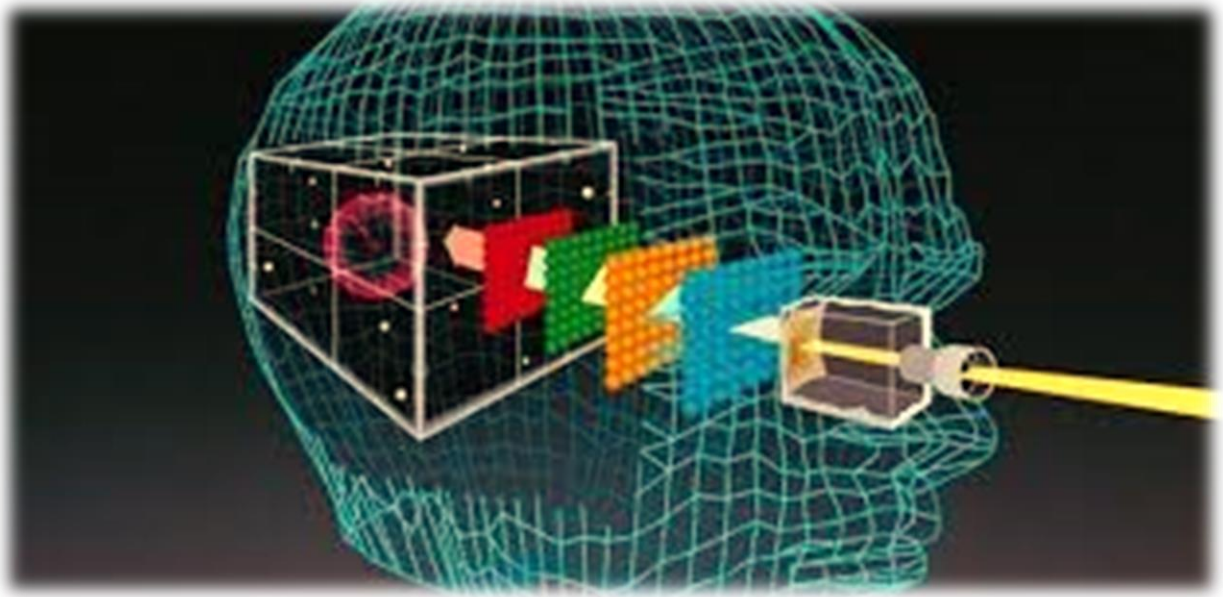


بینایی کامپیوتر

Computer Vision

میلاد سلطانی

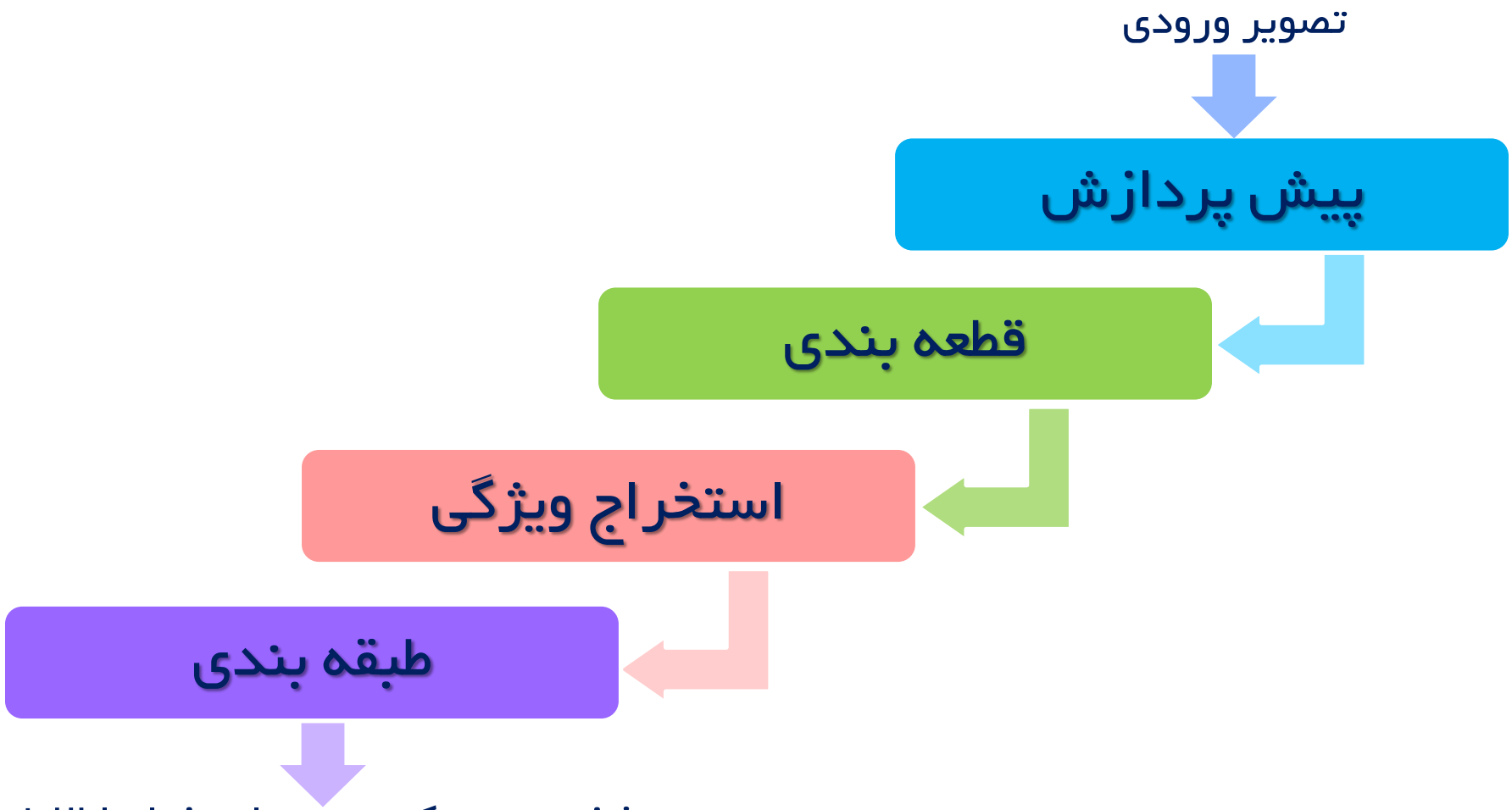
فصل دوم

- تصویر دیجیتالی چیست؟
- ساختار دوربین و تشکیل تصویر
- کالیبراسیون دوربین
- حسگرها و اخذ تصویر
- نمونه برداری و کوانتیزاسیون
- تصویر دیجیتال و انواع آن
- رزولوشن مکانی و شدت روشنایی
- تصاویر رنگی
- انواع فضاهای رنگی

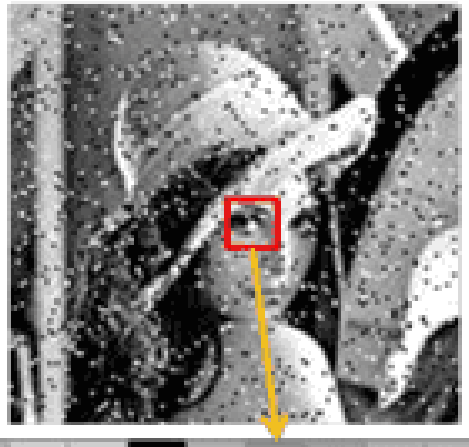
تصویر برداری دیجیتالی

Digital Imaging

ساختار سیستم بینایی کامپیوتر

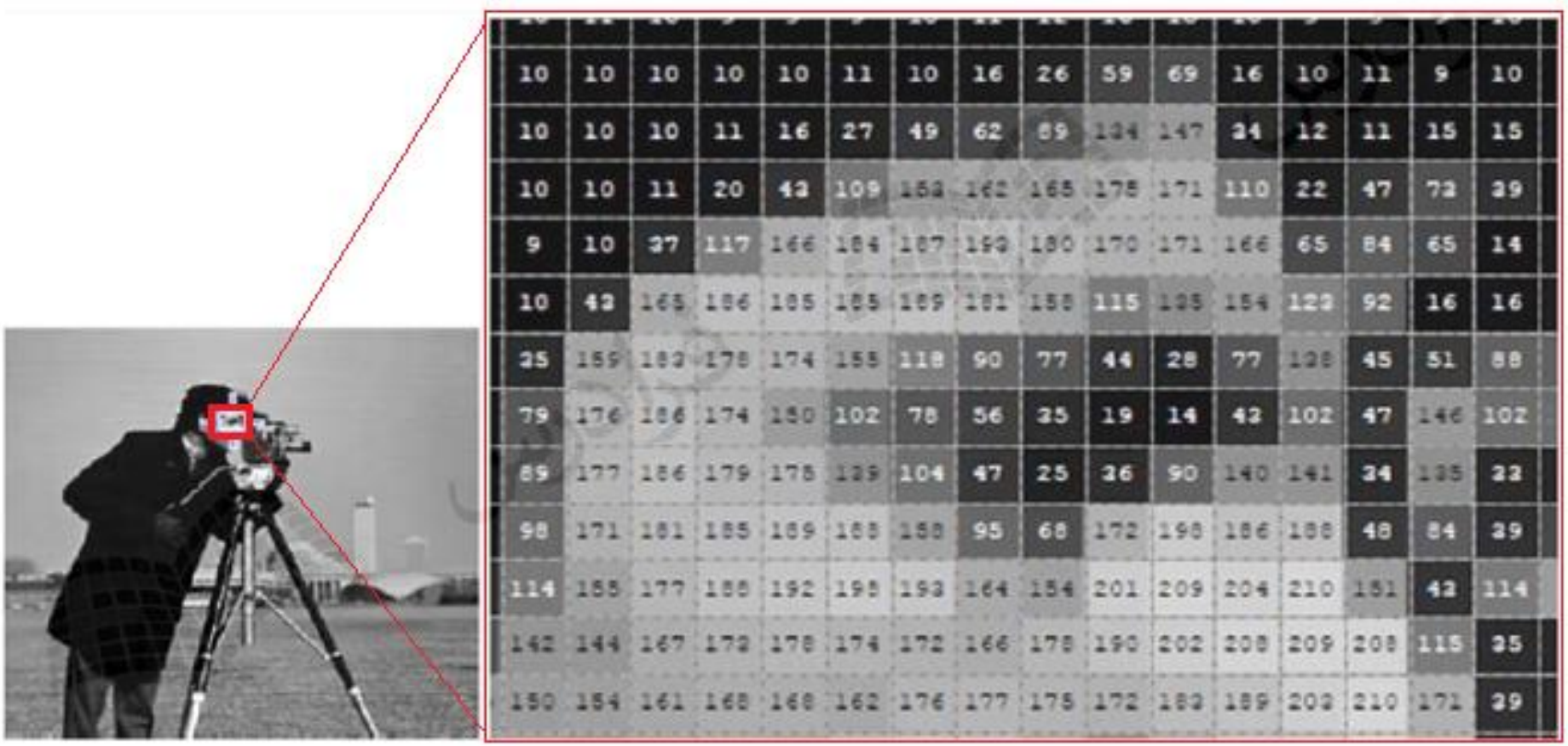


تصویر دیجیتال چیست؟



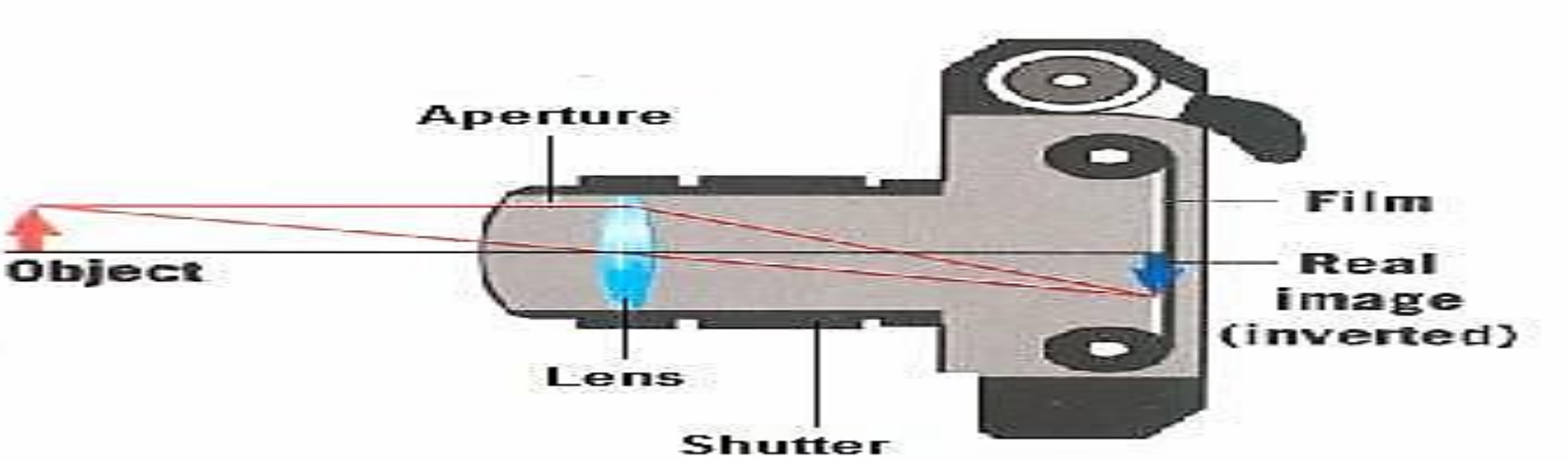
184	175	179	208	207	0	174	142	158	176	181	186	193	195
201	170	179	216	217	255	91	92	103	105	129	166	255	200
202	165	200	214	160	136	154	153	135	88	57	64	114	175
188	189	207	131	107	121	118	103	144	107	99	84	77	119
202	195	94	56	53	39	31	255	35	20	50	255	255	125
198	88	35	22	21	19	15	48	120	0	5	59	132	132
111	54	25	28	60	0	33	67	212	196	73	72	107	121
107	108	68	37	101	74	56	125	235	255	146	100	106	115
127	145	136	91	99	124	135	194	255	202	160	131	125	119
140	149	152	145	131	115	119	0	130	163	176	154	124	127

تصویر دیجیتال چیست؟

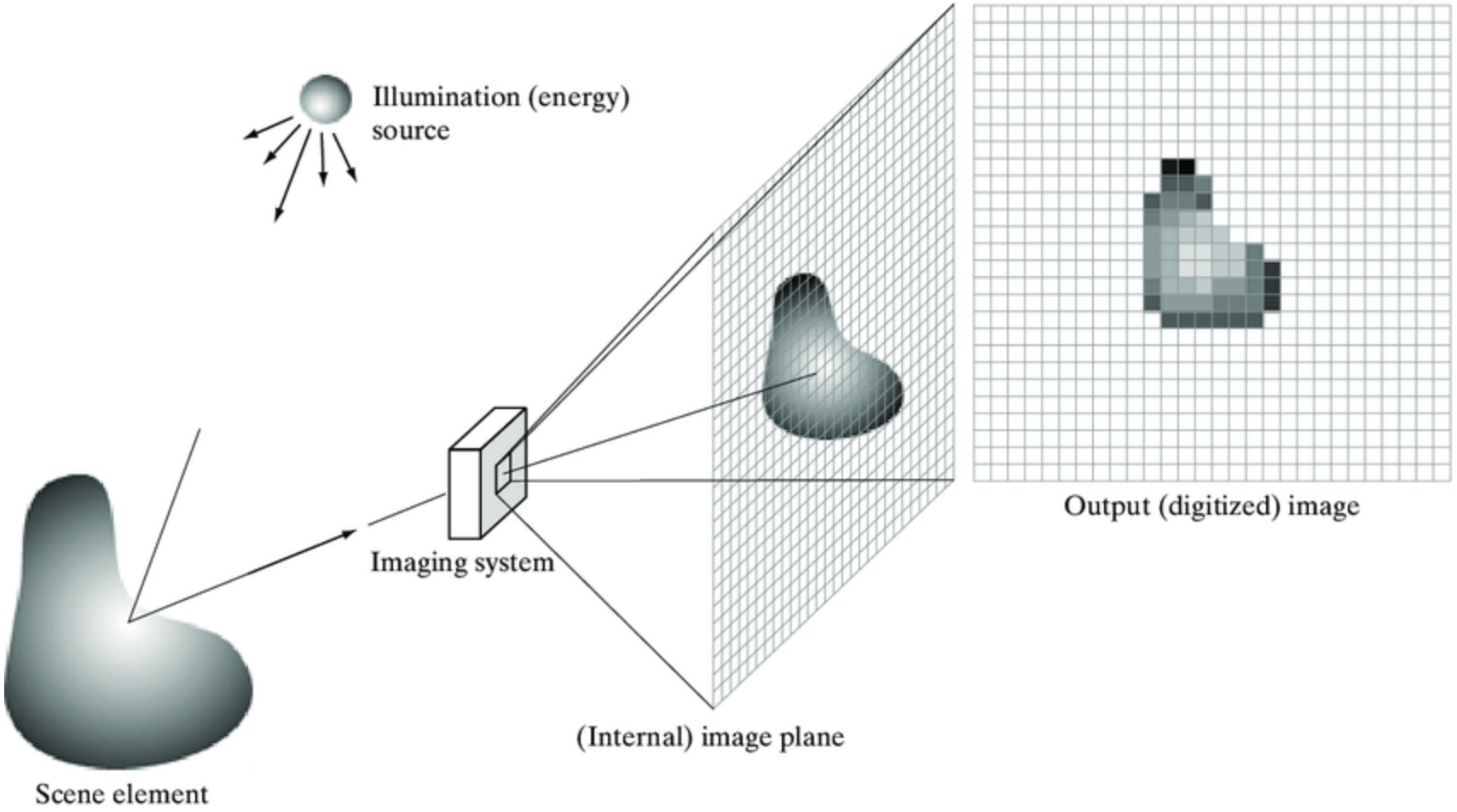


ساختار دوربین

- دوربین دستگاهی است که وظیفه آن تصویر برداری از شیء می‌باشد.
- اجزای یک دوربین:
  - دیافراگم (Aperture): تعیین میزان نور وارد شده و تأثیر بر عمق میدان وضوح تصویر
  - عدسی (Lens)
  - سطح حساس یک سنسور دیجیتال یا فیلم

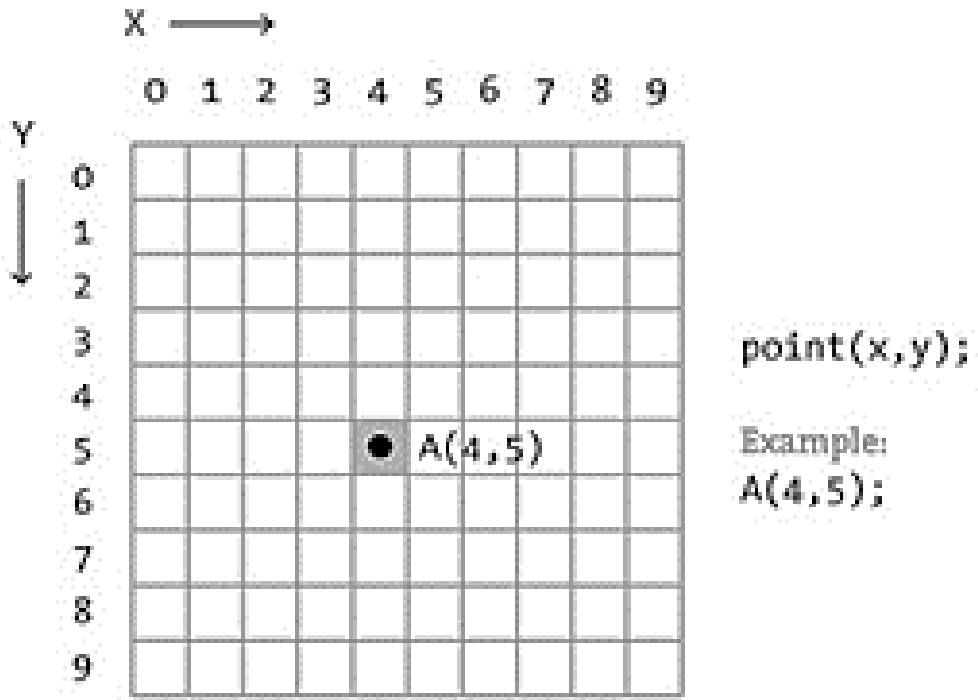


تصویر دیجیتال

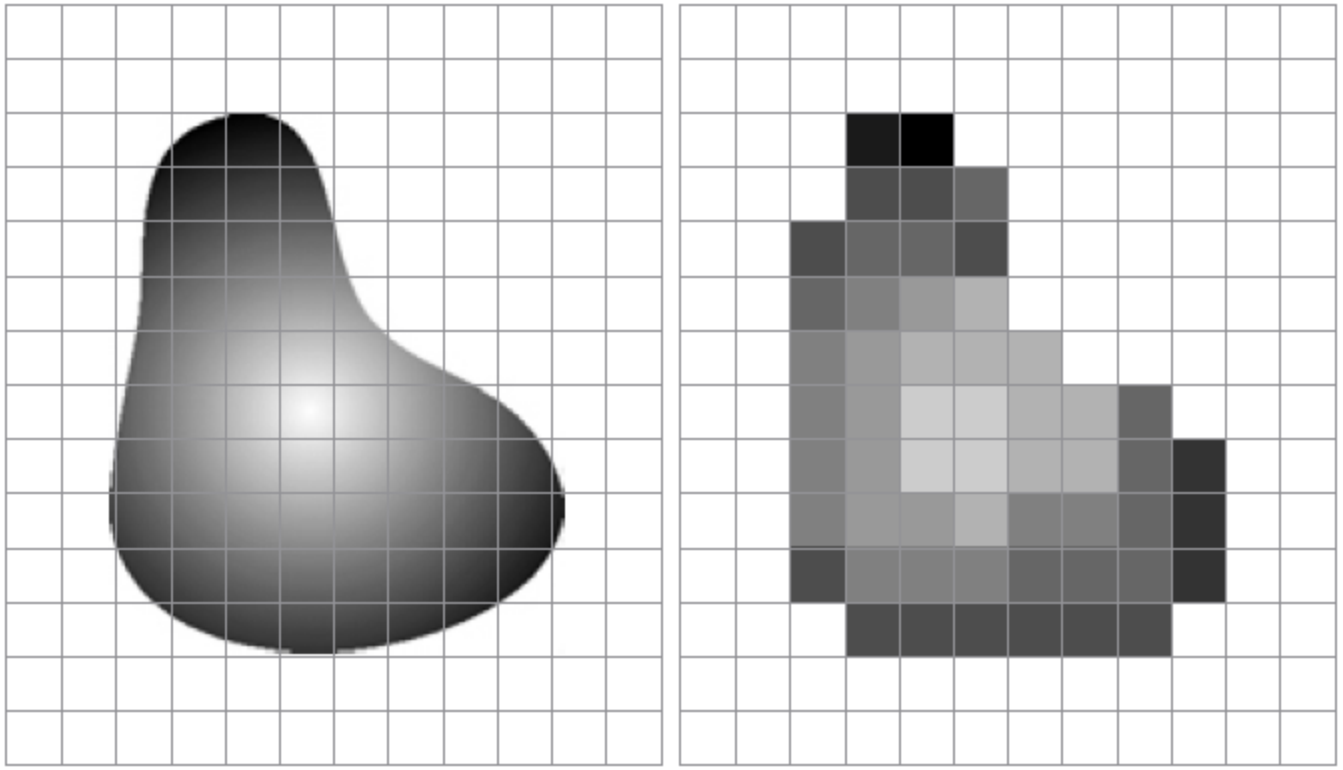


تشکیل تصویر

- نوری که از شیء دریافت می‌شود سیگنالی پیوسته است و باید گسسته شود.
- با کمک (Image Buffer) که ماتریسی از پیکسل‌ها است، انجام می‌شود.

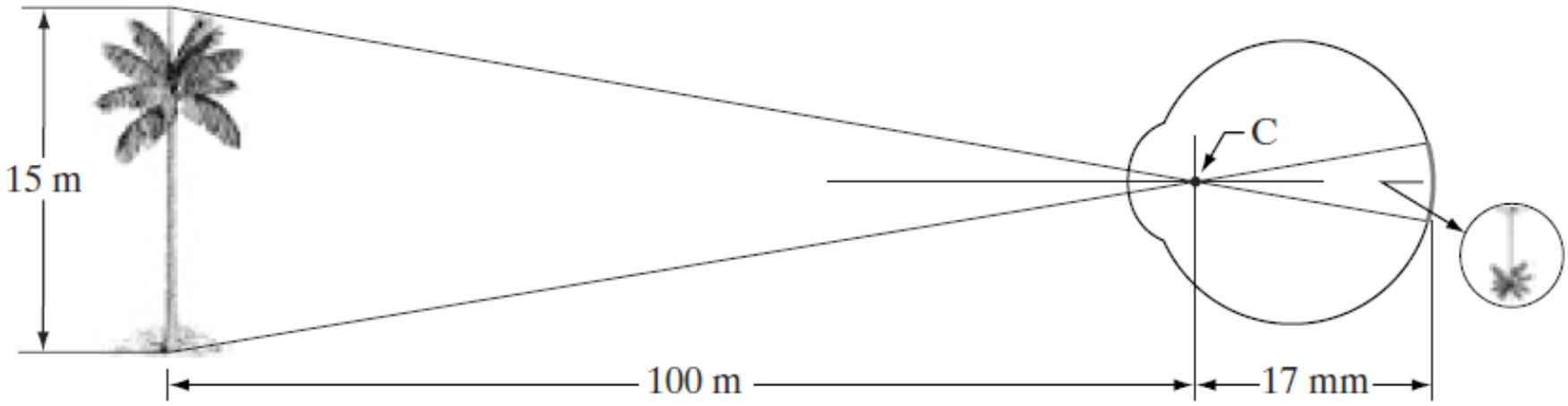


تشکیل تصویر



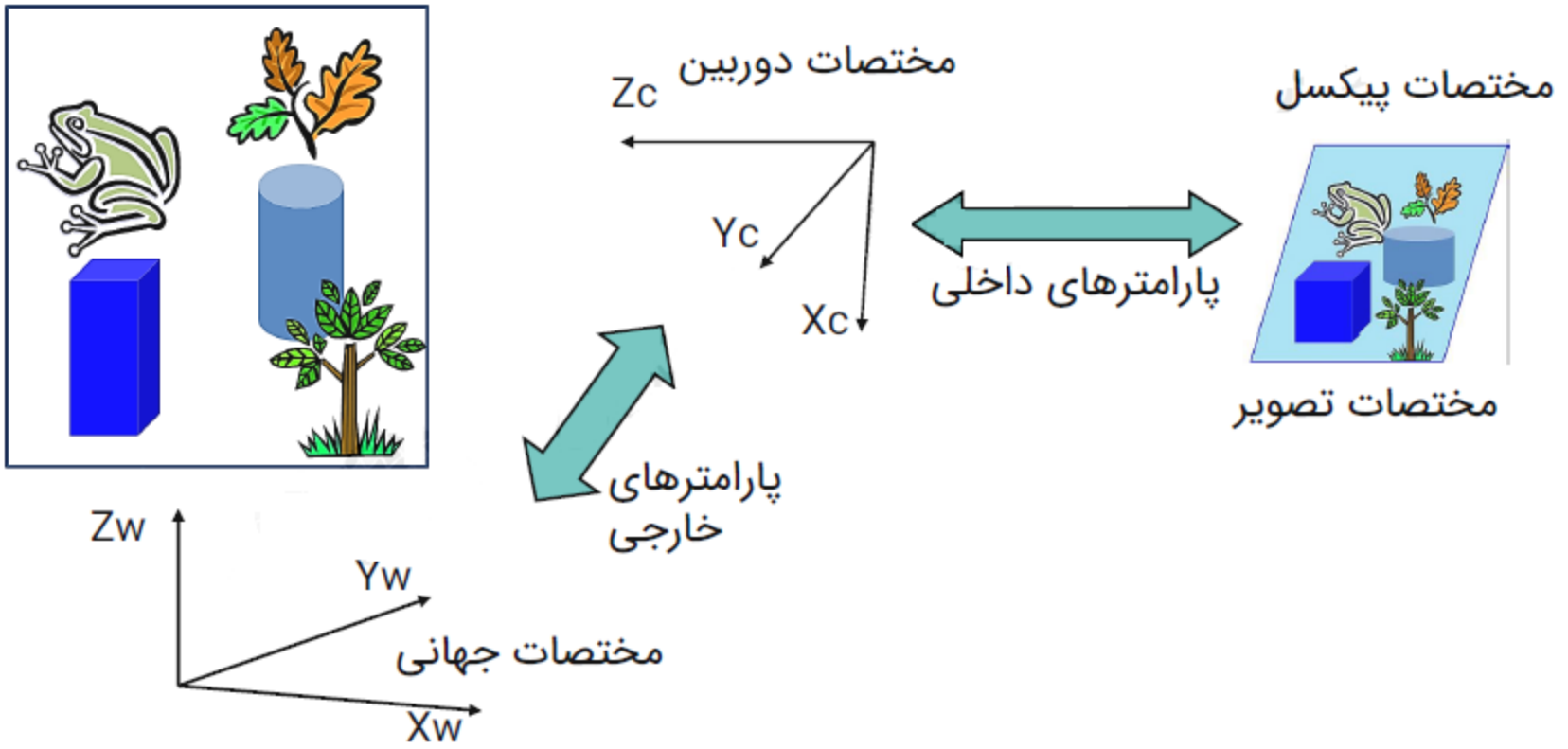
ارتباط شیء و تصویر

- رابطه بین شیء و تصویر آن در دوربین
  - فاصله کانونی d
  - مرکز عدسی C



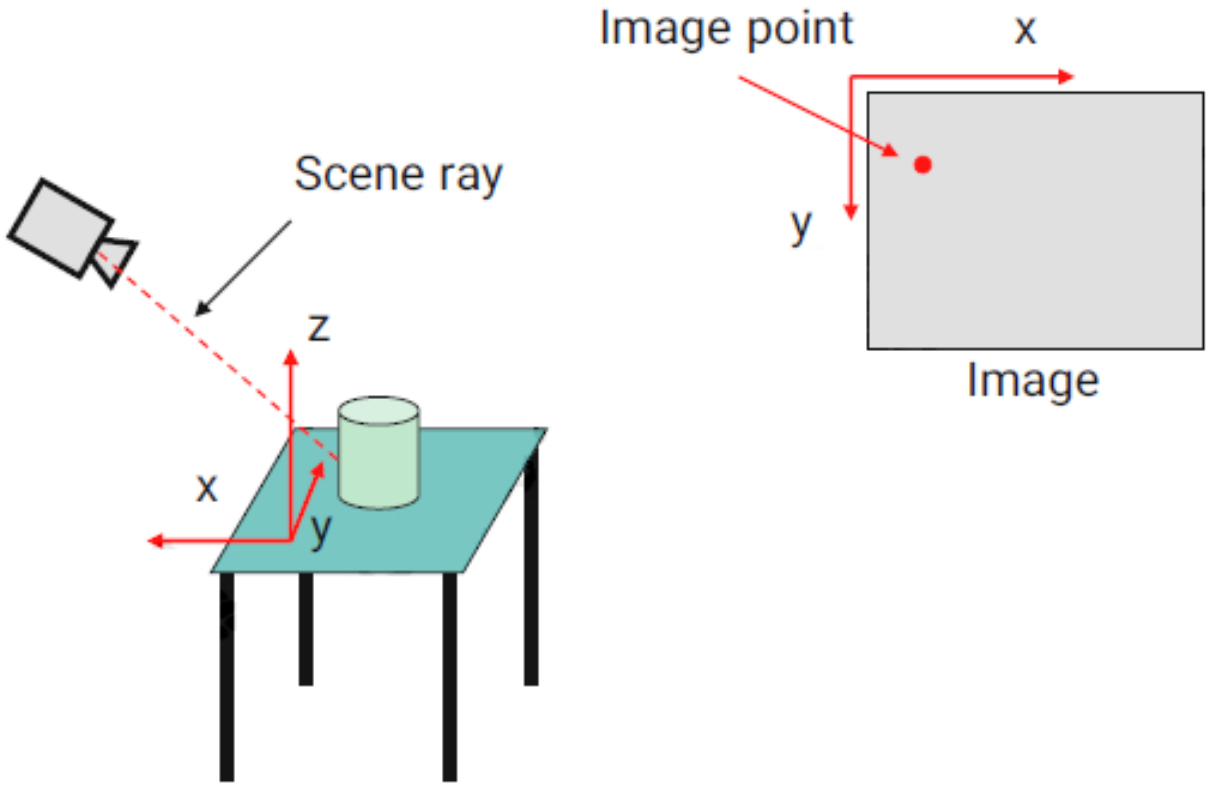
پارامترهای دوربین

مختصات شی و تصویر



کالیبراسیون دوربین

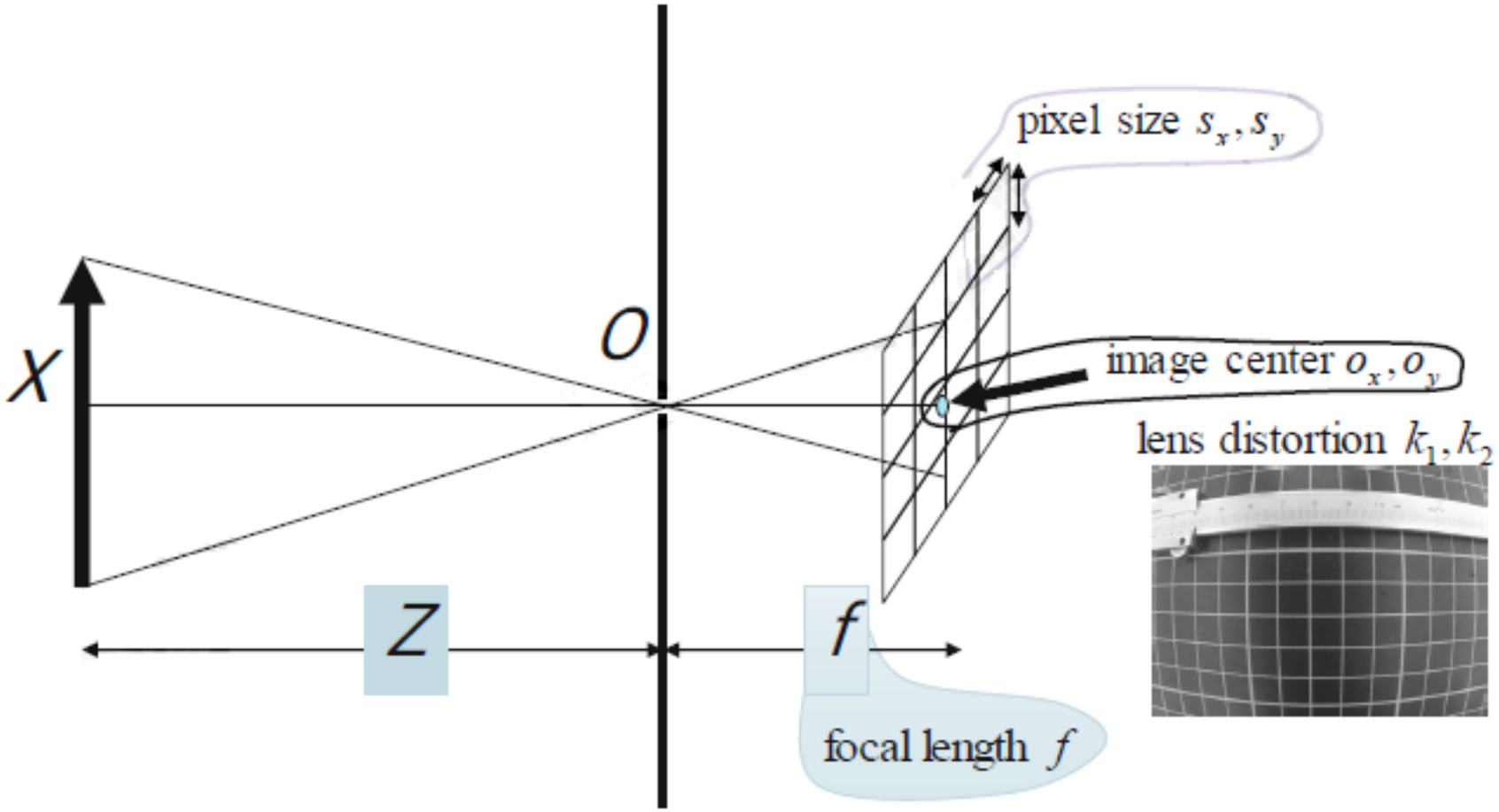
- هدف کالیبراسیون بدست آوردن پارامترهای داخلی و خارجی است.



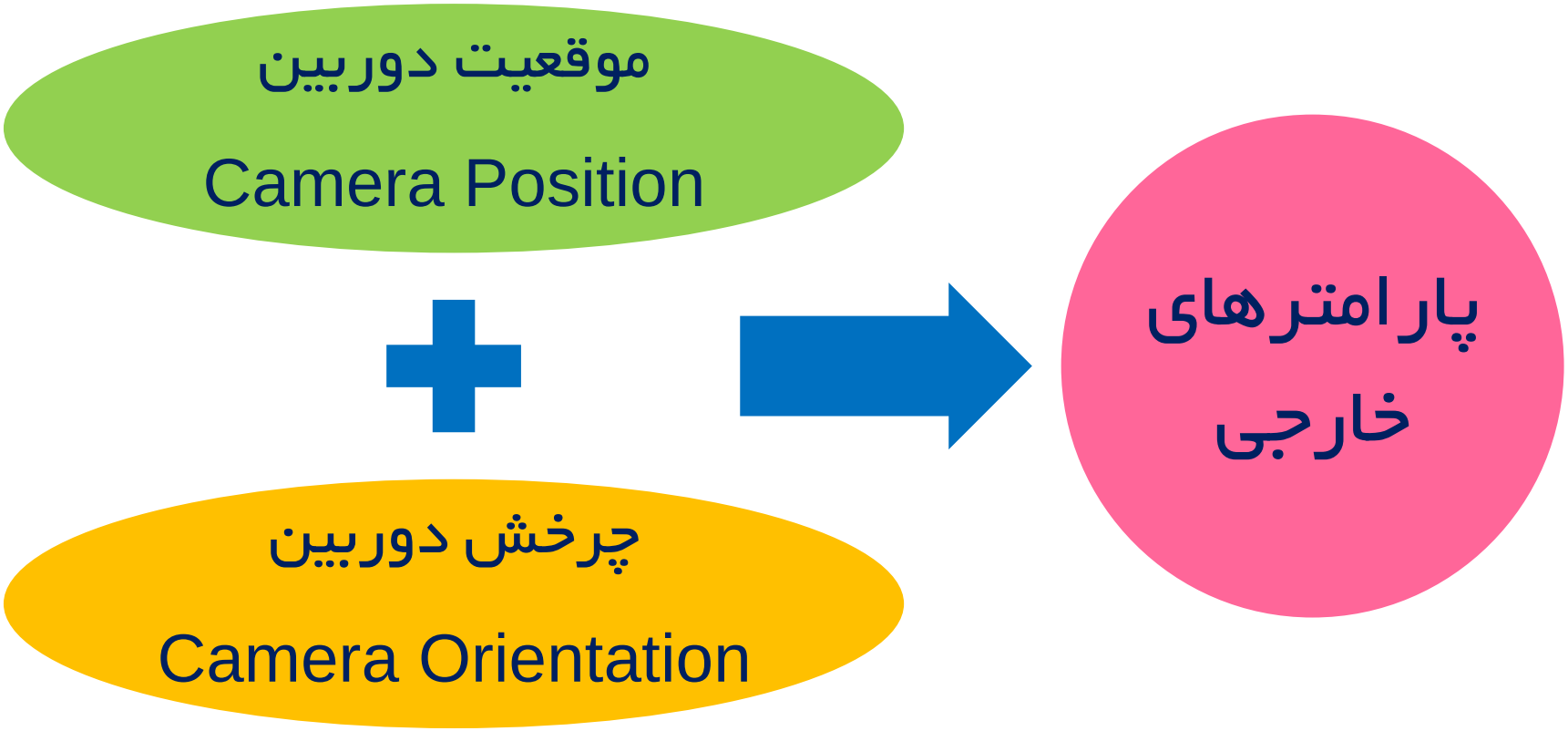
پارامترهای داخلی

- فاصله کانونی f
- اندازه هر پیکسل S_x , S_y
- مرکز تصویر O_x , O_y
- ضریب اعوجاج عدسی ... k_1, k_2,

پارامترهای داخلی



پارامترهای خارجی



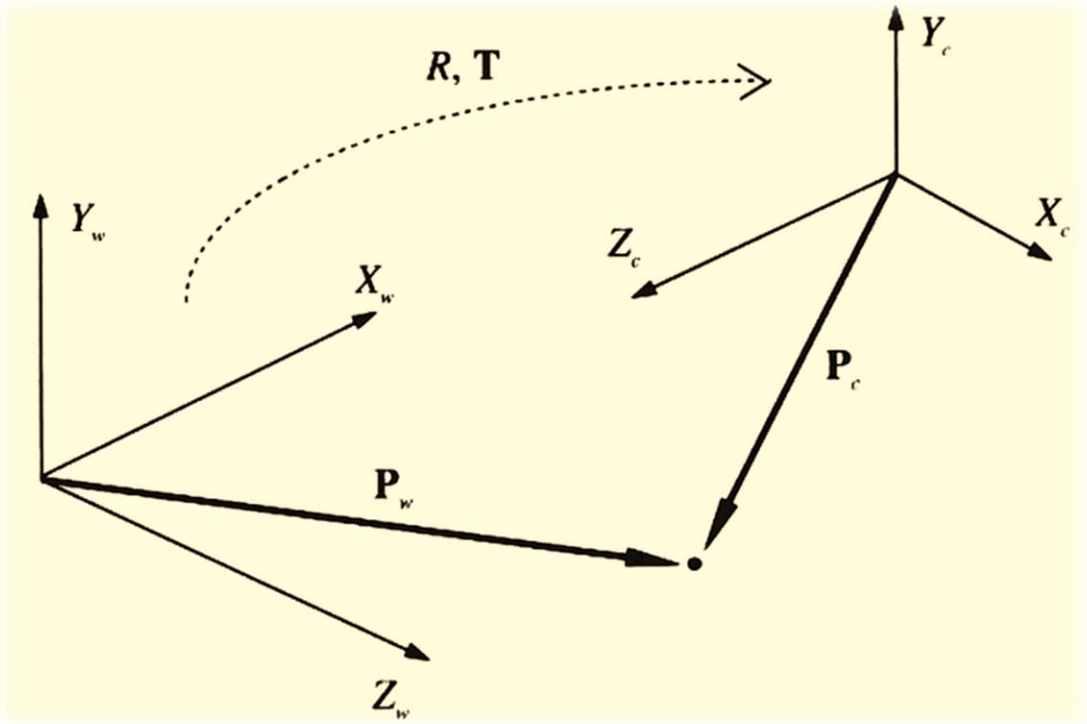
پارامترهای خارجی

$Pc=R\ (Pw + T)$

چرخش پس از انتقال

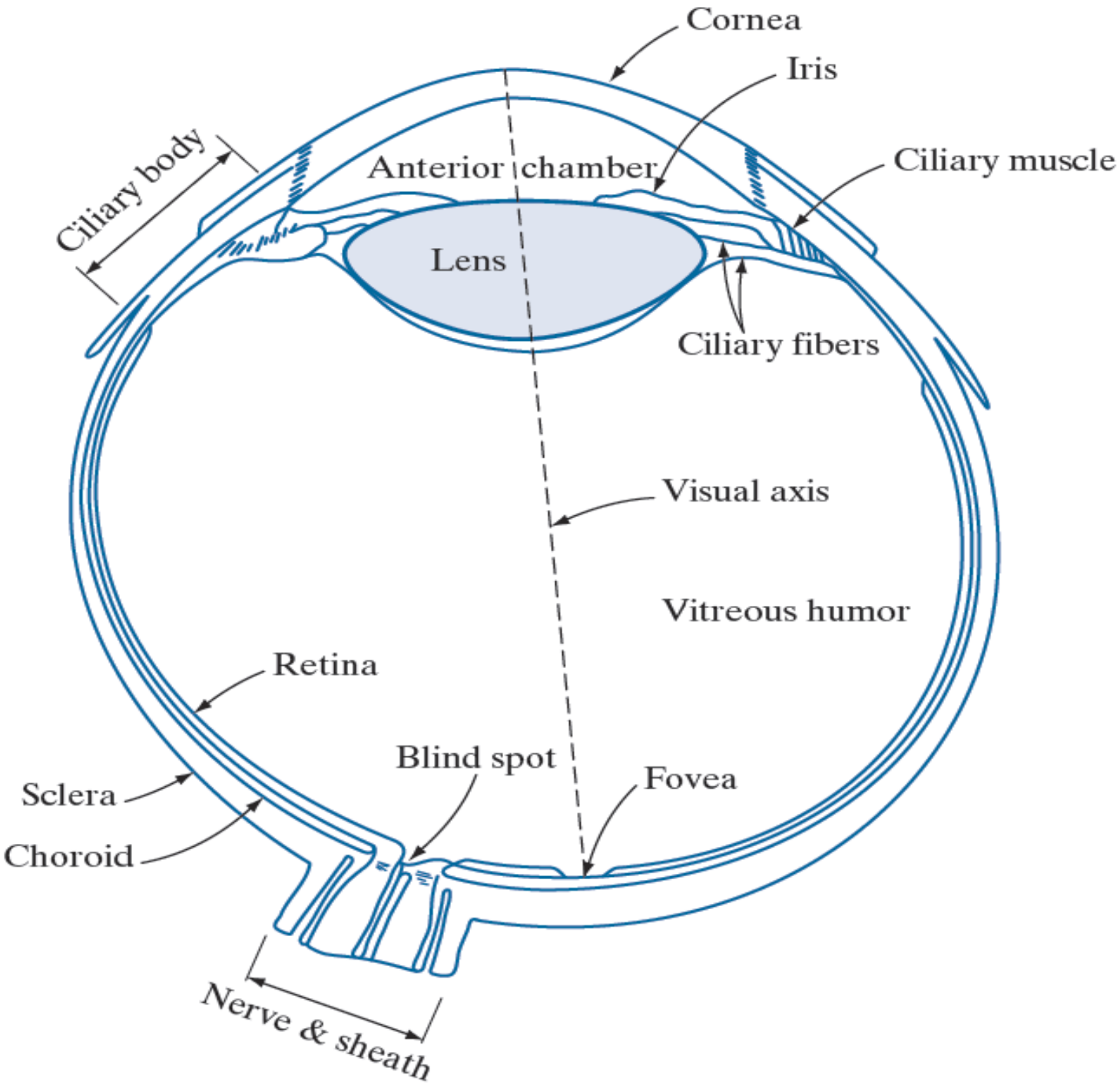
$Pc=(R\ Pw) + T$

انتقال پس از چرخش



ساختار چشم انسان

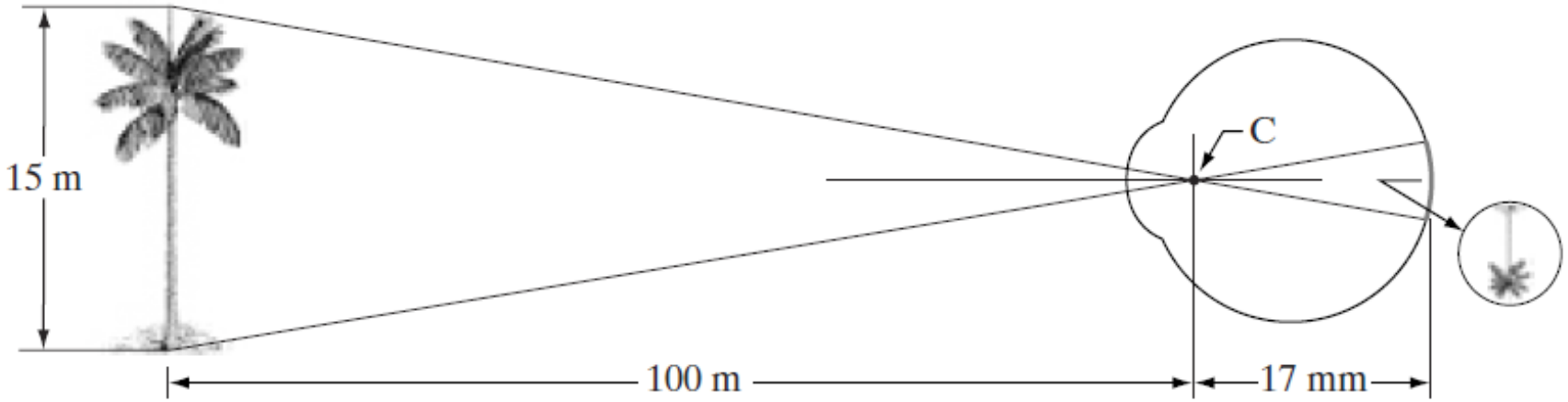
- تقریباً کُروی با قطر میانگین تقریباً ۲۰ میلیمتر است که سه پوسته آنرا محصور کرده:
  - قرنیه (Cornea) و پوشش بیرونی صُلبیه (Sclera)
    - قرنیه بافت سفت و شفاف که سطح جلوی چشم را می پوشاند.
    - صُلبیه پوسته ای غیر شفاف که بقیه کُره چشم را محصور می کند.
  - مشیمیه (Choroid)
    - شامل شبکه ای از رگ های خونی برای تغذیه چشم
    - جلوی مشیمیه عنبیه است که قسمت رنگی چشم است و برای کنترل نور ورودی بزرگ و کوچک می شود.
    - بخش میانی عنبیه مردمک است که بین ۲ تا ۸ میلیمتر تغییر اندازه می دهد.
  - شبکیه (Retina)
    - درونی ترین بخش چشم است که نور واصل از شیء خارج چشم درون آن تصویر می شود.


Cornea
Iris
Ciliary body
Anterior chamber
Ciliary muscle
Lens
Ciliary fibers
Visual axis
Vitreous humor
Retina
Blind spot
Fovea
Sclera
Choroid
Nerve & sheath

تشکیل تصویر در چشم

- در دوربین عکاسی، فاصله کانونی عدسی ثابت است و برای تنظیم، لازم است فاصله بین عدسی و صفحه فیلم برداری تغییر کند.

- در چشم انسان فاصله بین عدسی و منطقه تصویر برداری (شبکیه) ثابت است و برای تمرکز، لازم است که شکل عدسی تغییر کند.
  - تارهای مژه ای عدسی را تغییر شکل می دهند.
  - فاصله مرکز عدسی تا شبکیه حدود ۱۷میلیمتر است (در طول محور دید)



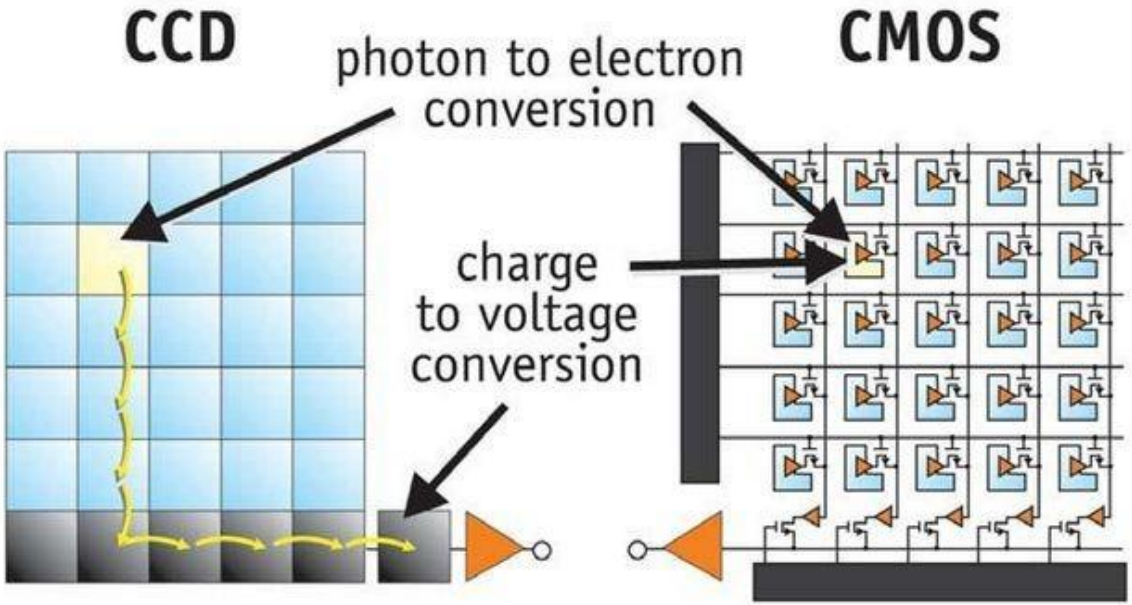
$$\frac{h}{d} = \frac{H}{D} \Longrightarrow \frac{h}{17} = \frac{15}{100} \Longrightarrow h = 2.55\ mm$$

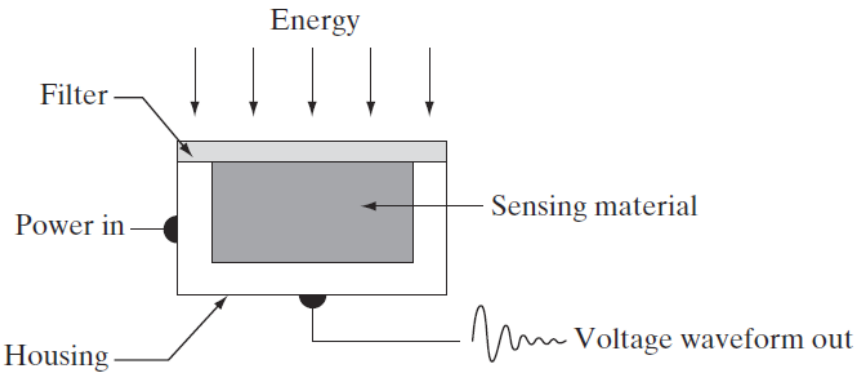
حس‌گرها و اخذ تصویر

- تصاویر توسط مخلوطی از یک منبع تابش و بازتاب یا جذب انرژی از آن منبع توسط عناصر صحنه تصویر برداری شده، تولید می شود.
  - منبع تابش انرژی الکترو مغناطیس یا فرا صوت یا غیره است و با توجه به طبیعت منبع، انرژی تابش یا بازتاب داده شده یا از اشیاء عبور می کند.
- حس‌گرها برای تبدیل انرژی روشنایی به تصاویر دیجیتال سه مدل چیدمان عمده دارند.
  - حسگر تکی – حسگر خطی – حسگر آرایه ای
- **عملکرد حس‌گر:** تبدیل انرژی ورودی به ولتاژ (پاسخ حس‌گر(ها) شکل موج ولتاژ خروجی است). هر حس‌گر یک کمّیت دیجیتال با رقمی کردن پاسخ تولید می‌کند.

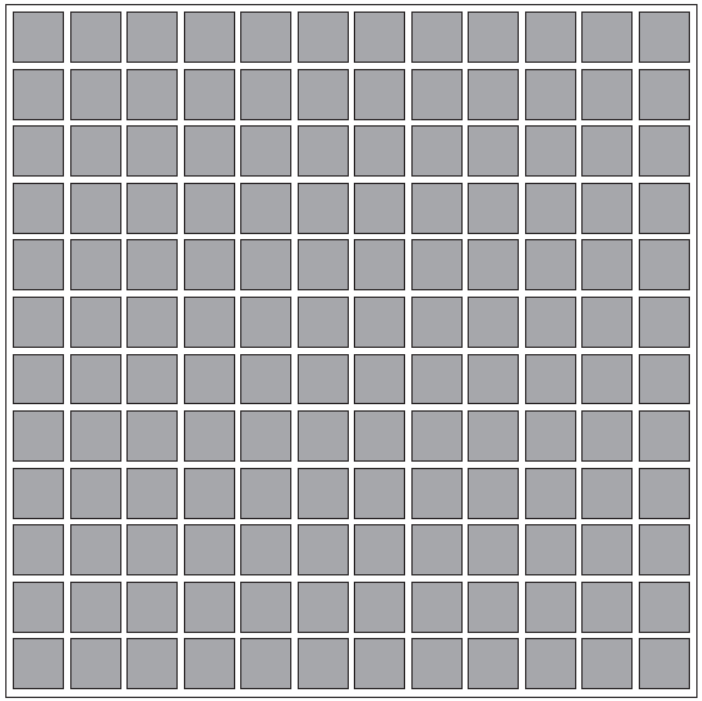
حس‌گرها و اخذ تصویر

- در دوربین دیجیتال، فیلم با آرایه‌ای از حس‌گرها جایگزین شده است.
- هر سلول این آرایه یک دیود حساس به نور است.
  - دیود Charge Coupled Device (CCD)
  - دیود Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)

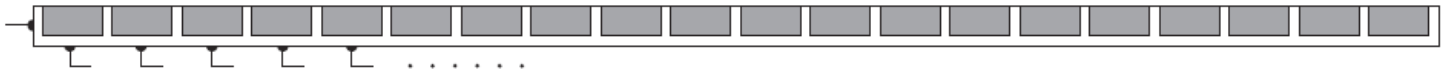




حسگر تکی



حسگر آرایه ای

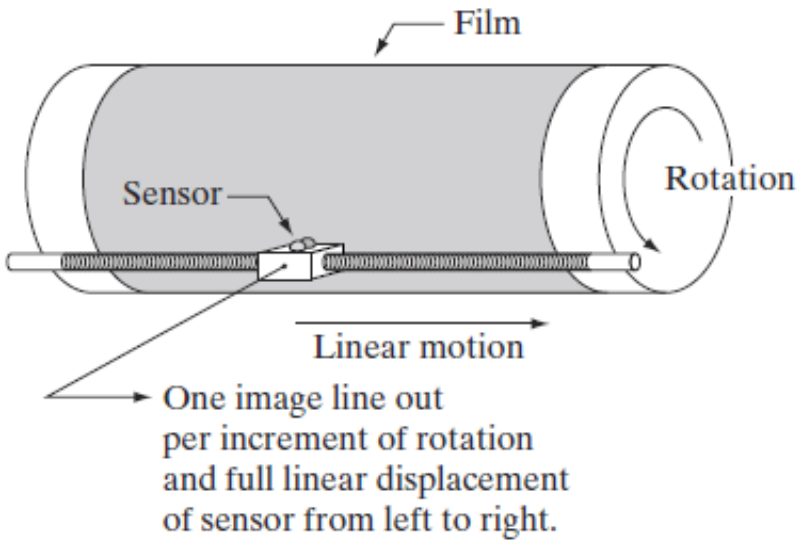


حسگر خطی

اخذ تصویر با حسگر تکی

- آشناترین حسگر از این نوع، دیود نوری است که از مواد سیلیکونی ساخته شده و شکل موج ولتاژ خروجی اش متناسب با شدت نور است.

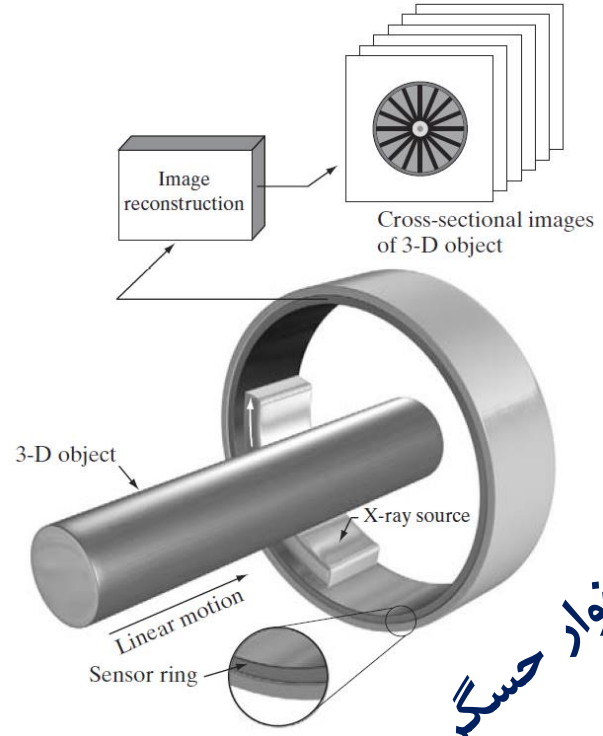
- روش چرخش مکانیکی برای بدست آوردن تصاویر با رزولوشن بالا، نه چندان گران ولی کُند است.



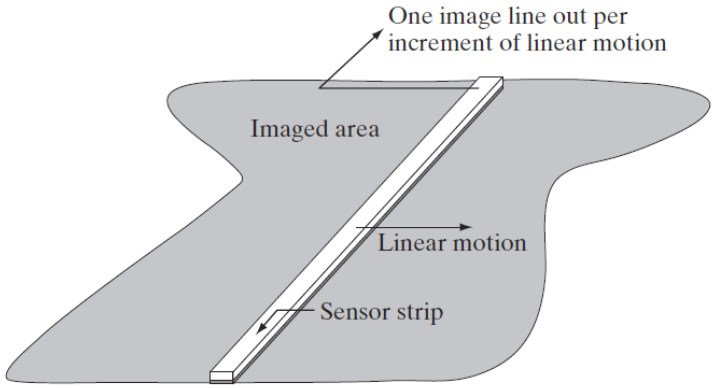
روش چرخش مکانیکی با حسگر تکی

اخذ تصویر با نوارهای حسگر

- نوار سبب می شود عناصر تصویر برداری در یک راستا باشند و حرکت عمود بر نوار، تصویر برداری در راستای دیگر را ایجاد می کند.



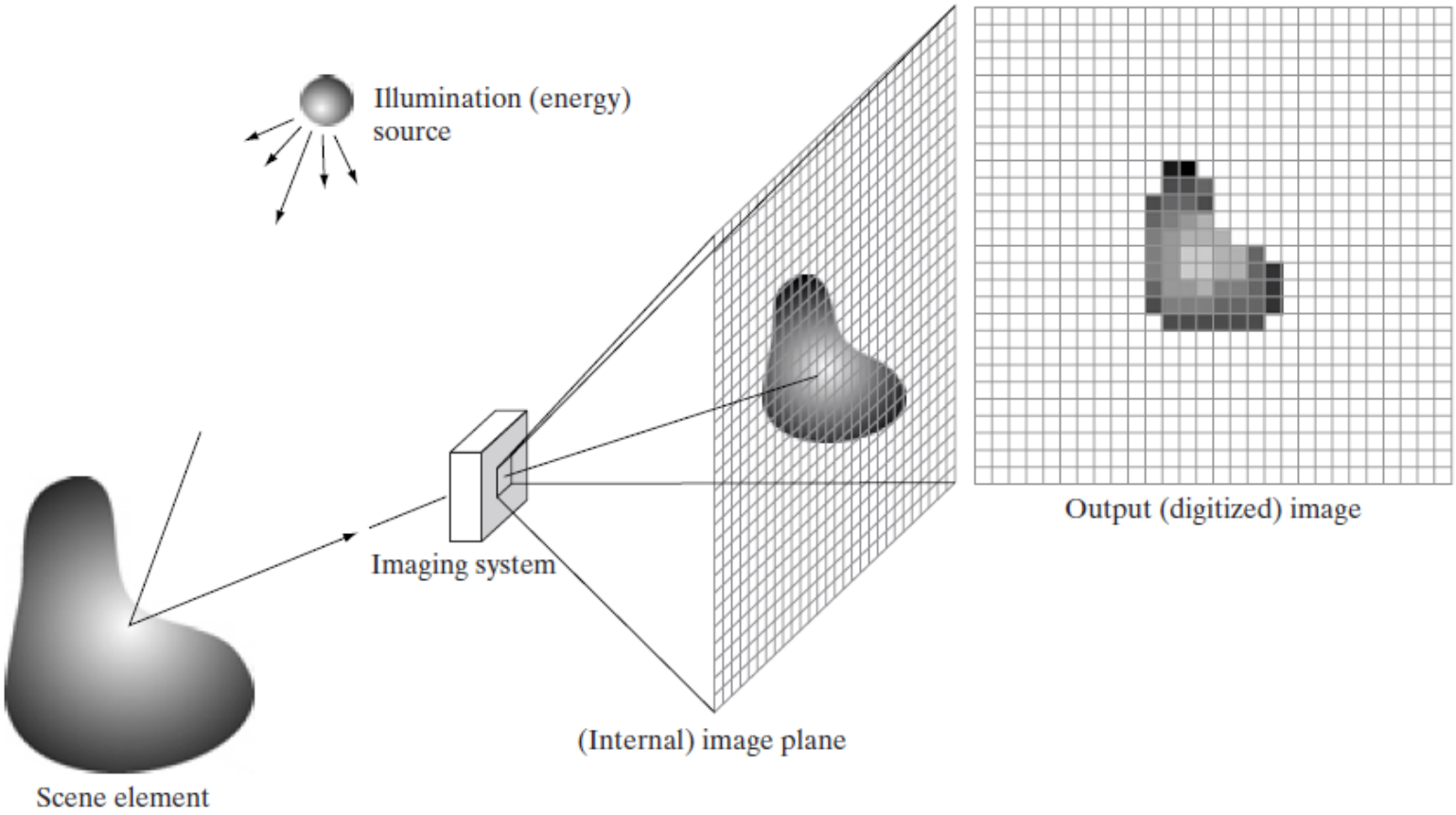
حسگر حلقوی با نوار حسگر خطی



حسگر مسطح با نوار حسگر خطی

اخذ تصویر با حسگرهای آرایه ای

- ساختار اغلب دوربین های دیجیتال بصورت آرایه ای است.
- حسگرهای دوربین های دیجیتال از نوع CCD (Charged Coupled Device) است.
  - پاسخ هر حسگر متناسب با انتگرال انرژی نور تابیده شده بر روی سطح حسگر است.
- مهمترین فایده حسگر دو بُعدی اینست که می توان با متمرکز کردن الگوی انرژی روی سطح آرایه، تصویر کامل را بدست آورد. (نیاز به حرکت ندارد)



مثالی از فرآیند گرد آوری تصویر دیجیتال با آرایه حسگرها

مدل شکل گیری تصویر ساده

- وقتی تصویر با پردازش فیزیکی تولید شده، مقادیر شدت روشنایی آن متناسب با انرژی تشعشع یافته توسط یک منبع فیزیکی است. لذا $f(x,y)$ غیر صفر و محدود است.

$$0<f(x,y)<\infty$$

- تابع $f(x,y)$ با دو مؤلفه مشخص می شود:

(۱) میزان شدت روشنایی منبع روی صحنه مورد نظر $i(x,y)$

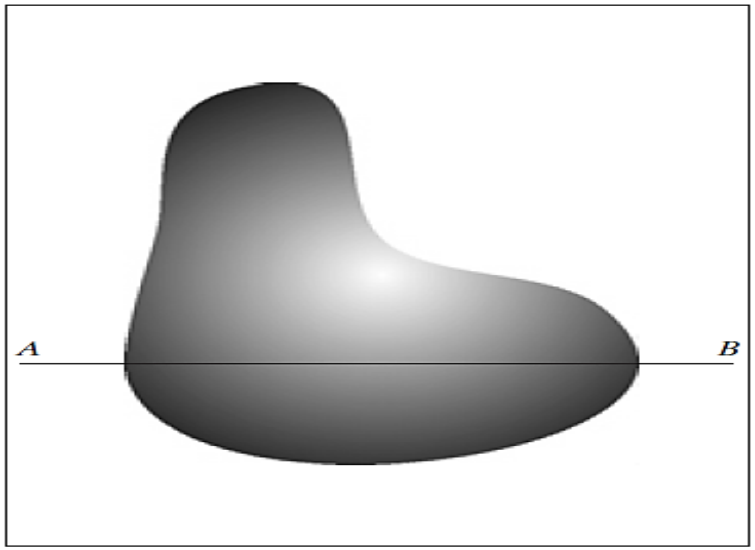
(۲) مقدار سطح شدت روشنایی بازتاب شده توسط اشیاء صحنه $r(x,y)$

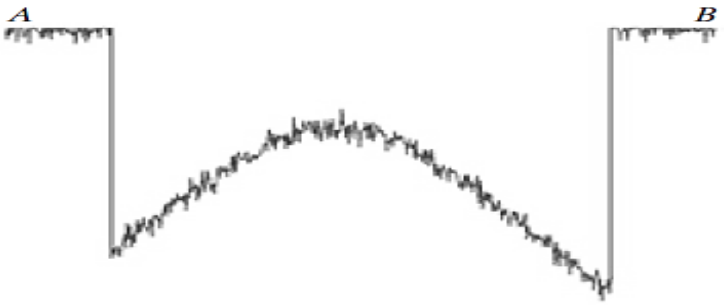
$$f(x,y) = i(x,y).r(x,y)$$

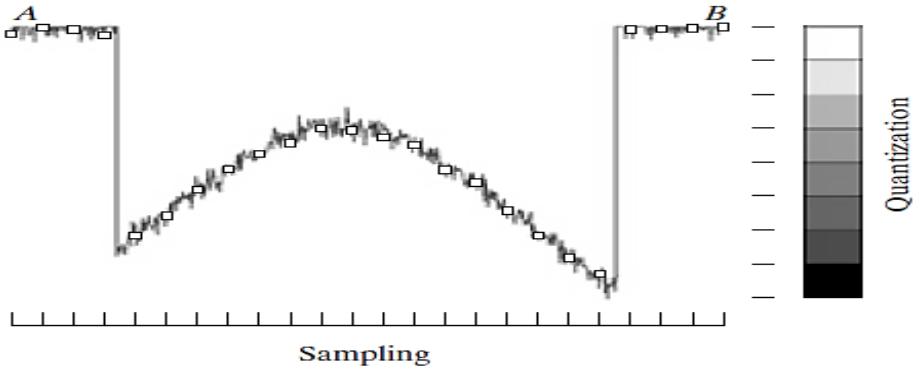
$$0<i(x,y)<\infty \qquad 0<r(x,y)<1$$

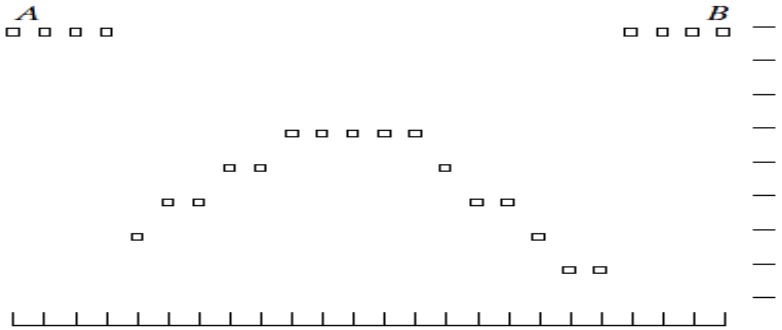
نمونه برداری و کوانتیزه سازی

- برای تولید تصویر دیجیتال باید داده های پیوسته را به شکل دیجیتال (گسسته) تبدیل کنیم:
  - **نمونه برداری (Sampling):** اندازه گیری مقدار برای تصویر در تعداد نقطه مشخص
  - **کوانتیزه سازی (Quantization):** نسبت دهی یک عدد برای مقدار اندازه گیری شده در نقاط نمونه برداری شده (تدریجی سازی)
- در حسگر تکی هیچ محدودیتی برای دقت نمونه برداری نداریم.
- در حسگر خطی، تعداد حسگرهای روی نوار در یک جهت محدودیت ایجاد می کند.
- در حسگر آرایه ای، تعداد حسگرهای آرایه محدودیت در هر دو جهت ایجاد می کند.

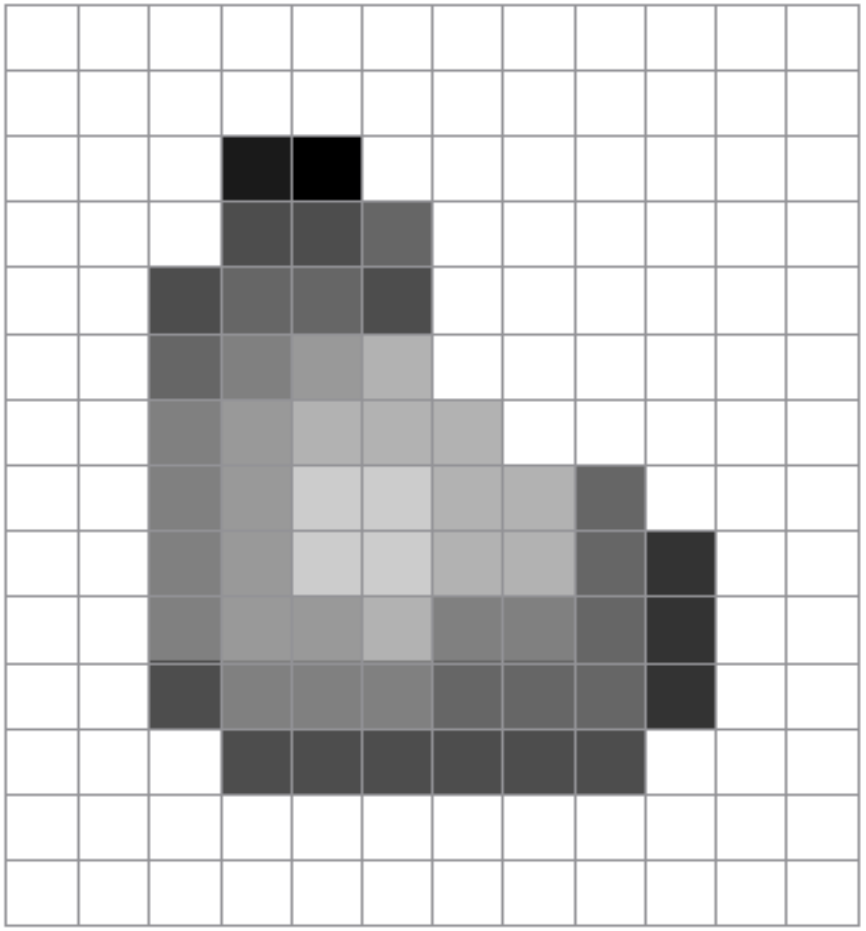




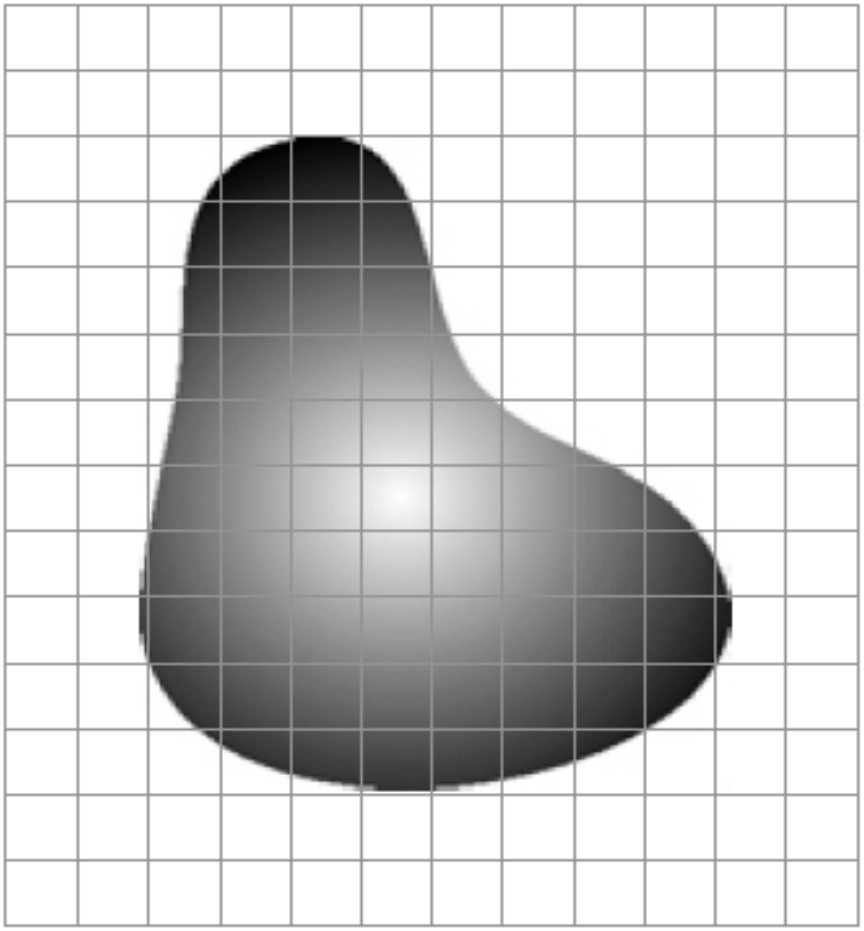




تولید یک تصویر دیجیتال



نتیجه نمونه برداری و
کوانتیزه سازی تصویر



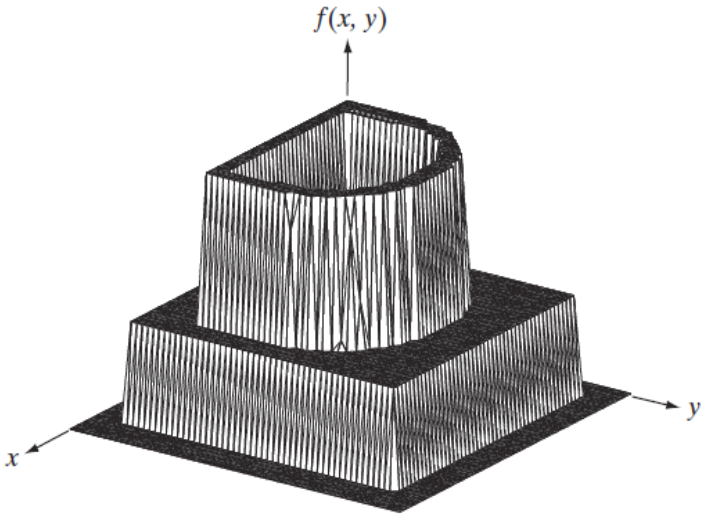
تصویر پیوسته افکنش شده روی
حسگرهای آرایه ای

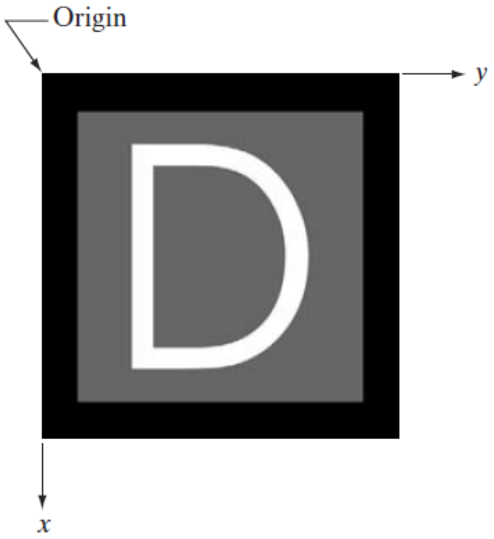
نمایش تصویر دیجیتال

- پس از تولید تصویر دیجیتال، تابع تصویر آرایه ای دو بُعدی دارای M ردیف و N ستون است که مبدأ تصویر گوشه بالای سمت چپ است:

$$f(x,y) \qquad \begin{matrix} x = 0,1,2,\cdots,M-1 \\ y = 0,1,2,\cdots,N-1 \end{matrix}$$

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \cdots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \cdots & a_{1,N-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \cdots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}$$


f(x, y)
x
y


Origin
y
x

Origin

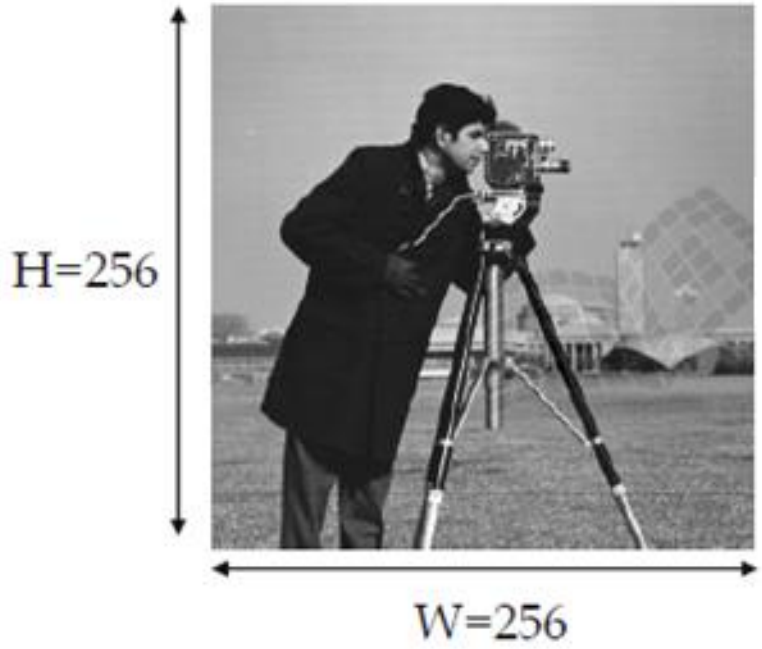
تصویر دیجیتال

- یک تصویر دیجیتال ماتریسی دو بُعدی از مقادیر شدت نور دریافتی از یک شیء می‌باشد.

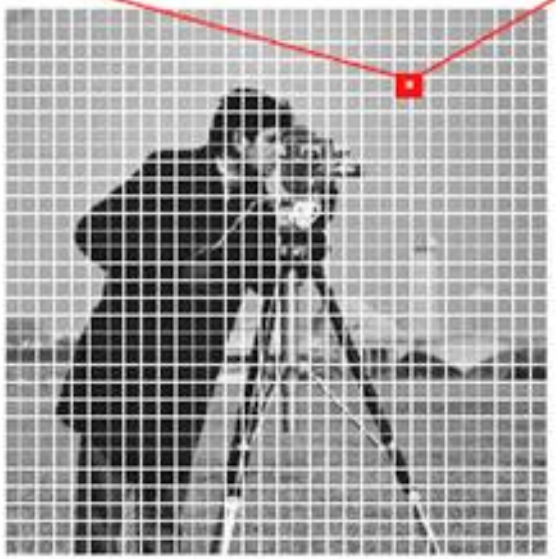
$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \cdots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \cdots & a_{1,N-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \cdots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 183 & 160 & 94 & 153 & 194 & 163 & 132 & 165 \\ 183 & 153 & 116 & 176 & 187 & 166 & 130 & 169 \\ 179 & 168 & 171 & 182 & 179 & 170 & 131 & 167 \\ 177 & 177 & 179 & 177 & 179 & 165 & 131 & 167 \\ 178 & 178 & 179 & 176 & 182 & 164 & 130 & 171 \\ 179 & 180 & 180 & 179 & 183 & 169 & 132 & 169 \\ 179 & 179 & 180 & 182 & 183 & 170 & 129 & 173 \\ 180 & 179 & 181 & 179 & 181 & 170 & 130 & 169 \end{bmatrix}$$



Divide into
8x8 blocks



ماشین چگونه تصاویر را درک می کند ؟

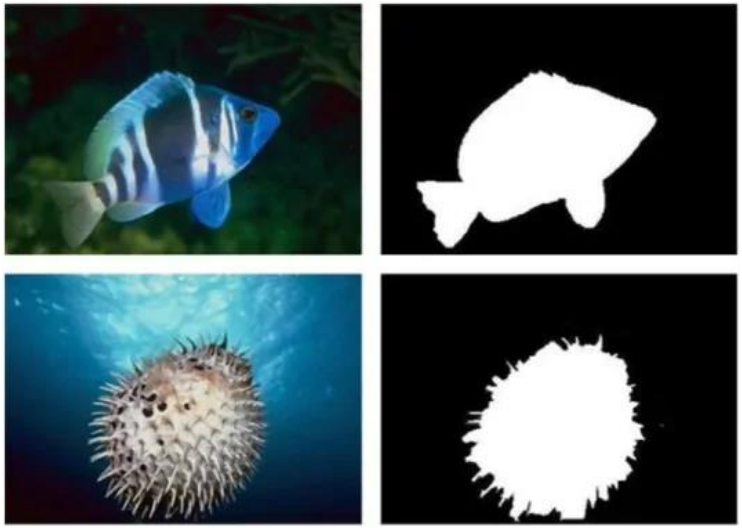
- تصاویر دیجیتالی در قالب ماتریس های عددی دو بعدی و سه بعدی ذخیره می‌شوند که هر یک از اعداد موجود در ماتریس، پیکسل‌های تصاویر را نشان می‌دهند.

دسته بندی کلی انواع تصویر

- اطلاعات هر پیکسل با استفاده از تابعی به شکل I(x,y) یا I(x,y,z) برای کامپیوتر تعریف می‌شود. تابع I مقدار عددی خانه‌های (x,y) و (x,y,z) را به ترتیب در تصاویر سیاه و سفید و تصاویر رنگی مشخص می‌کند. بر اساس بازنمایی تابع I، می‌توان تصاویر را به چهار دسته کلی تقسیم کرد:
  - **تصاویر دودویی (Binary Images)**
  - **تصاویر با درجه بندی رنگ خاکستری (Grayscale Images)**
  - **تصاویر رنگی RGB**
  - **تصاویر رنگی RGBA**

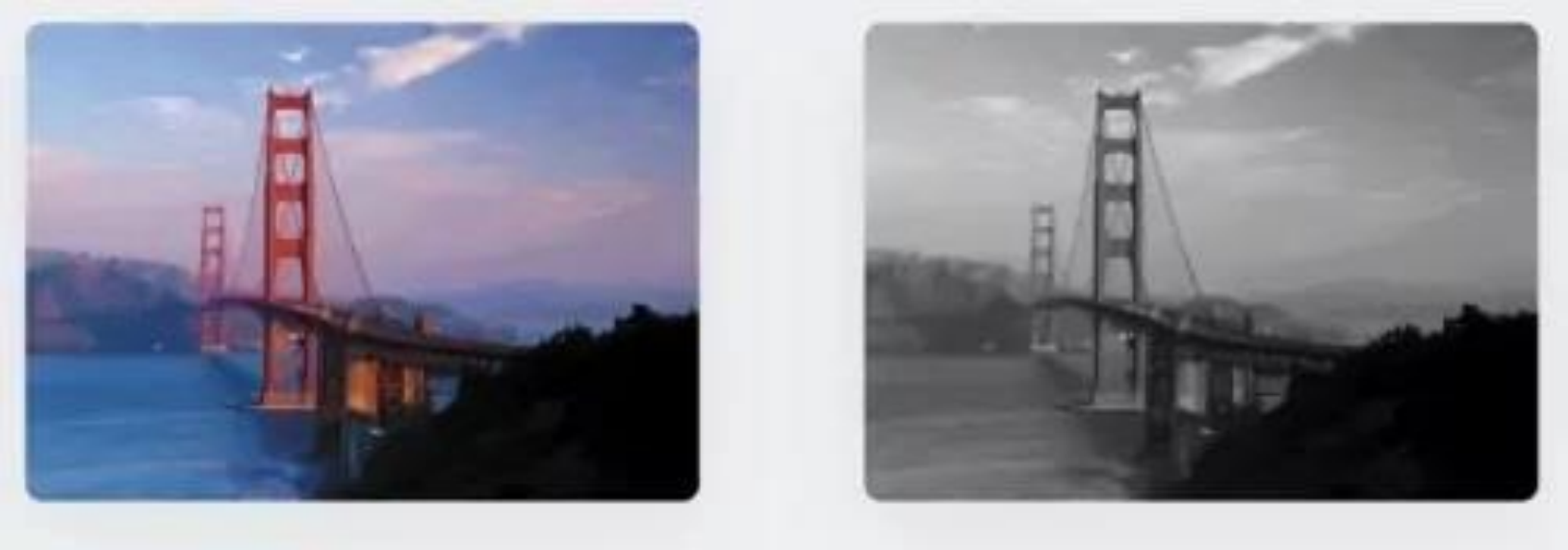
تصویر دودویی (Binary Image)

- اعداد درون پیکسل‌های آنها با دو مقدار 0 و 1 مشخص می‌شوند.
- عدد 0 رنگ مشکی و عدد 1 رنگ سفید را نشان می دهد. از این نوع تصاویر به منظور متمایز کردن بخش خاصی از تصاویر رنگی استفاده می‌شود.



تصویری با درجه بندی رنگ خاکستری (Grayscale Images)

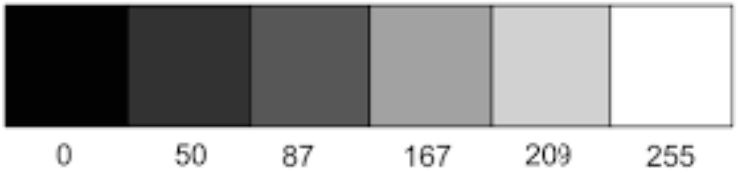
- مقدار درود پیکسل‌های این نوع تصاویر بین عدد 0 رنگ کاملاً مشکی تا عدد 255 رنگ تماماً سفید است.
- سایر اعداد موجود در بازه (0,255) رنگ خاکستری را با درجه روشنی و تیرگی مختلف نشان می‌دهند.

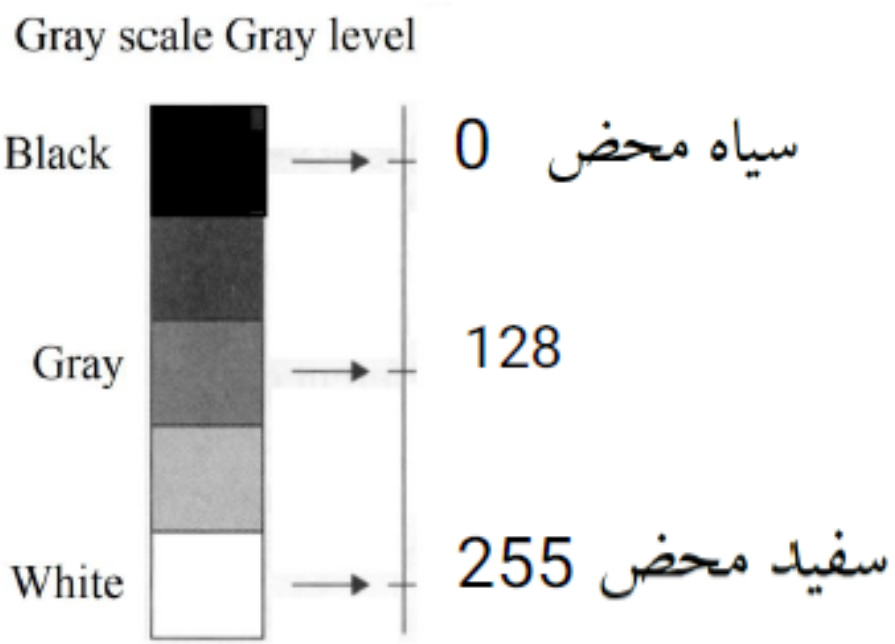


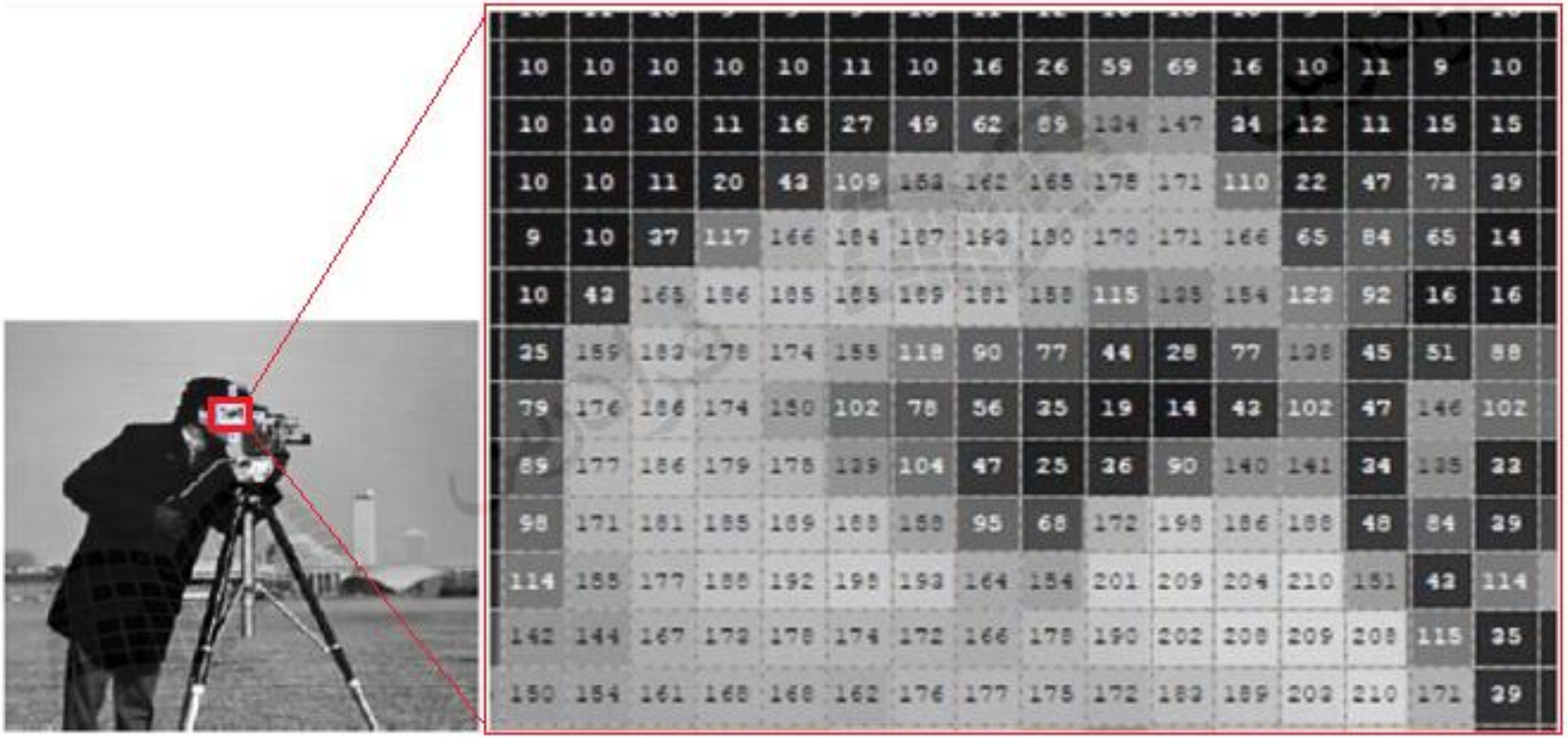
سطوح خاکستری در تصویر

0 255

سیاه محض سفید محض






10 10 10 10 10 11 10 16 26 59 69 16 10 11 9 10
10 10 10 11 16 27 49 62 89 134 147 24 12 11 15 15
10 10 11 20 43 109 153 162 165 178 171 110 22 47 72 39
9 10 37 117 166 184 187 190 180 170 171 166 65 84 65 14
10 43 165 186 185 185 189 181 158 115 135 154 123 92 16 16
25 159 183 178 174 155 118 90 77 44 28 77 128 45 51 88
79 176 186 174 160 102 78 56 25 19 14 42 102 47 146 102
89 177 186 179 175 139 104 47 25 26 90 140 141 24 135 22
98 171 181 185 189 168 150 95 68 172 198 186 188 48 84 39
114 155 177 188 192 195 193 164 154 201 209 204 210 151 42 114
142 144 167 172 178 174 172 166 178 190 202 208 209 208 115 35
150 154 161 168 168 162 176 177 175 172 182 189 202 210 171 39

رزولوشن مکانی و رزولوشن شدت روشنایی

- رزولوشن مکانی اندازه کوچکترین جزء در تصویر است و برای با معنی بودن باید مبتنی بر فاصله باشد، مثلاً نقطه در اینچ (dpi)

- رزولوشن شدت روشنایی به کوچکترین تغییر قابل تشخیص در شدت روشنایی گویند که تعداد بیت های بکار رفته برای کوانتیزه سازی سطوح شدت روشنایی است.

اثرات تغییر رزولوشن مکانی

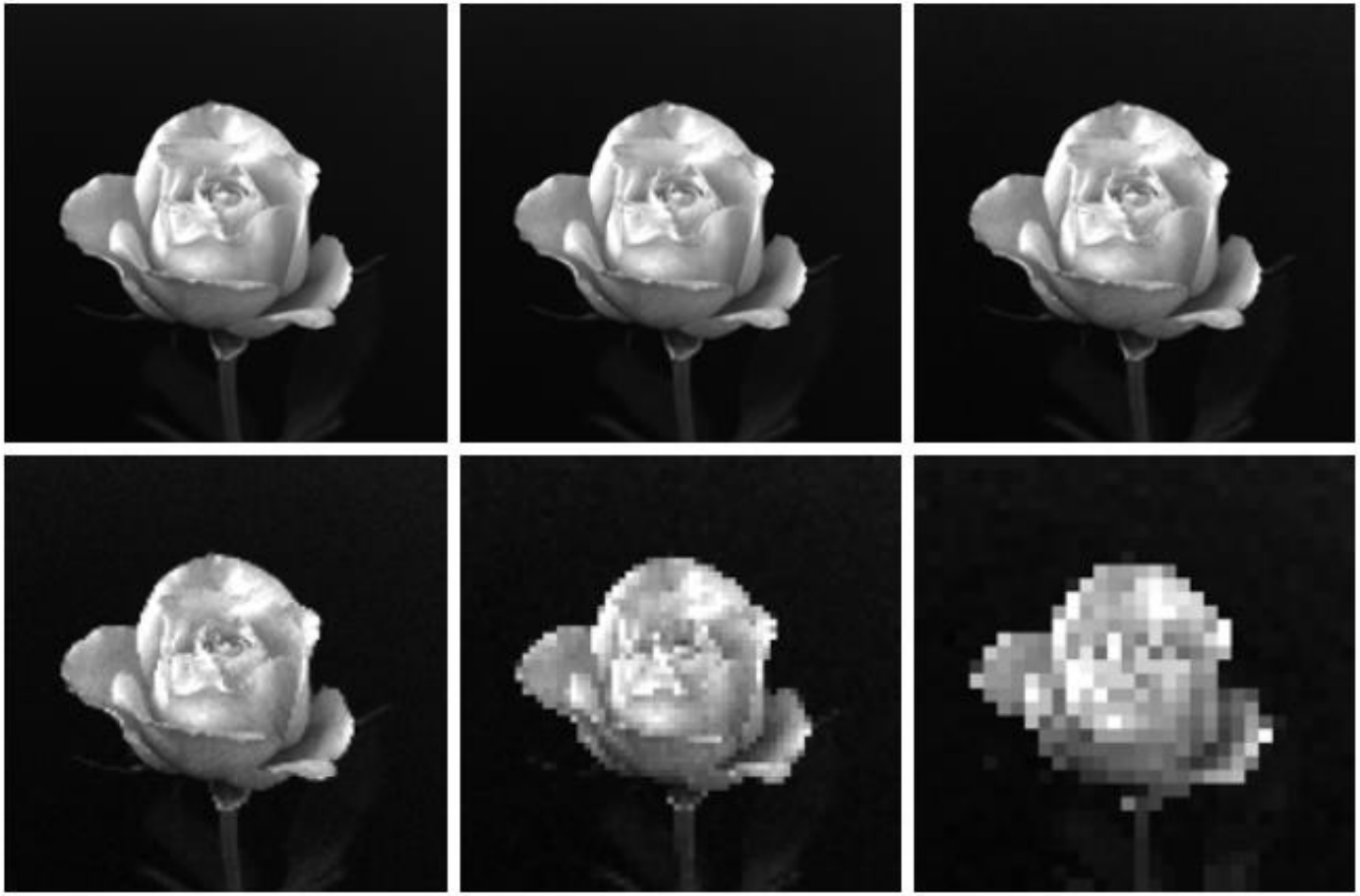
a b c d

FIGURE 2.20 Typical effects of reducing spatial resolution. Images shown at: (a) 1250 dpi, (b) 300 dpi, (c) 150 dpi, and (d) 72 dpi. The thin black borders were added for clarity. They are not part of the data.

اثرات کاهش اندازه تصویر و ثابت بودن سطوح خاکستری

FIGURE 2.19 A 1024 × 1024, 8-bit image subsampled down to size 32 × 32 pixels. The number of allowable gray levels was kept at 256.

اثرات دقت نمونه برداری در افزایش تعداد پیکسل ها



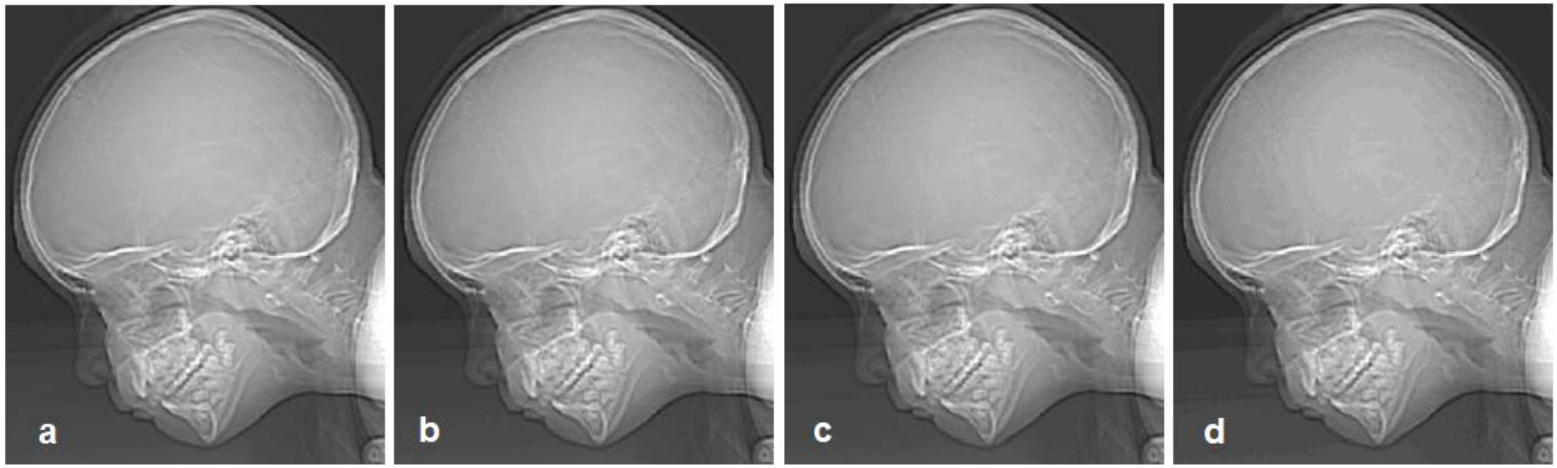
a b c
d e f

FIGURE 2.20 (a) 1024 × 1024, 8-bit image. (b) 512 × 512 image resampled into 1024 × 1024 pixels by row and column duplication. (c) through (f) 256 × 256, 128 × 128, 64 × 64, and 32 × 32 images resampled into 1024 × 1024 pixels.

اثرات تغییر رزولوشن شدت روشنایی

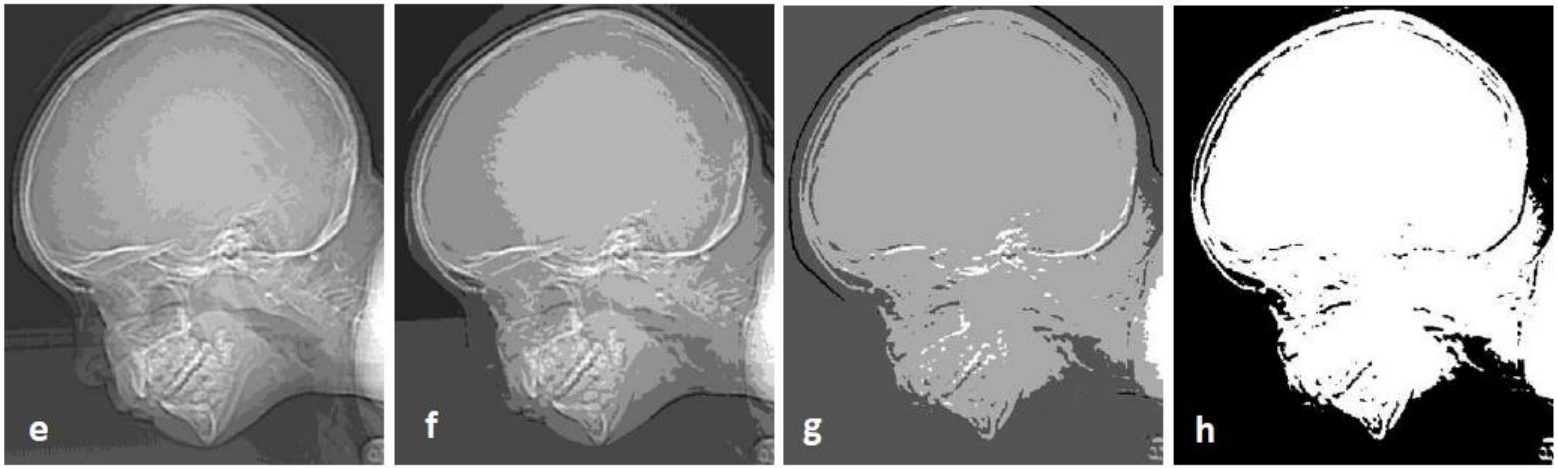
a b
c d

FIGURE 2.21
(a) 452 × 374, 256-level image. (b)–(d) Image displayed in 128, 64, and 32 intensity levels, while keeping the image size constant.



e f
g h

FIGURE 2.21
(*Continued*)
(e)–(h) Image displayed in 16, 8, 4, and 2 intensity levels. (Original courtesy of Dr. David R. Pickens, Department of Radiology & Radiological Sciences, Vanderbilt University Medical Center.)

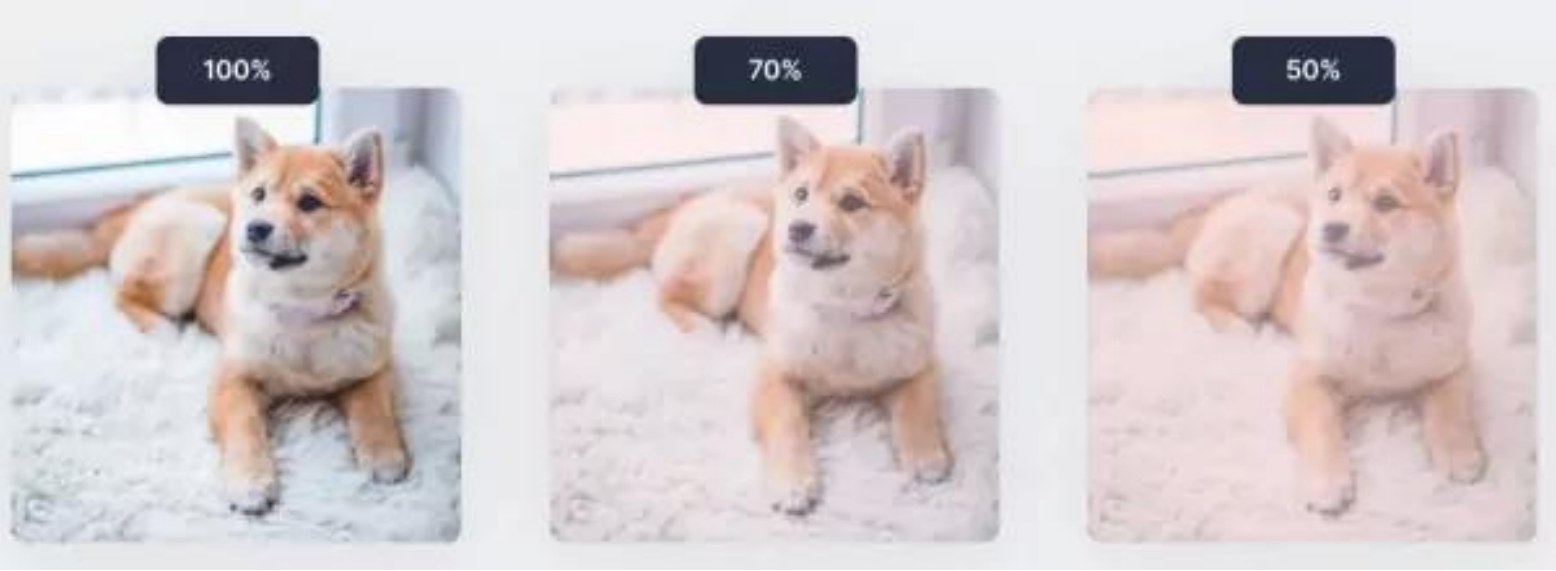


تصویر رنگی RGB

- این تصاویر از سه ماتریس (کانال) قرمز، سبز و آبی ساخته شده و بر اساس ترکیب اولین حرف انگلیسی این سه رنگ یعنی (Red, Green, Blue) نامگذاری شده است. هر یک از این کانال‌ها که در توالی یکدیگر قرار گرفته، دارای مقادیری در بازه (0,255) هستند.

تصویر رنگی RGBA

- همان تصاویر رنگی RGB هستند که یک کانال اضافه با نام آلفا دارند. این مقدار آلفا میزان تاری تصویر را مشخص می‌کند. بازه مقدار این کانال بین 0 درصد تا 100 درصد است.



فضاهای رنگی (Color Spaces)

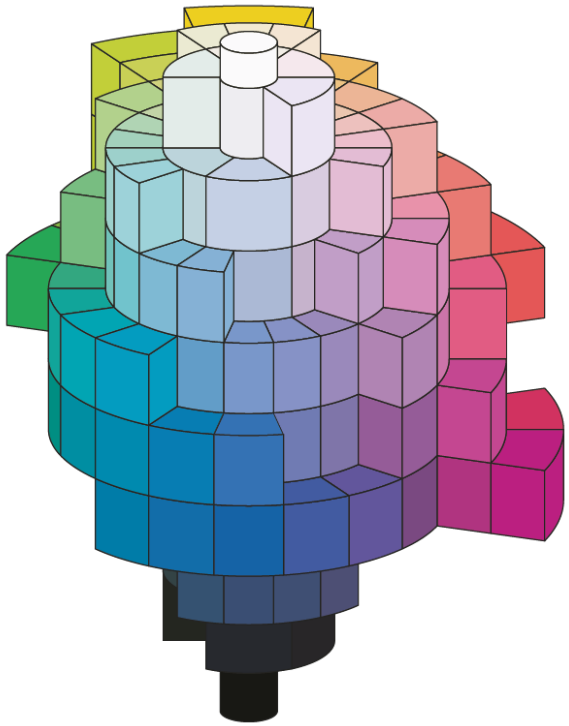
- رنگ پدیده پیچیده‌ای بوده و برای توصیف آن، چند مدل رنگی اختراع شده است.
  - هر کدام از مدل های رنگی مزایا و معایب خود را دارند.
  - برخی از آنها از طریق تشعشع قابل دستیابی هستند و برخی دیگر توسط انعکاس تولید می شوند.
  - برخی از آنها رنگ‌هایی را به نمایش می گذارند که مستقل از ابزاری است که آنها را باز تولید کرده است، در حالیکه برخی دیگر به ابزار تولید کننده خود وابسته هستند.

- مجموعه ای از رنگ ها که توسط مدل رنگی قابل نمایش است را فضای رنگی گویند.

مدل RGB – مدل CMY(K) – مدل HSL – مدل Lab – مدل YC_bC_r

فضاهای رنگی (Color Spaces)

- به طور کلی مدل های رنگی برای ضبط، نمایش، اسکن و چاپ تصاویر به وجود آمده اند و به دو دسته کلی تقسیم می شوند.



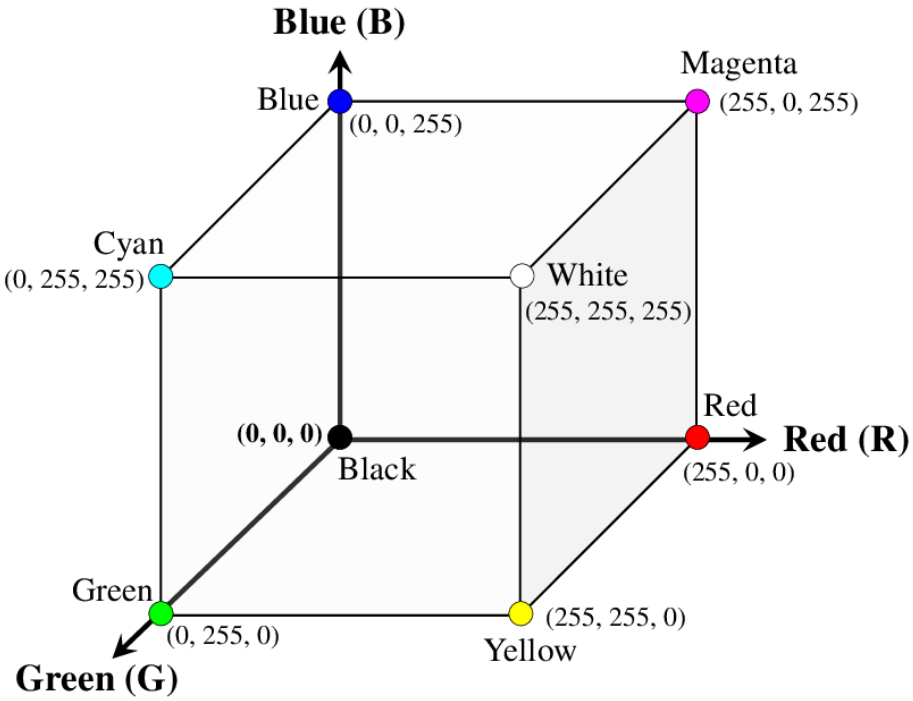
- **افزایشی: در ارتباط با نمایش تصویر**
- **کاهشی: برای چاپ تصاویر**

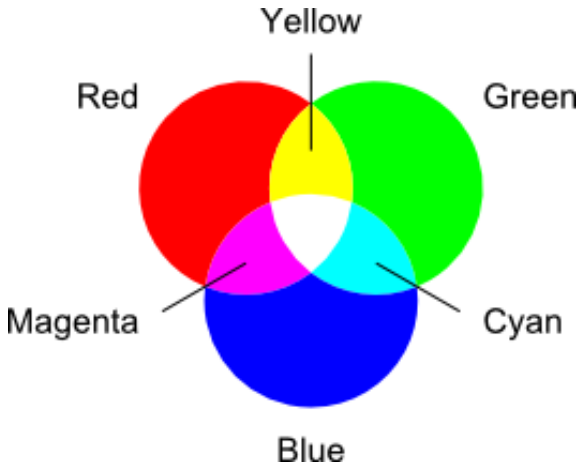
فضای رنگ افزایشی و کاهشی

- در سیستم های افزایشی (Additive Color) از نور برای ایجاد تصویر استفاده می شود. چون این سیستم ها نور را تولید و به محیط اضافه می کنند؛ به آنها مدل افزایشی می گویند.
  - مدل RGB
  - در سیستم های نمایشگر
- سیستم کاهشی (Subtractive Color) بر اساس رنگ است. نور سفید تابیده شده به رنگ ها، باعث جذب قسمتی از فرکانس های نور شده (کاهش فرکانس های نور) و فرکانس های مربوط به رنگ مشخصی منعکس می شوند. لذا به آنها مدل کاهشی می گویند.
  - مدل RYB – مدل CMYK
  - در صنعت چاپ

مدل رنگ RGB

- فضای RGB مخفف سه رنگ قرمز (Red)، سبز (Green) و آبی (Blue) است.
  - بر اساس ترکیب سه رنگ اصلی با شدت های مختلف عمل می‌کند.
  - هر رنگ در این فضا با سه مقدار عددی از ۰ تا ۲۵۵ برای هر یک از سه رنگ قرمز، سبز و آبی نمایش داده می‌شود.
- یک مدل افزایشی است.





مدل رنگ RGB

- **کاربرد:** به‌طور گسترده در دستگاه‌های نمایشگر دیجیتال و گوشی های هوشمند استفاده می‌شود، زیرا نمایش رنگ روی این دستگاه‌ها بر اساس تابش نور است.

- **محدودیت ها:**
  - محدود به دستگاه هایی است که نور را تولید می‌کنند.
  - درک و تنظیم رنگ ها بر اساس مقادیر عددی برای کاربران معمولی دشوار است، به ویژه هنگامی که می‌خواهند به‌طور مستقیم با ویژگی‌های بصری رنگ کار کنند.
  - برای چاپ رنگ مناسب نیست، زیرا در چاپ از رنگدانه ها استفاده می‌شود.
  - در تبدیل به فضاهای رنگی دیگر ممکن است مشکلاتی در حفظ دقت رنگ ها به وجود آید.

https://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_model

مدل رنگ RGB

تصویر اصلی

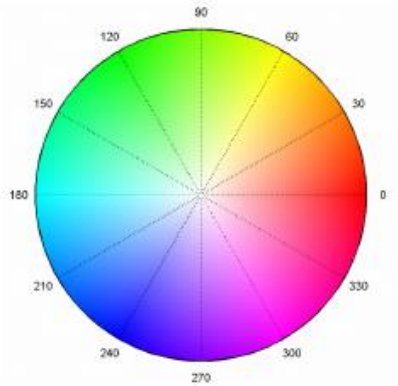
مؤلفه قرمز R

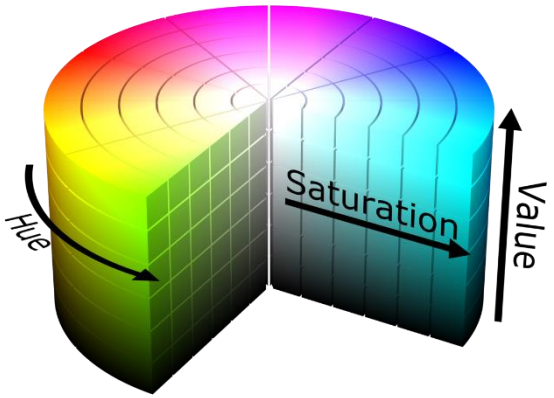
مؤلفه سبز G

مؤلفه آبی B

مدل رنگ HSV

- فضای HSV که مخفف رنگ (Hue)، اشباع (Saturation) و مقدار روشنایی (Value) است و با نحوه درک انسان از رنگ ها مطابقت بیشتری دارد.





- **رنگ:** زاویه تعریف کننده رنگ پایه در دایره رنگ (صفر تا ۳۶۰ درجه). به عنوان مثال، صفر = قرمز، ۱۲۰ = سبز و ۲۴۰ = آبی.
- **اشباع:** میزان شدت یا خلوص رنگ. مقدار صفر به معنای خاکستری و مقدار اشباع ۱۰۰ به معنای رنگ کاملاً خالص است.
- **مقدار روشنایی:** عدد صفر برای سیاه و مقدار ۱۰۰ برای رنگ های روشن است.

مدل رنگ HSV

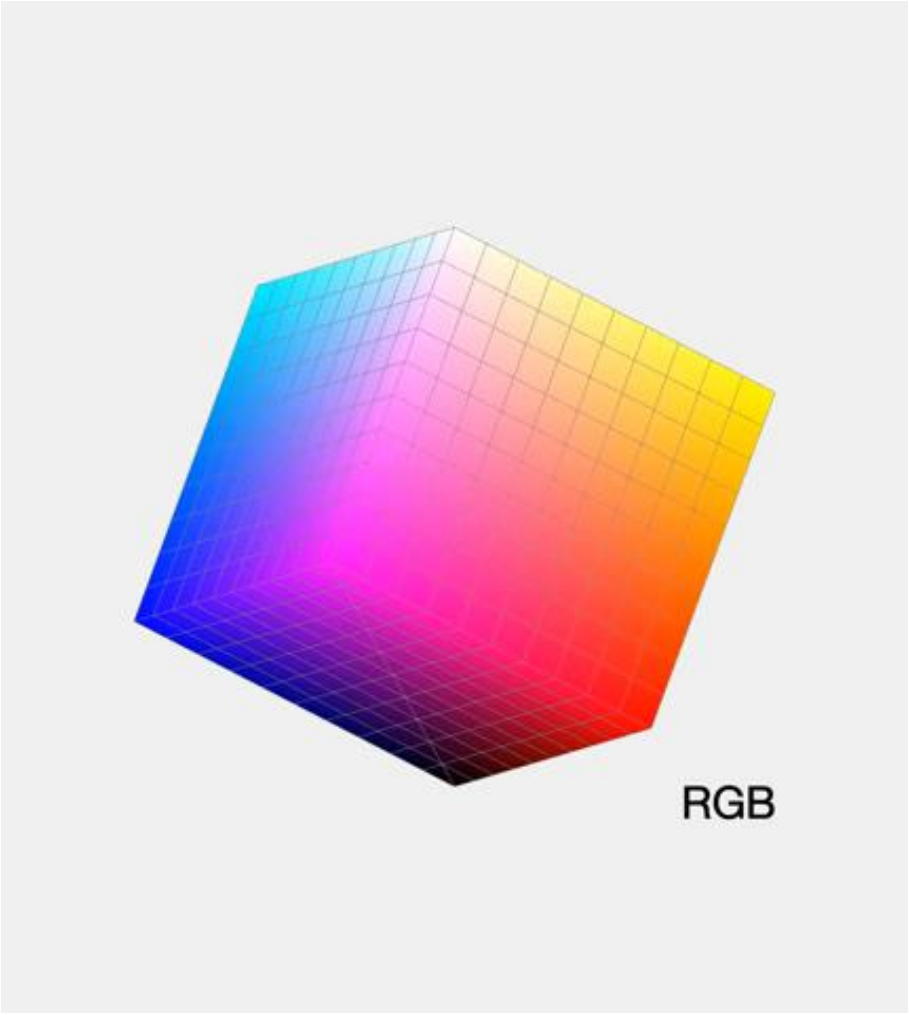
- **کاربرد:** فضای HSV برای کارهایی مانند تنظیم رنگ در نرم افزار های گرافیکی یا در سیستم‌های پردازش تصویر بسیار مناسب است، زیرا کاربران قابلیت کنترل بهتر و مستقل روی تنظیم رنگ، اشباع و روشنایی دارند.

- در مدل RGB تغییر هر مؤلفه ممکن است باعث تغییر رنگ و روشنایی به‌طور همزمان شود، اما در مدل HSV این موارد بصورت مجزا قابل کنترل هستند.

- تبدیل مدل HSV و RGB به یکدیگر (دانلود فایل)

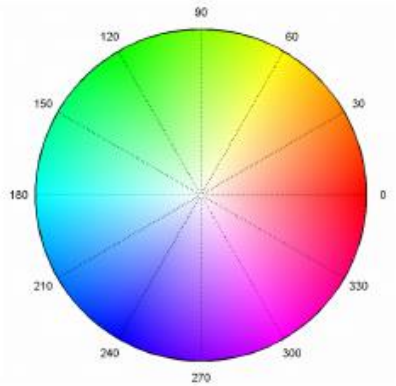
https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV

مدل رنگ HSV



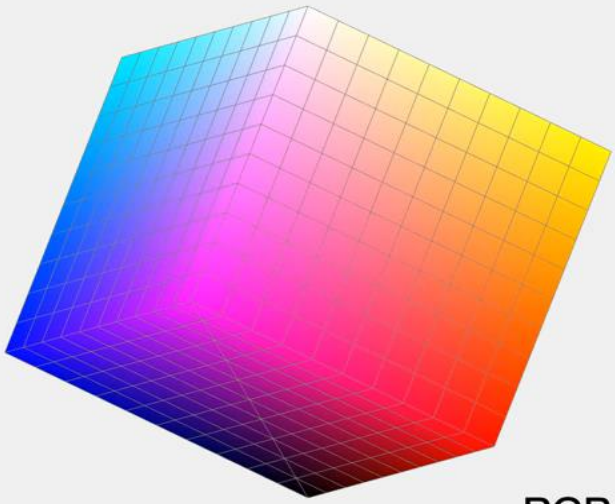
مدل رنگ HSL

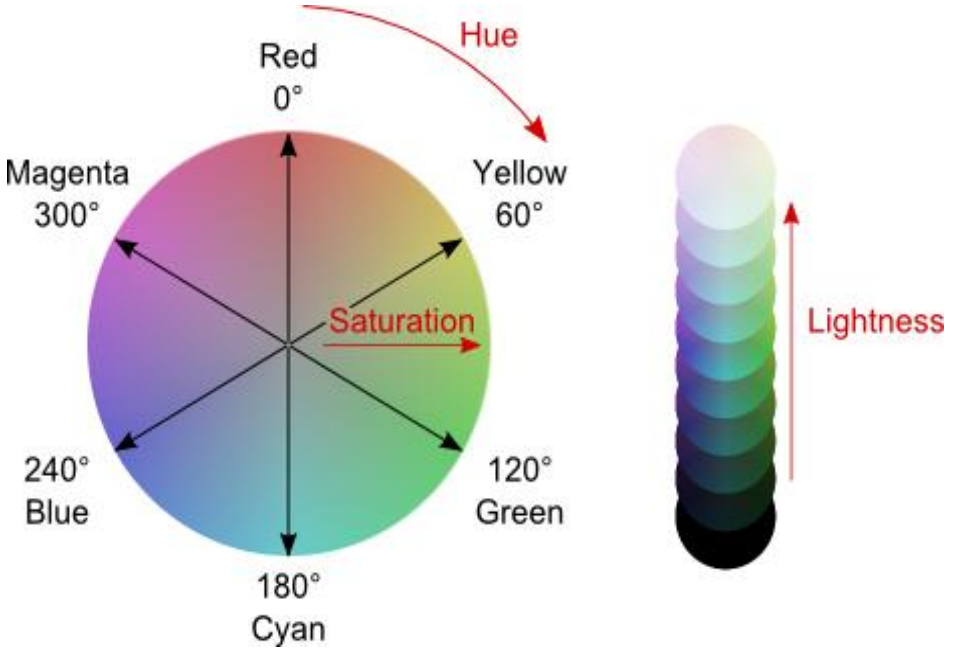
- فضای HSL که مخفف رنگ (Hue)، اشباع (Saturation) و روشنایی (Lightness) است و شبیه مدل HSV است با یک تفاوت!



- **رنگ:** زاویه تعریف کننده رنگ پایه در دایره رنگ (صفر تا ۳۶۰ درجه). به عنوان مثال، صفر = قرمز، ۱۲۰ = سبز و ۲۴۰ = آبی.
- **اشباع:** میزان شدت یا خلوص رنگ. مقدار صفر به معنای خاکستری و مقدار اشباع ۱۰۰ به معنای رنگ کاملاً خالص است.
- **روشنایی:** مقدار روشنایی در مقیاس صفر (سیاه) تا یک (سفید) است، با مقدار وسط (۵۰٪) که رنگ خالص را نشان می‌دهد.

مدل رنگ HSL





https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV

مدل رنگ YC_bC_r

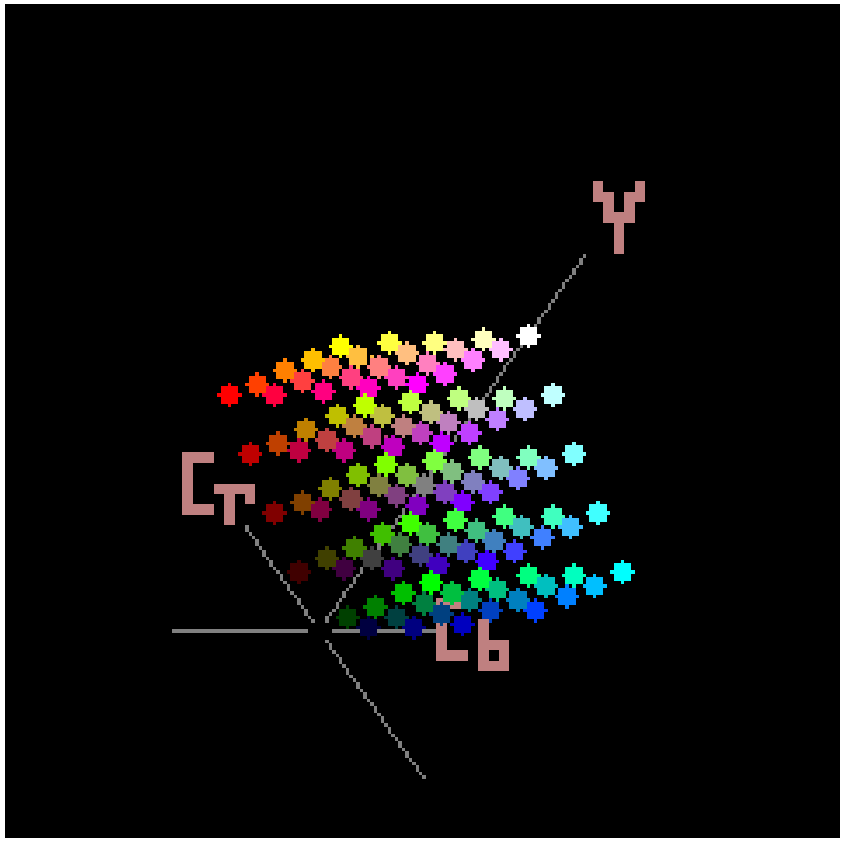
- به‌طور گسترده در فشرده‌سازی ویدیوها و تصاویر دیجیتال (مانند JPEG و MPEG)استفاده شده و رنگ‌ها را به روشنایی و اجزای رنگ تفکیک می‌کند:
  - **Y (Luma):** بیانگر روشنایی تصویر(شدت نور تصویر) است و با مؤلفه کرومینانس (مؤلفه رنگی) تصویر ارتباط دارد.
  - **C_b , C_r:** مؤلفه‌های تفاوت رنگ هستند. C_b تفاوت آبی با مؤلفه خاکستری و C_r تفاوت قرمز با مؤلفه خاکستری است. به دلیل حساسیت بیشتر چشم انسان به روشنایی نسبت به رنگ، YC_bC_r از این ویژگی بهره می‌برد تا داده‌های غیر ضروری مربوط به رنگ را حذف کند و تنها داده‌های مهم تر ذخیره شوند. به دلیل فشرده‌سازی، ممکن است کیفیت رنگ ها در برخی موارد کاهش یابد.

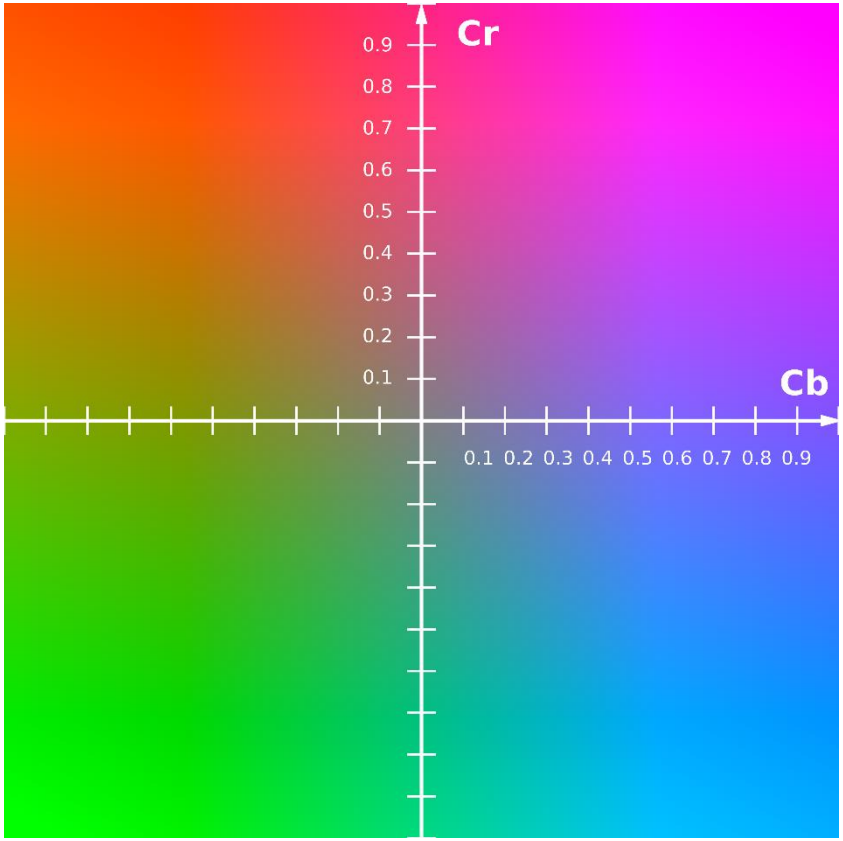
مدل رنگ YC_bC_r

- **کاربرد:** برای پردازش تصویر و فشرده‌سازی تصاویر و ویدئوها بسیار مناسب است، چرا که با تفکیک اطلاعات روشنایی و رنگ، می‌توان حجم داده‌ها را کاهش داد.
  - برای کارهای طراحی یا چاپ دقیق توصیه نمی‌شود
- در مدل RGB، هر سه مؤلفه رنگ (قرمز، سبز، آبی) به‌طور همزمان نمایش داده می‌شوند، اما در مدل YC_bC_r می‌توانیم اولویت بیشتری به روشنایی بدهیم و رنگ‌ها را فشرده تر ذخیره کنیم.

https://en.wikipedia.org/wiki/YCbCr

مدل رنگ YC_bC_r





صفحه C_bC_r در روشنایی Y= 0.5

مدل رنگ YC_bC_r

تصویر اصلی

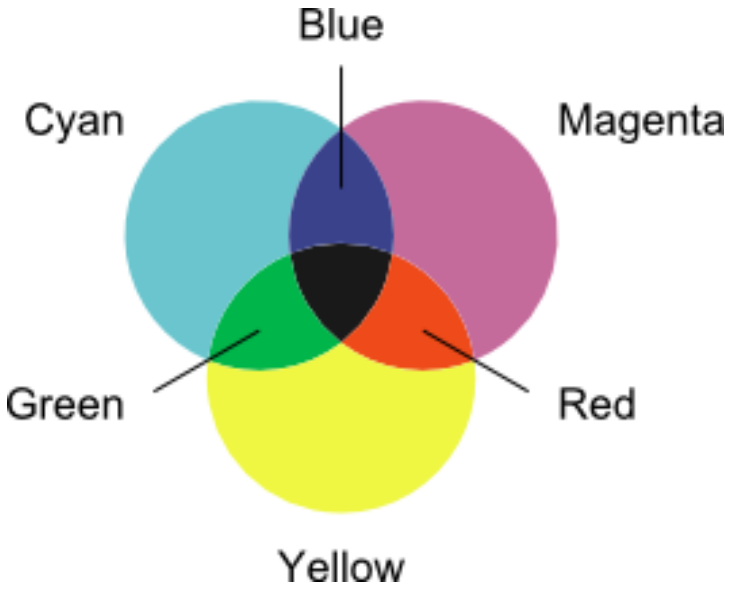
مؤلفه روشنایی Y

مؤلفه C_b

مؤلفه C_r

مدل رنگ CMY(K)

- مدل CMY مخفف آبی فیروزه ای (Cyan)، ارغوانی (Magneta) و زرد (Yellow) است.



- **C :(Cyan)** معادل حذف رنگ قرمز
- **M :(Magenta)** معادل حذف رنگ سبز
- **Y :(Yellow)** معادل حذف رنگ آبی
- **K :(Black)** چون ترکیب سه رنگ CMY بطور کامل سیاه نمی‌شود (سیاه نا مرغوب)، معمولاً از رنگ سیاه نیز بطور مجزا استفاده می‌شود.

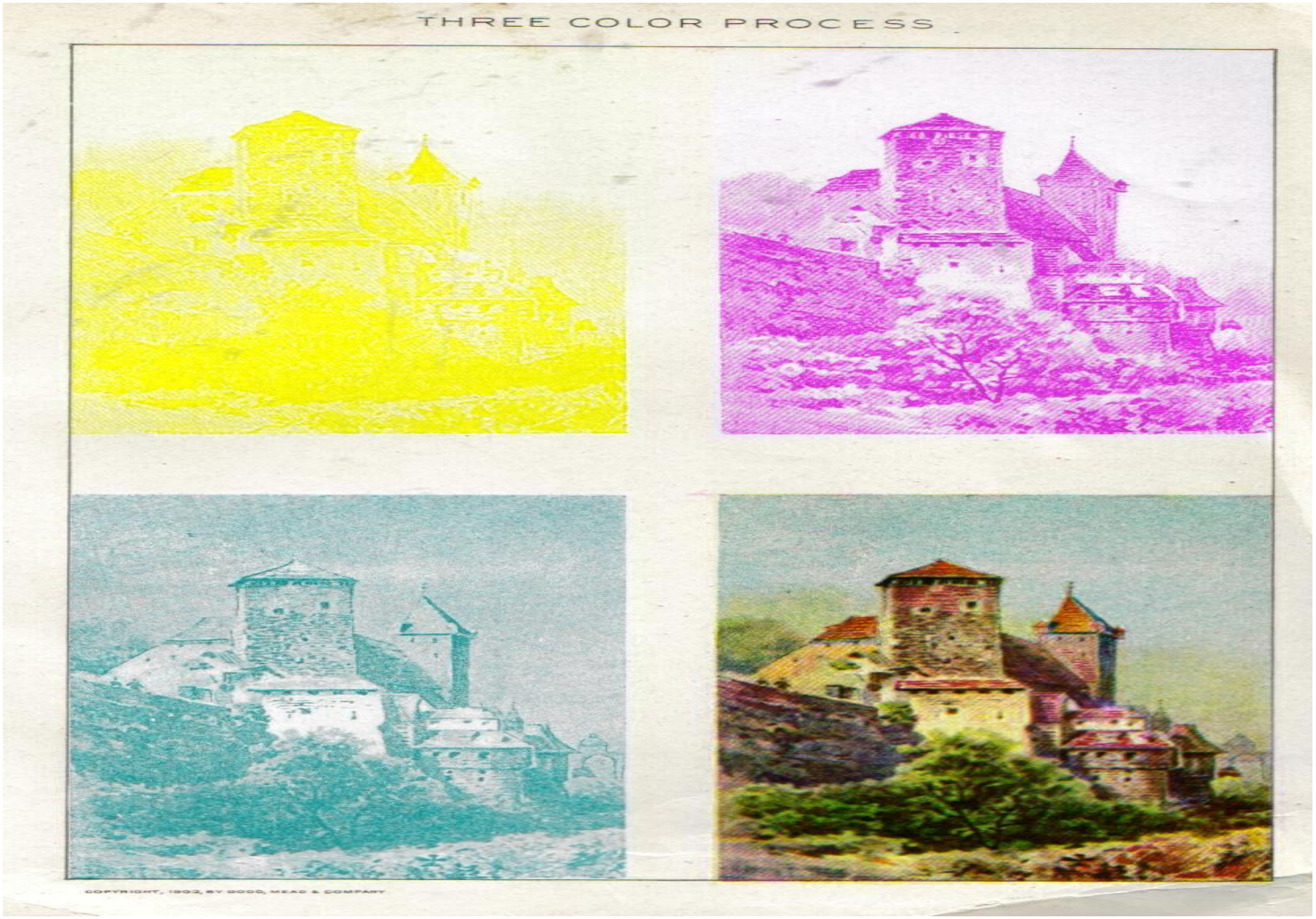
$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

مدل رنگ CMY(K)

- یک سیستم کاهشی بوده که بر پایه کاهش نور بازتابی عمل می‌کند، به همین دلیل مناسب چاپ است.
- در چاپ حرفه‌ای، از این چهار رنگ برای ایجاد تمامی رنگ‌های دیگر استفاده می‌شود.
- تبدیل از RGB به CMYK برای چاپ ممکن است باعث تغییراتی در رنگ‌ها شود.
- این فضا برای نمایشگرهای دیجیتال مناسب نیست و در کاربردهای بصری مانند مانیتورها و تلویزیون‌ها کاربرد ندارد.

https://en.wikipedia.org/wiki/CMYK_color_model

مدل رنگ CMY(K)



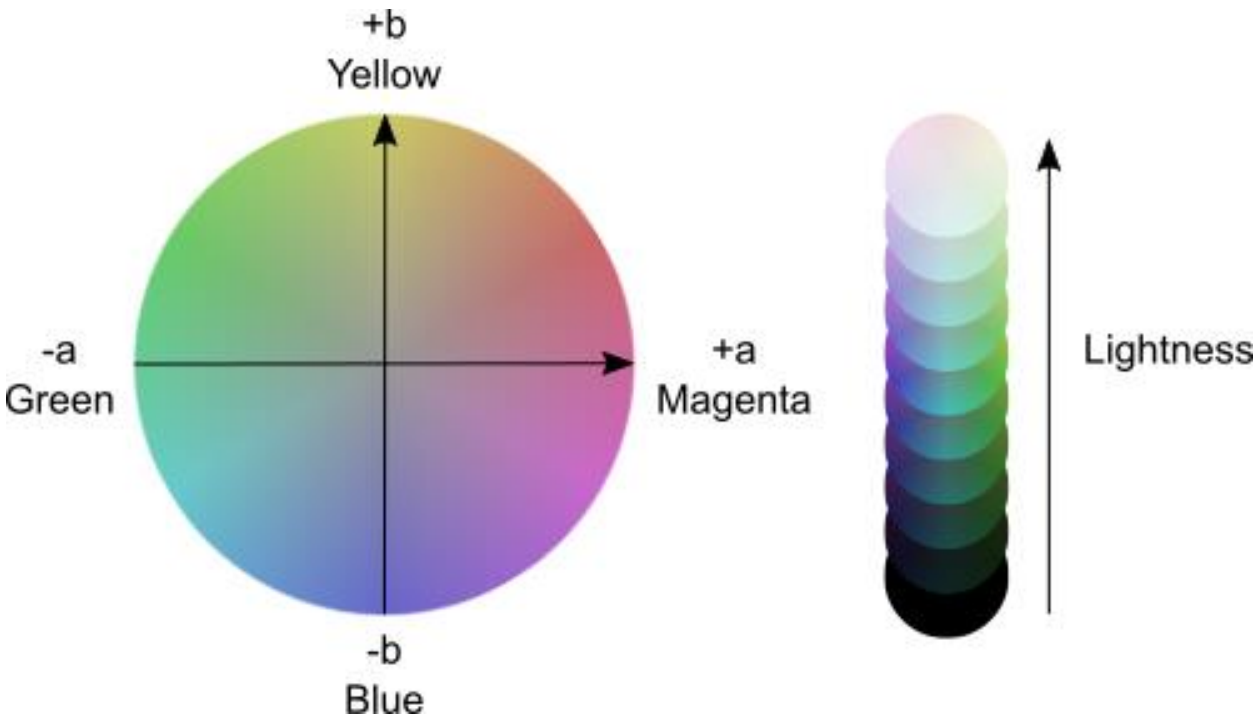
مدل رنگ Lab

- مدل رنگی **Lab** به عنوان یک فضای رنگی مستقل از دستگاه‌های نمایش رنگ شناخته می‌شود.
  - **L** روشنایی (صفر به معنی سیاه و ۱۰۰ به معنی سفید) را نشان می‌دهد.
  - **a** و **b** مؤلفه‌های رنگی هستند که **a** تفاوت بین سبز و قرمز و **b** تفاوت بین آبی و زرد را نشان می‌دهد. این مقادیر در محدوده عددی بین ۱۲۷- و ۱۲۷+ قرار می گیرند.
- این مدل به دستگاه خاصی (مانند نمایشگر یا چاپگر) وابسته نیست و به همین دلیل برای توصیف دقیق رنگ‌ها مناسب‌تر است

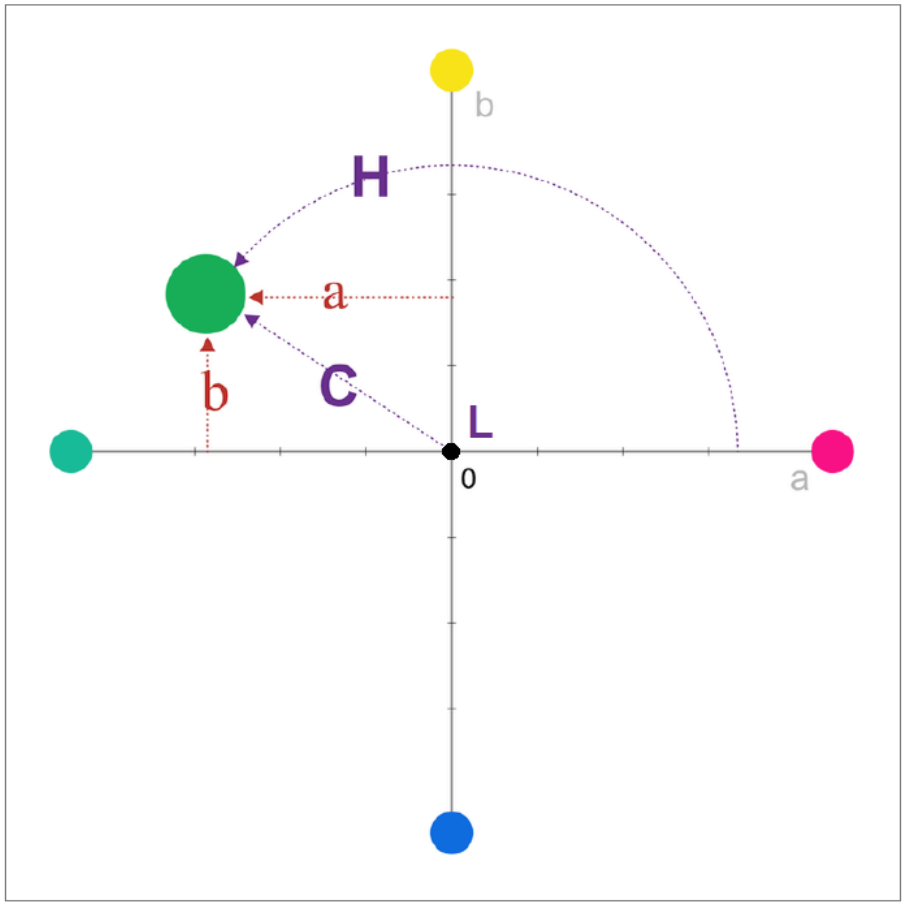
https://en.wikipedia.org/wiki/CIELAB_color_space

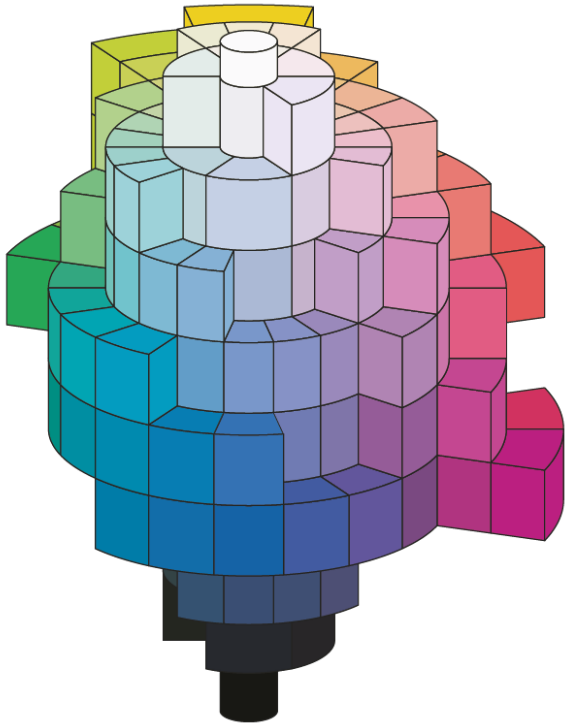
مدل رنگ Lab

- این مدل برای توصیف رنگ‌ها طوری طراحی شده که بیشترین هماهنگی را با درک چشم انسان داشته باشد. استفاده از این فضا پیچیده‌تر است و برای کاربرانی که آشنایی با آن ندارند، ممکن است دشوار به نظر برسد.



مدل رنگ Lab





سؤال؟