مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

جلد ۷- شماره ۳ - سال ۱۴۰۱

www.ElitesJournal.ir

مروری بر بیوفیزیک در تحلیل عملکرد سیستم بینایی و مدل های اپتیکی چشم انسان

علیرضا محمدیان پورطالاری

استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، واحد صوفیان، دانشگاه آزاد اسلامی، صوفیان، ایران

amp_pprc@yahoo.com

ارسال: مرداد ۱۴۰۱ پذیرش: مرداد ۱۴۰۱

چکیده

چشم ها از اعضای اصلی سیستم بینایی هستند که با شناسایی ، دریافت و پردازش نور و تبدیل آن به پیام های الکتروشیمیایی در سلول های عصبی ، جزئیات دیداری را برای موجودات زنده فراهم می‌کنند. چشم با وجود اندازهٔ کوچکی که دارد یک سیستم بیولوژیکی پیچیده به شمار می‌آید و تا کنون مدل های اپتیکی مختلفی برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی آن ارائه شده است. بیوفیزیک بینایی شاخه ای در حال رشد از بیوفیزیک و فیزیک پزشکی است که به مطالعه و بررسی عملکرد سیستم بینایی ، اپتیک چشم و سنجش کیفیت بینایی می پردازد و در سالهای اخیر با توجه به افزایش روز افزون جراحی ها بر روی چشم ، از اهمیت زیادی برخوردار شده است. در این مقاله ، قوانین فیزیکی و محاسبات ریاضی حاکم بر برخی از مدل های اپتیکی چشم انسان که شامل سطوح انکساری کروی و مقاطع مخروطی برای قرنیه و عدسی می باشند ، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهند که مدل های اپتیکی با مقاطع مخروطی نسبت به مدل های کلاسیک کروی ، می توانند تصحیح عیوب انکساری دقیقتری را برای درمان بیماران چشمی در جراحی های مربوط به قسمت قدامی چشم فراهم نمایند و برای ارائه خدمات بهتر درمانی بسیار مفید باشند. این مدل های پیچیده فقط از جنبه تئوری مورد بررسی قرار گرفته اند و استفاده از آنها در شرایط بالینی ، نیاز به اندازه گیری های بسیار دقیق و تخصصی در کلینیک های چشم پزشکی دارد.

کلمات کلیدی: بیوفیزیک ، سیستم بینایی ، چشم ، مدل های اپتیکی.

۱– مقدمه

علاقه به مشخصات فیزیولوژیکی و اپتیکی چشم انسان و چگونگی ارتباط آنها با کیفیت دیدن، از زمانهای خیلی قدیم به وجود آمده است و تا کنون تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است. برای درمانهایی از جمله جراحی کاتاراکت ، جراحی های انکساری قرنیه و پیوند قرنیه ، به مدل های اپتیکی چشم برای درک المانهای انکساری احتیاج داریم ، بنابراین باید مدلی برای چشم انسان داشته باشیم. سیستم بینایی ما بسیار پیچیده است ولی از آنجایی که قسمت قدامی چشم مهمترین نقش را در شکست نور بازی می کند ، بنابراین بیشتر مدل های چشم ، قرنیه و عدسی را مدل سازی می کنند [۱]. امروزه شناخت و تحلیل عملکرد سیستم بینایی ، با درک چگونگی انتشار نور در چشم میسر می شود و لذا ارائه مدل های اپتیکی چشم با جزئیات بیشتر علی رغم مشکلات و پیچیدگی هایی که دارد ، بسیار ضروری می باشد [۲]. برخی از این مدل ها بر مبنای مشخصات فیزیولوژیکی و آناتومی چشم

که توسط آزمایش بدست آمده اند ، ارائه شده اند و برخی نیز صرفاً مدل های ریاضی می باشند ، ولی تلفیق این دو یعنی ارائه مدل فیزیکی بر مبنای کمیت های اندازه گیری شده و کاربردی کردن آن می تواند در تحقیقات چشم مفید باشد.

از سالها پیش محققان برای توضیح و تفسیر پیچیدگی های چشم انسان از مدل سازی های مختلفی استفاده کرده اند . از اولین مدل اپتیکی ارائه شده توسط هلمهولتز [۳] برای تشکیل تصویر جسم به طور وارونه روی شبکیه و تائید تجربی آن توسط شاینر [۴] گرفته تا مدل چشم هویگنس [۵] برای نشان دادن تصویر معکوس و اثرات مفید عدسی های عینک و مشاهده آستیگماتیسم توسط توماس یانگ [۶] و ارائه مدل چشم محوری لیستینگ [۷] که به صورت یک سری سطوح کروی جدا شده توسط محیطی همگن با ضریب شکست ثابت بود ، همه و همه از مدل های ارائه شده برای چشم هستند که اکثراً مدل های ریاضی می باشند و ضرورت تحقیقات کاربردی در اپتیک چشم انسان را نشان می دهند. در این مقالهٔ مروری ، بررسی اجمالی و کاربردی از اصول فیزیکی شناخته شده در عملکرد سیستم بینایی و مدل های اپتیکی چشم انسان، شامل مدل های کلاسیک، مدل های کروی و مدل های با سطوح انکساری مقاطع مخروطی انجام شده است. سعی شده است که مدل سازی های مختلف و معادلات بنیادی در این زمینه، به دانشجویان و پژوهشگران علوم بین رشته ای معرفی شود.

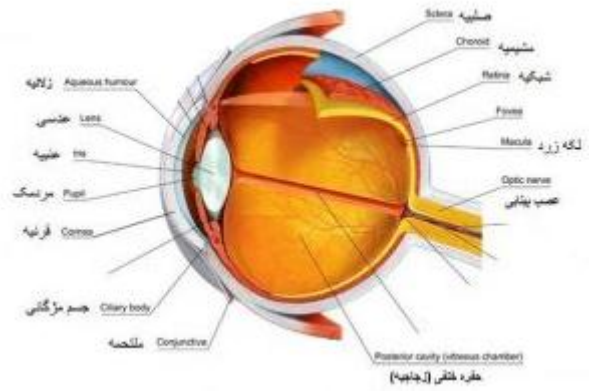
۲– ساختمان چشم انسان

از نظر کلی چشم موجودات زنده به دو دسته تقسیم بندی می شود:

- چشم های ساده : که تنها یک سطح مقعر دریافت کنندهٔ نور دارند.
- چشم های مرکب : که چندین عدسی دارند و نور را به سطح محدبی هدایت می‌کنند.

عبارت چشم های ساده به معنی داشتن پیچیدگی یا دقت کمتر نیست ، بلکه هر یک از این چشم ها به خوبی می‌توانند برای محیط زندگی صاحب خود بهینه شوند. تنها محدودیت چشم های ساده در وضوح تصویر (قدرت بینایی) است. چشم های ساده تنها قادر به تشخیص وجود نور در اطراف خود هستند ، در صورتی که چشم های مرکب می توانند شکل ها و رنگ ها را نیز از یکدیگر شناسایی کنند و از تراشهای بسیار کوچک به نام ریزچشمک، تشکیل شده اند و بسته به نحوهٔ زیست جانور هر یک از این ریزچشمک ها، یک تصویر دانه‌ای (پیکسلی) یا چندین تصویر ارائه می‌کنند. در مقابل چشم های مرکب، چشم های ساده قرار دارند که تنها یک عدسی دارند وکاری به جز تشخیص نور و تاریکی انجام نمی دهند، که این برای تنظیم ساعت زیستی آنها کافی است.

چشم انسان یک عضو شگفت انگیز بدن است که با وجود اندازهٔ کوچکی که دارد یک سیستم بیولوژیکی پیچیده محسوب می‌شود. چشم انسان ۲/۵۴ سانتی‌متر عرض، ۲/۵۴ سانتی‌متر عمق و ۲/۳ سانتی‌متر ارتفاع دارد. قسمت‌های مختلف چشم انسان عبارتند از:



شکل۱– قسمت‌های مختلف چشم انسان [۸]

۲-۱- پلک

مهمترین عملکرد پلک ، محافظت از چشم است. پوست پلک شل بوده و خاصیت الاستیکی دارد و می‌تواند حرکت کند. غدد مختلفی در پلک‌ها وجود دارند که از آن جمله می‌توان به غدد تارسال اشاره کرد که موادی ترشح می‌کنند که باعث چرب شدن سطح فیلم اشک شده و از تبخیر لایهٔ اشک جلوگیری می‌کنند.

۲-۲- مژه

مژه‌ها موهای سفت و کوتاهی هستند که در دو یا سه ردیف قرار دارند و از چشم‌ها در برابر گرد و غبار محافظت می‌کنند. مژه‌ها ممکن است طول و قطرهای متفاوتی نسبت به هم داشته باشند.

۲-۳ – ملتحمه

ملتحمه به پوشش چشم اشاره دارد. ملتحمه با ترشح مخاط و اشک به روانکاری چشم کمک کرده و از آن در برابر میکروب های خارجی حفاظت می‌کند. ملتحمه حاوی سلول‌هایی است که باعث ترشح اشک در هر دو چشم می‌شوند. سطح داخلی پلک‌ها را مایع مخاطی به نام ملتحمه پوشانده است. وجود ملتحمه باعث می‌شود سطح چشم همواره مرطوب باشد. عفونت ملتحمه منجر به بروز بیماری التهاب ملتحمه یا قرمزی چشم می‌شود. ضخامت ملتحمه روی قرنیه در حدود ۳۰ میکرومتر است.

۲-۴ – صلبیه

لایهٔ بیرونی و محکم چشم صلبیه نام دارد که همان پردهٔ ضخیم ، محکم و سفید رنگ چشم است و قسمت بیرونی کرهٔ چشم را پوشانیده و ضخامت آن از عقب به جلو به تدریج کاهش می‌یابد. صلبیه فشار داخل چشم را تحمل می‌کند و به آن شکل می‌دهد. صلبیه در جلوی چشم مسطح شده و قرنیه را به وجود می‌آورد.

۲-۵- مشیمیه

دومین لایهٔ چشم مشیمیه نام دارد که در واقع ماهیچه‌هایی هستند که به صلبیه چسبیده و بین صلبیه و شبکیه قرار گرفته اند و باعث حرکت چشم می‌شوند. مشیمیه دارای مویرگ ها و رگ های خونی فراوانی است که وظیفهٔ خون رسانی به ساختار چشم را بر عهده دارند. در واقع ، تغذیهٔ عنبیه و سلول‌های گیرندهٔ نور شبکیه بر عهدهٔ مشیمیه است. مشیمیه در جلوی چشم ، بخش رنگین چشم یعنی عنبیه را به وجود می‌آورد. همچنین رنگدانهٔ سیاه ملانین موجود در سلول‌های مشیمیه ، برای جلوگیری از بازتاب نور و دید واضح، لازم است. قسمت جلویی مشیمیه از دو بخش تشکیل شده است

- جسم مژگانی: جسم مژگانی یک ناحیهٔ ماهیچه‌ای است که به عدسی یا لنز چشم متصل است. این ماهیچه می‌تواند عدسی را منقبض کند و در واقع با تغییر اندازهٔ عدسی، به فوکوس نور کمک کند.
- عنبیه: عنبیه قسمت رنگی چشم است که در پشت قرنیه قرار دارد و به رنگ های مختلف مانند آبی، سبز، قهوه‌ای، عسلی و غیره می‌باشد. به علت شفافیت قرنیه، عنبیه از ورای آن به خوبی دیده می‌شود. خصوصیات و ساختمان عنبیهٔ هر فرد مانند اثر انگشت وی منحصر به فرد می‌باشد. در واقع عنبیه یک دیافراگم قابل تنظیم است که دور تا دور یک گشودگی به نام مردمک را احاطه کرده است.

۲-۶ – مردمک

مردمک سوراخ گردی است که در مرکز عنبیهٔ چشم تعبیه شده است و چون رنگدانه های آن سیاه است، بنابراین سیاه به نظر می‌رسد. مردمک همانند دیافراگم دوربین عکاسی است و با انبساط و انقباض عضلات موجود در خود باعث تغییر اندازهٔ مردمک شده و میزان نور ورودی به داخل چشم را کنترل می‌نماید. در واقع وظیفهٔ مردمک، کنترل اندازه و تنظیم مقدار نور عبوری از

عدسی به سمت شبکیه است. اندازهٔ مردمک می‌تواند بین ۲ تا ۸ میلی‌متر متغیر باشد. با تغییر اندازهٔ مردمک، چشم می‌تواند میزان نور وارد شده به خود را تا ۳۰ برابر تغییر دهد.

۲–۷ – غدد اشکی

اشک در غدد اشکی چشم تولید می‌شود. اشک، ملتحمه و قرنیه را مرطوب نگه می دارد. فیلم اشک که روی سطح قرنیه قرار دارد ترکیبی از پروتئین‌ها، آنزیم‌ها، لیپیدها و متابولیت ها است. این غدد در قسمت فوقانی چشم و پشت پلک بالایی هر چشم جای گرفته‌اند. اشک تولید شده از طریق ۱۲ مجرا وارد فضای میان پلک بالایی و چشم می‌شود و در نهایت به سوی دو سوراخ ریز در گوشهٔ داخلی چشم هدایت شده و از آنجا وارد کیسهٔ اشک شده و در نهایت وارد مجرای بینی می‌شود. به همین دلیل است که در هنگام گریه کردن دچار آب ریزش بینی می‌شویم. اشک وظیفهٔ شستشوی سطح خارجی چشم، ضد عفونی کردن چشم‌ها، لغزنده کردن چشم ها برای حرکت آسان کرهٔ چشم و پلک را بر عهده دارد.

۲–۸ – زجاجیه و زلالیه

در داخل کرهٔ چشم دو ناحیهٔ دارای مایع وجود دارند که توسط عدسی چشم از یکدیگر جدا شده‌اند. بخش بزرگتر که در فضای پشت عدسی چشم قرار دارد، زجاجیه نام دارد که ماده‌ای ژله ای، شفاف و بی رنگ است و باعث حفظ شکل کروی چشم می‌شود. بخش جلویی که کوچکتر از زجاجیه است و حاوی یک مایع آبکی شفاف است زلالیه نام دارد. زلالیه از دو قسمت تشکیل شده است. یک بخش که در جلوی عنبیه قرار دارد، اتاق قدامی نام دارد و بخش دیگر که در پشت عنبیه قرار دارد، اتاق خلفی نام دارد. در واقع زلالیه همان مایع شفافی است که فضای جلوی عدسی چشم را پر می‌کند و از مویرگ ها ترشح می‌شود. زلالیه، مواد غذایی و اکسیژن را برای عدسی و قرنیه فراهم می‌کند و مواد دفعی را نیز جمع‌آوری کرده و از طریق خون دفع می‌کند.

۲–۹ – عدسی (لنز) چشم

عدسی یا لنز چشم، کپسولی برآمده (محدب) است که از دو طرف برآمده بوده و قطر آن در حدود ۱ سانتی‌متر است. عدسی چشم، جزئی شفاف از ساختار چشم است که همراه با قرنیه، پرتوهای نور را شکسته و آنها را بر روی شبکیه متمرکز می‌کند. چشم از عدسی برای تنظیم نور روی شبکیه استفاده می‌کند. اندازهٔ عدسی توسط ماهیچه‌هایی که در جسم مژگانی قرار دارند کنترل می‌شود. هنگام دیدن اجسام نزدیک، با انقباض ماهیچه‌های مژگانی، عدسی ضخیم می‌شود، ولی هنگام دیدن اجسام دور، با استراحت این ماهیچه‌ها، عدسی باریکتر می‌شود و به این ترتیب، تصویر در هر حالت روی شبکیه (نه جلوتر و نه عقب‌تر) تشکیل می‌شود.

۲–۱۰ – قرنیه

قرنیه مقطعی از یک کره یا یک جسم بیضوی شکل با تحدب به سمت جلو است. قبل از ورود نور به عدسی، نور در قرنیه شکست می‌یابد و پرتوهای نور همگرا می‌شوند. قرنیه عروق خونی ندارد، چون برای عبور نور باید شفاف باشد و بنابراین از طریق انتشار تغذیه می‌شود. قرنیه به علت چینش منظم الیاف کلاژن و کم‌آب بودن نسبی آن شفاف تر از صلبیه است. در واقع قرنیه همان قسمت شفاف لایه خارجی در جلوی چشم می‌باشد و از پشت آن، قسمت رنگی چشم یعنی عنبیه دیده می‌شود. قرنیه از سه لایهٔ اصلی تشکیل شده که به ترتیب از سطح خارجی به عمق شامل اپیتلیوم، استروما و اندوتلیوم می‌باشند. اعمال جراحی لیزیک و یا لیزر برای تصحیح شمارهٔ عینک بروی این قسمت انجام می‌گیرد. با انجام این گونه اعمال جراحی، انحنای قرنیه تغییر و شمارهٔ چشم اصلاح می‌گردد. عمل پیوند قرنیه در بیماری‌هایی که باعث کدورت قرنیه و نیز بیماری قوز قرنیه که باعث نامنظمی سطح قرنیه می‌گردند، روی این ناحیه از چشم انجام می‌گیرند.

۲-۱۱ – شبکیه

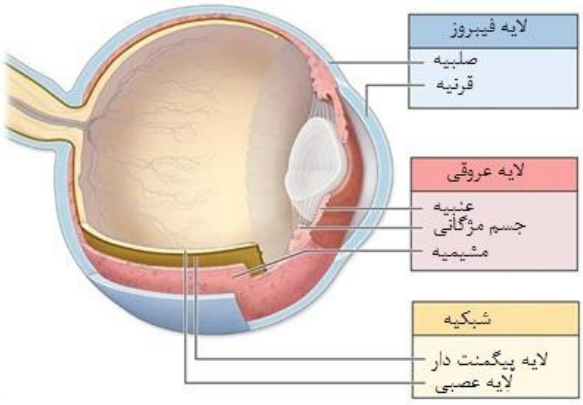
داخلی‌ترین لایهٔ چشم، شبکیه نام دارد. شبکیه قسمتی از چشم است که نور را تشخیص می‌دهد. شبکیه دو نوع سلول دارد که شامل سلول‌های مخروطی (مسئول دید رنگی و جزئیات اجسام) و سلول‌های استوانه‌ای (مسئول دید سیاه و سفید و دید در نور کم) هستند. شبکیهٔ چشم حاوی یک مادهٔ شیمیایی به نام رودوپسین است. رودوپسین یک مادهٔ شیمیایی است که نور را به پالس‌های الکتریکی تبدیل می‌کند و این پالس‌های اکتریکی در مغز به صورت تصاویر تفسیر می‌شوند. عصب‌های شبکیه در پشت چشم به یکدیگر پیوند می خورند و عصب بینایی چشم را تشکیل می‌دهند. پالس‌های الکتریکی از طریق عصب بینایی به مغز فرستاده می‌شوند.در واقع، با تحریک سلول‌های استوانه‌ای یا مخروطی، سیگنال‌های عصبی از لایه‌های عصبی زیرین شبکیه به فیبرهای عصب بینایی و قشر مغز می‌رسند. همچنین از مرکز عصب بینایی، سیاهرگ و سرخرگ اصلی چشم عبور می‌کنند. نقطه‌ای که در آن عصب بینایی و رگ های خونی از شبکیه خارج می‌شوند دیسک بینایی نام دارد. در این قسمت از شبکیه، هیچ سلول استوانه‌ای یا مخروطی شکل وجود ندارد در نتیجه یک نقطهٔ کور محسوب می‌شود. با این حال، ما از وجود این نقطه کور آگاه نیستیم زیرا تصویر هر چشم می‌تواند نقطهٔ کور چشم دیگر را پوشش دهد.

۲-۱۲ – لکهٔ زرد

در قسمت عقبی چشم و در مرکز شبکیه، لکهٔ زرد یا ماکولا قرار دارد. این ناحیه تنها دارای سلول‌های مخروطی شکل است و مسئول دیدن جزئیات ریز اجسام به صورت واضح است.

۳– لایه های چشم

چشم شامل سه لایه به شرح زیر است:



شکل۲- لایه های مختلف چشم انسان

۳-۱ – لایهٔ فیبروز

لایهٔ فیبروز به لایهٔ فیبروزی بیرونی چشم اشاره دارد و شامل صلبیه و قرنیه می‌شود که به یکدیگر پیوسته‌اند.

۳-۲ –لایهٔ عروقی

لایهٔ عروقی به لایهٔ عروقی میانی چشم اشاره دارد که به آن رنگینهٔ چشم یا عنبیه نیز گفته می‌شود و از مشیمیه، جسم مژگانی و عنبیه تشکیل شده است.

۳-۳- لایهٔ شبکیه

لایهٔ شبکیه به داخلی‌ترین لایهٔ چشم اشاره دارد. این لایه شامل اجزای عصبی (عصب بینایی و شبکیه) است.

۴- محفظه های چشم

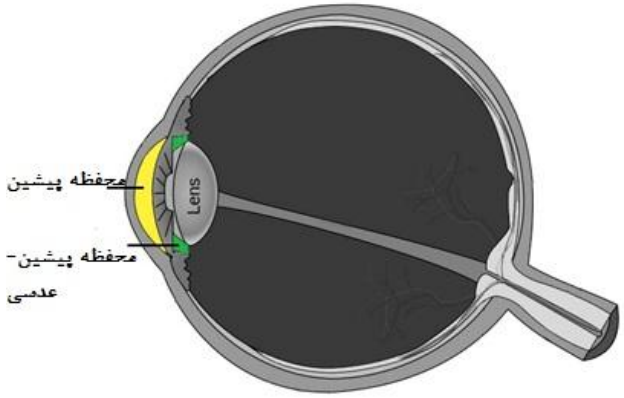
سه لایهٔ چشم همراه با عدسی به عنوان مرزهایی برای محفظه‌های درون چشم عمل می‌کنند:

۱- محفظهٔ پیشین : فضای بین قرنیه و عدسی

۲- محفظهٔ پسین : فضای بین قرنیه و عدسی

۳- محفظهٔ زجاجیه : فضای بین عدسی و شبکیه

چشم به دو بخش پیشین (جلویی) و پسین (عقبی) تقسیم می‌شود. قرینه و همچنین محفظه‌های پیشین و پسین و محتویات آنها بین این دو بخش قرار دارند. بخش پسین شامل محفظهٔ زجاجیه، شبکیهٔ بصری، اپیتلیوم رنگی شبکیه‌ای، صلبیهٔ پسین و رنگینهٔ چشم است.



شکل۳ - محفظه های مختلف چشم انسان

۵- ماهیچه های چشم

شش ماهیچه به صلبیهٔ چشم متصل هستند که وظیفهٔ کنترل حرکت چشم را بر عهده دارند. اسامی و وظیفهٔ این ماهیچه ها به ترتیب زیر است:

۱- ماهیچه راست داخلی : چشم را به بینی نزدیک می‌کند.

۲- ماهیچه راست جانبی : چشم را از بینی دور می‌کند.

۳- ماهیچه راست پایینی : چشم را پایین می‌آورد.

۴- ماهیچه راست بالایی : چشم را بالا می‌برد.

۵- ماهیچه مایل بالایی : چشم را میچرخاند.

۶- ماهیچه مایل پایینی : چشم را می‌چرخاند.

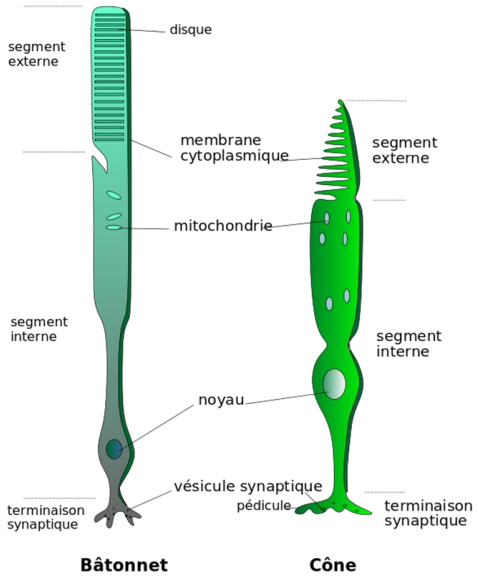
ماهیچه های چشم، برای دیدن به کار می روند، زیرا چشم ها برای دیدن، مجبور به حرکت هستند. شش ماهیچهٔ خارجی که کرهٔ چشم را احاطه کرده‌اند، مانند نخ‌های خیمه شب بازی عمل می‌کنند و چشم ها را به صورت هماهنگ در جهات مختلف حرکت می‌دهند. برای به حداکثر رساندن میدان دید، چشم توانایی حرکت در تمام جهات را دارد و از این لحاظ یک ارگان استثنایی به شمار می‌رود. با وجود توانایی حرکت در جهات مختلف، چشم در داخل یک حفرهٔ استخوانی به نام حدقه قرار گرفته است. چربی موجود در ساختار چشم تا حدی باعث انعطاف‌پذیری آن در مقابل ضربات شده است. از طرف دیگر پلک ها بالایی و پایینی در

مواقع خطر به طور ناخودآگاه بسته می‌شود و از چشم محافظت می‌کنند. با پلک زدن اشک در سطح چشم پخش می‌شود. مژه‌ها و ابروها نیز از چشم در مقابل ذرات ریزی که ممکن به آن آسیب برسانند محافظت می‌کند.

۶- نحوهٔ تشخیص نور توسط چشم

اصلی‌ترین عنصری که چشم ما برای دیدن به آن نیاز دارد، نور است. نور تصویر اشیاء را در چشم می‌نشاند. اولین چیزی که نور هنگام ورود به چشم آن را لمس می‌کند، لایهٔ نازکی از اشک است. پشت این لایهٔ مرطوب، قرنیهٔ چشم قرار دارد. این پوشش شفاف به تمرکز نور کمک می‌کند. نور پس از عبور از این لایه که زلالیه نام دارد، وارد مردمک می‌شود. بازشدن مردمک با عنبیه یا همان بخش رنگی چشم صورت می‌گیرد و میزان این بازشدگی به میزان ورود نور بستگی دارد. میزان نور ورودی به چشم توسط عنبیه که یک عضله صاف رنگدانه ای نازک است و در هر فرد دارای ویژگی‌های متفاوتی است کنترل می‌شود. عنبیه هر فرد یک الگوی منحصر به فرد دارد به همین دلیل می‌توان از عنبیه به عنوان ابزاری برای تعیین هویت هر فرد استفاده کرده و حتی از اثر انگشت نیز کم خطاتر است.

نور پس از آن به عدسی چشم می‌تابد که عملکرد آن مانند لنز دوربین است. عدسی، پرتوهای تابیده به شبکیه را متمرکز می‌کند. ضخامت عدسی با توجه به دور یا نزدیک بودن اشیاء ، تغییر می‌کند. در مرحلهٔ بعد نور وارد کرهٔ چشم می‌شود که مملو از مایعی ژله ای به نام زجاجیه است. نور در نهایت به پرده‌ای به نام شبکیه می‌تابد که در داخلی‌ترین قسمت کره چشم واقع شده‌است. شبکیه قسمتی از چشم است که وظیفهٔ تشخیص نور را بر عهده دارد. در شبکیه دو نوع سلول عصبی، یعنی سلول های استوانه ای شکل و سلول های مخروطی شکل وجود دارند. سلول های استوانه ای شکل با بینایی در نور کم و سلول های مخروطی شکل با بینایی رنگی و جزییات اشیا سر و کار دارند. وقتی نور به این دو نوع سلول می‌رسد، یک سری واکنش‌های شیمیایی پیچیده به وقوع می‌پیوندد. مادهٔ شیمیایی ایجاد شده در نتیجهٔ این واکنش‌ها، رودوپسین فعال نام دارد که باعث ایجاد پالس های الکتریکی در اعصاب بینایی می‌شود. در حالت کلی قسمت بیرونی سلول های استوانه ای، دراز و نازک هستند در حالی که قسمت بیرونی سلول های مخروطی، همان‌طوری که در شکل مشاهده می شود، به شکل مخروط هستند:



شکل۴ - سلول‌های استوانه‌ای و سلول‌های مخروطی در شبکیهٔ چشم [۸]

شبکیه مانند صفحهٔ فیلم خام دوربین فیلمبرداری یا فیلم دوربین عکاسی است. پرتوهای نوری واگرا هستند (به سمت بیرون گسترش می‌یابند) و باید برای متمرکز شدن در نقطهٔ پشتی که نقطهٔ کانونی نامیده می‌شود، خم شوند. نقطهٔ کانونی روی شبکیه که

به نور حساس است، ایجاد می شود و تصاویر دقیقی از منبع نوری می‌سازد. پرتوهای نوری پس از برخورد با پردهٔ شبکیه در قالب پیام‌های عصبی به مغز منتقل و در آنجا تفسیر می‌شوند.

۷- شباهت های دوربین و چشم انسان

۱- فوکوس تصویر (Image Focusing) : چشم انسان و لنز دوربین هر دو بر یک تصویر وارونه و در یک سطح حساس، فوکوس یا تمرکز می کنند. در مورد دوربین، فوکوس برروی یک فیلم و یا یک سنسور انجام می شود و در چشم انسان، سطح حساس به نور، شبکیه است که در مردمک قرار دارد.

۲- تنظیم روشنایی (Light Adjustment) : چشم و دوربین هر دو قادرند میزان نور ورودی را کنترل و تنظیم کنند. در دوربین، توسط کنترل دهانه لنز انجام و در چشم این عمل با بزرگ و کوچ شدن عنبیه صورت می پذیرد.

تفاوت های دوربین عکاسی با چشم انسان

۳- فوکوس لنز (Lens Focus) : در دوربین، لنز به جلو و عقب حرکت می کند و بدین ترتیب فاصله اش تا فیلم کم و زیاد می شود تا فوکوس انجام شود. ولی در چشم لنز با خمیده شدن و تغییر شکل فوکوس می کند. ماهیچه های چشم تغییر شکل لنز چشم را اعمال می کنند.

۴- حساسیت به نور : سرتاسر سطح فیلم دوربین حساسیت یکسانی نسبت به نور دارد ولی شبکیه چشم اینگونه نیست. چشم انسان علاوه بر قدرت و کیفیت بسیار بالا در گرفتن تصاویر، حساسیت بسیار بالاتری نسبت به دوربین های عکاسی معمولی در محیط تاریک و یا نور بسیار کم دارد.

در برخی از شرایط نوری، دوربین های عکاسی معمولی نمی توانند تصاویر را به راحتی ضبط کنند و تصویر مات و تیره شده و یا با نویز زیاد ذخیره می شود. بعنوان مثال چشم انسان به خوبی یک سلول را توسط میکروسکپ و با نور محیطی کم مشاهده می کند ولی دوربین های عکاسی معمولی به سختی می توانند چنین تصویری را ضبط کنند. دلیل اصلی آن نیز میزان کم نوری است که وارد چشم و یا دوربین می شود.

۸- مفاهیم اپتیکی (نورشناخت)

۱- انکسار (شکست) نور:

وقتی نور به یک سطح زاویه‌دار از یک مادهٔ دیگر می‌رسد دچار شکست می‌شود و پرتوهای آن دچار انحراف می‌شوند، به این پدیده انکسار یا شکست نور می‌گویند. وقتی نور به عدسی محدب می‌رسد پرتو نور به سمت مرکز تحدب خمیده می‌شود و وقتی نور به عدسی مقعر می‌رسد پرتو های نور از مرکز دور می‌شوند. در واقع انکسار به انحراف و شکست پرتوهای نوری اشاره دارد و زمانی رخ می‌دهد که نور از یک ماده متراکم وارد یک ماده با تراکم و چگالی متفاوت می‌شود. هر چه تفاوت این چگالی‌ها بیشتر باشد، زاویه شکست و انکسار نور بیشتر می‌شود. درجهٔ شکست نور به زاویهٔ ورود نور به مادهٔ دوم بستگی دارد، هر چه این زاویه بیشتر باشد، شکست نور بیشتری ایجاد می‌شود. با یک سطح منحنی مانند عدسی، انحنای بیشتر موجب افزایش درجه شکست نور و در نتیجه عدسی قوی‌تر می‌شود. سطح محدب، به سمت بیرون انحنا می‌دهد در حالی که سطوح مقعر، به سمت داخل انحنا می‌دهند. سطوح محدب باعث همگرایی پرتوهای نوری شده و آنها را به هم نزدیک می‌کند. همگرایی برای ساخت تصاویر در نقطه کانونی ضروری است بنابراین سطوح انکساری چشم، محدب هستند. در حالت عادی چشم می‌تواند نور را دقیقا روی شبکیه فوکوس کند. نزدیک‌بینی و دوربینی زمانی اتفاق می‌افتد که فوکوس نور دچار اشکال شود.

۲- انطباق دید:

انطباق دید به توانایی تنظیم قدرت عدسی با تغییر در شکل اشاره دارد که آن نیز توسط عضلات مژگانی تنظیم می‌شود. زمانی که عضله مژگانی شل می‌شود، رباط‌های (بافت‌های باندی) متصل به عدسی، عدسی را کشیده و صاف می‌کنند در نتیجه انحنا کمتر

شده و شکست نور کمتر می‌شود. انقباض عضله مژگانی باعث کاهش تنش رباط‌ها می‌شود و در نتیجه انحنای عدسی به دلیل خاصیت الاستیکی آن بیشتر می‌شود. هر چه انحنا بیشتر باشد، عدسی قوی‌تر شده و در نتیجه شکست نور بیشتری ایجاد می‌شود بنابراین، در دید دور، عضله مژگانی شل شده و عدسی صاف‌تر می‌شود اما در دید نزدیک، این عضله منقبض شده و باعث افزایش تحدب عدسی می‌شود.

۹- شکست نور در چشم

ساختار چشم دارای لایه‌های خمیدهٔ متعددی است که باعث شکست نور می‌شوند:

۱- مرز بین هوا و قسمت جلویی قرنیه

۲- مرز بین قمست عقبی قرنیه و زلالیه

۳- مرز بین زلالیه و قسمت جلویی عدسی

۴- مرز بین قسمت عقب عدسی و زجاجیه

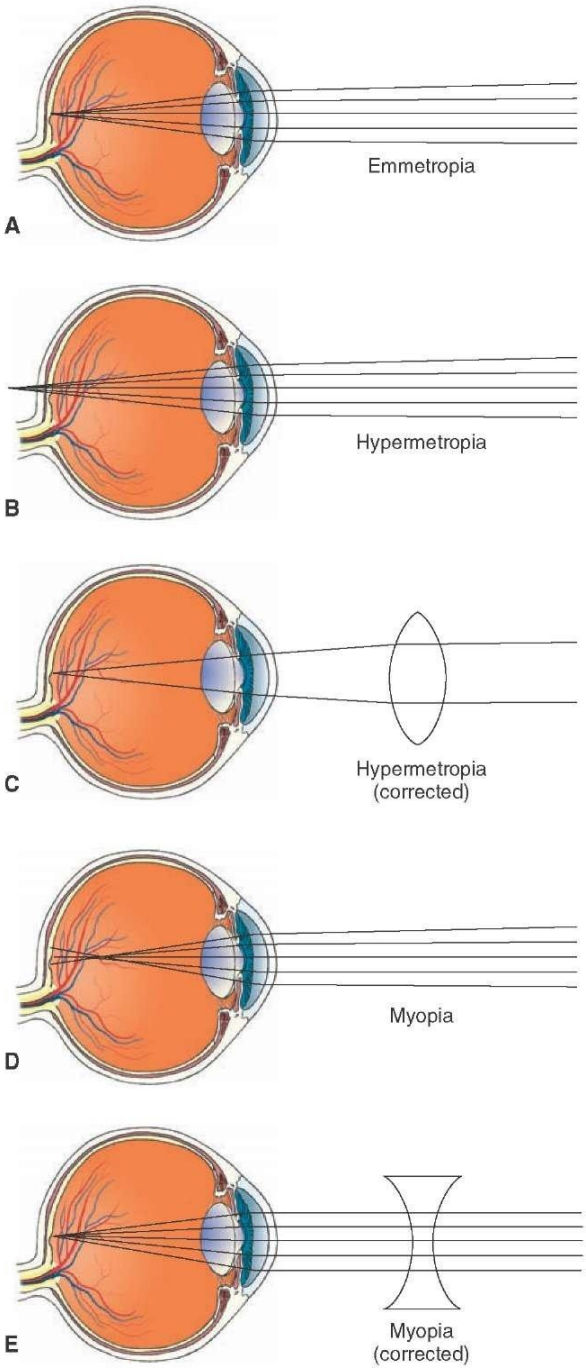
وقتی تمام لایه‌های چشم به خوبی کار کنند، نور پس از عبور از این لایه‌ها و مرزها و پس از شکست چند باره در نهایت با فوکوس عالی به شبکیه تابیده می‌شود.

مشکلات ناشی از انکسار نور در چشم عبارتند از :

۱- وقتی شخصی دارای نزدیک بینی است، می‌تواند اشیای نزدیک را به خوبی ببیند اما در دیدن اشیای دور دچار مشکل است. در این حالت اشعه‌های نور در جلوی شبکیه متمرکز می‌شوند. این پدیده زمانی روی می‌دهد که کره‌ی چشم طولانی‌تر از حد معمول باشد یا عدسی چشم شخص توانایی بیش از حد در متمرکز کردن نور داشته باشد. نزدیک‌بینی را می‌توان با عدسی‌های مقعر درمان کرد. این نوع عدسی‌ها باعث می‌شوند اشعه‌های نور قبل از رسیدن به چشم کمی واگرا شوند.

۲- اگر شخصی دچار دوربینی باشد در دیدن اشیای دور مشکلی نخواهد داشت اما اشیای نزدیک را با وضوح کم‌تری خواهد دید. در این حال اشعه‌های نور در پشت شبکیه متمرکز می‌شوند. افرادی که کره چشم آن‌ها کوتاه‌تر از حد معمول باشد یا توانایی عدسی چشم آن‌ها در فوکوس نور پایین باشد دچار نزدیک‌بینی می‌شوند. برای درمان نزدیک‌بینی از عدسی‌های محدب استفاده می‌کنند. این نوع عدسی‌ها باعث می‌شوند نور قبل از رسیدن به چشم همگراتر شوند.

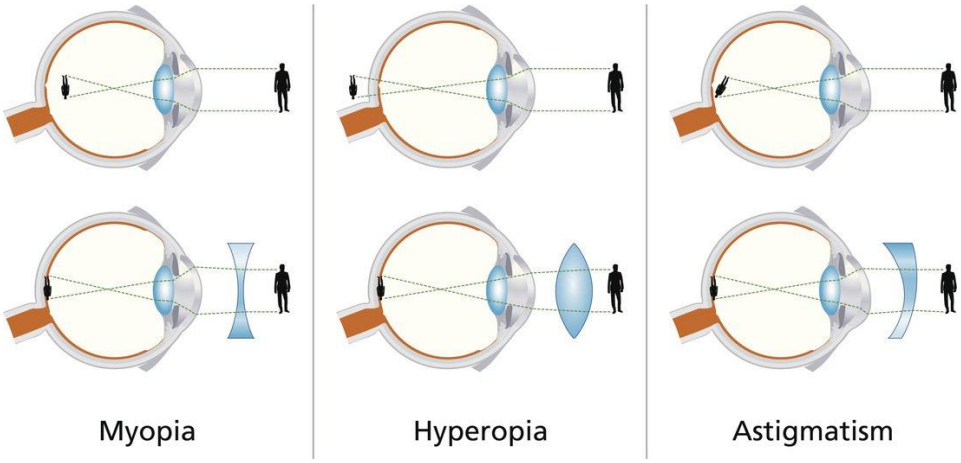
۳- آستیگماتیسم زمانی پدید می‌آید که منحنی قرنیه چشم دارای یک سطح ناهموار باشد. در این صورت تصاویر دریافتی توسط چشم دچار اعوجاج شده یا وضوح آن‌ها کم‌تر می‌شود.



شکل ۵ – مشکلات ناشی از انکسار نور در چشم [۸]

یکی دیگر از بیماری‌های رایج چشم، پیر چشمی است که در نتیجهٔ سفت‌تر شدن عدسی چشم ایجاد می‌شود. در واقع عدسی چشم توانایی خود را در تغییر اندازه و متمرکز کردن نور از دست می‌دهد. این بیماری زمانی بیشتر خودش را نشان می‌دهد که شخص سعی کند اشیای کوچکی که در نزدیکی او قرار دارند را ببیند. برای دیدن اشیای نزدیک، جسم مژگانی باید عدسی را جمع کند تا آن را ضخیم‌تر کند، اما کم شدن الاستیک عدسی از ضخیم شدن آن به وسیله‌ی جسم مژگانی جلوگیری می‌کند از این رو شخص توانایی خود برای متمرکز کردن نور دریافتی از اشیای نزدیک را از دست می‌دهد. در ابتدا افراد مبتلا به پیرچشمی سعی می‌کنند اجسام را کمی دورتر از چشم خود بگیرند تا جزییات آن را بهتر ببینند. پیرچشمی از اواسط دههٔ پنجم زندگی شروع می‌شود. به تدریج عدسی چشم توانایی خود در حرکت و تغییر شکل را بیش از پیش از دست می‌دهد تا جایی که به‌طور کامل سفت شده و روی یک مسافت ثابت فوکوس می‌کند. این فاصله برای هر شخص می‌تواند متفاوت باشد. برای اصلاح بینایی این افراد از

عدسی‌های دوکانونی استفاده می‌کنند. در این نوع عدسی‌ها دو کانون یکی در بالا برای دیدن مسافت‌های دور و یکی در پایین برای فواصل کم وجود دارد.



شکل ۶ - انواع مشکلات بینایی در چشم [۸]

۱۰- مدلهای اپتیکی چشم انسان

تا کنون مدلهای زیادی جهت بررسی اپتیک چشم انسان ارائه شده است. در سالهای اخیر با افزایش روز افزون جراحی ها بر روی بخش چشم، بررسی بیشتر اپتیک چشم و سنجش کیفیت بینایی دارای اهمیت زیادی می باشد. در این بخش، تعدادی از مدلهای اپتیکی چشم انسان که توسط محققین مختلف ارائه شده است که شامل مدلهایی با سطوح انکساری کروی و مقاطع مخروطی برای قرنیه و عدسی می باشد. همچنین قوانین فیزیکی حاکم بر آنها مورد بررسی قرار می گیرند. به طورکلی، مدل های اپتیکی چشم انسان ، به چهار دستهٔ کلی زیر تقسیم بندی می شوند :

- مدل های کلاسیک
- مدل های ساده شده
- مدل های با سطوح انکساری مقاطع مخروطی
- مدل های پیچیده

مدل های کلاسیک مدل هایی هستند که بر مبنای اندازه گیری های فیزیولوژیک و اپتیکی چشم در زمان ارائه آن طراحی شده است و هدف از ارائه این مدلها نشان دادن عملکرد کلی اپتیک چشم بود. به دلیل اینکه مدل های کلاسیک بر پایه های ریاضی و اپتیک استوار است ، کاربردشان در فضای بالینی مشکل است لذا مدل های ساده شده ای ارائه شدند که می توانند به آسانی عملکرد اپتیکی چشم انسان را در شرایط بالینی و بدون احتیاج به محاسبات ریاضی و اپتیکی مربوطه مطالعه نمایند.

وقتی که چشم با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گرفت و با دستگاههایی نظیر توپوگرافی قرنیه و همچنین سیستمهای جدید اندازه گیری که مشخصات هندسی و آناتومیک سطوح قدامی و خلفی قرنیه و عدسی را با دقت اندازه گیری می نماید، استفاده گردید، بررسی ها نشان دادند که انحنای سطوح انکساری چشم را می توان به صورت مقاطع مخروطی مدل سازی نمود که این مطلب هنگام تجویز لنز بیشتر مورد اهمیت قرار گرفت. بنابراین مدلهای دیگری شامل سطوح انکساری مقاطع مخروطی ارائه شد.

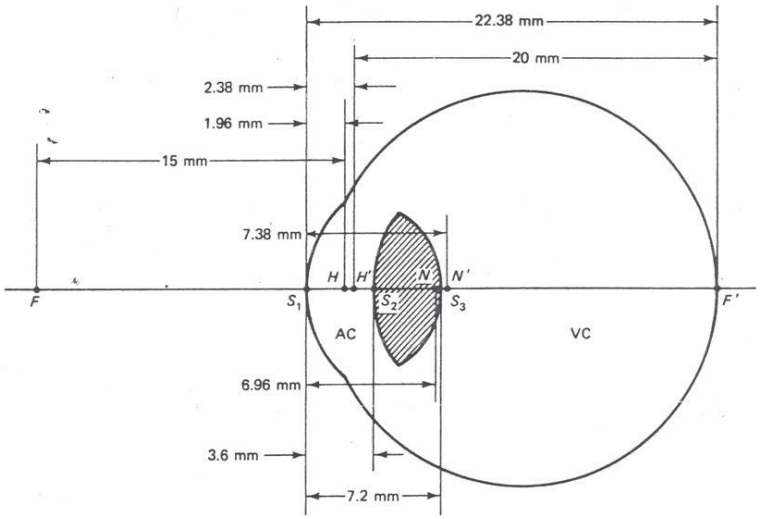
با اندازه گیری های دقیق تر روی قرنیه و عدسی ، محققین متوجه شدند که شکل سطوح انکساری چشم پیچیده تر از مقاطع مخروطی است و لذا مدل های پیچیده ای ارائه گردیدند . این مدلها در حال حاضر روند تکمیل شدن را می گذرانند و می توانند سطوح انکساری چشم انسان را با دقت بهتر و معادلات ریاضی پیچیده تری بررسی کنند. در این مدل ها دو موضوع سطوح انکساری چشم و کیفیت بینایی (کیفیت ایجاد تصویر در شبکیه) به طور همزمان مورد بررسی قرار می گیرد. این مدل ها می توانند پایه های تئوری برای طراحی اعمال جراحی در بخش قدامی چشم باشند. اما باید این نکته را نیز در نظر گرفت که در حال حاضر

وسایلی که باید مشخصات آناتومیک، فیزیولوژیک و هندسی سطوح انکساری چشم مربوط به قرنیه و عدسی را با دقت مورد نظر برای این مدلها اندازه گیری نمایند در مرحله ساخت و تکمیل می باشند، لذا می توان پیش بینی نمود که در آینده از این مدلها در شرایط بالینی استفاده شود. در این مدلها بیشتر مساله چگونه دیدن مطرح می باشد.

برخی از مهمترین مدلهای کلاسیک و ساده شده عبارتند از :

۱۰-۱ – مدل هلمهولتز (Helmholtz)

هلمهولتز اولین کسی بود که فهمید تصویر جسم به طور وارونه روی شبکیه تشکیل می شود. مدل چشم هلمهولتز در شکل (۷) نشان داده شده است:



شکل ۷ – مدل چشم هلمهولتز [۳]

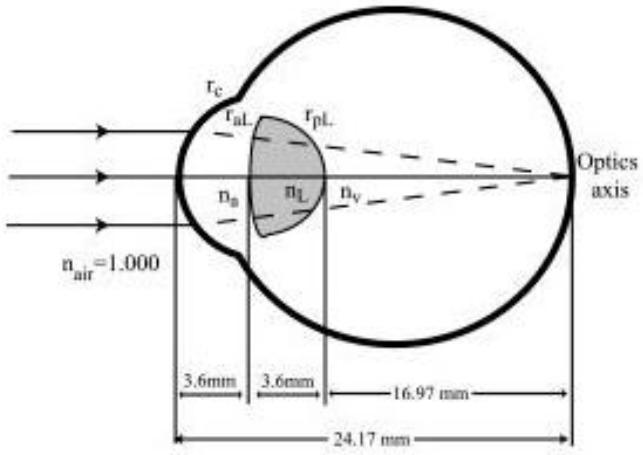
پارامترهای این مدل در جدول (۱) مشخص شده است:

جدول ۱- مشخصات مدل چشم هلمهولتز

سطوح	شعاع (میلی متر)	فاصله بین سطوح (میلی متر)	ضریب شکست
قرنیه	8	3.6	1.333
سطح قدامی عدسی	10	3.6	1.45
سطح خلفی عدسی	-6	15.18	1.333

۱۰-۲ – مدل گلستراند (Gullstrand)

گلستراند در سال ۱۹۱۱ میلادی جایزه نوبل فیزیولوژی را برای تحقیق روی دیوپترهای بهینه چشم دریافت کرد . میانگین ضریب شکست عدسی که وی در نظر گرفت برابر ۱/۴۱۳ و فاصله محوری قرنیه تا شبکیه ۲۴/۱۷ میلی متر بود .این دو پارامترتضمین کردند که پرتو های موازی وارد شده به چشم کاملاً روی شبکیه کانونی می شوند .مدل سه سطحی گلستراند اجازه تغییرات در توان عدسی بوسیله تنظیم کردن انحنای سطوح قدامی و خلفی را، داد .این ویژگی برای محاسبه مکان تصویر وقتیکه عدسی طبیعی،در طی عمل کاتاراکت به وسیله یک عدسی مصنوعی ثابت جایگزین می شود، بسیار مفید می باشد[۹]. مدل چشم سه سطحی گلستراند در شکل (۸) نشان داده شده است:



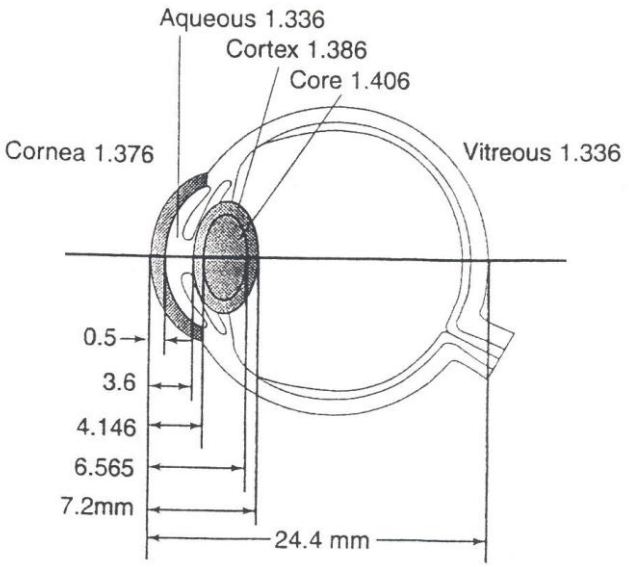
شکل ۸ – مدل چشم سه سطحی گلستراند [۹]

پارامترهای این مدل در جدول (۲) مشخص شده است:

جدول ۲- مشخصات مدل چشم سه سطحی گلستراند

سطوح	شعاع (میلی متر)	فاصله بین سطوح (میلی متر)	ضریب شکست
قرنیه	7.8	3.6	1.336
سطح قدامی عدسی	10	3.6	1.413
سطح خلفی عدسی	-6	16.97	1.336

گلستراند یک مدل دیگر با نام مدل شش سطحی ارائه داد که مشخصات آن در شکل (۹) نشان داده شده است. در این شکل ضرایب شکست قسمت های مختلف چشم به همراه مکان نقاط کاردینال این مدل نمایش داده شده است:



شکل ۹ – مدل شش سطحی گلستراند [۹]

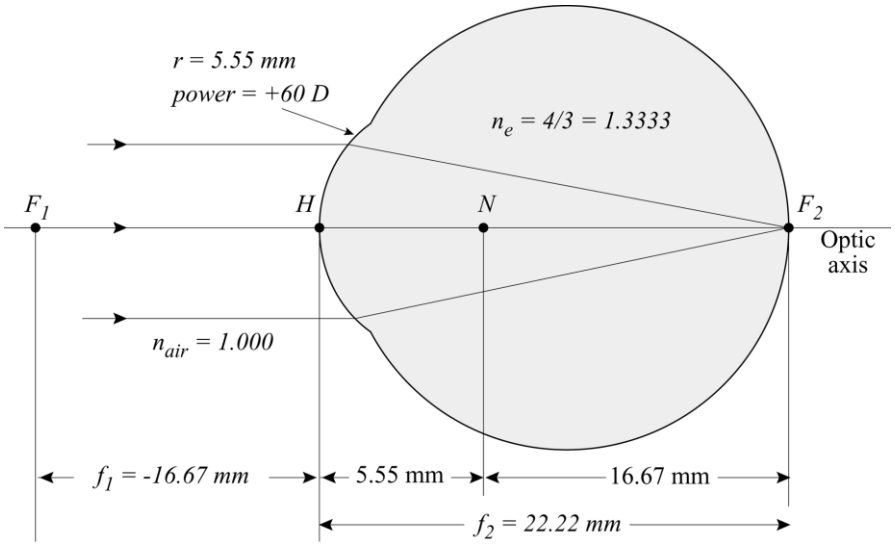
پارامترهای این مدل در جدول (۳) مشخص شده است:

جدول ۳- مشخصات مدل چشم شش سطحی گلستراند

سطوح	شعاع (میلی متر)	مکان راس (میلی متر)	ضریب شکست
سطح قدامی قرنیه	7.7	0	1.376
سطح خلفی قرنیه	6.8	0.5	1.336
سطح قدامی عدسی	10	3.6	1.386
سطح قدامی هسته عدسی	7.911	4.146	1.406
سطح خلفی هسته عدسی	-5.76	6.565	1.386
سطح خلفی عدسی	-6	7.2	1.336

۱۰-۳ – مدل امسلی (Emsley)

چشم کاهش یافتهٔ ۶۰ دیوپتری استاندارد امسلی یکی از ساده ترین مدل های چشم و پر کاربردترین مدل درمطالعات چشم پزشکی است .این مدل شامل یک سطح انکساری است و فقط یک ضریب شکست بین هوا و مایع زجاجیه وجود دارد. فاصلهٔ محوری بین قرنیه و شبکیه ۲۲/۲۲ میلیمتر می باشد. .دو نقطهٔ اصلی و دو نقطهٔ گرهی با هم ترکیب شده و یک نقطهٔ اصلی و یک نقطهٔ گرهی شکل می گیرند(N, H). توان سطح قرنیه ۶۰ دیوپتر می باشد. مدل چشم امسلی در شکل (۱۰) نشان داده شده است:



شکل ۱۰ – مدل چشم امسلی [۱۰]

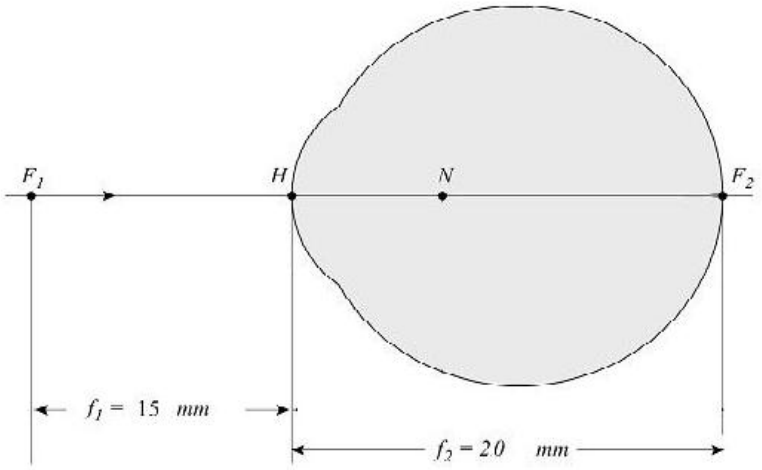
پارامترهای این مدل در جدول (۴) مشخص شده است:

جدول ۴- مشخصات مدل چشم سه سطحی گلستراند

سطوح	شعاع (میلی متر)	فاصله بین سطوح (میلی متر)	ضریب شکست
قرنیه	5.55	22.22	1.3333

۱۰-۴ – مدل دندر (Donder)

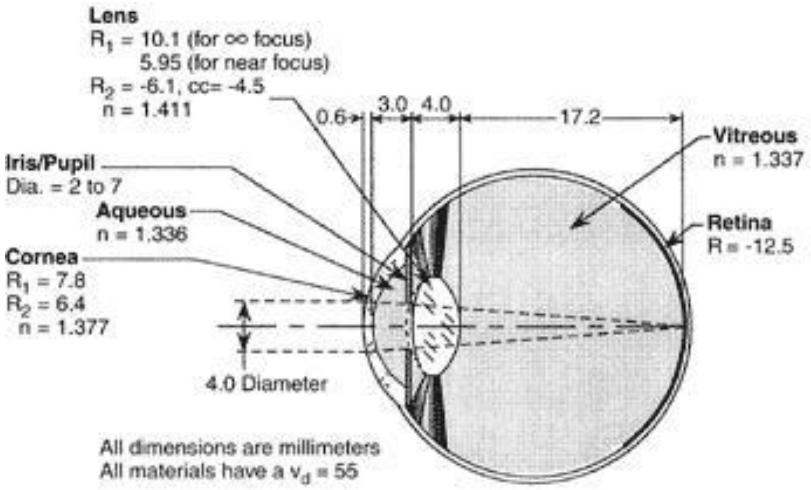
دندر با ساده کردن کار چشم، آنرا با یک سطح انکساری بیان کرد . فاصله کانونی قد امی ۱۵ میلی متر و فاصله کانونی خلفی ۲۰ میلی متر بود. نقطه گرهی ۵ میلی متر پشت صفحه اصلی بود. مدل چشم امسلی در شکل (۱۱) نشان داده شده است:



شکل ۱۱ – مدل چشم دندر [۱۱]

۱۰–۵ – مدل والکر (Walker)

در ۱۹۹۷ والکر یک مدل چشم پیشنهاد داد. در این مدل، سطح خارجی قرنیه به صورت غیر کروی با ثابت ۰/۵- در نظر گرفته شده است که نشان میدهد این سطح بین، کره و سهموی می باشد به طوریکه مقدار ابیراهی کروی باقی مانده در مدل با چشم واقعی برابر است [۱۲]. مدل والکر برای آنالیز کامپیوتری با استفاده از نرم ا فزارهای طراحی اپتیکی جدید مفید است. اطلاعات به دست آمده توسط این مدل می تواند برای تعیین سازگاری هر طرح اپتیکی در نظر گرفته شده برای کاربردهای بینایی، با چشم واقعی استفاده شود. مدل چشم امسلی در شکل (۱۲) نشان داده شده است:



شکل ۱۲ – مدل چشم والکر [۱۲]

پارامترهای این مدل در جدول (۵) مشخص شده است:

جدول ۵- مشخصات مدل چشم شش سطحی گلستراند

سطوح	شعاع (میلی متر)	مکان راس (میلی متر)	ضریب شکست
سطح قدامی قرنیه	7.8	0	1.377
سطح خلفی قرنیه	6.4	0.6	1.336
سطح قدامی هسته عدسی	10.1	3.6	1.411
سطح خلفی هسته عدسی	-4.5	7.6	1.337

۱۰-۶ – مدل لی گراند (Le Grand)

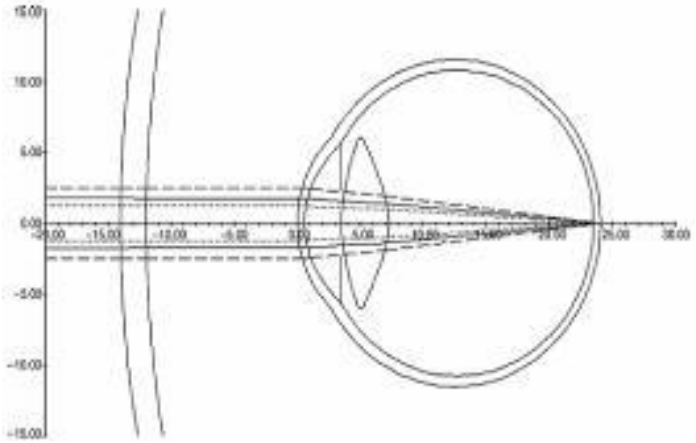
لی گراند در ۱۹۸۳ یک سیستم چهار سطحی ارائه داد و یک مدل ساده شده با توان برابر ۵۹/۹۴+ دیوپتر تولید کرد [۱۳]. پارامترهای این مدل در جدول (۶) مشخص شده است:

جدول ۶- مشخصات مدل چشم لی گراند

سطوح	شعاع (میلی متر)	مکان راس (میلی متر)	ضریب شکست
سطح قدامی قرنیه	7.72	0	1.3771
سطح خلفی قرنیه	6.5	0.55	1.3374
سطح قدامی هسته عدسی	10.22	3.6	1.42
سطح خلفی هسته عدسی	-6	7.6	1.336

۱۰-۷ – مدل دابلمن (Dubbelman)

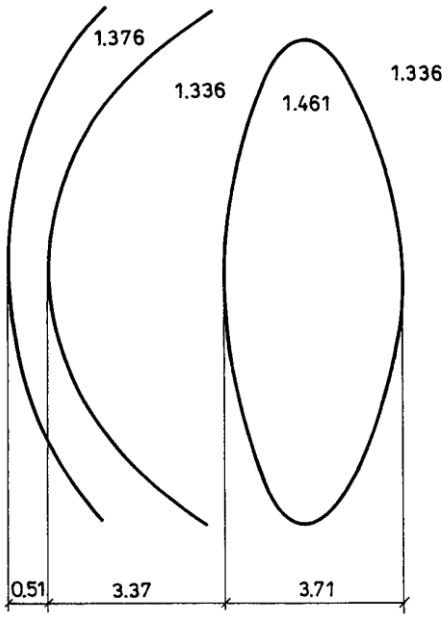
دابلمن یک مدل با آزادی ابیراهی واقعی برای محدوده وسیعی از اندازه مردمک ها ایجاد کرد . بر خلاف چشم طبیعی که سطح قدامی قرنیه معمولاً آستیگماتیک است سطح قدامی قرنیه تقارن دورانی داشت [۱۴]. مدل چشم امسلی در شکل (۱۳) نشان داده شده است. در این شکل ، پرتوی کانونی شده با خط پیوسته و پرتوهای حاشیه ای و محوری با نقطه چین مشخص شده اند:



شکل ۱۳ – مدل چشم دابلمن [۱۴]

۱۰-۸ – مدل ماساجادا و کاسپرزاک (Masajada - Kasprzak)

در سال ۱۹۹۹ ماساجادا و کاسپرزاک یک مدل چشم شماتیک با چهار سطح انکساری و یک عملکرد جدید که سیستم عدسی را توضیح می داد ، پیشنهاد دادند [۱۵]. تابع جدید ، سیستم عدسی را به صورت ترکیبی از توابع کسینوسی هیپربولیک مدوله شده توسط توابع تانژانت هیپربولیک توصیف می کندکه پیوستگی شعاع انحنا در سرتاسر عدسی را تضمین می کند . تابع جدید برای مدل کردن چشم در طی تطابق استفاده می شود. ابیراهی کروی وتابع انتقال مدو لاسیون برای آزمایش مدل چشم محاسبه شدند . نتایج محاسبات با یافته های تجربی مطابقت می کرد . محاسبات نشان داد که ابیراهی های کروی قرنیه و عدسی یکدیگر را حذف می کنند. شکل (۱۴) فاصله سطوح مدل پاپیولک ماساجادا و کاسپرزاک را نشان می دهد:



شکل ۱۴ – فاصله سطوح مدل پاپیولک ماساجادا و کاسپرزاک [۱۵]

مشخصات هندسی این مدل در جدول (۷) و (۸) بیان شده است:

جدول ۷- مشخصات هندسی قرنیه مدل پاپیولک ما ساجادا و کاسپرزاک

سطوح	شعاع (میلی متر)
سطح قدامی قرنیه	7.77
سطح خلفی قرنیه	6.4

جدول ۸- پارامترهای هندسی عدسی در طی تطابق

تطابق (دیوپتر)	شعاع سطح قدامی(میلی متر)	شعاع سطح خلفی(میلی متر)	پارامتر شکل سطح قدامی	پارامتر شکل سطح خلفی	ضخامت نیمه عدسی	شیب خط مماس بر منحنی
0	13	8.9	0.929	0.764	1.855	6.11
2	11.07	7.77	0.979	0.713	1.925	5.49
6	19.14	6.65	0.829	0.690	1.995	4.77
10	7.21	5.52	0.515	0.753	2.065	4.35

۱۱- بحث و نتیجه گیری

با توجه به مدل هایی که بررسی شد ، می توان نتیجه گرفت که هدف از ارائه مدل های کلاسیک که بر مبنای اندازه گیریهای فیزیولوژیکی و اپتیکی چشم طراحی شده اند، نشان دادن عملکرد کلی اپتیک چشم می باشد. کاربرد این مدل ها که بر پایه محاسبات ریاضی و اپتیک استوار است، در فضای بالینی مشکل است لذا باید مدل های ساده شده ای ارائه شوند که بتوانند بدون احتیاج به محاسبات ریاضی و اپتیکی مربوطه ، به آسانی عملکرد اپتیکی چشم انسان را در شرایط بالینی بررسی و مطالعه نمایند. این مدلها در حال حاضر روند تکمیل شدن را می گذرانند و می توانند سطوح انکساری چشم انسان را با دقت بهتر ارائه دهند. در این مدلها دو مقوله سطوح انکساری چشم وکیفیت بینایی (کیفیت ایجاد تصویر در شبکیه) به طور همزمان مورد بررسی قرا ر می گیرند. اما باید در نظر گرفت چون وسایل اندازه گیری که مشخصات آناتومیک، فیزیولوژیک و هندسی سطوح انکساری چشم

مربوط به قرنیه و عدسی با دقت مورد نظر برای این مدل ها در حال حاضر در مرحله ساخت و تکمیل می باشد ، لذا می توان پیش بینی نمود که در آینده از این مدل ها در شرایط بالینی استفاده شود.

۱۲- مراجع

1. Dubbelman M, van der Heijde GL, Weeber HA. (2001), The thickness of the aging human lens obtained from corrected Scheimpflug images. Optom Vis Sci.; 78(6):4116.

2. Bennett AG, Rabbetts RB. (1989), Clinical visual optics. Oxford: Butterworths Heinemann.

3. Ivanoff A. (1956), About the spherical aberration of the eye. J Opt Sci Am.; 46(10):901903.

4. Carvalho Luis Alberto. (2003), A Simple mathematical model for simulation of the human optical system based on in vivo corneal data. Braz J Biomed Eng. ;19(1):2937.

5. Lotmar W. (1971), Theoretical eye model with aspherics. J Opt Sci Am. 61(11):152229.

6. Blaker J.W. (1980), Toward an adaptive model of the human eye. J Opt Soc Am.; 70(2):2203.

7. Rozema, J.J., David A. Atchison, Marie-Jose Tassignon. (2011), Statistical Eye Model for Normal Eyes.

8. Nema, H.V., Nema, N. (2008), Textbook of Ophthalmology, Fifth Edition, Ajanta Press.

9. Gullstrand A. (1924), In: Appendices II and IV in Helmholtz's, Optical Society of America, 301–358.

10. Atchison, D.A., Thibos, L.N. (2016), Optical models of the human eye. Clin Exp Optom.; 99: 99–106

11. Agarwal S, Agarwal A, Apple D. (2002), Text book of Ophthalmology. 1 st ed.New Delhi : Jaypee Brothers، Medical Publishers.

12. Liou HL, Brennan NA. (1997), Anatomically accurate, finite model eye for optical modeling. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. ;14(8):168495.

13. Bennett AG, Rabbetts RB. (1989), Clinical visual optics. Oxford: ButterworthsHeinemann.

14. Norrby S. (2005), The Dubbelman eye model analyzed by ray tracing through aspheric surfaces. Ophthalmic Physiol Opt.; 25(2):15361.

15. PopiolekMasajada A, Kasprzak HT. (1999), A new schematic eye model incorporating accommodation. Optom Vis Sci.; 76(10):7207.

A Review of Biophysics in the Analysis of Visual System Function and Optical Models of the Human Eye

Alireza Mohammadian Pourtalari

Department of Physics, Sofian Branch, Islamic Azad University, East Azarbaijan, Iran

Abstract

The eyes are a major component of the visual system, providing visual details to living organisms by detecting, receiving, and processing light and converting it into electrochemical messages in nerve cells. The eye, despite its small size, is a complex biological system, and so far, various optical models have been proposed to study its physical properties. Visual biophysics is a growing branch of biophysics and medical physics that studies the function of the visual system, optics of the eye, and the quality of vision. In this paper, the mathematical rules and calculations governing some of the optical models of the human eye, including spherical refractive surfaces and conical sections for the cornea and lens, are discussed. The results show that optical models with conical sections provide more accurate refractive errors for the treatment of eye diseases in surgeries related to the anterior part of the eyes and are very useful for providing better treatment services than the classic spherical models. These models have only been studied theoretically and are used in high conditions, requiring very accurate and specialized measurements in ophthalmology clinics.

Keywords: Biophysics, Visual System, Eye, Optical Models.