



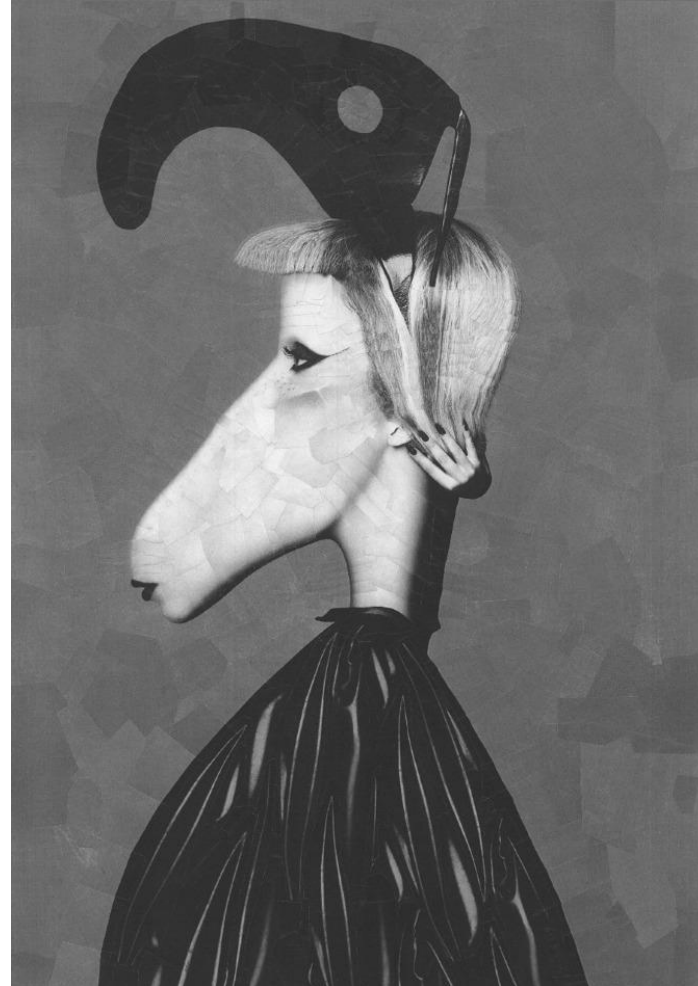
**Jundi Shapur**

**University of Technology-Dezful**

**فتوگرامتری تحلیلی**  
**فصل دوم: مروری بر تصحیحات**

**Nurollah Tatar**  
**Analytical Photogrammetry**  
**2022**

# پالایش تصویر



# پالایش تصویر

- هدف از پالایش تصویر حذف خطاهای سیستماتیک از روی مختصات عکسی می باشد.
- خطایی را سیستماتیک گویند که بتوان آن را با فرمول ریاضی یا فیزیکی بیان نمود.
- این خطاها در دو دسته تقسیم بندی می شوند:
  1. جابجایی ها (Displacement)
  2. اعوجاجات (Distortions)

## تغییرات موقعیت

اعوجاجات

جابجایی

انکسار

کرویت  
زمین

تغییر  
بعد فیلم

کشیدگی  
تصویر

اعوجاج  
عدسی

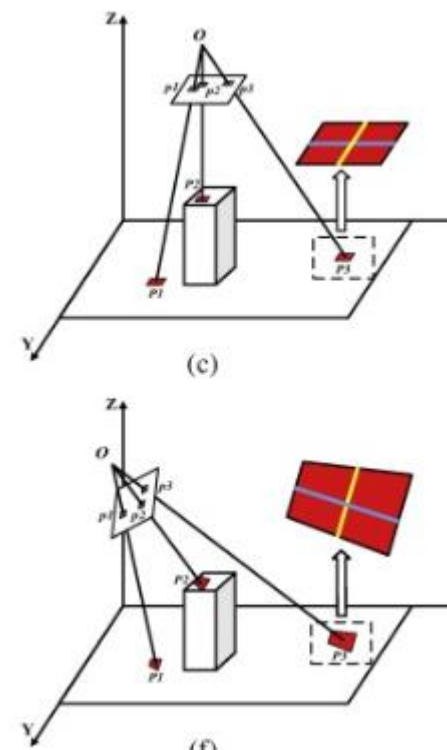
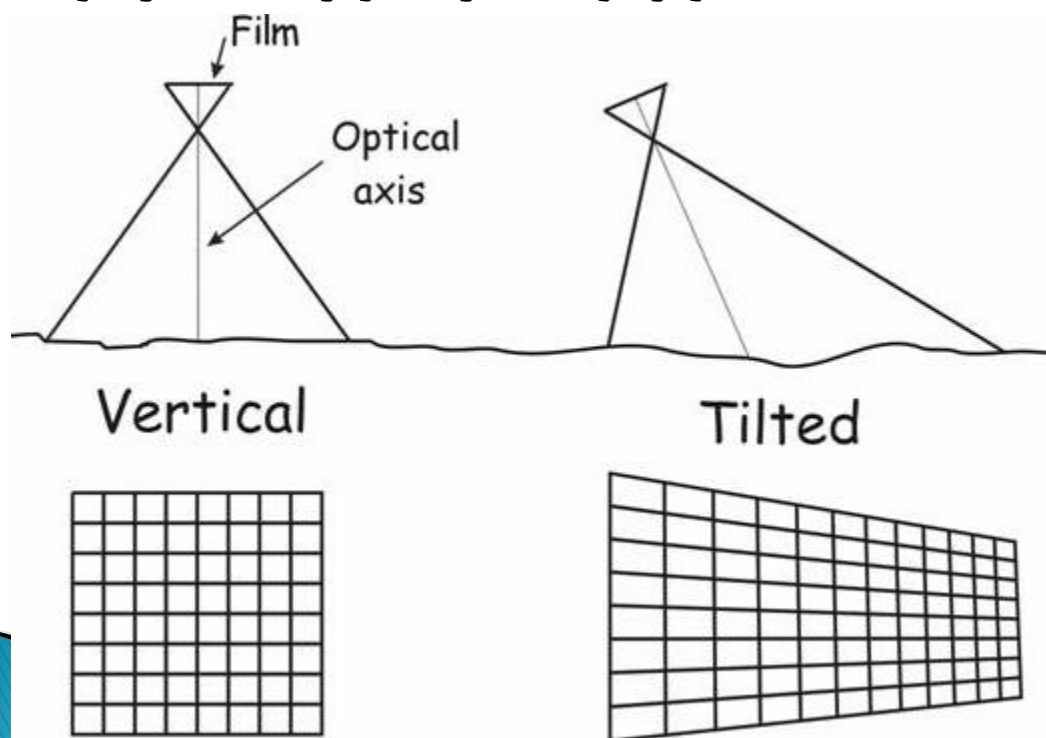
تیلت

اختلاف  
ارتفاع

# پالایش جابجایی‌های تصویر

## • جابجایی ناشی از تیلت:

- در صورتی که تصویر برداری نسبت به امتداد شاغولی دارای زاویه ای بیشتر از ۳ درجه باشد؛ آنگاه تصویر تولیدی را تصویر تیلت دار گویند.





# پالایش جابجایی‌های تصویر

• جابجایی ناشی از تیلت:

• جابجایی ناشی از تیلت نسبت به نقطه ایزوسنتر (همبار) شعاعی است.

• میزان جابجایی ناشی از تیلت:

$$dr = \frac{r^2 \sin t \cos \lambda}{f - r \sin t \cos \lambda}$$

$dr$ : جابجایی در اثر تیلت

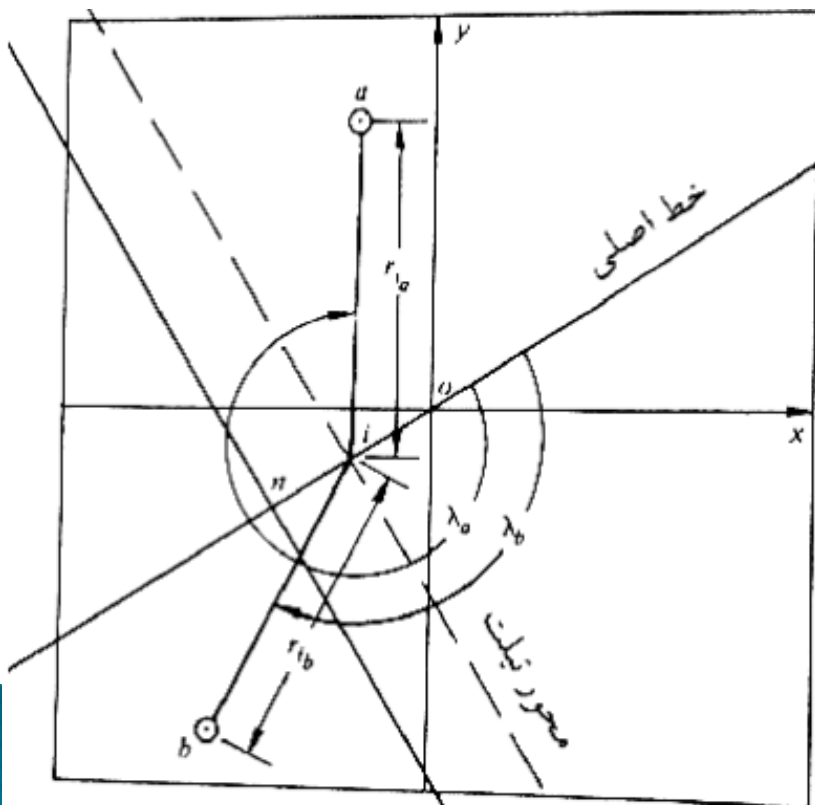
$r$ : فاصله شعاعی از نقطه ایزوسنتر

$f$ : فاصله کانونی

$t$ : زاویه تیلت

$\lambda$ : زاویه بین خط اصلی و خط واصل

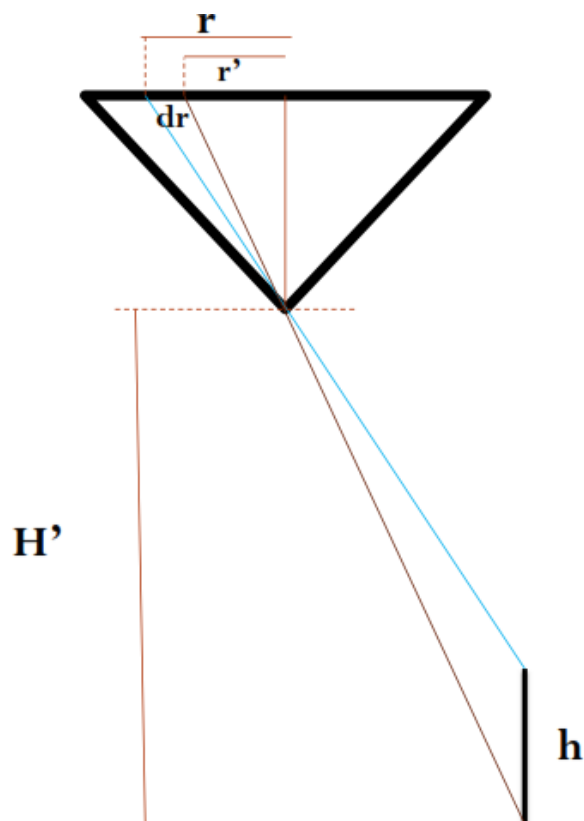
بین نقطه ایزوسنتر و نقطه مورد نظر



# پالایش جابجایی‌های تصویر

- جابجایی ناشی از ارتفاع:
- موجودیت های ارتفاعی مانند ساختمان ها (پل ها، و . . .) باید از نظر مسطحاتی موقعیت سقف (بالا) و پای دیوارهای این عوارض یکسان باشند، اما در عمل با توجه به شکل روبرو چنین نیست.
- فرایندی که در آن میزان خطا در موقعیت چنین عوارض اصلاح می‌گردد را ortho-rectification گویند. تصویری که خطای جابجایی ناشی از ارتفاع از آن حذف شده باشد را نیز ارتوفتو گویند.
- جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع نسبت به نقطه **نادیر** شعاعی است.

# پالایش جابجایی‌های تصویر



• جابجایی ناشی از ارتفاع:

• جابجایی ناشی از ارتفاع ( $dr$ ):

$$dr = r - r'$$

$$dr = \frac{r \cdot h}{H'} = \frac{r' \cdot h}{H' - h}$$

•  $r$  فاصله از نقطه نادیر

• نحوه تصحیح این خطا بر روی مختصات

عکسی طبق رابطه زیر است:

$$x_{new} = x_{old} \left(1 - \frac{dr}{r}\right)$$

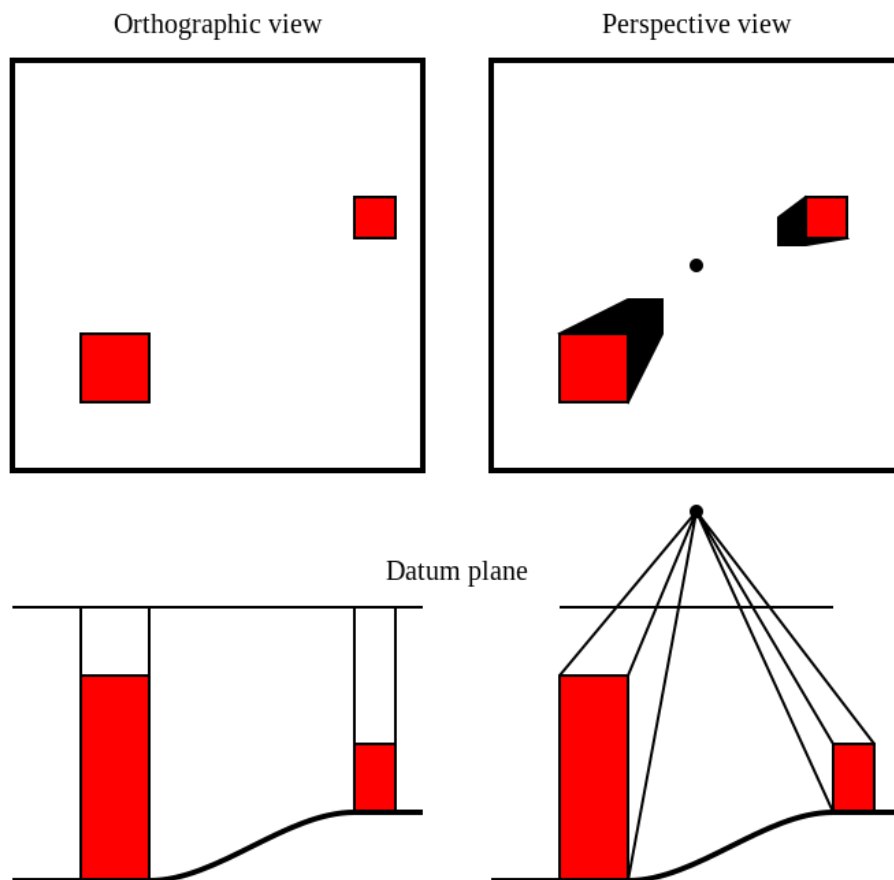
$$y_{new} = y_{old} \left(1 - \frac{dr}{r}\right)$$

• نکته: با روابط روبرو  
ارتوفتو تولید نمی شود.  
این روابط صرفاً برای  
محاسبات است.



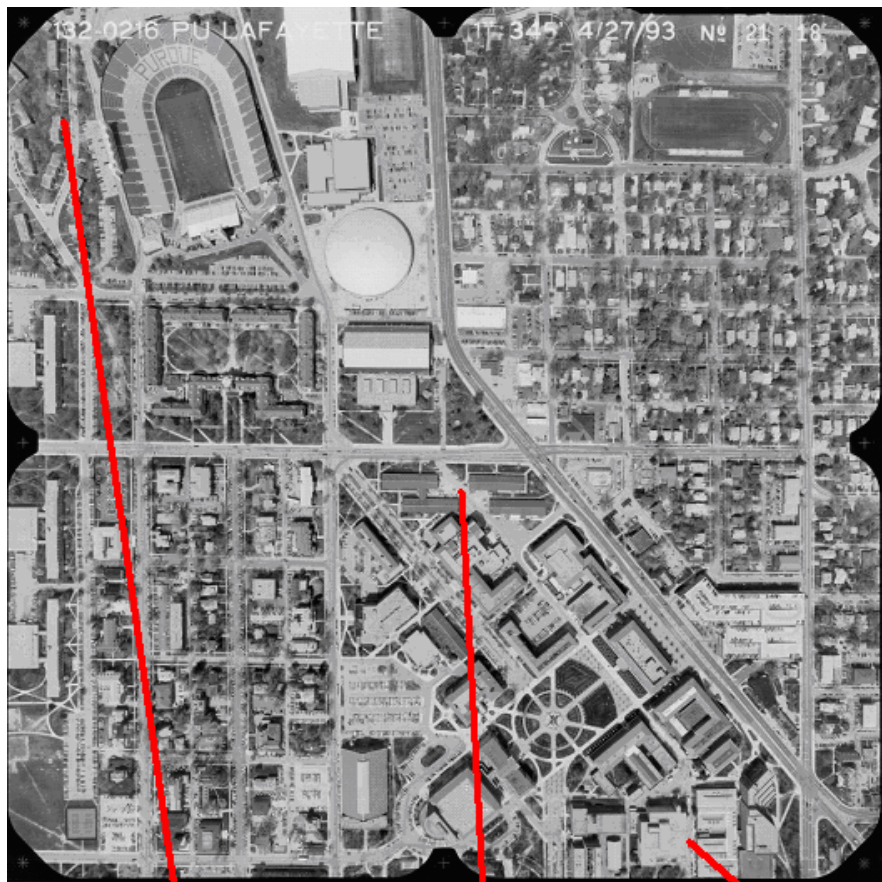
# پالایش جابجایی‌های تصویر

• جابجایی ناشی از ارتفاع:



# پالایش جابجایی‌های تصویر

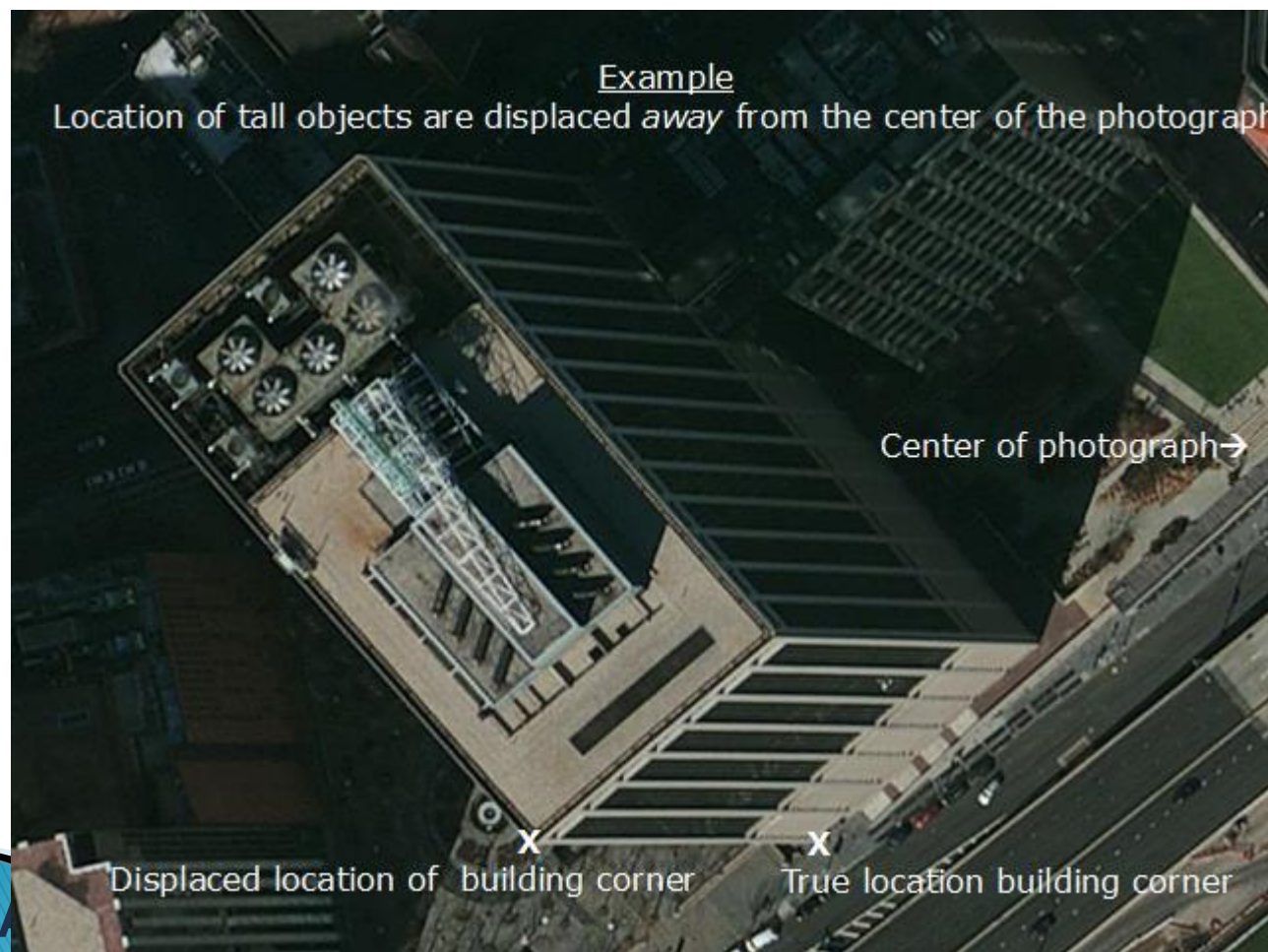
• جابجایی ناشی از ارتفاع:



Refinement  
Shapour

# پالایش جابجایی های تصویر

- جابجایی ناشی از ارتفاع:



# پالایش جابجایی‌های تصویر

## • مثال: کنکور ۸۵ سوال ۴۴

۴۴-

فاصله تصویر بام یک برج تا مرکز عکس هوایی قائم ۶۰ mm و فاصله بام تا پای برج روی عکس ۱۰ mm است. اگر ارتفاع پرواز از سطح زمین ۶۰۰ m باشد ارتفاع برج چقدر است؟

(۱) ۶۰ متر

(۲) ۱۰۰ متر

(۳) ۲۰۰ متر

(۴) برای محاسبه ارتفاع برج به فاصله کانونی دوربین نیاز است.

• حل:

$$dr = 10mm = 0.01m$$

$$r = 60mm = 0.06m$$

$$H' = 600m$$

$$dr = \frac{rh}{H'} \Rightarrow h = \frac{dr \cdot H'}{r} = \frac{0.01 \times 600}{0.06} = 100m$$

• در عکس قائم نقطه نادیر و اصلی یکی هستند

• جواب گزینه ۲ صحیح است.



# پالایش جابجایی های تصویر

• مثال: کنکور ۸۷ سوال ۵۴

۵۴- فاصله عکسی رأس دو دکل هم ارتفاع مستقر در منطقه ای مسطح از مرکز یک عکس هوایی قائم برابر ۸۰ و ۶۴ سانتی متر است. اگر طول دکل اول در عکس برابر ۵ میلی متر باشد طول دکل دوم در عکس چند میلی متر است؟

۴/۰ (۱)

۴/۲ (۲)

۵/۰ (۳)

۶/۲ (۴)

$$dr_1 = 5mm = 0.005m$$

$$r_1 = 80cm = 0.8m$$

$$r_2 = 64cm = 0.64m$$

$$dr_2 = ?$$

$$\text{Assume} \rightarrow \frac{h_1}{H'} = \frac{h_2}{H'}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{dr_1}{r_1} = \frac{h_1}{H'} \\ \frac{dr_2}{r_2} = \frac{h_2}{H'} \end{array} \right\} \frac{dr_1}{r_1} = \frac{dr_2}{r_2} \Rightarrow dr_2 = r_2 \cdot \frac{dr_1}{r_1} = 0.64 \times \frac{0.005}{0.8} = 0.004m = 4mm$$

• حل:

• گزینه یک صحیح است

# پالایش جابجایی‌های تصویر

- چند نکته در مورد جابجایی‌ها:

- فاصله کانونی بر جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع تاثیر گذار نیست. اما

تغییرات فاصله کانونی بر آن موثر است! زیرا با تغییر فاصله کانونی (f)

شعاع (۲) تغییر خواهد کرد.

- زاویه تیلت بر جابجایی‌های ناشی از اختلاف ارتفاع تاثیر گذار نیست؛ اما

تغییرات تیلت بر آن موثر است؛ زیرا تغییرات تیلت باعث تغییر نقطه

نادیر و به تبع آن تغییر شعاع می‌شود.

- ارتفاع بر جابجایی ناشی از تیلت موثر نیست.



# پالایش اعوجاجات تصویر

- کشیدگی:
- بعلت حرکت هواپیما، دوران و لرزش دوربین در لحظه باز و بسته شدن شاتر، کشیدگی در تصویر خواهیم داشت که باعث تار و مات شدگی تصویر و در نتیجه جابجایی نقاط تصویری می شود.
- در دوربین های فتوگرامتری برای حل چنین مسئله ای از سیستمی به نام FMC بهره گرفته می شود.
- FMC فیلم را در لحظه عکسبرداری به مقدار خطای ایجاد شده و در جهت خلاف آن حرکت می دهد.

# پالایش اعوجاجات تصویر

- کشیدگی:

- مقدار خطای ناشی از کشیدگی تصویر از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\Delta r = V.t.\frac{f}{H-h_a}$$

- طبق دستورالعمل سازمان نقشه برداری میزان کشیدگی تصویر بایستی کمتر از یک سوم مقدار GSD باشد.
- در فتوگرامتری پهناد برای جلوگیری از ایجاد خطای کشیدگی، سرعت شاتر را افزایش می دهند.
- خطای کشیدگی نسبت به هیچ نقطه ای شعاعی نیست!

# پالایش اعوجاجات تصویر

• کشیدگی:



# پالایش اعوجاجات تصویر

• مثال : کنکور ۸۳ سوال ۶۷

۶۷- در یک دوربین عکسبرداری تعدیل کننده خطای کشیدگی تصویر در اثر حرکت هواپیما (IMC) در لحظه عکسبرداری به اندازه ۲۸ میکرون فیلم را حرکت می دهد در صورتی که قطعه ای به ارتفاع ۳۰۰۰ متر از سطح مبنا فرار گرفته باشد و زمان نوردهی  $\frac{1}{100}$  ثانیه، سرعت هواپیما  $800 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ، ارتفاع پرواز ۱۲ کیلومتر و فاصله کانونی دوربین ۱۵۲ میلی متر باشد، باقیمانده کشیدگی تصویر نقطه روی عکس چقدر است؟

(۱) ۹ میکرون (۲) ۲۸ میکرون (۳) ۳۷ میکرون (۴) ۶۵ میکرون

• ورودی:

• ارتفاع ۳۰۰۰ متر است.



# پالایش اعوجاجات تصویر

• جواب:

• گزینه ۱ صحیح است

• کل جابجایی ناشی از کشیدگی ۳۷ میکرون ست.  $H = 12km = 12000m$

• پیشتر ۲۸ میکرون از آن جبران شده  $t = \frac{1}{100} s$

• پس ۹ میکرون باقی مانده  $h_a = 3000m$

$$f = 152mm = 0.152m$$

$$V = 800 \frac{km}{h} \Rightarrow V = 800 \times \frac{1000}{3600} \times \frac{m}{s} = 222.22 \frac{m}{s}$$

$$\Delta r = V.t. \frac{f}{H - h_a} = 222.22 \times \frac{1}{100} \times \frac{0.152}{12000 - 3000} = 0.000037m = 37micron$$

$$37 - 28 = 9micron$$

# پالایش اعوجاجات تصویر

• مثال : کنکور ۸۷ سوال ۵۵

۵۵- در صورتی که فاصله کانونی  $f=180\text{ mm}$  و هواپیما با سرعت  $500\text{ km/h}$  در ارتفاع  $1000\text{ m}$  متری از سطح زمین عکسبرداری کند. اگر زمان باز شدن شاتر دوربین  $\frac{1}{500}\text{ s}$  ثانیه باشد فیلم چقدر باید حرکت کند تا اثر ماتی روی تصویر ایجاد نگردد؟

(۱) ۵ میکرون (۲) ۲۵ میکرون (۳) ۴۰ میکرون (۴) ۵۰ میکرون

$$H = 1000\text{ m}$$

$$t = \frac{1}{500}\text{ s}$$

$$h_a = 0\text{ m}$$

$$f = 180\text{ mm} = 0.18\text{ m}$$

$$V = 500 \frac{\text{km}}{\text{h}} \Rightarrow V = 500 \times \frac{1000}{3600} \times \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta r = V \cdot t \cdot \frac{f}{H - h_a} = 500 \times \frac{1000}{3600} \times \frac{1}{500} \times \frac{0.18}{1000} = 0.00005\text{ m} = 50\text{ micron}$$

• جواب

• گزینه چهارم صحیح است

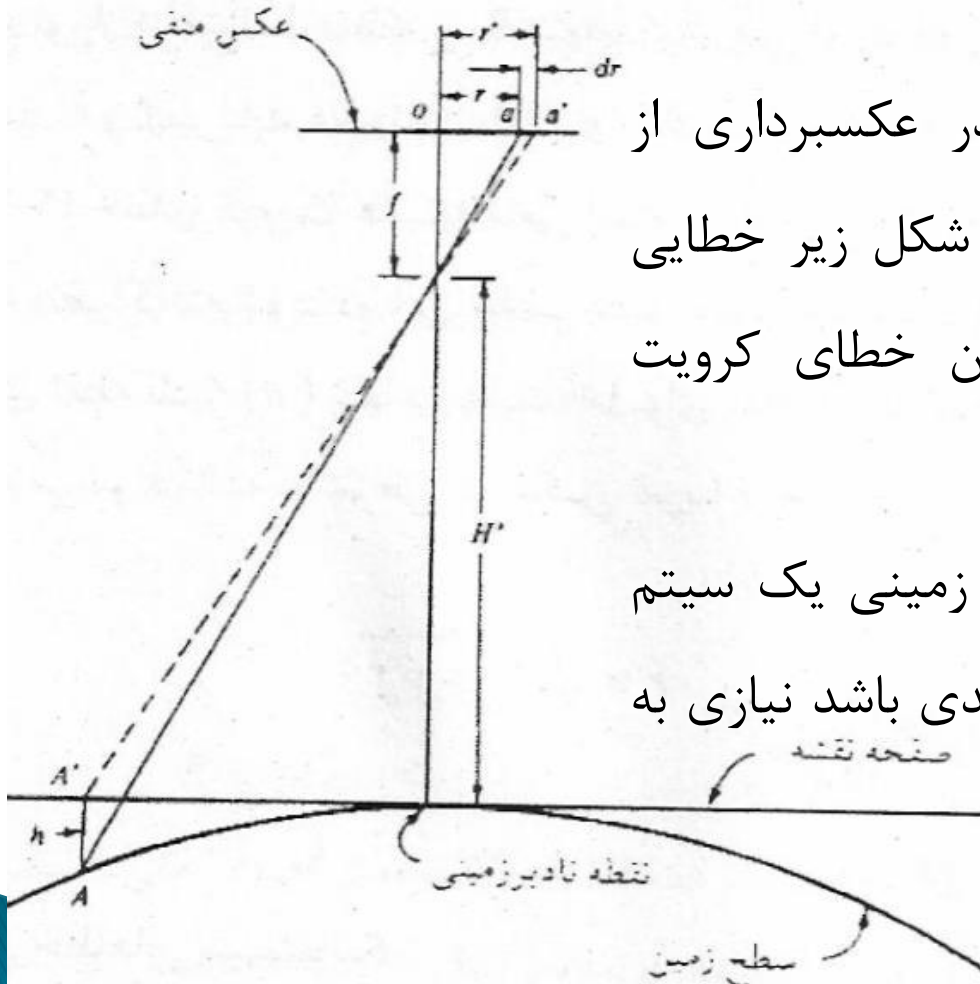


# پالایش اعوجاجات تصویر

## • خطای کرویت زمین:

- به دلیل کرویت زمین در عکسبرداری از ارتفاع خیلی زیاد، مطابق شکل زیر خطایی بوجود می آید که به آن خطای کرویت می گویند.

- چنانچه سیستم مختصات زمینی یک سیستم مختصات اورتوگونال سه بعدی باشد نیازی به تصحیح این خطا نیست.



# پالایش اعوجاجات تصویر

- خطای کرویت زمین:

- مقدار این خطا از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\Delta r = \frac{Hr^3}{2Rf^2}$$

H ارتفاع پرواز از سطح منطقه

f فاصله کانونی دوربین

R شعاع زمین و مقداری برابر با تقریباً ۶۳۷۲۳۰۰ متر

r فاصله از نقطه نادیر

$$x_{new} = x_{old} \left(1 - \frac{\Delta r}{r}\right)$$

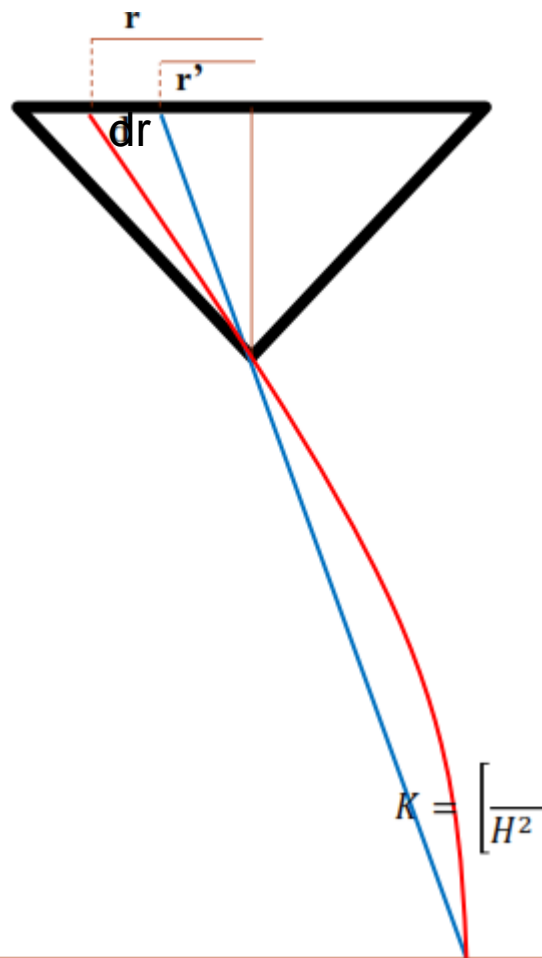
و نحوه تصحیح آن بر روی مختصات به صورت روبرو اعمال می گردد.

$$y_{new} = y_{old} \left(1 - \frac{\Delta r}{r}\right)$$

# پالایش اعوجاجات تصویر

- خطای کرویت زمین:
- در صورتی که سیستم مختصات زمینی (که برای تهیه نقشه مورد استفاده قرار می گیرد) یک سیستم مختصات جهانی (مانند WGS84) یا ارتوگوناال سه بعدی باشد، لزومی به حذف این خطا نیست.
- این خطا در خط تولیدهای فتوگرامتری سنتی که زمین را بر یک صفحه دو بعدی نگاشت می دادند، وجود داشت.
- به عبارتی اگر صفحه تصویر مسطح باشد، خطا وجود دارد؛ اما اگر صفحه تصویر کروی باشد نیازی به حذف آن نیست.
- افزایش ارتفاع پرواز یا کاهش فاصله کانونی باعث افزایش خطا می شوند.

# پالایش اعوجاجات تصویر



- خطای انکسار اتمسفر:
- به دلیل شرایط اتمسفری متفاوت نور به صورت خط مستقیم از سطح جسم تا صفحه تصویر حرکت نمی‌کند. این مهم باعث ایجاد جابجایی در تصویر به اندازه  $dr$  می‌شود.
- به دلیل تغییر اتمسفر در جاهای مختلف فرمول صریحی برای محاسبه خطای انکسار وجود ندارد.

# پالایش اعوجاجات تصویر

• خطای انکسار اتمسفر:

• مقدار این خطا از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$dr = r - r'$$

$$K = \left[ \frac{2410}{H^2 + 6h - 250} + \frac{2410}{h^2 + 6h - 250} \left( \frac{h}{H} \right) \right] \times 10^{-6}$$

h: ارتفاع منطقه

H: ارتفاع پرواز از سطح مبنا

r: فاصله از نقطه نادیر

$$dr = K \left( r + \frac{r^3}{f^2} \right)$$

• این خطا نسبت به نقطه نادیر شعاعی است و به صورت زیر تصحیح

$$x_{new} = x_{old} \left( 1 - \frac{dr}{r} \right)$$

می شود:

$$y_{new} = y_{old} \left( 1 - \frac{dr}{r} \right)$$

# پالایش اعوجاجات تصویر

• خطای انکسار اتمسفر:

• مثال: کنکور سال ۸۴ سوال ۵۹

۵۹- مختصات نقطه‌ای در سیستم نقطه اصلی (Principal Point) برابر است با:  $x = 70/148 \text{ mm}$  و  $y = -98/121 \text{ mm}$  در صورتی که خطای انکسار نور در آتمسفر برای این نقطه برابر با  $9 \mu\text{m}$  محاسبه شده باشد. مختصات تصحیح شده این نقطه برای خطای انکسار چند میلی‌متر است؟

$$x = 70/146, \quad y = -98/116 \quad (2)$$

$$x = 70/145, \quad y = -98/117 \quad (1)$$

$$x = 70/147, \quad y = -98/112 \quad (4)$$

$$x = 70/143, \quad y = -98/114 \quad (3)$$



# پالایش اعوجاجات تصویر



- جواب :
- گزینه سوم صحیح است.

$$x_{old} = 70.148 \quad y_{old} = -98.121$$

$$r = \sqrt{(x_{old})^2 + (y_{old})^2} = \sqrt{70.148^2 + 98.121^2} = 120.617mm$$

$$dr = 9\mu m = 0.009mm$$

$$x_{new} = x_{old} \left(1 - \frac{dr}{r}\right) \Rightarrow x_{new} = 70.148 \left(1 - \frac{0.009}{120.617}\right) = 70.143mm$$

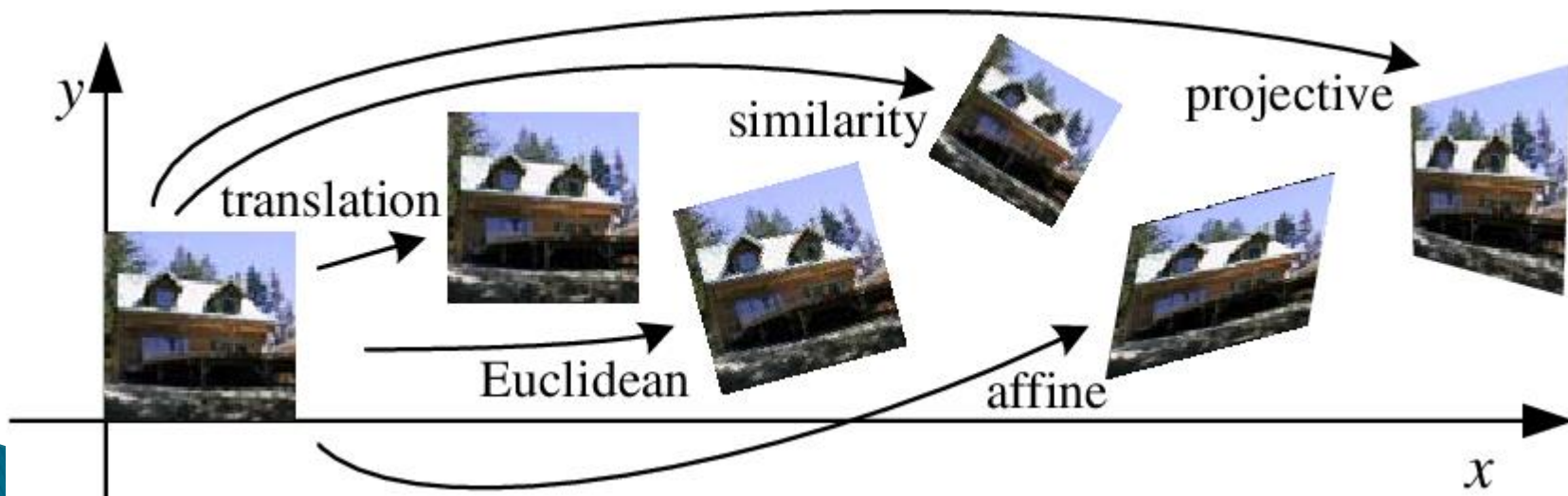
$$y_{new} = y_{old} \left(1 - \frac{dr}{r}\right) \Rightarrow y_{new} = -98.121 \left(1 - \frac{0.009}{120.617}\right) = -98.114mm$$

# پالایش اعوجاجات تصویر

- تغییر بعد فیلم:
- در فتوگرامتری سنتی به دلیل ماهیت فیزیکی عکس همواره با قرار گرفتن عکس در محیط های با شرایط متفاوت از نظر فشار، دما و . . . مقداری کشیدگی یا جمع شدگی در آن ها ایجاد می شود. چنین تغییری در ابعاد فیلم را خطای تغییر بعد فیلم گویند.
- برگه های شیشه ای و کاغذی (حامل مواد حساس نگاتیو) به ترتیب کمترین و بیشترین تغییر بعد را دارند.

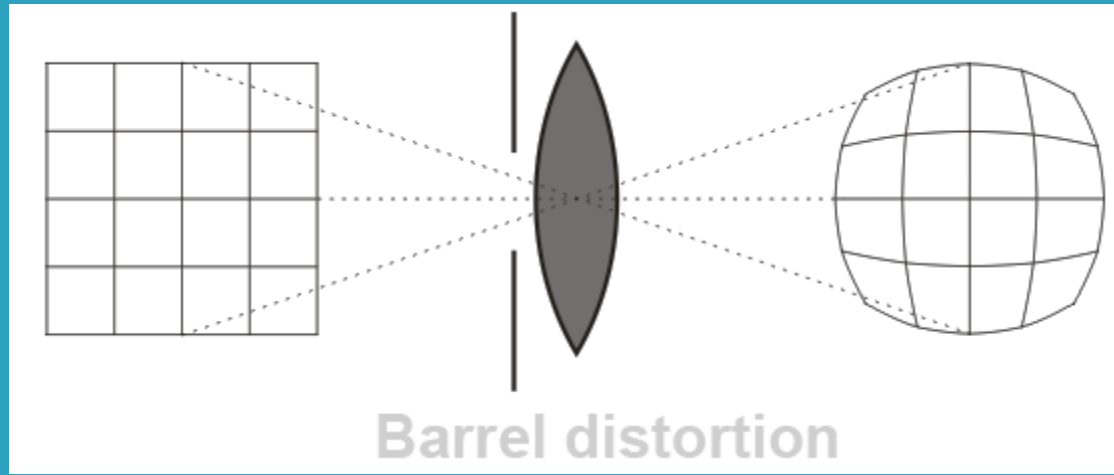
# پالایش اعوجاجات تصویر

- تغییر بعد فیلم:
- برای تصحیح این خطا مختصات نقاط فیدوشل مارک را از برگ کالیبراسیون داریم، در حالت تغییر بعد یافته نیز می توان مختصات همان نقاط را اندازه گرفت.

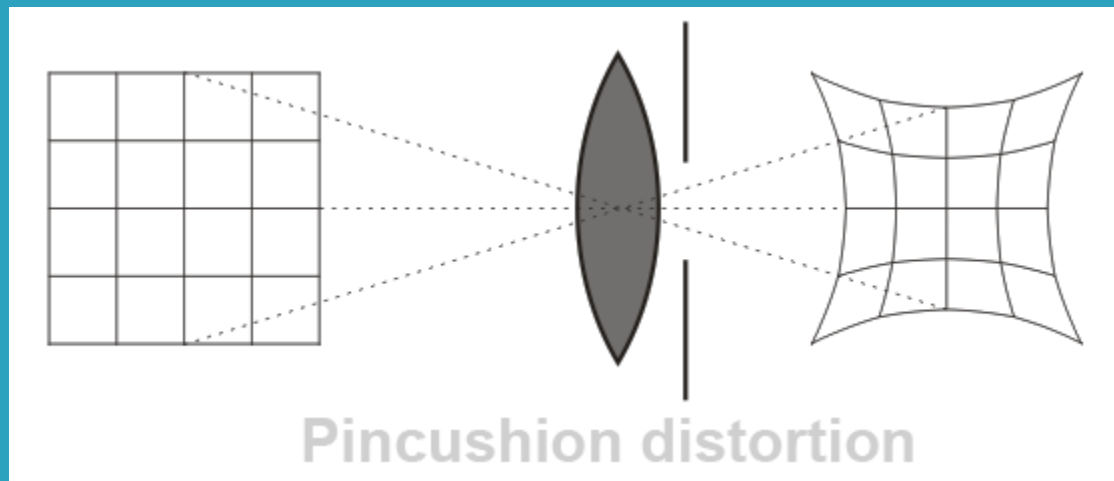


# پالایش اعوجاجات تصویر

- تغییر بعد فیلم:
- با اندازه گیری فیدوشل مارک‌ها در دو سیستم مختصات مختلف می‌توان انتقال بین دو سیستم را با روش‌های انتقال کانفرمال، افاین و پروژکتیو انجام داده و برای تمامی نقاط عکسی این خطا را حذف نمود.
- نکته: امروزه با توجه به نوع رایانه ای ذخیره سازی داده‌های فتوگرامتری چنین مواردی کمتر وجود دارد.
- معمولاً در ابتدا خطای تغییر بعد فیلم برداشته می‌شود.
- در مرحله بعد اثر اعوجاجات عدسی‌ها برداشته می‌شود.



# Lens Distortions



# پالایش اعوجاجات تصویر

- اعوجاجات عدسی:
  - خطا در موقعیت و وضعیت یک نقطه تصویری (نقطه  $a$  متناظر تصویری نقطه  $A$  است) به دلیل کامل نبودن لنز/عدسی دوربین را گویند.
  - اعوجاج عدسی به دو صورت کلی زیر خواهد بود:
1. اعوجاج هندسی: باعث تغییر موقعیت تصویری نقطه دلخواه  $a$  از  $(x, y)$  به موقعیت  $(x', y')$  می شود.
  2. اعوجاج رادیومتریکی: باعث تغییر در مقادیر درجات خاکستری ( $DN$ ) از عددی به عدد دیگر می شود.



# پالایش اعوجاجات تصویر

- **اعوجاجات عدسی:**

- از نظر تعریف، اعوجاج به عمل

خارج شده از تصویر سازی حالت

مستقیم گفته می شود.

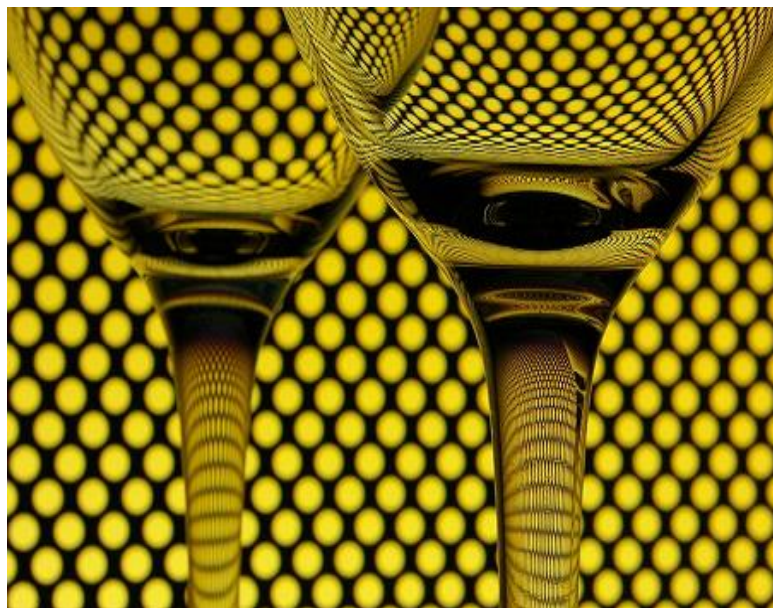
- این بدان معناست که خطوط

مستقیم در تصویر به صورت

مستقیم باقی نمی مانند.

- به بیان عامیانه در تصویر نوعی

خطای دید اتفاق می افتد



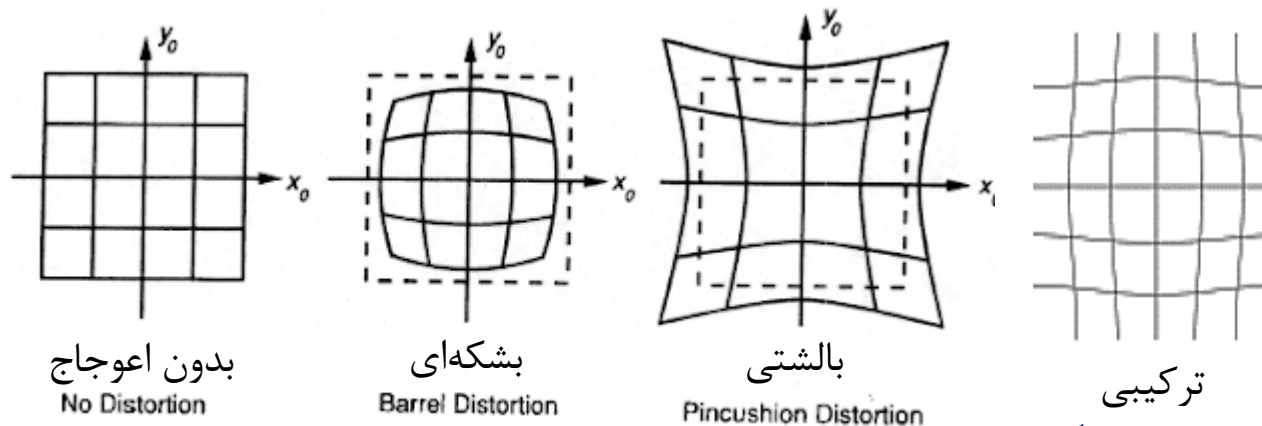
# پالایش اعوجاجات تصویر

- اعوجاجات عدسی:
- انواع اعوجاجات هندسی در عدسی:
  1. اعوجاج شعاعی قرینه (Symmetric Radial Distortion)
  2. اعوجاج شعاعی غیر قرینه (Asymmetric Radial Distortion)
  3. اعوجاج مماسی (Tangential Distortion)
- در حال حاضر معمولاً با دو نوع اعوجاج شعاعی قرینه و مماسی روبرو هستیم. لذا اعوجاج غیرقرینه مورد بررسی قرار نمی گیرد.

# پالایش اعوجاجات تصویر

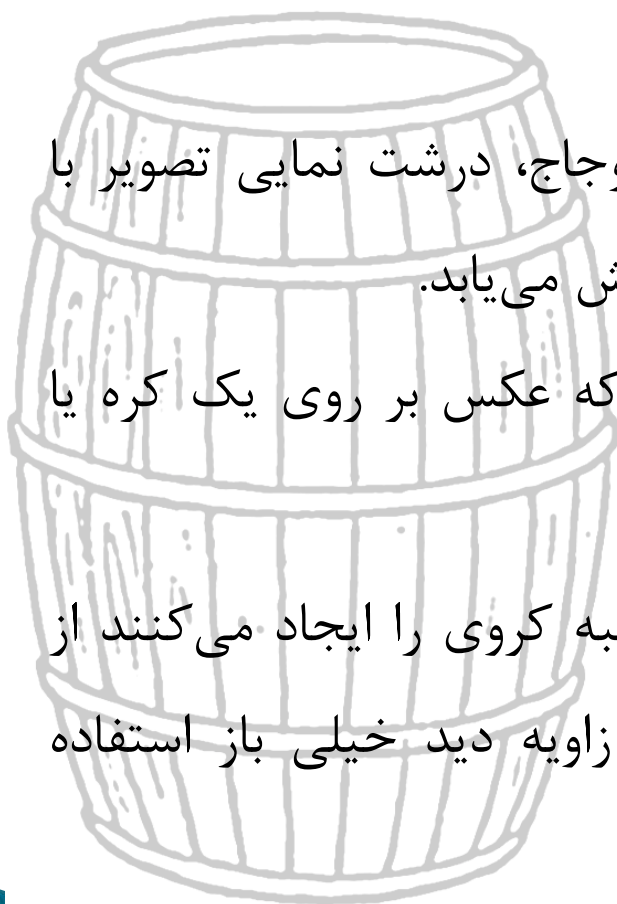
## • اعوجاج شعاعی قرینه عدسی:

- در مجموع بیشترین نوع اعوجاجات عدسی و لنز از نوع شعاعی می-باشند. معمولاً اعوجاجات شعاعی به سه نوع اعوجاج بشکهای (Barrel)، بالشتی (pincushion) و اعوجاج شعاعی ترکیبی (سبیل مانند mustache) تقسیم بندی می شوند.



# پالایش اعوجاجات تصویر

- اعوجاج شعاعی عدسی:
- اعوجاج شعاعی بشکهای: در این نوع از اعوجاج، درشت نمایی تصویر با حرکت از مرکز تصویر به سمت کناره‌ها کاهش می‌یابد.
- در این نوع از اعوجاجات به نظر می‌رسد که عکس بر روی یک کره یا بشکه تصویر شده است.
- لنزهای چشم ماهی (fisheye) که دید شبه کروی را ایجاد می‌کنند از این نوع تصویرسازی برای اخذ تصاویر با زاویه دید خیلی باز استفاده می‌کنند.



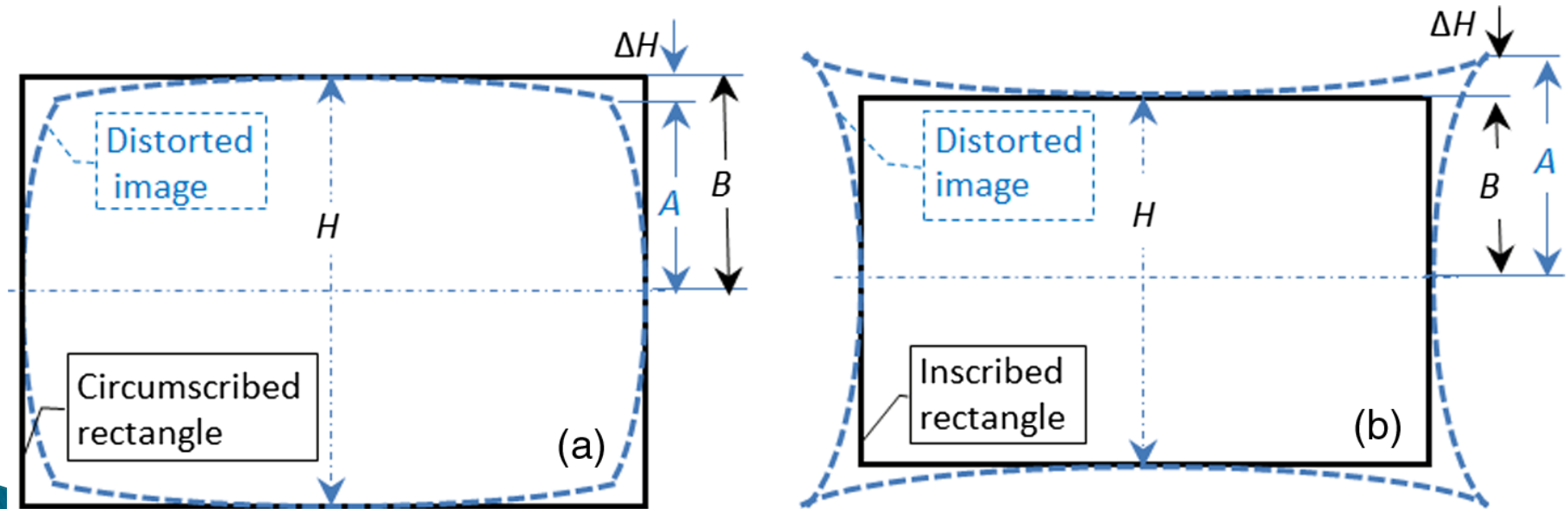
# پالایش اعوجاجات تصویر

- اعوجاج شعاعی عدسی:
- اعوجاج شعاعی بالشتی: در این نوع از اعوجاجات درشت نمایی تصویر با حرکت از مرکز تصویر به سمت کناره ها افزایش می یابد. نتیجه چنین اعوجاجی بدین صورت به نظر می رسد که خطوط راست به سمت مرکز تصویر تمایل یافته اند.
- اعوجاج شعاعی ترکیبی: این نوع از اعوجاجات ناشی از ترکیب هر دو اعوجاج بالا می باشد. این نوع از اعوجاج به صورت معمول بسیار به ندرت در عدسی اتفاق می افتد، اما به صورت محض نمی توان گفت وجود ندارد.



# پالایش اعوجاجات تصویر

- اعوجاج شعاعی عدسی:
- اعوجاج شعاعی عدسی هم می تواند به سمت داخل باشد و هم به سمت خارج.  $(\mp \Delta r)$





# پالایش اعوجاجات تصویر

- اعوجاج شعاعی عدسی:
  - نحوه مدلسازی این خطا به این صورت است که از طریق برگ کالیبراسیون دوربین ضرایب  $k_1$ ،  $k_2$  و ... (معمولاً سه ضریب کافیست) در اختیار کاربر قرار گرفته و میزان خطا از رابطه زیر حساب می شود:
- $$\Delta r = k_1 r + k_2 r^3 + k_3 r^5 + k_4 r^7 + \dots$$
- اعوجاج شعاعی نسبت به نقطه اصلی شعاعی است و به صورت زیر

$$x_{new} = x_{old} \left(1 - \frac{\Delta r}{r}\right)$$

تصحیح می شود.

$$y_{new} = y_{old} \left(1 - \frac{\Delta r}{r}\right)$$

# پالایش اعوجاجات تصویر

- اعوجاج شعاعی عدسی:
- به دلیل عدم اطلاع دقیق از پارامترها و عوامل موثر بر انحراف پرتوها از یک چند جمله‌ای استفاده می‌شود.
- اگر یک عدسی ایده آل وجود می‌داشت یا اینکه عوامل موثر بر مسیر نور قابل فرموله‌سازی می‌بودند، از آن فرمول‌ها استفاده می‌شد. با این حال چند جمله‌ای‌ها دقت کافی برای مدلسازی اعوجاجات را دارند.
- فرمول چند جمله‌ای فوق با فرض بر اینکه فوکوس در بی نهایت است، توسعه داده شده است.

# پالایش جابجایی‌های تصویر

• مثال: کنکور ۸۳ سوال ۴۹

۴۹- برای نقطه‌ای به مختصات  $(x, y)$  (۲۵، ۳۱) میلیمتر نسبت به محل تقاطع علامت کناری که دارای خطای اعوجاج شعاعی عدسی به معادله  $\Delta r = 0.02 - 0.0002r^2$  بر حسب متر و  $\Delta r$  به میلیمتر می‌باشد، در صورتی که مختصات مرکز تصویر نسبت به محل تقاطع علامت کناری  $(x_0, y_0)$  (۰/۰۸، -۰/۱) میلیمتر باشد، مختصات عکسی تصحیح شده برای این نقطه چقدر است؟

$$x = 25.14 \text{ mm}, y = 30.18 \text{ mm} \quad (2)$$

$$x = 18.15 \text{ mm}, y = 19.81 \text{ mm} \quad (4)$$

$$x = 24.91 \text{ mm}, y = 31 \text{ mm} \quad (1)$$

$$x = 21.18 \text{ mm}, y = 26.27 \text{ mm} \quad (3)$$

# پالایش جابجایی‌های تصویر

- پاسخ:
- نزدیکترین گزینه به پاسخ صحیح، گزینه ۱ می‌باشد.

$$x_{p.p} = 0.08 \quad y_{p.p} = -0.1$$

$$x_{old} = 25 - 0.08 = 24.92mm$$

$$y_{old} = 31 - (-0.1) = 31.1mm$$

مختصات و شعاع باید نسبت به نقطه اصلی باشند!

$$r = \sqrt{(x_{old})^2 + (y_{old})^2} = \sqrt{24.92^2 + 31.1^2} = 39.852mm = 0.039852m$$

$$\Delta r = 0.2r - 30r^3 = 0.2 \times 0.039852 - 30 \times (0.039852)^3 = 0.00607mm \quad \text{در اینجا } r \text{ بر حسب متر باشد}$$

$$x_{new} = x_{old} \left(1 - \frac{\Delta r}{r}\right) \Rightarrow x_{new} = 24.92 \left(1 - \frac{0.00607}{39.852}\right) = 24.916mm$$

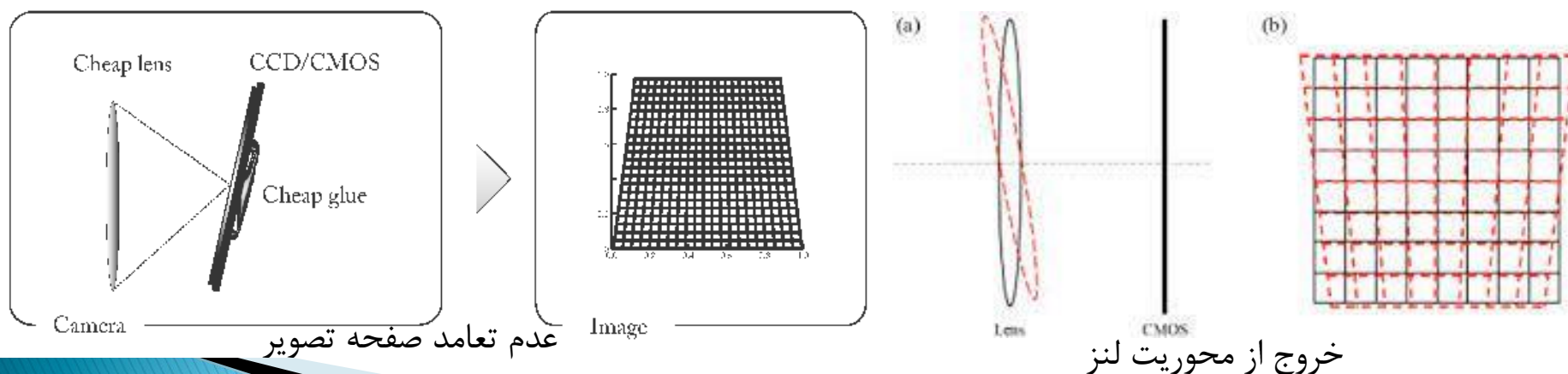
در اینجا  $r$  بر حسب میلیمتر باشد

$$y_{new} = y_{old} \left(1 - \frac{\Delta r}{r}\right) \Rightarrow y_{new} = 31.1 \left(1 - \frac{0.00607}{39.852}\right) = 31.095mm$$

در اینجا  $r$  بر حسب میلیمتر باشد

# پالایش اعوجاجات تصویر

- اعوجاج مماسی عدسی:
- عدم تعامل صفحه تصویر با محور اصلی باعث بوجود آمدن نوع دیگری از اعوجاج می شود که به آن اعوجاج مماسی می گویند.
- اعوجاج مماسی می تواند به دلیل عدم قرارگیری صحیح عدسی بر روی محور اصلی نیز اتفاق بیفتد.



# پالایش اعوجاجات تصویر

• اعوجاج مماسی عدسی:

• فرمول اصلی این خطا به صورت زیر است :

$$\Delta r = r^2 \sqrt{P_1^2 + P_2^2}$$

• اما با تقریب به صورت زیر نیز مدلسازی می شود:

خطا در جهت  $x$        $\Delta r_x = 2P_1xy + P_2(r^2 + 2x^2)$

خطا در جهت  $y$        $\Delta r_y = 2P_2xy + P_1(r^2 + 2y^2)$

فاصله از نقطه اصلی       $r = \sqrt{x^2 + y^2}$

• بزرگی اعوجاج مماسی نیز نسبت به نقطه اصلی شعاعی است. اما جهت این

خطا عمود بر شعاع است. اعوجاج مماسی معمولاً مقداری بسیار ناچیز در

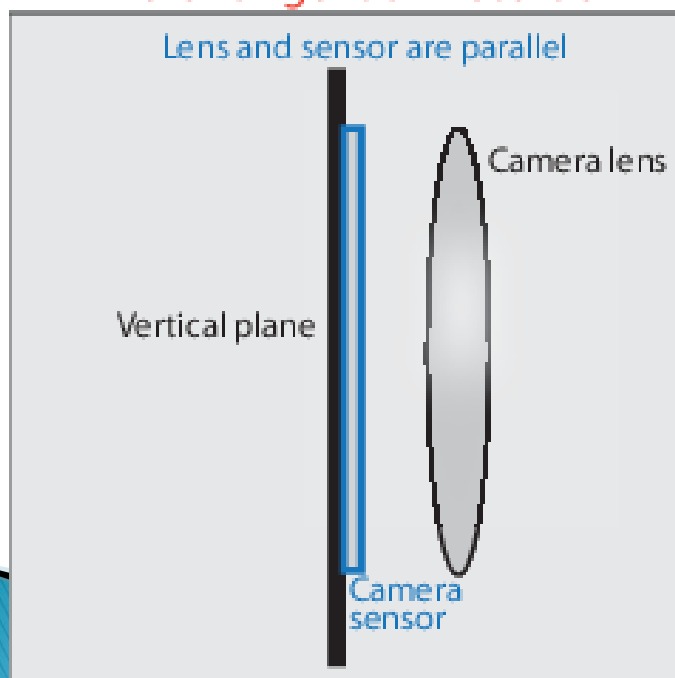
مقایسه با اعوجاج شعاعی دارد



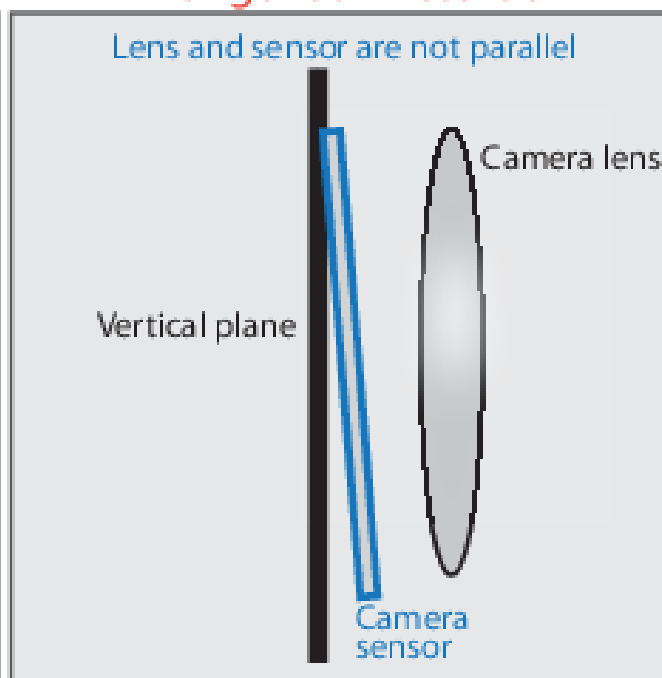
# پالایش اعوجاجات تصویر

- اعوجاج مماسی عدسی:
- این اعوجاج بیشتر در دوربین های غیرمتریک، لنزهای با عدسی مرکب و فتوگرامتری برد کوتاه وجود دارد.

## Zero Tangential Distortion



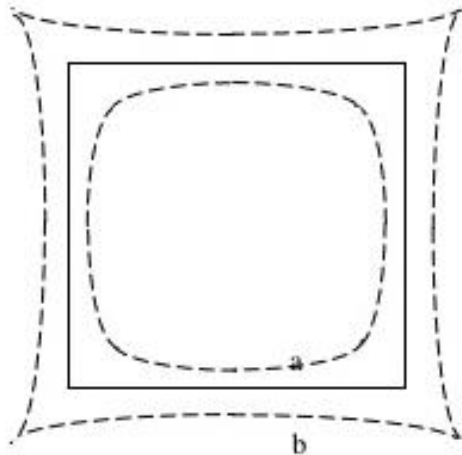
## Tangential Distortion



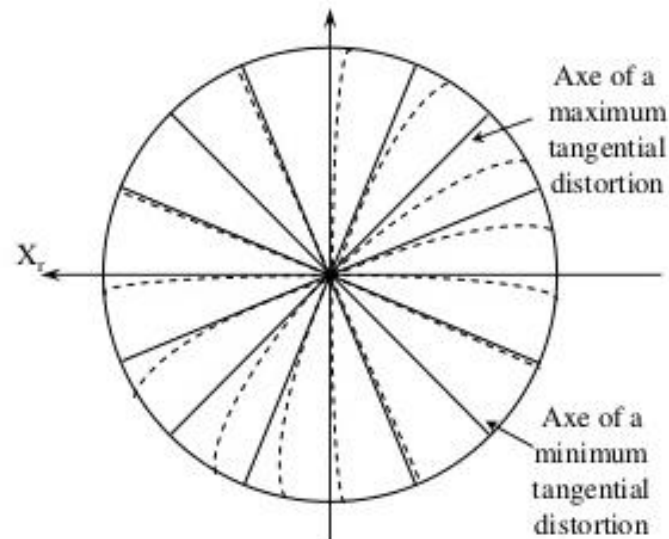
# پالایش اعوجاجات تصویر

- اعوجاج مماسی و شعاعی عدسی:

Radial distortion effect



Tangential distortion effect



Radial distortion is the most important and usually the only considered in calibration.

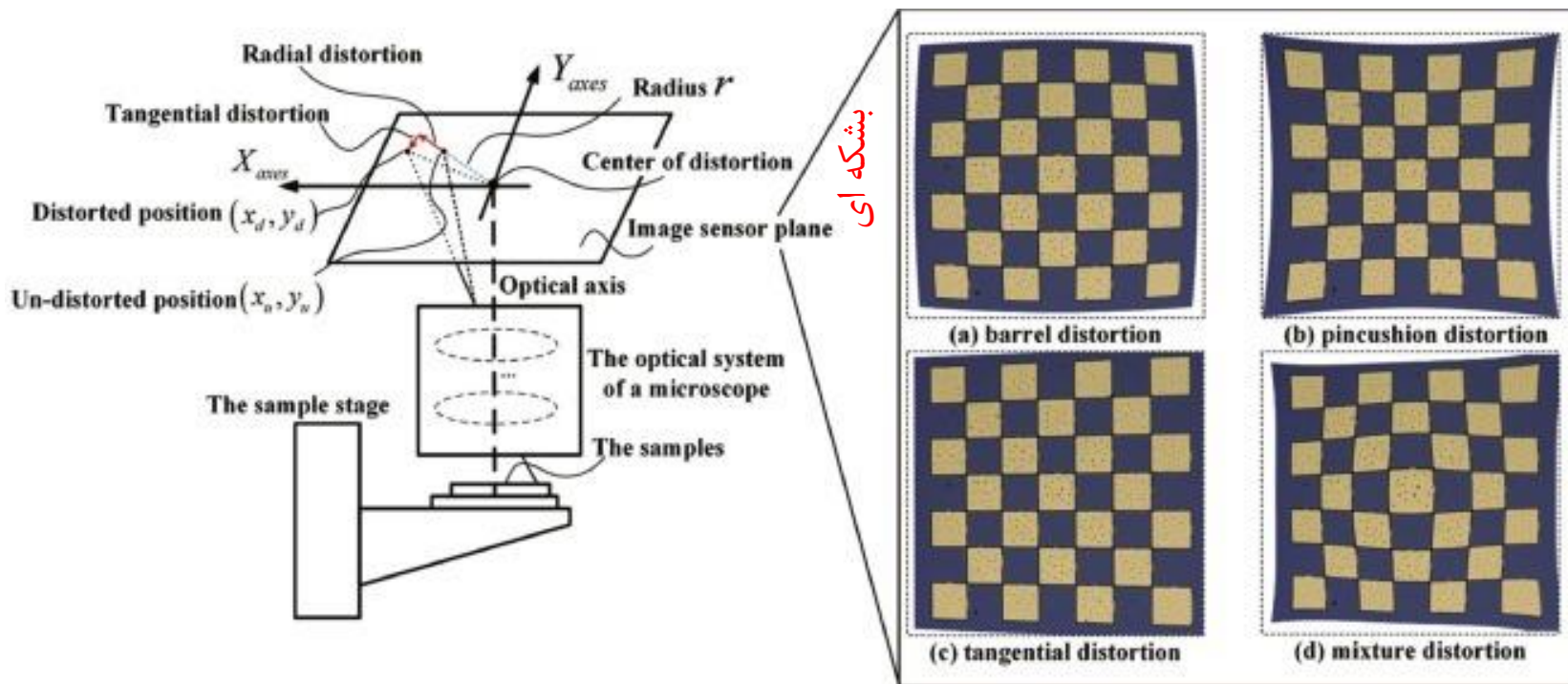
# پالایش اعوجاجات تصویر

- اعوجاج مماسی عدسی:
- هر دو اعوجاج مماسی و شعاعی نسبت به نقطه اصلی به صورت شعاعی تغییر می کنند (به عبارتی شعاعی اند). جهت اعوجاج شعاعی در راستای شعاع و جهت اعوجاج مماسی عمود بر شعاع می باشد.
- از طریق رابطه زیر می توان به صورت همزمان میزان خطای اعوجاج شعاعی و مماسی عدسی را محاسبه کرد:

$$\begin{aligned}x' &= x(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) + 2p_1xy + p_2(r^2 + 2x^2) \\ y' &= y(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) + p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2xy\end{aligned}$$

# پالایش اعوجاجات تصویر

- اعوجاج شعاعی و مماسی عدسی در یک نگاه:



اعوجاج مماسی

اعوجاج شعاعی  
ترکیبی (سبیل)

# پالایش اعوجاجات تصویر

- کالیبراسیون دوربین:
- کالیبراسیون عبارتست از برآورد موقعیت نقطه اصلی  $(x_0, y_0)$ ، ضرایب چندجمله‌ای مدل شعاعی  $(k_1, k_2, \dots)$  و ضرایب اعوجاج مماسی  $(P_1, P_2)$ .
- به طور کلی برای برآورد پارامترهای کالیبراسیون دوربین روش‌های زیر وجود دارند:
- الف) روش‌های آزمایشگاهی
- ب) روش‌های صحرایی

# پالایش اعوجاجات تصویر

- کالیبراسیون دوربین:
- روش‌های کالیبراسیون دوربین:
  1. روش آزمایشگاهی Laboratory Calibration
  2. کالیبراسیون توام با پروژه On-The-Job Calibration
  3. سلف کالیبراسیون Self-Calibration
  4. کالیبراسیون با اجزاء محدود Finite Element
  5. کالیبراسیون با خطوط شاقولی Plumb-Line Calibration
  6. کالیبراسیون نجومی Stellar Calibration



# مثال

## • مثال کنکور سال ۸۵ سوال ۴۱

۴۱- کدام یک از خطاهای ذیل به ترتیب نسبت به نقاط نادیر، همباز و اصلی شعاعی می باشد؟

- (۱) تیلت، کرویت زمین، اعوجاج شعاعی عدسی  
(۲) کرویت زمین، تیلت، جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع  
(۳) انکسار، تیلت، اعوجاج شعاعی عدسی  
(۴) کرویت زمین، انکسار، جابجایی ناشی از اختلاف ارتفاع

• با توجه موارد گفته شده در این فصل گزینه سوم صحیح است.

## تمرین شماره ۲ - قسمت یک

A. در صورت که با دوربینی به فاصله کانونی ۱۵۲ میلیمتر عکس غیر قائمی با زوایه تیلت ۵ درجه اخذ گردیده باشد، اگر فاصله شعاعی نقطه ایزوسنتر تا تصویر نقطه A برابر با ۱۱۰ میلیمتر باشد. زاویه بین خط اصلی و خط واصل نقطه ایزوسنتر تا نقطه مطلوب برابر با ۳۰ درجه باشد. آنگاه خطای جابجایی ناشی از تیلت را حساب نمایید؟

B. همچنین اگر ارتفاع این نقطه در بالای ساختمان ۵ طبقه به ارتفاع ۱۵ متر و فاصله آن تا نقطه نادیر برابر با ۱۰۰ میلیمتر باشد. اگر هواپیما در ارتفاع ۸۰۰ متری از منطقه پرواز کرده باشد؛ در آن صورت میزان جابجایی ناشی از ارتفاع را برای این نقطه حساب نمایید؟

## تمرین شماره ۲ - قسمت دوم

C. در صورتی که فاصله کانونی دوربین فتوگرامتری برابر با ۱۸۰ میلیمتر و هواپیمای ویژه فتوگرامتری سازمان نقشه برداری کشور با سرعت ۸۰۰ کیلومتر بر ساعت در ارتفاع ۲ کیلومتری از سطح زمین پرواز نماید. در صورتی که سرعت باز و بسته شدن شاتر دوربین برابر با  $1/500$  ثانیه تنظیم گردیده باشد، میزان خطای کشیدگی تصویر چند **میکرون** است؟

## تمرین شماره ۲ - قسمت سوم

D. در صورتی که فاصله کانونی دوربین فتوگرامتری برابر با ۱۸۰ میلیمتر باشد. مقدار تصحیح خطای کرویت زمین برای نقطه واقع بر فاصله ۶۰ میلیمتری از نقطه نادیر عکس که دارای مختصات (۰, ۴۵) بوده است را حساب نمایید.

- هواپیما در ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح زمین پرواز کرده است.

# تمرین شماره ۲ - قسمت چهارم

E. یک گزارش کالبراسیون دوربین اظهار می‌دارد که فاصله کانونی کالیبره شده برابر با  $f=152/206$  میلیمتر و مختصات نقطه اصلی برابر است با میلیمتر  $x_p=0/008$  و  $y_p=-0/001$  میلیمتر.

$$\begin{aligned} k_1 &= 0/2296, & k_2 &= 1018 \\ k_3 &= -35/89, & k_4 &= 12/100 \end{aligned}$$

با بهره‌گیری از این مقادیر کالیبره شده، مختصات تصحیح شده نقطه تصویر به مختصات میلیمتر  $x=62/579$  و  $y=-80/916$  را نسبت به محورهای فیدوشال محاسبه نمایید.

نکته: فاصله کانونی کالیبره عبارتست از فاصله کانونی که بر حسب آن توزیع متوسطی از اعوجاجات شعاعی در تمام سطح عکس خواهیم داشت.

## تمرین شماره ۲

- آن دسته از دانشجویانی که سیستم کامپیوتری دارند به همراه چاپ و ارائه خروجی‌ها برنامه متلب یا پایتون تمرینات فوق را نیز ارسال کنند.
- دانشجویانی که از نعمت سیستم کامپیوتری بی بهره اند، ریز جزئیات محاسباتی تمام تمرینات را نوشته و آن‌ها را ارسال کنند.
- نتیجه را به صورت خلاصه تا ده روز آینده به آدرس [noorollah.tatar@gmail.com](mailto:noorollah.tatar@gmail.com) با موضوع "تمرین شماره ۲ درس فتوگرامتری تحلیلی" ایمیل کنید.



سوال؟