

## «به نام خدا»

استاد: دکتر محمدرضا محمدی  
درس مبانی بینایی کامپیوتر

نام: فاطمه زهرا بخشنده  
شماره دانشجویی: 98522157

## گزارش تمرین 2:

### سوال اول:

#### بخش اول:

در این نوع دوربین ها تصویر های ایجاد شده برعکس می باشند و هرچه اندازه ی دریچه بزرگتر شود، نور بیشتری از آن عبور میکند پس تصویر روشن تری داریم و همچنین به دلیل عبور پرتوهای ناخواسته، تصویری تار تشکیل می شود، ولی هرچه اندازه دریچه کوچکتر باشد، تصویری تیره تر با وضوح بالاتر خواهیم داشت. البته قابل ذکر است که اگر اندازه ی دریچه بیش از حد کوچک باشد به دلیل پراکندگی نور و شدت کم نور، بازهم تصویری تار خواهیم داشت پس برای داشتن تصویری مناسب باید اندازه دریچه مناسب باشد.

#### دریچه بزرگ:

- نور منعکس شده در بخش بیشتری از تصویر اثر میگذارد.
- تصویر تار خواهد بود.

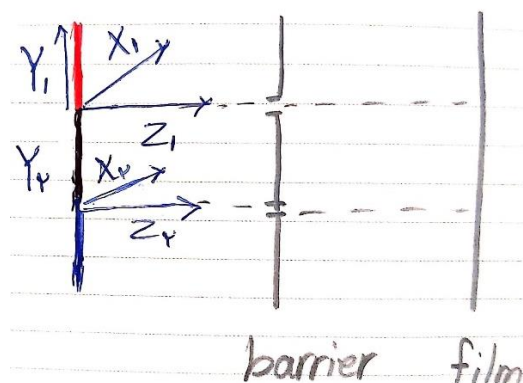
#### دریچه کوچک:

- تار شدن را کاهش میدهد اما مقدار نور وارد شده به دوربین را کم میکند.
- ممکن است باعث پراکندگی نور شود.

## بخش دوم:

هر دریچه ای که ایجاد می کنیم باعث تشکیل یک تصویر می شود. پس در این حالت، دو تصویر تشکیل خواهد شد. به نسبت میزان فاصله دو دریچه، بخشی از این دو تصویر روی هم می افتند و باهم تداخل پیدا می کنند و تصویر تار می شود. در این سوال چون تصویر ما شامل رنگ های ساده است، در بخشی از دو تصویر که باهم تداخل پیدا می کنند، نور رنگ ها روی هم افتاده و ترکیب رنگ هارا را مشاهده می کنیم.

اگر بخواهیم به طور دقیق فاصله هارا بررسی کنیم و بفهمیم دقیقا چه تصویری روی film ایجاد می شود می توانیم با توجه به اسلاید ها محور های زیر را در نظر بگیریم:



محور اول نسبت به دریچه بالایی و محور دوم نسبت به دریچه پایینی است.

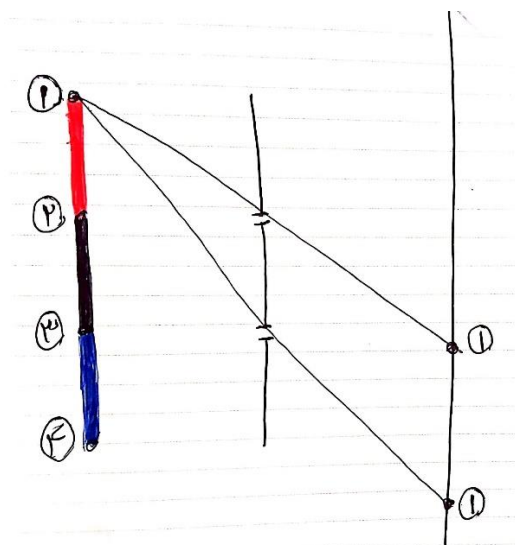
نسبت های زیر را داریم:

$$x = f \frac{x}{z} , y = f \frac{y}{z}$$

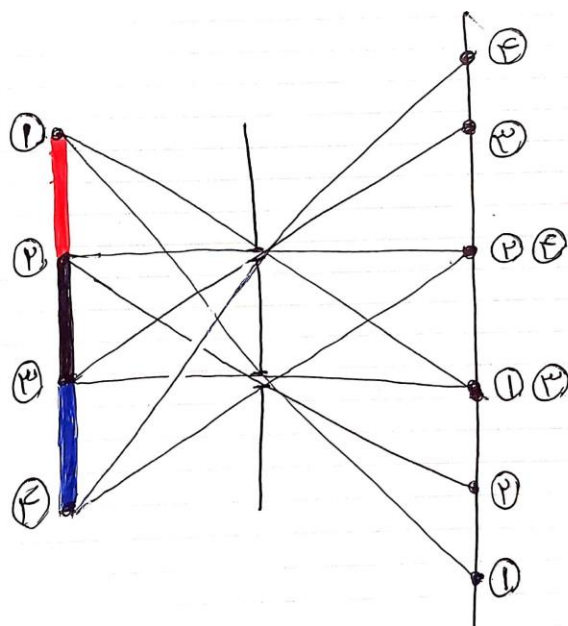
که  $f$  فاصله کانونی است (فاصله barrier از film). در این سوال با توجه به اینکه barrier دقیقا در وسط film و جسم قرار گرفته است،  $Z$  برابر با  $f$  است. پس در اینجا برای هر نقطه روی film، نوری که از دریچه بالایی به آن وارد شده نقطه  $(X1, Y1)$  از تصویر است. و نوری که از دریچه پایینی به آن وارد شده نقطه  $(X2, Y2)$  از تصویر است. تصویر هم با حفظ طول های اصلی ثبت می شود.

با توجه به این موضوع، 4 نقطه مرزی تصویر را شماره گذاری می کنیم و تصویر این نقاط را روی film بدست می آوریم.

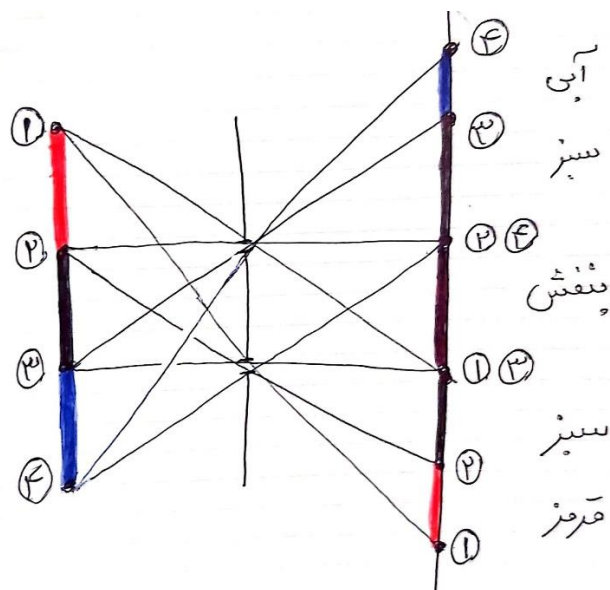
تصویر هر نقطه یکبار توسط دریچه بالا و یکبار توسط دریچه پایین در دو مکان مختلف ثبت می شود. به همین جهت هم دو تصویر ایجاد می شوند. مثلا برای نقطه 1 به صورت زیر می شود:



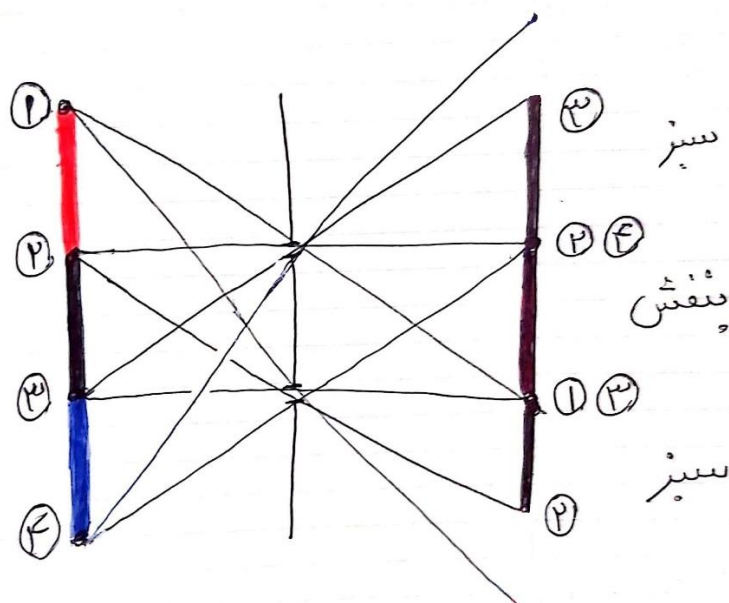
به همین صورت می توانیم محل تصویر نقاط مرزی را روی film پیدا کنیم. تصویر نقاط دیگر هم که بین آن ها می افتد.



در نتیجه دو تصویر برعکس از شی، زیر همدیگر ایجاد می شوند که بخش قرمز تصویر بالایی با رنگ آبی تصویر پایینی overlap دارد و این بخش روی film به رنگ بنفش در می آید.



حالا اگر طول film ما با توجه به تصویر سوال، هم اندازه شی باشد، نور هایی که از نقطه 3 تا 4 از دریچه بالایی عبور میکنند از بالای film میگذرند و نور هایی که از نقطه 1 تا 2 از دریچه پایینی عبور میکنند از پایین film میگذرند و روی film نمی افتند. پس تصویر به صورت زیر می شود:



در نتیجه روی film با این اندازه، به ترتیب رنگ های سبز-بنفش-سبز خواهیم داشت.

منابع: [لینک](#) و اسلاید ها

## سوال دوم:

این تصویر با دوربین لنزدار گرفته شده است.

**دلیل:** روش کار این دو دوربین باهم تفاوت دارد. دوربین pinhole یک دریچه دارد که در واقع پرتوهای نور از دریچه عبور کرده و به صفحه film می‌رسند، و به این صورت تصویر ثبت می‌شود. ما تنها اندازه دریچه را در آن بطوری تنظیم می‌کنیم که بتوانیم تصویری مناسب و با کمترین میزان تاری را ثبت کنیم. این دوربین، تصویر همیشه فوکوس می‌شود، در حالی که در دوربین لنز دار، با تنظیم موقعیت لنز، تصویر به فوکوس می‌رسد.

تعریف عمق میدان: DOF محدوده‌ای از عمق (فاصله تا دوربین) است که اشیاء تقریباً با وضوح مناسب دیده می‌شوند. در تصویر داده شده در سوال در واقع به ناحیه وسط که تصویر در آن خوب افتاده DOF می‌گویند.

تصاویری که با دوربین pinhole به دست می‌آیند از جلوی دوربین تا بی نهایت عمق میدان دارند اما به وضوح تصاویر به دست آمده با یک لنز، به ویژه یک لنز اصلاح شده، نیستند.

اما دوربین لنزدار از لنز استفاده کرده و پرتوهای یک نقطه از شی را در یک نقطه از film همگرا می‌کند. این نوع دوربین برعکس دوربین pinhole تا بی نهایت عمق میدان ندارد و depth of field آن محدود است. پس مشخص است که این تصویر با این نوع دوربین ثبت شده است. با تغییر نوع لنز یا تغییر فاصله لنز با صفحه دوربین (v) میتوان DOF را تغییر داد.

در دوربین لنز دار با توجه به رابطه  $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$ ، با زیاد کردن v (زیاد کردن فاصله لنز از film) می‌توانیم DOF را نزدیک تر بیاوریم تا نقاط نزدیک را به خوبی ثبت کند و نقاط در عمق دورتر تاری می‌شوند. و هرچه v را در آن کمتر کنیم، DOF بخش‌های دورتر را شامل می‌شود و نقاط دورتر واضح ثبت شده و نقاط نزدیک تر تاری می‌شوند. در تصویر سوال هم بخش وسط که خوب افتاده در DOF دوربین لنزدار قرار دارد اما بخش‌هایی که تاری شده اند بیرون آن قرار دارند. در این دوربین v نه خیلی از film دور است نه خیلی نزدیک، چون مقادیر وسط خوب افتاده و مقادیر دورتر و نزدیکتر تاری شده اند.

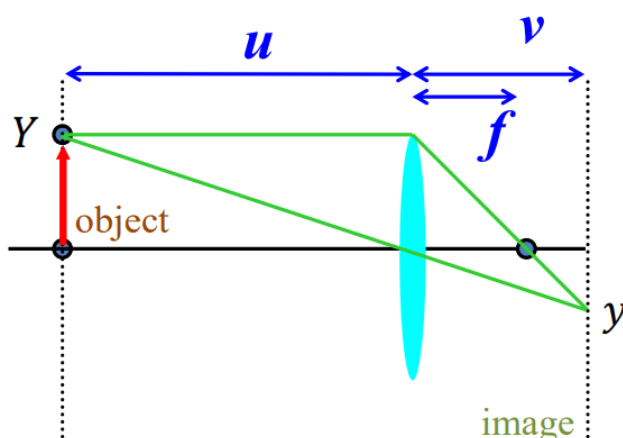
برای بهبود تصویر، در دوربین‌ها معمولاً هم از لنز استفاده می‌شود و هم از دریچه استفاده می‌شود تا بتوان عمق میدان را بهتر کنترل کرد و بتوانیم عمق میدان بیشتری داشته باشیم. و در واقع عمق‌های بیشتری را با کیفیت مناسب ثبت کنیم. در واقع در این حالت، بخش‌هایی که با u بیشتر فاصله می‌گیرند تا حد امکان با استفاده از دریچه حذف می‌شوند، نه اینکه بخش

شوند و تصویر تار شود. البته مثل قبل اندازه دریچه مهم است. باید اندازه آن مناسب باشد و خیلی کوچک هم نباشد تا از وجود لنز استفاده بهینه را ببریم.

منابع: [لینک](#) و اسلاید ها

### سوال سوم:

شی در فاصله 40cm از film دوربین قرار گرفته است، پس با توجه به شکل زیر،  $u + v$  برابر 40cm است. فاصله کانونی یعنی  $f$  برابر 10cm و فاصله لنز با film یعنی  $v$  برابر با 10cm است. در نتیجه فاصله لنز تا شی یعنی  $u$  برابر 30cm می شود.



در اینجا، باید  $u$  و  $v$  طوری تنظیم شوند که دو اشعه نور تابیده شده از یه نقطه در فاصله  $v$  از لنز همگرا شوند. برای اینکار، اگر تشابه دو جفت از مثلث هارا در نظر بگیریم به روابط زیر می رسیم:

$$\frac{y}{Y} = \frac{v}{u} \quad , \quad \frac{y}{Y} = \frac{v - f}{f} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$$

اما در فاصله هایی که در صورت سوال ذکر شده، با حالت ایده آل فاصله داریم. در واقع در این حالت داریم:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{10} + \frac{1}{30} = \frac{2}{15} \neq \frac{1}{10}$$

اگر تصویر بالا را ببینیم متوجه می شویم که اگر film زیادی نزدیک به لنز باشد پرتو های نور هنوز همگرا نشده اند و پخش هستند و به یک ناحیه بزرگتر روی film می تابند. که باعث می شود پرتوهای نقطه های مختلف باهم تداخل زیادی داشته باشند و تصویر تار و ناواضح شود.

علاوه بر این در این مثال فاصله لنز تا film دقیقاً برابر فاصله کانونی لنز است یعنی نقطه کانونی لنز در وسط صفحه film می افتد که باعث می شود تمام نور های موازی از قسمت های مختلف شی در آن نقطه همگرا شوند و انرژی زیادی در آن نقطه جمع شود و نور زیادی داشته باشد. پس در کل، اگر در این فاصله ها از شی تصویر بگیریم، تصویرمان بسیار تار خواهد شد.

برای اصلاح این موضوع و افزایش کیفیت تصویر، باید پارامترها را طوری بگیریم که در معادله لنز نازک یعنی  $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$ ، صدق کنند. نوع لنز ثابت است پس  $f$  ثابت است. همچنین فاصله شی تا film ثابت است پس  $u + v$  ثابت است.

$$u + v = 40\text{cm}$$

$$f = 10\text{cm}, \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{10} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$$

از این دو معادله اندازه  $u$  و  $v$  بدست می آید:

$$\frac{1}{10} = \frac{u + v}{uv} \rightarrow uv = 400, u + v = 40 \rightarrow u = 20\text{cm}, v = 20\text{cm}$$

پس با توجه به ثابت بودن فاصله شی تا film، لنز را از film دور می کنیم و 10cm به سمت چپ جابجا می کنیم، تا فاصله آن از film، 20cm و فاصله آن از شی نیز 20cm شود.

منابع: اسلاید ها

## سوال چهارم:

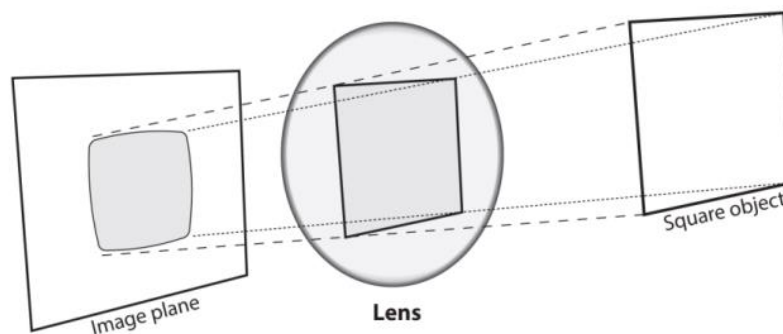
کد کامل تمام قسمت ها همراه با کامنت در فایل HW2.ipynb در همین پوشه قرار دارد.

1.4- ابتدا تصویر را می خوانیم و آن را به GRAYScale می بریم. برای نمایش آن هم می توانیم آن را به RGB ببریم.

```
image = cv2.imread(path, 1)
image_gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY )
image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2RGB )
```

در عمل هیچ لنز ساخته شده ای ایده آل نیست.

برای مثال در شکل زیر، تصویر یک object مستطیلی در اثر عبور از لنز به صورت منحنی در آمده است. میزان اعوجاج آن به پارامتر های مختلفی از جمله میزان wide بودن لنز بستگی دارد. لنز wide تر باعث اعوجاج بیشتر می شود.



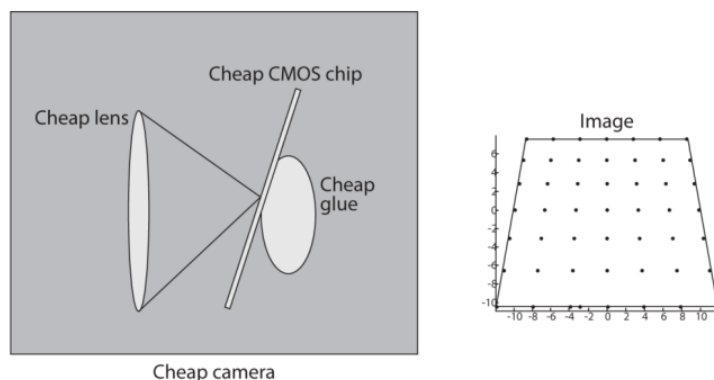
دو نوع اعوجاج لنز داریم:

- اعوجاج شعاعی (Radial) که حاصل از شکل لنز است.
- اعوجاج مماسی (Tangential) که حاصل از فرآیند سوار کردن دوربین است.

اعوجاج شعاعی در مرکز نوری 0 است و با حرکت به سمت مرز تصویر افزایش می یابد. این اعوجاج نسبت به مرکز متقارن فرض می شود و با استفاده از چند عبارت از سری تیلور می توان آن را مدل کرد.



اعوجاج مماسی در فرآیند ساخت دوربین ایجاد می شود و به دلیل موازی نبودن دقیق صفحه تصویربرداری با لنز است.



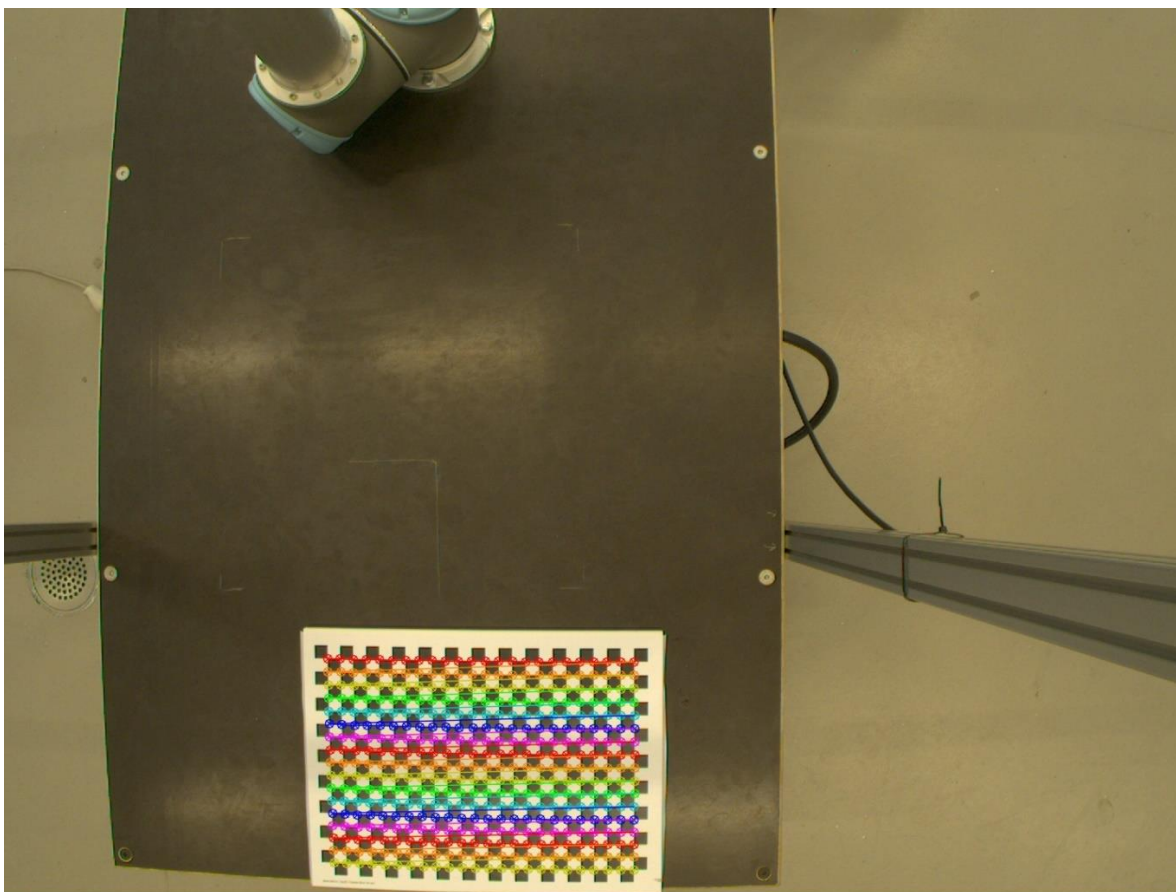
2.4- برای یافتن الگوی صفحه شطرنج، از تابع `cv2.findChessboardCorners()` استفاده کرده و تصویر مورد نظر و نوع الگو (تعداد نقاط درونی هر سطر و ستون) را به عنوان ورودی به آن می دهیم. سپس نقاط گوشه را به ما می دهد.

```
chess_board = (24, 17)
flag, corners = cv2.findChessboardCorners(image_gray, chess_board, None)
```

3.4- برای افزایش دقت نقاط از `cv2.cornerSubPix()` استفاده می کنیم تا نقاط را به صورت sub-pixel به ما بدهد. تصویر مورد نظر، نقاط گوشه، `winSize` و `zeroZone` و `criteria` را به آن می دهیم. `criteria` مشخص می کند پس از طی کردن چند `iteration` یا رسیدن به چه دقتی، `iteration` را متوقف کند.

```
corners_show = cv2.cornerSubPix(image_gray, corners, winSize, zeroZone, criteria)
```

سپس نقاط رو روی تصویرمان نشان می دهیم. تصویری که روی آن نقطه ها مشخص شده را در پوشه `images` با نام `ChessboardCorners` ذخیره کردم (با استفاده از `imwrite`). همچنین پس از کمی کاهش سایز برای نمایش بهتر در صفحه لپتاپ، آن را با `imshow` کشیدم.



4.4- با کمک این تابع با دادن نقاط مختصات صفحه شطرنجی و نقاط بدست آمده و سایز تصویر، ضرایب اعوجاج را بدست می آوریم.

```
flag, matrix, distortion, rvecs, tvecs = cv2.calibrateCamera(obj_points, img_points,  
image_gray.shape[:::-1], None, None)
```

5.4- ضرایب اعوجاج به صورت زیر هستند.

```
k1 = - 0.20625468220093468  
k2 = 0.19895320011233164  
p1 = - 0.0008226067017545929  
p2 = - 0.016491390046288943  
k3 = - 0.18016533311994923
```

6.4- ابتدا می‌توانیم ماتریس دوربین را بر اساس یک پارامتر مقیاس‌بندی آزاد با استفاده از تابع `cv2.getOptimalNewCameraMatrix()` اصلاح کنیم.

اگر پارامتر مقیاس‌گذاری آلفا 0 باشد، تصویر `undistorted` را با حداقل پیکسل‌های ناخواسته برمی‌گرداند. بنابراین حتی ممکن است برخی از پیکسل‌ها را در گوشه‌های تصویر حذف کند. اگر آلفا 1 باشد، تمام پیکسل‌ها با تعدادی بخش سیاه اضافی حفظ می‌شوند.

این تابع همچنین ROI تصویر را برمی‌گرداند که می‌تواند برای برش نتیجه استفاده شود.

پس از آن با استفاده از `camera matrix` جدید تصویر را `undistort` کرده و با استفاده از ROI تصویر آن را `crop` می‌کنیم.

```
undistorted = cv2.undistort(new_image, matrix, distortion, None, new_camera_matrix)
x, y, w, h = roi
undistorted = undistorted[y:y+h, x:x+w]
```

تصویر نهایی را در پوشه `images` با عنوان `image5_undistorted_1.jpg` ذخیره کردم.

7.4- برای سهولت `undistort` کردن تصویر، همه مراحل را در تابع `undistort_image` خلاصه کردم. که تصویری که می‌خواهیم `undistort` شود و تصاویری که برای یافتن پارامترها از آن‌ها استفاده می‌کنیم را به عنوان ورودی گرفته و تصویر `undistort` شده را خروجی می‌دهد. حال با کمک تصاویر 1 تا 4 تصویر 5 را `undistort` می‌کنیم.

```
input_images = ['img1', 'img2', 'img3', 'img4']
image_to_undistort = 'img5'
undistorted_2 = undistort_image(input_images, image_to_undistort)
cv2.imwrite("images/image5_undistorted_2.jpg", undistorted_2)
```

خروجی پارامترهای distortion آن به صورت زیر است:

```
k1 = -0.3118552159472387
k2 = 0.24935640580276178
p1 = -0.0018709406145173764
p2 = 0.009470339980000646
k3 = -0.17159193623948688
```

تصویر خروجی را در پوشه images با نام image5\_undistorted\_2 کردم.

برای سهولت مقایسه این روش با قبلی، یک بار دیگر تصویر 5 را با این تابع تنها با کمک تصویر 1 undistort می کنیم.

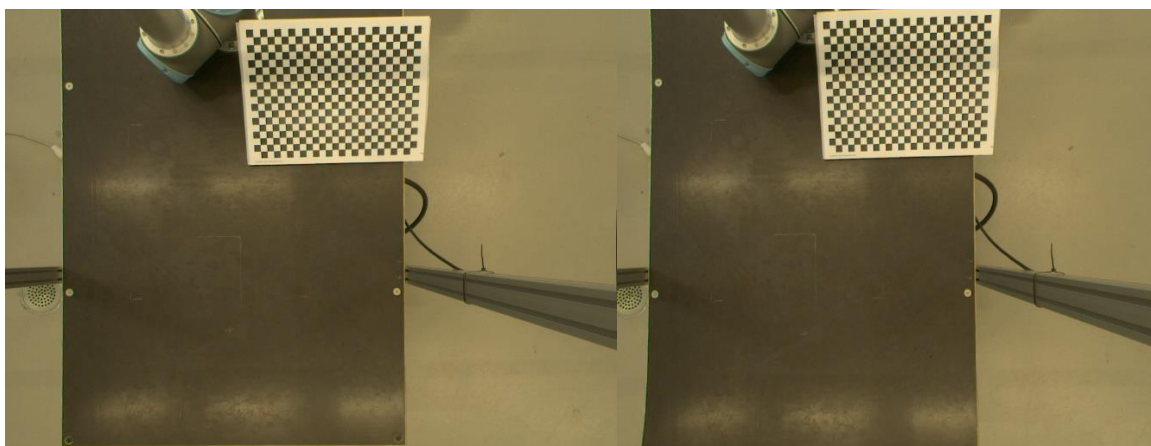
```
input_images = ['img1']
image_to_undistort = 'img5'
undistorted_1 = undistort_image(input_images, image_to_undistort)
cv2.imwrite("images/image5_undistorted_1.jpg", undistorted_1)
```

خروجی پارامترهای distortion آن به صورت زیر است:

```
k1 = -0.20625468220093468
k2 = 0.19895320011233164
p1 = -0.0008226067017545929
p2 = -0.016491390046288943
k3 = -0.18016533311994923
```

تصویر خروجی را در پوشه images با نام image5\_undistorted\_1 ذخیره کردم.

می بینیم که وقتی از تصویر 1 تا 4 برای بدست آوردن پارامتر ها استفاده کردیم ضرایب distortion دقیق تر بدست آمده و تصویر 5 بسیار دقیقتر و بهتر undistort شده است.



در واقع اگر ما فقط از یک صحنه عکس بگیریم، مطمئن نیستیم حتما این صفحه شطرنجی بر دوربین ما عمود است یا نه. ممکن است زاویه داشته باشد، بنابراین بهتر است چندین تصویر ثبت کنیم تا برآیند آن ها پارامترهای calibration را به ما بدهد.

منابع: اسلاید ها - [docs.opencv.org](https://docs.opencv.org) - [geeksforgeeks](https://www.geeksforgeeks.org)