۱

ماهیت نور

تاریخچه

نور، پدیده ای است که جهان را روشن و قابل زندگی می سازد. تا میانه قرن هفدهم نور را ذرات مادی می پنداشتند که منبع نور، مثلا شمع یا آتش یا خورشید، از خود بیرون می افشاند. در این زمان معلوم شد نور ماهیت تموجی نیز از خود نشان می دهد. نظریه موجی بودن نور مبتنی بر پدیده تداخل دو پرتو نور و ایجاد نقاط تاریک و روشن (گرد و شکم) بود، مانند تداخل امواج صوتی. سپس کشفیات دانشمندانی نظیر ماکسول[1] و هرتز[2] در نیمه دوم قرن نوزدهم، محقق ساخت نور از جنس امواج الکترومغناطیسی است.

ماکسول در سال ۱۸۷۳ بر اساس نظریه معروف خود توانست سرعت انتشار این امواج را محاسبه کند، و دریافت، سرعت این امواج برابر با سرعت انتشار نور در خلا است و نتیجه گرفت، نور از جنس امواج الکترومغناطیسی است.

---

[1] James Clark Maxwell

[2] Heinrich Hertz

پس از یک دهه هرتز، همتای دانشمند ماکسول، امواج رادیویی را کشف کرد و چنین برآمد که کلیه خواص مربوط به نور، مانند پدیده تابش و بازتاب و شکست و قطبی شدن (پلاریزاسیون) و تداخل و پراش، در مورد این امواج نیز صادق است. به این ترتیب نظریه موجی بودن نور قوت گرفت و تقریبا شکی نماند که نور ماهیت موجی دارد.

لیکن با مطرح شدن نظریه ماکس پلانک[۲] در توجیه "پدیده تابش جسم سیاه" و نظریه انیشتن در توجیه "پدیده فوتوالکتریک"، در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، یک بار دیگر نظریه ذره ای بودن نور اذهان دانشمندان را به خود جلب کرد. در نظریه پلانک، امواج الکترومغناطیسی (نور) به شکل بسته هایی به نام فوتون انتشار می یابند که اگرچه تظاهر موجی دارند، تظاهر مادی هم از خود نشان می دهند، یعنی انرژی و نیرو دارند، ضربه می زنند و بر کفه ترازو فشار وارد می کنند. پلانک، بنابراین نظریه، موفق به دریافت جایزه نوبل فیزیک در سال ۱۹۱۸ شد.

در پی پلانک، توجیه انیشتن در "پدیده فوتوالکتریک" موجب برگشت نظریه ذره ای بودن نور شد. جدال این دو نظریه، خود داستان مفصل و زیبایی از برخورد اندیشه هاست. در فیزیک مدرن امروز، *فیزیک کوانتوم*، نور ماهیت دوگانه می پذیرد و در قالب یک وجود با ماهیت "ذره-موج" تظاهر می یابد. در فیزیکِ عکاسی، رفتار موج گونه نور مد نظر است.

طیف امواج الکترومغناطیسی

امواج الکترومغناطیسی، متشکل از دو میدان الکتریکی و مغناطیسی متعامد، طیف بسیار گسترده ای دارند. طول موج آنها از حدود ۱٪ نانو متر تا چند صد هزار کیلومتر گسترش می یابد.

یک نانومتر (nm) = یک ملیونیم میلی متر

۲ Max Plank .

امواج بسیار ریز کیهانی در یک سوی این طیف و امواج تپنده کیهانی (نسیم کیهانی)، به طول چند میلیون کیلومتر، در سمت دیگر طیف قرار دارند (رک. جدول ۱). امواج گاما، پرتوهای ایکس، پرتوهای فرابنفش، نور مرئی، پرتوهای فروسرخ، امواج مخابراتی مانند امواج رادار و میکروویو و تلویزیونی و رادیویی، و امواج شنودی و امواج جریان برق همگی در این گستره وسیع قرار دارند که همگی از یک جنس اند و از یک پدیده حاصل می شوند.

امواج حوزه گاما از فعل و انفعالات هسته ای اتم پدید می آید و به علت کوتاهی طول موج، از نفوذ و انرژی بسیار برخوردار است. برخی از این امواج پُرقدرت حتی از بشکه های سربی به ضخامت ۲۵ سانتیمتر عبور می کنند و هیچ چیز سد راه آنها نیست (جنجال زباله های اتمی به همین مناسبت است). گفته می شود برخی از امواج کیهانی حتی از میان کره زمین هم عبور می کنند!

امواج ایکس نیز از نفوذ بسیار برخوردارند و عمدتا در مطالعات علمی و عکسبرداری از اعضای داخلی بدن و رویت اشیا داخلی، مثلا داخل چمدان در فرودگاه، استفاده می شود. این امواج بر امولسیون -- لایه حساس به نور در فیلم عکاسی — اثر می گذارند. طول موج پرتوهای ایکس ۱٪ - ۱ نانومتر است.

پرتوهای فرابنفش بیشتر خاصیت میکرب کُشی دارند و در مراکز درمانی و بیمارستان ها برای نظافت و پاکسازی محیط به کار می روند. پرتوهای فرابنفش بر فیلم عکاسی تاثیر نامطلوب می گذارند و فیلترهایی خاص برای جلوگیری از نفوذ آنها ساخته می شود. حوزه پرتوهای فرابنفش نسبتا وسیع و از ۱ نانومتر تا ۴۰۰ نانومتر گسترده است.

پرتوهای مرئی در طیف امواج الکترومغناطیسی، بخشی است که سلول های بینایی انسان و موجودات را تحریک و پدیده شگفت انگیز دیدن را برمی انگیزد. حوزه امواج مرئی ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر است.

پرتوهای فروسرخ، امواج گرمایی محسوب می شوند. این پرتوها در کوتاه مدت بر امولسیون فیلم های معمولی چندان تاثیر نمی گذارند. اساس کار در عکاسی از تاریکی (عکاسی مادون قرمز) پرتوهای فروسرخ است و فیلم هایی خاص نیز مناسب آن ساخته می شود.

امواج رادار و میکروویو و در پی آن امواج رادیویی و تلویزیونی در مخابرات کاربرد می یابند و امواج نسبتا بلند قلمداد می شوند. حوزه طول امواج مخابراتی، ۱ میلی متر تا چندین کیلومتر است.

امواج بلند شنودی (audio) و امواج برق ۵۰ هرتز شهری. امواج فرابلند شمرده می شوند و طول موج آنها چند صد کیلومتر است.

سرانجام. در انتهای طیف الکترومغناطیسی. امواج تپنده کیهانی قرار دارند که از فراسوی کهکشان ها به سوی زمین می وزند و منشع آن تاکنون ناشناخته مانده است. طول این امواج به میلیون ها کیلومتر می رسد.

جدول ۱- طیف امواج الکترومغناطیسی

نوع موج	نام لاتین	طول موج (λ) برحسب متر
پرتوهای کیهانی	Cosmic Rays	فروتر از ۱٪ نانومتر
پرتوهای گاما (γ)	Gamma Rays	≅ ۱٪ نانومتر
پرتوهای ایکس	X-Rays	۱٪ - ۱ نانومتر
پرتوهای فرابنفش	Ultra-Violet Rays	۱ - ۴۰۰ نانومتر
نور مریی	**Visible Light**	**۴۰۰ — ۷۰۰ نانومتر**
پرتوهای فروسرخ	Infra-Red Rays	۷۰۰ نانومتر-۱ م.م.
امواج رادار و میکروویو	Radar & Microwave	۱م.م. - ۱ سانتی متر
امواج تلویزیونی و اف.ام	TV & F.M	۱۰ سانتی متر- ۱ متر
امواج رادیویی	Radio Waves	۱۰متر- چند کیلومتر
امواج شنودی	Audio Waves	۱۰۰۰ کیلومتر
امواج برق شهری	A.C.	۱۰۰۰۰ کیلومتر
نسیم کیهانی	Cosmic Wind	۱۰۰ هزار کیلومتر و فراتر

سرعت انتشار امواج الکترومغناطیسی در خلا برابر با سرعت نور. و سرعت نور در خلا (هوا) برابر است با:

$$c = 300{,}000 \text{ km/sec}$$

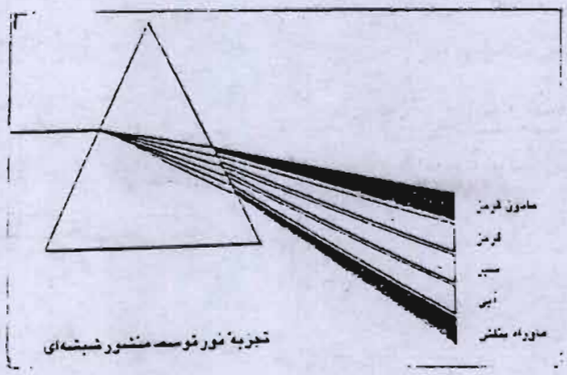
نور

نور باریکه ای بسیار کم عرض در طیف گسترده امواج الکترومغناطیسی است. با این حال نقشی عمده در حیات طبیعت و بشر ایفا می کند. نور به جهان انرژی می بخشد و پیرامون را روشن و تمکز و فاصله و رنگ را آشکار می سازد. حوزه طول موج نور ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر است. که کمابیش برابر با اندازه سلول های بینایی چشم انسان می باشد. به علت این برابری، این امواج در تابش به سلول های دوگانه چشم، یعنی سلول های استوانه ای و مخروطی، باعث برانگیختگی (تشدید) سلول ها شده که به نوبه خود احساس و آنگاه ادراک بینایی را در مغز برمی انگیزند. (نکته: اگر سلول های بینایی ابعاد دیگری داشتند، جهان چگونه دیده می شد؟)

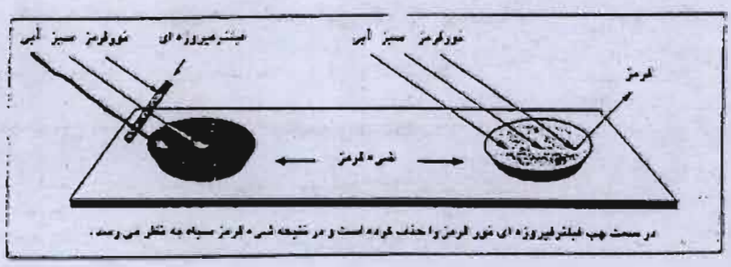
نور از چشمهٔ نور بیرون می تابد و بزرگترین چشمهٔ نور در زمین، خورشید تابنده است. رنگِ نور خورشید، گرچه از هنگام طلوع تا غروب تا حدی تغییر می کند، کمابیش سفید است. چنانچه نور سفید خورشید را از منشور بگذرانیم، طیف هفت رنگ نور را در آن سوی منشور مشاهده خواهیم کرد. در این حالت نور سفید به هفت رنگ تجزیه می شود، که به ترتیب عبارتند از:

رنگ	نام لاتین	علامت اختصاری	حوزه طول موج برحسب نانومتر
بنفش	Violet	V	۴۴۰-۴۰۰
آبی	Blue	B	۴۸۰-۴۴۰
فیروزه ای	Cyan	C	۵۲۰-۴۸۰
سبز	Green	G	۵۶۰-۵۲۰
زرد	Yellow	Y	۵۸۰-۵۶۰
نارنجی	Orange	O	۶۲۰-۵۸۰
قرمز	Red	R	۷۰۰-۶۲۰

• نورهای قرمز و سبز و آبی، رنگ های اصلی نور شمرده می شوند، و به آنها رنگ های RGB گفته می شود.



شکل (۱). رنگ های اصلی طیف نور سفید.



شکل (۲). در سمت چپ، فیلتر فیروزه ای نور قرمز را حذف می کند و در نتیجه شیء قرمز به رنگ سیاه (کدر) دیده می شود. در سمت راست، شیء قرمز تمام نورها بجز نور رنگ خود را جذب می کند و شیء به رنگ اصلی، یعنی قرمز، دیده می شود.

در واقع آنچه به نام رنگ طبیعی (رنگ واقعی) اجسام نامیده می شود، عبارت است از رنگ اجسام در نور خورشید. رنگ اجسام در نورهای مختلف دیگرگون دیده می شود، مثلا سیب سرخ در نور قرمز بی رنگ، و پیراهن زرد در نور زرد، سفید مات به نظر می رسد.

چشم انسان و بسیاری از موجودات از قدرت انطباق فوق العاده برخوردار است. انسان معمولا رنگ اجسام را در نور سفید می سنجد، مثلا یک پیراهن زرد در روشنایی لامپ تنگستن معمولی، و در نور آسمان نیم روز تابستان، و

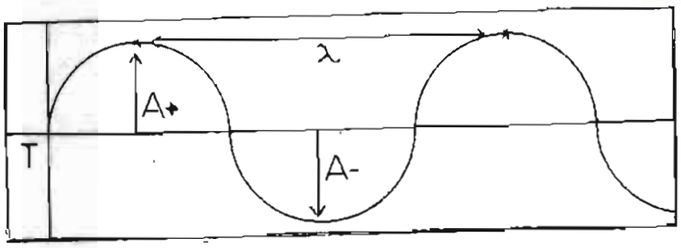
در صبح خاکستری و ابر آلود زمستان، کتابیتان به رنگ زرد دیده می شود. در حالی که چنین نیست و رنگ اجسام در نورهای گوناگون طور دیگر به نظر می رسد. به واقع رنگ پیراهن سفید در نور لامپ های معمولی، عملا به قرمز تمایل پیدا می کند و رنگ آن در نور آسمان آبی، که رنگ آبی می یابد. لیکن چشم انسان به دلیل عادت و حافظه و نیز ادراک نخستین، به سرعت خود را با نور محیط تطبیق می دهد و در شرایط عادی، رنگ پیراهن زرد را در نور سفید ذخیره در حافظه می بیند.

مشخصات فیزیکی امواج

موج مفهومی انتزاعی و ریاضی است و نوسانات پی در پی و تکراری محیط مادی تعریف می شود. امواج آب، امواج صوتی و امواج نور از این جمله اند.

مشخصات موج:

دامنه موج، یا ارتفاع موج. به حداکثر جابجایی ذره از محور تعادل، دامنه یا ارتفاع موج می گویند. دامنه موج نماینده قدرت و انرژی موج است. در امواج صوتی، هرچه مقدار دامنه موج صدا بزرگتر باشد، صدا بلندتر شنیده می شود، و در امواج نوری، هرچه دامنه موج بلندتر باشد، شدت نور و تابندگی آن بیشتر است. دامنه با حرف A مشخص می شود و واحد آن برحسب انرژی (شدت) است.



نمودار موج سینوسی. A دامنه موج، λ طول موج، T زمان تناوب موج و f معرف فرکانس موج است.

طول موج. فاصله دو نقطه پی در پی و تکرار شونده را طول موج می گویند. طول موج با حرف λ (از حروف یونانی) مشخص می شود و واحد آن متر است. یکاهای کوچکتر (واحدهای کوچکتر) آن که به ویژه در مبحث نور کاربرد می یابد، عبارتند از:

میلی متر	۱/۱۰۰۰ متر (یک هزارم متر)	علامت اختصاری ⇐ mm. یا م.م.
میکرومتر	۱/۱۰۰۰۰۰۰ متر (یک میلیونیم متر)	علامت اختصاری ⇐ μ m
نانومتر	۱/۱۰۰۰۰۰۰۰۰ متر (یک هزار میلیونیم متر)	علامت اختصاری ⇐ n m
آنگستروم	۱/۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰ متر (یک ده هزار میلیونیم متر)	علامت اختصاری ⇐ A
پیکومتر	۱/۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ متر (یک میلیون میلیونیم متر)	علامت اختصاری ⇐ p m

• حوزه طول موج نور مریی، ۴۰۰۰ - ۷۰۰۰ آنگستروم (A)، یا ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر (n m) است.

فرکانس موج: تعداد نوسان های یک موج را در یک ثانیه، فرکانس یا تواتر آن موج می نامند و آن را با حرف f. برگرفته از واژه frequency. نمایش می دهند. واحد آن هرتز (Hertz) یا سیکل بر ثانیه است.

فرکانس نور قرمز $f \approx 4 \times 10^{14}$ Hz

فرکانس نور بنفش $f \approx 7 \times 10^{14}$ Hz

دوره تناوب. زمان تکرار یک نوسان کامل یا دوره پیمودن یک طول موج را دوره تناوب موج می گویند که با حرف T نشان داده می شود. و واحد آن زمان برحسب ثانیه است. دوره تناوب و فرکانس نسبت معکوس دارند:

$$T = 1/f$$

T ⇐ زمان تناوب برحسب ثانیه. sec.

f ⇐ فرکانس برحسب هرتز. Hz.

سرعت انتشار. نور با سرعت ثابت از چشمه نور در همه جهات انتشار می یابد. سرعت نور در هوا نزدیک به ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه است. نور با این سرعت خیره کننده می تواند در مدت یک ثانیه، ۸ بار گِرد کمربند استوا گردش کند و در مدت ۸ دقیقه فاصله خورشید تا زمین را بپیماید. در واقع سرعت نور والاترین سرعت در جهان است و سرعتی بیش از آن در طبیعت متصور نیست. سرعت نور هنگام عبور از اجسام شفاف، مانند شیشه و آب و یخ و مایعات، کاهش می یابد. امواج نور، بر خلاف امواج صوت، برای انتشار نیاز به محیط مادی ندارند. صوت در محیط بدون هوا (خلا) منتشر نمی شود. در حالی که نور برای سیاحت خود به محیط مادی نیاز ندارد و از فراسوی کهکشان ها و از محیط های تقریبا خلا کامل می گذرد و به زمین می رسد.

رابطه سرعت نور و فرکانس و طول موج آن چنین است:

$$c = \lambda \cdot f$$

c ⇐ سرعت نور، برابر با ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در خلا.

f ⇐ فرکانس نور، برحسب Hz.

λ ⇐ طول موج نور بر حسب m.

۲

رنگ نور

نور سفید

نور خورشید در ساعات میان روز اصطلاحا نور سفید نامیده می شود. این نور ترکیبی از تعدادی بی شمار پرتوهای مرئی با طول موج های مختلف است که مجموعا "سفید" دیده می شود. در واقع نور سفید را نمی توان در ردیف رنگ ها شمرد، زیرا ترکیبی از همه رنگ ها است*. این نور در عبور از منشور به ترتیب عکس طول موج رنگ ها پراکنده می شود، یعنی نور قرمز، که بلندترین طول موج را دارد، کمترین شکست (انحراف) را در عبور از شیشهٔ منشور پیدا می کند و نور آبی با طول موج کوتاه تر، بیشتر شکست را می یابد. رنگ سبز بین این دو واقع است.

رنگ های شاخص نور سفید یا رنگ های رنگین کمان به ترتیب طول موج عبارتند از، قرمز و زرد و سبز و آبی و بنفش، لیکن حد فاصلی بین آنها موجود نیست. در رنگین کمان، رنگ قرمز برفراز قوس و بنفش در حاشیه داخلی دیده می شود. در گذشته چون برای عدد هفت احترام خاص قائل بودند، بنا به تقاضا و اصرار کشیشی ایتالیایی به نام دلیسلی** در قرون وسطی، تعداد

---

* "سیاه" را هم نمی توان در زمره رنگ های نوری شمرد، زیرا نور سیاه مفهوم فیزیکی ندارد و به معنای عدم وجود نور است.

** Delisele

رنگ های رنگین کمان — و تجزیه نور با منشور— هفت رنگ اختیار شد. که تا به امروز این باور در اذهان عامه همچنان باقی مانده است. اما این باور مبنای علمی ندارد. در مطالعه دقیق و علمیِ نور سفید خورشید، که توسط دانشمند آلمانی، فرانهوفر[1] به عمل آمده است. نور سفید به هشت حوزه، یا نوار نوری، تقسیم می شود:

نوارهای نور سفید (جدول فرانهوفر)

نوار A	قرمز تیره
نوار B	قرمز روشن
نوار C	نارنجی
نوار D	زرد خالص
نوار E	سبز
نوار F	آبی خالص
نوار G	آبی - بنفش
نوار H	بنفش

نور خورشید در شرایط مختلف جوّی تغییرات قابل ملاحظه ای نشان می دهد. بخار آب و غبار و ذرات معلق هوا تا حدودی پرتوهای بنفش و آبی و سبز را متوقف می سازند. از این رو نمای یک شهر در هوای غبار گرفته و مه آلود به علت توقف طول موج های کوتاه، نا واضح و چراغ اتومبیل ها هنگام شب به رنگ زرد دیده می شود. در حالیکه در کوهستان و کنار دریا، به علت وزش باد و پاکی هوا، پرتوهای سبز و آبی و بنفش نفوذ بیشتری می یابند و مناظر تا دور دست وضوح دارند.

همچنین، هنگام طلوع و غروب، پرتوهای خورشید از قشر ضخیم تر جوّ عبور می کنند و میزان بخار آب و ذرات معلق در مسیر آنها بیشتر است، لذا پرتوهای بنفش و آبی تا حدودی متوقف می شوند و پرتوهای قرمز که طول موج بلندتری دارند بیشتر به زمین می رسند. به این جهت کرانه آسمان در این

---

[1] Fraunhofer .

مواقع قرمز و نارنجی دیده می شوند. برعکس، هنگام ظهر که خورشید عمود می تابد و نور از لایه نازکی می گذرد، رنگ های نزدیک به طیف آبی زیادتر است. حداکثر امواج آبی در طیف نور خورشید هنگام ظهر تابستان به زمین می تابد.

روابط رنگ ها

چنانچه اشاره شد، نور سفید ترکیبی از سه رنگ آبی (B) و سبز (G) و قرمز (R) به نسبت مساوی است که به آنها **رنگ های اصلی**[1] نور گفته می شود. بنابراین:

$$W\ (\text{سفید}) = B\ (\text{آبی}) + G\ (\text{سبز}) + R\ (\text{قرمز})$$

از ترکیب دو به دوی رنگ های اصلی، رنگ های ثانویه[2] به دست می آید:

$$R + G = \text{Yellow (زرد)}$$
$$B + R = \text{Magenta (ارغوانی)}$$
$$G + B = \text{Cyan (فیروزه ای)}$$

نور زرد (Y) ⇐ مکمل نور آبی (B)
نور ارغوانی (M) ⇐ مکمل نور سبز (G)
نور فیروزه‌ای (C) ⇐ مکمل نور قرمز (R)

رنگ مکمل[3]، رنگی است که اگر با نور اصلی جمع بشود، نور سفید به دست می دهد. بنابراین:

$$Y + B = W$$
$$M + G = W$$
$$C + R = W$$

---

1. Principal Colors
2. Secondary Colors
3. Complementary Colors

همچنین از ترکیب دو به دوی رنگ های ثانویه، مجددا رنگ های اصلی فراهم می شود:

$$C + M = B$$
آبی ⇐ مکمل زرد
$$Y + C = G$$
سبز ⇐ مکمل ارغوانی
$$M + Y = R$$
قرمز ⇐ مکمل فیروزه ای

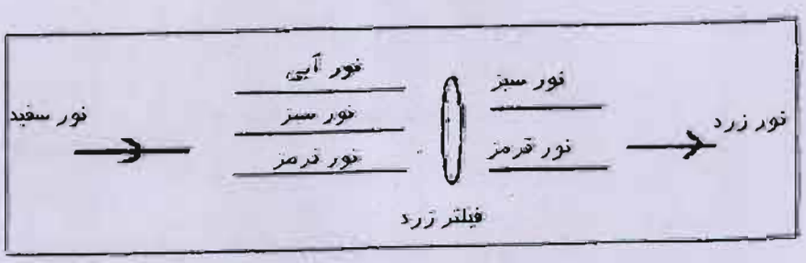
به این ترتیب، هر رنگ اصلی به اندازه ۱/۳ و هر رنگ مکمل به انـدازه ۲/۳ از طیف نور سفید را در خود دارد. به بیان دیگر، میزان تاثیر رنگِ مکمل برابـر دو رنگ اصلی است.

شیشه های رنگی

جهان از ورای شیشه رنگی کمـابیش بـه رنـگ همـان شیشـه دیـده مـی شـود. شیشه های رنگی (فیلترهای رنگی) در عکاسی، اعم از سیاه و سـفید یـا رنگـی، کاربرد فراوان دارند.

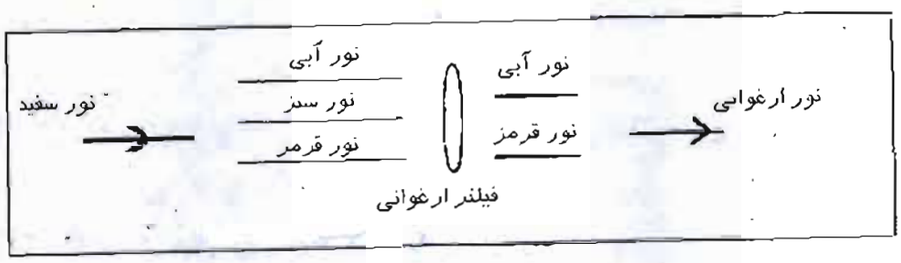
شیشه یا فیلتر رنگی، نور همرنگ خود (یا معادل رنگ خود) را عبور می دهد و سایر نورها (یا نور مکمل رنگ خود) را جذب کرده و عبور نمی دهد.

برای مثال، فیلتر زرد، نور زرد و معادل رنگ خود، یعنی نور قرمز و سبز، را عبور می دهد و نور مکمـل خـود یعنـی نـور آبـی، یـا معـادل آن فـیروزه ای و ارغوانی، را جذب می کند.

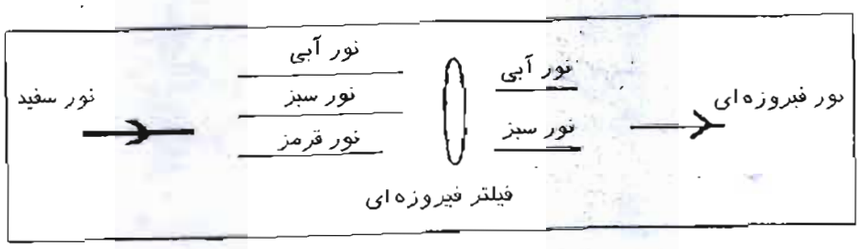


نور سفید از پشت فیلتر زرد، به رنگ زرد دیده می شود، زیرا این فیلتر، نور آبی، یعنی رنگ مکمل خود را جذب می کند. بنابراین تنها نورهای سبز و قرمز از فیلتر اجازه عبور می یابند. این دو نور در چشم ترکیب شده و رنگ زرد پدید می آید.

همچنین فیلتر ارغوانی، به نور سبز اجازه عبور نمی دهد، زیرا نور سبز مکمل نور ارغوانی است. در این حالت نور آبی و **قرمز** از فیلتر می گذرند که ترکیب شده و نور ارغوانی پدید می آورند.



فیلتر فیروزه ای نیز، مانند دو همتای خود، عمل می کند. نور قرمز را که مکمل فیروزه ای است جذب کرده و دو نور آبی و سبز را عبور می دهد، که ترکیب شده و فیروزه ای به دست می آید.



به این ترتیب برای تاثیر دو رنگ در تصویر، به جای استفاده از دو فیلتر، می توان از یک فیلتر معادل آن دو رنگ استفاده کرد. برای کاهش اثر تمام رنگ ها به یک نسبت، از فیلترهای خاکستری (Nd) استفاده می شود. از ترکیب سه رنگ مکمل خالص به نسبت مساوی، رنگ سیاه (نور سیاه!) و از ترکیب سه رنگ مکمل با غلظت های گوناگون، درجات مختلف خاکستری به

دست می آید. در مبحث نور، سطوح خاکستری و سیاه در زمره رنگ ها شمرده نمی شوند. زیرا فرکانس خاصی را نمی توان به آن نسبت داد.

ضریب جذب فیلترها

نور هنگام گذر از شیشه رنگی و فیلترهای عکاسی به میزان معین جذب می شود و تنها گسری از آن عبور می کند. میزان جذب نور در شیشه های شفاف و برخی از فیلترها، مانند فیلتر فرابنفش (UV) و فیلتر آسمان آبی (Skylight)، چندان نیست. لیکن در بسیاری از فیلترها، روشنایی نور به میزان قابل توجه ای کاهش می یابد. برای جبران مقدار نوری که فیلتر جذب کرده است، باید میزان نوردهی به فیلم را بر اساس ضریب فیلتر و توصیه کارخانه سازنده افزایش داد. گاه این افزایش نوردهی به چند درجه دیافراگم می رسد.

البته برای دوربین هایی که مطابق نظام TTL (سیستم نورسنجی از طریق لنز) ساخته شده اند، محاسبه و اعمال ضریب فیلتر لازم نیست، زیرا نورسنج این دوربین ها نور ورودی را مستقیما از طریق لنز و فیلتر دریافت می کند و لذا تغییرات نور به طور عادی در نورسنجی این دوربین ها ملحوظ می شود.

♦ استثنا: تعدادی از فیلترهای بسیار غلیظ میزان نور را به حدی کاهش می دهند که سلول های نورسنج دچار خطا می شوند.

طبقه بندی فیلترها

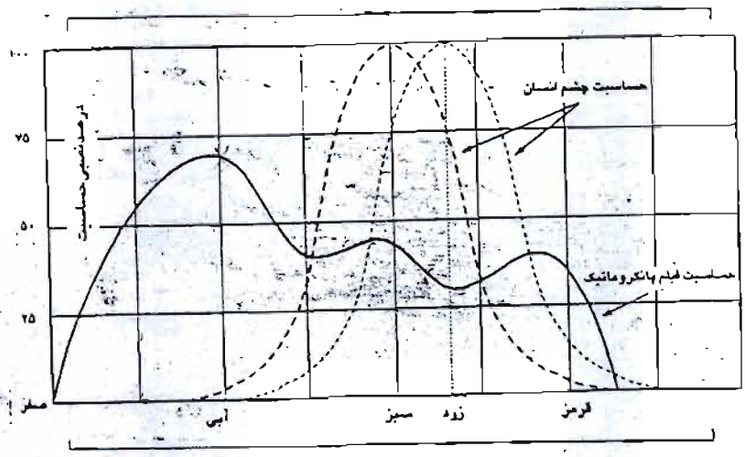
فیلترهای عکاسی به طور کلی به سه گروه متمایز تقسیم می شوند، که هر گروه زیر مجموعه مربوط به خود را دارد:

- ♦ . فیلترهای رنگی (Chromatic): این گروه از فیلترها بر اساس تغییر طول موج نور، ترکیب و کیفیت رنگ نور را تغییر می دهند.
- ♦ . فیلترهای غیر رنگی (Nonchromatic): این گروه از فیلترها بی رنگ و خاکستری اند و شدت تمام نورها را به یک میزان کاهش می دهند.

- فیلترهای جلوه های ویژه (Special Effect): این گروه از فیلترها برای خلق جلوه های ویژه و تصحیحات تصویری به کار می روند و از تنوع بسیار برخوردارند و بی رنگ و با رنگ ساخته می شوند.

عملکرد فیلترها در عکاسی سیاه و سفید

حساسیت چشم انسان در مقابل همه رنگ ها به یک اندازه نیست. ساختار چشم انسان به گونه ای است که در نور طبیعی روز، رنگ زرد و در مکان های کم نور، رنگ سبز را روشنتر از قرمز و آبی دریافت می کند. بیشترین حساسیت رنگی چشم انسان در حوزهٔ رنگ های زرد و سبز (حوزهٔ طول موج های ۵۲۰۰-۵۸۰۰ نانومتر) قرار دارد.



نمودار ۱. حساسیت رنگی چشم انسان در مقایسه با فیلم های متداول سیاه و سفید (پانکروماتیک).

از طرفی حساسیت فیلم های پانکروماتیک برعکس چشم انسان است، یعنی در برابر رنگ آبی حساسیت بسیار زیاد دارند و در مقابل رنگ های سبز و قرمز حساسیت آن به شدت اُفت می کند. (رک. نمودار ۱) تفاوت در این است که، فیلم های سیاه و سفید، رنگ ها را به صورت درجه های مختلف خاکستری ثبت می کنند. هنگام عکسبرداری با این فیلم ها، کافی است روشنایی

اندکی تغییر کند. مثلا آسمان آبی روشن باشد. در این صورت رنگ آسمان آبی در عکس، سفید ظاهر خواهد شد. در بسیاری از مواقع در عکس های سیاه و سفید، تفاوت چندانی بین آسمان آبی صاف و آسمان روشن ابری دیده نمی شود. بدون استفاده از فیلتر. فیلم های سیاه و سفید بسیاری از رنگ های نزدیک (مثلا قرمز و نارنجی) را خاکستری یکنواخت ثبت می کنند.

- مهمترین کاربرد فیلترها در عکاسی سیاه و سفید، تغییر دادن حساسیت رنگی فیلم برای تفکیک و ثبت بهتر رنگ ها (با تُنهای دلخواه) است.

فیلتر، در عکاسی سیاه و سفید، نور همرنگ خود را بیش از سایر نورها بر فیلم می تاباند و نورهای دیگر را تا حدی جذب می کند. بنابراین رنگ فیلتر روی فیلم تیره تر می شود. تیره تر شدن هر قسمت از فیلم منفی (نگاتیو) باعث روشن تر شدن آن قسمت در عکس می گردد.

در عکاسی سیاه و سفید، برخلاف عکاسی با فیلم رنگی، هر فیلتر رنگ همرنگ خود را روشن تر از حد معمول و سایر رنگ ها را تیره تر می سازد.

بنابراین فیلترها، در تصویر سیاه و سفید، رنگ همرنگ خود را به اندازه غلظت کامل خود روشن تر و رنگ های معادل خود را با نسبت کمتر روشن می سازد (چون هر رنگ اصلی یا مکمل، معادل دو رنگ دیگر است). همچنین، رنگ مکمل خود را به اندازه غلظت کامل خود و رنگ های معادل آن را به نسبت کمتر تیره می کند. برای مثال، فیلتر زرد را در نظر بگیرید. این فیلتر رنگ های قرمز و سبز را عبور می دهد و از عبور نور آبی جلوگیری می کند. چون:

قرمز + سبز = زرد

ارغوانی + فیروزه ای = آبی

آبی ⇐ مکمل زرد

این فیلتر به اندازه غلظت کامل خود رنگ زرد را در فیلم روشن‌تر از حد معمول و رنگ های قرمز و سبز را بنسبت های کمتر و در مجموع معادل غلظت فیلتر روشن می کند. اثر ضربی رنگ آبی را به اندازه غلظت کامل خود تیره و رنگ های ارغوانی و فیروزه ای را به میزان کمتر تیره می سازد.

نکته: در عکاسی سیاه و سفید. فیلتر های رنگی بر سطوح سیاه و خاکستری و سفید تاثیر نمی گذارند.

فیلترهای خاص فیلم های سیاه و سفید

- فیلتر جذب کنندهٔ پرتوهای فرابنفش (فیلتر UV)

پرتوهای فرابنفش از خورشید به زمین می تابند و در کنار دریا و کوهستان که هوا پاک و عاری از غبار است بیشتر وجود دارند. طول موج پرتوهای فرابنفش کمتر از ۴۰۰ نانومتر است و چشم انسان قادر به دیدن آنها نیست. حتی سلول های نورسنج های معمولی هم قادر نیستند آنها را ثبت کنند. لیکن این پرتوها به شدت بر امولسیون فیلم (لایه حساس به نور در فیلم) اثر می گذارند و نوعی خفگی کلی در عکس به وجود می آورند. هرچه میزان تابش این پرتوها، باضافه ذرات بخار و آلودگی هوا، بیشتر باشد، به همان نسبت از وضوح تصویر کاسته می شود.

توصیه: فیلترهای UV را به طور دایم روی عدسی ببندید، چون علاوه بر جلوگیری از پرتوهای ناخواسته، شیشه عدسی را نیز از گرد و غبار و خراش و اثر انگشت محافظت می کند.

ضریب فیلتر UV برابر ۱ است. یعنی شدت نور (روشنایی در واحد سطح) در عبور از این فیلتر کاهش پیدا نمی کند و نیازی به باز کردن دهانه دیافراگم و افزایش نور دهی نیست. ضریب فیلتر روی رینگ فیلتر حک می شود. شیشه

و همه فیلترها. بجز فیلتر آبی رنگ. پرتوهای فرابنفش را جذب می کنند. لذا هنگام استفاده از انواع فیلترها. نیازی به فیلتر UV نیست.

◆ . فیلتر زرد شماره 8.

این فیلتر به دلیل جذب نسبی پرتوهای آبی (تا فرابنفش). رایج ترین فیلتر برای تیره کردن آسمان و حذف اثر ذرات بخار و غبار هوا (haze) به شمار می رود. همچنین. این فیلتر به علت برخورداری از رنگ سبز. رنگ های سبز طبیعت را تا اندازه ای تیره می سازد که به تفکیک بهتر سطوح سبز می انجامد. از آنجا که در فضای باز. سایه ها روشنایی خود را از آسمان آبی دریافت می کنند، این فیلتر باعث تیره شدن سایه ها و افزایش تضاد (کنتراست) در عکس سیاه و سفید می شود. ضریب این فیلتر برای عکاسی در نور روز 2 و برای نور تنگستن 1.5 ذکر می شود. یعنی برای جبران نور جذب شده توسط فیلتر. میزان نوردهی را برای نور روز ۱ درجه دیافراگم، و برای نور تنگستن ۲/۳ درجه باید افزایش داد-- که گفتیم در صورت استفاده از نورسنج TTL نیازی به این تغییر نیست. از انواع رایج، فیلتر زرد شماره 6 را می شود نام برد که روشن تر از فیلتر زرد شماره 8 است و تیرگی ملایمتری در عکس پدید می آورد. و همچنین، فیلتر زرد شماره 15، به رنگ زرد غلیظ، تضاد شدید در عکس ایجاد می کند.

◆ . فیلتر سبز متمایل به زرد شماره 11.

این فیلتر غالبا برای تصحیح نور تنگستن و نور خورشید به هنگام طلوع و غروب به کار می رود، و تُنهای رنگ سبز را بهتر از فیلتر زرد شماره ۸ تفکیک می کند. همچنین در عکاسی چهره (پرتره)، تُنهای پوست سفید را طبیعی تر جلوه می دهد. ضریب این فیلتر برای نور روز ۴ و برای نور تنگستن ۳ ذکر می شود (افزایش نوردهی به ترتیب ۲ و ۱ و۲/۳ درجه دیافراگم). در همین ردیف، فیلتر شماره 13 با رنگ تیره تر هم عرضه می شود.

◆ . فیلتر سبز شماره 58.

این فیلتر رنگ های سبز و زرد و فیروزه ای را روشن و رنگ های قرمز و ارغوانی و آبی را تیره می سازد. ضریب این فیلتر برای نور روز و نور تنگستن ۸ است (برابر با سه درجه افزایش دیافراگم، یا کاهش سه درجه

سرعت شاتر)، فیلتر شماره 50 (به رنگ سبز روشن) و فیلتر شماره 61 (به رنگ سبز تیره) در همین ردیف ساخته می شود.

- **فیلتر قرمز شماره 25 .**

این فیلتر رنگ های قرمز و ارغوانی و زرد را روشن، و رنگ های فیروزه ای و سبز و آبی را تیره می سازد. رنگ آبی آسمان با این فیلتر در فیلم سیاه و سفید به شدت تیره می شود. ضریب این فیلتر برای نور روز و نور تنگستن ۸ ذکر شده است. برابر با سه درجه افزایش درجه دیافراگم. فیلترهای 23A با رنگ قرمز روشن، و 29 با رنگ قرمز بسیار غلیظ نیز رواج دارد.

- **فیلتر آبی تیره شماره 47.**

این فیلتر رنگ های آبی و فیروزه ای و ارغوانی را روشنتر، و رنگ های زرد و قرمز و سبز را تیره می سازد. برای ایجاد یکنواختی سطوح خاکستری و خلق حالت مه آلود در تصویر فیلتر مناسبی است. همچنین این فیلتر بین صحنه های برفی و آسمان، تضاد (کُنتراست) لازم را پدید می آورد. ضریب این فیلتر برای نور روز ۵ و برای نور تنگستن ۸ قید می شود.

عملکرد فیلترها در عکاسی رنگی

ساختار فیلم های رنگی به گونه ای است که دانه های رنگساز حساس به نور در این فیلم ها (که در نهایت تصویر را روی فیلم شکل می دهند) مکمل (متضاد) رنگ هر کدام از لایه ها است. در فیلم رنگی، دانه های رنگساز لایهٔ حساس به نور آبی، زرد رنگ اند و دانه های لایهٔ حساس به نور سبز، ارغوانی و در لایهٔ حساس به نور قرمز، فیروزه ای (سایان) هستند. بنابراین وقتی فیلم رنگی بیش از حد معمول در معرض مثلا نور آبی قرار بگیرد، طبعا نور آبی بیشتر به فیلم می تابد و جذب آن می شود. در نتیجه، در مرحله ظهور، بلورهای نمک نقره ای که نور آبی بیشتر جذب کرده اند، مقدار بیشتری رنگدانه زرد روی فیلم باقی می گذارند. حال چه فیلم منفی (نگاتیو) باشد و روی کاغذ عکس چاپ شود، یا اسلاید باشد و به شیوه مستقیم به تصویر مثبت تبدیل بشود، این رنگ زرد اضافی (که تا این مرحله به صورت نگاتیو است)، در تصویر نهایی (عکس رنگی یا اسلاید) به صورت مثبت، یعنی به رنگ متضاد رنگ خود، یعنی رنگ آبی، ظاهر می شود.

بنابراین، فیلترها در فیلم رنگی برخلاف فیلم سیاه و سفید عمل می کنند، یعنی:

> **در تصویر نهایی فیلم های رنگی، هر فیلتر رنگ همرنگ خود (یا رنگ های معادل رنگ خود) را پررنگ، و سایر رنگ ها (یا رنگ های مکمل رنگ خود) را کمرنگ می سازد.**

در واقع باید گفت، قانون کلی فیلترها در همه حال یکسان است اما ساختار متفاوت فیلم های سیاه و سفید و رنگی نتیجه را معکوس می کند.

در مبحث عملکرد فیلترها در عکاسی سیاه و سفید گفتیم، نقش اصلی فیلترها (جدای از تمهیدات ویژهٔ تصویری) تبدیل رنگ ها به تُنهای خاکستری مطلوب است. اما در عکاسی رنگی خواستار رنگِ اصلی موضوع هستیم، و آنچه

اهمیت می یابد ایجاد نور مناسب با فیلم عکاسی است. چون اگر فیلم رنگی در نور مناسب عکسبرداری بشود، رنگ ها را به صورت طبیعی بازسازی می کند و نیازی به فیلتر برای طبیعی جلوه دادن رنگ ها نیست. اما شرایط این اگر در غالب اوقات فراهم نیست و لذا استفاده از فیلتر ضرورت می یابد.

دمای رنگ نور

چنانچه در اتاق تاریک، جسمی سیاه (فلزی سیاه) را به طور غیرمستقیم (مثلا توسط جریان برق) حرارت بدهیم، جسم به تدریج افزایش دما می یابد و در دمای زیاد ابتدا سرخ دیده می شود و این سرخی، هرچند خفیف، در اتاق تاریک روشنایی پدید می آورد. رنگ این روشنایی را برحسب دمای جسم سیاه می سنجند. سپس با افزایش دما، سرخی جسم به نارنجی تبدیل می شود که رنگ و روشنایی دیگری به اتاق می بخشد. با افزایش بیشتر دما، فروزش فلز از نارنجی به زرد و سفید و سپس به آبی و بنفش تبدیل می شود، که هر کدام دما و رنگ خود را دارند. بر این پایه، رنگ نور محیط را برحسب دمای جسم سیاه می سنجند و واحد آن را به جای سانتیگراد، کلوین* انتخاب کرده اند، که واحد علمی سنجش دما است. درجه بندی کلوین تفاوتی با درجات سانتیگراد ندارد، لیکن صفر درجه کلوین برابر با ۲۷۳- درجه سانتیگراد است. رابطه درجات کلوین و درجات سانتیگراد چنین است:

$$K = C\ (\text{سانتیگراد}) + ۲۷۳\ (\text{کلوین})$$

واحد دیگر برای سنجش دمای رنگ، واحد مایرد (Mired) است:

$$\text{مایرد} = ۱۰۰۰۰۰۰ / \text{کلوین}$$

به عنوان مثال، دمای رنگ نور سفید حدود ۵۵۰۰ درجه کلوین و برابر با ۱۸۰ درجه مایرد است.

---

* William Kelvine (فیزیکدان انگلیسی قرن نوزدهم)

بنابراین هرچه دمای رنگ نور بالا باشد، امواج نور آبی بیشتر، و هرچه دمای رنگ نور پایین باشد، امواج قرمز بیشتر می تابند. وقتی امواج نور در حال تعادل و برابری نسبی باشند (که به ندرت چنین پیش می آید)، نور سفید روز تولید می شود. نور اغلب فلاش های الکترونیک مطابق با نورِ سفید روز است.

نور سفید روز اصطلاحا به نور خورشید در حوالی نیمروز گفته می شود، زیرا در این ساعات نسبت تمام رنگ های نور تقریبا برابر است.

دمای رنگ منابع مختلف نور

منابع نور مصنوعی	درجه کلوین (K)	منابع نور طبیعی	درجه کلوین (K)
شمع معمولی	۱۵۰۰	نور خورشید هنگام طلوع و غروب	۳۱۰۰
لامپ ۲۵-۶۰ وات معمولی	۲۵۰۰	نور خورشید یک ساعت بعد از طلوع و یک ساعت پیش از غروب	۳۵۰۰-۳۸۰۰
لامپ ۱۰۰-۲۰۰ وات	۲۸۰۰-۳۰۰۰	نور ماه	۳۷۰۰
لامپ هالوژن	۳۰۰۰-۳۴۰۰	نور خورشید دو ساعت بعد از طلوع و دو ساعت پیش از غروب	۳۹۰۰-۴۱۰۰
لامپ تنگستن	۳۲۰۰	نور خورشید پیش از ظهر و بعد از ظهر	۵۰۰۰-۵۵۰۰
لامپ فوتوفلاد (فوتولامپ)	۳۴۰۰	نور خورشید درخشان	۶۰۰۰-۶۲۰۰
لامپ فلورسنت (مهتابی)	۳۶۰۰-۳۶۰۰	نورآسمان نیمه ابری (باز)	۶۲۰۰-۹۰۰۰
فلاش لامپی بی رنگ	۳۶۰۰-۴۲۰۰	نور آسمان دود گرفته	۹۰۰۰ الی ۱۱۰۰۰
لامپ فوتوفلاد شیشه آبی	۴۸۰۰-۵۰۰۰	نور آسمان صاف آبی	۱۲۰۰۰ و فراتر
فلاش شیشه آبی استاندارد نور روز	۵۵۰۰	---	---
فلاش های الکترونیک	۵۴۰۰-۶۲۰۰	---	---

تعادل فیلم های رنگی

فیلم های رنگی با سه نوع تعادل (حساسیت در مقابل نور) تولید می شوند. فیلم های مخصوص نور روز (daylight) با تعادل ۵۵۰۰ کلوین، و فیلم های نوع A و B با تعادل های ۳۴۰۰ و ۳۲۰۰ درجه کلوین.

> فیلم های رنگی وقتی رنگ ها را به صورت طبیعی ثبت می کنند که تعادل رنگی آنها با دمای رنگ نوری که در آن عکسبرداری می شوند، برابر باشد.

بنابراین، فقط در سه حالت، بدون استفاده از فیلتر، عکس ها از رنگ های طبیعی برخوردار می شوند. این سه حالت ضبعا درجه های ۵۵۰۰ و ۳۴۰۰ و ۳۲۰۰ کلوین است. لیکن باید افزود، هنگام عکاسی با فیلم نگاتیو رنگی، اگر دمای رنگ نور و تعادل رنگی فیلم تا حدود ۱۰۰۰ درجه کلوین اختلاف داشته باشد چندان اهمیت ندارد، زیرا هنگام چاپ روی کاغذ عکس، تا حدود زیاد امکان تغییر و اصلاح رنگ ها وجود دارد. لیکن در مورد اسلاید چنین نیست. و باید در همان لحظه عکسبرداری دمای رنگ نور را به کمک فیلتر تصحیح کرد.

فیلترهای خاص فیلم های رنگی

- **فیلتر نور آسمان آبی (Skylight)**. عملکرد این فیلتر مانند فیلتر UV است، پرتوهای فرابنفش و نور آبی اضافی آسمان را جذب می کند و وضوح بهتر در عکس پدید می آورد. رنگ شیشه در این فیلترها اندکی صورتی است. فیلترهای نور آسمان آبی در دو نوع ساخته می شوند: نوع A و نوع B. نوع A متشکل از سری 1A، 2A، 3A... و نوع B متشکل از سری 1B و 2B و B3 و غیره، که هر کدام غلظت و درجات مخصوص خود را دارند. (فیلتر 2A پررنگتر از فیلتر 1A و در نتیجه قویتر عمل می کند.) فیلتر 2A ساخت کداک تقریبا تمام پرتوهای فرابنفش را جذب می کند. رنگ این فیلتر زرد کهربایی است. برای عکسبرداری در فضای بسته و نورهای مصنوعی نیازی به این فیلتر نیست، لیکن توصیه می شود، برای محافظت از عدسی گرانبهای دوربین، آن را به طور دایم استفاده کنند.

• . فیلترهای تبدیل رنگ نور (Color Conversion) . وقتی اختلاف دمای رنگ منبع نور با تعادل رنگی فیلم بسیار فاحش باشد (حدود ۳۰۰۰ درجه کلوین و فراتر) از فیلتر تبدیل رنگ نور، استفاده می شود. دو حالت ممکن است: یا دمای رنگ نور محیط فراتر از تعادل رنگی فیلم است. یا فروتر. به این علت، دو نوع از این فیلتر ساخته می شود:

۱. فیلترهای افزایش دهنده شدید دمای رنگ، سری ۸۰ (به رنگ آبی روشن و تیره).

۲. فیلترهای کاهش دهنده شدید دمای رنگ، سری ۸۵ (به رنگ نارنجی روشن و تیره).

• . فیلترهای متعادل کننده رنگ نور (Color Balancing). عملکرد این فیلترها شبیه فیلترهای تبدیل رنگ نور است، لیکن ملایمتر عمل می کنند. این فیلتر به ویژه در صنعت سینما، برای یکنواخت کردن رنگ چند هزار متر فیلم به کار می رود. این فیلتر نیز، مانند همتای خود، در دو گروه عرضه می شود:

۱. فیلترهای افزایش دهنده ملایم دمای رنگ، سری ۸۲ (به رنگ آبی کمرنگ).

۲. فیلترهای افزایش دهنده ملایم دمای رنگ، سری ۸۱ (به رنگ زرد کمرنگ).

. فیلترهای جبران کننده رنگ نور (Color Compensating). فیلترهایی که تا کنون شرح دادیم، فیلترهای تبدیل و متعادل کننده رنگ نور بودند و دمای رنگ نور را افزایش یا کاهش می دادند. به عبارت دیگر، این فیلترها بیشتر روی امواج بالا و پایین طیف اثر می گذاشتند. فیلترهایی نیز برای تقویت و جبران رنگ های میانی طیف نور سفید نیز ساخته می شود، که معروف به فیلترهای جبران کننده رنگ نور، یا به اختصار فیلترهای cc. است.

مثال: ضیف نور لامپ فلورسنت (مهتابی) کمابیش فاقد نور قرمز است و بیش از اندازه نور سبز دارد. چشم انسان قادر به دیدن این امواج اضافی نیست و کلا نور این لامپ ها را سفید می بیند. اما فیلم عکاسی این نور سبز اضافی را جذب می کند و در نتیجه، تصاویری با تله رنگ متمایل به سبز در کل عکس پدید می آید. در صورت استفاده از یک فیلتر ارغوانی (مانند) نور سبز اضافی جذب می شود و رنگ ها طبیعی جلوه می کنند.

فیلترهای cc خاص عکسبرداری. اغلب از جنس ژلاتین و در شش رنگ (سه رنگ اصلی و سه رنگ مکمل) و در اندازه و غلظت های متنوع (از ۲ ٪ تا ۱۰۰٪) ساخته می شوند. از این فیلتر در دستگاه چاپ رنگی (آگراندیسور) نیز استفاده می شود. و گاه از جنس پلاستیک است که به آن فیلتر cp می گویند. فیلترهای cc در مقایسه با فیلترهای cp . ضخامت کمتری دارند و ازکیفیت نوری بهتر برخوردارند، اما اثر انگشت و آلودگی محیط به سرعت آنها را غیرقابل استفاده می سازد.

فیلترهای غیر رنگی (Nonchromatic)

- . **فیلترهای خاکستری (Neutral Density)**. فیلترهای خاکستری، یا به اختصار فیلترهای ND، بر دمای رنگ تاثیر نمی گذارند، لیکن روشنایی (شدت نور) را به میزان معین کاهش می دهند. فیلترهای ND در چهار طرح ساخته می شوند: (۱) یکدست خاکستری، (۲) نصف خاکستری و نصف روشن، (۳) کاهش تدریجی سطح خاکستری از بالا به پایین یا برعکس، (۴) کاهش تدریجی دایره وار خاکستری از مرکز به سمت حاشیه.

فیلترهای خاکستری بیشتر در صنعت سینما کاربرد دارند. زیرا در فیلمبرداری، سرعت شاتر معمولا ۱/۴۸ ثانیه است و غالبا درجه های دیافراگم فراتر از f 11 به تصاویر نامطلوب می انجامد. بنابراین در نور شدید صحنه های خارجی، به کمک فیلتر ND، می توانیم شدت نور صحنه را از حدود ۱/۳ تا ۱۳ درجه دیافراگم کاهش بدهیم.

لایه های امولسیون در اکثر فیلم های رنگی برای نوردهی های ۱/۱۰-۱/۱۰۰۰ ثانیه حساس شده اند. در فراتر و فروتر از این محدوده، رنگ ها بدرستی بازسازی نمی شوند.

در عکاسی با سرعت بالا. فراتر از ۱/۱۰۰۰ ثانیه. توازن رنگی لایه های حساس به نور درهم می ریزد و رنگ ها طبیعی جلوه نمی کنند (این مورد بیشتر هنگام عکاسی در مکان های پرنور. مثلا صحنه های برفی یا ساحل دریا. اتفاق می افتد.). لذا استفاده از فیلتر ND ضرورت می یابد.

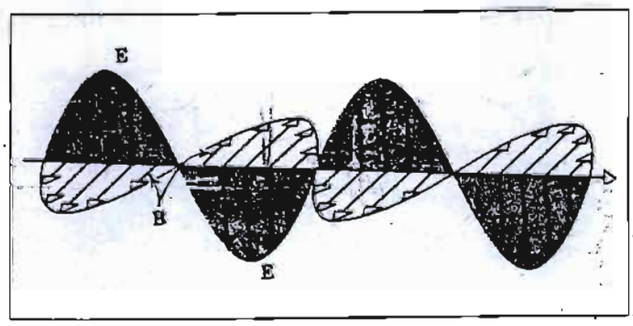
شماره و ضریب فیلترهای خاکستری (ND)

شماره فیلتر	ضریب فیلتر	درصد انتقال نور	شماره فیلتر	ضریب فیلتر	درصد انتقال نور
۰/۱	۱/۲۵	٪ ۸۰	۰/۸	۶	٪ ۱۶
۰/۲	۱/۵	٪ ۶۳	۰/۹	۸	٪ ۱۲/۵
۰/۳	۲	٪ ۵۰	۱	۱۰	٪ ۱۰
۰/۴	۲/۵	٪ ۴۰	۲	۱۰۰	٪ ۱
۰/۵	۳	٪ ۳۲	۳	۱۰۰۰	٪ ۰/۱
۰/۶	۴	٪ ۲۵	۴	۱۰۰۰۰	٪ ۰/۰۱
۰/۷	۵	٪ ۲۰			

فیلترهای خاکستری تدریجی عمودی و نیمه خاکستری، بیشتر برای عکسبرداری از مناظری به کار می رود که نور شدید آسمان قسمت بالای عکس را می پوشاند. عکاس به کمک این نوع فیلتر و کادربندی مناسب و اندکی حوصله، می تواند میزان تابش نور آسمان را به دلخواه تنظیم کند. در فیلترهای دایره وار، به حاشیه های فیلم بیشتر نور می تابد و در نتیجه، موضوع مرکزی از اطراف متمایز می گردد.

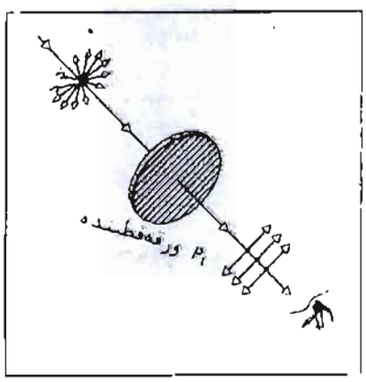
- فیلترهای قطبی (پلاریزه). این فیلترها نیز مانند فیلترهای (NI) خاکستری هستند و فقط بر مشخصات فیزیکی نور اثر می گذارند و یکی از مولفه های نور را حذف می کند ولی دمای رنگ نور را تغییر نمی دهند.

چنانکه گفته شد، نور متشکل از امواج الکترومغناطیسی است. موج الکترومغناطیسی از دو مولفه (موج) الکتریکی و مغناطیسی تشکیل شده است که عمود بر یکدیگرند و در جهت عقربک ساعت حول محور خود گردش و انتشار پیدا می کنند.



نور از دو مولفه الکتریکی E و مغناطیسی B تشکیل شده است که در جهت عقربک ساعت حول محور خود چرخش و انتشار پیدا می کنند.

فیلتر قطبی (پلاریزه) یکی از مولفه های نور را حذف می کند، و نور باقی مانده تنها دارای یک مولفه می گردد. به این علت به آن قطبی (پلاریزه) می گویند.



نور هنگام عبور از ورقه قطبنده (فیلتر) یکی از مولفه های خود را از دست می دهد.

نور بازتابیده از سطوح صیقلی غیر فلزی. مانند شیشه. سطح آب و سنگ های براق قیمتی. نور پلاریزه است و انعکاس شدیدی دارد. به همین علت در مقابل انعکاس های مزاحم. که دید ما را مختل می سازند. سر خود را اندکی می چرخانیم. مثلا هنگام نگاه کردن به ویترین مغازه. تصویر خود ما و خیابان پشت سرمان در شیشه ویترین پیدا ومانع از دیدن اشیا داخل ویترین است. در این حالت انسان ناخودآگاه خود را کنارمی کشد (زاویه دید را تغییر می دهد) تا اجناس پشت شیشه را بهتر ببیند. فیلتر پلاریزه این نورهای اضافی و مزاحم را حذف می کند.

هنگام عکسبرداری از سطوح شیشه ای. فیلترهای پلاریزه وقتی بیشترین کارایی خود را دارند که محور لنز (یعنی خط مستقیم عکسبرداری) و خط بازتاب نور زاویه ای حدود ۳۰ تا ۳۵ درجه در جهت افق تشکیل بدهد. البته در عمل، نیازی به محاسبه و اندازه گیری نیست. با چرخاندن فیلتر در مقابل لنز و تغییر مکان دوربین، زمانی که موضوع (مثلا اجناس پشت ویترین) به خوبی در ویزور دوربین دیده بشود، زاویه مناسب همان است.

فیلتر پلاریزه را می توان به یک پرده کرکره بسیار ظریف تشبیه کرد، که مولفه افقی نور از بین کرکره ها عبور می کند و مولفه عمودی آن متوقف می شود.

فیلترهای پلاریزه در هوای ابری و مه آلود کارآیی ندارند، زیرا در این مواقع نور آسمان یکنواخت است و منبع نور زاویه مشخص ندارد.

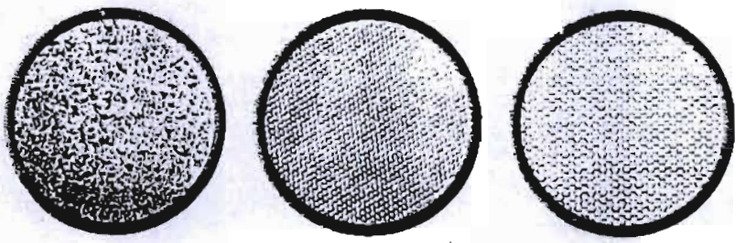
فیلترهای جلوه های ویژه (Special Effects)

این فیلترها در انواع گوناگون و متنوع ساخته می شوند و بیشتر جنبه هنری و تبلیغاتی و تفننی دارند. انواع رایج آن به شرح زیر است:

- **فیلتر نرم کننده وضوح تصویر (Soft Focus & Diffusion)**. این فیلتر جزئیات صحنه عکسبرداری را محو می سازد و نرمی و لطافت به تصویر می بخشد. بیشتر در عکاسی پرتره برای محو کردن چین و چروک

پوست به کار می رود. درجه ی تیرگی این فیلتر، وضوح کلی و کنتراست تصویر را نیز تغییر می دهد. بسیاری از این فیلترها حالت شیشه های بخار گرفته را دارند و برخی دیگر مشبک و تعدادی هم با لکه های ریز و درشت خاکستری ساخته می شوند.

فیلترهای ساخت تیفن و هریسن



چند نمونه از فیلترهای نرم کننده وضوح تصویر

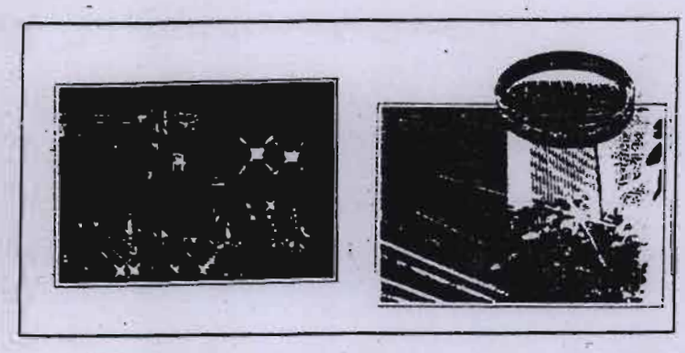
فیلتر تدریجی (Gradated). این فیلترها اغلب به شکل شیشه های مربع رنگی یا خاکستری عرضه می شوند و غلظت آنها به تدریج از بالا به پایین کاهش (افزایش) می یابد. بیشتر برای تیره یا رنگی ساختن قسمت بالای تصویر به کار می روند.

فیلتر تدریجی (Gradated)

- . فیلترهای چند تصویری (Multiple Image). معروف به فیلترهای منشوری. این فیلترها از دو یا چند منشور به هم پیوسته ساخته می شوند و تصویر را به صورت چند تصویر درهم بافته نشان می دهند.

فیلتر منشوری، تصویری درهم بافته شکل می دهد.

• . فیلتر ستارد ساز (Cross). این فیلتر مشبک است و نـور در عبـور از آن پراکنده می شود و به شکل ستاره جلوه مـی کنـد. از انـواع رایـج آن. فیلتر ستارد ساز ۲- پرد و ۴- پره و ۸- پره را می توان نام برد.

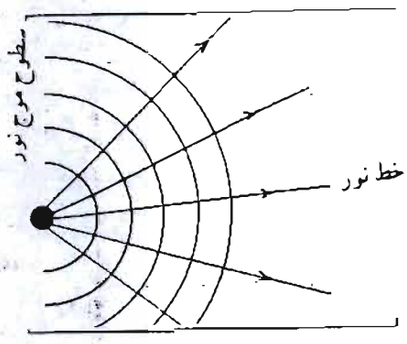


فیلتر ستاره ساز (Cross)

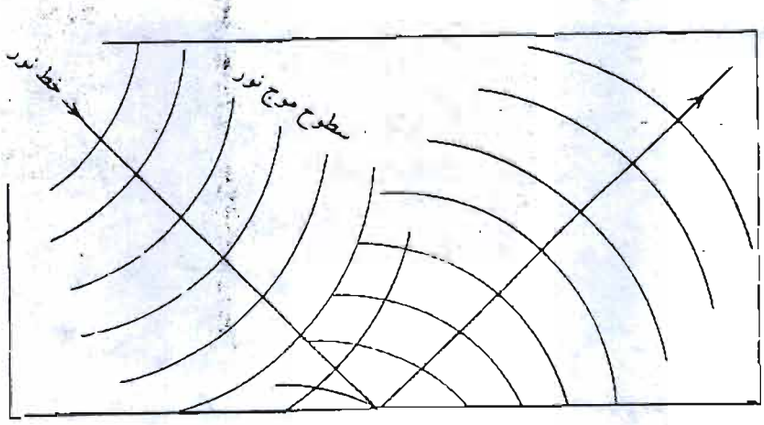
نور هندسی

نمایش نور.

نور به شکل امواج کروی از منبع نقطه ای بیرون می تابد و در فضای آزاد در همه جهات انتشار پیدا می کنند. جبهه موج نور یا سطح موج نور، عبارت است از کلیه نقاطی که فاز یکسان، یا به عبارتی، روشنایی و انرژی یکسان دارند و پرتو نور، یا خط موج نور، خطی است عمود بر سطح موج، که نور درآن جهت منتشر می شود. رک. شکل ۱ و ۲



شکل ۱- نمایش پرتو نور (خط نور) و سطح موج نور، تابیده از منبع نقطه ای.



شکل ۲- نور در برخورد به اجسام صیقلی بازتاب کرده و تغییر مسیر می دهد. لیکن سطح موج خود را همچنان حفظ می کند.

در عمل، نمایش یک دسته پرتو نور به وسیله خط نور، در مقایسه با سطح موج، آسان تر است. در مبحث نور هندسی، نتایج حاصل از تابش نور به سطوح مختلف و عبور پرتو نور از محیط های گوناگون، مثلا از هوا به شیشه، و نیز چگونگی تشکیل تصویر، با یاری از خط نور مورد مطالعه قرار می گیرد.

تابش و بازتاب نور

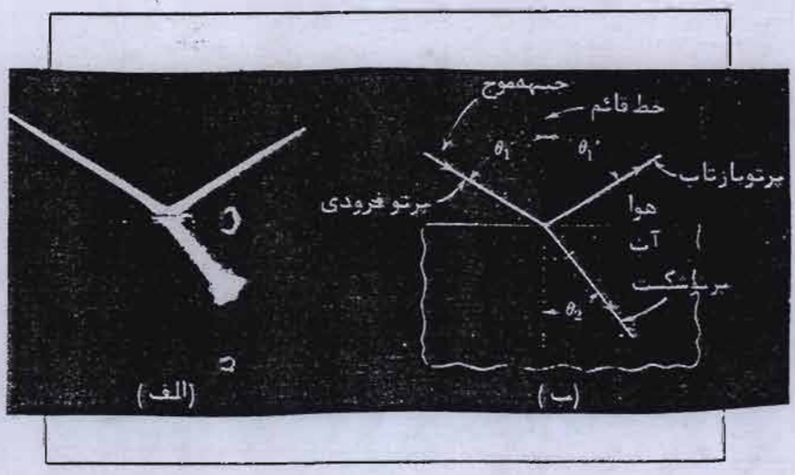
وقتی نور به سطحی صیقلی نظیر آینه بتابد بازتاب پیدا می کند و اگر در نقطهٔ برخوردِ پرتو تابش، خطی عمود بر سطح صیقلی رسم کنیم، زوایایی که پرتو تابش و پرتو بازتاب با خط عمود می سازند، به ترتیب *زاویه تابش* (θ_1) و *زاویه بازتاب* (θ_1') نامیده می شوند.

قوانین تابش و بازتاب

۱. پرتو تابش و پرتو بازتاب و خط عمود بر سطح، هر سه در یک صفحه واقع اند.

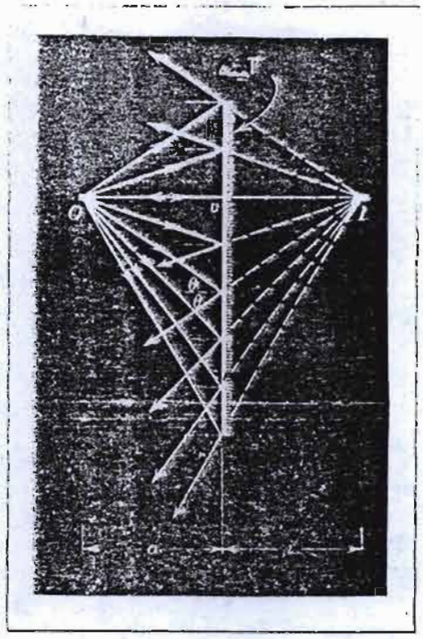
۲. زاویهٔ تابش یک پرتو نور همواره برابر با زاویهٔ بازتاب همان پرتو است، یعنی:

$$\theta_1 = \theta_1'$$



(الف) تصویری از تابش و بازتاب و شکست نور در مرز جدایی هوا و آب. (ب) چگونگی استفاده از پرتوها.

مثال: نقطه ای نورانی مانند O را در فاصله o مقابل آینه تخت در نظر بگیرید پرتوهای نور پس از برخورد به آینه مطابق با قوانین تابش و بازتاب، انعکاس می یابند. به طوری که امتداد پرتوها در نقطه ای مانند I به هم می رسند و تصویر را در فاصله مجازی i تشکیل می دهند.

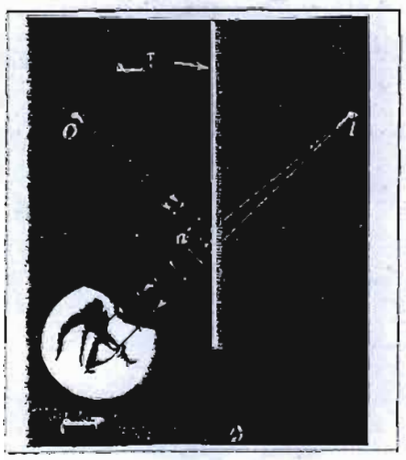


شکل ۳

تصویر نقطه نورانی در آینه تخت مجازی است. به نظر می آید پرتوها از نقطه I بیرون می تابند، اما در واقع چنین نیست.

در آینه تخت فاصله جسم (موضوع) تا آینه و فاصله تصویر تا آینه برابر است، یعنی،

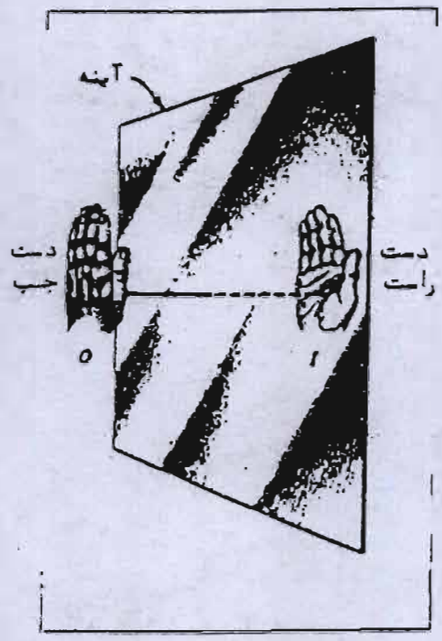
$$o = i$$



شکل ۴

یک دسته پرتو نور پس از بازتاب از آینه وارد چشم می شوند به نظر می رسد جسمه نور در نقطه I است. I برابر با قطر مخروط نور است که به چشم می تابد.

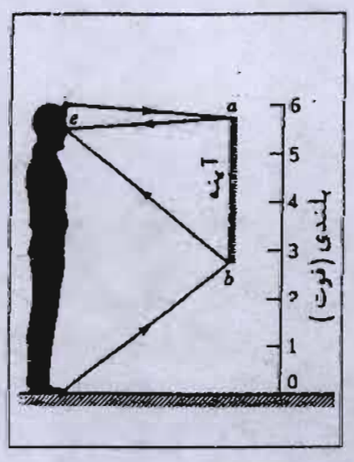
تصویر در آینه تخت، علاوه بر مجازی، چپ و راست و مستقیم است. مثلا، حرکت عقربک ساعت در آینه خلاف جهت واقعی دیده می شود.



شکل ۴

تصویر در آینه تخت، چپ به راست دیده می شود.

سوال: شخصی به طول ۱۸۰ سانتی متر می خواهد تمام قد خود را در آینه تخت قائم تماشا کند. ارتفاع آینه چقدر باید باشد؟ پاسخ: ۹۰ سانتی متر. آیا می توانید اثبات کنید؟



شکل ۵

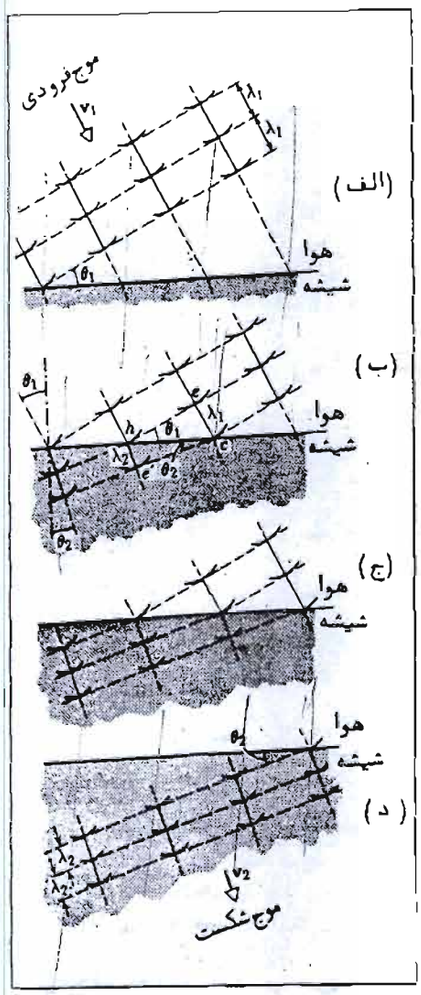
تصویر تمام قد، در آینه ای به ارتفاع حداقل نصف قد، قابل رویت است.

توجه کنید که ارتفاع آینه به فاصله شخص از آینه بستگی ندارد و بخشی از آینه که ممکن است از نقطه b (در شکل) پایین تر باشد، تصویر کف اتاق میان شخص و آینه را نشان خواهد داد.

تابش و شکست نور

نور هنگام عبور از مرز جدایی دو محیط شفاف (مثلا هوا و شیشه) تغییر مسیر می دهد (می شکند) و وارد محیط دوم می شود. رک. **شکل ۶**

مرز جدایی دو محیط شفاف، دیوپتر (Diopire) نامیده می شود.



شکل ۶

(الف) موج نور با سرعت v_1 و با زاویه θ_1 نسبت به خط عمود، از محیط رقیق (هوا) به محیط غلیظ (شیشه) می تابد. طول موج نور در هوا λ_1 است. (ب) و (ج) جبهه نور تغییر مسیر می دهد و پرتوها به خط عمود نزدیک می شوند. θ_2 زاویه تابش نور در محیط غلیظ (شیشه) است. $\theta_2 < \theta_1$ (د) نور با طول موج جدید λ_2 و با سرعت جدید v_2 به مسیر خطی خود در محیط غلیظ ادامه می دهد. $\lambda_2 < \lambda_1$ و $v_2 < v_1$.

سرعت و طول موج نور در محیط غلیظ (شیشه) نسبت به محیط رقیق (هوا) کاهش می یابد، ولی فرکانس آن تغییر نمی کند.

فرکانس نور نماینده رنگ آن است.

قوانین تابش و شکست نور

۱. پرتو تابش و پرتو شکست و خط عمود بر سطح، هر سه در یک صفحه واقع اند.

۲. نسبت سینوس زاویه تابش به سینوس زاویه شکست برابر با ضریب شکست محیط شفاف است. یعنی:

$$\text{Sin}\,\theta_1 / \text{Sin}\,\theta_2 = n_{21}$$

و یا:

$$v_1/v_2 = n_{21}$$

و یا:

$$\lambda_1/\lambda_2 = n_{21}$$

که در آن:

θ_1 و θ_2 ⇐ زاویه تابش و زاویه شکست.

v_1 و v_2 ⇐ سرعت نور در محیط رقیق و غلیظ.

λ_1 و λ_2 ⇐ طول موج نور در محیط رقیق و غلیظ.

n_{21} ⇐ ضریب شکست محیط غلیظ نسبت به محیط رقیق.

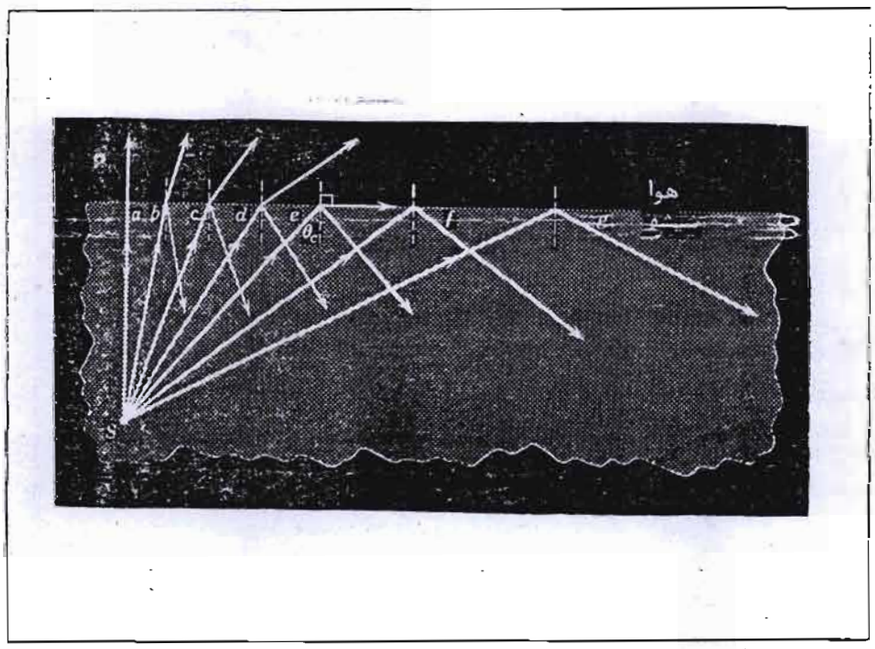
با استفاده این روابط، ضریب شکست نور در محیط های مختلف شفاف به دست می آید. رقیق ترین محیط شفاف خلا (هوا) است، از این رو، ضریب شکست محیط های شفاف نسبت خلا (هوا) سنجیده می شود. سازندگان شیشه های عدسی، غالبا ضریب شکست شیشه های عدسی را بین ۱/۴۶ الی ۱/۹۶ در نظر می گیرند.

جدول ضریب شکست نور (n_{21})

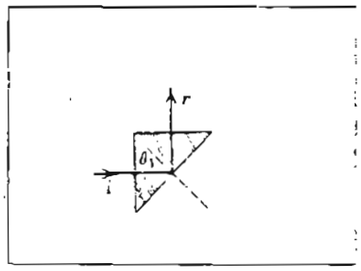
محیط شفاف	ضریب شکست	محیط شفاف	ضریب شکست
خلا	۱/۰۰۰	کوارتز	۱/۴۶
هوا	۱/۰۰۰۳	یاقوت کبود	۱/۷۷
فلوریت	۱/۴۳	کلرور سدیم	۱/۵۳
الماس	۲/۴۲	آب مقطر	۱/۳۳
شیشه، فلینت سنگین	۱/۸۹	دی سولفید کربن	۱/۶۲
شیشه، فلینت سبک	۱/۵۸	الکل اتیلیک	۱/۳۶
شیشه، کرون	۱/۵۲	نمک طعام	۱/۵۴

بازتاب کلی و زاویه حد

نور هنگام تابش از محیط غلیظ (شیشه) به محیط رقیق (هوا)، از زاویه ای خاص به بعد بازتاب می یابد و از دیوپتر (مرز جدایی دو محیط) عبور نمی کند. بلکه دوباره به محیط خود می تابد. رک. شکل ۷. این زاویه را زاویه حد محیط غلیظ می نامند. زاویه حد شیشه حدود ۴۲ درجه است.



شکل ۷. بازتاب کلی نور از چشمه S . زاویه حد θ_c است.

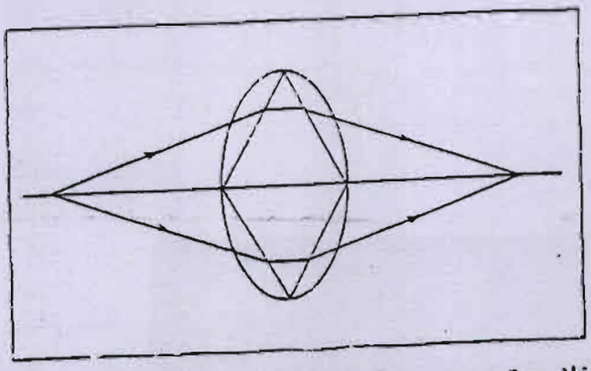


شکل ۸. نمایش بازتاب کلی در منشور. زاویه تابش θ_1 بزرگتر از زاویه حد θ_c است. لذا بازتاب کلی در منشور رخ می دهد.

نکته: پرتوهای عمود بر سطح دیوپتر بدون شکست عبور می کنند.

عدسی های ساده

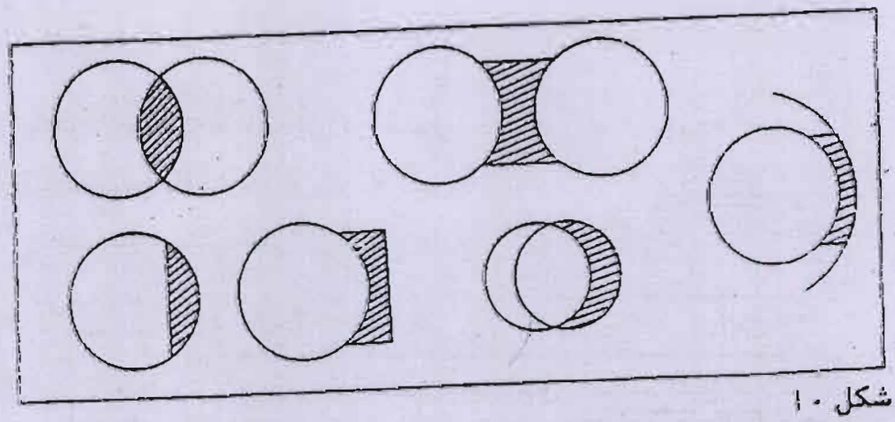
اساس کار عدسی نوری، شکست نور در اثر عبور از محیط شفافِ غلیظ به محیط شفافِ رقیق است. عدسی را می توان به دو منشور شیشه ای سر و تَه تشبیه کرد که نور از یکسو وارد و متناسب با انحنای سطوح جانبی آن شکست می پذیرد و از سمت دیگر عدسی با زاویه معین خارج می شود.



شکل ۹

عدسی نوری را می توان به دو منشور سر و تَه تشبیه کرد، که پرتوهای نور به علت تحدب سطوح جانبی و نیز عبور از محیط شفافِ رقیق به محیط شفافِ غلیظ (هوا-شیشه)، و سپس از محیط شفافِ غلیظ به رقیق (شیشه-هوا)، شکسته می شوند.

عدسی در واقع شیشه ای است شبیه قرص عدس، که یک یا هر دو سطح جانبی آن بخشی است از کره ای با شعاع معین. هرچه شعاع این کرات شیشه ای کوچکتر باشد، زاویه انحراف (شکست) نور در گذر از عدسی بیشتر است. پرتوهای موازی در برخورد و عبور از عدسی، متناسب با شعاع انحنای سطوح جانبی، از مسیر اولیه منحرف و بسته به شکل انحنا (فرو رفته یا برآمده) از یکدیگر دور یا به هم نزدیک می شوند.



شکل ۱۰

ایجاد سطوح جانبی عدسی با تداخل یا برش کُرات شیشه ای

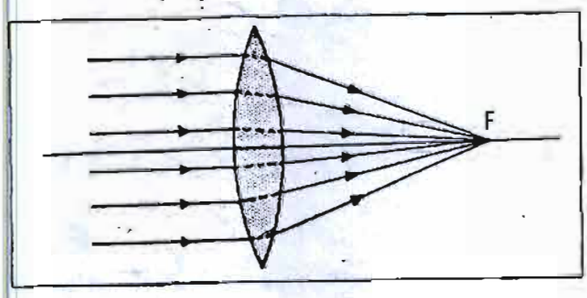
تقسیم بندی عدسی ها

برحسب اینکه پرتوهای موازی نور پس از عبور از عدسی به چه صورت از آن خارج می شوند، عدسی ها را به دو گروه *همگرا* (یا مثبت +) و *واگرا* (یا منفی -) تقسیم می کنند.

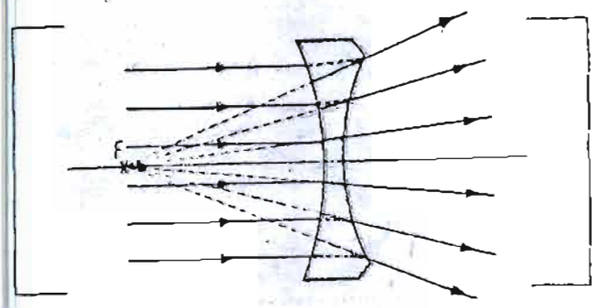
در عدسی های همگرا یا مثبت، پرتوهای موازی نور پس از عبور از عدسی در نقطه ای به نام کانون اصلی (یا فرعی) یکدیگر را قطع می کنند و تصویری **حقیقی** شکل می دهند. در حالیکه در عدسی واگرا یا منفی، پرتوهای موازی پس از عبور از عدسی پراکنده می شوند. به طوری که امتداد مجازی آنها در نقطه کانونی اصلی (یا فرعی) یکدیگر را قطع می کنند و تصویری **مجازی** شکل می دهند.

تصویر حقیقی تصویری است که روی پرده شکل می گیرد و همه آن را یکسان می بینند، مانند تصاویر پرده سینما یا تصاویر روی کاغذ عکاسی.

تصویر مجازی تصویری است که در چشم بیننده شکل می گیرد و نمی توان آن را روی پرده به نمایش گذارد، مانند تصویر جهان از پشت عینک ذره بینی.



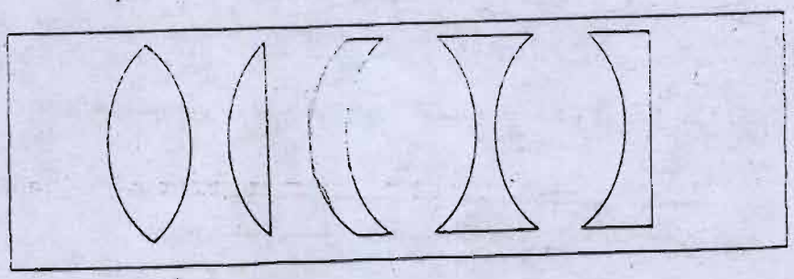
•عدسی همگرا یا مثبت '+' نور را متمرکز می سازد. ⟸



عدسی واگرا یا منفی '-' نور را می پراکند. ⟸

عدسی های ساده را برحسب شکل ظاهری نیز به پنج گروه تقسیم می کنند:

۱. عدسی **دوکوژ** (محدب الطرفین)، با دوسطح جانبی برآمده.
۲. عدسی **کوژ-تخت**، با یک سطح جانبی برآمده و یک سطح تخت.
۳. عدسی **هلالی**.
۴. عدسی **دو کاو** (مقعر الطرفین)، با دو سطح جانبی فرو رفته.
۵. عدسی **کاو-تخت**، با یک سطح جانبی فرو رفته و یک سطح تخت.



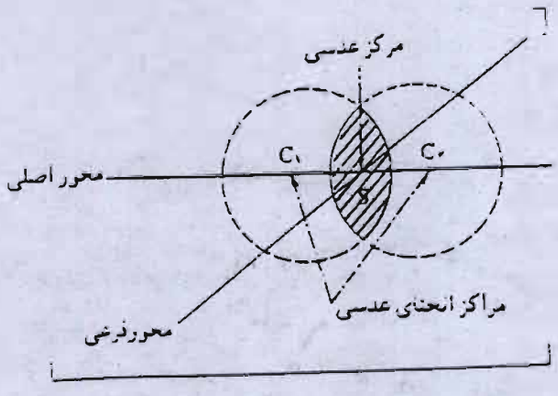
شکل ۱۱

انواع پنجگانهٔ عدسی ساده.

مشخصات عدسی ها

کانون عدسی

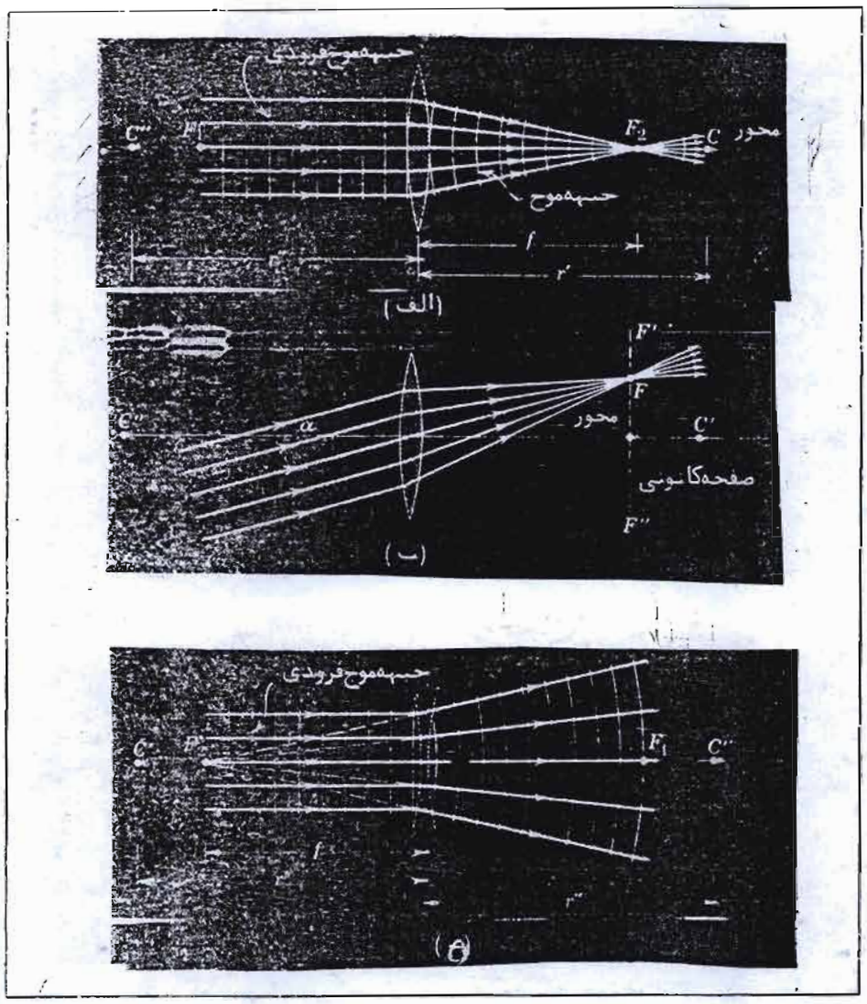
چنانچه اشاره شد، پرتوهای موازی در عبور از عدسی مثبت در نقطه ای به نام کانون متمرکز می شوند. عدسی دارای یک کانون اصلی (Principal Focal Point) و بینهایت نقاط کانونی فرعی (Secondary Focal Point) است. کانون اصلی که آن را با حرف F نمایش می دهند، روی محور اصلی عدسی قرار دارد. رک. **شکل ۱۲**



شکل ۱۲

نمایش محور اصلی و یکی از محورهای فرعی.

محور اصلی عدسی[۴]، خطی است فرضی، عمود بر سطح جانبی عدسی که از مرکز عدسی می گذرد. عدسی نسبت به این محور تقارن دارد. محورهای فرعی عدسی نیز از مرکز عدسی می گذرند، لیکن برسطح جانبی عدسی عمود نیستند، لذا عدسی نسبت با این محورها متقارن نیست. هر عدسی، مثبت یا منفی، دارای یک محور اصلی و بینهایت محور فرعی است که نقاط کانونی فرعی روی آنها قرار می گیرند.



شکل ۱۳

(الف) پرتوهای موازی با محور اصلی در عبور از عدسی همگرا در کانون اصلی(F2) متمرکز می شوند. (ب) پرتوهای موازی با محور عدسی زاویه α می سازند و پس از عبور از عدسی در کانون فرعی جمع می شوند. (ج) در عدسی واگرا، پرتوها پس از عبور از عدسی پراکنده می شوند، لیکن امتداد آنها از کانون می گذرد.

---

۴. Principal Optical Axis محور اصلی نوری

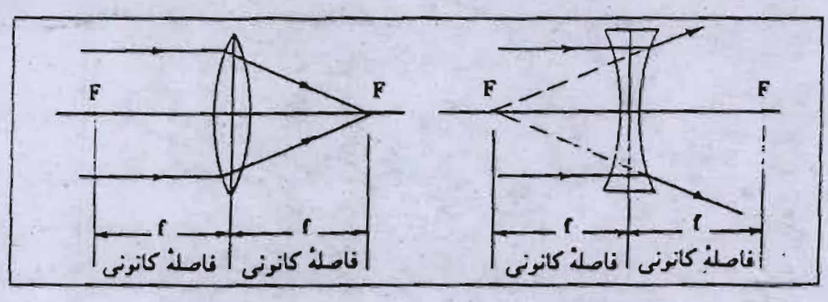
فاصله کانونی :

فاصله مرکز عدسی تا کانون اصلی را فاصله کانونی (focal length) می نامند و آن را با حرف f نمایش می دهند. این فاصله معمولا برحسب میلی متر (م. م) است.

سطح کانونی :

سطح کانونی یا صفحه کانونی عدسی. صفحه ای فرضی است عمود بر محور اصلی عدسی که کانون اصلی و کانون های متعدد فرعی روی آن قرار دارند.

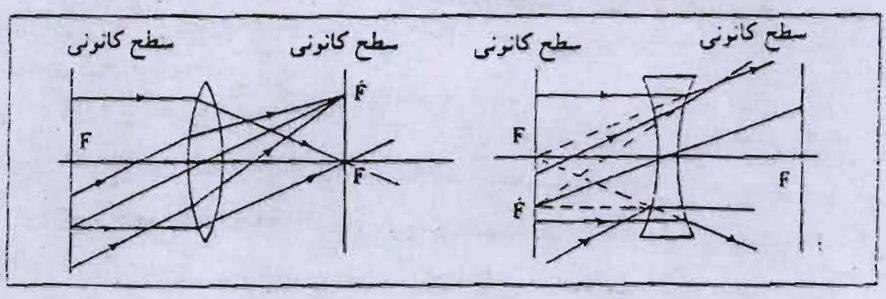
در دوربین عکاسی، سطح کانونی محل استقرار فیلم است.



شکل ۱۴ . فاصله کانونی در عدسی همگرا و عدسی واگرا.

فاصله کانونی را در عدسی همگرا، حقیقی و عدد مثبت و در عدسی واگرا، مجازی و عدد منفی در نظر می گیرند:

- **در عدسی همگرا، فاصله کانونی مثبت است، یعنی** $f > 0$
- **در عدسی واگرا، فاصله کانونی منفی است، یعنی** $f < 0$



شکل ۱۵ . سطح کانونی در عدسی همگرا و واگرا.

شکل پذیری تصویر

بسته به فاصله جسم (موضوع) از عدسی و نیز نوع عدسی (مثبت یا منفی)، تصویر وضعیت های متفاوت می یابد. رک. شکل ۱۶

دو روش برای یافتن تصویر و اطلاع از چگونگی آن معمول است: روش ترسیمی و روش ریاضی.

روش ترسیمی:

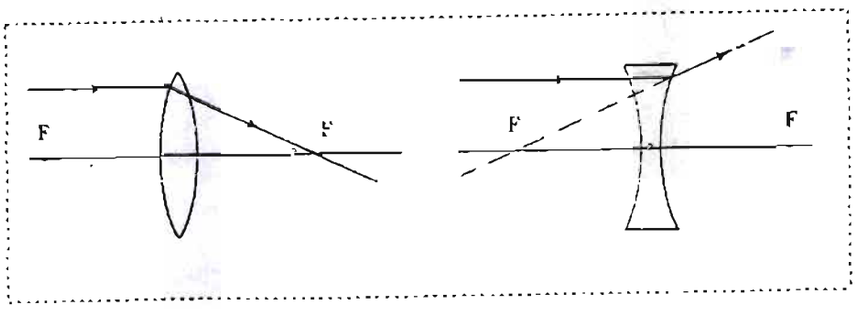
در این روش، پرتوهای تابیده از نقاط مختلف جسم، به شکل خطوط مستقیم به عدسی می تابند و پس از عبور از عدسی در مکانی در پشت، و یا امتداد آنها در جلوی عدسی، یکدیگر را قطع می کنند. محل تقاطع پرتوها، محل تشکیل تصویر است.

یافتن مکان تصویر به روش ترسیمی:

دستور العمل ۱:

- در عدسی همگرا، پرتوهای موازی با محور اصلی، پس از عبور از عدسی، به سمت محور اصلی انحراف پیدا می کنند و از کانون پشتی می گذرند.

- در عدسی واگرا، پرتوهای موازی با محور اصلی، پس از عبور از عدسی، پراکنده و از محور اصلی دور می شوند، لیکن امتداد مجازی آنها از کانون جلویی می گذرد.



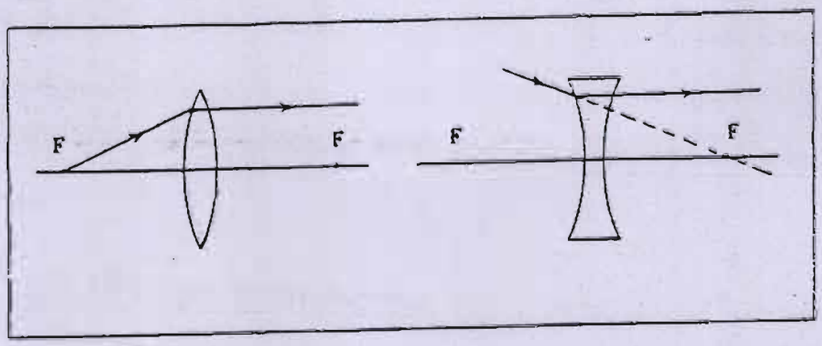
شکل ۱۶

مسیر پرتوهای موازی با محور اصلی در عدسی همگرا (۰) و در عدسی واگرا (-).

دستور العمل ۲:

- در عدسی همگرا، پرتوهای تابیده از کانون عدسی، پس از برخورد و عبور از عدسی، موازی با محور اصلی بشتی به مسیر خود ادامه می دهند.

- در عدسی واگرا، پرتوهایی که امتداد آنها از کانون پشتی می گذرد، پس از برخورد و عبور از عدسی، موازی با محور اصلی بشتی به مسیر خود ادامه می دهند.



شکل ۱۷- مسیر پرتوهای تابیده به کانون عدسی همگرا و واگرا.

دستورالعمل ۱ و ۲ در واقع بیان یک مطلب است، منتها مسیر نور معکوس و جای منبع نور و ناظر تعویض شده است. این پدیده به اصلی بدیهی و در عین حال بسیار مهم در طبیعت و رفتار نور اشاره می کند. به نام *اصل بازگشت پذیری نور*. این اصل یکی از ارکان سیاحت نور و از ابزارهای با اهمیت در طراحی لنز و شناخت نظام های اپتیکی به شمار می آید.

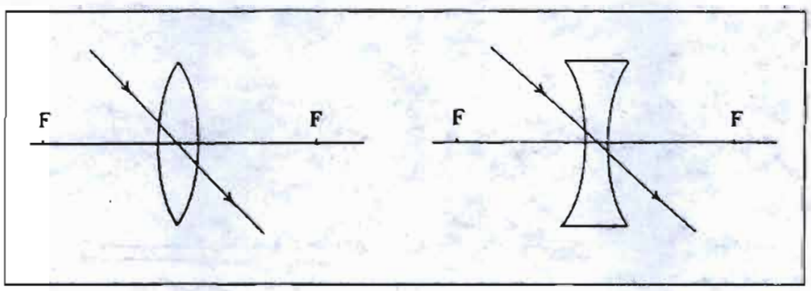
با بیانِ ساده، اصل بازگشت پذیری می گوید: *مسیر نور در راه رفت و برگشت همواره ثابت است و تغییر نمی کند*. یعنی، اگر مکان چشمه نور و محل دریافت نور را جا به جا کنیم، نور همان مسیر قبلی خود را طی می کند. به عبارت دیگر، مسیر نور در تابش به عدسی، از چپ به راست و از راست به چپ یکسان است.

تصور کنید اگر نور از این اصلِ به ظاهر ساده پیروی نمی کرد، چه ناهماهنگی و آشفتگی در جهان به وجود می آمد؟ چون تنها در این صورت است که انسان می تواند دیگران را ببیند و آنها نیز همزمان او را ببینند. در غیر این صورت، مثلا من شما را می دیدم و شما همزمان مرا نمی دیدید! زیرا نور دو مسیر مختلف را می پیمود. مثلا من امروز نورِ حضور شما را می دیدم و شما فردا، نور من را

دریافت می کردید. زیرا نور در دو مسیر حرکت می کرد و مثلا با یک روز تاخیر به چشم شما می رسید!

دستور العمل ۳:

- پرتوهای تابیده به مرکز عدسی (خواه همگرا باشد یا واگرا) بدون شکست می مانند و همچنان مسیرشان را حفظ می کنند.



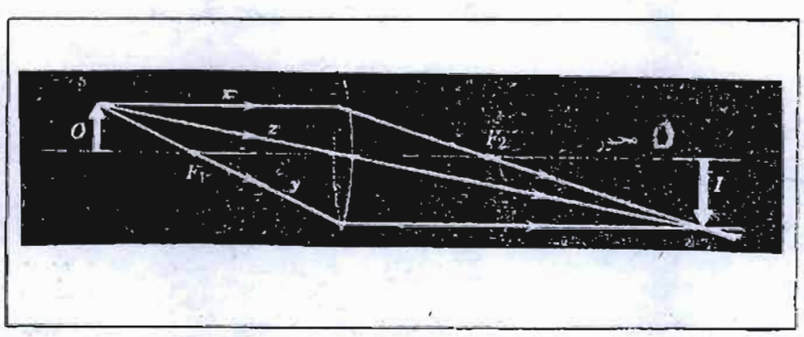
شکل ۱۸-

پرتوهای تابیده به مرکزعدسی بدون شکست عبور می کنند.

چنانچه پیش از این اشاره شد، محل تقاطع پرتوها، محل تشکیل تصویر است. بنابراین با توجه به دستورالعمل های بالا، کافی است سه پرتو نور از جسم (موضوع) به عدسی بتابانیم و در محل تقاطع پرتوها، تصویر را تشکیل بدهیم. سه حالت قابل بررسی است.

حالت اول:

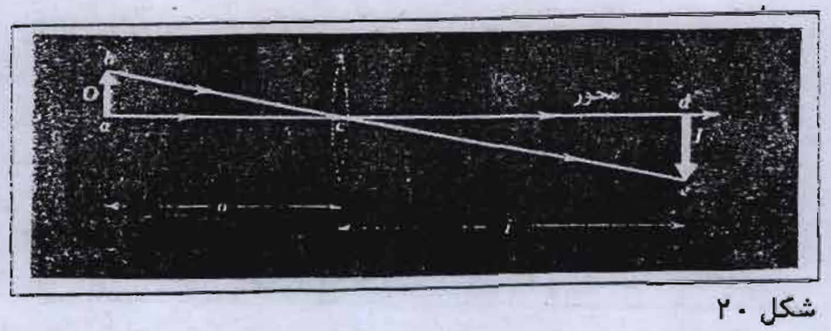
موضوع (O) فراتر از کانون اصلی عدسی قرار دارد.



شکل ۱۹

به سه پرتو نور توجه کنید، که از موضوع سه عدسی می تابند و در پشت عدسی یکدیگر را ملاقات و تصویر را شکل می دهند.

در این حالت، تصویر معکوس و حقیقی است و می توان آن را بر پرده یا فیلم تاباند. شکل پذیری تصویر در اتاقک تاریک دوربین عکاسی از این حالت پیروی می کند. اندازه تصویر، یا بزرگنمایی آن، بستگی به فاصله موضوع از عدسی دارد. هرچه موضوع به کانون عدسی (F) نزدیک تر باشد، تصویر بزرگتر است.



شکل ۲۰

ترسیم دو پرتو برای نشان دادن بزرگی تصویر (بزرگنمایی) کفایت می کند.

بزرگنمایی، یا به زبان علمی، *ضریب بزرگنمایی*، نسبت ابعاد تصویر (بزرگی تصویر) به ابعاد موضوع تعریف می شود. مثلا اگر ارتفاع تصویر یک عقاب ۱۰ سانتی متر و خود پرنده ۱۰۰ سانتی متر باشد، ضریب بزرگنمایی ۱/۰ است. بنابراین ضریب بزرگنمایی به شکل رابطه زیر بیان می شود:

$$m = I / O$$

که در آن، m ⇐ ضریب بزرگنمایی

I ⇐ ارتفاع تصویر

O ⇐ ارتفاع موضوع

ضریب بزرگنمایی، m، یا بزرگتر است از ۱ یا کوچکتر. ضریب بزرگنمایی منفی مفهوم فیزیکی ندارد، لیکن اگر در محاسبات این ضریب منفی بود، به معنای این است که تصویر حقیقی نیست و مجازی و مستقیم است.

در مبحث عکاسی، ضریب بزرگنمایی، m، به شکل زیر تعریف می شود:

$$m = f / d$$

که در آن، f ⇐ فاصله کانونی عدسی، برحسب میلی متر.

d ⇐ فاصله موضوع تا عدسی، برحسب میلی متر.

بنابر استاندارد، در عدسی نُرمال ۵۰ م م عکاسی، حداکثر فاصله فوکوس ۱۰ متر و حداقل فاصله فوکوس ۵۰ سانتی متر در نظر گرفته می شود. زیرا در این عدسی، در فراتر از ۱۰ متر قدرت تفکیک خطوط تصویر از بین می رود و در کمتر از ۵۰ سانتی متر فوکوس امکان پذیر نیست.

حداقل فاصله فوکوس در عدسی های عکاسی به تقریب برابر است با:

f ۱۰ ≅ حداقل فاصله فوکوس یا m.f.d. (minimum focus distance)

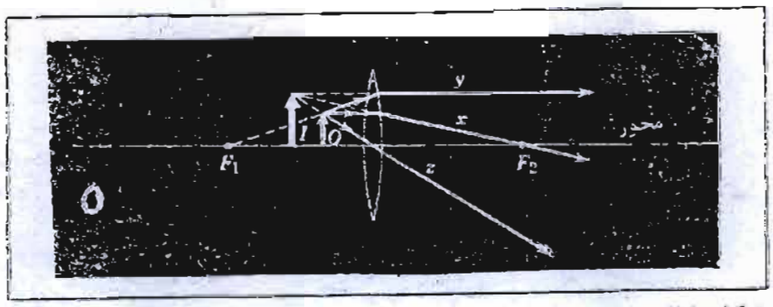
f ⇐ فاصله کانونی عدسی برحسب میلی متر.

سوال:

قاب تصویر (کادر تصویر) در فیلم ۳۵ م م، بنابر استاندارد، ۲۴× ۳۶ م م و حداقل فاصله فوکوس با عدسی ۵۰ م م، حدودا ۵۰۰ م م است. موضوعی به ارتفاع ۱۲۰ م م در فاصله حداقل فوکوس و حداکثر فوکوس، در عرض و طول قاب تصویر چند برابر کوچک می شود؟

حالت دوم:

موضوع بین نقطه کانونی و مرکز عدسی قرار دارد.



شکل ۲۱

امتداد پرتوها در نقطه O یکدیگر را قطع می کنند و تصویر مجازی را تشکیل می دهند.

در این حالت، عدسی همگرا نقش درشت‌نما (لوپ بین) را می یابد و تصویری مجازی و مستقیم، با ضریب بزرگنمایی $m > 1$ شکل می دهد. در شکل ۲۱، ناظر در سمت راست عدسی قرار دارد و امتداد پرتوها را می بیند که تصویر I را شکل می دهند.

قدرت درشتنمایی عدسی MP (Magnification Power)، در طراحی عدسی، با واحدی به نام دیوپتر[۵] (Dioptre) سنجیده می شود.

دیوپتر (Dioptre) = ۱۰۰۰ / f

در این رابطه، f فاصله کانونی عدسی و همواره برحسب میلی متر است، و آن را در عدسی همگرا عدد مثبت (+) و در عدسی واگرا، عدد منفی (-) در نظر می گیرند.

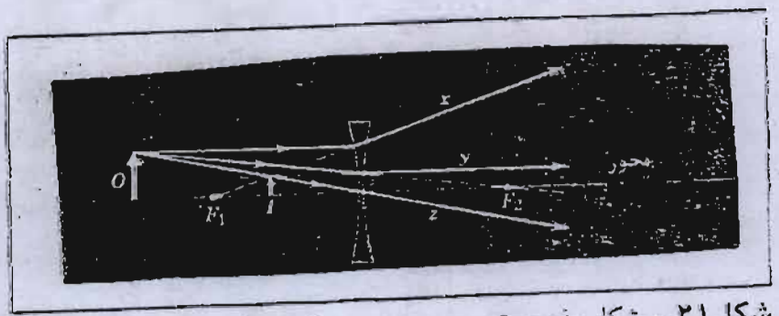
چشم پزشک ها، عینک های طبی را برحسب شماره دیوپتر تجویز می کنند. دیوپتر مثبت (D_+) به معنای عدسی همگرا، مناسب برای دیدن اشیا نزدیک، و دیوپتر منفی (D_-) به معنای عدسی واگرا و مناسب برای دیدن اشیا دور است. علت اتخاذ این واحد صرفا سادگی آن است، مثلا بجای $f = +۲۵۰$ میلی متر، می گویند $D_+ = ۴$ دیوپتر، که گفتن و نوشتنش ساده تر است.

سوال: قطر کرهٔ عدسی عینکی با قدرت درشتنمایی $D_+ = ٪۲۵$ چقدر است؟

پاسخ: ۱۶ متر. چون، $f = ۴۰۰۰$ میلی متر و قطر کرهٔ عدسی ۴f است.

حالت سوم:

موضوع مقابل عدسی واگرا قرار دارد.



شکل ۲۱ - شکل پذیری تصویر در عدسی واگرا (-).

---

۵. در اصل به معنای سطح جدائی در محیط شفاف است. چون قدرت درشتنمایی عدسی به چگونگی این سطح بستگی دارد، واحد قدرت درشتنمایی عدسی را نیز دیوپتر نامگذاری کرده اند.

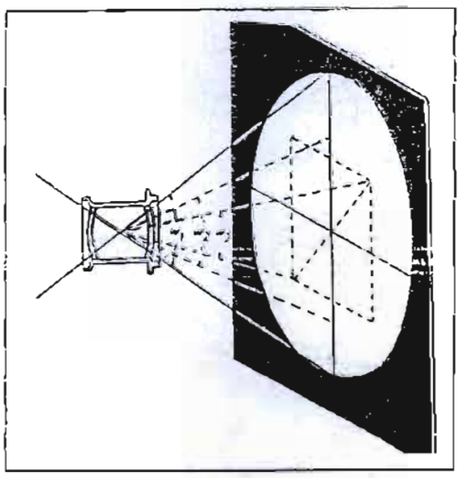
در این حالت پرتوهای منبع O پس از عبور از عدسی پراکنده می شوند. لیکن امتداد آنها در جلوی عدسی یکدیگر را قطع و تصویر را شکل می دهند. در عدسی واگرا، تصویر همواره مجازی و مستقیم است و ابعاد آن کوچکتر از موضوع دیده می شود.

ضریب درشتنمایی عدسی واگرا کوچکتر از ۱ است.

یعنی $m < 1$

میدان تصویر و زاویه دید

نور تابیده از روزنه عدسی به اتاقک تاریک دوربین، دایره ای روشن در سطح کانونی پشتی به وجود می آورد، که فیلم در مرکز آن قرار می گیرد. رک. شکل ۲۸ این دایره را *میدان تصویر* می نامند. تمام سطح میدان تصویر از وضوح و شفافیت یکسان برخوردار نیست. وضوح تصویر در مرکز دایره روشنایی بیشتر و در حاشیه ها کاهش می یابد. سطح تصویر روی فیلم همواره کمتر از سطح کُل میدان تصویر است.



شکل ۲۸-

زاویه دید عدسی عکاسی و فیلمبرداری، زاویه ای است که پرتو نور با قطر قاب تصویر می سازد.

W_1 ⇐ میدان تصویر

W_2 ⇐ ناحیه مفید

W_3 ⇐ زاویه دید

زاویه دید به دو عامل بستگی دارد:

فاصله کانونی و اندازه قاب تصویر. با افزایش فاصله کانونی، سطح تصویر به نسبت توان ۲، افزایش می یابد. فرضا اگر با یک عدسی ۵۰ م م، تصویری به ابعاد ۱×۱ سانتی متر دریافت کنیم، با یک عدسی ۱۰۰م م تصویری به ابعاد ۲×۲ دریافت خواهیم کرد، که ۴ برابر بزرگتر است. لیکن با توجه به ابعاد محدود قاب فیلم، زاویه دید با افزایش فاصله کانونی، کاهش می یابد.

زاویه دید عدسی، θ، از رابطه زیر به دست می آید:

$$d = 2 f \tan (\theta / 2)$$

$$\theta / 2 = \text{Arc tan } (d / 2 f)$$

f ⇐ فاصله کانونی عدسی، بر حسب م م.

d ⇐ قطر قاب تصویر، بر حسب م م.

بنابراین، قطع فیلم (قطر قاب تصویر) در تعیین زاویه دید نقش اساسی اینا می کند. به این علت، یک عدسی با فاصله کانونی معین برای دو اندازه متفاوت قاب تصویر، زوایای دید متفاوتی دارد.

در صورتی که فاصله کانونی عدسی برابر با قطر قاب تصویر باشد، با توجه به رابطه بالا،

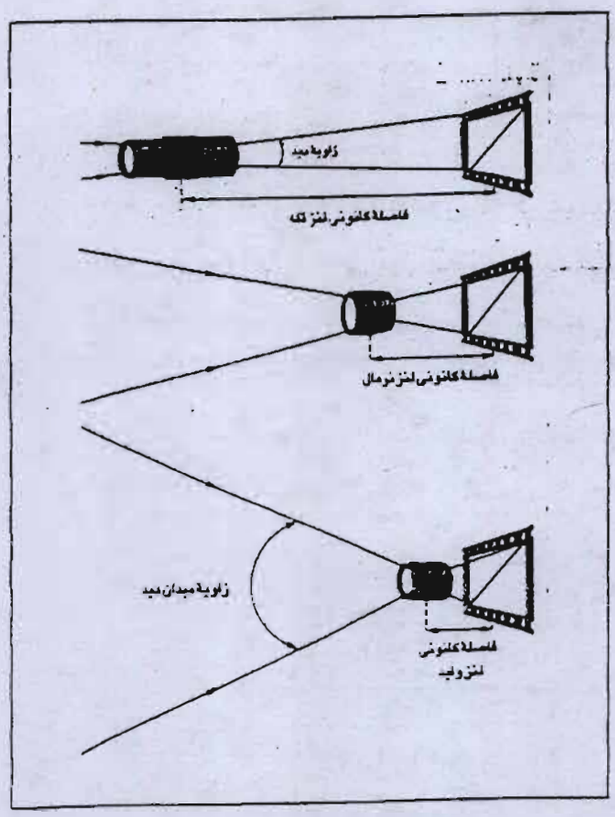
$$f = d$$

$$\theta/2 = \text{Arc tan}(1/2) \approx 26/56 \quad \text{درجه}$$

$$\theta \cong 53 \quad \text{درجه}$$

که به تقریب برابر با زاویه دید یک چشم انسان است. این گونه عدسی ها را عدسی معمولی (نُرمال) می گویند. چون تصاویر دریافتی با این نوع عدسی با تصاویر دریافتی توسط عدسی چشم انسان مطابقت دارد.

نکته: عدسی نُرمال، "لنز استاندارد" هر دوربین محسوب می شود.



شکل ۲۹-

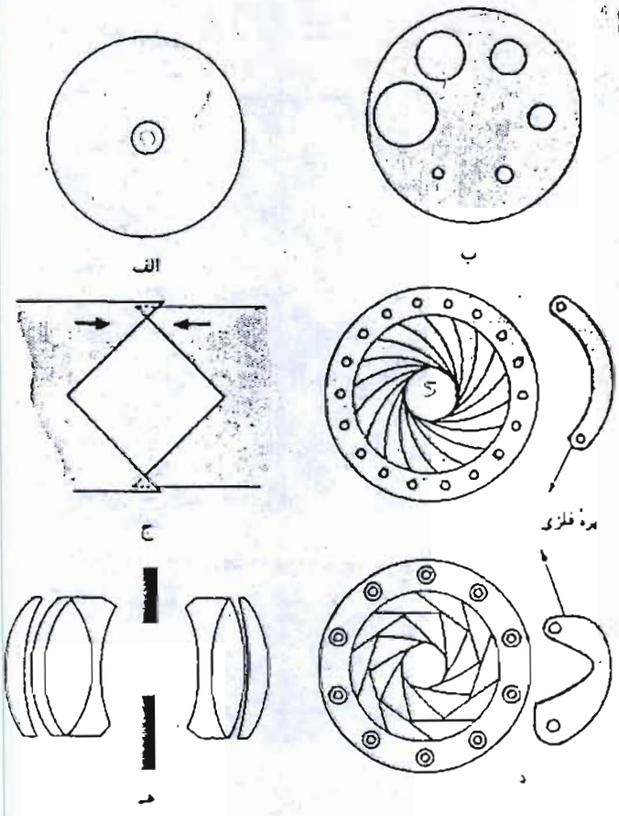
- در عدسی با فاصله کانونی بلند (لنز تله فتو)، زاویه دید کاهش می یابد، لیکن ابعاد تصویر روی فیلم دُرشت دیده می شود.
- در لنز نُرمال، زاویه دید ۵۳ درجه و مطابق با چشم انسان است.
- در عدسی با فاصله کانونی کوتاه (لنز وایید انگل)، زوایه دید وسیع، لیکن ابعاد تصویر در فیلم کوچک می شود.

پرسش: اگر فاصله کانونی نصف بشود، زاویه دید چه مقدار افزایش پیدا می کند؟

دیافراگم

دیافراگم وسیله ای است که روزنه عبور نور را تغییر می دهد و حجم نور تابیده بر فیلم را کنترل و نیز بسیاری از خطاهای عدسی را تصحیح می کند. دیافراگم همچنین در تعین عمق میدان وضوح تصویر نقش اساسی دارد-- که در ادامه مطلب به آن خواهیم پرداخت.

دیافراگم اولیه صفحه ای بود با روزنه ای مدور در مرکز که مقابل عدسی قرار می گرفت. ابعاد روزنه (قطر دایره مرکزی) تعین کننده مقدار نور تابیده به اتاقک تاریک دوربین و فیلم بود. نوع پیشرفته آن، صفحه ای بود با چند روزنه با قطرهای مختلف. رک. شکل ۳۰. امروزه با ساخت دیافراگم عنبیه ای[۱] (دیافراگم های پرّه ای متغیر) استفاده از این گونه صفحات منسوخ شده است.



شکل ۳۰-

الف و ب) دیافراگم اولیه.

ج) دیافراگم متغیر دروازه ای.

د) دو نوع دیافراگم متغیر متداول.

د) مکان دیافراگم در عدسی مرکب.

---

۱. Iris Diaphragm

دهانه مؤثر و دهانه نسبی

دیافراگم متغیر، که امروزه رایج است، از تعدادی پَره فلزی سبک تشکیل شده است که مشابه دیافراگم چشم انسان، باز و بسته می شوند و حجم نور تابیده به فیلم را تنظیم می کنند. حجم نوری که از دهانه دیافراگم می گذرد، مستقیما متناسب با مساحت دایره دهانه است. یعنی،

$$S \propto H$$

H حجم نوری است که از دهانه می گذرد و S مساحت دایره دهانه، برابر πr^2. و r شعاع دهانهٔ نوری دیافراگم است. به این ترتیب، با نصف شدن مساحت دهانه، میزان نور نصف و با دو برابر شدن مساحت دهانه، میزان نور دو برابر می شود.

مساحت دهانه دیافراگم را، دهانه مؤثر، effective aperture، و قطر دایره دهانه را قطر مفید، effective diameter، آن می گویند. حجم نور تابیده به اتاقک تاریک دوربین متناسب با مجذور قطر دهانه مؤثر است. زیرا، $S = \pi r^2$ و S متناسب با H است. یعنی اگر شعاع دهانه را ۲ برابر کنیم، حجم نور ۴ برابر افزایش می یابد.

همچنین حجم نور تابیده به اتاقک تاریک، به ابعاد قاب تصویر، یا به عبارتی به فاصله کانونی عدسی بستگی دارد. با افزایش فاصله کانونی، سطحی که باید نور ببیند به نسب توان دوم فاصله کانونی بزرگ و به همان میزان از شدت نور آن کاسته می شود. بنابراین دهانه مؤثر به تنهایی نمی تواند تعین کننده حجم نور تابیده به فیلم باشد، زیرا فاصله کانونی عدسی نیز در تعین میزان نور دخالت دارد. از این رو، سازندگان عدسی دوربین های عکاسی و تصویربرداری، دهانه ای به نام دهانه نسبی، RA (Relative Aperture)، تعریف کرده اند که هر دو عامل، یعنی قطر دهانه موثر، ۲r، و فاصله کانونی، f، را شامل می شود. دهانه نسبی، مشخص کننده میزان نور واقعی است که از عدسی می گذرد و به سطح کانونی و فیلم می تابد. دهانه نسبی چنین تعریف می شود:

$$RA = \frac{f}{2r}$$

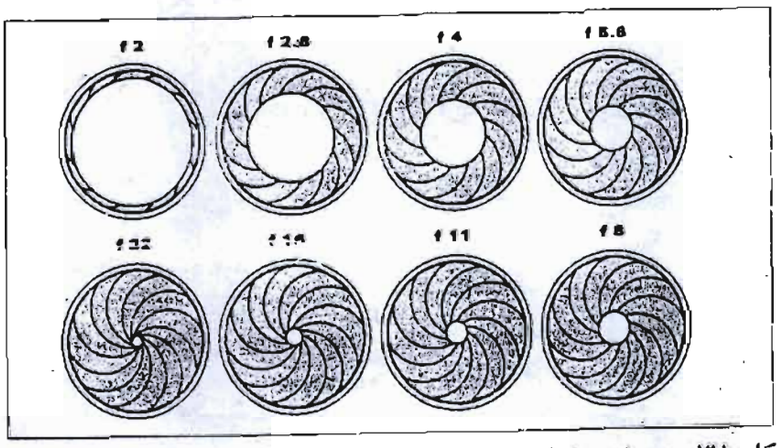
توجه کنید. در این رابطه، در ازای یک عدسی خاص. مثلا عدسی نُرمال. فاصله کانونی عددی است ثابت. و تنها قطر دهانه دیافراگم، یعنی ۲r ، متغیر است. درجات

مختلف RA را درجات کشادگی دیافراگم و اعداد مرتبط با آن را اعداد دیافراگم، f-number یا به اختصار f.n. می گویند.

بر اساس یک توافق بین المللی، در سال ۱۹۰۰ میلادی در پاریس، کشادگی دهانه دیافراگم به ترتیب زیر درجه بندی شد:

f.n. ⟸ ۱، ۱.۴، ۲، ۲/۸، ۴، ۵.۶، ۸، ۱۱، ۱۶، ۲۲، ۳۲ و ...

هر کدام از این درجات را یک "درجه دیافراگم"، f. stop، می نامند.



شکل ۳۱- درجات مختلف دیافراگم.

• **. جدول مقایسه درجات دیافراگم و قطر دهانه و حجم نور تابیده بر فیلم.**

f.n.	مساحت دهانه دیافراگم	قطر دهانه دیافراگم	حجم نور تابیده به فیلم
1	S_1	d_1	H_1
1.4	$۱/۲\ S_1 = S_2 \Leftarrow S_2$	$1.4\ d_2 = d_1 \Leftarrow d_2$	$۱/۲\ H_1 = H_2 \Leftarrow H_2$
2	$۱/۴\ S_1 = S_3 \Leftarrow S_3$	$2\ d_3 = d_1 \Leftarrow d_3$	$۱/۴\ H_1 = H_3 \Leftarrow H_3$
2.8	$۱/۸\ S_1 = S_4 \Leftarrow S_4$	$2.8\ d_4 = d_1 \Leftarrow d_4$	$۱/۸\ H_1 = H_4 \Leftarrow H_4$
4	$۱/۱۶\ S_1 = S_5 \Leftarrow S_5$	$4\ d_5 = d_1 \Leftarrow d_5$	$۱/۱۶\ H_1 = H_5 \Leftarrow H_5$
5.6	$۱/۳۲\ S_1 = S_6 \Leftarrow S_6$	$5.6\ d_6 = d_1 \Leftarrow d_6$	$۱/۳۲\ H_1 = H_6 \Leftarrow H_6$
8	$۱/۶۴\ S_1 = S_7 \Leftarrow S_7$	$8\ d_7 = d_1 \Leftarrow d_7$	$۱/۶۴\ H_1 = H_7 \Leftarrow H_1$
11	$۱/۱۲۸\ S_1 = S_8 \Leftarrow S_8$	$11 d_8 = d_1 \Leftarrow d_8$	$۱/۱۲۸\ H_1 = H_8 \Leftarrow H_1$
16	$۱/۲۵۶ S_1 = S_9 \Leftarrow S_9$	$16\ d_9 = d_1 \Leftarrow d_9$	$۱/۲۵۶ H_1 = H_9 \Leftarrow H_1$
22	$۱/۵۱۲\ S_1 = S_{10} \Leftarrow S_{10}$	$22\ d_{10} = d_1 \Leftarrow d_{10}$	$۱/۵۱۲\ H_1 = H_{10} \Leftarrow H_{10}$

پرسش: فرض کنید در f .n: 1 . قطر دهانه دیافراگم ۵۰ م.م است. مساحت دهانه S_1. آن چقدر است؟

پاسخ: ۲۰ سانتی متر مربع. چون.

سانتی متر مربع ۲۰ ≈ میلی متر مربع ۱۹۶۲/۵ = $\pi (۲۵)^۲ = \pi r_1^{\ ۲} = S_1$

پرسش: اگر مساحت دایره دهانه دیافراگم نصف بشود، شعاع دایره آن چه مقدار می شود؟

پاسخ:

$$S_۲ = ۱/۲ S_1 \quad و \quad S_۲ = \pi r_۲^{\ ۲} \cdot S_1 = \pi r_1^{\ ۲}$$

بنابراین.

$$r_۲^{\ ۲} = ۱/۲ (r_1^{\ ۲}) \quad و \quad \pi r_۲^{\ ۲} = ۱/۲ (\pi r_1^{\ ۲})$$

$$\mathbf{r_۲ = \frac{r_1}{\sqrt{۲}}}$$

به این ترتیب، اعداد کانونی، f. Number، درجه بندی گشادگی دهانه نسبی دیافراگم، یعنی RA. است و چنین تعریف می شود:

$$f.n = f / d \quad \text{(اعداد کانونی)}$$

که در آن: f فاصله کانونی اسمی عدسی، برحسب میلی متر.

d قطر دهانه موثر دیافراگم، برحسب میلی متر.

و درجه بندی آن طوری است که در ازای یک عدسی با فاصله کانونی معین (f ثابت)، با هر بار افزایش عدد کانونی، دهانه دیافراگم تنگ تر می شود، یعنی مساحت دهانه دیافراگم نصف مقدار قبلی و قطر دایره آن تقسیم بر ۱/۴۱۴ (رادیکال ۲) می شود. و لذا حجم نور ورودی تابیده به اتاقک تاریک دوربین، یعنی شدت روشنایی، به نصف تقلیل می یابد. همچنین با هر بار کاهش عدد کانونی، دهانه دیافراگم گشاده می شود. یعنی مساحت دهانه ۲ برابر، قطر دایره آن ضربدر ۱/۴۱۴، و حجم نور ورودی ۲ برابر می شود.

درجه T (T - stop)

بر روی تعدادی از عدسی ها، به ویژه عدسی های خاص دوربین فیلمبرداری، دو ردیف عدد حک می شود، که یک ردیف با حرف f و دیگری با حرف T مشخص شده است.

چنانچه گفته شد، درجات f از تقسیم فاصله کانونی عدسی بر قطر دهانه دیافراگم به دست می آید و کلیه عدسی هایی که فاصله کانونی برابر دارند، درجات f یکسان دارند. در واقع این درجات تنها به حجم نور قابل گذر از دهانه عدسی اشاره دارد و میزان اتلاف روشنایی و نور بازتابیده از محیطهای شیشه-هوا را در نظر نمی گیرد.

به اظهار سازندگان عدسی، شیشه های عدسی با فرآوری سیلیس ۱۰۰٪ خالص و در بهترین کیفیت ساخت، حداقل ۲٪ از شدت نور می کاهند. و گاه به، علت تعدد شیشه های عدسی مرکب، اتلاف نور به یک درجه دیافراگم و حتی بیشتر هم می رسد. مثلا لنزهای زوم، متناسب با قدرتشان، گاهی از ۲۰ عدد عدسی ساده بزرگ و کوچک ساخته می شود که اگر فرض کنید، هر شیشه آن ۴٪ نور را جذب کند. در ازای یک عدد کانونی ثابت، ۸۰٪ از نور به فیلم نمی تابد. به همین سبب برای تعیین مقدار واقعی نور در سطح تصویر از درجات T استفاده می شود. درجات T با آزمایش و اندازه گیری شدت نور تابیده بر سطح کانونی عدسی و فیلم به دست می آید. در واقع درجات T درجات مؤثر f می باشند.

درصد اتلاف نور در عدسی های مختلف، متناسب با کیفیت ساخت، طرح، جنس و مرغوبیت شیشه عدسی متفاوت است. به این علت برابر بودن فاصله کانونی دو عدسی، از دو سازنده، الزاما به معنای برابر بودن درجات f و T در آنها نیست.

امروزه، با استفاده از غشا بازتابنده (coating)، که اجزای شیشه ای اکثر عدسی ها به آن آغشته می شود، اختلاف بین درجات f و T تا حد بسیار کاهش یافته و در اکثر موارد قابل اغماض است، با این حال حک درجات T بر روی عدسی ها، به ویژه عدسی زوم، همچنان ضرورت دارد.

درجات f، معمولا، با رنگ سفید و درجات T با رنگ قرمز یا زرد مشخص می شوند.

توصیه می شود، هنگام عکاسی، و بخصوص در فیلمبرداری، از درجات T برای تنظیم شدت نور تصویر و از درجات f برای تعیین عمق میدان و فاصلهٔ فوق کانونی استفاده شود.

چند نکته:

امروزه عرضهٔ عدسی های سریع[۷]. fast lenses، در بازار رواج یافته است و فروشندگان، تبلیغات فراوان برای فروش آن به راه انداخته و قیمت گزاف نیز بابت کاهش تنها یک درجه، مثلا f: 1.4 به جای f: 2 ، می طلبند. اما، عکاس آگاه می داند، این موضوع صرفا جنبه تجاری دارد و در عمل، مگر در مواردی که نور محیط بسیار کم است، این گونه عدسی ها مزیتی بر عدسی های دیگر ندارند. همچنین باز بودن دهانه دیافراگم باعث واپیچیدگی[۸] تصویر می شود و به طور معمول استفاده از دهانه باز توصیه نمی شود، مگر آنکه تاثیری خاص مد نظر هنرمندِ عکاس باشد.

تا چندی پیش، دهانه نسبی f: 2.8 به عنوان بازترین دهانه عدسی نرمال دوربین ۳۵م.م در نظر گرفته می شد، اما امروزه بیشتر سازندگان، گشایش دهانه این عدسی را به f: 2 و f: 1.4 تقلیل داده اند. با این حال، عکاسان با تجربه دهانه های بسته تر f: 4 و f: 5.6 را به دهانه های باز ترجیح می دهند.

دیافراگم، علاوه بر تنظیم حجم نور وظایف دیگری نیز دارد، که عبارتند از:

۱. کاهش خطای عدسی و واپیچیدگی تصویر.
۲. افزایش و کاهش عمق میدان.
۳. پخش همگون نور در سطح فیلم.
۴. افزایش و کاهش میدان تصویر، طوری که با تنگ شدن دهانه، میدان تصویر افزایش و با گشاد شدن دهانه، میدان تصویر کاهش می یابد.

لازم است بدانید که علاوه بر دیافراگم، مدت نوردهی نیز در تعیین حجم نور، H، دخالت دارد. مدت نوردهی، t، به کمک وسیله ای به نام شاتر[۹] تنظیم می شود.

اصطلاحی که سازندگان دوربین و عدسی باب کرده اند، و به عدسی هایی گفته می شود که قابلیت پذیرش و ثبت نور بسیار کم را دارند. سریع ترین عدسی، بازترین دهانه را دارد، مثلا f: 1.2. به عدسی هایی که دهانه بسته دارند، عدسی های کُند، slow lenses می گویند.

. distortion ، کج شدن خطوط تصویر.

. Shutter: بندان نور.

شاتر در تعدادی از دوربین های عکاسی در داخل عدسی مرکب و در تعدادی دیگر به شکل پرده ای متحرک است که مقابل فیلم قرار دارد و با باز و بسته شدن با کنار رفتن آن، نور به مدت معین، t، اجازه ورود می یابد.

حجم نور تابیده به فیلم در اتاقک تاریک دوربین، با توجه به دو عامل f.n و t، از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$H = (f.n)^2 \div t$$

همچنین، درجات T یا t، نشان دهنده بازبودن نسبی دهانه دیافراگم برای تصاویری است که در سطح کانونی عدسی (یعنی مکان فیلم) تشکیل می شود. این درجات زمانی به درستی عمل می کنند که تنظیم فاصله برای جسمی در فاصله بینهایت صورت بگیرد و فاصله تصویر، i، برابر با فاصله کانونی عدسی، f، باشد. اگر جسم در فاصله نزدیک قرار بگیرد، تصویر آن از فاصله کانونی دور می شود. در این حالت درجات f.n قابل اعتماد نیست و نمی تواند مشخص کننده نور تابیده به فیلم باشد. کاهش شدت نور در اثر انتقال جزیی عدسی، هنگام تنظیم وضوح (فوکوس) قابل اغماض است. ولی ممکن است دوری تصویر از سطح کانونی و کاهش نور به حدی باشد که با پدیده فرو نوردهی[10] مواجه بشویم. در این موارد، برای جبران کاهش نور باید به قطر دهانه افزود. عدد صحیح دیافراگم از رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{عدد صحیح دیافراگم (corrected f.n)} = (f.n \times f) \div i$$

که در آن f.n ⇐ عدد کانونی اسمی.

f ⇐ فاصله کانونی پشتی عدسی، برحسب میلی متر.

i ⇐ فاصله تصویر تا گره پشتی عدسی، برحسب میلی متر.

لازم به یاد آوری است، اندازه گیری فاصله تصویر همواره به راحتی امکان پذیر نمی باشد، زیرا نقطه گره پشتی در داخل مجموعه عدسی قرار دارد و دسترسی به آن ممکن نیست. راه عملی چنین است که ابتدا فاصله تصویر تا سطح کانونی (محل فیلم) را اندازه می گیرند و سپس، برای کانونی کردن تصویر الزاما باید عدسی را به میزان معین جلو بیاورند. از جمع این فاصله و فاصله تصویر تا فیلم، فاصله

---

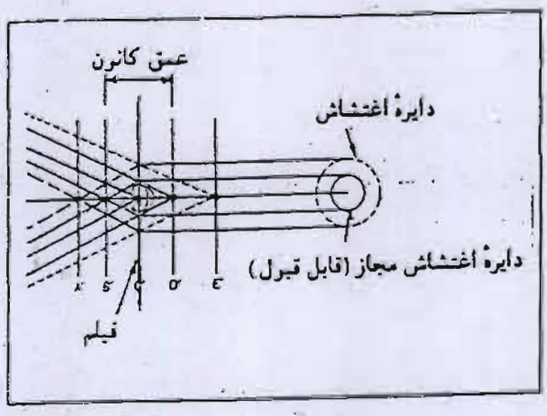
10. Under Exposure .

تصویر تا گرد پشتی به دست می آید. بدیهی است این کـار تنهـا در دوربیـن هـای "فانوسی" میسر است که در آنها، تنظیم فاصله و کانونی کـردن تصویـر بـا جلـو و عقب کشیدن عدسی انجام می شود.

دایره پراکندگی Circle of Confusion

یک تصویر زمانی کاملا واضح محسوب می شود که هر نقطهٔ موضوع در تصویر به شکل یک "نقطه"[۱۳] دیده بشود. و زمانی وضوح خود را از دست می دهد که نقاط آن به شکل لکه های نورانی (دایره نورانی) به نظر برسد. با افزایش قطر دایره نورانی، وضح تصویر کاهش می یابد.

هنگام تنظیم فاصله (فوکوس)، وضوح ۱۰۰٪ متعلق به نقاط روی صفحه کانونی است که عمود بر محور اصلی است و فیلم تخت روی آن قرار دارد. نقاطی از تصویر که جلوتر یا عقب تر از صفحه کانونی شکل می گیرند از وضوح کمتری برخوردارند. زیرا، تصویر این نقاط به دایره های نورانی تبدیل می شود و فیلم به جای نقطه نورانی، نور پراکنده (لکه نورانی) ثبت می کند که وضوح ندارد. این دایره های نورانی را دایره های پراکندگی (اغتشاش) می گویند.



شکل ۳۳- دایره اغتشاش

A ⇐ تصویر جلوی صفحه کانونی (فیلم) و دور از آن شکل گرفته است و وضوح ندارد.

B ⇐ تصویر جلوی صفحه کانونی شکل گرفته و از وضوح نسبی برخوردار است.

C ⇐ تصویر روی صفحه کانونی شکل گرفته و از وضوح کامل برخوردار است.

D ⇐ تصویر پشت صفحه کانونی شکل گرفته و از وضوح نسبی برخوردار است.

E ⇐ تصویر پشت صفحه کانونی و دور از آن شکل گرفته است و وضوح ندارد.

چشم انسان دو خط موازی در فاصله ۰٫۲۵ میلی متر را از فاصله ۲۵ سانتی متری تفکیک نمی دهد و دو خط موازی را یک خط می بیند. همچنین دایره ای به قطر ۰٫۲۵ میلی متر را از فاصله ۲۵ سانتی متری به شکل نقطه می بیند. این کیفیت از ویژگی های فیزیولوژیکی چشم است. زاویه حد تفکیک چشم انسان ۱ دقیقه است.

---

[۱۳] منظور یک لکه نورانی بسیار کوچک است. "نقطه" در هندسه اقلیدسی، بنابر تعریف، فاقد بعد است و لذا قابل رویت نیست.

در حد تفکیک چشم، نسبت فاصله دو موضوع، مثلا دو خط موازی و فاصله رویت، یک هزارم (۱/۱۰۰۰) است -- که از تقسیم ۰/۲۵ میلی متر بر ۲۵ سانتی متر به دست می آید.

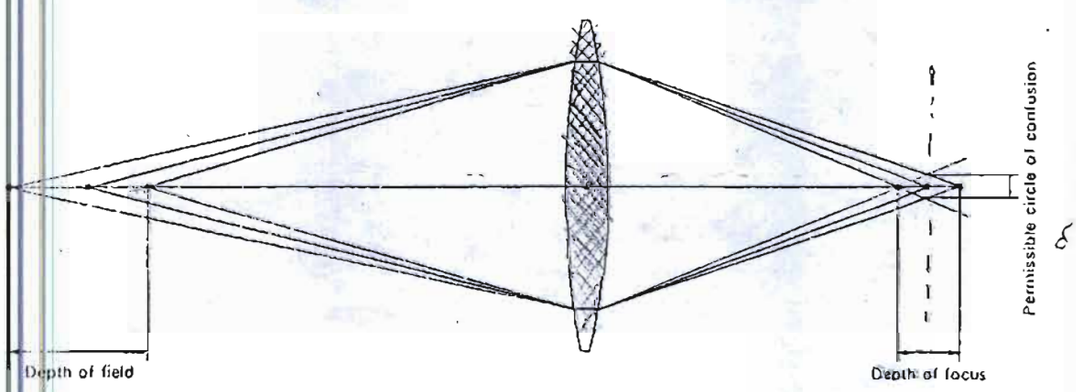
قطر مجاز دایره اغتشاش، δ (دلتا، از حروف یونانی)، که از آن کوچکتر، دایره نورانی به نقطه نورانی تبدیل می شود، بنابر تعریف عبارت است از:

δ (قطر مجاز دایره اغتشاش) = f ÷ ۱۰۰۰

f ⇐ فاصله کانونی اسمی عدسی، بر حسب میلی متر.

بنابراین با افزایش فاصله کانونی عدسی (مثلا در لنز تله فتو)، δ افزایش می یابد و به همان نسبت از وضوح تصویر کاسته می شود و برعکس در عدسی با فاصله کانونی کوتاه (لنز واید انگل)، δ کاهش و وضوح تصویر افزایش پیدا می کند.

سازندگان عدسی همواره خواهان وضوح بهتر و لذا در پی کاهش قطر مجاز دایره اغتشاش می باشند و تا کنون عدسی هایی با δ = f / ۱۵۰۰ و δ = f /۲۰۰۰ به بازار عرضه کرده اند. در عکاسی صنعتی و هوایی و بخصوص در عکاسی از کرات آسمانی (نجوم)، که بخشی از فیلم به مقدار زیاد بزرگنمایی می شود، عدسی های اختصاصی با قطر دایره مجاز f / ۳۰۰۰ و f / ۴۰۰۰ و فراتر نیز ساخته شده است.



شکل ۳۴- فاصله دو دایره با قطر مجاز، یکی پشت صفحه کانونی و دیگری جلوی آن، که محور اصلی عدسی از مرکز آنها می گذرد. عمق کانونی[۱۲] (عمق فوکوس) نامیده می شود

۱۲- Depth of Focus

عمق میدان Depth of Field

اگر عدسی را روی موضوعی دو بُعدی، مثلا صفحه کتاب، کانونی کنید و عکس بگیرید، تصویری دو بُعدی را روی فیلم دو بُعدی ثبت می کنید و عکستان بُعد سوم (پرسپکتیو) نخواهد داشت. لیکن اگر موضوع عکاسی سه بُعدی باشد، با آنکه تصویر آن روی فیلم مسطح دو بُعدی ثبت می شود، ناحیه ای در جلو و پشت موضوع که تصویر آن واضح دیده می شود و در فاصلهٔ فراتر و فروتر از این محدوده، وضوح تصویر از بین می رود، عمق میدان وضوح گفته می شود.

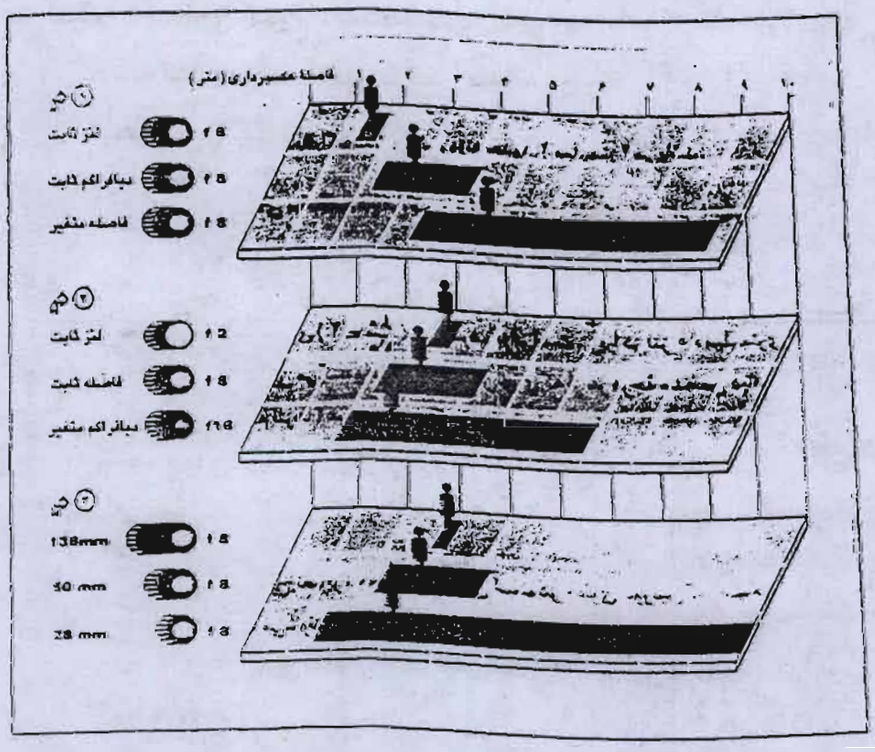
بنابراین، عمق میدان وضوح تصویر، محدوده ای است جلوی عدسی (دوربین) که اجسام در آن محدوده واضح دیده می شوند، و عمق کانونی، یا به عبارتی عمق وضوح، محدوده ای است در پشت عدسی که تصویر واضح ثبت می شود.

عمق میدان به سه عامل بستگی دارد:

۱) فاصله دوربین تا موضوع.

۲) قطر دهانه دیافراگم.

۳) فاصله کانونی عدسی.



شکل ۳۵- نمایش عمق میدان.

- با افزایش فاصله موضوع تا عدسی، عمق میدان نیز افزایش پیدا می کند. مثلاً، عمق میدان در فاصله ۲ متری با عدسی نرمال ۵۰م.م و با دیافراگم f۸، حدود ۴۰ سانتی متر، و در فاصله ۳ متر، حدود ۲ متر، و در فاصله ۵ متر، حدود ۶ متر است. رک. شکل ۳۵
- با کاهش قطر دهانه دیافراگم، عمق میدان افزایش می یابد. مثلاً، عمق میدان در فاصله ۳ متری یک عدسی نرمال ۵۰ م.م با دیافراگم f۲، حدود ۴۰ سانتی متر، با دیافراگم f۸، حدود ۲ متر و با دیافراگم f۱۶، حدود ۵ متر است.
- عمق میدان و فاصله کانونی عدسی نسبت معکوس دارند. یعنی: با کاهش فاصله کانونی عدسی، عمق میدان افزایش و با افزایش فاصله کانونی، عمق میدان کاهش می یابد. عمق میدان در عدسی "وایدانگل" بیشترین و در عدسی "تله فتو"، کمترین است.

روی بدنه اغلب عدسی های عکاسی حلقه ثابتی در کنار حلقه متغیر تنظیم فاصله عکسرداری وجود دارد که درجه های دیافراگم به شکل متقارن و دوگانه روی آن حک شده است. این حلقه محدودهٔ عمق میدان وضوح هر نقطه ای را که دوربین روی آن تنظیم است برای درجه های مختلف دیافراگم به تقریب نشان می دهد. همچنین، بسیاری از دوربین های TTL مجهز به دکمه یا اهرمی هستند که با فشردن آن، دهانه دیافراگم متناسب با درجهٔ منتخب دیافراگم، f.n، بسته می شود و عمق میدان وضوح در معرض دید چشم عکاس قرار می گیرد. البته این روش، به ویژه در مکان های بسیار روشن، چندان کارایی ندارد. زیرا چشم در نور شدید مکان های در واقع کم وضوح را نیز واضح می بیند. بهترین راه برای یافتن عمق میدان درجه های مختلف یک عدسی، مراجعه به دفترچه راهنمای کارخانه سازنده آن است. زیرا در ساخت عدسی، عامل قطر دایره اغتشاش، δ، نقش اساسی دارد که به جنس و درجه خلوص و چگونگی فراوری شیشه عدسی ارتباط می یابد.

شاتر[17] (Shutter)

تیغه یا پرده ای است در دوربین عکاسی که مقابل فیلم قرار می گیرد، که در حالت عادی بسته است و هنگام عکسبرداری، با فشردن دکمه دکلانشور، به مدت معین کنار می رود و نور به فیلم می تابد. (دکمه عکسبرداری که شاتر را به حرکت می آورد، دکلانشور نامیده می شود.)

شاتر مدت نوردهی به فیلم را تنظیم می کند.

دو نوع شاتر در دوربین ها رایج است: شاتر مرکزی، یا پّره ای[18]، و شاتر کانونی، یا پرده ای، که "فوکال[19]" هم نامیده می شود.

شاتر مرکزی

این نوع شاتر بین عدسی های مجموعه مرکب (لنز) و در فاصله کوتاهی مقابل دیافراگم قرار دارد و مکانیسم حرکت آن مشابه نظام حرکت در ساعت های کوکی است. شاتر مرکزی معمولا از ۳ تا ۶ تیغه فلزی نازک و سبک و در عین حال سخت و محکم ساخته می شود که با فشردن دکمه دکلانشور، تیغه ها به مدت معین باز

---

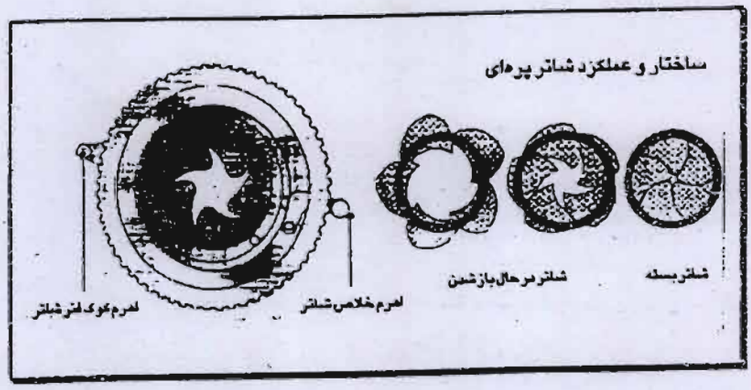
۱۷. اکنون واژه های متعددی برای "shutter" پیشنهاد شده است، از جمله "بورگیر" "مسدود کننده" و از همه جذاب تر "شتاب نور"، که هیچ یک متعول نشده است.

۱۸. Leaf Shutter

۱۹. Focal Shutter

و سپس بسته می شوند و مدت نوردهی را تعین می کنند. سرعت و مدت باز و بسته شدن تیغه ها با مکانیسم ظریف فنری و با کنترل مکانیکی یا الکترونیکی صورت می گیرد. زمانبندی سرعت (مدت باز و بسته شدن) این شاتر در انواع کوچکتر، که حجم کمتری دارند، بین ۱ تا ۱/۵۰۰ ثانیه و در انواع بزرگ، معمولا ۱ تا ۱/۲۰۰ ثانیه است. در شاترهای الکترونیکی دقت عمل افزایش یافته و از ۳۲ ثانیه تا ۱/۵۰۰ ثانیه است. نوع اخیر معمولا در عکاسی حرفه ای به کار می رود.

در شاتر مرکزی، *همزمانی*[۲۰] بین باز وبسته شدن و فلاش زدن از اهمیت بسیار برخوردار است و مداری الکترونیکی این مهم را به دقت تنظیم می کند. از آنجا که انواع فلاش ها زمان های مختلفی برای روشن شدن (تابندگی) دارند، شاتر مرکزی معمولا دارای دو پایانه (پریز) مخصوص اتصال به فلاش است که با حروف M (ویژه زمان های طولانی) و X (ویژه زمان های کوتاه در فلاش های الکترونیکی) مشخص می شود.



شکل ۳۷-
ساختمان شاتر مرکزی (پره ای).

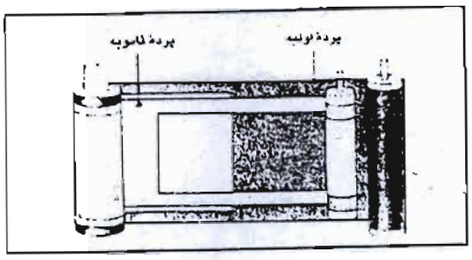
شاتر کانونی

شاتر کانونی یا "فوکال"، در اتاقک تاریک دوربین، بین عدسی و فیلم و در فاصله کوتاهی از سطح فیلم قرار دارد و به شکل دو پرده مسطح است که با فشردن دکمهٔ محرک (دکانشور) کنار می روند و نور از شکاف بین آنها به فیلم می تابد. جنس پرده معمولا بافتی از الیاف ظریف ابریشم و پلاستیک و بسیار ظریف و در عین حال مقاوم است و رفت و برگشت های سریع و پی در پی شاتر را تاب می آورد و تغییر شکل و اندازه نمی دهد. به علت قرارگیری در سطح کانونی، آن را شاتر

---

۲۰. synchronization

کانونی یا فوکال می نامند. اگر شاتر در سطح کانونی قرار بگیرد، بازده نور آن ۱۰۰٪ است. یعنی نور پس از عبور از شکاف پراکنده نمی شود و همه نور به فیلم می رسد. ولی در عمل، به علت ساختمان و محدویت مکانیکی، این شاتر همواره چند میلی متر از سطح کانونی (فیلم) فاصله دارد و لذا بازده نور آن معمولا بین ۷۵٪ تا ۸۵٪ تخمین زده می شود.



شکل ۳۸-

ساختمان شاتر کانونی (فوکال)

با تنظیم درجه سرعت، عرض شکافِ بین دو پردهٔ اولیه و ثانویه در شاتر تعین می شود. در سرعت های کم، عرض شکاف زیاد و در سرعت های بالا، عرض شکاف باریک است. مکانیسم حرکت پرده ها طوری است که شکاف بین آنها با سرعت یکنواخت از برابر فیلم می گذرد و نور تابیده از میان شکاف، سطح فیلم را از یک طرف به طرف دیگر جاروب می کند. رک. شکل ۳۸

شکاف باریک پرده‌های اولیه و ثانویهٔ شاتر سطح فیلم را به صورت کرکره‌ای نور می‌دهد.

شکل ۳۹-

شکاف بین دو پرده از چپ به راست سطح فیلم را جاروب می کند و تصویر را روی فیلم شکل می دهد.

بنابر توافق جهانی، سرعت شاتر برحسب زمان (ثانیه) درجه بندی شده است که به صورت اعداد صحیح روی "حلقهٔ سرعت" حک می شود و عمدتا عبارتند از:

.... ۸، ۴، ۲، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ...

توجه کنید، اعداد پیش از رقم ۱ (سمت راست) برحسب ثانیه و اعداد سمت چپ آن، بر حسب معکوس ثانیه (ثانیه/۱) است. (مثلا، عدد ۶۰ به معنای ۱/۶۰ ثانیه است.)

نوردهی

پیش از این گفتیم، دیافراگم شدت نور تابیده از موضوع به عدسی، و شاتر مدت ورود نور به اتاقک تاریک دوربین و تابش بر فیلم را تنظیم می کند. در واقع این دو وسیله تنها ابزارهای موجود برای کنترل نور در دوربین است. لیکن مقدار نور لازم برای ثبت تصویر روی فیلم به دو عامل خارجی نیز بستگی دارد: (۱) شدت نور صحنه. (۲) حساسیت فیلم (ASA).

وقتی فیلم به طور صحیح نور ببیند، نور صحنه و جزئیات کامل آن با همان رنگ ها و تُن های اصلی روی فیلم ثبت می شود. چنانچه فیلم منفی (نگاتیو) کمتر از حد لازم در معرض نور تابیده از میان دیافراگم و شاتر قرار بگیرد، تضاد تصویر در عکس تشدید می شود و جزئیات سایه ها از بین می رود. و اگر زیادتر از حد لازم نور به فیلم بتابد، تضاد عکس کاهش می یابد. در عکاسی با فیلم اسلاید، عکس این موارد اتفاق می افتد.

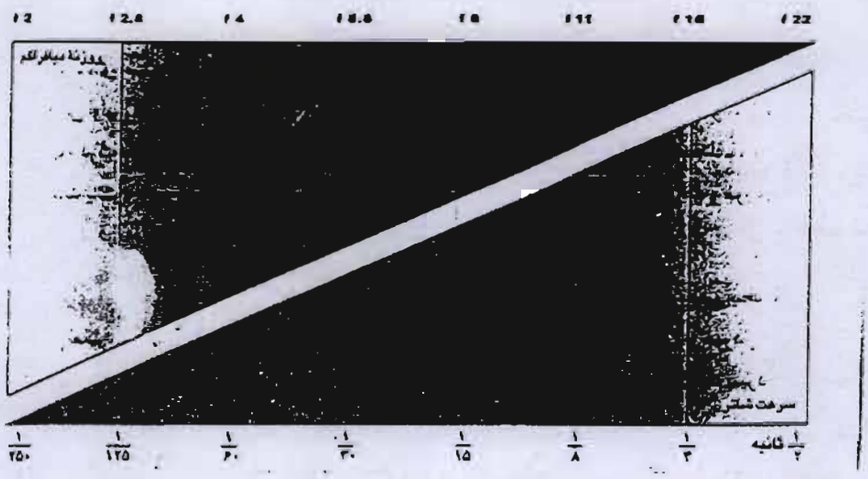
نوردهی به فیلم را می توان به پُر کردن یک لیوان آب تشبیه کرد. با این تفاوت که، هرچه حساسیت فیلم بیشتر باشد، لیوان کوچکتر است. دیافراگم نقش شیر آب را دارد و می تواند ابعاد و دهانه های مختلف داشته باشد. شاتر در نقش درجهٔ باز بودن شیر آب عمل می کند، هرچه پیچ شیر آب بیشتر باز باشد، آب با شدت بیشتر بیرون می ریزد و لیوان را، که نقش فیلم را دارد، پُر می کند. لبریز شدن آب از لیوان، مشابه فرانوردهی به فیلم و نیمه خالی بودن لیوان، مشابه فرونوردهی به فیلم است. می توانیم شیر آب را کمی باز کنیم و آب قطره قطره لیوان را پُر کند، که در این صورت زمان بیشتری باید صبر کرد. و یا یکباره شیر را باز کنیم و آب با شدت بیرون بریزد، که در این صورت زمان کوتاه می شود ولی کنترل مشکل تر است. نتیجه در هر حال تفاوت ندارد، حاصل کار یک لیوانِ پُر آب گواراست!

بنابراین با توجه به حساسیت فیلم و نور محیط، ترکیب های گوناگونی از درجهٔ دیافراگم و سرعت شاتر را می توان انتخاب کرد که حاصل آن همان مقدار نور لازم برای عکسبرداری است. انتخاب این ترکیب با عکاس و پیرو هدف اوست. اگر خواستار عمق میدان زیاد است، دهانه دیافراگم را باید تنگ کند. و متناسب با آن

سرعت شاتر را کاهش بدهد. و اگر خواستار عمق میدان کوتاه است. الزاما باید دهانه دیافراگم را باز کند و متناسب با آن، سرعت شاتر را افزایش بدهد.

یادآوری:

افزایش هر درجه دیافراگم، مقدار نور را نصف و کاهش هر درجه، مقدار نور را دو برابر می سازد. همچنین، افزایش هر درجهٔ سرعت شاتر (در واحد معکوس ثانیه)، مقدار نور را به نصف می رساند و کاهش آن، مقدار نور را دو برابر افزایش می دهد.



شکل ۴۰-

با افزایش درجات دیافراگم، مقدار نور نصف می شود و با کاهش سرعت شاتر، مقدار نور دو برابر افزایش می یابد.

هر کدام از ترکیب های متفاوت درجه های دیافراگم و شاتر که حاصل نوردهی آنها مساوی است، یک درجهٔ ارزش نوری (Exposure Value یا به اختصار درجهٔ EV) خوانده می شود. ارزش نوری شرایط عادی عکاسی به ترتیب از عدد ۱ تا ۱۸ شماره گذاری می شود. رک. جدول EV.

عکاس به کمک نورسنج و یا به طور تجربی، با توجه به جدول EV، سطح نوری مناسب را گزین می کند. اگر موضوع عکاسی از تحرک زیاد برخوردار باشد، مثلا پرواز یک پرستو، او سرعت شاتر را مبنا قرار داده و درجه آن را بالا می برد و سپس درجه دیافراگم را بر اساس آن انتخاب می کند. در این حالت اصطلاحا

می گویند تقدم با شاتر است. کاهی نیز موضوع ثابت است. اما خود عکاس حرکت دارد. مثلا در حال دویدن یا درون یک خودرو است. در این شرایط نیز تقدم با شاتر است. اگر موضوع حرکات عادی داشته باشد. مثلا عده ای دانشجو در کلاس درس. حد متوسطی از درجه های دیافراگم و شاتر جوابگو است. و اگر عکاس به عمق میدان اهمیت بدهد. مثلا چشم اندازی از طبیعت. او تقدم را به دیافراگم می دهد و دهانه را تا حد ممکن می بندد و سرعت شاتر را متناسب با درجه دیافراگم انتخاب می کند.

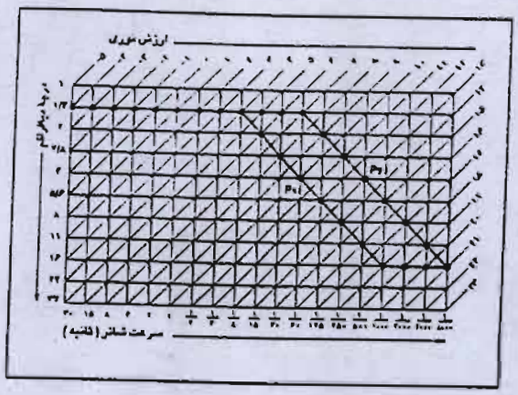
ارزش نوری درجه‌های دیافراگم و سرعت شاتر

ارزش نوری / درجه دیافراگم	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
	سرعت شاتر (ثانیه)																	
۱	۱/۲	۱/۴	۱/۸	۱/۱۵	۱/۳۰	۱/۶۰	۱/۱۲۵	۱/۲۵۰	۱/۵۰۰	۱/۱۰۰۰								
۱/۳	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۸	۱/۱۵	۱/۳۰	۱/۶۰	۱/۱۲۵	۱/۲۵۰	۱/۵۰۰	۱/۱۰۰۰							
۲	۲	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۸	۱/۱۵	۱/۳۰	۱/۶۰	۱/۱۲۵	۱/۲۵۰	۱/۵۰۰	۱/۱۰۰۰						
۲/۸	۴	۲	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۸	۱/۱۵	۱/۳۰	۱/۶۰	۱/۱۲۵	۱/۲۵۰	۱/۵۰۰	۱/۱۰۰۰					
۴	۸	۴	۲	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۸	۱/۱۵	۱/۳۰	۱/۶۰	۱/۱۲۵	۱/۲۵۰	۱/۵۰۰	۱/۱۰۰۰				
۵/۶	۱۵	۸	۴	۲	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۸	۱/۱۵	۱/۳۰	۱/۶۰	۱/۱۲۵	۱/۲۵۰	۱/۵۰۰	۱/۱۰۰۰			
۸	۳۰	۱۵	۸	۴	۲	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۸	۱/۱۵	۱/۳۰	۱/۶۰	۱/۱۲۵	۱/۲۵۰	۱/۵۰۰	۱/۱۰۰۰		
۱۱	۶۰	۳۰	۱۵	۸	۴	۲	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۸	۱/۱۵	۱/۳۰	۱/۶۰	۱/۱۲۵	۱/۲۵۰	۱/۵۰۰	۱/۱۰۰۰	
۱۶	۱۲۵	۶۰	۳۰	۱۵	۸	۴	۲	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۸	۱/۱۵	۱/۳۰	۱/۶۰	۱/۱۲۵	۱/۲۵۰	۱/۵۰۰	۱/۱۰۰۰
۲۲	۲۵۰	۱۲۵	۶۰	۳۰	۱۵	۸	۴	۲	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۸	۱/۱۵	۱/۳۰	۱/۶۰	۱/۱۲۵	۱/۲۵۰	۱/۵۰۰

جدول EV- ارزش نوری درجه های دیافراگم و سرعت شاتر.

در دوربین های پیشرفته که دارای برنامه ریزی رایانه ای می باشند. جدول ارزش نوری را ممکن به شکل نمودار زیر ملاحظه کنید، که مشابه جدول بالا لیکن گسترده تر است. در این جدول اگر نور عکسبرداری کمتر از نور یک شمع معمولی باشد، ارزش نوری آن منفی است که نوردهی طولانی را تقاضا می کند و اگر نور بسیار شدید باشد، ارزش نوری آز به فراتر از سطح نوری ۱۸ می رسد. در این

نمودار درجه های مترادف هر شمارهٔ ارزش نوری از تقاطع خطوط ۴۵ درجه با خطوط افقی (شاخص درجه های دیافراگم) و خطوط عمودی (شاخص سرعت های شاتر) تعین می شود. برای مثال، ارزش نوری ۱۲، برابر است با دیافراگم ۴ و سرعت شاتر ۱/۲۵۰ ثانیه، یا دیافراگم ۸ و سرعت شاتر ۱/۶۰، یا دیافراگم ۱۱ و سرعت شاتر ۱/۳۰، و از آن سو، دیافراگم ۲ و سرعت شاتر ۱/۱۰۰۰ ثانیه.



دو خط سیاه که با نقاط تیره مشخص شده است، نمودار سطح ارزش نوری دو برنامه P1 و P2 در دوربین نیکون F4 برای فیلم ASA ۱۰۰ است. در برخی از دوربین ها، سطح نوری را می توان به طور دستی یا خودکار به سرعت های بالا یا پایین (موضوع های متحرک یا ثابت) یا دهانه دیافراگم باز یا بسته (عمق میدان زیاد یا کم) سوق داد. در دوربین های پیشرفته تغییر برنامه نیز امکان پذیر است. در این نمودار، به عنوان مثال، اگر سطح ارزش نوری ۱۴ باشد، برنامه P1 به طور خودکار دیافراگم ۸ و سرعت ۱/۲۵۰ را انتخاب می کند.

نورسنج

همگام با تکامل انواع دوربین عکاسی، در اواخر قرن نوزدهم نورسنج نیز اختراع شد که امروزه تکامل بسیار یافته است. تا چند دهه پیش نورسنج ها فقط از نوع دستی بودند، اما امروزه تقریبا تمام دوربین ها مجهز به نورسنج داخلی شده اند. نورسنج های دستی نیز پیشرفت بسیار کرده اند و بیشتر در عکاسی و تصویر برداری صنعتی و حرفه ای به کار می روند.

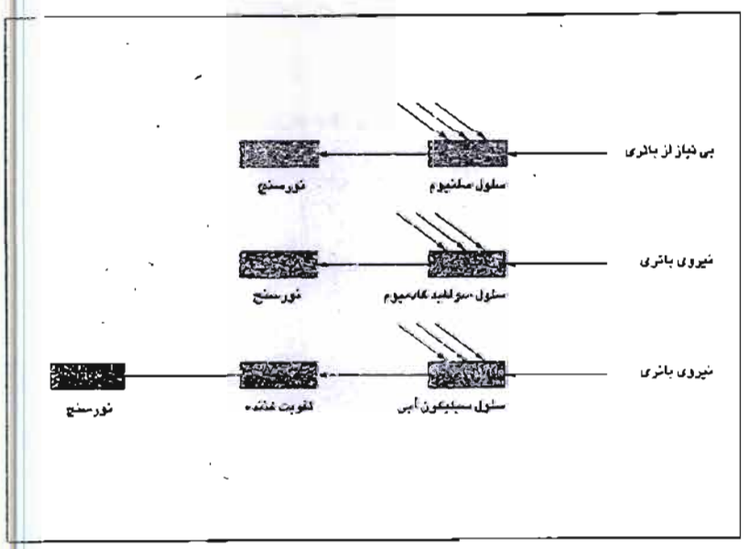
سلول های نورسنج

تمام نورسنج ها دارای یک یا چند سلول حساس به نور و مداری الکترونیکی برای اندازه گیری میزان نور می باشند. سلول حساس به نور، سلولی است که با تابش نور، جریان الکتریکی تولید می کند و در واقع، مبدل انرژی نورانی به انرژی

الکتریکی است. سلول های حساس به نور در نورسنج به طور عمده از چهار جنس مختلف ساخته می شوند: سلنیوم (Se)، سولفید کادمیوم (CdS)، سیلیکن (ترکیبات سیلیس Si) و گالیوم آرسنید (GaAs). از این چهار نوع، تنها سلول سلنیوم با تابش نور از خود جریان الکتریکی تولید می کند و نیاز به نیروی محرکه باتری برای تقویت جریان الکتریکی و به حرکت آوردن عقربه نورسنج ندارد. سایر سلول ها، نیروی محرکه خود را از باتری تامین می کنند.

نخستین سلول، که در دهه ۱۹۳۰ مورد استفاده قرار گرفت، سلول سلنیوم بود. این سلول نیاز به سطح وسیع برای دریافت نور و تولید جریان الکتریکی کافی برای انحراف عقربه نورسنج دارد. از این رو، ابعاد این قبیل نورسنج ها بزرگ است، که امروزه پسند بازار نیست و کمتر ساخته می شود.

سلول ساخته شده از سولفید کادمیوم در دهه ۱۹۵۰ رواج یافت. محدودیت این سلول ها واکنش کُند آنها در مقابل تغییر ناگهانی شدت نور است و گاه تا چند ثانیه تحت تاثیر سطح نور قبلی قرار دارند. همچنین حساسیت آنها در برابر نور قرمز بیش از اندازه زیاد است.



شکل ۴۱- نمودار سلولهای حساس به نور در نورسنج.

امروزه در اکثر نورسنج ها از سلول های سیلیکونی استفاده می شود. جریان ضعیف الکتریکی در این نورسنج ها به کمک نیروی محرکه باتری و مداری الکترونیکی تقویت می شود و حساسیت آنها تا هزار بار سریعتر ازسلول های

سولفید کادمیوم است. تنها عیب این سلول ها این است که در دمای بالا (که البته به ندرت ممکن است پیش بیاید)، حساسیتشان نسبت به نور تا حدی اُفت می کند. سلول های بسیار حساس گالیوم آرسنید، عملکردی شبیه سلول های سیلیکونی دارند و در دمای بالا نیز از پایداری خوبی برخوردار می باشند.

نورسنج های پیشرفته امروزی مجهز به تراشه های هوشمند و پردازنده رایانه ای و قابل برنامه ریزی برای شرایط مختلف نوری شده اند. با این حال به خودی خود نمی توانند تشخیص بدهند چه چیز در صحنه عکسبرداری مهم است و چه چیز اهمیت کمتری دارد. از این رو، خودِ عکاس یا تصویر بردار باید حساسترین ناحیه در صحنه را مشخص کند و سپس زاویه نورسنج را به ناحیه مورد نظر محدود سازد.

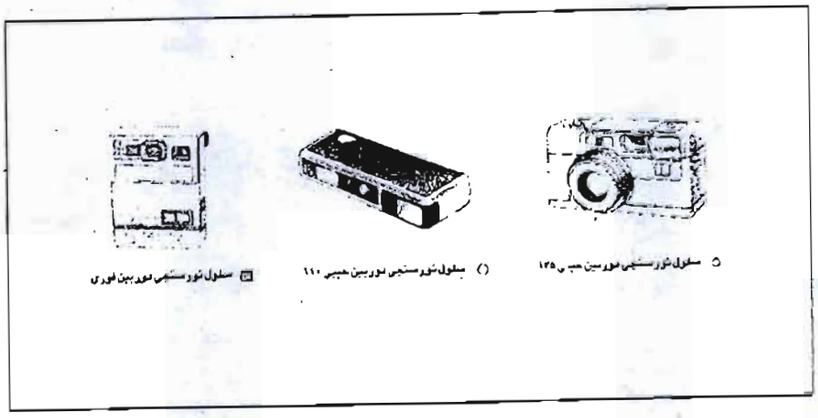
برای مثال فرض کنید می خواهید از چهره دوستتان عکس بگیرید و نور پس زمینه بیشتر از نور چهره او است. در این شرایط نورسنج از فاصله دور از نور کُل صحنه متاثر می شود و شدیدترین نور را ملاک قرار می دهد. در نتیجه، موضوع اصلی در عکس بی شک تیره خواهد شد. برای دریافت چنین عکسی، باید به موضوع اصلی نزدیک شد، بقدری که نور مزاحمِ پشت از حوزه دید نورسنج خارج بشود، مثلا تا حدود ۲۰ سانتی متری موضوع جلو آمد، و از این فاصله، نورسنجی را انجام داد و درجه های دوربین را مطابق آن تنظیم کرد. سپس به عقب بازگشت و از فاصله دلخواه عکس گرفت.

گاهی عکاس با صحنه ای مواجه می شود که تضاد (کنتراست) نور آنها زیاد است. یک منظره طبیعت آفتابی را در نظر بگیرید که بخشی از آن را سایه پوشانده و فرض کنید ثبت جزئیات صحنه برای عکاس مهم است. در این صورت او دیگر در نورسنجی فقط با یک ناحیه نورانی مواجه نیست. نسبت نور آفتاب به سایه در معتدلترین شرایط ممکن است ۸ به ۱ باشد که از نظر عکاسی، سه درجهٔ دیافراگم اختلاف نوری محسوب می شود. روش معمول چنین است که یک بار از روشنترین قسمت صحنه و یک بار از تیره ترین قسمت نورسنجی شود و سپس میانگین این دو نورسنجی برای عکسبرداری از کُل صحنه به کار رود. توصیه می شود، هنگام نورسنجی از مناظر طبیعت، برای جلوگیری از تاثیر شدید و ناخواستهٔ نور آسمان، کلاهک نورسنج دستی یا سایه بان عدسی دوربین را کمی

به سمت پایین بیاورید. حتی تاکید می شود، برای عکسبرداری از چنین صحنه هایی بهتر است آسمان قسمت کمتری از کادر تصویر را بپوشاند (در غیر این صورت باید از فیلتر خاکستری تدریجی یا فیلتر پلاریزه استفاده کرد).

نورسنجی مستقیم (Non- TTL metering system)

نورسنجی مستقیم بیشتر در دوربین های ۳۵ میلی متری غیر انعکاسی با عدسی ثابت و دوربین های فوری به کار می رود. سلول حساس نورسنج در این قبیل دوربین ها در جلوی بدنه قرار دارد و مستقل از عدسی، نور صحنه را دریافت می کند. در دوربین های بازاری عامه پسند، که معمولا دیافراگمی با دهانه ثابت دارند، مجموعهٔ نورسنج فقط درجات سرعت شاتر را (آن هم در محدوده نه چندان وسیع) کم و زیاد می کند. در انواع جدید و پیشرفته، مجموعهٔ نورسنج و اتوفوکوس مجهز به پردازنده رایانه ای شده است و با فاصله یابی خودکار، موضوع عکاسی را مشخص و درجه های دیافراگم و شاتر را در محدوده نسبتا وسیع ارزیابی و تنظیم می کند.

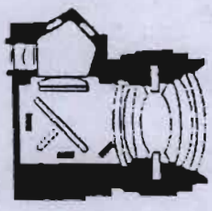


۵ سلول نورسنجی دوربین مینی ۱۲۵ () سلول نورسنجی دوربین هیبرید ۱۱۰ سلول نورسنجی دوربین فوری

نورسنجی از میان عدسی (TTL metering)

این روش اغلب در دوربین های تک عدسی انعکاسی به کار می رود و متشکل از مداری الکترونیکی با پردازنده هوشمند و چند سلول حساس به نور است که داخل دوربین و معمولا جلوی سطح فیلم و بالای منشور نمایاب چشمی، قرار دارند. مزیت این نورسنج در این است که نور مورد اندازه گیری، عملا همان نوری است

که از درون عدسی می گذرد و به فیلم می تابد. بنابراین استفاده از انواع عدسی ها و فیلترها هیچگونه تغییری در نورسنجی ایجاد نمی کند.



سلولهای نورسنجی دوربینهای تک لنزی انعکاسی

سلول های نورسنج در دوربین های جدید انعکاسی، معمولا از جنس سیلیکن است. در این دوربین ها اطلاعات مختلف نورسنجی در حاشیه نمایاب چشمی یا روی صفحه نمایش بالای بدنه دوربین به وسیله دیود نوری[۲۲] یا دیود کریستال مایع[۲۳] نمایان می شود. در نمونه های نازل، نورسنجی به کمک اعداد ثابت حاشیهٔ نمایاب و عقربهٔ تطبیق نورسنجی صورت می گیرد.

روش های نوردهی

۱- نوردهی دستی

در این روش عکاس با توجه به وضعیت نور و ذوق هنری خود، درجه دیافراگم و شاتر را به صورت دستی و غیرخودکار انتخاب و تنظیم می کند و درجات منتخب او تا تنظیم بعدی همچنان ثابت می ماند. سیستم الکترونیکی نورسنج مبنای اصلی نورسنجی و درجه های برگزیده را در حاشیه نمایاب (یا صفحه نمایش) نشان می دهد. پیش از این گفتیم، اگر نورسنجی از فاصله نزدیک به موضوع انجام بشود و سپس عکاس به عقب برگردد و از فاصله دلخواه عکس بگیرد، درجه های منتخب او دقیقتر است.

گاهی عکاس به دلایل تجربی و حرفه ای مایل است صحنه ای را یک یا دو درجه بیشتر نور بدهد. روش معمول در عکاسی حرفه ای (برای اطمینان از ثبت دقیق تصویر روی فیلم) برای عکسبرداری های مهم و حساس به ویژه با فیلم اسلاید، چنین است که، نخستین نوردهی با درجه های مبنای اصلی نورسنجی صورت

---

۲۲. LED (Light Emitting Diode)

۲۳. LCD (Liquid Crystal Diode)

می کیرد. سپس یک یا دو عکس، هر کدام با نیم درجه کاهش در میزان نوردهی، و یک یا دو عکس، هر کدام با نیم درجه افزایش نوردهی گرفته می شود. بنابراین در این روش، که به تقسیم بندی نوردهی[۲۴] معروف است، عکاس سه تا پنج نگاتیو یا اسلاید به دست می آورد که هر کدام ۱/۲ درجه از نظر نوردهی با دیگری اختلاف دارد و طبعا یکی از آنها از دقیقترین نوردهی برخوردار است. اغلب دوربین های ۳۵م.م و تعدای از دوربین های پیشرفته قطع متوسط، تقسیم بندی نوردهی را به طور خودکار نیز انجام می دهند. در هر صورت، هنگام نوردهی دستی، سیستم خودکار دوربین تغییری در میزان نوردهی ایجاد نمی کند و نورسنج صرفا کم یا زیاد بودن نور را در حاشیه نمایاب (یا صفحه نمایش) با عقربه یا دیود نوری نشان می دهد.

۲- نوردهی با تقدم دیافراگم

در این روش، عکاس ابتدا درجه دیافراگم دلخواه را به صورت دستی تنظیم می کند. سپس دستگاه نورسنج، سرعت شاتر را متناسب با درجه دیافراگم انتخاب می کند و هنگام نوردهی به طور خودکار آن را به کار می برد. بهترین کارآیی این روش هنگامی است که موضوع ثابت و عمق میدان وضوح در درجه اول اهمیت باشد، مانند عکسبرداری از چشم اندازهای طبیعت و تأسیسات صنعتی و آثار باستانی. درجهٔ AP[۲۵] در اکثر دوربین ها (درجه AV[۲۶] اختصاصا در دوربین کانن) که روی حلقه سرعت حک می شود، نمایانگر نوردهی با تقدم دیافراگم است.

۳- نوردهی با تقدم شاتر

در این روش، برخلاف روش بالا، ابتدا عکاس سرعت مناسب با موضوع را به طور دستی تنظیم می کند و باقی کار را به دستگاه نورسنج می سپارد، که درجه دیافراگم مناسب را انتخاب و آن را به طور خودکار اعمال کند. این روش بیشتر در عکسبرداری از موضوع های پُر تحرک، مانند صحنه های ورزشی، عکسبرداری از

---

۲۴. Bracketting

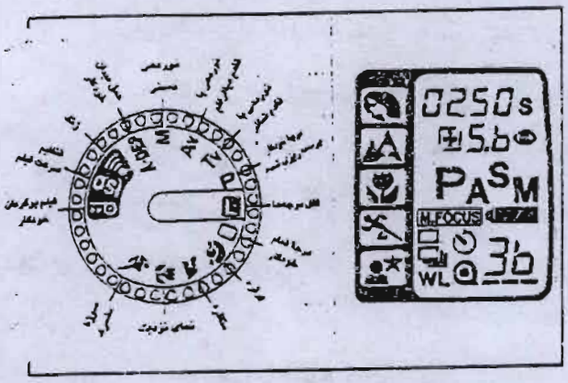
۲۵. Aperture Priority

۲۶. Aperture Value

داخل خودرو، یا عکسبرداری با دوربین روی دست با عدسی سنگین که توام با لرزش است، کاربرد می یابد. اغلب دوربین های ۳۵م.م پیشرفته برای عکسبرداری از موضوع های متحرک با سرعت کُند و تند برنامه ریزی شده است و در برخی از طراحی ها، سرعت لحظه ای موضوع توسط نورسنج قرائت می شود و سرعت شاتر در هر لحظه متناسب با موضوع تغییر می کند. درجهٔ SP[۲۷] در اکثر دوربین ها (درجه TV [۲۸] اختصاصا در دوربین کانن) که روی حلقه سرعت حک می شود، نمایانگر نوردهی با تقدم شاتر است.

۴- نوردهی تمام خودکار

در این نوردهی، دوربین هم درجه دیافراگم و هم درجه سرعت شاتر را بر اساس درجه های برنامه ریزی شدهٔ خود برای شرایط مختلف، به طور خودکار انتخاب می کند. واضح است که این روش در عکاسی حرفه ای چندان مقبول نیست.



در بسیاری از دوربین های ۳۵ میلی متری عامه پسند غیرحرفه ای، درجه های تمام خودکار را به صورت نشانه هایی از قبیل منظره، چهره، موضوع متحرک و... روی حلقهٔ تنظیم درجه ها یا در صفحه نمایش بالای بدنهٔ دوربین نشان می دهند. در دوربین های پیشرفته، عملیات خودکار را حافظه ای رایانه ای با برنامه ای به نام "برنامه شخصی"[۲۹] انجام می دهد. به عنوان نمونه در دوربین نیکون F5 بیست و چهار برنامه شخصی در حافظهٔ الکترونیکی آن گنجانده شده است که با اندکی فشار بر دکمهٔ عکسبرداری، سجرمهٔ وضوح خودکار (اتوفوکوس) با برنامه شخصی شماره ۴ فعال می شود. عکسبرداری ممتد کُند (درجه CL) در این دوربین ۳ قاب در ثانیه برنامه ریزی

---

۲۷ Shutter Priority

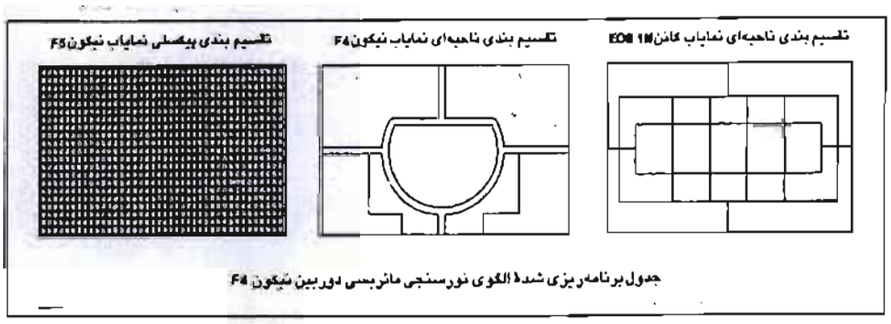
۲۸ Time Value

۲۹ Custom Functions

شده است که با برنامه شخصی شماره ۱۰ می توان آن را به ۴ و ۵ قاب در ثانیه افزایش داد. همچنین، در این دوربین در وضعیت تمام خودکار استاندارد، میانگین نور صحنه در دایره ای به قطر ۱۲ میلی متر در مرکز نمایاب سنجیده می شود، که با برنامه شماره ۱۴ می توان قطر این دایره را به ۸، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ میلی متر افزایش داد.

⌗ طرح های نورسنجی از درون عدسی

نورسنجی در دوربین های TTL جدید با پردازندهٔ رایانه ای و با برنامه های مختلف صورت می گیرد، که همگی از یک برنامه با قابلیت ارزیابی نور کلی صحنه فعال می شوند. در این دوربین ها صفحهٔ نمایاب با جدول بندی به چندین بخش و هر بخش به چند ناحیه تقسیم می شود و هر ناحیه به طور مستقل نور صحنه را دریافت و ارزیابی می کند. به عنوان مثال، نمایاب نیکون F5 از ۱۰۰۵ عنصر تصویری (پیکسل) منفرد تشکیل شده است که هر عنصر به طور مستقل نور صحنه را به تفکیک رنگ و روشنایی و تضاد که حدود ۳۰ هزار شرایط مختلف نوری را شامل می شود، به کمک پردازنده رایانه ای دریافت و ارزیابی می کند. دو نمونه از تقسیم بندی ناحیه ای نمایاب و آرایه اختصاصی نمایاب نیکون F5 در شکل زیر آمده است.



جدول برنامه‌ریزی شدهٔ الگوی نورسنجی ماتریسی دوربین نیکون F4

شکل و نوع برنامه ریزی در دوربین های مختلف متفاوت است. اما به طور کلی نورسنجی دوربین ها را می توان چنین تقسیم کرد:

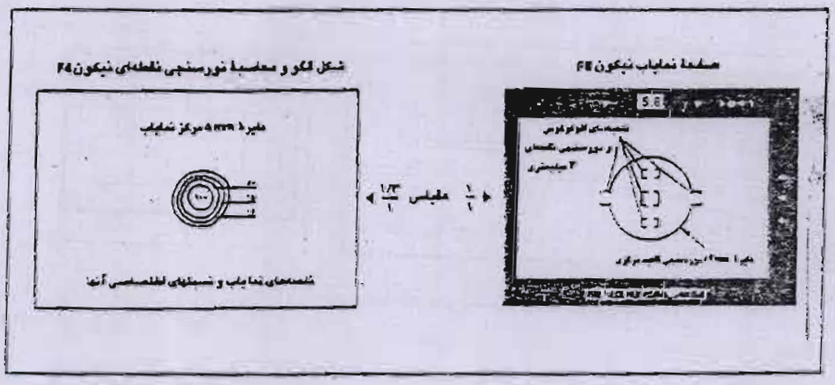
(۱) نورسنجی نقطه ای (spot metering).

(۲) میانگین نورسنجی با تاکید مرکزی (center weighted averaging).

(۳) نورسنجی ناحیه به ناحیه (درجه Evaluation در بعضی از دوربین های کانن. درجه 3D-Color Matrix در نیکون F5 و یا درجه Matrix در نیکون F4 و مامیاهای جدید RZ67 و 645 Pro به این نورسنجی اختصاص دارد.).

نورسنجی نقطه ای

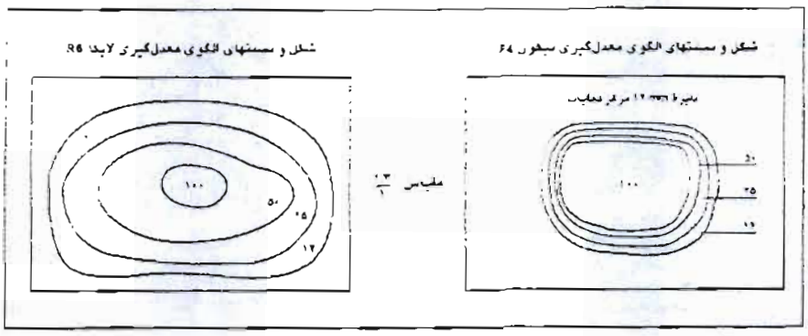
در این روش نورسنج دوربین برای دریافت نور ناحیه ای بسیار کوچک در مرکز صفحهٔ نمایاب (دایره ای به قطر حدود ۳ تا ۷ و گاه تا ۱۰میلی متر) برنامه ریزی می شود. دربرخی از دوربین ها. از جمله نیکون F5. نورسنجی نقطه ای علاوه بر مرکز نمایاب در چهار گوشه دیگر نیز قابل اجرا است. که هر کدام به طور مجزا یا جمعی و به صورت دستی یا خودکار فعال می شوند. این روش برای سنجش نور ناحیه های حساس صحنه که از تضاد شدید برخوردار هستند، کارآیی خوبی دارد، زیرا دیگر نیازی به نزدیک شدن به موضوع برای جلوگیری از نورهای مزاحم اطراف نیست. زاویه دریافت نور در نورسنجی نقطه ای بسیار کوچک و گاه حدود یک درجه است. با چنین زاویه ای، ۱٪ تا ۳٪ نور کُل صحنه توسط نورسنج دریافت و تقویت می شود. لذا می توان نور نقطه خاصی از صحنه را ارزیابی و درجه های دیافراگم و سرعت شاتر را مطابق آن تنظیم کرد.



میانگین نورسنجی با تاکید مرکزی

در این روش، نورسنج ۶۰ الی ۸۰ درصد از حساسیت خود را به ناحیهٔ کوچکی در مرکز نمایاب، به قطر تقریبی ۱۲ میلی متر، معطوف می سازد. ناحیه تمرکز در

برخی از دوربین ها نیاز افزایش است. نور سایر نواحی و بخصوص نور حاشیه ها، به نسبت های کمتر در معدل گیری نور کل ورودی به نورسنج تاثیر می گذارد. این روش برای عکسبرداری از موضوع هایی که کنتراستش در مرکز عکس واقع شده است و هاله ای تیره لیکن ملایم اطراف آن را پوشانده، بسیار مناسب است.



نورسنجی ناحیه به ناحیه

در این روش نورسنج با برنامه ای هوشمند، نور نواحی مختلف نمایاب را بر اساس برنامه حافظه الکترونیکی خود ارزیابی و مناسبترین ترکیب درجه دیافراگم و سرعت شاتر را در شرایط مختلف روشنایی به طور خودکار انتخاب می کند. در این قبیل دوربین ها، دستگاه نورسنج و مجموعه وضوح خودکار (اتوفوکوس) توام کار می کنند. یعنی، ابتدا مجموعهٔ اتوفوکوس مکان دقیق موضوع را برای نورسنج مشخص می سازد. سپس نورسنج، نور موضوع و اطراف آن را دریافت کرده و به حافظه می سپارد و در صورت تغییر روشنایی و حتی جا به جایی موضوع، نورسنج هر لحظه نور ناحیه جدید را با الگوی سپرده به حافظه مقایسه و روشنایی مرجود را مجددا ارزیابی می کند.

در دوربین های جدید، از جمله نیکون F5 و کانن EOS IN، پنج عدد سنسور هوشمند فاصله یاب خودکار (اتوفوکوس) در قسمت های مختلف نمایاب قرار دارد که هر کدام قادرند روی موضوع انتخابی قفل بشوند. فرض کنید، هنرپیشه ای در صحنه تئاتر، از انتهای چپ صحنه به وسط و سپس به گوشه راست پائین صحنه

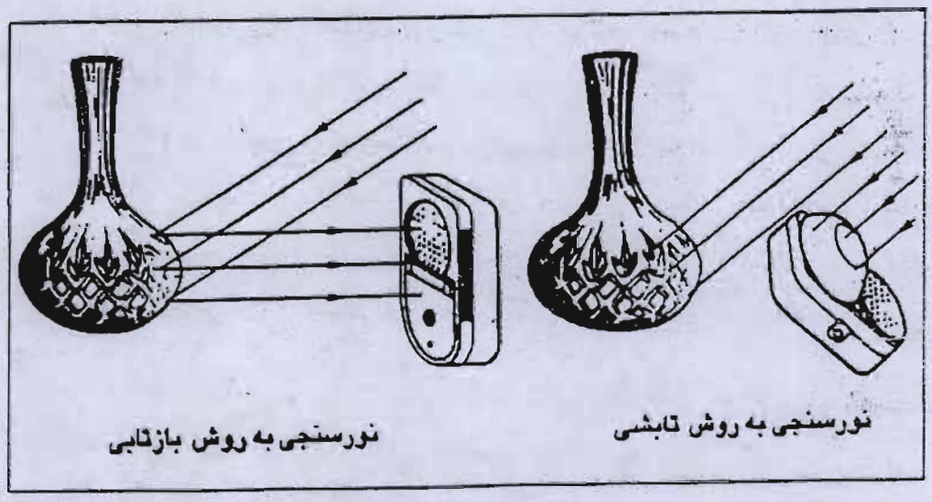
---

sensor، عامل حساس به نور (هفت الکترونیکی).

بیاید و عکاس پیوسته در حال عکسبرداری از او باشد. در این حالت ابتدا سنسور سمت چپ نمایاب روی هنرپیشه قفل می شود و نورسنج، نور او را ارزیابی و درجه های مناسب دیافراگم و سرعت شاتر را فعال می سازد. سنسورهای هوشمند اتوفوکوس به تناسب مکانِ موضوع، ارزیابی نور را به سنسورهای دیگر واگذار می کنند. به طوری که با رسیدن هنرپیشه به میان صحنه، سنسور وسط نمایاب فعال می شود و با رسیدن او به گوشه راست، سنسور سمت راست ارزیابی خود را آغاز می کند. حتی *کانز* مدعی است چنانچه برای لحظه ای کوتاه مانعی سد راه نور بشود، مجموعهٔ نورسنج همچنان به ردیابی و ارزیابی نور موضوع اصلی ادامه می دهد.

نورسنج دستی

نورسنج دستی ساختمانی شبیه نورسنج دوربین دارد، منتها دامنه حساسیت آن وسیعتر و پاسخ نوری آنها به مراتب دقیقتر است و از ابزارهای مهم در عکاسی حرفه ای و صنعتی به شمار می آید. نورسنج دستی سبک است، بنابراین عکاس به راحتی می تواند با آن نور قسمت های مختلف صحنه را مستقلا ارزیابی کند و نیاز به جا به جایی و تغییر مکان دوربین ندارد.



نورسنج های دستی به دو روش استفاده می شوند: **روش بازتابی** و **روش تابشی**.

روش بازتابی مانند نورسنجی با دوربین است و سلول حساس نورسنج پرتوهای بازتابیده از موضوع را دریافت و ارزیابی می کند. توصیه می شود هنگام نورسنجی کلاهک نورسنج به طرف موضوع و عمود بر سطح بازتاب پرتوهای نور باشد و اندازه گیری از نزدیک صورت بگیرد.

در نورسنجی به روش تابشی، کلاهک نورسنج پشت به موضوع و رو به منبع نور است و نورسنج مستقیما نور تابیده به موضوع را دریافت و ارزیابی می کند. انتخاب هر کدام از این دو روش (و کاد میانگین آن) بستگی به موضوع اصلی و وضعیت نوری صحنهٔ عکسبرداری دارد.

سلول نورسنج های قدیمی از جنس سلنیوم بود و نیاز به باتری نداشت. سلول های سولفید کادمیوم نیز تا چندی پیش رواج داشت. امروزه سلول اغلب نورسنج ها از جنس سیلیکون است و در انواع جدید، مجهز به حافظه و پردازنده رایانه ای و صفحهٔ نمایش کریستال مایع (LCD) شده اند و پاسخ نوری آنها بسیار دقیق و وفادار است. از انواع پیشرفتهٔ این قبیل نورسنج های رایانه ای، می توان نورسنج دستی چندکاره Gossen Ultra Pro را نام برد که علاوه بر ارزیابی نور پیوسته و نور فلاش، دمای رنگ را نیز اندازه گیری و همچنین تضاد نور صحنه و نسبت نور فلاش به نور موجود را به شکل نمودار در صفحهٔ نمایش رسم می کند. حافظه آن تا ۱۸ برنامهٔ نورسنجی را در خود جا می دهد و به دلخواه عکاس از آنها میانگین می گیرد. حداقل زاویه اندازه گیری نور نقطه ای در آن برابر با یک درجه است.

۵

خطاهای عدسی

در یک عدسی "خوب"، تصویر یک نقطه، دقیقا یک نقطه است و تصویر یک خط راست، به شکل خط راست دیده می شود. لیکن در عمل، عدسی از چنین کیفیتی برخوردار نیست و در تصویر کجی یا آبیراهی[۳۱] (به معنای بی راهه رفتن نور) به وجود می آورد، تصویر نقطه نورانی را به لکه نورانی و خط راست را به خط خمیده تبدیل می کند.

طراحان همواره سعی در برطرف کردن خطاهای عدسی دارند و با بهره گیری از مواد و ترکیبات گوناگون در ساخت شیشه توانسته اند تا حد قابل توجهی کج راهی نور را تصحیح کنند. مشکل اصلی مربوط به تقلیل و رفع همزمان کلیه خطاهاست، زیرا در بسیاری از موارد کاهش یک خطا، افزایش خطای دیگر را به دنبال می آورد. این امر گاه چنان مزاحم است که طراحان به ناچار برای رفع یک خطا، به یکی دو خطای دیگر، که به نظرشان از اهمیت کمتری برخوردار است، رضا می دهند.

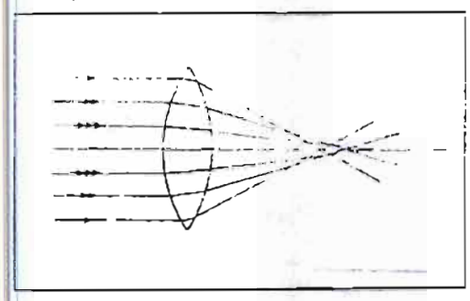
خطاهای عدسی را به دو گروه تقسیم می کنند:

- **خطاهای محوری**، که بر کیفیت تصویر نقاط واقع بر محور اصلی اثر می گذارند.
- **خطاهای خارج از محور**، که بر کیفیت تصاویر حاشیه ها و دور از محور اصلی اثر می گذارند.

Aberration

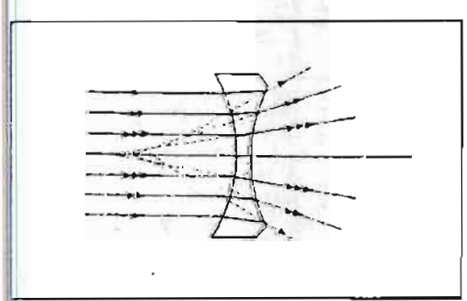
خطای کُرویت[۲۲]

بخش میانی عدسی همگرا به منشوری با زاویه راس کوچک و قسمت کناری و دور از محور اصلی، به منشوری با زاویه راس بزرگتر شباهت دارد. میزان شکست نور در منشور، یا عدسی، متناسب با زاویه راس آن است. هرچه زاویه راس عدسی منشورگونه کوچکتر باشد، انحراف مسیر نور در آن کمتر و بالعکس، هرچه زاویه راس در عدسی بزرگتر باشد، عدسی ضخیم تر و انحراف مسیر نور در آن بیشتر است.



بنابراین، پرتوهای موازی تابیده بر عدسی هنگام گذر به یک اندازه انحراف نمی یابند، پرتوهای نزدیک به محور اصلی در نقطه ای دورتر و پرتوهای دور از محور، در نقطه ای نزدیکتر به عدسی روی محور اصلی تجمع پیدا می کنند. به این ترتیب، نقطه کانونی عدسی به اصطلاح کِش می آید و به خط نورانی روی محور اصلی تبدیل می شود که پراکنش نور و عدم وضوح تصویر را در پی می آورد. این عیب تصویری که به علت کروی بودن سطوح جانبی عدسی پدید می آید، خطای کُرویت نامیده می شود. توجه کنید که خطای کُرویت و پراکندگی نور روی محورهای فرعی عدسی شدیدتر است.

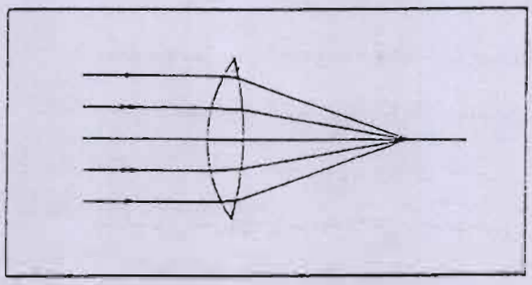
خطای کُرویت در عدسی واگرا نیز وجود دارد، لیکن چون در این عدسی نقطه کانونی مجازی است، امتداد پرتوهای در جلوی عدسی در یک نقطه متمرکز نمی شوند و عکس حالت بالا اتفاق می افتد. یعنی، امتداد پرتوهای دور از محور اصلی نزدیکتر به عدسی و امتداد پرتوهای نزدیک به محور، در نقطه ای دورتر یکدیگر را ملاقات می کنند.



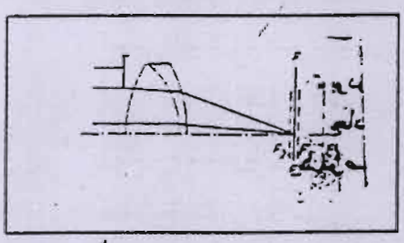
---

۲۲ Spherical Aberration

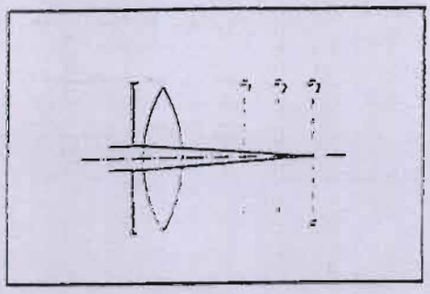
خطای کُرویت با کاهش زاویه راس عدسی کمتر می شود. عدسی ساده هر چه نازکتر باشد، زاویه راس کوچکتر و خطای کُرویت کمتری دارد. در عدسی "چاق" این خطا بیشترین است. به این علت تعدادی از عدسی های ساده را در ترکیب کلی (مثلا در ترکیب نُرمال و به ویژه در ترکیب تله فتو) از نوع کاو تخت یا کوژ تخت اختیار می کنند. چون این گونه عدسی ها زاویه راس کوچکتری دارند و خطای کمتری پدید می آورند.



از آنجا که خطای کُرویت در عدسی همگرا و واگرا عکس یکدیگر است، ترکیب این دو عدسی خطا را در طرف می سازد. اما افزودن یک عدسی اضافی میزان روشنایی را نیز کاهش می دهد، که مطلوب نیست. در عمل، عدسی همگرا را با ضریب شکست کمتر (مثلا از جنس کرون[۳۲]) و عدسی واگرا را نازکتر و با ضریب شکست بیشتر (مثلا از جنس *فلینت*[۳۳]) انتخاب می کنند و از این ترکیب، خطای کُرویت را تقلیل می دهند.



بستن دهانه دیافراگم نیز به کاهش خطای کُرویت می انجامد. هرچه دهانه بسته تر باشد، خطا کمتر است و اگر دیافراگم در جلوی عدسی باشد و نور را محدود به مرکز عدسی کند، خطای کُرویت بیشتر تصحیح می شود.



---

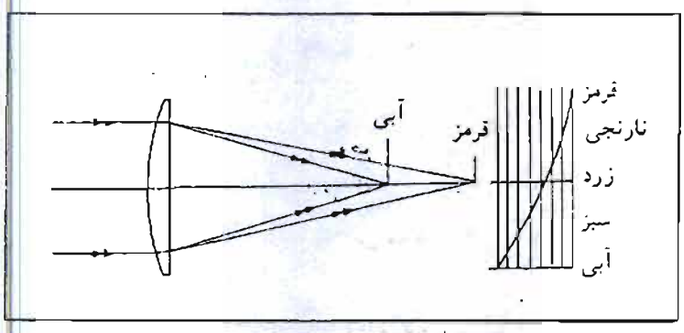
۳۲. Crown، ترکیبی از سیلیکات پتاسیم و کلسیم، با ضریب شکست حدود، ۱/۲.

۳۳. Flint، ترکیبی از سیلیکات پتاسیم و سرب، با ضریب شکست حدود، ۱/۸.

خطای رنگی

خطای رنگی به علت تجزیه نور در عدسی پدید می آید. عدسی نیز، مانند منشور، نور سفید را تجزیه می کند. طیف نور سفید، هنگام عبور از عدسی به یک اندازه انحراف مسیر نمی دهد، امواج بلند قرمز (طول موج ۶۰۰-۷۰۰ نانومتر) کمترین انحراف و امواج کوتاه آبی (طول موج ۴۵۰-۴۰۰ نانومتر) بیشترین انحراف را می یابند. ضریب شکست نور، n، و طول موج نور، λ، نسبت مستقیم دارند، یعنی با افزایش طول موج، زاویه شکست نور (در عبور از دیوپتر عدسی یا منشور) افزایش و با کاهش طول موج، زاویه شکست کاهش پیدا می کند.

در این خطا، پرتو نور سفید پس از عبور از عدسی مثبت پراکنده می شود و به جای یک نقطه در چند نقطه تمرکز می یابد، نور آبی که طول موج کوتاه تری دارد، بیشتر می شکند و نزدیکتر به عدسی به محور اصلی می تابد و نور قرمز، با طول موج بیشتر، دورتر از عدسی محور اصلی را قطع می کند. رنگ های دیگر، بین این دو قرار می گیرند.



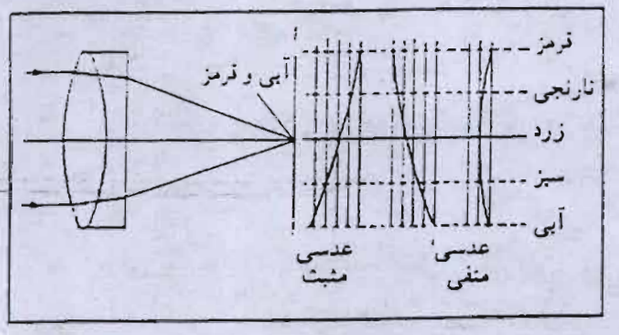
شکل ۴۲- خطای رنگی در عدسی

به علت تجزیه نور در عدسی و متفاوت بودن نقاط تمرکز نورهای آبی تا قرمز، در اطراف نقاط مختلف تصویر، هاله های رنگی، مانند رنگین کمان، به وجود می آید که از وضوح تصویر می کاهد. در صورت عدم تصحیح عدسی در برابر خطای رنگ، نقاط سفید در تصویر به شکل نقاط سبز مرکزی با هاله ای از رنگ آبی و قرمز در حاشیه، دیده می شود.

۵. خطای رنگی بر تمام میدان تصویر اثر می گذارد و تغییر اندازه دهانه دیافراگم در کاهش آن تاثیر ندارد.

Chromatic Aberration

خطای رنگی در عدسی منفی نیز به وجود می آید، منتها عکس حالت بالا رخ می دهد. یعنی، علاوه بر اینکه نقاط قرمز و آبی و رنگ های میانی به شکل مجازی شکل می گیرند، نقطه آبی دورتر و نقطه قرمز نزدیکتر به عدسی دیده می شود. بنابراین از جنبه نظری، با ترکیب دو عدسی مکمل (یکی مثبت و یکی منفی) خطای رنگ بر طرف می شود. لیکن جنس و خلوص شیشه نیز در این امر تاثیر می گذارد که باید از نوع شیشه سنگین، مانند ترکیبات فلینت با خلوص بیش از ۹۹٪ و با ضریب شکست بالا باشد.



شکل ۴۲-
تصحیح خطای رنگ با عدسی مکمل.

به علت تجزیه نور در شیشهٔ عدسی تصحیح نشده در برابر خطای رنگ، این گونه عدسی ها رنگی دیده می شوند. عدسی تصحیح شده بی رنگ است، که در اصطلاح علمی آن را *عدسی آکرومات*[۳۶]، به معنای "بدون رنگ"، می نامند. امروزه عدسی هایی به نام *آپوکرومات*[۳۷] نیز ساخته می شود که سازندگان ادعا دارند، خطای رنگ در آنها به کُل مرتفع شده است. آپوکرومات به معنای "فرا بی رنگ" است.

⊕ . خطای رنگی و خطای کُرویت از خطاهای محوری هستند. ⊕

خطای آستیگماتیسم

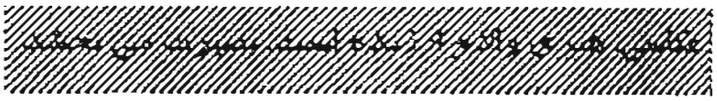
آستیگماتیسم در زبان لاتین به معنای "بی نقطه" است. در این خطا، که عدسی چشم انسان هم مبتلا به آن می شود، نقاط تصویر به شکل خطوط کوتاه افقی یا

---

۳۶. Achromat

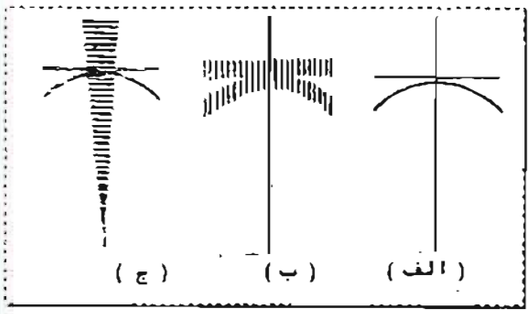
۳۷. Apochromat

عمودی دیده می شوند. همچنین خطوط موازی نزدیک بهم، مواج و غیر واضح به نظر می رسند.



عمدتا دو نوع آستیگماتیسم وجود دارد: آستیگماتیسم عمودی و آستیگماتیسم افقی. آستیگماتیسم منحنی (کروی) در واقع ترکیبی از این دو است.

به عنوان مثال، در شکل ۴۲ ، اگر با عدسی آستیگمات بخواهیم از صلیبی به شکل (الف) عکس بگیریم و عدسی را برای وضوح خط عمودی کانونی (فوکوس) کنیم، آستیگماتیسم عمودی باعث می شود خط افقی و خط منحنی وضوح خود را از دست بدهند و شکل (ب) ثبت بشود. و اگر عدسی را برای وضوح خط افقی و منحنی کانونی کنیم، آستیگماتیسم افقی موجب از بین رفتن وضوح خط عمودی می شود و شکل (ج) روی فیلم ثبت خواهد شد.



شکل ۴۳- خطای آستیگماتیسم افقی و عمودی.

علت خطای آستیگماتیسم، عدم وجود تقارن بین محورهای عمودی و افقی به دلیل طراحی و تراش "بد" سطوح جانبی عدسی و نیز ناهمگونی و ناخالصی در جنس شیشه آن است.

اصول تصحیح آستیگماتیسم در سال ۱۸۴۳ توسط دانشمند آلمانی، *پتزوال*[۳۸] پیشنهاد شد، اما هیچ یک از بلورهای موجود در آن زمان جوابگو نبود. در سال ۱۸۹۰ بلور کرون سنگین و فلینت سبک توسط *رودولف*[۳۹] در آلمان ساخته شد و پس از تجربیات فراوان اولین عدسی مرکب آناستیگمات دوتایی غیر قرینه و چسبیده بهم به جهان عکاسی عرضه شد. این تاریخ نقطه عطفی در ساخت عدسی های مرکب آناستیگمات بشمار می آید. امروزه فن آوری ساخت عدسی و

---

[۳۸] Petzvall .

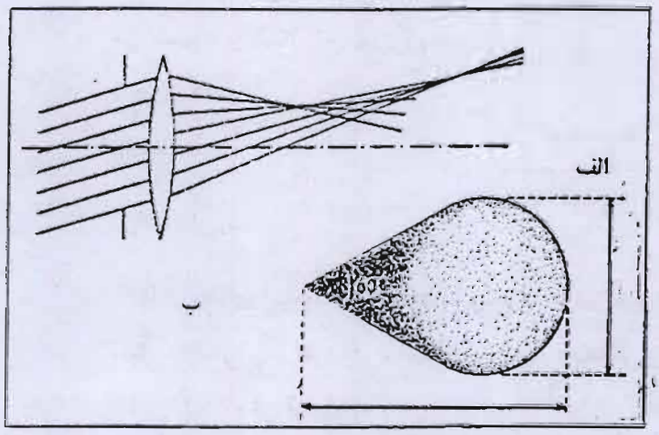
[۳۹] Rudolph .

طراحی آن پیشرفت فراوان یافته است و عدسی های مرکب عکاسی تقریبا هرگز خطای آستیگماتیسم از خود نشان نمی دهند.

آناستیگمات به معنای "ضد آستیگمات" است و به عدسی های تصحیح شده در برابر این خطا گفته می شود.

خطای کُوما

کُوما[*] در لغت به معنای "ستاره دنباله دار" است. این خطا نیز مانند آستیگماتیسم ناشی از کروی بودن عدسی است و از خطاهای ذاتی عدسی کروی شمرده می شود. در خطای کُوما که منحصر به نواحی دور از محور اصلی است، نقاط حاشیه در تصویر، کشیده و شبیه ستاره دنباله دار دیده می شوند.



شکل ۴۴-
الف) دنباله دار شدن تصویر نقطهٔ خارج از محور به علت خطای کُوما.
ب) پیدایش کُوما به علت تفاوت در زاویه شکست پرتوهایی که به طور مایل به عدسی می تابند.

در عدسی مبتلا به خطای کُوما، وقتی پرتوهای نور به طور مایل به عدسی بتابند، رفته رفته با افزایش زاویه تابش و دور شدن پرتو تابش از محور اصلی، شکست بیشتری پیدا می کنند و در محلی نزدیکتر به عدسی متمرکز می شوند. خطای کُوما با افزایش فاصلهٔ تصویر نقطه از محور اصلی و نیز افزایش قطر دهانه دیافراگم شدت می یابد.

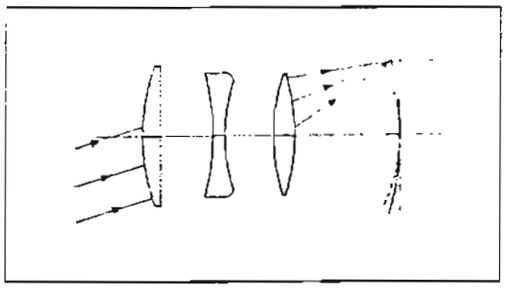
خطای کُوما با کاهش قطر دهانه دیافراگم کاسته می شود.

---

* Coma

خطای انحنای میدان

خطای انحنای میدان[۳۱] نیز از خطاهای ذاتی عدسی کروی بشمار می آید و علت آن تحدب یا تقعر سطوح جانبی عدسی است. که گریزی از آن نیست. در این خطا، سطح کانونی به تبعیت از شکل و ساختمان عدسی انحنا بر می دارد و نقاط تصویر در سطحی منحنی به شکل کودی کاسه، وضوح پیدا می کنند. بنابراین در فیلم تخت که عمود بر محور اصلی واقع است و از نقطه کانونی، F، می گذرد. تصویر در حاشیه های فیلم وضوح خود را از دست می دهد.



اگر می توانستیم فیلم را مطابق با انحنای عدسی در سطح کانونی قرار بدهیم، خطای انحنای میدان عملا وجود نمی داشت. اما منحنی ساختن سطح فیلم کاری ساده نیست، فن آوری پیشرفته و مخارج گزاف می طلبد و تا کنون عملی نشده است.

خطای انحنای میدان وابستگی زیاد با خطای آستیگماتیسم دارد و در واقع با تصحیح یکی، دیگری هم مرتفع می شود. روش تصحیح هر دو خطا یکسان است.

عدسی آناستیگمات فاقد خطای انحنای میدان است.

واپیچیدگی شکل

واپیچیدگی شکل[۳۲] یکی دیگر از خطاهای مهم عدسی است که در اثر آن خطوط حاشیه تصویر انحنا بر می دارند و از حالت مستقیم خود خارج و به شکل خطوط منحنی دیده می شوند. علت این خطا، ناهمگونی عدسی در بزرگنمایی یکنواخت

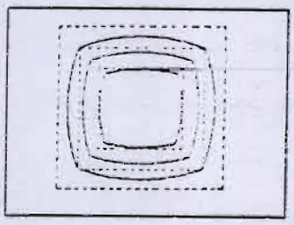
---

۳۱. Curvature of Field

۳۲. Distortion Aberration

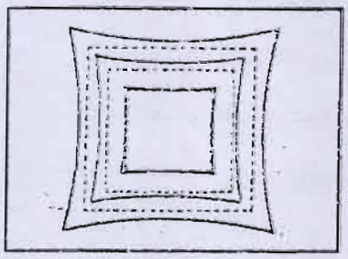
تصویر است. به طوری که نقاط دور از محور اصلی در عدسی، ضریب بزرگنمایی متفاوتی نسبت به نقاط مرکزی می یابند.

در صورتی که بزرگنمایی نقاط دور از محور اصلی نسبت به نقاط مرکزی کمتر باشد، تصویر نقاط مرکزی بزرگتر و برجسته و نقاط حاشیه ای کوچکتر و دور از مرکز ظاهر می شوند. در نتیجه تصویر یک مربع، با ساق های خمیده و رو به بیرون، شبیه بُشکه، دیده می شود.این نوع تغییر شکل را خطا یا "واپیچیدگی بشکه ای"[۳۳] می گویند.



تصویر دریافت شده با عدسی واید، دچار واپیچیدگی بشکه ای است.

عکس حالت بالا را در نظر بگیرید. در صورتی که بزرگنمایی نقاط دور از محور اصلی نسبت به نقاط مرکزی بیشتر باشد، تصویر نقاط مرکزی فشرده و کوچکتر و نقاط حاشیه ای بزرگتر و نزدیکتر به مرکز ظاهر می شوند. در نتیجه تصویر یک مربع، با ساق های خمیده و رو به داخل، شبیه "ناز بالش"، دیده می شود.این نوع تغییر شکل را خطا یا "واپیچیدگی بالشی"[۳۴] می گویند.



تصویر دریافت شده با عدسی تله فتو، دچار واپیچیدگی بالشی است.

اصطلاحا می گویند، عدسی با واپیچیدگی بالشی دارای خطای "مثبت" و عدسی با واپیچیدگی بشکه ای دارای خطای "منفی" است. در صنعت ساخت عدسی، خطای مثبت را با عدسی مکمل، که دارای خطای منفی است، اصلاح می کنند. عکس این حالت نیز صادق است، یعنی خطای منفی را هم می شود با خطای مثبت برطرف کرد.

---

۳۳. Barrel distortion .

۳۴. Pincushion distortion .

اگر دیافراگم در جلو یک عدسی ساده قرار بگیرد خطای بشکه ای و اگر در پشت آن تعبیه بشود، خطای بالشی به نحوی بارز پدید خواهد آمد. به همین علت در عدسی های مرکب، دیافراگم را بین عدسی های ساده و در نقطهٔ کانونِ پشت یا جلو قرار می گیرد، تا از این خطا تا حد ممکن جلوگیری بشود.

به عدسی هایی که در برابر واپیچیدگی شکل تصحیح شده اند، عدسی های اورتوسکوپیک[۴۵] می گویند.

خطای کوما و آستیگماتیسم و انحنای میدان و واپیجیدگی شکل، خطاهای خارج از محور شمرده می شوند.

خطای رنگِ اضافی

در این خطا تصویر یک نقطهٔ نورانی درخشان تبدیل به تعدادی نقطه رنگی با رنگ های متفاوت شده و اطراف تصویر، رنگی دیده می شود. این خطا کمابیش مانند خطای رنگ محوری است اما علت آن متفاوت است. خطای رنگِ اضافی به علت تفاوت درشتنمایی عدسی در مقابل طول موج های مختلف نور، از قرمز تا آبی، پدید می آید که ناشی از جنس ناخالص شیشه عدسی یا تراش بد آن است.

تاریک شدن گوشه های تصویر

علت این خطا واضح است. نور برای رسیدن به حاشیه تصویر مسیر طولانی تری را طی می کند و از آنجا که شدت نور با مجذور فاصله نسبت عکس دارد، لذا در کناره ها شدت آن کاسته می شود. همچنین نور در مرکز عدسی به طور عمود و در حاشیه ها به طور مایل به سطح کانونی می تابد و لذا روشنایی خود را از دست می دهد. در عدسی های جدید عکاسی این خطا با ترکیب عدسی و دیافراگم به کل تصحیح شده است. تنگ کردن دهانه دیافراگم از شدت این خطا می کاهد.

---

۴۵ Orthoscopic

شعله

شعله[۲۲]، نور ناخواسته است که به شکل دنباله ای نورانی، یا نیم حلقه نورانی و یا نورهای نامنظم و هجومی در بخش های مختلف تصویر پدید می آید. شعله، به علت انعکاس های مکرر نور از سطوح عدسی ها رخ می دهد و زمانی شدت می گیرد که پرتوهای نور، مخصوصا نور خورشید، مستقیما به عدسی بتابد. عدسی های مرغوب امروزی دارای اندودهٔ ضد بازتاب (coating) هستند که از بازتاب های نور از سطوح بیرونی عدسی جلوگیری و نیمی از مشکل را برطرف می کند. نیمی دیگر مربوط به بازتاب و در تله افتادن نور بین سطوح داخلی عدسی است، که چاره ای ندارد. استفاده از فیلتر خاکستری و تغییر زاویه منبع نور در کاهش یا رفع این خطا موثر است.

ایرادهای کارخانه ای

ایرادهای کارخانه ای، پس از طراحی و هنگام ساخت عدسی به وجود می آید و علت آن کمبود دقت و ضعف در کنترل کیفیت در عملیات فرآوری شیشه عدسی، سر هم کردن و نصب مجموعه عدسی و بسته بندی و حمل و نقل آن است. از ایرادهای مهم کارخانه ای، هم محور نبودن عناصر و اجزای عدسی مرکب است که خطاهای بسیاری را موجب می شود. احتمال این ایراد در عدسی هایی که اجزا متحرک فراوان دارند، مانند عدسی زوم، بیشتر است. هم محور بودن دقیق عناصر و اجزای عدسی یکی از نشانه های مرغوبیت آن شمرده می شود.

عیوب سطحی از قبیل خراش و وجود حباب در شیشه عدسی از ایرادهای کارخانه ای است.

---

۲۲. Flare

چند نکته

۵ . خطای کُرویت تنهای خطای محوری است که با تنگ کردن دهانـه دیـافراگم تـا حد قابل توجهی اصلاح می شود.

۵ در بین خطاها، کُومـا و آستیگماتیسـم از اهمیت بیشـتر برخوردارنـد. ایـن دو خطا، به ویژه خطای آستیگماتیسم، با باز شدن دهانهٔ دیافراگم شدت مـی یـابند. در عمل، سرعت عدسی (یعنـی، حداکثر گشـایش دهانـهٔ دیـافراگم در مجموعـه عدسی) به وسیلهٔ آستیگماتیسم و کُوما محدود می شود.

۵ . هر چند تنگ شدن دهانهٔ دیافراگم در کاهش بسیاری از خطاها موثر است، تنگ شدن بیش از حد آن هم مطلوب نیست و خود به خطاهای دیگری می انجامد. از جمله، نور در برخورد به لبهٔ تنگ و تیز دهانهٔ دیافراگم "پراش" پیدا می کند و در لبهٔ دیافراگم، فریزهای[۴۷] تاریک و روش پدید می آورد. فریزها به شـکل خطـوط تاریک و روشن و موازی و نزدیک به هم دیده مـی شـوند کـه از تداخـل امـواج (مانند نقاط گِره و شکم در موج صوتی) پدید می آیند.

۵ . در هر عدسی، بسته به نوع، طرح و ساختمان آن، مناسب ترین دهانهٔ زمانی به دست می آید که خطاهای عدسی بهینه و در مجموع به حداقل ممکن برسد.

---

۴۷. Fringe

۷

طبقه بندی دوربین های عکاسی

در تمام دوربین های عکاسی، پرتوهای نور پیش از عبور از عدسی و دیافراگم و شاتر مستقیما به فیلم می تابند و تصویر را روی آن شکل می دهند. اما پیش از ثبت تصویر، عکاس مایل است از کم و کیف آنچه که ثبت می کند آگاه بشود و کادربندی صحنه را مطابق با ذوق هنری خود میزان کند. تمام دوربین ها دارای نوعی سیستم نمایاب[۷۵] هستند که تصویر را پیش از ضبط روی فیلم در معرض دید عکاس قرار می دهند. سه گونه سیستم نمایاب طراحی می شود: (۱) سیستم نمایابی مستقیم یا غیر انعکاسی[۷۶]، (۲) سیستم تک عدسی انعکاسی[۷۷]، (۳) سیستم دو عدسی انعکاسی[۷۸]. این سیستم ها را ضمن طبقه بندی و شرح انواع دوربین ها شرح خواهیم داد.

دوربین های عکاسی را معمولا بر اساس سیستم نمایاب و قطع فیلم طبقه بندی می کنند.

۱- دوربین های جیبی

دوربین های جیبی در شکل و اندازه های متنوع ساخته می شوند. در کوچک ترین و قدیمی ترین آنها که به دوربین مینیاتوری شهرت داشت، ابعاد قاب تصویر (کادر تصویر) از ۸/۱۱م.م تجاوز نمی کرد. در نمونه دیگر از دوربین های جیبی، که در بازار فراوان است و آن را دوربین ۱۱۰ می نامند، از فیلم کارتریج بسته معروف

---

۷۵. Viewfinder System

۷۶. Non-reflex Rangefinder

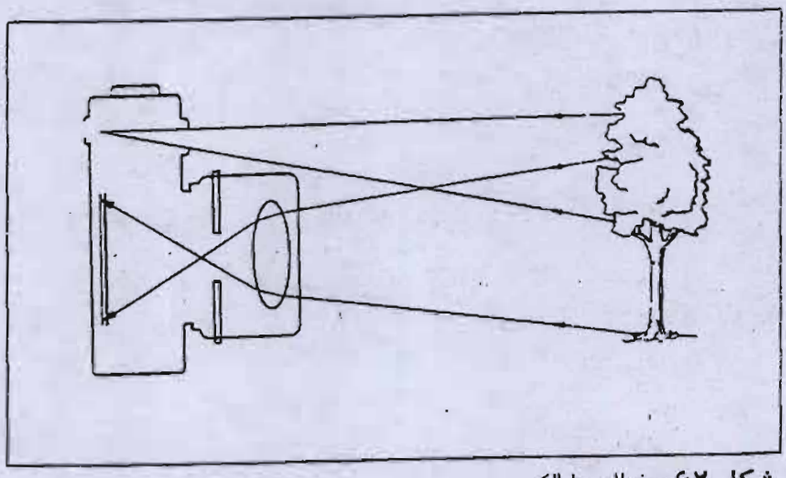
۷۷. Single Lens Reflex (SLR)

۷۸. Twin Lens Reflex (TLR)

به ۱۱۰ استفاده می شود. فیلم ۱۱۰ همان فیلم ۱۶م.م است. با این تفاوت که ابعاد هر کادر فیلم آن (دریچه کارتریج فیلم) ۱۷×۱۱م.م یا ۱۷×۱۳ م.م است.

سیستم نمایابی تمام دوربین های جیبی **غیرانعکاسی** است بنابراین خطای **پارالکس** در آنها وجود دارد.

در سیستم نمایابی غیر انعکاسی، نور موضوع عکاسی از میان پنجره ای که در کنار و اغلب بالای عدسی قرار دارد به داخل می تابد و تنها با یک یا دو عدسی به نمایاب چشمی دوربین منتقل می شود و در معرض دید عکاس قرار می گیرد (رک. شکل ۶۲). در سیستم غیرانعکاسی، زاویه دید عکاس با زاویه دید عدسی یکسان نیست. این اختلاف در زاویه دید را خطای پارالکس می نامند. این خطا هنگام عکاسی از فاصله نزدیک فاحش می شود.

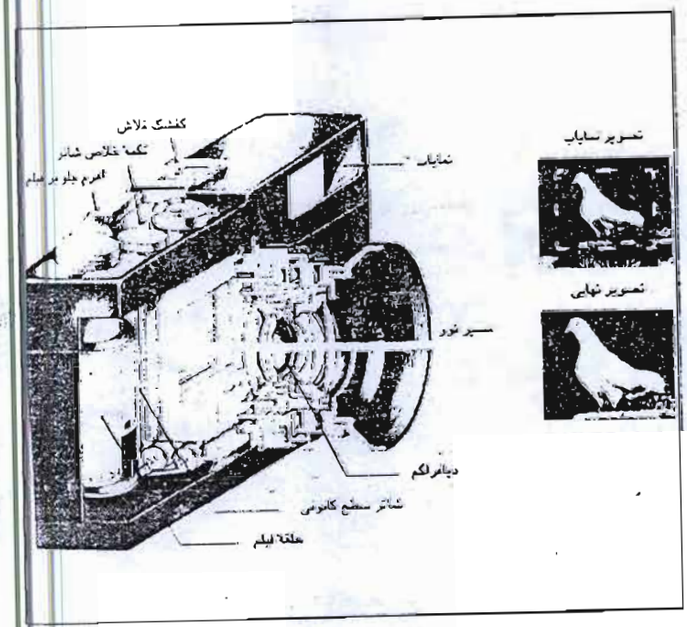


شکل ۶۲- خطای پارالکس

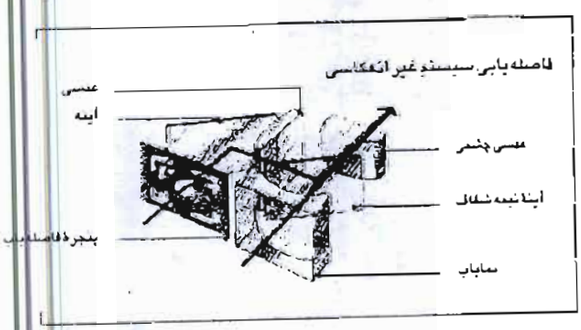
دوربین های جیبی با طرح و ساخت بسیار ساده و نیز ارزان قیمت، تنظیم نور و فاصله عکسبرداری را به طور خودکار انجام می دهند. افزودنی است که این قبیل دوربین ها در حرفه عکاسی چندان به کار نمی آیند، بیشتر مناسب بانوان خانه دار است که بدون پیچیدگی و فقط با نگریستن از میان نمایاب و فشردن یک دکمه، عکس یادگاری از نوه ای شیرین حرکات بگیرند و نمی شاد شوند.

دوربین های ۳۵ میلی متری غیر انعکاسی

اگر مهارت عکاس، عوامل چاپ و کیفیت حساسیت فیلم را ثابت فرض کنیم، دو عامل مهم دیگر در کیفیت کار عکاس نقش اساسی دارند: نخست کیفیت عدسی دوربین و دوم قطع فیلم. هرچه اندازه فیلم بزرگ تر باشد (مثلا فیلم ۱۲۵ نسبت به فیلم ۱۱۰، یا فیلم ۶×۶ نسبت به ۱۲۵) عکس هایی که به دست می آیند با بزرگنمایی کمتر چاپ می شوند بنابراین از وضوح و کیفیت بیشتر برخوردار هستند. به این ترتیب تصویر حاصل از دوربین ۳۵میم غیر انعکاسی به مراتب بهتر از دوربین ۱۱۰ جیبی است، چون علاوه بر کیفیت برتر عدسی، کادر تصویر آن حدود چهار برابر بزرگتر شده است.



این دوربین ها اغلب به صورت خودکار و در انواع نازل تر به صورت نیمه خودکار عمل می کنند. برای تنظیم فاصله، در بالای عدسی دو پنجره برای سیستم نمایاب دوربین تعبیه شده است. معمولا پشت این دو پنجره، دو آینه (گاهی یک منشور و یک آینه) قرار دارد که یکی از آینه ها نیمه بازتاباننده است و با اتصال مکانیکی به حلقه تنظیم فاصله متصل شده است (در شکل دیده نمی شود). هنگام تنظیم فاصله عکسبرداری، نور تصویر اصلی از میان پنجرهٔ مستقیم نمایاب، پس از عبور از آینه نیمه شفاف و عدسی چشمی، به چشم عکاس می تابد. تصویر دومی نیز، مانند شبح



تصویر اصلی. از طریق پنجره دوم شکل می گیرد و آینه بازتابنده دوم، تصویر شبح گونه را در راستای نیمه عکاس قرار می دهد. عکاس تصویر موضوع را دوتایی (مضاعف) می بیند. با گرداندن حلقه تنظیم فاصله (یا با نزدیک و دور شدن از موضوع)، اندک اندک تصویر شبح بر تصویر اصلی منطبق می شود و فاصله صحیح عکاسی به دست می آید. در نوع ساده تر این دوربین ها تصویر دوتایی در کار نیست. و فقط نشانه های فواصل نزدیک و متوسط و دور و عقربک تطبیق فاصله یابی در نمایاب دیده می شود. با گرداندن حلقه تنظیم فاصله، عقربک حرکت می کند و با قرار گرفتن روی یکی از نشانه ها (مثلا نشانه متوسط) فاصله عکاسی به طور نسبی تنظیم می شود. در انواع بسیار ساده اساسا هیچ سیستم فوکوسی وجود ندارد و عدسی دوربین، تصویر موضوع هایی را در محدوده ای خاص، مثلا بین ۳ تا ۵ متر، با وضوح نسبی به فیلم می تاباند و در خارج از این محدوده تصویر وضوح در بین نیست. این دوربین ها دیافراگم مستقل نیز ندارند و شاتر آنها پره ای (مرکزی) است و اغلب با سه اندازه دهانه بیشتر عمل نمی کنند. یکی برای فیلم های ASA۴۰۰ (کوچک ترین دهانه)، یکی برای فیلم های ASA۱۰۰ (دهانه متوسط) و یکی هم برای فلاش (بازترین دهانه).

در انواع جدید و پیشرفته در جلو یا بالای عدسی این دوربین ها دو عدد حس گر (سنسور) فاصله یاب خودکار تعبیه شده است که اولی پرتو فروسرخ را به طرف موضوع می تاباند و دومی بازتاب آن را دریافت و به حافظه الکترونیکی خود می سپارد که فاصله موضوع را محاسبه کرده و با سیستم الکترومکانیکی، میزان جابه جایی عدسی را برای ایجاد فوکوس تنظیم می کند. در عکاسی با این قبیل دوربین های اتوفوکوس باید توجه داشت که موضوع اصلی در مرکز نمایاب قرار بگیرد، زیرا حس گرهای اتوفوکوس این دوربین ها چندان وسعت دید ندارند و مرکز تصویر را بیشتر ردیابی می کنند.

در انواع تمام خودکار پیشرفته دوربین ۳۵م.م غیرانعکاسی از پردازنده رایانه ای استفاده شده است و عملیات جلوبری ابتدای فیلم، خواندن کُد DX سرعت (حساسیت) فیلم، فاصله یابی، نورسنجی، تنظیم زمان فلاش، حرکت فیلم به جلو و بازپیچی به داخل کاست پس از پایان، و خلاصه همه چیز بجز انتخاب موضوع و عکس گرفتن از آن به عهده دوربین است. سرعت شاتر هم در انواع مختلف بین ۱ تا ۱/۴۰۰ و گاهی ۱/۸۰۰ ثانیه به طور خودکار تنظیم می شود.

می پرسید: دیگر چه ماند که خودکار نشده است؟ پاسخ: فرد عکاس.

دوربین های اتوفوکوس را می توان در سه گروه طبقه بندی کرد:

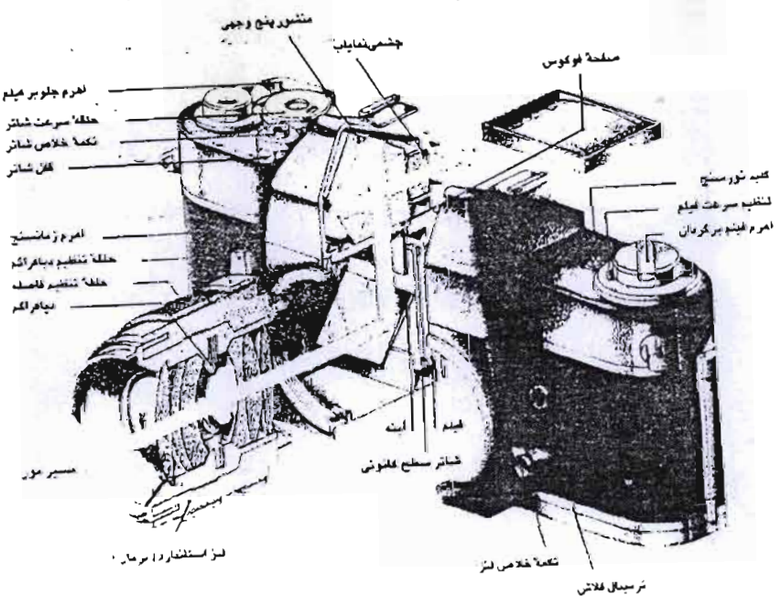
۱. دوربین هایی که فاصله کانونی آنها حدود ۳۵ م.م و ثابت است.

۲. دوربین هایی که دو فاصله کانونی ثابت دارند. مثلا ۳۵ و ۷۰م.م.

۳. دوربین هایی که عدسی زوم دارند. معمولا ۷۰- ۳۵ م.م یا ۱۰۵-۳۸م.م یا ۱۳۵-۳۸م.م.

۲- دوربین های ۳۵ میلی متری انعکاسی

این نوع دوربین با برخورداری از کیفیت "خوب" طراحی، بدنه محکم، عدسی های قابل تعویض، تجهیزات جانبی بسیار، سهولت کار و حمل آسان، رایج ترین و متنوع ترین دوربین عکاسی در سراسر جهان است. صدها نوع عدسی و وسایل جانبی برای این دوربین ها ساخته شده است که کارهای گوناگون عکاسی، از اعماق اقیانوس تا ژرفای کیهان، از عکاسی میکروسکپی تا ماکروسکپی، را میسر می سازد. سرعت عمل و امکانات این دوربین ها برای عکاسی خبری، ورزشی، طبیعت وحش و تئاتری بی نظیر است، اما برای کارهای عکاسی صنعتی و آتلیه توصیه نمی شود. با این وجود، برای این قبیل کارها نیز از امکانات ممتاز این دوربین ها به وفور استفاده می شود و نتایج مطلوب به دست می آید.



سیستم نمایابی این دوربین ها تک عدسی انعکاسی است که در اغلب دوربین های قطع متوسط هم به کار می رود. ساختار و کارکرد این سیستم چنین است که، در پشت عدسی این دوربین ها یک آینه ای ۴۵ درجه نسبت به محور عدسی قرار دارد که نور موضوع را از میان عدسی دریافت کرده و رو به بالا می تاباند. سپس نور پس از دوبار انعکاس کلی در یک منشور پنج وجهی به چشم عکاس می تابد و او تصویر را مستقیم می بیند. هنگام عکسبرداری، آینه بالا می رود و نور از میان عدسی و شاتر می گذرد و مستقیم به فیلم می تابد. در لحظه عکاسی، تصویر در نسلیلب سیاه است و چیزی دیده نمی شود، چون آینه بالا رفته است و نور دریافت نمی کند.

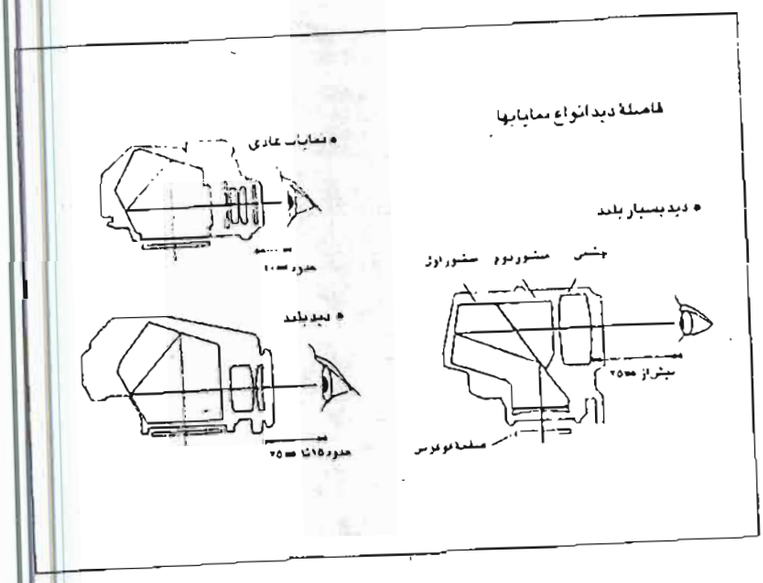
برفراز آینه، صفحه ای نیمه مات به نام پرده فوکوس (صفحه فوکوس) قرار دارد. تصویر تابیده بر این پرده تا زمانی که فاصله فوکوس تنظیم نشده است وضوح ندارد؛ تصویری دوپارچه است که پس از تنظیم فاصله، یکپارچه و واضح می شود و به چشم عکاس می تابد.

شاتر دوربین های ۳۵م.م عمدتا از نوع سطح کانونی (پرده ای) است و سرعت آن از چندین ثانیه شروع و در انواع پیشرفته به ۱/۱۲۰۰۰ ثانیه هم می رسد. سرعت همزمانی شاتر و فلاش الکترونیکی نیز در نمونه های مختلف معمولا ۱/۶۰ یا ۱/۱۲۵ ثانیه است.

تمام دوربین های ۳۵م.م انعکاسی یک یا چند الگوی نورسنجی داخلی دارند و در انواع پیشرفته از پردازنده رایانه ای و با امکان برنامه ریزی برخوردار شده اند و قادرند نورسنجی را به روش های نقطه ای، معدل گیری با تاکید مرکزی و کلی با ارزیابی چند ناحیه ای انجام بدهند. (رک. طرح های نورسنجی، صفحه ۹۳)

از ویژگی های دیگر دوربین های پیشرفته جدید، مجهز شدن آنها به موتور برای حرکت فیلم است. در گذشته این موتورها مجزا از دوربین بودند و تنها در صورت نیاز از زیر به دوربین وصل می شدند، اما امروزه جزیی از دوربین شده اند و علاوه بر جلوبری و بازپیچی فیلم، در برخی از دوربین ها عکسبرداری تا چندین قاب (کادر) در ثانیه را نیز ممکن می سازند.

نمایاب اغلب دوربین های ۳۵م.م ثابت و غیرقابل تعویض است. اما در مدل های جدید پیشرفته، می توان نمایاب استاندارد دوربین را با انواع دیگر، مانند نمایاب ذره بینی برای عکاسی از اشیا و موجودات ریز، یا نمایاب مخصوص عکاسی با کلاه ایمنی با دید بسیار بلند، یا نمایاب دید بلند مخصوص عکاسی با عینک تعویض کرد.



شکل ۶۳
فاصله دید در انواع نمایاب.

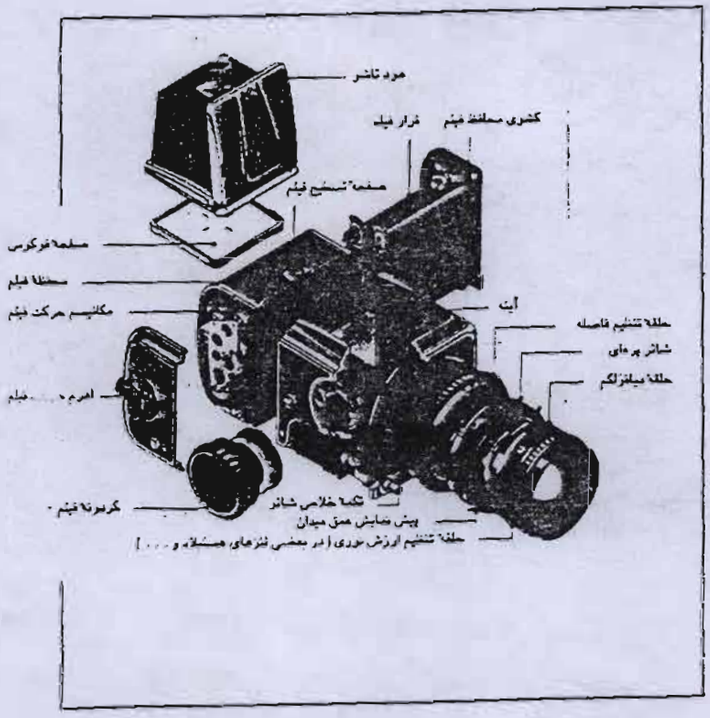
۳- دوربین های قطع متوسط

این دوربین ها اساسا برای کارهای عمومی عکاسی حرفه ای طراحی و ساخته شده اند. مهم ترین برتری این دوربین ها نسبت به دوربین های ۳۵م.م خوب قطع بزرگ تر فیلم آنهاست. کادر تصویر این دوربین ها (فیلم ۱۲۰ یا ۲۲۰م.م با عرض ۶ سانتی متر) در نمونه های مختلف، حدود ۲ تا ۵ برابر کادر فیلم های ۳۵م.م است که اگر سایر شرایط (کیفیت عدسی، عوامل چاپ و غیره) را ثابت فرض کنید. همین مزیت به تنهایی کافی است تصویر از وضوح و کیفیت بهتر برخوردار باشد. با فیلم ۱۲۰ در مدل های رایج این دوربین ها (قطع ۶×۶، ۶×۷ و ۶×۴/۵ سانتی متر) می توان ۱۰، ۱۲ و ۱۵ تصویر عکسبرداری کرد. با فیلم ۲۲۰م.م، این تعداد به دو برابر می رسد.

دوربین های قطع متوسط در سه ساختار طراحی می شوند: تک عدسی انعکاسی، دو عدسی انعکاسی و تک عدسی غیر انعکاسی.

دوربین های تک عدسی انعکاسی

این دوربین ها به علت برخورداری از امکانات فراوان و سرعت عمل و سهولت کار، بهترین و تکمیل ترین دوربین های قطع متوسط شمرده می شوند. انواع عدسی های قابل تعویض ممتاز، انواع نمایاب ها و نورسنج ها و اجزا مکانیکی و الکترومکانیکی خاص با طراحی دقیق مهندسی، به اضافه بدنه محکم و در عین حال نه چندان سنگین، در مجموع باعث شده است اغلب کارهای حرفه ای عکاسی با این دوربین روند ساده ای بیابند.



شکل ۶۴

دوربین قطع متوسط، تک عدسی انعکاسی.

در برخی از این دوربین ها، از قبیل هسلبلادهای سری ۵۰۰، مامیای RB و RZ، دوربین های برونیکا و رولیفلکس های سری ۶۰۰، شاتر از نوع مرکزی (پره ای) و حداکثر سرعت آن ۱/۵۰۰ ثانیه است. در برخی دیگر، از قبیل رولیفکس SL66، پنتاکس ۶۷، و مامیای ۶۵۴ شاتر از نوع سطح کانونی (پرده ای) و حداکثر سرعت آن ۱/۱۰۰۰ یا ۱/۲۰۰۰ ثانیه است. در هسلبلاد سری ۲۰۰ (یا ۲۰۰۰ قدیمی) در واقع

از هر دو نوع شاتر بهره برداری می شود، چرا که این دوربین ها علاوه بر داشتن شاتر پرده ای، از انواع عدسی های مجهز به شاتر پره ای هم برخوردار است.

دوربین های دو عدسی انعکاسی

دوربین های قطع متوسط دو عدسی انعکاسی سابقه ای طولانی در عکاسی دارند و تا چندی پیش بسیار رایج و محبوب بودند. لیکن امروزه با پیشرفت روزافزون دوربین های تک عدسی انعکاسی، بازارشان از رونق افتاده است. به طوری که در سال ۱۹۹۴ میلادی، معروف ترین دوربین دو عدسی جهان، مامیا ۳۳۰، پس از ۳۷ سال رسما از خط تولید خارج شد. دوربین رولیفکس GX2.8 نیز با وجود برخورداری از سیستم نورسنجی TTL و سنجش نور فلاش در سطح فیلم، در حال حاضر متقاضی کم دارد.

شکل ۶۵

دوربین دو عدسی انعکاسی.

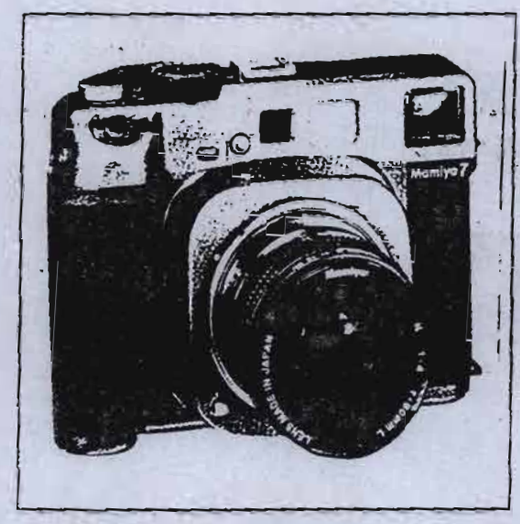
در این قبیل دوربین ها، عدسی پایین، عدسی اصلی است و مستقیما مقابل فیلم قرار دارد و عدسی بالا، که عدسی نمایاب خواننده می شود، مقابل آینه ۴۵ درجه واقع است و تصویر را چپ به راست و معکوس به نمایاب سطح سینه ای دوربین می تاباند (رک. شکل ۶۵). با این ساختار، زاویه دید عکاس و عدسی اصلی یکسان نیست و خطای اختلاف دید (پارالکس) وجود دارد. قطع فیلم در این دوربین ها عمدتا ۶×۶ سانتی متر و اندازه کادر تصویر در این قطع ۵۷×۵۷م.م است.

دوربین های تک عدسی غیر انعکاسی

دوربین های قطع متوسط تک عدسی غیر انعکاسی در قطع های مختلف ساخته می شود. از جمله می توان به مامیا ۷، با کادر فیلم ۶×۷ سانتی متر، و مامیا ۶ با کادر فیلم ۶×۶ سانتی متر. اشاره کرد. در این دو دوربین از هر دو نوع فیلم ۱۲۰ و ۲۲۰ استفاده می شود. سیستم نورسنج این دوربین ها داخلی است و عکسبرداری خودکار و با تقدم دیافراگم انجام می شود. عدسی آن قابل تعویض است.

شاتر این دوربین ها از نوع مرکزی (پره ای) و حداکثر سرعت آن ۱/۵۰۰ ثانیه است.

برخی از این دوربین ها قیمت بسیار گزاف دارند، لیکن تجهیزات جانبی آنها در هیچ زمینه ای به پای دوربین های تک عدسی انعکاسی نمی رسد. علت عمده محبوبیت این دوربین ها جمع و جور بودن و وزن سبک آنها در مقایسه با دوربین های قطع متوسط تک عدسی انعکاسی است.



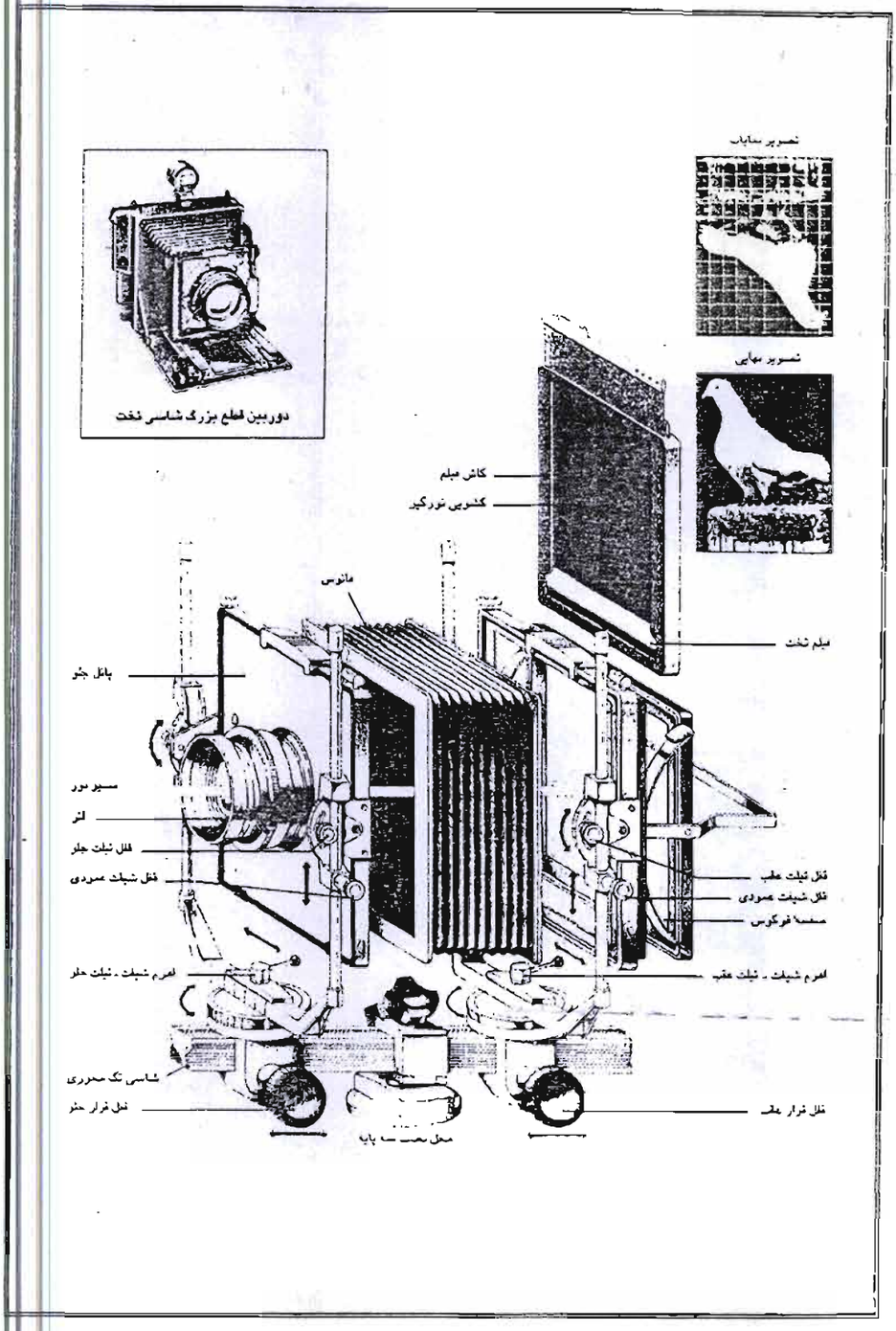
شکل ۶۶

دوربین تک عدسی غیر انعکاسی.

٤- دوربین های قطع بزرگ

این دوربین ها در انواع متنوع عرضه می شوند. در اغلب آنها کل دستگاه روی یک شاسی تک محوری فلزی، یا روی شاسی تخت، قرار دارد و می تواند در طول شاسی حرکت کند. (رک. شکل ۶۷) در قسمت جلوی این دوربین ها صفحه نصب عدسی (موسوم به استاندارد جلو) قرار دارد که عدسی به قاب آن قفل می شود.

در پشت دوربین، صفحه فوکوس (شیشه مات) در بین عدسی و صفحه مات فانوس دوربین قرار می گیرد.



شکل ۶۷- دوربین قطع بزرگ

سیستم نمایابی دوربین های قطع بزرگ بدون واسطه است. یعنی، شیشه مات در پشت دستگاه به صورت کشویی درست در جای فیلم قرار گرفته است که پس از کادربندی و تنظیم فاصله، کاش فیلم در جای آن می نشیند. به این ترتیب، تصویر معکوس و وارونه ای که عکاس می بیند، دقیقا تصویری است که روی فیلم ثبت می شود.

دوربین های قطع بزرگ در اصل برای عکسبرداری صنعتی و معماری با فیلم تخت (sheet) طراحی شده اند و فیلم آنها در چند استاندارد ساخته می شود. رایج ترین فیلم آنها کوچک ترین آنهاست که قطع آن ۴×۵ اینچ (۱۲/۵×۱۰ سانتی متر، یعنی نزدیک به ۱۵ برابر قطع فیلم ۳۵م.م) است. بزرگ ترین قطع استاندارد ۸×۱۰ اینچ (۲۰×۲۵ سانتی متر، نزدیک به ۶۰ برابر قطع فیلم ۳۵م.م) است.

دوربین های قطع بزرگ اساسا منظره یاب یا نمایاب چشمی شبیه دوربین های متوسط یا ۳۵م.م ندارند. هنگام عکاسی، ابتدا باید دهانه دیافراگم مرکزی عدسی را کاملا گشود و سپس تصویر را روی شیشه مات تنظیم کرد. تصویر روی شیشه مات این دوربین ها تیره و کدر دیده می شود (وضوح و روشنی تصویر نمایاب چشمی دوربین های قطع متوسط یا ۳۵م.م را ندارد)، به این علت هنگام کادربندی و تنظیم فاصله، عکاس گاهی پارچه سیاه دوربین را روی سر خود می کشد تا در تاریکی تصویر را بهتر ببیند.

تقریبا تمام اجزا دوربین های تک محوری جدید متحرک است. قسمت جلو و عقب در این دوربین ها به صورت کشویی به بالا و پایین یا چپ و راست حرکت می کند یا در جهات مختلف زاویه می خورد (تیلت). قسمت های میانی و کل دستگاه را نیز می توان حول محور افقی چرخش داد (در بعضی از مدل ها تا ۹۰ درجه). به علت حرکت های بسیار متنوع بدنه این دوربین ها، عدسی دوربین های قطع بزرگ الزاما از زاویه دید وسیع برخوردارند و عمق میدان و وضوح بهتری ارائه می دهند. در بعضی از نمونه ها، کاش فیلم هم به صورت افقی و هم عمودی نصب می شود و به این ترتیب کار عکاس را در هر دو حالت آسان می سازد. اما کاش فیلم بعضی از این دوربین ها فقط به صورت عمودی قابل نصب است، بنابراین عکاس برای دریافت تصویر افقی باید کل دستگاه را روی سه پایه ۹۰ درجه چرخش بدهد. این کار با یک دوربین قطع بزرگ چندان آسان نیست.

از آنجا که فاصله عدسی تا فیلم در دوربین های قطع بزرگ به دلیل حرکت های مختلف بدنه دوربین دایم تغییر می کند، لذا درجه های اسمی دیافراگم و شاتر چندان اعتبار ندارند و به این علت برای نور سنجی تصویر از روی شیشه مات باید از نورسنج های خاص استفاده کرد. اگرچه در بسیاری از شرایط، به ویژه عکاسی با فیلم های رایج نگاتیو، عکاس ها نوردهی را به طور تجربی انجام می دهند، در دوربین های پیشرفته نورسنج های الکترونیکی بسیار دقیق در قسمت پشت نصب شده است و در نمونه های قابل برنامه ریزی رایانه ای، تصویر صفحه مات در مونیتور رنگی یا سیاه و سفید در معرض دید عکاس قرار می گیرد.

منابع

۱- چیلان نورالدین، فیزیک نور و ابزار شناسی، دانشگاه آزاد، تهران ۱۳۸۰

۲- نبوی رضا، عکاسی پایه، انتشارات دانشگاه هنر، تهران ۱۳۹۱

۳- نبوی رضا، عکاسی پیشرفته،انتشارات دانشگاه هنر، تهران ۱۳۹۱

۴- منتظری شاهتوری، تورج - شیرماهی، مهدی، انتشارات مبتکران - پیشروان، تهران

۵- www.iran-eng.com ، فیزیک نور و اپتیک

۶- کاتنل-جانسون، فیزیک عمومی،نور و نسبیت، ترجمه:محمد هادی احمدی،سید جواد موسوی، نشر حق شناس ، تهران ۱۳۸۵