب - هرم نوری سیستم تصویر بردز کتور دستگاه

(شکل ۱)

هرم مربع القاعده و منتظم تشکیل یافته از دسته شعاعهای نوری تصویر کننده در دوربین عکسبرداری، با توجه به عوامل تعیین کننده شرایط هندسی دوربین عکسبرداری ساخته می‌شود (شکل ۱- الف). ملاحظه می‌شود که با تغییر فاصله کانونی عدسی، یا اندازه و اضلاع قاب دوربین عکسبرداری و یا در مرکز قاب نبودن نقطه اصلی، زوایای شعاعهای نوری تصویر کننده با محور عکسبرداری تغییر می‌کند از جمله زاویه عکسبرداری.

در مثلث قائم‌الزاویه opn داریم:

$$tg\beta = tg\frac{\alpha}{2} = \frac{\overline{pn}}{\overline{op}} = \frac{d}{2f}$$

با توجه به رابطه فوق (شکل)، در صورت مرکز نبودن نقطه اصلی $\beta \neq \frac{\alpha}{2}$ و در صورت تغییر فاصله کانونی یا ضلع قاب زاویه α تغییر می‌یابد. در هرم نوری دوربین عکسبرداری فاصله کانونی $\overline{op}=f$ ارتفاع وارد بر قاعده می‌باشد.

دو هرم الف و ب شکل ۱، در صورتی متشابه می‌باشند که زوایای نظیر مساوی شوند یعنی:

$$\alpha = \alpha' \quad , \quad \alpha/2 = \alpha'/2 \quad \rightarrow$$

این قاعده هرم نیز باید مربع و هرم منتظم هم باشد. در نتیجه از تشابه دو مثلث opn و $o'p'n'$ که از فرض تشابه هرمها برقرار است داریم:

اگر هرم ب، هرم نوری تشکیل یافته در پردز کتور دستگاه باشد ($\overline{o'p'}$ = فاصله اصلی پردز کتور) می‌باشد در نتیجه:

$$\frac{\overline{pn}}{\overline{op}} = \frac{\overline{p'n'}}{\overline{o'p'}}$$

$$\frac{d}{2f} = \frac{d'}{2p}$$

$$\rightarrow \quad \frac{d}{f} = \frac{d'}{p}$$

~~پس برای ساختن هرم نوری سیستم تصویر دستگاه با هرم نوری بخش داخلی دوربین عکسبرداری با فاصله~~
کانونی f و قاب به ضلع d باید دو مرحله زیر را انجام گیرد: ـــــ ـــــ

ـــ الف ـ منتظم ساختن هرم نوری مربع القاعده یا مرکزیت دادن (سنتر کردن)

ـــ هرمی منتظم است که ارتفاع آن از مرکز قاعده اش بگذرد. پس باید دیافوزیتو را چنان در قاعده هرم نوری سیستم تصویر (در قاب پروژکتور) قرار داد که امتداد قائم از مرکز دیافوزیتو بگذرد ـ چون محور عکسبرداری به مرکز قاب دوربین (مرکز تصویر منفی) عمود می باشد ـ این عمل را مرکزیت دادن به تصویر مثبت و یا سنتر کردن (Centering) می گویند.

ـــ برای سنتر کردن باید دیافوزیتو را چنان بر قاب پروژکتور مستقر کرد که مرکز دیافوزیتو بر مرکز قاب حامل آن منطبق شود زیرا محور قائم سیستم تصویر پروژکتور هر دستگاهی که منظم باشد از مرکز قاب حامل تصویر خواهد گذشت. ـــ ـــ ـــ ـــ

ـــ ب ـ معرفی فاصله اصلی پروژکتور (ارتفاع هرم)

ـــ حال برای برقرار نمودن نسبت تشابه دو هرم، یعنی: ـــ ـــ $\frac{p}{f} = \frac{d'}{d}$

اگر ابعاد دیافوزیتو با ابعاد قاب دوربین عکسبرداری (منفی) برابر باشد $(d = d')$، کافیست که ارتفاع هرم برابر با فاصله کانونی دوربین عکسبرداری در نظر گرفته شود $(p = f)$. بعبارت دیگر فاصله کانونی دوربین عکسبرداری را به هر یک از سیستم های تصویر دستگاه باید معرفی نمود. در این حالت فاصله نقطه مرکز تصویر تا صفحه تصویر مثبت در سیستم تصویر برابر با فاصله کانونی دوربین عکسبرداری شده است.

ـــ در صورتیکه لازم باشد دیافوزیتو مورد استفاده به نسبت مشخصی کوچکتر یا بزرگتر از اندازه قاب دوربین هوایی چاپ شود باید نسبت رو برو برقرار باشد: $\frac{p}{f} = \frac{d'}{d} = n$

این در حالتی اتفاق می افتد که قاب پروژکتور دستگاه (فاصله اصلی پروژکتور) نه کوچکتر از مقادیر نظیر از دوربین عکسبرداری باشند مانند دستگاه مولتی پلکس و بالپلکس که این عناصر کوچکترند. $\frac{d'}{p} = \frac{d}{f}$

برای کامل بودن توجیه داخلی علاوه بر انجام مراحل ذکر شده باید نحوه استقرار دیاپوزیتیو از نظر نوع پوشش و سمت لایه حساس صحیح باشد و همچنین خطای اعوجاج عدسی دوربین عکسبرداری نیز حذف شود تا بتوان مدلی سه بعدی و مستقیم از منطقه مشترک دو دو دیاپوزیتیو تشکیل داد.

چون توجیه داخلی هر پروژکتور مستقل از دیگری است پس در شروع کار تبدیل باید توجیه داخلی را برای هر دو سیستم تصویر (دو دیاپوزیتیو مورد استقرار در دستگاه) بطور جداگانه انجام شود. مراحل و نحوه اجرای توجیه داخلی برای هر پروژکتور بطور کامل در زیر آورده می شود.

۳- نحوه انجام توجیه داخلی

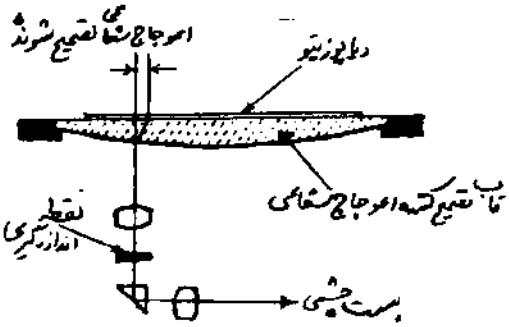
در هنگام اجرای توجیه داخلی نکات و مراحل زیر باید در نظر گرفته شوند.

۳-۱: حذف خطای اعوجاج شعاعی عدسی دوربین عکسبرداری

سه اینچ تصاویر تشکیل دهنده مدل باید عاری از خطاهای عکسبرداری از جمله خطای اعوجاج شعاعی عدسی دوربین عکسبرداری باشند. این خطا را به چند طریق می توان حذف کرد. هر کارخانه سازنده دستگاه فتوگرامتری روشی را برای رفع این خطا در نظر گرفته است.

الف- استفاده از تاب تصحیح کننده

تاب تصحیح کننده خطای اعوجاج عدسی دوربین تابلاست که یکی از سطوح شیشه آن تحت فشار و سطحی کروی می باشد. میزان کرویت این شیشه با میزان اعوجاج شعاعی عدسی دوربین متناسب است. بعضی از کارخانه های سازنده مانند ویلد، تاب های اضافی



(شکل ۲۰)

برای هر دستگاه سنتوتئودلیتی یک تابهای شیشه‌ای با طرح کروی می‌باشد. از این تابها به دو صورت می‌توان استفاده نمود.

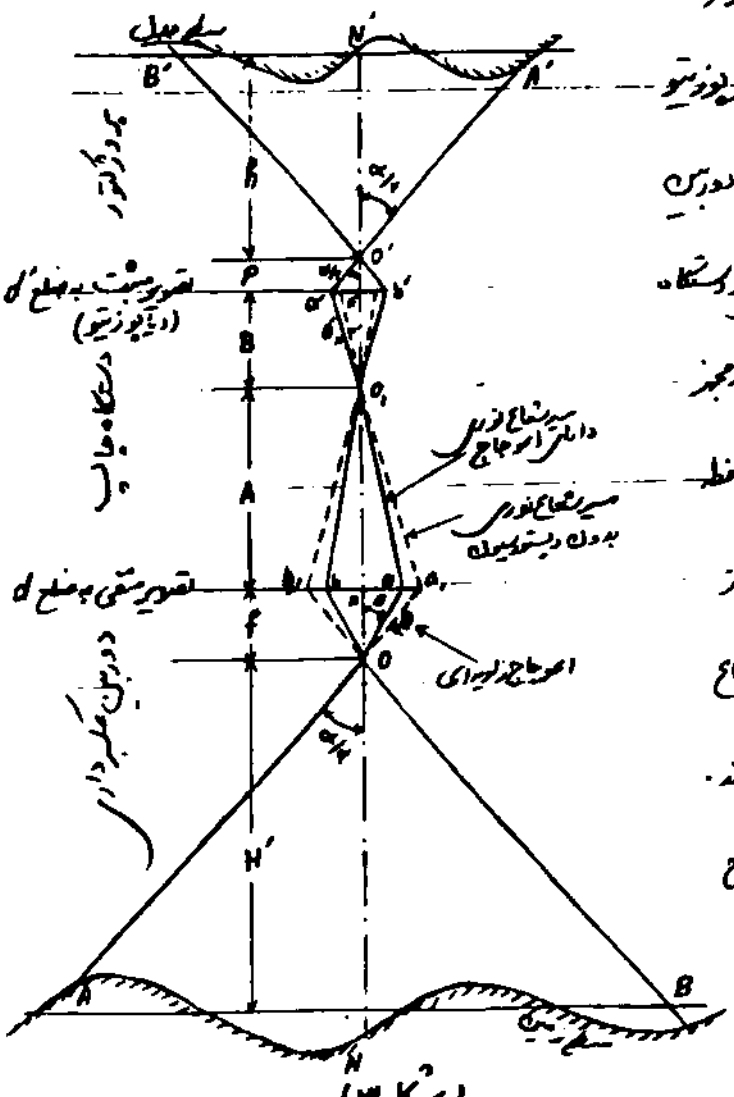
۱- استفاده از تابهای شیشه کروی بجای تابهای معمولی (با شیشه تخت) جهت استقرار دیاپوزیتیو در دستگاه مثلث بندی یا تبدیل (شکل ۲۰).

چون این تابها به سبب دارا بودن شیشه‌ای ضخیم معمولاً خیلی سنگین‌تر از تابهای معمولی دستگاهها می‌باشند، ممکن است نامربوط به بعضی از حرکتهای دستگاهی قدرت ایجاد تغییر مکان در آنرا نداشته باشد.

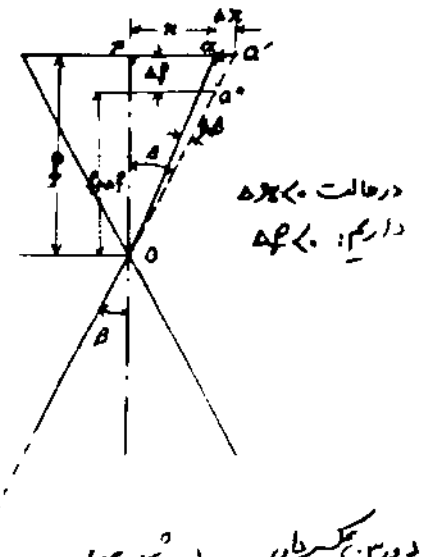
۲- استفاده از تاب تصحیح کننده خطای اعوجاج شعاعی در زمان چاپ دیاپوزیتیو،

در صورتیکه از فیلم منفی اصلی پس از استقرار بر روی چنین تابی مجدداً عکسبرداری شود دیاپوزیتیو چاپ شده عاری از خطای اعوجاج شعاعی عدسی دوربین خواهد بود. شکل رو برو، سیر شعاعهای نوری را در دستگاه چاپ کوچک کننده دیاپوزیتیو را نشان می‌دهد که مجهز به تاب (یا عدسی) تصحیح کننده اعوجاج می‌باشد. ملاحظه می‌شود که شعاعهای نوری تصویر کننده از فیلم منفی به مرکز تقارب میرسند از مسیر خود متناسب با هوای از شعاع حرکتی منحرف می‌شود (زاویه θ) و به دیاپوزیتیو میرسند. این تغییر مسیر باید متناسب بوده در جهت مخالف اثر اعوجاج عدسی دوربین عکسبرداری باشد. $\theta = \frac{\alpha}{2} - \theta$

$$\frac{A}{B} = \frac{d}{d'} = \frac{f}{P} = \frac{H'}{h} \quad \leftarrow \quad N\hat{O}A = N'\hat{O}A' = \frac{\alpha}{2}$$



(شکل ۲۱)



(شکل ۴)

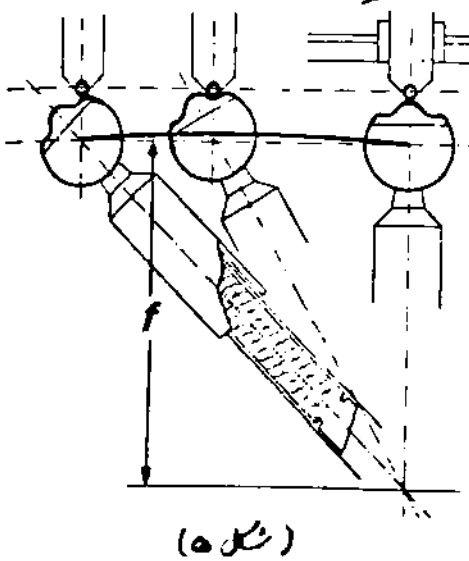
دیدیم که جابجایی تصویری ناشی از اعوجاج شعاعی متقارن عدسی دوربین عکسبرداری در هر نقطه، در امتداد شعاع برگرفته از نقطه اصلی و مقدار آن تابعی غیر خطی از فاصله شعاعی است به معادله $\delta r = k_0 r^3 + k_1 r^5 + k_2 r^7 + \dots$ که k_0 و k_1 و k_2 و ... پارامترهای اعوجاج شعاعی متقارن، r و δr به ترتیب فاصله شعاعی و جابجایی تصویری شعاعی نقطه‌ای مانند a (تصویر A) می‌باشند. اگر f فاصله کانونی دوربین عکسبرداری باشد طبق شکل ۴، ملاحظه می‌شود که می‌توان خطای تصویری δr را ناشی از تغییر فاصله کانونی دوربین به اندازه δf دانست که از تشابه داریم:

$$\frac{\delta r}{(r-\delta r)+r} = \frac{\delta f}{f} \rightarrow \delta f = \frac{\delta r}{r-\delta r}\cdot f$$

و $\delta f \simeq \delta r$ و $\delta r > 0$ می‌باشد.

پس برای حذف خطای اعوجاج شعاعی δr (A) در دوربین عکسبرداری در موقعیت تصویری نقاط، می‌توان بجای ایجاد تغییر مسیر در امتداد شعاعهای نوری، فاصله کانونی دوربین عکسبرداری را تغییر یافته $(f+\delta f)$ فرض کرد و در نتیجه در فاصله اصلی معرفی شونده به دستگاه تبدیل، تغییر ایجاد نمود.

کارخانه گالیله ایتالیا در دستگاههای ستونی، چنین روشی را برای حذف خطای اعوجاج عدسی دوربین عکسبرداری برگزیده است. بدین منظور با دادگاهی با سطح کروی در دستگاه تعبیه شده است که با توجه به میزان اعوجاج عدسی، می‌توان سطح کروی آنرا توسط ماشین تراش مخصوصی، تراش داد. تا در ضمن حرکت صفحه دیاپوزیتیو، با ایجاد تغییر در فاصله نقطه مرکز تصویر تا سطح تصویر متناسب با تغییر δr نسبت به r در هر نقطه سطح تصویر ایجاد شده، دیگر صفحه‌ای نبوده و کروی شود (شکل بعد رو).



(شکل ۵)

در حالت کلی اگر هر فاصله اصلی مورد نظر جهت معرفی به پروژکتور دستگاه (که ممکن است $f \neq f$ و یا به نسبت شش

اگر از عدسی ای دارای خطای اعوجاج مساوی خطای اعوجاج دوربین عکسبرداری ولی در جهت مخالف آن، در دستگاه تبدیل و یا در دستگاه چاپ دیاپوزیتیو استفاده شود، چون پرتو نورهای عبور کننده از مرکز عدسی، از راستای خود در جهت مخالف و بمیزان مساوی با زمان عکسبرداری منحرف می شوند، جایابی تصویری حاصل از اعوجاج عدسی دوربین عکسبرداری را از بین برده و تصویر حاصله در سیستم تصویر دستگاه یا دیاپوزیتیو چاپ شده عاری از خطای تصویری مذکور خواهد شد.

۲-۲ : نحوه استقرار دیاپوزیتیو

در استقرار زوج دیاپوزیتیو ها در برروی تابلهای پروژکتور دستگاه، دو نکته زیر باید در نظر گرفته شود.

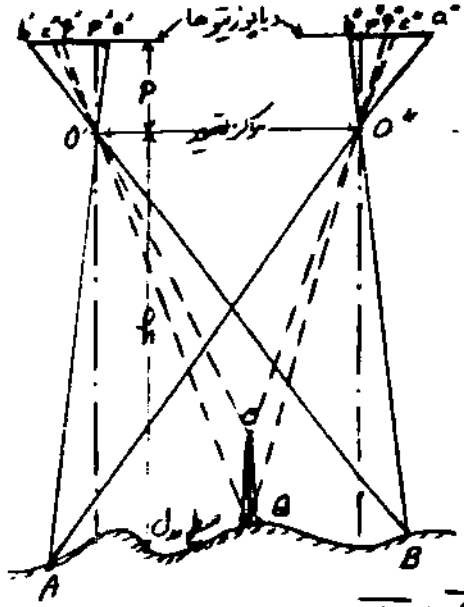
الف - پوشش دستگاهی

برای استقرار دیاپوزیتیو ها در دستگاه باید بدانیم که کدام دیاپوزیتیو در پروژکتور سمت راست و کدام یک در پروژکتور سمت چپ و ضمناً در چه سمتی باید قرار داده شوند. تا بتوان تصاویر سمت مشترک را منطبق برهم دید.

اولاً، دیاپوزیتیو ها برروی تابلهای پروژکتورها، با توجه به طرز قرارگرفتن تابلها در پروژکتور (تابلها قابل تصویر فقط بیک صورت می توانند در پروژکتور مستقر شوند)، چنان باید قرار داده شوند که امتداد پرواز از دو تصویر در یک راستا و در امتداد محورهای X سیستم های تصویر دستگاه قرار گیرند.

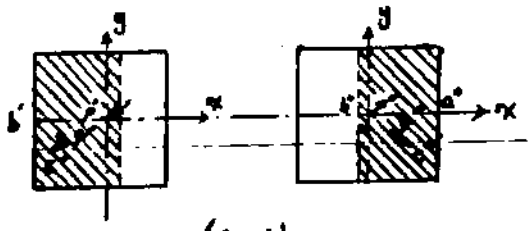
ثانیاً، پوشش صحیح در دیاپوزیتیو ها (پوشش داخلی یا پوشش خارجی) باید رعایت شود. کلیه دستگاههای پیشرفته امروزی، فقط با یک نوع پوشش قابل استفاده می باشند.

پوشش هر دو تصویر منفی مجاور در دو نقطه کلیه داری نسبت به خارجی (پوشش منفی) است. در اینحالت مراکز تصویر بین صفحات تصویر در زمین قرار دارند با اضافه شدن ارتفاع ناصله x (پارالاکس x) تصاویر نظیر افزایش می‌یابد.



$h_c > h_o$ (الف)

در دستگاه‌های قدیمی نیز که مانند زمان کلیه داری مراکز تصویر بین صفحات تصویر (یا پوزیتوها) و سطح مدل قرار می‌گیرند چون با افزایش ارتفاع، پارالاکس x اضافه می‌شود پوشش دو پایه زیتوها باید بصورت خارجی (منفی) قرار گیرد (شکل ۶).

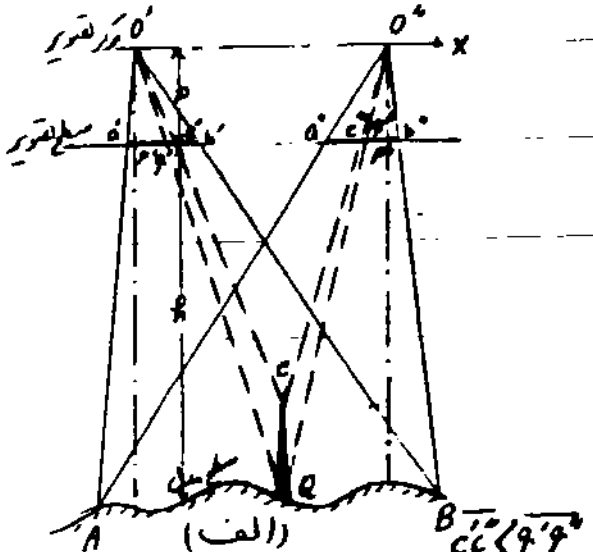


(ب)

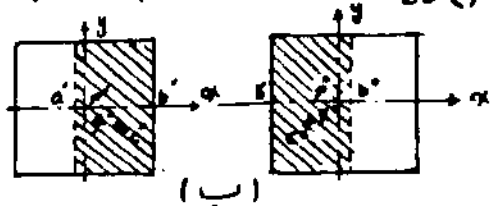
(شکل ۶)

در حالتیکه با افزایش ارتفاع، پارالاکس x کم شود پوشش دستگاه داخلی (پوشش مثبت) است.

در صورتی که تغییر ارتفاع مستقیماً به تغییر پارالاکس x انتقال یابد برای برقراری پوشش داخلی طبق شکل ۷ ملاحظه می‌شود که باید مراکز تصویر نسبت به صفحات تصویر و سطح مدل در یک طرف قرار گیرند نه در میان آنها. در دستگاه‌های مکانیکی با ملاحظه موقعیت اتصالات مراکز تصویر، تصویرها و مدل مکانیکی وجهت تغییر پارالاکس x نسبت به تغییر ارتفاع، به نوع پوشش دستگاه می‌توان پی برد.



(الف)

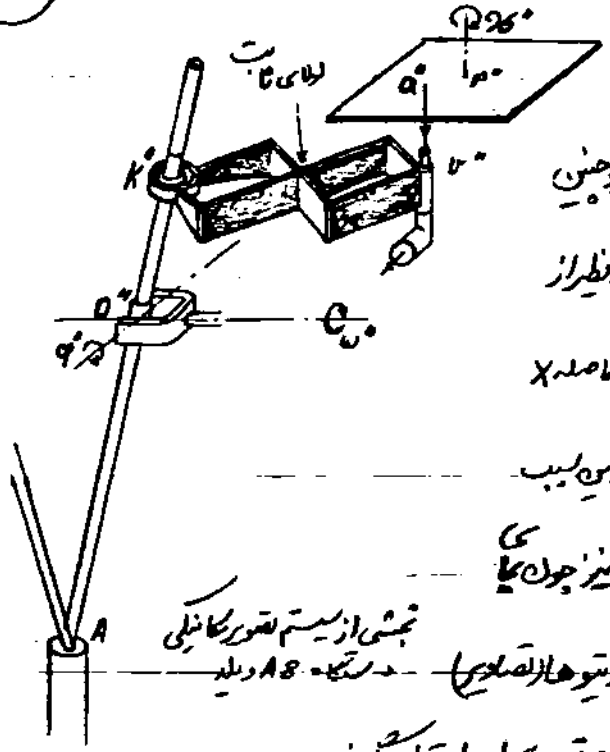


(ب)

(شکل ۷)

علاوه بر رعایت الزامی پوشش صحیح و استاد صحیح در استقرار دیاپوزیتوها، بهتر است دیاپوزیتوها شماره کمتر در پروژکتور سمت چپ قرار داده شود.

~~البته استثناءهایی وجود دارد که در این دستگاه‌ها تغییر ارتفاع بطور معکوس به تغییر پارالاکس X~~
انتقال داده می‌شود. مانند دستگاه A8 ویلد (شکل ۸) ـ اشکال ۶ و ۷ از محض بیم نحوه ارتباط
مستقیم تغییر P_x را با تغییر ارتفاع مرتب در پوشش خارجی و داخلی نشان میدهند. در دستگاه A8 ویلد یکبار



هر میله اتصال از دو متوازی السطوح که در یک بال (لولای ثابت)
در دو وجه مشترک استفاده شده است (شکل ۸). وجود چنین
بازوی اتصالی باعث می‌شود که با زیاد شدن فاصله X نقاط نظیر از
میله‌های فضایی (کادر K) در اثر افزایش ارتفاع نقطه A، فاصله X
دو تلسکوپ گیرنده تصویر (P_x) دو نقطه اندازه‌گیری کم شود بدین سبب
پوشش دستگاه داخلی است. در دستگاه‌های سنتوئی SII نیز چون یکبار
اینکه تغییر پارالاکس X به نقاط اندازه‌گیری معرفی می‌شود به دیاپوزیتیوهای (تصاویر)
معرفی می‌شود پوشش داخلی است با وجود یکه مراکز تصویر بین سطوح تصویر و سطح مدل قرار می‌گیرند.

(شکل ۸)

ب ـ سمت لایه حساس (سمت حاوی تصویر)

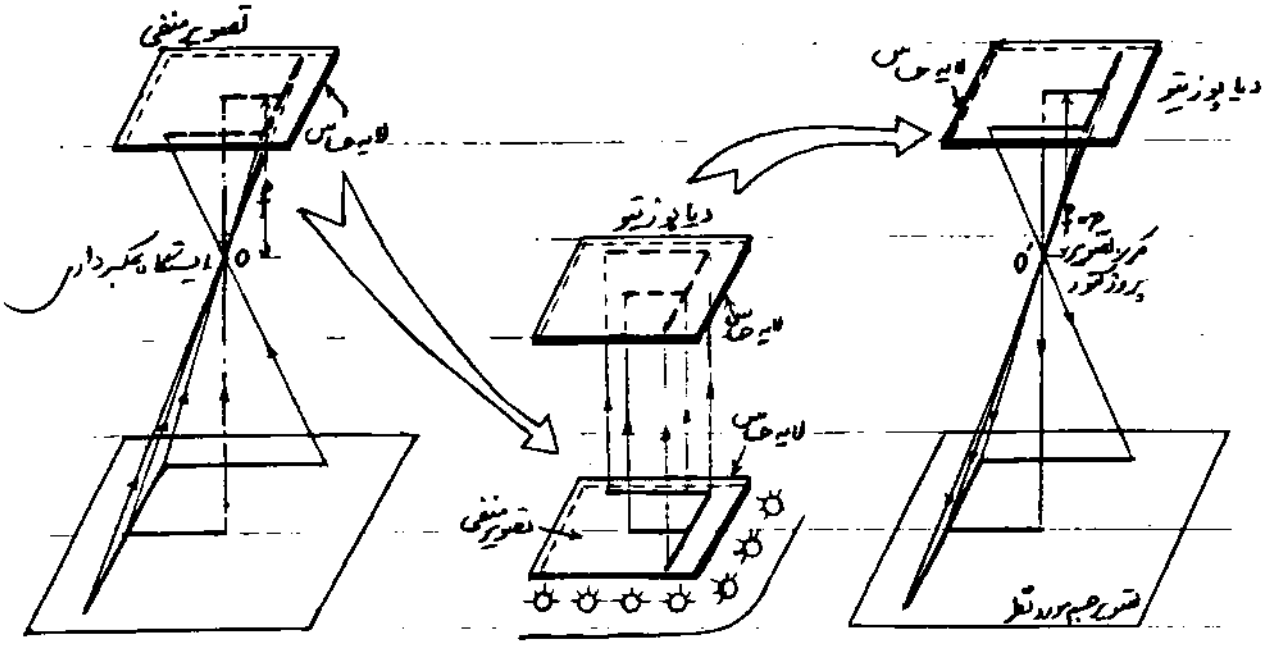
چون معمولاً از دیاپوزیتیوهای شفاف (تصویر چاپ شده بر روی شیشه یا فیلم) در دستگاه
استفاده می‌شود، بهر صورت که دیاپوزیتیو قرار گیرد پرتو نورها از آن عبور کرده و تصویر
قابل رویت خواهد بود حتی اگر سمت تصویر درست تنظیم نشده باشد که در اینصورت تصویر (مدل)
مورد مشاهده نسبت به عکس (تصویر مثبت چاپ شده روی مقوا) یا سطح زمین واقعی وارونه خواهد
بود که برای مستقیم شدن تصویر باید دیاپوزیتیو را وارونه کرد. در صورتی تصویر مورد مشاهده
مستقیم و دارای دید صحیح می‌باشد که درست مانند عکس دیده شود. بعبارت دیگر شماره آن
در هنگام مشاهده تصویر، بطور مستقیم قابل قرائت باشد.

برای دانستن اینکه لایه حساس دیاپوزیتیو به چه سمت (به سمت بالا یا پائین) باید قرار گیرد،

لازم است که بدانیم دیاپوزیتیو به چه روشی چاپ شده است.

---- اگر چاپ دیاپوزیتیو به روش چاپ کنتاکت و بصورت انطباق لایه حساس بر لایه حساس منفی انجام گرفته باشد، دیاپوزیتیو حتماً باید در دستگاه قرار گیرد که سمت لایه حساس (تصویر) آن به سمت منبع نور دستگاه قرار گیرد، زیرا در واقع مثل این است که به تصویر از موقعیت منبع نور نگاه می شود یعنی جاهایی در محل منبع های نوری و پرتوهای نوری جای شعاعهای دیدگانی می باشند.

عکس نیز چون بهمین روش بر روی مقوا، چاپ می شود با مشاهده به سمت حاوی لایه حساس آن، تصویر و شماره آن مستقیم دیده می شوند. اشکال زیر نحوه چاپ کنتاکت و جهت لایه حساس را در سه مرحله عکسبرداری، چاپ و تشکیل تصویر در دستگاه نشان میدهند.



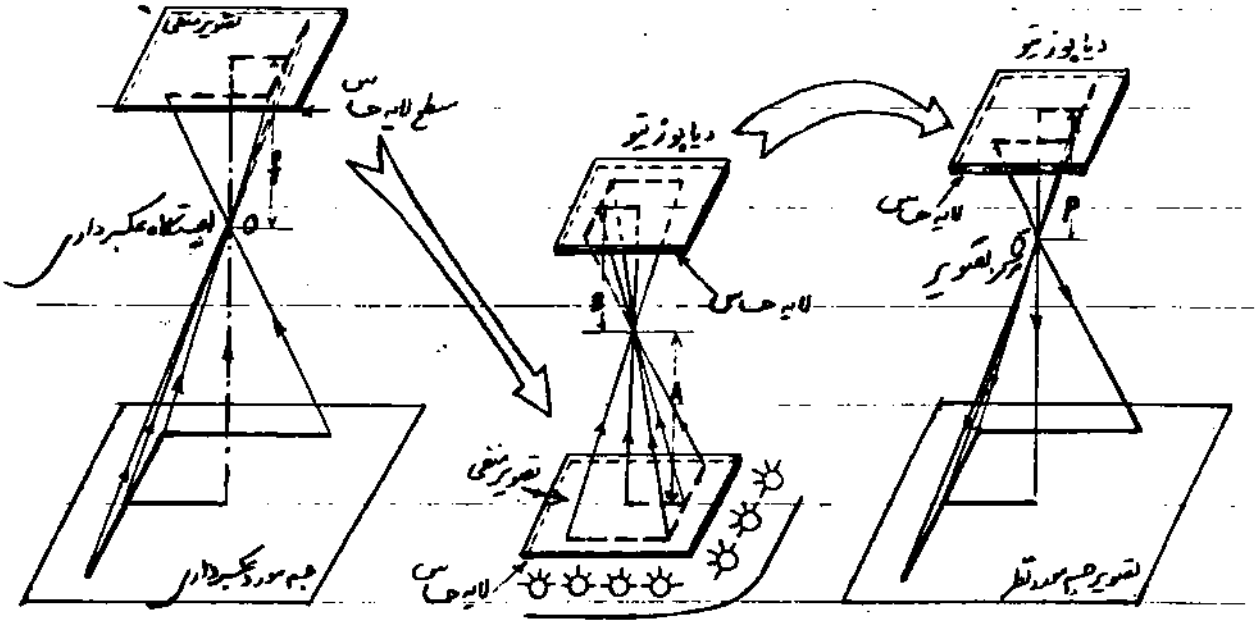
(شکل ۹)

در صورتیکه دیاپوزیتیو به ابعاد کوچک یا بزرگ شده مورد نیاز باشد برای چاپ آن از دستگاه تغییر دهنده مقیاس با سیستم تصویر مرکزی استفاده می شود که در این حالت با توجه به شکل ۱۰، لایه حساس دیاپوزیتیو (تصویر) باید در سمت مخالف منبع نور قرار داده شود.

از این روش چاپ معمولاً برای تهیه دیاپوزیتیوهای کوچک شده مورد نیاز برای دستگاههای

نوری مثل مواقع بکس یا بالبلکس استفاده می شود.

دیاپوزیتیو مورد کاربرد در برخی از دستگاهها نمی تواند از جنس فیلم باشد زیرا باید داخل قاب مربع شکل مستقر شده و توسط فنرهایی از کناره نگاهداشته شود. پس دیاپوزیتیو فقط باید برروی شیشه چاپ شود و چون نور در عبور از شیشه می شکند بهتر است که دیاپوزیتیو بصورتی چاپ شود که سمت لایه حساس درست مخالف منبع قرار گیرد تا نور ابتدا به سطح شیشه ای برخورد کرده شکست را انجام دهد و سپس از سطح تصویر بگذرد.



(شکل ۱۰)

با توجه به شکل ۱۰ ملاحظه می شود که بعد دیاپوزیتیوها چاپ شده به این روش، اگر از سمت شیشه (فیلم) نگاه شود تصویر روشنایی آن مستقیم دیده می شود و با مشاهده از سمت لایه حساس تصویر روشنایی دیاپوزیتیو وارونه دیده خواهد شد.

در اکثر دستگاههای تبدیل این روش را می توان بعنوان یک اصل مورد اجرا قرار داد یعنی لایه حساس دیاپوزیتیو از سمت منبع نور مورد مشاهده قرار گیرد.

در برخورد با دستگاه جدید و ناآشنایی، بهتر است که برای حصول اطمینان از برقراربودن

~~اصل مذکور در فوق، صحت کار با مستقیم دیدن لقمه و ارتفاع شماره آن از طریق سیستم~~
~~مشاهده، مورد آزمایش قرار گیرد.~~

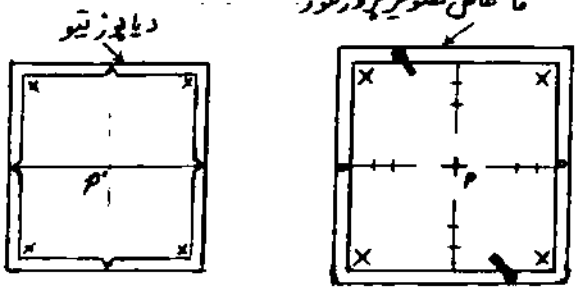
۳-۳: سنتر کردن

دیدیم که با برقرار کردن شرایط هندسی پرتو نورهای لقمه برگشته عکسبرداری، در دستگاه شعاعهای نوری سیستم لقمه دستگاه، زاویه هر شعاع نوری با محور قائم سیستم لقمه، برابر با زاویه شعاع نظیر آن با محور عکسبرداری می‌شود.

- چون محور عکسبرداری در نقطه اصلی بر صفحه فیلم منفی عمود است پس شعاع نوری نظیر آن که محور قائم است باید از مرکز دیاپوزیتیو بگذرد.

- یکی از تنظیم‌های دستگاه‌هایی که باید هر چند وقت یکبار کنترل و در صورت نیاز تصحیح شود، محور عمود قائم سیستم لقمه از مرکز قاب حامل لقمه پروژکتور است. پس در صورت تنظیم بودن دستگاه، کافیست که مرکز دیاپوزیتیو بر مرکز قاب حامل آن منطبق شود.

- اگر در مرکز دیاپوزیتیو علامتی برای ارائه دادن نقطه مرکزی آن وجود داشته باشد می‌توان با جایگزین کردن دیاپوزیتیو در دو جهت X و Y، مرکز آن را بر نقطه مرکزی قاب حامل آن قرارداد. (در مرکز دیاپوزیتیوهای کوچک شده معمولاً علامت + حاک می‌شود).



(شکل ۱۱)

- در صورتیکه دیاپوزیتیو دارای علامتی در مرکز خود نباشد باید علائم کناری (گوشه‌ای) دیاپوزیتیو را بر علائم کناری (گوشه‌ای) قاب حامل آن منطبق نمود؛ زیرا با این عمل، محل برخورد این علائم از دو صفحه (که نشاندهنده نقطه مرکزی می‌باشند) نیز

~~بر کلید گیر منطبق خواهند شد (شکل ۱۱)~~

پس از گذاردن قاب حامل تصویر بر روی میز روشن، دیاپوزیتیو مورد نظر را در جهت صحیح بر روی آن مستقر می‌کنیم به‌نحوی که به‌گس ذره‌بین‌هایی (که دارای بزرگنمایی می‌باشند) می‌توان علائم کناری (یا گوشه‌ای) متناظر از دیاپوزیتیو و قاب حامل را به بهترین صورت ممکن، بر کلید گیر منطبق کرد.

برای اینکه انطباق علائم کناری نظیر به طور دقیق بتواند انجام گیرد باید سطح تصویر (لایه حساس) از دیاپوزیتیو را (مخصوص وقتی که از دیاپوزیتیو شیشه‌ای استفاده می‌شود) بر سطحی از شیشه قاب حامل تصویر که دارای خطوط و علائم حک شده سیاه رنگ می‌باشد، منطبق نمود. عمل لنت کردن در مورد هر دو دیاپوزیتیو باید انجام شود.

۴-۳ : معرفی فاصله اصلی سیستم تصویر

دیدیم که برای ساختن هرم متشکل از شعاعهای نوری سیستم تصویر به فاصله d' دیاپوزیتیو به ضلع p' و ارتفاع هرم (فاصله اصلی سیستم تصویر) با هرم نظیر آن در زمان عکسبرداری به فاصله d قاب دوربین به ضلع p و ارتفاع f (فاصله کانونی دوربین) نسبت دو برد باید برقرار باشد (شکل ۳ در همین فصل).

$$\frac{p}{f} = \frac{d'}{d} \qquad \ldots\ldots$$

اگر دیاپوزیتیو با ابعاد d و با منیم منفی چاپ شود $d' = d$ ← $p = f$ می‌شود. در این حالت فاصله کانونی دوربین عکسبرداری را اعیناً باید به فاصله اصلی هر دو پروژکتور دستگاه معرفی کرد.

در هر دستگاه وسیله و طریقه خاصی برای معرفی فاصله اصلی پروژکتور در نظر گرفته شده است. میدان تغییرات فاصله اصلی در دستگاههای مختلف متفاوت است. پس عکسها باید در دستگاهی تبدیل شوند که فاصله کانونی دوربین هوایی مورد استفاده در عکسبرداری، در میدان تغییرات فاصله اصلی دستگاه قرار داشته باشد. در غیر اینصورت باید دیاپوزیتیوها نسبتی کوچک یا بزرگ شوند تا با توجه به حفظ نسبت فوق، d' بدست آمده کوچکتر از اندازه قاب پروژکتور دستگاه و هر محاسبه شده هم در حد میدان تغییرات فاصله اصلی پروژکتور باشد.

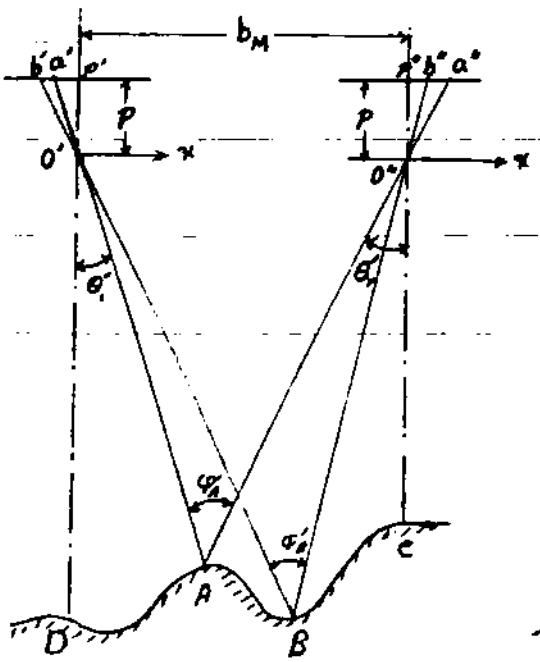
در دستگاههایی که فاصله اصلی ثابت است، بالنت کردن دیاپوزیتیو به ضلع $d' = \frac{d \cdot p}{f}$، توجیه داخلی به انجام می‌رسد.

توجیه نسبی

۱- مقدمه

پس از آنکه دو سیستم تصویر (پروژکتورها) از نظر داخلی دارای شرایط هندسی بخش داخلی دوربین عکسبرداری شدند، باید از نظر موقعیت زاویه‌ای نسبت بهم توجیه شوند تا مدل سه بعدی تشکیل یابد و مدل سه بعدی درصورتی تشکیل خواهد شد که دو سیستم تصویر (یا دو صفحه دیاپوزیتیو) نسبت بهم همان زوایایی را که دو وضعیت دوربین هوایی در دو لحظه عکسبرداری (یا دو صفحه فیلم منفی) نسبت بهم داشتند، دارا شوند.

فرض میدانیم که دو تصویر نظیر درصورتی به مدل سه بعدی تبدیل می‌شوند که با مشاهده برجسته بینی هر یک دیگر منطبق دیده شوند و انطباق تصاویر نظیر درصورتی برقرار می‌شود که دسته شعاعهای نظیر مربوط به آنها، یکدیگر را قطع کنند تا از هر نقطه فقط یک تصویر دیده شود. پس می‌توان گفت که با متقاطع شدن شعاعهای نوری نظیر، دو سیستم تصویر (دو دیاپوزیتیو) نسبت بهم توجیه شده‌اند.



(شکل ۱)

با توجه به شکل روبرو میدانیم که شعاعهای نوری هر سیستم تصویر از نقطه‌ای که مرکز تصویر آن سیستم است می‌گذرند. دو مرکز تصویر با یکدیگر فاصله‌ای در امتداد محور x دارند که باز مدل (b_M) می‌باشد. شعاعهای نوری پس از عبور از مرکز تصویر، در راستای خود امتداد می‌یابند. چنانچه توجیه داخلی (از نظر پوشش) صحیح انجام شده باشد، شعاعهای نوری نظیر مربوط به هر نقطه مشترک، لزوماً امتداد می‌یابند که از نظر فاصله x

به یکدیگر نزدیک می‌شوند بطوریکه در فاصله‌ای از مراکز تصویر، فاصله x شعاعهای نظیر صفر خواهد شد و پس از آن فاصله شعاعهای نظیر از یکدیگر دور می‌شوند. در صورت عدم وجود اختلاف y (P_y) بین شعاعهای نظیر، شعاعها یکدیگر را در سطحی که اختلاف x آنها صفر است ($P_x = 0$) قطع خواهند کرد. در غیر اینصورت هر زوج شعاع نظیر دو خط متنافر در فضا می‌باشند که برای متقاطع نمودن آنها، کافیست که اختلاف y بین آنها (P_y) حذف شود.

در هندسه تصویری ثابت شده است که اگر شعاعهای نظیر در پنج نقطه مختلف از کناره‌های مدل یکدیگر را قطع کنند تمامی شعاعهای نظیر متقاطع خواهند شد.

۲- تعریف توجیه نسبی — Relative Orientation

- معرفی موقعیت هندسی دو دسته شعاعهای نوری تصویر کننده در دو لحظه عکسبرداری نسبت بهم را به دو دسته شعاعهای مربوط به دو سیستم تصویر نسبت به یکدیگر، توجیه نسبی گویند.

- متقاطع نمودن شعاعهای نوری نظیر از دو سیستم تصویر را، که با حذف پارالاکس y در پنج نقطه از مدل انجام می‌شود، توجیه نسبی گویند. بعبارت دیگر، حذف پارالاکس y در پنج نقطه مختلف از مدل نیز می‌تواند تعریفی برای توجیه نسبی دانست.

- هدف از انجام توجیه نسبی، تشکیل مدل سه بعدی از قسمت مشترک دو یا چند زوج عکس می‌باشد که زاویه هر دو شعاع نظیر تقاطع یافته، با زاویه پارالاکتیک آن در زمان عکسبرداری مساوی خواهد شد.

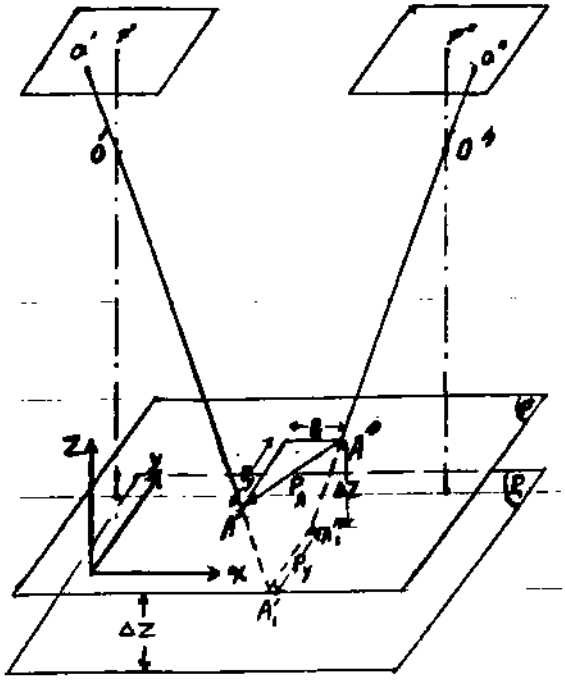
با ملاحظه شکل ۱ در فصل پنجم باید $\varphi'_1 = \varphi_1$ و $\theta'_2 = \theta_2$ و $\theta'_1 = \theta_1$ برقرار باشد.

۳- انجام توجیه نسبی

پس برای تشکیل مدل سه بعدی باید با معرفی حرکتهایی به هر یک از دو سیستم تصویر، بین آنها

نمایشی برابر با زوایای دو دستهٔ شعاع تصویر کننده در دو لحظهٔ عکسبرداری نسبت بهم را بوجود آورد و یا برای منطبق ساختن شعاعهای نظیر، با اعمال حرکتهایی به هر تصویر، آنرا بر تصویر نظیرش باید منطبق نمود.

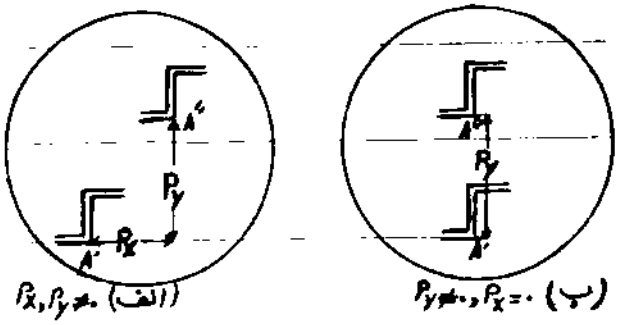
- اگر دو شعاع نظیر متقاطع نباشند، با یکدیگر فاصله‌ای دارند که عمان پارالاکس (اختلاف منظر) می‌باشد که در صفحه مشاهده می‌توان آنرا به دو مؤلفه در امتداد محورهای x (موازات محور بازچشم) و y (امتداد عمود بر آن) تجزیه کرد که بترتیب P_x (پارالاکس x) و P_y (پارالاکس y) موجود در آن نقطه می‌باشند (شکل ۲).

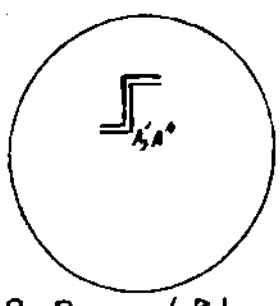


(شکل ۲)

- اگر ارتفاع آنقدر تغییر داده شود تا پارالاکس x در صفحه مشاهده از بین برود، تصاویر نظیر نسبت بهم فقط دارای پارالاکس y خواهند بود.

برای حذف P_y هر نقطه در سطح منطقه مشترک باید با اعمال حرکتی مناسب، یکی از تصاویر را در امتداد y جابجا کرد تا بر تصویر نظیر خود منطبق شود (شکل ۳).





(شکل ۳)

قبل از انکه شعاعهای نظیر متقاطع شوند (تصاویر نظیر دقیقاً منطبق شوند)، چشم پارالاکس x و y جزئی باقیمانده را حذف کرده، تصاویر را بر هم منطبق و بصورت سه بعدی خواهد دید. برای مشاهده

پارالاکس جزئی موجود در تصاویر از نقطه شناور استفاده می‌شود. بنابراین نقطه شناور نقاط اندازه‌گیری از هر سیستم تصویر در استاد شعاعی نوری تصاویر نظیر به چشم‌های مشاهده‌کننده می‌رسند زیرا بیننده به سطح سه‌بعدی حاصل از تصاویر انطباق یافته، می‌نگرد. بدین ترتیب می‌توان پارالاکس‌های x و y را در نقطه شناور (نقاط اندازه‌گیری در حالت پارالاکس موجود جدا از هم دیده می‌شوند) مشاهده و حذف نمود.

در تصویر مورد مشاهده، اگر A' مربوط به تصویر پروژکتور سمت چپ و A'' تصویر پروژکتور سمت راست باشند، $\vec{A''A'}$ را پارالاکس نقطه A گویند $(\vec{P_A} = \vec{A''A'})$. پارالاکس y نقطه A عبارتست از:

$$P_{y_A} = y_{A'} - y_{A''}$$

یعنی اختلاف y تصویر مربوط به پروژکتور سمت چپ و سمت راست.

پس پارالاکس y هر نقطه در صورتی مثبت است که y تصویر سمت چپ بزرگتر از y تصویر سمت راست آن باشد یعنی:

اگر $y_{A'} > y_{A''} \rightarrow P_{y_A} > 0$

اگر $y_{A'} < y_{A''} \rightarrow P_{y_A} < 0$

مطلب فوق در مورد پارالاکس x نیز صادق است یعنی:

$$P_{x_A} = x_{A'} - x_{A''}$$

اگر $x_{A'} > x_{A''} \rightarrow P_{x_A} > 0$

اگر $x_{A'} < x_{A''} \rightarrow P_{x_A} < 0$

پس پارالاکس نقطه A را می‌توان بردار $\vec{A''A'}$ دانست.

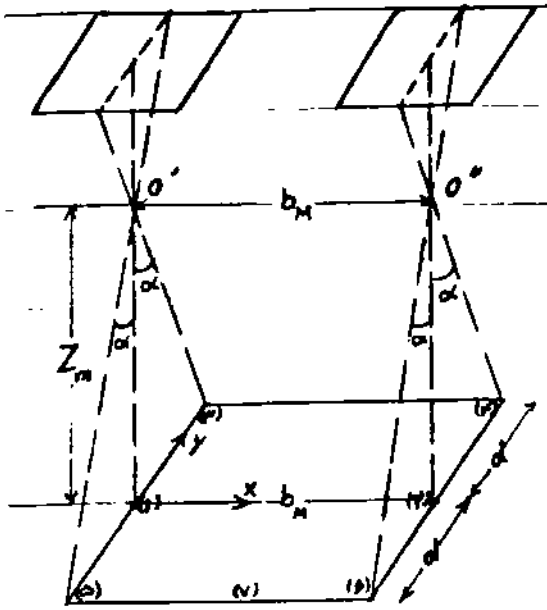
دیدیم که برای تشکیل مدل سه‌بعدی باید پارالاکس y را در 5 نقطه از کناره‌های مدل حذف کرد. برای این منظور پنج نقطه از شش نقطه استاندارد اطراف سطح مفید مدل انتخاب می‌شود. شش نقطه استاندارد با مختصات معلوم که برای انجام توجیه فنی مناسب می‌باشند، طبق

شکل ۴ ، در نظر گرفته شده اند .

نقطه (۱) ، نقطه مرکزی تصویر سمت چپ و مبدأ مختصات مدل می

نقطه (۲) ، نقطه مرکزی تصویر سمت راست و

به فاصله b_M از (۱) (b_M = باز مدل = باز هوایی در مقیاس مدل) می باشد زیرا در عکسهای قائم موقعیت ایستگاههای عکسبرداری ، مراکز عکسها هستند .



(شکل ۴)

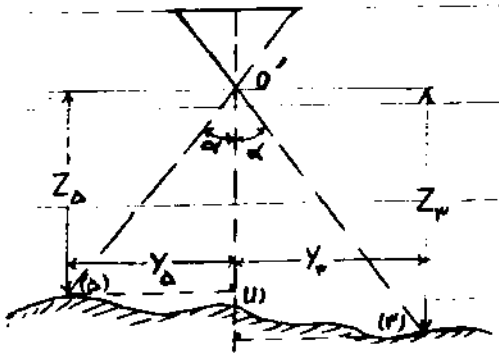
نقاط قرینه (۳) و (۵) در امتداد y نقطه (۱) (در وسط اضلاع بالائی و پائینی تصویر سمت چپ)

و بفاصله d تا ۱ و از لبه های مدل و نقاط قرینه (۴) و (۶) نیز بهمین ترتیب در امتداد y نقطه (۲) انتخاب شده اند . پس مختصات شش نقطه استاندارد در مدل می توان چنین نوشت :

۱ (۰,۰) ، ۲ (b,۰) ، ۳ (۰,d) ، ۴ (b,d) ، ۵ (۰,-d) ، ۶ (b,-d)

نقاط (۳) (۵) و همچنین (۴) و (۶) قرینه انتخاب شده اند زیرا نقاط مناسب برای توجیه نسبی نقاط قرینه می باشند . نقاط متقارن نقاطی هستند که در امتداد y نقطه مرکزی و دارای زوایای مساوی با محور تائم باشند مانند شکل ۵ ، یعنی $\alpha = \hat{O}(5)(1) = \hat{O}(3)(1)$

و همچنین $\alpha = \hat{O}(6)(2) = \hat{O}(4)(2)$ برقرار باشد .



(شکل ۵)

اگر منطقه مسطح باشد نقاط قرینه دارای فاصله y مساوی از محور x می باشند و مختصات داده شده فوق برای ۶ نقطه توجیه مدل مسطح ، مناسب می باشند .

مدل در صورتی مسطح است که : $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_5 = Z_6$ باشد .

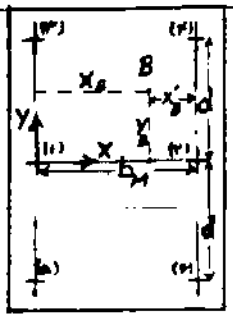
در اینصورت با توجه به شکلهای ۴ و ۵ داریم : $Y_3 = Y_4 = -Y_5 = -Y_6$

در صورتیکه منطقه مسطح نباشد بدلیل وجود تفاوت

بین نقاط، z نقاط مختلف مساوی نمی باشد، با توجه به

شکل ۵، در صورت وجود اختلاف ارتفاع بین نقاط،

قدر مطلق فاصله y نقاط قرینه مساوی نمی باشد.



(شکل ۶)

لذا در انتخاب نقاط قرینه باید دقت کرد چنانکه رابطه

زیر برقرار باشد:

$$tg\alpha = \left|\frac{y_i}{z_i}\right| = k$$

z_i فاصله قائم نقطه (i) از مرکز تصویر است

پس: $\frac{y_3}{z_3} = \frac{y_4}{z_4} = \frac{-y_5}{z_5} = \frac{-y_6}{z_6} = -k$

که برای تمامی نقاط سطح مدل منفی است زیرا مبدأ مختصات دستگاهی در مرکز تصویر بر روی کتور سمت چپ در نظر گرفته شده است و محور مختصات x تقریباً در امتداد محور پرواز (امتداد نقاط (۱) و (۲) در سطح مدل) و محور y خط محور بر آن و محور z در امتداد قائم می باشند.

مختصات نقطه دلخواهی مانند B طبق شکل ۶، (X_B, Y_B, Z_B) می باشد که X_B و Y_B بترتیب فاصله نقطه B از تصویر محورهای مختصات x و y بروی صفحه افقی واقع در ارتفاع متوسط مدل (Z_m) و Z_B فاصله نقطه از مرکز تصویر می باشد (Z_m = ارتفاع متوسط سطح مدل از مراکز تصویر).

$B(X_B, Y_B, Z_B)$

مختصات نقطه B نسبت به مبدأ مختصات واقع در مرکز تصویر بر روی کتور سمت راست با فاصله b_M (باز مدل) از مرکز تصویر سمت چپ عبارتست از: $B(X'_B, Y'_B, Z_B)$ که: $X'_B = X_B - b_M$

معمولاً $Z < 0$ است.

و $Y'_B = Y_B$ ⟶ $B(X_B - b_M, Y_B, Z_B)$

در صورتیکه مدل مسطح باشد، پنج نقطه از شش نقطه استاندارد برای حذف P_y انتخاب می شوند.

با حذف P_y در پنج نقطه، P_y کلیه نقاط مدل از جمله نقطه ششم از بین خواهد رفت چون می توان با کنترل P_y نقطه ششم، صحت انجام توجیه نسبی را بررسی کرد پس نقطه ششم، نقطه کنترل توجیه نسبی می باشد.

نقاط (۱) و (۲) حتماً باید در پنج نقطه انتخاب شده وجود داشته باشند. نقطه کنترل (نقطه ششم) باید

~~یکی از نقاط (۳) و (۴) و (۵) یا (۶) در نظر گرفته شود. نقطه پنجم توجیه نسبی را بین دو تا از نقطه‌های دو سر~~
~~نقاط (۵) و (۶) و یا بین (۳) و (۴) بنام نقطه (۷) در نظر گرفت بدین ترتیب پنج نقطه مورد نظر برای انجام~~
~~توجیه نسبی نقاط (۱)، (۲)، (۳)، (۴) و (۷) و نقاط کنترل نقاط (۵) و (۶) می باشند.~~

~~دیدیم که باید P_4 را در پنج نقطه از سطح مدل با اعمال حرکتهایی به سیستم های تصویر حذف نمود پس~~
~~برای انجام توجیه نسبی باید از اثر هر حرکت بر روی هریک از شش نقطه مدل کاملاً آگاه بود.~~

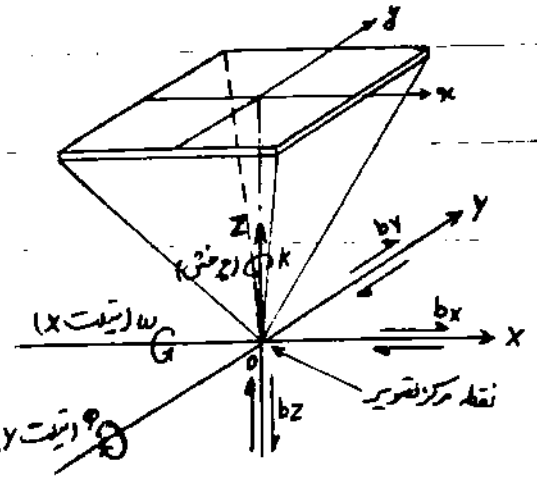
~~یادآوری می شود که عکسبرداری قائم، با تلیت $t \leq 4^g$ و منطقه نسبتاً مسطح فرض شده است.~~
~~بجای پارالاکس x، کلمه ارتفاع آورده می شود؛ پس اگر در جایی نقط پارالاکس ذکر شده باشد منظور P_4 می باشد.~~

۴- اثر عناصر حرکتی بر روی نقاط مدل

~~برای امکان معرفی موقعیت نسبی دو پرتو در دو لحظه عکسبرداری، بهر پرتو و رکتورهای دستگاه، باید~~
~~در هر پرتو رکتور حرکتهایی مانند حرکتهای ممکنه هواپیما وجود داشته باشد. این حرکتها که حداکثر ممکن ۱~~
~~شش حرکت (سه حرکت انتقالی و سه حرکت دورانی) باشند به سیستم تصویر هر پرتو رکتور مربوط~~
~~می شوند. هر حرکت توسط پیی معرفی می شود که به آن "عنصر حرکتی" گویند.~~

~~شکل روبرو محورهای دستگاه مختصات سیستم تصویر~~
~~را با معرفی جهت مثبت هر حرکت ارائه میدهد.~~

~~در بخش ۴ از فصل ۲، اثر حرکتهای انتقالی و~~
~~دورانی هواپیما بر روی مختصات زمینی و عکسی هر نقطه~~
~~مورد بررسی قرار گرفت. باید توجه داشت که~~

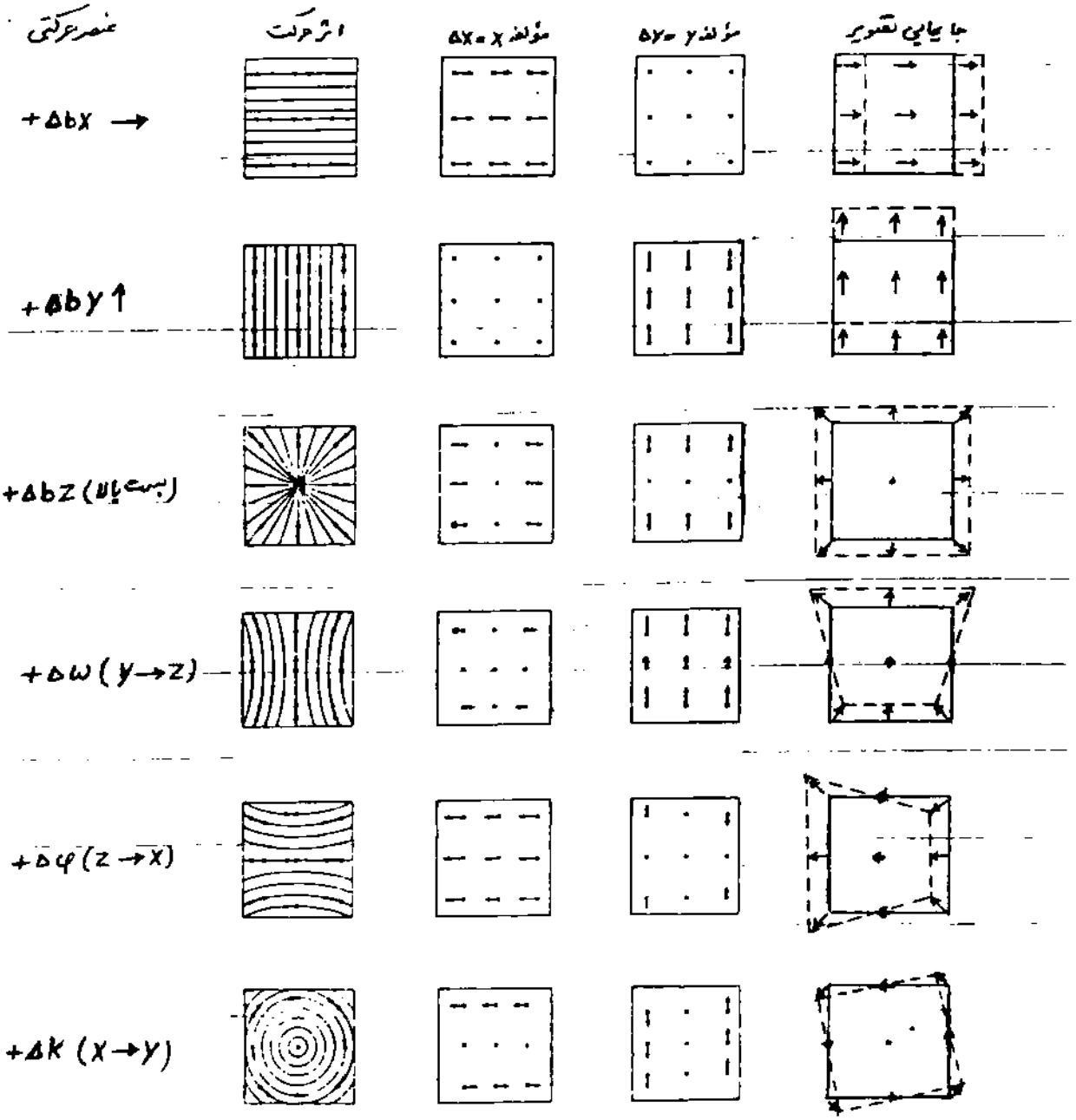


(شکل ۷)

~~جابجایی تصویری ناشی از اعمال حرکت ها به دیاپوزیتیو،~~
~~بر روی تصویر تشکیل دهنده مدل در خلاف جهت جابجایی های ایجاد شده بر روی مختصات عکسی در زمان~~

در اشکال زیر جابجایی های تصویری ۹ نقطه از دیاپوزیتیو، ناشی از تأثیر هر حرکت بطور مستقل بر روی صفحه ای افقی مورد بررسی قرار گرفته اند و مؤلفه های x و y در هر نقطه نیز بطور جداگانه نشان داده شده اند.

با دانستن اثر هر حرکت بر روی ۹ نقطه مشخص شده از تصویر، اثر آن حرکت را بر روی هر نقطه دلخواه از تصویر، با واسطه یابی می توان بدست آورد.



(شکل ۸) اثر شش عنصر حرکتی بر روی یک تصویر

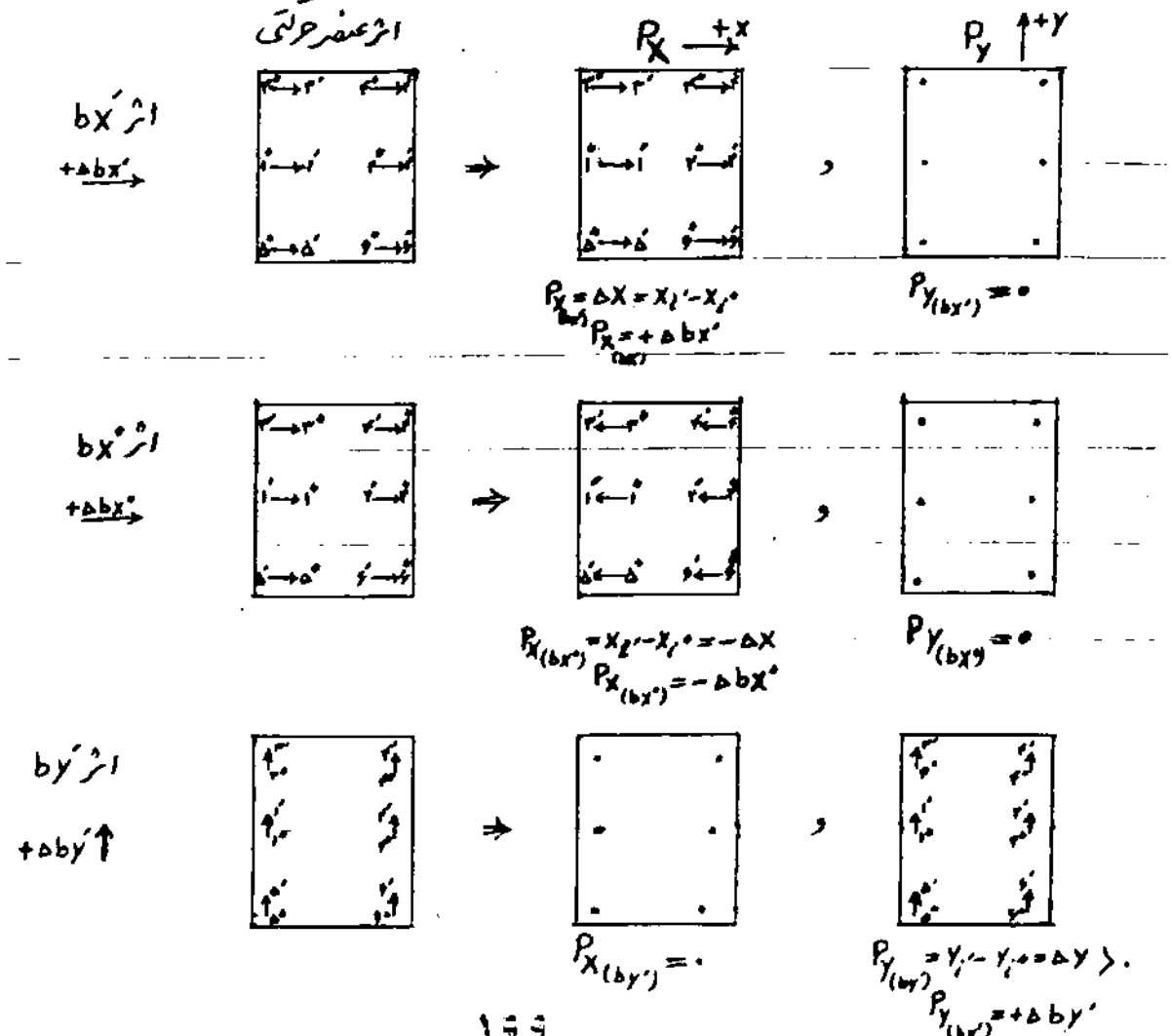
برای مشخص شدن اینکه هر حرکت مربوط به کدام سیستم تصویر است، طبق قرارداد عناصر حرکتی پروژکتور سمت چپ با اندیس "۱" یا "، (پرایم)" و عناصر حرکتی پروژکتور سمت راست با اندیس "۲" یا "۰ (دوگونه)" نشان داده می شوند.

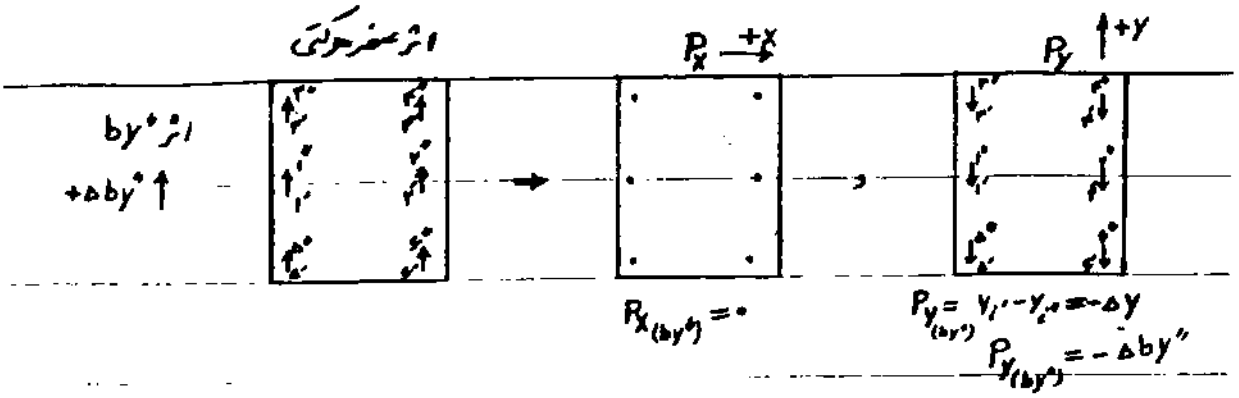
عناصر حرکتی پروژکتور سمت چپ: $bx', by', bz', w', \varphi', \kappa'$

عناصر حرکتی پروژکتور سمت راست: $bx'', by'', bz'', w'', \varphi'', \kappa''$

اثر هر عنصر حرکتی از هر پروژکتور را بر روی شش نقطه استاندارد مدل، در حالی که فرض شده مدل بفاصله متوسط $z_m < 0$ از مرکز تصویر توجیه نسبی شده است، و مؤلفه های x و y آنها با در نظر گرفتن جهت مثبت پارالاکس x و y بطور مجزا در زیر مشاهده می شود.

۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ شش نقطه مربوط به تصویر سمت چپ و ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ شش نقطه مربوط به تصویر سمت راست می باشند.





$P_{X_{(by')}} = 0$

$P_{Y_{(by')}} = Y_{i'} - Y_{i0} = -\Delta y$

$P_{Y_{(by')}} = -\Delta by'$

اثر bz'

(مستقیم الخط) +Δbz'

$P_{X_{(bz')}} = \Delta X = \frac{-X}{Z}\Delta bz'$

$P_{X_{(bz')}} = \frac{-X}{Z}\Delta bz'$

$P_{Y_{(bz')}} = \Delta y = Y_{i'} - Y_{i0}$

$P_{Y_{(bz')}} = \frac{-Y}{Z}\Delta bz'$

اثر bz''

(مستقیم الخط) +Δbz''

$P_{X_{(bz'')}} = X_{i'} - X_{i0} = -\Delta X$

$P_{X_{(bz'')}} = \frac{(X-b)}{Z}\Delta bz''$

$P_{Y_{(bz'')}} = Y_{i'} - Y_{i0} = -\Delta y$

$P_{Y_{(bz'')}} = \frac{Y}{Z}\Delta bz''$

اثر ω'

+Δω'(y→z)

$P_{X_{(\omega')}} = X_{i'} - X_{i0} = \Delta X$

$P_{X_{(\omega')}} = \frac{-XY}{Z}\Delta\omega'$

$P_{Y_{(\omega')}} = Y_{i'} - Y_{i0} = \Delta y$

$P_{Y_{(\omega')}} = -Z(1+\frac{Y^2}{Z^2})\Delta\omega'$

اثر ω''

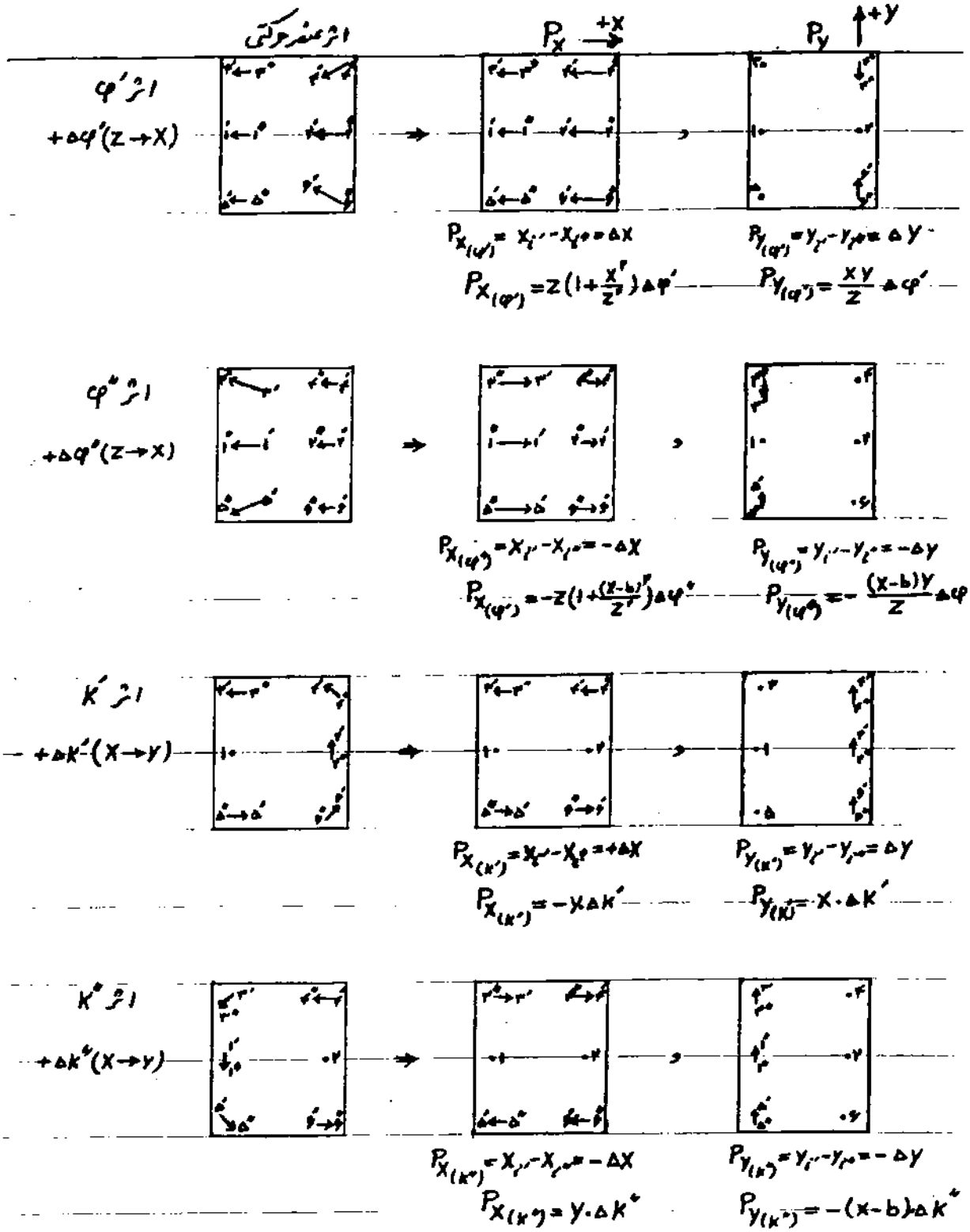
+Δω''(y→z)

$P_{X_{(\omega'')}} = X_{i'} - X_{i0} = -\Delta X$

$P_{X_{(\omega'')}} = \frac{(X-b)Y}{Z}\Delta\omega''$

$P_{Y_{(\omega'')}} = Y_{i'} - Y_{i0} = -\Delta y$

$P_{Y_{(\omega'')}} = Z(1+\frac{Y^2}{Z^2})\Delta\omega''$



(شکل 9)

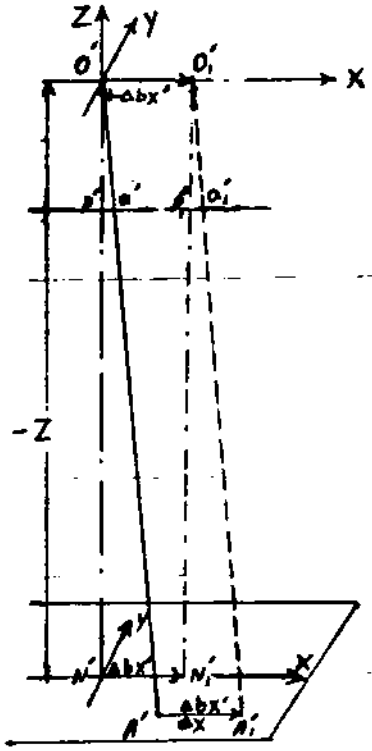
روابط ذکر شده در اشکال فوق، بر اساس جابجایی‌های ناشی از تغییر حرکتهای هواپیما - در بخش ۴ از فصل دوم - آورده شده‌اند با توجه به اینکه در توجیه نسبی، اثر عناصر حرکتی در جهت خلاف اثر حرکتهای هواپیما بر روی تصویری باشد. زیرا در زمان عکسبرداری تغییر مختصات عکسی عوارض نسبت زمینی در اثر تغییر

~~حرکتها مورد بررسی قرار گرفت در حالیکه در توجیه بی تغییر ~~ ~~ذهنی (مدل) مربوط به تصاویر~~ ~~عکسی در اثر تغییر مناظر حرکتی، مورد نظر می باشد.~~

~~اثبات روابط فوق به روش دیگری در زیر آورده می شود در حالیکه لزومی به این امر وجود ندارد.~~

۴-۱: اثر تغییر $\Delta bx'$ و $\Delta bx''$

با زاء تغییر $+\Delta bx'$، دیاپوزیتیو سمت چپ به مقدار $+\Delta bx'$ بسمت راست و در نتیجه تصویر نقاط بر روی صفحه ای افقی بفاصله z ($z<0$) از مرکز تصویر به مقدار Δx به سمت راست انتقال پیدا خواهند کرد:



$$\Delta x_{(bx')} = -\Delta bx'$$

$$\Rightarrow \Delta p_{x_{(bx')}} = \Delta x_{(bx')} = -\Delta bx'$$

$$\Delta p_{y_{(bx')}} = \Delta y = 0 \quad \text{و}$$

و بطریق مشابه، برای بردار کتور راست داریم:

با زاء تغییر $+\Delta bx''$ می توان نوشت:

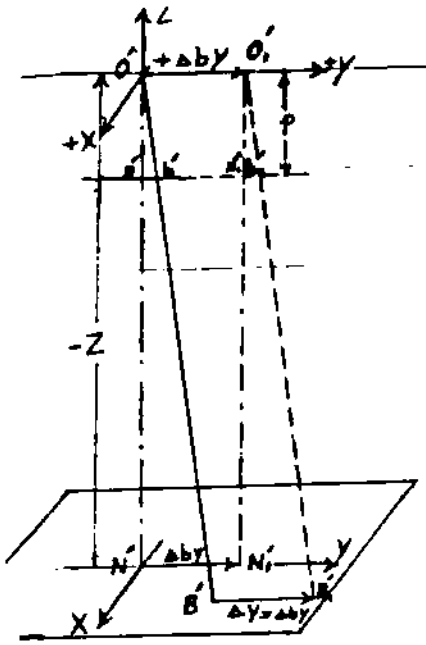
$$\Delta x_{(bx'')} = +\Delta bx''$$

در این حالت چون تصویر سمت راست در جهت مثبت محور x ها جابجا می شود پس x تصاویر سمت راست به مقدار $+\Delta x$ افزایش می یابد. با توجه به رابطه با رالاکس داریم: (شکل ۱۰)

$$\Delta p_x = \text{تغییر x تصویر سمت راست} - \text{تغییر x تصویر سمت چپ}$$

$$\Rightarrow \Delta p_{x_{(bx')}} = 0 - \Delta x_{(bx'')} = -\Delta x_{(bx'')}$$

$$\Rightarrow \Delta p_{x_{(bx'')}} = -\Delta bx'' \quad \text{و} \quad \Delta p_{y_{(bx'')}} = \Delta y = 0$$



(شکل ۱۱)

جابجایی تصویر دیاپوزیتیو بر روی صفحهٔ افقی بفاصلهٔ z از مرکز تصویر ($z<0$)، در اثر انتقال دیاپوزیتیو در امتداد y، عبارتست از:

اثر $\Delta by'$:

$$\Delta Y_{(by')} = \Delta by'$$

$$\Delta P_{Y_{(by')}} = \Delta Y_{(by')} - 0 = \Delta by'$$

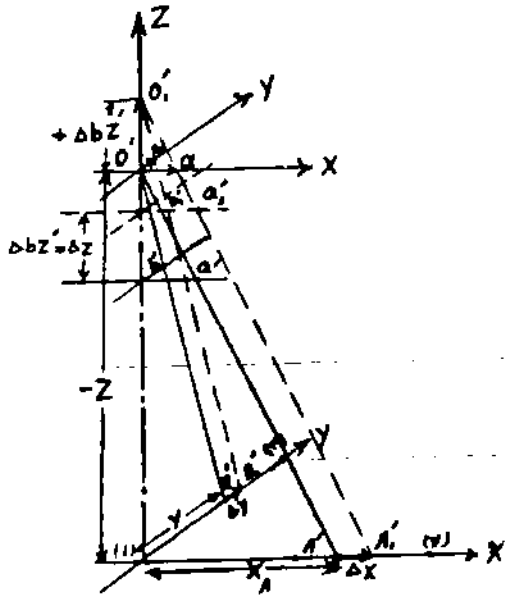
$$\Delta P_{X_{(by')}} = \Delta X_{(by')} = 0$$

اثر $\Delta by''$:

$$\Delta Y_{(by'')} = \Delta by''$$

$$\Delta P_{Y_{(by'')}} = 0 - \Delta Y_{(by'')} = -\Delta by'' \quad \text{و} \quad \Delta P_{X_{(by'')}} = 0$$

۴-۳ : اثر bz' و bz''



(شکل ۱۲)

برای بررسی اثر bz'، با در نظر گرفتن مقطع ۲ O' ۱، از تشابه مثلثهای $o'o_1a$ و $o'A'$، پس از انتقال o' به میزان $\Delta bz'$، در امتداد محور z، داریم:

$$\frac{\Delta bz'}{\Delta x} = \frac{-z}{x}$$

$$\Rightarrow \Delta x = -\frac{x}{z}\Delta bz'$$

و با در نظر گرفتن مقطع ۳ O' ۱ بطریق مشابه و با توجه به شکل ۱۲، خواهیم داشت:

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta bz'}{-z} \Rightarrow \Delta Y_{(bz')} = -\frac{y}{z}\Delta bz'$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \Delta P_{X_{(bz')}} = \Delta X_{(bz')} - 0 = -\dfrac{x}{z}\Delta bz' \\ \Delta P_{Y_{(bz')}} = \Delta Y_{(bz')} - 0 = -\dfrac{y}{z}\Delta bz' \end{cases}$$

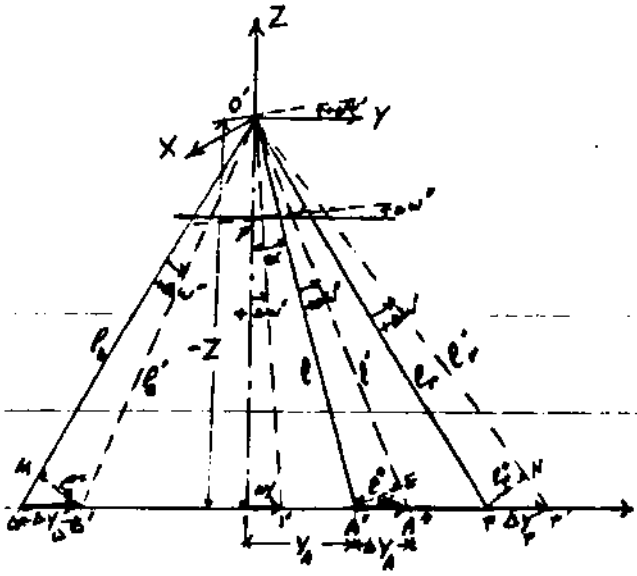
و در مورد اثر Δbz^0 بردوی تصویر واقع بر صفحه افقی بفاصله z از مرکز تصویر بسمت راست (و بعد کنتور)

با انتقال دیاپوزیتیو پروژکتور بسمت راست به میزان Δbz^0 در امتداد محور z، بطوریکه بخواهیم

$$\begin{cases}\Delta X_{(bz^0)} = -\dfrac{x-b}{z}\Delta bz^0 \\ \Delta Y_{(bz^0)} = -\dfrac{y}{z}\Delta bz^0\end{cases} \Rightarrow \begin{cases}\Delta P_{X_{(bz^0)}} = -\Delta X_{(bz^0)} = \dfrac{x-b}{z}\Delta bz^0 \\ \Delta P_{Y_{(bz^0)}} = -\Delta Y_{(bz^0)} = \dfrac{y}{z}\Delta bz^0\end{cases}$$

منظور از b بازمدل (b_M) است.

۴-۴: اثر $\Delta\omega$ و $\Delta\omega'$



(شکل ۱۳)

برای بررسی اثر $\Delta\omega$ با در نظر گرفتن مقطع $\Delta O'3$ (مقطع $Z'O'Y$)، جابجایی ΔY در نقطه A' برابر است با: $\Delta Y_1 = -z\,\Delta\omega^{(rad)}$ (۱)

و برای نقطه دلخواه A به مختصات x و y می‌توان با توجه به شکل ۱۳، نوشت (A' تصویر نقطه A بر امتداد $3'5'$)

$$\Delta Y_{(\omega)} = \frac{l''}{\cos\alpha} \rightarrow -\cos\alpha = \frac{-z}{l} \quad , \quad l^2 = y^2+z^2 \quad , \quad l'' = l.\Delta\omega^{'(rad)}$$

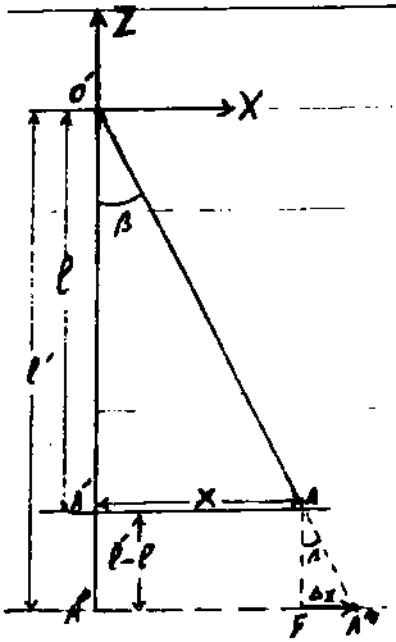
با جایگذاری روابط فوق در ΔY داریم:

$$\Delta Y = \frac{l.\Delta\omega'.l}{-z} = \frac{y^2+z^2}{-z}.\Delta\omega^{'(rad)}$$

$$\rightarrow \Delta Y_{(\omega)} = -z.\left(1+\frac{y^2}{z^2}\right).\Delta\omega' \quad \text{---} \quad \Delta\omega \text{ برحسب رادیان می‌باشد.}$$

برای تعیین جابجایی x ناشی از تغییر $\Delta\omega$ اگر مقطع $4'O'3$ (یا مقطع $6'O'5$) را در نظر بگیریم، میدانیم که با زاویه تغییر دوران $\Delta\omega$ +، ضلع $\overline{3'4'}$ از دیاپوزیتیو سمت چپ بسمت بالا حرکت می‌کند و با اضافه شدن ناصله آن تا صفحه تصویر به ارتفاع z از مرکز تصویر ($z<0$)، طول تصویر $\overline{3'4'}$ در امتداد x بزرگتر از طول اولیه $\overline{3'4'}$ می‌شود. مقدار جابجایی ΔX ناشی از تغییر $\Delta\omega$ +، در نقطه‌ای دلخواه مانند A را بدست می‌آوریم: با توجه به شکل ۱۴، از تشابه مثلثهای $A'A''O'$

و $A''EA'''$ داریم: $\frac{\Delta x}{x} = \frac{l'-l}{l}$



برای تعیین $\Delta x_{(\omega')} = \frac{l'-l}{l} \times$

کسر $\frac{l'-l}{l}$ از تشابه $\triangle z'O'Y$ (شکل ۱۳) استفاده

می‌شود: $\frac{l'-l}{Y} = \frac{l''}{-Z}$

که از تشابه مثلثهای $A'O'A$ و $A''EA'''$ بدست

آمده است و همچنین می‌توان نوشت:

$$\frac{l'-l}{Y} = \frac{l.\Delta\omega'}{-Z} \rightarrow \frac{l'-l}{l} = -\frac{Y}{Z}$$

با جایگذاری مقدار $\frac{l'-l}{l}$ در رابطه Δx

(شکل ۱۴)

خواهیم داشت: $\Delta x_{(\omega')} = -\frac{xy}{z}\Delta\omega'$

که $\Delta\omega'$ برحسب رادیان می‌باشد.

$$\begin{cases} \Delta P_{x(\omega')} = \Delta x_{(\omega')} \cdot \cdot = -\frac{xy}{z}\Delta\omega' \\ \Delta P_{y(\omega')} = \Delta y_{(\omega')} \cdot \cdot = -z\left(1+\frac{y^2}{z^2}\right)\Delta\omega' \end{cases}$$

بطور مشابه جابجایی ناشی از تغییر $\Delta\omega''$ عبارتست از:

$$\begin{cases} \Delta x_{(\omega'')} = -\frac{(x-b)y}{z}\Delta\omega'' \\ \Delta y_{(\omega'')} = -z\left(1+\frac{y^2}{z^2}\right)\Delta\omega'' \end{cases}$$

$\Delta\omega''$ باید برحسب رادیان باشد.

$$\rightarrow \begin{cases} \Delta P_{x(\omega'')} = \cdot - \Delta x_{(\omega'')} = \frac{(x-b)y}{z}\Delta\omega'' \\ \Delta P_{y(\omega'')} = \cdot - \Delta y_{(\omega'')} = z\left(1+\frac{y^2}{z^2}\right)\Delta\omega'' \end{cases}$$

روابط بدست آمده درصورتی صادق می‌باشند که زاویه دوران $\Delta\omega$ کوچک باشد.

زیرا روابط فوق نشان میدهند که اثر $\Delta\omega$ برای تمامی نقاط قرینه نسبت به محور x مساوی می‌باشد،

و با در نظر گرفتن دو نقطه قرینه ۳ و ۵ ملاحظه می‌شود که چون $z_3 = z_5$ می‌باشد پس $y_3 = -y_5$

و $l_3 = l_5$ هستند و با توجه به روابط فوق باید $\Delta x_5 = \Delta x_3$ و $\Delta y_5 = \Delta y_3$

شود. در حالت کلی با ملاحظه شکل ۱۳ می توان نوشت:

$$\begin{cases} \delta Y_3 = l_3 \cdot \frac{l_3''}{-Z} \\ \delta Y_5 = l_5 \cdot \frac{l_5''}{-Z} \end{cases}$$

اگر $\delta Y_3 = \delta Y_5$ و ... باید $l_3'' = l_5''$

در ضمن داریم: $l_3'' = l_{30} + \delta w$ و ... $l_5'' = l_{50} + \delta w$

در صورتی $l_3'' = l_5''$ می شود که $l_{30} = l_{50}$ باشد.

پس δY هر دو نقطه قرینه در صورتی مساوی می شود که تقریب $l' = l$ را در نظر گرفت و این تقریب فقط در صورتی که δw کوچک باشد قابل قبول است. این تقریب را باید در مورد δX نیز در نظر گرفت زیرا:

$$\delta X_{(w')} = \frac{l' - l}{l} \cdot X$$

برای نقطه ۳ داریم:

$$\frac{l_3' - l_3}{Y} = \frac{l_3'' - l_{30}}{-Z} \rightarrow \frac{l_3' - l_3}{l_3} = \frac{Y}{-Z} \delta w$$

و برای نقطه ۵ داریم:

$$\frac{l_5 - l_5'}{Y} = \frac{l_5'' - l_{50}}{-Z} \rightarrow \frac{l_5 - l_5'}{l_5'} = \frac{Y}{-Z} \delta w$$

ملاحظه می شود که در صورتی $\delta X_{(w')}$ در دو نقطه قرینه مساوی می شود که تقریب $l' = l$ در نظر گرفته شود. بعبارت دیگر می توان گفت که تقریب فوق معرف اختلافی است که در δX و δY نقاط (قدر مطلق) قرینه نسبت به محور y ها، در اثر اعمال δw بوجود می آید.

هر چه δw کوچکتر باشد این تقریب نیز کوچکتر می شود، پس δw نباید از حدی بزرگتر شود که تقریب بدست آمده از حد خطای قابل قبول بیشتر شود.

۵-۴: اثر تغییر φ' و φ''

برای بررسی جابجایی های δX و δY ناشی از $\delta\varphi'$ و $\delta\varphi''$، مشابه بررسی اثر δw عمل می شود با این تفاوت که برای تعیین δX حاصل از $\delta\varphi'$ باید تقطع XOZ (تقطع ۲۵) را در نظر گرفت. ولی می توان با جابجا کردن محورهای x و y با یکدیگر (چرخش ۹۰ درجه) در روابط بدست آمده از اثر δw، جابجایی های δX و δY ناشی از $\delta\varphi$ را با در نظر گرفتن جهت مثبت دوران

φ بدست آورد

$$\begin{cases} \Delta X_{(\varphi')} = Z\left(1+\frac{X^2}{Z^2}\right)\Delta\varphi' \\ \Delta Y_{(\varphi')} = \frac{XY}{Z}\Delta\varphi' \end{cases}$$

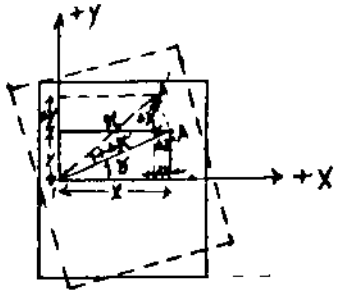
$$\Rightarrow \begin{cases} \Delta P_{X_{(\varphi')}} = \Delta X_{(\varphi')} = Z\left(1+\frac{X^2}{Z^2}\right)\cdot\Delta\varphi' \\ \Delta P_{Y_{(\varphi')}} = \Delta Y_{(\varphi')} = \frac{XY}{Z}\Delta\varphi' \end{cases}$$

و برای اثر $\Delta\varphi''$ می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} \Delta X_{(\varphi'')} = Z\left(1+\frac{(X-b)^2}{Z^2}\right)\cdot\Delta\varphi'' \\ \Delta Y_{(\varphi'')} = \frac{(X-b)\cdot Y}{Z}\Delta\varphi'' \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta P_{X_{(\varphi'')}} = -\Delta X_{(\varphi'')} = -Z\left(1+\frac{(X-b)^2}{Z^2}\right)\cdot\Delta\varphi'' \\ \Delta P_{Y_{(\varphi'')}} = -\Delta Y_{(\varphi'')} = \frac{-(X-b)\cdot Y}{Z}\cdot\Delta\varphi'' \end{cases}$$

بنا به دلیل ذکر شده، برای اثر $\Delta\varphi$، روابط فوق در صورتی صحیح می‌باشند که $\Delta\varphi$ کوچک باشد. اثبات روابط فوق به عهده دانشجویان می‌باشد.

۶-۴-۴- اثر دوران K' و K''



برای تعیین جابجایی‌های ΔX و ΔY ناشی از تغییر پارامتر K' به مقدار $\Delta K'$، با توجه به شکل روبرو، از تشابه مثلثها می‌توان نوشت:

$$\frac{-\Delta X_{(K')}}{Y} = \frac{\Delta Y_{(K')}}{X} = \frac{\overline{AA'}}{\pi} = \frac{\pi\cdot\Delta K'}{\pi} = \Delta K' \qquad \text{(شکل ۱۵)}$$

پس:

$$\begin{cases} \Delta X_{(K')} = -Y\cdot\Delta K' \\ \Delta Y_{(K')} = X\cdot\Delta K' \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta P_{X_{(K')}} = \Delta X_{(K')} = -Y\cdot\Delta K' \\ \Delta P_{Y_{(K')}} = \Delta Y_{(K')} = X\cdot\Delta K' \end{cases}$$

و بطور مشابه، جابجایی‌های ناشی از تغییر K'' را می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} \Delta X_{(K'')} = -Y\cdot\Delta K'' \\ \Delta Y_{(K'')} = (X-b)\cdot\Delta K'' \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta P_{X_{(K'')}} = -\Delta X_{(K'')} = Y\cdot\Delta K'' \\ \Delta P_{Y_{(K'')}} = -\Delta Y_{(K'')} = -(X-b)\cdot\Delta K'' \end{cases}$$

~~برای تعیین جابجایی‌های δx و δy یا ΔP_x و ΔP_y ناشی از تغییر دورانهای ω، φ و κ~~

با استفاده از روابط فوق، تغییرات زاویه‌ای $\delta\omega$، $\delta\varphi$ و $\delta\kappa$ باید کوچک باشند و در ضمن برحسب رادیان در روابط گذارده شوند. چنانچه مقدار زاویه‌ای را برحسب گراد داشته باشیم برای تبدیل کردن آن به رادیان می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود.

یعنی برای تبدیل رادیان به گراد باید آنرا $\frac{\pi}{200} = \frac{3{,}14}{200} = \frac{1}{63{,}66}$ در $63{,}66$ ضرب و برای تبدیل گراد به رادیان باید آنرا بر $63{,}66$ تقسیم کرد.

- در جدول زیر تغییرات پارالاکس x و y نقطه دلخواهی به مختصات (X, Y, Z) در اثر تغییر عناصر حرکتی برحسب ضریب تغییرات حرکتها، آورده شده است.

	bx'	bx''	by'	by''	bz'	bz''	$\omega'^{(rad)}$	$\omega''^{(rad)}$	$\varphi'^{(rad)}$	$\varphi''^{(rad)}$	$\kappa'^{(rad)}$	$\kappa''^{(rad)}$
ΔP_x	+1	-1	0	0	$-\frac{X}{Z}$	$+\frac{X-b}{Z}$	$-\frac{X\cdot Y}{Z}$	$+\frac{(X-b)\cdot Y}{Z}$	$Z\left(1+\frac{X^2}{Z^2}\right)$	$-Z\left(1+\frac{(X-b)^2}{Z^2}\right)$	$-Y$	$+Y$
ΔP_y	0	0	+1	-1	$-\frac{Y}{Z}$	$+\frac{Y}{Z}$	$-Z\left(1+\frac{Y^2}{Z^2}\right)$	$Z\left(1+\frac{Y^2}{Z^2}\right)$	$+\frac{X\cdot Y}{Z}$	$-\frac{(X-b)\cdot Y}{Z}$	$+X$	$-(X-b)$

- با توجه به روابط و جدول فوق تاثیر γ (ΔP_y) بیشتر از تغییر هر حرکت بر روی شش نقطه استاندارد مدل در جدول زیر آورده شده است.

شماره نقطه	مختصات X	مختصات Y	by'	by''	bz'	bz''	ω'	ω''	φ'	φ''	κ'	κ''
1	0	0	+1	-1	0	0	$-Z$	$+Z$	0	0	0	$+b$
2	$+b$	-	+1	-1	0	0	$-Z$	$+Z$	0	0	$+b$	0
3	0	$+d$	+1	-1	$-\frac{d}{Z}$	$+\frac{d}{Z}$	$-Z\left(1+\frac{d^2}{Z^2}\right)$	$+Z\left(1+\frac{d^2}{Z^2}\right)$	0	$+\frac{b\cdot d}{Z}$	0	$+b$
4	$+b$	$+d$	+1	-1	$-\frac{d}{Z}$	$+\frac{d}{Z}$	$-Z\left(1+\frac{d^2}{Z^2}\right)$	$+Z\left(1+\frac{d^2}{Z^2}\right)$	$+\frac{b\cdot d}{Z}$	0	$+b$	0
5	0	$-d$	+1	-1	$+\frac{d}{Z}$	$-\frac{d}{Z}$	$-Z\left(1+\frac{d^2}{Z^2}\right)$	$+Z\left(1+\frac{d^2}{Z^2}\right)$	0	$-\frac{b\cdot d}{Z}$	0	$+b$
6	$+b$	$-d$	+1	-1	$+\frac{d}{Z}$	$-\frac{d}{Z}$	$-Z\left(1+\frac{d^2}{Z^2}\right)$	$+Z\left(1+\frac{d^2}{Z^2}\right)$	$-\frac{b\cdot d}{Z}$	-	$+b$	0

با توجه به اشکال و روابط بدست آمده می‌توان چنین نتیجه گیری کرد که:

bx – تغییر مساوی عناصر حرکتی $'bx$ و $''bx$، ایجاد فقط اثر x مساوی ولی مخالف جهت یکدیگر بر روی نقاط تصویرهای تشکیل دهنده مدل می‌کند یعنی می‌توان بجای ایجاد جابجایی در تصویر سمت چپ به مقدار $'\Delta bx$، تصویر سمت راست را به همان اندازه ولی در جهت عکس آن ($''\Delta bx = -'\Delta bx$) جابجا نمود. پس دو حرکت مشابه $'bx$ و $''bx$ را می‌توان به عنوان یک حرکت (bx) در نظر گرفت. چون عنصر انتقالی bx اثری در تغییر y نقاط تصویر ندارد، نمی‌توان در انجام توجیه نسبی از آن صرف نظر کرد. $\Delta bx = \Delta bx' = -\Delta bx''$

by – عناصر حرکتی $'by$ و $''by$ که فقط دارای اثر y می‌باشند با تغییر مساوی، بنا به دلایل ذکر شده در فوق، ایجاد جابجایی تصویری مساوی ولی مخالف جهت یکدیگر می‌کنند پس $'by$ و $''by$ را می‌توان بعنوان یک عنصر حرکتی (by) در نظر گرفت که در انجام توجیه نسبی می‌تواند نقش مؤثری را ایفا کند و برای حذف P_y هر نقطه از هر یک از by ها می‌توان استفاده کرد. $\Delta by = \Delta by' = \Delta by''$

bz – عناصر حرکتی $'bz$ و $''bz$، با ملاحظه جابجایی‌های تصویری ناشی از تغییرات مساوی $'bz$ و $''bz$، دارای اثر x متفاوت ولی اثر y مساوی از نظر قدر مطلق بر روی نقاط قرینه نسبت به محور x ها می‌باشند پس در انجام توجیه نسبی دو عنصر $'bz$ و $''bz$ را می‌توان یک عنصر حرکتی فرض کرد و آن را bz نام نهاد. برای انجام توجیه نسبی، در نقاطی باید از bz استفاده شود که اثر y نداشته باشد.

$$\Delta P_y = -\frac{y}{z}\Delta bz' = \frac{y}{z}\Delta bz''$$

$$\Delta bz' = -\frac{z}{y}\Delta P_y \quad , \quad \Delta bz'' = \frac{z}{y}\Delta P_y \quad \Rightarrow \quad \Delta bz = \Delta bz' = -\Delta bz''$$

kها – عناصر دورانی $'k$ و $''k$، با ملاحظه اثر تغییرات آن‌ها بر روی تصویر، دارای اثرات x و y نامساوی می‌باشند پس، از k ها به عنوان دو عنصر مستقل برای انجام توجیه نسبی می‌توان استفاده کرد. برای حذف P_y نقطه مورد نظر باید از یکی از k ها که ایجاد جابجایی y مؤثرتری در آن نقطه می‌کند، بهره گرفت.

$$\Delta P_y = X\,\Delta k' = -(X-b)\Delta k'' \quad \Rightarrow \quad \Delta k' = \frac{1}{X}\Delta P_y \quad , \quad \Delta k'' = -\frac{1}{(X-b)}\Delta P_y$$

φها – عناصر $'\varphi$ و $''\varphi$ نیز دارای اثرات متفاوت بر روی نقاط مختلف تصویر می‌باشند. ملاحظه می‌شود که در

~~نقطه ای ممکن است φ اثر بر داشته باشد در حالیکه φ فقط دارای اثر x می باشد. پس φ ها دو عضر~~

مستقل به شمار می آیند و از هر φ فقط در نقطه ای برای انجام توجیه نسبی باید استفاده شود که دارای اثر y موثرتر است.

$$\Delta P_y = \frac{xy}{z}\Delta\varphi' = \frac{-(x-b)y}{z}\Delta\varphi'' \rightarrow \Delta\varphi'^{rd} = \frac{z}{xy}\Delta P_y \quad , \quad \Delta\varphi''^{rd} = \frac{-z}{(x-b)y}\Delta P_y$$

ب ط- عناصر حرکتی ω' و ω''، با تغییر مساوی و هم جهت، ایجاد جابجایی y مساوی ولی مخالف هم در تقاطع می کنند.

پس ω' و ω'' را برای حذف P_y (در انجام توجیه نسبی) می توان یک عنصر بنام ω فرض کرد و از هر کدام به دلخواه استفاده کرد. باید توجه داشت که جابجایی x ناشی از ω' و ω'' یکی نمی باشد. $\Delta\omega'^{rd} = \frac{z^2+y^2}{z}\Delta\omega$ ، $\Delta P_y = -\frac{z^2+y^2}{z}\Delta\omega$

$$\Delta\omega' = \frac{-z}{y^2+z^2}\Delta P_y \quad , \quad \Delta\omega'' = \frac{z}{y^2+z^2}\Delta P_y \Rightarrow \Delta\omega = \Delta\omega' = -\Delta\omega''$$

پس دوازده عنصر حرکتی را می توان به هشت عنصر مستقل b_x، b_y، b_z، k' و k''، φ'، φ'' و ω تقلیل داد که هفت عنصر از آنها دارای اثر y و قابل استفاده در انجام توجیه نسبی می باشند: b_y، b_z، k'، k''، φ'، φ'' و ω

هفت عنصر مذکور در فوق، با توجه به اثر y آن ها در تصویر به سه دسته طبقه بندی شده اند:

۱- عناصر انتقالی b_y، k' و k''

عنصر انتقالی b_y دارای اثر y مساوی و هم جهت در صفحه نقاط می باشد $\Delta b_y = \Delta b_y' = -\Delta b_y'' = \Delta P_y$

k' و k'' با توجه به روابط زیر در صفحه نقاط، نیز نقاط به ترتیب $x=0$ و $x=b$ دارای اثر y می باشند. اثر ناشی از مجموع تغییر مساوی و هم جهت دو k ($\Delta k = \Delta k' = \Delta k''$) را بر روی نقاط تصویر می توان بدست آورد.

$$\Delta P_y = x\Delta k'^{rd} - (x-b)\Delta k''^{rd} = b\Delta k \rightarrow \Delta k^{rd} = \frac{1}{b}\Delta P_y$$

نتیجه می شود که با دو k ($\Delta k' = \Delta k''$) می توان اثری مانند y را بدست آورد چون این اثر در نقاط تصویر در یک جهت و مساوی است عنصر b_y، k' و k'' دسته عناصر انتقالی را می سازند.

۲- عناصر مقیاسی b_z، φ' و φ''

b_z دارای اثر y مساوی و در خلاف جهت بر روی نقاط قرینه نسبت به امتداد x است $\Delta b_z = \Delta b_z' = -\Delta b_z''$

φ' و φ'' نیز به ترتیب دارای چنین اثری بر روی خط مستقیم است را

$$\Delta P_y = -\frac{y}{z}\Delta b_z \rightarrow \Delta b_z = -\frac{z}{y}\Delta P_y$$

واجب می باشند پس با تاثیر φ' و φ'' با هم و بطور مساوی می توان اثری معادل b_z ایجاد کرد اگر $\Delta\varphi = \Delta\varphi' = \Delta\varphi''$

باشد داریم: $\delta P_y = \frac{xy}{z}\delta\varphi'' - \frac{(x-b)y}{z}\delta\varphi'' \rightarrow \delta\varphi'' = \frac{z}{by}\delta P_y$

سه عنصر z و b، φ'' و φ'' در دسته عناصر مقیاسی قرار می‌گیرند زیرا اثر آنها تصویر را در جهت y کوچک یا بزرگ می‌کند.

---

۳ - عنصر w

w دارای اثر y هم جهت ولی نامساوی در نقاط مختلف مدل می‌باشد بطوریکه در امتداد نقاط ۱ و ۲ (امتداد x) دارای حداقل اثر و در نقاط دیگر به تناسب دوری از امتداد x، اثر w افزایش می‌یابد.

چون اثر w به هیچیک از دو دسته فوق نیست دسته سوم نقط با عنصر ثقل یافته است. $\delta w = \delta w' = -\delta w''$

$\delta w'' = -\frac{z}{z^2+y^2}\delta P_y$

چون با حذف پارالاکس y در پنج نقطه از مدل با رالاکس y هر شش نقطه و در واقع با رالاکس y تمامی نقاط مدل حذف می‌شود پس برای انجام توجیه نسبی (حذف P_y در ۵ نقطه از مدل) فقط به ۵ عنصر حرکتی مستقل نیاز می‌باشد. باید ببینیم چند ترکیب ۵ تایی از هفت عنصر مستقل و قابل استفاده در توجیه نسبی وجود دارد.

از هیچیک از دسته های عناصر انتقالی و مقیاسی نمی‌توان سه عنصر انتخاب کرد زیرا دارای سه عنصر مستقل نمی‌باشند. دیدیم که اثر by معادل دو k و اثر bz معادل دو φ است - پس از هر دسته از عناصر انتقالی و مقیاسی حداکثر می‌توان دو عنصر (یا دو عنصر دورانی و یا یک عنصر انتقالی + یک عنصر دورانی) برگزید و چون از دو دسته عناصر حداکثر چهار عنصر می‌توان در اختیار داشت به ناچار، حتماً باید از عنصر w نیز کمک گرفت. در نتیجه ترکیبات بدست آمده عبارت خواهند بود از:

۱ - ترکیب عناصر فقط دورانی k'، k''، φ'، φ'' و w

۲ - ترکیب عناصر دورانی و انتقالی (قوام) by، bz، k' یا k''، φ' یا φ'' و w

حال برای یافتن روشی مناسب برای انجام توجیه نسبی باید عناصر مؤثر در P_y هر نقطه از شش نقطه استاندارد مدل را شناخت.

عناصر حرکتی مؤثر در P_y نقطه ۱: by، k'' و w

عناصر حرکتی مؤثر در P_y نقطه ۲: by، k' و w

عناصر حرکتی مؤثر در P_y نقطه ۳ : by ، bz ، k^* ، φ^* و ω

عناصر حرکتی مؤثر در P_y نقطه ۴ : by ، bz ، k' ، φ' و ω

عناصر حرکتی مؤثر در P_y نقطه ۵ : by ، bz ، k^* ، φ^* و ω

عناصر حرکتی مؤثر در P_y نقطه ۶ : by ، bz ، k' ، φ' و ω

روشهای توجیه‌نسبی به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند :

توجیه‌نسبی تجربی ، توجیه‌نسبی محاسباتی و توجیه‌نسبی ترسیمی .

۵- توجیه‌نسبی تجربی

در این روش ، عامل دستگاهی با دید برجسته‌بینی یا رالاکس y قابل مشاهده در ۵ نقطه مدل را با ایجاد تغییر در عنصر حرکتی مورد نظر، حذف می‌کند و از نقطه ششم بعنوان نقطه کنترل استفاده می‌کند زیرا چنانچه در حذف P_y ها خطایی وجود داشته باشد - که معمولاً هم چنین است و هیچگاه نمی‌توان P_y را کاملاً صفر نمود - پارالاکس y های باقیمانده در ۵ نقطه توجیه و همچنین پارالاکس y های ناشی از خطاهای دیگر در نقطه ششم جمع می‌شوند. پس توجیه‌نسبی وقتی به نتیجه مطلوب رسیده است که پس از حذف P_y در پنج نقطه از مدل ، نقطه ششم عاری از پارالاکس y باشد.

با توجه به ترکیب های پنج تایی عناصر مؤثر توجیه‌نسبی فقط با استفاده از عناصر دورانی انجام شود ، توجیه‌نسبی را "دو طرفه" گویند زیرا از عناصر دورانی هر دو پروژکتور استفاده می‌شود؛ بعبارت دیگر تغییرات به هر دو تصویر تشکیل دهنده مدل (هر دو سیستم تصویر) اعمال می‌شود.

در روش کاربرد عناصر انتقالی و دورانی بطور توأم را "توجیه یکطرفه" می‌نامند زیرا از این روش معمولاً زمانی استفاده می‌شود که میبور باشیم یکی از پروژکتورها (یکی از تصویرها) را ثابت نگهداریم و این حالت در انجام مثلث بندی بطریقه مدل پیوسته پیش می‌آید که بالاجبار باید یا از عناصر انتقالی و دورانی

~~پروژکتور ساده استفاده شود یا از عناصر انتقالی و دورانی پروژکتور ساده~~

البته می‌توان از عناصر انتقالی و دورانی هر دو پروژکتور نیز استفاده کرد لکن بنا به دلایلی که در مرحله توجیه مطلق ذکر خواهد شد در جایی که امکان ایجاد تغییر در هر دو پروژکتور (دوتصویر) وجود دارد بهتر است که توجیه نسبی فقط با استفاده از عناصر دورانی، در مرحله تبدیل، انجام شود. بدین سبب اکثر دستگاههای ساخته شده برای انجام تبدیل، فاقد عناصر انتقالی y و z می‌باشند.

۱-۵: توجیه نسبی دوطرفه

الف - توجیه نسبی دوطرفه به روش حذف P_y در هر نقطه و تکرار مراحل

در روش حذفی، با راکس y را بترتیب در پنج نقطه از مدل توسط عناصر دورانی باید حذف کرد که عنصر مورد استفاده در حذف P_y هر نقطه، تأثیری بر با راکس y حذف شده نقاط ماقبل نداشته باشد. با توجه به عناصر دورانی مؤثر در y شش نقطه استاندارد مدل طبق جدول زیر:

- در نقطه ۱: K'' و ω — در نقطه ۴: K'، φ' و ω
- در نقطه ۲: K' و ω — در نقطه ۵: K''، φ'' و ω
- در نقطه ۳: K''، φ'' و ω — در نقطه ۶: K'، φ' و ω

ملاحظه می‌شود که چون عناصر مؤثر در y نقاط ۱ و ۲ در سایر نقاط نیز دارای اثر y می‌باشند پس ابتدا باید از نقاط ۱ و ۲ شروع کرد در غیر اینصورت با حذف P_y نقاط ۱ و ۲، در نقاط دیگر که P_y آنها قبلاً حذف شده مجدداً P_y ایجاد خواهد شد. پس می‌توان نوشت:

۱- حذف P_y موجود در نقطه ۱ توسط K'' یا ω؛

۲- حذف P_y موجود در نقطه ۲ توسط K' (در صورت استفاده از ω در نقطه ۱ مجدداً P_y بوجود می‌آید)؛

۳- حذف P_y موجود در نقطه ۳ توسط φ'' (استفاده از ω یا K'' در نقاط ۱ و ۲ با راکس y ایجاد خواهد کرد)؛

~~۴- حذف $P_{1/2}$ موجود در نقطه ۴ توسط C_P (با استفاده از x_1 یا x_2 در نقاط ۱ و ۲ و ۳ با راکس $\frac{1}{2}$ ایجاد می‌شود)؛~~

۵- نقطه ۵ یا ۶ بعنوان نقطه پنجم انتخاب می‌شود. در این مرحله $P_{1/2}$ موجود در نقاط ۵ و ۶ باید تقریباً مساوی باشند. تنها عنصر باقیمانده از ۵ عنصر دورانی در صورتیکه در نقطه ۱ از x_1 استفاده شده باشد x_3 است و چنانچه در نقطه ۱ از x_3 استفاده شده باشد عنصر x_1 است. x_2 عنصر مناسبی جهت حذف $P_{1/2}$ در نقطه ۵ نمی‌باشد زیرا دارای اثر $\frac{1}{2}$ در هر دو نقطه ۵ و ۶ (هر دو مقطع) میباشد پس قادر به حذف $P_{1/2}$ نقطه ۶ که واقع در مقطع دیگر ($x=b$) است نمی‌باشد. در نتیجه $P_{1/2}$ نقطه پنجم را فقط باید با x_3 حذف نمود که بر روی کلیه نقاط مدل دارای اثر $\frac{1}{2}$ می‌باشد.

استفاده از x_3 سبب ایجاد $P_{1/2}$ در کلیه نقاط مدل می‌شود بنا چار باید مراحل فوق را تکرار کرد.

۶- حذف $P_{1/2}$ ایجاد شده در نقطه ۱ توسط x_1 (از عنصر x_3 در هیچ نقطه دیگری غیر نقطه ۵ نباید استفاده شود)؛

۷- تکرار مراحل ۲، ۳، ۴ و کنترل $P_{1/2}$ در نقطه پنجم که در صورت عدم وجود $P_{1/2}$، باید $P_{1/2}$ نقطه ششم کنترل شود؛

۸- در صورت وجود $P_{1/2}$ در نقطه پنجم، حذف آن توسط x_3؛

۹- تکرار مراحل از ۶ به بعد.

— مراحل فوق آنقدر باید تکرار شوند تا پس از حذف $P_{1/2}$ نقاط ۱، ۲، ۳ و ۴ با راکس $\frac{1}{2}$ باقیمانده در نقطه ۵ در حد قابل قبول باشد. زیرا در این روش $P_{1/2}$ باقیمانده در نقطه ۵ هیچگاه صفر نخواهد شد فقط با افزایش دورهای تکرار می‌توان مقدار آنرا کوچک نمود.

برای ساده‌تر شدن، بجای $P_{1/2}$ نقط ($P_{1/2}$ یعنی) نقطه $P_{1/2}$ نوشته می‌شود.

با اندازه‌گیری پارالاکس $\frac{1}{2}$ در نقطه ۵ می‌توان تعداد دورهای لازم برای رسیدن به $P_{1/2}$ قابل گذشت را بدست آورد.

اگر پس از حذف $P_{1/2}$ چار نقطه ۱، ۲، ۳ و ۴ در دور اول توجیه، $P_{1/2}$ موجود در نقاط ۵ یا ۶ را که

باید تقریباً مساوی باشند ΔP_5 نامیده و آن را با ω حذف کنیم (یعنی ω آنقدر باید تغییر داده شود تا در نقطه ۵ پارالاکس برسانیم ولی در خلاف جهت ΔP_5 موجود ایجاد کند)، با توجه به اثر ω در نقاط مختلف اگر $\Delta P_5 = -\Delta P_6 = -\frac{z^2+d^2}{z}\Delta\omega$ باشد پارالاکسهای ایجاد شده در چار نقطه مدل عبارتند از:

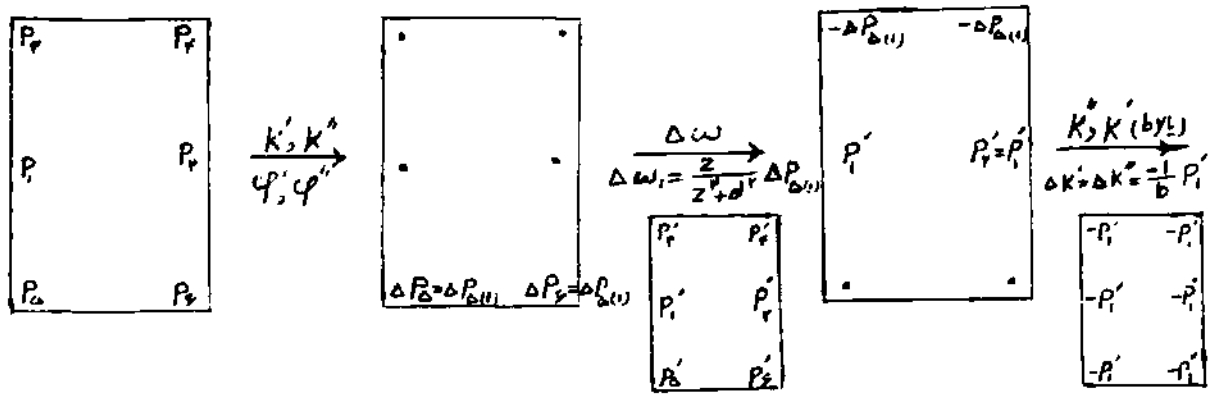
$P_1' = P_2' = -z\,\Delta\omega =$

چون $\Delta\omega = \frac{z}{z^2+d^2}\cdot\Delta P_5$ است پس: $P_1' = P_2' = z\cdot\frac{-z}{z^2+d^2}\cdot\Delta P_5 = \frac{-z^2}{z^2+d^2}\Delta P_5$

$P_3' = P_4' = -\frac{z^2+d^2}{z}\cdot\Delta\omega = -\Delta P_5 = P_5' = P_6'$ $(\Delta\omega = \Delta\omega' = -\Delta\omega)$

چون ΔP_5 پارالاکس حاصل از دور اول توجیه می‌باشد آنرا به $\Delta P_{5(1)}$ نشان میدهیم.

با حذف P_2 ناشی از تغییر $\Delta P_{5(1)}$ $\Delta\omega = \frac{z}{z^2+d^2}\cdot\Delta P_{5(1)}$ در چار نقطه مدل توسط عناصر K'، K''، φ' و φ'' پارالاکس را به دو نقطه ۵ و ۶ برمی‌گردانیم که اگر آن را $\Delta P_{5(2)}$ بنامیم عبارتست از: $\Delta P_{5(2)} = -\Delta P_{5(1)} - 2P_1'$



(شکل ۱۶)

با جایگذاری مقدار P_1' در رابطه $\Delta P_{5(2)}$ خواهیم داشت:

$\Delta P_{5(2)} = -\Delta P_{5(1)} - 2\frac{-z^2}{z^2+d^2}\Delta P_{5(1)}$

$\Delta P_{5(2)} = \left(\frac{z^2-d^2}{z^2+d^2}\right)\Delta P_{5(1)} = R\cdot\Delta P_{5(1)}$

چون همواره $-1 < R < 1$ می‌باشد پس همواره $|\Delta P_{5(2)}| < |\Delta P_{5(1)}|$ می‌شود. با حذف $\Delta P_{5(2)}$ توسط ω $\left(\Delta\omega_2 = \frac{z}{z^2+d^2}\cdot\Delta P_{5(2)}\right)$ و پس حذف P_2 چار نقطه توسط عناصر K'، K''، φ' و φ'' پارالاکس را برگردانده شده به نقاط ۵ و ۶ و پس از انجام دور سوم توجیه $|\Delta P_{5(3)}| < |\Delta P_{5(2)}|$

و برابر خواهد بود با: $\Delta P_{\Delta(3)} = -\Delta P_{\Delta(1)} + P_1'' = \Delta P_{\Delta(1)} + \frac{-z^2}{z^2+d^2}\Delta P_{\Delta(1)}$

$$\Delta P_{\Delta(3)} = \left(\frac{z^2-d^2}{z^2+d^2}\right)\Delta P_{\Delta(1)} \quad \Rightarrow \quad \Delta P_{\Delta(3)} = R\cdot\Delta P_{\Delta(2)} = R^2\cdot\Delta P_{\Delta(1)}$$

چون $|R|<1$ است ملاحظه می‌شود که $|\Delta P_{\Delta(3)}|$ به نسبت R^2 برابر کوچکتر از $|\Delta P'_{\Delta(1)}|$ شده است. چنانچه بهمین ترتیب ادامه دهیم پس از n دور تکرار، پارالاکس باقیمانده در نقطه پنجم برابری شود با:

$$\Delta P_{\Delta(n)} = R\cdot\Delta P_{\Delta(n-1)} = R^{(n-1)}\cdot\Delta P_{\Delta(1)}$$

$\Delta P_{\Delta(n)}$ پارالاکس γ قابل قبول برای

$$\Delta P_{\Delta(n)} = R^{(n-1)}\cdot\Delta P_{\Delta}$$

صرفنظر کردن است، ΔP_{Δ} پارالاکس نقطه پنجم پس از انجام دور اول توجیه و $R=\frac{z^2-d^2}{z^2+d^2}$ میباشند که z فاصله سطح متوسط مدل تا مراکز تصویر و $d = y_2 = y_4 = -y_5 = -y_6$ هستند. با در اختیار داشتن عوامل مذکور، $(n-1)$ تعداد دورهای لازم برای تکرار از معادله فوق قابل محاسبه است.

از طرفین معادله می‌توان لگاریتم گرفت:

$$\log\Delta P_{\Delta(n)} = (n-1)\cdot\log R + \log\Delta P_{\Delta}$$

$$n-1 = \frac{\log\Delta P_{\Delta(n)} - \log\Delta P_{\Delta}}{\log R}$$

ب- انجام توجیه نسبی دوطرفه به روش مساوی کردن P_y ومعرفی تصحیح اضافی

۱- حذف P_1 توسط κ''؛

۲- حذف P_2 توسط κ'؛

۳- مساوی کردن P_y در نقاط ۳ و ۵ توسط φ''؛

۴- مساوی کردن P_y در نقاط ۱ و ۳ توسط ω؛

۵- تکرار مراحل فوق تا نقاط ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ عاری از P_y شوند؛

۶- حذف P_4 توسط φ'.

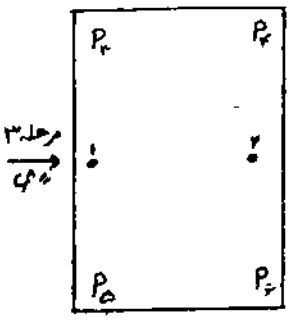
برای مساوی کردن P_y نقاط ۳ و ۵ بوسیله φ'' ابتدا باید P_y موجود در یکی از نقاط را حذف و پس P_y باقیمانده در نقطه دیگر را با همان عنصر نصف نمود. مساوی کردن P_y در نقاط ۱ و ۳ (مرحله ۴) مشکل

است زیرا اثر w در این دو نقطه صفر می باشد. با انجام سه مرحله اول اندیس فوق P_4

نقاط ۱ و ۲ صفر و $P_5 = P_4$ می شود.

مانند نمونه داده شده در شکل روبرو. $P_1 = P_2 = 0$

$P_4 = P_5$



چون اثر w در نقاط ۱ و ۳ هم جهت

است پس با تغییر w برای هم شدن P_3،

پارالاکس y باقیمانده در نقاط ۱ و ۳ در خلاف

(شکل ۱۷)

جهت یکدیگر خواهند بود دیگر اینکه P_3 کاملاً حذف و سپس P_7 اضافی در جهت حذف P_3 در آن نقطه ایجاد می شود. پس برای مساوی کردن P_7 نقاط ۱ و ۳ بوسیله w، Δw آنقدر باید تغییر داده شود تا P_7 اضافی ایجاد شده در نقطه ۳ برابر با P_7 ناشی از Δw در نقطه ۱ شود.

برای بدست آوردن میزان تصحیح اضافی باید اثر Δw را بر روی نقاط ۱ و ۳ مورد بررسی قرار داد.

با تغییر w به میزان Δw، P_7 ایجاد شده در نقطه ۱ برابر است با: $P_{7_1} = -z \cdot \Delta w$

و P_7 نقطه ۳ که هم جهت با P_1 می باشد برابر است با: $P_{7_3} = -z\left(1 + \frac{d^2}{z^2}\right)\Delta w + P_3$ باقیمانده

با مساوی قرار دادن ($P_{7_1} = P_{7_3}$) پارالاکس باقیمانده در نقطه ۳ و P_7 ایجاد شده در نقطه ۱، می توان Δw مورد نیاز را تعیین کرد.

$$-z\,\Delta w = -z\left(1 + \frac{d^2}{z^2}\right)\Delta w + P_3$$

در این روابط: P_3 = پارالاکس اولیه نقطه ۳ پس از انجام مرحله سوم،

$$\Delta w = \frac{+z}{d^2} \cdot P_3$$

P_{7_1} و P_{7_3} پارالاکسهای y نقاط ۱ و ۳ پس از انجام مرحله چهارم،

$$\begin{cases} P_{7_1} = -z\,\Delta w = \dfrac{z^2}{d^2} \cdot (-P_3) \\ P_{7_3} = \dfrac{z^2}{d^2} \cdot (-P_3) \end{cases}$$

d = فاصله نقطه ۳ از نقطه ۱ ($d = y_3$) و z فاصله سطح متوسط

مدل از مراکز تصویر می باشند و $\Delta w = \Delta w' = -\Delta w$.

ملاحظه می شود که w باید آنقدر تغییر داده شود تا در نقطه ۱ یا ۳، پارالاکسی برابر با $\left(-P_3 - \frac{z^2}{d^2}\right)$ (در جهت خلاف P_3 موجود) باقی نماند. $P_{7_3} = \frac{z^2}{d^2}(-P_3)$ را تصحیح اضافی (Over Correction) نقطه ۳

و ضریب $\frac{+z^2}{d^2}$ را ضریب تصحیح اضافی (Over Correction Factor) می‌گویند

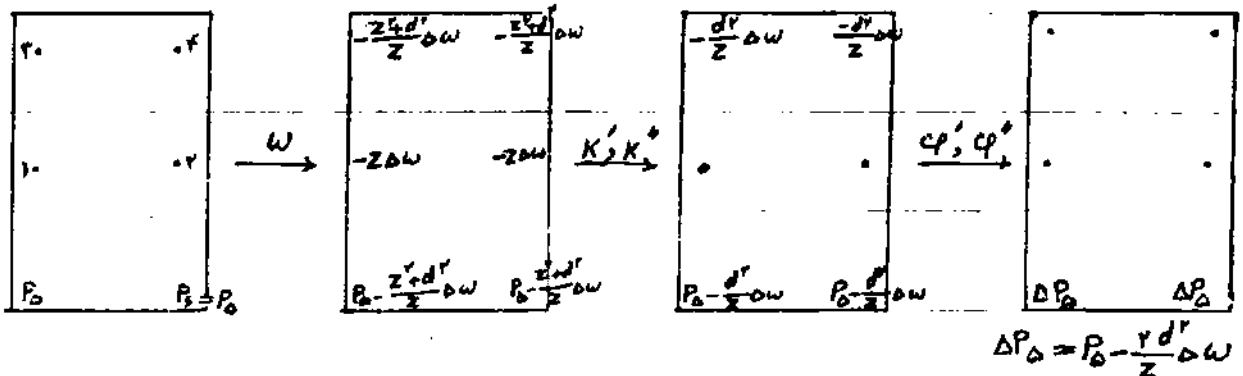
$$O.C.F \equiv \frac{+z^2}{d^2}$$

ج- توجیه نسبی دو طرفه به روش حذف P_2 و معرفی تصحیح اضافی (کلی)

۱- حذف P_2 در نقاط ۱ و ۲ به ترتیب توسط K'' و K'

۲- حذف P_2 در نقاط ۳ و ۴ به ترتیب توسط φ'' و φ'

۳- کنترل P_2 در نقطه ۵، که در صورت وجود، حذف P_5 توسط ω (روش الف)؛ آنگاه پس از معرفی تصحیح اضافی (در جهت مناسب نسبت به P_5) مراحل فوق تکرار می‌شوند تا نقطه ۵ عاری از P_2 گردد.



(شکل ۱۸)

میدانیم که با تغییر ω برای حذف P_5، بار الاکسی با توجه به اثر ω در هر نقطه ایجاد خواهد شد (شکل ۱۸) که پس از تکرار مراحل اول و دوم (حذف P_2 در چهار نقطه ۱و۲و۳و۴)، P_2 برگردانده شده به نقطه ۵ برابر با $\frac{-2d^2}{z} 5\omega$ می‌باشد. چون هدف حذف P_2 نقطه پنجم است پس باید بار الاکس برگردانده شده برابر با $-P_5$ شود یا:

$$P_5 - \frac{2d^2}{z} 5\omega = 0$$

$$\rightarrow P_5 = \frac{2d^2}{z} 5\omega \rightarrow 5\omega = \frac{+z}{2d^2}(P_5)$$

با تغییر ω به میزان $5\omega = \frac{-z}{2d^2}(-P_5)$ (نسبت به نقطه ۵) و حذف مجدد P_2 چهار نقطه دیگر، نقطه پنجم عاری از بار الاکس ۲ خواهد شد ($\Delta P_5 = 0$).

$$5\omega = +5\omega' + -5\omega''$$

مقدار پارالاکس معرفی شده به نقطه ۵ بازاء سه مذکور عبارتست از:

$$P_{1/5} = -\frac{z^2+d^2}{z}\,\delta\omega = -\frac{z^2+d^2}{z}\cdot\frac{z}{2d^2}(P_5) = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}+1\right)(-P_5)$$

$P_{1/5}$ پارالاکس ایجاد شده در اثر سه معرفی شده در نقطه ۵ است که به تصحیح کلی معروف می باشد. پس ضریب $(-P_5)$ در فرمول آن یعنی $\frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}+1\right)$ ضریب تصحیح کلی است.

میدانیم که تصحیح اضافی برابر است با اختلاف مقدار تصحیح کلی و پارالاکس موجود در نقطه ۵؛ و یا با در نظر گرفتن علامت وجهت چون تصحیح کلی و پارالاکس نقطه ۵ دارای علامت مخالف می باشند پس تصحیح اضافی برابر با حاصل جمع جبری آن دو می باشد.

$$\text{تصحیح اضافی} = P_{1/5}(\text{تصحیح کلی}) + P_5 = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}+1\right)(-P_5) + P_5$$

علامت ضریب تصحیح اضافی به نوع دوربین و پوشش عکسبرداری که تعیین کننده مقدار $\frac{z}{d}$ می باشد، بستگی دارد.

$$\text{تصحیح اضافی} = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}-1\right)(-P_5)$$

$$\text{Total Correction} = T.C. = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}+1\right)(-P_5)$$

$$\text{Total Correction Factor} = T.C.F. = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}+1\right)$$

$$\text{Over Correction} = O.C. = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}-1\right)(-P_5)\ ,\quad O.C.F. = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}-1\right)$$

- روش اجرا:

- مراحل اجرای توجیه نسبی دوگرفته بروش حذف P_y واستفاده از معرفی تصحیح اضافی بترتیب زیر است:

۱- حذف P_1 توسط κ'' ۳- حذف P_3 توسط φ''

۲- حذف P_2 توسط κ' ۴- حذف P_4 توسط φ'

۵- حذف P_5 توسط ω و معرفی تصحیح اضافی $= (-P_5)\left(\frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}-1\right)\right)$

بدینصورت که ابتدا خطکش و رنیه مدرج ω مورد نظر مثلاً ω را یادداشت می کنیم (r_ω). پس از حذف P_y قابل مشاهده در نقطه پنجم توسط ω، مجدداً خطکش و رنیه ω را قرائت و یادداشت می کنیم (r'_ω). اختلاف دو قرائت ($\Delta\omega$) میزان چرخش مورد نیاز ω برای

حذف P_5 می‌باشد پس برای بدست آوردن تصحیح اضافی مربوط به جرخش لازم می‌توانیم Δw را بجای $(-P_5)$ در رابطه مربوط به تصحیح اضافی قرار دهیم. پس:

$$\Delta w' = w'_2 - w'_1$$

مقدار $\Delta w'_{(1)}$ بدست آمده $= \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2} - 1\right) \Delta w'$ تصحیح اضافی دور اول

آمده را در جهت حذف P_5 (هم جهت با Δw) به خطکش و ورنیه w' معرفی می‌کنیم تا خطکش و ورنیه در قرائت $w'_1 = w'_2 + \Delta w$ قرار گیرد. باید دقت نمود که تصحیح اضافی بدست آمده را باید به w' (که مورد استفاده برای حذف P_5 معرفی کرد و چنانچه بخواهیم از w دیگر استفاده کنیم باید تصحیح اضافی در جهت خلاف به آن معرفی شود.

$$\Delta w'_{(1)} = -\Delta w'_{(1)}$$

۶- تکرار مراحل ۱ تا ۴

۷- کنترل P_5 که در صورت وجود تکرار مراحل ۵ تا ۷ و در صورت عدم وجود باید P_4 کنترل شود.

در انتخاب و اجرای این روش باید توجه داشت که نقطه باید مسطح و نقاط نسبت به امتداد محور X قرینه باشند تا $d = d_2 = d_4 = d_5 = d_6$ شود.

در اجرای مراحل فوق می‌توان ترتیب مرحله ۱ را با ۲ و مرحله ۳ را با ۴ جابجا کرد. دور اوّل توجیه نسبی معمولاً تقریبی است و از دور دوم به بعد P_4 نقاط باید بطور دقیق حذف شوند، بدین سبب باید به نکات زیر توجه نمود.

پس از حذف P_2 باید مرحله قبل که حذف P_1 بوده است کنترل شود تا چنانچه پارالاکسی در این نقطه ایجاد شده باشد مشاهده و حذف گردد. زیرا K' که برای حذف P_2 مورد استفاده قرار می‌گیرد فقط در نقطه مرکز و نقاط امتداد محور Y اثر ندارد و پس اگر نقطه مورد استفاده، نقطه

~~از مرکز یا امتداد ۷ ناحیه داشته باشد K در آن نقطه اثر ۷ خواهد گذاشت.~~

درعمل درصورتی باید به حذف P_3 و P_4 اقدام کرد که نقاط ۱ و ۲ کاملاً عاری از P_7 شده باشند. بهمین دلیل، پس از چند مرتبه رفت و برگشت و حذف P_7 در نقاط ۳ و ۴ و همچنین کنترل P_1 و P_2، درصورتی باید اقدام به حذف P_5 توسط ۱۱ نمود که چهار نقطه ۱، ۲، ۳ و ۴ عاری از P_7 شده باشند.

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 0$$

چنانچه چهار نقطه ۱، ۲، ۳ و ۴ در موقعیت های صحیح و مناسب انتخاب نشوند، دورهای تکرار افزایش یافته و دقت حذف P_7 کاهش می یابد.

گاهی اوقات به سبب تار، تیره یا خیلی روشن بودن رنگ تصاویر موجود در موقعیتهای صحیح نقاط توجیه، که امکان مشاهده پارالاکس x و y در نقطه نشانه را بطور واضح از بین میبرد، میتوان به ایجاد تغییر مکان در نقاط مناسب توجیه می شویم که در اینصورت برای جلوگیری از افزایش دورهای تکرار و کاهش دقت باید سعی نمود که نقاط جابجا انتخاب شده، در مراحل استفاده از K ها یا φ ها دوسین نقطه توجیه در نظر گرفته شوند.

د- توجیه نسبی به روش حذف P_7 در هر مقطع مدل بطور مجزا

با توجه به اثر عناصر دورانی بر روی شش نقطه مدل ملاحظه می شود که عناصر K' و φ' فقط بر نقاط ۲ و ۴ از مقطع سمت راست و عناصر K'' و φ'' فقط بر نقاط ۱ و ۳ از مقطع سمت چپ برای حذف P_7 مؤثرند. پس می توان هر مقطع را مستقل از دیگری توجیه نمود.

حسن این روش اینست که زمان کمتری برای انجام توجیه نسبی لازم است در نتیجه با کمتر اشتغال شدن وقت دستگاهی برای تبدیل هر مدل، در زمان و هزینه مورد نیاز صرفه جویی خواهد شد.

در این روش ابتدا یکی از مقاطع مدل (یا مقطع سمت چپ یا راست) توجیه می شود و در دور آخر مقطع دیگر نیز عاری از P_7 خواهد شد. مراحل کار برای توجیه، که بالفرض ابتدا مقطع

سمت راست را می خواهیم توجیه کنیم، سیکل زیر می باشد:

۱- حذف P_7 در مرکز مدل (نقطه ای بین ۱ و ۲) توسط ω ؛

۲- حذف P_7 در نقطه ۲ توسط κ' ؛

۳- حذف P_7 در نقطه ۴ توسط φ' ؛

۴- کنترل P_7 نقطه ۶ که در صورت وجود، P_6 حذف و تصحیح اضافی بنا به رابطه $(P_6-)(1-\frac{z^2}{d^2})\frac{1}{2}$ توسط ω معرفی شود؛

۵- تکرار مراحل ۲، ۳ و ۴ تا اینکه پس از انجام مراحل ۲ و ۳، نقطه ۶ عاری از P_7 شده باشد؛

۶- حذف P_7 در نقطه ۱ توسط κ'' ؛

۷- حذف P_7 در نقطه ۳ توسط φ'' ؛

۸- کنترل P_7 نقاط مقطع سمت راست و حذف P_7 در صورت نیاز، تا اینکه چهار نقطه ۱، ۲، ۳ و ۴ عاری از P_7 شوند؛

۹- کنترل P_7 نقاط ۵ و ۶ که در صورت وجود باید حذف شده و تصحیح اضافی معرفی شود؛

۱۰- حذف P_7 چهار نقطه ۱، ۲، ۳ و ۴ و کنترل P_7 نقاط ۵ و ۶.

در این مرحله معمولاً نقاط ۵ و ۶ عاری از P_7 خواهند بود.

۲-۵: توجیه نسبی یکطرفه

در توجیه نسبی یکطرفه که معمولاً در انجام مثلث بندی هوایی به روش مدلهای پیوسته اجرا می شود فقط از عناصر انتقالی و دورانی یکی از پروژکتورها باید استفاده نمود و مجاز به ایجاد تغییری در عناصر پروژکتور دیگر نمی باشیم.

در این حالت نیز منطقه مسطح و نقاط مناسب توجیه نقاط استاندارد در نظر گرفته شده اند.

۳-۵- تعیین ω (تصحیح اضافی) در حالت کلی

- در صورتیکه بعللی نتوان نقطه پنجم را در موقعیت یکی از نقاط استاندارد ۳، ۴، ۵ یا ۶ در نظر گرفت، مقدار ω لازم برای حذف P_5 و معرفی تصحیح اضافی، با تغییر مختصات نقطه پنجم، تغییر خواهد کرد. با دانستن اثر ω در هر نقطه، مقدار ω مورد نیاز جهت معرفی در نقطه پنجم دلخواهی به مختصات $\begin{matrix}\alpha \\ e\end{matrix}\Big|_{5}$ را می توان بدست آورد.

اگر بنا بفرض توجیهی در مقطع سمت چپ و با استفاده از عناصر دورانی انجام شود و $\Delta\omega$ مقدار ω لازم جهت معرفی در نقطه پنجم واقع در مقطع سمت چپ $\left(\begin{matrix}\alpha \\ e\end{matrix}\Big|_{5}\right)$ باشد

می توان با استفاده از معادله پارالاکس ۷ نوشت:

$$\begin{cases} P_1 = b_0 \Delta K'' - z\Delta\omega \\ P_3 = b_0 \Delta K'' + \frac{b_0 y}{z}\Delta\varphi'' - z\left(1+\frac{y^2}{z^2}\right)\Delta\omega \\ P_5 = b_0 \Delta K'' + \frac{b_0 e}{z}\Delta\varphi'' - z\left(1+\frac{e^2}{z^2}\right)\Delta\omega \end{cases}$$

e ممکن است مثبت یا منفی باشد. $\Delta\omega = +\Delta\omega' = -\Delta\omega''$

و $\begin{matrix}\alpha \\ e\end{matrix}\Big|_{3} = \begin{matrix}0 \\ y_3\end{matrix}$ و $\begin{matrix}\alpha \\ e\end{matrix}\Big|_{1} = \begin{matrix}0 \\ y_1\end{matrix}$

$$e_1 \begin{cases} P_3 - P_1 = \frac{b_0 y}{z}\Delta\varphi'' - \frac{y^2}{z}\Delta\omega \\ P_5 - P_1 = \frac{b_0 e}{z}\Delta\varphi'' - \frac{e^2}{z}\Delta\omega \end{cases} -y_1$$

$$e(P_3 - P_1) - y(P_5 - P_1) = \left(-\frac{y^2 e}{z} + \frac{e^2 y}{z}\right)\Delta\omega$$

پس از صفر شدن P_2 نقاط ۱ و ۳ داریم: $P_1 = P_3 = 0$

$$\rightarrow -y_0 P_5 = \frac{-y^2 e + e^2 y}{z}\cdot\Delta\omega$$

$$\rightarrow P_5 = \frac{ye - e^2}{z}\cdot\Delta\omega$$

چون P_5، پارالاکس ۷ برگشت یافته به نقطه ۷، در اثر تغییر $\Delta\omega$ باید از بین برود پس $\Delta\omega$ در جهتی باید تغییر داده شود که P_5 حاصل برابر با $(-P_5)$ باشد یعنی:

$$-P_5 = \frac{ey - e^2}{z}\Delta\omega$$

$$\rightarrow \Delta\omega = \frac{z}{e^2 - ye}(+P_5)$$

P_5 معرفی شده به نقطه ۷، در اثر تغییر $\Delta\omega$ را که تصحیح کلی نام نهادیم برابر است با:

~~$T.C = P_{Y_V} = -z\left(1+\frac{e^2}{z}\right)\Delta w$~~

با جایگذاری Δw داریم:

$$T.C = -z\left(1+\frac{e^2}{z^2}\right)\cdot\frac{z}{ey-e^2}(-P_V)$$

$$T.C = \frac{z^2+e^2}{e^2-ey}\cdot(-P_V)$$

و دیدیم که:

تصحیح کلی = تصحیح اضافی + P_V

پس تصحیح اضافی برابر است با:

$$O.C = \frac{z^2+e^2}{e^2-ey}(-P_V) + P_V$$

$$O.C = \frac{z^2+ey}{e^2-ey}\cdot(-P_V)$$

که در صورت $y=d$ داریم:

ضریب تصحیح کلی $= T.C.F = \frac{z^2+e^2}{e^2-ed}$

ضریب تصحیح اضافی $= O.C.F = \frac{z^2+ed}{e^2-ed}$

از روابط بدست آمده برای تصحیح های کلی و اضافی جهت معرفی در هر نقطه دلخواه $\frac{v}{e}$ بعنوان آن نقطه بیم توجه نسبی نیز می توان استفاده نمود.

برای کنترل، اگر نقطه ۷ بر نقطه ۵ منطبق باشد یعنی $e=-d$ پس:

ضریب تصحیح کلی $= T.C.F = \frac{z^2+d^2}{d^2+d^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}+1\right)$

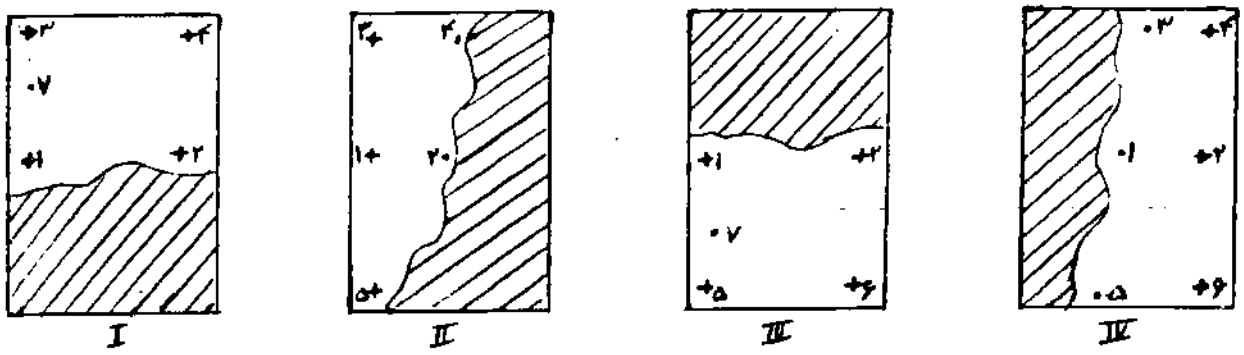
ضریب تصحیح اضافی $= O.C.F = \frac{z^2-d^2}{d^2+d^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}-1\right)$

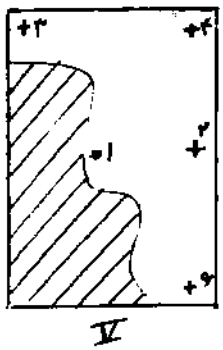
با توجه به روابط فوق در حالت $e=-d$، خرج کسرها ماکزیمم مقدار خود و در نتیجه تصحیحات حداقل مقدار خود را دارا خواهند شد و این دلیلی بر انتخاب نقطه ۵ برای اعمال تصحیحات در آن نقطه مورد نیاز جهت انجام توجیه نسبی می باشد. در $e=0$ و $e=d$ که خرج کسرها صفر می شود ضرایب تصحیح اضافی و کلی بینهایت خواهند شد. و در $e=\frac{d}{2}$ که نقطه ۷ در وسط نقاط ۱ و ۳ واقع می شود ضریب تصحیح اضافی در نقطه ماکزیمم منفی خود و منفی می باشد لذا به کمک تغییرات سریع ضریب تصحیح اضافی، P_V باید با دقت اندازه گیری شود.

۴-۵-۵- توجیه نسبی مدلهای ناقص

مدلی را که قسمتی از آن بدلیل وجود آب، کوهری بودن و یا ابری بودن آسمان در زمان عکسبرداری قابل دید برجسته بینی نباشد، "مدل ناقص" گویند. در مدلهای ناقص، نقاط توجیه را در قسمتهایی که دارای دید برجسته بینی واضح می باشد باید در نظر گرفت.

مدل ناقص به چندین صورت، بطور مثال چند نمونه زیر امکان دارد وجود داشته باشد:



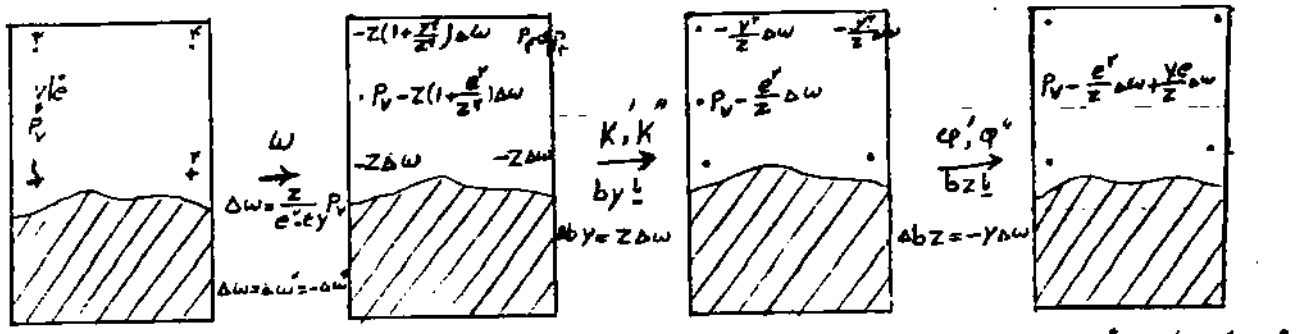


نمایش مدلهای ناقص
(شکل ۱۹)

الف - درحالتهایی مانند II، III و IV که نبی از عرض مدل غیر قابل مشاهده است می توان نقاط توجیه را در یکی از مقاطع در موقعیتهای استاندارد در نظر گرفت و توجیه نسبی را به روش مقطعی اجرا کرد. سپس پارالاکس y باقیمانده در کناره قابل رویت را توسط مختصات x و y مربوط به توجیه مقطع دیگر حذف نمود.

درحالتهایی مانند I و III که نبی از طول مدل غیر قابل مشاهده برجسته بینی است نقطه پنجم باید جابجا شده و در نبی دارای دید برجسته بینی در نظر گرفته شود مانند نقطه $7\,|\,{}^{q}_{e}$ که e ممکن است مثبت یا منفی باشد. در این حالت چون مختصات نقطه پنجم تغییر کرده است پس میزان معرفی تصحیح اضافی نیز تغییر خواهد کرد. با توجه به روابط مربوط به تصحیحات در بخش ۳-۵ می توان تصحیح اضافی مورد نیاز جهت معرفی در نقطه ای مانند 7 را بدست آورد.

$$O.C = \frac{z^2 + ey}{e^2 - ey}(-P_V)$$



(شکل ۲۰)

با توجه به اشکال فوق ملاحظه می‌شود که توجیه‌پذیری مدل درصورتی کامل است که پارالاکس V برگردانده شده به نقطه V به اضافه P_V برابر با صفر شود یعنی:

$$P_V + \frac{ye}{z}\Delta\omega - \frac{e^2}{z}\Delta\omega = 0$$

$$-P_V = \frac{ye - e^2}{z}\Delta\omega \longrightarrow \Delta\omega = \frac{z}{ye - e^2}(-P_V)$$

$$T.C = -z\left(1 + \frac{e^2}{z^2}\right)\Delta\omega = \frac{e^2 + z^2}{e^2 - ey}(-P_V)$$

$$O.C = T.C + P_V = \frac{ey + z^2}{e^2 - ey}(-P_V)$$

$$T.C.F = \frac{e^2 + z^2}{e^2 - ey}$$

$$O.C.F = \frac{ey + z^2}{e^2 - ey}$$

ب - توجیه‌پذیری مدل ناقص با استفاده از ترازگذاری

مدل ناقص را می‌توان به روشی دیگر که شرح مراحل اجرای آن در زیر می‌آید، انجام داد.

بنابفرض مدل ناقص حالت I را در نظر می‌گیریم و توجیه‌پذیری دو طرفه انجام می‌شود.

۱- حذف P_V چهار نقطه ۱، ۲، ۳ و ۴ از مدل توسط K''، K'، φ'' و φ' (ترتیب)؛

۲- ترازگذاری مدل بکمک ارتفاعات مشخص سه نقطه ارتفاعی ۱، ۲ و ۳؛

(در ترازگذاری که در فصل بعد بطور کامل شرح داده می‌شود با معرفی دورانهایی حول محور X و محور Y

کلی به مدل و ارتفاع زمینی حداقل سه نقطه از مدل را به آنها معرفی می کنیم بدینصورت ارتفاع دستگاهی کلیه نقاط مدل از جمله نقطه ۴ برابر با ارتفاع زمینی آن خواهد شد).

۳ - قرائت ارتفاع دستگاهی نقطه ۴ و تعیین اختلاف ارتفاع دستگاهی و زمینی آن نقطه :

چون میدانیم که در توجیه نسبی ، ω صحیح هنوز معرفی نشده است پس بعلت تغییر شکل مدل ناشی از عدم معرفی ω صحیح ، ارتفاع زمینی و دستگاهی نقطه چارم (نقطه ۴) برابر نخواهد بود در صورتیکه نقطه ۴ ارتفاع زمینی خود را دارا باشد مدل توجیه نسبی است و نیازی به معرفی ω ها نمی باشد .

بطور مثال اگر $h_{(4)} = 1800^m$ ارتفاع دستگاهی و $h_{(4)} = 2000$ ارتفاع زمینی باشد

$$\Delta h_{(4)} = h_{(4)} \text{ زمینی} - h'_{(4)} \text{ دستگاهی} = 2000 - 1800 = 200^m$$

۴ - قرائت خطکش و ریز سنج یکی از ω ها و سپس تغییر آن به مقدار مشخص :

مثلاً اگر ω'_4 = مقدار قرائت شده باشد ..... $\omega'_4 + \Delta\omega' = \omega'_4 + 0.5^g = \omega''_4$

۵ - حذف P_4 ناشی از ω'_4 در نقاط ۱ ، ۲ ، ۳ و ۴ مدل بترتیب توسط φ' ، κ' ، φ'' و κ'' ؛

۶ - کنترل ارتفاعهای نقاط ۱ ، ۲ و ۳ و در صورت لزوم تراز گذاری مجدد ؛

۷ - کنترل ارتفاع دستگاهی نقطه ۴ که چنانچه برابر با ارتفاع زمینی آن نقطه شده باشد ω'_4 صحیح معرفی شده است . در غیر اینصورت باید اختلاف ارتفاع دستگاهی و زمینی جدید نقطه چارم را بدست آورده ، بطور مثال اگر ..... $h''_{(4)} = 1700^m$ ارتفاع دستگاهی جدید باشد

$$\Delta h''_{(4)} = h_{(4)} - h''_{(4)} = 2000 - 1700 = 300^m$$

۸ - بکمک مناسبی مقدار نهایی ω'_4 بدست می آید ؛

زیرا با ازاء تغییر $\Delta\omega'_4 = +0.5^g$ ، $\Delta h_{(4)} = \Delta h'_{(4)} - \Delta h''_{(4)} = 200 - 300 = -100$ از ارتفاع دستگاهی نقطه چارم کاسته شده است درحالیکه باید ۲۰۰ متر افزایش می یافت یعنی باید ω'_4 را به میزان $\frac{\Delta h'}{\Delta h}$ ، $\Delta\omega'_4 = \Delta\omega'$ کم می کردیم ،

$$\Delta\omega' = -0.5 \times \frac{200}{100} = -1^g$$

پس ω دارای قرائت $\omega' + \omega_1'$ خواهد شد.

$$\omega' = \omega_1' - 1^g$$

۹- صرفی ω (یا ω نهایی) به دستگاه ؛

۱۰- حذف P_4 چهارنقطه مدل.

۵-۵: توجیه نسبی مدلهای کوهستانی

روشها و روابط ذکر شده، برای انجام توجیه نسبی مدلهای مسطح که نقاط قرینه دارای فواصل مساوی از محور x می باشند صادق است. چنانچه منطقه کوهستانی باشد z نقاط قرینه از مدل مساوی نمی باشند در نتیجه فواصل z نقاط قرینه برابر خواهند بود. لیکن باید نقاط مناسب توجیه در فواصلی از محور x قرار گیرند که رابطه زیر بین مختصات y و z آنها برقرار باشد.

$$z_3 \neq z_5 \Rightarrow y_3 \neq y_5 \quad , \quad z_4 \neq z_6 \rightarrow y_4 \neq y_6$$

اگر $k = tg\alpha$ باشد :

$$\frac{y_3}{z_3} = \frac{y_4}{z_4} = \frac{-y_5}{z_5} = \frac{-y_6}{z_6} = -k$$

(α زاویه شعاعهای نقاط مذکور با محورهای قائم می باشد).

$$\frac{y_i^2}{z_i^2} = k^2$$

برای تعیین ω لازم جهت حذف P_5 و صرفی تصحیح اضافی معادلات زیر را در نظر می گیریم :

$$\begin{cases} P_1 = \Delta by & -z_1 \Delta\omega \\ P_3 = \Delta by + k \cdot \Delta bz & -z_3(1+k^2)\Delta\omega \\ P_5 = \Delta by - k \cdot \Delta bz & -z_5(1+k^2)\Delta\omega \end{cases} \qquad \begin{cases} \Delta by = \Delta by' = -\Delta by'' \\ \Delta bz = \Delta bz' = -\Delta bz'' \\ \Delta\omega = \Delta\omega' = -\Delta\omega'' \end{cases}$$

فرض کرده ایم که توجیه نسبی یکطرفه انجام می شود.

$$\begin{cases} P_3 - P_1 = +k \cdot \Delta bz + z_1\Delta\omega - z_3(1+k^2)\Delta\omega \\ P_5 - P_1 = -k \cdot \Delta bz + z_1\Delta\omega - z_5(1+k^2)\Delta\omega \end{cases}$$

$$P_5 + P_3 - 2P_1 = 2z_1 \Delta w - (z_3 + z_5)(1+k^2)\Delta w$$

با توجه به اینکه میدانیم Δw در صورتی باید معرفی شود که P_1 و P_3 صفر شده‌اند پس:

$$P_5 = [2z_1 - (z_3 + z_5)(1+k^2)]\Delta w$$

و چون Δw باید آنقدر تغییر کند که با رالاکس برگردانده شده به نقطه ۵، P_5 موجود آن نقطه را حذف کند پس،

$$\Delta w [2z_1 - (z_3 + z_5)(1+k^2)] = -P_5$$

$$\Rightarrow \quad \Delta w = \frac{1}{2z_1 - (z_3 + z_5)(1+k^2)} \cdot (-P_5)$$

و برای قطع سمت راست بطور مشابه:

$$\Delta w = \frac{1}{2z_2 - (z_4 + z_6)(1+k^2)} \cdot (-P_6)$$

متوسط این دو Δw را می‌توان به عنوان بهترین مقدار Δw در نظر گرفت.

تصحیح کلی در نقطه ۵ یا ۶ برابر خواهد شد با:

$$T.C_{(5)} = \frac{-z_5(1+k^2)}{2z_1 - (z_3 + z_5)(1+k^2)} \cdot (-P_5)$$

یا: $$T.C_{(6)} = \frac{-z_6(1+k^2)}{2z_2 - (z_4 + z_6)(1+k^2)} \cdot (-P_6)$$

و برای تعیین تصحیح اضافی داریم:

$$O.C = T.C + P_5$$

$$O.C_{(5)} = \frac{-2z_1 + z_3(1+k^2)}{2z_1 - (z_3 + z_5)(1+k^2)} \cdot (-P_5)$$

یا: $$O.C_{(6)} = \frac{-2z_2 + z_4(1+k^2)}{2z_2 - (z_4 + z_6)(1+k^2)} \cdot (-P_6)$$

و $$O.C.F = \frac{-2z_1 + z_3(1+k^2)}{2z_1 - (z_3 + z_5)(1+k^2)} \quad \text{یا} \quad \frac{-2z_2 + z_4(1+k^2)}{2z_2 - (z_4 + z_6)(1+k^2)}$$

اگر $z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = z_5 = z_6 = z$ و $k = -\frac{d}{z}$ در نظر گرفته شود، خواهیم داشت:

$$T.C = \frac{-z(1+\frac{d^2}{z^2})}{+2z - 2z(1+\frac{d^2}{z^2})} \cdot (-P_5) = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2} + 1\right) \cdot (-P_5)$$

$$O.C = \frac{-2z + z(1+k^2)}{2z - 2z(1+k^2)} \cdot (-P_5) = \frac{1}{2}\left(\frac{k^2-1}{-k^2}\right) \cdot (-P_5)$$

$$\rightarrow \quad O.C = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2} - 1\right) . (-P_5) \qquad \text{---------}$$

که همان تصحیحات بدست آمده در توجیه‌نسبی مدل مطلق می‌باشند .

۶-۵- تعیین z_0 و α به روش ترسیمی

تعیین z_0 و α مورد نیاز جهت محاسبه تصحیح اضافی برای حذف P_y نقطه پنجم به روشهای گوناگونی امکان پذیر می‌باشد . یکی از این روشها ، طریقه ترسیمی است . دو روش ترسیمی در اینجا آورده می‌شود .

الف- استفاده از دایره کاسپر (KASPER CIRCLE)

فرض کنیم هدف توجیه‌نسبی مقطع سمت چپ می‌باشد . دایره‌ای از نقاط ۱، ۳ و O' (مرکز تصویر پروژکتور سمت چپ) می‌گذرانیم (شکل ۲۱) . نقاط ۱، ۳ و ۵ را بترتیب به A ، B و C نامگذاری می‌کنیم ؛ نقاط ۳ و ۵ ترجیحاً انتخاب شده‌اند . طوری که $k = -\frac{y_3}{z_3} = \frac{-y_5}{z_5}$ و $k = \operatorname{tg}\alpha$ ،

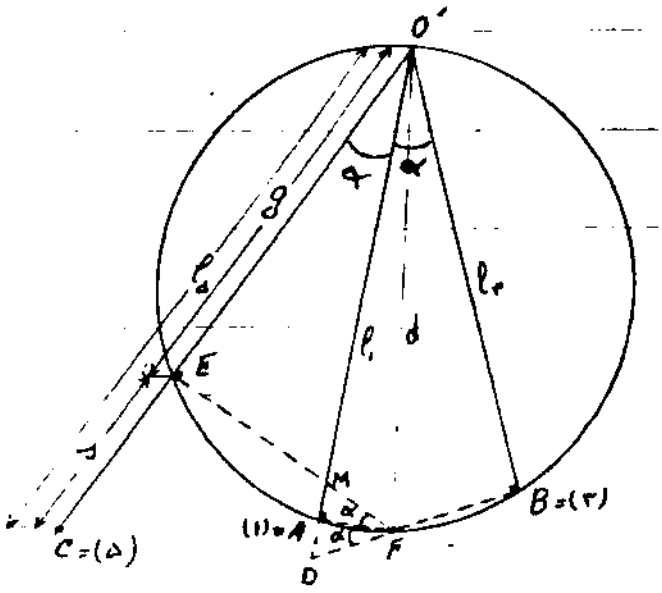
$z_1 = \overline{O'1} = \overline{O'A} = \ell_1 + \hat{AO'B} = \hat{AO'C} = \alpha$ ،

$\overline{O'5} = \overline{O'C} = \ell_5$ و $\overline{O'3} = \overline{O'B} = \ell_3$ می‌باشند

از نقطه E عمل برخورد شعاع تودی مربوط به نقطه ۵ با دایره ، عمودی اخراج می‌کنیم تا شعاع نقطه او محیط دایره را بترتیب در M و F قطع کند .

امتداد $O'F$ از مرکز دایره می‌گذرد ($O'F$ = قطر دایره $= d = 2z$)، پس $\hat{O'BF} = \hat{O'AF} = 90^\circ$.

$\overline{O'E} = g$ و $\overline{EC} = \Delta$ باشند اگر می‌باشند



(شکل ۲۱)

ثابت می‌شود که ضریب تصحیح اضافی $O.C.F = \frac{g}{\Delta}$ خواهد شد.

در مثلث قائم‌الزاویه $O'EM$ می‌توان نوشت: $g = \overline{O'm}.\cos\alpha = (l_1 - \overline{MA}).\cos\alpha$

اگر محل برخورد امتداد خطوط FB و l_1 را D بنامیم دو مثلث قائم‌الزاویه ADF و AMF مساوی خواهند شد زیرا AF در هر دو مشترک و $A\hat{F}M = A\hat{F}D = \alpha$ می‌باشند پس:

$\overline{MA} = \overline{AD}$

در مثلث قائم‌الزاویه $O'BD$ می‌توان نوشت: $\overline{O'B} = \overline{O'D}.\cos\alpha$

$\Rightarrow l_2 = (l_1 + AD)\cos\alpha$

$\Rightarrow \overline{AD}.\cos\alpha = l_2 - l_1\cos\alpha \quad \Rightarrow \quad \overline{MA}.\cos\alpha = l_2 - l_1\cos\alpha$

پس: $g = l_1.\cos\alpha - l_2 + l_1\cos\alpha$

$\Rightarrow g = 2l_1.\cos\alpha - l_2$

وهمچنین داریم: $\Delta = \overline{O'C} - g = l_5 - g$

$\Delta = l_5 - 2l_1\cos\alpha + l_2$

$\frac{g}{\Delta} = \frac{2l_1\cos\alpha - l_2}{-2l_1\cos\alpha + l_2 + l_5}$

اگر Z_1، Z_2، Z_3 و Z_4 به ترتیب Z های نقاط ۱، ۲، ۳ و ۴ باشند می‌توان نوشت:

$l_1 = Z_1 \quad , \quad l_2 = \frac{Z_2}{\cos\alpha} \quad , \quad l_5 = \frac{Z_5}{\cos\alpha} \quad , \quad \ldots \quad , \quad 1 + k^2 = 1 + tg^2\alpha = \frac{1}{\cos^2\alpha}$

با جایگذاری Z ها یا l ها خواهیم داشت:

$\frac{g}{\Delta} = \frac{2Z_1\cos\alpha - \frac{Z_2}{\cos\alpha}}{-2Z_1\cos\alpha + \frac{Z_3 + Z_5}{\cos\alpha}} = \frac{2Z_1 - \frac{Z_2}{\cos^2\alpha}}{-2Z_1 + \frac{Z_3 + Z_5}{\cos^2\alpha}}$

$\frac{g}{\Delta} = \frac{2Z_1 - Z_2(1 + k^2)}{-2Z_1 + (Z_3 + Z_5)(1 + k^2)}$

با مقایسه رابطه $\frac{g}{\Delta}$ با رابطه مربوط به تصحیح اضافی مدل‌های کوهستانی ملاحظه می‌شود که:

$O.C.F = + \frac{g}{\Delta} = \frac{-2Z_1 + Z_2(1 + k^2)}{2Z_1 - (Z_3 + Z_5)(1 + k^2)}$

$$O.C = +\frac{g}{5}(-P_5)$$ پس

و :

$$T.C = O.C - P_5$$

$$T.C = +\frac{g}{5}(-P_5) - P_5 = \frac{g+5}{5}.(-P_5)$$

$$T.C = \frac{l_5}{5}.(-P_5) \quad , \quad T.C.F = \frac{l_5}{5}$$

ملاحظه می‌شود که با ترسیم دایره گذرنده از نقاط ۰، ۱ و ۳ نقطه E در امتداد شعاع نقطه ۵ بطریق ترسیمی براحتی بدست می‌آید با اندازه‌گیری دقیق طولهای g و 5 بسادگی می‌توان فرایب تصحیح اضافی و کلی را بدست آورد.

اگر $g = l_5$ شود یعنی نقطه ۵ نیز بردوی دایره قرار گیرد، تصحیح اضافی را نمی‌توان از سه نقطه مقطع سمت چپ بدست آورد زیرا $O.C.F = \infty$ می‌باشد و برای تعیین مقدار تصحیح اضافی باید از مقطع سمت راست استفاده کرده و نقطه پنجم را در این مقطع برگزید.

دایره مقطع سمت چپ را در این حالت که چهار نقطه ۰، ۱، ۳ و ۵ بردوی یک دایره قرار می‌گیرند، "دایره همرانی" گویند.

ب - تعیین l_5 بروش واسطه‌یابی (انترپولاسیون)

برای تعیین تغییر l_5 لازم جهت معرفی تصحیح کلی و انجام توجیه‌نسبی، طریقه ترسیمی دیگری نیز وجود دارد. مراحل اجراء، بفرض برای توجیه نسبی مقطع سمت چپ، بشرح زیر می‌باشد:

۱- حذف P_7 نقاط ۱ و ۳ بترتیب توسط k'' و φ'' یا b_7 و b_2؛

۲- اندازه‌گیری P_7 باقیمانده در نقطه ۵ بطور مثال $P'_{5(1)}$؛

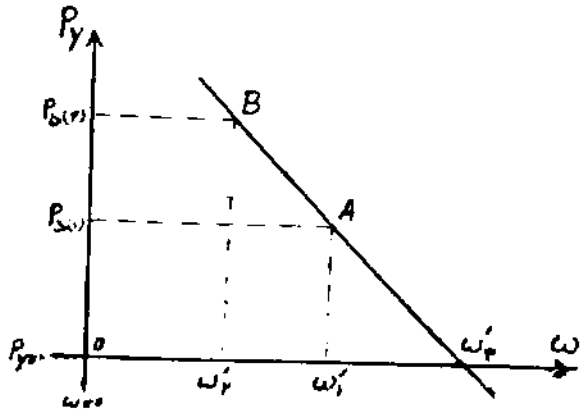
۳- قرائت خط‌کش در زیر سنج l_5 مورد نظر برای معرفی تصحیح کلی و انجام توجیه‌نسبی، بطور مثال l_5؛

۴- تغییر همان l_5 به مقدار مشخص و قرائت مجدد خط‌کش در زیر سنج آن، بطور مثال l'_5؛

۵ - حذف P_{y_1} ناشی از تغییر ω در نقاط ۱ و ۲ بترتیب توسط K° و $C_{\circ}$ یا by_1 و Z_b ؛

۶ - اندازه‌گیری P_{y_1} باقیمانده در نقطه ۵، بطور مثال $P_{5(2)}$ ؛

۷ - ترسیم دو محور برهم که یکی محور ω و دیگری محور P_{y_1} در نظر گرفته می‌شود. مدرج نمودن محورها برحسب واحد قرائت شده، بفرض محور ω برحسب اجزاء گراد و محور P_{y_1} برحسب میلیتر؛



۸ - پیاده کردن مقادیر $P_{5(1)}$ و $P_{5(2)}$ بر روی محور P_{y_1} و مقادیر ω'_1 و ω'_4 بر روی محور ω؛

۹ - مشخص نقاط A و B به مختصات :

$A\Big|_{P_{5(1)}}^{\omega'_1}$ و $B\Big|_{P_{5(2)}}^{\omega'_4}$ و ترسیم خط AB تا محور ω (یا محور $P_{y_1}=\circ$) را قطع کند. نقطه برخورد، مقدار ω مورد نیاز را مشخص می‌کند. زیرا به ازاء این مقدار ω (بطور مثال ω'_4) مقدار $P_5=\circ$ خواهد شد.

۱۰ - قرائت ω مورد نیاز (ω'_4) و آنگاه حذف P_{y_1} نقاط ۱ و ۲.

در نقطه ۵ دیگر نباید P_{y_1} وجود داشته باشد (یعنی $P_{5(2)}=\circ$). پس از حذف P_{y_1} و P_{y_2} مدل توجیه‌نسبی می‌شود.

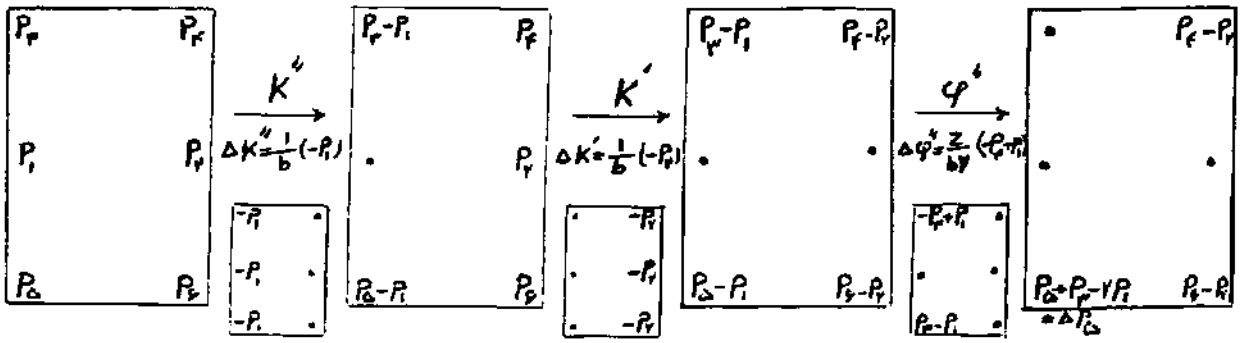
در صورتیکه خط AB به موازات محور ω امتداد یابد نمی‌توان مدل را امکان‌پذیر کند نمی‌توان بدست آورد بعبارت دیگر تصحیح اضافی دکلی را از این مقطع نمی‌توان تعیین کرد. این حالت مشابه $D=\circ$ در روش الف (استفاده از روش دایره کاسینی) می‌باشد. T.C.R.O. $C_T=\infty$

برای اندازه‌گیری P_{y_1} باید از عنصر انتقالی by_1 استفاده کرد که در اینصورت $\delta by = -P_{y_1}$

یا: $by_1 = -P_{y_1}$ می‌باشد در صورت عدم وجود عنصر by_1 می‌توان از عنصر دورانی استفاده کرد که برکلیه نقاط اثر دارد. در اینحالت $\omega = \frac{z_2'' + z_1''}{2}$ می‌باشد باید دقت کرد که پس از اندازه‌گیری P_{y_1} برای حذف P_{y_1} آن باید عنصر حرکتی را به حالت اولیه برگرداند

۵-۷ : معادله شرط توجیه نسبی و رابطه $P_{۶}$ نقاط با بلد یکدیگر

در توجیه نسبی مدل، پس از حذف $P_{۶}$ نقاط ۱، ۲، ۳ و ۴ باید $P_{۶}$ جمع شده در نقاط ۵ و ۶ با یکدیگر مساوی شوند. بعبارت دیگر می‌توان گفت که شرط به انجام رسیدن توجیه نسبی اینستکه $\Delta P_{۵} = \Delta P_{۶}$ شود. در زیر برای توجیه نسبی مدل دلخواهی به روش دو طرفه حذف $P_{۶}$ چار نقطه بطور کامل نشان داده شده است. $\Delta P_{۵}$ و $\Delta P_{۶}$ بار الاکس بر باقیمانده در نقاط ۵ و ۶ نیز بدست آمده اند:



$$\Rightarrow \begin{cases} \Delta P_{۵} = P_{۵} + P_{۳} - ۲P_{۱} \\ \Delta P_{۶} = P_{۶} + P_{۴} - ۲P_{۲} \end{cases}$$

ثابت می‌شود که:

در صورتی با حذف $P_{۶}$ پنج نقطه از مدل $P_{۶}$ نقطه ششم نیز صفر خواهد شد که معادله $\Delta P_{۵} = \Delta P_{۶}$ برقرار باشد (شکل ۲۳)

بدین سبب رابطه زیر را معادله شرط توجیه نسبی برای شش نقطه استاندارد مدل نامیده اند:

$$\Delta P_{۵} - \Delta P_{۶} = ۰ \quad (۱) \Rightarrow \begin{cases} (-۲P_{۱} + P_{۳} + P_{۵}) - (-۲P_{۲} + P_{۴} + P_{۶}) = ۰ \\ -۲P_{۱} + P_{۳} + P_{۵} = -۲P_{۲} + P_{۴} + P_{۶} \end{cases}$$

معادله شرط توجیه نسبی:

زیرا: برای انجام توجیه نسبی، باید تصحیح کلی (اضافی) با تغییر $\Delta\omega$ معرفی شود با توجه به روابط تصحیحات خواهیم داشت:

$$T.C = \frac{۱}{۲}\left(\frac{z^{۲}}{d^{۲}} + ۱\right)(-\Delta P_{۵}) \quad , \quad \Delta\omega = \frac{z}{۲d^{۲}}(\Delta P_{۵})$$

با توجه به معادله P_{y} ناشی از اثر $\Delta\omega$ برای هر نقطه دلخواه i:

$$P y_{i(\omega)} = -\frac{z^{۲} + y_{i}^{۲}}{z} \cdot \Delta\omega$$

ورابطه بین P_{Y_i} ایجادشده در نقطه دلخواه i با تصحیح کلی معرفی شده در اثر تغییر ω عبارتست از:

$$T.C = -\frac{z^2+d^2}{z}\Delta\omega \quad \rightarrow \quad \frac{P_{Y_i}}{T.C} = \frac{-\frac{z^2+Y_i^2}{z}\Delta\omega}{-\frac{z^2+d^2}{z}\Delta\omega} = \frac{z^2+Y_i^2}{z^2+d^2} \qquad (\Delta\omega = \Delta\omega_2 - \Delta\omega_1)$$

$$\Rightarrow \quad P_{Y_{i(\omega)}} = \frac{z^2+Y_i^2}{z^2+d^2} \times T.C$$

و در صورتیکه نقطه پنجم نقطه‌ای با مختصات (x,e) باشد رابطه بین P_{Y_i} ایجاد شده در نقطه دلخواه i در اثر تصحیح کلی معرفی شده نسبت به P_{Y_5} نقطه $\begin{matrix}x\\e\end{matrix}\Big|\,V$ خواهد شد:

$$(II) \quad P_{Y_{i(\omega)}} = \frac{z^2+Y_i^2}{z^2+e^2} \times T.C$$

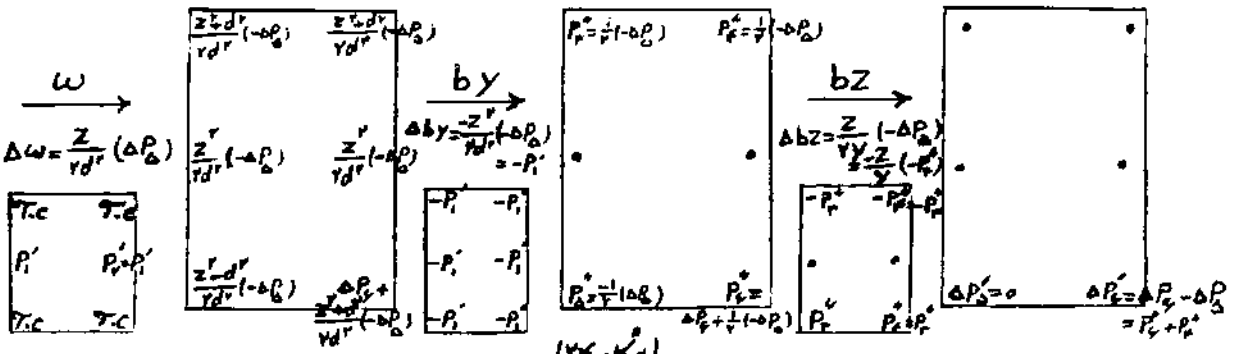
برای پیشگیری از بروز اشتباه، P_i های ایجاد شده در نقاط مدل را پیش از اثر تغییر ω مورد بررسی قرار می‌دهیم که باید در دور دوم توجیه‌پذیری حذف شوند، بصورت P_i' نشان می‌دهیم پس برای شش نقطه می‌توان نوشت:

$$P_1' = P_2' = -z\Delta\omega = \frac{z^2}{z^2+d^2}T.C = \frac{z^2}{2d^2}(-\Delta P_5)$$

$$P_3' = P_4' = -\frac{z^2+d^2}{z}\Delta\omega = \frac{z^2+d^2}{z^2+d^2}T.C = \frac{z^2+d^2}{2d^2}(-\Delta P_5) = T.C$$

$$P_5' = -\frac{z^2+d^2}{z}\Delta\omega + \Delta P_5 = \frac{z^2+d^2}{z^2+d^2}T.C + \Delta P_5 = \frac{z^2-d^2}{2d^2}(-\Delta P_5) = 0.C$$

$$P_6' = -\frac{z^2+d^2}{z}\Delta\omega + \Delta P_6 = \frac{z^2+d^2}{z^2+d^2}T.C + \Delta P_6 = \frac{z^2+d^2}{2d^2}(-\Delta P_5) + \Delta P_6 = T.C + \Delta P_6$$



(شکل ۲۴)

$$P_3'' = P_4'' = P_3' - P_1' = P_4' - P_1' = \frac{z^2+d^2}{2d^2}(-\Delta P_5) - \frac{z^2}{2d^2}(-\Delta P_5) = \frac{1}{2}(-\Delta P_5)$$

$$P_5'' = P_5' - P_1' = \frac{z^2-d^2}{2d^2}(-\Delta P_5) - \frac{z^2}{2d^2}(-\Delta P_5) = -\frac{1}{2}(-\Delta P_5) = -P_3''$$

$$P_6'' = P_6' - P_2' = \frac{z^2+d^2}{2d^2}(-\Delta P_5) + \Delta P_6 - \frac{z^2}{2d^2}(-\Delta P_5) = \frac{1}{2}(-\Delta P_5) + \Delta P_6 = P_4'' + \Delta P_6$$

ملاحظه می‌شود که پارالاکس باقیمانده در نقاط ۳، ۴، ۵ و ۶ پس از حذف P_2' و P_1' مستقل از مختصات شده و فقط به ΔP_5 بستگی یافته است.

$$\begin{cases} \Delta P_5' = P_5^* + P_3'' = P_5' - P_1' + P_4' - P_1' = P_5' + P_4' - 2P_1' \\ \Delta P_6' = P_6'' + P_4'' = P_6' - P_2' + P_4' - P_2' = P_6' + P_4' - 2P_2' \end{cases}$$

با جایگذاری مقادیر بجای P_i' ها خواهیم داشت:

$$\Delta P_5' = -2P_1' + P_3' + P_5' = \left(-\frac{2z^2}{2d^2} + \frac{z^2+d^2}{2d^2} + \frac{z^2-d^2}{2d^2}\right)(-\Delta P_5) = 0$$

$$\Delta P_6' = -2P_2' + P_4' + P_6' = \left(-\frac{2z^2}{2d^2} + \frac{z^2+d^2}{2d^2} + \frac{z^2+d^2}{2d^2}\right)(-\Delta P_5) + \Delta P_6$$

$$\Delta P_6' = \Delta P_6 - \Delta P_5 = 0 \quad \Rightarrow \quad \Delta P_5 = \Delta P_6$$

$$\Rightarrow -2P_1 + P_3 + P_5 = -2P_2 + P_4 + P_6 \qquad (1)$$

ملاحظه می‌شود که با حذف P_7 پنج نقطه از مدل در صورتی P_7 نقطه ششم صفر خواهد شد کلیه نقاط مدل صفر خواهد شد که معادله شرط توجیه‌پذیری (معادله 1) برقرار باشد.

$$\Delta P_5 = \Delta P_6$$

در صورتیکه نقطه 6 بعنوان پنجمین نقطه در نظر گرفته می‌شد روابط زیر مورد استفاده قرار می‌گرفتند.

$$\Delta\omega = \frac{z}{2d^2}(\Delta P_6) \qquad T.C = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}+\right)(-\Delta P_6)$$

$$P_1' = P_2' = \frac{z^2}{2d^2}(-\Delta P_6)$$

$$P_3' = P_4' = \frac{z^2+d^2}{2d^2}(-\Delta P_6) = T.C$$

$$P_5' = \frac{z^2+d^2}{2d^2}(+\Delta P_6) + \Delta P_5 = T.C + \Delta P_5$$

$$P_6' = \frac{z^2-d^2}{2d^2}(-\Delta P_6) = \Delta P_6 + T.C = O.C$$

$$P_3'' = P_3' - P_1' = P_4^* = P_4' - P_2' = \frac{1}{2}(-\Delta P_6)$$

$$P_5^* = P_5' - P_1' = \frac{1}{2}(-\Delta P_6) + \Delta P_5$$

$$P_6'' = P_6' - P_1' = -\frac{1}{2}(\Delta P_6)$$

$$\Delta P_5' = P_5^* + P_3'' = \Delta P_5 - \Delta P_6$$

$$\Delta P_6' = P_6'' + P_4'' = 0$$

۸-۵: سرشکن کردن P_7 باقیمانده

از نظر ریاضی، پس از حذف P_7 در پنج نقطه از مدل کلیه نقاط مدل از جمله نقطه ششم باید عاری از P_7 باشند. در صورتیکه معمولاً با کنترل نقطه ششم پس از حذف P_7 در پنج نقطه از مدل، مشاهده می‌شود که نقطه ششم دارای P_7 غیرقابل صرفنظر کردن می‌باشد (در این حالت $\Delta P_6' = \Delta P_6 - \Delta P_5 \neq 0$ است) که باید سرشکن شود یعنی با کمتر شدن بردوی نقاط دیگر به اندازه‌ای کوچک شود که بتوان آن را نادیده انگاشت.

- عدم حذف دقیق $P_{\frac{1}{2}}$ پنج نقطه، که با رالاکسهای غیرقابل رؤیت در نقطه ششم جمع می‌شوند و $P_{\frac{1}{2}}$ قابل مشاهده‌ای را ایجاد می‌کنند.

مقدار $P_{\frac{1}{2}}$ غیرقابل رؤیت در دید عاملهای دستگاهی بنا به تجربه و قدرت تشخیص چشم آنها متغیر است که در اشخاص کم تجربه، $\Delta P_{\frac{1}{2}}$ ممکن است به چند برابر قطر نقطه شناور برسد.

- عدم تنظیم بودن دستگاه

چنانچه بخشی از تنظیم های دستگاهی، از جمله موازی بودن محورهای مختصات دوسیستم تصویر، سنتر بودن تاب بروژکتور و ...، بهم خورده باشند.

- عدم صحت انجام توجیه داخلی

در صورتیکه فاصله کانونی معرفی شده، سنتر کردن دیاپوزیتیو یا حذف خطای اعوجاج هندسی دوربین عکسبرداری با دقت کافی انجام نگرفته باشد؛ این خطاها بصورت $P_{\frac{1}{2}}$ موضعی در نقطه ششم ظاهر خواهند شد.

- عدم متقارن بودن نقاط یا عدم مسطح بودن منطقه

- وجود عواملی از جمله تغییر بعد دادن دیاپوزیتیو، کیفیت نامناسب تصویری و نوع و منوع یا رنگ عارضه که از آن مشاهده برجسته بینی می‌کاهند و سبب باقی ماندن پارالاکس y در نقطه ششم خواهند شد.

که در این صورت معادله شرط برقرار نخواهد بود یعنی $\Delta P_5 \neq \Delta P_6$.

(در حالتیکه ΔP_6 باقیمانده خیلی بزرگ باشد باید به دنبال اشتباهی گشت که واقع شده است). از

$$-2P_1 + P_4 + P_5 \neq -2P_2 + P_4 + P_6$$

اگر $\Delta P_6 = \Delta P_5 + 0$ باشد ←

$$-(-2P_1 + P_4 - P_5) + (-2P_2 + P_4 + P_6) = 0$$

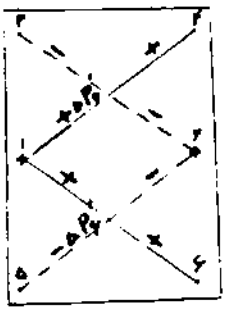
$\Delta P_6 = q$ خطای معادله شرط توجیه نسبی می باشد که حداکثر می توان آن را به نسبت مساوی تا $\frac{1}{8}$ کوچک نمود و بررسی هر شش نقطه با راکلس ۷ را برابر با $\delta p = \frac{1}{8} q$ با علامت مربوط به P_i آن نقطه در معادله شرط باقی گذارد. زیرا:

$$q = \Delta P_6' = \Delta P_6 - \Delta P_5$$

$$\Delta P_6 - \Delta P_5 = (-2P_2 + P_3 + P_6) - (-2P_1 + P_3 + P_5) = 2P_1 + P_3 + P_6 - 2P_2 - P_3 - P_5 = q$$

$$\Rightarrow 2\delta p + \delta p + \delta p - 2(-\delta p) - (-\delta p) - (-\delta p) = 8\delta p = q \Rightarrow 8\delta P = q \rightarrow \delta P = \frac{1}{8} q$$

یعنی اگر $\delta P_1 = \delta P_2 = \delta P_6 = \delta p = \frac{1}{8} q$ و $\delta P_3 = \delta P_4 = \delta P_5 = -\delta p = -\frac{1}{8} q$ باشند q در مدل سرشکن (بخش) شده است.



(شکل ۲۵)

علامت δp شش نقطه مدل در شکل روبرو نشان داده می شود.

که: ——— موافق با جهت ΔP_6؛

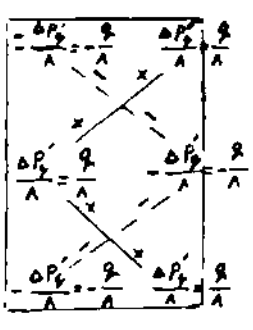
و ---- در خلاف جهت ΔP_6.

$\Delta P_6 \cdot \frac{1}{8} \delta P$ در جاتی در شش نقطه باقی می ماند که اگر در یک نقطه صفر شود P_i نقاط دیگر افزایش خواهد یافت (I) $\delta P_1 = \delta P_2 = \delta P_6 = -\delta P_3 = -\delta P_4 = -\delta P_5 = \frac{1}{8} \Delta P_6'$

اگر نقطه ۶ بعنوان نقطه پنجم توجیه نسبی در نظر گرفته شود در اینحالت $\Delta P_6' = 0$ و $\Delta P_5' = \Delta P_5 - \Delta P_6$ می باشند در صورتیکه شرط توجیه نسبی برقرار نباشد خواهیم داشت: $\Delta P_5' = \Delta P_5 - \Delta P_6 = q \neq 0$

و: $\delta P_2 = \delta P_4 = \delta P_5 = -\delta P_1 = -\delta P_3 = -\delta P_6 = \frac{1}{8} \Delta P_5'$ (II)

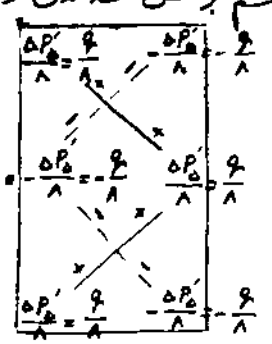
برای انجام سرشکنی باید تغییراتی جزئی به عناصر توجیه نسبی اعمال کرد. روشهای مختلفی برای بخش P_i نقطه ششم برشش نقطه مدل وجود دارد که نتیجه همه آنها یکیست:



I) $\Delta P_5' = \Delta P_5 - \Delta P_6 = q$

$\Delta P_6' \neq 0 \Rightarrow$

$\frac{\Delta P_6'}{8} = \frac{q}{8}$ ،



II) $\Delta P_5' = \Delta P_5 - \Delta P_6 \neq 0$

$\Delta P_5' = q \Rightarrow$

$\frac{\Delta P_5'}{8} = \frac{q}{8}$

الف - فرض کنیم در نقطه ششم، پس از حذف P_6 پنج نقطه از مدل $\Delta P_6' = \varphi$ باقیمانده است.

۱- حذف نصف $\Delta P_6'$ توسط φ که در نتیجه $\Delta P_6' = \varphi$ بر روی نقاط ۴ و ۶ به نسبت $\frac{1}{2}$ پخش می‌شود.

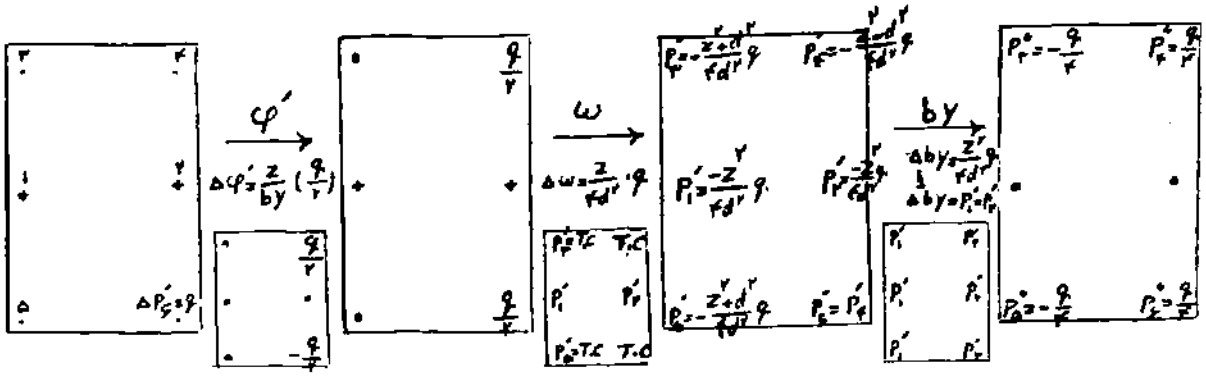
۲- تغییر ω برای معرفی تصحیح های (اضافی) T نقطه رکه $\frac{1}{2}\Delta P_6'$ از مقطع سمت راست کسر شده به مقطع سمت چپ منتقل شود.

$$T.C = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}+1\right)\left(-\frac{\Delta P_6'}{2}\right) = \frac{z^2+d^2}{4d^2}\left(-\Delta P_6'\right)$$

$$0.C = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}-1\right)\left(-\frac{\Delta P_6'}{2}\right) = \frac{z^2-d^2}{4d^2}\left(-\Delta P_6'\right)$$

$$P_1' = P_2' = \frac{z^2}{z^2+d^2}\cdot T.C = +\frac{z^2}{4d^2}\left(-\Delta P_6'\right) = -\frac{z^2}{4d^2}\varphi$$

$$P_3' = P_5' = T.C = \frac{z^2+d^2}{4d^2}(-\varphi) \quad \text{و} \quad P_4' = P_6' = T.C + \frac{\Delta P_6'}{2} = 0.C = \frac{z^2-d^2}{4d^2}(-\varphi)$$

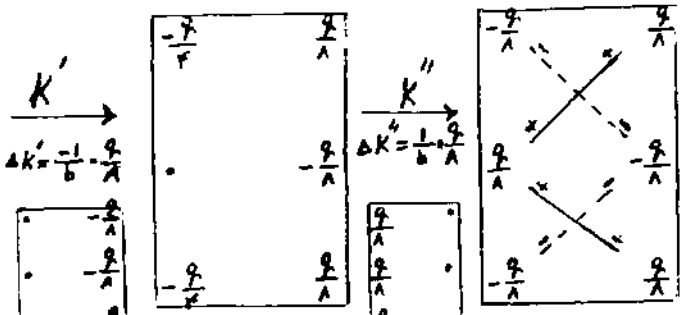


۳- حذف P_2 از نقاط ۱ و ۲:

$$P_3^* = P_5^* = P_3' - P_1' = -\frac{\varphi}{4}$$

$$P_4^* = P_6^* = P_4' - P_2' = +\frac{\varphi}{4}$$

۴- نصف کردن $P_5' = P_3'$



(شکل ۲۶)

توسط "K یا معرفی P_2 در نقطه ۱ به اندازه $\delta P_1 = \frac{\Delta P_6'}{8} = \frac{1}{8}\varphi$ ؛

۵- نصف کردن $P_6' = P_4'$ توسط K' یا معرفی P_2 در نقطه ۲ به اندازه $\delta P_2 = -\delta P_1 = -\frac{\Delta P_6'}{8} = -\frac{1}{8}\varphi$.

ب - در این روش ابتدا قسمتی از $\frac{1}{2}\Delta P_6'$ را با تغییر ω از مقطع سمت راست به مقطع سمت چپ

منتقل می‌کنیم. بهترین نسبت برای تقسیم، $\frac{1}{2}$ است. مراحل سرشکنی بشرح زیر می‌باشند:

۱- حذف P_6' Δ $\frac{1}{2}$ توسط ω با معرفی تصحیح کلی (اضافی) از رابطه:

$$T.C. = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}+1\right)\left(-\frac{\Delta P_6'}{2}\right) = \frac{z^2+d^2}{4d^2}\left(-\Delta P_6'\right) = \frac{z^2+d^2}{4d^2}(-6)$$

P_6 ایجاد شده از اثر تغییر ω در شش نقطه مدل عبارتند از:

$$P_1' = P_2' = \frac{z^2}{z^2+d^2} \times T.C = \frac{z^2}{4d^2}(-6)$$

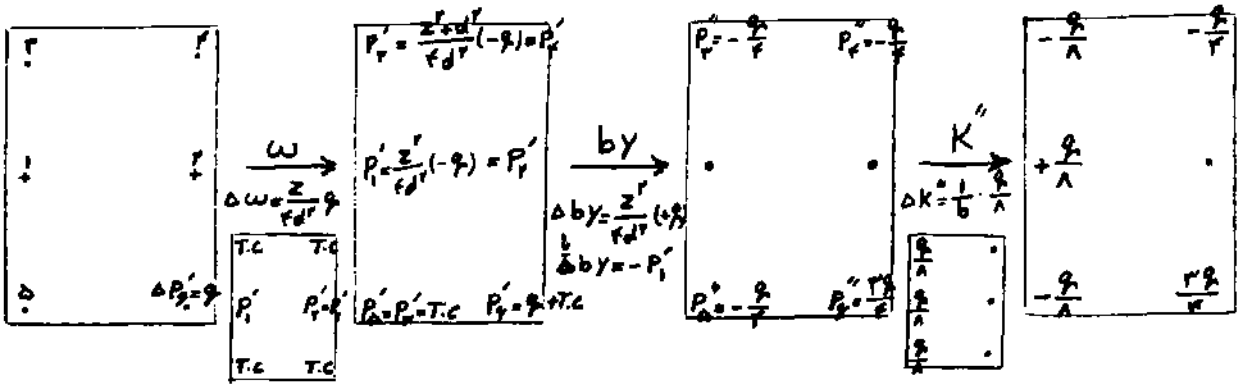
$$P_3' = P_4' = P_5' = T.C = \frac{z^2+d^2}{4d^2}(-6)$$

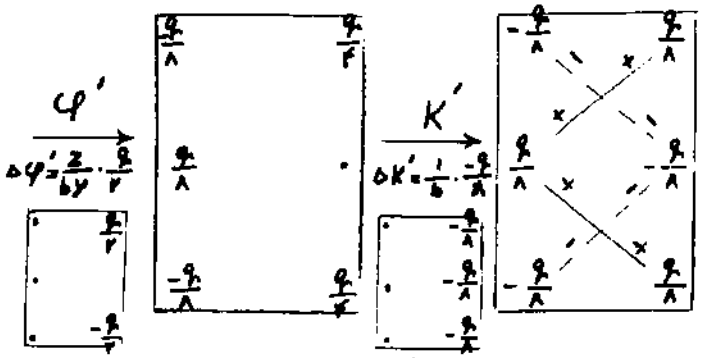
$$P_6' = \Delta P_6' + T.C = 6 + \frac{z^2+d^2}{4d^2}(-6) = \frac{z^2-3d^2}{4d^2}(-6) = \frac{z^2-d^2}{4d^2}(-6) + \frac{1}{2}6 = 0.C + \frac{1}{2}6$$

۲- حذف $P_1' = P_2'$ توسط by یا K' و K''، در نتیجه P_6 چار نقطه دیگر برابر ند با:

$$P_3'' = P_4'' = P_5'' = P_{1,2,6}' - P_1' = P_2' - P_2' = T.C - \frac{z^2}{4d^2}(-6) = -\frac{6}{4}$$

$$P_6'' = P_6' - P_2' = \frac{z^2-3d^2}{4d^2}(-6) - \frac{z^2}{4d^2}(-6) = \frac{3\cdot 6}{4}$$





۳- نصف کردن P_6 نقاط

نقاط ۳ و ۵ توسط K'' که $\delta P_3 = \delta P_4 = \delta P_5 = \frac{6}{8}$

۴- مساوی کردن P_6 نقاط ۴ و ۶

توسط φ' که باید معادل $\frac{6}{2} = \frac{1}{2}\left(\frac{3\cdot 6}{4} + \frac{6}{4}\right)$ P_6 تغییر داده شود؛

(شکل ۲۷)

۵- نصف کردن P_6 نقاط ۴ و ۶ توسط K' که در نتیجه $\delta P_1 = -\delta P_2 = -\delta P_6 = -\frac{6}{8}$.

می توان مرحله ۲ را حذف و آن را با ایجاد تغییراتی در مراحل ۳ و ۵ توسط "K و 'K به انجام رساند یعنی

با "K مقدار $P_{Y_1} = \frac{\Delta P_6'}{8} - P_1'$ و با 'K مقدار $P_{Y_2} = -\frac{\Delta P_6'}{8} - P_1'$ را ایجاد کرد پس:

$$\Delta K' = \frac{1}{b}\left(\frac{z^2}{4d^2} - \frac{1}{8}\right)\Delta P_6' \quad , \quad \Delta K'' = \frac{1}{b}\left(\frac{z^2}{4d^2} + \frac{1}{8}\right)\Delta P_6'$$

ج - در روش الف و ب ، اگر پس از معرفی P_7 (تصحیح کلی)، P_7 ایجاد شده در چار نقطه ۱، ۲، ۳، ۴ حذف شوند در دو نقطه ۵ و ۶ دو پارالاکس برابر و مختلف العلامه باقی میماند یعنی اگر:

$$\Delta P_5' = 0 \ , \ \Delta P_6' = \varphi \neq 0 \quad \Rightarrow \quad \Delta P_5'' = -\frac{\varphi}{2} \ , \ \Delta P_6'' = \frac{\varphi}{2}$$

حال ببینیم برای انجام توجیه نسبی و سرشکنی ، تصحیح کلی (اضافی) در اثر تغییر در بازاء P_7 چه نقطه‌ای تعیین و معرفی شود تا پس از حذف $P_{i=1,2,3,4}'$ در دور دوم توجیه به نتیجهٔ $\Delta P_5' = -\Delta P_6' = -\frac{\varphi}{2}$ برسیم.

اگر ΔP_i پارالاکس برابر نقطه‌ای باشد که تغییر در بازاء آن باید تعیین شود می‌توان نوشت :

$$T.C = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2} + 1\right)(-\Delta P_i)$$

$$\begin{cases} \Delta P_5' = -2P_1' + P_3' + P_5' = \frac{-2z^2}{z^2+d^2}T.C + 2T.C + \Delta P_5 = \frac{2d^2}{z^2+d^2}T.C + \Delta P_5 \\ \Delta P_6' = -2P_2' + P_4' + P_6' = \frac{-2z^2}{z^2+d^2}T.C + 2T.C + \Delta P_6 = \frac{2d^2}{z^2+d^2}T.C + \Delta P_6 \end{cases}$$

از $\Delta P_5' = -\Delta P_6' \quad \leftarrow \quad \Delta P_5' + \Delta P_6' = 0$

$$\Rightarrow \Delta P_5' + \Delta P_6' = \frac{4d^2}{z^2+d^2}T.C + \Delta P_5 + \Delta P_6 = \frac{4d^2}{z^2+d^2} \times \frac{z^2+d^2}{2d^2}(-\Delta P_i) + \Delta P_5 + \Delta P_6$$

از $\Delta P_5' + \Delta P_6' = 0 \quad \Rightarrow \quad -2\Delta P_i + \Delta P_5 + \Delta P_6 = 0 \Rightarrow \Delta P_i = \frac{\Delta P_5 + \Delta P_6}{2}$

یعنی نقطه ۷ باید نقطه وسط ۵ و ۶ با مختصات $X_7 = \frac{X_5 + X_6}{2} = \frac{b}{2}$ و $Y_7 = \frac{Y_5 + Y_6}{2} = -d$

باشد تا $\Delta P_5' = -\Delta P_6'$ شود. در نتیجه بهتر است نقاط ۱، ۲، ۳، ۴ و ۷ پنج نقطه توجیه نسبی در نظر گرفته شوند.

پس از معرفی تصحیح کلی بازاء ΔP_7 (که $7 \left| \frac{b}{2} \right.$) ، P_7 باقی مانده در هفت نقطه مدل عبارتند از:

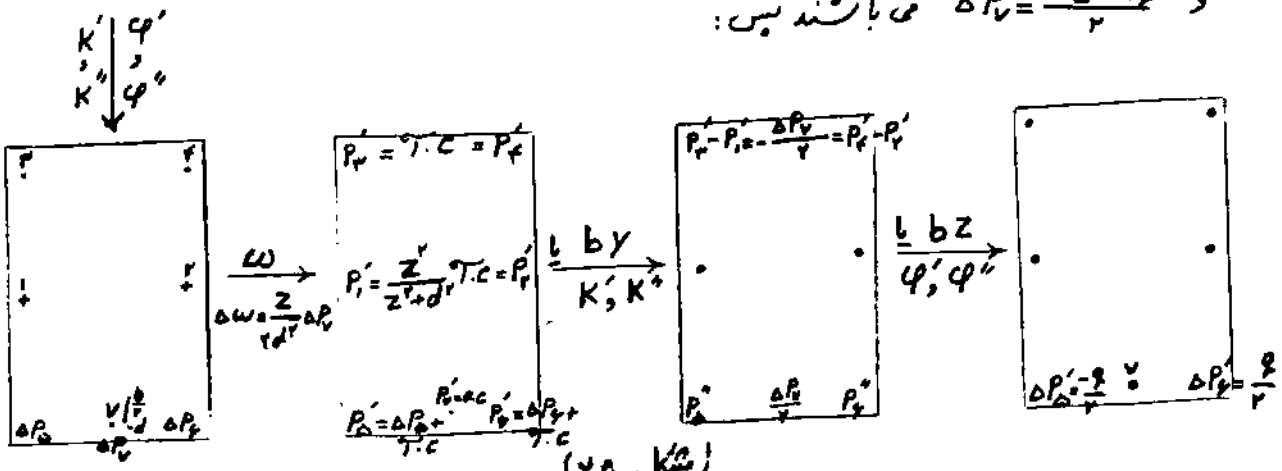
$$P_1' = P_2' = \frac{z^2}{z^2+d^2} T.C \quad , \quad P_3' = P_4' = T.C$$

$P_5' = 70.C + \Delta P_5$ ، $P_6' = 70.C + \Delta P_6$

$P_7' = 70.C + \Delta P_7 = 0.C$

میدانیم که $70.C = \frac{1}{2}\left(\frac{z^2}{d^2}+1\right)\Delta P_7$

و $\Delta P_7 = \frac{\Delta P_5 + \Delta P_6}{2}$ می باشند پس:



(شکل ۲۸)

$P_3' - P_1' = P_4' - P_2' = -\frac{1}{2}(\Delta P_7)$ ، $P_7' - P_1' = P_7' - P_2' = 0.C - P_1' = \frac{1}{2}(\Delta P_7)$

$P_5'' = P_5' - P_1' = \Delta P_5 - \frac{1}{2}(\Delta P_7)$ ، $P_6'' = P_6' - P_2' = \Delta P_6 - \frac{1}{2}(\Delta P_7)$

$$\begin{cases} \Delta P_5' = P_5'' + P_3' - P_1' = \frac{1}{2}(\Delta P_5 - \Delta P_6) \\ \Delta P_6' = P_6'' + P_4' - P_2' = \frac{1}{2}(\Delta P_6 - \Delta P_5) \end{cases} \Rightarrow \Delta P_5' = -\Delta P_6'$$

اگر معادله شرط توجیه نسبی برقرار

$\Delta P_7' = P_7'' + P_3' - P_1' = \frac{1}{2}(\Delta P_7) - \frac{1}{2}(\Delta P_7) = 0$

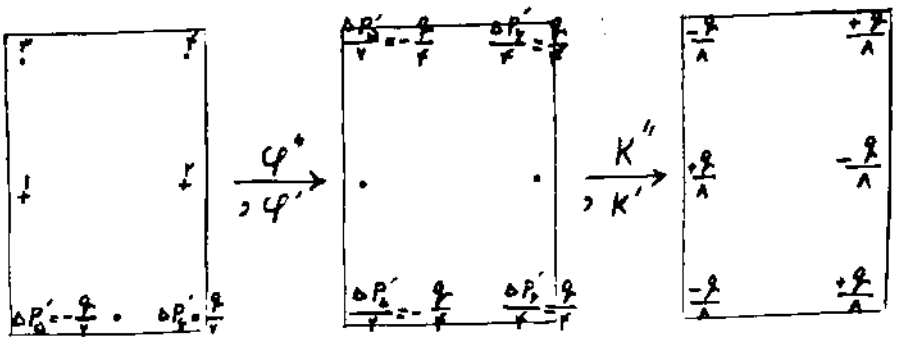
نباشد یعنی

$\Delta P_6 - \Delta P_5 = 9 \neq 0$ پس داریم: $\Delta P_5 \neq \Delta P_6$

در اینصورت $\Delta P_5' = -\Delta P_6' = -\frac{9}{2}$ و سرشکنی بصورت زیر انجام می شود:

۱- حذف نصف $\Delta P_5'$ توسط φ'' که نتیجتاً $P_3'' = P_5'' = \frac{1}{2}\Delta P_5' = -\frac{9}{4}$ خواهد شد؛

۲- حذف نصف $\Delta P_6'$ توسط φ' که نتیجتاً $P_4'' = P_6'' = \frac{1}{2}\Delta P_6' = \frac{9}{4}$ خواهد شد؛



(شکل ۲۹)

۳- حذف نصف $P_{۳}''=P_{۵}''$ توسط K'' نتیجتاً : $P_{۱}''=-P_{۳}''=-P_{۵}''=\frac{۱}{۸}q$

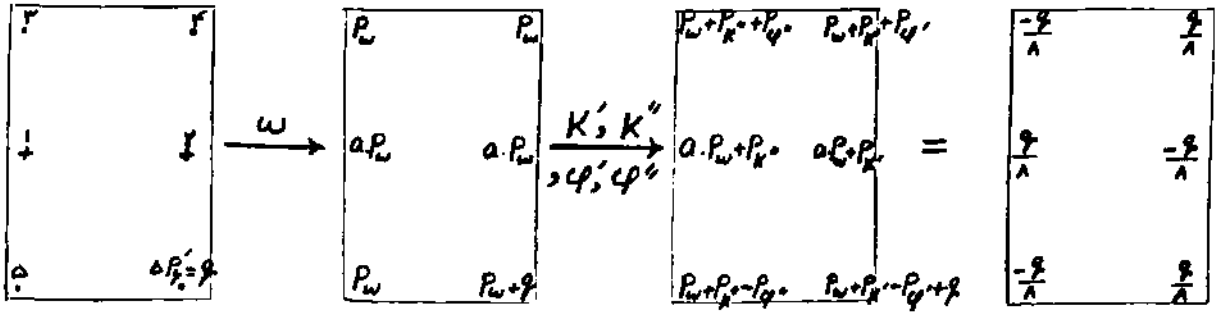
۴- حذف نصف $P_{۴}''=P_{۶}''$ توسط K' نتیجتاً : $P_{۲}''=-P_{۴}''=-P_{۶}''=\frac{-۱}{۸}q$

۹-۵ : تعیین مقدار تغییر لازم در عناصر برای انجام سرشکنی

در صورتیکه خطای معادله شرط توجیه‌پذیری نقطه در نقطه ۶ باقیمانده باشد یعنی $\Delta P_{۶}'=q\neq ۰$

درحالیکه $\Delta P_{۵}'=۰$ است مقدار تغییر لازم جهت معرفی به عناصر حرکتی توجیه‌پذیری برای سرشکن نمودن q

را از معادلات $P_{۲}$ ناشی از تغییر عناصر مورد نظر می‌توان بدست آورد.



(شکل ۳۰)

که $a=\frac{z^{۲}}{z^{۲}+d^{۲}}$ ، $P_{K''}=b\Delta K''$ ، $P_{K'}=b\Delta K'$ ، $P_{\varphi'}=\frac{bd}{z}\Delta\varphi'$ ، $P_{\varphi''}=\frac{bd}{z}\Delta\varphi''$

و $P_{۳}=-\frac{z^{۲}+d^{۲}}{z}\Delta\omega$ می‌باشند با توجه به $P_{۲}$ هایی که پس از سرشکن شدن خطا در هر نقطه باید باقی

باشند معادلات زیر را می‌توان نوشت :

$$\begin{cases} a\cdot P_{۳}+P_{K''}=-z\Delta\omega+b\Delta K''=\frac{۱}{۸}q & (۱)\\ a\cdot P_{۳}+P_{K'}=-z\Delta\omega+b\Delta K'=-\frac{۱}{۸}q & (۲)\\ P_{۳}+P_{K''}+P_{\varphi''}=-\frac{z^{۲}+d^{۲}}{z}\Delta\omega+b\Delta K''+\frac{bd}{z}\Delta\varphi''=-\frac{۱}{۸}q & (۳)\\ P_{۳}+P_{K'}+P_{\varphi'}=-\frac{z^{۲}+d^{۲}}{z}\Delta\omega+b\Delta K'+\frac{bd}{z}\Delta\varphi'=\frac{۱}{۸}q & (۴)\\ P_{۳}+P_{K''}-P_{\varphi''}=-\frac{z^{۲}+d^{۲}}{z}\Delta\omega+b\Delta K''-\frac{bd}{z}\Delta\varphi''=-\frac{۱}{۸}q & (۵)\\ P_{۳}+P_{K'}-P_{\varphi'}+q=-\frac{z^{۲}+d^{۲}}{z}\Delta\omega+b\Delta K'-\frac{bd}{z}\Delta\varphi'+q=\frac{۱}{۸}q & (۶) \end{cases}$$

از شش معادله فوق بهترین مقادیر را برای شش مجهول بدست می‌آوریم.

$$(3)-(5) \Rightarrow 2\frac{bd}{2}\Delta\varphi'' = 0 \quad \rightarrow \quad \Delta\varphi'' = 0$$

$$(4)-(6) \Rightarrow 2\frac{bd}{2}\Delta\varphi' - q = 0 \quad \rightarrow \quad \Delta\varphi' = \frac{2}{2bd}(q)$$

$$(3)+(4)+(5)+(6)-2(1)-2(2) \Rightarrow -\frac{4d^2}{2}\Delta\omega + q = 0 \quad \rightarrow \quad \Delta\omega = \frac{2}{4d^2}(q).$$

که در آن $\Delta\omega = \Delta\omega' = \Delta\omega$ می باشد. $(1)+(3)+(5) \Rightarrow 3b\Delta K'' - 3z\Delta\omega - \frac{2d^2}{2}\Delta\omega = -\frac{1}{8}q$

$$3b\Delta K'' = \frac{3z^2}{4d^2}(q) + \frac{1}{2}(q) - \frac{1}{8}q \quad \rightarrow \quad \Delta K'' = \frac{1}{8b}\left(\frac{2z^2}{d^2}+1\right)(q)$$

$$(2)+(4)+(6) \Rightarrow 3b\Delta K' = 3z\Delta\omega + \frac{2d^2}{2}\Delta\omega - q + \frac{1}{8}q \quad \rightarrow \quad \Delta K' = \frac{1}{8b}\left(\frac{2z^2}{d^2}-1\right)(q)$$

نتیجه را می توان بصورت زیر لیست کرد:

اگر:

$$\Delta P_6 - \Delta P_5 = q,\quad \Delta P_5' = 0,\quad \Delta P_6' = q \neq 0 \rightarrow \begin{cases} \Delta K'' = \frac{1}{8b}\left(\frac{2z^2}{d^2}+1\right)\Delta P_6' \\ \Delta K' = \frac{1}{8b}\left(\frac{2z^2}{d^2}-1\right)\Delta P_6' \\ \Delta\omega = \frac{2}{4d^2}\Delta P_6' \\ \Delta\varphi' = \frac{2}{2bd}\Delta P_6' \\ \Delta\varphi'' = 0 \end{cases}$$

واگر:

$$\Delta P_6' = 0,\quad \Delta P_5' = q \neq 0 \rightarrow \begin{cases} \Delta\omega = \frac{2}{4d^2}\Delta P_5' \\ \Delta K'' = \frac{1}{8b}\left(\frac{2z^2}{d^2}-1\right)\Delta P_5' \\ \Delta K' = \frac{1}{8b}\left(\frac{2z^2}{d^2}+1\right)\Delta P_5' \\ \Delta\varphi' = 0 \\ \Delta\varphi'' = \frac{2}{2bd}\Delta P_5' \end{cases}$$

برای تعیین مقدار P_7 ناشی از تغییر هر عنصر حرکتی می توان از معادلات P_7 استفاده کرد مثلاً:

که حال تصحیح کلی است $\rightarrow$ $P_\omega = -\frac{z^2+d^2}{2}\Delta\omega = -\frac{z^2+d^2}{2}\cdot\frac{2}{4d^2}\Delta P_6' = \frac{1}{4}\left(\frac{z^2}{d^2}+1\right)\Delta P_6'$

۶- توجیه نسبی محاسباتی

در کار های با دقت بالا، برای از بین بردن خطای ناشی از بارالاکسهای جزئی غیر قابل رؤیت و سرشکنی P_7 باقیمانده در سطح مدل بطور یکنواخت، دور آخر توجیه نسبی بصورت محاسباتی انجام شده و تغییرات جزئی محاسبه شده به عناصر توجیه معرفی می شوند. پس از اجرای توجیه نسبی تجربی بطور تقریبی که توجیه نسبی محاسباتی شروع و انجام خواهد شد - P_7 های باقیمانده در مدل کوچک می باشند.

برای بدست آوردن فرمولی جهت محاسبه تغییرات جزئی لازم در هر عنصر حرکتی، از روابط مربوط به اثر هر عنصر حرکتی برروی پارالاکس نقاط توجیه استفاده می‌شود. چون یکی از کاربردهای توجیه محاسباتی معمولاً در انجام توجیه نسبی یکطرفه در مرحله سوم نبدی (به روش مدل پیوسته) می‌باشد روابط مربوط به اثر عناصر انتقالی و دورانی پرو‌ژکتور سمت چپ ($b_y, b_z, \omega', \varphi', \kappa'$) را بطور مثال برروی P_2 شش نقطه استاندارد مدلی مطلع می‌نویسیم:

$$\begin{cases} P_1 = \Delta b_y' - z_\circ \Delta\omega' \\ P_2 = \Delta b_y' + b_\circ \Delta\kappa' - z_\circ \Delta\omega' \\ P_3 = \Delta b_y' - \frac{d}{z}\Delta b_z' - z\left(1+\frac{d^2}{z^2}\right)\Delta\omega' \\ P_4 = \Delta b_y' + b_\circ \Delta\kappa' - \frac{d}{z}\Delta b_z' + \frac{bd}{z}\Delta\varphi' - z\left(1+\frac{d^2}{z^2}\right)\Delta\omega' \\ P_5 = \Delta b_y' + \frac{d}{z}\Delta b_z' - z\left(1+\frac{d^2}{z^2}\right)\Delta\omega' \\ P_6 = \Delta b_y' + b_\circ \Delta\kappa' + \frac{d}{z}\Delta b_z' - \frac{bd}{z}\Delta\varphi' - z\left(1+\frac{d^2}{z^2}\right)\Delta\omega' \end{cases}$$

ملاحظه می‌شود که شش معادله برای حل پنج مجهول $\Delta b_y'$، $\Delta b_z'$، $\Delta\kappa'$، $\Delta\varphi'$ و $\Delta\omega'$ در اختیار داریم.

$$\begin{cases} P_2 - P_1 = b_\circ \Delta\kappa' \\ P_4 - P_3 = b_\circ \Delta\kappa' + \frac{bd}{z}\Delta\varphi' \\ P_6 - P_5 = b_\circ \Delta\kappa' - \frac{bd}{z}\Delta\varphi' \end{cases}$$

$$P_2 + P_4 + P_6 - P_1 - P_3 - P_5 = 3b_\circ \Delta\kappa' \Rightarrow \boxed{\Delta\kappa' = \frac{1}{3b}(P_2 + P_4 + P_6 - P_1 - P_3 - P_5)}$$

$$(P_4 - P_3) - (P_6 - P_5) = 2\frac{bd}{z}\Delta\varphi' \Rightarrow \boxed{\Delta\varphi' = \frac{z}{2bd}(P_3 + P_4 + P_5 - P_6)}$$

$$\begin{cases} P_6 - P_4 = 2\frac{d}{z}\Delta b_z' - \frac{2bd}{z}\Delta\varphi' \\ P_5 - P_3 = \frac{2d}{z}\Delta b_z' \end{cases}$$

$$P_6 - P_4 + P_5 - P_3 = \frac{4d}{z}\Delta b_z' - (-P_3 + P_4 + P_5 - P_6) \rightarrow \boxed{\Delta b_z' = \frac{z}{2d}(P_5 - P_3)}$$

$$\begin{cases} P_4 - P_2 = -\frac{d}{2}\Delta bz' + \frac{bd}{2}\Delta\varphi' - \frac{d^2}{2}\Delta\omega' \\ P_6 - P_3 = +\frac{d}{2}\Delta bz' - \frac{bd}{2}\Delta\varphi' - \frac{d^2}{2}\Delta\omega' \\ P_3 - P_1 = -\frac{d}{2}\Delta bz' - \frac{d^2}{2}\Delta\omega' \\ P_5 - P_1 = +\frac{d}{2}\Delta bz' - \frac{d^2}{2}\Delta\omega' \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_4 - P_2 + P_6 - P_3 = -\frac{2d^2}{2}\Delta\omega' \\ P_3 - P_1 + P_5 - P_1 = -\frac{2d^2}{2}\Delta\omega' \end{cases}$$

$$(P_4 + P_6 - 2P_1) + (P_3 + P_5 - 2P_1) = \frac{-4d^2}{2}\Delta\omega' \rightarrow \boxed{\Delta\omega' = \frac{2}{4d^2}(2P_1 + 2P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6)}$$

$$\sum_1^6 P_i = 6\Delta by' + 12b\cdot\Delta k' - 12z\left(2 + \frac{2d^2}{2^2}\right)\Delta\omega'$$

$$6\Delta by' = \sum_1^6 P_i - 12b\cdot\Delta k' + 12z\left(2 + \frac{2d^2}{2^2}\right)\Delta\omega'$$

$$\Delta by' = \frac{1}{6}\left[(2P_1 + 2P_2 + 2P_5) + 12z\left(2 + \frac{2d^2}{2^2}\right)\cdot\frac{2}{4d^2}(2P_1 + 2P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6)\right]$$

$$\Delta by' = \frac{1}{6}\left[2P_1 + 2P_2 + 2P_5 + \left(\frac{12z^2}{2d^2} + 1\right)(2P_1 + 2P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6)\right]$$

$$\boxed{\Delta by' = \frac{1}{6}(4P_1 + 2P_2 + P_3 - P_4 + P_5 - P_6) + \frac{z^2}{4d^2}(2P_1 + 2P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6)}$$

- اگر منظور انجام مثلث بندی بطریقه مدل پیوسته باشد، در مدلهای بسیاری فرد که باید توجیه نسبی یکطرفه با استفاده از پروژکتور سمت راست انجام شود روابط مذکور بطور مشابه در این حالت (که فقط باید از عناصر $\Delta by''$ ، $\Delta k''$ ، $\Delta bz''$ ، $\Delta\varphi''$ و $\Delta\omega''$ استفاده شود) عبارت خواهند بود از :

$$\Delta k'' = \frac{1}{12b}(P_1 + P_3 + P_5 - P_2 - P_4 - P_6)$$

$$\Delta\varphi'' = \frac{2}{12bd}(P_3 - P_4 - P_5 + P_6)$$

$$\Delta bz'' = \frac{2}{12d}(P_4 - P_6)$$

$$\Delta\omega'' = \frac{-2}{4d^2}(2P_1 + 2P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6)$$

$$\Delta by'' = \frac{1}{6}(2P_1 + 4P_2 - P_3 + P_4 - P_5 + P_6) + \frac{z^2}{4d^2}(2P_1 + 2P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6)$$

~~δb_Y معمولاً از طریق محاسباتی تعیین نمی شود زیرا محاسبه آن از نظر تئوری قدری مشکل است،~~

بدین ترتیب که باید P_i های حاصلجمع پارالاکس Y های شش نقطه را بدست آورده و با جایگذاری مقادیر δZ و δw معلوم δb_Y را محاسبه نمود. این عمل معمولاً بصورت تجربی انجام می شود. یعنی پس از معرفی تغییرات محاسبه شده برای عناصر δX ، δb_Z ، $\delta \varphi$ و δw پارالاکس Y های باقیمانده در شش نقطه را با Y مورد نظر اندازه گیری نموده متوسط قرائتها یعنی $\delta b_Y = \frac{\sum \delta b_{Y_i}}{6}$ بعنوان δb_Y نهایی معرفی می شود. مقادیر δX ، $\delta \varphi$ و δw برحسب رادیان بدست می آیند که برای تبدیل به گراد شدن باید در 63.66 ضرب شوند.

برای انجام توجیه نسبی محاسباتی باید P_1 ، ... و P_6 را توسط عنصر Y اندازه گیری نمود برای کوچک شدن مقادیر پارالاکس، از اختلاف قرائت Y هر نقطه با متوسط Y های قرائت شده بجای پارالاکس آن نقطه استفاده می شود.

اگر Y_1 ، ... و Y_6 بترتیب قرائت Y در شش نقطه مدل باشند، $P_i = b_{Y_i} - \frac{\sum b_{Y_i}}{6}$

با در دست داشتن Z ، d و P_1 ، ... و P_6 تغییرات لازم برای هر عنصر حرکتی با دقتی از روابط بالا تعیین می شوند. برای ساده تر شدن محاسبات معمولاً از فرمهای مخصوصی برای انجام توجیه نسبی محاسباتی استفاده می شود.

چنانچه دستگاه مورد استفاده فاقد عنصر δY باشد، انجام توجیه نسبی محاسباتی بصرفه نیست گرچه می توان از w برای قرائت پارالاکس Y نقاط استفاده کرد، زیرا P_Y هر نقطه را می توان از رابطه زیر بدست آورد. $\delta w_1 = -\delta w_2 = +\delta w_3 = -\delta w_4 = +\delta w_5 = -\delta w_6$ و $P_{i=1\to6} = -Z_i\left(1+\frac{Y_i}{Z_i^2}\right)\delta w_i$

— اگر انجام توجیه نسبی دو طرفه مورد نظر باشد، روابط مربوط به اثر هریک از عناصر دورانی $\delta X''$ ، $\delta X'$ ، $\delta \varphi''$ ، $\delta \varphi'$ و بنابفرض δw را بر روی هریک از شش نقطه توجیه می نویسیم که با فرض اینکه مدل نسبتاً مسطح و نقاط توجیه شش نقطه استاندارد مدل می باشند خواهیم داشت:

$$\begin{cases} P_1 = b\cdot\Delta k'' - z\cdot\Delta\omega' \\ P_2 = +b\cdot\Delta k' - z\cdot\Delta\omega' \\ P_3 = b\cdot\Delta k'' + \frac{bd}{2}\Delta\varphi'' - z\left(1+\frac{d^2}{2r^2}\right)\Delta\omega' \\ P_4 = +b\cdot\Delta k' + \frac{bd}{2}\Delta\varphi' - z\left(1+\frac{d^2}{2r^2}\right)\Delta\omega' \\ P_5 = b\cdot\Delta k'' - \frac{bd}{2}\Delta\varphi'' - z\left(1+\frac{d^2}{2r^2}\right)\Delta\omega' \\ P_6 = +b\cdot\Delta k' - \frac{bd}{2}\Delta\varphi' - z\left(1+\frac{d^2}{2r^2}\right)\Delta\omega' \end{cases}$$

$$P_3 - P_5 = \frac{2bd}{2}\Delta\varphi'' \rightarrow \boxed{\Delta\varphi'' = \frac{2}{2bd}(P_3 - P_5)}$$

$$P_4 - P_6 = \frac{2bd}{2}\Delta\varphi' \rightarrow \boxed{\Delta\varphi' = \frac{2}{2bd}(P_4 - P_6)}$$

$$\begin{cases} P_3 + P_5 - 2P_1 = -\frac{2d^2}{2}\Delta\omega' \\ P_4 + P_6 - 2P_2 = -\frac{2d^2}{2}\Delta\omega' \end{cases}$$

$$\frac{-4d^2}{2}\Delta\omega' = P_3 + P_5 + P_4 + P_6 - 2P_1 - 2P_2 \rightarrow \boxed{\Delta\omega' = \frac{2}{4d^2}(2P_1 + 2P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6)}$$

$$P_1 + P_3 + P_5 = 2b\cdot\Delta k'' - 2\left(3 + \frac{2d^2}{2}\right)\Delta\omega'$$

$$P_2 + P_4 + P_6 = 2b\cdot\Delta k' - 2\left(3 + \frac{2d^2}{2}\right)\Delta\omega'$$

$$\rightarrow \begin{cases} \Delta k'' = \frac{1}{6b}(4P_1 + 2P_2 + P_3 - P_4 + P_5 - P_6) + \frac{2^2}{4bd}(2P_1 + 2P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6) \\ \Delta k' = \frac{1}{6b}(2P_1 + 2P_2 - P_3 + P_4 - P_5 + P_6) + \frac{2^2}{4bd}(2P_1 + 2P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6) \end{cases}$$

و آنرا از "ω" استفاده شود بطور مشابه داریم:

$$\Delta\omega'' = -\Delta\omega' = \frac{-2}{4d^2}(2P_1 + 2P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6)$$

۷- تغییر شکل (تابیدگی) مدل

ملاحظه شد که توجیه نسبی هر قدر هم که دقیق انجام شود باز عاری از خطا نمی باشد. در انجام توجیه نسبی، هدف فقط حذف P_y نقاط مختلف مدل است و چنانچه خطایی در معرفی مقدار صحیح عناصر حرکتی وجود داشته باشد با صرفنظر کردن خطای y، پارالاکس های y جزئی قابل صرفنظر کردن در مدل باقی میماند. خطای پارالاکس y باقیمانده سبب ایجاد جا بجایی های مسطحاتی می شود ولی پارالاکس x ناشی از خطای معرفی صحیح عناصر حرکتی که در نقاط مختلف مدل باقی میماند، سبب ایجاد اختلاف ارتفاع در نقاط مدل می شود و چنانچه اندازه گیری ارتفاعی مورد نظر باشد باید به خطای ارتفاعی ناشی از پارالاکس x باقیمانده در مدل توجه شود.

در فصل پنجم که به بررسی اثر عناصر حرکتی پرداخته شد اثر مؤلفه x هر عنصر نیز بر نقاط مختلف مدل مورد توجه قرار گرفت و دیدیم که به رابطه زیر دست یافتیم:

$$\Delta P'_x = \Delta b x' - \frac{x}{z}\Delta b z' - y\cdot\Delta k' + z\left(1+\frac{x^2}{z^2}\right)\Delta\varphi' - \frac{xy}{z}\Delta\omega'$$

و در مورد عناصر پروژکتور سمت چپ:

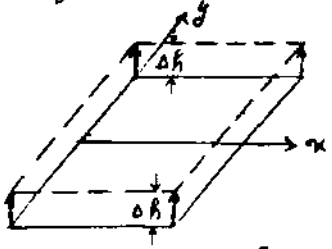
$$\Delta P''_x = -\Delta b x'' + \frac{(x-b)}{z}\Delta b z'' + y\cdot\Delta k'' - z\left(1+\frac{(x-b)^2}{z^2}\right)\Delta\varphi'' + \frac{(x-b)y}{z}\Delta\omega''$$

و چون تغییرات عناصر کوچک است اختلاف ارتفاع ایجاد شده ناشی از تغییر پارالاکس x کوچک را از رابطه روبرو می توان تعیین کرد.

$$\Delta h = \frac{-z}{b}\cdot\Delta P_x$$

۱- اثر $\Delta b x$

دیدیم که تغییر $b x$ دارای اثر x مساوی و در یک جهت بر تمام نقاط مدل می باشد در نتیجه خطای $\Delta b x$، نقاط مدل را از نظر ارتفاعی به یک نسبت پایین یا بالا می برد که چون معمولاً خطا کوچک است تغییر مقیاس قابل ملاحظه ای را سبب نمی شود لذا می توان اثر آنرا فقط با تغییر مبنای قرائت ارتفاعی از بین برد.



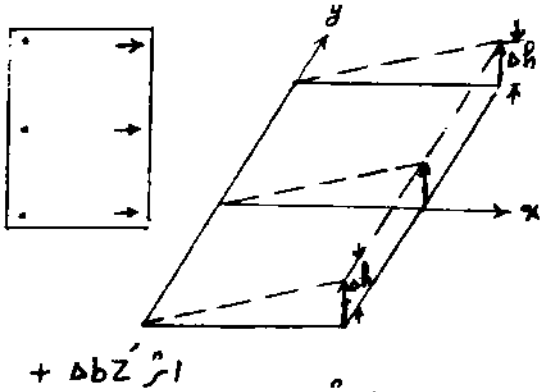
(شکل ۳۱) اثر $+\Delta b x'$

میزان تغییر مبنای ارتفاعی را می توان از رابطه $\Delta h = \frac{-z}{(bz)\,b}\Delta b x$ تعیین کرد.

بدست آورد که $\Delta bx = +\Delta bx' - \Delta bx''$ می باشد ---- $\Delta h_{(bx)} = \frac{-z}{b} \cdot \Delta bx$

۲ـ اثر Δbz

با مشاهده اثر x ناشی از تغییر bz ، ملاحظه می شود که از نظر ارتفاعی ، اثری مشابه با دوران مدل حول محور y در مدل پدید می آید. پس خطای ارتفاعی ناشی از تغییرات bz را می توان در مرحله تراز گذاری با ایجاد دوران حول محور y در مدل از بین برد.



(شکل ۳۲)

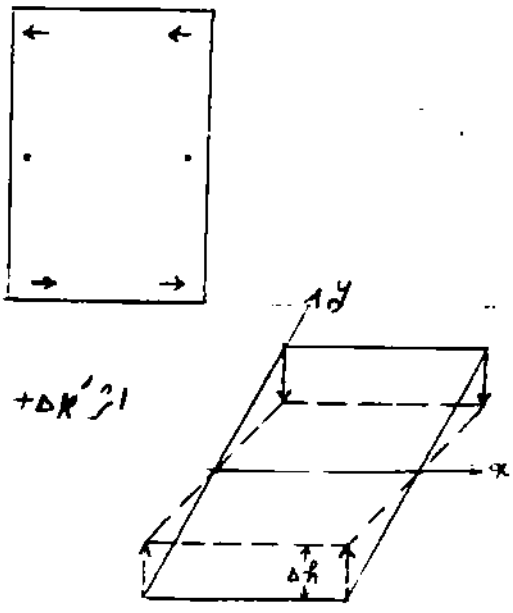
تغییرات ارتفاعی ناشی از Δbz را می توان از رابطه زیر بدست آورد :

$$\Delta h_{(bz)} = \frac{-z}{b} \cdot \frac{-x}{z} \Delta bz' = \frac{x}{b} \Delta bz'$$

$$\Delta h_{(bz)} = \frac{x}{b} \Delta bz' = -\frac{x-b}{b} \Delta bz''$$

۳ـ اثر ΔK

با توجه به اثرات x ناشی از تغییر k بر روی مدل ، ملاحظه می شود که از نظر ارتفاعی، تغییر k دارای اثری مشابه دوران مدل حول محور x می باشد پس می توان اثر آنرا در مرحله تراز گذاری با ایجاد دوران حول محور x در مدل از بین برد.



(شکل ۳۳)

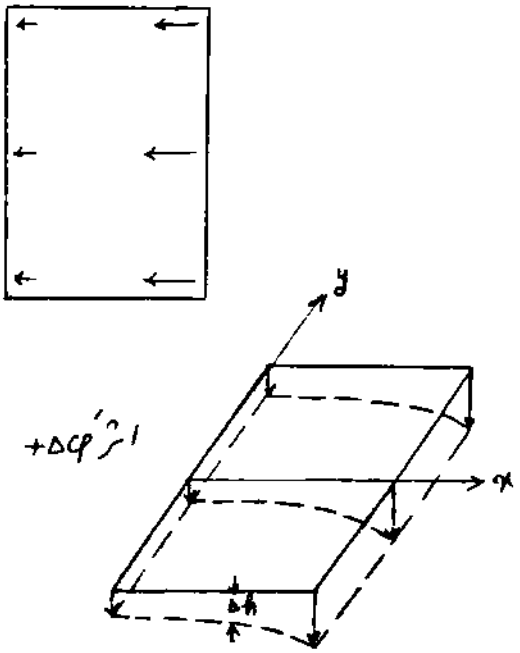
تغییرات ارتفاعی ناشی از ΔK را از رابطه زیر می توان تعیین کرد:

$$\Delta h_{(K)} = \frac{yz}{b} \Delta K$$

که $\Delta K = +\Delta K' = -\Delta K''$ می باشد.

تغییر شکل ارتفاعی مدل در اثر P_X ناشی از تغییر φ، مانند شکل زیر می باشد.

تغییر شکل ایجاد شده در اثر تغییر φ انیستکلاستیسیته سطح مدل سطح را به سطحی سهمی گون استوانه‌ای مدل می سازد. که معادله آن برای تعیین تغییرات ارتفاعی $\Delta h_{(\varphi)} = \frac{-(z^2+x^2)}{b}\Delta\varphi' = \frac{z^2+(x-b)^2}{b}\Delta\varphi''$ می باشد. تابیدگی ایجاد شده در سطح مدل در اثر تغییر φ را می توان به سادگی از بین برد. فقط با در دست داشتن $(\Delta\varphi)$ خطای جزئی هر φ می توان اختلاف ارتفاع ایجاد شده در نقاط مختلف را از روابط فوق محاسبه نمود. $\Delta h_{(\varphi)} = -\frac{z^2+x^2}{b}\Delta\varphi' = \frac{z^2+(x-b)^2}{b}\Delta\varphi''$

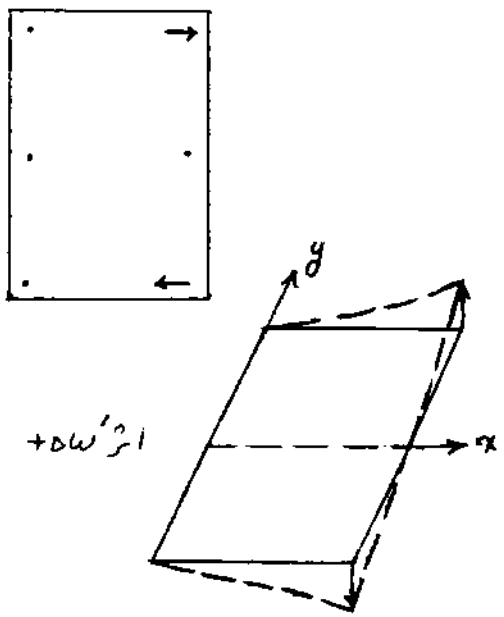


(شکل ۳۴)

۵-اثر Δω

پارالاکس X ناشی از خطای عدم معرفی صحیح ω به میزان Δω در مرحله توجیه نسبی، سبب ایجاد تغییر شکلی در مدل می شود مانند شکل ۳۵.

تغییر شکل ایجاد شده ناشی از خطای Δω، نوعی تابیدگی است که سطح مدل سطح را به سطح حذلولی سهمی وار تبدیل می کند. خطای ارتفاعی ناشی از تابیدگی حاصل از تغییر Δω در سطح مدل را که با دقت قابل رفع نیست می توان با مشخص بودن Δω از رابطه $\Delta h_{(\omega)} = \frac{XY}{b}\Delta\omega' = -\frac{(x-b)Y}{b}\Delta\omega''$ بدست آورد.

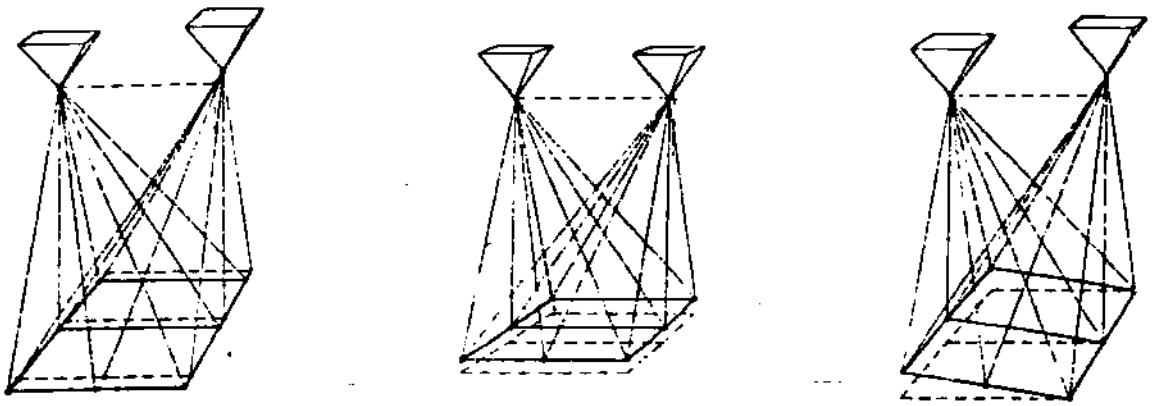


(شکل ۳۵)

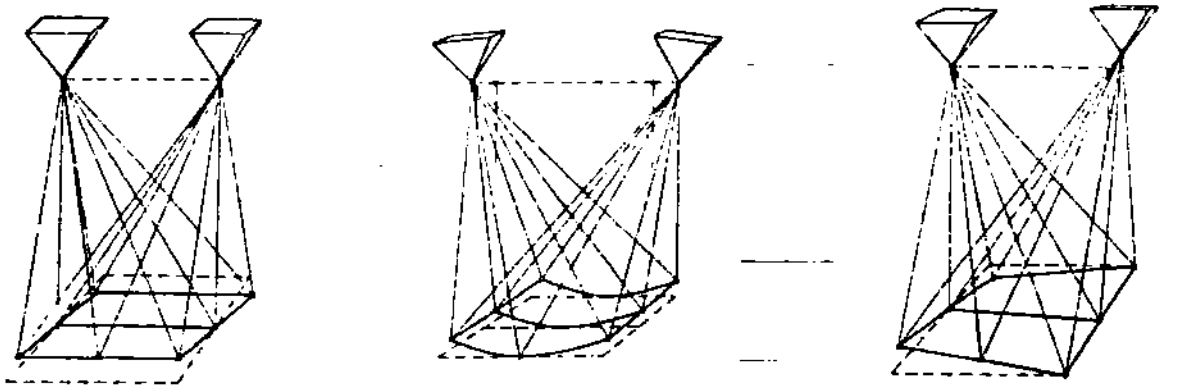
~~باید توجه داشت که خطای ارتفاعی ناشی از تابیدگی ایجاد شده از تغییر φ و ω~~

در سطح مدل از خطای ارتفاعی مجاز (دقت ارتفاعی خواسته شده) تجاوز نکند.

... اشکال زیر اثر خطای شش عنصر حرکتی را در سطح مدل نشان میدهند.



اثر خطای db_z ($\Delta b_z''$) اثر خطای db_x ($\Delta b_x''$) اثر خطای db_y ($\Delta b_y''$)



اثر خطای $d\omega$ ($\Delta\omega''$) اثر خطای $d\varphi$ ($\Delta\varphi'$ و $\Delta\varphi''$) اثر خطای dK ($\Delta K''$)

(شکل ۳۶)

ملاحظه می‌شود که اثر خطای db_y فقط جابجایی مطلق را متداول می‌باشد درحالیکه خطای سایر عناصر حرکتی دارای اثر جابجایی ارتفاعی در سطح مدل نیز می‌باشد.

۸- مراحل کار دستگاهی برای انجام توجیه نسبی

ایراتور دستگاه پس از انجام توجیه داخلی، باید دستگاه را برای مشاهده صحیح برجسته بینی و توجیه نسبی آماده سازد. مراحل کار دستگاهی پس از توجیه داخلی شرح زیر می باشد:

۸-۱: صفر صفر کردن دستگاه

چون حالت ایده آل در عکسبرداری قائم، حالتیست که عناصر انتقالی و دورانی نیز bx صفر می باشند پس بهتر است که دستگاه قبل از شروع توجیه نسبی در حالت ایده آل قرار داده شود یعنی کلیه عناصر دورانی و انتقالی موجود در دستگاه نیز bx را باید در موقعیت صفر خطکش ورنیر سنج مدرج آنها قرار داد. عناصر انتقالی by و bz را در صورتیکه در هردو پروژکتور وجود داشته باشند می توان مساوی قرار داد یعنی $bz' = bz$ و $by' = by$.

صفر bx را باید بر روی خود بازتقریبی مدل (b_m) که با توجه به امکانات دستگاهی، مقیاس عکس و مقیاس نقشه تعیین می شود، قرار داد.

صفر خطکشها و طبلکهای مدرج دستگاهی، برای اجتناب از بروز قرائت عدد منفی معمولاً عددی غیراز صفر، مانند $9^{m}0$ (دستگاههای دیجیتال)، $9^{m}-2$، $9^{m}1.0$، $3.^{mm}$، $2.^{mm}$ و ... می باشد.

۸-۲: تنظیم سیستم مشاهده با چشمهای ایراتور دستگاه

الف- معرفی بازچشم ایراتور به دستگاه

با این عمل فاصله مراکز چشمهای مشاهده دستگاه برابر با بازچشم عامل مشاهده کننده میشود.

ب- تنظیم عدسیهای متغیر بر روی چشمی های مشاهده

مشاهده کننده با تنظیم عدسیهای چشمی های مشاهده دستگاه، تصویر را در واضح ترین

صورت خود قابل رویت می سازد و با انیکار تصویر را برای چشم های خود فوکوس می کند.

در جایی که مشاهده کننده تصویر را واضح می بیند باید نقطه اندازه گیری را نیز که بر صفحه کانونی عدسی گیرنده تصویر منطبق می باشد - در صورتیکه دستگاه از تنظیم خارج نشده باشد - بهمان وضوح تصویر رویت نماید.

ج - تنظیم چشمهای دستگاه در جهت Y

با تغییر بیجای مربوط به جابجا شدن چشمها در جهت Y، در صورت وجود، اپراتور دستگاهی باید امتداد مراکز چشمها را با امتداد مراکز چشمهای خود موازی کند. بعبارت دیگر Py چشمهای مشاهده کننده به چشمی های دستگاه باید معرفی شود.

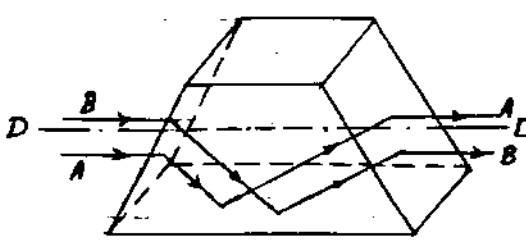
۳-۸ : تنظیم پریزم

در صورت وجود منشور دوران دهنده سیستم تصویر در دستگاه باید منشورها را چنان تنظیم نمود که :

الف - دستگاه مختصات دو سیستم تصویر با یکدیگر موازی شوند.

ب - محورهای مختصات سیستم های تصویر موازی و هم جهت با محورهای مختصات سیستم مشاهده شوند.

منشور مورد نظر منشوری است چهار وجهی که دارای قاعده های موازی و نامساوی بشکل مستطیل و دو وجه بشکل ذوزنقه متساوی الساقین می باشد و به منشور "داو" (Dove Prism) معروف است.



(شکل ۳۷) منشور داو

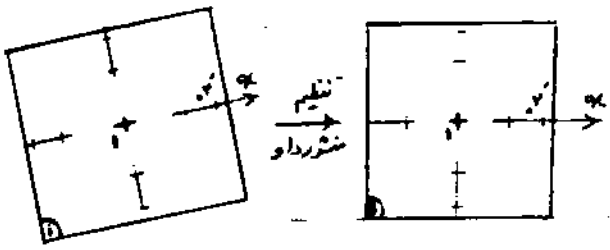
با توجه به شکل روبرو، ملاحظه می شود که در این حالت شعاعهای ورودی موازی A و B (B در بالا و A پائین) با جرخش ۱۸۰° (A در بالا و B در پائین) از منشور خارج می شوند. اگر منشور ۹۰° حول محور طولی DD' و بطور موازی

~~چرخاننده منشور سطح عمل فروجی ۱۸۰° خواهند چرخید در هر سیستم مشاهده از دستگاهی~~

مکانیکی معمولاً یک زوج منشور داو وجود دارد.

نحوه عمل بدینصورت است که ابتدا با مشاهده یک چشمی، محورهای مختصات هریک از سیستم های تصویر را بعنوان چرخش مورد نیاز به منشور مربوطه، موازی با محورهای مختصات فرضی قرار میدهیم. محور x فرضی امتدادی به موازات امتداد باز چشم و محور y امتداد عمود بر آن می باشند جهت مثبت محور x از چپ به راست و جهت مثبت محور y بسمت دورشونده از ایراتور است. بعبارت دیگر محورهای مختصات سیستم تصویر بموازات محورهای مختصات سیستم اندازه گیری (حرکتی) باید دیده شوند.

بطور مثال، فقط با چشم چپ (در حالیکه چشم راست بسته یا نور تصویر سمت راست خاموش است) به تصویر سمت چپ در موقعیت مرکز آن (نقطه ۱) نگاه می کنیم علامت + مربوط به مرکز



(شکل ۳۸)

تصویر را با چرخش لازم به منشور داو (توسط کنترل، پیچ یا دسته مربوطه)، می چرخانیم تا خطوط معرفی آن در امتداد x و y فرضی قرار گیرند (شکل ۳۸). برای اینکه از عدم وجود چرخش ناصحیح ۹۰° یا ۱۸۰° مطمئن شویم، بعبارت دیگر برای کنترل تنظیم صحیح جهت مثبت محورهای مختصات، پایه متحرک یا دستگیره گردان را در جهت $+y$ حرکت می دهیم نقطه اندازه گیری نیز باید در جهت $+y$ در صفحه تصویر حرکت کند در غیر اینصورت، مثلاً اگر نقطه اندازه گیری بسمت $-y$ در تصویر حرکت کند مشخص است که تصویر دارای ۱۸۰° چرخش اضافی است که با دوران ۹۰° منشور داو، تصویر و سیستم تصویر مورد مشاهده با ۱۸۰° چرخش در وضعیت صحیح دیده شوند.

منشور داو مربوط به پروژکتور سمت راست نیز عیناً برای مشاهده صحیح تصویر باید تنظیم شود.

حال با مشاهده دوچشمی تصویرها در نقطه ۱ یا ۲ نگاه می کنیم در صورتیکه امتداد x خط در

علامت + با امتداد خط کناری قالب موازی باشد دیگر

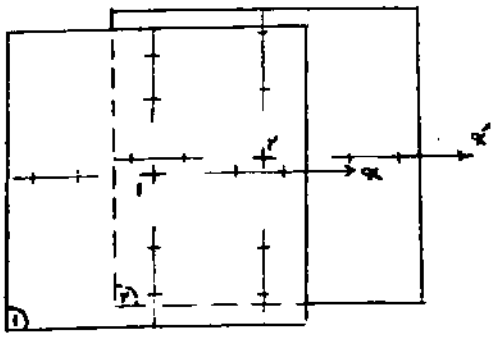
(با توجه شکل رو برو) محورهای مختصات دو سیستم تصویر

از دو پروژکتور با کلید یکدیگر موازی و در امتداد x و y ها

فرضی دیده می‌شوند در غیر اینصورت با اعمال چرخش‌های

جزئی به منشورهای مربوطه، چرخش دستگاه مختصات

دو سیستم تصویر مورد مشاهده را نسبت بهم ازبین می‌بریم.



(شکل ۳۹)

- موارد کاربرد منشور داو

۱- معرفی زاویه استریوپسیس چشمهای مشاهده کننده به سیستم مشاهده دستگاه.

۲- در صورت استفاده از تصاویر منفی، با چرخش ۹۰° منشورهای داو، می‌توان برجسته‌بینی کاذب را به برجسته‌بینی حقیقی تبدیل کرد.

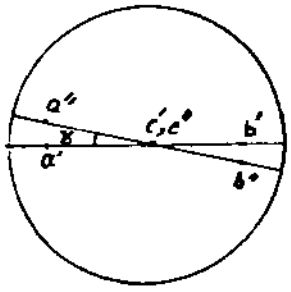
۳- در دستگاه‌های پرتکرو یا در مواقعی که حذف یکی از پارالاکسها x یا y بطور خیلی دقیق مورد نظر باشد با ایجاد چرخش ۹۰° در تصاویر می‌توان پارالاکس x را به y و یا بالعکس، با جابجا شدن محورهای x و y با یکدیگر، تبدیل کرد.

۴- با چرخش ۹۰° منشور داو در انجام مثلث بندی به روش مدل پیوسته، می‌توان دید برجسته‌بینی صحیح را در مورد تصاویری که جای آنها در سیستم مشاهده تعویض می‌شود، برقرار نمود.

۵- در اثر معرفی دورانهای φ و ω به مقدار زیاد، تصاویر نسبت بهم بصورت چرخش یافته مشاهده می‌شوند که این چرخش را می‌توان با ایجاد دوران در منشور داو برطرف نمود.

چرخشی که در تصاویر به سبب عدم تنظیم صحیح منشور داو، اعمال دورانهای زیاد φ و ω و یا عوامل دیگر باقی مانده باشد دید برجسته‌بینی را مختل ساخته و یا در نتیجه ایجاد فشار به چشمها، مشاهده کننده را دچار خستگی و صدردرد می‌کند. چنانچه مدتی نسبتاً طولانی با چنین وضعیتی

~~کار شود و به چشمها صدمات جبران ناپذیری وارد خواهد شد زیرا زاویه کا بین هر دو خط~~
نظیر را جسم سعی می کند با ایجاد انحراف در مسیر شعاعهای دیدگانی حذف کند در حالیکه این زاویه
را با استعمال چرخشی جزئی به یکی از منشورها داد
می‌توان از بین برده و دید سه بعدی راحتی را
برقرار نمود.



(شکل ۴۰)

پس در هر مرحله از کار که مشاهده کننده
احساس کند در اختلاف محورهای دو دستگاه مختصات
یا اختلاف عوارض نظیر نسبت بهم زاویه‌ای ایجاد شده است باید خطای زاویه‌ای موجود را بکمک
منشورهای داو برطرف سازد.

۴-۸: معرفی باز تقریبی (انتخاب مقیاس مدل)

در این مرحله باید باز تقریبی مدل تعیین و به خطکش bx معرفی شود تا مدل تقریباً در
حدود مقیاس انتخاب شده تشکیل شود و در مرحله توجیه مطلق به تغییر زیاد bx نیازی نباشد،
میدانیم که باز مدل برابر با فاصله دو مرکز تصویر دستگاه است که باید برابر با بازهوایی در
مقیاس مدل باشد. پس برای تعیین باز تقریبی مدل باید ابتدا مقیاس مناسبی برای مدل انتخاب
شود. مقیاس مدلی که در فاصله Z از مرکز تصویر تشکیل شده باشد برابر با نسبت $\frac{-Z}{H'}$ است.

$$\text{مقیاس مدل } S_M = \frac{-Z}{H'} \quad \rightarrow \quad S_M = \frac{-Z \cdot f}{H' \cdot f} = \frac{-Z}{f} \cdot \frac{f}{H'} = \frac{-Z}{f} \cdot S_{Ph}$$

$$S_M = \frac{-Z}{f} \cdot S_{Ph} \quad , \quad b_M = B \cdot S_M = (\text{باز عکس}) b \cdot \frac{-Z}{f}$$

مدل رابط بین دو یا چند تصویر ها (عکسها) و نقشه می باشد پس مقیاس مدل به مقیاس عکسبرداری،
مقیاس نقشه و امکانات دستگاهی بستگی دارد. زیرا باید عکسها با مقیاس مشخص را از طریق مدل

حد و حدود امکانات دستگاهی به نقشه‌ای در مقیاس ثابت خواسته شده تبدیل کرد.

مناسب‌ترین مقیاس مدل با توجه به عوامل محدود کننده زیر انتخاب می‌شود:

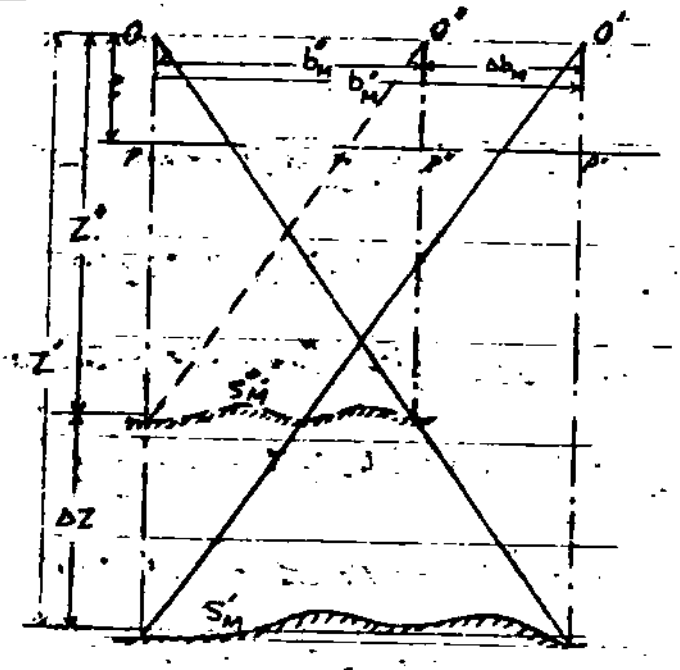
۱- دامنه محدود حرکتهای X، Y و Z سیستم اندازه‌گیری دستگاه؛

۲- محدود بودن امکانات دستگاهی برای انجام قرائت‌های ارتفاعی در مقیاس مدل؛

۳- محدود بودن نسبتهای مقیاس مدل به مقیاس نقشه $\left(\frac{S_M}{S_N}\right)$، که امکان برقراری آنها در ارتباط دستگاه به میزترسیم برای تبدیل مختصاتی وجود دارد.

۱- دامنه محدود حرکتهای X، Y و Z دستگاهی

چون دامنه حرکتهای X، Y و Z سیستم اندازه‌گیری هر دستگاه محدود است پس مدل در صورتی قابل دسترسی است که در میدان حرکتهای سیستم اندازه‌گیری دستگاه تشکیل شود، محدودیت دامنه حرکتهای X و Y چنان است که اگر مدلی در بزرگترین مقیاس ممکنه نیز تشکیل شود سطح مفید مدل در حدود تغییرات X و Y می‌گنجد. پس عامل محدود کننده مقیاس مدل دامنه تغییرات Z است. بنابراین که Z را می‌توان ارتفاع پرواز از سطح متوسط منطقه در مقیاس مدل دانست و یا توجه به شکل روبرو می‌بینیم که هرچه ΔZ بیشتر شود مقیاس مدل بزرگتر می‌شود



(شکل ۱۰)

و از طرفی می‌توان نوشت: $\frac{S_M}{S_N} = \frac{f}{-Z}$

$Z' > Z'' \rightarrow S'_M = \frac{-Z'}{f} > S''_M = \frac{-Z''}{f}$

- بدین ترتیب با در اختیار داشتن بالاترین حد ستون Z ($|Z| = |Z_{min}|$) و پائین‌ترین حد Z ($|Z| = |Z_{max}|$) می‌توان حداقل و حداکثر مقیاس مدل قابل تشکیل در میدان تغییرات Z دستگاه

$(Z_{max} - Z_{min} = \Delta Z)$ را بدست آورد

اگر $\frac{Z_{min}}{f} = a$ و $\frac{Z_{max}}{f} = b$ باشد: $S_{min} = \frac{Z_{min}}{f} \cdot S_{ph} = a \cdot S_{ph}$ مدل

$S_{max} = \frac{Z_{max}}{f} \cdot S_{ph} = b \cdot S_{ph}$ مدل $\Rightarrow$ $S_{min} < S_{M}^{\text{مناسب}} < S_{max}$

$a < c < b$ $\leftarrow$ $a \cdot S_{ph} < c \cdot S_{ph} < b \cdot S_{max}$

پس اگر مدل دارای مقیاسی در حدود بین مقیاس میانیم و مقیاس ماکزیمم بدست آمده باشد، در سطحی از مرکز تصویر تشکیل خواهد شد که $Z_{min} < |Z| < Z_{max}$ می باشد. ستون z دستگاهها معمولاً با نصب خطکشی بر روی آن مدرج می باشد، مقادیر Z_{min} و Z_{max} هر دستگاهی نیز در کاتالوگ آن نوشته شده است. چنانچه ستون z دستگاهی فاقد خطکش مدرج باشد و کاتالوگ آن نیز در اختیار نباشد می توان با تغییر دادن z، حداقل و حداکثر مقدار آن را در امتداد قائم تا مرکز تصویر با خطکش مدرج معمولی اندازه گیری کرد.

پس مناسب ترین مقیاس مدل آنستکه نزدیک به متوسط مقیاسهای ماکزیمم و میانیم تعیین شده برای مدل باشد.

$S_M = \frac{1}{2}(S_{min} + S_{max})$

و یا اگر $Z_m = \frac{Z_{min} + Z_{max}}{2}$ باشد $c = \frac{Z_m}{f}$ و $S_M = c \cdot S_{ph}$ $\Rightarrow$ یا $c = \frac{a+b}{2}$

مناسب ترین مقیاس مدل برابر است با: $S_M = \frac{Z_m}{f} \cdot S_{ph}$

۲- دارابودن امکانات دستگاهی برای انجام قرائت های ارتفاعی در مقیاس مدل:

هر دستگاه تبدیل با توجه به دقت ارتفاعی اش، فقط امکان قرائت های ارتفاع زمینی را در مقیاسهای مشخصی میسّر می سازد. قرائتهای ارتفاعی یا از روی خطکشهای درجه بندی شده در مقیاسهای مختلف انجام می شود و یا از روی کنتورهایی که با تعویض چرخ دنده های مربوط به آن، سرعت حرکت ارقام کنتور نسبت به حرکت z تغییر داده می شود، می توان ارتفاعات زمینی نقاط را در مقیاسهای مشخصی قرائت نمود. به این مقیاسهای مشخص با مراجعه به جدول هر دستگاه می توان دست

یافت. پس مناسب‌ترین مقیاس مدل، نزدیکترین مقیاس به مقیاس متوسط مدل است که امکان قرائت ارتفاعی در آن مقیاس وجود داشته باشد.

در دستگاههایی که قرائتهای ارتفاعی نیز مانند قرائتهای مسطحاتی برحسب میسر انجام می‌شود کافیست که مقیاس مدل روند انتخاب شود و نزدیکترین مقیاس به مقیاس متوسط مدل نیز باشد.

۳- امکان معرفی نسبت $\frac{S_M}{S_K}$ بین دستگاه و میز ترسیم،

اگر امکان انتخاب چند مقیاس وجود داشته باشد باید بین آنها بزرگترین مقیاسی که امکان برقرار ساختن نسبت $\frac{S_M}{S_K} = \frac{\text{مقیاس مدل}}{\text{مقیاس نقشه}}$ در ارتباط بین سیستم اندازه‌گیری و سیستم ترسیم دستگاه وجود دارد را برگزینیم و بعنوان مناسب‌ترین مقیاس به مدل معرفی کنیم چون در هر دستگاه نقاط نسبتهای مشخصی را می‌توان بوسط چرخ دنده‌ها یا پانتوگراف، بین دستگاه و میز ترسیم برقرار کرد. نسبتهای مشخصی جهت تبدیل مسطحاتی در هر دستگاه تعیین شده که در جدولی که از طرف کارخانه سازنده دستگاه تهیه شده است در اختیار استفاده کننده قرار می‌گیرد.

با تعیین S_M مناسب، Z_M مدل را بدست می‌آوریم: $S_M = \frac{-Z_M}{H'} \Rightarrow -Z_M = H' \cdot S_M$

با اندازه‌گیری باز عکس و باز مدل را محاسبه می‌کنیم. $\frac{S_{ph}}{S_M} = \frac{f}{-Z_M} = \frac{b_{ph}}{b_M} \Rightarrow b_M = \frac{Z_M}{f} \cdot b_{ph}$

باز بدست آمده تقریبی است زیرا با توجه به مقیاس اسمی (غیردقیق) $b_M = \frac{S_M}{S_{ph}} \cdot b_{ph}$ یا

عکس تعیین شده است. باز تقریبی محاسبه شده را به خطکش b_x معرفی می‌کنیم و یا Z را در Z_M بدست آمده قرار میدهیم و سپس با تغییر b_x، پارالاکس x مورد مشاهده را در تقاطیر با دید جسم‌بینی حذف می‌کنیم. بدین ترتیب باز تقریبی مدل بدستگاه معرفی می‌شود. مناسب‌ترین مقیاس مدل را با توجه به مقیاس عکسبرداری یا حداقل و حداکثر ارتفاع پرواز و مقیاس نقشه مورد تقاضا می‌توان از جدول مربوط به هر دستگاه استخراج کرد.

۵-۷: انجام توجیه نسبی

با انتخاب روشی مناسب که در تبدیل عکس به نقشه معمولاً ترجیح داده می‌شود توجیه نسبی دو طرفه باشد. توجیه نسبی مدل انجام شده و مدلی هندسی و سه بعدی از زمین تشکیل می‌گردد.

فصل هشتم

توجیه مطلق

مدل هندسی سه بعدی که پس از انجام توجیه نسبی تشکیل یافته است باید نسبت به زمین توجیه شود. توجیه مدل نسبت به سطح زمین را توجیه مطلق (Absolute Orientation) گویند که مدل را برای استخراج اطلاعات و اندازه گیریهای مورد نیاز یا ترسیم آماده می سازد.

اندازه گیری یا اطلاعات مورد نیاز یا مسطحاتی می باشند یعنی فقط مختصات x و y نقاط مختلف عوارض، یا ارتفاعی هستند یعنی فقط ارتفاع h (یا z) نقاط، و یا هم مسطحاتی و هم ارتفاعی اند یعنی هر سه مختص x، y و z (یا h) نقاط مورد نظر می باشند. برای دستیابی به مدلی که تأمین کننده هدف مورد نظر باشد مدل را باید از نظر مسطحاتی و ارتفاعی نسبت به زمین توجیه نمود. توجیه مسطحاتی مدل را مقیاس گذاری (Scaling) و توجیه ارتفاعی مدل را "تراز گذاری" (Leveling) نیز می گویند. پس توجیه مطلق شامل دو مرحله توجیه مسطحاتی و توجیه ارتفاعی می باشد.

---

۱) توجیه مسطحاتی

۱- تعریف

توجیه مدل را از نظر مسطحاتی، که ارتباط بین مختصات مسطحاتی مدل و زمین را مشخص می کند، مقیاس گذاری نخواهند نمود. در این مرحله مقیاس مناسب انتخاب شده به مدل معرفی می شود. که شامل عوامل زیر است:

الف - معرفی مقیاس مشخص و مناسبی به مدل (S_m) (مقیاس گذاری)؛

ب - توجیه امتداد y دستگاه نسبت به امتداد y شبکه مبدأ نقشه (امتداد شمال)، بعبارت دیگر معرفی از میزان امتداد y دستگاه (یا امتداد مشخصی) به مدل (Az)؛

ج - استقرار مدل در موقعیت صحیح نسبت به مبدأ مختصات (Y_0 و X_0).

ملاحظه می‌شود که برای توجیه مسطحاتی مدل یعنی پیاده کردن مدل در مقیاسی مشخص بطوریکه نسبت به امتداد شمال دارای زاویه صحیح و از نظر مختصات نیز نسبت به مبدأ مختصات دارای موقعیت صحیح باشد، چار پارامتر فوق باید به مدل معرفی شود. برای معرفی چار پارامتر S_m، ΔZ، X_0 و Y_0 بما باید بدانیم که وضعیت موجود مدل از نظر میزان مقیاس، زاویه نسبت به شمال و مختصات چگونه می‌باشد. پس چار مجهول وجود دارد که برای حل آنها حداقل به چار معلوم احتیاج داریم تا با مشخص شدن آنها بتوانیم تغییر مقیاس، تغییر دوران ازیموت و دو انتقال مسطحاتی مورد نیاز را تعیین و به مدل معرفی کنیم. مختصات معلوم دو نقطه مسطحاتی $A\left|\begin{matrix}X_0\\Y_0\end{matrix}\right.$ و $B\left|\begin{matrix}X'_0\\Y'_0\end{matrix}\right.$، چار معلوم مورد نیاز برای حل چار مجهول $\Delta S = S'_m - S_m$، $\Delta Z = Z' - Z$، $\Delta X = X' - X_0$ و $\Delta Y = Y' - Y_0$ را در اختیار می‌گذارند. علاوه بر دو نقطه اضافی نیز در نظر می‌گیریم تا کنترلی برای صحت عملیات وجود داشته باشد.

پس برای انجام مقیاسگذاری وجود ۲ نقطه مسطحاتی لازم و سه نقطه کافی است. نقاط مختصات دار بر روی دیاپوزیتیو (مدل) بصورت نقاط سفید رنگی (سوزن زده شده) و بر روی عکسها بهمراه شماره هر نقطه مشخص شده می‌باشند. در صورتیکه ترسیم نقشه مورد نظر باشد، نقاط با مختصات معلوم بر روی شبکه نقشه منتقل شده در مقیاس خواسته شده برای نقشه، پیاده و شماره‌گذاری می‌شوند. مقیاسگذاری بکمک این شبکه انجام می‌پذیرد.

۲- مراحل انجام توجیه مسطحاتی

۲-۱: آماده سازی دستگاه

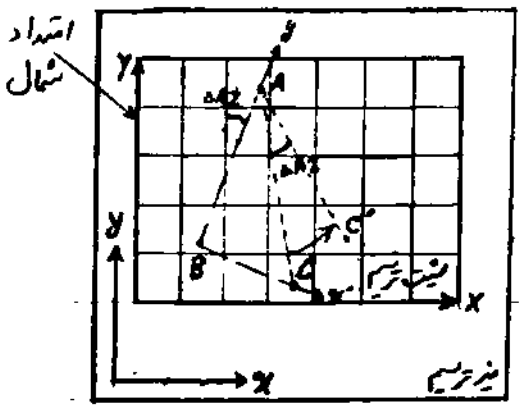
جایگذاری جرخ دنده های مناسب برای برقرار ساختن نسبت $k = \frac{\text{مقیاس مدل انتخاب شده}}{\text{مقیاس نقشه}}$ بین حرکتهای سیستم اندازه‌گیری دستگاه و حرکت نظیر آن در سیستم ترسیم (میز ترسیم).

~~شماره چرخ دنده های مورد نیاز را می توان از جدول مربوط به دستگاه مورد استفاده استخراج کرد.~~

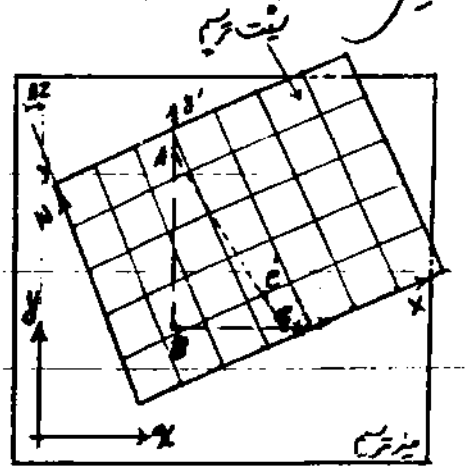
در دستگاه هایی که دارای پانتوگراف می باشند طول بازوهای پانتوگراف نیز باید تنظیم شوند.

— ۲-۲-۲ استقرار صحیح شیت بر روی میز ترسیم (حل سه مجهول cx، cy و ΔAz)

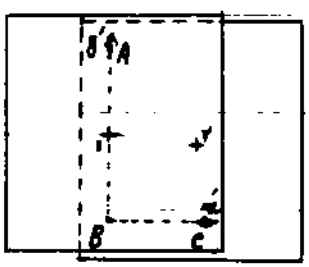
— با سه حرکت x، y و z سیستم اندازه گیری، نقطه شناور را بر یکی از نقطه ها، بطور مثال A، منطبق و مماس می کنیم. با انتقال شیت در دو جهت x و y بر روی میز ترسیم تصویر نقطه A از شیت را در زیر نوک قلم قرار میدهیم با این عمل به نقطه A از مدل مختصات زمینی اش را معرفی کرده ایم بعبارت دیگر دو مجهول cx و cy را با دو معلوم X_A و Y_A حل نموده ایم (شکل ۱-الف). x و y محورهای مختصات سیستم اندازه گیری دستگاه می باشند. (الف)



با حرکتهای سیستم اندازه گیری دستگاه، نقطه شناور را بر روی نقطه دوم، که می تواند نقطه B یا C باشد، قرار می دهیم. ترجیح داده می شود نقطه ای که دارای ناحیه طویل تری از نقطه A است برگزیده شود، زیرا هرچه طول مورد استفاده بلندتر باشد دقت متقاطع شدن بالاتر می رود بدین سبب برای توجیه مسطحاتی معمولاً از دو نقطه در امتداد قطر مدل استفاده می شود.



(ب)



(ج) موقعیت نقاط A، B، C در مدل

(شکل ۱)

پس از انطباق نقطه شناور بر نقطه c از مدل، شیت ترسیم را حول نقطه A دوران میدهیم تا امتداد AC از شیت در زیر نوک قلم (واقع در موقعیت c) قرار گیرد (شکل ۱-ب)،

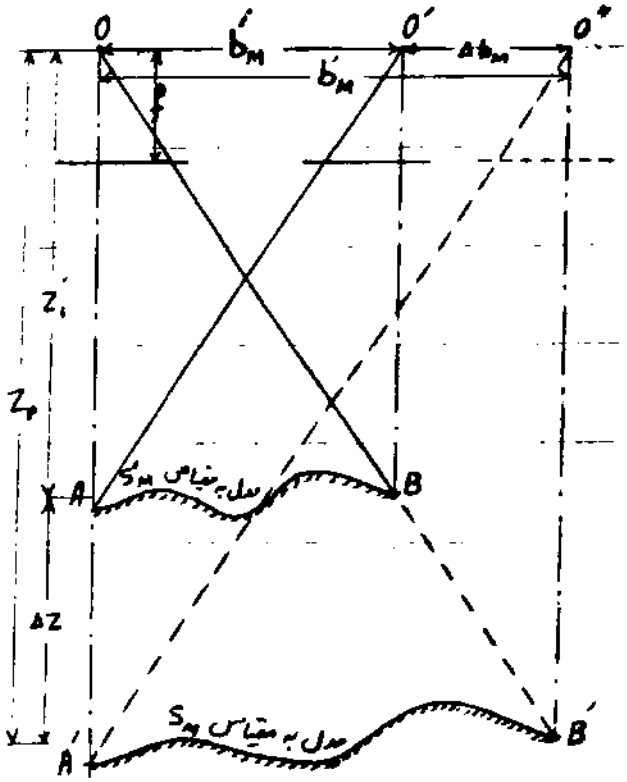
بنابراین عمل کد دوطول نقیر از مدل و شیت ترسیم و یک برابر تا قرار گیرند و ΔZ به مدل معرفی میشود. چون امکان دوران مدل وجود ندارد شیت (بعبارت دیگر امتداد شمال) را دوران میدهیم تا امتداد AC از مدل در راستای با ازیموت صحیح خود AC قرار گیرد (شکل ۱-ب).

۲-۳: معرفی مقیاس انتخاب شده به مدل (مقیاسگذاری)

با مقایسه طول AC از مدل در مقیاس نقشه ($\overline{AC}$) با طول صحیح آن در مقیاس نقشه ($\overline{AC}$) می‌توان مقیاس موجود مدل را بدست آورد. اگر $\overline{AC'} < \overline{AC}$ باشد (قلم (c) بین نقاط A و B از شیت قرار بگیرد)، مقیاس موجود مدل کوچکتر از مقیاس انتخاب شده می‌باشد ($S'_M > S_M$) که مقیاس مدل را باید بزرگ نمود تا $S'_M = S_M$ شود.

اگر $\overline{AC'} = \overline{AC}$ باشد (قلم بر نقطه c شیت قرار بگیرد) مدل دارای مقیاس انتخاب شده S_M است.

و اگر $\overline{AC'} > \overline{AC}$ باشد (قلم خارج از فاصله AC از شیت قرار بگیرد) باید مقیاس مدل را کوچک کرد تا $S'_M = S_M$ شود.



(شکل ۲)

برای تغییر مقیاس مدل دیدیم که باید bx تغییر داده شود، با ازدیاد بازمدل (b_M) فاصله مراکز تصویر افزایش یافته و سبب زیادشدن Z (دورشدن سطح مدل از مراکز تصویر) می‌شود و بدین سبب مقیاس مدل بزرگ می‌شود و بالعکس با کاهش بازمدل مقیاس مدل کوچک می‌شود. برای معرفی مقداری که بازمدل باید تغییر یابد (Δb_M) به دو روش می‌توان عمل نمود. با تغییر بازمدل به مقدار $\Delta b_M = \Delta bx$ مقیاس مدل بمقدار $\Delta S = S_M - S'_M$ تغییر می‌کند - در واقع ΔS مجهول چارم حل می‌شود - و مدل به مقیاس انتخاب

~~اگر $b'_M = bX_1$ ، $b_M = bX_2$ و $\Delta bX = \Delta b_M$ ، S_M خواهد بود~~

$$\rightarrow bX_2 = bX_1 + \Delta bX \quad , \quad S_M = S'_M + \Delta S \quad , \quad Z_2 = Z_1 + \Delta Z$$

$$\rightarrow \frac{bX_2 = bX_1 + \Delta bX}{bX_1} = \frac{S_M = S'_M + \Delta S}{S'_M} = \frac{Z_2 = Z_1 + \Delta Z}{Z_1}$$

الف- تعیین باز مدل به روش محاسباتی

با استفاده از مقایسه طولهای نظیر از اگر مدل و نقشه bX_1 باز تقریبی معرفی شده و به دستگاه و ΔbX تصحیح باز مورد نیاز باشد، تناسب زیر را می‌توان نوشت:

که اگر فاصله مراکز تصویر $bX_2 = bX_1 + \Delta bX$ شود مقیاس مدل S_M خواهد شد: $\frac{bX_1 + \Delta bX}{bX_1} = \frac{S_M}{S'_M}$

a) با اندازه‌گیری طولهای $\overline{AC} = l$ و $\overline{AC'} = l'$ ، با خطکش، تناسب زیر را می‌توان حل کرد.

$$\frac{\Delta bX + bX_1}{bX_1} = \frac{\overline{AC}}{\overline{AC'}} = \frac{l}{l'} \quad \rightarrow \quad \Delta bX = bX_1 \left(\frac{\overline{AC}}{\overline{AC'}} - 1 \right) = bX_1 \left(\frac{l}{l'} - 1 \right)$$

$$\Delta l = l - l'$$

$$\rightarrow \Delta bX = bX_1 \left(\frac{C'C}{\overline{AC}} \right) = bX_1 \cdot \frac{\Delta l}{l'}$$

با مشخص شدن ΔbX ، باز تصحیح مدل بدست آمده و

به دستگاه معرفی می‌شود. $b_M = bX_2 = bX_1 + \Delta bX$

b) تعیین باز مدل به کمک مختصات نقاط

با دو انتخاب و داشتن مختصات نقاط A و C در صورتی که بتوان مختصات زمینی نقاط A و C مدل را قرائت کرد، باز b_M یا تغییر باز ΔbX را از روابط زیر می‌توان بدست آورد.

و یا اگر مختصات نقاط A و C از نقشه استخراج شود داریم: $l = \overline{AC} = \sqrt{(X_A - X_C)^2 + (Y_A - Y_C)^2}$

$$\rightarrow \Delta bX = bX_1 \cdot \frac{\Delta L = L - L'}{L'} \quad , \quad L' = \overline{AC'} = \sqrt{(X_A - X_{C'})^2 + (Y_A - Y_{C'})^2} \quad \text{و}$$

در صورتی که قرائت مختصات دستگاهی $A/\frac{x_A}{y_A}$ و $C/\frac{x_C}{y_C}$ در مقیاس مدل برحسب میلیمتر و $C/\frac{X_C}{Y_C}$ و $A/\frac{X_A}{Y_A}$ مختصات زمینی نقاط باشند خواهیم داشت: $l = \sqrt{(X_A - X_C)^2 + (Y_A - Y_C)^2} \cdot S_M$

$$\rightarrow \Delta bX = bX_1 \cdot \frac{\Delta l = l - l'}{l'} \quad , \quad l' = \sqrt{(x_A - x_C)^2 + (y_A - y_C)^2} \quad \text{و}$$

~~Δbx بدست آمد سرا با توجه به علامت آن به خطکش bx باید معرفی کرد و یا پیچ bx~~

را آنقدر باید تغییر داد تا برروی قرائت $bx_2 = bx_1 + \Delta bx$ قرار بگیرد.

ب - معرفی باز (مقیاس انتخاب شده) مدل به روش تجربی

فرض می کنیم که نقطه شناور برروی نقطه c مدل مماس است درحالیکه قلم (e) برنقطه c منطبق نمی باشد. bx را در جهت مشخص قدری تغییر می دهیم (بهتر است تغییر Δbx در جهت صحیح انجام شود) با تغییر z مدل در اثر تغییر bx، نقطه شناور دیگر بر نقطه c منطبق نمی باشد. با حرکتهای x، y و z نقطه شناور را مجدداً بر نقطه c بصورت مماس قرار میدهیم. با انتقال حرکتهای x و y به میز ترسیم، قلم ترسیم دیگر در موقعیت e نخواهد بود و در موقعیت دیگری مانند e' قرار خواهد گرفت چنانچه e' به c نزدیکتر از e باشد جهت تغییر bx صحیح است در غیراینصورت باید bx را در خلاف جهت تغییر دهیم. bx را در جهت صحیح مشخص شده آنقدر تغییر می دهیم تا پس از مماس کردن نقطه شناور برنقطه c مدل قلم در وسط فاصله $e e'$ قرار گیرد.

درحالیکه نقطه شناور بر نقطه c مدل منطبق است شیت را انتقال داده و نقطه c از شیت را در زیر قلم ترسیم قرار میدهیم.

با اعمال حرکتهای x، y و z نقطه شناور را بر نقطه A در مدل مماس می کنیم. اگر قلم از امتداد cA شیت خارج شده بود با دوران شیت دو طول نظیر را در یک امتداد قرار میدهیم.

درصورتیکه قلم بر نقطه A از شیت قرار داشت که مقیاس گذاری به اتمام رسیده است و مقیاس مدل برابر با مقیاس انتخاب شده آن می باشد. درغیراینصورت با تغییر bx و نصف کردن فاصله AA'، مراحل فوق آنقدر تکرار می شوند تا با انطباق نقطه شناور بر هریک از دو نقطه مدل، قلم برروی نقطه نظیر آن از شیت قرار بگیرد. اگر نقاط A و c قرینه باشند با نصف کردن فاصله cc' زود به جواب خواهیم رسید؛ لکن چون معمولاً نقاط قرینه نیستند

~~با دقت نصف کردن فاصله $\overline{cc'}$ دیگر به نتیجه نمیرسیم زیرا جابجایی نقاط A و C در اثر تغییر~~

δx ، مساوی نمی باشد.

در صورت تقلیل ---- $tg\alpha = \left|\frac{y_A}{z_A}\right|$ و $tg\beta = \left|\frac{y_c}{z_c}\right|$ باشد:

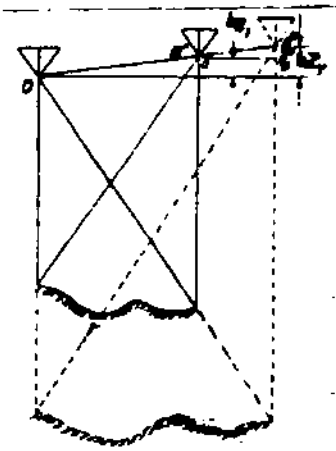
a) اگر $\alpha = \beta$ باشد دو نقطه A و C قرینه اند که در صورت هم ارتفاع بودن نقاط A و C، با نصف کردن فاصله $\overline{cc'}$ زود به نتیجه خواهیم رسید.

b) اگر $\alpha > \beta$ باشد جابجایی ناشی از δx بر روی نقطه A بیشتر از جابجایی بر روی نقطه C است پس با تغییر δx، کمتر از نصف $\overline{cc'}$ را باید خدف کرد.

c) اگر $\alpha < \beta$ باشد پس δx آنقدر باید تغییر داده شود تا قلم کمی بیش از نصف فاصله $\overline{cc'}$ را طی کند که تغییر طول $\overline{AC'}$ در اثر تغییر δx یا مجموع جابجایی ایجاد شده در دو نقطه A و C برابر با $\overline{cc'}$ شود.

۲-۴: معرفی مؤلفه های y و z بازمدل

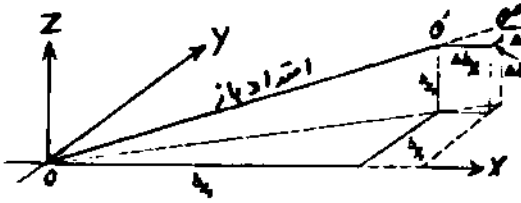
در صورتیکه مراکز تصویر دو پروژکتور دقیقاً در امتداد X نباشند تغییر δx سبب ایجاد یا بالاکس y در مدل می شود که در صورت وجود δy باید با معرفی δy و در صورت وجود اختلاف δz باید با معرفی δz، پارالاکس y موجود در مدل رفع خود تا با حذف P_y، دو مرکز تصویر O و O' در امتداد قبل از تأثیر δx قرار گیرند.



(شکل ۳)

پس برای حذف یا پیشگیری از ایجاد P_y در مدل باید مراکز تصویر را در امتداد موجود O و O' جابجا کنیم نه فقط در امتداد X. بدین منظور باید مؤلفه های δy و δz ایجاد شده از

بی‌از
... Δbx را مطابق با عناصر by و bz معرفی کنیم تا مرکز تصویر جابجا شود ...



... اگر by_1 ، by و bz_1 مؤلفه‌های OO' قبل از تأثیر Δbx باشند و Δby ، Δbx و Δbz مؤلفه‌های OO'' باشند در حالیکه سه نقطه O ، O' و O'' در یک راستا قرار ...

(شکل ۴)

... دارند می‌توان نوشت :

$$\frac{\Delta bx}{bx_1} = \frac{\Delta by}{by_1} = \frac{\Delta bz}{bz_1} \rightarrow \begin{cases} \Delta by = \frac{by_1}{bx_1} \cdot \Delta bx \\ \Delta bz = \frac{bz_1}{bx_1} \cdot \Delta bx \end{cases}$$

bx_1 = بازتقریبی مدل که قبل از توجیه نسبی معرفی شده است و by_1 و bz_1 ترتیب جابجایی در استاد y و z دو مرکز تصویر نسبت به یکدیگر می‌باشد که از خطی by و bz قابل قرائت است ،

چنانچه توجیه نسبی کاملاً انجام شده باشد by_1 و bz_1 میزان تغییرات لازم عناصر by و bz برای انجام توجیه نسبی می‌باشند و در صورتیکه هر دو پرتو دستگاه دارای عناصر انتهایی by و bz باشند داریم :

$$by_1 = by_1' - by_1''$$

$$bz_1 = bz_1' - bz_1''$$

$$\rightarrow \begin{cases} bx_2 = bx_1 + \Delta bx = bx_1 \cdot \frac{\rho = \overline{AC}}{\rho' = \overline{AC'}} \\ by_2 = by_1 + \Delta by = by_1 \cdot \frac{\rho = \overline{AC}}{\rho' = \overline{AC'}} \\ bz_2 = bz_1 + \Delta bz = bz_1 \cdot \frac{\rho = \overline{AC}}{\rho' = \overline{AC'}} \end{cases}$$

و لذا $b_M' = \overline{OO'} = \sqrt{(bx_1)^2 + (by_1)^2 + (bz_1)^2}$

... پس از معرفی Δbx ، Δby و Δbz مورد نیاز توجیه $b_M = \overline{O\,O''} = \sqrt{(bx_2)^2 + (by_2)^2 + (bz_2)^2}$ فاصله دو مرکز تصویر

مطلقی تک تک دو نقطه به انجام می‌رسد . برای کنترل این توجیه ، از نقطه سوم استفاده می‌شود ، بدین ترتیب که با انطباق نقطه شناور بر نقطه سوم (B) در مدل ، موقعیت تلم‌تریم را نسبت به موقعیت B از ثبت مقایسه می‌کنیم اگر تلم بر B منطبق بود که توجیه مطلقی کامل است در غیر اینصورت خطایی وجود دارد که باید برطرف شود .

اولین مرحله از توجیه مطلق ، مقیاس گذاری تقریبی است زیرا مدل هنوز تراز نشده و شیب صحیح را ندارد . با تغییر شیب مدل طول افقی b_M از مدل تغییر خواهد کرد پس انجام مقیاس گذاری دقیق کاری غیر ضروری است و جز اتلاف وقت حاصلی ندارد . در این مرحله ، حتی با انجام مقیاس گذاری دقیق ، نقطه سوم خطای قابل ملاحظه‌ای را نشان خواهد داد .

۲) توجیه ارتفاعی

توجیه ارتفاعی مدل را که هدف آن موازی کردن سطح مدل با سطح زمین نظیر آن است، "تراز گذاری" (Leveling) نیز می گویند.

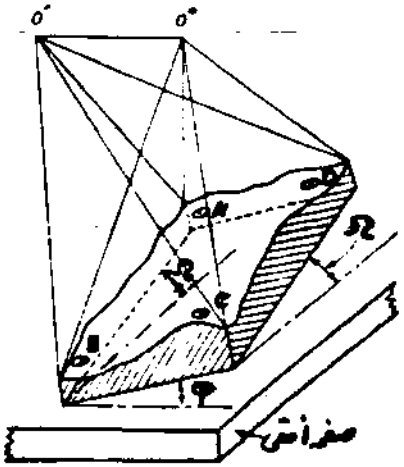
۱- تعریف

در مرحله تراز گذاری سطح مدل نسبت به سطح زمین تراز می شود بعبارت دیگر مدل نسبت به امتداد قائم تراز می شود چنانچه مدل تراز شده باشد نقاط هم ارتفاع زمینی دارای ارتفاع دستگاهی مساوی می باشند. اگر مدل تراز نباشد، در حالت کلی حول دو محور x و y نسبت به زمین ممکن است دوران داشته باشد که در تراز گذاری باید این دورانها در خلاف جهت به مدل معرفی شوند. دوران مدل حول محور x را "امگای کلی" (کاپای امگا = $\kappa\omega$) و دوران مدل حول محور y را "فی کلی" (کاپای فی = $\kappa\varphi$) می نامند (شکل ۵).

برای اینکه بتوان ارتفاعهای زمینی را مستقیماً پس از تراز گذاری قرائت کرد، باید مدل را به اندازه انتقال Δz در امتداد z، در ارتفاع متوسط منطقه از سطح مبنای مدل قرار داد.

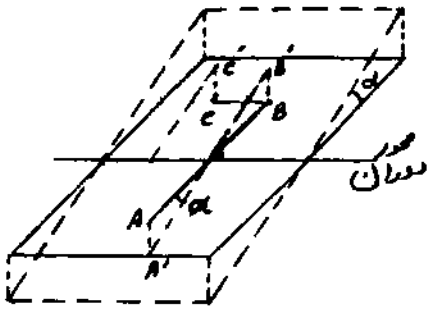
ملاحظه می شود که در مرحله توجیه ارتفاعی دارای سه مجهول: دوران لازم مدل حول محور x ($\Delta\omega$)، دوران مدل حول محور y ($\Delta\varphi$) و انتقال لازم در امتداد z نسبت به سطح مبنای ارتفاعات (Δz) می باشیم.

پس حداقل به سه معلوم برای حل سه مجهول احتیاج داریم. چون پارامترهای معلوم در تراز گذاری، ارتفاع معلوم نقاط می باشند در نتیجه وجود سه نقطه ارتفاعی لازم و حداقل چهار نقطه ارتفاعی کافی می باشد.



(شکل ۵)

باتوجه به شکل مقابل ملاحظه می‌شود که اگر



(شکل ۶)

صفحه‌ای حول محوری دوران داده شود در اختلاف ارتفاع نقاط واقع بر امتدادهای موازی با محور دوران تغییری ایجاد نمی‌شود ($\overline{BB'} = \overline{CC'}$) در حالیکه در اختلاف ارتفاع نقاط واقع بر امتدادهای عمود بر محور دوران، حداکثر تغییر متناسب با فاصله نقاط از محور دوران پدید می‌آید. در شکل ۶، امتداد AB عمود بر محور دوران به میزان α (زاویه دوران صفحه) چرخیده است تا در موقعیت $A'B'$ قرار بگیرد. پس با در اختیار داشتن اختلاف ارتفاع دو نقطه از امتدادی عمود بر محور دوران می‌توان زاویه دوران را بدست آورد.

مشخص شد که نقاط مناسب برای ترازگذاری نقاط واقع بر امتدادهای Y و X به ترتیب برای نشان دادن مقدار دوران مدل حول محور X و حول محور Y می‌باشند. در مرحله انتخاب نقاط کنترل عکسی (مرحله تهیه) سعی می‌شود که نقاط در موقعیتهای مناسب برای انجام توجیه مطلق برگزیده شوند.

۲- نحوه ترازگذاری مدل

نحوه انجام ترازگذاری در دو حالت با توجه به موقعیت نقاط کنترل ارتفاعی شرح زیر می‌باشد:

۲-۱: ترازگذاری امتداد X و Y مدل با سه نقطه ارتفاعی در موقعیت دلخواه

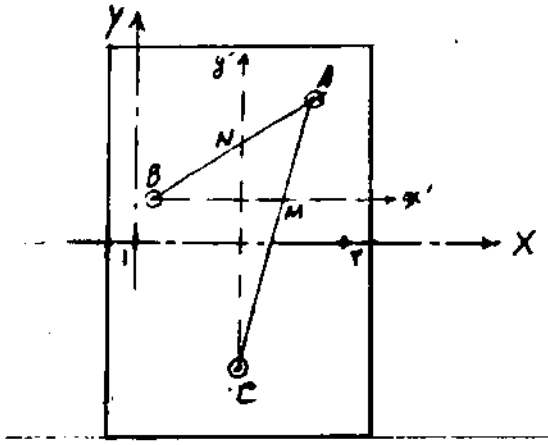
مراحل ترازگذاری با در اختیار داشتن سه نقطه ارتفاعی در موقعیت دلخواه بدین صورت می‌باشد:

۱ـ معرفی ارتفاع زمینی یک از نقاط به قرائت خطکش یا کنتور ارتفاعی دستگاه ،

بدینصورت که پس از ماس کردن نقطه شناور بر نقطه مورد نظر از مدل، قرائت شمارگر ارتفاعی دستگاه را برابر با ارتفاع زمینی آن نقطه تنظیم می کنیم .

با کم شدن ارتفاع دستگاهی و زمینی نقطه ای از مدل ، مجهول cz حل می شود .

۲ـ قرائت ارتفاع های دستگاهی دو نقطه دیگر و تعیین اختلاف ارتفاع دستگاهی و زمینی این دو نقطه از رابطه زیر :



(شکل ۷)

Δh زمینی = h دستگاهی $-$ h

اختلاف ارتفاعها (تصحیحات ارتفاعی) بدست آمده را باید با دوران مدل حول محورهای X و Y حذف کنیم

در حالت کلی فرض می شود که سه نقطه ارتفاعی بصورت شکل ۷ ، در اختیار می باشند . نقطه A بعنوان اولین نقطه در نظر گرفته شده که ارتفاع زمینی آن به شمارگر ارتفاعی معرفی شده است و B و C دو نقطه ارتفاعی دیگر با ارتفاع دستگاهی h'_B و h'_C می باشند .

۳ـ محاسبه دورانهای $\Delta\Omega$ و $\Delta\Phi$

ـ باید زوایای دوران لازم مدل را با کمک تصحیحات ارتفاعی ($\Delta h_B = h_B - h'_B$ و $\Delta h_C = h_C - h'_C$) محاسبه کنیم . از B و C (دو نقطه دیگر) دو خط به موازات محورهای X و Y جدا ترسیم می کنیم که امتدادهای AC و AB را بترتیب در M و N قطع کند . اگر h' = ارتفاع دستگاهی و h = ارتفاع زمینی باشند با توجه به شکل ۷ می توان نوشت :

$\Delta h = h - h'$

$$\operatorname{tg}\Delta\Omega = \frac{\Delta h_C - \Delta h_N}{\overline{CN}}$$

$\overline{BM}$ و $\overline{CN}$ فواصل واقعی زمینی (طول افقی روی زمین) می باشند .

$$\operatorname{tg}\Delta\Phi = \frac{\Delta h_B - \Delta h_M}{\overline{BM}} \quad ,$$

و در ضمن داریم :

$$\Delta h_N = \Delta h_B \cdot \frac{\overline{AN}}{\overline{AB}}$$

$$\rightarrow \quad tg\,\Delta\Omega = \frac{\Delta h_C - \Delta h_B \cdot \frac{\overline{AN}}{\overline{AB}}}{\overline{CN}}$$

و $\Delta h_M = \Delta h_C \cdot \frac{\overline{AM}}{\overline{AC}}$ $\rightarrow$ $tg\,\Delta\Phi = \frac{\Delta h_B - \Delta h_C \cdot \frac{\overline{AM}}{\overline{AC}}}{\overline{BM}}$

در صورت کوچک بودن مقادیر $\Delta\Phi$ و $\Delta\Omega$ ، می توان $tg\,\Delta\Omega = \Delta\Omega^{Rd}$ و $tg\,\Delta\Phi = \Delta\Phi^{Rd}$ را در نظر گرفت . مقادیر محاسبه شده $\Delta\Phi$ و $\Delta\Omega$ برحسب رادیان می باشند که با ضرب در عدد $\rho = 63,66$ تبدیل به گراد می شوند .

$$\Delta\Omega^{Rd} = \frac{\Delta h_C - \Delta h_B \cdot \frac{\overline{AN}}{\overline{AB}}}{\overline{CN}_{\text{نقطه A}}} \qquad \text{و} \qquad \Delta\Phi^{Rd} = \frac{\Delta h_B - \Delta h_C \cdot \frac{\overline{AM}}{\overline{AC}}}{\overline{BM}}$$

در حالت ایده آل وخاص که نقاط ارتفاعی در استادهای X و Y قرار می گیرند نقاط M و N بر نقطه کنترل ارتفاعی A منطبق خواهند شد که خواهیم داشت :

$\Delta h_A = 0$ است $\leftarrow$ $\Delta\Phi^{Rd} = \frac{\Delta h_B}{\overline{AB}}$ و $\Delta\Omega^{Rd} = \frac{\Delta h_C}{\overline{AC}}$

$\Delta h_A \neq 0$ باشد $\leftarrow$

$$\begin{cases} \Delta\Omega^{Rd} = \dfrac{\Delta h_C - \Delta h_A}{\overline{AC}} \\ \Delta\Phi^{Rd} = \dfrac{\Delta h_B - \Delta h_A}{\overline{AB}} \end{cases}$$

۴- معرفی زوایای دوران به مدل

برای ایجاد دوران در مدل ، بدون اینکه در توجیه نسبی مدل تغییری بدید آید ، باید دو پروژکتور و خط رابط بین آنها که استاد باز (استاد کذ رنده از دو مرکز تصویر) می باشد در یک جهت و مساوی دوران داده شوند . چنانچه دو مرکز تصویر در استاد X باشند مؤلفه های bY و bZ باز مدل صفر اند در حالت کلی که استاد باز دارای سه مؤلفه bX ، bY و bZ است چرخشها باید به هر سه مؤلفه معرفی شوند عبارت دیگر هر سه مؤلفه باز باید مشابه پروژکتورها دوران داده شوند .

الف- معرفی چرخش $\Delta\Omega$

در صورت وجود عنصر Ω ، میزان $\Delta\Omega$ را در جهت مناسب به مبنع Ω و در غیر اینصورت مقدار $\Delta\Omega$ را در همان جهت به هر دو مبنع ω معرفی می کنیم . چرخش هم جهت و مساوی ω و دورانی مساوی

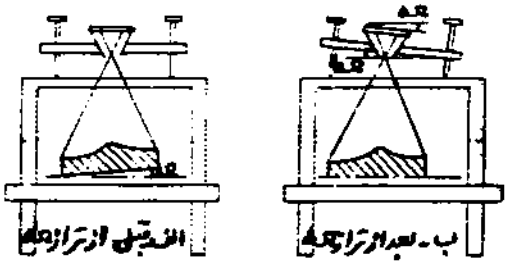
~~وهم جهت دو دوربرد ژکتور ایجاد می کند، مگر دو مرکز تصویر در امتداد x نباشند، مؤلفه های~~

by و bz باز دوران یافته را که از رابطه های زیر تعیین می شوند، نیز باید به دستگاه معرفی کرد.

$$\begin{cases} bx_{(\Omega)} = bx \\ by_{(\Omega)} = by \cdot \cos(\Delta\Omega) - bz \cdot \sin(\Delta\Omega) \\ bz_{(\Omega)} = +by \cdot \sin(\Delta\Omega) + bz \cdot \cos(\Delta\Omega) \end{cases}$$

اگر $\Delta\Omega$ کوچک باشد می توان $\cos(\Delta\Omega)=1$ و $\Delta\Omega^{Rad} = \sin(\Delta\Omega)$ در نظر گرفت و روابط فوق را خطی و ساده کرد.

علامت $\Delta\Omega$ ، در صورتیکه لازم باشد عقب مدل پائین و جلوی آن بالا برود علامت $\Delta\Omega$ مثبت است و بالعکس.



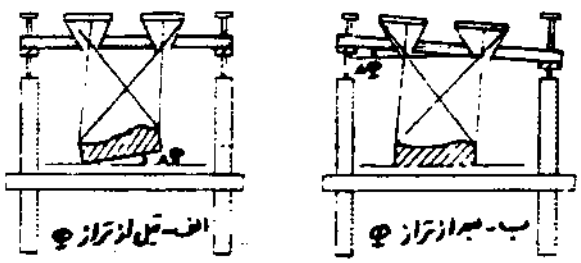
(شکل ۸) تراز Ω

ب - معرفی جرخش $\Delta\Phi$

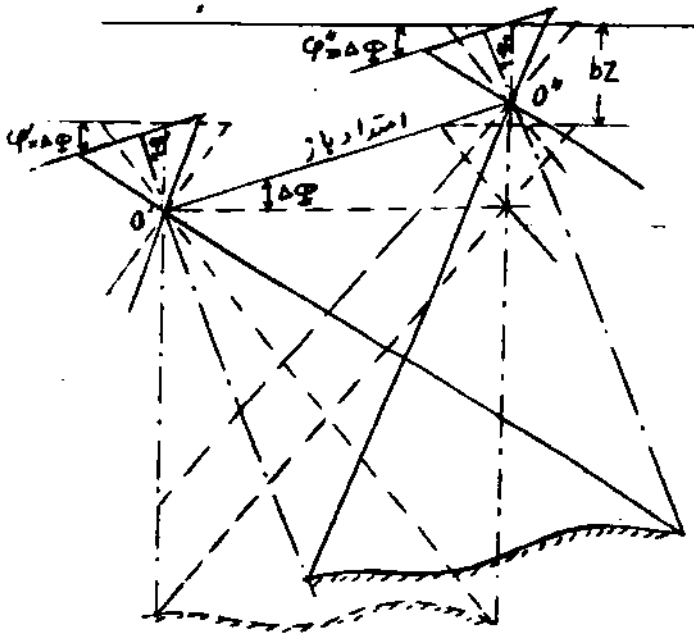
عنصر دورانی Φ ، عنصری است که می تواند هر دو پرو ژکتور و امتداد باز را هم زمان حول محور Y دوران دهد. محور دوران Φ را محور Y کلی گویند که از نقطه وسط امتداد باز (پاره خط محصور بین دو مرکز تصویر) بطور افقی گذشته و به موازات محورهای Y امتداد یافته است.

در صورت وجود عنصر Φ ، مقدار جرخش زاویه ای $\Delta\Phi$ را در جهت مناسب به آن معرفی می کنیم.

و در صورت عدم وجود عنصر Φ در دستگاه، مقدار جرخش $\Delta\Phi$ را باید در جهت مناسب به هر دو بیم Φ معرفی نمود. با جرخش هم جهت و مساوی Φ' و Φ''، دو پرو ژکتور در کلیه جهت و مساوی حول محورهای Y مربوط به دو Φ دوران می یابند لکن امتداد باز هنوز دوران نیافته است. برای معرفی دوران $\Delta\Phi$ به امتداد باز، باید از عنصر bz استفاده نمود. بس می توان اثر عنصر Φ را توسط سه عنصر bz، Φ' و Φ''



(شکل ۹) تراز Φ



(شکل ۱۰)

اثر دو φ و bz = اثر φ

که ناقد عمقر φ می باشند حتماً باید دارای عمقر bz باشند.

مؤلفه های باز پس از دوران حول محور Y،

ناشی از تغییر Δφ عبارت خواهند بود از:

$$\begin{cases} bX_{(\varphi)} = bX \cdot \cos(\Delta\varphi) - bZ \cdot \sin(\Delta\varphi) \\ bY_{(\varphi)} = bY \\ bZ_{(\varphi)} = bX \cdot \sin(\Delta\varphi) + bZ \cdot \cos(\Delta\varphi) \end{cases}$$

اگر Δφ کوچک باشد می توان $\cos(\Delta\varphi) = 1$

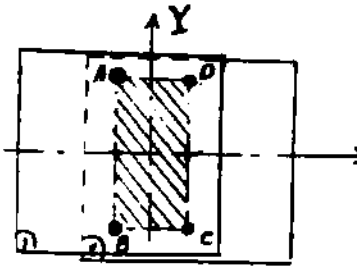
و $\sin(\Delta\varphi) = \Delta\varphi$ را در نظر گرفت و روابط فوق را خطی و ساده نمود.

علامت Δφ دلخواه بوده بنحوی که سمت راست محل پائین و سمت چپ آن محل بالا میباشد علامت Δφ مثبت باید در نظر گرفته شود، در غیر اینصورت φ با علامت منفی باید معرفی شود.

۵ - پس از معرفی ارتفاع زمینی یکی از نقاط به قرائت شمارگر ارتفاعی، ارتفاع دستگاهی دو نقطه دیگر برابر با ارتفاع زمینی شان خواهد شد.

۲-۲: ترازگذاری مدل در صورت دار بودن نقاط ارتفاعی در امتداد X و Y

اگر چار نقطه ارتفاعی A، B، C و D در موقعیتهای نشان داده شده در شکل ۱۱ باشند،



(شکل ۱۱)

دو نقطه A و B یا C و D را برای تراز نمودن امتداد Y (حول محور X)

و دو نقطه A و D یا B و C را برای ترازگذاری حول محور Y یا امتداد X انتخاب می کنیم. برای انجام ترازگذاری بهتر است ابتدا از یکی از امتدادهای X و Y که دارای دقت ترازگذاری بیشتری می باشد مانند امتداد Y شروع کرد.

۱- آماده سازی دستگاه برای قرائت ارتفاعات زمینی در مدل

با نصب چوب دنده های مناسب یا خطکش ارتفاعی مدرج در مقیاس انتخاب شده مدل، قرائت های ارتفاعی را به میزان واقعی، امکان پذیر می توان ساخت.

۲- معرفی cz

نقطه شناور را با اعمال حرکتهای x، y و z بر یکی از نقاط استاد y، مثلاً A، مماس کرده، ارتفاع زمینی A را با ایجاد تغییر آزاد در خطکش یا کنتور ارتفاعی مستقل از حرکت z، به شمارگر ارتفاعی معرفی می کنیم. با این عمل مجهول cz حل می شود یعنی سطح مبنای مدل در ارتفاع مناسب از مدل قرارداده می شود تا قرائتهای ارتفاعی مدل برابر با ارتفاعات زمینی نقاط باشند. در اینحالت ارتفاع دستگاهی و زمینی نقطه A یکی است.

۳- دوران مدل حول محور x = معرفی dz

با انطباق نقطه شناور بر نقطه دوّم در استاد y نقطه اول، بطور مثال نقطه B، ارتفاع دستگاهی آن قرائت می شود (h'_B). اگر: h'_B دستگاهی = h_B زمینی

باشد مدل در استاد y نسبت به زمین تراز است و در غیر اینصورت که: $h'_B \neq h_B$

لازم است با مدل حول محور x دوران داده شود تا اختلاف ارتفاع: $\Delta h_B = h_B - h'_B$

تصحیح شده و استاد y نسبت به زمین تراز شود.

برای تعیین میزان چرخش لازم dz و معرفی آن به مدل، به دو روش می توان عمل کرد.

الف- تعیین dz به روش محاسباتی

با توجه به شکل ۱۲ و همچنین روابط بدست آمده در بخش ۱-۲، می توان نوشت:

$$\operatorname{tg}(\Delta\Omega) = \frac{\Delta h_B - \Delta h_A}{L_{AB}} \quad , \quad (\Delta h_A = 0)$$

که L_{AB} طول افقی و زمینی بین نقاط A و B است که در صورت مشخص بودن مختصات آنها داریم:

$$L_{AB} = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2}$$

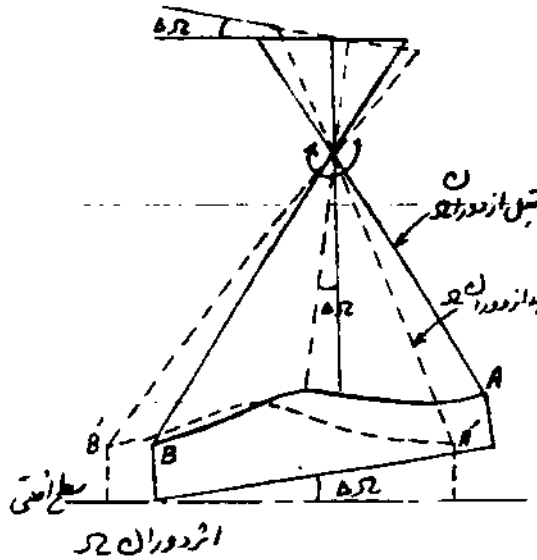
با توجه به علامت Δh_B که سطح مدل در مورد نقطه B باید بالا رود یا پائین ، زاویه $\Delta\Omega$ محاسبه شده ، درجهت مناسب به یکی عنصر Ω یا هر دو تا معرفی می شود .

برای معرفی دوران مداوم باز ، در صورت وجود اختلاف در مؤلفه های b_Y و b_Z مرکز تصویر ، مؤلفه های دوران یافته محاسبه و معرفی می شوند ، با استفاده از روابط :

$$\begin{cases} b_{X(\Omega)} = b_X \\ b_{Y(\Omega)} = b_Y \cos(\Delta\Omega) - b_Z \sin(\Delta\Omega) \\ b_{Z(\Omega)} = +b_Y \sin(\Delta\Omega) + b_Z \cos(\Delta\Omega) \end{cases}$$

یا معرفی تصحیحات مربوط به چرخش (Ω) مؤلفه های P_Y و P_Z ایجاد شده ، در مدل حذف خواهد شد .

ب - معرفی Ω به روش تجربی



(شکل ۱۲)

چون محور دوران Ω (محور X) در وسط مدل قرار دارد در نتیجه مدل پس از دوران حول محور X (دوران Ω) دارای تغییر ارتفاع ایجاد می شود . بنابه فرض اگر در نقطه B به اندازه Δh_B + اختلاف ارتفاع ایجاد شده ، باشد در نقطه A (سمت مقابل نقطه B نسبت به محور X) به اندازه $-\Delta h_B$ - تغییر ارتفاع وقرینه آن حاصل شده است . ملاحظه می شود که اختلاف ارتفاع ایجاد شده در دو نقطه A و B نسبت بهم $2\Delta h_B$ می باشد ، پس برای تصحیح اختلاف ارتفاع Δh_B باید نصف آنرا ، یعنی $\frac{1}{2}\Delta h_B$ را ، با ایجاد دوران حول محور X ، به ارتفاع دستگاهی نقطه B اضافه کنیم بنابراین صورت :

$$h_B^* = h'_B + \frac{\Delta h_B}{2} \quad , \quad h_A^* = h_A - \frac{\Delta h_B}{2}$$

$$\rightarrow h_B^* - h_A^* = h'_B + \frac{\Delta h_B}{2} - h_A + \frac{\Delta h_B}{2} = h'_B - h_A + \Delta h_B$$

$$\rightarrow h''_B - h_A^* = (h_B - \Delta h_B) - h_A + \Delta h_B = h_B - h_A$$

ملاحظه می شود که اختلاف ارتفاع دستگاهی دو نقطه A و B برابر با اختلاف ارتفاع زمینی آن دو نقطه می شود .

~~برای اینکه مشخص شود که با ازاء چه مقدار تغییر δz ، مدل در نقطه B به میزان $\frac{\delta h}{2}$ + تغییر~~

ارتفاع یافته است ، نقطه شناور را در فاصله ارتفاعی $\frac{\delta h}{2}$ + از نقطه B (یا در ارتفاع متوسط دستگاهی

و زمینی $h_B^{\circ} = \frac{h_A + h_B}{2}$) قرار میدهیم . سپس با تغییر δz (تغییر "ه" در یک جهت و مساوی) در جهت

صحیح ، مدل را حول محور x دوران میدهیم تا نقطه B از سطح مدل بر نقطه شناور مماس شود .

با مشاهده برجسته نمایی ، چشم حرکت (دوران) سطح مدل را تشخیص نمی دهد بلکه تصور می کند که نقطه شناور جابجا میشود .

در مثال ذکر شده ، نقطه شناور با تاثیر $\frac{\delta h_B}{2}$ + به ارتفاع آن دیگر مماس بر سطح نقطه دیده

نمی شود که با دوران δz (در "ه" هم جهت و مساوی) نقطه شناور را بر سطح نقطه B از مدل مماس می کنیم .

اگر جهت دوران δz (در "ه") صحیح نباشد اختلاف ارتفاع نقطه شناور و سطح مدل بیشتر می شود .

در صورتیکه دو "ه" به مقدار مساوی دوران نکنند در مدل P_y ایجاد خواهد شد .

P_y ناشی از عدم چرخش مساوی دو "ه" را باید با یکی از "ه" ها حذف کرد

و P_y ناشی از عدم معرفی دوران δz به امتداد باز (مؤلفه های باز) را باید با ایجاد تغییر در عناصر

b_y و b_z حذف نمود . با حذف P_y توسط مؤلفه های باز ، امتداد باز نیز دوران می یابد بدین ترتیب

مدل را بدون ایجاد تغییر در توجیه نسبی آن دوران داده ایم .

برای پیشگیری از بروز P_y در اثر دوران مدل ، توصیه می شود که در تبدیل مختصات به نقشه

از روش توجیه نسبی دو طرفه (فقط استفاده از عناصر دورانی) استفاده شود تا امتداد باز مراکز

تصویر دارای مؤلفه های b_y و b_z نشوند ($b_y = b_z = 0$) . در این حالت امتداد باز در امتداد

محور x و منطبق بر محور دوران δz قرار می گیرد (محورهای x دو "ه" بر یک راستا قرار می گیرند)

پس امتداد باز نیازی به دوران نخواهد داشت .

۴ - ارتفاع زمینی یکی از نقاط A یا B را پس از مماس کردن نقطه شناور بر آن ، به کمک

تغییرات آزاد شمارگر ارتفاعی به قرائت ارتفاعی دستگاه معرفی می کنیم .

~~با عاس کردن نقطه شناور بر نقطه دیگر باید ارتفاع زمینی آن را در قرائت دستگاهی~~

آن نقطه بخوانیم. در غیر اینصورت مراحل ۳ و ۴ تکرار می‌شوند تا قرائت ارتفاع دستگاهی دو نقطه واقع بر امتداد ۷ برابر با ارتفاع زمینی آن نقاط شود.

اگر دو نقطه A و B قریب و تقریباً هم ارتفاع باشند با نصف کردن اختلاف Δh_B خیلی زود به نتیجه خواهیم رسید زیرا اثر تغییر ω بر نقاط قریب مساویست. در غیر اینصورت با نصف کردن دقیق اختلاف ارتفاع Δh_B دیرتر به جواب خواهیم رسید.

با توجه به روابط رو برو: $\Delta R_{X(\omega)} = -\frac{XY}{Z}\omega$ و $tg\alpha = \left|\frac{Y_A}{Z_A}\right|$ ، $tg\beta = \left|\frac{Y_B}{Z_B}\right|$

اگر $\alpha = \beta$ باشد اختلاف ارتفاع Δh_B نصف شود.

اگر $\alpha < \beta$ باشد ΔZ آنقدر تغییر داده شود که نقطه B مدل کمی بیش از نصف Δh_B تغییر ارتفاع دهد.

و اگر $\alpha > \beta$ باشد ΔZ آنقدر تغییر داده شود که نقطه B کمتر از نصف اختلاف Δh_B تغییر ارتفاع دهد.

پس در عمل نباید سعی کرد که Δh_B دقیقاً نصف شود بلکه می‌توان با معرفی تغییر دوران مشخصی به ΔZ مقدار تغییر Δh_B را اندازه گرفته و با تناسب ساده‌ای مقدار لازم تغییر در دوران ΔZ را برای از بین رفتن Δh_B بدست آورد و به پیچ ΔZ (دو ω) معرفی کرد.

۵ - انتخاب یکی از امتدادهای موازی محور X مانند AD یا BC یا دو نقطه دیگر در امتداد X، که بطور مثال امتداد AD را در نظر می‌گیریم. ارتفاع زمینی یکی از نقاط را به قرائت ارتفاع دستگاهی آن معرفی می‌کنیم (در مرحله قبل (تراز گذاری امتداد Y) نقطه A ارتفاع زمینی خود را دارا شده است)، نقطه شناور را به نقطه دیگر در امتداد X نقطه A مانند نقطه D عاس کرده و ارتفاع دستگاهی آن را می‌خوانیم (h'_D).

در صورتیکه $h'_D = h_D$ باشد مدل در امتداد X نسبت به زمین تراز است در غیر اینصورت اگر $h'_D \neq h_D$ باشد باید با دوران مدل حول محور Y، $\Delta h_D = h_D - h'_D$

۶- معرفی دوران Φ به مدل

برای اندازه‌گیری و معرفی Φ دو روش وجود دارد:

الف- تعیین مقدار $\Delta\Phi$ به روش محاسباتی

اگر h_D = ارتفاع زمینی و h'_D = ارتفاع دستگاهی باشند: $\Delta h_D = h_D - h'_D$

$$L_{AD} = \sqrt{(X_A - X_D)^2 + (Y_A - Y_D)^2} \quad , \quad (\Delta h_A = 0) \quad \rightarrow \quad tg(\Delta\Phi) = \frac{\Delta h_D - \Delta h_A}{L_{AD}}$$

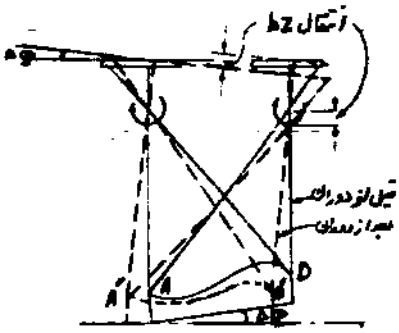
مقدار $\Delta\Phi$ محاسبه شده را به دستگاه معرفی می‌کنیم.

a) در صورتیکه دستگاه دارای محور Φ باشد با معرفی $\Delta\Phi$ در جهت صحیح به پیچ Φ، پروژکتورها و استدادباز و در نتیجه مدل حول محور Y (محور y کلی) دوران داده می‌شوند.

b) چنانچه دستگاه فاقد محور Φ باشد، دیدیم که حتماً باید دارای bz باشد.

میزان $\Delta\Phi$ را در همان جهت به هر دو پیچ φ معرفی و مؤلفه‌های bX و bZ را نیز به مقدار محاسبه شده در جهت مناسب تصحیح می‌کنیم. تا با معرفی دوران Φ به استدادباز، مدل نیز به اندازه $\Delta\Phi$ حول محور Y دوران داده شود.

$$\begin{cases} bX_{(\varphi)} = bX \cdot \cos(\Delta\Phi) - bZ \cdot \sin(\Delta\Phi) \\ bY_{(\varphi)} = bY \\ bZ_{(\varphi)} = bX \cdot \sin(\Delta\Phi) + bZ \cdot \cos(\Delta\Phi) \end{cases}$$



(شکل ۱۳) اثر دوران Φ

ب- معرفی Φ به مدل به روش تجربی

a) دستگاه دارای محور Φ است:

نقطه شناور را بر نقطه‌ای از سطح مدل در حوالی یکی از مراکز (نقطه ۱ یا ۲) مانند N_1 در حوالی نقطه ۱، ماسین کرده و ارتفاع دستگاهی آن را می‌خوانیم. چون نقطه N_1 (نقطه ۱) و A در یک مقطع (مقطع سمت چپ) واقع هستند داریم: $\Delta h_A = -\Delta h_D \quad \leftarrow \quad \Delta h_{N_1} = -\Delta h_D$ ؛ با دوران مدل حول Y

~~پس نصف Δh_{N_1} را به ارتفاع نقطه شناور در نقطه N_1 معرفی می‌کنیم، تغییر ارتفاع~~

نقطه شناور توسط Z انجام می‌پذیرد. $h'_{N_1} + \frac{\Delta h_{N_1}}{2} = h'_{N_1} - \frac{\Delta h_D}{2}$ = ارتفاع نقطه شناور

- چون محور دوران Y کلی در وسط دو محور Y مربوط به φ ها قرار دارد پس می‌توان آنرا واقع در وسط مدل دانست. بهمین سبب، عضو Φ به اندازه‌ای باید تغییر داده شود که نقاط ۱ و ۲ واقع در دو نیمه مدل به میزان $\left|\frac{\Delta h_{N_1}}{2}\right|$ تغییر ارتفاع (در دو جهت مخالف) یابند.

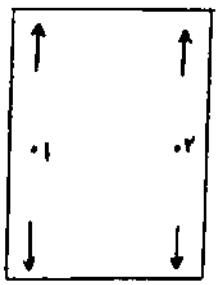
با تغییر Φ، مدل را حول محور Y دوران میدهیم تا نقطه N_1 از مدل بر نقطه شناور مماس شود. اگر نقطه‌ای مانند N_2 در حوالی نقطه ۲ (واقع در مقطع سمت نقطه D) در نظر گرفته شود، در مثال مذکور باید نقطه شناور را در ارتفاع $h'_{N_2} + \frac{\Delta h_D}{2}$ قرار داد.

در این حالت نیز اگر نقاط قرینه باشند با نصف کردن اختلاف ارتفاع Δh_D خیلی زود به نتیجه خواهیم رسید.

ب) ترازگذاری توسط φ'، φ'' و bz

اگر بتوان جهت و میزان چرخش لازم φ ها را با توجه به تجارب گذشته تشخیص داد مقدار دوران لازم را به هر دو φ معرفی می‌کنیم. آنگاه با حذف پارالاکس Y ایجاد شده، از چرخش هم جهت و مساوی φ ها توسط bz، دوران مدل و امتداد باز حول محور Y کلی تأمین می‌شود.

لکن در محل ابتدا مقدار تغییر لازم bz به مدل معرفی می‌شود سپس P_2 ناشی از تغییر bz در دو مقطع مدل توسط φ ها حذف می‌شود. چون P_2 ایجاد شده، از اثر bz در دو مقطع مدل هم جهت و مساوی است، پس برای حذف آن φ ها بطور هم جهت و مساوی خواهند چرخید (شکل ۱۴).



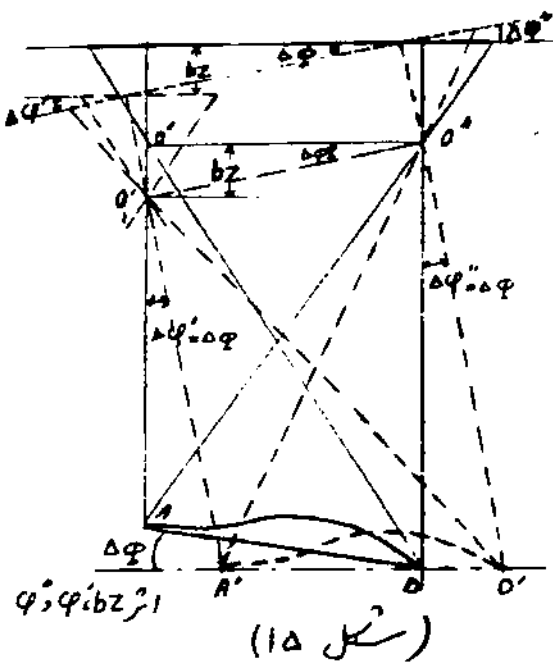
P_2 ناشی از bz

(شکل ۱۴)

روش اجرا بدینصورت است:

اگر طبق مثال فوق، نقطه D که دارای اختلاف ارتفاع $\Delta h_D = h_D - h'_D$ است در مقطع سمت راست مدل

قرار داشته باشد ($h'_N = h_A$ یا $h'_N = h_B$).



(شکل ۱۵)

- نقطه شناور را بر نقطه ای تردیک مرکز عکس پرد و از کنتوری که ناقد bz است یا از bz آن سمت نمی خواهیم استفاده کنیم، حاسب کرده و ارتفاع دستگاهی آن را میخوانیم (مانند h'_N). به ارتفاع نقطه شناور در صورتیکه N تردیک ۱ (یا ۲) باشد $h'_N + \Delta h_D$ (یا $h'_N - \Delta h_D$) را با تغییر z معرفی می کنیم پس نقطه شناور که در ارتفاع $h'_N + \Delta h_D$ (یا $h'_N - \Delta h_D$) قرار خواهد داشت، دیگر بر نقطه N حاسب نمی باشد.

- توسط bz (یا bz) نقطه شناور را بر نقطه N مدل حاسب می کنیم. چون bz در امتداد x نقطه دارای اثر x (تغییر ارتفاع) می باشد پس با تغییر bz می توان اختلاف ارتفاع نقطه شناور و سطح مدل (در نقطه N) را حذف کرد.

- P_y ناشی از تغییر bz را در دو مقطع مدل توسط φ' و φ'' حذف می کنیم. برای حذف P_y های مساوی و هم جهت ایجاد شده در دو مقطع، φ ها هم جهت و یک اندازه تغییر خواهند کرد.

در صورتیکه نقطه D واقع $\Delta\varphi' = \Delta\varphi'' = \Delta\varphi$

در مقطع سمت چپ مدل باشد، جهت Δh_D که باید به نقطه شناور معرفی شود برعکس می شود.

- پس از دوران مدل حول محور y، ارتفاع زمینی یکی از نقاط ارتفاعی را به قرائت شمارگر ارتفاعی دستگاه معرفی می کنیم. ارتفاع دستگاهی نقطه دیگر را قرائت و با ارتفاع زمینی آن مقایسه می کنیم که در صورت وجود اختلاف ارتفاع، مراحل ۶ و ۷ تکرار می شوند تا قرائت ارتفاع دستگاهی دو نقطه در امتداد x، برابر با ارتفاع های زمینی آن نقاط شود.

۸ - کنترل ارتفاع دستگاهی نقطه چهارم که در صورت وجود اختلافی با ارتفاع زمینی آن، اختلاف ارتفاع موجود در مرحله تراز گذاری دقیق باید برطرف شود.

اولین دور انجام تراز گذاری، تراز گذاری تقریبی باید باشد زیرا مدل دارای مقیاسی دقیق نمی باشد و ضمناً تغییر شیب در سطح مدل سبب تغییر مقیاس آن نیز خواهد شد.

واضح است که پس از اجرای این مرحله، در نقطه چهارم اختلاف ارتفاع مشاهده می شود که به سبب وجود خطای مقیاس در مدل ممکن است قابل ملاحظه نیز باشد. در این مرحله به آن نباید کاری داشت مگر اینکه آنقدر اختلاف ارتفاع بزرگ باشد که امکان وجود اشتباه را مسلم سازد. بدین خاطر در تراز گذاری تقریبی صحیح نیست که ارتفاعهای دستگاهی دقیقاً با ارتفاعهای زمینی آن نقاط برابر شوند.

۳- سرشکن کردن خطای ارتفاعی در مدل

پس از اینکه سه نقطه ارتفاعی از مدل ارتفاعهای زمینی خود را دارا شدند، سطح مدل نسبت به زمین تراز است در صورتیکه ارتفاع دستگاهی نقطه چهارم (نقطه کنترل) نیز با ارتفاع زمینی آن برابر باشد. در غیر اینصورت با معرفی دوران هایی اضافی حول دو محور x و y خطای ارتفاعی باقیمانده در نقطه چهارم را سرشکن می کنیم.

اگر Δh خطای ارتفاعی نقطه چهارم (نقطه c) باشد، معادله شرط تراز گذاری بصورت زیر:

$$h_A - h_B + h_c - h_D = \Delta h$$

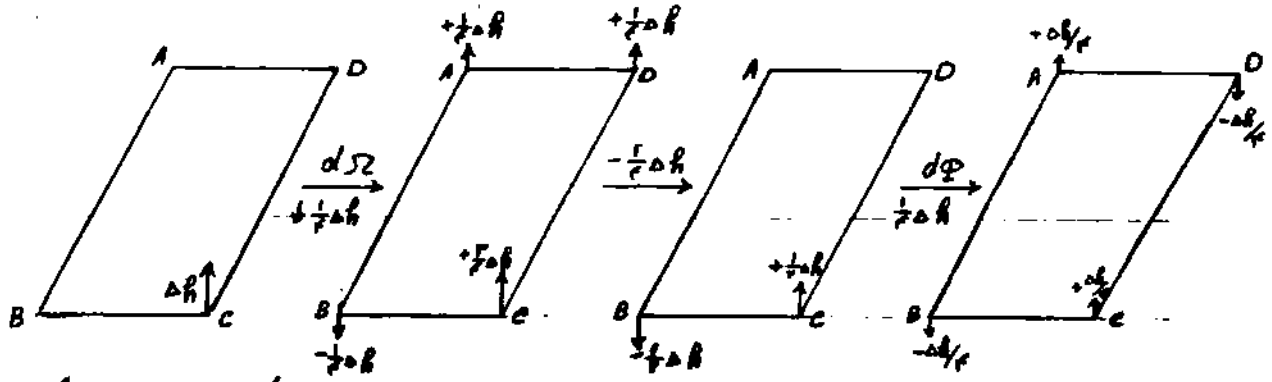
نوشته خواهد شد. ملاحظه می شود که Δh را حداکثر به نسبت $\frac{1}{2}$ برابر کوچکترین ارتفاع زمینی کلیه نقاط می توان برگزید. علامت خطای باقیمانده بر روی نقاط، باید چنان باشد که در هیچ امتدادی قابل حذف نباشند. در مثال فوق h_A، h_B و h_D ارتفاعهای زمینی نقاط A، B و D هستند که در دستگاه نیز قابل قرائت می باشند. h_c ارتفاع زمینی نقطه چهارم (c) نسبت

۳-۱ مراحل اجرای سربشکنی در توازن‌گذاری به روش تجربی

مراحل اجرای سربشکنی خطای ارتفاعی Δh باقیمانده در نقطه چهارم ارتفاعی با توجه به اشکال زیر:

۱- حذف نمی از Δh با اعمال دورانی جزئی به مدل حول محور X ($d\Omega$)؛

۲- نصف کردن $\frac{\Delta h}{2}$ باقیمانده در مدل، پس از تغییر مبنای قرائت شمارگر ارتفاعی بمیزان $\frac{\Delta h}{4}$ -، با اعمال دورانی جزئی به مدل حول محور Y ($d\Phi$).



(شکل ۱۶) سربشکنی شبکه خطای ارتفاعی

ملاحظه می‌شود که توانستیم در هر نقطه به اندازه $\frac{1}{2}$ خطای ارتفاعی باقیمانده در نقطه چهارم (Δh) را بیابی گذاریم. بطوریکه خطای ارتفاعی سربشکن شده در روی نقاط واقع بر هر قطر هم جهت و در نقاط واقع در امتدادهای X و Y در خلاف جهت یکدیگر می‌باشند و معادله شرط توازن‌گذاری پس از سربشکنی را می‌توان بصورت تصحیحات نوشت:

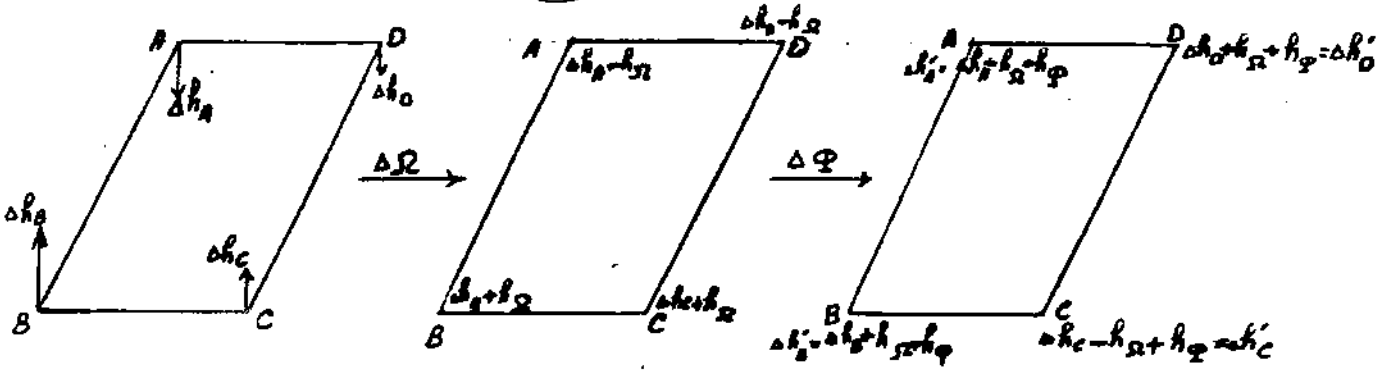
$$\Delta h_A = -\Delta h_B = \Delta h_C = -\Delta h_D = \frac{1}{2}\Delta h_C + \Delta h_A + \Delta h_C = (\Delta h_B + \Delta h_D)$$

۲-۳: محاسبه دورانهای زاویه‌ای $\Delta\Phi$ و $\Delta\Omega$ مربوط به توازن‌گذاری و سربشکنی

اگر چهار نقطه A، B، C و D، نقاط ارتفاعی واقع بر امتدادهای X و Y مدل، مانند شکل ۱۷ - h_D و h_C، h_B، h_A بترتیب ارتفاعهای زمینی نقاط و h'_A، h'_B، h'_C و h'_D نیز بترتیب ارتفاعهای قرائت شده دستگاهی نقاط A، B، C و D باشند. اختلاف ارتفاع‌های زمینی و دستگاهی نقاط را می‌توان بعنوان تصحیحات ارتفاعی در نظر گرفت.

اگر اختلاف دستگاهی - زمینی = Δh باشد Δh_A، Δh_B، Δh_C و Δh_D بترتیب تصحیحات ارتفاعی

چارنقطه‌یابی شده. اگر تصحیحات ارتفاعی دوران‌های مدل حول دو محور X و Y را در جهت مثبت دورانها به h_Ω و h_Φ نامگذاری کنیم، خطای ارتفاعی هر یک از چار نقطه پس از معرفی دوران‌ها مطابق شکلهای زیر می‌باشد.



(شکل ۱۷)

در صورتیکه پس از اعمال دورانهای $\Delta\Omega$ و $\Delta\Phi$، خطای ارتفاعی مدل نیز برطرف شده باشد باید معادله شرط تراز گذاری پس از برطرف شدن بین خطاهای ارتفاعی باقیمانده برقرار شود. یعنی:

$$\Delta h'_A + \Delta h'_C = -(\Delta h'_B + \Delta h'_D) \quad \text{و} \quad \Delta h'_A = \Delta h'_C = -\Delta h'_B = -\Delta h'_D$$

$$\Delta h'_A = \Delta h'_C \rightarrow \Delta h_C + h_\Omega + h_\Phi = \Delta h_A - h_\Omega - h_\Phi \rightarrow h_\Omega + h_\Phi = \frac{\Delta h_A - \Delta h_C}{2} \quad \text{از}$$

$$\Delta h'_B = \Delta h'_D \rightarrow \Delta h_D - h_\Omega + h_\Phi = \Delta h_B + h_\Omega - h_\Phi \rightarrow h_\Omega - h_\Phi = \frac{\Delta h_D - \Delta h_B}{2} \quad \text{و از}$$

$$\rightarrow \begin{cases} h_\Omega = \dfrac{\Delta h_A - \Delta h_C - \Delta h_B + \Delta h_D}{4} \\ h_\Phi = \dfrac{\Delta h_B - \Delta h_D + \Delta h_A - \Delta h_C}{4} \end{cases}$$

h_Φ و h_Ω به ترتیب اختلاف ارتفاع ایجاد شده در مدل در اثر دورانهای $\Delta\Phi$ و $\Delta\Omega$ می‌باشند تا تراز گذاری و سرشکنی به انجام رسد.

$$\rightarrow \begin{cases} \Delta\Omega = \dfrac{h_\Omega}{\gamma} \\ \Delta\Phi = \dfrac{\gamma h_\Phi}{\chi} \end{cases}$$

پس ارتفاع نهایی هر نقطه را پس از سرشکنی می‌توان بدست آورد.

$$\Delta h'_A = \Delta h_A - \frac{-\Delta h_A - \Delta h_C + \Delta h_B + \Delta h_D}{4} - \frac{-\Delta h_C - \Delta h_D + \Delta h_A + \Delta h_B}{4}$$

$$\Delta h'_A = \frac{\Delta h_A + \Delta h_C}{2} \quad , \quad \Delta h'_B = \frac{\Delta h_B + \Delta h_D}{2}$$

$$\Delta h'_C = \frac{\Delta h_C + \Delta h_A}{2} \quad , \quad \Delta h'_D = \frac{\Delta h_B + \Delta h_B}{2}$$

$$h^*_A = h_A - \Delta h'_A \quad , \quad h^*_C = h_C - \Delta h'_C$$

$$h^*_B = h_B - \Delta h'_B \quad , \quad h^*_D = h_D - \Delta h'_D$$

درعمل، معمولاً برای کوچک شدن مقادیر اختلاف ارتفاعها، یا ارتفاع زمینی یکی از نقاط را به شمارگر ارتفاعی دستگاه معرفی می‌کنیم و یا در صورتیکه اختلاف ارتفاعها در یک جهت باشند مقدار مشخصی را که متوسط آنهاست به هرنقطه اضافه یا کم می‌کنیم.

اگر:

$$K = \frac{\Delta h_A + \Delta h_B + \Delta h_C + \Delta h_D}{4}$$

باشد اختلاف ارتفاعهای مورد استفاده در روابط فوق عبارت خواهند بود از:

Δh مورد استفاده $= \Delta h$ تراز شده $- K$

۴ - مراحل اجرائی توجیه مطلق

۱ - آماده سازی دستگاه با استقرار چرخ دنده های مناسب جهت انتقال مکانیکی حرکت از دستگاه به میز ترسیم و قرائت شمارگر ارتفاعی در مقیاس انتخاب شده برای مدل.

۲ - انجام مقیاس گذاری تقریبی

در دو مرحله مقیاس گذاری و تراز گذاری ابتدا مقیاس گذاری انجام می شود زیرا تا مدل دارای مقیاس مشخصی نباشد امکان اندازه گیری فاصله نقاط از جمله اختلاف ارتفاع بین نقاط وجود ندارد پس واضح است که انجام تراز گذاری قبل از مقیاس گذاری کاری بیهوده و نادرست می باشد. ضمناً چون سطح مدل هنوز دارای شیب صحیح زمینی نمی باشد فاصله افقی نقاط مورد استفاده برای انجام مقیاس گذاری در مدل، مقدار صحیح خود را ندارند درنتیجه انجام مقیاس گذاری دقیق بی ثمری باشد.

۳ - انجام تراز گذاری تقریبی

چون مدل هنوز مقیاس صحیح خود را ندارد امکان قرائت صحیح ارتفاعها وجود نداشته و

و در نتیجه انجام ترازگذاری دقیق بی فایده می باشد.

۴ - مقیاس گذاری دقیق

پس از انجام ترازگذاری تقریبی که سطح مدل شیب صحیح خود را تقریباً بدست آورده است می توان فواصل افقی نقاط را نسبتاً صحیح اندازه گیری نموده و مقیاس گذاری دقیق را اجرا کرد.

۵- ترازگذاری دقیق

چون مدل دارای مقیاس مشخص انتخاب شده می باشد پس می توان با قرائت صحیح اختلاف ارتفاعها، ترازگذاری دقیق را به انجام رسانید.

۶ - مراحل مقیاس گذاری و ترازگذاری آنقدر تکرار می شوند تا به مرحله ای برسیم که نیازی به تغییر عنصر حرکتی مربوطه وجود نداشته باشد. حال در مرحله نهایی انجام توجیه مطلق قرار داریم.

۷- در آخرین مرحله توجیه مطلق، با جابجایی شیت به میز ترسیم، مدل و دستگاه برای ترسیم یا اندازه گیریهای مورد نیاز آماده می باشند.

۵- دقت اندازه گیری در مدل (ترسیم نقشه)

مدل توجیه مطلق شده و آماده برای ترسیم و اندازه گیریهای مورد نیاز دارای خطایی هم از نظر مسطاتی و هم از نظر ارتفاعی می باشد که به خطای باقیمانده در مراحل انجام شده از عکسبرداری تا اندازه گیری (ترسیم) بستگی دارد. پس منابع خطا را بدین شرح می توان ذکر کرد:

۱- خطای نقاط کنترل زمینی (خطای عملیات زمینی و محاسبات)؛

۲- خطای نقاط کنترل فرعی (خطای مثلث بندی و محاسبات)؛

۳ - خطای تشکیل دسته شعاعهای نوری؛ شامل خطای دوربین عکسبرداری، چاپ و توجیه داخلی که سبب ایجاد تغییر شکل در دسته شعاعهای نوری و در نتیجه تغییر شکل مدل می شوند.

۴- خطای توجیه نسبی : (در مرحله صحیح عناصر حرکتی)

دیدیم که اگر در حذف P_Z نقاط مدل خطایی باقیمانده باشد در مدل تغییر شکل ایجاد می‌شود .

۵- خطای انجام توجیه مطلق ؛

۶- خطای قرائت و اندازه گیری در مدل ؛

۷- خطای ترسیم ؛ در صورتیکه ترسیم نقشه مدل مورد نظر باشد .

۸- خطای دستگاه تبدیل ؛

اگر δ_p خطای تبدیل (شامل خطای تغییر شکل بسته شعاعها ، توجیه نسبی ، توجیه مطلق و خطای دستگاه) ، δ_T خطای مثلث بندی و محاسبات (خطای نقاط کنترل فرعی) ، δ_E خطای عملیات زمینی (خطای نقاط کنترل زمینی) و δ_M خطای اندازه گیری و ترسیم مدل باشند ؛ می‌توان نوشت :

$$\delta_K^2 = \delta_p^2 + \delta_T^2 + \delta_E^2 + \delta_M^2$$

که δ_K خطای نهایی معمولاً خطای (دقت) مطلقی و ارتفاعی بطور جداگانه تعیین می‌شوند . در بررسی دقت نهایی نقشه از نظر مطلقی ، باید خطای تشخیص عوارض و خطای کارتوگرافی را نیز منظور کرد .

دریافت نظرات و پیشنهادات خوانندگان گرامی ، موجب امتنان و خورسندی اینجانب خواهد شد .

منابع و مآخذ :

۱- Elements of Photogrammetry (Paul R. Wolf)

۲- Photogrammetry (Francis H. Moffitt & Edward M. Mikhail)

۳- Photogrammetry (Zorn)

۴- جزوه های فتوگرامتری ترجمه یا نوشته شده توسط آقایان : مهندس قانع ، مهندس یزدانی ، مهندس پریان و مهندس کاتبی .

۵- کتاب و کاتالوگ تعدادی از دستگاهها

تمرین ها و مسائل

۱- دوربین عکسبرداری با فاصله کانونی ۲۰ اینچ و قاب به ضلع ۹ اینچ جزء کدام دسته از دوربینهای عکسبرداری هوایی می باشد ؟

۲- در صورتیکه حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه مورد عکسبرداری از سطح دریا بترتیب ۱۵۰۰ متر و ۲۵۰۰ متر باشد مقیاس متوسط عکسهای تهیه شده از ارتفاع پرواز ۵۵۰۰ متری از سطح دریا و توسط دوربین با فاصله کانونی ۲۰۰ میلیمتر را تعیین کنید .

۳- از منطقه ای به ارتفاع متوسط ۱۵۰۰ متر از سطح دریا با دوربین به فاصله کانونی ۲۰۰ میلیمتر عکسبرداری تهیه شده است درصورتیکه حداقل و حداکثر ارتفاع پرواز از سطح دریا بترتیب ۳۵۰۰ و ۴۵۰۰ باشد مقیاس متوسط عکسها چقدر است ؟

۴- اگر بخواهیم از منطقه ای به ارتفاع متوسط ۲۵۰ متر از سطح دریا با دوربین بفاصله کانونی ۲۰۰ میلیمتر و قاب به ضلع ۱۸ سانتیمتر و ۱۸ سانتیمتر از ارتفاع ۵۵۰۰ متری عکسبرداری تهیه شود عکس شامل چند محدوده ای از منطقه خواهد شد ؟

۵- اگر مختصات عکسی نقطه a (تصویر عکسی نقطه زمینی A) به ارتفاع ۱۵۰۰ متر از سطح دریا $x_a = 2/5$ سانتیمتر و $y_a = 4$ سانتیمتر بر روی عکس تهیه شده با دوربین به فاصله کانونی ۱۵۰ میلیمتر از ارتفاع پرواز ۴۵۰۰ متری باشد مختصات زمینی نقطه A را بدست آورید .

۶- مختصات عکسی و زمینی صحیح نقطه ای به ارتفاع ۳۰۰ متر که دارای مختصات عکسی $a \begin{vmatrix} 4/20 \\ -3/70 \end{vmatrix}$ سانتیمتر بر روی عکس به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ می باشد بدست آورید . فاصله کانونی دوربین عکسبرداری ۱۵۰ میلیمتر می باشد .

۷- اگر مختصات عکسی نقطه a (تصویر عکسی نقطه زمینی A) به ارتفاع زمینی ۵۰۰ متر بر روی عکس تهیه شده از ارتفاع پرواز ۲۵۰۰ متری با دوربین بفاصله کانونی ۲۰۰ میلیمتری $x_a = 4/5$ سانتیمتر و $y_a = -5$ سانتیمتر باشند مختصات عکسی عاری از جابجایی تصویری ناشی از ارتفاع آن نقطه را .

مختصات عکسی نقطه a را در عکس برداشته شده از ارتفاع پرواز ... متر و مختصات زمینی صحیح نقطه A را و جابجایی تصویری نقطه a را پس از تغییر ارتفاع پرواز $\Delta H = \Delta bZ$ تعیین نمایید.

۸ – در صورتیکه قطر تصویر مقاطع بالایی و پایینی مخزن استوانه ای شکل منبع آبی بر روی عکس تائم تعیین شده باشد دوربین به فاصله کانونی ۱۵۰ mm و به مقیاس ۱:۲۰۰۰ بترتیب ۹/۵۰ mm و ۸/۷۰ mm و ارتفاع پایه منبع آب ۴۰ متر باشد حجم منبع آب را بدست آورید.

۹ – مطلوبست ارتفاع دکلی که طول شعاع بازدکل و بالای دکل تا نقطه اصلی عکس بترتیب ۷/۷۵ cm و ۸/۲۵ cm و ارتفاع پرواز از بالای دکل ۵۰۰ m میباشد.

۱۰ – در صورتیکه $a\left|\begin{matrix}-2/5\ cm\\ -3\ cm\end{matrix}\right.$ تصویر عکسی نقطه زمینی A به ارتفاع ۱۱۰۰ متر بر روی عکس برداشته شده با دوربین بفاصله کانونی $f=110\ mm$ و ارتفاع پرواز ۴۲۰۰ متر باشد مطلوبست مختصات عکسی و زمینی تصحیح شده A را در حالتیکه خطای دیستورسیون شعاعی عکس در نقطه a نیز $\delta r = -0/45\ mm$ باشد.

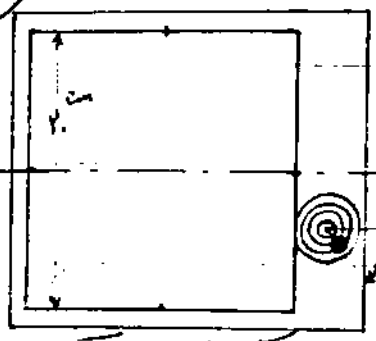
۱۱ – از نقطه ای که حداکثر اختلاف ارتفاع عوارض آن ۶۰ متر می باشد با دوربین بفاصله کانونی $f=200\ mm$ و قالب به ضلع $18\ cm \times 18\ cm$ در مقیاس ۱:۷۵۰۰ عکسبرداری انجام شده است مطلوبست: الف) حداکثر جابجایی تصویری را ب) چنانچه جابجایی تصویری قابل قبول $\leq 0/3\ mm$ باشد حداکثر فاصله آشیانه عکسبرداری تا عارضه دارای حداکثر اختلاف ارتفاع چقدر باید در نظر گرفته شود.

۱۲ – اگر تصویر سیاه ای بر روی عکس برداشته شده از فاصله ۲۵۰ کیلومتری آن و با دوربین بفاصله کانونی ۲۲۵ mm دارای قطر ۲۰ mm باشد مقیاس متوسط عکسبرداری و شعاع سیاه را تعیین کنید.

۱۳ – چنانچه نقاط A و B با مختصات زمینی $A\left|\begin{matrix}X_A=5600\ m\\ Y_A=1035\ m\\ Z_A=1250\ m\end{matrix}\right.$ و $B\left|\begin{matrix}X_B=1200\ m\\ Y_B=735\ m\\ Z_B=1650\ m\end{matrix}\right.$ و مختصات عکسی $a\left|\begin{matrix}x_a=3/75\ cm\\ y_a=7/-\ cm\end{matrix}\right.$ و $b\left|\begin{matrix}x_b=8/25\ cm\\ y_b=4/50\ cm\end{matrix}\right.$ بر روی عکس برداشته شده با دوربین بفاصله کانونی

~~$f = 200^{mm}$ باشد بهترین ارتفاع پرواز را جهت پوشش تراز تعیین کنید.~~

۱۴- چنانچه انحراف جهات تراز دوربین عکسبرداری با فاصله کانونی $f = 150^{mm}$ که دارای دقت تقسیم بندی $5'$ می‌باشد بر روی عکس قائم تصویر زیر دو برابر تصویر شده باشد بزاویه میل، محل نقطه نادیر و ایزوسنتر، محور دوران و خط اصلی و زوایای دوران ω و φ را تعیین کنید.



۱۵- مختصات عکسی x و y نقاط a و b را تعیین کنید در صورتیکه مختصات عکسی آنها نسبت به امتداد علائم کناری مقابل هم بر روی عکس مایل برداشته شده با دوربین با فاصله کانونی 210^{mm} به زاویه میل 15° و سمت میل 120° بشرح: $x_a = 52.8^{mm}$ ، $y_a = -35.6^{mm}$ ، $x_b = -14.5^{mm}$ و $y_b = +25.3^{mm}$ باشند مقیاس عکس را در نقاط a و b واقع در ارتفاع متوسط منطقه چقدر می‌باشد؟ در حالیکه ارتفاع پرواز از سطح متوسط منطقه 2500^{m} است.

۱۶- جایابی مختصات زمینی نقطه A را، در صورتیکه هواپیما دارای دوران 2° حول محور x و 2.5° حول محور y و عکسبرداری از ارتفاع پرواز ۱۵۰۰ متری از سطح متوسط منطقه و با دوربین بازاویه باریک انجام شده باشد بدست آورید. جایابی تصویری و مختصات عکسی و زمینی نقطه A را پس از دوران تعیین کنید. $a \begin{vmatrix} -31.5^{mm} \\ +60.1^{mm} \end{vmatrix}$ می‌باشد.

۱۷- در صورتیکه تصویر بازهوایی ۸۰۰ متری بر روی زوج عکس قائم شماره ۱ و ۲ برداشته شده با دوربین با فاصله کانونی 150^{mm} بترتیب -8.5^{mm} و -9.0^{mm} باشد ارتفاع پرواز کدام عکس بیشتر است و چه مقدار؟ اگر قاب دوربین عکسبرداری ۲۳ ضلع 23^{cm} باشد پوشش طولی دو عکس را تعیین کنید.

۱۸- در عکسبرداری قائم از منطقه‌ای با ارتفاع متوسط ۵۰۰ متری از ارتفاع پرواز 3500^{m} از سطح دریا و متوسط دوربین با فاصله کانونی 150^{mm} و قاب ۲۰ ضلع 20^{cm} در صورتیکه فاصله دو ایستگاه عکسبرداری مجاور 1200^{m} باشد پوشش طولی هر زوج عکس مجاور را تعیین کنید.

۱۹ - در صورتیکه قسمتی از بالای تصویر عرضی بر روی عکسهای تماماً تنظیم شده دوربین استریوسکوپ، به مقیاس ۱:۱۵۰۰۰، به ترتیب بر روی عکس سمت چپ ۲٫۸ سم و بر روی عکس سمت راست ۳٫۶ سم و ۴٫۱ سم و فاصله کانونی دوربین عکسبرداری ۲۰۰ میلیمتر باشند ارتفاع برج را تعیین کنید.

۲۰ - اختلاف ارتفاع دو نقطه A و B را تعیین کنید چنانچه قرائتهای انجام شده با پارالاکس بار بعبارت باشند از : $P_A = 3{,}000$ و $P_B = 8{,}000$ و $P_0 = 5{,}500$ میلیمتر و عکسبرداری در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ با دوربین با فاصله کانونی $f = 200$ میلیمتر و با پوشش طولی ۶۰٪ انجام گرفته شده باشد. ۰ مرکز عکس سمت چپ است.

۲۱ - برای عکسبرداری از منطقه ای به ارتفاع متوسط ۱۰۶۰ متر و به وسعت $10\,km \times 6\,km$ از ارتفاع پرواز ۵۶۰۰ متری با دوربین بازاویه باز و قاب به ضلع ۲۰ سم و پوشش طولی ۶۰٪ و عرضی ۳۰٪ تعیین کنید :

۱ - مقیاس عکسبرداری را، ۲ - تعداد باندهای پرواز مورد نیاز را، ۳ - حداقل تعداد عکسهای هر باند پرواز را، ۴ - تعداد کل عکسهای منطقه را، ۵ - تعداد مدلهای منطقه را، ۶ - سطح هر مدل مفید را، ۷ - باز عکسبرداری را، ۸ - در صورتیکه دقت ارتفاعی مورد نیاز ۲ متر باشد از چه دستگاهی برای تبدیل عکس به نقشه باید استفاده شود.

۲۲ - برای تهیه نقشه عکسی منطقه ای شهری که دارای ساختمانهای به ارتفاع ۲۵ متر میباشد از عکسهای تهیه شده با دوربین با قاب ۲۲٫۵ × ۲۲٫۵ سم از ارتفاع پرواز ۴۰۰۰ متری از سطح متوسط منطقه در صورتیکه حداکثر خطای تصویری مجاز ۰٫۴ میلیمتر ≥ ۵٪ باشد پوششهای طولی و عرضی مناسب را تعیین کنید.

۲۳ - برای تهیه نقشه از منطقه ای شهری به ابعاد $12 \times 5\,km$ دارای ساختمانهای با حداکثر ارتفاع ۷۵ متر در صورتیکه اختلاف P_x قابل مشاهده برجسته بینی ۲٫۰ میلیمتر ≥ ΔP_x و بخواهیم عکسبرداری از ارتفاع پرواز ۲۲۵۰ متری از سطح متوسط منطقه با دوربین با قاب 20×20 سم انجام گرفته باشد مطلوبست :

۱ - پوشش طولی و عرضی مناسب را در حالتیکه طول مدل دو برابر عرض آن باشد، ۲ - نوع دوربین مناسب

و مقیاس عکسبرداری را ۳- باز عکس و باز هوایی را ۴- سطح متوسط و تعداد کل مدلهای منطقه را

۵- تعداد کل عکسهای منطقه را .....

۲۴- برای تهیه نقشه عمرانی به مقیاس ۱:۲۰۰۰ با منحنی های تراز ۱ متری از عکسهای هوایی تمام حداکثر ارتفاع پرواز و مقیاس عکسبرداری را جهت حفظ دقت خواسته شده تعیین نمایید در صورتیکه دستگاه تبدیل با نسبت بزرگ کننده ۵ برابر و $cF=1800$ و دوربین عکسبرداری به فاصله کانونی $f=150^{mm}$ در اختیار باشد.

۲۵- از منطقه ای نیمه کوهستانی به ارتفاع متوسط 1200^{m} و به وسعت $40^{Km} \times 80^{Km}$ با پرواز در ارتفاع ۴۲۵۰ متری عکسبرداری باید انجام شود.

۱- چه نوع دوربینی جهت عکسبرداری هوایی پیشنهاد می کنید. ۲- در صورتیکه پوشش طولی و عرضی بترتیب ۷۰ و ۳۰ و قاب دوربین به ضلع 23^{cm} باشد حداقل تعداد باندها، مدلها و عکسهایی که منطقه را می پوشانند بدست آورید. ۳- در صورتیکه بخواهیم فاصله زمانی هر دو ایستگاه عکسبرداری مجاور ۲۰ ثانیه و زمان باز بودن دهانه دیافراگم ۰٫۰۲ ثانیه باشد سرعت هواپیما و کشیدگی تصویر را تعیین کنید. ۴- چنانچه فقط دستگاه با ضریب اطمینان $cF=1500$ در اختیار باشد دقت ارتفاعی حاصله چقدر خواهد بود.

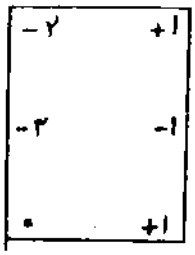
۲۶- اگر برای تبدیل عکسهای قائم تهیه شده با دوربین به فاصله کانونی 150^{mm} و قاب به ضلع 23^{cm}، به نقشه بخواهیم از دستگاه مولتی پلکس استفاده کنیم ضلع دیاپوزیتیو مورد استفاده در پروژکتور این دستگاه را تعیین کنید در صورتیکه فاصله کانونی عدسی پروژکتور و متوسط فاصله z تصویری آن بترتیب 28^{mm} و 420^{mm} باشند.

۲۷- در صورتیکه دامنه تغییرات فاصله اصلی پروژکتور و دستگاه قابل دسترس بترتیب 220^{mm} تا 200^{mm} و 350^{mm} و عکسبرداری با دوربین با فاصله کانونی 88^{mm} و قاب 18×18^{cm}

~~به مقیاس ۱:۱ انجام شده باشد ضلع دیافراگم مورد استفاده در دستگاه ، حاصل~~

اصلی که باید به پروژکتور معرفی شود و متوسط مقیاس مدل را بدست آورید .

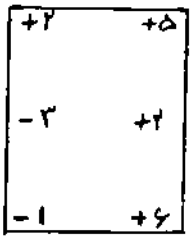
۲۸- پس از چند دور تکرار توجیه نسبی مدل سطح رو برو



، به روش توجیه دو طرفه ، به نتیجه خواهد رسید در صورتیکه $\frac{z}{d}=2$

و $\Delta P_5 \leqslant 0.2^{mm}$ قابل قبول باشد . P_7 ها برحسب میلیمتر می باشند .

۲۹- درصورتیکه $\frac{z}{d}=\frac{3}{2}$ و $\Delta P_7 \leqslant 0.8^{mm}$ قابل قبول

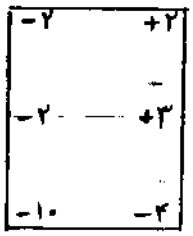


باشد تعداد دورهای تکرار مورد نیاز را برای انجام توجیه نسبی مدل رو برو

بدست آورید . P_7 شش نقطه برحسب میلیمتر می باشند .

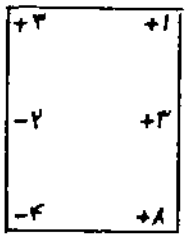
توجیه نسبی را به روش حذف P_7 و معرفی تصحیح اضافی نیز انجام دهید .

۳۰- مدل رو برو را با استفاده از عناصر پروژکتور سمت راست



توجیه نسبی کنید درصورتیکه $\frac{d}{z}=\frac{1}{3}$ باشد .

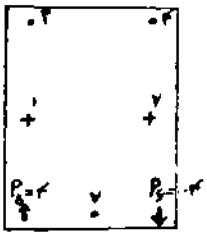
۳۱- مدل رو برو را با استفاده از عناصر پروژکتور سمت



چپ بطور تجربی و محاسباتی توجیه نسبی نمایید و مقدار تغییر

مورد نیاز عناصر حرکتی را بدست آورید . $\frac{z}{d}=\frac{5}{2}$ و $b=d=15^{cm}$

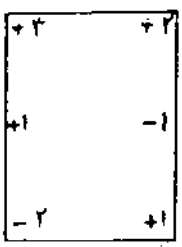
۳۲- P_7 باقیمانده در مدل رو برو را که توجیه نسبی بر روی



۵ نقطه ۱، ۲، ۳، ۴ و ۷ آن انجام گرفته است سرشکن نمایید .

$P_1=P_2=P_4=P_5=P_7=0$ ، $P_3=+4^{mm}$ ، $P_6=-4^{mm}$

۳۳- مدل رو برو را با حذف P_7 بنج نقطه ۱، ۲، ۳، ۴ و ۷



توجیه نسبی نموده و P_7 باقیمانده را سرشکن کنید .

درصورتیکه $\frac{z}{d}=2$ باشد .