

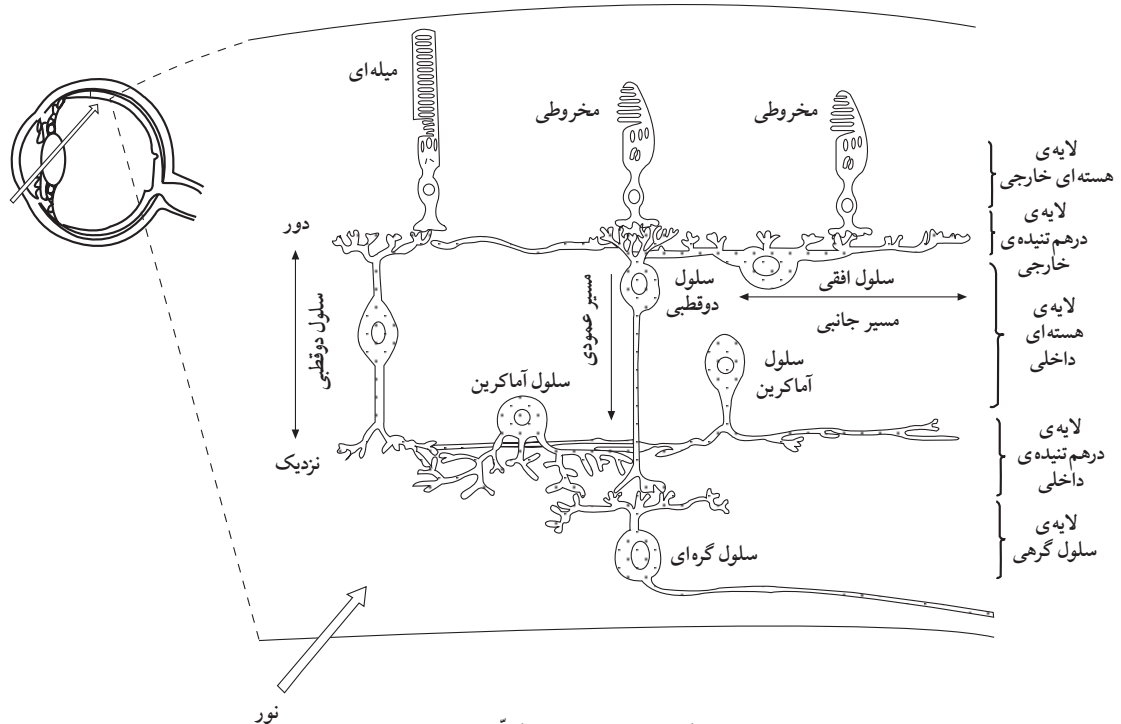
# پردازش دیداری

## در مغز

تهیه و تنظیم: محمدرضا خوش بین خوش نظر  
 کارشناس گروه فیزیک، دفتر برنامه ریزی و تألیف کتب درسی  
 khoshbin@talif.sch.ir

اشیا را تشخیص می دهند، ولی نسبت به نور کم غیر حساس اند. این اختلاف به آن علت است که تعداد زیادی سلول میله ای با هر سلول دو قطبی سیناپس برقرار می کنند، ولی هر سلول مخروطی فقط با یک سلول دو قطبی سیناپس برقرار می کند. بدین ترتیب حساسیت سلول های مخروطی کم، ولی دقت آن ها برخلاف سلول های میله ای، بسیار زیاد است. سیناپس این سلول های پذیرنده ی نور با سلول های دو قطبی از طریق سلول های دیگری به نام سلول های افقی صورت می پذیرد. سلول های دو قطبی خود توسط سلول های آماکرین با سلول هایی موسوم به سلول های گره ای<sup>۱</sup> سیناپس برقرار می کنند. (شکل ۱) ۸۰٪ سلول های گره ای از نوع M و ۲۰٪ آن ها از نوع P هستند. میدان پذیرنده ی سلول های M بزرگ، اما میدان پذیرنده ی سلول های P کوچک است. بنابراین، سلول های M مربوط به تحلیل اجسام بزرگ و حرکت آن ها و سلول های P مربوط به

مشیمیه در سطح درونی صلبیه قرار دارد. صلبیه لایه ای تیره مشتمل بر شبکه ی گسترده ای از رگ های خونی باریک است. این رگ ها به کل سطح خارجی شبکه که در سطح داخلی مشیمیه هستند، غذا می رسانند. لایه ی نازک شبکه (به ضخامت حدود ۰/۵mm) که از سلول های پذیرنده ی نور تشکیل شده است، سطح داخلی مشیمیه را می پوشاند. باریکه ی نور کانونی شده، از طریق واکنش های شیمیایی این ساختار چند لایه ای صورتی رنگ جذب می شود. سلول های پذیرنده ی نور که تعداد آن ها حدود ۱۲۰ میلیون است، میله ای یا مخروطی شکل هستند و به طور ناهمگن در سرتاسر شبکه در هم تنیده شده اند. بیش تر سلول های پذیرنده ی نور، میله ای هستند. این پذیرنده ها حساسیت بسیار زیادی دارند و در نور بسیار ضعیف نیز عمل می کنند، ولی قادر به تشخیص رنگ نیستند. اما سلول های مخروطی در نور درخشان عمل می کنند و جزئیات رنگی

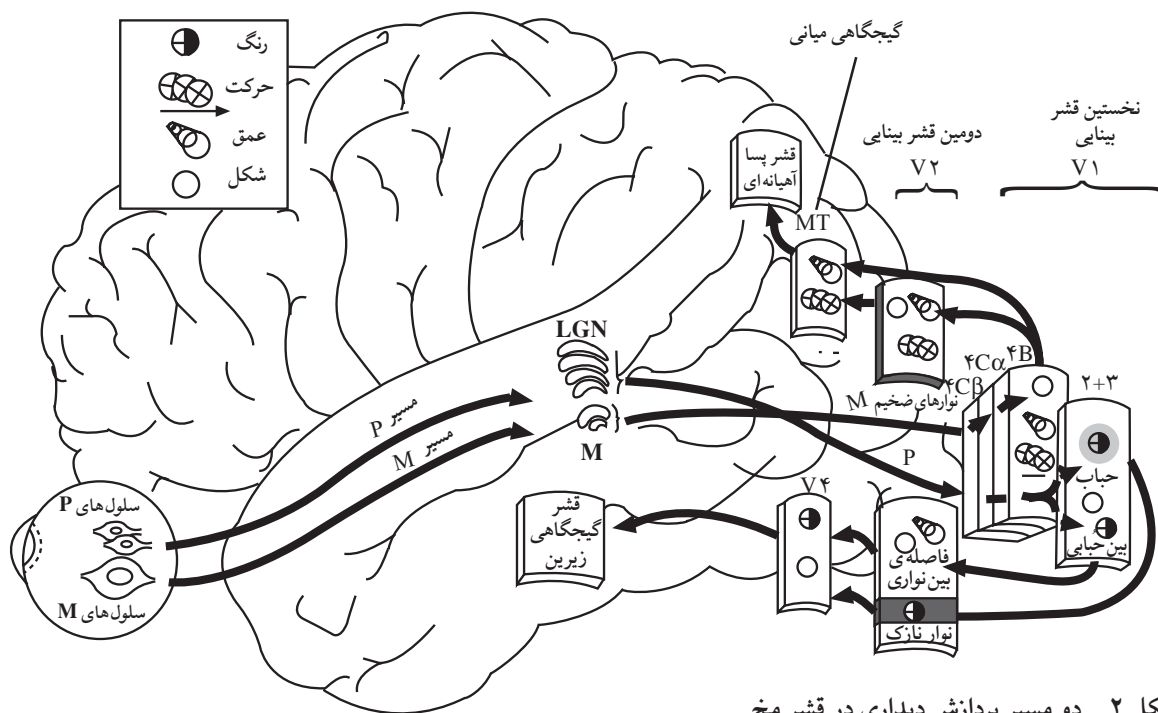


شکل ۱- ساختار شبکه ی چشم

فضایی) و قشر گیجگاهی زیرین مربوط به شناسایی شکل و رنگ است. مثلاً اگر مکعبی را در فضا در نظر بگیرید، این قشر می‌تواند مکعب را از یک استوانه تشخیص دهد، ولی تشخیص مکان آن در فضا مربوط به قشر پسا-آهیانه‌ای می‌شود. در داخل  $V_1$  و  $V_2$  دو زیربخش بسیار مهم وجود دارد، حباب‌ها در  $V_1$  و نوارها در  $V_2$ . در  $V_1$  بیش‌تر ناحیه‌ها متشکل از حباب هستند که توسط ناحیه‌های بین-حبابی از هم جدا شده‌اند. در  $V_2$  بیش‌تر ناحیه‌ها متشکل از دو نوع نوارهای ضخیم و نازک هستند که خود این نوارها با ناحیه‌ی بین‌نوری از هم جدا شده‌اند. مسیر P به هر دو بخش حباب‌ها و بین‌حباب‌ها وارد می‌شود، از حباب‌ها به لایه‌ی نازک  $V_2$  و از بین-حباب‌ها به بین-نوارهای  $V_2$  می‌رود و سپس، هم از نوارهای نازک و هم از بین-نوارها به  $V_4$  ارسال می‌شود که این جزئیات کامل همان مسیر بطنی است. در حالی که مسیر M هیچ‌ارسالی به ناحیه‌ی حباب‌ها و بین‌حباب‌ها ندارد و پس از لایه‌ی  $4B$  قشر  $V_1$  به نوارهای ضخیم  $V_2$  و سپس به MT و سرانجام به قشر پسا-آهیانه‌ای ارسال می‌شود. شکل ۲ همه‌ی آن‌چه را که در بالا گفتیم به‌وضوح نشان می‌دهد.

بررسی‌ها نشان داده است که مسیر سوم و کم‌اهمیت‌تری نیز وجود دارد که ورودی‌های شبکه‌ی را، بدون عبور از هسته‌های زانویی کناری، از سلول‌های گره‌ای به ناحیه‌های حباب‌ها و بین-حباب‌ها می‌فرستد.

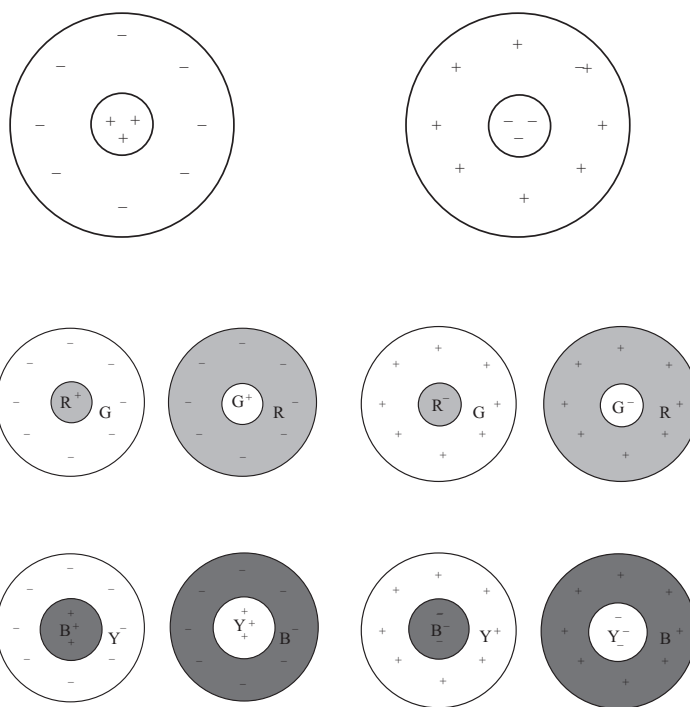
ساختارهای ریز، تشخیص طول موج و در نتیجه درک شکل و رنگ می‌شوند<sup>۱\*</sup>. علت آن است که سلول‌های M با یکدیگر فاصله دارند و به این ترتیب نمی‌توانند مسئول تحلیل جزئیات باشند؛ در حالی که سلول‌های P به‌طور چگال در اطراف لکه‌ی زرد توزیع شده‌اند. اکسون‌های سلول‌های گره‌ی، عصب بینایی را می‌سازند که پیام‌ها را به هسته‌های زانویی کناری (LGN) در تالاموس می‌فرستند<sup>۲\*</sup>. هسته‌های زانویی کناری شش لایه دارند؛ دو لایه‌ی بطنی مربوط به سلول‌های M<sup>۳</sup> و چهار لایه‌ی پشتی مربوط به سلول‌های P<sup>۴</sup> است. از این لایه‌ها، پیام‌هایی به نخستین قشر بینایی ( $V_1$ ) یا همان قشر مخطط فرستاده می‌شود. مسیر M به لایه‌ی  $4C\alpha$  و مسیر P به لایه‌ی  $4CB$  این قشر می‌روند. اکثر سلول‌های لایه‌ی ۴ از نوع ستاره‌دار خاردار و تحرکی هستند. این سلول‌ها خود اطلاعات را به لایه‌های دیگر توزیع می‌کنند. پس از آن، پیام‌ها به ناحیه‌ی برون مخطط<sup>۵</sup> قشر مخ ارسال می‌شود که محل سطوح دیداری سطح بالاست و هر سطح آن برای تحلیل نوع خاصی از اطلاعات دیداری، از قبیل حرکت، شکل و رنگ تخصیص یافته است. در واقع دو مسیر برای ارسال به ناحیه‌ی برون مخطط وجود دارد، یکی مسیر پشتی از  $V_1$  به قشر پسا-آهیانه‌ای که از قشرهای  $V_2$  (دومین قشر بینایی) و MT (گیجگاهی میانی<sup>۶</sup>) نیز می‌گذرد. دیگری مسیر بطنی است از  $V_1$  به قشر گیجگاهی زیرین که از  $V_2$  و  $V_4$  نیز می‌گذرد. قشر پسا-آهیانه‌ای مربوط به تمیز مکان (حرکت، عمق و اطلاعات



شکل ۲. دو مسیر پردازش دیداری در قشر مخ

## تحلیل رنگ

معمولاً تحلیل رنگ را به سه دسته سلول مخروطی موسوم به تضاد رنگی<sup>۷</sup> متناسب می‌کنند. یعنی سه دسته سلول مخروطی داریم که هر کدام با یک رنگ برانگیخته و با رنگ دیگر مهار می‌شوند. این سه دسته عبارت‌اند از: ۱. روشن-تاریک یا بی‌رنگی. ۲. قرمز-سبز و ۳. آبی-زرد. ولی این ساده‌سازی است و باید در ترازهای بالاتر مسیر بینایی سازوکارهای بیش‌تری وجود داشته باشد که به طور انتخابی به دامنه‌ی رنگ و روشنایی کم حساس باشند. مثلاً می‌دانیم رنگ زمینه روی ظاهر رنگ اثر می‌گذارد و این را نمی‌توانیم بر اساس سازوکار ساده‌شده‌ی بالا توضیح دهیم. همان‌طور که پیش‌تر گفتیم، سلول‌های گره‌ای P نقش اصلی را در ادراک رنگ بازی می‌کنند و سازمان‌دهی فضایی میدان پذیرنده‌ی سلول P این سلول را مجاز می‌دارد که هم اطلاعات روشنایی و هم رنگ را داشته باشد. میدان پذیرنده‌ی سلول‌های P به صورت دایره‌های هم‌مرکزی هستند که از همان سازوکار تضاد رنگی برای ادراک رنگ استفاده می‌کنند. یعنی ناحیه‌ی مرکزی با رنگی و ناحیه‌ی متضاد که آن را محصور کرده، با رنگ متضاد آن تحریک می‌شود. مثلاً چنین شکل‌هایی داریم:



شکل ۳. میدان‌های پذیرنده در سلول‌های گره‌ای شبکه‌ی دو ناحیه‌ی هم‌مرکز تشکیل شده‌اند.

وقتی نور به میدان پذیرنده‌ی سلول P می‌افتد، هم مرکز و هم ناحیه‌ی اطراف را می‌پوشاند. همان‌طور که در شکل ۳ نشان دادیم، این سلول به تغییرات رنگ به خوبی پاسخ می‌دهد و بعضی از رنگ‌ها آن را برمی‌انگیزاند و برخی مهار می‌کند. ولی وقتی نوری متمرکز بر

مرکز بتابد، دیگر ناحیه‌ی متضاد آن را نخواهد پوشاند. یعنی اگر نقش ساختار، ریز باشد، فقط بخش مرکزی میدان پذیرنده پیامی ایجاد می‌کند و بنابراین سلول P به تغییرات روشنایی در ساختار ریز تصویر و به تغییرات رنگ در ساختار درشت پاسخ می‌دهد. اما این پایان ماجرا نیست و در سطوح بالاتر مغز، سازوکار ادراک رنگ تغییر می‌کند. برخلاف سلول‌های P، سلول‌های قشر V<sub>1</sub> که به رنگ پاسخ می‌دهند، به ناحیه‌های مشخص رنگ‌های متضاد نمی‌افتند. کُد کردن رنگ به طور عمیقی در V<sub>1</sub> تغییر می‌کند. رنگ فقط یکی از اطلاعاتی است که در کنار دیگر ویژگی‌های هر تصویر، کُد می‌شود. برخی مطالعات بر این باورند که ناحیه‌ی حباب‌ها پُر از سلول‌هایی موسوم به سلول‌های متضاد دوگانه<sup>۸</sup> هستند. سازوکار این سلول‌ها با سازوکار تضاد رنگی متفاوت است.

در این سازوکار، ناحیه‌ی مرکزی میدان پذیرنده را برخی از رنگ‌های معین تحریک و برخی از رنگ‌های معین دیگر، مهار می‌کنند. محیط اطراف این میدان‌های پذیرنده بزرگ است و طیف گسترده‌ی نور در آن، پاسخ (چه تحریکی و چه مهارتی) به مرکز را کاهش می‌دهد. می‌دانیم از حباب‌ها ارسال‌های مشخصی به سطوح

بینایی بالاتر داریم و کل این فرایند به مسیر قشری تحلیل رنگ می‌انجامد. مهم‌ترین بخش در تحلیل رنگ، قشر V<sub>4</sub> است که سلول‌های بسیار زیادی حساس به رنگ محرک دارند. هم در V<sub>4</sub> و هم در MT ناحیه‌های متفاوتی برای تحلیل ویژگی‌های تصویر از قبیل رنگ، حرکت، عمق و... وجود دارد که بررسی آن جزئیات فراتر از این مقاله است.

زیرنویس  
\* ۱. بررسی‌ها نشان داده است که دسته‌های دیگری از سلول‌ها نیز وجود دارند که غیر از یکی که مربوط به تحلیل شدت نور زمینه است، کارکرد بقیه مشخص نیست.

\* ۲. جالب است که فقط ۱۰ تا ۲۰ درصد ورودی‌ها به هسته‌های زانویی کناری، از شبکه‌ی است و وظیفه‌ی بقیه‌ی ورودی‌های آن کاملاً مشخص نیست. و نیز پس از چلیپا (کیاسما)ی بینایی، پیام‌ها فقط به هسته‌های کناری ارسال نمی‌شوند و حدود ۱۰٪ آن‌ها مسیرهای دیگری را طی می‌کنند که مثلاً یکی حرکت‌های کروی چشم (موسوم به ساکاد) و دیگری باز و بسته شدن مردمک چشم را کنترل می‌کند.

1. Gangelion
2. Lateral Geniculate Nuclei
3. Magnocellular layer
4. Parvocellular layer
5. Extra-striated
6. Middle Temporal
7. Color opponent
8. Double-opponent

مرجع  
Principles of Neural Science, Fourth Edition, Edited by Eric R. Kandel, James H. Schwartz and Thomas M. Jessell, 2000, McGraw-Hill. Part V: Chapters 25-29 (pages 492-590).