کالبدشناسی آگاهی

(مدلسازی آگاهی

برمبنای پردازش اطلاعات)

نگارنده:

شروین وکیلی

تاریخ انجام: دی ماه ۱۳۷۷

فهرست:

عنوان **صفحه**

فهرست ۱
چکیده ۴
Abstract ۵
مقدمه ۶
بخش نخست: پیش درآمد ۹
۱-۱) تاریخچه ۹
۱-۱-الف) سنت شرقی ۱۰
۱-۱-ب) سنت غربی ۱۳
۱-۲) تعریف مسئله ۱۶
بخش دوم: روش‌شناسی ۲۰
۲-۱) تحویل‌انگاری ۲۰
۲-۱-الف) تحویل‌انگاری کلاسیک ۲۲
۲-۱-ب) تحویل‌انگاری واقعگرا ۲
۲-۱-پ) تحویل انگاری روش‌شناختی ۲۲
۲-۲) علیت ۲۷
۲-۳) قانونمندی ۳۱
۲-۴) راهکار ۳۳
بخش سوم: *اصول نگرش سیستمی* ۳۶
۳-۱) تعریف کلیدواژگان ۳۶
۳-۲) انوع سیستم‌ها ۳۸
۳-۳) هم‌افزایی ۴۱
۳-۳-الف) تقارن ۴۴
۳-۳-ب) دوشاخه‌زایی ۴۵
۳-۳-پ) تغییر فاز ۴۸
۳-۳-ت) خودسازماندهی ۵۱
۳-۳-ث) آشوب ۵۳
۳-۳-ج) پردازش ۵۷
۳-۳-چ) زایش ۶۱
۳-۳-ح) بازنمایی ۶۳

بخش چهارم: سیستم بینایی ۷۱
۴-۱) ویژگی نور و رنگیزه‌ها ۷۳
۴-۲) توانایی‌ها و محدودیتهای حس بینایی ۷۹
۴-۳) ساختار شبکه‌ی عصبی پردازنده‌ی اطلاعات بینایی در پستانداران ۸۲
۴-۴) زیرسیستم‌های پردازنده‌ی بینایی ۹۱
۴-۵) پردازش سطح پایین در سیستم بینایی ۹۹
۴-۶) پردازش سطح بالا در سیستم بینایی ۱۰۹
۴-۷) رشد و تکوین دو نوع پردازش در نوزاد انسان ۱۱۶
۴-۸) تصویرسازی ذهنی ۱۲۳
۴-۹) چگونگی بازنمایی تصاویر ذهنی ۱۲۸
۴-۹-الف) بازنمایی گزاره‌ای ۱۲۹
۴-۹-ب) بازنمایی نقشه‌ای ۱۳۰
۴-۹-پ) مشکل همبستگی ۱۳۲
۴-۱۰) توجه و کارکردهای بالا به پایین در سیستم بینایی ۱۳۴
۴-۱۰-الف) اختلالات رایج در بازنمایی اطلاعات در مغز ۱۳۸
بخش پنجم: *نظریات و مدل‌های مهم در مورد آگاهی* ۱۴۱
۵-۱) مدلهای دوانگارانه ۱۱۴۲
۵-۱الف) نقد نظریه‌ی سایکون ۱۴۴
۵-۱-ب) تذکر ۱۴۷
۵-۲) دیدگاه‌های تک‌انگار ۱۴۸
۵-۲-الف) دیدگاه حذف انگار ۱۴۸
۵-۲-ب) نقد دیدگاه حذف‌انگار ۱۵۱
۵-۲-پ) دیدگاه زبانشناختی ۱۵۳
۵-۲-ت) نقد دیدگاه زبانشناختی ۱۵۳
۵-۲-ث) دیدگاه نمادین ۱۵۴
۵-۲-ج) نقد دیدگاه نمادین ۱۵۵
۵-۲-چ) دیدگاه شبکه‌ای ۱۵۷
۵-۲-ح) نقد دیدگاه شبکه‌ای ۱۶۰
۵-۲-خ) دیدگاه پردازش اطلاعاتی ۱۶۲
۵-۲-د) نقد دیدگاه پردازش اطلاعاتی ۱۶۳
۵-۲-ذ) دیدگاه کوانتومی ۱۶۴
۵-۲-ر) نقد دیدگاه کوانتومی ۱۶۹
بخش ششم: *پیشنهاد مدلی برای آگاهی* ۱۷۲
۶-۱) تعریف ساختار ۱۷۳

۶-۲) دامنه‌ی تعریف آگاهی ۱۷۵
۶-۳) حواشی فلسفی مفهوم آگاهی ۱۷۷
۶-۴) خاستگاه آگاهی ۱۸۰
۶-۴-الف) آگاهی شکلی از پردازش اطلاعات است ۱۸۰
۶-۴-ب) نمود مشهور آگاهی بازنمایی است ۱۸۱
۶-۴-پ) برجسته‌ترین و رایجترین جایگاهش شبکه‌ی عصبی طبیعیی است ۱۸۱
۶-۵) ویژگیهای آگاهی ۱۸۲
۶-۵-الف) به شدت پویاست ۱۸۲
۶-۵-ب) پیوسته تجربه می‌شود ۱۸۳
۶-۵-پ) بر اساس منطق شولایی کار می‌کند ۱۸۴
۶-۵-ت) سلسله مراتبی است ۱۸۵
۶-۵-ث) تخصص یافته است ۱۸۷
۶-۵-ج) بخش خودآگاه آن محتوای اطلاعاتی محدودی دارد ۱۸۸
۶-۶) مدل هم‌افزایانه‌ی آگاهی ۱۸۹
۶-۶-الف) آگاهی و سطوح آن ۱۸۹
۶-۶-ب) بازنمایی اطلاعات در سطح نورونی ۱۹۱
۶-۶-پ) خودآگاهی ۱۹۳
۶-۶-ت) زبان ۱۹۴
۶-۶-ث) توجه ۱۹۴
۶-۶-ج) حافظه ۱۹۵
۶-۶-چ) تکامل آگاهی ۱۹۶
۶-۶-ح) لذت ۱۹۹
۶-۶-خ) تحلیل یک مثال ۲۰۱
۶-۷) پویایی عناصر ذهنی در سیستم عصبی ۲۰۳
۶-۸) عمومیت سطوح گوناگون آگاهی ۲۱۰
۶-۹) منطق ۲۱۳
۶-۱۰) اراده‌ی آزاد و اختیار ۲۱۸
نتایج شناخت شناسی ۲۲۴
پیوست نخست: *آزمونها* ۲۲۶
پیوست دوم: *مفهوم اطلاعات* ۲۵۵
پیوست سوم: *اطلاعات در سیستم‌های زنده* ۲۶۱
پیوست چهارم: *گربه‌ی شرودینگر و نظریه‌ی جهانهای موازی* ۲۶۵
پیوست پنجم: *تفسیر شواهد فراروانشناختی در نظریه‌ی کوانتومی آگاهی* ۲۶۹
کتابنامه ۲۶۹

چکیده:

هدف این رساله، پیشنهاد یک مدل هم‌افزایانه از آگاهی است که در عین ابطال‌پذیر و تجربه‌پذیر بودن، با شواهد موجود و تحلیل‌های جدیدتر هم سازگار باشد. برای این مقصود، برخی از کلیدواژگان بنیادی از پایه تعریف شده‌اند، و بر مبنای آنها مدلی مبتنی بر پردازش اطلاعات و بازنمایی ایجاد شده است. شش آزمون در این چهارچوب انجام شده‌اند که هرکدام یکی از گزاره‌های قابل‌استخراج از مدل را محک می‌زنند و یا دقیقتر تعریف می‌کنند. در *مدل هم‌افزایانه‌ی آگاهی*، رفتارهای عصب‌شناختی چنین تعریف شده‌اند.

پدیده عبارت است از بخشی از محرک‌های حسی منتج از پویایی جهان خارج، که توسط سیستم پردازنده‌ی ما به عنوان یک کلِ مجزا از بقیه‌ی جهان ادراک شود و در تعیین رفتارمان اثر داشته باشد. به این ترتیب، هر پدیده که توسط ما درک می‌شود، حاصل اندرکش پویایی دستگاه پردازنده‌ی ما با پویایی جهان خارج است و به تنهایی معنای بودشناختی ندارد.

آگاهی، یک پدیده‌ی ذهنی است که به همین ترتیب پدید می‌آید و بیش از آنکه یک واقعیت مستقل در جهان خارج باشد، دسته‌ای ناهمگن از پدیده‌هاست که در قالب یک مفهوم یکتا در مغز ما نمود می‌یابد. این نمود روندهای خارجی در درون سیستم عصبی را *بازنمایی* می‌نامیم و آن را به صورت ارتباط یک به یک بین دو پویایی در دو سیستم گوناگون تعریف می‌کنیم. دستگاه پردازنده‌ی (سیستم عصبی) جانداران، یک سیستم پیچیده‌ی خودسازمانده است که دارای سلسله مراتبی تعریف‌شدنی بر حسب نوع و شکل بازنمایی اطلاعات است. این سلسله مراتب، در مدل هم‌افزایانه‌ی ما دارای سه سطح است، *سطح مولکولی* که در واقع بازنمایی پویایی محیط خارج بر ساختار بیوشیمیایی و خُرد دستگاه عصبی است، *سطح شبکه‌ای* که عبارت است از بازنمایی اطلاعات سطح مولکولی در رفتار کلان شبکه‌های عصبی، و *سطح خودآگاه* که عبارت است بازنمایی چرخه‌ای اطلاعات سطح شبکه‌ای در خودش، به شرط آنکه ماهیت زبانی (به معنای عام کلمه) هم داشته باشد.

در سه سطح یاد شده از پردازش اطلاعات در مغز، به دلیل تفاوت سطح پیچیدگی، رفتارهای کلان متفاوتی هم می‌توان مشاهده کرد. هریک از این رفتارها، در واقع نوعی پدیده‌ی نو هستند. یعنی با بالا رفتن در سطوح پیچیدگیِ سلسله مراتب پردازش اطلاعات در مغز، پدیده‌های نو و تازه‌ای زاییده می‌شوند که در سطوح پایینی وجود نداشته‌اند. با این وجود، این پدیده‌های نو وجود بودشناختی مستقلی ندارند و در واقع از برهم‌کنش مغز و محیط پدید می‌آیند. به این ترتیب، با وجود تحویل‌ناپذیر بودن پدیده‌های مشاهده شده در سطوح کلان‌تر سیستم‌های پردازنده، به سطوح زیرین، و با وجود اینکه مرتباً پدیده‌های جدیدی در جریان افزایش پیچیدگی سیستم‌ها معنی می‌یابند، هیچ واقعیت بودشناختی خارجی‌ای در این مسیر خلق نمی‌شود. یعنی رفتارهای سطح بالای مغزی مثل آگاهی، با وجود پدیده بودن، چیزی مستقل و جدا از عناصر تشکیل دهنده‌ی خود نیستند.

آگاهی و خودآگاهی از همین پدیده‌های نوظهور هستند که در جریان پیچیده‌تر شدن پویایی سیستم پدید می‌آیند. برای تعریف آستانه‌ی پیچیدگی لازم برای ظهور آگاهی راهی جز پذیرش همتا بودن این آستانه با آستانه‌ی پیچیدگی لازم برای پیدایش حیات نداریم. اما می‌توان آستانه‌ی ظهور خودآگاهی را با سطح پایه‌ی لازم برای پیدایش رفتارهای زبانی -در معنای عام کلمه- برابر فرض کرد. این سطح همان جایی از سلسله مراتب است که سیستم به ازای روندهای درونی خود هم نوعی بازنمایی کدگذاری شده در قالب نمادهای تعریف شدنی در شبکه‌ی عصبی را ایجاد می‌کند. بر مبنای مدل مورد نظر، مفاهیمی مانند شهود، منطق، اختیار آزاد و ادراک زیرآستانه قابل‌تفسیر خواهند بود.

Abstract:

The aim of this thesis is putting forward a synergetic model of consciousness, in which all the experimental evidences can be justified logicaly as far as possible. For this reason, some fundamental keywords were redefined and by them the new model is constructed on the computational/representational basis. Consequently, six experiments were desighned to verify the basic propositions resulted from the model.

In our *Synergetic Model of Consciousness* (SMC), behavioral manifestations of neurodynamicity is interpreted in this way:

***Phenomenon*, is a set of sensory inputs derived from the environmental stimulations, which determines a specific representation in the animal's neuro-computational system. Therefore, each phenomenon percieved, is a consequence of systemic interactions between biological computers (brains) and the manifestations of the external world. This one-to-one relationship between two dynamic systems is defined as *representation*. Consciousness, is a subjective phenomenon, related to brain's particular interpretation of a set of heterogeneous properties, more than a real external entity.**

Nervous aparatus is a complex self-organizing system with a special hierarchy which can be defined by the kind and perplexity of representing information present in the system.

Our model, devides the computational activities of the brain to three levels of information processing. The *Molecular level*, is the manifestation of the external dynamicity in the molecular scale (eg: microtubular/synaptc interactions). The *Network level* defined by the temporal changes of the neural network, determined on part by the molecular level. The *Conscious level* is a recursive representation of the network representation in itself. A necessary (but not sufficient) condition needed for this recursion is symbolic/linguistic structure of data processing in the higher levels.

The behavioral manifestations of the neurocomputatioan system in these three levels of complexity is different. By investigating each evel, we shall recognize new emerging properties wich were absent in the lower level. This emergence of new synergetic phenomena, does not refer to their ontological reality. So, the conscious phenomena is irreducable as well as dependent to the network levels. This pseudo-paradox can be solved by defining *phenomenon* subjectively and relatively. So, these unfolding new properties are the neuro-computational more complex interpretations (representations) derived from a ontologically unique entity. By this model, some famous facts -such as free will, logic, and subliminal perception were analysed.

مقدمه:

جست و جو کردن ذهن با ذهن، *آیا این بزرگترین خطا نیست؟* گزاره‌ای از ذن.

وقتی که هفت سال قبل در رشته‌ی جانورشناسی وارد دانشگاه شدم، رویایی در ذهن داشتم که انگیزه‌ی اصلیم در انتخاب رشته بود: اینکه راهی برای پرداختن به مفهوم ذهن بیابم. در آن هنگام، خامدستانه روشهایی ساده را برای آزمودن دیدگاه‌های خود در نظر داشتم و سودای محک زدن گزاره‌هایی ابطال‌ناپذیر و غیرعلمی را در سر می‌پختم. از آن هنگام سالها گذشته، و حالا که به گذشته نگاه می‌کنم می‌بینم پرسشهای اصلی و بنیادی همچنان حل ناشده بر جای مانده‌اند. شاید در این شش هفت سال گذشته به پاسخ مطلقی نرسیده باشم، اما در مقابل به این درک رسیده‌ام که در این قلمرو، پرسیدن سوالهای درست و دقیق، مهمتر از پاسخگویی به آنهاست. و همچنین دریافته‌ام که گزاره‌ی مشهور ذن که در ابتدای این رساله آمده است، درست نیست. ذهن، تنها ابزارِ در دسترس ما برای یافتن ذهن است.

ذهن، هوشیاری، و خودآگاهی مفاهیمی به ظاهر بی‌ارتباط با علم زیست‌شناسی هستند. اما در نهایت، اینها پدیده‌هایی هستند که اگر هویت مجزا و معنای دقیق داشته باشند، در سیستم‌های زنده پدید می‌آیند. بنابراین تسلط بر ساز و کارهای سازواره‌ی زنده، اولین گام در جهت درک بهتر این مقوله‌هاست. رویکردهای زیست‌شناختی به مفهوم آگاهی از ابتدای این قرن در روندی رو به رشد شکفته و بالیده گشته‌اند و امروز دیگر پرسش در مورد آگاهی، علاوه بر روانشناسان و فلاسفه، -و حتی پیش و بیش از آنها- عصب‌شناسان و فیزیولوژیست‌ها را به خود جلب می‌کند. من در بخش پیش درآمد همین رساله در مورد این رویکردها شرح کافی داده‌ام، و تنها می‌خواهم در این مقدمه‌ی کوتاه برخی نکات را در مورد زمینه‌ی پدید آمدن این پایان‌نامه و هدف آن خاطرنشان کنم. روشن کردن زمینه‌ی مزبور، در واقع -چنان که خواهید دید- به معرفی سیاهه‌ای از عوامل مخدوش کننده و بازدارنده منجر خواهد شد که شاید تا حدودی علت ابهام موجود در بخشی از مطالب این رساله را روشن کند. این موارد، تنها از آن رو خاطر نشان می‌شوند تا نوعی گزارش تاریخی از وضعیت پاتولوژیک تحقیقات در این مقطع جغرافیایی و تاریخی باشند.

نخست این که، این رساله، در واقع یک ماجراجویی در قلمرو زیست‌شناسی نظری[1] است. در این متن مدلی از آگاهی پیشنهاد خواهد شد. برای محک زدن صحت برخی از گزاره‌های به کار رفته در آن، آزمون‌هایی طراحی شده و -تجربیات گوناگونی -به ویژه با شیوه‌ی **psychophysic** انجام گرفته است، اما در نهایت ادعای اصلی این رساله ساختن مدلی است که بر داده‌های تجربی موجود در منابع تخصصی عصب‌شناسی متکی است. یعنی این نوشتار و ادعاهای مطروحه در آن بر حجم عظیمی از داده‌های تجربی متکی هستند که به دلیل کمبود امکانات آزمایشگاهی مورد نیاز در ایران، تنها بخش اندکی از آنها توسط خود نگارنده طراحی و استخراج شده‌اند. فقدان تقریباً کامل آزمایشگاه و ابزار مورد نیاز در این قلمرو نیازی به اشاره ندارند، چراکه در این مورد حقایق به قدر کافی عریان هستند.

دوم این که، مدل پیشنهاد شده در مورد آگاهی و خودآگاهی، یک مدل علمی است، و من در پروراندن این دیدگاه به کارهای بزرگان دانشِ عصب‌شناسی چشم داشته‌ام. هرچند شاید مدل یاد شده با دیدگاه‌های کلاسیک مطرح شده تفاوتهایی داشته باشد، اما زمینه‌ی فلسفی آن، و رویکردهای تجربی قابل‌استخراج از آن، با چهارچوب علمی رایج تطابق دارد. طبعاً نگارنده در مورد روش‌شناسی و اصول موضوعه‌ی مطرح برای پرداختن به قضیه‌ی آگاهی عقاید

۱- **theoretical biology**

خاص خود را دارد، اما ذکر این نکته ضروری است که در این اصول با شاخه‌ی بارور دانش هم‌افزایی اشتراک نظر دارد. پس مفاهیم مطرح شده در این رساله در چهارچوب دانش هم‌افزایی و نظریه سیستم‌های پیچیده معنا دارند و با چشمداشت به نتایج برآمده از همین شاخه هم مطرح شده‌اند. من در نوشتارهای دیگری به این دیدگاه، روش شناسی علمی آن، و نتایج مستقیم اصول موضوعه‌ی مزبور پرداخته‌ام، و در اینجا اشاره‌ای کوتاه و گذرا به آن را کافی می‌دانم.

سوم این که، این رساله ادعایی بیشتر از محتوای اطلاعاتی درونش ندارد. شاید در نهایت از داده‌های تجربی مطرح شده در آن یک یا چند مقاله هم بیرون بیاید، اما در نهایت این نوشتار چیزی جز طرح دقیقتر یک پرسش قدیمی نیست. آگاهی و مقوله‌های وابسته به آنها آنقدر پیچیده‌اند که ادعای روشن کردن مفهومی در رابطه با آنها، -با فقط چند سال کار نظری- اگر نادرست نباشد، دست کم اغراق آمیز است. پس نگارنده چنین ادعایی ندارد. این نوشتار تنها در پی معرفی رویکردی تازه برای پرداختن به مشکل آگاهی است، و می‌کوشد تا چند پرسش پایه را در مورد ساز و کار عصبی آگاهی طرح کند و به محک تجربه گذارد.

چهارم اینکه، این نوشتار در خلأ اطلاعاتی و برهوتی از فقدان علاقمندان به این زمینه‌ی تخصصی تهیه شده است. همه‌ی پژوهشگران امروزی که در شرایط جغرافیایی مشترک با نگارنده زندگی می‌کنند، منظور مرا از این فقر و خلأ درک می‌کنند. با وجود همراهی صمیمانه و کمکهای ارزنده‌ی اساتیدی که زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده داشتند، این محدودیت به شدت بر آزمونهای تجربی تأثیر گذاشته است. به شکلی که نگارنده علاوه بر نگرانی‌هایی که در مورد روش‌شناسی و علمی بودن تجربیات داشت، به دلیل عدم وجود همکار و پژوهشگری که امکان داد و ستد تجربیات را فراهم کند، ناچار بود به شکلی تجربه‌ها را طراحی کند که با امکانات روستایی موجود سازگار باشد. این محدودیت امکانات در حدی بود که گاه موانع راه بر انگیزه‌ی حرکت غلبه می‌کرد و آن دقت و ریزه‌کاری‌های ویژه‌ی کارهایی از این دست خدشه‌دار می‌شد.

در این میان زمان کوتاه موجود برای ارائه‌ی پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد هم عامل دیگری بود که بر دقت کار حاضر -یا به قول پوپر بر جسارت نظریات مطرح شده- ارزش نامطلوب بر جای گذاشت. بر اساس قانونی نوظهور، دوره‌ی کارشناسی ارشد باید در مدت دو سال تحصیلی پایان پذیرد، و شاید رساله‌ی حاضر به دلیل اینکه یک ترم از حد قانونی بیشتر طول کشیده مشمول بازخواست قرار گیرد. کوتاهی زمان در دسترس برای تکمیل این رساله هم به این ترتیب عامل مخدوش کننده‌ی دیگری محسوب می‌شود.

نکته‌ی دیگر در مورد مراجع است.

در برخی از موارد هم برای پرهیز از دوباره‌نویسی و به درازا کشیدن بحث، ناچار شده‌ام تا خواننده را به نوشته‌های قبلی خودم ارجاع دهم. این نوشتارها در قالب انتشارات داخلی موسسه‌ی پژوهشی خیزش اندیشه، -که خودم مدیر عاملش بودم- منتشر شده‌اند. به دلیل مشکلات رایج از قبیل گران بودن هزینه‌ی تکثیر و محدود بودن تقاضا در مورد متون تخصصی، این متون در نسخه‌هایی معدود تکثیر شده‌اند. اما با اینهمه در کتابخانه‌های دانشکده علوم دانشگاه تهران، دفتر موسسه، و چند کتابخانه‌ی کوچک دیگر نسخه‌هایی از آن وجود دارند که می‌توانند مورد استفاده‌ی علاقه‌مندان قرار گیرند. شاید این حواله کردن به نوشتارهایی که در معیارهای کلان‌تر و با تیراژ بالاتر منتشر نشده‌اند، نادرست جلوه کند، اما راه دیگری برای گریز از درازبافی و بسیارنویسی نبود. در انتهای هر گزاره‌ی مستندِ این رساله، عدد کوچکی نوشته شده که شماره‌ی مرجع به کار رفته برای تأیید آن را نشان می‌دهد. اگر این عدد در بین دو کمان کوچک قرار گرفته باشد، نشانگر شماره‌ی پاورقی است و ربطی به مراجع ندارد.

برای بسیاری از واژگان اروپایی که در این دانش جوان رواج دارند، برابرنهادهایی جاافتاده در زبان فارسی وجود

نداشت. برخی از واژگان بیگانه‌ی مورد بحث در جریان وامگیری‌های صدساله‌ی اخیر در زبان ما جایی برای خود باز کرده بود و من برای پرهیز از تعصب، آنها را به همان شکل مورد استفاده قرار دادم. به عنوان مثال سیستم را به جای سامانه -که هنوز جا نیفتاده- به کار گرفتم. اما در جاهایی که واژگان فارسی مناسبی برای جایگزینی یافتم اینکار را انجام دادم، و در جاهایی که واژه‌ی تازه به نظر سنگین می‌رسید در پاورقی اصل انگلیسی‌اش را ذکر کرده‌ام. در همه‌ی این پاورقی‌ها به واژگان انگلیسی بسنده کرده‌ام و جز در موارد ویژه به واژگان آلمانی یا فرانسه اشاره نکرده‌ام. در ضمن برای برخی از واژگان خیلی نامتعارف که در فارسی هم پیشینه نداشت واژه‌سازی کرده‌ام که آن را بری از خطا نمی‌دانم و منتظر انتقادات سازنده‌ی خوانندگان هستم. مثلاً به جای **meta-analysis** *بازآمایی* و به جای **telepathy** *فرایابی* را به کارگرفته‌ام. هرچند اینکار می‌تواند موجب سنگین‌تر شدن متن شود، اما از آن گریزی نبود، چراکه زبان فارسی امروز ما متأسفانه هنوز برای بیان خیلی از تفکرات نارساست.

بار دیگر باید یادآوری کنم که هدف از مرور این سیاهه، نه موجه جلوه دادن نارسایی‌های اثر حاضر، و نه بهانه‌آوردن است. فقط فکر می‌کنم همانطورکه در یک آزمون علمی باید امانت‌دارانه به عوامل خدشه‌ی موجود در آزمون اشاره کرد، در یک رساله‌ی علمی هم باید کاری مشابه را در مورد محدودیتهای محیطی تحمیل شده بر اثر اعتراف کرد. اینکه این نوشتار تا چه اندازه در برآوردن هدف خود موفق باشد را نمی‌دانم، اما گمان می‌کنم در فضای فازی با این متغیرهای محدودکننده‌ی فراوان و درجه‌ی آزادی محدود، دینامیسمی با تنوع رفتاری بیش از این ممکن نبوده باشد!

سپاس:

لازم می‌دانم در اینجا از تمام کسانی که به نوعی در پدید آمدن این نوشتار مؤثر بوده‌اند تشکر کنم.
آقای دکتر حائری روحانی، استاد راهنمای فرهیخته‌ی این رساله، بسیار در هموارکردن راه دشوار این تحقیق مؤثر بودند. بی‌تردید بدون کمکهای ارزنده‌ی ایشان، آزادی عمل زیادی که به من داده بودند، و فراغتی که برای مطالعه فراهم کردند، نوشتن این اثر ممکن نمی‌شد. آقای دکتر شیدایی نیز در سمت استاد مشاور همواره با رویی خوش مزاحمتهای مرا برای مشورت پذیرا بودند که از ایشان هم متشکرم. آقای عمرانی، رئیس محترم کتابخانه‌ی دانشکده‌ی علوم، بی‌تردید مؤثرترین فرد در فراهم کردن امکانات مطالعاتی لازم برای انجام بخشهای نظری رساله بودند که در همینجا از ایشان هم تشکر می‌کنم.
شاگردانم در دبیرستان علامه‌حلی (تیزهوشان) در انجام آزمونهای تجربی نقشی بسیار مهم را ایفاکردند که از ایشان هم متشکرم. همچنین باید در همینجا از مدیر محترم دبیرستان - آقای یوسفی -، و آقای جوانمردی معاونت پژوهشی هم سپاسگذاری کرد که همراهیشان منشا اثر بود. چون تشکر از این عزیزان دقتی بیشتر از این را می‌طلبد، در انتهای هر گزارش آزمون، یادی از دست‌اندرکاران و همکاران آن طرح به شکل جداگانه شده است.
دوستان فیزیکدان خوبم، نوری و توانفر در حل یک مشکل عمده کمکی بزرگ به من کردند که همینجا از ایشان هم تشکر می‌کنم.
در نهایت، باید از دوستی گمنام، راننده‌ی اتوبوسی به نام سعید تشکر کنم که بیش از دقایقی ندیدمش و ندانسته جمله‌ای گفت که مرا در حل یکی از مشکلات مهم مدلسازیم یاری کرد و گره‌ی بزرگترین معما را ندانسته گشود. باشد که همه همواره موفق و پیروز باشند.

بخش نخست) پیش‌درآمد:

نفس، نخستین استکمال جسم طبیعی آلی بالقوه ذی‌حیات است. فارابی

۱- ۱) تاریخچه:

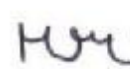
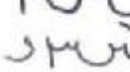
آگاهی، مفهومی است که حتی امروز هم برای خیل عظیمی از زیست‌شناسان به عنوان یک تابوی ترسناک مطرح است. برای قرنها، فلاسفه، و کمی دیرتر روان‌شناسان به این مفهوم دقت کرده و در موردش اندیشیده بودند، اما پای زیست‌شناسان، که گویا مهمترین مدعیان این موضوع هم هستند، کمی دیر به این قلمرو باز شد. هنوز هم، در اواخر قرن بیستم و آستانه‌ی قرن بیست و یکم میلادی، شاهد نگرشهایی رسمی هستیم که زیر اثر نگرش رفتارگرایان دهه‌ی پنجاه و شصت میلادی آمریکا قرار دارد.

آگاهی، مفهومی مبهم است، اگر بخواهیم تعریفش کنیم باید به عنوان نوعی رفتار ویژه در نوعی ویژه از جانوران -یعنی انسان- در نظر گرفته شود. با این همه، هنگامی که نخستین روان‌شناسان و زیست‌شناسان مجهز به روش‌شناسی علمی جدید به این موضوع پرداختند، آن را به عنوان واژه‌ای خرافی و غیرعلمی و آزمون‌ناپذیر از میدان پژوهش خود دور کردند. شاید بتوان انگیزه‌ی این پژوهشگران محتاط را در چهارچوب زمانی که می‌زیستند بهتر درک کرد. زمانی که هنوز رایانه‌های نیرومند کنونی به کار پردازش اطلاعات نپرداخته بودند و ابزارهای ریاضی امروزی برای تحلیل سیستم‌های پیچیده ابداع نشده بود. شاید در آن زمان بتوان پرداختن به مفهوم آگاهی را واقعاً غیرعلمی محسوب کرد. به راستی هم گذشته از رویکرد هم‌افزایانه، هنوز چهارچوب دقیقی برای ریشه‌یابی مفهوم این واژه پدید نیامده است. غریب اینکه با وجود در دسترس بودن این روش کارگشا، هنوز هم مرده‌ریگ تفکر رفتارگرایانه بر جوامع علمی ما حکومت دارد و هنوز هم فراوانند متفکرینی که این عبارت آگاهی را بدون تحلیل و تلاش بیشتر، به عنوان چیزی غیرقابل‌تحلیل و آزمون‌ناپذیر از دامنه‌ی توجه خود بیرون می‌گذارند.

آگاهی، مفهومی دشوار است. به تعداد دانشمندان علاقمند به این موضوع تعریف در این زمینه وجود دارد و هرکدام از این تعاریف هم به موضوع خاصی اشاره دارند و رویکرد تجربی ویژه‌ای را برای سنجش پیشنهاد می‌کنند. گروهی آن را با جدیدترین دستاوردهای مکانیک کوانتومی مربوط می‌کنند و گروهی دیگر نگرشی ساده و پردازشی را از آن به دست می‌دهند. اما با وجود این اختلاف نظر بنیادی، منکر اهمیت این واژه نمی‌توان شد. چرا که با نگاه کوچکی به زبانشناسی تاریخی، می‌بینیم که این مفهوم در دل تمام فرهنگها و در تمام مقاطع تاریخی به نوعی حضور داشته است. در اینجا، تاریخچه‌ی بسیار کوتاه و گذرایی را از تکامل این مفهوم ذکر می‌کنم، و ذکر منابع خوبی را که در این زمینه وجود دارد، به عنوان جایگزینی برای کمی حجم این مرور در نظر می‌گیرم. به گمان من اشاره به دو سنت فکری بزرگ در زمینه‌ی آگاهی لازم است. نخست سنت شرقی -یعنی ایرانی/اسلامی- و دوم غربی. اشاره به سنت شرقی به این دلیل لازمست که نگارنده در آن محیط زیسته و به هرحال تا حدودی نتایج تنفس در فضای نظریات مربوط به آن را یدک می‌کشد، و غربی به این دلیل که زمینه‌ی نظریات جدید کنونی در مورد آگاهی را می‌سازد. اشاره به این دو سنت تنها از آن روست تا شباهت‌ها و اختلافات مدل مورد پیشنهاد این رساله با آنچه که دیگران در این مورد اندیشیده‌اند آشکار سازد. ناگفته پیداست که این دو سنت تنها سنن موجود در زمینه‌ی مورد بحث ما نیستند. سنت هندی/چینی که شامل بودایی‌گری، تائوییسم، و ذن می‌شود، و سایر نحله‌ها مانند عرفان سرخپوستی، هریک مدلی خاص برای آگاهی ارائه می‌دهند که به جای خود بسیار جالب و مهم است. اتفاقاً دیدگاه نگارنده در بسیاری از جنبه‌ها

با سنت هندی /چینی شباهت دارد. اما به آن نمی‌پردازم، چراکه شرح مفاهیم و کلیدواژه‌های موجود در این حیطه‌ها با آنچه که سنت آشنای شرقی و غربی به دست می‌دهد بسیار متفاوت است و امکان دور افتادن از مباحث اصلی و تجربی وجود دارد.

۱- ۱- الف) سنت شرقی:

در زبان فارسی، آگاهی (**āgāhih**) از ریشه‌ی پهلوی (**āgāhen**)  به معنای خبردارکردن مشتق شده‌است. مترادفهای آن در زبان پهلوی عبارتند از: فرهنگ (**frahng**)،  و شناسایی (**šnāsāgih**) (مکنزی- ۱۳۷۳)[۲۲].

چنان‌که می‌بینید، هر سه واژه در دل خود مفهوم انتقال اطلاعات را نهفته‌اند و چنان‌که خواهیم دید، تعریف ما در این رساله هم به همین جنبه از آگاهی برمی‌گردد.

به لحاظ نابود شدن آثار فرهنگی ایران باستان، در مورد مفهوم دقیق آگاهی در ایران پیش از اسلام اطلاعات اندکی در دست است. اما آنچه که در قرون میانی اسلامی در ایران می‌بینیم، جایگزین شدن برخی از واژگان عربی به جای آن، و دگرگون شدن محتوای معنایی آن است. به این معنا که واژگان تازی عقل، نفس و قوه، که هریک در جایی به عنوان مترادف مفهوم آگاهی به کار رفته‌اند، هریک به بخشی از عناصر آگاهی اشاره دارند که با چیزهایی متفاوت از معنای آگاهی سنتی -یعنی انتقال اطلاعات- آلوده شده است. به عنوان مثال فارابی در آنجا که از مراتب وجود می‌نویسد، عقل اول و عقل فعال و نفس را به عنوان نامهایی برای نامیدن مراتب گوناگون هستی به‌کار می‌برد و دیگر به محتوای معنایی قدیمی این واژه اشاره‌ای ندارد. نزدیکترین واژه به آگاهی، تا قرن سوم و چهارم هجری در ایران عبارت است از نفس، که فارابی به کارش گرفته. این نفس، علاوه بر یکی از مراتب وجود، به عنوان ماهیتی مرکب و تشکیل شده از چندین قوه هم تعریف شده است. قوایی که هریک نشانگر جنبه‌ای از وجود آدمی هستند. به عنوان مثال در فلسفه‌ی فارابی قوای پایین نفس همان ماده و قوای بالای آن همان صورت‌های ذهنی هستند. به گمان فارابی بالاترین قوه در نفس، قوه ناطقه بود که بین پدیده‌های جهان خارج فرق می‌گذاشت و قضاوت عقلی را بر عهده داشت (حلبی.- ۱۳۶۱)[۱۱].

نگرش فارابی در مورد آگاهی از سوی فلاسفه‌ی دیگر اسلامی هم مورد اقتباس قرار گرفت و به عنوان مثال ابن‌مسکویه با تغییراتی اندک همین مدل قوای نفس را پذیرفت، منتها به تشخیص سه قوه‌ی اندیشه، اراده و شهوت بسنده کرد. به گمان او مرکز اندیشه دِماغ (مغز)، مرکز اراده قلب، و مرکز شهوت کبد بود. او تعادل روانشناختی انسان را به تعادل عملکرد این سه قوه منوط می‌دانست و مدل پیچیده‌ای از عناصر مختلف رفتاری در یک انسان عادی بر این مبنا پیشنهاد کرده بود. مدل‌هایی مشابه، با تعداد کمتر یا بیشتر از عوامل تعیین کننده‌ی رفتار ذهنی -قوا- در آثار سایر فلاسفه‌ی قرن سوم و چهارم دیده می‌شود (احدی.- ۱۳۷۵)[۴].

نظر ابن‌سینا، مهمترین دیدگاه در مورد آگاهی در قرن پنجم هجری بود و پس از آن هم بر تمام فلاسفه‌ی پس از خود تأثیر گذاشت. به گمان او قوای نفس عبارت بودند از نباتیه (مربوط به رشد و تولید مثل)، حیوانیه (مربوط به احساس و حرکت) و انسانیه (مجموعه‌ی عقول)، که آخری عبارت بود از مجموعه‌ی شش نوع عقل[۱]. ابن سینا برای اثبات

۱- این شش عقل عبارت بودند از: عقل هیولانی (که بالفعل و قابل‌اکتساب بود مانند فن نوشتن در کودک)، عقل ممکن (که استعداد تحقق خود به خود را

وجود نفس چهار دلیل شهودی آورده است که این دلایل بعدها توسط فلاسفه‌ی مسیحی مانند سنت آگوستین مورد استفاده قرار گرفتند. به دلیل شباهت استدلال ابن‌سینا با فلاسفه‌ی مدرن شناخت، بد نیست این برهان‌ها را به طور خلاصه نام ببریم:

برهان حدس، که بعدها با عنوان برهان آدم پرنده از سوی سنت آگوستین مطرح شد، عبارت است از این شهود که فرد بدون وجود محرک حسی خارجی، بازهم احساس من بودن و فردیت را در درون خود حفظ می‌کند.

برهان وحدت، که لزوم وجود عاملی پیوند دهنده را در بین عناصر متضاد و متفاوت سازنده‌ی بدن بیان می‌کرد. چنین چسبی باید وجود داشته باشد، چرا که رفتاری یگانه و کلی را از انسان شاهد هستیم.

برهان تذکر، که همان شهود ثابت بودن من در طول زمان است. این مفهوم با وجود تغییر بدن مادی در مسیر زمان همچنان ثابت می‌ماند، پس باید محمولی ثابت و مستقل هم داشته باشد.

برهان حرکت، که از ارسطو گرفته شده، و وجود حس و حرکت را علت تفاوت موجود جاندار و بیجان و بنابراین وجود نفس در یکی و غیابش در دیگری می‌داند[۲].

پس از ابن‌سینا، سنت فلسفی او تا قرنهایی دراز دوام آورد، تا اینکه شهاب‌الدین سهروردی ظهور کرد. او بر خلاف حکمای مشائی که قوه‌ی متخیله (تصور و تخیل) و فاهمه (تفکر و استدلال) را جدا می‌پنداشتند، این دو را یکتا فرض کرد و به دلیل بینش شهودی و خاص خود در مورد تأثیر محرکهای حسی در سیستم ذهنی به شیخ اشراق معروف شد. سنت اشراقی و مشائی، پهلو به پهلوی هم در خاور زمین رشد کرد و بالید، تا اینکه در حدود یک و نیم قرن پیش در برخورد با امواج فکری صادر شده از غرب رنگ باخت. در همان زمان بود که لزوم نوآوری در مفهوم ذهن احساس شد و در پی این امر بار دیگر واژگانی مناسب زبان فارسی رواج یافت. یکی از آنها، همان واژه‌ی کهن آگاهی بود که در برابر **consciousness** به کارگرفته شد[۱]. دیگری ذهن بود که با **mind** انگلیسی برابر فرض شد. ترکیبات موازی از این دو مفهوم هم در عصب‌شناسی و فلسفه فراوان به کارگرفته شده‌اند. از این به بعد، در این رساله واژه‌ی آگاهی را به معنای جدیدش استفاده خواهم کرد و در جای خود تعریفی هم برایش ارائه خواهم کرد. اما به دلیل بار مفهومی متفاوت واژگانی مانند نفس، عقل، و ... از آنها به عنوان کلیدواژه بهره نخواهم برد.

آنچه که در اینجا ذکر شد، به هیچ عنوان نباید به عنوان مروری کامل از دیدگاه فلاسفه‌ی اسلامی در مورد ذهن فرض شود. آرای این سه نفر را تنها به این جهت ذکر کردم که نشان دهم رویکرد این افراد به مفهوم آگاهی و ذهن چه بوده است. باید در نظر داشت که همزمان با همین فلاسفه، متفکرین کمتر شناخته شده‌ای مانند ابوالعلاء معری و رازی می‌زیستند که دیدگاهی کاملاً متفاوت با آنچه که ذکر شد داشته‌اند.

کوتاه سخن آنکه، نگرش سنتی فلاسفه‌ی اسلامی -که بخش عمده‌شان ایرانی هم بودند- به موضوع آگاهی، نگرشی فراطبیعی است. این فلاسفه با فرض چندین اصل موضوعه، که برخی از آنها به شدت قابل‌انتقاد است، مفهومی به نام نفس یا عقل را تعریف می‌کردند و بعد شناسایی بخشهای متفاوت داخل این مفهوم عام را وجهه‌ی

داشت مانند هنر نقاشی)، عقل بالملکه (که با حافظه‌ی از پیشی (**a priori**) و درک بدیهیات مربوط بود)، عقل کمالیه (که صور معقول را پس از فراگیری در خود حفظ می‌کرد، یعنی همان حافظه‌ی اکتسابی)، عقل مستفاد (که پذیرش و حفظ صور مجرد را برای رساندن فرد به کمال بر عهده داشت)، عقل قدسی (که همان شهود و گرفتن بی‌واسطه‌ی شناخت از عقل فعال -یعنی خدا- بود).

۱ -ناگفته نماند که در متون پزشکی و بالینی واژه‌ی هشیاری را به جای آگاهی در برابر **consciousness** به کار می‌برند. من در اینجا از آگاهی به عنوان برابرنهاد مناسب بهره خواهم جست، چرا که آن را به مفهوم مورد نظرم نزدیکتر می‌بینم.

همت خود قرار می‌دادند. به بیان دیگر، نگرش این متفکرین قیاسی و از بالا به پایین بوده و از روش‌شناسی علمی مرسوم استفاده‌ی چندانی نمی‌کردند. تجربه جز در مورد مفاهیم شهودی و ذهنی ارزشی نداشته و این سنتی است که با ارسطو شروع شده بود. در میان تمام این فلاسفه، تنها ابن‌سینا بود که اندکی به تجربه‌ی عملی بها داد و در سازماندهی نظراتش از آن هم بهره گرفت.

اگر بخواهیم با زبان تحلیلی امروزی نظر این پیش‌کسوتان را نقد کنیم، باید سه جنبه را طرح کنیم.

نخست این که تفکر رایج در روزگار این فیلسوفان، تفکر مذهبی دوانگار[۱] بوده و طبیعتاً تمام مفاهیم از این زاویه‌ی دید نگریسته می‌شده است. نتیجه‌ی مستقیم این تفکر، تقسیم کردن جهان به دو بخش مادی و فرامادی است و ذهن هم به دلیل خواص خود معمولاً درگروه دوم قرار می‌گرفته است. این سنت فلسفی در غرب هم به موازات شرق رشد کرد و در نهایت با تلاشهای دکارت به شفاف‌ترین شکل ممکن صورتبندی و فرموله شد. همین دقت و ریزبینی متفکر فرانسوی هم در آخر منجر به آزمون‌پذیر شدن این مفهوم، و فرو ریختنش در زیر بار انتقادات شد.

فلاسفه‌ی اسلامی، به لحاظ نظری خیلی پیشرفته بوده‌اند. آنها مدل‌هایی بسیار پیچیده را از رفتارهای ذهنی انسانی تهیه کرده بودند که نمونه‌هایش را در آثار ابن‌سینا و فارابی و کندی می‌توان بازیافت. این مدل‌ها، تمام شواهد موجود در زمان زندگی این متفکرین را به شکلی منطقی توجیه می‌کرده است، اما به دلیل پیش‌فرض مهمِ غیرمادی -و بنابراین تجربه‌ناپذیر- بودن ذهن، راه را بر انباشت شواهد تازه از راه تجربه می‌بست. شاید به همین دلیل هم در مباحث فلسفی قرن دوازده و سیزده هجری، همان پرسش‌ها و پاسخهایی را می‌بینیم که در قرن سوم و چهارم مطرح بوده است.

از نظر روش‌شناسی، رویکرد فلاسفه‌ی اسلامی به مفهوم آگاهی و ذهن را باید نوعی نگاه کارکردگرایانه[۲] دانست. به این معنا که کارکردهای گوناگون منسوب به ذهن در مدل‌های این افراد به عنوان زیرواحدها و زیرسیستم‌های مجزایی در نظر گرفته می‌شده‌اند. یعنی معیار تقسیم بندی زیرسیستم‌های ذهن، رفتار و کارکرد بود نه چیزی دیگر. چنین رویکردی امروز هم معتبر است و در واقع پیشروترین نگاه به مفهوم آگاهی را در عصب‌شناسی امروز را در بر می‌گیرد. چنانکه خواهید دید در این رساله هم مدلی ساخته شده که بر مبنای معیارهای کارکردگرایانه استوار است.

نقد کردن دیدگاه هزاران متفکر و فیلسوف شرقی که در طی هزار سال بر نیمی از گستره‌ی جغرافیایی متمدن زمین زندگی کرده‌اند، در این چند صفحه جسارت زیادی می‌طلبد، اما اگر چنین کاری ممکن و چنین جسارتی موجود باشد، باید اینطور بحث را دسته‌بندی کرد.

نگرش فلاسفه‌ی اسلامی، با وجود هوشمندانه و پیچیده بودن، چندان زایا نبود و در نهایت به بحثهای مدرسی[۳] در مورد ماهیت و تعداد عناصری در ذهن انجامید که اصولاً وجودشان محل تردید بود.

یکی از مهمترین علل این سکون و در جا زدن، به گمان نگارنده پیش‌فرض دوانگارانه‌ی نهفته در پیشینه‌ی فرهنگی این فلاسفه بود. هرچند تلاشهای فراوانی برای گریز از زیر این دوانگاری انجام گرفت[۴]، اما در نهایت این پیش‌فرض به عقیم شدن نظریات مورد بحث انجامید. امروز هم تلاشهایی درگوشه و کنار برای آشتی دادن دیدگاه‌های این بزرگان با فلسفه‌ی شناخت و عصب‌شناسی جدید انجام می‌شود که به گمان نگارنده گره‌ای از کار نمی‌گشاید و تنها مهمیز زدن بر اسب مرده است.

۱- **dualist**

۲- **functionalist**

۳- **Esculastic**

۴- **panpsychism** یکی از آنها بود که مثلاً در نگرش ابن‌سینا دیده می‌شود.

۱- ۱- ب) سنت غربی:

در سیر تفکر غربی، مفهوم آگاهی مسیری متفاوت را طی کرد، و از سرچشمه‌های متفاوتی هم سیراب شد.
در شاخه‌ی زبانی یونانی -لاتین، تنها برابرنهادی که برای مفهوم آگاهی /ذهن /هوشیاری داریم، **psyche** است که ارسطو مهمترین به‌کاربرنده‌ی آن است. ارسطو از این واژه به عنوان صفتی دودویی استفاده کرده که یا در موجودات وجود دارد و یا وجود ندارد. این صفت به زعم ارسطو معیار جداسازی موجودات جاندار و بیجان بوده است، و بیشتر با واژگان فارسی *جان*، *فَر* و *روان* شبیه است تا با ترکیب ذهن /آگاهی. در واقع این عبارت هیچ اشاره‌ای به حالت درونی و ذهنی جاندار بودن ندارد. این استفاده‌ی زبانی در واقع رسوبی از سنت فلاسفه‌ی پیش سقراطی است که مفهوم آگاهی از ادراک (خودآگاهی) را با لحن و منظوری شبیه به آگاهی از راه رفتن یا آگاهی از وضعیت بدن به‌کار می‌بردند. ناگفته پیداست که پیش از ظهور پدربزرگ دوانگارهای اوراسیا -یعنی افلاطون- این واژه مفهومی تک‌انگار[1] را به ذهن متبادر می‌کرده است. به این ترتیب خزانه‌ی واژگان ایرانی در زمان فلاسفه‌ی یونانی در مورد پدیده‌ی آگاهی غنی‌تر و (نسبت به دانش امروز) دقیقتر بوده است.

پس از افلاطون، این ایده که ذهن /آگاهی جنسی متفاوت با ماده دارد و از آن برتر یا عالیتر است، به سرعت رواج یافت و به شکل شگفت‌آوری صورتها و تعبیرات گوناگون به خود گرفت. در نهایت تمام این تعبیرات بر یک نکته‌ی مهم پای می‌فشردند و آن هم جدایی آگاهی /ذهن از بدن بود، و این موضوعی بود که در فلسفه‌ی شرقی پیامدهایش را شاهد بودیم.
این تفکر دوانگار در غرب هم سیری موازی با شرق را طی کرد، یعنی در آنسو هم به پیدایش فلسفه‌ی مدرسی پیچیده، ولی بی‌فایده‌ای منجر شد که زایا نبود و مشکلاتی موهوم و ناشی از مغالطه‌های زبانی را برای چندین و چندمین بار حل می‌کرد. این سنت در دو نیمکره‌ی خاوری و باختری با مسیر تکاملی کمابیش موازی و مشابهی رشد کرد، و در نهایت در غرب از چرخه‌ی معیوب *مغالطه‌ی زبانی* ----➤ *راه‌حل زبانی* ----➤*مغالطه‌ی زبانی*...، گریخت.
به این ترتیب خط سیر مفهوم آگاهی در فلسفه‌ی غربِ زمان دکارت شکلی مدرسی و غیرعلمی داشت. دکارت، برخلاف اسلاف خود کوشید تا تعبیری علمی و دقیق از آگاهی ارائه دهد. او واژه‌ی **dualism** را برای نامیدن دیدگاهش به‌کار گرفت و از آن به بعد این واژه به عنوان برچسبِ نظریاتی که بو و رنگ متافیزیکی دارند به‌کار گرفته شده است. دوانگاری دکارتی بر این پیش‌فرض مبتنی بود که جهان از دو نوع وجود تشکیل شده است: وجود عینی (که همان ماده باشد)، و وجود ذهنی (یا همان روح). روح خواصی کاملاً متفاوت با ماده داشت و به همین دلیل هم درک پدیدارهای آن با پدیده‌های مادی تفاوت داشت. از مهمترین تفاوتهای مطرح شده توسط فلاسفه‌ی دوانگار می‌توان این موارد را نام برد:
بی واسطه بودن و مستقیم بودن ادراکات ذهنی، عدم لزوم محمول مادی برای ظهورشان در ذهن، فردی، خصوصی و درونی بودنشان، عدم وجود ارتباط علی بین پدیده‌های ذهنی، عدم متابعتشان از عقلانیت صورتبندی شده‌ی منطقی.
تمام بینشهای دوانگار، که وجود دو یا چند ماهیت کاملاً متفاوت را در جهان فرض می‌کنند، با یک مشکل اساسی مواجه هستند، و آن هم این است که این ماهیتهای به‌کلی متفاوت باید به شکلی با هم اندرکنش داشته باشند تا جهان

۱- **monist**

آشنای توصیف شده و یکتای ما را بسازند. این مشکل، همان است که امروز در فلسفه‌ی زیست‌شناسی با عنوان مشکل ذهن-بدن[۱] مشهور است. دکارت یکی از نخستین کسانی بود که کوشید تا با تحلیل علمی این مشکل را حل کند. بنابر زیست‌شناسی نیمه قرون وسطایی رایج در ابتدای عصر نوزایی، مغز عبارت بود از تلمبه‌ای شبیه قلب، که سیالی لطیف و جاندار -همان مایع مغزی نخاعی امروز خودمان- را در میان بطنهایش به جریان در می‌آورد. این مایع تا مدتهابه عنوان مرکز آگاهی و روح پنداشته می‌شد[۲]. دکارت فرض کرد که این مایع روحانی با سخت‌افزار دستگاه عصبی، از راه غده‌ی صنوبری[۳] ارتباط دارد. علت این فرض هم این بود که می‌دید در کالبدگشایی کلان مغز، این غده تنها ساختار منفرد ونامتقارن قابل‌مشاهده است. دکارت در واقع این ایده‌ی قرون وسطایی را که محرکهای حسی خارجی از راه گوش و چشم بر **CSF** اثر می‌کنند، گرفت، و با توجه به تشکیل یک تصویر یگانه از تحریک دو چشم، نتیجه گرفت که مرکزی منفرد و نامتقارن باید وظیفه‌ی انداختن این تصویر بر روح غیرمادی را برعهده داشته باشد (**Descartes.- 1638**)[۹۷].

شواهد دیگری هم برای مهم پنداشتن این غده وجود داشت. مثلاً در قرن هفدهم مقاله‌ای از سوی یک پزشک منتشر شد که در آن اثر تخریب غده‌ی صنوبری را مرگ آنی ذکر کرده بود. همچنین شواهدی وجود داشت مبنی بر اینکه در افراد پیرتر، این غده به تدریج چروک می‌خورد و کوچک می‌شود (**Blakemore.- 1990**)[۵۹].

در نهایت دقت و علاقه‌ی دکارت به موشکافی علمی باعث شد تا این نگرش دوانگارانه در کل زیر سوال رود. اعمال جراحی دقیقتر بعدی نشان داد که انسان بدون غده‌ی صنوبری نمی‌میرد و حتی اختلال شخصیتی مهمی هم پیدا نمی‌کند، و به این ترتیب به تدریج تمام نامزدهای عنوان *رابط* ذهن و مغز از دور خارج شدند. امروز در جهان علم، دوانگاری را تنها به عنوان یک طرز تفکر منزوی و حاشیه‌ای می‌بینیم و جز عده‌ای اندک به آن دلبستگی ندارند. در فصول آتی در مورد این دیدگاه بیشتر صحبت خواهد شد، پس در اینجا زیاد به شکل مدرن آن نمی‌پردازم.

در همان عصری که دکارت دیدگاه دوانگار خود را ترویج می‌کرد، فلاسفه‌ی دیگری هم درگوشه وکنار اروپا حضور داشتند که اشکال گوناگونی از نظریات کمابیش مشابه را بیان می‌کردند. از میان فلاسفه‌ی عصر نوزایی، لایب‌نیتز، اسپینوزا، برونو، و تلسیوس نوعی خاص از **panpsychism** را درست می‌پنداشتند که در فلسفه‌ی غربی ریشه‌هایی عمیق دارد. شکل جنینی این نوع دیدگاه را می‌توان در نوشته‌های به جا مانده از متفکرانی مانند افلاطون و تالس هم بازیافت. همچنین دیدگاه دیگری که در این مقطع زمانی در برابر دوانگاری کلاسیک قد برافراشته بود، نگره‌ی ذهن‌انگاری فلاسفه‌ی ایده‌آلیست آلمانی (مثل شوپنهاور) بود که نوعی تک‌انگاری را باور داشتند اما این عنصر منفرد موجودشان، همان روح بود (**Popper & Eccles.- 1986**)[۲۵۸].

در همین گیرودار، واژه‌بندی مفهوم آگاهی در زبانهای اروپایی هم دقت بیشتری یافت وکلیدواژگانی تازه‌تر و دقیقتر از **psyche** قدیمی به کارگرفته شدند. در زبانهای شاخه‌ی برتونی-ژرمنی، که به موازات زبانهای متمدن‌تر لاتینی در نیمکره‌ی باختری رواج داشتند، چند واژه‌ی هم‌ارز آگاهی/ذهن را می‌بینیم. یکی از مهمترین این نمونه‌ها، **consciousness** است که امروز به عنوان کلیدواژه‌ای هم‌ارز با آگاهیِ فارسی به کارگرفته می‌شود.

۱- **mind-body problem**

۲- متفکرین قرون وسطا معتقد بودند در مغز سه حفره وجود دارد (همان بطنهای مغزی) که اولی مرکز ادراک حسی، دومی مرکز شناخت و استدلال، و سومی مرکز حافظه و حرکت است (**Blakemore.- 1990**)

۳- **Pineal gland**

این واژه از سه بخش تشکیل شده است: **con** به معنای باهم و کلی، **science** به معنای شناختن و دانستن، و پسوند **ness** که در زبان انگلیسی اسم می‌سازد. این واژه برای نخستین بار در سال ۱۶۷۸ میلادی در انگلستان به کار گرفته شد، اما ترکیب صفتی آن (یعنی آگاه= **conscious**) از سال ۱۶۲۵ میلادی رواج داشته است. عبارت خودآگاهی (**self-consciousness**) جدیدتر است و اولین بار در سال ۱۶۹۰ به کار رفته است (**Milkes.- 1993**)[۲۳۲].

البته این تاریخ‌ها به زمان رواج یافتن واژگان یاد شده اشاره دارند، وگرنه پیش از این تاریخ‌ها هم استفاده‌ی خاص از آنها دیده شده است. به عنوان مثال اسقف اعظم آشر[۱] برای نخستین بار عبارت **conscious** را برای بیان اینکه *"بر عیوب خود آگاه است"* به کار برد (**Milkes.- 1993**)[۲۳۲]. پس از او هم هابز همین واژه را به عنوان واقعیتی که مورد پذیرش همه‌ی مردم است به کار گرفت (**Hobbes.- 1651**)[۱۶۱]. این واژه به تدریج بار معنایی متفاوتی پیدا کرد و به ویژه در قرن بیستم در پی دستاوردهای چشمگیری که دانش عصب‌شناسی در شکافتن مشکل شناخت به دست آورد، به معنایی خاص‌تر و دقیقتر به کار گرفته شد.

ادامه‌ی روند منطقی رشد اندیشه‌ی علمی در مورد آگاهی، این بود که اهمیتش از سوی پژوهشگران یکسره انکار شود. چنین اتفاقی در اواسط قرن حاضر، در جریان موجی که از قاره‌ی آمریکا شروع شد و اروپا را هم متأثر کرد، متبلور شد. این موج به نظریه‌ای موسوم به رفتارگرایی[۲] مربوط می‌شد که وارث فلاسفه‌ی تحلیل زبانیِ حلقه‌ی وین بود. بر مبنای این دیدگاه، تنها مفاهیمی ارزش بررسی علمی دارند که نمود رفتاری مشخصی را در موجود ایجاد کنند. بر این اساس، آگاهی، با وجود قدمت و شهرت زیادش، نمود رفتاری ساده و قابل سنجشی نداشت. تا حدودی به این دلیل که خوب تعریف نشده بود، و تا حدودی هم به این دلیل که در آن زمان هنوز روشهای دقیقتر سنجش این موضوع پدید نیامده بود. در هر صورت، رفتارگرایی برای چند دهه با قدرت تمام بر تفکر علمی رایج در غرب حکومت کرد، اما به تدریج در اثر انقراض غول فلسفه‌ی مثبت‌انگاری[۳]، رنگ باخت و از صحنه خارج شد. این دیدگاه افراطی، جای خود را به مجموعه‌ای از آرای متفاوت داد که در اصول موضوعه مشترک بودند اما رویکردهای گوناگونی را برای آزمودن و تحلیل کردن آگاهی مورد استفاده قرار می‌دادند. در فصول آینده، مهمترین این دیدگاه‌ها مورد شرح و نقد قرار خواهند گرفت.

۱- Archyshop Ussher

۲- behaviourism

۳- positivism

۱-۲) تعریف مسئله:

پیش از پرداختن به رویکردها و دیدگاه‌های گوناگون در مورد آگاهی، نخست باید نشان داد که چنین موضوعی اهمیت بحث دارد. به بیان دیگر، پیش از آنکه رویکردهای گوناگون برای حل مسئله را معرفی کنیم، نیازمند تعریف دقیق صورت مسئله هستیم.

در مورد آگاهی سه نوع تعریف می‌توان ارائه کرد:

تعریف رفتارشناختی:

بر اساس این تعریف، آگاهی عبارت است از عامل پدیدآورنده‌ی مجموعه‌ای از رفتارهای قابل‌شناسایی، در سیستم‌های زنده. اگر بخواهیم تعریفی دقیق از آگاهی در دست داشته باشیم، باید مجموعه‌ی این رفتارها مشخص باشد. رفتارهایی که در حالت عادی در این چهارچوب قرار می‌گیرند عبارتند از حافظه، زبان، توانایی گزارش حالات درونی ذهنی، و رفتارهای ناشی از نظریه‌ی ذهن دیگری[۱].

این تعریف بیشتر مورد علاقه‌ی زیست‌شناسانی مثل رفتارشناسان، عصب‌شناسان، و روانشناسانِ دارای رویکرد فیزیولوژیک است. امروزه، این نوع تعریف آگاهی از بالنده‌ترین تعاریف موجود محسوب می‌شود و به دستاوردهای فراوانی انجامیده است.

تعریف رایانه‌ای:

این تعریف بیشتر زیر تأثیر مهندسان و متخصصان رایانه و شبکه‌های پردازنده‌ی اطلاعات به وجود آمده است. بر اساس این تعریف، آگاهی عبارت است از طریقه‌ی اتصال زیرواحدهای سازنده‌ی یک سیستم پردازنده‌ی اطلاعات. بر اساس این تعریف، نه تنها جانوران و سازواره‌های زنده -که در مورد قبل می‌توانستند آگاه فرض شوند- بلکه ساختارهای بدون رفتار خودسرانه -مثل رایانه‌ها- هم توانایی ایجاد آگاهی را در درون خود دارند. این نگرش هم در سالهای اخیر بسیار زایا بوده و مدل‌ها و آزمونهای بیشماری را پدید آورده است. نکته‌ی مشترک در مورد تمام نظریات مورد بحثِ زاییده شده از دل این تعریف این است که همگی تحویل‌انگارند. یعنی عناصر فیزیکی مجزا را برای پدید آمدن رفتار کلی کافی می‌دانند.

تعریف متافیزیکی:

این همان تعریفی است که گفتیم به صورت رسوبات دوانگاری سنتی درگوشه وکنار تفکر علمی امروز باقی مانده است. بر اساس این نگرش، ماهیت غیرمادی و غیرقابل آزمونی به نام روح -یا چیزی دیگر با نامی متفاوت و خصلتی مشابه- کنترل رفتار موجود را برعهده دارد. نظریات پیشروتر در این چند دهه نقش کلیدی مغز در کنترل آگاهی را پذیرفته‌اند، اما این عامل غیرمادی را کنترل‌کننده‌ی مغز می‌دانند.

ناگفته پیداست که این تعاریف تنها نمونه‌هایی برجسته از طیف وسیع تعاریف موجود در این زمینه را تشکیل می‌دهند (Bisiach.- 1990)[۵۷]. در این میان تعاریفی وجود دارند که آگاهی را مجموعه‌ی پدیدارهای عینی و ذهنی ناشی از رفتار یک موجود زنده می‌دانند. این رویکرد، در واقع شکلی بسط یافته از تعریف نخست را به پژوهشگران معرفی می‌کند، اما از آنجا که برای تجربیات آزمون‌ناپذیر ذهنی ارزشی هم‌ارز تجربیات عینی در نظر می‌گیرد، به

۱- **mind theory**: یعنی وجود این نظریه در ذهن یک فرد، که افراد دیگر هم ذهنی مشابه با او دارند.

عبارتی غیرعلمی‌تر است. من شخصاً با این گفته‌ی ویتگنشتین موافقم که آگاهی -با این تعریف ذهنی- مسئله‌ای علمی محسوب نمی‌شود و نمی‌توان از علم انتظار داشت در موردش کنکاش کند (Wittgenstein.- 1958)[۳۲].

همچنین تعاریف دیگری وجود دارد که کارکردهایی مرموزتر -مانند **ESP**- را هم در حیطه‌ی مطالعات آگاهی می‌گنجانند. نظریات فراروانشناختی در عمل از چنین منظری به پرسش مورد نظر ما نگاه می‌کنند. به گمان من، با وجود این که شواهد جسته و گریخته‌ی موجود در این شاخه از پژوهشها[۱] به دلیل قرار داشتنشان در مرزهای دانش کنونی ارزش و اهمیت فراوانی دارند، اما هنوز برای مفید واقع شدن در یک مدل علمی از آگاهی شایستگی ندارند. به بیان دیگر، این پدیده‌های فراروانی، به ظاهر وجود دارند و بنابر پیش فرض عقلانی پذیرفته شده در علم امروز باید توضیحی علمی و منطقی هم داشته باشند، اما هنوز ابزارهای سنجش و دستگاه‌های تحلیل شواهد ما برای به دست دادن مدلی مناسب برای آنها عاجز است. پس با وجود اینکه اهمیت آنها را در مدل‌هایی که شاید در آینده پدید آیند نفی نمی‌کنم، اما استفاده از آنها را برای شکل دادن به مدلی علمی در این مقطع زمانی درست نمی‌دانم. هرچند شاید از مدل‌ها علمی موجود توضیحی در خور برای آنها به دست آید.

به عنوان یک دسته‌بندی کلی، مسئله‌ی مطرح در این رساله چنین است:

چیزی به نام آگاهی هست که نمودهای رفتاری بسیار متنوعی دارد، و وجودش در سیستم‌های بسیار متنوعی هم مدعی دارد. این مفهوم به ظاهر مبهم، به سه شکل اساسی در علم امروزی تعریف می‌شود. در میان این سه تعریف، من تعریف سوم را اصولاً غیرعلمی می‌دانم و دلایل این برخورد را هم در بخش نقد مدل‌های دیگران خواهم گفت. دو رویکرد باقی، به گمان من قابل‌اتحاد هستند.

برای یگانه کردن دو رویکرد متفاوت یاد شده به قضیه‌ی آگاهی، نیازمند یک سیستم ساختاری گزاره‌ها هستیم، که در اینجا تلاش می‌کنم آن را تولید کنم.

تمام پیکره‌ی منطقی علم ما دارای این دو پیش‌فرض است:

۱) جهانی خارج از وجود ما وجود دارد و وجودش مستقل از وجود ماست. (اصل واقعگرایی)

۲) این جهان خارجی قانونمند است. (اصل عقلانیت)

اگر این دو جمله را به عنوان گزاره‌های پایه تعریف کنیم، آنگاه می‌توان بر مبنای آن دستگاهی منطقی /گزاره‌ای ساخت که بتواند با کمک گزاره‌های تولید شده از راه تجربه و منطق، گزاره‌های جدید دارای محتوای اطلاعاتی آزمون‌پذیر ایجاد کند، و این ساده‌ترین تعریف یک دستگاه علمی است.

برمبنای این دو گزاره‌ی پیشینی، می‌توان چهارچوبی معنایی ساخت که در آن گزاره‌هایی علمی نتیجه شوند. برای این که آگاهی را از این چهارچوبمان نتیجه بگیریم، نخست باید ببینیم چه گزاره‌های مقدماتی درست پنداشته‌شده‌ای برای تعریف کردن مفهوم آگاهی مورد نیازند. من گمان می‌کنم با رویکرد خالص علمی[۲] می‌توان این مفهوم را به شکلی مطلوب تعریف کرد.

اگر گزاره‌های پایه‌ی علم را -که بنابر اصل منطقی خست[۳] کمینه فرض شده‌اند،- تنها اصل وجود داشتن و

---

۱ -هرچند به گمان عده‌ای این شواهد هنوز در حیطه‌ی شبه‌علم محسوب می‌شوند.

۲ -دقت داشته باشید که در اینجا واژه‌ی علم را به مفهوم خاص خود به کار می‌برم. علم بدر این معنا عبارت است از سیستم سازمند گزاره‌ای (**propositional formal system**) که از درون دادش گزاره‌های پایه‌ی منطقی و شواهد تجربی باشند و برون دادش گزاره‌های جدید باشند.

۳ -**parsimony**: همان جمله‌ی مشهور فرانسیس بیکن است که "ساده ترین توضیح همیشه بهترین توضیح است."

قانونمند بودن جهان خارج بدانیم، آنگاه چهارچوب علمی کلاسیکی از آن قابل‌اشتقاق خواهد بود که گزاره‌های زیر را نتیجه دهد:

الف: پدیده‌ی موسوم به آگاهی، از پدیدارهای تولید شده توسط سیستم زنده است.

ب: پدیده‌ی موسوم به آگاهی، وابسته به کارکرد اطلاعاتی یک سیستم پیچیده است.

اگر این دستگاه علمی ساخته شود، بر اساس شدت و ضعف گزاره‌های منطقی به کار رفته در آن، و درجه‌ی اهمیت هریک نسبت به دیگری، برداشتهای گوناگونی از دستگاه علمی می‌توان انتظار داشت. من در میان این تنوع به دستگاه علمی مبتنی بر اصل ابطال‌پذیری[۱] علاقمندم و بر آن مبنا به انتخاب طبیعی گزاره‌های علمی نگاه می‌کنم.

اگر این دستگاه به دقت مورد بررسی قرار گیرد، دو گزاره‌ی یاد شده در بالا از آن قابل‌استنتاج خواهد بود. یعنی اصل منطقی خست فرض هرگونه ماهیت غیرمادی را -تا زمانی که مجبور به پذیرشش نشده‌ایم- نفی می‌کند، و بنابراین گزاره‌ی الف نتیجه می‌شود که آگاهی را رفتاری مربوط به یک سیستم زنده‌ی فیزیکی می‌داند. گزاره‌ی ب، هم به عنوان پیامد تجربی گزاره‌ی الف قابل تأیید است. برای نسبت دادن آگاهی به شبکه‌ی عصبی، یک مخالف عمده در میان نظریات رقیب وجود دارد که به زودی مورد بحث قرار خواهد گرفت، اما برای رعایت مخالفت جالب‌توجه این نظریه، آگاهی را تنها به سیستم‌های عصبی منسوب نکردیم و در گزاره‌ی ب از سیستم‌های پیچیده نام بردیم.

آگاهی تعریف شده به این شکل، عبارت خواهد بود از نوع ویژه‌ای از پویایی سیستم‌های پیچیده[۲]، که پدیدار خاصی با عنوان *إسناد*[۳] را ایجاد کند. در مورد اینکه این مفهوم دقیقاً به چه معناست بعدها بیشتر خواهم نوشت. در اینجا همین قدر کافیست بدانیم که اسناد، بنابر تعبیر آینده‌ی ما نوعی ویژه از بازنمایی[۴] -یعنی تصویر شدن سیستمی بر سیستم دیگر- خواهد بود.

به این ترتیب، آگاهی یک مشکل زیست‌شناختی است. این مشکل آنقدر بزرگ است که ابزارهای کلاسیک و مرسوم موجود در زیست‌شناسی و فیزیولوژی برای حل کردنش کافی نیستند، اما راه‌های دیگری هم وجود دارند که اگر به کمک روشهای قدیمی بیایند، حل مسئله را ممکن می‌سازند.

آگاهی، یک مشکل میان رشته‌ای است. تمام شاخه‌های دیگر دانش که سیستم‌هایی با پدیده‌های پیچیده‌تر از آستانه‌ای ویژه را بررسی می‌کنند، ناگزیر با این مفهوم برخورد می‌کنند. گستره‌ای پهناور، از فیزیک کوانتوم (مثلاً چگالش بوز-انشتین) گرفته تا زبانشناسی (نظریه‌ی گشتاری- زایشی چامسکی)، ریاضیات محض (قضیه‌ی گودل)، رایانه (هوش مصنوعی)، و... در این مقوله حرفهایی برای گفتن دارند.

نتیجه آنکه، آگاهی برای نگارنده پدیده‌ای زیستی است که در سیستم‌هایی زنده دیده می‌شود و باید قاعدتاً توضیحی فیزیولوژیک هم داشته باشد. اما با توجه به پیچیدگی و ابهت پدیده، شاید دانش فیزیولوژی برای به زبان آوردن کامل پاسخ مسئله‌ی آگاهی دچارکمبود واژگان شود. پس در این نوشتار، تلاش خواهد شد تا مدلی برای آگاهی -به تعریف ذکر شده- ارائه شود، و با وجود اینکه بر شواهد فیزیولوژیک بیشترین تکیه خواهد شد، از اشاره و یاری گرفتن از مباحث مفید موجود در سایر شاخه‌های دانش هم کوتاهی نخواهد شد. این رویکرد میان رشته‌ای در واقع تنها روش رایج و مقبول در میان پژوهشگران این موضوع است، و بنابراین استفاده از ابزارهای ریاضی یا مدل‌سازی‌های

۱- همان شناخت‌شناسی کلاسیک پوپر که امروز پیکره‌ی اصلی فلسفه ی علم رایج را می‌سازد.

۲- چون تمام رفتارها و پدیدارهای ناشی از سیستم به نوعی همان پویایی (**dynamism**) آن هستند.

۳- **intentionality**

۴- **representatiom**

رایانه‌ای را نباید نوعی سنت‌شکنی در این زمینه پنداشت. همچنین در این نوشتار احترام به جمله‌ی مشهور داروین رعایت خواهد شد[1]، و پیرو این امر از شواهد موجود در بایگانی غنی رفتارشناسی جانوران و فیزیولوژی جانوری بسیار بهره خواهم برد. شاید تذکر این نکته غیرلازم باشد که این کار هم در قلمرو مدل‌سازی آگاهی پسندیده و مجاز است. این ایراد که مغز انسان و سایر جانوران تفاوتی ذاتی دارد، دیگر در هیچ محفل علمی‌ای پذیرفته نیست و بنابراین محدود کردن خود به شواهد انسانی لزومی ندارد.

۱ – داروین در "بنیاد گونه‌ها" می‌نویسد: تفاوت مغز آدم با سایر جانوران تنها کمی است، نه کیفی.

بخش دوم) روش‌شناسی:

درک اجزای مغز برای درک چگونگی عمکردش کافی نیست (**Hopfield.- 1949**)[۳۷].

۲- ۱) تحویل‌گرایی:

روش شناسی علمی رایج، دارای چندین اصل موضوعه و ابزار پایه‌ی منطقی است که درکل امکان تولید گزاره‌های معنادار جدید را بر مبنای مقایسه و ترکیب گزاره‌های در دسترس فراهم می‌آورد. یکی از مهمترینِ این ابزارها، فنی است که تحویل کردن[۱] نامیده می‌شود. تحویل کردن عبارت است از تلاش برای توضیح دادن یک پدیده‌ی پیچیده، بر اساس کلیدواژه‌ها، معادلات، و یا مفاهیم مربوط به پدیده‌های ساده‌تر. جهان، در نگرش علمی امروز، یک سیستم بَسپارِ[۲] دارای سلسله مراتب است. یعنی سطوح گوناگونی از پیچیدگی در دل آن وجود دارند. هریک از این سطوح، مجموعه‌ای از پدیده‌ها را شامل می‌شوند که تنها در آن سطح معنا دارد و در سطوح بالاتر یا پایینتر معنای خود را از دست می‌دهد. در علم کنونی، هر سطحی از پیچیدگی پدیده‌ها با کمک زبان مستقل و خاصی تحلیل می‌شود و از معادلات و روابط ویژه‌ای برای بیان قانونمندی‌های آن استفاده می‌شود. به عنوان مثال، پدیده‌ای مانند بدن انسان را در نظر بگیرید، این پدیده سطوح گوناگون سلسله مراتبی دارد. در سطح اتمی و زیراتمی، مکانیک کوانتوم و فیزیک ذرات بنیادی به تحلیل شواهد می‌پردازد و با معادلات ریاضی ویژه‌ای پدیده‌های خاصی را تشخیص می‌دهد و توجیه می‌کند. در واقع قانون‌مندی‌های موجود در این سطح به کمک زبان فیزیک کوانتومی بیان می‌شوند. در یک سطح بالاتر، مولکولها قرار دارند و معادلات و کلیدواژگان بیان کننده‌ی رفتارشان به قلمرو شیمی مربوط می‌شود. به همین ترتیب می‌توان سطوح گوناگونی را در نظر گرفت که هریک پدیده‌هایی با مقیاس مشخص را مورد توجه قرار دهند و علم خاصی را هم در برخورد با آن پدیده‌ها ایجاد کنند. در جدول (ج -۱) صفحه‌ی بعد سلسله مراتبِ جهان مادی به شکلی بسیار خلاصه و کوتاه نمایانده شده‌اند.

دقت کنید که معیار تفکیک سطوح گوناگون سلسله مراتب، ابزارهای مشاهداتی ماست. به این معنا که اندازه‌ی خود ما معیار تعیین طبیعی‌ترین و غنی‌ترین سطح سلسله مراتب از نظر اطلاعات برای ماست. پس از آن، سطوحی در بالا و پایین این مرتبه‌ی پایه چیده شده‌اند که هریک به کمک تحولی در علم و فن‌آوری ابزارهای مشاهده پدید آمده‌اند. مثلاً سطح یاخته‌شناسی پس از تکامل میکروسکپ‌های نوری و سطح ماکرومولکولی پس از تکامل فن‌آوری پراش اشعه ایکس ایجاد شده‌اند. نتیجه این که سطوح گوناگون سلسله مراتبی در یک سیستم پیچیده، در واقع مفهومی نسبی هستند و بر اساس توانش جذب اطلاعات ما تعریف می‌شوند[۳].

در سایه‌ی درک این سلسله مراتب است که مفهوم تحویل کردن معنا می‌یابد.

۱- **reduction**

۲- بسپار: سیستم دارای تعداد عناصر زیاد.

۳- از این گفته تا تمایز نومن/فنومن کانتی و نسبی و ذهنی شمردن مفهوم سلسله مراتب تنها یک قدم فاصله است. علاقمندان می‌توانند به رساله‌ی شکست پدیده مراجعه کنند (وکیلی.- ۱۳۷۶)[۳۱].

مقیاس بزرگی (متر)	پدیده‌ها	شاخه‌ی علم مربوط به آن
10^{10}	سیارگان، سیارک‌ها، اجرام آسمانی	اخترفیزیک
$10^{1}-10^{7}$	پدیده‌های جوی، پدیده‌های زمین‌شناختی	زمین‌شناسی
$10^{-2}-10^{2}$	عناصربوم‌شناختی	بوم‌شناسی
$10^{-1}-10^{-2}$	اندامهای بدن جانداران	فیزیولوژی
$10^{-2}-10^{-4}$	بافتها	بافت‌شناسی
10^{-6}	اندامکها	یاخته‌شناسی
10^{-8}	ماکرومولکول‌ها	بیوشیمی و ژنتیک
10^{-10}	مولکولها	شیمی
10^{-40}	ذرات بنیادی	مکانیک کوانتوم

جدول (ج -۱): سطوح سلسله مراتب پیچیدگی (بر اساس اندازه‌ی پدیده) و علوم وابسته به تحلیل هر سطح.

تحویل کردن، عبارت است از این دو فرض:

الف: سطوح گوناگون سلسله مراتب در واقع بیانگر جنبه‌های گوناگون یک واقعیت خارجی مجزا و یگانه هستند.

ب: قانون حاکم بر این واقعیت یکتا و کلی، خود نیز یگانه و منفرد است.

این دو فرض، اگر درست پنداشته شوند، مبنای نظری تحویل‌انگاری را پدید می‌آورند (**Dupre.- 1993**)[۱۰۲].

هر دو فرض یاد شده، به ظاهر بدیهی به نظر می‌رسند. همه‌ی ما واقعیت خارجی را یکتا و قانونمندی حاکم بر آن را همگن و یکنواخت می‌دانیم، و اینها در واقع از ملزومات پذیرش عقلانیت است. اما تحویل‌گرایان به این فرض به ظاهر بدیهی تبصره‌ای اضافه می‌کنند که می‌تواند مشکل‌ساز باشد:

تبصره: قانونمندی حاکم بر بنیادی‌ترین سطوح سلسله مراتب، همان قانون بنیادی حاکم بر کل سیستم است.

در اینجا، به طور خلاصه این تبصره را به محک نقد می‌کشیم و موضع خود را در برابر آن مشخص می‌کنیم، چرا که پرداختن به پدیده‌ای پیچیده مانند آگاهی، بدون مجهز بودن به بینشی شفاف و دقیق در رابطه با قانونمندی‌هایی که جستجو می‌کنیم، بی‌فایده خواهد بود.

تحویل انگاری به این معنا را، برای نخستین بار اقلیدس در ۲۳۰۰ سال پیش بنیان نهاد. او تمام ریاضیات را به چند عنصر کلیدی و ساده -یعنی خط و نقطه- تحویل کرد و ادعا کرد که کل هندسه بر اساس این کلیدواژه‌های بنیادی قابل‌بیان خواهد بود. چنان‌که می‌دانیم، اقلیدس در بیان نظر خود بیراه نمی‌رفت و هندسه‌ای کارآمد و پیچیده را با اتکا به همین مفاهیم پایه ایجاد کرد.

رویکرد این ریاضی‌دان باستانی، توسط دانشمندان جدیدتر هم مورد استفاده قرارگرفت و فرض ساده‌انگارانه‌ی یکتا بودن پدیده‌های توصیف شده در سطوح گوناگون سلسله مراتب، و یکتا و ساده بودن قانون حاکم بر آنها از سوی متفکران دیگر هم مورد اقتباس قرارگرفت. به این ترتیب بیانهای گوناگونی از تحویل‌انگاری پدید آمد. این برداشتهای مختلف، در دو پیش فرض یاد شده مشترک بودند، و در مورد تبصره‌ی یاد شده مواضع گوناگونی را اختیار می‌کردند. در اینجا به ذکر مهمترین شاخه‌های تفکر تحویل‌گرا -بنابر طبقه‌بندی یک فیلسوف علم به نام مورچیو- می‌پردازم و در

نهایت نقد کوتاهی هم از آن خواهم کرد (Morchio.- 1991)[۲۳۶]:

۲-۱-الف) تحویل‌گرایی کلاسیک: این رویکرد، در اواسط قرن حاضر میلادی صورتبندی شد (Oppenheim & Putnam.- 1958)[۱۰۲] و در مدتی اندک به عنوان سرلوحه‌ی تحقیقات علمی اعتبار فراوان کسب کرد. بر اساس این رویکرد، هر سطحی از سلسله مراتب یاد شده، دارای قوانینی فیزیکی -به معنای مادی- و ذاتی است که خاص همان سطح است. اما قوانین دو سطح همسایه می‌توانند به کمک ابزاری منطقی به نام قوانین رابط[۱] به یکدیگر تبدیل شوند. قوانین رابط، در واقع صورتبندی ریاضی‌ای هستند که از قوانین سطح پایین، قوانین سطح بالایی را نتیجه می‌گیرند. به این ترتیب مرتبه‌ی بالایی را در هر همسایگی دو سطح سلسله مراتب، مرتبه‌ی تحویل شده[۲]، و سطح پایینی را تحویل کننده[۳] می‌نامند. اگر این روش را برای کل پیکره‌ی علم و عالم درست فرض کنیم، در نهایت به این نتیجه می‌رسیم که تمام قوانین در تمامی سطوح به کمک قوانین رابط خاص خود قابل تحویل به پایه‌ای‌ترین سطح -یعنی فیزیک ذرات بنیادی- هستند.

این نگاه به سلسله مراتب پیچیدگی، و تبصره‌ی خاصی که در مورد تبدیل قوانین به هم بسته می‌شد، در واقع همان اعتقادی است که ماده‌انگاری قوی یا تحویل‌گرا[۴] را در میانه‌ی قرن حاضر میلادی در تاریخ علم پدید آورده است (Dupre.- 1993)[۱۰۲].

این شاخه از تحویل‌گرایی به ویژه در میان زیست‌شناسان محبوبیت زیادی دارد و گاه در برخی از متون با نام تحویل‌گرایی رسمی[۵] خوانده می‌شود. فرانسیس آیالا در مقاله‌ی مشهوری (Ayala.- 1968)[۱]، از این نگرش دفاع کرده است و دو شرط را برای آن قائل شده است:

نخست اشتقاق‌پذیری منطقی[۶]، که عبارت است از امکان استنتاج منطقی قانون تحویل شده از قوانین تحویل کننده.

دوم اتصال‌پذیری[۷]، که عبارت است از امکان تولید برابرنهاد برای واژگان و مفاهیم که در سطح تحویل شده وجود داشته‌اند اما در سطح تحویل کننده به چشم نمی‌خورند.

۲-۱-ب) تحویل‌گرایی واقعگرا: فرض قانونمند بودن رفتار سیستم‌ها چنان که گفتیم، یک اصل موضوعه‌ی پذیرفته شد در علم است. در شرایطی که سیستم‌های پیچیده‌ای مانند موجودات زنده، رفتارهایی با قانونمندی نامشخص را از خود آشکار می‌کنند، فرض وجود این قواعد، در برهوت شناسایی آنها، شکلی از تحویل‌گرایی است. در عمل تمام دانشمندان -و به ویژه زیست شناسان- چنین پیش فرضی را قبل از آغاز به نظریه‌پردازی می‌پذیرند. چرا که بدون قبول آن کل رفتار پژوهش علمی بی‌معنا جلوه می‌کند. این در واقع تنها نوعی تفسیر فلسفی از تحویل‌گرایی است.

۲-۱-پ) تحویل‌گرایی روش‌شناختی[۸] گزاره‌ای است که در دنیای علم به صورت نوعی اصل مقدس در آمده است. بر این اساس روشها و قوانین موجود در زیست‌شناسی باید در نهایت به قوانین فیزیکوشیمیایی تحویل شوند، یا از ابزارها و معیارهای پذیرفته شده در آن استفاده کنند. با وجود شباهت این نوع خاص از تحویل‌گرایی، رویکرد روش‌شناختی رقیقترین برداشت از ارتباط قوای سطوح مختلف پیچیدگی به هم را به دست می‌دهد. بر اساس این

۱- bridge rules
۲- reduced
۳- reducing
۴- reductive or strong materialism
۵- formal reductionism
۶- logical derivability
۷- connectibility
۸- methodological reductionism

رویکرد، همه‌ی ما در آزمایشگاه‌هایمان به نوعی تحویل‌گرا هستیم، چون تلاش می‌کنیم تا با ساده کردن و حذف کردن جزئیات مشاهده شده، الگوهایی عام و قوانینی کلی را از دل شواهد تجربه شده استخراج کنیم. طرفداران این دیدگاه به حق ادعا می‌کنند که روش‌شناسی همه‌ی علوم، در نهایت به ابزاری تحلیل ختم می‌شود که همان ریاضیات است. با اینهمه، علاقمندان به این دیدگاه پدیده‌های مشاهده شده در سطوح بالاتر پیچیدگی را لزوماً از دید پدیده‌شناختی هم‌ارز پدیده‌های سطوح پایینی نمی‌دانند. این رویکرد به ویژه مورد علاقه‌ی دانشمندان پیرو دیدگاه هم‌افزایی است.

پس از شناخته شدن و کسب اعتبار رویکرد تحویل‌گرا در میان فلاسفه‌ی علم، تحویل‌گرایی بسته به تغییراتی که در قالبهای فکری اندیشمندان گوناگون تحمل کرد، برداشتهایی متفاوت را پدید آورد. بر اساس یک تقسیم‌بندی متکی بر معیار تاریخمندی، دو نوع تحویل‌گرایی **diachronic** و **synchronic** پدید آمد. رویکرد نخست، به قانونمندی تبدیلات نظریات علمی به یکدیگر در طول زمان متکی بود و تحویل نظریات قدیمی به جدید را در نظر می‌گرفت. مثلاً مدعی بود که مکانیک کلاسیک نیوتونی قابل‌تحویل به مکانیک کوانتومی است. این دیدگاه پس از تحلیل دقیقتر و موشکافانه‌تر دچار مشکلات فراوانی شد. به طوری‌که امروز دیگر در میان اهل فن طرفدار چندانی ندارد. می‌توان به سادگی نشان داد که کلیدواژه‌ها و همچنین صورتبندی‌های ریاضی مکانیک کوانتومی، کاملاً با آنچه که در نگره‌ی نیوتونی از جهان مطرح بوده، تفاوت دارد. برداشت دوم، یعنی **synchronic reductionism** بیشتر به چگونگی تغییرات پرسشها و راه‌حلهای رقیب در یک مقطع زمانی چشم دارد و مدعی تحویل‌پذیری همه‌ی رویکردهای مهم رقیب در یک مقطع زمانی، به یک نظریه‌ی کل‌گراتر و بسیط‌تر است. مثال مشهور در این نظریه تحویل ژنتیک مندلی و مولکولی ساده‌ی قرن نوزدهمی به ژنتیک مبتنی بر اسیدهای نوکلئیک در قرن حاضر است. پوپر، در کتاب زیبای *خویش و مغزش*، تحویل‌گرایی را به دو نوع *علمی* و *فلسفی* تقسیم کرده است. تحویل گرایی علمی به زعم او ابطال‌پذیر و زایا و بارور است، اما نحله‌ی فلسفی ابطال‌ناپذیر و وابسته به مباحث هست‌شناختی[1] است (**Popper & Eccles.- 1986**)[۲۵۸]. او در همین کتاب ایراداتی چند را بر نگره‌ی تحویل‌انگار وارد می‌کند و از این ایرادات استفاده می‌کند تا دیدگاه تکثرگرای خود را پشتیبانی کند (پوپر.- ۱۳۷۵)[۷]. ما به زودی به این ایرادات برخواهیم گشت.

این بود نمایه‌ای کلی از تقسیمات مطرح در مورد تحویل‌گرایی در فلسفه‌ی علم. بخش عمده‌ای از این دیدگاه‌ها و ترکیبات متفاوتشان هنوز در جهان علم رایج و رسمی محسوب می‌شوند. البته در برابر این شیوه‌های نگاه، نگرشهای دیگری هم وجود دارد، که تکثرگرایی[2] نمونه‌ی مشهور آن است. این دیدگاه‌ها به ماهیتی یکتا و بنیادی برای توجیه کل پدیده‌های عالم معتقد نیستند و بیش از یک عامل را برای توجیه جهان لازم می‌شمارند. یک نمونه‌ی بدنام از این رویکرد، همان دوانگاری دکارتی است، و نمونه‌ی جدیدتر آن جهان سه‌گانه‌ی پوپر/اکلز است. در واقع یکی از علل محبوبیت تحویل‌گرایی این است که گزینه‌ای را در برابر تکثرگرایی به دست می‌دهد. تکثرگرایی برای قرون متمادی یکی از علل اساسی رکود و جمود جریان دانش بوده است، و به دلیل همین پیشینه‌ی بد هم هرجاکه نظریه‌ای رنگ و بوی تکثرگرایانه به خود بگیرد به نادرست بودن متهم می‌شود. شاید یکی از مهمترین دلایل اقبال پژوهشگران به رویکرد تحویل‌انگار، امید به یافتن کوره‌راهی باشد که بتواند از بن‌بست تکثرگرایی خارج شود.

و اما نقد دیدگاه‌های یاد شده[3]:

۱- **ontologic**

۲- **pluralism**

۳- شاید خواننده از مشاهده‌ی اینهمه شرح و بسط در مورد مفهوم پیچیده‌ای مانند **reduction** در پایان‌نامه‌ای در رشته‌ی فیزیولوژی تعجب کند. چرا

برخی از برداشتهای مذکور، از پایه سست‌اند و ساختار منطقی شکننده و آسیب‌پذیری دارند. مثلاً به تحویل‌گرایی کلاسیک اوپنهایم و پورتنام، یا مدل رسمی آیالا بیندیشید، این دیدگاه‌های هم‌ارز بر این پیش‌فرض منطقی استوارند که رابطه‌ی بین صحت تارسکیایی دو نظریه، رابطه‌ای دوطرفه است. یعنی اگر دو نظریه‌ی ت-۱ و ت-۲ هردو پدیده‌ی *الف* را در دو سطح گوناگون توجیه کنند، و هردو نظریه هم به لحاظ تطبیق با شواهد خارجی تأییدپذیر و درست باشند، لزومی ندارد که ترکیب عطفی (ت-۱ و ت-۲) هم درست باشد. به بیان دیگر، قوانین موجود در یک سطح سلسله مراتبی می‌تواند در سطح بالاتر از خود ارضا شود، بدون آنکه الزامی را برای رعایت قانون سطح بالایی در سطح پایینی ایجاد کند. یعنی ممکن است قوانین فیزیکی در سطح زیست‌شناختی رعایت شوند (که رعایت هم می‌شوند) اما برعکس آن صادق نباشد، یعنی قوانین زیستی در ساختارهای فیزیکی برابرنهاد و هم‌ارز پیدا نکنند (که گویا نمی‌کنند).

تحویل‌گرایی واقعگرا با مشکلاتی بزرگتر روبروست. در این سیستم تحلیلی، جهان عبارت است از سیستم پیچیده‌ای که یک مجموعه از ورودی و یک مجموعه از خروجی رفتار آن را تعیین می‌کنند. تحویل‌گرایی ساده‌انگارانه‌ی مزبور چنین فرض می‌کند که قانونی ساده و قابل‌درک بین این ورودی و خروجی وجود دارد. نتیجه‌ی مستقیم چنین فرضی، جبرانگاری لاپلاسی[۱] است.

انتقادات زیادی بر این مدل وارد است. نخست این که شواهد فراوانی وجود دارند که نشان می‌دهند این جبرانگاری چیزی جز ساده دیدن مفاهیم فوق‌العاده پیچیده نیست. اصل عدم قطعیت هایزنبرگ، به ما می‌گوید که حتی اگر چنین جبری هم وجود داشته باشد ما هرگز از آن خبردار نخواهیم شد، و مدل‌های کوانتومی ناملموسی مثل مدل بوهم و لانداثو ادعا می‌کنند که اصلاً چنین قطعیتی در جهان خارج هم وجود ندارد. شواهد بیشمار ناشی از نظریه‌ی ریاضی آشوبها[۲] و نظریه‌ی سیستم‌های هرج و مرجی[۳] هم نشان می‌دهند که رابطه‌ی خطی و سرراستی بین ورودی و خروجی سیستم های مادی پیچیده وجود ندارد، و بنابراین این برداشت از تحویل‌گرایی را می‌توان با استناد به شواهد گوناگون نادرست دانست. در واقع این نوع نگاه به سیستم‌های پیچیده‌ای مانند موجودات زنده، تنها میراثی بی‌فایده از ماشین‌انگاری دکارتی و مکانیک جبری نیوتونی است که امروز هیچکدام محلی از اعراب ندارند.

تحویل‌گرایی روش‌شناختی، از نظر ساختار منطقی همانگویانه[۴] است. یعنی با این پیش‌فرض که زیست‌شناسی علم است، ادعا می‌کند که باید از روش علمی در آن استفاده کرد، و چون از روش علمی در آن استفاده می‌شود، ادعا می‌شود که علم است! زیست‌شناسی، و روش‌شناسی ویژه‌اش در آشفته بازار تفکر علمی، موضوعی مستقل و قابل‌تحلیل است و اگر گزاره‌ای مانند ارزش روش‌شناختی تحویل کردن در آن نیازمند به نقد باشد، باید از رویکردهای آماری و شناخت‌شناختی برای تأیید آن بهره جست. فرض پیشینی تحویل‌انگاری در تار و پود این علم، به بهانه‌ی علمی بودن، گره‌ای از کار نمی‌گشاید.

ادعاهای چندی در مورد نمونه‌های موفق تحویل کلاسیک در تاریخ علم وجود دارد. مثلاً کِپلر و اوپنهایم در یک

که این موضوع در واقع یکی از سرفصل‌های داغ و مورد مناقشه در فلسفه‌ی علم است و به ظاهر به فیزیولوژی ارتباطی ندارد. اما حقیقت این است که این نوشتار در پی پیشنهاد رویکردی دقیق برای حل کردن مشکل آگاهی است، و این چیزی نیست که بدون پایه‌ی محکمی در فلسفه‌ی علم ممکن گردد.

۱- اشاره به مثال مشهور لاپلاس که می‌گفت: اگر یک دانای کل مکان و اندازه‌یحرکت تمام ذرات عالم را در یک لحظ بداند، می‌تواند تمام آینده‌ی جهان را تا ابد پیش‌بینی کند. این گزاره در واقع به جبرانگاری علمی اشاره دارد.

۲- chaos theory

۳- theory of stochastic systems

۴- tautologic

مقاله ادعا کردند که از نیمه‌ی دوم قرن حاضر، معادلات بیان کننده‌ی رفتار سیستم‌های شیمیایی به سطح فیزیکی تحویل شده‌اند (**Kenedy & Oppenheim.- 1956**)[۲۳۶]. این ادعا با توجه به تفاوت ذاتی بین معادلات خطی مکانیک کوانتوم و صورتبندی‌های غیرخطی دینامیک مواد شیمیایی، کاملاً نادرست است (**Morchio.- 1991**)[۲۳۶]. همچنین ادعا شده که تئوری گرمای قدیمی و ترمودینامیک جدید، به مکانیک آماری جدید تحویل می‌شود. این امر به نحو چشمگیری در مورد قوانین اول و دوم ترمودینامیک صادق است، و از نتایج مثبتِ استفاده از تحویل‌گرایی روش‌شناختی -به معنای خودمان- محسوب می‌شود. اما با اینهمه این تحویل به معنای کلاسیک کلمه درست نیست. چرا که قانون صفر ترمودینامیک یک قانون منطقی‌گونه است و آن را نمی‌توان از معادلات انشتین-پودل-روزن (محمور اصلی ترمودینامیک کوانتومی) استخراج کرد.

درکنار این ادعاهای نه چندان درست از کارنامه‌ی درخشان تحویل‌گرایی کلاسیک در تاریخ علم، مجموعه‌ای از خرافات رایج هم در این زمینه وجود دارد. مثلاً فرضی که به نادرست قطعی فرض می‌شده، این بوده که فیزیک مدرن و دانش کنونی توانایی اثبات منطقی تک‌انگاری را دارند. این امر البته غلط است. دانش امروزی، از میان نظریات رقیب موجود، دیدگاه تک‌انگار را بیشتر از باقی تأیید می‌کند، اما توانایی اثبات آن، یا ابطال انواع تکثرگرایی را ندارد.
من خودم به تک‌انگاری دلبستگی بیشتری دارم و امید دارم که توجیهی سازگار با آن برای پدیده‌های هم‌افزا یافت شود، اما این امید برای یافته شدن راه حل، نباید به توهم یافته شدن آن بینجامد.

از همه‌ی این حرفها نباید نتیجه گرفت که تحویل‌گرایی پروژه‌ای شکست خورده یا ناسودمند است. اگر بخواهم در اینجا تقسیم‌بندی عامی از انواع تحویل‌گرایی ارائه دهم (کاری که با توجه به تعدد و تنوع نظریات در این مورد کمی جسورانه است)، دو نوع را در نظر خواهم گرفت:

نخست تحویل‌گرایی پدیدارشناختی[۱]**:** که مدعی امکان توضیح تمام پدیده‌های موجود در تمام سطوح پیچیدگی، به کمک قوانینی بنیادی و موجود در سطوح ذرات بنیادی است. این ادعا، در واقع هم‌ارز این حرف است که بگوییم با بالا رفتن در سطوح سلسله مراتب، پدیده‌های جدید به سیستم ما اضافه نشده‌اند. یعنی اگر چنین فرض کنیم که درگذر از سطح ملکولی به سلولی، پدیدار و مفهومی تازه هستی نیافته، و هرچه که هست همان است که قبلاً با ترکیبات متفاوتی بوده، آنگاه این دیدگاه درست می‌نماید.

دیدگاه هستی‌شناختی یاد شده، به گمان من درست نیست. وجود هست‌شناختی پدیده‌ها، به گمان من تا حدود زیادی از معیارهای ذهنی پیروی می‌کنند، و بنابراین وجودی مستقل از ذهن شناسنده‌شان ندارند. یعنی ذهن ماست که در وجود نامشخص و مبهم خارجی، پدیده‌ها را به عنوان وجودهایی مجزا می‌شکند و تولید می‌کند. به این ترتیب هستی داشتن پدیده تا حدود زیادی به زاویه‌ی دید ناظر بر می‌گردد[۲]. به این ترتیب، همانطورکه ما در تقسیم هستی به سلسله مراتب متفاوتی از پیچیدگی نقش کلیدی ایفا می‌کنیم، در نهایت تصمیم می‌گیریم که برخی از عناصر تشخیص داده شده در این نظام سلسله مراتبی (مانند مفهوم یاخته) را به عنوان وجود مستقل در نظر بگیریم، و برخی دیگر (مانند فرهنگ جهانی) را فاقد این صفت بدانیم. بر این مبنا، در هر سطح سلسله مراتب، همانطور که سطوح تازه‌ای از پیچیدگی تشخیص داده می‌شود، پدیده‌هایی تازه هم هستی می‌یابند. در این زمینه من با پوپرِ فیلسوف و

۱- **phenomenological**

۲- این حرف را با ایده‌آلیسم اشتباه نگیرید. این تنها نتیجه‌ی منطقی داده‌های عصب‌شناسی مربوط به پدیده‌ی شناخت است. برخی از این داده‌ها در فصل **بینایی** ذکر شده است. برای شرح بیشتر مراجعه کنید به رساله‌ی شکست پدیده (وکیلی.- ۱۳۷۶)[۳۱].

بوهمِ فیزیکدان موافقم که جهان به یک نقشه‌ی بالنده و بازشونده شباهت دارد که در اثر عمل سیستم حسی ما پدیدارهای تازه را در مغز ما خلق می‌کند.

علاوه بر این نگرش فلسفی، شواهد علمی فراوانی هم وجود دارند که از پدیدار شدن مفاهیم نوظهور در سطوح بالاتر سلسله مراتب خبر می‌دهند. در عمل تمام داده‌های انباشته شده در دو شاخه‌ی نظریه‌ی عمومی سیستم‌ها، و نظریه‌ی سیستم‌های پیچیده، بر این مهم اشاره دارند (برتالنفی.- ۱۳۶۶)[۶].

تمام پدیده‌هایی که امروز با عنوان هم‌افزایانه[۱] مورد اشاره قرار می‌گیرند، نمودهایی در تأیید این ادعا هستند که پدیدارهایی نوظهور در جریان افزایش پیچیدگی سیستم‌ها مجال خودنمایی پیدا می‌کنند. با توجه به این موضوع، فرض یکسان بودن پدیدارشناختی پدیده‌های قابل‌مشاهده در سطوح گوناگون مورد مشاهده به‌گمان من مردود است و به دنبال آن تحویل‌انگاری پدیدارشناختی هم کاربرد خود را از دست می‌دهد. با وجود اینکه پدیدارها به‌گمان من در سطوح بالاتر پیچیدگی زاییده می‌شوند و بر اثر اندرکنش عناصر سیستم ظهوری بی‌سابقه می‌یابند، اما معتقد به امکان نوپدیدی واقعیتهای هستی‌شناختی[۲] در سطوح بالاتر پیچیدگی نیستم. یعنی فکر می‌کنم با وجود ادراک پدیده‌های نو در سطوح بالاتر پیچیدگی -که تا حدود زیادی ذهنی است،- وجود مستقل جدیدی در این سطوح به کل سیستم اضافه نمی‌شود.

دومین برداشت، **تحویل‌گرایی روش‌شناختی** است که به‌گمان من ارزش فراوان دارد. این مدل در واقع نسخه‌ای تعدیل شده از سومین نوع تحویل‌گرایی مورد اشاره‌ی مورچیو است. در این نگرش، چیزی در مورد امکان تحویل پدیدارشناختی پدیده‌ها به هم گفته نمی‌شود، بلکه تنها یک امید علمی به امکان پیوند یافتن سطوح گوناگون توضیح جهان به عنوان انگیزه‌ی طراحی کارهای علمی در نظر گرفته می‌شود. این نوع تحویل‌گرایی به‌گمان من رانه‌ی اصلی پیشرفت علم در این عصر بوده است، و عمده‌ی محبوبیتی هم که اشکال مختلف تحویل‌گرایی پیدا کرده، به دلیل موفقیت این برنامه بوده است. زاینده و بارور بودن دیدگاه ناشی از این گزاره، به قدرکافی آشکار است. نکته‌ی مهم این است که سودمندی ابزار تحویل به عنوان یک راه‌حل آزمایشگاهی را نباید با درست بودن فرض تحویل فلسفی مفاهیم، هم‌ارز فرض کرد. این برداشتِ به‌گمان من نادرست، ریشه‌ی اشتباهات فراوانی هم بوده است.

نتیجه این که، در این نوشتار رویکرد تحویل گرایانه -تنها در بعد روش‌شناختی‌اش- سودمند و کارآمد دانسته خواهد شد و به ویژه در آزمونهایی که شاهد گرفته خواهند شد، یا طرح می‌شوند، این راهکار سرلوحه‌ی بحث خواهد بود. اما در مقابل، تحویل گرایی پدیدارشناختی از پایه مردود دانسته می‌شود و هیچ‌کدام از نتایج گرفته شده به معنای تقویت این دیدگاه نخواهد بود.

۱- synergic

۲- ontologic

۲-۲) علیت:

علیت یک مقوله‌یی مهم و کلیدی در فلسفه است که پرداخت دقیق و موشکافانه به آن زمان و فضایی بیش از این نوشتار را طلب می‌کند. با این همه، در این رساله از رویکردی دفاع شده است که با وجود شهرت در میان محافل علمی نوگرا، فقط چند دهه عمر دارد و از این رو اشاره به زمینه‌ی فلسفی مورد نیاز برای مستحکم کردن پایه‌های روش‌شناختی یاد شده لازم می‌نماید. ناگفته پیداست که این سطور بسیار خلاصه و در حد فهرستی از مفاهیم مورد مناقشه هستند و هدف در اینجا حل کردن مشکل علیت با تمام دلایل و شواهد موجود نیست، و تنها بر سر آنم که موضع خود را در مورد این مفهوم فلسفی جنجالی روشن کنم.

یکی از نخستین افرادی که به صورت سازمان‌یافته و کلاسیک از علیت سخن گفت، افلاطون بود. او در رساله‌ی تیمائوس خود این گزاره‌ی مشهور را برای نخستین بار با تأکید بازگو می‌کند، که: *هرچیز علتی دارد.*

پس از او، شاگردش ارسطو گامی جلوتر نهاد و علت را -که لازمه‌ی وجود هر موجودی فرض می‌شد،- به چهار نوع تقسیم کرد. به گمان او هر موجودی، دارای چهار نوع علت پدیدآورنده بود. نخست علت مؤثر[۱] که قوه‌ی محرک پیدایش پدیده بود، دوم علت مادی[۲] که مواد اولیه و وجودهای پیشینی لازم برای پیدایش پدیده را در بر می‌گرفت، سوم، علت ریختی[۳] که نقشه‌ی ریختی و شکل پدیده را تعیین می‌کرد، و در نهایت علت غایی[۴] که هدف از پیدایش پدیده را بیان می‌کرد. مثال مشهور ارسطو در مورد این علل چهارگانه یک خانه بود که کارگران سازنده‌ی آن علت مؤثر، مصالح ساختمانی و سنگ و چوب مورد استفاده علت مادی، نقشه‌ی تهیه شده توسط معمار علت ریختی، و هدف از ساخت آن -که سکونت باشد- علت غایی ساخته شدنش بود.

این مفهوم علیت از دوران باستان تا روزگار ما همچنان ادامه یافته است. به شکلی که هنوز هم درکی که افراد عادی از علیت دارند، همان است که ارسطو دوهزار سال پیش گفته بود. این نگرش سنتی حتی در مجامع علمی هم به شکل جسته و گریخته دیده می‌شود. مثلاً در یکی از معتبرترین فرهنگهای فلسفی مربوط به دو دهه‌ی قبل، در مقابل عنوان علیت می‌خوانیم:

نوعی رابطه‌ی یک‌طرفه‌ی بین دو پدیده. اگر الف علت ب باشد، باید این سه شرط برقرار باشد:
نخست این که الف از نظر زمانی پیش از ب ظاهر شده باشد. دوم این که الف مولد ب باشد، و سوم این که رابطه‌ی بین الف و ب ثابت و لازم باشد. یعنی در طول زمان تغییر نکند و استثنا ناپذیر باشد (Caratini.- 1972)[۷۱].

اما این دید ساده‌انگارانه از پدیده‌ها و نحوه‌ی پیدایششان، در مسیر بالنده و پویای تاریخ علم و فلسفه دگرگون شده و دیگر کاربردی ندارد. یکی از نخستین کسانی که با این دیدگاه خطی و متحجر مخالفت کرد، دیوید هیوم بود که شرط دوم یاد شده در تعریف بالا را به دلیل هم‌ارز بودن مفهوم *مولد* چیزی بودن و *علت* آن چیز بودن همان‌گویانه و نادرست دانست. او همچنین لزوم را هم از شرط سوم برداشت و استقرای منطقی منتهی به علیت خطی را به اصول روانشناختی تحویل کرد. به بیان دیگر، او نشان داد که تجربه‌ی تکرار یک پدیده در شرایطی خاص، می‌تواند در ذهن افراد هوشمند *انتظار* همراه دیدن آن عوامل در آینده را ایجاد کند، اما برای پذیرش منطقی این همراهی دلیلی به دست

۱- causa efficiens
۲- causa materialis
۳- causa formalis
۴- causa finalis

نمی‌دهد. یعنی اگر من برای هزار بار سوخته شدن چوب در اثر حضور آتش را دیده باشم، برای بار هزار و یکم به طور منطقی دلیلی برای سوخته شدن چوب در مجاورت آتش ندارم. هرچند استقرای شکل گرفته از این تجربیات قبلی انتظار مشاهده‌ی چنین چیزی را در من ایجاد می‌کند.

پس از هیوم، کانت بزرگترین کسی بود که علیت سنتی در مورد پدیده‌های مادی را مردود دانست، اما به دلیل اینکه به گزاره‌های پیشینی در فلسفه‌ش معتقد بود، نوعی علیت دیگر را در بین گزاره‌های ذهنی برقرار کرد. پس از کانت، اگوست کنت -پدربزرگ مثبت‌انگاران- مشهورترین کسی بود که اصولاً علیت را منکر شد و ادعا کرد که تمام پدیده‌های جهان را بدون فرض علیت هم می‌توان توجیه کرد. در قرن حاضر، راسل در ۱۹۱۳.م مرگ این مفهوم را اعلام کرد و علیت را مرده‌ریگ بازمانده از عصری دانست که آن را پیش‌فرضی بی‌فایده اما بی‌ضرر فرض می‌کرد. در ۱۹۲۲.م ویتگنشتین علیت را محصول خرافات دانست و در ۱۹۷۷.م کوهن تغییرات آن را در طول زمان نشان داد و ادعا کرد که این مفهوم دوران افول خود را سپری کرده و اکنون دیگر تنها به تاریخ علم و اندیشه تعلق دارد، نه نظریات علمی مطرح و قابل استفاده.

در ۱۹۷۵.م مک‌کی نوع جدید از علیت را معرفی کرد و آن را علیت شبکه‌ای نامید. به زعم او این دریافت تازه از مفهومی قدیمی، می‌توانست در امر تحقیق کارگشا باشد (Stadler.- 1986)[۲۹۷].

در حقیقت، استفاده از علیت در میان دانشمندانی که امروز در مرزهای علم به گمانه‌زنی مشغولند، رواج چندانی ندارد. نادرست بودن دیدگاه سنتی علیت خطی که در آن هر پدیده با یک یا چند علت مشخص و قابل‌تمایز مربوط بود، توسط شواهد بیشماری تأیید می‌شود. همچنین مفهوم ضمنی خلق از عدم که با علیت به این شکل پیوسته است، از نظر منطقی مشکلات و باطلنماهای فراوانی را پدید می‌آورد. به این ترتیب، می‌توان با سایر متفکرانی که نامشان در این چند سطر آمد همصدا شد و علیت کلاسیک را ساده‌انگارانه، ناسودمند و نادرست دانست.

با اینهمه، علم کلاسیک، تاحدودی به پیش‌فرضهای ارسطویی آلوده است. به ویژه در حیطه‌ی زیست‌شناسی، تحلیل عامل[۱] کاری است که معمولاً برای دستیابی به حقیقت مورد استفاده قرار می‌گیرد و بر این پیش‌فرض مبتنی است که مجموعه‌ای از عوامل -که معمولاً شناخت همه‌شان برای پژوهشگر ناممکن است، در پدید آوردن موضوع مورد مشاهده دخالت داشته‌اند، و این پدیده‌ها را می‌توان با دستکاری کردن برخی از این عاملها بهتر شناخت.

این رویکرد، همان است که در تمام برنامه‌ریزی‌های آماری و طرح‌ریزی‌های برنامه‌های تحقیقاتی کاربرد دارد. در این رساله هم چندین آزمایش انجام گرفته که بنیاد برخی از آنها بر تحلیل عامل استوار است. این، همان است که برخی از نویسندگان کنونی با عنوان علیت شبکه‌ای مورد اشاره قرارش داده‌اند (Stadler.- 1986)[۲۹۷].

رواج این شیوه‌ی تحقیق موضوعی انکارپذیر نیست، و در اینکه این رویکرد به پیشرفتهای شگرفی هم در زیست‌شناسی انجامیده است هم شکی وجود ندارد. اما این مسئله را نباید به معنای بازگشت نوع دیگری از مفهوم علیت به قلمرو علم پنداشت. علیت کهن همراه با دورانی که مشاهدات تأیید کننده‌اش را به دست می‌داد، برای همیشه مرده است. آنچه که امروز کارگشاست و رواج دارد، ربط چندانی به علیت ندارد. امروز دیگر در جهان علم از آفریده شدن پدیداری توسط پدیداری دیگر سخن نمی‌گوییم، و چیزی را علت چیز دیگر نمی‌پنداریم. بلکه مدل‌هایی رقیب و ناسازگار را برای توجیه مشاهداتی که در دست داریم مورد استفاده قرار می‌دهیم و از تحلیل عامل به عنوان راهی برای رد کردن برخی از این مدل‌ها استفاده می‌کنیم. به بیان پوپر، علم امروز، عبارت است از نوعی انتخاب

۱- factor analysis

طبیعی در بین نظریات رقیب. در این بوم نرم‌افزاری، نظریات به مثابه موجوداتی هستند که توسط اصل گزینش بیرحمانه‌ای موسوم به ابطال‌پذیری تصفیه می‌شوند و فقط آنهایی که توانایی بیشتری در توجیه و پیش‌بینی دارند باقی می‌مانند (پوپر.- ۱۳۷۴)[۸]. این کاربرد واژه‌ی امروز در جملات گذشته را نباید به این عنوان در نظر گرفت که انتخاب طبیعی نظریات در جهان باستان بر اصولی متفاوت مبتنی بوده است. کل پیکره‌ی علم و شناخت، سازوکاری است که با قوانینی به ظاهر همگن و سازگار کار می‌کند. به این شکل، نظریات دوران ارسطو هم بر اساس همین سازوکارها شکل می‌گرفته و رد و اثبات می‌شده‌اند.

ناگفته نماند که امروز انتقادهای فراوانی بر نگرش پوپری ابطال‌پذیری وارد است. اما من در این نوشتار همین دیدگاه را اختیار خواهم کرد، چرا که به گمانم فعلاً بهترین توضیح را در مورد ساز و کار جایگزینی نظریات و تکامل درخت معرفت[۱] به دست می‌دهد.

پس موضع من در این نوشتار چنین است: علیت به مفهوم سنتی رویکردی شکست‌خورده و حذف شده از صحنه‌ی مباحثات این قرن است، و آن چه که جایش را در برنامه‌ریزی های پژوهشی گرفته، علیت شبکه‌ای است که دیگر آن بار معنایی نهفته در *علیت* را در خود ندارد. درمورد مدلی از جهان که این علیت شبکه‌ای در آن مصداق داشته باشد، با دیوید بوهم در بسیاری از جنبه‌ها موافقم. او جهان را به عنوان چند قانون ذاتی پایه در نظر می‌گرفت که در نهایت چیزی به نام جنبش کلی[۲] را ایجاد می‌کنند. این جنبش کلی، در سطوح بالاتر از پیچیدگی، پدیده‌هایی را که ما شاهدش هستیم ایجاد می‌کند (**Bohm.- 1994**).[۶۰]

رشد و عمیقتر شدن دیدگاه‌های علمی ما، راهکارهایی تحلیل‌تر را برای زیر سوال بردن این مفهوم برای ما فراهم آورده است. راه نخست، جستجو و بازشناسی ریشه‌ی نظری پشتیبان علیت در جهان کهن است. آنچه که علیت خطی را ایجاد کرد، اتم‌انگاری ساده‌بینانه‌ی دوران روشنگری بود، و همین علیت ناشی از این اتمیسم هم خوراک اصلی درست پنداشتن تحویل‌انگاری را فراهم کرد. تحویل یک پدیده به پدیده‌یی دیگر تنها در صورتی ممکن است که علل پدید آورنده‌ی یکی در علل سازنده‌ی دیگری موجود باشند. این امر هم تنها در جهانی ممکن است که از بیشمار ذره‌ی تعریف‌پذیر، ساده، و دارای اندرکنش مشخص با یکدیگر تشکیل شده باشد. امروز می‌دانیم که چنین دیدی از جهان، ساده‌انگارانه و دور از واقع است.

راه دوم، برای رد کردن علیت خطی، نگاه بودشناختی به موضوع است. اگر شواهد عصب‌شناسی موجود را به عنوان پایه‌ای برای ساختن یک شناخت‌شناسی علمی مورد استفاده قرار دهیم، به این نتیجه می‌رسیم که پدیده‌های مشاهده شده در جهان خارج، عمدتاً از مصالح خام حسی محدودی ساخته شده‌اند. سازنده‌ی این پدیده‌ها، مغز موجودات زنده است که محرکهای حسی را در دامنه و شدت خاصی می‌گیرد و بر آن مبنا توده‌ی درهم تنیده‌ی تشکیل شده از بی‌شمار محرک غیرقابل تمیز را در قالب یک یا چند پدیده‌ی ملموس و آشنا می‌ریزد و به عبارتی پدیده‌ها را با شکستن و تقسیم کردن زمینه‌ی محرکهای حسی به نوعی بازآفرینی می‌کند. به این ترتیب، پدیده‌های آشنای موجود در جهان اطراف ما، هویت بودشناختی مستقل دارند و تنها به عنوان نتیجه‌ای از عملکرد ذهن/مغز ما در اندرکنش با جهان خارج معنا دارند (وکیلی.- ۱۳۷۶)[۳۱]. علیت، با این تعریف، عبارت خواهد بود از رابطه‌ی منظم موجود در بین پدیده‌ها. این رابطه‌ی منظم، بر مبنای تجربه‌ی تکراری -استقراء- درک می‌شود، اما در نهایت چیزی

---

۱ -عبارتی که خود پوپر در نوشته‌هایش برای رساندن همین مفهوم به کار گرفته است.

۲- holomovement

جز یک برداشت ذهنی از پدیدارهایی وابسته به ذهن نیست. شاید این دیدگاه کمی ایده‌آلیستی به نظر برسد، اما نباید فراموش کرد که شواهد موجود در دانش عصب‌شناسی، -که ظاهراً مهمترین اندوخته‌های اطلاعاتی ما برای سازمان دادن به یک شناخت‌شناسی واقع‌بینانه هستند،- تنها به این نتیجه‌ی منطقی می‌انجامند.

از آنچه که در مورد این مفهوم فلسفی گفته شد نباید بی‌فایده بودن ذاتیِ مفهوم علیت را استنتاج کرد. علیت، با وجود ارزش اندکی که در مورد *شناخت* دارد، برای *بقا* ارزشمند است. شاید به همین دلیل هم هست که رفتارهای علت‌جویانه و پیش‌بینی‌های مبتنی بر علیت را در دستگاه عصبی تمام موجودات جانوری پیچیده می‌بینیم. کارکرد اصلی دستگاه پردازشگر اطلاعات ما موجودات زنده، درک واقعیت خارجی نیست. این دستگاه‌ها طوری تکامل یافته و گزینش شده‌اند که هدفی دیگر -یعنی بقای ژنوم موجود- را برآورده کنند. به همین دلیل هم هست که چیزی مانند علیت، با وجود فاصله‌ی شگرفش از واقعیت خارجی، این چنین در میان موجودات جانوری انتشار یافته است.

پس به عنوان نتیجه باید این گزاره را نتیجه گرفت که علیت به مفهوم کلاسیک و قدیمیش دیگر کاربرد و معنای خاصی ندارد، و آنچه که به جایش می‌تواند طرح شود، تنها نوعی روش‌شناسی ساده‌انگارانه‌ی علمی است که می‌کوشد با تحلیل عامل درکی بهتر -اما نه مطلق یا کامل- از پدیده‌های پیچیده را به دست آورد. حذف علیت کلاسیک، و تحویل‌انگاری کلاسیک، در مبنا معنایی یکسان دارند و برداشت کارکردگرایانه و ابزاری از آنها هم گرایشی یگانه را در روش‌شناسی ما نمودار می‌سازد: گرایش به سیستمی دیدن پدیده‌ها، شک در ساده‌انگاری‌های قدیمی، و زیر سوال بردن رابطه‌ی هستی‌شناختی پدیده‌ها به عنوان یک مفهوم مطلق.

۲-۳) قانونمندی:

نخستین پیش‌فرضی که هر دانشمند، پس از مفروض دانستن وجود خارجی جهان درنظر می‌گیرد، قانونمند بودن گیتی است. یعنی چنان که گفتیم تمام پژوهشهای علمی بر مبنای این دو گزاره استوار شده‌اند:
نخست این که در خارج از وجود ناظر جهانی مستقل و واقعی وجود دارد.
و دوم این که قانونی بر این جهان حاکم است.
متأسفانه از دید فلسفی، هیچ کدام از این دو گزاره قابل اثبات نیستند. تمام دلایلی که متفکران واقعگرا[۱] برای تأیید وجود جهان خارج آورده‌اند، دلایلی متقارن و به همان اندازه منطقی را در ذهن پندارگرایان[۲] ایجاد می‌کند، و به همان تعدادی که دلیل برای قانونمند بودن جهان هست، برای غیرقانونمند بودنش هم می‌توان فرض کرد. در این میان، تنها برخی شواهد و تمایلات سودگرایانه[۳] وجود دارد که کفه‌ی این ترازوی متقارن را -تنها به دلیل سودمندتر بودن- به نفع واقعگرایی سنگین می‌کند.
من در اینجا نمی‌خواهم دلایل گرایش به واقعگرایی را شرح دهم، چون در جایی دیگر چنین کرده‌ام (وکیلی.- ۱۳۷۶)[۳۱]. پس گزاره‌ی نخست را راست فرض می‌کنم و به دومی می‌پردازم.

تلاش برای کشف کردن قوانین جهان خارج، تنها هنگامی معنا دارد که در آن بیرون قانونی برای کشف کردن وجود داشته باشد. اگر این قوانین وجود نداشته باشند، پژوهش کاری بی‌ثمر است، و اگر وجود داشته باشند فرض برعکس آن راه را بر دستیابی به آنها می‌بندد. شواهد کنونی در مورد دستاوردهای دانش، به ما این امکان را می‌دهد که از میان این دو احتمال، فرض قانونمند بودن گیتی را برگزینیم.
دستاوردهای درخشان ناشی از افزایش مقدار اطلاعات ما در مورد جهان خارج، و کشف قوانین طبیعی، تنها یکی از این دو راه را در پیش پای ما باقی می‌گذارد: یا جهان به واقع قانونمند است، و یا طوری سازماندهی شده که در ذهن ما توهم قانونمندی را ایجاد می‌کند. در هردو صورت اینکه قوانینی وجود دارد، -چه در بازتاب ذهنی ما و چه در جهان خارج- آشکار است.

با توجه به دیدگاهی که در مورد شکست پدیده‌ها و غیرمستقل بودن پدیده‌های محسوس در بندهای گذشته ذکر کردم، آشکار است که این نقل قول مشهور کانت را می‌پذیرم که *ما قوانین خود را به طبیعت تحمیل می‌کنیم*. اما علاوه بر این گزاره، این امید را هم دارم که این قوانین گمانه‌ها و تخمین‌هایی -هرچند دور- از قوانین ذاتی موجود در جهان باشد. این امید هیچ مبنای منطقی قابل‌اثباتی ندارد. اما چنان که گفتم، این امید مبنای مشترک تمام پژوهشها و مدل‌سازی‌های علمی را تشکیل می‌دهد.
در عمل هم امکان پیش‌بینی جهان بر اساس قوانین تخمین‌خورده‌ی ذهنی ما، این امید را به شدت تقویت می‌کند که علم به راستی در راستای نزدیک شدن به قواعد رفتار عناصر سازنده‌ی جهان مادی گام برمی‌دارد.

با تکیه بر این زمینه‌ی نظری، بخشی از مفاهیم ارائه شده در این نوشتار روشن‌تر خواهد شد. هر مدل علمی، عبارت است از دستگاهی نمادین، ساده‌انگارانه، قانونمند، و سازگار با شواهد در دسترس. قانونمند بودن یک مدل،

۱- realist
۲- idealist
۳- utilitaristic

همان توانایی آن برای پیش‌گویی وقایع آینده است. هدف نهایی علم و مدل‌های علمی، این است که قانون ذاتی حاکم برگیتی را کشف کنند، و به این ترتیب قانونمندی حاکم بر مدل با قانونمندی حاکم بر جهان همریخت شود. اگر چنین اتفاقی بیفتد، پیش‌بینی علمی حالت ضرورت را به خود خواهد گرفت. دیوید لویس معتقد است که قانون، با این ضرورت هم‌ارز است. اگر یک تکه سنگ پس از رها شدن از یک بلندی سقوط می‌کند، نوعی ضرورت را آشکار می‌کند، و این ضرورت نهفته در قوانین فیزیکی، همان است که رفتار سامانمند و قانونمدار سیستم مورد نظر ما -سنگ و محیطش را- تعیین می‌کند.

اما مشکل در اینجاست که ما ضرورت علمی نداریم. یعنی هرگز قوانین علمی ما با آنچه که در جهان خارج هست یکسان نمی‌شود[۱]. آنچه که در علم مشاهده می‌کنیم و به آن دلخوشیم، تنها ضرورت آماری است. به این معنا که پیش‌بینی‌های ما همواره در چهارچوب آماری خاصی معنا دارند و همیشه آغشته به عوامل تصادفی هستند. پس باید پیش از هرچیز این را مشخص کرد که مدل ما هم مانند تمام مدل‌های موجود در جهان علم تنها به لحاظ آماری پیش‌بینی می‌کند و به دلیل فاصله‌ی زیاد سطح پیچیدگی مدل از پدیده‌ی مدل‌سازی شده (آگاهی)، خطای آماری معنادار در این پیش‌بینی‌ها هم بالا خواهد بود.

با توجه به مفاهیم یاد شده، چهار رویکرد در مورد قانونمندی آگاهی و ماهیت آن می‌تواند فرض شود.

نخست: تک‌انگاری قانونگرا[۲] که مدعی است قوانین حاکم بر آگاهی وجود دارند، و آگاهی را پدیده‌ای برآمده از سازوکار سیستم عصبی جانداران پیچیده می‌داند. رویکرد مرسوم و پذیرفته شده در جهان علم کنونی همین است و من هم در این نوشتار مدلی در این چهارچوب خواهم ساخت.

دوم: تک‌انگاری غیرقانونگرا[۳] که آگاهی را همان عملکرد مغز می‌داند اما به وجود قانون در رفتار آن باور ندارد. در این دیدگاه، ماده‌ی متحرک (که قانون مشخصی را هم پیروی نمی‌کند)، آفریننده‌ی واقعی آگاهی است. این نگرش چندان رایج نیست، و از میان صاحبنظران موضوع مورد علاقه‌ی ما، دونالد دیویدسون[۴] به آن گرایش دارد.

سوم: دوانگاری قانونگرا[۵] که وجود قوانین حاکم بر سیستم آگاهی را می‌پذیرد ولی هم‌ارز بودنش با عملکرد دستگاه عصبی را نادرست می‌داند. این رویکرد چندین نظریه‌ی نه چندان محبوب و کارگشا را پدید آورده است، از جمله اندرکنش‌گرایی[۶]، و موازی‌گرایی[۷]. پوپر و اکلز از معتقدان به دیدگاه نخست هستند که به زودی در مورد آن بیشتر نوشته خواهد شد.

چهارم: دوانگاری غیرقانونگرا[۸] که به وجود قانونِ حاکم بر رفتار پدیده‌ی آگاهی، و اینهمانی آن با کارکرد مغز باور ندارد. رویکرد سنتی دکارت به موضوع آگاهی از این دسته بود. امروز این نگرش به دلیل عقیم بودن از نظر پیشرفت شناخت، و ناتوانی در پیش‌بینی، طرفدار چندانی ندارد.

۱- دلایل زیادی برای این ادعا وجود دارد که ساده‌ترینش محدودیت دستگاه گیرنده و پردازنده‌ی اطلاعات ما، نسبت به کل محتوای اطلاعاتی هستی است.

۲- nomological monism

۳- anomalous monism

۴- Donald Davidson

۵- nomological monism

۶- interactionalism

۷- parallelism: یعنی این ایده که دو جهان مادی و غیرمادی به موازات هم وجود دارند و با هم اندرکنشی هم ندارند. اما روند وقایع در این دو جهان موازیست. مثل دو ساعت که با هم کوک شده باشند و هردو سر ساعت معینی زنگ بزنند.

۸- animalous dualism

۲-۴) راهکار:

شاید هیچ موضوعی به اندازه‌ی آگاهی مورد علاقه‌ی دانشمندانی با تخصص‌های متنوع قرار نگرفته باشد. در میان اردوگاه پرجمعیت زیست‌شناسان -با تخصصهای متنوعشان،- به ندرت شاخه‌ای دیده می‌شود که صاحبنظران آن در مورد آگاهی حرفی نزده باشند. فیزیولوژیست‌هایی مانند هوبل و ویسل، جنین‌شناسانی مثل دریش، کالبدشناسانی از قبیل برایتنبرگ، و جانورشناسانی مانند ارنست مایر در این زمینه قلم زده‌اند. از متخصصان ژنتیک و بیوفیزیک و بوم‌شناسی و تکامل هم حرفی نزنیم بهتر است.

نکته‌ی جالب این‌که در خارج از این اردوگاه -که تا حدودی آگاهی را غنیمت رشته‌ی خود می‌شمارند- هم لشکری از دانشمندان با تخصصهای گوناگون گرد آمده‌اند که به این موضوع ابراز علاقه می‌کنند. رویکردهای گوناگونی به آگاهی در میان سایر شاخه‌های دانش وجود دارد. روانشناسان، فلاسفه، زبانشناسان و جامعه‌شناسان از میان محققان علوم‌نرمتر، و متخصصین رایانه، فیزیک‌دانان، متخصصان نظریه سیستم‌های پیچیده، از میان دانشهای سخت‌تر وتحلیلی‌تر به این موضوع گرایش نشان می‌دهند و نظریاتی هم به جای خود طرح کرده‌اند که گاه از اهمیت فراوانی برخوردار است.

کل این نگرشهای متنوع وگوناگونِ موجود در مورد موضوع مورد بحثمان را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. گروهی مانند علوم نرم یاد شده -مثل روانشناسی- نگرشی از بالا به پایین[۱] را وجهه‌ی همت خود قرار داده‌اند و ذهن/آگاهی را چیزی مجزا فرض کرده و بعد برای توصیف و صورتبندی‌اش کوشیده‌اند. گروهی دیگر مانند پیروان دانشهای سخت -مثل نوروفیزیولوژی- برعکس این کار را انجام داده‌اند و رویکردی پایین به بالا[۲] را برگزیده‌اند. این گروه می‌کوشند تا آگاهی را به عنوان مفهومی تشکیل شده ازکارکردهای عناصر عصبی ساده‌تر تعریف کنند.

چگونگی عملکرد آگاهی پرسشی بزرگ است. این، شاید پیچیده‌ترین پرسش مطرح در جهان علم امروز باشد. مغز ما، که شناخته شده‌ترین جایگاه آگاهی است، پیچیده‌ترین سیستم شناخته شده در جهان نیز هست و رفتارهایی هم که از خود ظاهر می‌کند غریب‌ترین و شگفت‌آورترین پدیده‌های شناخته شده هستند. به همین دلیل هم در قلمرو علم، باید از تمام امکانات ممکن برای پرداختن به آن سود جست. این، دقیقاً اتفاقی است که دارد در قالب علوم میان‌رشته‌ای می‌افتد.

علوم میان رشته‌ای[۳]، رویکردهایی متنوع و پیچیده به موضوعاتی مانند آگاهی هستند، که از چندین نظرگاه می‌توان به آنها نگریست. هرگاه دستاوردهای تجربی، اطلاعات نظری، صورتبندی‌های ریاضی و مفاهیم موجود در چند رشته‌ی مستقل برای ساختن مدلی در مورد یک پدیده به کار گرفته شوند، چهارچوبی پدیدار می‌شود که همان علم میان‌رشته‌ای است. پرداختن به آگاهی هم تنها از راه یک رویکرد میان‌رشته‌ای ممکن است. شواهدی در زبانشناسی وجود دارد که گوشه‌ای از این غار تاریک و فراخ را روشن می‌کند، و مفاهیم خاصی هم هستند که در فلسفه و ریاضیات وجود دارند و در جای به خصوصی کارگشا می‌شوند. برای گلاویز شدن با غولی ناشناخته و غیرعادی مثل آگاهی، جنگجویی شایسته است که به تمام سلاح‌های شناسایی و ابزارهای آزمون ممکن مجهز باشد.

۱- top-down

۲- buttom-up

۳- interdisciplinary sciences

در نیمه‌ی قرن حاضر میلادی، زیست‌شناسی اتریشی به نام فون‌برتالنفی کتابی مهم به نام نظریه‌ی عمومی سیستم‌ها را به علاقمندان عرضه کرد که سنگ بنای جهشی در نظریات علمی نیمه‌ی دوم قرن بیستم شد. اکنون، بر آن پیِ محکم، ساختمانی بسیار بزرگ بنا شده است که با نام عمومی نظریه‌ی سیستم‌های پیچیده مشهور است. این نام در واقع مجموعه‌ای از نظریات با تنوع بسیار بالا را در بر می‌گیرد که در شاخه‌های گوناگونی از دانش توزیع شده‌اند. از فیزیک و شیمی گرفته تا جامعه‌شناسی، تاریخ و اقتصاد، بخشهایی وجود دارند که به مفاهیم سیستم‌های پیچیده می‌پردازند، و مجموعه‌ی این مفاهیم همان است که با نام یاد شده شهرت یافته است. نظریه‌ی سیستم‌های پیچیده، نمونه‌ای برجسته از علوم میان رشته‌ای است.

یکی از شاخه‌های مشهور نظریه سیستم‌های پیچیده، دانشی است که با نام عصب‌شناسی محاسباتی[۱] خوانده می‌شود. در این شاخه تلاش می‌شود تا دو رویکرد بالا به پایین و پایین به بالای یاد شده به موضوع آگاهی با هم متحد شود و تصویری یکدست و همگن از این پدیده را به دست دهد. نظریه‌ی یاد شده، از ابزارهایی مانند تحلیل پردازش اطلاعات، شبیه‌سازی رایانه‌ای سیستم‌ها، و ابزارهای محاسباتی برای تحلیل رفتارهای عصب‌شناختی استفاده می‌کند. این رساله، در چهارچوب دیدگاه یاد شده نوشته شده است و ابزارهای مورد بحث را هم برای پرداخت دقیق موضوع مناسب می‌داند. طبعاً امکان استفاده از تمام آنها برای ساختن مدلی از آگاهی برای یک نویسنده‌ی منفرد ناممکن است، اما تلاش خواهد شد تا جایی که مقدور باشد، گستره‌ی بهره‌گیری از ابزارهای محاسباتی فراختر باشد.

در عصب‌شناسی محاسباتی، دو گرایش عمده وجود دارد. نخست گرایش تحویل‌گرا، و دومی غیرتحویل‌گرا. بنیانگذاران این رویکرد به پدیده‌ی آگاهی، ادعا کرده‌اند که این چهارچوب نظری در نهایت امکان تحویل شدن تمام مفاهیم موجود در سطح آگاهی را به سطح عصبی را فراهم خواهد کرد. به گفته‌ی این صاحبنظران، علت ناکامی نظریات موجود در تحویل پدیده‌های سطح روانشناختی به عصب شناختی، تنها جوان بودن این دو علم است، و اگر زمان کافی بگذرد، همگرایی مشخصی در بین این دو رشته مشاهده خواهد شد، به طوری که در نهایت اطلاعات مربوط به سطح روانی کاملاً با واژگان سطح عصبی قابل بیان باشد (**Churchland.- 1993**)[۷۸]. به زودی خواهیم دید که این دید تحویل‌انگارانه مورد پذیرش نگارنده نیست، و تنها هم‌ارزی و یکتایی واقعی سطوح گوناگون پدیده‌ی منفرد مورد مشاهده، به عنوان یک امید علمی مورد قبول نگارنده‌ی این نوشتار است.

رویکرد دوم، به دانش هم‌افزایی مربوط می‌شود که کمتر از نیم قرن از عمرش می‌گذرد. این علم توسط دانشمندی به نام هاکن بنیان نهاده شد و تحویل‌ناپذیری پدیده‌های سطوح بالای پیچیدگی به سطوح پایین‌تر را می‌پذیرد. در این دیدگاه، کوشش می‌شود تا پدیدارهای پیچیده، در سطوح و زمینه‌های گوناگون، با معادلاتی سازگار و مشابه صورت‌بندی شوند. این رویکرد تا به حال بسیار زاینده بوده است و دستاوردهای مفیدی را هم در زمینه‌های گوناگون رفتار سیستم‌های پیچیده برجای گذاشته است (**Basar, Flohr & Haken.- 1983**)[۴۷]. با توجه به آنچه که تا اینجا گذشت، و ایراداتی که تحویل‌انگاری کلاسیک وارد کردیم، گرایش ما در این نوشتار به همین دیدگاه خواهد بود.

برایتنبرگ، که خود عصب‌شناس است، برای پرداختن به این پرسش، بیانیه‌ای صادر کرده است که سه اصل در آن ذکر شده است: نخست، حل‌پذیر بودن برخی از پرسشهای فلسفی و شناخت‌شناختی توسط علوم زیستی (فیزیولوژی اعصاب)، دوم، لزوم وجود چهارچوب ریاضی دقیق برای توصیف وتحلیل پدیده‌های مورد بررسی، و سوم، نقش کلیدی مفهوم پردازش اطلاعات در مدل‌هایی که قرار است رفتار آگاهی را توصیف کنند

۱- computational neurology

(**Braitenberg.- 1992**)[۶۲]. در این رساله، این سه اصل مورد پذیرش قرارگرفته است و تلاش بر این است تا بر همین مبنا عمل شود. البته ناگفته پیداست که مدل‌سازی کلان آگاهی کاری نیست که با ابزارهای ریاضی کنونی قابل‌انجام باشد. به همین دلیل هم مدل‌های کنونی همه حالت توصیفی دارند و جز در مورد کارکردهای خاص حالت تحلیل پیدا نمی‌کنند. در این نوشتار هم کارکردی خاص مانند پردازش بینایی به عنوان نمونه به صورت تحلیلی صورتبندی شده و کارکرد عام آگاهی تنها به صورت توصیفی مدلسازی شده است[۱].

چگونگی عمل آگاهی، چنانکه پیشتر هم مورد تأکید قرارگرفت. پرسشی است که به موجودات زنده مربوط است و باید با پشتیبانی کامل اطلاعات زیست‌شناختی و فیزیولوژیک پاسخگویی شود. اما این بدان معنا نیست که این اطلاعات و شواهد برای ساختن مدلی کارآمد از آن کافی هستند. فیزیولوژی اعصاب در پاسخگویی به پرسش آگاهی حرف اول را می‌زند، اما تنها حرف را نمی‌زند. در خودِ زیست‌شناسی، مدل‌سازی‌های تکاملی و نظریات رفتارشناختی کمکی غیرقابل‌چشم‌پوشی به درک بهتر آگاهی می‌کنند، و در سایر رشته‌ها هم سرنخ‌هایی از این دست فراوانند.

پرداختن به آگاهی، تنها در صورتی از دقت و شمول خرسندکننده برخوردار خواهد بود که در قالب پژوهشی میان‌رشته‌ای نگریسته شود. برای توصیف این پدیده، همانقدر به قضیه‌ی گودل نیازمندیم که به نظریه‌ی پردازش زبان طبیعی در تخصص رایانه، و همانقدر باید از اصول منطقی صحت تارسکی استفاده کنیم که از نظریه‌ی آشوبها و برخالها.

به این ترتیب، آشکار است که در این رساله تلاش خواهد شد تا از تمام دستاوردهای قابل حصول در علوم گوناگون برای رسیدن به مدلی از آگاهی استفاده شود. طبعاً به دلیل رشته‌ی نگارنده و زمینه‌ی آزمایشی معرفی شده، نوروفیزیولوژی در این میان به عنوان محور عمل خواهد کرد، اما در هیچ کجا از استفاده از مفاهیم سایر علوم که می‌توانند کارگشا باشند، کوتاهی نخواهم کرد. چهارچوب کلی بحث، نظریه‌ی هم‌افزایی و عصب‌شناسی محاسباتی خواهد بود، اما به دلیل کلان بودن پدیده‌ی مورد مشاهده، مدلی توصیفی از آن ساخته خواهد شد و برخی از پیامدها و نتایج تحلیلی آن -که دستگاه پیشنهادی را ابطال‌پذیر می‌کند- مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

---

۱ -یادآوری این نکته لازم است که تمام مدل‌های موجود چنین وضعی دارند و مدل مهم و مفیدی وجود ندارد که برای آگاهی معادله پیشنهاد کرده باشد.

بخش سوم) اصول نگرش سیستمی:

۳-۱) تعریف کلیدواژگان:

از آنجاکه ممکن است واژگان کلیدی مشهور و رایج در نظریه عمومی سیستم‌ها و دستگاه‌های کل‌گرا برای چشمان خوگرفته به سیستم‌های آموزشی اتم‌گرا ناآشنا جلوه کند، مفید دیدم تا در ابتدای مبحث، برخی از کلیدواژه‌های مهم به‌کارگرفته شده در متن را با مثال معرفی کنم تا درک نوشتار بهتر صورت گیرد. این تعاریف، با توجه به تعاریف رسمی و مشهوری که از واژگان مورد نظر در سایر زبانها وجود دارد، برگزیده شده‌اند، و فکر می‌کنم رسا باشند:

۱) سیستم: سیستم عبارت است از مجموعه‌ای از عناصر مادی مرتبط با هم، که بتوان بر اساس معیارهای ریختی یا رفتاری بین درون و برونشان حد و مرزی تشخیص داد. معمولاً مجموع این عناصر کارکرد مشخصی را انجام می‌دهد.

مثال: یک ساعت، یک سیستم است، چون می‌توان حد و مرزی مانند قاب و قالب آن را به عنوان جداکننده‌ی جهان پیرامونی از چرخ دنده‌های داخل آن، قرارداد کرد. یک درخت هم یک سیستم است، چون می‌توانیم حد فاصل جهان خارج آن، و محیط داخلیش را به طور نسبی تعیین کنیم. کارکرد این دو هم بسته به عناصرشان روشن هستند، یکی زمان را نشان می‌دهد و دیگری نورگواری[۱] می‌کند. در واقع، تمام واژگانی که به اشیاء و پدیده‌های ملموس فیزیکی اشاره می‌کنند، به نوعی سیستم محسوب می‌شوند.

۲) پویایی[۲]: عبارت است از مجموعه تغییرات اجزای سیستم در طول زمان.

مثال: رفتار هر سیستم زنده به نوعی پویایی آن سیستم است. در عمل تمام پدیده‌هایی که ما می‌بینیم پویایی‌های مربوط به سیستم‌هایی فیزیکی هستند.

۳) پیچیدگی[۳]: عبارت است از نوع و ترتیب روابط بین عناصر درونی یک سیستم. اگر بخواهیم از دیدگاه نظریه‌ی اطلاعات به این مفهوم نگاه کنیم، باید بگوییم پیچیدگی برابر است با تعداد بیت‌هایی که برای نوشتن دستور ساخت یک سیستم مورد نیازند. پیچیدگی براساس تعداد عناصر یک سیستم، نوع روابط بین این اجزا، و تنوع رفتاری سیستم (نسبت به تعداد عناصرش) شمارش‌پذیر می‌شود.

مثال: یک ساعت شماطه‌ای به دلیل داشتن تعداد بیشتری چرخ دنده، از یک ساعت آبی پیچیده‌تر است. هرچند ساعت آبی هم رفتاری شبیه به ساعت شماطه‌ای از خود نشان می‌دهد. همچنین یک شرکت که در آن ده نفر به صورت یک تیم ده نفره با هم یک کار را می‌کنند، از یک شرکت که از ده تیم یک نفره مجزا از هم تشکیل شده، پیچیده‌تر است، چون تعداد روابط در مورد دوم بیشتر است، حتی اگر بازده و تنوع کارکردی هر دو شرکت هم مشابه باشد.

۴) اطلاعات[۴]: کمیتی است قراردادی که پیچیدگی سیستم را با توجه به آن کمی می‌کنند. تعاریف فراوانی برای اطلاعات وجود دارد که در متون دیگر در موردشان نوشته‌ام (وکیلی.- ۱۳۷۷)[۳۳]. با تعاریف گوناگونی که از مفهوم اطلاعات شده است، محتوای اطلاعاتی پدیده‌های مادی گوناگونی را می‌توان سنجید.

مثال: اگر بدن یک انسان را یک محلول آبی کلوئیدی در نظر بگیریم، (که در یک معنا چنین هم هست) آنگاه می‌بینیم

۱- photosynthesis
۲- Dynamism
۳- Complexity
۴- Information

که در هر مقطع زمان برای تعریف مکان دقیق هر اتم در این محلول،به 10^{28} بیت اطلاعات نیاز داریم. مکان دقیق هریک از مولکول‌های بدن یک انسان را می‌توان با یک صدم این اطلاعات، یعنی با 10^{26} بیت بیان کرد (**Carlow et al.- 1976, Volkenstein et al.- 1982**). می‌توان به روش مشابهی، محتوای اطلاعاتی ژنوم انسان را هم محاسبه کرد. دربارهٔ تخمین‌های به دست آمده در این مورد بین پژوهشگران اتفاق نظر وجود دارد. مقدار اطلاعات موجود در ژنوم انسان -که دارای صدهزار ژن است،- حدود 10^{9} بیت تخمین زده می‌شود. در مورد باکتری‌ها این مقدار به یک صدم، یعنی 10^{7} بیت می‌رسد (**Carlow et al.-1976**)[۸۱].

مختصری از راهکارهای رایج برای محاسبه‌ی محتوای اطلاعاتی یک سیستم را در ضمیمه‌ی نخست خواهید دید.

۵) سطوح پیچیدگی: عبارت است از بزرگی معیارهایی که ما بر اساس آن سیستم را مورد مشاهده قرار می‌دهیم. سطوح پیچیدگی، همان مفهوم سلسله مراتب را در سیستم ایجاد می‌کنند. معیار معمول برای سنجش سطوح پیچیدگی یک سیستم، بزرگی عناصر آن است.

مثال: رفتار یک آدم، به عنوان یک جانور، پویایی سیستم زنده‌ی انسان را در یک سطح از پیچیدگی (مثلاً سطح متر) مطرح می‌کند، و رفتار تک تک یاخته‌های وی سطح دیگری از پیچیدگی را نشان می‌دهند. به همین ترتیب می‌توان شاخه‌های آشنای مطرح در زیست‌شناسی را به عنوان سطوح گوناگون توصیف رفتار در یک سیستم یکتا بازشناخت. یعنی می‌توان گفت سیستم پیچیده‌ای مانند انسان، دارای این سطوح پیچیدگی متفاوت است: ژنومی، یاخته‌ای، بافتی، دستگاهی، رفتاری، و جامعه شناختی.

۶) فضای حالت[۱]: اگر تمام متغیرهای موثر در پویایی سیستم مشخص شوند، و هریک به عنوان یک محور مختصات جداگانه در نظر گرفته شوند، از اتحاد این محورها، فضایی پدید می‌آید که فضای فاز نام دارد. اگر زمان هم یکی از این ابعاد باشد، هر نقطه بر این فضا، نشانگر حالت منحصر به فرد سیستم در یک مقطع خاص زمانی خواهد بود. به این ترتیب می‌توان تمام تغییرات پویایی سیستم را در این فضای فاز با یک نمودار وابسته به زمان نشان داد.

مثال: فرض کنیم که رفتار یک آمیب با صد عامل تغییر کند. عواملی مثل دما، فشار ترمودینامیکی مایع، سرعت سیال، فشار اسمزی درونی و برونی، غلظت قند در محیط، شدت نور، و.... حالا اگر ما فضایی صد بعدی را در نظر بگیریم که هر بعد آن نشانگر تغییرات یکی از این عوامل باشد، خواهیم توانست رفتار یک آمیب را در طول زمان، با ترسیم یک خط یکتا بر این فضا نشان دهیم. در صورتی که رفتار آمیب از قوانین و معادلات قابل‌درکی پیروی کند، این خط قابل‌بیان با معادله‌ای ریاضی خواهد بود.

۱- Phase space

۳-۲) انواع سیستم‌ها:

برای سیستم‌ها، تقسیم‌بندی‌های فراوانی فرض کرده‌اند. **Vitalist**های قرن هجدهم آنها را به دو دسته‌ی زنده و غیر زنده تقسیم می‌کردند، و کمی بعد روانشناسان مکتب گشتالت آنها را به دو دسته‌ی مجرد (مانند زبان) و مجسم (مانند یک یاخته) تقسیم کردند. در میان دیدگاه‌های نو، فون برتالنفی، همراه با صاحبنظران دانش ترمودینامیک، سیستم‌ها را به سه گروه باز، بسته، و منزوی تقسیم کرد. سیستم باز، بنابر این تقسیم‌بندی، سیستمی است که با محیط خود ماده و انرژی را تبادل کند. سیستم بسته، فقط انرژی تبادل می‌کند، و سیستم منزوی هیچ‌کدام از این دو نوع ماهیت را به خارج از خود منتقل نمی‌کند. آشکار است که مفهوم سیستم منزوی یک چیز ذهنی و نظری است و در جهان خارج مثالی ندارد. پس از بلوغ نظریه‌ی نسبیت و با توجه به اصل تبدیل ماده و انرژی، حتی سیستم بسته‌ی کامل را هم نمی‌توان فرض کرد، مگر آنکه ابتدا حد و مرز بین ماده و انرژی را به خوبی تعریف کنیم.

روش دیگر برای طبقه‌بندی سیستم‌ها، آن است که بر اساس رفتارشان آنها را از هم جدا کنیم. بر این مبنا، چهار نوع سیستم فرض کرده‌اند:

الف) سیستم‌های حافظ حالت: که نسبت به محرکهای ساده واکنشهایی نشان می‌دهد و حالت پایه‌ی خود را حفظ می‌کنند. مانند ترموستات.

ب) سیستم‌های هدف‌جو: که پویاییشان طوریست که می‌توانند بین چند حالت -بسته به شرایط محیط- یکی را انتخاب کنند. این نمونه‌ها هم به محرک پاسخ می‌دهند، اما واکنشهایشان خیلی پیچیده‌تر از مورد قبل است. مثل ماشین‌حساب.

پ) سیستم‌های چند هدفی: که می‌توانند برنامه‌ریزی شوند و بر اساس اهداف تعیین شده در ساختارشان، طوری عمل کنند که کار مشخصی انجام گیرد. این سیستم‌ها، به معنای واقعی کلمه عمل پردازش اطلاعات را در خود انجام می‌دهند. مثل رایانه.

ت) سیستم‌های آرمان‌مند: دارای اهدافی هستند که در درون خود سیستم‌شان تعریف می‌شود. نمونه‌ی مشهور از این سیستم‌ها، موجودات جاندار از جمله انسان است.

می‌بینید که با پیچیده‌تر شدن سیستم مورد مطالعه، تنوع رفتاری آن هم بیشتر می‌شود و به بیان دیگر دامنه پویایی‌اش گسترش می‌یابد.

یک تقسیم‌بندی دیگر هم وجود دارد که به افتخار دانشمند پیشنهاد دهنده‌اش، رده‌بندی بولدینگ[۱] نامیده می‌شود. بر اساس این پیشنهاد، نُه جور سیستم داریم: ۱) سیستم ایستا، مثل سنگ و بلور و تک مولکول، ۲) سیستم ساعت‌گونه، مثل ماشین‌های ساده‌ی معمولی، ۳) سیستم کنترلی مثل ترموستات، ۴) سازواره[۲]ی ساده مثل گیاه و تک‌یاخته‌ای، ۵) سازواره‌ی پیچیده مثل جانوران، ۶) سیستم خودآگاه مانند انسان، ۷) سیستم بوم‌شناختی، ۸) سیستم اجتماعی، و ۹) سیستم نمادین مثل زبان.

اگر بخواهیم تمام پیشنهاداتی را که برای دسته‌بندی سیستم‌های گوناگون وجود دارد در اینجا ذکر کنم، سخن به درازا می‌کشد، پس گفتار را کوتاه می‌کنم و همین مختصر را برای آشنا شدن با معیارهای رایج برای تقسیم‌بندی سیستم‌ها

۱- Bolding

۲- Organism

کافی می‌دانم.

سیستم، صرف نظر از درجه‌ی پیچیدگیش و جایگاهش در رده‌بندی‌های یاد شده، دارای سه نوع عنصر است. این سه عنصر عبارتند از ماده، انرژی، و اطلاعات.

شاید برای کسانی که به دیدگاه سنتی عادت کرده‌اند، شنیدن نام اطلاعات به عنوان یکی از عناصر بنیادین شکل‌دهنده به سیستم‌ها، غریب جلوه کند. اما همین نوآوری کوچک، یکی از شاه‌کلیدهای مهم موفقیت نظریه‌ی سیستم‌ها بوده است.

ماده، که تعریفی مشخص دارد. ساختارهای بنا نهاده شده بر نظام اتمی پذیرفته شده در فیزیک، زیربنای این شکل از "وجود" را تشکیل می‌دهند. انرژی هم که صورت فاقد جرم ماده است و در شکل چهار نیروی بنیادین فیزیکی (هسته‌ای قوی، هسته‌ای ضعیف، الکترومغناطیسی و گرانشی) وجود دارد. اطلاعات که بحث‌انگیزترین جنبه‌ی یک سیستم است، عبارت است از: *چینش اجزای مادی و انرژیایی در سیستم.*

یعنی شکل سازمان یافتن ماده و انرژی در قالب سیستم، اطلاعات است.

اطلاعات، با وجود تعریف مبهمی که در اینجا از آن به دست آمد، کمیت‌پذیر است. با توجه به دستاوردهای فیزیک نسبیت، بدیهی است که ماده، انرژی، و اطلاعات قابل تبدیل به یکدیگر هستند، و ظاهراً تمام جهان شناخته شده نیز از این سه عنصر تشکیل یافته‌اند.

جهان ما، در دید کل‌گرا، از بیشمار سیستم مجزا تشکیل شده است که هریک بنابر دید ناظر، و توانایی تشخیص حد و مرزها توسط او تعریف می‌شوند. هر سیستم، خود می‌تواند از چندین زیرسیستم دیگر تشکیل شده باشد، و همین روابط بین یک سیستم و اجزای درونی‌اش هستند که مفهوم سلسله مراتب را معنی می‌کنند. کل این سیستم‌ها -به دلیل باز بودن- با یکدیگر اندرکنش دارند و رفتار کلی‌شان تنها در سایه‌ی درک این روابط متقابل ممکن است.

هر سیستم، با توجه به تعداد، نوع و ترکیب عناصری که دارد، رفتاری ویژه را در طول زمان از خود نشان می‌دهد و صورتبندی کردن این رفتار در قالب معادلات ریاضی، چیزی است که مورد علاقه و توجه دانشمندان است. در واقع تمام تلاشهای دانشمندان در این راستاست که بتوانند قانونی (بخوانید معادله‌ای) را در میان آشفتگی رفتارهای فرعی سیستم تشخیص دهند و به کمک آن رفتار آینده‌ی سیستم را پیشگویی کنند.

جهانی که به این شکل در دیدگاه سیستمی تصویر می‌شود، کلیتی است یکپارچه و در هم تنیده. مجموعه‌ای از عناصر در هم‌پیوسته و مرتبط با هم، که هریک به طور موقت در قالب نظامهایی نسبی شکل پذیرفته‌اند، و مرتباً هم در حال دگرگونی و تغییر هستند. این تصویر از جهان، همان است که فیزیکدانانی مانند بوهم، آن را با عنوان جنبش کلی مورد اشاره قرار داده‌اند. این نوع نگرش کل‌انگارانه به جهان به ویژه در زمینه‌ی فیزیک زوایای تازه‌ای از برداشت ذهنی در مورد جهان را معرفی کرده است (**Bohm.- 1994**) در این برداشت‌ها، $\pi\alpha\nu\tau\alpha\ \rho\epsilon\iota$[1] به شکلی عریان در برابر ذهن پژوهشگران آشکار می‌شود.

در چنین چهارچوب متغیر و فارغ از قطعیتی است که مفاهیم مهمی مانند پیچیدگی و خودسازماندهی باید تعریف و درک شوند. زمینه‌ی نسبی و مبهم تعریف شده، در برابر گرفتن قطعیت و اعتماد به نفس پژوهشگر، درکی عمیقتر از پدیده‌های پیچیده را برایش به ارمغان می‌آورد، و تنها از این راه است که معمای پویایی شگفت‌انگیز سیستم‌های زنده، حل‌پذیر می‌گردد.

---

۱ - $\pi\alpha\nu\tau\alpha\ \rho\epsilon\iota$ همه چیز در جریان است. (جمله‌ی مشهور هراکلیتوس)

تا به حال با چند مفهوم آشنا شدیم. معلوم شد که سیستم، همواره دارای پویایی مشخصی است، و اینکه این پویایی از راه مدل فضای فاز قابل تحلیل و تصور است. هر مدلی، به نوعی با ساده‌انگاری عجین شده است. وقتی که ما از بین بیشمار متغیر موجود در جهان فیزیکی، تنها برخی را دست‌چین می‌کنیم و از آن برای تفسیر و پیشگویی پدیده‌ی مورد نظر استفاده می‌کنیم، در واقع به نوعی مشغول ساده کردن مشاهده‌ی خود هستیم. این نقص، امری است که در مورد همه‌ی تحلیل‌های علمی وجود دارد. تنها راه برای نمایش کاملاً دقیق پستی و بلندی‌های یک منطقه روی یک نقشه، این است که مقیاس نقشه‌مان برابر واحد باشد و این غیرکاربردی و بی‌معناست. مدل‌سازی هم به همین ترتیب مشکل ساده‌انگاری را دارد و راه گریزی هم از آن نیست.

برگردیم به همین مثال اخیر، می‌دانیم که دقیقترین نقشه‌ی ممکن از یک منطقه، عبارت است از نقشه‌ای که معیار سنجشش واحد باشد، یعنی به اندازه‌ی موضوع خود بزرگ باشد. به همین ترتیب هم می‌توان جهان را یک فضای فاز بسیار دقیق فرض کرد که تعداد ابعادش با متغیرهای *واقعی* موثر در رفتار نظامهای مادی برابر باشد. به این ترتیب می‌توان مشاهدات حسی معمول خود را در جهان، به عنوان پویایی سیستم کلی جهان در نظر گرفت، که در فضای فازی به ابعاد *واقعی* گسترده شده است.

نتیجه آنکه مفهوم فضای فاز مفهومی بسیار ملموس و حقیقی است. در آن حد حقیقی که جهان مادی کنونی را می‌توان دقیقترین بیان، و مدل‌های علمی را بیانهایی ساده‌انگارانه از آن در نظر گرفت.

۳-۳) هم‌افزایی:

$$\int x_i > \Sigma X_i$$

در سال ۱۹۷۱.م، یک فیزیکدان/زیست‌شناس آلمانی به نام هرمان هاکن[۱]، نامی را برای دسته‌ای از پدیده‌های سیستمی پیشنهاد کرد، که بعدها به عنوان یک شاخه از نظریه عمومی سیستم‌ها مورد استفاده قرار گرفت (**Haken & Graham.- 1971**)[۲۷]. نام پیشنهادی هاکن، **Synergism** بود. این واژه از دو بخش تشکیل شده است؛ **syn** (*συν* یونانی) که "باهم" معنا می‌دهد، و **erg** (*εργον* یونانی) که یعنی کارکردن.

این واژه، بعدها توسط طیف وسیعی از فیزیکدانان، زیست‌شناسان، هواشناسان، ریاضی‌دانان، و متخصصین رایانه به کارگرفته شد، تا مجموعه‌ای متنوع از علایق مربوط به سیستم‌های پیچیده را برچسب‌گذاری کند. سرعت رواج یافتن این واژه و مفاهیم مشتق از آن به قدری بالا بود، که یک سال بعد، -یعنی در سال ۱۹۷۲.م- نخستین گردهم‌آیی جهانی هم‌افزایی، در آلمان برگزار شد.

این واژه، به زودی با برخی از اصطلاحات قدیمی‌تر پیشنهاد شده برای نامگذاری پدیده‌هایی مشابه در هم آمیخت، و یک نظام دقیق علمی از واژگان و مفاهیم آزمایش‌پذیر را تشکیل داد. از جمله واژگان دیگری که پیش از نام هم‌افزایی پیشنهاد شده بودند و جذب پیکره‌ی آن شدند، می‌توان مفهوم خودآفرینی[۲] را ذکر کرد. این مفهوم برای بار نخست توسط دانشمندان زیست‌شناس و شیمیدان شیلیایی پیشنهاد شد و مفهومی نزدیک به "نیروی زنده"ی مطرح در **vitalism** را می‌رساند. کلیدواژه‌های دیگری که در این میان وارد نظریه‌هم‌افزایی شده‌اند، آشوب[۳]، برخال[۴]، نظریه هرج و مرج[۵]، و خودسازماندهی[۶] است.

این آش شله‌قلمکار که ملغمه‌ای از تازه‌ترین دست‌یافته‌ها و مفاهیم علمی بود، به زودی به عنوان یکی از نیرومندترین رویکردهای کل‌گرا مطرح شد. رویکردی که به زودی توانست نظامی سازگار از تجربیات و شواهد را، به همراه روش‌شناسی ابطال‌پذیر و دقیقی به جهان دانش ارائه کند. هانری لِبِسگ[۷]، که در مورد روش‌شناسی علمی خیلی حساس بود، معتقدبود که وضع واژه‌ی جدید فقط وقتی مفید است که مفهومش وجود داشته باشد، اما هنوز در قالب یک واژه دسته‌بندی نشده باشد. به بیان دیگر، یک پژوهشگر تنها وقتی مجاز به وضع واژگان جدید است، که ناچار باشد. مفهوم هم‌افزایی ،در طول دوران کوتاه عمر خود نشان داده است که بر اساس یک نیاز ایجاد شده است. چرا که در مدتی به این کوتاهی، اینهمه مفاهیم نو و پدیده‌های عام در ارتباط با آن شناخته شدند و به این سرعت چهارچوبی معنایی را برای طراحی آزمونهای جدید پیشنهاد کرد.

هم‌افزایی، در بسیاری از موارد مدعی جانشینی دیدگاه سنتی تحویل‌گرا است. با این وجود اهمیت و کاربرد این

۱- Heman Halen

۲- Autopoiesis: از ریشه‌ی یونانی *αυτο* (خود)، و *ποιεσιο* (آفریدن، ساختن).

۳- Chaos

۴- Fractal

۵- Catastroph theory

۶- Self organization

۷- Hanry Lebesge

روش قدیمی‌تر را در بهره‌برداری فنی و تحلیل سیستم‌های ساده نفی نمی‌کند.
اگر بخواهیم بین این دو نگرش داوری کنیم، باید به خصوصیات بنیادی هریک توجه کنیم. ویژگی‌های دیدگاه تحویل‌گرا را می‌توان به این ترتیب خلاصه کرد: اعتقاد به ساده‌تر شدن پدیده‌ها در سطوح خُرد، چشمداشت بازیابی پدیده‌های سطوح کلان در سطوح خرد، و جبرانگاری.
دیدگاه کل‌انگار موسوم به هم‌افزایی هر سه فرض یاد شده رامردود می‌داند، و به این ترتیب به نوعی سلسله مراتب در سطوح مشاهده قایل است. سلسله مراتبی که طبیعی و ذاتی است و پدیده‌های موجود در هریک را نمی‌توان با روندهای سطوح دیگر هم‌ارزگرفت، هرچند می‌توان آنها را به کمک یکدیگر توضیح داد. بنابر دیدگاه پریگوژین -از بنیانگذاران این نوع نگرش،- سه سطح از توصیف پدیده‌ها در فیزیک قابل فرض است:

نخست) سطح نیوتونی: که صفات کلیدی مطرح در آن عبارتند از جرم و سرعت، که به یک تک ذره منسوبند و این تک ذره هم به نوبه‌ی خود عنصر پایه‌ی توضیح پدیده‌ها در این سطح است. این دیدگاه تنها به پدیده‌های ساده‌ی موجود در سطح خرد توجه دارد و تنها اندرکنشهای دو به دوی ذرات را در نظر می‌گیرد. در این سطح اندرکنش جمعی از ذرات، برابر است با حاصل جمع اثرات دو به دوی آنها بر هم. این سطح با پدیده‌های مشتق از اعمال خارجی نیروی اجسام بر هم سر وکار دارد و همه‌ی روندها در ان برگشت‌پذیرند. یعنی روابط فیزیکی قابل‌صورتبندی در آن نسبت به محور زمان متقارنند.

دوم) سطح ترمودینامیکی: که مفاهیم مهم تعریف شده در آن عبارتند از فشار و دما. این سطح به بررسی پدیده‌ها در سطح کلان می‌پردازد و روابط بین مواد را آماری و کلی در نظر می‌گیرد. در این سطح روابط دو به دوی اجسام مطرح نیستند و تنها رفتارهای جمعی اهمیت دارند. زمان در این سطح متقارن نیست و سیستم‌ها تفاوتهایی برگشت‌ناپذیر را با گذر زمان تجربه می‌کنند.

سوم) سطح سیستم‌های باز: که مفاهیمی مانند خودسازماندهی و دوشاخه‌زایی و همه‌ی آنچه که تا اینجا تعریف کردیم در آن معنا می‌یابد. در این سطح سیستم‌های باز انتشاری[1] اهمیت دارند و روندهای کل‌گرایانه‌ی قابل‌مشاهده در آنها به سطوح زیرین توصیف پیوند می‌خورد. تمام سیستم‌های مطرح در این سطح در حالتی غیرمتعادل به سر می‌برند و در طول زمان پویایی پیچیده‌ای از خود نشان می‌دهند.

چنان که گفتیم، پریگوژین این سه سطح را به عنوان توصیفاتی غیرقابل تحویل به هم در نظر گرفته است. او برای توجیه علت این تحویل‌ناپذیری، دلایل جالبی پیشنهاد می‌کند. به نظر او، شکست تقارن علت اصلی تحویل‌ناپذیر بودن پدیده‌ها در این سطوح متوالیست. درگذر از سطح نیوتونی به ترمودینامیکی، تقارن در زمان می‌شکند و ناوردایی معادلات بیانگر رفتار سیستم‌ها نسبت به زمان از بین می‌رود. به همین ترتیب درگذار از سطح ترمودینامیکی به سطح سیستم‌های باز، تقارن در فضا می‌شکند و معادلات برای بخشهای گوناگون درون و برون سیستم تفاوت می‌کنند. گذار اول، که زمان را به عنوان یک کمیت بنیادی وارد کار می‌کند، همان است که در تاریخ علم به مفهوم علیت ساده و خطی شکل داده است، و گذار دوم، همان است که نظریه‌ی سیستم‌های پیچیده را بنا نهاده و ما را ناگزیر کرده تا در مفهوم علیت و تقارن تجدید نظر کنیم.

امروز در قلمرو دانش هم‌افزایی، سه مکتب اصلی وجود دارد:

۱) مکتب بلژیکی: این مکتب که توسط یک فیزیکدان روس به نام پریگوژین[2] بنیان نهاده شده، تمرکز خود را بر روی

۱- Dissipative system

۲- Prigogine

پویایی سیستم‌های باز قرار داده، و چگونگی پدید آمدن ساختارهای ناهمگن، از شرایط اولیه‌ی همگن را در این سیستم‌ها مورد بررسی قرار می‌دهد. بخش مهمی از دستاوردهای کلیدی دانش هم‌افزایی از این مکتب برخاسته است.

۲) مکتب آلمانی: که مکتب حرکتی[۱] هم نامیده می‌شود و بنیان‌گذار آن همان هاکنِ نامدار است، بیشتر به چگونگی همکاری بخشهای مختلف یک سیستم پیچیده، و چگونگی شکل‌گیری رفتارهای غیرقابل‌تحویل در آنها می‌پردازد. بخش مهمی از تمرکز علاقمندان به این مکتب بر دستگاه عصبی و نمودهای رفتاری آن اختصاص یافته است.

۳) مکتب روسی: که مکتب پویا[۲] هم خوانده می‌شود، بیشتر ریاضیدانان را در بر می‌گیرد، و به کسانی مربوط است که بر تحلیلهای ریاضی غیرخطی و آشوبناک تأکید می‌کنند و به ویژه به پدیده‌های فیزیکی موسوم به نوسانات غیرخطی[۳] توجه نشان می‌دهند. این نوسانات می‌توانند طیف وسیعی از رفتارهای به ظاهر ساده‌ی سیستم‌های پیچیده را در برگیرند.

آنچه که در درک نظریه‌ی هم‌افزایی اهمیت دارد، تمرکز توجه بر مفهوم کل، و نقش کلیدی روابطی است که عناصر موجود در یک سیستم را به هم متصل می‌کنند. همه‌ی ما به خوبی می‌دانیم که ۴=۲+۲، اما معمولاً آنقدر به اعداد ۲ و ۲ توجه می‌کنیم که نقش کلیدی + (یعنی روابط) را از قلم می‌اندازیم. مثالهای زیادی در زیست‌شناسی وجود دارد که اهمیت اندرکنشهای موجود بین عناصر یک سیستم را در تعیین پویایی آن نشان می‌دهد.

نمونه‌های برجسته‌ای از این قضیه توسط رفتارشناسان معرفی شده است. مثلاً نشان داده شده که در یک جامعه از میمونهای رزوس[۴]، رفتار اجتماعی جفت‌های دوتایی تعیین کننده‌ی موقعیت اجتماعی یک میمون در کل جمعیت نیست. یعنی اگر ما تمام اطلاعات مربوط به ارتباطات دو به دوی افراد را داشته باشیم، باز هم نمی‌توانیم موقعیت اجتماعی یکی از میمونها را قبل از مشاهدات مستقیم پیش‌بینی کنیم (Wilson.- 1995)[۳۲۸].

کوان ریاضی کوچکی که در ابتدای این بخش آمد هم در واقع بیانی ساده از همین حرفها بود. شاید بتوان این چند نماد راضی را چنین ترجمه کرد: *کل از مجموع اجزا بزرگتر است.*

در پدیده‌های هم‌افزا، چند کلیدواژه‌ی مهم داریم که باید پیش از پرداختن به بحثهای تخصصی‌تر، با آنها آشنا شویم. در ادامه‌ی این بخش برخی از مفاهیم پایه و مهم موجود در نظریه‌ی هم‌افزایی تعریف خواهند شد و با مثالهایی کاربردهایشان آشکار می‌گردد. هریک از این مفاهیم محتوای اطلاعاتی فراوانی دارد و به ازای هریک چندین جلد کتاب می‌توان معرفی کرد که به طور تخصصی به جنبه‌ی خاصی از آن پرداخته باشد. پس باید به این نکته توجه داشت که آنچه در اینجا میگذرد چیزی جز یک مرور سریع نیست. کلیدواژه‌ها و مفاهیم معرفی شده در این بخش در نهایت به کار ساختن مدل مورد علاقه‌ی ما خواهند آمد، و بنابراین درک کامل مفهومشان برای وارد شدن به فصول پایانی نوشتار ضروری است.

۱- kinetic

۲- dynamic

۳- Nonlinear oscilation

۴- Rhesus

۳-۳-الف) تقارن:

نخستین کلیدواژه‌ی قابل‌توجه در این زمینه، مفهوم تقارن است. تقارن، در فارسی از ریشه‌ی عربی قَرَن مشتق شده، که مفهوم یکسان نمودن و به دقت شبیه بودن را می‌دهد. همتای اروپایی این واژه **Symmetry** است که از **sym** ($\sigma\iota\mu$ یونانی) به معنای "هم" و "یکسان" و **metry** ($\mu\varepsilon\tau\rho\iota$ لاتین) به معنای "اندازه‌گیری" و "سنجش" مشتق شده است. من در نوشتار دیگری به طور مفصل‌تر به مفهوم تقارن و نمودهای آن در زیست‌شناسی پرداخته‌ام (وکیلی.- ۱۳۷۶)[۳۰] و دیگر در اینجا تکرار مکررات نمی‌کنم، فقط سرنخی به دست می‌دهم تا در پرتو آن بتوان باقی مبحث را درک کرد.

تقارن عبارت است از ناوَردایی نسبت به تبدیلی خاص. یعنی، اگر ما بر یک سیستم، تبدیلی ویژه -یعنی تغییراتی قانونمند- را تحمیل کنیم، و خاصیتی از آن سیستم، نسبت به محوری قراردادی تفاوت مشخصی نشان ندهد، آنگاه می‌گوییم آن خاصیت سیستم نسبت به آن محور و آن تبدیل، متقارن بوده است.

مثال: اگر یک دایره را نسبت به محوری که عمود بر سطح آن، از مرکزش می‌گذرد، به اندازه‌ی α درجه دَوَران بدهیم، می‌بینیم که شکل هندسی آن هیچ تفاوت محسوسی از خود نشان نداده است، به این ترتیب می‌توانیم بگوییم شکل دایره در برابر دوران به مقدار دلخواه، نسبت به محور مرکزش، متقارن است. این در واقع همان تعریفی است که به طور مختصر در ریاضیات و هندسه با آن سر و کار داریم و زیست‌شناسان هم در قالب ریخت‌شناسی با عنوان تقارن مرکزی به آن برمی‌خورند.

در ریاضیات تعبیرات و تعاریف فراوانی از مفهوم تقارن وجود دارد و به همین ترتیب در فیزیک هم ردپاهای این مفهوم را می‌توان به خوبی بازیافت. در واقع، می‌توان تمام قوانین فیزیکی را بر اساس نوع و درجه‌ی تقارنی که بیان می‌کنند، دسته‌بندی کرد. این همان کاری است که گفتیم پریگوژین انجام داده است. موازی با مفهوم انتزاعی و معادلاتی تقارن، این مفهوم را می‌توان در اجسام فیزیکی و سیستم‌های مادی هم بازیافت. هرچه تقارن موجود در یک سیستم بیشتر باشد، پیچیدگی آن کمتر است، و مقدار اطلاعات درون ساختار یک سیستم، که همان پیچیدگی آن باشد، توسط شکست تقارن تولید می‌شود. در عمل سیستم‌هایی که اطلاعات (بخوانید پیچیدگی) بیشتری دارند، بیشتر از حالت متقارن پایه فاصله دارند و پیش‌بینی‌شان به همین دلیل دشوارتر است. ساده‌ترین سیستم‌ها، سیستم‌های گازهای ساده هستند که رفتاری آماری و قابل‌پیش‌بینی دارند. همانطورکه از قانون دوم ترمودینامیک به یاد داریم، این سیستم‌ها در طول زمان به سوی حداکثر بی‌نظمی، یا کمترین مقدار اطلاعات ممکن، یا تعادل ترمودینامیکی پیش می‌روند. این نقطه‌ی تعادل ترمودینامیک همان است که بیشترین مقدار تقارن را در خود دارد.

به بیان دیگر، برای هر سیستمی محتمل ترین حالت، وضع تعادل ترمودینامیک با محیط است، که در ضمن کمترین پیچیدگی و بیشترین مقدار همگنی (یا تقارن) را در خود دارد. (**Nicolis.- 1986**)[۲۴۴]. در واقع، تقارن نهفته در دل قوانین و سیستم‌های فیزیکی، نشانگر منظم و قانونمند بودن آنهاست. اینکه عدد تقارنی یک سیستم فیزیکی چقدر باشد، تا حدود زیادی تعیین کننده‌ی این است که با دانستن شرایط اولیه‌اش تا چه اندازه می‌توان به امکان پیش‌بینی رفتار آینده‌ی آن خوشبین بود (**Nicolis.- 1986**)[۲۴۴].

درکنار مفهوم تقارن، مفهوم دیگر هم تعریف می‌شود، که عبارت است از شکست تقارن. شکست تقارن، عبارت است از انحرافات قابل سنجش، از حالت پایه‌ی متقارن، در یک سیستم. هرنوع ناوردایی در صورتبندی پویایی درونی

سیستم، نوعی تقارن محسوب می‌شود، و بنابراین نقض هریک از این معادلات تقارنی نوعی شکست تقارن است. شکست تقارن به چندین شکل و بر اساس چندین الگو میتواند صورت گیرد، که هریک را به نام و تعریفی خاص از دیگری متمایز می‌کنند. من در اینجا زیاد به این تعاریف نمی‌پردازم و علاقمندان را به فهرست مراجع حواله می‌کنم.

در مورد مفهوم تقارن در سیستم‌های زنده (به ویژه از دید ریخت‌شناسی) بسیار نوشته شده است. من در اینجا قصد ندارم به طور مفصل به این مبحث بپردازم، پس فقط به ذکر این نکته اشاره می‌کنم که تقارن، مفهومی بسیار بنیادی و پایه‌ای در پویایی رفتاری و ریختی سیستم‌های زنده است و آن را در تمام سطوح سلسله مراتبی موجودات زنده می‌توان بازیافت. تنها به عنوان یک مثال، به یافته‌های جدید ژنتیک اشاره می‌کنم که از وجود ژنهای خاص موثر در تقارن شعاعی گل‌ها در گیاهان گلدار خبر می‌دهند. گیاهان گلدار، دو نوع ریخت تقارنی دارند. یا حالت **Actinomorph** دارند، یا **Zygomorph**. حالت نخست در دولپه‌ای‌ها دیده می‌شود و همان نوعی است که تعداد عناصر گل در آن از مضارب پنج تشکیل شده‌اند. نوع دوم حالتی ثانویه است که چندین بار در نهاندانگان تکامل یافته، و با شکست تقارنی در نوع **actinomorph** همراه است. ژن **cyc** که این شکست تقارن را پدید می‌آورد، برای اولین بار در گل میمون **Antirhinum majus** کشف شد و بعد به تدریج در سایر تیره‌های گیاهان، (مانند **Orchidacea Labiatae, Scrophulariacea, Leguminacea**) هم ردیابی شد. ژنهای دیگری هم از این خانواده کشف شده‌اند که کارکردی مشابه دارند. **divaricata**، **dieh** و **rad** نمونه‌های مشهور این ژنهای تقارنی هستند. این شواهد، نشان می‌دهند که تقارن ریختی دست کم در برخی از موجودات نه تنها به عنوان یک پدیده‌ی هم‌افزای منتج ازکل سیستم، بلکه به صورت اطلاعات مجزا و مستقل وراثتی هم در درون ساختار زنده کدگذاری می‌شود (**Cronk.- 1997**)[۸۶].

۳-۳-ب) دوشاخه‌زایی:

یک مفهوم کلیدی دیگر، دوشاخه‌زایی[۱] است. دوشاخه‌زایی، پدیده‌ای است که در قالب نظریه‌ی خاصی به نام نظریه‌ی دوشاخه‌زایی مورد تحلیل قرار می‌گیرد، و بیش از هرچیز به الگوهای شکست تقارن توجه دارد. دوشاخه‌زایی، عبارت است از انتخابی که پویایی سیستم، از میان دو یا چند گزینه انجام می‌دهد. یک سیستم ساده مثل یک پرتابه‌ی ساده را مجسم کنید که در هر مقطع زمان تنها یک گزینه برای لحظه‌ی بعد دارد. یعنی حالت لحظه‌ی $t+1$ سیستم، توسط حالت و پویایی لحظه‌ی t کاملاً تعیین شود. این یک سیستم علّی ساده و جبریست که در فیزیک کلاسیک زیاد مورد بحث قرار می‌گیرد. چنین سیستمی، هیچ شانسی برای تجربه کردن دوشاخه‌زایی ندارد. اما در مقابل آن، به سیستمی پیچیده مثل یک آمیب توجه کنید. پویایی هرلحظه‌ی آمیب، علاوه بر عوامل موثر درگذشته‌ی آن، تا حدودی هم در درون خود سیستم تعیین می‌شوند. مثلاً یک آمیب ممکن است در برخورد با یک تکه شکر، آن را با بیرون دادن پای کاذب جذب کند، یا اینکه بی‌توجه به آن ازکنارش بگذرد. در اینجا دیگر قطعیت قابل‌مشاهده در سیستم ساده وجود ندارد، و در هر مقطع زمانی، چندین گزینه‌ی رفتاری برای پویایی سیستم قابل‌تصور است. تا وقتی که سیستم به لحظه‌ی t، که این تنوع رفتاری در آن قابل‌انتظار است نرسیده، رفتاری خطی و غیرانتخابی دارد. برای او، -قبل ازاینکه به لحظه‌ی t برسد،- همه‌ی گزینه‌های موجود در آینده هم‌ارز هستند. به این ترتیب، تا قبل از لحظه‌ی دوشاخه‌زایی، گزینه‌ها برای سیستم ناوردا، و بنابراین متقارنند. اما پس از فرا رسیدن لحظه‌ی t، سیستم به ناچار یکی از

۱- Bifurcation

راه‌های پیش رویش را برمی‌گزیند و به این ترتیب در عمل تقارن موجود بین گزینه‌ها را می‌شکند. ناگفته پیداست که نام دوشاخه‌زایی چندان هم گویا نیست. چون در عمل معمولاً تعداد گزینه‌های پیش روی سیستم، بیشتر از دوتا هستند. اما چون معمولاً در نمودارها پویایی مربوطه را با خطی دوشاخه نشان می‌دهند، پیشوند **bi** (=دو) را برای نامیدنش به کار گرفته‌اند. این امر بدیهی به نظر می‌رسد که هرچه فاصله‌ی سیستم از نقطه‌ی تعادل ترمودینامیکی بیشتر باشد، امکانات در دسترس سیستم، به صورت تعداد بیشتر تعداد شاخه‌های موجود، هم بیشتر خواهند بود.

لازم به ذکر است که در مورد ماهیت دوشاخه‌زایی و تقارن یاد شده هم چندین دیدگاه متفاوت وجود دارد. گروهی بر این باورند که تقارن مورد نظر در ذات رفتار سیستم وجود دارد و به این ترتیب رفتار کلی برخی از سیستم‌ها را ذاتاً غیرقابل‌پیش‌بینی و جبری می‌دانند. در مقابل گروهی دیگر هستند که این عدم‌قطعیت را ناشی از نقص دانش ما می‌دانند و نوعی حالت جبری بنیادی را برای روندهای مادی قایلند. ایین تفاوا آرا، در واقع نمودی از همان اختلاف نظر مشهور فیزیکدانان در مورد اصل عدم‌قطعیت است که ذکرش گذشت. در این میان من خودم بیشتر به دیدگاه نخست علاقه دارم، یعنی برخی از رفتارهای سیستم‌های پیچیده را با چشمداشت به نظریه‌ی رویدادهای هرج و مرج‌گونه به طور بنیادی غیرقابل‌پیش‌بینی می‌دانم.

دوشاخه‌زایی همواره در سیستم‌هایی که از حد مشخصی پیچیده‌تر باشند رخ می‌دهد. این سیستم‌ها در حالت پایه‌ای از تعادل قرار دارند، و در اثر تغییراتی معمولاً اندک، از این تعادل اولیه خارج می‌شوند و ناچار می‌شوند به یکی از چند حالت تعادلی تازه‌ی پیش رویشان وارد شوند. در نظریه‌ی دوشاخه زایی، این ورود را با تعریف سه مرحله مشخص می‌کنند:

نخست) مرحله‌ی پیش از دوشاخه‌زایی[1]: در این حالت هنوز پاسخ سیستم به تغییرات محیطی خطی است و در برابر محرکهای مشخص، پاسخهایی قابل‌پیش‌بینی را نشان می‌دهد. این خطی بودن رابطه‌ی بین محرک و پاسخ، تنها در دامنه‌ی محدودی از شرایط محیطی امکان دارد، و پس از آن علیت ساده‌ی مورد نظر از بین می‌رود.

دوم) مرحله‌ی دوشاخه‌زایی[2]: در این حالت، شرایط مرزی مشاهده می‌شود. یعنی تغییرات محیطی به مرزهای دامنه‌ی یاد شده نزدیک می‌شوند، و هنگام رسیدن به تغییرات آستانه‌ای که غیرخطی شدن رابطه‌ی بین محرک و پاسخ را موجب می‌شوند، پدیده‌ی دوشاخه‌زایی را ایجاد می‌کنند. در این حالت، به دلیل شدید بودن تغییرات تحمیل شده از سوی محیط، سیستم ناچار می‌شود برای رسیدن به حالت تعادل، یکی از دو یا چند گزینه‌ی ممکن در مقابلش را انتخاب کند. یا به بیان دیگر، به یکی از چند حالتی که برایش ممکن است، وارد شود. اینکه سیستم کدام حالت را انتخاب می‌کند و در اثر تغییرات مرزی وارد کدام نوع از پویایی‌های ممکن می‌شود، تا حدودی آشوبناک است، و قابل‌پیش بینی نیست. تعیین دقیق این انتخاب، وابسته به شناخت کامل شرایط اولیه‌ی سیستم است، که هرگز برای ابزارهای شناسایی مملو از عدم قطعیت ما ممکن نیست. این حساسیت به شرایط اولیه، یکی از ویژگی‌های سیستم‌های دوشاخه‌زاست.

سوم) مرحله‌ی پس از دوشاخه‌زایی[3]: در این حالت، سیستم وارد حالت تعادلی جدید می‌شود که می‌تواند انواع مختلف داشته باشد. ممکن است سیستم رفتارهای نوسانی و دوره‌ای، یا آشوبناک از خود نشان دهد، و یا اینکه بار

۱- Prebifurcation stage

۲- bifurcation stage

۳- Postbifurcation stage

دیگر در مسیری خطی عمل کند. در نهایت، پویایی آینده‌ی سیستم همیشه در اطراف یک بستر جذب[۱] نوسان خواهد کرد.

بر اساس مفهوم دوشاخه‌زایی، عبارت دیگری قابل‌تعریف خواهد بود، که ما در اینجا آن را حافظه‌ی سیستم می‌نامیم.

اگر سیستمی که یک یا چند مرحله‌ی دوشاخه‌زایی را تجربه کرده است، در شرایطی قرار بگیرد و ناچار شود به حالات تعادلی پیشین خود بازگردد، روندی را برمی‌گزیند که در واقع عکس مسیر رفتنش است. یعنی سیستم به هنگام روبرو شدن با شرایط ضدتعادلی، بار دیگر همان شاخه‌ای را برای برگشت انتخاب می‌کند که یکبار در گذشته از آن عبور کرده بود. به این ترتیب، سیستم پیچیده دارای نوعی حافظه است، یعنی می‌تواند گذشته‌ی خود را به یاد آورد. یادآوری این نکته در اینجا مهم است که این گزاره را نباید به معنای امکان بازگشت دقیق در جهت عکس محور زمان در نظر گرفت. آچه که سیستم در حال برگشت به حال تعادلی اولیه‌ی خود تجربه می‌کند، تنها حالتی شبیه به حالت رفت است، و نه همان حالت نخست. پس حافظه‌ی سیستم حالت کلان و آماری دارد و تنها در کلیات گذشته را به یاد می‌آورد.

سیستم، در هر لحظه، وابسته به شرایط زمانی مکانی خاص خود، تنها یک مرجع برای تعیین رفتارهایش می‌شناسد، و آن هم حالت درونی خودش است. یعنی رفتار هر سیستم در لحظه‌ی $t+1$ تنها وابسته به رفتار آن سیستم در لحظه‌ی t است، و مرجع خارجی‌ای مهمتر از خود سیستم نمی‌توان در نظر گرفت. این توانایی سیستم برای سنجیدن شرایط آینده، نسبت به حالِ خود را ارجاع به خود[۲] می‌نامند.

سیستمی که خاصیت ارجاع به خود را دارد، به هنگام تجربه‌ی حرکت برگشتی، پدیده‌ای به نام **hysteresis** را از خود ظاهر می‌کند. این واژه به ثابت بودن الگوهای رفت و برگشت سیستم در جریان تغییرفازهای برگشتی دلالت دارد، و در واقع نوعی از ناوردایی نادقیق را بیان می‌کند. سیستم چنان که گفتیم می‌تواند در جریان برگشت خود از روند رفتی خود فاصله بگیرد، اما در نهایت همواره الگوی کلی دوشاخه‌زایی معکوس خود را حفظ می‌کند، این حفظ الگو، همان **hysteresis** است. در واقع این واژه به مفهوم بازآرایی عناصر تشکیل دهنده‌ی سیستم در حال تغییر، در آرایشی نزدیک به تجربیات قبلیش است.

در زمینه‌ی دوشاخه زایی یک مفهوم دیگر هم باید عنوان شود، و آن هم عبارت است از تولید بیشینه‌ی بی‌نظمی[۳]. این به مفهوم این است که سیستم به هنگام دوشاخه زایی بیشینه‌ی آنتروپی ممکن را در جریان واکنشهای درونی خود تولید می‌کند. به عبارت دیگر، تغییر فاز در سیستم همواره با تغییرات شدید آنتروپی -معمولاً مطابق با قانون دوم ترمودینامیک- همراه است. برعکس این گزاره هم راست است. یعنی سیستمی که در حالت تعادلی یا نزدیک به تعادلی باشد مقدار بسیار اندکی بی‌نظمی تولید می‌کند.

به عنوان یک مثال در این مورد، بد نیست به یک پدیده‌ی آشنای زیستی، یعنی تخم‌مرغ (!) اشاره کنیم. می‌دانیم که روند رشد وزنی جنین جوجه در مدت بیست و یک روزی که در درون تخم می‌گذراند، با گذشت زمان پرشتاب‌تر می‌شود. و این یک قاعده‌ی کلی برای تمام مهره‌داران است. از سوی دیگر می‌دانیم که مهمترین نمود آنتروپی در سیستم‌های بیوشیمیایی، گرماست. چون در واقع گرما عبارت است از انرژی هدر رفته و دفع شده از سیستم (به

۱- Basin of attraction بخشی از فضای فاز سیستم که نمایانگر مجموعه نقاط تعادلی ممکن برای سیستم (گزینه‌های ممکن) است. نمودار پویایی ممکن در این بخش را بستر جذب (Attractor) می‌نامند.

۲- Self referenciality

۳- Maximum Entropy Priduction

صورت تحرکات کاتوره‌ای مولکولی)، که هم‌ارز بی‌نظمی افزوده شده بر سیستم است.
حالا به این اعداد توجه کنید: میزان تولید گرمای یک تخم مرغ حاوی جنین، در روز چهارم برابر است با ۰/۳۲ وات بر گرم، و در روز شانزدهم برابر است با ۱/۶ وات بر گرم.

دوشاخه‌زایی، پدیده‌ای بسیار رایج و معمولی است و نباید آن را به عنوان چیزی غریب و شگفت در نظر گرفت. این نام، در واقع به پایه‌ای‌ترین توانایی یک سیستم پیچیده اشاره دارد، که همان انتخاب است. در جهان جانداران، نمونه‌های بیشماری از این پدیده را می‌توان بازیافت. اما معمولاً از صورتبندی ریاضی پیچیده‌ی دوشاخه‌زایی برای تحلیل این پدیده‌ها استفاده نمی‌شود. با اینهمه استفاده از این راهکار برای کسانی که بر ابزارهای ریاضی تسلط دارند، مفید و سودمند است. یک نمونه از کارهایی که به این ترتیب در مورد دوشاخه‌زایی در سیستم‌های زنده انجام شده، به حرکات دست و پای انسان در حال حرکت مربوط می‌شود. در انسان چندین نقطه‌ی تعادل برای دینامیسم حرکات دست یا موقع راه رفتن می‌توان تعیین کرد که عبور از هریک از این نقاط تعادل و ورود به نقطه‌ی بعدی، با یک گسستگی و تغییر فاز همراه است. اگر بر فضای فاز سیستم مزبور نمایه‌ی رفتار آن را در طول زمان رسم کنیم، دوشاخه‌زایی‌های مشخصی را در نقاط مزبور خواهیم دید (**Kelso et al.- 1992**)[۱۸۳].

۳-۳-پ) تغییر فاز:

مفهوم دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد، عبارت است از تغییر فاز[۱]. پیش از درک این مفهوم، نخست باید معنای فاز یا حالت را درک کرد. فاز، یا حالت، عبارت است از بخشهایی در سیستم، که ساختار فیزیکی - شیمیایی همگنی داشته باشند. این مناطق باید به لحاظ فضایی از باقی جاها متمایز باشد، و در درون خود تغییرات زیادی را نشان ندهند. به بیان دیگر، همان تعریفی که سیستم را در کلیت خود از جهان خارج جدا می‌کرد، در اینجا می‌تواند زیرواحدهای سیستم را از هم مجزا سازد. به هریک از این زیرواحدها نام فاز را اطلاق می‌کنند. در حالت عادی، در سیستم‌های پیچیده چندین فاز قابل‌تعریف است، و سیستم بسته به شرایط محیطی و پویایی درون خود، یکی از این حالات را انتخاب می‌کند. به یک معنا، این انتخاب حالت، هم‌ارز همان دوشاخه‌زایی است[۲]. گاهی هم دیده می‌شود که بخشهای مختلف سیستم دارای فازهای گوناگون هستند و در تعادلی پایدار یا ناپایدار با هم قرار دارند. تغییر فاز، عبارت است از گذار سیستم از یک فاز، و ورودش به فاز مجاز دیگر. این تغییر فازها، در عمل با تغییر در دستگاه تقارنی سیستم هم همراه هستند. همه‌ی تغییر فازها، تبدیلاتی گسسته در معادلات تقارنی سیستم را در پی دارند که به طور آشکار قابل‌تحلیل و ردگیری است.

انواع تغییر فاز را بر اساس درجه‌ی معادلات ریاضی بیان‌کننده‌ی آنها به دو گروه تقسیم می‌کنند (**Bushev.- 1994**)[۶۹]. اگر این تغییرات با معادلات دیفرانسیلی مرتبه اول (یعنی با مشتق درجه اول) قابل‌صورتبندی باشد، آنها را تغییرفاز مرتبه‌ی نخست می‌نامند. مثلاً تغییر فاز مایع-گاز در یک سیستم سیال از این نوع پدیده‌ها محسوب می‌شود. اگر برای بیان معادلات تغییر فاز، معادلات دیفرانسیل مرتبه‌ی دوم مورد نیاز باشد، آن را تغییرفاز

۱- Phase transition

۲- البته فقط در صورتی که پیش از انتخاب یاد شده، حالات مورد نظر نسبت به تقارنی نسبی داشته باشند. یعنی ورود سیستم به هریک از قبل قابل‌پیش‌بینی نباشد.

مرتبه دوم می‌نامند. مثلاً رابطه‌ی ضریب مغناطیسی شدن را با دما، باید بر اساس مشتق دوم معادلات ترمودینامیکی بیانگر دما نوشت، به این ترتیب این نوع تغییر فاز، از مرتبه‌ی دوم محسوب می‌شود.در تمام این تغییر فازها، نقطه‌ی آستانه‌ای از تغییرات وجود دارد که رسیدن به آن فاز کلی سیستم را دگرگون می‌کند. این نقطه آستانه را معمولاً با T_c نشان می‌دهند و نشانه‌ی **c** در این نماد کوتاه شده‌ی نام کوری، یا واژه‌ی بحرانی[1] است. هنگامی که سیستم به این نقطه‌ی بحرانی نزدیک شود، مجموعه‌ای از نوسانات شدید در پویایی درونی سیستم پدید می‌آید، که در نهایت به شکل گیری نظمی جدید، و حالتی تازه می‌انجامد (**Bushev.- 1994**)[۶۹].

مفهوم تغییر فاز، با وجود صورتبندی ریاضی پیچیده‌ای که امروزه پیدا کرده است، چیز بدعت‌آمیزی نیست. این معنا در آثار به جا مانده از دانشمندان اوایل این قرن هم دیده می‌شود. به عنوان مثال مراحل رشد عاطفی و روانی فرد از دید فروید، در واقع نشانگر نوعی تغییر فاز است. تغییر فازی که مراحل سه‌گانه‌ی دهانی، مخرجی و احلیلی را در بر می‌گیرد. امروزه پژوهشهای فراوانی در مورد رشد روانی کودکان انجام می‌شود که اعتبار زیادی هم در حیطه‌ی روانشناسی دارد، اما در نهایت چیزی جز همان تغییر فازهای سنتی فرویدی نیست. به عنوان مثال، همین فازها در بررسی‌های روانشناختی متکی بر تحلیل نقاشی کودکان به عنوان مرزهای الگوهای مستقل و مجزای پویایی سیستم در نظر گرفته می‌شوند (**Bischof.- 1990**)[۱۴۴].

مثالهای زیادی از تغییر فاز را در زیست‌شناسی می‌توان یافت. در ابعاد کلان، شواهد زیادی در مورد خودسازمانده بودن –و در نتیجه دارای تغییر فاز بودن– سیستم‌های بوم‌شناختی وجود دارد (**Rohani.- 1997**)[۲۶۹]. همچنین تحلیلهایی تکاملی هم وجود دارد که همزیستی گونه‌های همسایه و روابطشان را با هم بر مبنای رفتارهای خودسازمانده توضیح می‌دهد (**Hassel et al.- 1994**)[۱۵۰]. در ابعاد کوچکتر هم می‌توان نمودهای زیادی از این پدیده را بازیافت. مثلاً به یک بیماری آشنا مانند سرطان توجه کنید. یاخته‌های دارای ویژگیهای فنوتیپی سرطانی همواره در یک بدن سالم و عادی وجود دارند، و جهشهای منتهی به فعال‌شدن ژنهای سرطان‌زا هم مرتب در یاخته‌های گوناگون بدن رخ می‌دهند. اما آنچه که اهمیت دارد، چگالی این یاخته‌های معیوب، نسبت به کل سیستم رفع نقص بدن است. می‌دانیم که بدن مرتباً با مکانیسم‌های تصحیح ژنومی یا ایمنی، یاخته‌ها و ژنومهای سرطانی را از دور خارج می‌کند، بنابراین حد آستانه‌ای وجود دارد که در بالاتر از آن توانایی سیستم تصحیح کننده از توان تخریب‌کننده‌ی یاخته‌های سرطانی کمتر می‌شود و به این ترتیب در بالاتر از این آستانه، پدیده‌ی سرطان تجربه می‌شود. در عمل وقتی تعداد سلولهای مزبور به این حد خاص رسید، تغییر فازی در سیستم صورت می‌گیرد و پویایی جدیدی در کل سازواره پدید می‌آید که همان حالت ویرانگرانه‌ی بیماری باشد (**Yancht.- 1980**)[۱۷۲].

یک مثال مشهور دیگر از تغییر فاز، به پدیده‌ی حرکتی بسیار ساده‌ای مربوط می‌شود که توسط هاکن وکِلسو معرفی شده است. اگر شما دو انگشت همنای دو دستتان را به طور همزما و موازی روی سطح میزی بکوبید، وکم کم سرعت حرکت دست و بسامد کوبیدن انگشتتان را زیاد کنید، در بسامد بالا نوعی تغییر فاز را تجربه خواهید کرد. به این شکل که حرکات انگشتانتان –در ضمن تلاشتان برای موازی نگهداشتن بسامدشان– با هم مکمل و ناهمزمان خواهد شد (**Kelso.- 1984**)[۱۴۲]. همچنین در گربه و اسب قطع نخاعی شده هم نشان داده شده که تغییر دادن محرکهای حسی خارجی می‌تواند باعث تغییر فاز حرکات خود به خودی پاها شود و در واقع انواع متفاوتی از گام‌زدن[2] را به نمایش بگذارد (**Haken & Stadler.- 1990**)[۱۴۴].

۱– **critical**　　۲– Gait

پدیده‌ی تغییر فاز، چیزی است که بیش از هرچیز در سیستم‌های پیچیده‌ی خودسازمانده مشاهده می‌شود. این سیستم‌ها به دلیل پیچیده بودن دارای فضای فازی با ابعاد بیشتر و تعداد فازهای قابل تعریف بالاتری هستند، و به دلیل خودسازمانده بودن خود باید مرتب در واکنش به رفتارهای محیط پیرامونی خود پویایی درونی خود را تغییر دهند و این کار هم معمولاً از طریق گذار فاز انجام می‌شود. نمونه‌های چشمگیر و شگفت‌انگیزی از این پدیده‌ها را در سیستم‌های جنین‌شناختی میتوان بازیافت. در عمل تمام تغییرات کلانی که در یک جنین در حال رشد مشاهده می‌شود نوعی تغییر فاز و یا نوعی شکست تقارن سیستمی است. یک مثال ساده از این مجموعه‌ی بزرگ، تغییر فاز لایه‌ی‌بندی عصب بینایی در جنین مهره‌دارانی مثل انسان است. می‌دانیم که نورون‌های منتقل کننده‌ی اطلاعات بینایی از شبکیه به **LGB** دارای پویای پیچیده‌ای هستند و در مسیر عبور خود در عصب به بالا و پایین و چپ و راست حرکات متنوعی دارند. اینکه چطور مجموعه‌ای چند صدهزارتایی از این آکسون‌ها در میان این آشفتگی راه خود را پیدا می‌کنند و بازنمایی فضایی اطلاعات بر شبکیه را عیناً به جسم زانویی منتقل می‌کنند، همواره مورد سوال بوده است. شکی در شیمیایی بودن ماهیت این راهیابی وجود ندارد، اما باز هم با توجه به تعداد بسیار زیاد آکسون‌ها، نمی‌توان این توجیه را کافی دانست. یک تحلیل سیستمی در این مورد نشان می‌دهد که این پدیده با فازی و پله پله بودن دوره‌های پیاپی رشد آکسونی در دوران جنین ممکن می‌شود. ظاهراً یکی از عوامل مهم تصحیح کننده‌ی مسیر آکسونها در این میان خود پتانسیل‌های عمل باشد که می‌دانیم بر سیستم نورونی اثر کنترل کننده‌ی مهمی دارد (**Stryker.- 1994**)[۳۰۱].

این مثال از خودسازماندهی، مثالی از تغییر فاز را هم در دل خود دارد. عصب دوم مغزی (یا همان عصب بینایی) در هنگام خروج از شبکیه، ساختاری چهارلایه‌ای دارد. اما پیش از ورود به جسم زانویی کناری، باید ساختار شش لایه‌ای داشته باشد تا بتواند با لایه‌بندی شش‌گانه‌ی معمول در **LGB** به خوبی جفت شود و بازنمایی فضایی شبکیه را به خوبی انجام دهد. یک مدل ساده، نشان می‌دهد که تغییر فازی از سیستم چهار به شش لایه‌ای در عصب بینایی انجام می‌گیرد. مکان این تغییر فاز در هر نقطه‌ای از طول عصب می‌تواند باشد، اما اگر نقطه‌ی کور را هم به عنوان محل خروج عصب از شبکیه در مدل خود وارد کنیم، به نقطه‌ی تغییر فازی در نزدیکی **LGB** می‌رسیم که اتفاقاً با شواهد کالبدشناختی کاملاً همخوانی دارد (**Lee & Malpeli.- 1994**)[۳۰۲].

مدل‌های فراوانی در مورد فرآیندهای دارای تغییر فاز وجود دارد. در یکی از مدل‌های جالبی که پژوهشگران زندگی مصنوعی معرفی کرده‌اند، نشان داده شده که در یک سیستم تکاملی ساده، روند تغییر فازها با رفتار پردازش اطلاعات در واقع یک معنا دارند و دو روی یک سکه‌اند. در واقع پویایی یک سیستم خود به منزله‌ی نوعی رفتار محاسباتی قابل‌بیان است که در هر لحظه بهینه‌ی وضعیت را برای سیستم -بر اساس چاه‌های پتانسیلی که برایش وجود دارند- محاسبه می‌کند و سیستم را به حالت مطلوب در زمان بعدی -که می‌تواند با زمان حال متفاوت باشد یا نباشد- هدایت می‌کند. در مرز منطقه‌ی گذار فاز، این اطلاعات حالتی کلانتر و بحرانی‌تر به خود می‌گیرند (**Langtonet al.- 1992**)[۱۹۹]. در سیستم‌های زنده نمودهای فراوانی از تغییر فاز را می‌توان بازجست. واسرشته[۱] و بازسرشته[۲] شدن پروتئین‌ها و مارپیچ‌های **DNA**، پیدایش و تجزیه‌ی ریزلوله‌ها[۳] در یاخته‌ها. تبدیل حالت سُل به ژل و برعکس در سیتوپلاسم (**Hameroff.- 1987**)[۱۴۶].

۱- **denature**

۲- **renature**

۳- **microtubuls**

۴-۳-ت) خودسازماندهی:

مفهوم دیگری که در اینجا نیازمند توضیح است، مفهوم خودسازماندهی است. خودسازماندهی، بنابر تعریف، عبارت است از فرآیندی که در آن اثرات کلان[۱] محیطی، باعث واکنش ویژه‌ی سیستم می‌شوند، به طوری که در نهایت اندرکنش این دو، در طول زمان پیچیدگی سیستم را زیاد کند. به بیان دیگر، خودسازماندهی روندی است در سیستم‌های باز، که مخالف صورتبندی قانون دوم ترمودینامیک[۲] عمل می‌کند. سیستم‌های خودسازمانده، علاوه بر توانایی پیچیده‌ترکردن ساختار خود در طول زمان، این توانایی را هم دارند که نظم درونی خود را در برابر محرکهای دگرگون‌کننده‌ی محیطی حفظ کنند، و از سوی دیگر تاریخچه‌ی سیستم خود را در درون خود حفظ کنند. یعنی سیستم‌های خودسازمانده، دارای حافظه، و توانایی بقا[۳] هستند. برای بیان این مفهوم صورتبندی‌های ریاضی فراوانی پیشنهاد شده است که من در اینجا به ذکر معادله‌ی ساده‌تری که توسط هاکن پیشنهاد شده است بسنده می‌کنم:

$$Q = -Yq + F(t)$$

در این معادله **t** عبارت است از زمان، **F(t)** بیانگر نیروی خارجی وارد شده به سیستم است، آنگاه که به صورت تابعی از زمان مطرح شود، **Yq** برابر است با عدد میرایی سیستم، یعنی سرعتی که در غیاب **F(t)**، اثرات محیطی در سیستم جذب شده و تحلیل می‌روند.

Q هم نماینده‌ی رفتار سیستم در طول زمان است، که در هر مقطع زمانی برابر می‌شود با: **dq/dt**

بنابر قوانین پایه‌ی ترمودینامیک، همه‌ی سیستم‌ها در نهایت باید در طول زمان به سوی بی‌نظمی و مرگ پیش روند. سیستم‌های خودسازمانده، در این مورد استثنایی موقت را به نمایش می‌گذارند، یعنی به دلیل شکستهای پیاپی تقارن در پویایی خود، و انتخاب گزینه‌های دارای اطلاعات بیشتر در روند دوشاخه‌زایی، در نهایت پیچیدگی خود را در جریان زمان افزایش می‌دهند. اینکه سیستم‌های خودسازمانده، چطور چنین کاری را انجام می‌دهند، پرسشی مهم است که در همین نوشتار به آن پاسخ خواهیم داد. در اینجا همینقدر کافی است که از شرودینگر نقل قول کنیم:

سیستم‌های زنده، به این دلیل مخالف با قانون دوم ترمودینامیک عمل می‌کنند، که سیستم‌هایی باز هستند.

گفتیم که کوری یکی از نخستین به کار برندگان مفهوم تقارن در تحلیلهای تجربی و فیزیکی بود. او قانونی برای تغییرات تقارنی سیستم‌های فیزیکی در طول زمان وضع کرده است که بر اساس آن، مقدار بی‌تقارنی موجود در یک سیستم پس از اثر یک محرک محیطی بر آن، برابر خواهد بود با حاصل‌جمع بی‌تقارنی اولیه، با بی‌تقارنی نهفته در بردار معرف اثر خارجی. یعنی اگر سیستمی با وضعیتی پایه (D^0_s) از نظر بی‌تقارنی داشته باشیم، که در برابر یک محرک محیطی با بی‌تقارنی خاص خود (D_e) قرارگیرد، آنگاه سیستم مورد نظر ما در برابر این اثر تغییری خواهد کرد، و مقدار بی‌تقارنی نهایی آن (D^r_s) برابر خواهد بود با مجموع دو کمیت نخست. یعنی صورتبندی ریاضی قانون کوری را می‌توان به این شکل نمایش داد:

۱- Global

۲- بر طبق این قانون در سیستم‌های بسته، بر آنتروپی (بی‌نظمی) سیستم در طول زمان افزوده می‌شود. آنتروپی در واقع همان اطلاعات منفی است، و بنابراین اصل افزایش پیچیدگی (اطلاعات) در سیستم هم‌ارز است با افزایش آنتروپی منفی (نگانتروپی) در آن.

۳- Homeostasis

$$D^r_s = D^0_s + D_c$$

اما D_c مفهومی قراردادی و نسبی است و به نوبه‌ی خود توسط بی‌تقارنی موجود در درون سیستم، و بی‌تقارنی موجود در محیط سیستم تعریف می‌شود، پس:

$$D_c = D^e_c + D^i_c$$

که در آن D^i_c بی‌تقارنی اثر علی منتج از محیط، با توجه به قرارداد نسبت به درون سیستم است، و D^e_c همین مفهوم نسبت به محیط خارجی سیستم است. به این ترتیب، به صورتبندی زیر می‌رسیم: $D^r_s = D^0_s + D^e_c + D^i_c$

یعنی هر تغییری که در سیستم ایجاد شود، با نوعی تغییر در تقارن سیستم هم همراه خواهد بود (**Hargittai.- 1992**)[۱۴۷]. به عبارت دیگر، پویایی سیستم را می‌توان بر اساس حالات تقارنی آن در طول زمان تعریف کرد. پس مهمترین چیزی که باید برای تحلیل پویایی یک سیستم در طول زمان مورد توجه قرارگیرد، حالات تقارنی آن است. خودسازماندهی هم نوعی خاص از این تغییرات تقارنی است، که اشکال ویژه‌ای از رابطه‌ی میان علل محیطی تغییر دهنده‌ی تقارن، و واکنشهای درونی سیستم رادر بر می‌گیرد. به این ترتیب، پرسش اصلی مورد نظر در نظریه‌های هم‌افزایی هم شفافتر قابل‌بیان خواهد بود:

هم‌افزایی، در پی یافتن رابطه‌ی خاصی است که بین بی‌تقارنی‌های ویژه‌ی درونی (D^i_c)، و بی‌تقارنی‌های ناشی از علل محیطی (D^e_c) سیستم وجود دارند.

با این شکل از بیان پرسش، می‌بینیم که باید خواه ناخواه خودسازماندهی را به عنوان یکی از بنیادی‌ترین شاخه‌های دانش امروز در نظر بگیریم. این دانش، بر اساس طرح پرسش یاد شده، به دو مفهوم می‌پردازد: پویایی سیستم، و تقارن موجود در آن، پویایی، در واقع عبارت است از حرکت (که پایه‌ای‌ترین مفهوم فیزیک است) و تقارن عبارت است از ناوردایی در برابر تبدیل‌ها (یا برابری، که بنیادی‌ترین مفهوم در ریاضیات است).

مفهوم دیگری به نام‌خودافزایی[۱] هم در اینجا وجود دارد که با انواع خاصی از سیستم‌ها تعریف می‌شود. یک سیستم خودافزا، سیستمی است که دارای نوساناتی با ریشه‌ی محیطی باشد، و بتواند اثر این نوسانات را به کمک ساختار درونی خود، خنثی کند، و از آن برای ورود به حالت تعادلی جدید استفاده کند (**Kuppers.- 1990**)[۱۹۷]. به عبارت دیگر واکنش سیستم‌های خودافزا در برابر نوسانات خارجی، بسیار پیچیده است. سیستم‌ها این نوسانات را تا حد آستانه‌ی خاصی، توسط مکانیسم‌های بازخوردی حذف می‌کنند و تعادل اولیه‌ی خود را حفظ می‌کنند، و پس از گذر نوسانات از آن آستانه‌ی خاص، به حالت تعادلی تازه‌ای وارد می‌شوند که آن نیز می‌تواند به نوبه‌ی خود مقاومتی مشخص در برابر دگرگونی‌های محیطی داشته باشد. تفاوت خودافزایی با خودسازماندهی این است که سیستم‌های خودافزا، از تغییرات محیطی برای بیشترکردن اطلاعات درونی خوداستفاده نمی‌کنند، اما سیستم‌های خودسازمانده چنین می‌کنند. یعنی سیستم‌های خودافزا این توانایی را دارند که در برابر محرکهای محیطی حالت تعادلی پایه‌ی خود را با تغییراتی پیچیده و در دامنه‌ای خاص حفظ کنند. اما نظام‌های خودسازمانده از این تغییرات برای ورود به حالات تعادلی پیچیده‌تر و افزودن بر پیچیدگی درونی خود استفاده می‌کنند. یعنی واکنشهای سیستم خودافزا نسبت به نوسانات محیطی -در عین پایدار بودن- تکاملی نیست، ولی در پدیده‌ی خودسازماندهی چنین است.

۱- Autopoiesis

۳-۳-ث) آشوب[۱]:

هر سیستمی بر حسب تعداد ابعاد فضای فازش، و ساختارش، نوع خاصی از رفتار را در طول زمان از خود نشان می‌دهد که آن رفتار را می‌توان به صورت نموداری بر فضای فاز آن نمایش داد. هرآنچه که ما در مورد معادلات و صورتبندی ریاضی پویایی سیستم می‌گوییم، در نهایت به ریخت این نمودار برمی‌گردد. چند شکل اصلی از پویایی در سیستم‌ها قابل تشخیصند. نخست پویایی خطی، که با یک معادله‌ی ساده‌ی ریاضی قابل بیان است و مفاهیم فیزیک و شیمی سنتی را در برمی‌گیرد. خط راست نمایانگر انبساط حجمی بر حسب دما در واژه‌ی گرمایی خاص، منحنی نمایی نمایانگر حرکت یک پرتابه، و منحنی سیگموئید رشد باکتریها در محیط کشت، همه و همه از این دسته پویایی‌های خطی محسوب می‌شوند. سیستم‌های دارای این نوع پویایی را معمولاً ساده می‌نامند. اگر پویایی سیستم‌های ساده‌ی خطی را در فضای فاز ویژه‌ی خودشان تصویر کنیم، به این نتیجه می‌رسیم که هریک از این سیستم‌ها جذب‌کننده‌ی[۲] خاص و ساده‌ای دارند. این واژه بدان معناست که مرکز ثقلی در فضای فاز وجود دارد که پویایی سیستم مدام به آنسو گرایش دارد. این جذب‌کننده می‌تواند نقطه‌ای یا خطی باشد و سیستم‌های دارای رفتار تناوبی یا ایستا را پدید آورد.

گروه دیگری از سیستم‌ها هستند که خط‌راهه‌ی پویاییشان بر فضای فاز با یک معادله‌ی ساده قابل صورتبندی نیست و جذب‌کننده‌ای پیچیده دارند. چنین سیستم‌هایی غیرخطی یا پیچیده نامید می‌شوند و اگر جذب کننده‌شان حالت برخالی داشته باشد، با عنوان آشوبناک مورد اشاره قرار می‌گیرند. دستگاه عصبی جانوران، ظاهراً نوعی سیستم پیچیده‌ی غیرخطی است که گهگاه رفتار آشوبناک هم از خود نشان می‌دهد.

آشوب عنوانی است که به تازگی در زمینه‌ی نظریه‌ی سیستم‌های پیچیده نقشی مهم و مرکزی پیدا کرده است. مفهوم آشوب برای بار نخست در دانش آب و هواشناسی[۳] شناخته شد. دانشمندی به نام لورنتز در اواسط دهه‌ی شصت قرن حاضر میلادی، متوجه شد که دقیقترین تخمین‌ها از وضع آب و هوای آینده‌ی یک منطقه، -حتی اگر از سوی تمام داده‌های ممکن هم تغذیه شود،- هرگز ضریب اطمینانی بیشتر از ۸۵ ٪ به دست نمی‌آورد. لورنتز که یک ریاضیدان توانا هم بود توانست مدلی برای رفتار سیستم‌های آب و هوایی پیدا کند. این مدل‌ها که بر سه بعد تصویر شده بودند، معادلات خاصی را به دست دادند که بعدها به نام معادلات لورنتزی مشهور شدند و همین خاصیت آشوب را از خود نشان دادند. خاصیتی که بر مبنای رفتار غیرقابل‌پیش‌بینی و نامنظم آنها استوار بود (Lorentz.- 1963)[۴]، ۱۹۷.

واژه‌ی آشوب، با وجودِ داشتنِ مفهوم نسبی آشکار، تعریف ریاضی دقیقی ندارد و نمی‌توان مجموعه‌ای از

۱- Chaos

۲- attractor

۳- mteorology

۴- توضیح این نکته لازم است که برخی از مراجع یاد شده در این بخش (کمتر از ده مرجع) در فهرست مراجع وجود ندارند، یعنی در یادداشتهایی که برای این تحقیق برداشته بودم نشان مرجعش را نیافتم. این نقص در یادداشت‌برداری به این ترتیب جبران شده که نام پژوهشگر و تاریخ انتشار مقاله‌اش را به کتابی حواله دادم که آن را به عنوان مرجع ذکر کرده است. یعنی در کنار مراجع انگشت‌شماری که از این دست وجود دارد، شماره‌ی مرجعی را خواهید خواند که در فهرست مراجعش مقاله‌ی مورد نظر ما هم ذکر شده. به بیان دیگر مجبور شده‌ام در این موارد با واسطه مرجع بدهم.

معادلات را به عنوان صورتبندی منفرد آشوب معرفی کرد. در واقع ما مجموعه‌ای از معادلات را داریم که در شرایط حدی خاصی آشوب را بیان می‌کنند. با وجود تعریف ناپذیر بودن مفهوم آشوب، نمودهای تجربی آن به خوبی مشخصند. سیستمی آشوبناک است که پیش‌بینی رفتارش به دلیل حساسیت اغراق‌آمیز آن به شرایط اولیه‌ی سیستم ناممکن باشد. این عدم قطعیت آنگاه که بر نمایه‌های نشانگر پویایی سیستم به نمایش گزارده شود، مجموعه‌ای از جهشهای نامنظم وکاتوره‌ای را آشکار می‌کند که در اصل نمود ریاضی آشوب است. سیستم‌های آشوبناک به آب و هوا یا جانداران منحصر نمی‌شوند. فیزیکدانان توانسته‌اند نشان دهند که حتی سیستم‌های ساده‌ای مانند دو توپ که در یک جعبه‌ی متحرک قرار گرفته باشد هم می‌تواند رفتار آشوبناک از خود نشان دهد (**Sinai et al.- 1962**)[۶۹]. همچنین مدل‌های مکانیکی ساده‌ای هم وجود دارند که چنین رفتاری را از خود نشان می‌دهند[۱]. به این ترتیب باید در مورد تعریف پیچیدگی آستانه‌ی لازم برای ظهور پدیده‌ی آشوب، دقت بیشتری کرد.

آشوب، بر مبنای پویایی سیستم تعریف شد، و پویایی سیستم، خود از مجموعه‌ای از نوسانات[۲] تشکیل شده است. بنابراین برای نیل به درک بهتری از آشوب، فهمیدن معنای نوسان هم اهمیت دارد. این واژه، از ریشه‌ی لاتینی **oscillere** مشتق شده و معنای دگرگون شدن و بالا و پایین رفتن را می‌دهد. در شیمی سنتی از این واژه برای اشاره به تغییرات غلظت یا مقدار ماده‌ی موجود در محیط آزمایش استفاده می‌کردند. اما در نظریه سیستم‌های پیچیده، از آن را برای برچسب زدن به نوع خاصی از پدیده‌ها بهره می‌برند که مهمترینش تغییر در سرعت واکنش و روند کلی سیستم است. مثلاً تغییرات سرعت تشکیل یک نوع خاص ماده، در اثر عمل نوع ویژه‌ای آنزیم بر سوبسترای خاصش، نوسان محسوب می‌شود، و به همین ترتیب هم مثلاً تغییرات دمای بدن یک جانور را باید نوعی نوسان در نظر گرفت.

نوسانات می‌توانند دو جور باشند: یا در اثر علل درونی خود سیستم پدید می‌آیند، (مثل همه‌ی رفتارهای بازخوردی) و یا ریشه در علل محیطی دارند. سیستم‌هایی که متغیرهای تعیین کننده‌ی رفتارشان در حالات مرزی و نزدیک به مقادیر بحرانی باشد، معمولاً الگوی پیچیده و آشوبناکی از نوسانات را از خود نشان می‌دهند، که در نهایت به ورود سیستم به حالت تعادلی تازه‌ای می‌انجامد.

رفتارهای نوسانی، بخش عمده‌ای از پدیده‌های منظم موجود در سیستم‌های زنده را در بر می‌گیرند. در واقع آنچه که در دید اول به نظر یک مشاهده‌گر خام‌دست نظم می‌آید، تنها همین نمودهای دوره‌ای و متناوب در پویایی سیستم پیچیده است. به عنوان چند مثال مشهور، می‌توان به پویایی جست و جوهای غذایابی در مورچگان سواره، و یا لانه‌سازی در موریانگان اشاره کرد. همچنین مورد مشابهی در پدیده‌ی شکل‌گیری بره‌کندو[۳] مشاهده شده است. در اینجا هم نوسانات ناشی از پیدایش افراد بالغ تازه درکلنی، اگر به حد آستانه‌ای برسد، تغییر فاز در رفتار زنبوران کارگر را موجب می‌شود و گردآمدن این زنبوران بر درختان نزدیک کلنی مادر، بره‌کندو را ایجاد می‌کند (**Pregogine.-1976, Yantsch.- 1980**)[۱۷۲].

مثال مشهور دیگر، چیزی است که همه‌ی ما در بدن خودمان تجربه‌اش می‌کنیم. تقریباً در تمام جانوران چرخه‌های سه‌گانه‌ی روزانه، ماهانه و سالیانه‌ای وجود دارند که به ترتیب در اثر حرکت دوره‌ای زمین، ماه و خورشید پدید می‌آیند. این چرخه‌ها، که توسط سیستم عصبی جانوران -در صورت وجود- کنترل می‌شوند، در نهایت ریشه در

---

۱ -چند سال قبل در یک نمایشگاه علمی در فرهنگسرای خاورانِ تهران، پاندولی به نمایش گذاشته شده بود که به سادگی از شش هفت قطعه چوب تراشیده شده بود و رفتار آشوبناک را از خود نشان می‌داد. گویا این پاندول را دکتر منصوری -از اساتید دانشگاه صنعتی شریف- طراحی کرده بود.

۲ -fluctuation

۳ -Swarmbee

کدهای ژنومی دارند. به عنوان مثال، جهش‌یافته‌های مگس سرکه‌ی **Drosophila pseudoobscura** که در ژن **per** خود ایراد دارند، این چرخه‌ها را با تناوبی متفاوت، و یا حتی آشوبناک از خود نشان می‌دهند (**Konopka & Wells.- 1980**)[۱۴۵]. بنیاد ژنتیکی مشابهی در موجودات ساده‌تر هم پیدا شده است. مثلاً ژن **frq** در کپک **Neurospura** (**Gardner & Feldman.- 1980**)[۱۴۵]، ژن **per** در پارامسی (**Woodward et al.- 1966**) و **Chlamydomonas** (**Mergen & Hagen.- & 1980**)[۶۹]. در پس از همه‌ی حرفهای ما در مورد اهمیت پویایی شبه‌تعادلی و پیچیده نباید اینطور نتیجه گرفت که نوسانات ساده و تناوب‌های ابتدایی در سیستم‌های زنده وجود ندارند. برعکس ،چنان که دیدیم این تناوب‌ها در بنیادی‌ترین سطح تعریف نظم سازواره‌های زنده، -یعنی ژنوم- تعریف می‌شوند.

اما با وجود عام بودن این نوسانات منظم، نباید تمام تغییرات موجود در پویایی سازواره‌ها را این‌چنین فرض کرد. سیستم‌های زنده درکنار این نوسانات منظم، نمودهایی از رفتار آشوبناک را هم از خود نشان می‌دهند. آشوب، خود نوعی نوسان نامنظم و کاتوره‌ایست، و بنابراین ماهیتی یکسان با آن دارد. تغییر فازهای فراوانی در جانوران شناخته شده است که رفتارهای دارای تناوب منظم را به غیر منظم تبدیل می‌کند، و یا برعکس از حالت پایه‌ی آشوبناک، نوساناتی منظم را پدید می‌آورد. به عنوان مثال، نشان داده شده که در بیماری قلبی **Cheyn- Stokes** نوسان طبیعی مربوط به حرکات تنفسی حالتی آشوبناک پیدا می‌کند، و یا برعکس در **Catatonic Schizophrenia** رفتار آشوبناک عادی حاکم بر عضلات ارادی اسکلتی به دوره‌های منظمی از حرکات محدود و تکرار شونده منحصر می‌شود. همچنین نشان داده شده که تخلیه‌ی پتانسیل عمل نسبت به محور زمان در یک نورون منفرد نیز حالتی آشوبناک دارد. اینها همه شواهدی است که اساسی بودن پویایی آشوبناک در نظامهای زنده را تأیید می‌کند (**West.- 1990**)[۳۲۴].

به دلیل پیچیده بودن افراطی سیستم‌های زنده، امکانات ممکن برای پویایی این سیستم‌ها خیلی بیشتر از سازمان‌های ساده‌تر است. مثال‌های خوبی از اثر این پیچیدگی در شکل‌گیری آشوب را می‌توان در سیستم‌های زنده‌ی دارای سلسله مراتب مشاهده کرد. در اندرکنش بین این سطوح گوناگون می‌توان به خوبی مفهوم حساسیت به شرایط اولیه را دریافت. یک مثال خوب در این مورد، به بوزینه‌های مقدس (**Papio sp.**) ارتباط دارد. دوگونه از این بوزینه‌ها وجود دارند که از نظر فیزیولوژیک می‌توانند با هم زادآوری داشته باشند و به همین دلیل هم مدتها به عنوان دو زیرگونه از هم متمایز می‌شدند. تنها تفاوت بین این دوگونه، در این است که افراد نر درگونه‌ی موسوم به **P.anubis** تنها در فصل جفتگیری به ماده گرایش نشان می‌دهند، در صورتی که نرهای **P.hamadryas** در تمام فصول این گرایش را حفظ می‌کنند. همین تفاوت رفتاری کوچک، منجر به این می‌شود که کل ساختار اجتماعی، بوم‌های مورد ترجیح، و روش زندگی در دوگونه با هم تفاوت کند. این تفاوت به قدری زیاد است که جفتگیری بین این دوگونه در شرایط طبیعی انجام نمی‌شود (**Kummer.- 1971**)[۳۲۸]. در اینجا به خوبی آشکار است که تغییر جزئی در شرایط اولیه چگونه به تغییرات برجسته و بزرگ در سطوح بالاتر پیچیدگی منجر می‌شود.

هرج و مرج[۱]، اصطلاح دیگری است که در این قلمرو نیازمند توضیح به نظر می‌رسد. این واژه در نظریه‌ی پیچیدگی، به معنای تغییر تعادل ناشی از رفتارهای آشوبناک است. در واقع این نام ازکارهای یک ریاضیدان تأثیرگذار فرانسوی به نام رنه توم[۲] مشتق شده است. اوکسی بود که نظریه‌ی هرج و مرج[۳] را بنیان نهاد، و مبانی ریاضی تغییر

۱- catastroph

۲- **Rene Thom**

۳- Catastroph theory

فاز و تحول در نمای تعادلی سیستم را ایجاد کرد (تاجدار- ۱۳۶۶)[۹]. تفاوت این نظریه با تغییرفاز آشنای عنوان شده در سطور قبل، این است که در اینجا تغییرات لزوماً علت خارجی دارند و همیشه فشارهای ناشی از محیط است که تغییر وضع تعادلی را در سیستم القا می‌کند. در ضمن تغییر تعادل ناشی از این محرکهای خارجی هم به خودسازماندهی نمی‌انجامند، بلکه تنها نوعی زمینه‌ی "هرج و مرجی" را پدید می‌آورند که می‌تواند به ظهور پویایی خودسازمانده در شرایط خاصی منجر شود. بنابراین مفهوم هرج و مرج، بیشتر با تغییرات گسسته‌ی تعادلی در سیستم‌های دارای متغیرهای پیوسته پیوند دارد، و به پویایی پیچیده و بالنده‌ی مورد نظر ما نمی‌انجامد. در واقع اصل حرف این نظریه، این است که سیستم‌های پیوسته‌ی پیچیده، می‌توانند به اشکالی تحلیل‌پذیر، رفتارهای گسسته از خود نشان دهند.

از نظریه‌ی آشوبها برای تحلیل رفتارهای سیستم‌های پیچیده در تمام سطوح مقیاسی می‌توان استفاده کرد. یعنی می‌توان همان معادلاتی را که برای بیان رفتار برانگیخته‌ی یک نورون استفاده می‌شود، برای تحلیل یک پدیده‌ی جامعه‌شناختی مانند جنگ هم به کار برد. برای مقایسه‌ی این دو، بد نیست به تحلیلهایی که از نظریه‌ی بازی‌ها سرچشمه گرفته‌اند و رفتار رقابتی نورون‌ها را نشان می‌دهند، با نظریات مشابهی که رقابت و مبارزه‌ی ملل وکشورها را نشان می‌دهند با هم مقایسه شوند (**Saperstein.- 1995**)[۲۹۴].

نظریه‌ی دیگری که معمولاً همراه با آشوب مورد اشاره قرار می‌گیرد. هندسه‌ی برخالی[۱] است. برخال، شاخه‌ای از هندسه است که اشکال دارای دو نوع ویژگی را مورد بررسی قرار می‌دهد. ویژگی نخست عبارت است از نامنظم و شکسته بودن[۲] (یا به عبارت فنی‌تر دیفرانسیل‌ناپذیر[۳] بودن) کناره‌های شکل، و دیگری عبارت است از خودهمانندی[۴] (یعنی تکرار شدن الگوهای ریختی سطوح خرد، در سطوح کلان).

در میان اشکال طبیعی، برخال‌های فراوانی می‌توان بازیافت. ابرهای گل‌کلم‌مانند کومولوس، و گل‌کلم‌های ابرمانند معمولی، نمونه‌هایی مشهور از این اشکال هستند. برخی از تحلیلهای ریاضی -که مورد قبول نگارنده هم هست- نشان می‌دهند که تمام پدیده‌های خودبالنده[۵] که از تکرار زیاد یک یا چند قانون ساده پدید می‌آیند، در نهایت اشکالی برخالی را می‌سازند. به این ترتیب تمام پدیده‌های زیستی، و بخش عمده‌ای از رفتارهای زمین‌شناختی در این چهارچوب قرار می‌گیرند (**Mandebrot.- 1992**)[۲۱۵]. نظریه‌ی برخالی بودن هندسه‌ی حقیقی ساختارهای زنده، علاوه بر اینکه امروز به عنوان یک دیدگاه تحلیل نیرومند همه‌گیر شده، توانایی پاسخگویی به برخی از پرسشهای لاینحل قدیمی را هم دارد. مثلاً می‌دانیم طول عمر، سن بلوغ، سرعت متابولیسم، و سایر شاخصهای مهم فیزیولوژیک، با معکوس توان چهارم جرم بدن موجود نسبت دارند[۶]. اگر بنابر هندسه‌ی اقلیدسی قدیمی به این نسبتها نگاه کنیم، به این نتیجه می‌رسیم که قاعدتاً این شاخصها باید با معکوس توان سوم وزن بدن (که وابسته است با

۱- **fractal geometry**

۲- واژه‌ی **fractal** در زبانهای اروپایی از ریشه‌ی **fracterer** لاتین مشتق شده که معنای شکستن و خرد کردن را دارد. برابرنهاد فارسی برخال هم از ریشه‌ی برخه و برخیدن (در پهلوی به معنای شکستن و تقسیم کردن) گرفته شده است.

۳- **indifferenciability**

۴- **self-similaryity**

۵- **self-productive**

۶- معادلات مربوط به این نسبتها و شرح کلی در این مورد را می‌توانید در کتاب فیزیولوژی جانوری نلسون-اشمیت پیدا کنید[۲۷]. ذکر آنها در اینجا موردی ندارد.

حجم بدن) نسبت پیدا می‌کردند.

یک مدل بسیار جالب‌توجه در این رابطه نشان داده که اگر ساختار موجودات زنده نوعی ریخت برخالی فرض شود (که شواهد زیادی هم برای تأییدش وجود دارد) آنگاه این توان چهارم کاملاً معنا می‌یابد (**West et al.- 1997**)[۳۲۳]. در واقع تنها بر مبنای این هندسه است که می‌توان حقایق فیزیولوژیک شناخته شده را توجیه کرد. یک نهنگ آبی (**Balanoptera musculus**) ۱۰[۷] بار بیشتر از یک موش خانگی (**Mus musculus**) وزن دارد، و اگر بخواهیم با مبانی اقلیدسی شاخه‌های لازم برای رساندن مواد به درون بدنش، و خارج کردن مواد دفعی را حساب کنیم، به نتیجه‌ی معقولی نمی‌رسیم. اما اگر هر دو سیستم یاد شده نوعی برخال باشند، نهنگ به تنها ۷۰٪ شاخه‌بندی بیشتر (نسبت به موش) در رگها و کلیه‌هایش نیاز دارد تا جذب و دفع مواد را انجام دهد. که این مقدار دقیقاً با شواهد تجربی همخوانی دارد. مشابه همین امر را در مورد سوخت و ساز، رشد و ... هم می‌توان ادعا کرد (**Williams.- 1997**)[۳۲۷]. مدل‌های فراوان دیگری هم در مورد شاخه‌بندی نایژکها در شش، پراکنش رگها در عضله، عصب‌گیری بافت عضلانی، و ریخت‌شناسی لوله‌های کلیوی وجود دارد که هریک در حوزه‌ی خاصی نسبت به دیدگاه‌های سنتی و قدیمی برتری‌هایی دارد (**West.- 1990**)[۳۲۴].

پویایی‌های گوناگون قابل ثبت در سیستم‌های پیچیده را معمولاً با توجه به ریخت بسترهای جذبشان دسته‌بندی می‌کنند. بستر جذب عبارت است از مجموعه نقاطی بر فضای فاز، که همه‌ی نمودارهای بیانگر حالت سیستم، به سوی آنها گرایش دارند. در واقع بستر جذب در یک سیستم، عبارت است از مجموعه‌ای از گوده‌ها یا چاه‌های پتانسیلی که نقاط نزدیک به این مراکز تمایل دارند تا در غیاب اثرات محیطی، به سوی آنها حرکت کنند و در آن بیفتند. این مجموعه نقاط می‌تواند ساده یا غریب باشد. بستر جذب ساده می‌تواند یک نقطه باشد (در سیستم‌های خطی)، از چرخه‌های محدودی[۱] تشکیل شده باشد، و یا اینکه به شکل چنبره[۲] باشد. در حالت چرخه‌های محدود، نمودار پویایی سیستم چرخه‌هایی هم مرکز را در فضای فاز نشان می‌دهند که عبور سیستم از هریک و ورود به دیگری همراه است با یک تغییر فاز. حالت چنبره، شکلی پیچیده‌تر را نمایش می‌دهد، اما در کلیت شبیه مورد اخیر است. بستر جذب غریب، چنان که گفتیم، نوعی ویژه از بستر جذب است که دارای شکل برخالی است.

۳-۳-ج) پردازش:

پردازش، واژه‌ای بسیار رایج و محبوب است، اما معمولاً به دلیل تعریف ناقص یا نادرست، محتوای اطلاعاتی غنی نهفته در خود را در جریان ارتباطات عادی منتقل نمی‌کند. از آنجا که تلاش من در این نوشتار بیشینه کردن دقت گفتار (تا حد ممکن) است، پس لازم می‌دانم نخست به تعریف دقیقتر مفهوم پردازش بپردازم.

چرچلند، یکی از بنیانگذاران عصب‌شناسی محاسباتی[۳]، تعریف زیر را از مفهوم پردازش به دست داده است:

اگر درون‌داد و برون‌داد سیستمی تشکیل جفتهای مرتب دهند، و معادله‌ی بیان‌کننده‌ی رابطه‌ی بین این دو متغیر هم مورد علاقه‌ی ما باشد، آن سیستم پردازشی خواهد بود (**Churchland & Sejnowski.- 1992**)[۷۷].

در تعریف بالا، نکته‌ی مبهمی وجود ندارد، مگر عبارت "مورد علاقه‌ی ما"، که نوعی خصلت ذهنی به تعریف

۱- Limited cycles　　۲- Torus

۳- **computational neuroscience**

می‌بخشد. در حقیقت این ویژگی ذهنی بر تعریف یاد شده حاکم است و تنها سیستم‌هایی دارای خصلت پردازشی خاص فرض می‌شوند که از دید ناظر، نوع خاصی از قانونمندی -یا پردازش- را آشکار کنند. به این ترتیب، عبارت سیستم پردازنده[۱] -که از این به بعد به اختصار پردازنده‌اش می‌نامم،- نشانگر یک *نوع طبیعی*[۲] (مثل آهن، سگ، یا آب) نیست[۳]. بنابراین می‌توان تعریف یاد شده را دارای دو بخش دانست. بخش عینی (وجود زوج‌های مرتب درون‌داد/برون‌داد) و بخش ذهنی (مورد علاقه‌ی ناظر بودن).

تعریف بالا در ظاهر خیلی عام و فراگیر به نظر می‌رسد. یکی از ایراداتی که به ظاهر به آن وارد است اینست که می‌توان با دیدگاهی ساده‌انگارانه، یک آبکش یا الک آرد را هم به عنوان نوعی پردازنده در نظر گرفت. چرا که قانونمندی رابطه‌ی ورودی و خروجی سیستم در این موارد هم دیده می‌شود.

حقیقت امر این است که این گزاره چندان هم بیراه نیست. اگر به واقع کسی باشد که به نوع خاص رفتار الک یا آبکش به عنوان تولید کننده‌ی زوج‌های مرتب ورودی/خروجی علاقمند باشد، این سیستم‌ها برای آن فرد حکم پردازنده را خواهند داشت. بنابراین باید همینجا بر این نکته پافشاری کنم که مفهوم پردازنده به هیچ عنوان معنایی محدود کننده و خیلی خاص را در این نوشتار به دست نمی‌دهد، و در سراسر این متن به همین تعریفی که چرچلند ارائه کرده است وفادار خواهم بود.

پردازنده، به این تعبیر، چیزی جز یک سیستم به لحاظ آماری قانونمند نیست. این سیستم می‌تواند مثل یک الک ساده، یا مثل یک رایانه پیچیده باشد. می‌تواند مثل ماشین‌حساب با برنامه و نقشه‌ی قبلی پدید آمده باشد، و ممکن هم هست تولیدش مثل سیستم‌های زنده وابسته به گزینش طبیعی و تصادف باشد. بنابراین سطح پیچیدگی و طریقه‌ی ساخت این نظامها محدودیت خاصی را برای تعریفشان ایجاد نمی‌کنند.

با این همه، آشکار است که همه‌ی بخشهای دامنه‌ی وسیع مورد بحث نمی‌تواند مورد علاقه‌ی این نوشتار باشد. به همین دلیل هم می‌کوشم تا در اینجا نوع خاصی از پردازش را که مورد نظر این مبحث است دقیقتر مشخص کنم. دقت داشته باشید که با این تلاش، در واقع پاسخ به بخش ذهنی تعریف مورد نظر ما داده خواهد شد و به این شکل تعریفی از *پردازنده‌ی مورد نظر ما* به دست خواهد آمد.

پردازنده‌ای مورد علاقه‌ی این بحث است که:

نخست: یک سیستم پیچیده باشد. سیستم پیچیده، بنابر تعریف، عبارت است از سیستمی که:

۱) دارای تعداد اجزای زیادی باشد، ۲) اندرکنش بین این اجزا زیاد باشد، و در نتیجه ۳) معادله‌ی بیان کننده‌ی رفتار آن دارای تعداد زیادی متغیر باشد.

باز هم در این تعاریف واژه‌ی زیاد دیده می‌شود که نوعی خصلت ذهنی به کارمان می‌دهد. اما می‌توان این واژه را با تعریف آستانه‌ی خاصی دقیقتر معنا کرد. مثلاً می‌توانم بگویم زیاد عبارت است از تعداد اعضای بیشتر از 10^3، یا اندرکنش هر عضو با بیشتر از 10^2 عضو همسایه، یا وجود بیشتر از سی متغیر در معادله‌ی پویایی سیستم.

۱- computer

۲- natural kind

۳- نوع طبیعی، بنابر تعریف فلاسفه‌ی زبان، عبارت است از نام پدیده‌ای که مستقل از ناظر خارجی خاص، به عنوان یک موضوع متمایز از محیط قابل‌تشخیص باشد. مثلاً چیزی مثل آب یک نوع طبیعی است، چون پدیده‌ایست که مستقل از سلیقه و تعریف ویژه‌ی ناظرهای خاص، به طور آماری توسط همه‌ی موجودات درک کننده‌ی جهان به عنوان یک پدیده‌ی مجزا فرض می‌شود. در مقابل آن مفهومی مانند "علف هرزه" وجود دارد که بسته به سلیقه‌ی ناظر و علاقه‌اش به گیاهان خاص، تعریف می‌شود.

دوم: عمل پردازش اطلاعات را انجام دهد. یعنی نه تنها ماده و انرژی را در درون خود به کار بگیرد، که آنقدر پیچیده باشد که بتواند جریانی مجزا و مستقل از اطلاعات را هم در درون خود ایجاد کند و آن را هم در مدیریت داخلی خود به کار بگیرد. یکی از نمودهای ساده‌ی وجود چنین رفتاری در سیستم، این است که رابطه‌ی علی سرراستی بین ورودی و خروجی وجود ندارد. یعنی نمی‌توان با علیت کلاسیک و فرتوت قدیمی پدیده‌های مشاهده شده در آنرا تحلیل کرد.

سوم: طوری رفتار کند که تعابیر غایت‌انگارانه‌ی ما را برآورده کند. یعنی یک ناظر خارجی انسانی بتواند برای کارکرد آن هدفی ویژه را در نظر بگیرد[۱].

با این ترتیب، مشهورترین مثالی که از پردازنده‌های مورد اشاره‌ی این تعاریف داریم، عبارت است از موجودات زنده. موجوداتی که پیچیدگی لازم برای پردازش اطلاعات را دارند و توهم ما را هم در جهت غایتمند شمردنشان ارضا می‌کنند. موضوع مورد هدف این نوشتار -یعنی آگاهی- پدیده‌ای است که در دستگاه عصبی جانداران پیچیده نمود می‌یابد. بنابراین به سادگی می‌توان هدف اصلی تعریف را دریافت. شبکه‌ی عصبی، همان ساختار پردازنده‌ای است که هدف تحلیل‌های این سطور را تشکیل می‌دهد.

پردازشگری که که به تحلیل اطلاعات مشغول است، پویایی ویژه‌ای دارد، که از قانونمندی ویژه‌ای پیروی می‌کند. این قانون حاکم بر رفتار سیستم‌های پردازنده را، الگوریتم می‌نامند. هرطور که سیستم پردازنده را تعریف کنیم، الگوریتم هم به همان ترتیب تعریف می‌شود. می‌توان پردازنده را به سیستم‌های پیچیده‌ای مانند مغز انسان منحصر دانست، و در این حالت قوانینی که در فصل بینایی برای پردازش اطلاعات نوری ذکر خواهد شد الگوریتم سیستم خواهند بود. از سوی دیگر مجموعه‌ای به سادگی یک دره را هم می‌توان نوعی نظام پردازشی فرض کرد. در این حالت سنگی که از دامنه‌ی این دره به زیر می‌غلطد به عنوان یک پردازنده قابل تعریف است. این سنگ در واقع الگوریتمی بسیار ساده را پیروی می‌کند و آن هم یافتن کمینه‌های محلی[۲] انرژی پتانسیل و جنبشی است. در واقع مسیری که سنگ در عبور از دره طی می‌کند، نشانگر توانش محاسباتی (هرچند بسیار ساده‌ی) سنگ است.

دیوید مار، مدلی در مورد سطوح سلسله مراتبی پردازش اطلاعات در سیستم عصبی دارد (**Marr & Poggio.- 1977**)[۲۱۹] که در فصول آینده به تفصیل در موردش صحبت خواهد شد. در اینجا فقط به این نکته اشاره می‌کنم که در مدل مار، هر سیستم پردازشگری دارای سه سطح ازپردازش اطلاعات است. ساده‌ترین سطح، عبارت است از سیستم پشتیبان سخت‌افزاری (مثلاً در مثال مورد علاقه‌ی ما، نورون‌ها و ساختار فیزیکی مغز) پس از آن سطح الگوریتمی قرار دارد که همین قانونمندی‌های حاکم بر پردازش اطلاعات پیچیده‌تر را در بر می‌گیرد. بالاترین سطح پردازش اطلاعات در مدل مار، عبارت است از حل مسائل به کمک تجزیه کردنشان به عاملهای سازنده‌شان (راهکار موازی با تحویل‌گرایی در علم).

ناگفته پیداست که در اینجا هم حد و مرز و کیفیت هر سطحی بر اساس تعریفی که از پردازشگرمان کرده‌ایم تعیین

---

۱ -دقت داشته باشید که مفهوم غایت‌انگارانه(**teleologic**) بودن رفتار یک سیستم، بحثی پیچیده و مهم در فلسفه‌ی زیست‌شناسی است که اینجا مجال طرح آن نیست. همینقدر لازم به ذکر است که غایت‌انگارانه بودن سیستم امری کاملاً ذهنی و موهوم است و آن علیت غایی (**causa finalis**) ارسطویی دیگر در هیچ بخشی از دانش مفهوم ندارد. ما فقط در شرایط خاصی حق داریم برای تحلیل سیستم مورد نظرمان نوعی غایت را در آن فرض کنیم تا کارمان راه بیفتد. اما اشتباه کردن این قرارداد با ماهیت واقعی پدیده‌ی مورد بررسی کاری کاملاً نادرست است. برای شرح بیشتر نگاه کنید به (**Mayr.- 1988**)[۲۲۴].

۲- **local minimum**

می‌شود. الگوریتم مغز برای یافتن عمق از روی محرک‌های نوری مجموعه‌ای از معادلات پیچیده را در بر می‌گیرد، و یک صافی از الگوریتمی با مبانی بسیار ساده‌تر -یعنی ممانعت فضایی سوراخ با ماده‌ی الک شده- پیروی می‌کند.
اما نکته‌ی مهم در مدل سلسله مراتبی مار، این است که پیش‌فرضی بزرگ در آن وجود دارد، و آن هم این که سطوح بالای سلسله مراتب پردازشی می‌توانند مستقل از سطوح زیرین عمل کنند. به این معنا که سطوح الگوریتمی (سطح ۲) بدون وابستگی یک به یک با سطح فیزیکی، و سطح تحلیل انتزاعی (سطح ۳) مستقل از دو سطح زیر خود می‌توانند به عمل پردازش اطلاعات مشغول باشند.

این فرض به این نتیجه می‌انجامد که وجود الگوریتم‌ها و برنامه‌های پردازشی مشابه در میان سیستم‌های پردازنده‌ی دارای سیستم فیزیکی متفاوت و کارکرد مشابه ممکن می‌باشد. بر اساس همین مدل، این فرض رواج زیادی دارد که مغز ما در کل رفتاری شبیه بقیه رایانه‌های معمولی از خود نشان می‌دهد. به همین دلیل هم بحث‌های فراوانی در مورد امکان نسبت دادن رفتارهای ویژه‌ی سیستم عصبی ما به رایانه‌ها در جریان است. این موضوع که آگاهی امکان ظهور در رایانه‌ها را دارد یا نه، آنقدر سروصدا کرده که پایش به مباحث عامیانه و روزمره‌ی مردم هم کشیده شده است.
چنانکه گفتیم، دیدگاهی از این دست را کارکردگرایانه می‌نامند. این زاویه‌ی دید در جهان علم کنونی غالب است و در این نوشتار هم مورد پذیرش قرارگرفته است. بنابر این دیدگاه، کارکردهایی مشابه، در سیستم‌هایی با سطوح پیچیدگی مشابه -اما ساختار فیزیکی متفاوت- می‌توانند ایجاد شوند. یعنی آنچه که کارکرد را ایجاد می‌کند، لزوماً نوع عناصر فیزیکی سازنده‌ی سیستم نیست، بلکه بیشتر شکل قرارگیری این عناصر در سیستم، و رفتار ناشی از آن است.

با وجود این که دیدگاه یاد شده مورد قبول نگارنده است، همگن گرفتن دو پردازنده که به اندازه‌ی رایانه و مغز با هم تفاوت دارند، کمی ساده‌انگارانه جلوه می‌کند. ایراد من بر این موضوع، نه از منظر توجه به فیزیک سازنده‌ی دو سیستم، که مبتنی بر کارکردهای متفاوت رایج در این دو سیستم است. به زودی در بحثی که در مورد نظریات گوناگون تحلیل کننده‌ی آگاهی ارایه خواهد شد، انتقادات مرا به این همگن فرض کردن کارکردها خواهید دید.

با وجود اینکه مغز و رایانه هر دو نمونه‌هایی پیچیده از سیستم‌های پردازنده هستند، اما کارکرد و معماریشان تفاوت زیادی با هم دارد و تشبیه یکی به دیگری چندان درست نیست. در واقع این تب خودکم*رایانه‌بینی*(!) رایج در این قرن، دنباله‌ی همان اپیدمی مرسوم در قرون گذشته است. بشر همواره مغز خود و آگاهی را به پیشرفته‌ترین دستاوردی که در صنعت داشته تشبیه می‌کرده است. خصلت الکتریکی جان گرفتن فرانکشتین بازتابی از آزمایش گالوانی (۹۸-۱۷۳۷.م) بود و روبوت‌های کارل چاپک نماد تب صنعت‌زدگی آخر قرن نوزدهم بودند. در طول تاریخ علم معاصر، مغز همگام با پیشرفت علم به ماشینی مکانیکی، کارخانه‌ای با چندین کارگر و سرکارگر و مدیر، ماشین حسابی الکترونیکی، و در نهایت پردازنده‌ای سیلیکونی تشبیه شده است. هرچند این تشبیهات در برخی از مقاطع می‌توانند روشنگر و مفید باشند، اما هرگز نباید فراموش کرد که مغز یک چیز است و ماشینهای به نسبت ساده‌ی تولید شده توسط ما چیزی دیگر. مهمترین تفاوت این دو، البته کارکردهای متفاوتشان است و نه محمول مادیشان. اگر روزی بشر ماشینی به پیچیدگی مغزش بسازد، آنگاه این برابری معنا خواهد داشت. اما گویا تا آن روز خیلی مانده باشد. شاید سالها طول بکشد تا بشر صدای ماشینی را بشنود که مانند هال بگوید: من می‌ترسم.[۱]

---

۱ -اشاره به داستان مشهور آرتور.سی.کلارک "راز کیهان" و مغز الکترونیکی هوشمند و آگاه معرفی شده در آن.

۳-۳-چ) زایش:

یکی از مفاهیم که بسیار مورد بحث است و باید در اینجا معرفی شود، مفهوم *زایش*[۱] است.
این مفهوم به معنای سربرآوردن پدیده‌های نوینی در درون سیستم‌های پیچیده است. اینکه این پدیده‌ها هویت بودشناختی مستقل دارند یا نه، مفهومی است که در آینده باید مورد بحث قرار گیرد. اما آنچه که مسلم است . ما به عنوان ناظرانی خارجی، این پدیده‌ها را دارای همان خواصی می‌بینیم که به پدیدارهای دارای هویت بودشناختی منسوب می‌دانیم.

پیش از این گفتیم که سیستم‌های فیزیکی دارای سه نوع عنصر هستند که عبارتند از ماده، انرژی و اطلاعات. و گفتیم که این سه عنصر در تقابل با هم صفاتی را برای سیستم ایجاد می‌کنند که در سطوح گوناگونی از سلسله مراتب (یا پیچیدگی، یا اندازه) پدیده‌های گوناگونی را ایجاد می‌کنند. هر پدیده، نتیجه‌ی عمل سیستم گیرنده (حواس) و پردازنده‌ی درون مغز ماست. به بیان دیگر، *به گمان من پدیده‌ها هویت بودشناختی مستقل ندارند* (وکیلی.-۱۳۷۶)[۳۱]. در این تصویر از جهان، با بالا رفتن از پلکان پیچیدگی، پدیدارهایی تازه و نوپدید را می‌بینیم که در سطوح قبلی دیده نمی‌شدند. این ظهور پدیده‌های بی‌سابقه در سیستم‌های سلسله مراتبی همان زایش است. مهمترین سیستم‌هایی که زایش را در خود به نمایش می‌گذارند، سیستم‌های زنده هستند (مونو.- ۱۳۵۹)[۲۵].

مغز ما نمونه‌ای برجسته از سیستم‌های سلسله مراتبی است. در این سیستم، چندین سطح گوناگون قابل تعریفند، که یکی از آنها سطح نورونی، و دیگری سطح شبکه‌ی عصبی است. در سطح نورونی، پدیده‌ی قابل مشاهده عبارت است از شلیک نورون‌ها، ولی در سطح شبکه‌ی عصبی -مثلاً شبکه‌ی عصبی هیپوکامپ- پدیده‌ای دیگر (مانند حافظه) ظاهر می‌شود که در سطح نورونی ما به ازای قابل‌قبولی ندارد. این پدیده‌ی نوظهور، که می‌تواند خاطره‌ی جشن تولد دو سالگی من باشد، هویت بودشناختی مستقلی جدا از الگوی شلیک نورون‌های یاد شده ندارد، اما به لحاظ پدیدارشناختی با آن یکتا نیست. ظهور پدیده‌ای مانند این، نمونه‌ای از زایش در سیستم‌های پیچیده است.

بنابر نظر یکی از صاحبنظران نظریه‌ی پیچیدگی، سه نوع زایش را می‌توان در سیستم‌های مورد علاقه‌ی ما نظر گرفت (**Cariani.- 1992**)[۱۹۹]:

الف)زایش محاسباتی[۲]:

در سیستم‌هایی دیده می‌شود که عملکرد عناصر خُرد[۳] در آن جبرانگارانه[۴]، و عملکردهای کلان[۵] در آن به دلیل وجود پدیده‌هایی مانند آشوب، غیرجبرانگارانه است. در این سیستم‌ها رفتارهای موجود در سطوح کلان را محاسبه یا پردازش می‌نامند. این مدل از زایش با تحویل‌انگاری سنتی همخوانی دارد و در آن عناصر سطوح زیری، با روندهای جبری خود رفتارهای کلان سطوح بالا را رقم می‌زنند. آشوب و برخالهایی که در دانش زندگی

۱- **emergence**
۲- **computational emergence**
۳- **microstate**
۴- **deterministic**
۵- **macrostate**

مصنوعی توسط تکنیکهای **FSA**[1] و شبکه‌ی کافمن[2] ایجاد می‌شود، نمونه‌هایی از این نوع زایش هستند. این انواع به سادگی قابل پیاده‌سازی در یک رایانه‌ی شخصی هستند.

جهانی که در این نوع زایش تصویر می‌شود، نوعی جهان افلاطونی با سازماندهی پایین به بالا و قانونمندی مطلق بنیادیش است. یعنی می‌توان روابط دو سطح خرد و کلان سلسله مراتب را در آن به این صورت تصویر کرد:

نظم ←----- نظم
جبر سطح خرد ←----- نظم سطح کلان
آشوب ریاضی ←----- رفتار غیرجبری کلان

زایش ترمودینامیک:

در این دیدگاه هم مثل مورد قبل فضا و زمان پیوسته فرض می‌شود و قوانین حاکم برآنها هم بنیادین و مطلق پنداشته می‌شود. این نوع زایش، در تمام پدیدارهای مربوط به زندگی، یعنی پیدایش و تکامل **DNA**، ایجاد شبکه‌های شیمیایی کاتالیتیک و ساختارهای انتشاری[3] دیده می‌شود. نمای ارتباطات دو سطح در این نوع زایش عبارتند از:

بی نظمی ←-----نظم
روندهای پیوسته‌ی سطح خرد ←----- روندهای گسسته‌ی سطح کلان
نوسانات سطح خرد ←----- ساختارهای نوین سطح کلان

زایش وابسته به مدل:

این دیدگاه بر مبنای نظریه‌ی اطلاعات طرح‌ریزی شده و می‌کوشد تا با استفاده از مفاهیم و کلیدواژه‌های رایج در شاخه‌های دیگر دانش، مفهومی یکدست و نهادین از زایش را به دست دهد. نمونه‌های رایج از زایش که مورد توجه این برداشت است، عبارت است از زبان، ساختارهای نمادین پیچیده، و سیستم‌های معنایی (طبیعی یا مصنوعی) دارای هم‌ارزی[4]. نمای این نوع زایش به این شکل است:

بی‌شکلی ←----- شکل
آشوب ←----- نظم
ابهام ←----- اطلاعات

۱- **Finite State Automata**: روشی است در دانش زندگی مصنوعی برای مدل‌سازی و تولید رفتارهای پیچیده‌ای مانند آشوب. برای توضیح بیشتر در مورد تکنیک‌ها و نتایج مورد بحث مراجعه کنید به: (**Langton et al.- 1992**)[۱۹۹].

۲- **Kauffman's net**

۳- **dissipative structures**

۴- **isomorphiism**

۳-۳-ح) بازنمایی:

nihil ist in intelectu, quod non pruis fruit in sensu

در ذهن چیزی نیست که پیش از آن در حواس وجود نداشته باشد.

یکی دیگر از مفاهیم رایج در نظریه‌ی هم‌افزایی، که به ویژه در مدل مورد نظر این رساله نقش کلیدی‌ای را ایفا خواهد کرد، بازنمایی است. بازنمایی پدیده‌ی موجود در یک سیستم، در سیستمی دیگر، بدان معناست که نوعی رابطه‌ی همریختی[1] بین الگوی قرارگیری عناصر پدیده‌ی مورد نظر، با سیستم بازنماینده وجود داشته باشد.
رابطه‌ی همریختی، نوعی بیان ریاضی از داشتن ارتباط یک به یک بین اجزای دو مجموعه است. اگر یک معادله‌ی ریاضی، خطی را بر دستگاه مختصات خود ترسیم کند، که آن خط در دستگاهی دیگر و توسط معادله‌ای دیگر هم قابل‌نمایش باشد، در آن حالت معادله‌ی دوم نسبت به اولی دارای نوعی رابطه‌ی همریختی خواهد بود. همچنین در نظریه‌ی مجموعه‌ها هم مفهوم همریختی وجود دارد، در آنجا هم امکان برقرارکردن رابطه‌ی یک به یک بین اعضای دو مجموعه هم‌ارز با همریخت بودن دو مجموعه پنداشته می‌شود.

آنچه که در این سطور از مفهوم بازنمایی برمی‌آید، کمی از این برداشت انتزاعی ریاضی ملموس‌تر است. بد نیست تا منظور خود از بازنمایی را در قالب چند مثال بیان کنم:
یک صفحه‌ی گرامافون را در نظر بگیرید. این صفحه عبارت است از یک سطح صاف که خطی مارپیچی بر روی آن کشیده شده است. شیار مارپیچی یاد شده، بسته به عمق، صافی، و ساختار فیزیکی خود، می‌تواند ارتعاشی را به سوزن گرامافون القا کند که پس از تقویت شدن توسط یک واسطه‌ی الکترونیکی، به صورت موسیقی به گوش ما می‌رسد. ادعای ما این است که در بین صفحه و موسیقی تولید شده نوعی رابطه‌ی همریختی وجود دارد و صفحه، موسیقی یاد شده را بر سطح خود بازنمایی می‌کند.

ببینیم این حرف چه معنایی دارد. هر نت یا صدای موجود در هر مقطع زمانی از موسیقی، را می‌توان با علامتی مانند **ds/dt** نشان داد، که در واقع عبارت است از تابع صوت که در یک برش زمانی تعریف شده باشد. هر **ds/dt**ی قابل‌شنیدن، در واقع نتیجه‌ای از عملکرد سیستم گرامافون، بر شیارهای صفحه می‌باشد. یعنی بر صفحه هم می‌توان **dx/dt**ای تعریف کرد که برابر است با هر نقطه از خط مارپیچی که توسط سوزن گرامافون برای تولید موسیقی پیموده می‌شود. حالا اگر به این دو مفهوم **ds/dt** و **dx/dt** بنگریم، می‌بینیم که این دو با هم نوعی رابطه‌ی یک به یک دارند. هر نقطه بر مارپیچ یاد شده، همریخت است با نقطه‌ای از موسیقی -اگر به صورت خطی بر فضای فاز دارای بُعدِ زمان تصویر شود. به این ترتیب بنابر تعریف ما صفحه، موسیقی را بازنمایی می‌کند.

یک مثال دیگر، یک برنامه‌ی تصویری ساده‌ی رایانه‌ای است. دیسکتی را مجسم کنید که بر رویش اطلاعات کافی برای نمایش یک تصویر ذخیره شده باشد. این دیسکت ساختاری فیزیکی است که اطلاعات مربوط به قرارگیری نقاط رنگی بر مختصات دو بعدی نمایشگر رایانه، در ساختار الکترومغناطیسی سطح آن ذخیره شده است. شاید نتوان به ازای هر نقطه از صفحه‌ی نمایشگر، نقطه‌ی خاصی از سطح دیسکت را نشان داد که اطلاعات مربوطه را در خود حفظ

۱- **isomorphism**

کرده باشد، اما در نهایت این مشخص است که الگوی سازمان یافتن سطح دیسکت، رابطه‌ای یک به یک با الگوی قرارگیری نقاط رنگی بر نمایشگر دارد. یعنی کل سیستم الکترومغناطیسی سطح دیسکت با کل سیستم تصویر موجود بر نمایشگر همریخت است. در اینجا برای نشان دادن ارتباط این دو الگو تعریف تابعهایی به سادگی **ds/dt** و **dx/dt** ممکن نیست. اما اگر معادلات پیچیده‌تری به کار ببریم، نوعی ارتباط ریاضی را بین این دو مفهوم پیدا خواهیم کرد. این نوع معادلات را به وفور در کتابهای مهندسی سخت‌افزار می‌توان یافت. بنابراین بر اساس تعریف ما، این حالت اخیر (رابطه‌ی دیسکت-تصویر) هم نوعی بازنمایی محسوب می‌شود.

به این ترتیب بازنمایی دارای چند ویژگی خواهد بود:

نخست این که به ساختار فیزیکی سیستم بازنماینده و سیستم بازنمایی شده ارتباط چندانی ندارد. بلکه بیشترین معنی را در مورد ارتباط اطلاعات موجود در دو سیستم دارد. یعنی شباهت ماده و یا انرژی محک تشخیص بازنمایی نیست. شباهت الگوی اطلاعاتی دو سیستم است که تعیین کننده‌ی بازنمایی چیزی در چیز دیگر است. چنان که دیدیم، یک ساختار سخت فیزیکی غیرپویا (سطح صفحه گرامافون)، به خوبی می‌تواند ساختاری انرژیایی پویایی مانند موسیقی (یعنی ارتعاشات هوا) را بازنمایی کند.

دوم این که بازنمایی معمولاً حفظ اطلاعات سیستمی پویا و کوتاه عمر را در سیستمی پایاتر و دارای عمر بیشتر معنی می‌دهد. دو سیستم که هر دو دارای همریختی با هم هستند نوعی رابطه‌ی دوطرفه را نمایش می‌دهند، یعنی هریک می‌تواند بازنمایی دیگری باشد. این تقارن با معیار تداوم در زمان می‌شکند. یعنی سیستمی که تداوم بیشتری در زمان دارد، بازنماینده‌ی دیگری خواهد بود. پس در مورد صفحه‌ی گرامافون، صدا را بازنماینده‌ی پستی و بلندی سطح صفحه نمی‌دانیم، بلکه برعکس صفحه را بازنماینده‌ی موسیقی در نظر می‌گیریم.

سوم این که بازنمای نسبی است. یعنی بنابر مثال قدیمی‌مان، نباید دنبال نقشه‌ای با مقیاس واحد بگردیم. تشخیص وجود همریختی در بین محتوای اطلاعاتی دو سیستم، کاری است که بر عهده‌ی ناظر نهاده شده، و هرچه قرارداد ناظر دقیقتر باشد، بازنمایی‌های بیشتر و ظریفتری را هم درک خواهد کرد.

من در این رساله، به دنبال ردپای بازنمایی در سیستم عصبی جانوران می‌گردم، و می‌خواهم به کمک آن آگاهی را تعریف کنم. پس باید کمی دقیقتر و گسترده‌تر در مورد نمودهای این مفهوم در شبکه‌های عصبی طبیعی صحبت کنم. پژوهشگرانی که در همین زمینه قلم زده‌اند، بازنمایی را به دو دسته تقسیم می‌کنند. *بازنمایی فعال*، مانند درک نمادهای بازنماینده‌ی یک چیز (مانند عکس)، و *بازنمایی غیرفعال یا نهفته* که به شبکه‌ی عصبی موجود در مغز و الگوی شلیک عصبی موجود در آن برمی‌گردد. این الگو در واقع پدیده‌های ویژه‌ی قابل‌درک برای ما را در جهان خارج تعریف می‌کند (**Crick & Koch.- 1997**)[۸۵]. بازنمایی غیرفعال، می‌تواند به دو صورت وجود داشته باشد. یا تک نورون‌ها و گروه‌های محدود نورونی وظیفه‌ی بازنمایی یک پدیده‌ی خاص را بر عهده دارند، و یا الگوی کارکردی یک شبکه‌ی کلان عصبی یک بازنمایی ویژه را بازنمایی می‌کند[۱]. شواهد زیادی وجود دارد که وجود هر دو نوع راهکار را در دستگاه عصبی جانوران تأیید می‌کند. توجه ما در این رساله بیشتر بر روی بازنمایی غیرفعال متمرکز خواهد بود که عملکرد خودکار سیستم عصبی را مورد تأکید قرار می‌دهد و طبیعتی عامتر و کلانتر دارد. بازنمایی فعال، بیشتر به عنوان نمونه و مثال در بخش مربوط به سیستم بینایی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

می‌دانیم که واحد پردازش و انتقال اطلاعات در سیستم عصبی جانوران، نورون است. این واحد، باید به طریقی

۱-این نوع بازنمایی را پراکنده (**distributed representation**) می‌نامند.

اطلاعات گرفته شده از محیط را -که معمولاً مجرایش دندریت است- در درون خود بازنمایی کند و آن را به همان ترتیب به نورون‌های بعدی منتقل کند. به عبارت دیگر، کاری که تک نورون در ارتباط با اطلاعات می‌کند عبارت است از گرفتن اطلاعات از تمام کانالهای ورودی (مثل دندریت، و سایر سیناپس‌ها)، کدگذاری اطلاعات مربوطه به آنها در ساختار خود (یعنی بازنمایی در ساختار)، پردازش این اطلاعات (که معمولاً در تپه‌ی آکسونی[۱] انجام می‌شود)، و انتقالشان به هزاران نورون بعدی (که معمولاً مجرایش آکسون است). نخستین گام در مدل‌سازی پردازش اطلاعات در مغز، به چگونگی بازنمایی این اطلاعات در تک نورون مربوط می‌شود. اگر ما بتوانیم مدلی شایسته از بازنمایی داده‌های ورودی در تک نورون پیدا کنیم، این شانس را هم خواهیم داشت که مدل‌های پیچیده‌تر شبکه‌ی عصبی خود را بر پایه‌هایی محکم بنا کنیم.

راه معمولی که برای نمایش دادن اطلاعات بازنمایانده شده در تک نورون به کار گرفته می‌شود، عبارت است از کد کردن اطلاعات در سرعت شلیک نورون‌ها. یعنی به طور کلاسیک، چنین فرض می‌شود که سرعت و بسامد شلیک نورون‌ها حامل اصلی اطلاعاتی است که توسط نورون منتقل می‌شود. به این ترتیب به عنوان مثال شدت شلیک نورون‌های ناقل درد را در منابع رسمی به عنوان راهی برای کد کردن شدت درد ذکر کرده‌اند، و بسامد شلیک گیرنده‌های کد کننده‌ی صوتهای زیر و بم را بازنماینده‌ی شدت صوت مربوطه می‌دانند.

شواهد الکتروفیزیولوژیک فراوانی وجود دارد که این دیدگاه را تأیید می‌کند. من در اینجا نمی‌خواهم منکر اهمیت بسامد شلیک در کد کردن اطلاعات شوم، اما معتقدم این شاخص به تنهایی برای بیان ثبت حجم عظیم اطلاعات نهفته در نورون کافی نیست. در برابر این مدل ساده‌انگارانه مدل‌های جدیدتر دیگری هم وجود دارند که شاخصهایی دیگر مانند الگوی فعالیت نورون در راستای محور زمان و یا وضعیت فضایی نورون به نورون‌های دیگر را شاخص تعریف اطلاعات در نظر می‌گیرند (**Hopfield.- 1995**)[۱۶۵].

در مغز جانوران عالی الگوهای متنوعی برای بازنمایی جهان خارج وجود دارد. در اینجا به برخی از آنها اشاره خواهد شد. هدف از این مرور تنها نشان دادن درجه‌ی عمومیت این کارکرد مغز است.

درکل دو نوع بازنمایی را می‌توان در مغز در نظر گرفت: نخست *بازنمایی غیر نقشه‌ای*[۲] و دوم *بازنمایی نقشه‌ای*[۳]. در *بازنمایی نقشه‌ای*، شکلی کمابیش مشابه با نقشه‌ی خارجی محرک‌های موجود در جهان خارج در مغز قابل تشخیص است. به عنوان مثال، بازنمایی اطلاعات شبکیه بر **LGB** به صورت نقشه‌ای صورت می‌گیرد. همچنین نقشه‌ی سبیلهای موش بر قشر مخش، و آدمک حسی[۴] ماهم نمونه‌هایی دیگر از بازنمایی نقشه‌ای هستند. در (شکل-۱) نمونه‌ای از این بازنمایی را در ناحیه‌ی حسی اولیه در قشر مخ میمون جغدی می‌بینید. دقت داشته باشید که قرارگیری نقاط بازنماینده‌ی پوست دست در این میمون، با الگوی قرارگیری همین نقاط در دست میمون رابطه‌ی یک به یک دارد. یعنی هر دو نقطه‌ی نزدیک به هم در دست، بر دو نقطه‌ی نزدیک به هم در قشر مخ بازنمایی می‌شوند.

مثال دیگر حس بویایی است. نشان داده شده که بوهای گوناگون در لوب بویایی خرگوش بازنمایی فضایی ویژه و متمایزی را پیدا می‌کنند (**Scarda & Freeman.- 1987**)[۲۷۸]. همچنین در مورد حس بویایی حشرات هم نشان داده شده که بازنمایی بوهای گوناگون بر لوب شاخکی -همتای لوب بویایی پستانداران- به صورتی سازمان‌یافته انجام می‌شود و بوهای گوناگون مکان‌یابی فضایی ویژه‌ای برای خود دارند (**Joerjes et al.- 1997**)[۱۷۴]. با این ترتیب در

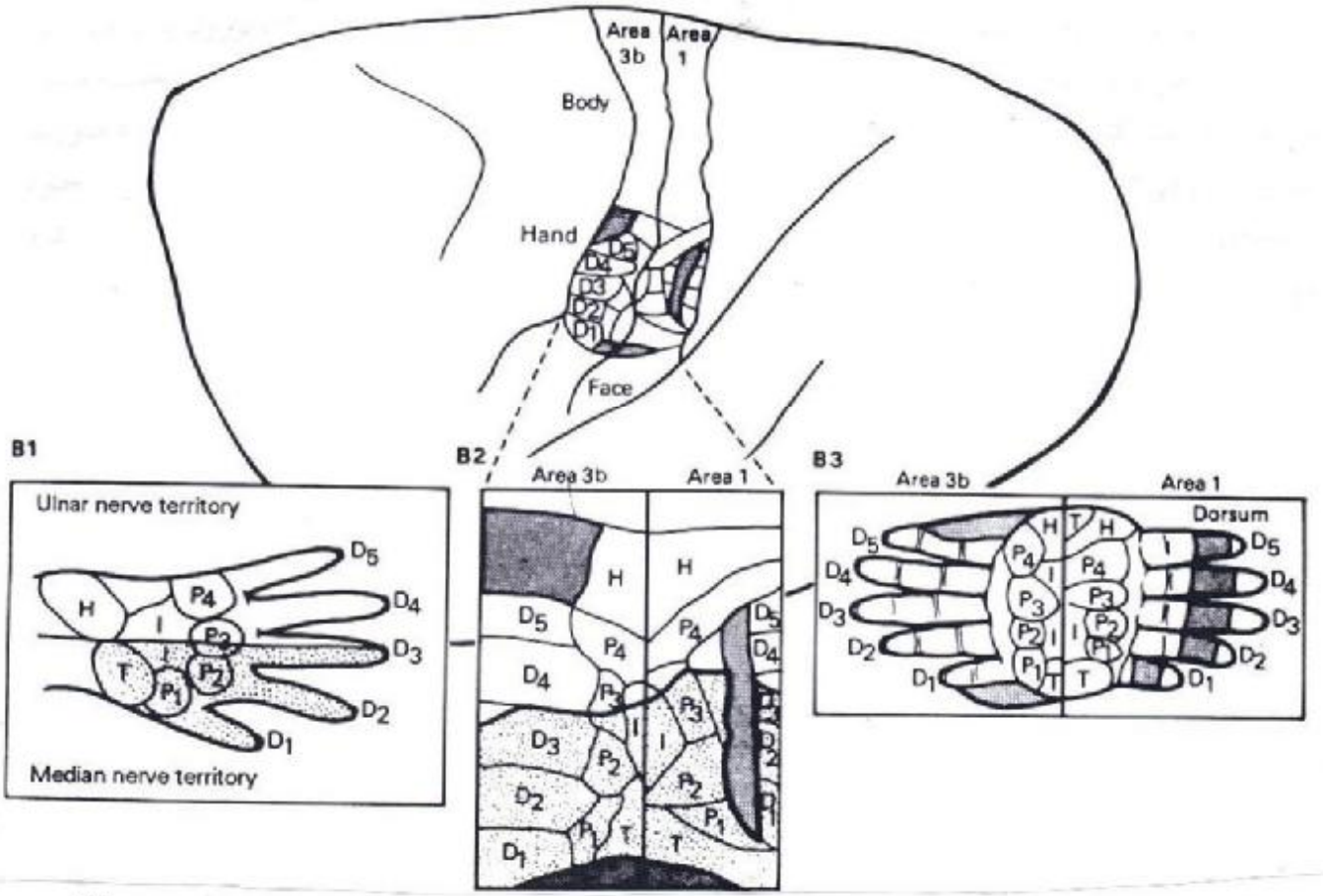
۱- **axonal hillock**

۲- **non-topographical map**

۳- **topographical map**

۴- **humunculus**

مورد این نوع بازنمایی هم می‌توان خصلت نقشه‌ای را به کار برد.



شکل-۱: بازنمایی اطلاعات پساوایی پوست دست در قشر مخ میمون جغدی (Kandel & Schwartz.- 1991).[۱۸۲]

بازنمایی غیرنقشه‌ای، هنگامی پدید می‌آید که بخشهای مشخصی از سیستم عصبی محرکهای ویژه‌ای را بازنمایی کنند، اما مجموع این بازنمایی‌ها نقشه‌ای از آنچه که در جهان خارج رخ داده را -دست کم به شکل منسجم و نقشه‌مانند- تشکیل نمی‌دهد. به عنوان مثال می‌دانیم که اطلاعات مربوط به شیب خط‌ها در قشر پس‌سری بازنمایی می‌شود. کلاوس آلبوس[۱] مدتها قبل بازنمایی ا محرک را در قشر بینایی گربه بررسی کرده و به این نتیجه رسیده که به ازای هر ۵۰ میکرون که بر سطح قشر مخ حرکت کنیم، شیب خط بهینه‌ای که نورون به آن بیشترین پاسخ را می‌دهد، ۱۰° تغییر می‌کند (Albus.- 1975)[۵۹]. به این ترتیب ستونها کنارهم در قشر بینایی پستانداران، خطوطی با شیبهای مشابه را بازنمایی می‌کنند. اما این بازنمایی به شکلی نیست که نقشه‌برداری از بازنمایی‌های نورون‌های قشر مخ به استنتاج نقشه‌ای -هرچند خام- از محرکهای وجود در جهان خارج منجر شود.

مثال دیگر در مورد بازنمایی غیرنقشه‌ای، به ادراک محل صدا در مغز مربوط می‌شود. مغز مکانیسم دقیقی را برای بازنمایی مکان صدا در مغز دارد. نشان داده شده که نورون‌های برجستگیهای چهارگانه‌ی پایینی[۲] سازمانی سلسله مراتبی برای پردازش اطلاعات فضایی مربوط به صدا دارند. نورون‌های سطحی آنها بسامد صدای شنیده شده، و

۱- Klaus Albus

۲- inferior colliculus

نورون‌های عمقی‌تر کیفیتهایی مانند مکان صدا و پیچیدگی صوت را بازنمایی می‌کنند. در اینجا هم با وجود سلسله مراتبی بودن پردازش اطلاعات و حضور نوعی بازنمایی، نقشه‌ای یک به یک از جهان خارج مشاهده نمی‌شود.

اطلاعات، به دو شکل متمرکز یا منتشر می‌توانند در مغز بازنمایی شوند. در حالت متمرکز، نورون یا نورون‌هایی ویژه و مشخص برای کد کردن اطلاعات مربوط به تجربه یا پدیده‌ای خاص به‌کارگرفته می‌شوند، اما در حالت منتشر تمام شبکه چنین کاری را انجام می‌دهند. برای مدتها، اینطور تصور می‌شد که بازنمایی اطلاعات در مغز به صورت منتشر انجام می‌شود. این نظر به ویژه زیر اثر آزمایش مشهور لشلی[۱] بود که با تجربه‌ای نه چندان دقیق وجود حافظه‌ای منتشر از راه‌های یک ماز را در مغز موش نشان داده بود. حالا، این تجربیات به شدت مورد انتقاد هستند و شواهد فراوانی در جهت عکس برای تأیید وجود بازنمایی موضعی و متمرکز در دست است.

وجود نورون‌های ویژه‌ای در قشر مخ که به محرکهای ویژه مانند طرح کلی چهره یا شکل دست حساسند، و همچنین نورون‌های ناحیه‌ی اول قشر بینایی که به خطوط و زوایای خاصی واکنش نشان می‌دهند، نشانگر وجود بازنمایی موضعی در مغز است. نشان داده شده که بازنمایی تجربیات خاص هم می‌تواند در بخشهایی بسیار کوچک از مغز انجام گیرد. به عنوان مثال نشان داده شده که تجربه‌ی بی‌خطر بودن فوت کردن به چشم خرگوش در یک هسته‌ی کوچک موجود در عمق پایه‌ی بالایی مخچه کدگذاری می‌شود (**Thompson.- 1976**)[۲۲۳]. خرگوش در حالت عادی در برابر فوت کردن به چشمش بازتاب بستن چشم را از خود نشان می‌دهد. اگر این هسته تخریب شود، این بازتاب در جای خود باقی می‌ماند اما باز ماندن چشم -که از تجربه‌ی بی‌خطر بودن آن ناشی شده بود، از بین می‌رود.
به این شکل نتایج به دست آمده توسط لشلی اعتبار سابق خود را از دست داده‌اند و وجود مراکز و تک نورون‌های بازنماینده‌ی تجربه یا محرک ویژه‌ای را تأیید می‌کنند.

ناگفته نماند که بازنمایی منتظر هم در برخی شرایط و در مورد بعضی اطلاعات قابل تأیید است. مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی و همتاهای زیست‌شناختی آنها -که مثلاً در حلزون **Aplysia** یافت شده- نشان می‌دهد که حالت منتشر هم در خیلی از موارد احتمالی قوی محسوب می‌شود (**Kandel & Schwartz .- 1991**)[۱۸۲]. یعنی برخی از تجربیات و پدیده‌های درک شده به صورت الگویی از شلیک شبکه‌ای در مغز حفظ می‌شود.
افراط در هریک از دو حالت یاد شده می‌تواند به باطلنماهای مضحکی مانند نورون *مادربزرگ*[۲] از یکسو، یا روح در ماشین از سوی دیگر منجر شود. ناگفته پیداست که هردو حالت افراطی و تفریطی در تصور گستردگی شبکه‌ی عصبی بازنمایه‌ی یک پدیده‌ی خاص می‌توانند گمراه کننده باشند. حقیقت آن است که به ازای هر پدیده‌ای، شبکه‌ای -کوچک یا بزرگ- در مغز وجود دارد که آن را بازنمایی می‌کند، اما شکل و رفتار دقیق آن لزوماً در همه‌ی افراد یکسان نیست و می‌تواند بسته به تجربه و ژنوم تغییر کند.

۱- **Lashley**: دانشمندی که در پی یافتن مکان حافظه **engram** در مغز موش بود و چون مشاهده کرد اختلال حافظه فقط با مقدار آسیب مغزی (و نه کیفیت آن) ارتباط دارد، اصلی به نام هم‌توانی (**equipotentiality**) را فرض کرد که بر مبنای آن حافظه به صورت منتشر در تمام شبکه‌ی عصبی کدگذاری می‌شود.

۲- **grandmother cell**: عنوانی تحقیرآمیز که به نظریات علاقمند به بازنمایی موضعی افراطی اطلاق می‌شود. اگر این نظریات را تا آخر ادامه دهیم، به این نتیجه می‌رسیم که نورون خاصی در مغز من وجود دارد که وظیفه‌اش تنها بازنمایی تصویر مادربزرگم را به هنگام دوچرخه‌سواری (!) است. این عنوان برای نشان دادن نظریه‌ی نادرست برابر بودن تعداد نورون‌های بازنماینده با پدیده‌های مشاهده شده به کار می‌رود. نظریه‌ی یاد شده را بازنمایی اتمی هم می‌نامند.

امروزه چنین به نظر می‌رسد که بازنمایی در مغز به هر دو شکل موضعی و پراکنده انجام شود. شواهد مربوط به بازنمایی حواس در اینجا به این دلیل ذکر شد تا این نتایج که به گمان من در مورد همه‌ی حواس عمومیت دارند، نتیجه شوند: نخست این که بازنمایی نقشه‌ای در مورد حواس دقیقتر و مهمتر در مغز کاربرد دارد. دوم این که جزئیات و طرح دقیق این نقشه‌ها به کمک دو عامل تعیین کننده‌ی ژنوم و محیط تعیین می‌شوند. محیط ممکن است در تک تک افراد تغییراتی عمده را ایجاد کند، اما در نهایت این ژنوم است که با تغییرات کلان خود طرح‌واره‌ی کلی نقشه‌ی بازنمایی را رقم می‌زند.

برخی از نظامهای شناخته شده برای بازنمایی پدیده‌های خیلی مهم و بنیادی در مغز، به طور مشخص ریشه‌ی وراثتی دارند. یعنی سیم‌کشی نورونی کد کننده‌ی آنها، و سازمان بیوشیمیایی مربوطه‌شان مستقیماً توسط ژنها برنامه‌ریزی می‌شوند و خصلتی پیش‌تنیده دارند. دست کم در مورد بازنمایی زمان، که چرخه‌های بیوشیمیایی خاصی برای ردگیریش وجود دارد، ژنهای مشخصی شناخته شده‌اند. ژنهای گروه **per** نمونه‌هایی از این ژنها هستند (**Takahashi & Hoffman.- 1995**)[۳۰۳]. همچنین نقش مهم سازماندهی وراثتی شبکه‌های عصبی را هم نباید نادیده گرفت. این سازماندهی همان است که در نهایت تقسیم کار بین بخشهای مختلف مغز را رقم می‌زند.

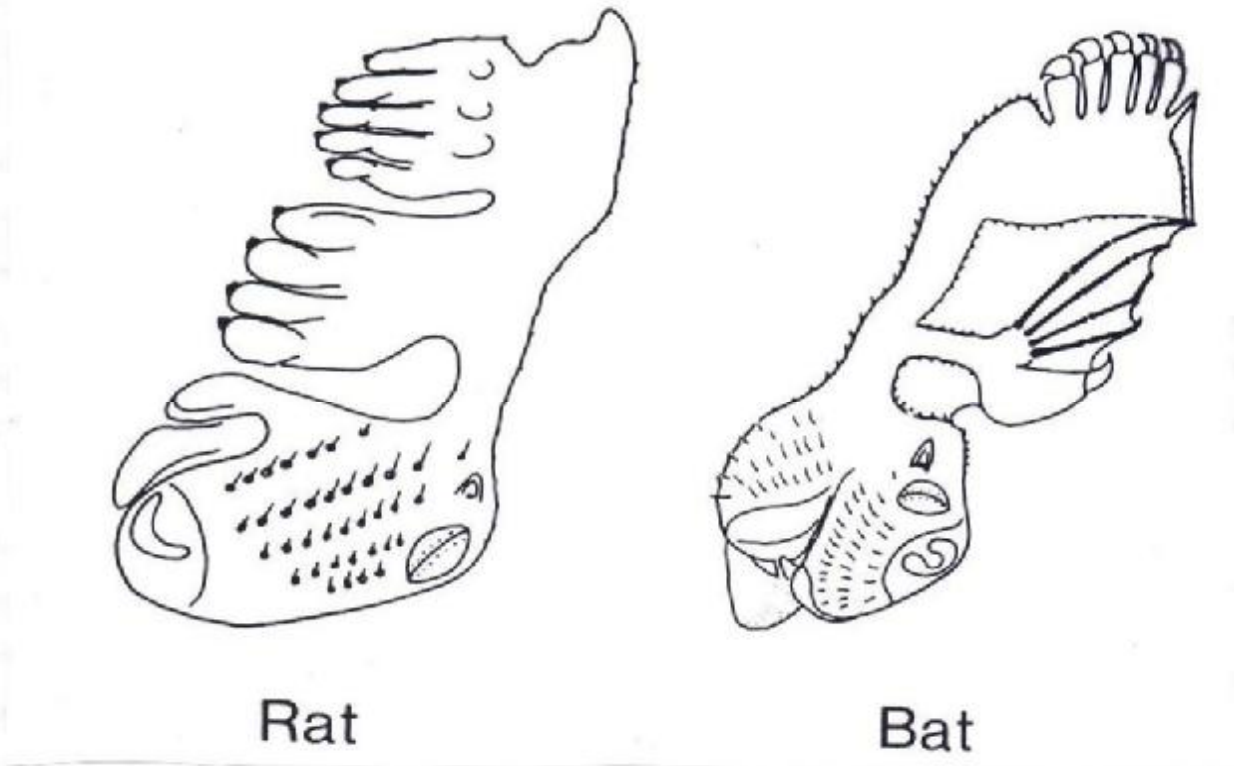
ناگفته پیداست که تقریباً تمام موارد مهم بازنمایی در مغز، نتیجه‌ی دو عامل مهم ژن/محیط هستند . به ندرت می‌توان حس یا ادراکی را یافت که نقش یکی از این دو در برابر دیگری بیش از حد کمرنگ شده باشد. یک نمونه‌ی مشهور از این تعادل، همان بازنمایی محرکهای پساوایی در قشر حسی پستانداران است که گفتیم نمونه‌ای از بازنمایی نقشه‌ای در مغز است. نشان داده شده که بر قشر مخ همه‌ی پستانداران نقشه‌ای با دقت و ریزه کاری کم یا زیاد از بدن وجود دارد که در عمل اطلاعات ورودی از سیستم گیرنده‌های سطحی پوست را بازنمایی می‌کند. این نقشه بسته به پیچیدگی مغز و نیاز موجود به اطلاعات پساوایی می‌تواند در دامنه‌ای وسیع نوسان کند. به عنوان مثال در انسان این نقشه‌ها با مناطق حسی اولیه و ثانویه منطبقند که هریک به شکل خاصی و با دقت متفاوتی بدن را بازنمایی می‌کنند. آدمک حسی مشهور در واقع همان نقشه‌ی بازنمایی شده بر قشر اولیه‌ی حسی است. در موش، که حس پساوایی نقش مهمتری را برایش ایفا می‌کند، پنج ردیف سبیل در جلوی پوزه وجود دارد که مجموع آکسون‌های منتقل کننده‌ی اطلاعات آنها عصبی قطورتر از عصب بینایی را پدید می‌آورند. این اعصاب حسی بزرگ به قشر مخ می‌روند و به ستونهایی عمود بر محور قشر مخ منتهی می‌شوند که **barrel** نامیده می‌شوند و هرکدام، یکی از سبیلهای موش را بازنمایی می‌کنند (**Vander Loos & Woolsey.- 1970**)[۳۱۵].

بررسی الگوهای فعالیت عصبی در نورون‌های گره‌های بویایی[۱] زنبور نشان می‌دهد که بازنمایی بوهای گوناگون در این حشره هم الگوهای منحصر به فرد و وابسته به تجربه‌ای را نمودار می‌سازد. به عنوان مثال، یک بوی خالص -مثل بوی عصاره‌ی مرکبات- یک بازنمایی یکتا و مشترک در مغزهای همه‌ی زنبورها را از خود نشان می‌دهد، اما بوی پیچیده‌تری مثل هگزانول -که در فرومون‌ها و بوی گلها وجود دارد،- الگویی پیچیده‌تر را در این شبکه‌ی عصبی ایجاد می‌کند که وابسته به تجربه‌ی زنبور، در هر مغزی شکلی خاص به خود می‌گیرد. امروزه به کمک ابزارهای دقیق عکسبرداری فلئورسانس، امکان ثبت و نقشه‌برداری از این الگوهای فعالیتی وجود دارد (**Joerges et al.- 1997**)[۱۷۴]. این نقشه‌ی مغزی چیزی منحصر به فرد نیست و در مورد بخش عمده‌ای از حواس، نقشه‌های مشابه را با دقتی بیشتر یا

۱- **glomeruli** گروه‌هایی از نورون‌های موجود در لوب شاخکی (**antennal lobe**) حشرات هستند که به عنوان مراکز همگرایی پیامهای بویایی عمل می‌کنند. تعداد آنها در زنبور ۱۵۶ تا است و از تمرکز شصت هزار آکسون گیرنده‌ی بویایی پدید می‌آید.

کمتر در جانوران مختلف می‌توان سراغ کرد.

بازنمایی بخشهای مختلف بدن در جانداران گوناگون، بسته به شرایط تکاملی خاصشان، و نحوه‌ی زندگیشان، و ترتیب اهمیت محرکها برایشان، اشکال متنوعی به خود می‌گیرد. در واقع بازنمایی موجود از جهان خارج و از خودش، سیستمی پویا و دگرگون شونده را تشکیل می‌دهد که تغییراتش بسته به عوامل متفاوتی می‌توانند تعیین شوند. یک مثال خوب در این مورد، به خفاش برمی‌گردد. می‌دانیم که در همه‌ی پستانداران، به جز خفاش، دستها و پاها در یک راستا نسبت به بدن قرار دارند. یعنی بدن سطحی را می‌سازد که دو دست و دو پا با زاویه‌ای کم یا زیاد، به سمت زمین از آن خارج شده‌اند. در نمونه‌های کمیاب دوپایی هم که در این میان وجود دارند، الگوی کلی چیزی مشابه همین امر است و دست و پا هردو به سطح شکمی بدن چسبیده‌اند و در نهایت به سمت زمین کشیده شده‌اند. تنها در خفاش است که دستها به سمت پشت خم شده‌اند و نقش بال را بر عهده گرفته‌اند. حتی در این جانور هم محل خروج دستها از تنه در سطح شکمی است، اما در حالت عادی بخش عمده‌ی دست -که همان بال باشد- درکنار و پشت بدن چین خورده و بر روی بدن جمع شده‌اند. شواهد به دست آمده از نقشه برداری قشر حسی خفاش نشان می‌دهد که در نقشه‌ی حسی این موجود هم دستها در پشت بدن بازنمایی می‌شوند و حالت معمول مشاهده شده در سایر پستانداران را ندارد. در (شکل- ۲) تصویر به دست آمده از نقشه‌ی حسی خفاش با موش مقایسه شده است (Calford.- 1985)[۵۹].



شکل- ۲: مقایسه‌ی نقشه‌ی حسی خفاش و موش.

همچنین در خفاش‌های دارای سیستم جهت‌یابی راداری، بازنمایی اصوات هم به شکلی دیگر هستند. نورون‌های سطحی موجود در برجستگیهایی چهارگانه‌ی زیرین در این جانوران -که گفتیم به بسامد صوت حساسند- تعدادی بسیار زیاد دارند و در همین سیستم هم نورون‌هایی ویژه با حساسیت به قطع شدن بازتاب صدا، و وقفه‌های زمانی کم

یا زیاد در بازگشت پژواک صدا وجود دارند. یعنی بازنمایی مکان صدا در خفاش، به دلیل سیستم خاص راداری که دارد، طوری تغییر کرده که مکان جانور در آسمان را هم نشان می‌دهد.

چگونگی بازنمایی بخشهای مختلف اطلاعات بینایی در بام مغز خزندگان هم می‌تواند در این زمینه جالب باشد. نشان داده شده که بام کناری[۱] فضای بینایی و میدان دید عادی جانور را به همراه بخشهای جلویی بدن (مثل سر) بازنمایی می‌کند. بام میانی[۲] پهلوهای بدن را بازنمایی می‌کند و بام پشتی[۳] بخشهای زیرین بدن را بازنمایی می‌کنند. نتیجه این که تمام بخشهای بدن به جز سر و صورت در زیر خط افق (محدوده‌ی عادی میدان بینایی) بازنمایی می‌شود (**Spirelli.- 1990**)[۲۹۶]. یعنی طریقه‌ی بازنمایی اطلاعات بینایی در خزندگان با وضعیت قرارگیری بدنشان بر روی زمین و اطلاعاتی که در حالت عادی دریافت می‌کنند سازگار شده است. علاوه بر این مثال تکاملی از پویا بودن نقشه‌های بازنماینده‌ی موجود در مغز، مثالهایی در تکوین موجودات هم می‌توان زد. نشان داده شده که قطع انگشتهای میمون، در زمان کودکی، نقشه‌ی مغزی جانور را تغییر می‌دهد و در قشر حسی /حرکتی باعث ادغام ناحیه‌ی مربوط به انگشت قطع شده در ناحیه‌ی مربوط به انگشت همسایه‌اش می‌شود (**Kandel & Schwartz.- 1991**)[۱۸۲]. به زودی در بخش مربوط به بینایی با آزمونهای دیگری آشنا خواهیم شد که نشان خواهند داد بازنمایی محرکهای ویژه و خاص در سیستم بینایی هم می‌تواند زیر اثر تجربه حذف شود.

چنان که گفتیم، بازنمایی لامسه، زیر اثر برنامه‌ی ژنومی و محرکهای محیطی تغییر می‌کند. یکی از موارد جالبی که می‌توان به نقش برنامه‌ی ژنتیکی در شکل این نقشه پی برد، به افرادی مربوط می‌شود که به طور مادرزاد فاقد دست یا پا هستند. افرادی که در اثر حادثه دست وپای خود را از دست می‌دهند، گاه در اندام از دست رفته‌ی خود احساس سوزش، خارش، و ادراکات دیگر پساوایی را می‌کنند. نشان داده شده که این حالت به تحریک سر نورون‌های آوران اطلاعات پساوایی به قشر حسی در مخ باز می‌گردد. به عبارت دیگر تحریک انتهای قطع شده‌ی اعصاب مربوط به این اندامها احساسی را در مغز ایجاد می‌کند که گویی اندام هنوز در جای خود قرار دارد. اما این امر تنها به داشتن تجربه‌ی حسی در اندام یاد شده برنمی‌گردد. بررسی ۱۲۵ نوزاد که به طور مادرزاد فاقد دست یا پا بوده‌اند نشان می‌دهد که حس درک دست و پای موهوم[۴] در این کودکان هم وجود دارد. به عبارت دیگر، گویا نقشه‌ای از بدن با جزئیات کامل به طور وراثتی در مغز وجود دارد و در ابتدای تولد حتی بدون وجود اندامهای مربوطه هم کارکردی هرچند محدود دارد[۹۸]. ناگفته پیداست که این ادراکات موهوم به زودی پس از تجربه‌ی بیشتر محیط اطراف با بدن ناقص بیمار، از بین می‌رود.

به نظر می‌رسد که در طول تکامل تعداد نقشه‌های حسی موجود در مغز مهره‌داران مرتب بیشتر شده باشد. به این معنا که تعداد نقشه‌های حسی مربوط به حس بینایی در موش فقط دو تاست، اما از همین نوع نقشه در مغز میمون بیست تا وجود دارد[۵] (**Blakemore.- 1990**)[۵۹]. این در واقع ننمودی از افزایش پیچیدگی در جریان تکامل است، و همان است که در نوشتاری دیگر با عنوان *افزایش ابعاد فضای فاز سیستم زنده در طول زمان* به آن اشاره کرده‌ام (وکیلی.- ۱۳۷۷)[۳۳].

۱- **lateral tectum** ۲- **medial tectum**

۳- **caudal tectum** ۴- **phantom limb**

۵- آشکار است که هریک از این نقشه‌ها کارکرد خاصی دارند و چیز خاصی را بازنمایی می‌کنند.

بخش چهارم) سیستم بینایی:

تأیید مدلی که در مورد آگاهی ارائه خواهم کرد، نیازمند به یک چهارچوب تجربی خواهد بود که در آن ابطال گزاره‌های پیش‌بینی شده در مدل ممکن باشد. چنان که آشکار است، این چهارچوب نوروفیزیولوژی خواهد بود. آگاهی، پدیده‌ای است که مهمترین و شناخته شده‌ترین جایگاهش مغز انسان است، و بنابراین پرداختن به آن سرراست‌ترین رویکرد به مشکل مورد نظرمان خواهد بود. اما یکباره پرداختن به کل دستگاه عصبی کاری دشوار و بلکه ناممکن است. قانونی در سیبرنتیک داریم که نوعی عدم قطعیت شناختی را بیان می‌کند. بر اساس این قانون، سیستمی که برای تحلیل کامل یک پدیده مورد نیاز است، باید حتماً از خود آن پدیده پیچیده‌تر باشد. یعنی ما برای تحلیل کامل مغز خود نیازمند مغزهایی هستیم که از مغز خودمان پیچیده‌تر باشد و این ناممکن است. همچنین تحلیل سیستمی مانند کل مغز که بر اساس تابعهای پیوسته کار می‌کند، توسط ابزارهای ریاضی گسسته‌ی کنونی ناممکن است (براش‌لینسکی.- ۱۳۷۵)[5]. به این ترتیب تنها راه منطقی که برای پرداختن به موضوع آگاهی وجود دارد، متمرکز کردن بررسی‌ها بر روی زیرواحدهای کارکردی دستگاه عصبی مرکزی، و تلاش برای تحلیل جداگانه‌ی آنهاست. هرچند که این روش تا حدودی رگه‌های تحویل‌گرایی را از خود نمودار می‌کند، اما در حال حاضر این تنها راه موجود در پیش روی ماست.

به گمان بسیاری از پژوهشگران فعال در دانش عصب‌شناسی، دستگاه بینایی یکی از بهترین نامزدها برای تحلیل آگاهی است. چشم، یک عضو گیرنده‌ی نور است، یعنی با یکی از پویاترین و متغیرترین محرکهای حسی شناخته شده سر و کار دارد. عناصر تحریک کننده‌ی گیرنده‌های این اندام (فوتون‌ها) سریعترین پدیده‌های شناخته شده در جهان هستند، و حجم اطلاعاتی که می‌توانند در واحد زمان منتقل کنند، بسته به حجم گیرنده‌هایشان بیشینه است. شواهد فراوانی در تأیید این حرف وجود دارد که حس بینایی، در پستانداران عالی و به ویژه نخستی‌ها مهمترین حس است و بیشترین بخش از شناخت موجود در مورد جهان خارج را هم تأمین می‌کند. یک شاهد کوچک کالبدشناختی در این زمینه این که سطح گیرنده‌های بینایی ما چند سانتیمتر مربع است و برای تحلیل و پردازش آن بخش عظیمی از مغز -قشر پس سری و بخشهایی از لوب گیجگاهی و آهیانه‌ای- تخصص یافته‌اند، و در مقابلش حس لامسه که سطح دریافتی به مساحت تمام پوستمان دارد، تنها در یک شیار باریک در **Gyrus postcentralis** پردازش می‌شود.
در کل، $۲/۵\times۱۰^{۸}$ گیرنده‌ی نوری[1] در شبکیه‌ی دو چشم وجود دارد که اطلاعات کسب شده از طریق آن از راه $۲/۵\times۱۰^{۶}$ نورون ناقل به مغز می‌رسد (گانونگ.- ۱۳۷۲)[18]. در این میان کل نورون‌هایی که به پردازش اطلاعات بینایی در قشر مخ مشغولند از مرتبه‌ی $۱۰^{۱۰}$ هستند، و این بدان معناست که بخش عمده‌ی دستگاه پردازنده‌ی مورد نظر ما به تحلیل اطلاعات نوری اختصاص یافته است **(Churchland & Sejnowski.- 1992)**[۷۷].

می‌دانیم که مکانیسم‌های تکاملی، به طور مداوم فشاری را بر سیستم‌های زیستی وارد می‌کنند. این فشار تکاملی نه تنها بر کل ساختار تک موجود زنده، که بر تک‌تک سازواره‌ها و اندامهایی هم که قابل‌کدگذاری پیوسته در ژنوم هستند اعمال می‌شود. به همین دلیل هم هست که در طول زمان همواره پویایی به نسبت بالایی را در مورد اندامهای گوناگون جانوران می‌بینیم. این پویایی در واقع بازتابی است از نیاز همیشگی موجود برای رقابت با سایر جانداران، و باقی

۱-۶ میلیون مخروط و ۱۲۰ میلیون استوانه در هر چشم.

ماندن ومنتقل کردن ژنومش به نسل بعد.

با این مقدمه، چیزی در مورد چشم دیده می‌شود که جالب است. در طول چند صد میلیون‌سالی که مهره‌دارای بر سطح سیاره‌ی ما تکامل یافته و زندگی کرده‌اند، ساختار چشم تغییراتی بسیار اندک و جزئی را متحمل شده است. طرح کلی چشم در لامپری کمابیش با انسان یکسان است، و تغییراتی که در اندامهای به مراتب حساستر مانند قلب و مغز دیده می‌شود در سیر تکاملی چشم بازتاب نیافته‌اند.

البته سازشهای وابسته به گونه‌ی فراوانی در مهره‌داران گوناگون دیده می‌شود. جهان برای همه‌ی ما مهره‌داران غیرپرنده‌ی خشکی‌زی، از میدانی با یک خط افقی سراسری (خط افق) تشکیل یافته است، و لکه‌ی زرد که مرکز توجه میدان بینایی است دقیقاً بر همین خط منطبق است. در پرندگانی هم که دارای دو لکه‌ی زرد هستند چنین سازشی نسبت به مکان محرکهای خارجی دیده می‌شود. علاوه بر این جسم شانه‌ای[۱] چشم پرندگان که لکه‌ای پر رنگیزه بر شبکیه است طوری قرار گرفته که بر مکان خورشید منطبق می‌شود. همچنین غشای شب‌تاب[۲] موجود در شبکیه‌ی چشم گربه‌سانان طوری قرار گرفته که نور مربوط به نیمه‌ی پایین میدان دید را باز بتاباند. این نیمه همان بخشی است که به زمین مربوط می‌شود و شبها تاریکتر است.

اما با تمام این حرفها، این حقیقت برجای خود باقی است که چشم در مسیر تکامل، گذشته از تغییرات مختصری از این دست، دگردیسی ساختاری عمده‌ای پیدا نکرده است (**Sperelli.- 1990**)[۲۹۶]. شاید بتوان این پدیده را مربوط به اهمیت بسیار بالای سیستم بینایی در مهره‌داران دانست. اهمیتی که منجر به تکامل سریع و زود هنگام سیستم چشم در اجداد دور مهره‌داران شده است. سناریوی مشابهی را می‌توان در مورد چشم شاخه‌ی بزرگتر جانوران، یعنی بندپایان هم دید. چشم مرکب و ساده هم که مهمترین گیرنده‌های نوری را در این جانوران تشکیل می‌دهند، به سرعت تکامل یافته‌اند و پراکنشی بسیارگسترده در بین گونه‌ها و شاخه‌های مختلف دودمانی دارند. پایدار بودن ساختار چشم مرکب و چشم مهره‌داران، به این فرض دامن می‌زند که مسابقه‌ی تکاملی درک محرکهای محیطی در مورد حس بینایی آنقدر اهمیت داشته که خیلی زود به نتیجه‌ی مطلوب و پایداری انجامیده است. این نتیجه، همان است که در قالب چشمان من و شما متبلور شده و برای صدها میلیون سال با ترکیبی کمابیش یکسان تکرار شده است.

به این ترتیب، ما به نوعی بهانه‌ی تکاملی هم برای مهم پنداشتن چشم و تمرکز کارمان بر سیستم بینایی مجهز هستیم.

سیستم بینایی به دلیل رابطه‌ی یک به یکی که با تالاموس و مراکز بالاتر پردازش عصبی دارد، می‌تواند به عنوان فضای مدل‌سازی بهینه‌ای برای پردازشهای عصبی مورد استفاده قرار گیرد. چرا که این سیستم یکی از برجسته‌ترین نمودهای سلسله مراتب را در پردازش به نمایش می‌گذارد. همچنین رشد جنینی چشم، و کارکرد فیزیولوژیک آن هم نمودهایی مهم از پدیده‌های هم افزایانه را در خود نشان می‌دهند. از سوی دیگر، تنها سیستم حسی که می‌تواند با واحدهای تحریکی خود درک خودآگاه ایجاد کند، بینایی است. در شرایط کنترل شده، افتادن حتی یک فوتون بر شبکیه، می‌تواند به درک خودآگاه نور بینجامد.

با تکیه بر این شواهد چشمگیر، در این رساله سیستم پردازنده‌ای که چهارچوب تجربی مدلسازی ما را فراهم خواهد کرد، سیستم پردازنده‌ی بینایی خواهد بود.

۱- **pecten body**

۲- **planum lucidum**

۴- ۱) ویژگی‌های نور و رنگیزه‌ها:

نور یکی از مهم‌ترین محرک‌های موجود در محیط است. توانایی درک نور در بعضی از جانوران ابتدایی و گونه‌های غارزی، وجود ندارد، ولی با این وجود این حس همچنان به عنوان یکی از مهم‌ترین حواس جانوران، و شاید مهم‌ترین حس انسان، مطرح است. محرک اصلی این حس، فوتون‌های نوری است که می‌تواند از سرچشمه‌های گوناگونی تولید شود، ولی مهم‌ترین منشأ آن خورشید است. طول موج فوتون‌ها، تعیین کننده رنگشان است و چگالی آنها در محیط، شدت درخشش نور را می‌سازد. امواج الکترومغناطیس موجود در سیارهٔ ما، دامنه‌ای دارند که از امواج کوتاه رادیویی (10^{-14} نانومتر) گرفته تا تشعشعات کیهانی (10^{4} نانومتر) را در بر می‌گیرد. طول موج‌های خیلی پایین، -مثلاً کمتر از ۲۰۰ نانومتر،- به سرعت توسط هوا جذب می‌شوند و بنابراین کاربردی در انتقال اطلاعات ندارند. این نورها به دلیل انرژی زیاد خود، برای سیستم‌های زنده خطرناک هم هستند، چون می‌توانند در برخورد با مولکول‌های سیستم زنده، -و به ویژه آب- آنها را تجزیه کنند.

مولکول‌های پروتئینی می‌توانند امواج الکترومغناطیسی بیشتر از ۳۰۰ نانومتر را به خوبی جذب کنند. طول موج‌های بلندتر از هزار نانومتر، به دلیل انرژی اندکشان نمی‌توانند بر مولکول‌های زنده اثرگذارند و به این دلیل نقش بیولوژیک ندارند. به این ترتیب آشکار است که نور مورد نظر در زیست‌شناسی حواس، ۱۰۰۰-۳۳۰ نانومتر طول موج دارد. بیشینه طول موجی که توسط جانوران گوناگون جذب می‌شود، بسته به رنگیزه‌های نوری‌شان، تفاوت می‌کند. مثلاً حشرات ۳۴۳ نانومتر را بهتر از همه جذب می‌کنند، در حالی که ماهیان در ۶۲۵ نانومتر بیشینه جذب را از خود نشان می‌دهند (**Dusenbery.- 1992**)[۱۰۳].

توانایی درک و پردازش اطلاعات نهفته در امواج نورانی در همه شاخه‌ها و رده‌های جانوران دیده می‌شود. بیشتر گونه‌هایی که به نور حساس نیستند، این توانایی را در اثر پسروی تکاملی و زندگی در محیط فاقد نور از دست داده‌اند.

چنانکه گفته شد، سرچشمه‌ی همهٔ نورهایی که در زمین دیده می‌شود، انرژی خورشید است. تنها استثنا در این مورد، نورهای کمیاب ناشی از آتشفشانها و رعد و برق‌ها هستند. به تعبیری، نور ناشی از سوخت‌های فسیلی هم منشأ خورشیدی دارند، چون انرژی شیمیایی موجود در آنها از خورشید تامین شده است. حتی نورهای مصنوعی الکتریکی هم از جنبه‌ای مربوط به خورشیدند، چون در اثر نور آفتاب جابجایی‌های بخار آب بر زمین انجام می‌گیرد و انرژی پتانسیل ذخیره شده برای تولید برق را فراهم می‌آورد. به این ترتیب می‌توان با پرداختن به کیفیت نور خورشید، به بسیاری از پرسش‌ها درباره سایر نورها هم پاسخ داد.

نور خورشید، از نظر فیزیکی با نوری که از یک جسم سیاه با دمای شش هزار درجه سانتی‌گراد تابش می‌شود، هم‌ارز است. این نور در برخورد با جو زمین تغییراتی را تحمل می‌کند که برای موجودات زنده اهمیت زیادی دارد. پرتوهای فرابنفش و کوتاه‌موج دیگر، در برخورد با لایه خارجی هواسپهر[۱] جذب می‌شوند و تنها بخشی از تشعشعات از سد جو زمین عبور می‌کنند. همین انتشار طول موج‌های بالاست که رنگ آبی آسمان را موجب می‌شود. تقریبا همه پرتوهایی که به زمین می‌رسند، برای موجودات زنده اهمیت اطلاعاتی دارند. این نورها، گاه در برخورد با جو تغییراتی کرده‌اند که ارزش اطلاعاتی‌شان را بیشتر می‌کند. مثلاً نور قطبیده[۲] که از برخورد آفتاب به هواسپهر ایجاد

۱- atmosphere

۲- polarized

می‌شود، می‌تواند جهت تابش خورشید را نشان دهد، و در جهت‌یابی مورد استفاده قرارگیرد. اجسام موجود بر سطح زمین، هریک توانایی جذب ویژه‌ای دارند. نوری که به آنها می‌تابد، تقریبا نور سفید محسوب می‌شود، یعنی همه طول موج‌ها را در خود دارد. بسته به این که مواد چه بسامدی از نور را بیشتر جذب کنند، رنگ‌های گوناگون ایجاد می‌شوند. مثلاً آب که طول موج‌های پایین را بهتر جذب می‌کند، تنها به امواج آبی -با طول موج ۴۵۰ نانومتر- اجازه عبور می‌دهد، و به همین دلیل هم آبی رنگ به نظر می‌رسد (**Dusenbery.- 1992**)[۱۰۳]. اگر همین آب دارای منابع زیستی فیتوپلانکتونی باشد، به دلیل وجود رنگیزه‌های آنها، طیف جذبیش تغییر می‌کند و به رنگ سبز دیده می‌شود. از سوی دیگر، تجزیه مواد آلی موجود در آب، رنگ آن را به زرد برمی‌گرداند (**Lythgoe et al.- 1988**)[۱۰۳]. محیط پیرامون ما، به این شکل رنگین می‌نماید و اطلاعاتی را درباره جنس و حالت اشیا به گیرنده‌های حسی موجودات زنده منتقل می‌کند. هرچه بسامد موج مربوط به فوتون کمتر باشد (یعنی رنگش به فروسرخ نزدیک‌تر باشد،) توسط محیط بیشتر جذب می‌شود. به همین دلیل هم معمولاً گیرنده‌هایی برای این محدوده از نورها وجود ندارد. تنها استثنای مهم در این مورد مارها هستند. در جدول (ج - ۲) آستانه درک گیرنده‌های نوری گروهی از جانداران را می‌بینید.

موجود زنده(جنس)	بیشینه طول موج قابل درک (nm)	آستانه درک (فوتون بر متر مربع بر ثانیه)	زمان تجمع (ثانیه)	مرجع
Holobacterium	۵۶۵	$۱۰^{۱۸}$	۳	**(Hildbrand.-1982)**
Rhodospirillium	۸۷۰	$۱۰^{۱۶}$	؟	**(Hildbrand.-1978)**
Euglena	۴۸۰	$۱۰^{۱۵}$	۱	**(Song.-1983)**
Chlamydomonas	۵۰۳	$۱۰^{۱۵}$	۱	**(Foster.-1980)**
Phycomyces	۴۵۰	$۱۰^{۹}$	$۱۰^{۳}$	**(Galland.-1987)**

جدول (ج-۲): آستانه حساسیت جانداران پست به نور (**Dusenbury.- 1992**)[۱۰۳].

چنان که گفته شد، نور در برخورد با سطوح پراکنده می‌شود. پراکنده شدن نورهای دارای طول موج پایین کمتر از نورهایی است که طول موج بالایی هستند. هنگامی که نور کمی به هواسپهر برخورد کند، تنها نورهای دارای بسامد کم به سطح زمین می‌رسند. به همین دلیل هم در زمان طلوع و غروب خورشید، افق -یعنی محل انتشار نور خورشید- سرخ و زرد به نظر می‌رسد. یک نمونه دیگر از این پدیده پراکندگی و شکست نور را می‌توان در رنگین کمان دید. منتها در اینجا نوری که از درون جسمی شفاف - قطرات باران- می‌گذرد، می‌شکند. نور بر روی اشیای مادی معمولی هم می‌تواند بشکند. اگر سطح مقابل نور دارای سطوح میکروسکپی موازی و فراوان باشد، این پراکندگی نور به جذب برخی از طول‌موج‌ها و بازتابش برخی دیگر می‌انجامد، و نتیجه یک سطح با منظرهٔ رنگین‌کمانی خواهد بود. از این پدیده در جهان جانوران استفادهٔ بسیار شده است. تولید رنگیزه به شکل شیمیایی و انبارکردنش در اعضای خاص نمایش دهنده، راهی پرخرج برای انتقال اطلاعات است. یک راه ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر برای جاندار، این است که نوعی تغییر شکل ساختاری در سطح خارجی خود بدهد، و با استفاده از پدیدهٔ پراکندگی نور، یک مجموعه از رنگ‌ها را تولید کند. چنین تکنیکی توسط بسیاری از جانوران در شاخه‌های گوناگون مورد استفاده قرار می‌گیرد. نمونه‌های آشنایی که در این‌باره وجود دارند، عبارتند از: پر زیبای طاووس (**Pavo Cristatus**) نر، پرهای تزیینی مرغ بهشتی، و قرقاول. برخی از حشرات هم که جلای فلزی دارند، -مثل قاب بال (**Cetonia aureatus**)، مگس‌های (**Lucilia**) و

برخی پروانگان- از همین راه بهره می‌برند.

فیتوکروم[۱] مهمترین رنگیزه حساس به نور در جهان گیاهان است. این ماده دو نوع دارد: یک‌نوع به ۶۷۰ نانومتر(قرمز) و دیگری به ۷۳۰ نانومتر(فروسرخ) بیشترین پاسخ را می‌دهد. نسبت بین تحریک‌شدگی این دو نوع رنگیزه، برای گیاه معرف تراکم گیاهان دیگر در همسایگی‌اش است، یعنی هرچه نور فروسرخ نسبت به نورسرخ بیشتر باشد، تعداد گیاهان رقیب در محیط هم بیشتر است. این درک نوری اساس رفتارهای رقابتی بین گیاهان را تشکیل می‌دهد. دانه‌ها هم با توجه به شدت نوری که به پوسته‌شان می‌رسد، تصمیم می‌گیرند که جوانه بزنند، یا نزنند. شدت نور مورد نظر معرف فاصله دانه تا سطح خاک است. گویا این توانایی به رنگیزه فلاوین[۲] مربوط باشد که در قارچ‌ها و جلبک‌ها هم وجود دارد. رنگیزه رودوپسین[۳] که در مهره‌داران مهم‌ترین گیرنده نور است، در جلبک‌ها هم یافت می‌شود. مولکولهایی شبیه به این ماده در کهن‌باکتری‌ها[۴] هم یافت شده است (**Schmitz et al.- 1982**)[۱۰۳].

رودوپسین، که رایج‌ترین رنگیزه‌نوری[۵] در جهان جانوران است، از نوعی پروتئین به نام اوپسین[۶] مشتق می‌شود. این ماده، با یکی از مشتقات ویتامین **A** که الکلی است به نام رتینال ترکیب می‌شود. این مولکول اخیر تقریباً برابر است با نیمی از یک مولکول بتا-کاروتن[۷]، که پیش‌سازش می‌باشد. این مولکول دو شکل ایزومری دارد، **cis-Retinal**-۱۱، که حالت عادی و پایهٔ مولکول است، و **all-trans-Retinal** که حالت برانگیخته آن است و در مکان کربن ۱۱ دارای پیوند دوگانه است. برخورد نور به این مولکول، موجب تبدیل حالت پایه به برانگیخته می‌شود. هر اوپسین، پروتئینی است با هفت مارپیچ آلفا، که به طور عمودی در غشاء پلاسمایی یاخته‌های گیرنده نور قرار می‌گیرد. مولکول رتینال تقریبا در وسط این پروتئین جای می‌گیرد و نسبت به محور طولی آن عمودی باقی می‌ماند. یک مکانیسم آنزیمی درون‌سلولی برای کنترل عمل رودوپسین وجود دارد، که در عین حال باعث بازگشت رتینال به حالت پایه نیز می‌شود (**Rawn .- 1989**)[۲۶۵]. انرژی لازم برای تحریک مولکول رودوپسین، حدود $۱/۴\times۱۰^{۵}$ ژول بر مول است (**Dusenbery.- 1992**)[۱۰۳]. یعنی حتی برخورد یک فوتون تنها هم می‌تواند باعث برانگیخته شدن یک مولکول رتینال شود (**Rawn .- 1989**)[۲۶۵]. مولکول رودوپسین به نور فرابنفش هم حساس است، ولی به دلیل جذب شدن این نور توسط عدسی چشم پستانداران، این پرتو در آنها کار مهمی را انجام نمی‌دهد. در آدم (و سایر پستانداران)، توانایی جذب عدسی با افزایش سن زیاد می‌شود. ولی حتی در یک انسان جوان هم، تنها ۱۵ ٪ نورهای با طول موج ۴۰۵ نانومتر به شبکیه می‌رسند، و این مقدار برای طول موج ۳۶۵ نانومتر فقط به ۰/۱ ٪ می‌رسد. نشان داده شده که مبتلایان به بیماری آب مروارید، که به این علت عدسیشان برداشته شده، قادر به دیدن در زیر نور فرابنفش هستند (**Dusenbery.- 1992**)[۱۰۳]. یعنی شبکیه به این دامنه از طول موج ها هم حساسیت نشان می‌دهد.

مولکول‌های رودوپسین، با وجود داشتن گیرنده‌های نوری یکسان (از جنس رتینال)، تفاوت‌هایی با هم دارند.

۱- **phytochrome**

۲- **flavin**

۳- **rhodopsin**

۴- **Archaebacterium**

۵- **photopigment**

۶- **Opsin**

۷- **β-Carotene**؛ رنگیزهٔ نارنجی- قرمزی است که در میوه‌های سرخ و نارنجی وجود دارد. چنان که از نامش پیداست، در هویج (**Carota dacousae**) فراوان یافت می‌شود.

پروتئین اوپسین می‌تواند بسته به برنامه ژنتیکی، تفاوت‌هایی را از خود نشان دهد. نوع اوپسین، اثر مستقیمی بر فعالیت رتینال می‌گذارد. یعنی بیشینه جذب نور در رودوپسین‌های دارای اوپسین‌های مختلف، به بسامدهای متفاوتی مربوط می‌شود. این امر علت اصلی تنوع گیرنده‌های نوری در مهره‌داران است. وجه تمایز اصلی یاخته‌های مخروطی و میله‌ای، از یکسو، و انواع گوناگون یاخته‌های مخروطی از سوی دیگر، به همین دلیل است (**Carlson.- 1985**)[۷۲]. تنوع اوپسین‌ها، اساس رنگ‌بینی را در مهره‌داران تشکیل می‌دهد. همگرایی تکاملی در اینجا هم مثل سایر قلمروهای زیست‌شناسی دیده می‌شود. مثلاً ماهیان (**Teleost**)، سخت‌پوستان (**Crustacea**)، و آب‌بازان (**Cetacea**) -مثل نهنگ و دلفین- همگی بیشترین حساسیت را نسبت به نور آبی نشان می‌دهند، که در اقیانوس‌ها محیط را روشن می‌کند. جالب اینکه ماهیان ساکن آبهای سبز، یا زرد، بیشترین حساسیت را به نورهای مربوط به رنگ محیطشان نشان می‌دهند. در انسان، و سایر نخستی‌های روزخیز، رودوپسین چهار شکل دارد: یک نوع آن به نورکم حساس است و در میله‌ها متمرکز است، و سه نوع دیگر در مخروط‌ها جای دارند و نسبت به نور شدید پاسخ می‌دهند. این گروه اخیر به ترتیب در طول موج‌های ۴۲۰، ۵۳۶، و ۵۶۴ نانومتر بیشینه جذب خود را نشان می‌دهند و به ترتیب رنگ‌های سرخ و سبز و آبی را جذب می‌کنند (**Kandel & Schwartz.- 1991**)[۱۸۲]. در انسان بیشترین حساسیت رنگی در طول‌موج‌های ۶۰۰-۵۰۰ نانومتر دیده می‌شود. اما در طول موج‌های کمتر از ۴۴۰ و بیشتر از ۶۶۰ نانومتر حساسیت به رنگ کم می‌شود.

ساده‌ترین شکلی که رودوپسین می‌تواند به خود بگیرد را می‌توان در برخی از باکتری‌ها و موجودات تک‌یاخته‌ای دید. در این حالت رودوپسین در عرض غشای پلاسمایی یاخته جاسازی شده و هیچ ساختار پیچیده‌ای را ایجاد نکرده است. چگالی این مولکول در این موجودات نسبتاً کم، و در حدود ۲۰ هزار بر میکرومتر مربع است (**Dusenbery.- 1992**)[۱۰۳]. در تاژک‌داران -به ویژه **Euglenida**- ساختارهایی پیش‌رفته‌تر وجود دارد. در این موجودات لکهٔ رنگی[۱] سرخی در کنار تاژک‌ها قرار دارد که نسبت به نور حساس است (**Barns.- 1987**)[۴۶]. حتی برخی از محققان وجود ساختاری شبیه به عدسی را بر روی این لکه رنگی توصیف کرده‌اند. این لکه از چیزی حدود ۵۰-۴۰ کیسه محتوی رودوپسین که همگی در ارتباط با هم هستند، تشکیل یافته است. در موجودات پیچیده‌تر، که اطلاعات بینایی اهمیتی بیشتر پیدا کرده‌اند، روش‌هایی جدید برای جذب بیشتر نور ابداع شده است. مهم‌ترین مشکلی که بر سر راه سلول‌های گیرنده نور در این موجودات وجود دارد، این است که مقدار رودوپسین موجود بر سر راه نور، برای جذب همه، آن کافی نیست. برای حل این مشکل، رنگیزه‌ها در طبقاتی موازی با هم متمرکز شده‌اند. این طبقات صفحاتی پوشیده از رنگیزه را تشکیل می‌دهند که عمود بر محور تابش نور قرار می‌گیرد و شانس برخورد فوتون‌ها با مولکول‌های حساس را بیشینه می‌کند. به این ترتیب فوتون‌هایی که از یک لایه نشت می‌کنند، توسط لایه بعدی جذب می‌شوند. این لایه‌های موازی در مهره‌داران از تغییر شکل مژک‌ها[۲]، و در حشرات از دگرگونی ریزمژک‌ها[۳] حاصل می‌شود. به‌طور متوسط، هر هزار چین در طیف جذبی ویژه خود، ۲۵ ٪ نور در یافتی را جذب می‌کنند (**Schmidt et al.- 1978**)[۱۰۳]. برای مقایسه، بد نیست بدانید که در دوزیست دم‌دار جنس **Necturus**، یاخته‌های میله‌ای دارای ۲۲۰۰ لایه‌ی رنگیزه‌دار هستند (**Dusenbery.- 1992**)[۱۰۳].

مشکل دیگری که در برابر روند زیاد شدن وضوح دید چشمان جانوران پیچیده قرار دارد، این است که یاخته‌های

۱- **stigma**

۲- **cillia**

۳- **microcillia**

حاوی رنگیزه نوری بیش از حد خاصی نمی‌توانند در شبکیه متراکم شوند. به این سبب هم تعداد یاخته‌هایی که می‌توانند در برابر مسیر نور قرار گیرند، محدودند. در ماهیان برای حل این مشکل راهکار جالبی دیده می‌شود و آن قرار گرفتن میله‌ها در چند لایه موازی با هم است. در اینجا، عملی که یکبار با لایه لایه شدن برای رنگیزه‌ها انجام گرفته بود، بار دیگر برای خود یاخته‌ها صورت می‌گیرد. این هم یکی از مواردی است که مشاهده‌گر را به یاد اصل خودهمانندی در سیستم‌های برخالی می‌اندازد. یک راه دیگر، این است که عرض یاخته‌های میله‌ای موجود در چشم کم شوند، تا تعداد کل یاخته‌ها افزایش یابد. چنین راه‌حلی در پرندگان شکاری راسته **Falconiformes** -مثل عقاب- به کار گرفته شده (**Dusenbery.- 1992**)[۱۰۳].

نیمه‌عمر مولکول رودوپسین در حالت پایه هزار سال است (**Dusenbery.- 1992**)[۱۰۳]، یعنی در هر هزار سال، ۵۰ ٪ احتمال دارد که یک مولکول رودوپسین خود به خود برانگیخته شود. با توجه به این که در هر یاخته میله‌ای ۲۰۰ میلیون مولکول رودوپسین وجود دارد، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در هر دقیقه در هر یاختهٔ میله‌ای، یک مولکول رودوپسین خود به خود فعال می‌شود. به دلیل پردازش دقیق و پیچیده اطلاعات بینایی، این نوفه‌های تصادفی اختلالی در دید ایجاد نمی‌کنند. دیدن لکه‌هایی روشن در تاریکی مطلق، مهم‌ترین پدیده‌ای است که از این نوفه‌ها نتیجه می‌شود.

در موجودات ساده‌ای مثل **Halobacterium**، تنها یک نوع مولکول برای درک نور وجود دارد. رنگیزهٔ یکتای مزبور در طول‌موج‌های مختلف فعالیت‌های متفاوتی از خود آشکار می‌کند. این موجودات رنگ‌های گوناگون را با توجه به شدت فعالیت این مولکول‌ها درک می‌کنند. در سوی دیگر درخت تکاملی جانوران، حشرات دارای بهترین رنگ‌بینی هستند. توانایی بعضی از آنها در درک نورهای مختلف، در جهان جانوران منحصر به فرد است. گیرنده‌های نورانی حشرات بیشینه حساسیت خود را نسبت به طول‌موج‌های ۳۵۰ نانومتر (فرابنفش) و ۴۵۰ نانومتر (سبز) نشان می‌دهند. پس چنین به نظر می‌رسد که در حشرات معمولی رنگ‌هایی که درک می‌شوند، ترکیبی از این دو رنگند. زنبور عسل در منحنی حساسیتش به نورهای مختلف، سه قله دارد، یعنی این حشره هم ترکیبی از سه رنگ را می‌بیند. این سه رنگ عبارتند از: فرابنفش (۳۴۰ نانومتر)، سبز (۴۴۰نانومتر)، و زرد (۵۵۰ نانومتر) (**Dusenbery.- 1992**)[۱۰۳]. توانایی رنگ‌بینی حشرات، به ویژه اعضای راسته نازک‌بالان[۱]، تکامل موازی جالبی را در میان گیاهان و حشرات پدید آورده است.

انسان هم مانند زنبور دارای سه نوع رنگیزه‌ی حساس به نور است. اما برخی از ماهیان و پرندگان تا چهار رنگیزه هم دارند. در این میان بی‌تردید رکورددار تعداد رنگیزه در جهان جانوران نوعی خرچنگ به نام **Odontodactylus scylarus** از راسته‌ی **Stomatopoda** است که ۱۲ نوع گیرنده‌ی رنگی دارد. در این جانور هشت رنگیزه برای جذب نور در دامنه‌ی نور آشکار برای ما (۴۰۰-۷۰۰ نانومتر) تخصص یافته و چهارتای دیگرش در محدوده‌ی فرابنفش نور را می‌گیرد (**Osorio & Vorobiev.- 1997**)[۲۵۱].

جالب این است که مجهز بودن یا نبودن به رنگیزه لزوماً تعیین‌کننده‌ی تنوع رفتاری جانوران نیست. گاهی مواقع دیده می‌شود که یک سیستم دارای محتوای اطلاعاتی ورودی کم، به کمک الگوریتم‌های پیچیده و برنامه‌ریزی‌های دقیقترِ عمل کننده بر این ورودی‌ها، رفتاری مناسب و پیچیده را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، رفتار استتار خرچنگ **Odontodactylus** که دوازده رنگیزه‌ی نوری دارد، با آنچه که در نرمتن مرکب (**Sepia**) دیده می‌شود یکسان است

۱- **Hymenoptera**

(Osorio & Vorobiev.- 1997)[۲۵۱].

می‌دانیم که رنگ‌های گوناگون و جذاب گل‌ها، و همچنین شکلشان، تمهیدی تکاملی‌اند برای جذب حشرات به گل‌هایی که نیازمند گرده‌افشانی‌اند. نکته‌ی جالب این که بیشتر گل‌هایی که به نظر ما سفید و معمولی می‌آیند، در چشمانی که نور فرابنفش را می‌بیند، رنگین و زیبا جلوه می‌کنند. پروانگان برعکس زنبوران به نور قرمز بیشتر حساسند، و بنابراین گل‌هایی که توسط این حشرات گرده‌افشانی می‌کنند، رنگ سرخ دارند. اطلاعاتی که به این ترتیب از گل‌ها به حشرات منتقل می‌شود قاعدتاً پیام‌هایی هستند که وجود شهدهایی شیرین را در گل نوید می‌دهند، و پاسخی که حشره به این پیام می‌دهد، نه تنها سیر شدن خودش، که منتقل کردن گرده‌های گل هم هست. این یک نمونه زیبا از انتقال اطلاعات در جهان زنده است. گل‌ها با ترشح شهدهای شیرین خوشایند حشرات و فرستادن پیام‌هایی که وجودشان را خبر می‌دهند، دست به یک سرمایه‌گذاری سودمند می‌زنند. آنان در نقابل مقابل این صرف انرژی -برای تولید شهد و رنگیزه‌های زیبا- سودی بزرگ می‌برند، و آن هم استفاده از حشرات برای گرده‌افشانی است. به سادگی می‌توان دید که در اینجا یک پیام نرم‌افزاری -رنگ جذاب - فرستاده می‌شود، تا فرستادن یک پیام سخت‌افزاری -کدهای ژنتیکی گیاه نر- انجام گیرد. موفقیت این استراتژی تکاملی نیازی به اثبات ندارد، به سادگی می‌توان دید که در حال حاضر موفق‌ترین گیاهان، نمونه‌های گلدار هستند. موفق‌ترین[۱] حشرات هم به ترتیب عبارتند از: قاب‌بالان (**Coleoptera**)، پروانگان (**Lepidoptera**)، و نازک‌بالان (**Hymeniptera**) که همگی در گرده‌افشانی نقش دارند و بنابراین می‌توانند از شهد گلها استفاده کنند .

شرایط محیطی	شدت نور (فوتون بر سانتی‌متر مربع بر ثانیه بر نانومتر)
روز آفتابی	$۱۰^{۱۴}$
روز ابری	$۱۰^{۱۳}$
هنگام شفق	$۱۰^{۱۱}$
نور مهتاب	$۱۰^{۸}$
شب بدون ماه (فقط نور ستارگان)	$۱۰^{۶}$
شب بی‌ماه ابری (بدون ستاره)	$۱۰^{۵}$
عمق هزار متری زیر اقیانوس (در یک روز آفتابی)	$۱۰^{۶}$

جدول (ج- ۳): شدت نور در شرایط مختلف جوی (**Dusenbury.- 1992**)[۱۰۳].

۱-معیار من برای تخمین موفقیت یک راسته از حشرات، تنوع ژنتیکی -تعداد گونه‌های موجود در آن راسته- و پراکندگی جغرافیایی‌شان بوده است.

۴-۲) تواناییها و محدودیت‌های حس بینایی:

وضوح دید[۱]، بنابر تعریف فیزیکی آن، عبارت است از آستانه توانایی یک سیستم نوری برای تمیز دادن دو نقطه نزدیک به هم. یا به عبارت دیگر، تفاوت مکانی آستانه لازم بین دو نقطه است تا یک سیستم گیرنده بتواند بین آن دو تفاوت قایل شود. در چشم‌های مرکب بندپایان، وضوح دید بستگی به طول موج نور تابیده شده بر آن دارد. خود طول موج دریافتی هم کمیتی است وابسته به قطر اوماتیدی‌ها و زاویه قرارگیری آنها نسبت به هم. یعنی : $\frac{\lambda}{2}=\varphi d$ که در آن λ نماد طول موج نور مرئی، **d** نشانگر قطر هر اوماتیدی و φ بیانگر زاویه دو اوماتیدی همسایه است. می‌توان این برابری را از معادلهٔ بالا نتیجه گرفت:

$$\frac{\lambda}{2}=\varphi r \sin\varphi \cong r\varphi$$

که در آن **r** نشانگر قطر کل چشم است (**Dusenbery.- 1992**)[۱۰۳]. به این ترتیب مشخص است که در حشرات وضوح دید به مربع اندازه چشم بستگی دارد. آشکار است که این عامل، یعنی قطر چشم، تنها عامل موثر در وضوح دید نیست. در این معادله، برای پرهیز از پیچیدگی سایر شرایط محیطی همه استانده فرض شده‌اند در حالی که در جهان خارج همواره چنین نیست. مثلاً در محیط آبی، پراکنش و جذب نور بیشتر است، و در نتیجه وضوح دید کاهش می‌یابد. در نتیجه دید در هوا بسیار دقیق‌تر از دید در آب است. این امر حتی برای ماهیان هم راست است. شاهد ما بر این مدعا، رفتار آشنای ماهیان است که از آب بیرون می‌پرند تا شکارچیان احتمالی را بهتر ببینند. وضوح با بسامد نور دریافتی هم رابطه دارد. هرچه بسامد نور دریافتی بیشتر باشد، وضوح هم بیشتر می‌شود. به همین دلیل هم چشم بیشتر جانوران به عنوان یک صافی برای نورهای کم بسامد عمل می‌کند. لکه‌ی زرد هم، در نخستی‌ها، چنان که از نامش پیداست، رنگ زرد را جذب می‌کند. ناگفته پیداست که بالا بودن بسامد نور، فقط تا حدی برای چشم مفید است و بسامدهای خیلی بالا، -در حد فرابنفش- برای شبکیه خطرناکند.

تباین[۲] بنابر تعریف فیزیولوژیک‌اش، عبارت است از تفاوت آستانه بین دو نور، که لازم است تا گیرنده‌ای بین آن دو تفاوت قایل شود. این تفاوت می‌تواند در درخشش، یا طول موج باشد. در انسان، بسته به نوری که محیط را روشن می‌کند، تباین لازم برای درک اشیا می‌تواند تا هزار برابر افزایش یابد (**Dusenbery.- 1992**)[۱۰۳]. چشم برای تنظیم شدت نوری که واردش می‌شود، به دستگاهی به نام مردمک مجهز است. این سیستم تنظیم کننده نور، می‌تواند تا ده برابر شدت نور را کم و زیاد کند. البته این مقدار برای حفاظت چشم کافی نیست. چرا که نوسانات شدت نور در محیط زیست انسان خیلی شدیدند. مثلاً در یک روز آفتابی معمولی، شدت نور حدود صد میلیون‌بار بیشتر از یک شب بدون ماه است (**Dusenbery.- 1992**)[۱۰۳]. در انسان اگر تباین شدت نور تابیده از جایی نسبت به محیطش از ۳۰ ٪ بیشتر شود، آن نقطه به عنوان منبع نور درک می‌شود (**Marr et al.- 1982**)[۲۲۰]. در جدول (ج- ۳) شدت تابش‌های گوناگون نور را در شرایط معمولی می‌بینید.

نور، علاوه بر مفاهیم مربوط به کیفیت مادهٔ فرستنده‌اش، می‌تواند اطلاعات دیگری را هم منتقل کند. یکی از

۱- resolution

۲- contrast

مهم‌ترین این اطلاعات، مسایل مربوط به جهت تابش نور است. در باکتری‌ها، به دلیل کوچکی اندازهٔ موجود و گیرنده‌هایش، تعیین جهت تابش نور -در دامنهٔ طول موج مرئی- ممکن نیست (**Dusenbery.- 1992**)[۱۰۳]. در آغازیان تک‌یاخته‌ای دارای رنگیزه نوری (مثل مژک‌داران و تاژک‌داران)، اندازه بدن آنقدر بزرگ است که نور گذر کرده از بدن تغییر شدت و بسامد محسوسی را تولید می‌کند. در این موجودات درک جهت نور با توجه به پدیده **Tropotaxis** ممکن است. پدیده مشابهی در آمیب‌ها هم دیده می‌شود. در جانوران پرسلولی، گذشته از چند نمونه که پسرفت تکاملی داشته‌اند، درک جهت نور ممکن است. هرچه چشم بزرگتر باشد، جهت‌یابی به کمک نور بهتر انجام می‌گیرد. در عین حال اگر فاصله بین دو گیرنده از دو برابر طول موج رسیده به آن -حدود یک میکرومتر- بیشتر شود، فوتون‌ها گیرنده‌ای به گیرنده همسایه نشت خواهند کرد، و وضوح دید کم می‌شود. بنابراین در این میان مقدار بهینه‌ای وجود دارد که چشم بیشتر جانوران بر آن اساس کار می‌کند.

از بین اطلاعات دیگری که از یک دسته پرتو قابل‌استخراج هستند، بی‌تردید درک فاصله اهمیت بیشتری دارد. دریافتن این مطلب که منبع بازتاباننده -یا تاباننده- نور تا گیرنده چه فاصله‌ای دارد، برای موجود ارزش زیستی فراوانی دارد. برای انجام این کار، در طبیعت سه راه وجود دارد:

الف) ساده‌ترین کار این است که تفاوت‌های تصاویر ارسال شده به یک گیرنده در وضعیت‌های مکانی متفاوت آن گیرنده مورد تحلیل قرار گیرد. این رویکرد به مشکل، با عنوان اختلاف منظر[۱] شهرت یافته است. این روش در واقع مقایسه تصاویری است که از یک جسم به گیرندهٔ یکتای متحرکی می‌رسد. به این ترتیب با این مقایسه هرچه جسم مورد نظر به گیرنده نزدیک‌تر باشد، اختلاف فاصله‌اش نسبت به عناصر زمینه، بیشتر خواهد بود. در جانوران بزرگ‌جثهٔ پیچیده، که درک فاصله برایشان ممکن و مهم است، حرکات چشم همیشه وجود دارد. این حرکات از یک‌سو از سازگار شدن گیرنده‌های نوری نسبت به محرک‌ها جلوگیری می‌کند و تداوم تصاویر را حفظ می‌کند، و از سوی دیگر توانایی درک فواصل را فراهم می‌آورد. جنبش[۲] عضلانی خفیف سه عضله حرکت دهنده چشم در مهره‌داران و حرکت مداوم سر جانوران فاقد این جنبش (مثل مار و سوسمار و جغد) سازشی برای نیل به این مقصود می‌باشند. در حشرات هم استفاده از چنین روشی رواج دارد. مشاهدهٔ آشنایی که می‌توان ذکر کرد، پریدن ملخ است. ملخ پیش از پریدن بدنش را کمی حرکت می‌دهد و بعد می‌پرد. این عمل در واقع راهی است برای تخمین درست‌تر فاصله‌ای که باید پریده شود.

ب) راه دیگر این است که نور رسیده به دو یا چند گیرنده -که با هم فاصله دارند- با هم مقایسه شود. این رویکرد با نام دید دوچشمی[۳] مشهور است. در چشمان انسان، تفاوت زاویه دید دو چشم می‌تواند تا اختلاف چند ثانیه درک شود، و این کاملا برای درک فاصله کافی‌است. پردازش مغزی داده‌های مربوط به دو چشم، که به درک فاصله می‌انجامد، با وجود پیچیده بودن با موفقیت مدل‌سازی شده و در صنایع روباتیک از آن استفاده می‌شود (**McCafferty.- 1990**)[۲۲۵]. کمیت مهمی که در این مدل‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، نسبت بین کل زاویه قابل‌مشاهده توسط گیرنده‌ها، و زاویه‌ای است که تصاویر دریافت شده در آن دو برهم‌افتادگی[۴] دارند. در جهان زنده هم چنین کمیتی برای پژوهشگران کاربرد تحلیلی دارد. چشمان آدم با ۱۸۰ درجه میدان دید، در ۱۳۰ درجه از آن برهم‌افتادگی دارد. در گربه، زاویه میدان دید ۱۸۷ درجه است که ۹۹ درجه از آن برهم می‌افتند. در عین حال، در خرگوش که دیدی ۳۶۰ درجه‌ای دارد، -یعنی می‌تواند پشت سرش را هم ببیند،- برهم‌افتادگی تنها ۲۴ درجه است.

۱- parallax

۲- tonus

۳- binocular vision

۴- overlap

در حشرات، به دلیل کوچک بودن اندازه کلی چشم، درک فاصله فقط در حد چند میلی‌متری گیرنده ممکن است (Dusenbery.- 1992)[۱۰۳].

پ) راه سومی که برای تشخیص فاصله وجود دارد، عبارت است از تطابق[۱] این عمل در اصل همان حرکات غیرارادی عدسی چشم مهره‌داران است. این بازتاب عصبی برای متمرکز کردن تصویر اشیای دور و نزدیک بر شبکیه سازگار شده است. اگر جانور بتواند درجه خمیدگی عدسی چشم خود را تخمین بزند، می‌تواند فاصله جسمی را هم که عدسی بر آن متمرکز شده، تخمین بزند. شواهد در مورد به کارگیری این روش در جانوران اندک است و گویا تنها مهره‌داران خشکی‌زی از آن بهره می‌برند. بهترین نمونه از این رویکرد، در آفتاب‌پرست (**Chameleo**) دیده می‌شود. این جانور از این راه برای تخمین فاصله حشرات با خودش استفاده می‌کند و بعد با حرکت زبان آنها را شکار می‌کند (Dusenbery.- 1992)[۱۰۳].

ت) راه‌های دیگری هم برای تخمین فاصله وجود دارد، که من در اینجا به مجموع همه نام رویکرد پردازشی[۲] را می‌دهم. این رویکرد بیشتر به کارهایی مربوط می‌شود که مغز جانور برای تحلیل داده‌های بینایی، بر آنها اعمال می‌کند. این کارها دیگر به دستگاه گیرنده ربطی ندارند و بیشتر به سیستم پردازنده وابسته‌اند. در اینجا فهرستی از روش‌های گوناگون این رویکرد را می‌آورم:

یک راه، عبارت است از استفاده از برگه‌های دیگر موجود در محیط. یعنی جایی که جسم مورد نظر در زمینه‌ای آشنا دارد، می‌تواند به عنوان نشانه‌ای برای تخمین اندازه‌اش و فاصله‌اش به کار رود.

راه دیگر، بهره‌گیری از اندازه نسبی اشیای آشناست. اگر جسمی که اندازه‌ای مشخص دارد، بر شبکیه به اندازه‌ای مشخص دیده شود، می‌توان با یک تناسب ساده به فاصله آن تا شبکیه پی برد. این روش به ویژه در رفتار جفتگیری مگس‌های نر اهمیت دارد (Dusenbery.- 1992)[۱۰۳]. برهم‌افتادگی عناصر موجود در میدان دید هم می‌تواند به عنوان یک برگه برای تخمین فاصله‌ها به کار رود. استفاده از تصویر اشیای آشنای موازی هم می‌تواند چاره‌ساز باشد، چون خطوط موازی در فواصل دورتر به هم نزدیکتر می‌شوند. از روی بافت[۳] اشیای آشنا هم می‌توان به فاصله پی برد. هرچه فاصله بیشتر باشد، بافت‌های خشن و پرچین و شکن صاف‌تر جلوه می‌کنند.

این راهکارها، تنها نمونه‌هایی برجسته از کل کاری هستند که سیستم پردازنده‌ی بینایی برای بازنمایی جهان پیرامون خودبه کار می‌برد.

یک نکته‌ی کوچک دیگر در مورد مطالب این بخش وجود دارد و آن هم این است که تقسیم‌بندی سیستم عصبی به دو بخش کانال حسی /سیستم پردازنده هرچند ممکن است به عنوان یک تدبیر کارکردگرایانه مفید باشد، ولی در واقع درست نیست. در عمل، پردازش اطلاعات ورودی از نخستین گامهای جذب و انتقال آن آغاز می‌شود. شبکیه، که نخستین گام ورود اطلاعات بینایی به مغز است، خود در پردازش اطلاعات نقش مهمی را ایفا می‌کند. بنابراین آنچه که ما در این سطور با عنوان سیستم ناقل و سیستم پردازنده‌ی اطلاعات مورد اشاره قرار دادیم، تنها یک تقسیم‌بندی کاربردی را در دل خود نهفته است. سیستم عصبی یک کل در هم تنیده است که بخشهایی از آن به دلیل نزدیکی بیشتر با محرکهای خام محیطی، سازش بیشتری برای انتقال و دسته‌بندی محرکها پیدا کرده‌اند، و بخشهای دیگری که بیشتر در مناطق مرکزی سیستم عصبی قرار دارند، برای داده‌آمایی تخصص یافته‌اند.

۱- accomodation

۲- processing

۳- texture

به این ترتیب، کانال های ورودی اطلاعات برای جذب اطلاعات مورد نیاز با بیشترین سرعت و دقت ممکن تخصص یافته‌اند و با وجود پردازش اندکی که در طی مسیر بر روی داده‌ها انجام می‌دهند، کار اصلیشان بازشناسی و تصمیم‌گیری در مورد داده‌ها نیست. یک نمونه از تداخلهایی که ممکن است در اثر این تخصص یافتن گیرنده‌ها و کانالهای ورود اطلاعات حاصل شود با این تجربه‌ی ساده قابل‌نمایش است. اگر دست را بازکنیم و در مقابل چشمان خود حرکتشان دهیم، درک و پردازش سرعت به خوبی انجام می‌گیرد، اما پردازش شکل به خوبی صورت نمی‌گیرد و به همین دلیل هم نمی‌توان در همان حال تعداد انگشتان را شمرد (**Burk.- 1990**)[۶۸].

۴-۳) ساختار شبکه‌ی عصبی پردازنده‌ی اطلاعات بینایی در پستانداران:

تا اینجا، آنچه که گذشت به کلیات مربوط به حس بینایی مربوط می‌شد. به بیان دیگر، اطلاعاتی که مرور شد، مراحل اولیه‌ی حس بینایی را، از برخورد فوتون با شبکیه تا استنتاجات کلی مربوط به این برخورد در مغز در بر می‌گرفت. اما از آنجاکه در نهایت قرار است توجه ما بر سیستم پردازش بینایی پستاندارانی مانند انسان متمرکز شود، لازم است برخی از مفاهیم پایه در مورد ساختار انتقال اطلاعات در سیستم بینایی انسان بیشتر مورد توجه قرارگیرد. در این بخش مسیرها، اتصالات مهم و زیرواحدهای عمده‌ی موجود در سیستم بینایی پستانداران -با تکیه بر انسان- مورد اشاره قرار خواهد گرفت. از این پس هم مانند سابق، اطلاعات پایه در مورد کالبدشناسی و فیزیولوژی سیستم بینایی دانسته فرض خواهد شد و تنها برای یادآوری مروری مختصر ارائه خواهد شد. ناگفته پیداست که بر اساس آنچه که تا اینجاگذشت، در دید ما مغز ساختاری درهم تنیده و هم‌افزاست و تقسیم آن به زیرواحدهایی که انگار هیچ ارتباط عملی با هم ندارند نادرست است. در واقع مغز عبارت است از سیستمی با چندین سطح سلسله مراتب که بسته به قرارداد ناظر، می‌تواند به زیرواحدهای متفاوتی تقسیم شود. در (شکل-۱) یک تقسیم‌بندی مشهور دیگر را بر مبنای سازمان بافت شناختی مغز خواهید دید. دقت کنید که هرآنچه ما می‌گوییم در نهایت بر زیرواحدهایی بافت‌شناختی مانند آنچه که برودمن پیشنهاد کرده است (شکل-۱) سوار می‌شود.

چنان که گفتیم، بخش عمده‌ای از این سازمان بافت‌شناختی به تحلیل و پردازش اطلاعات به دست آمده از راه چشم اختصاص یافته است. پیش از پرداختن به این قسمتها، نخست باید راه ورود اطلاعات به آن را بیشتر شناخت. چشم در پستانداران، عبارت است از نوعی برجستگی پیاله مانند که در دوران جنینی از مغز پیشین[۱] جدا می‌شود و تا مرز خارجی بدن پیشروی می‌کند. این حباب جنینی در نهایت یکی از پیچیده‌ترین ساختارهای گیرنده‌ی محرک در جهان جانوران را پدید می‌آورد.

هر چشم از یک ساختار مکانیکی /نوری و یک ساختار عصبی /گیرنده‌ی موازی با آن تشکیل شده است. ساختار نخست همان عدسی و پرده‌ها و عضلات چشم را می‌سازد. در اینجا ساختار دوم بیشتر مورد توجه ماست.

شبکیه، که در زیر لایه‌ی رنگیزه‌دار قرارگرفته است، در واقع مجموعه‌ایست از ۱۲۰ میلیون گیرنده‌ی استوانه‌ای و ۶ میلیون گیرنده‌ی مخروطی که پیامهای عصبی خود را به دو لایه‌ی نورون‌های دوقطبی[۲] و گره‌ای[۳] می‌فرستد. دو نوع یاخته‌ی عمود بر آکسون‌های این دو لایه هم وجود دارند که به ترتیب نزدیکی به شبکیه، یاخته‌های افقی[۴] و

۱- prosencephalon

۲- bipolar

۳- ganglion cellls

۴- horizontal

آماکرین[۱] نامیده می‌شوند.

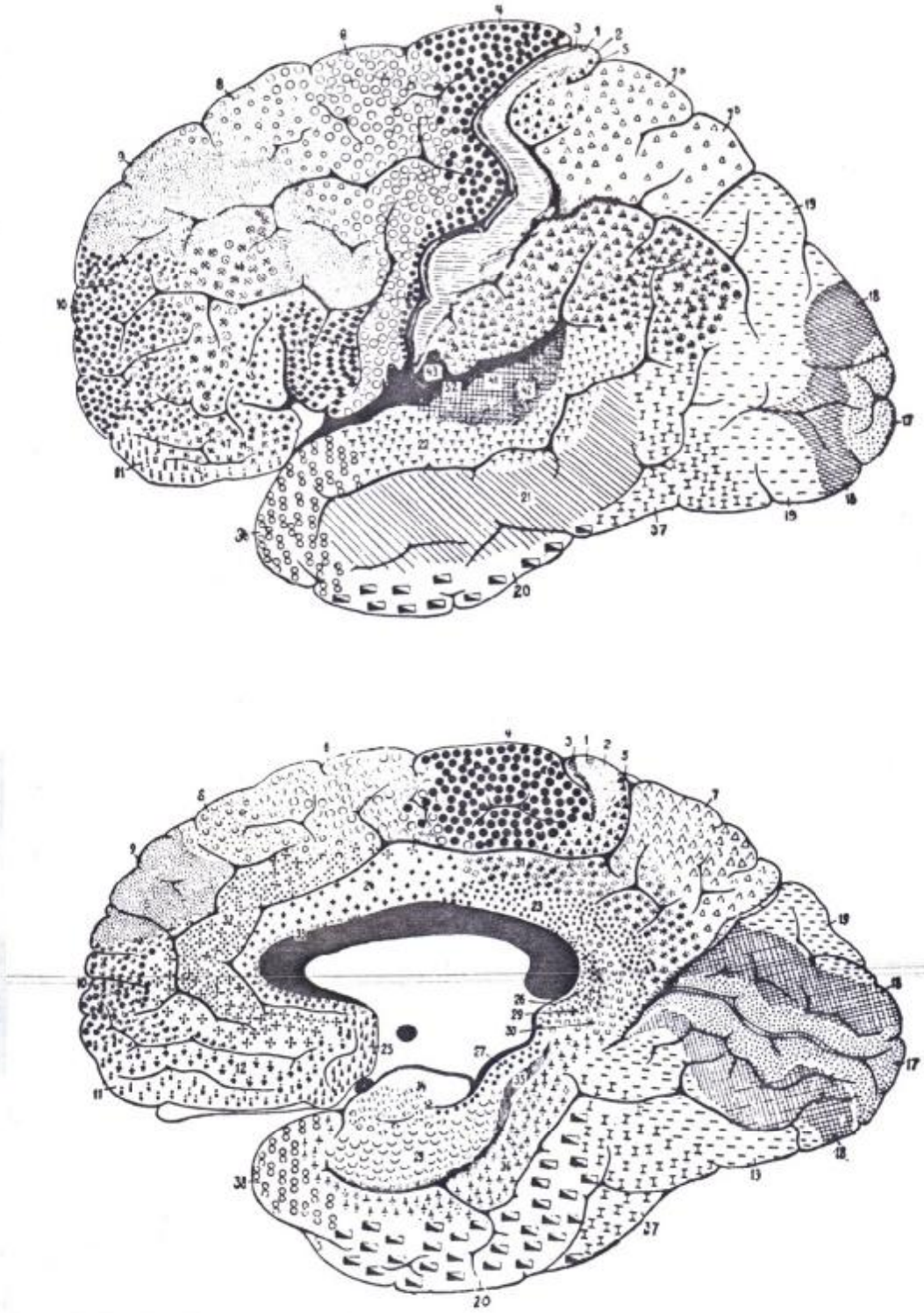
برون‌دِه این پرده‌ی عصبی پشت شبکیه در نهایت عصب دوم مغزی (عصب بینایی) را می‌سازد و اطلاعات بینایی توسط آن تا جسم زانویی کناری (**LGB**[۲]) منتقل می‌شود. هر جسم زانویی کناری دارای ساختار شش‌لایه‌ای آشنای موجود در قشر مخ است. دو لایه‌ی درونی این توده‌ی نورونی پیازمانند را، نورون‌های کوچکی تشکیل می‌دهند که آکسون‌های خود را در قالب راه‌عصبی ریزیاخته[۳] به لوب پس‌سری مخ گسیل می‌کنند. آکسون‌های ورودی به این دو لایه از یاخته‌های گره‌ای کوچکی در پشت شبکیه سرچشمه میگیرند که روی هم رفته با عنوان راه **X** خوانده می‌شوند. چهار لایه‌ی باقی‌مانده نورون‌های درشت‌تری دارند و راه عصبی درشت‌یاخته[۴] را تشکیل می‌دهند. آنها از یاخته‌های گره‌ای درشت‌تری منشأ می‌گیرند که در نهایت راه **Y** را پدید می‌آورد. این نورون‌ها به بسامد نور حساس نیستند (یعنی کوررنگند) و فقط اطلاعات مربوط به یک چشم را دریافت می‌کنند. درک حرکت، جهت، و عمق در این سیستم صورت می‌گیرد. بین هر دو لایه‌ی جسم زانویی را یاخته‌هایی به نام **konicocyte** پوشانده که به جای خود در ارتباط و انتقال اطلاعات نقش مهمی را ایفا می‌کند.

شبکیه‌ی هر چشم، به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش داخلی (ناحیه‌ی طرف بینی[۵]) آکسونهای خود را به لایه‌های ۱ و ۴ و ۶ جسم زانویی مقابل خود می‌فرستند، و گیرنده‌های بخش کناری (ناحیه‌ی طرف گوش[۶]) به لایه‌های ۲ و ۳ و ۵ **LGB** همان‌طرف پیغام می‌فرستند. به بیان دیگر، بخش درونی شبکیه به طور متقاطع[۷] و بخش کناری به صورت مستقیم[۸] به جسم زانویی اطلاعات می‌فرستند.

جسم زانویی کناری، نقشه‌ای به نسبت دقیق از شبکیه را بر خود منعکس می‌کند. یعنی آکسونهای مربوط به نقاط همسایه در شبکیه، پس از خاتمه‌ی مسیرشان در جسم زانویی همچنان همسایه خواهند بود. به این ترتیب نخستین بازنمایی نقشه‌ای از شبکیه در اجسام زانویی کناری تشکیل می‌شود.

نورون‌های **LGB** که به این شکل از عصب دوم مغزی پیام می‌گیرند، آکسون‌های خود را به ناحیه‌ی اول بینایی در قشر پس‌سری می‌فرستند. آکسون‌های مورد بحث پیش از رسیدن به قشر مخ از هم جدا می‌شوند و ساختار بادبزن مانندی را تولید می‌کنند که به نام تشعشع بینایی[۹] مشهور است. این تشعشع آکسونی در آخر به ناحیه‌ی اول بینایی در قشر پس سری ختم می‌شود. ناحیه‌ی اول بینایی، همان بخشی از لوب پس سری[۱۰] است که در اطراف شیار مهمیزی[۱۱] قرار گرفته است. این ناحیه به دلیل ظاهر شبکه مانندی که دارد با عنوان قشر مخطط[۱۲] هم مشهور است. این خطوط در واقع لایه‌هایی از یاخته‌های دارای رنگیزه‌ی تیره هستند که در این قسمت قرار گرفته‌اند. قشر پس سری و ناحیه بینایی هم مانند بقیه‌ی بخشهای قشر مخ پستانداران، دارای ساختاری شش لایه‌ای است.

۱- Amacrine
۲- Lateral Geniculate Boby
۳- parvocellular
۴- magnocellular
۵- nasal
۶- temporal
۷- contralateral
۸- ipsilateral
۹- optic radiation
۱۰- Occipital lobe
۱۱- Calcarine fissure
۱۲- striate cortex



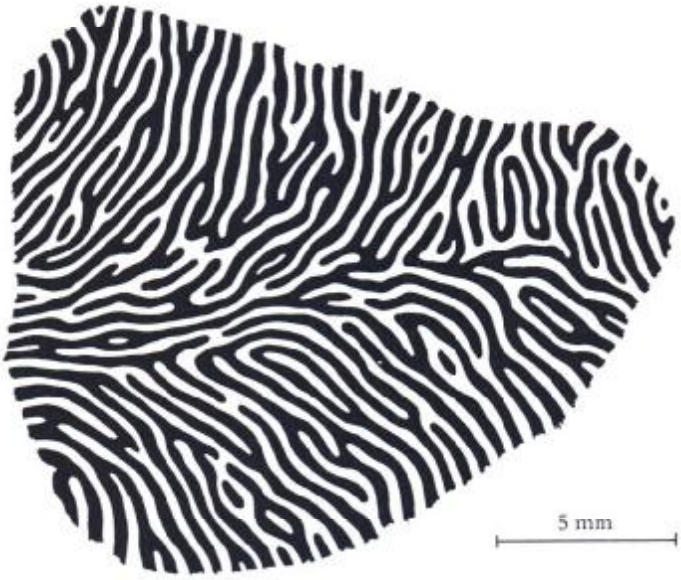
شکل-۳: زیرسیستم‌های قشر مخ که بر اساس معیارهای پیشنهاد شده توسط برودمن مشخص شده‌اند.

آکسون‌های گسیل شده از **LGB** به لایه‌ی چهارم قشر بینایی -به ویژه بخشهای درونی‌تر IV_c- ختم می‌شوند. این لایه، خود از چندین زیرلایه تشکیل شده که هریک را بر اساس نوع رنگ‌پذیری تشخیص می‌دهند و با حروف الفبا

نامگذاری می‌کنند.

اطلاعات بینایی در قشر پس سری، نقشه‌ای از **LGB** - وبنابراین شبکیه- را بازنمایی می‌کنند. اما به دلیل وجود تقاطع بین اعصاب بینایی در چلیپای بینایی[۱]، هرنیمکره تنها نیمی از میدان دید را که به طرف مقابلش مربوط می‌شود بازنمایی می‌کند. به این ترتیب دومین نقشه‌ی توپوگرافیک از جهان خارج هم در سیستم بینایی تشکیل می‌شود. اگر تناسب بین بخشهای گوناگون این ناحیه را نسبت به میدان بینایی بسنجیم، چیزی بی‌قواره به دست می‌آوریم، چرا که نزدیک به ۲۵٪ مساحت ناحیه‌ی اولیه‌ی بینایی برای بازنمایی اطلاعات ورودی به لکه‌ی زرد تخصیص یافته است (کارلسون.- ۱۳۷۴)[۱۶].

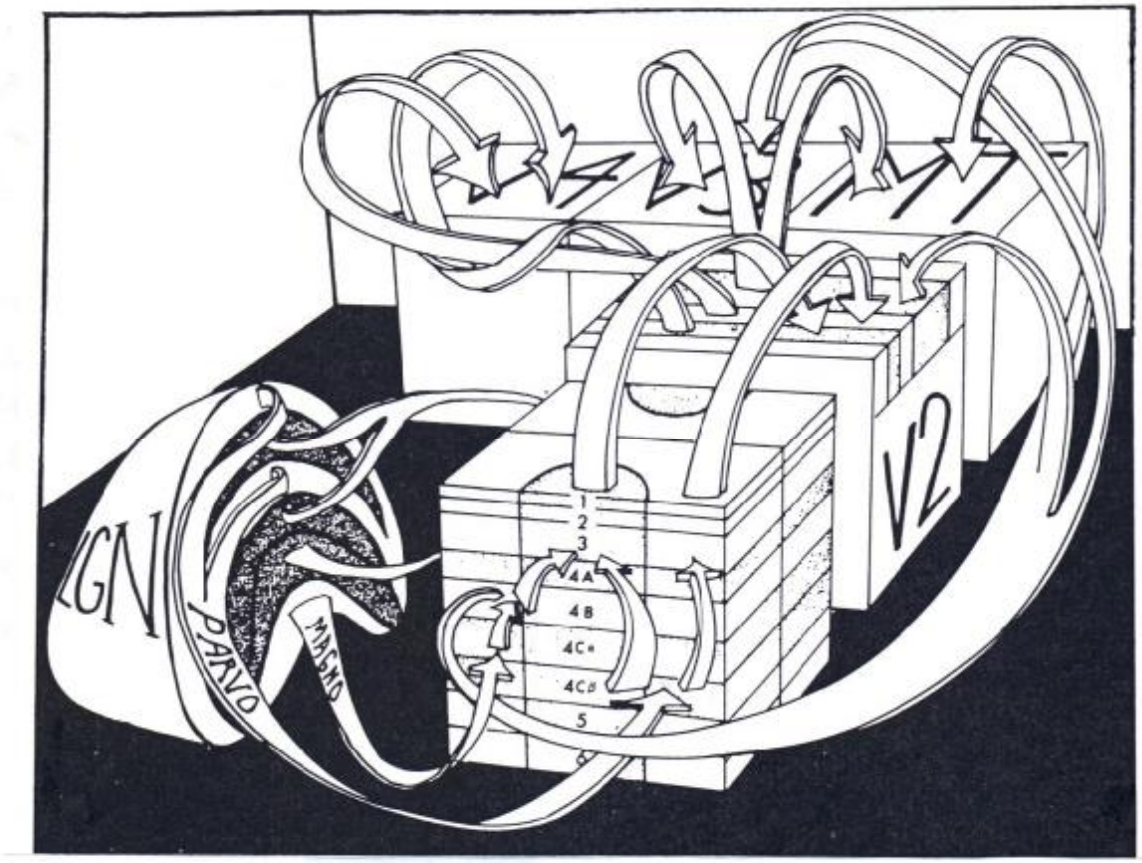
لایه‌ی چهارم، از یاخته‌هایی تشکیل شده است که برای پردازش اطلاعات مربوط به یک چشم تخصص یافته‌اند. اگر نورون‌های کد کننده‌ی اطلاعات مربوط به یک چشم را بر سطح لایه‌ی چهارم به کمک روشهای بیوشیمیایی مشخص کنیم، به شبکه‌ای از خطوط برخال مانند می‌رسیم که سازماندهی بازنمایی اطلاعات یک چشک منفرد بر یک نیمکره را مشخص می‌کند. این سازماندهی شباهتی با الگوهای قابل مشاهده در سیستم‌های خودسازمانده زیستی دارد و تحلیل‌های برخالی‌ای هم از ریخت آن در دست است (شکل- ۴).



شکل -۴: سازماندهی دید تک‌چشمی در لایه‌ی چهارم قشر مخطط. رنگ سیاه نشانگر اطلاعات یک چشم و رنگ سفید نماد اطلاعات بازنمایی شده از چشم دیگر است (گانونگ.- ۱۳۷۳)[۱۸].

۱- **optic chiasma**

گفتیم که لایه‌ی چهارم دارای چندین زیرلایه است. زیرلایه‌ی IV_c نورون‌هایی را از **LGB** دریافت می‌کند که تنها اطلاعات مربوط به یک چشم را کد می‌کنند. نورون‌های این زیرلایه از یاخته‌هایی ساده تشکیل شده است که نسبت به محرک‌های ساده و محدودی حساسیت بیشینه دارند. مثلاً یکی از انواع این نورون‌ها در برابر دریافت خطی که زاویه‌ای 45° داشته باشد واکنش نشان می‌دهد و شلیک می‌کند. هریک از این یاخته‌ها میدان گیرندگی[1] محدودی بر سطح شبکیه دارند. زیرلایه‌ی IV_b اطلاعات را از هر دو چشم دریافت می‌کند اما به بسامد نور (یعنی رنگ) واکنش نشان نمی‌دهد. نورون‌های این زیرلایه درک حرکت در جهتی خاص را بر عهده دارند و در متون عصب شناسی گاهی با عنوان کانال-**M** مورد اشاره قرار می‌گیرند.



شکل- ۵: سازماندهی راه‌های بینایی در قشر پس‌سری.

نورون‌هایی که اطلاعات **LGB** را در لایه‌ی چهارم دریافت کرده‌اند، آکسونهای خود را به لایه‌ی دوم و سوم می‌فرستند. این دو لایه، بر حسب رنگ‌پذیری نسبت به غلظتهای متفاوت آنزیم سیتوکروم اکسیداز به دستجاتی نورونی تقسیم می‌شوند که به صورت ستونهایی بزرگ و عمود بر محور لایه بندی قشر مخ سازمان یافته‌اند. هریک از این ساختارها را از این به بعد با عنوان ستون[2] مورد اشاره قرار خواهند گرفت. نورون‌های موجود در درون این

۱- **receptive field**

۲- **blob**: ترجمه‌ی فارسی این عبارت قطره و لکه می‌شود که ارتباط چندانی با ریخت آن ندارد. "ستون" برابرنهاد بهتری برایش

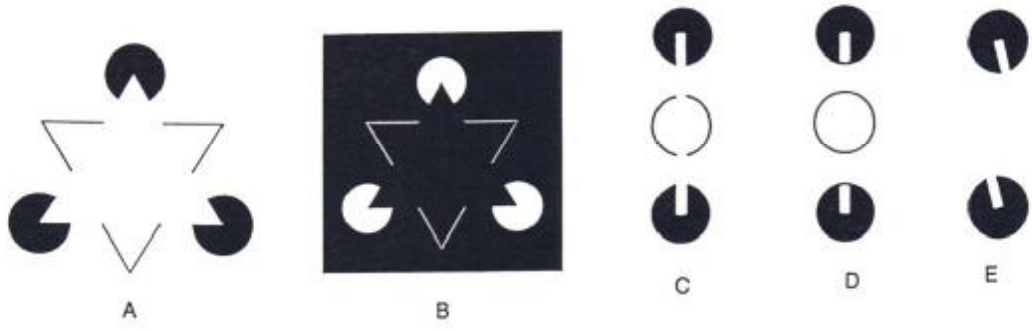
ساختارها، به رنگ حساسند و اطلاعات مربوط به شبکیه‌ی یک چشم را دریافت می‌کنند. این یاخته‌ها به محرکهایی مانند جهت و حرکت حساس نیستند و تنها درک رنگ را بر عهده دارند (**Bear et al.- 1996**)[۴۹].

در بین ستونها، یاخته‌های دیگری وجود دارند که در کل با عنوان بخش بین‌ستونی[۱] خوانده می‌شوند. یاخته‌های موجود در این ناحیه به یاخته‌های پیچیده مشهورند و نورون‌هایی را در خود جای داده‌اند که اطلاعات مربوط به هر دو چشم را دریافت می‌کنند و به اشکال پیچیده پاسخ می‌دهند. این نورون‌ها وظیفه‌ی درک جهات فضایی را بر عهده دارند (**Bear et al.- 1996**)[۴۹].

از ستونهای V_1 یک راه به V_2 می‌رود که با نام مسیر نازک[۲] مشهور است. عمل تصفیه‌ی حشوهای وارد شده به سیستم در این راه انجام می‌گیرد و بنابراین در این مسیر است که تولید لبه‌های واقعی و موهوم انجام می‌شود (**Baumgarten.- 1987**)[۴۸]. راه دیگری هم از V_1 ستونها به طور مستقیم به V_4 می‌رود. این شبکه‌ی آکسونی در واقع وظیفه‌ی مربوط کردن شکل و رنگ را بر عهده دارد. راه دیگر، از بخش IV_B در V_1 شروع می‌شود و پس از گذشتن از V_2 به V_3 و V_5 می‌رود. این مسیر را با نام مسیر قطور[۳] مورد اشاره قرار می‌دهند. این راه ریخت و حرکت را به هم مربوط می‌کند و از راه آن درک اشکال در حال حرکت ممکن می‌شود. سازماندهی دقیقتر راه‌های یاد شده را در (شکل- ۵) مشاهده می‌کنید. در (شکل- ۷) نموداری ساده‌تر و دقیقتر از همین راه‌ها را خواهید یافت.

ساختار سلسله مراتبی پردازش، که به این شکل دقیق و مشخص در مغز سازماندهی شده‌اند، امکان این را به ما می‌دهد که برخی از رفتارهای ادراکی ویژه را در مسیرهای یاد شده ردگیری کنیم. به عنوان مثال پدیده‌ی مشهوری به نام لبه‌های موهوم شناخته شده است که در آن لبه‌های گسسته در شرایطی ویژه در مغز به صورت خطوطی پیوسته و دارای تداوم پردازش می‌شوند (شکل- ۶). به کمک ابزارهای عکسبرداری مدرن مغزی، نشان داده شده که این پدیده در V_1 قابل ردیابی نیست، و تنها در نورون‌های لایه‌ی V_2 است که رگه‌هایی از آن را می‌بینیم (**Zeki.- 1995**)[۳۳۷].

هرچه از ناحیه‌ی اول بینایی به سمت مراکز عالی‌تر پردازش بینایی پیش رویم، میدان گیرندگی نورون‌های موجود در قشر پس‌سری گسترش بیشتری می‌یابند. این مقدار برای نورون‌های V_1 عبارت است از $0/5^\circ$، برای ناحیه‌ی V_2 برابر است با $0/5-1^\circ$، در V_3 معادل است با $1-4^\circ$، و در قشر گیجگاهی زیرین (**IT**) به 25° هم می‌رسد.



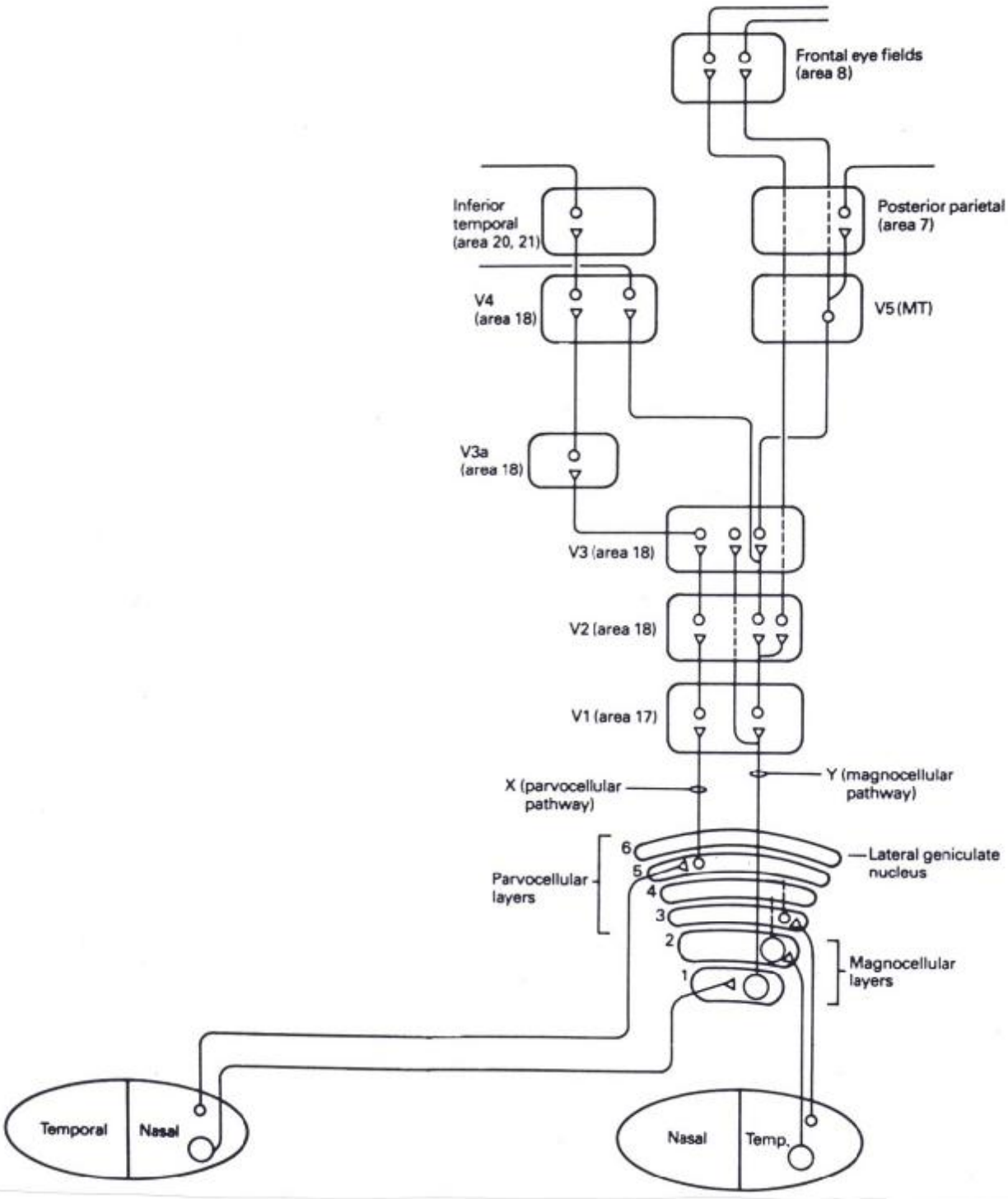
شکل-۶: لبه‌های موهوم قابل تجربه در خطاهای دید Kanizsa (A,B) و Smith-over (C,D,E).

تشخیص داده شد و از این پس با این عنوان به این ساختار اشاره خواهد شد.

۱- **interblob**

۲- **thin stripe**

۳- **thick stripe**



شکل-۷: سازماندهی بسیار ساده شده‌ی راه‌های انتقال اطلاعات بینایی به مغز.

اطلاعاتی که باید در سطوح بالاتر پردازش شوند، به نواحی بعدی بینایی V_4 و V_5 می‌روند و در آنجا شکست‌ها پدیده به شکلی دقیقتر و پیچیده‌تر انجام می‌شود. مثلاً درک خودآگاه حرکت، چنان که از مشاهدات برگرفته از تصویربرداری PET برمی‌آید، در اثر فعالیت نورون‌های بخش V_5 حاصل می‌شود. نکته‌ی جالب اینکه چنان که گفتیم، تحریک این نورون‌ها هم درک حرکت در جهت خاصی را در خودآگاه فرد القا می‌کند (Crick & Koch.- 1997)[۸۵]. این شواهد اخیر دانشمندانی مانند کریگ و کخ را به این نتیجه رسانده‌اند که پردازش اطلاعات در سطوح پایین سیستم بینایی (لایه V_1 و V_2) ناخودآگاه و در سطوح بالاتر پردازشی (لایه‌ی V_5) خودآگاه است. یعنی این دانشمندان ردپای خودآگاهی را در نواحی عالیتر پردازش اطلاعات می‌دانند (Crick & Koch.- 1997)[۸۵].

شواهد نوروفیزیولوژیک نشان می‌دهند که سطحی از قشر مخ به مساحت ۲×۲ میلی‌متر مربع، برای کد کردن اطلاعات مربوط به مکان یک نقطه در فضای عادی سه بعدی کافی است. این مساحت برابر است با دو لکه‌ی ترجیح دهنده‌ی تک چشم در لایه‌ی چهارم و شانزده ستون در لایه‌ی سوم و نواحی بین ستونی مربوطه. حذف یک تکه از قشر مخ با مساحتی در این حدود، به پیدایش نقطه‌ی کور در میدان بینایی می‌انجامد. هریک از این واحدهای ۲×۲ میلی متری به قول هوبل و ویسل، یک واحد قشری[۱] هستند، به تخمین این پژوهشگران، مغز هریک از ما حدود هزارتا از این واحدها را دارا می‌باشد (Bear et al.- 1996)[۴۹].

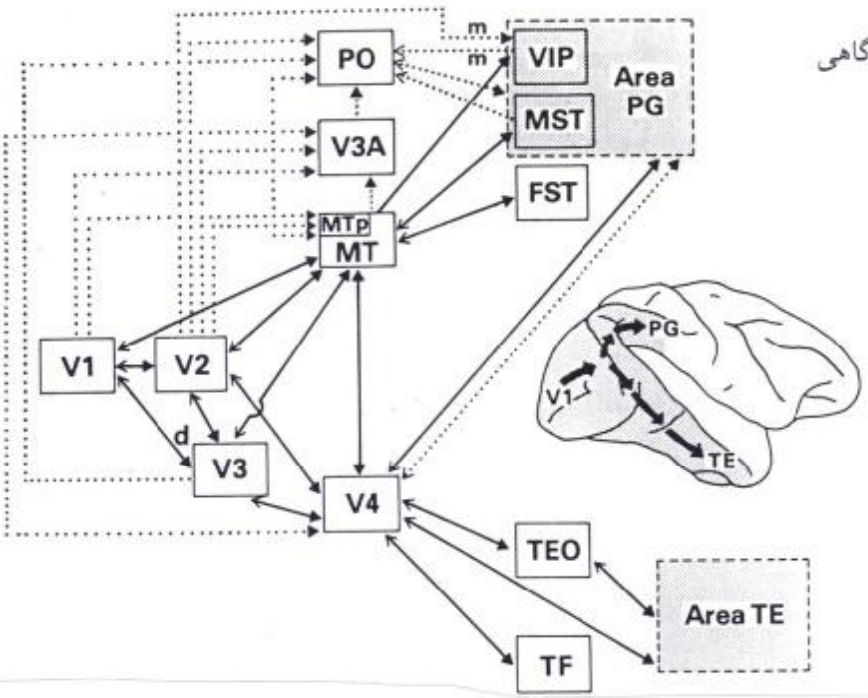
در مورد نقطه‌ی کور، نظریات جالبی وجود دارد. یکی از نظریات قدیمی عصب‌شناختی در این مورد این است که مغز به طور خودکار جای خالی میدان دید -که همان نقطه‌ی کور باشد- را پر می‌کند. دانیل دِنِت[۲] که از فلاسفه‌ی مطرح در زمینه‌های مربوط به شناخت است، معتقد است که این ایده درست نیست. او در کتاب مشهورش "*توضیح آگاهی*" ادعا می‌کند که فقدان اطلاعات در مورد یک نقطه از جهان خارج به معنای اطلاعات در مورد فقدان آن نقطه نیست. یعنی مغز به دلیل وجود نداشتن اطلاعات ورودی در مورد مختصات فضایی هم‌ارز نقطه‌ی کور، چیزی در مورد آن مختصات فضایی نمی‌فهمد و بنابراین در بازنمایی خود از جهان خارج جای خالی‌ای که نیاز به پر شدن داشته باشد درک نمی‌کند. به عبارت دیگر، فضایی که مغز درک می‌کند کمی از فضای بیرونی منقبض‌تر است (Dennett.- 1991)[۹۵].

شواهد عصب‌شناختی چندی وجود دارند که نادرست بودن اعتقاد دنت را نشان می‌دهند. به عنوان مثال، ریکاردو گاتس[۳] از دانشگاه ریودوژانیرو نشان داده که نورون‌هایی در کورتکس بینایی وجود دارند که مختصات فضایی مربوط به نقطه‌ی کور را بازنمایی می‌کنند و در برخورد با محرکهایی که در همسایگی این نقطه قرار دارند، شلیک می‌کنند. به عبارت دیگر، مغز مختصات فضایی *کامل* و غیرمنقبضی را از جهان خارج در خود بازنمایی می‌کند، و در مقابل می‌کوشد تا با استفاده از اطلاعات مربوط به بخشهای همسایه‌ی نقطه‌ی کور، تصویری از آن را برای خود ایجاد کند (Crick & Koch.- 1997)[۸۵]. بررسی شرایط مرزی خاصی مانند نقطه‌ی کور، در خیلی از موارد این شانس را فراهم می‌کنند که پژوهشگر به رفتارهای عالیتر پردازشی مخ *نگاهی بیندازد*، و به همین دلیل هم شواهدی از این دست در عصب‌شناسی بینایی از ارزش فراوانی برخوردارند.

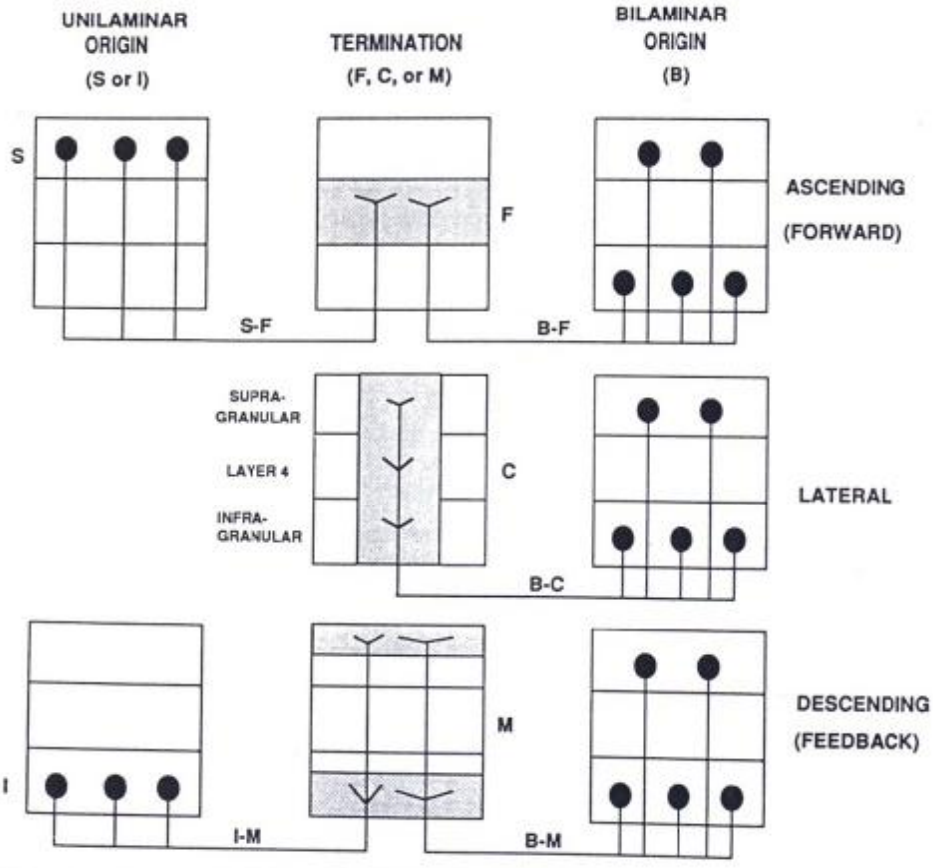
۱- cortical module

۲- Daniel.C.Dennett

۳- Ricardo Gatts



شکل-۸: سازماندهی راه‌های پردازنده‌ی اطلاعات بینایی در مغز میمون ماکاک. خطوط نقطه‌چین نشانگر اطلاعات تک‌چشمی و خطوط کامل نشانگر اطلاعات دوچشمی هستند. انتهای توپُرِ بردارها نشانگر راه‌های پیش‌رونده است و نوک‌های نازکتر راه‌های بازخوردی و برگشتی رامشخص می‌کنند.



شکل-۹: ارتباطات لایه‌های قشر مخطط مغز میمون و سلسله مراتب موجود در آنها که نشانگر سه نوعِ رایج اتصال نورون‌ها در قشر بینایی است. از بالا به پایین، ارتباطات اختصاصی با یک لایه، ارتباط ستونی منتشر با همه‌ی لایه‌ها، و ارتباط ترجیحی در چند لایه.

۴-۴) زیرسیستم‌های پردازنده‌ی بینایی:

راه‌های ریز و درشت یاخته اطلاعات مختلفی را به مغز می‌برند و ظاهراً ریشه‌ی تکاملی مستقلی هم دارند. راه درشت یاخته ابتدا به $IV_c\alpha$ می‌رود، بعد نورون های این زیر لایه به زیرلایه‌ی IV_B آکسون می‌دهند، که آنها نیز به نوبه‌ی خود به منطقه‌ی MT[1] پیام می‌فرستند.
مسیر ریزیاخته ابتدا به $IV_c\beta$ آکسون می‌فرستد و و بعد از یک اتصال در ناحیه بین ستونی، در ناحیه‌ی چهارم بینایی V_4 ختم می‌شود. راه درشت‌یاخته حساس به عمق و درخشش، سریع، نادقیق و کوررنگ است، و در برابرش راه ریزیاخته کند و حساس به رنگ و دقیق می‌باشد. به بیان دیگر، راه درشت‌یاخته برای *نگاه انداختن* به جهان خارج، (بدون دقت به جزئیات) تخصص یافته، و در برابر راه ریزیاخته وظیفه‌ی تحلیل دقیق و موشکافانه‌ی بخشهای جزئی میدان دید را در زمان بالاتر بر عهده دارد.

راه درشت‌یاخته، علاوه بر درک درخشش به طور مطلق، شکل را هم با توجه به تفاوت نسبی درخشش عناصر موجود در محیط نسبت به هم درک می‌کند. به همین دلیل هم درک ریخت و شکل اشیا تنها با توجه به تفاوت درخشش‌شان ممکن است. یک نمونه از محرکهایی که به این ترتیب درک می‌شود، نقاشیهای ونگوگ است. این نقاش هلندی، رنگهایی غیرعادی، خالص و درخشان را طوری با یکدیگر ترکیب کرده که روی هم رفته طبیعی به نظر می‌رسند. ناگفته پیداست که سیستم ریزیاخته‌ی حساس به رنگ نمی‌تواند این ترکیب را طبیعی بداند، بلکه آنچه تا حدودی تفسیر این نقاشیها را ساده می‌کند، عملکرد کلان سیستم درشت‌یاخته است.

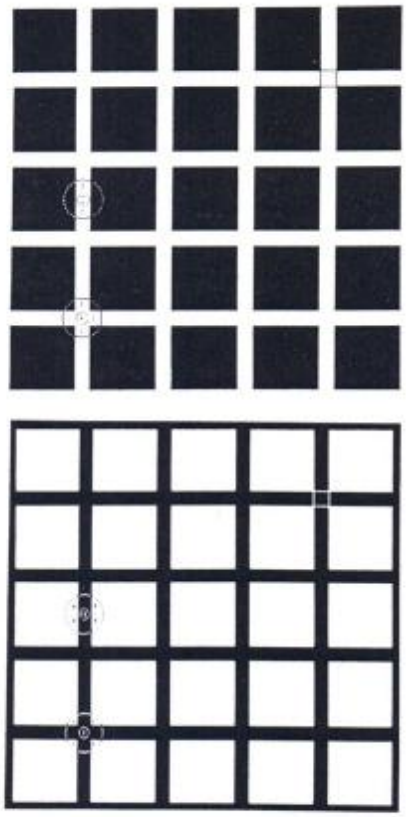
راه درشت یاخته، با وجود کارآیی بالایش برای درک حرکت، در دامنه‌ای محدود می‌تواند این محرک را تشخیص دهد. اگر سرعت محرک بینایی از حد خاصی تجاوز کند، توسط سیستم درشت‌یاخته ثبت نمی‌شود و به صورت سکون ترجمه می‌شود. حد بسامدی که در این رابطه برای محرکهای چرخان به دست آمده، برابر است با ۲۲-۱۶ هرتز. یک نمود آشنای این حد این است که پره‌های یک پنکه در بالاتر از سرعت خاصی دیده نمی‌شوند و نمونه‌های حجیم‌تری مانند چرخ ماشین هم در سرعتهای گردش به صورت محرکهایی ساکن دیده می‌شوند (Campbell.- 1981)[209].

به این ترتیب پی‌گیری برخی از پدیده‌های مشهور موجود در سیستم بینایی با این تفاصیل آسان می‌شود. پدیده‌ی درک رنگهای مکمل موهوم[2]، به سیستم ریزیاخته، و درک نمودهای رابط[3] به سیستم درشت‌یاخته مربوط می‌شود. پدیده‌ی درک رنگ موهوم، عبارت از این مشاهده‌ی آشناست که مناطق همسایه‌ی یک بخش رنگی (مثلاً قرمز) در میدان بینایی، با سایه‌هایی از رنگ مکمل آن (مثلاً سبز) دیده می‌شوند. یک آزمون ساده در این مورد این است که لکه‌هایی با رنگ خنثی (خاکستری) را در مربعهایی با رنگ سبز یا قرمز محصورکنیم. در این حالت لکه‌ی خاکستری به ترتیب با ته رنگی از قرمز و سبز دیده خواهد شد. نمونه‌ی مشهورتر آن، خطای دیدی است که با نام شبکه‌ی هرمان شهرت دارد (شکل - ۱۰). در اینجا بر اساس کارکرد ساده‌ی مهار جانبی در شبکیه، پدیده‌ای مشابه در مورد رنگ سیاه و سپید اتفاق می‌افتد.

۱- middle temporal

۲- phenomenon of bleeding

۳- linking feature



شکل- ۱۰: شبکه‌ی هرمان و روشن یا تیره دیده شدن چهارراه‌های موجود در زمینه‌ی دارای رنگ متضاد.

نمودهای رابط هم مجموعه‌ای از عناصر اطلاعاتی هستند که در صورت حضور در سیستمی از محرکها، آنها را به هم مربوط می‌کنند و هویتی منسوب به یک شیء یکتا را پدید می‌آورند (**Barlow.- 1972**)[۴۴]. بارلو، که این مفهوم را معرفی کرده است (**Barlow.- 1981**)[۲۰۹]، این عوامل را به عنوان نمودهای رابط در نظر گرفته است:
داشتن حرکت همسان (از نظر سرعت و جهت)، داشتن عمق همسان، و داشتن امتداد همسان (یعنی اگر مکعبی بر وسط خطی قرار گیرد و با پوشاندن وسطش آن را به دو پاره‌خط تبدیل کند، مغز آن تصویر را به صورت یک خط و مکعبی بر روی آن تحلیل می‌کند نه دو پاره‌خط مجزا و یک مکعب) (شکل- ۵). شواهد آزمایشگاهی چندی هم هستند که این فرض او را تقویت می‌کنند (**Barlow.- 1990**)[۴۵]. پدیده‌ی درک لبه‌ی موهوم هم چون به تفاوت درخشش بین نقاط مختلف میدان دید برمی‌گردد، یک کارکرد درشت‌یاخته‌ای است.

دانشمندانی مانند هوبل و لیوینگستون، دستگاه قدمت درشت‌یاخته را از نظر تکاملی بسیار بیشتر از راه ریزیاخته می‌دانند. راه درشت یاخته در نهایت عملکردی شبیه به چشم قورباغه دارد. این دستگاه فقط وقتی که جسمی در جهان خارج حرکت کند به آن توجه می‌کند و این توجه را هم بر عناصری مثل شدت درخشش و خطها و لبه‌ها متمرکز می‌کند. اگر نگاهمان را بر محرکی مربوط به این سیستم، که ثابت هم باشد، متمرکز کنیم، پس از چند لحظه می‌بینیم که تصویر مورد نظرمان شروع به محو شدن می‌کند، و این ظاهراً همان اتفاقی است که در سیستم بینایی قورباغه هم تکرار می‌شود. در مقابل این دستگاه، سیستم ریزیاخته دقت زیادی را صرف اجسام ثابت می‌کند و بیشتر به عناصر فرعی‌تری مانند رنگ حساسیت نشان می‌دهد (**Hubbel & Livingstone.- 1988**)[۲۰۹].

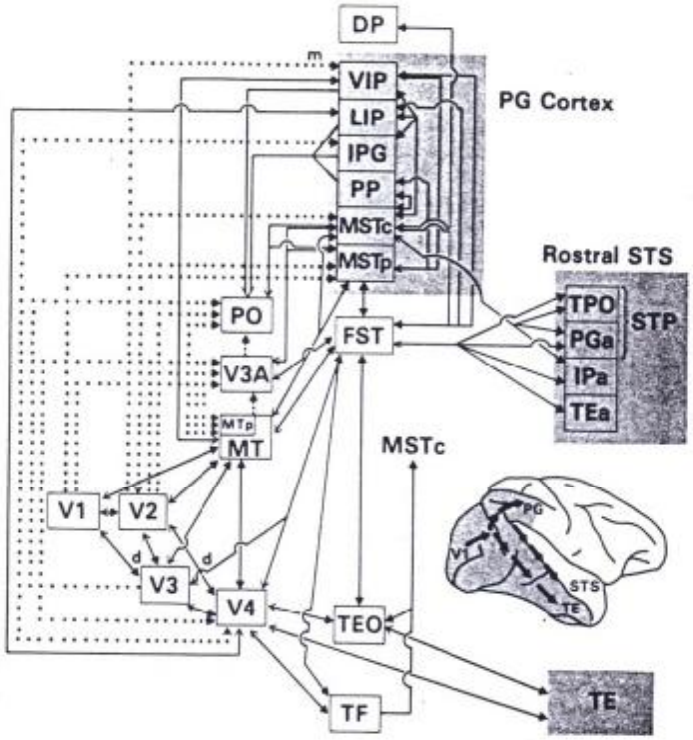
کارکرد فیزیولوژیک	درک رنگ	درک تباین	دقت زمانی	دقت مکانی
سیستم درشت یاخته	ندارد	خوب	بالا	پایین
درک حرکت				
ردگیری حرکت	دارد	دارد	دارد	دارد
وضوح حرکت	دارد	دارد	دارد	دارد
درک عمق				
stereopsis	دارد	دارد	دارد	دارد
هم‌ارزی دوچشم	دارد	ندارد	ندارد	دارد
اختلاف منظر	دارد	ندارد	ندارد	ندارد
درک عمق از روی حرکت	دارد	دارد	ندارد	ندارد
درک سایه	دارد	دارد	ندارد	ندارد
درک لبه	دارد	ندارد	ندارد	دارد
مهار	دارد	ندارد	ندارد	ندارد
پرسپکتیو	دارد	دارد	دارد	ندارد
خاصیت همبستگی				
در مورد حرکت	دارد	دارد	ندارد	ندارد
در مورد هم‌امتداد بودن	دارد	دارد	دارد	دارد
تمایز شکل /زمینه	دارد	ندارد	ندارد	ندارد
سیستم ریزیاخته	دارد	ضعیف	کند	بالا
درک شکل				
درک جهت	دارد	دارد	دارد	دارد
درک شکل	دارد	دارد	دارد	دارد
سیستم مختلط ریز و درشت یاخته	دارد	خوب	کند	پایین
درک رنگ				
تعیین رنگ	دارد	ندارد	دارد	دارد
درک نور چشمک‌زن	دارد	ندارد	دارد	ندارد

جدول (ج- ۴) (**Hubbel & Livingstone.- 1988**)[۲۰۹].

دو سیستم دیگری که در دستگاه بینایی قابل تشخیص هستند، عبارتند از بخش زیرگیجگاهی (**IT**[۱])، و بخش بالای آهیانه‌ای (**PP**[۲]).

برای نخستین بار، دانشمندی به نام میشکین توانست نشان دهد که دو سیستم بالایی و پایینی در ساختار کالبدشناختی پردازنده‌ی اطلاعات عالی بینایی وجود دارد. یکی از این دو سیستم (بالایی) در بخش بالایی پشتی لوب آهیانه‌ای قرار دارد و وظیفه‌ی پردازش اطلاعات مربوط به روابط فضایی اجسام با یکدیگر را بر عهده دارد. این سیستم کارکردی کل‌گرا و نسبی دارد و موقعیت و وضعیت هر جسم را نسبت به فضای معیار تصور شده در مغز نسبت به اشیای دیگر نشان می‌دهد. سیستم دیگر (پایینی) در بخش زیری- پسین لوب گیجگاهی قرار دارد و وظیفه‌ی پردازش اطلاعات مربوط به هویت اشیای مشاهده شده را بر عهده دارد. این سیستم جزءگرا و متمرکز عمل می‌کند و بازشناسی ماهیت اشیای موجود در میدان بینایی را بر عهده دارد. در واقع سیستم بالایی به پرسشهایی از نوع کجا؟ و سیستم پایینی به سوالهایی از رده‌ی چی؟ پاسخ می‌دهد. در (شکل-۱۱) مدل ساده‌ی پیشنهاد شده توسط میشکین را خواهید دید.

شواهد زیادی در تأیید مدل یاد شده وجود دارد، مثلاً در میمون رزوس نشان داده شده که دسته‌ای از نورون‌های ناحیه‌ی **MT** همزمان با درک حرکت توسط جانور شلیک می‌کنند. یعنی در آزمونهایی که میمون‌ها می‌کوشند وظیفه‌ی تشخیص سرعت و جهت حرکت را انجام دهند، گروههای نورونی مشخصی همراه با بروز درک حرکت واکنش نشان می‌دهند. (**Newsome et al.- 1989**)[۲۴۳]. همچنین نشان داده شده که در میمون هم مانند انسان، نورون‌های ناحیه **IT** برای بازشناسی اشیا تخصص یافته‌اند ولی در درک روابط فضایی بین آنها نقشی بر عهده ندارند.



شکل-۱۱: مدل بازبینی شده‌ی میشکین در سال ۱۹۸۱.م[۳].

۱- **Inferior Temporal** ۲- **Posterior Parietal**

۳-علایم اختصاری مهم به کار رفته در شکل عبارتند از: **PG** (=قشر آهیانه‌ی پشتی)، **TE** (قشر گیجگاهی)، **STS** (شیار جلویی

گروهی از دانشمندان، به وجود دو راه موازی در سیستم بینایی قائلند، که با آنچه که در اینجا گفته شد جمع‌پذیر است. به زعم این پژوهشگران دو سیستم مجزای مرتبط به دو عملکرد سازماندهی حرکتی در فضا، و درک و بازشناسی اشیا در مغز وجود دارد. شبکه‌ی عصبی کد کننده‌ی پردازش اطلاعات حرکتی/فضایی، در بالای لوب آهیانه‌ای[۱] و شبکه‌ی مربوط به بازشناسی اشیا در وسط لوب گیجگاهی[۲] قرارگرفته است. دانشمندانی که به وجود این دو راه مجزای عصبی باور دارند، بازخوردهای اطلاعاتی و داد و ستد داده‌ها در بین این دو سیستم را ممکن می‌دانند، اما بیشتر به پذیرش موازی کارکردن این دو سیستم گرایش دارند (**Goodale & Mandler.- 1992**)[۱۳۵]. درکنار این سیستم‌های اصلی، شواهدی در دست است که نشان می‌دهد سیستم پردازشگر اطلاعات بینایی مربوط به حرکت به سمت هدف، با سیستم پرهیزکننده از موانع محیطی متفاوت باشد (**Goodale et al.- 1982**)[۱۳۴].

این زیرسیستم‌ها، به دلیل دارا بودن محمول عصب‌شناختی مشخص و سخت‌افزار قابل‌تحلیل شناخت شده، اختلاف نظر چندانی را در بین پژوهشگران برنمی‌انگیزد. هرچند ممکن است اختلاف نظرهایی جزیی در مورد کارکردهای خاص و کمتر شناخته شده، بین پژوهشگران وجود داشته باشد، اما در نهایت شواهد فراوان تجربی این امکان را به محققان داده که بتوانند در مورد نقشه‌هایی کارکردی‌ای مانند (شکل-۱۲) از قشر مخ جانوران ساده‌تری مانند میمون به توافق برسند. اما در مقابل این تقسیمات ساختاری شسته رُفته، دسته‌بندی‌های پردازشی کلان‌تری هم وجود دارند که مورد مناقشه و بحث و جدل هستند. نظریاتی که به این دسته‌بندی‌ها می‌پردازند، در واقع به کل پیکره‌ی اطلاعاتی سیستم عصبی نظر دارند و در پی یافتن مدلی هستند تا بتواند تمام شواهد در دسترس در این زمینه را توجیه کند.

رایج‌ترین تقسیم‌بندی‌ای که در مورد عملکرد سیستم عصبی بینایی وجود دارد، -به نام دانشمند پیشنهاد کننده‌اش- تقسیم‌بندی مار خوانده می‌شود. این نام، به افتخار دیوید مار[۳] انتخاب شده که در میان پژوهشگران بینایی نامی آشناست. مار، مدعی بود که تحلیلی رفتارهای پردازشی سیستم بینایی، در سه سطح امکان دارد. نخست سطح مکانیسمی[۴] است، که در آن ردپای نورون‌های پردازنده‌ی موضعی و سخت‌افزار مغز به خوبی به چشم می‌خورد. دوم، سطح برنامه‌ای[۵] است که الگوریتم‌ها و سازماندهی مسیرهای انتقال اطلاعات و داده‌آمایی را در سطحی انتزاعی‌تر بر عهده دارد، و بالاخره سوم که سطح پردازشی[۶] است، ارتباط چندانی به سخت‌افزار مغز ندارد و به استنتاج و نتیجه‌گیری منطقی از اطلاعات پردازش شده اختصاص دارد.

به گفته‌ی مار، این سه سطح از پردازش بینایی تا حدودی به صورت مستقل از هم قابلیت حضور در سیستم عصبی را دارند (**Marr.- 1981**)[۲۲۰]. بنابراین پرداختن به ویژگی‌ها و پدیده‌های موجود در یک سطح بالاتر (مثلاً سطح پردازشی) بدون توجه به سطوح زیرین (مثلاً مکانیسمی) ممکن است. یعنی اگر سیستمی تا حد کافی پیچیده باشد تا بتواند رفتار پردازشی را از خود نشان دهد، خواصی را در سطح پردازشی از خود آشکار می‌کند که مستقل از نوع سخت‌افزار پشتیبانی کننده‌ی این پردازش، با آنچه که در سایر سیستم‌های دارای این سطح مشاهده می‌شود، شباهت دارد. در این چهارچوب می‌توان آن سیستم را با سایر سیستم‌های دارای کارکرد مشابه در یک دسته قرار داد و رفتارهای

گیجگاه زبرین).

۱- **Superior Parietal**

۲- **Intertemporal**

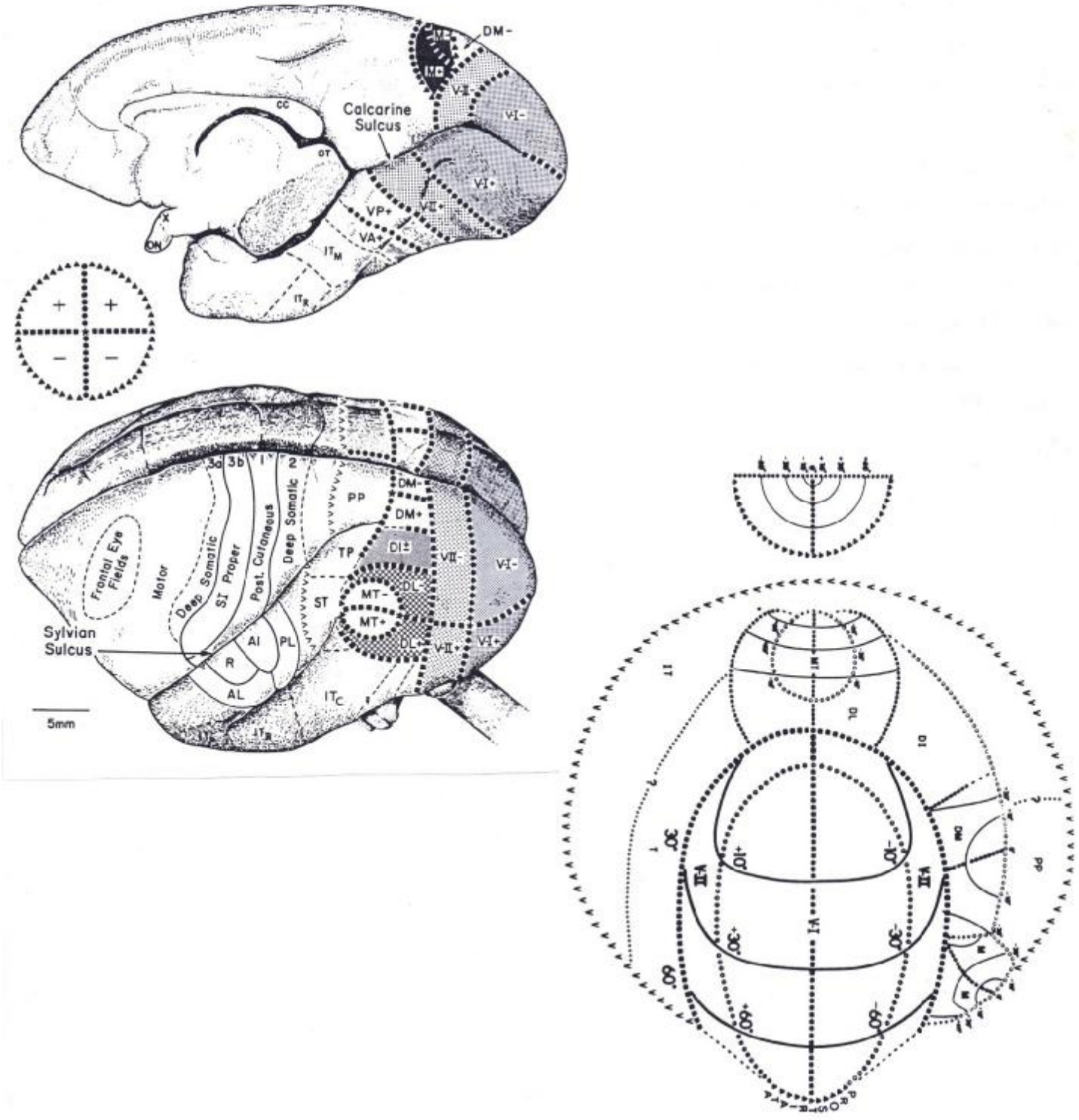
۳- **David Marr**

۴- **Mechanistic level**

۵- **Algorithmic level**

۶- **Computational level**

پردازشی آنها را با هم مقایسه کرد و قانونمندی‌های مشترکی را در بینشان کشف کرد. همین تقسیم‌بندی، و ادعای استقلال تحلیل سطوح از هم، مجوز اصلی روش تحقیقی است که مقایسه‌ی بینایی موجودات زنده و روبات‌ها را به عنوان رویکردی مطلوب برای درک معمای بینایی برمی‌گزینند.



شکل-۱۲: نقشه‌ی کارکردی قشر مخ میمون بر مبنای پردازش اطلاعات بینایی در بالا، و همان نقشه با راهنمای بازنمایی میدان دید در زیر. دایره‌های توپر نشانگر محور افقی و مربعهای توپر نماد محور عمودی هستند.

این نگاه سیستمی به پدیده‌ی بینایی، امروزه به عنوان یک روش‌شناسی موفق و مطرح در زیست‌شناسی و علوم وابسته کاربرد دارد (**Raymond et al.- 1991**)[۲۶۶]. در این رویکرد، پرسشهایی که باید توسط سیستم حل شوند بیشترین اهمیت را دارند و نحوه‌ی حل این مسائل -بدون توجه به ساختار فیزیکی حامل راه‌حل- مرکز توجه پژوهشگر است. ریچارد داوکینز، در یکی از نوشته‌هایش به چگونگی تکوین این نگرش در جهان علم پرداخته است (**Dawkins.- 1986**)[۸۸]. مثال مشهور او، به زمان جنگ جهانی دوم بر می‌گردد. زمانی که دو گروه از دانشمندان، ناچار شدند تا سیستم‌های فیزیکی متفاوتی را که مسائل یکسانی را حل می‌کردند، مورد بررسی قرار دهند. از یکسو زیست‌شناسان به درک چگونگی عمل سیستم راداری خفاش علاقمند بودند، و از سوی دیگر مهندسان نظامی به دنبال راهی می‌گشتند که کارکرد رادارهای خود را بهینه کنند. مسئله‌ی مشترکی که در پیش روی هر دو گروه قرار داشت، این بود که دقت بالا در ردیابی هدف، همراه بود با طول موج کوتاه و شدت صوت بالا، که قاعدتاً می‌بایست گیرنده‌های حساس گیرنده‌ی انعکاس را از کار بیندازد. راه حل مشترکی که به صورت همزمان توسط مهندسان و زیست‌شناسان پیشنهاد شد، استفاده از گسیل‌های متناوب امواج رهگیر بود. گسیلهایی که در زمان عدم فعالیت -در واقع خاموش بودن- گیرنده‌ها انجام می‌شد، و پس از قطع شدنشان گیرنده‌ها شروع به فعالیت می‌کردند تا بازتابهای بی‌خطر و کم انرژی این امواج رهگیر را دریافت کنند. در تحلیل سیستم‌های پردازنده‌ی اطلاعات بینایی هم چنین رویکردی مورد نظر است. رویکردی که راه حلهای ممکن برای پرسشهایی عام را در انواع سیستم‌های حل مسئله‌ی گوناگون به دست دهد.

نکته‌ی مهمی که در این میان وجود دارد، این است که اطلاعات ورودی به سیستم پردازنده‌ی بینایی، کمتر از آن است که بازسازی پدیده‌های جهان خارج را نتیجه دهد. به عبارت دیگر، مقدار اطلاعاتی که از راه شبکیه وارد سیستم پردازنده‌ی مغز ما می‌شود، آنقدر کم است که به سادگی می‌تواند منجر به اشتباه شود. یک کره را در نظر بگیرید که ساختاری پر خلل و فرج و بافتی ناهموار دارد و در فاصله‌ی دوری با سرعت زیادی در اطراف محور مرکزیش گردش می‌کند. حالاکره‌ی دیگری را فرض کنید که بافتی صاف و همگن دارد و بدون تحرک در همان فاصله قرار دارد. بالاخره به فیلمی دوبعدی از یک کره‌ی مشابه فکر کنید که با شرایطی مشابه نمایش داده می‌شود. در همه‌ی این موارد، تصاویر ارسالی به مغز به نتیجه‌گیری‌های مشابهی می‌انجامد. در هر سه مورد، ما کره‌ای صاف را در روبروی خود می‌بینیم. بی‌توجه به اینکه صافی یکی ناشی از سرعت زیاد گردش، وکروی بودن دیگری به دلیل واقع‌نمایی فیلمی است که در اصل بر روی یک صفحه‌ی دوبعدی نمایش داده می‌شود.

در ضمیمه‌ی دوم همین رساله، اطلاعات مختصری در مورد محتوای اطلاعاتی سیستم‌های حسی جانوران ارائه شده است که می‌تواند مؤید این ادعای ما باشد.

با توجه به این حجم اطلاعات ورودی اندک، ترجمه‌ی داده‌های بینایی کار ساده‌ای نیست. مغز ناچار است تا با در در گرفتن پیش‌فرض‌هایی ثابت، این اطلاعات را ترجمه و تحلیل کند و بازنمایی مفیدی از جهان خارج را به دست دهد.

نمونه‌های زیادی از این پیش‌فرض‌ها در دانش عصب‌شناسی شناخته شده‌اند. بخش مهمی از این گزاره‌های اولیه در ماه‌های نخست تولد و به هنگام نخستین رویارویی‌های نوزاد با جهان خارج شکل می‌گیرند، و بخش دیگری ریشه‌ی ژنتیکی و پیش‌تنیده شده در دستگاه عصبی را دارند. مثلاً پدیده‌ی مهارجانبی[۱] که در شبکیه رخ می‌دهد و منجر به تشکیل لبه در مرز اجسام مختلف می‌شود، نمونه‌ای از پیش‌فرض‌های دستگاه عصبی است. از موارد اکتسابی

۱- **lateral inhibition**

مورد نظر، می‌توان پیش‌فرض سخت و جامد بودن جسم متحرک را ذکر کرد که در پنج ماهگی پس از تولد شکل می‌گیرد، درک سه‌بعدی ناشی از دید دو چشمی هم مثال دیگری است که در دو تا سه ماهگی پدید می‌آید (Held et al.- 1987)[۱۵۳].

در هریک از این موارد، مغز می‌آموزد -یا از پیش می‌داند- که اطلاعات خاصی را که به شکل خاصی مرتب شده‌اند، به صورت چه مفهومی ترجمه کند. این پیش‌فرض که مجموعه نقاط متحرک همسایه به شکلی جامد و یکتا مربوطند، یک پیش‌فرض است. همچنین این که مهار جانبی و لبه‌ی ناشی از آن اشکال و اجسام مختلف را از هم جدا می‌کند هم به نوعی پیش‌فرض محسوب می‌شود.

در این رساله، برای ساده‌تر شدن بحث، روند نتیجه‌گیری اطلاعات از این حجم به نسبت اندک اطلاعات، به دو سطح ساده و پیچیده تقسیم شده است. این دو عنوان، مانند بسیاری از واژگان دیگر رایج در عصب‌شناسی، تنها به یک تمایل کارکردی تأکید دارد که عمل تحلیلی سیستم بینایی را تسهیل می‌کند. در واقع، عملکرد سیستم عصبی بر روی اطلاعات حسی ورودی، پدیده‌ای کل‌گرا و در هم تنیده است که به این سادگی نمی‌توان سطوح گوناگون آن را از هم جدا کرد. در هر صورت این نامگذاری برای ساده شدن صحبت در مورد شاخه‌های فرعی کارکردی شبکه‌ی بینایی، مفید است. آنچه که می‌تواند به عنوان وجوه تمایز این دو سطح از یکدیگر مطرح شود، عبارت است از:

نخست: *موازی بودن پردازش ساده*. که به معنای پردازش همزمان اطلاعات بنیادی مربوط به اشکال در تمام شبکیه است. این در حالی است که پردازش اطلاعات سطح پیچیده همزمان در همه‌جای شبکیه انجام نمی‌شود و پنجره‌ی توجه خاصی تعیین کننده‌ی مکان بیشترین حد پردازش است. در سطح پیچیده پردازش به صورت سری و مرحله به مرحله انجام می‌شود و ما به زودی خواهیم دید که این نوع پردازش از نظر تکاملی جدیدتر است.

جنبه‌ی اختلاف دیگر بین این دو سطح، این است که در *سطح ساده اطلاعات بینایی مستقل ازکارکردهای عالی بینایی* -مثل بازشناسی و بازخوانی حافظه و تحلیل ریخت،- *تحلیل می‌شوند* و توسط اعمال سطح پیچیده مختل نمی‌شوند. یعنی مثلاً هنگامی که به یک منظره نگاه می‌کنیم و می‌کوشیم تا چهره‌ی کسی را در زمینه‌اش تشخیص دهیم، لبه‌ها و سطوح زمینه محو نمی‌شوند و همچنان پردازش می‌شوند.

وجه افتراق دیگر، سرعت *بالاتر* سیستم ساده، و *پایینتر بودن مکان آن در سلسله مراتب پردازشی مغز* است.

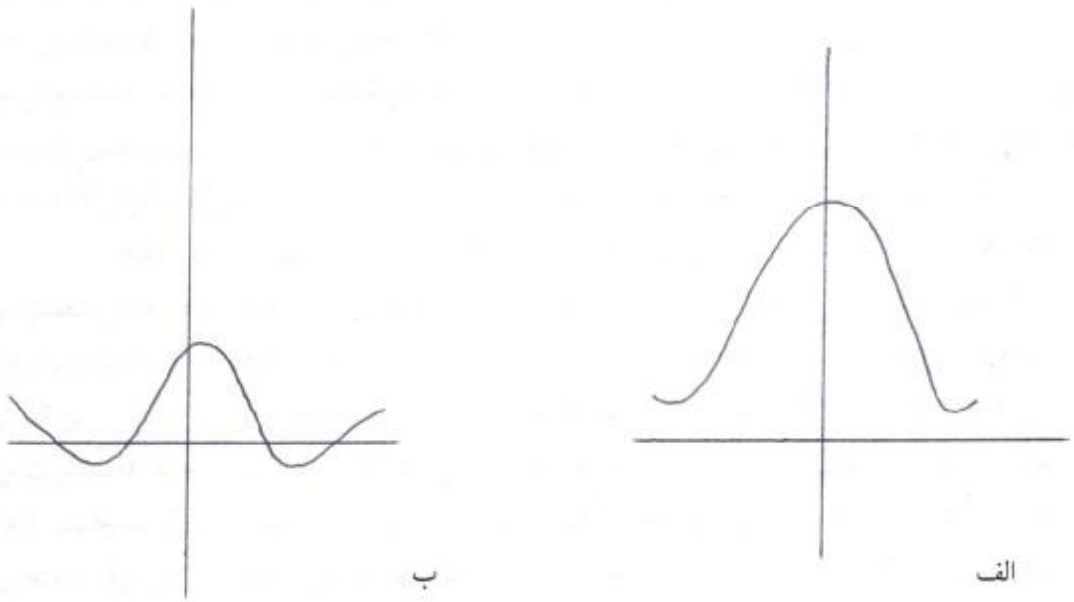
آشکار است که پردازش اطلاعات یک عمل فیزیولوژیک است و بنا به حجم کاری که انجام می‌دهد نیازمند زمان است. همانطورکه از نامش پیداست، پردازش ساده با حجم اطلاعاتی کمتری سر وکار دارد وکارهای ساده‌تری را هم انجام می‌دهد، بنابراین منطقی است که زمان کمتری را درکارکردهای مربوط به این سطح پیدا کنیم. پایینتر بودن جایگاه پردازش ساده در سلسله مراتب نرم‌افزاری مغز هم بیان دیگری از همین حقیقت بدیهی است.

در بخش بعد، هریک از این دو سطح پردازشی به تفصیل مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۴- ۵) پردازش سطح پایین در سیستم بینایی:

در این بخش، به صورت گذرا برخی از مهمترین نمودهای پردازش ساده را در سیستم بینایی انسان مورد بررسی قرار خواهم داد. در مواردی که لازم باشد به بحث در مورد مدل‌های حیوانی هم برخواهم گشت و صورتبندی‌ها و فرمولهای موجود در هر زمینه را هم ذکر خواهم کرد. هدف از این بخش، درک بهترمعنای پردازش سطح پایین در مغز است. همچنین درک رفتار برنامه‌ای مغز، و اینکه رفتارهای پردازشی سیستم عصبی به زبان ریاضی و الگوریتمی قابلیت بیان دارند، هدف دیگر این بحث خواهد بود. در نهایت شواهد موجود برای سازماندهی به آزمونهای انجام شده توسط نگارنده به کار خواهند رفت.

ساده‌ترین عمل پردازشی که در سیستم بینایی انجام می‌شود و به صورت خودآگاه ادراک می‌شود، درک لبه‌ی اطراف اجسام است. تشخیص لبه، عملی است که به سادگی با معادلات ریاضی قابل‌بیان است. اگر منحنی معادله‌ی مشتق اول تغییرات شدت نور بر شبکیه را نسبت به مکان گیرنده‌ها رسم کنیم، می‌بینیم که این منحنی یک منحنی گاوسیِ دارای یک قله است. یعنی معادله‌ی مزبور یک **extermum** دارد (شکل - ۶.الف). اگر از همین معادله بار دیگر مشتق بگیریم، به منحنی دیگری می‌رسیم که به دلیل شکلش، کلاه مکزیکی نامیده می‌شود. این منحنی دارای دو نقطه‌ی صفر است که با محور افقی برخورد می‌کنند و تعبیر دیگری از همان قله‌ی گاوسی هستند (شکل - ۶.ب). این تغییرات پیوسته‌ی شدت نور در شبکیه را به زبان ریاضی می‌توان با تابعی مانند $\mathbf{G(x,\sigma)}$ نشان داد. در این تابع، $\mathbf{x}$ نماد مکان و σ تابع تغییر شدت نور است.



شکل-۱۳: منحنی گاوسی (الف)، و کلاه مکزیکی (ب).

صورتبندی ریاضی توابع گاوسی و لاپلاسی:

تابع گاوسی عبارت است:

$$G(x,y,\sigma)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}\exp\left(-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}\right)$$

و تابع لاپلاسی عبارت است از:

$$V=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}$$

که تابع لاپلاسی از تابع گاوسی می‌شود:

$$V^2G^*\ I(x,y)=\iint\nabla^2\ G\ (x-w,y,-z)\ I(w,z)\ dwdz$$

مغز، و شبکیه -که در واقع دنباله‌ای از مغز است- برای تشخیص لبه‌ها ناچارند نور ورودی را تصفیه کنند. این کار با استفاده از چند صافی نور انجام می‌گیرد که به طور عمده بر پیامهای عصبی حامل اطلاعات بینایی -و نه خود فوتون‌های ورودی- عمل می‌کنند. در اینجا عملی به نام صاف کردن[1] تعریف می‌شود، که عبارت است از تصفیه کردن اطلاعات ورودی، از نوفه[2]هایی که خواه ناخواه به سیستم وارد می‌شوند. این کار با دستکاری کردن متغیر σ در تابع $G(x,\sigma)$ انجام می‌شود. هرچه σ را در معادله یاد شده بیشتر فرض کنیم، عمل صاف کردن بیشتر انجام می‌گیرد و شدتهای نور دورتر با هم یکسان فرض می‌شوند. اگر σ خیلی زیاد فرض شود، لبه‌های حقیقی موجود در جهان خارج مبهم درک می‌شوند و مرز بین اشکال محو می‌شود. برعکس، اگر σ را خیلی کم فرض کنیم، کوچکترین اختلافاتی که به صورت نوفه در شدتهای نور وجود دارد، به صورت لبه و نقطه درک می‌شوند و درک تصاویر را مخدوش می‌کنند. برای σ مقدار بهینه‌ای وجود دارد که تا حدودی به صورت پیش‌تنیده در ساختارگیرنده‌ها و نورون‌های رابط شبکیه تعریف شده است، و تا حدودی هم بر اثر تجربه تصحیح می‌شود. در عمل تابع کلاه مکزیکی که ذکرش گذشت، همان مقدار بهینه‌ای را که برای تصفیه کردن نور ورودی و استخراج لبه از آن مورد نیاز است نشان می‌دهد.

در مورد مکانیسم تصمیم‌گیری در مورد این مقدار بهینه نظریات متفاوتی وجود دارد. در هوش مصنوعی و روباتیک از شیوه‌ای استفاده می‌شود که به ذکر کردنش می‌ارزد. در این قلمرو، به جای استفاده از یک σ منفرد، از مجموعه‌ای از متغیرها -مثل $\{\sigma_1,\sigma_2,\sigma_3,...\sigma_n\}$- استفاده می‌شود که هریک لبه‌ها را در سطحی از درخشش و تراکم نوفه به دست می‌دهند. بعد سیستم تصمیم‌گیرنده آن لبه‌ای را واقعی فرض می‌کند که دست کم در چند σ متفاوت وجود داشته باشد. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد مغز ما هم به همین ترتیب مقدار بهینه را برای تشخیص لبه پیدا می‌کند. تعیین این مقدر بهینه، به بیان ریاضی، عبارت است از گرفتن یک تابع گاوسی (همان مشتق اول یا منحنی قله‌دار)، و

۱- smoothing

۲- noise

بعد گرفتن یک تابع لاپلاسی از آن. این عمل اخیر، همان منحنی کلاه مکزیکی را به دست می‌دهد که اینقدر مورد اشاره قرار گرفت.

تشخیص لبه یکی از راهکارهای کلیدی و مهم دستگاه بینایی، برای غلبه بر فقر اطلاعات ورودی است. فراموش نکنیم که گسستگی قابل‌مشاهده در شدت تابش لبه‌های اجسام، نسبت به بسامد، شدت، و جهت نور ناوَرداست[۱]. یعنی در هر نوری -با هر رنگ و شدتی که باشد،- لبه‌های اجسام دارای گسستی از نظر شدت نور هستند. به بیان دیگر، در هر شرایطی که به اجسام نگاه شود، لبه‌های شاخص حد و مرزشان قابلیت تشخیص خود را حفظ می‌کنند. پس این مشاهده که درک لبه و تشخیص مرز بین اجسام از ابتدایی‌ترین توانایی‌های سیستم‌های بینایی پیچیده در نزد جانوران است، به سادگی توجیه می‌شود. درک مرز بین اجسام، آنقدر مفید و پایه‌ایست که هر سیستم تکاملی‌ای که به حد آستانه‌ی پیچیدگی دیدنن تصویر رسیده باشد، از آن برای بالا بردن شایستگی زیستی[۲] خود استفاده کرده است. به همین دلیل هم هست که در دامنه‌ای گسترده -از هشت‌پا و زنبور گرفته تا میمون- این پدیده را مشاهده می‌کنیم.
اطلاعات مربوط به حد و مرز اشیا با یکدیگر، چه از نظر پردازش و چه انتقال و حفظ، نسبت به اطلاعات مربوط به سطح و خود اشیا، حجم کمتری را می‌طلبد. یعنی با توجه به قحطی اطلاعاتی رایج در سیستم بینایی، جایگزین کردن مفهوم شیء با مفهوم حد و مرز شیء روشی اقتصادی‌تر به نظر می‌رسد. و همین روش هم در نهایت از نظر تکاملی برنده بوده و در گستره‌ی وسیع یاد شده رواج یافته است.

ادراک شکل از روی لبه‌ها، و وجود سیستم پردازنده‌ای که استنتاجات لازم را از روی اطلاعات اندک ورودی انجام دهد، این امکان را هم فراهم می‌آورد که شکل از شواهد دیگری جز لبه‌ی مشخص استخراج شود.
برای نخستین بار، روانشناسان مکتب گشتالت بودند که دریافتند دستگاه بینایی انسان توانایی تشخیص شکل یک جسم را، تنها با بررسی سایه‌اش دارد. یعنی اگر سایه‌ی یک جسم متحرک -در بهترین حالت دارای حرکت چرخشی- را به آزمودنی نشان دهیم، او خواهد توانست شکل جسم متحرک اصلی را به درستی تشخیص دهد (**Wallach & O'Connell.- 1953**)[۳۱۷]. این آزمون بعدها با تصاویر رایانه‌ای تکرار شد و نشان داده شد که نمایش دادن رئوس شکل متحرک برای تشخیص شکل آن کافی است (**Ullman et al.- 1990**)[۳۳۵].
همچنین نشان داده شد که با نمایش نقاطی که در حول یک محور مرکزی فضایی فرضی، بر نمایشگر رایانه‌ای بچرخند، به عنوان نقاط متصل به استوانه‌ای متحرک درک می‌شوند. اگر همین آزمون را با دو دسته از نقاط که در جهاتی بر خلاف یکدیگر حرکت می‌کنند تکرار کنیم، درک دو استوانه‌ی تو در تو که در خلاف جهت هم می‌گردند گزارش خواهد شد.

پس از شکل، که گفتیم عمدتاً از مجرای لبه‌ها درک می‌شود، بافت مهمترین خاصیت ادراک شده در سطح ساده است. تفاوت مهمی که در بین دو عمل تشخیص لبه و تشخیص بافت وجود دارد این است که در تشخیص بافت، -بر خلاف لبه،- تفاوت مهمی در شدت نور دو بافت گوناگون وجود ندارد. در مقابل عناصر تکراری خاصی که زمینه‌ی داخلی یک حد و مرز مشخص را پر می‌کنند، نوع خاصی از حد و مرز را پدید می‌آورند که همان لبه‌ی بافت خوانده می‌شود. دقت داشته باشید که تغییر ماهیت جسم -یعنی وجود لبه- معمولاً با تغییر بافت همراه است اما برعکس آن درست نیست. یعنی تغییر بافت در یک جسم هم می‌تواند وجود داشته باشد و در این حالت هم پدیده‌ای عادی

---

۱ -ناوردایی مفهومی ریاضی است و به معنای تغییرناپذیر بودن نسبت به تبدیلی خاص است. می‌توان به جای آن واژه‌ی کلی‌تر تقارن را به کار برد.

۲ -**evolutionary fitness**

محسوب می‌شود.
معمولاً یک بافت خاص را با توصیف کننده‌های[۱] ویژه‌اش می‌شناسند که اگر بیشتر از آستانه‌ی خاصی تغییر کند، به صورت دو بافت متمایز درک می‌شود.

در زمینه‌ی مکانیسم تشخیص بافت در مغز، مشهورترین محقق کنونی بِلا جولز است که چندین مقاله‌ی بسیار خواندنی در این مورد دارد. بنابر نظر او، درک بافت از دو راه متمایز و مجزا صورت می‌گیرد. نخست راه ناخودآگاهانه[۲]، که به همان پردازش سطح پایین یا ساده‌ی بینایی مربوط می‌شود. و دیگری راه خودآگاه[۳] که با پردازش پیچیده‌ی بینایی پیوند دارد (**Julez.- 1981**)[۱۷۷].

بنابر نظر جولز، توصیف کننده‌های یک بافت مشخص دارای دو ویژگی مهم هستند. نخست آنکه از طریقی آماری تشخیص داده می‌شوند و تحلیل خطی و تک به تک در مورد عناصرشان انجام نمی‌گرد. و دوم این که از واحدهایی ریختی به نام بافه[۴] تشکیل شده‌اند. این نظریه‌ی جولز توسط یافته‌های تجربی چندی پشتیبانی می‌شود. مثلاً نشان داده شده که به ازای هر بافت طبیعی، بافه‌هایی را می‌توان فرض کرد. در واقع عملکرد اصلی سیستم بینایی برای درک نوع بافت یک جسم، استخراج بافه‌ها و تعمیم دادنشان به کل جسم است.

صفت مهم دیگری که باید در هر شکلی تشخیص داده شود، مکان فضایی جسم، یا به عبارت دیگر درک عمق تصویر است. یکی از مهمترین عناصر تعیین کننده‌ی عمق در میدان بینایی، دوچشمی دیدن مناظر است. با توجه به اختلاف منظری که بین تصاویر مخابره شده به چشم راست و چپ وجود دارد، می‌توان فواصل اجزای گوناگون یک جسم، و یا اشیای مختلف موجود در یک زمینه را به خوبی تشخیص داد.

جولز علاوه بر درک بافت، در مورد تشخیص عمق هم کارهایی انجام داده است. تکنیک ابداعی او برای سنجش عمق دید، با نام *تصاویر نقاط تصادفی*[۵] (**RDS**) مشهور است. این روش بر پایه‌ای بسیار ساده بنا نهاده شده است. می‌دانیم که در هر میدان بینایی -که به دو چشم وابسته باشد،- حد مشخصی از اختلاف تصویر وجود دارد که می‌تواند بدون حرکت کردن چشم برهم منطبق شود و مربوط به شیء یگانه‌ای فرض شود. بخش متفاوت تصویر که در این محدوده بگنجد، با نام *ناحیه‌ی پانوم*[۶] مشهور است. شیوه‌ی تصاویر نقاط تصادفی، عبارت است از ارائه‌ی دو تصویر که از مجموعه‌ی نقاطی تشکیل شده‌اند که به صورت کاتوره‌ای[۷] بر صفحه‌ای قرار داده شده‌اند. این دو تصویر که به دو چشم آزمودنی نشان داده می‌شوند، با هم تفاوت اندکی دارند. به این معنا که بخشی از یکی از آنها، در دیگری کمی جابجا شده است. اما این جابجایی در حدی است که از ناحیه‌ی پانوم خارج نشود. به این ترتیب در دو تصویر کاملاً بی‌معنا به فرد ارائه می‌شود که می‌تواند حسی از عمق را در وی ایجاد کند. چراکه عامل مهم اختلاف منظر در آن وجود دارد. جولز به کمک این شیوه‌ی ابتکاری آزمایشات جالبی را طراحی کرده است (**Julez.- 1971**)[۱۷۹] و امروز این شیوه را به عنوان یکی از راه‌های پایه‌ی بررسی عمق مورد اشاره قرار می‌دهند.

پردازش مهم دیگری که به عنوان یکی از پدیده‌های سطح پایین دسته‌بندی می‌شود، پیوسته تجربه کردن دنیاست.

۱- **descriptors**

۲- **preattentive**

۳- **attentive**

۴- **texton**: این واژه در زبان فارسی برابرنهادی ندارد و بنابراین با توجه به ریشه‌ی لاتین (پسوند تک بودن =**on** و بافت =**text**)، "بافه" را در مقابلش پیشنهاد می‌کنم.

۵- **Random Dot Stereogram**

۶- **Panum area**

۷- **random**

دیدن یک فیلم سینمایی، تجربه‌ای آشناست. اما این که چطور مغز ما از توالی بیست و چهار تصویر گسسته‌ای که در یک ثانیه بر شبکیه‌مان می‌افتد، حرکتی طبیعی و پیوسته را برداشت می‌کند، هنوز یک معما محسوب می‌شود. آزمونهای فراوانی برای حل این معما انجام گرفته است که در اینجا به نتایج برآمده از برخی از آنها اشاره خواهیم داشت. در یکی از این آزمونها، دو صحنه‌ی پیاپی از مجموعه نقاطی پراکنده بر صفحه‌ای به آزمودنی نشان داده می‌شد. نکته در این بود که در تصویر دوم، بخشی از تصویر اول و نقاط موجود در آن، با حفظ ارتباط درونیشان، به یک طرف حرکت کرده بودند. وظیفه‌ی آزمودنی این بود که به این دو صحنه‌ی پشت سر هم نگاه کند و وجود حرکتی در محور افقی یا عمودی را گزارش دهد. نتایج تجربی نشان داد که مغز انسان تنها موقعی دو توالی از نقاط تصادفی تغییر مکان یافته را به عنوان حرکتی در یک جسم فرض می‌کند که اختلاف مکانی بین آنها اندک (کمتر از پانزده دقیقه انحراف زاویه)، و فاصله‌ی زمانی ارائه شدنشان به شبکیه هم کم باشد (حدود یک دهم ثانیه) (Braddik et al.- 1973, 1974)[۳۳۵].

در آزمونی دیگر، در تصویر نخست یک خط به آزمودنی نشان داده شد و در تصویر بعدی دو خط مشابه دیگر نمایش داده شد که با فواصل متفاوت نسبت به موقعیت خط اولی در صفحه قرار گرفت بودند. نتایج آزمایش دوم نشان داد که مغز در این حالت اخیر تفاوت فاصله‌هایی بسیار بیشتر (در حد چند درجه) را به عنوان دامنه‌ی حرکت ترجمه می‌کند و اختلاف زمانی بیشتری (تا حدود ۳۰۰ هزارم ثانیه) را هم تحمل می‌کند (Braddik et al.- 1973, 1974)[۳۳۵]. به این ترتیب نشان داده شد که درک حرکتِ کم دامنه مکانیسمی متفاوت با حرکت پردامنه دارد و احتمالاً مسیرهای پردازشی متفاوتی را در بر می‌گیرد.

تحلیل ریاضی این پردازش عصبی، چند سال پس از این تجربیات اولیه، توسط دانشمندی به نام اولمَن پیشنهاد شد (Ullman et al.- 1990)[۳۳۵]. بر اساس این مدل پردازشی، مغز برای ترجمه‌ی محرکهایی که به شبکیه وارد می‌شود، راهی موسوم به ترسیم کمینه[۱] را در پیش می‌گیرد. به عبارت دیگر، دو تصویر بر شبکیه می‌افتند که اولی از مجموعه‌ای از N نقطه تشکیل یافته است که هریک جای مشخصی دارند. یعنی هریک در X_i خاصی قرار دارند که $i= \{۱،۲،۳...n\}$ نماد مکان نقطه بر صفحه است. تصویر دوم هم خواصی شبیه به همان تصویر اولیه را دارد، با این تفاوت که M نقطه با مختصات Y_j را در بر می‌گیرد که $j= \{۱،۲،۳...m\}$ مختصات آن بر صفحه است. تبدیل تصویر نخست به دوم را می‌توان با ماتریسی مانند V_{ij} نمایش داد که از مجموعه‌ای از صفر و یک‌ها تشکیل یافته است. در هر موقعیت فضایی بر ماتریس مورد نظر، انطباق X_i بر Y_j را با عدد یک و عدم انطباقشان را با عدد صفر نمایش می‌دهند. به ازای ماتریس مورد بحث، می‌توان تابعی تعریف کرد که مقدار انرژی صرف شده بابت مقایسه‌ی این دو تصویر را نشان دهد. در این حالت، این تابع عبارت خواهد بود از:

$$E(V_{ij}) = \sum_{i=j=1}^{i=n,\ j=M} V_{ij}\, d_{ij}$$

که در آن d_{ij} عبارت است از فاصله‌ی بین نقطه‌ی X_i و Y_j. یعنی: $d_{ij} = X_i - Y_j$

در این مدل قاعده‌ای وجود دارد به نام اصل پوشش[۲] که وجود دست کم یک ۱ را در هر ستون از ماتریس تعریف می‌کند. به عبارت دیگر در هر ترتیب (آرایه) از نقاط در هر جهت فضایی، دست‌کم یک مورد انطباق بین تصویر اول و

۱- minimal mapping

۲- cover principle

دوم باید وجود داشته باشد وگرنه دو تصویر به صورت یک شکل محرک درک نمی‌شوند.

مدل ترسیم کمینه با وجود کاربرد برجسته و انطباق چشمگیری که با شواهد تجربی دارد، برخی از پدیده‌های موجود در سیستم بینایی را توجیه نمی‌کند. یکی از این موارد، پدیده‌ی تسخیر حرکتی[۱] است که عبارت است از محو شدن برخی از نقاط ساکن موجود در زمینه‌ی بینایی، پس از افتادن تصویر جسمی متحرک بر رویشان (Ramachandran et al.- 1985)[۲۶۴]. مورد دیگری که در این مدل توجیه نمی‌شود، پدیده‌ی مانْد حرکتی[۲] است. این پدیده عبارت است از این که مغز تمایل دارد تا جسم متحرکی را که با سرعت ثابت حرکت می‌کند، در مقاطع زمانی بعدی هم با همان سرعت فرض کند. این پیش فرض، در واقع بیانی عصب‌شناختی از قانون دوم نیوتون است[۳]، اما با مدل ترسیم کمینه در تعارض است.

مورد دیگری که نیاز به توضیح بیشتر دارد، مکانیسم درک حرکت خطوط خمیده درمیدان بینایی است. در کل، تشخیص اشیای متحرک دارای حد و مرز خمیده دشوارتر از اشکال دارای خطوط راست است. پیچیده بودن درک حرکت در حالت نخست، گاه به بروز خطاهای بینایی چندی هم می‌انجامد که نمونه‌ی مشهور آن خطای مغازه‌ی سلمانی[۴] است. در این پدیده، خطوط خمیده‌ای که به صورت مورب بر یک استوانه‌ی چرخنده رسم شده باشند، طوری به نظر می‌آیند که گویا از پایین به بالا -یا بالا به پایین بر حسب جهت شیب خطوط- در حال حرکتند.

پدیده‌های موجود در مورد حرکت خطوط خمیده به قدری در مدل‌های کلاسیک قدیمی ایجاد مشکل کردند که به زودی دستگاه‌های پیچیده‌تری برای تحلیل چگونگی پردازش اطلاعات وابسته به آنها ابداع شد (Hildreth et al.- 1984)[۱۶۰]. یکی از این مدل‌ها که امروزه به عنوان مدل ریاضی کلاسیک برای پردازش حرکت خطوط خمیده به کار می‌رود، در واقع بسطی از همان معادله‌ی ترسیم کمینه است. بر اساس این نظریه، معادله‌ای که ترسیم کمینه در مورد اشیای خمیده را بیان می‌کند، عبارت است از:

$$E(V_{(s)}) = \int V_{(s)}.n_{(s)} - U_{(s)}{}^2 ds + \lambda \int \frac{\partial V_{(s)}}{\partial s} - \frac{\partial V_{(s)}}{\partial s} ds$$

که در آن $V_{(s)}$ نماد سرعت زمینه، λ متغیرِ نشانگر کنترل حرکت (هم‌ارز شاخص **smoothing** در تشخیص لبه)، $n_{(s)}$ علامت منحنی هنجار[۵] حرکت، $U_{(s)}$ شاخص سرعت هنجار مشاهده شده در منحنی، و $E(V_{(s)})$ معرف انرژی به کار رفته برای پردازش حرکت در سیستم است. در تمام این موارد هم نمایه‌ی **S** نشانگر طول کمانی است که به صورت خط خمیده در میدان دید حرکت می‌کند. رفتار دستگاه پردازنده‌ی عالی مغز به شکلی است که گویا می‌کوشد تا این مقدار انرژی را کمینه کند، و از همین رو به مدل ترسیم کمینه نزدیک می‌شود. این کمینه کردن انرژی از چند راه می‌تواند انجام شود، اما راه کلاسیک برای انجام آن این است که مقدار پایه‌ی تصادفی‌ای به $V_{(s)}$ بدهیم و بعد با در نظر گرفتن معادله‌ی زیر آن را آنقدر تغییر دهیم تا به بهینه‌ی محلی[۶] مقدار خود برسد.

$$\frac{dV_{(s)}}{dt} = -\frac{\partial E}{\partial V_{(s)}}$$

معادله‌ی صفحه‌ی قبل به این برابری قابل‌تحویل است:

$$\frac{dV_{(s)}}{dt} = -2n(s)\ (V_{(s)}.\ n_{(s)} - V_{(s)} + 2\lambda \frac{\partial^2 V_{(s)}}{\partial s^2})$$

۱- motion capture phenomenon

۲- motion inertia phenomenon

۳- هر جسمی در غیاب نیروی خارجی، اگر ساکن باشد حالت سکون خود را حفظ می‌کند و اگر در حال حرکت با سرعت ثابت باشد حرکت خود را با همان سرعت ادامه می‌دهد.

۴- barberpole illusion

۵- normal

۶- local optimum

این مدل در سیستم‌های هوش مصنوعی و بینایی روباتیک بسیار مورد علاقه است و در قلمرو عصب‌شناسی هم به این دلیل که برخی از خطاهای دید مانند مورد مغازه‌ی سلمانی را توجیه می‌کند طرف توجه است. این مدل همچنین پدیده‌های دیگری مانند مورد بیضی متحرک را هم به خوبی پاسخگوست. در این مورد اخیر، این تجربه وجود دارد که یک بیضی متحرک در دو بعد، معمولاً به صورت دایره‌ای متحرک در سه بعد در مغز ترجمه می‌شود.

در مورد مکانیسم تشخیص شکل متحرک هم کارهای جالب توجه فراوانی انجام شده است.

اولمن نشان داده که برای بازسازی شکل یک جسم متحرک، پیش‌فرض سخت بودن و ثابت بودن شکل جسم شرط لازم و کافی برای درک ریخت است (**Ullman et al.- 1990**)[۳۳۵].

این پیش فرض نظری، در نهایت به این نتیجه رهنمون شد که مغز با جذب تدریجی اطلاعات از راه چشم، ابتدا تلاش می‌کند تا اشکال را در دو بعد معنا کند و تنها پس از گذر این اطلاعات از آستانه‌ی خاصی، آنها را به صورت اشیای سه بعدی بازنمایی می‌کند. اولمن بر اساس این شواهد و فرضیات، مدلی ساخت که توسط آن با کمینه کردن شاخصی که نماد سیالیت جسم متحرک است، می‌توان ریخت آن را از داده‌های ورودی استخراج کرد. معادله‌ای که اولمن برای بیان مدلش ایجاد کرد، عبارت بود از:

$$M(Z_i\ (t+\delta t)) = \sum_{i,j=1}^{i,j=N} (d_{ij}\ (t+\delta t) - d_{ij}\ (t))^2$$

در مورد اشکال دارای تقارن مفهومی[۱] شواهدی وجود دارد که نقش خلاق و آفرینشگر سیستم پردازش سطح پایین را در پیدایش تصاویر درک شده به خوبی نشان می‌دهد. یکی از این اشکال، دو مجموعه از نقاط دوار است که توهم وجود استوانه‌ای چرخان -در دو جهت بالا و پایین- را در ذهن متبادر می‌کند. معمولاً افراد در مقابل چنین محرکی یکی از دو نوع چرخش را می‌بینند و اگر زمان کافی باشد در بین دو نوع درک ممکن نوسان می‌کنند. دانشمندی به نام آندرسون[۲]، از **Cal-Tech** در جریان آزمونهایی که بر میمونها انجام داد، توانست با تکنیک **PET** نشان دهد که به هنگام مشاهده‌ی چنین محرکهایی، نورون‌های ناحیه‌ی **MT** (مستقل از جهت درک شده‌ی چرخش) روشن می‌شوند. این میمون‌ها یاد گرفته بودند با حرکت چشمشان نشان دهند که چرخش را در کدام جهت می‌بینند.

در آزمون دیگری، به هر شبکیه‌ی میمون محرک مجزایی داده شد، به طوری که یکی از آنها چرخش به بالا و دیگری چرخش به پایین را در ذهن تداعی کند. نتیجه آن بود که در زمانهای بالاتر از آستانه، تنها یکی از این دو محرک توسط میمون درک می‌شد و برای پاسخ دادن مورد استفاده قرار می‌گرفت. اگر زمان از حد خاصی بیشتر می‌شد، آگاهی میمون در مورد این دو محرک نوسان می‌کرد و هردو را به تناوب درک می‌کرد.

جالبتر از همه این که در یک آزمون مشابه با استوانه‌ی دوپهلوی چرخنده، نورون‌هایی در **MT** یافت شدند که در صورت بالارو درک شدن چرخش، روشن می‌شدند. شواهد بعدی نشان داد که تحریک این نورون‌ها، می‌تواند منجر به بالارو دیدن اشکال توسط میمون شود. یعنی نورون‌های این بخش نه تنها به طور منفعل با تغذیه از اطلاعات ورودی ادراک ویژگیهای حرکت را تأمین می‌کنند، که به طور فعال هم توانایی القای این ادراک را دارند.

لازم به ذکر است که توهم موسوم به اثر آبشار هم با روشن شدن نورون‌های این بخش از مغز همراه است (**Barinaga.- 1997**)[۴۳].

۱- **bistable percept**

۲- **Anderson**

اثر آبشار عبارت است از این توهم: اگر پس از مشاهده‌ی یک جسم متحرک دارای سرعت ثابت و حرکت مداوم (مثل آبشار)، به جسم ساکنی (مثل یک سنگ) نگاه کنیم، جسم ساکن دوم را دارای حرکتی در جهت عکس محرک اول خواهیم دید. این اثر در سال ۱۸۳۴ میلادی توسط دانشمندی به نام آدامز[۱] کشف شد و بعدها به کمک تصاویر **MRI** نشان داده شد که سرچشمه‌ی آن نورون‌های حساس به حرکت موجود در ناحیه‌ی V_5 هستند. این نورون‌ها در حالت عادی به حرکت حساسند و اگر ناگهان محرک ورودیشان قطع شود، اثری مهاری را در شبکه اعمال می‌کنند که نتیجه‌اش ادراک خودآگاه حرکتی در خلاف جهت است (**Horgan.- 1995**)[۱۶۶].

یکی دیگر از تدابیری که مغز برای بازآفرینی دقیق حرکت در جهان خارج به کار می‌برد، استفاده از بازخورد عضلات حرکت دهنده‌ی سیستم گیرنده‌ی نور است. چشم که باید وظیفه‌ی ثبت و درک حرکت در اشیا را انجام دهد، خود (برای بیشینه کردن حجم اطلاعات ورودی) اندامی متحرک است و بر سر قرار گرفته که خود تحرک زیادی دارد. بنابراین باید مکانیسمی وجود داشته باشد تا حرکات کره‌ی چشم را پالایش کند و آنها را به جای حرکت در محیط پردازش نکند. چنین مکانیسمس در مغز وجود دارد. در برجستگیهای چهارگانه‌ی بالایی، سیستمی با سه سطح بازنمایی از میدان بینایی وجود دارد که حرکات کره‌ی چشم را تنظیم می‌کند، و پیامهای صادر شده از این سیستم برای حرکت کره‌ی چشم به عنوان بازخوردی برای سیستم پردازنده‌ی حرکت در قشر پس‌سری محسوب می‌شود. همچنین پیامهایی هم که به عضلات گردن می‌روند، بازخوردی مهم را در مغز ایجاد می‌کنند و باعث می‌شوند اجسام ساکن، حتی هنگامی که سرمان را تکان می‌دهیم، ساکن به نظر برسند. این بازخوردها از انقباض عضلات سرچشمه نمی‌گیرد، بلکه ناشی از پیام عصبی کنترل کننده‌ی انقباضشان است. به عنوان مثال، اگر کره‌ی چشم را به طور منفعل با کنار انگشت تکان دهیم، اشیای محیط به نظرمان متحرک می‌رسند. چون بازخورد تصفیه کننده در این مورد وجود ندارد. همچنین اگر عضلات گردن را فلج کنیم، و بعد اراده کنیم تا سرمان را حرکت دهیم، با وجود منقبض نشدن عضلات گردن، بازخورد مورد نظر به مغز وارد می‌شود. به همین دلیل هم در این شرایط اجسام در محیط به نظرمان حرکتی عکس آنچه را که اراده کرده‌ایم انجام می‌دهند (**Delbruck.- 1986**)[۹۰].

یک نمونه دیگر از فعالیتهای سازشی مغز برای پالایش داده‌های شبکیه، به اجسام متحرک نسبت به چشم مربوط می‌شود. هنگامی که جسمی به چشم نزدیک می‌شود، تصویرش بر شبکیه بزرگ می‌شود، اما با این وجود ما اندازه‌ی آن را ثابت درک می‌کنیم. در اینجا هم بازخوردی از زاویه‌ی بین دو چشم (اختلاف منظر) و تحدب عدسی به مغز می‌رسد و اطلاعات مربوط به تفاوت ابعاد جسم نزدیک یا دور شونده را تصفیه می‌کند (**Delbruck.- 1986**)[۹۰].
به این ترتیب تغییرات اندازه و مکان تصاویر افتاده بر شبکیه که به یک جسم خارجی یکتا تعلق داشته باشند، به کمک راهکارهای پالاینده نادیده انگاشته می‌شوند.

بیان ریاضی همین حرفها این می‌شود که مجموعه‌ای از تبدیلات وجود دارند که با گروه‌های تبدیلی ناوردای مشابهی به هم تبدیل می‌شوند و در ذهن به صورت پدیده‌های یکتا با اندازه و شکل ثابت ترجمه و تفسیر می‌شوند. مثلاً نزدیک و دور شدن اشیا به چشم تغییری در اندازه‌ی درک شده‌شان ایجاد نمی‌کند. مثال دیگر چرخش اشیا در فضاست که تغییری در شکل درک شده‌شان ایجاد نمی‌کند[۲]. در نهایت مجموعه‌ی این تبدیلات پیوسته، از معادلات

۱- **Adams**

۲- در این مورد یک استثنا وجود دارد و آن هم تصویر چهره‌ی آدم است که اگر برعکس دیده شود، شکلش دگرگون شده تفسیر می‌شود.

جبری خاصی پیروی می‌کنند که با نام جبر لی[۱] مشهور است. به نظر می‌رسد که عناصر محاسباتی این جبر ویژه‌ی تأمین کننده‌ی ناوردایی، در سیستم عصبی ما به صورت پیش‌تنیده وجود داشته باشد (Hoffman.- 1070, Dodwell.- 1983)[۱۷۸].

این پایستاری بازنمایی اشکال متحرک را می‌توان در پدیده‌های ساده‌ی دیگری نیز نشان داد (Von Schelling.- 1956)[۱۷۸]. اگر دست خود را در برابر چهره‌مان نگهداریم و سرمان را به اطراف حرکت دهیم، با وجود تغییر کردن اندازه‌ی تصویر دست بر شبکیه‌ی دو چشممان، بازنمایی درونی اندازه‌ی آن ثابت می‌ماند. اگر چهارضلعی‌ای راکه رئوسش عبارتند ازگردن، دست، و چشم راست و چپ در نظر بگیریم، و بخواهیم این پدیده را به یک قضیه‌ی هندسه‌ی تحلیلی تحویل کنیم، به این نتیجه می‌رسیم که ثبات اندازه‌ی تصویر ذهنی دستمان، در عمل برابر است با ناوردا فرض شدن تبدیلات عمل کننده بر این چهار ضلعی‌ها. یک برداشت جالب از این تحلیل اینکه تبدیلاتی که این چهارضلعی‌ها را به هم تبدیل کنند، تنها در فضایی می‌توانند ناوردا فرض شوند که دارای خمش منفی باشد[۲]. یعنی فضای ذهنی ما -دست کم در مورد حس بینایی- دارای خمش منفی است. آزمونهای سایکوفیزیک دیگری هم هستند که این نتیجه‌گیری ریاضی را تأیید می‌کنند (Luneburg.- 1950)[۱۷۸].

یکی دیگر از خصوصیات مهم درک شده در اشیای آشنا، رنگ است. در مورد نحوه‌ی کدگذاری رنگها در گیرنده‌های مخروطی و چگونگی ترکیب اطلاعات ناشی از آنها در سطوح بالاتر پردازشی بسیار نوشته شده است (Hubbel & Wiessel.- 1988)[۱۶۸]، در اینجا تنها به یکی از جنبه‌های این ادراک اشاره می‌کنیم که تشخیص رنگ نسبی است و از پردازشهای ساده محسوب می‌شود. می‌دانیم که اطلاعات نورانی افتاده بر شبکیه از تنوع و دامنه‌ی تغییر بالایی برخوردارند. به این معناکه حتی نور روشن کننده‌ی محیط در ساعات گوناگون شبانه روز هم تغییر می‌کند. به عنوان مثال، به طور طبیعی در یک دوره‌ی یک روزه، می‌توان مناظری را دید که با نورهای نزدیک به طیف قرمز (هنگام طلوع)، یا سفید (هنگام ظهر) یا آبی (هنگام غروب) روشن شده باشند. با اینهمه، مغز طوری اطلاعات متنوع مربوط به این محیط‌ها را پردازش می‌کند که یک سیب سرخ در هر سه نور زمینه‌ی یاد شده سرخ به نظر می‌رسد.

مغز برای استخراج اطلاعات مربوط به رنگ از محرکهای تابیده شده بر شبکیه چند راه ساده می‌شناسد. ساده‌ترین راه این است که متنوع‌ترین نور موجود در محیط را به عنوان سفید فرض کند و بعد باقی نورها را بر اساس سپید بودن آن تحلیل کند (Hering.- 1925)[۹۰]. در عمل هم چنین اتفاقی می‌افتد و رنگی که ما در اشیا می‌بینیم عبارت است از مجموع بازتاب و جذب نور توسط شیء مزبور، نسبت به *بازتاب وجذب* نور زمینه. به این ترتیب بازآفرینی رنگ و هم‌ارز فرض کردن رنگ اشیای یکسان در نورهای گوناگون ممکن می‌شود. مثلاً اگر یکی از نقاشیهای موندریان[۳] را به یک آزمودنی نشان دهیم، او خواهد توانست مستقل از رنگ نوری که به نقاشی می‌تابد، رنگ هر بخش را به درستی تشخیص دهد (Land et al.-1964)[۱۹۸].لازم به ذکر است که این مکانیسم تنها در مورد مواقعی کاربرد دارد که نور روشن کننده‌ی محیط ترکیبی از چندین فام رنگی باشد. به همین دلیل هم هست که زیر اثر نورهای تک‌فام (مثل لامپهای زرد سدیمی) رنگها درست تشخیص داده نمی‌شوند.

چنانکه در بخش (۳- ۳- ح) دیدیم، بازنمایی جهان خارج بر سیستم عصبی جانداران علاوه بر چهارچوب ورائتی

۱- **Lie algebra**

۲- این نوع فضا را **hyperbulic** می‌نامند و هندسه‌ی بررسی کننده‌ی روابط حاکم بر آن را نیز هندسه‌ی **hyperbulic** می‌خوانند.

۳- نقاش مدرن آمریکایی که آثارش از ترکیبات گوناگون اشکال هندسی رنگی تشکیل شده است.

پایه‌اش، حالتی پویا دارد و با هر تجربه‌ی جدید می‌تواند دگرگون شود. در مورد اثر تجربه -یا دقیقتر بگوییم محرومیت از تجربه- بر بازنمایی پدیده‌ها در سیستم بینایی آزمایشات زیادی انجام شده است. از آنجا که این اثرات در سطح پردازش ساده‌ی مورد بحث ما نمودهای مهمی دارند، بحث در مورد آن را در همین جا انجام خواهیم داد.

یک آزمون مشهور، در مورد نوزاد گربه‌ها انجام گرفته است. پژوهشگران، به محض تولد یکی از چشمان این حیوانات را با پوششی مهر و موم کردند. پس از دو تا سه ماه، این پوشش از روی چشم گربه‌ها برداشته شد و تغییرات رفتاری و آناتومیک ناشی از محرومیت محرک بینایی در سیستم بینایی و مغز سنجیده شد. نتایج نشان داد که یاخته‌های مربوط به چشم محروم در **LGB** دچار تحلیل[1] شده بودند و نورون‌هایی در قشر بینایی هم که در حالت عادی به میدان بینایی هردو چشم حساس بودند، حساسیت بیشینه‌ی خود را به تنها چشم فعال منحصر کرده بودند و گاه اصلاً به محرک‌های چشم دیگر واکنش نشان نمی‌دادند. اگر پس از این چند ماه محرومیت حسی، چشم محروم گربه باز شود و به جای آن چشم فعال بچه گربه پوشانده شود، اختلالات ادراکی مشخصی (مثل برخورد با موانع، اختلال در کنترل حرکت، ناتوانی در دنبال کردن اشیای متحرک) در آنها دیده می‌شود. این اختلالات با باز شدن دوباره‌ی چشم فعال قبلی از میان می‌روند (**Wiessel & Hubbel.- 1963**)[۳۲۶].

در یک آزمایش مشهور دیگر، روی چشم نوزادان گربه پوششهایی با بافتی از سیمهای موازی گذاشته شد، به طوری که یکی از چشمها از دیدن خطوط عمودی و دیگری از دیدن خطوط افقی محروم باشد. شواهد بعدی نشان داد که این نوزادان گربه، پس از پنج ماه قرارگرفتن در شرایط آزمایشی یاد شده و محروم شدن از دریافت محرکهای حسی ویژه، توانایی ردیابی خود را نسبت به آن محرکها از دست داده بودند. یعنی هر چشم از درک خطوط افقی یا عمودی‌ای که از آن محروم بوده ناتوان شده بود، و در قشر پس‌سری هم نورون‌های تخصص یافته برای کد کردن اطلاعات مربوطه به این خطوط، تحلیل رفته بودند (**Blakemore & Cooper.- 1970**)[۵۸].

یک آزمون دیگر در مورد موشها انجام شده و نتایج به دست آمده در مورد بینایی گربه را در مورد پساوایی موش هم تأیید کرده است. گفتیم که در قشر حسی مخ موش واحدهایی[2] از نورون‌های همکار وجود دارند که هریک اطلاعات دریافتی از یکی از موهای سبیل موش را -که از گیرنده‌های مهم پساوایی در این حیوان است- بازنمایی می‌کند. اگر موش نوزاد پس از تولد از داشتن برخی از این سبیلها محروم شود، واحدهای یاد شده هم که باید آنها را بازنمایی کنند، از بین می‌روند و کارکردی ربوط با سایر سبیلها را جایگزین حس از دست رفته می‌کنند (**Van der Loos & Woolsey.- 1973**)[۳۱۵].

شواهد مشابهی در مورد قشر حسی میمونها هم وجود دارد، اگر انگشت میمونی در سنین پایین قطع شود، بخشی از قشر مخ که وظیفه‌ی بازنمایی آن انگشت را بر عهده دارد، کارکرد خود را از دست می‌دهد و بازنمایی اطلاعات انگشت پهلویی را بر عهده می‌گیرد. یعنی نقشه‌ی بازنمایی پساوایی بدن که در مغز وجود دارد، به ویژه در سنین پایین پویایی فراوان دارد و می‌تواند وابسته به نوع و تراکم داده‌های ورودی تغییر کند (**Carlson.- 1985**)[۷۲].

در مورد این پویایی سیستم بازنمایی مرکزی در مغز جانوران، در مبحث عصب‌شناسی حافظه شواهد فراوانی وجود دارد که در اینجا مجال پرداختن به آن نیست. پس در اینجا به همین اندک بسنده می‌کنم و علاقمندان را به مطالعه‌ی مجموعه‌ی به نسبت کامل جمع‌آوری شده توسط شاو و همکارانش تشویق می‌کنم (**Show et al.- 1990**)[۲۸۶].

۱- atrophy

۲- barrels

۴-۶) پردازش سطح بالا در سیستم بینایی:

اگر همه‌ی کارکردهای ساده را در دستگاه بینایی به عنوان مسائلی حل شده در نظر بگیریم، به سطح جدید از پرسشها در مورد مکانیسم درک تصاویر روبرو می‌شویم. این پرسشها، دیگر در مورد مدل‌های ساده‌ی تشخیص لبه یا پردازش حرکت نیستند، بلکه به بازشناسی و درک مفهوم اشکال مربوط می‌شوند. هر جسم سه بعدی، که در فضای اطراف خود حرکت کند، می‌تواند بی‌شمار تصویر متفاوت را بر یک شبکیه‌ی فعال بیندازد، و به این شکل بی‌نهایت تصویر گوناگون را ایجاد کند. مشکل مهمی که در سطوح بالاتر در برابر مغز وجود دارد، این است که از میان این انبوه اشکال، آنهایی راکه به یک جسم خارجی مربوط می‌شوند جداسازی کند و در یک دسته‌ی معنایی جداگانه قرار دهد. به بیان دیگر، مغزی که همه‌ی کارکردهای ساده را انجام می‌دهد، و مجموعه‌ای از اشکال روشن و واضح را با عمق‌ها و حرکات متفاوت درک می‌کند، باید پرسش مهم دیگری را هم پیش از ادعای درک پاسخ دهد، و آن هم این است که کدام تصویر روی شبکیه به کدام جسم در جهان خارج مربوط می‌شود.

روانشناسان مکتب گشتالت از نخستین کسانی بودند که به طور اصولی و علمی با این پرسش برخورد کردند. آنها مفهومی به نام شکل خوب یا **pragnanz** را ابداع کردند که عبارت بود از خواص تصویری ویژه‌ای که در تصاویر وجود داشت و مغز از آنها برای جدا کردن اشکال منفرد از زمینه‌شان استفاده می‌کرد. مثلاً بر اساس قواعد شکل خوب، سطوح هم‌ارز یا نقاطی که در یک سطح قرار داشتند، همگی متعلق به یک شکل فرض می‌شدند.

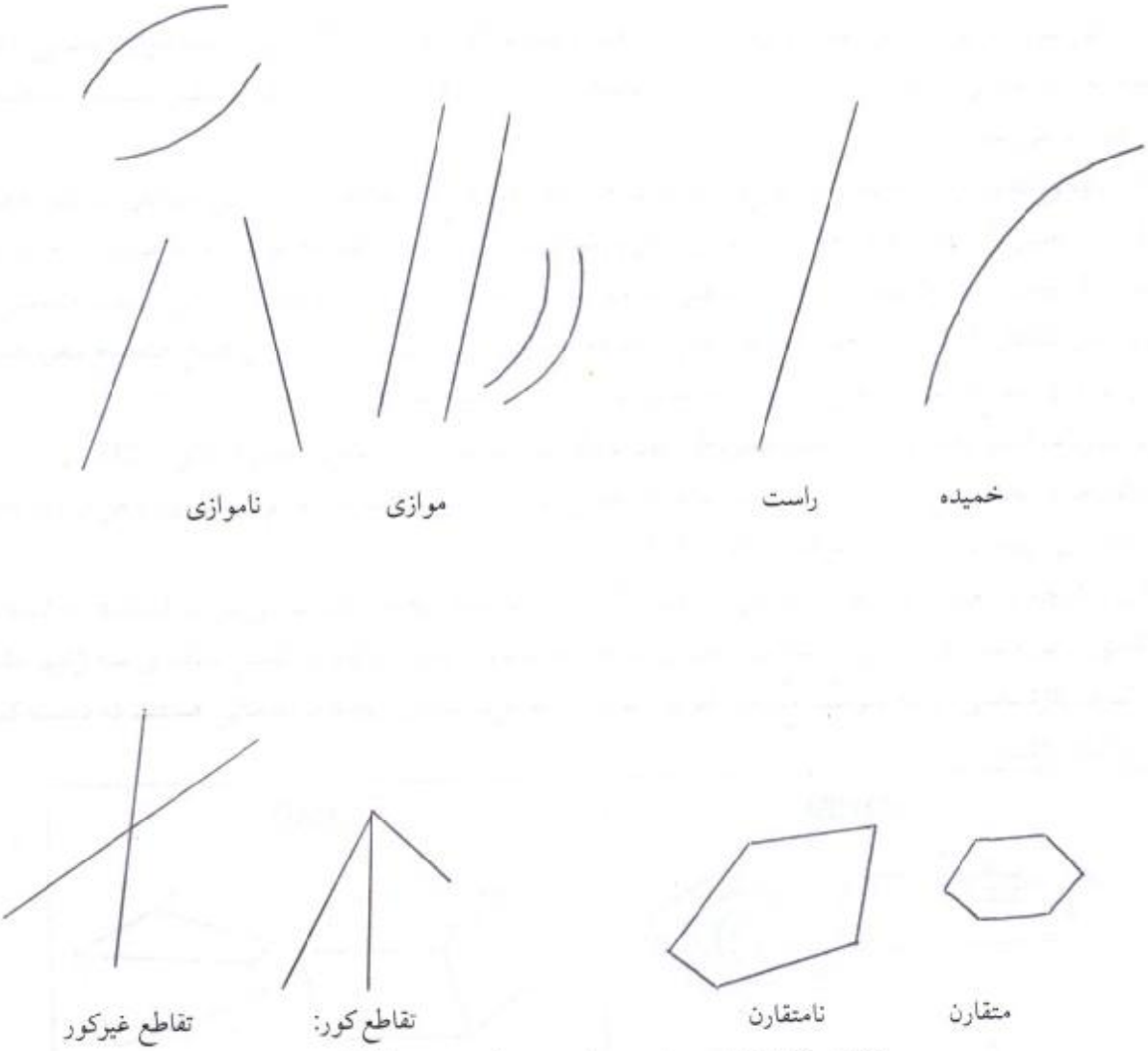
پس از این تحلیل‌های اولیه، نوبت رسید به رویکردهای علمی‌تر و دقیقتری که معمولاً هم به بیانهای ریاضی آغشته بود. دانشمندان ابتدای نیمه‌ی دوم قرن حاضر، توانستند چهار شاخص را تشخیص دهند که مستقل از زاویه‌ی دید و شرایط ناظر خارجی، در همه‌ی اشکال وجود دارند، این چهار ویژگی عبارت بودند از: خمیدگی در برابر راست بودن. تقاطع کور[۱] در برابر تقاطع عادی، توازی در برابر عدم توازی، و تقارن در برابر عدم تقارن (شکل - ۷). نکته‌ی جالب این که مغز در دو مورد اخیر تمایل دارد تا اشکال را دارای توازی و تقارن فرض کند و اشکالی راکه مشتقاتی از این دو نوع خاصیت را در خود دارند، به عنوان متوازی و متقارن در نظر می‌گیرد (**Ittelson et al.- 1952**)[۱۷۰].

چنان که دیدیم نخستین مانعی که بر سر راه دستگاه بینایی برای تعبیر اطلاعات ورودی قرار دارد، این است که یک جسم می‌تواند تصاویر متنوعی را بر شبکیه ایجاد کند. از مشکلات عمده‌ی دیگری که مغز در تعبیر اطلاعات بینایی با آن روبروست این است که چندین شکل در جهان خارج می‌توانند تصویری مشابه را بر شبکیه بیندازند. این اشکال، در عمل معکوس چیزی است که تا به حال مورد بحث بود.

یکی از قواعدی که به صورت پیش تنیده در دستگاه بینایی ما وجود دارد و تعبیر اطلاعات ورودی را آسانتر می‌کند، عبارت است از *اصل تقاطع*[۲]. بر اساس این اصل، هرگاه دو خط (یا به عبارت فیزیولوژیک‌تر دولبه) با هم برخورد کنند، به طوری که فقط یکی از آنها بعد از این برخورد ادامه داشته باشد، مغز چنین فرض می‌کند که لبه‌ی دیگر هم وجود دارد و با وجود دیده نشدن، در زیر سطحی که لبه‌ی بالایی معرفش است، پنهان شده است (**Hoffman et al.- 1985**)[۲۲۶]. این اصل با توجه به کوژ یا کاو بودن زاویه‌ی برخورد لبه‌ها و خمیدگیشان به اشکال گوناگونی کاربرد پیدا می‌کند.

۱- **cotermination**

۲- **transversability principle**



شکل- ۱۴: شاخص‌های معمول در تعریف همه‌ی اشکال هندسی.

یکی از مهمترین و موفقترین نظریاتی که در مورد چگونگی بازشناسی اشکال پیچیده ارائه شده است، مدلی است که با عنوان شناخت *توسط اجزا*(RBC)[۱] مشهور شده است (Biederman.- 1987, 1988)[۵۴،۵۳].

این نظریه، بر اساس دیدگاهی بنا نهاده شده است که سه سطح را برای بازشناسی محرکهای بینایی پیچیده فرض می‌کرد. یک سطح میانه[۲]، که پدیده‌های خام قابل مشاهده در جهان خارج (مثل یک خوشه انگور) را در بر می‌گرفت، سطح بالایی[۳] که دسته‌ای از عناصر دارای شباهت با یکدیگر (مثل تمام انگورها) را در بر می‌گرفت، و بالاخره سطح پایینی[۴] که نوع خاصی از آن پدیده‌ی مشاهده شده (مثل یک خوشه انگور یاقوتی نیم خورده) را شامل می‌شد (Jolicoeur et al.- 1984)[۱۷۵].

بنابر شواهد عصب- زبانشناختی[۵]، می‌توان هر پدیده‌ی مربوط به سطح میانه را با یکی از نامهای رایج در زبان

۱- Recognition By Components

۲- entry level

۳- superordinate level

۴- subrdinate level

۵- neurolinguistic

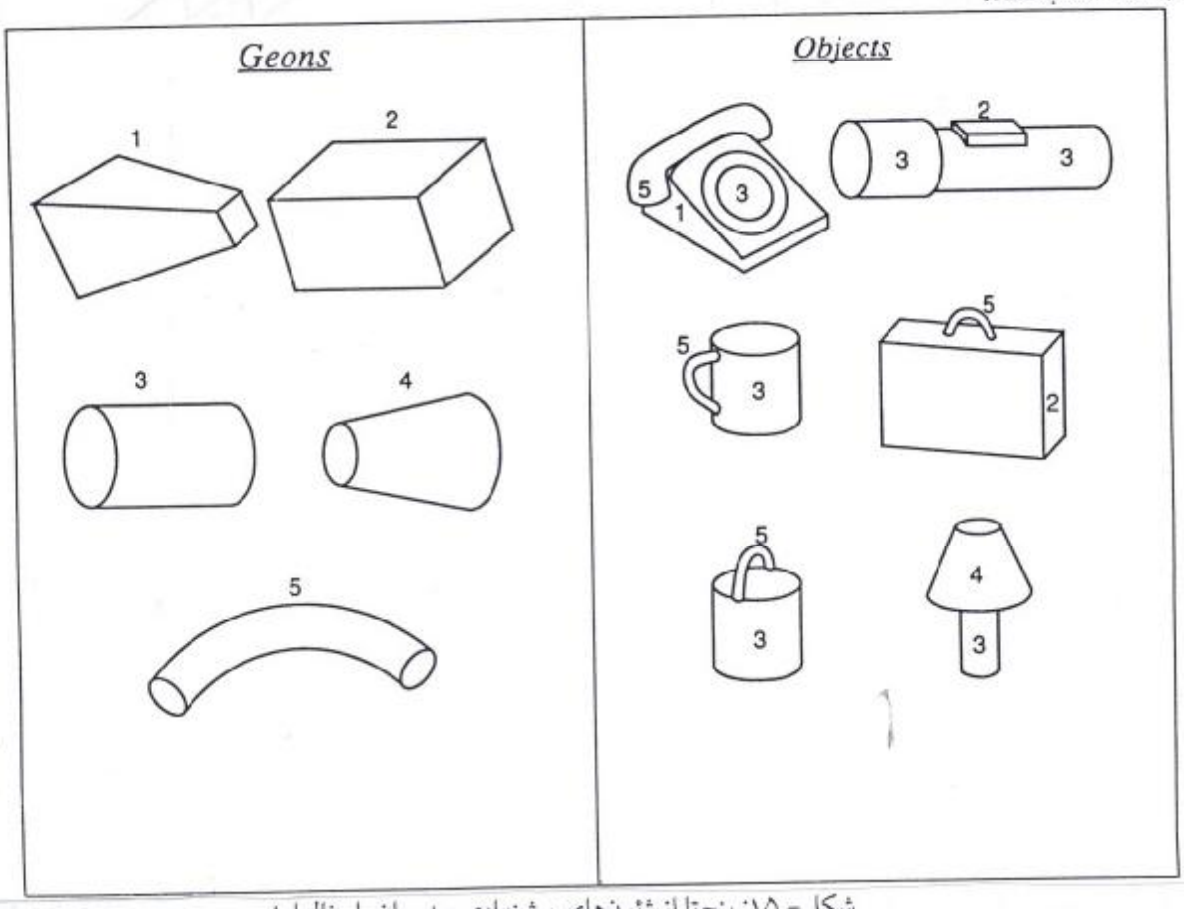
همتا فرض کرد. بر این اساس تعداد واژگان نماد عناصر سطح میانه را در زبان انگلیسی به سه هزارتا تخمین زده‌اند. با اینهمه تعداد اشیایی که می‌توان با اولین نگاه تشخیصشان داد حدود ده بار از این مقدار بیشتر است و به حدود سی هزار تصویر می‌رسد.

کار مهمی که بیدرمان انجام داد، این بود که فرض کرد مغز هر جسم را به اجزای هندسی ساده‌ی تشکیل دهنده‌اش می‌شکند. یعنی یک جسم مثل خوشه‌ی انگور برای بازشناخته شدن در دستگاه عصبی، باید به صورت مجموعه‌ای از کره‌های کوچک، که با رشته‌های دراز و منشعبی به هم متصل شده‌اند تجزیه شود. بیدرمان این عناصر هندسی پایه‌ی موجود در اشکال را ژئون[1] نامید. بعدها معلوم شد که تعداد ژئون‌های مورد نیاز برای عمل صحیح مغز، دست کم باید بیست و چهارتا باشد. برخی از این واحدهای هندسی پایه عبارتند از:

کره، استوانه، استوانه باریک خمیده، مخروط ناقص، مکعب مستطیل، و منشور ناقص (شکل - ۱۵).

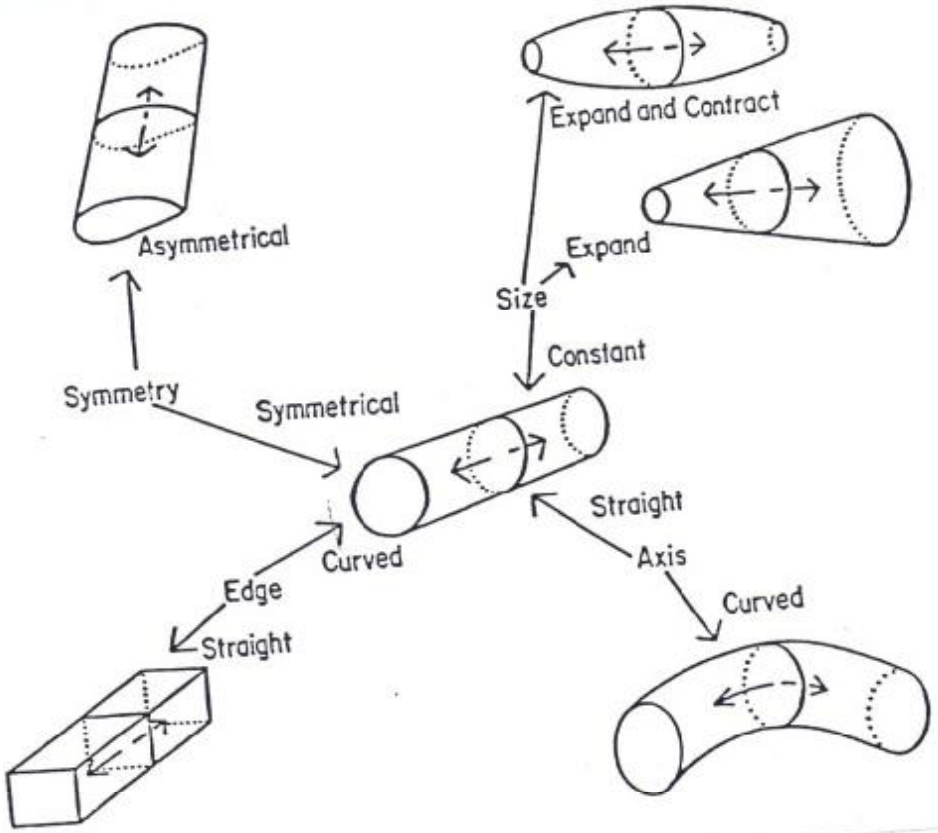
این ژئون‌ها با انجام چند تبدیل توپولوژیک ساده (از قبیل نامتقارن کردن، فشردن، خم کردن، و...) می‌توانند به هم، یا به واحدهایی پیچیده‌تر تبدیل شوند (شکل - ۱۶).

اشکال با توجه به تعداد ژئون هایی که دارا هستند به دو گروه ساده و پیچیده تقسیم می‌شوند. نشان داده شده که حد آستانه‌ای برابر با سه ژئون برای بازشناسی اشیای ساده وجود دارد. یعنی هرگاه در شکل ساده‌ای سه ژئون تشخیص داده شود، بازشناسی آن به سرعت مقدور خواهد بود. در مقابل، اشکال پیچیده، اشکالی هستند که دست کم شش ژئون داشته باشند.



شکل - ۱۵: پنج‌تا از ژئون‌های پیشنهادی بیدرمان با مثالهایش.

۱- Geon



شکل-۱۶: تبدیلات رایج موثر بر ژئونها.

نکته‌ی مهم در مورد تشخیص اشکال توسط نظریه ژئون‌ها این است که نباید این عناصر ریختی را به عنوان تنها شاخصهای بازشناسی تصاویر در نظر گرفت. چرا که در این روند روابط بین ژئون‌ها هم اهمیت زیادی دارد. به عنوان مثال، روابط فضایی ساده‌ای مانند زیر، *بالا*، *بزرگتر از*، *کنار*، *کوچکتر از*، و... در این چهارچوب کاربرد زیادی دارند.
به سادگی می‌توان نشان داد که همین بیست و چهار ژئون مفروض، به همراه شش رابطه‌ی ساده از این دست، می‌توانند در عمل بی‌شمار شکل گوناگون را کد کنند. تعداد اشکال دارای دو ژئون که ترکیباتی از این شش رابطه را با هم داشته باشند، عبارت خواهد شد از:

$$۲۴^{۲} = ۱۰۸ \times ۳ = ۱۸۶۶۲۴$$

که عدد ۱۰۸ در آن ترکیبات شش رابطه‌ی گوناگون را نشان می‌دهد. در صورتی که همین معادله را برای اشیای تشکیل یافته از سه ژئون بنویسیم، به عدد نجومی ۱/۴ میلیارد ترکیب مختلف می‌رسیم که عملاً از تعداد اشکال گوناگون قابل تجربه در طول یک عمر انسانی بیشتر است. به این ترتیب دیدگاه **RBC** به خوبی چگونگی تشخیص بیشمار تصویر متنوع را توجیه می‌کند.

البته باید بر این نکته تأکید کرد که روابط یاد شده در میان ژئون‌ها با هم هم‌ارز نیستند. مثلاً نشان داده شده که بازشناسی تصویری که در یک صفحه‌ی موازی با ناظر بچرخد، دشوارتر از تشخیص همان تصویر در زمانی است که در عمق گردش کند. به عبارت دیگر، به هم خوردن رابطه‌ی *بالا*، نسبت به عقب‌تر لطمه‌ی بیشتری به بازشناسی می‌زند (**Jolicoeure et al.- 1985**)[۱۷۵].

نکته‌ی جالب این که برای درک یک منظره که از تعداد زیادی شیء تشکیل شده، زمانی بیشتر از زمان مورد نیاز برای تشخیص یک جسم، مورد نیاز نیست. این بدان معناست که مغز برای درک مناظر، پیش از آن که تک تک اجسام موجود در محیط را بازشناسی کند و تشخیص دهد، روابط بین آنها و معادلات حجمیشان را استخراج می‌کند و به این ترتیب عملی مشابه با درک روابط ژئون‌ها را، منتها در سطحی بالاتر انجام می‌دهد (**Biederman et al.- 1988**)[۵۴]. شواهد حرکتی زیادی هم وجود دارد که نشانگر اهمیت این تجزیه‌ی شکل به ژئون‌ها برای مغز است. به کمک روشهای ثبت حرکات چشم نشان داده شده است که نقاط تمرکز چشم به هنگام وارسی کردن یک تصویر، بیشتر بر نقاط معرف ژئون‌ها یا عناصر ریختی مهم دیگر متمرکز می‌شود. در (شکل-۱۷) نمونه‌ای از این ثبت‌ها را می‌بینید.

شکل- ۱۷: ثبت حرکات کره‌ی چشم و
نمایش حرکات لکه‌ی زرد (مرکز توجه)
به هنگام مشاهده‌ی دو تصویر پیچیده.

مدل مشهور دیگری که در مورد تشخیص تصاویر وجود دارد، به نام مدل فعالیت اندرکنشی[۱] (**IAM**) مشهور است (**McCelland & Rumelhart.- 1981**)[۲۲۶]. این مدل بیشتر به چگونگی بازشناسی تصاویر ساده‌ای مانند کدهای الفبایی می‌پردازد. بنابر این دیدگاه، مغز با حروف الفبا، مثل اشیای دیگر برخورد می‌کند. چراکه تاریخ تکامل این محرک خاص به قدری در تاریخ طبیعی انسانی اندک است که نمی‌توان امکان تکامل سیستمی ویژه‌ی آن را معقول دانست. کهن‌ترین کدهای نوشتاری قدمتی در حدود هشت هزار سال دارند و این رقم در مقابل زمان دراز مورد نیاز برای عمل تکامل بسیار اندک است.

شواهد برگرفته از عکس برداری مغز با **PET** نشان می‌دهند که مکانهای مربوط به بازنمایی یک واژه، بسته به

۱- **Interactive Activation Model**

کارکرد آن واژه در نقاط مختلفی از قشر مخ قرار دارند. به عنوان مثال شنیدن واژه در بخش گیجگاهی -آهیانه‌ای، دیدن و خواندن همان واژه در قشر پس‌سری، ساختن همان واژه در بخش پشتی قشر پیشانی، و گفتن همان واژه در بخش زیرین شیار حرکتی در لوب پیشانی کدگذاری می‌شوند (**Fischbach.- 1992**)[۱۱۷].

شواهد زیادی در این مورد وجود دارد که سیستم بازشناسی حروف و کدهای الفبایی، با وجود مستقل نبودن از بقیه‌ی سازمان تشخیصی بینایی، زیرسیستمی ویژه و تخصص یافته را تشکیل می‌دهد. به عنوان مثال، زمینه‌ی حضور یک کد، می‌تواند تشخیص آن را تسهیل یا منع کند. یک کد نوشتاری (*مثل حرف* **ل**) وقتی در قالب یک واژه‌ی آشنا (*مثل* **پول**) قرار گیرد، راحت‌تر بازشناسی می‌شود. این تسهیل، نسبت به وقتی که زمینه ناآشنا باشد (*مثل* **وپل**)، یا حتی وقتی که اصلاً زمینه‌ای در کار نباشد (**ل** *تنها*) سنجیده می‌شود.

این مدل تا حدودی پدیده‌ی حدس زدن کدهای زبانی مخدوش شده را هم بر همین اساس توضیح می‌دهد. یعنی بیان می‌کند که یک کد زبانی که به دلیلی کم‌رنگ یا پاک شده باشد، با توجه به زمینه‌اش می‌تواند بازسازی شود. یعنی در نهایت مغز از حشو موجود در سیستم زبانی استفاده می‌کند تا خطاهای ممکن در انتقال کدها را تصحیح کند.

یکی دیگر از نظریاتی که در زمینه‌ی بازشناسی اشیای موجود در محیط وجود دارد، با علامت اختصاری **SCERPO**[۱] شهرت یافته است (**Lowe et al.- 1984,1987**)[۲۱۲،۲۱۱]. بر اساس این مدل، مغز می‌تواند با در دست داشتن شکل اولیه‌ی اشیا، آنها را در شرایطی که اطلاعات ورودی به شبکیه تا حدودی مختل شده باشند، بازشناسی کند. مثلاً در شرایطی که بخشی از یک شکل توسط تصویر شیء دیگری پوشیده شده است، یا جسم مورد نظر در زاویه‌ای غیرعادی نسبت به چشم قرار گرفته باشد، این مدل کاربرد دارد. بر اساس این مدل، کاری که مغز انجام می‌دهد، تشخیص لبه‌ها و زوایای بینشان است و با توجه به این شاخصها باقی روابط فضایی بین اجزای جسمی را که قبلاً دیده، خود به خود محاسبه می‌کند. این مدل تا حدودی پیچیده است و به ویژه در میان مهندسانی که در پی یافتن برنامه‌ای برای روبات‌های شناساگر هستند محبوبیت زیادی دارد.

بر اساس یک مدل دیگر، مغز پس از برخورد با یک تصویر، عناصر فضایی اولیه‌ی آن را استخراج می‌کند و مدلی متحرک از آن را در خود بازنمایی می‌کند. این بازنمایی آنقدر تغییر می‌کند تا با اندوخته‌های اطلاعاتی موجود در حافظه تطبیق یابد. در صورتی که چنین انطباقی انجام شود، تصویر جسم مورد نظر بازشناخته می‌شود. این نظریه با نام **Allighnment model** مشهور است و از نظر مکانیسم عصبی ساز و کاری شبیه به *استخراج شکل از حرکت* را در بر می‌گیرد (**Huttenlocher et al.- 1987**)[۱۶۹].

از دیگر کارکردهایی که باید در سرفصل پردازش پیچیده‌یی بینایی مورد اشاره قرار گیرد، بازشناسی چهره است. عناصر چهره، به لحاظ اهمیت فراوانی که این محرک در جانورانی اجتماعی مانند انسان دارد، در جایی متفاوت با بقیه‌ی محرک‌های بینایی بازنمایی می‌شوند.

از نظر کالبد شناختی، می‌توان سه ناحیه‌ی متفاوت را در مغز تشخیص داد که کارهای گوناگون مربوط به پردازش اطلاعات چهره را انجام می‌دهد. یکی از آنها بخش خارجی -جلویی لوب گیجگاهی نیمکره‌ی راست است که وظیفه‌ی ذخیره‌ی نام‌ها را بر عهده دارد. ادامه‌ی همین بخش در داخل نیمکره‌ی راست، وظیفه‌ی کدکردن اطلاعات زندگینامه‌ای آشنایان را انجام می‌دهد. در پشت این بخش (در قسمت داخلی)، **gyrus occipitotemporalis lateralis** در زیر اطلاعات مربوط به ریخت چهره را بازنمایی می‌کند و

۱- **Spatial Correspondence, Evidential Reasoning, & Perceptual Organization**

gyrus parahyppocampalis در بالای آن مربوط کردن قیافه با زندگینامه را بر عهده دارد (**Sapir.- 1992**)[۲۷۷].
در مورد ساز و کار بازشناسی چهره، و نحوه‌ی بازنمایی اطلاعات مربوط به آن در سیستم بینایی، چندین نظریه‌ی مهم وجود دارد که در اینجا به برخی از آنها اشاره می‌شود.

یک مدل مشهور در مورد مکان پردازش اطلاعات مربوط به چهره، این است که اطلاعات خام مربوط به چهره به لوب راست می‌رسد و پس از تطبیق با داده‌های موجود در حافظه آشنا بودن یا نبودنش آشکار می‌شود. بعد از این مرحله، دو مرکز پردازنده‌ی دیگر وجود دارند که یکی نام فرد و دیگری اطلاعات شناسنامه‌ای مربوط به او را کد می‌کند (**Bruce & Young.- 1986**)[۲۷۷]. این مدل از پردازش چهره در سالهای اخیر کمی دگرگون شده و مرکز پردازنده‌ی اطلاعات عاطفی جای پردازنده‌ی نام را گرفته است.

بر اساس این مدل جدیدتر، دو سیستم برای بازشناسی تصویر چهره داریم: یکی از آنها را بالایی[۱] می‌نامند که وظیفه‌ی درک بار عاطفی مربوط به صاحب چهره را انجام می‌دهد. این سیستم ناخودآگاه عمل می‌کند، و معمولاً پایدار است و در اثر صدمات عادی مغزی آسیب نمی‌بیند. سیستم دیگر زیرین[۲] نام دارد که درک خودآگاه چهره و اطلاعات مربوط به زندگینامه‌ی صاحب آن را بازنمایی می‌کند. این سیستم خیلی راحت در اثر آسیب مغزی مختل می‌شود و بیماری مشهور کورچهرگی[۳] را ایجاد می‌کند. بیماران مبتلا به این اختلال، در عین حال که از بازشناسی خودآگاه چهره‌ی آشنایان، و حتی خودشان ناتوانند، می‌توانند در برابر چهره‌هایی که برایشان بار عاطفی دارند واکنشهای زیستی مختص بازشناسی را انجام دهند. به عنوان مثال مقاومت الکتریکی پوست این بیماران در هنگام دیدن چهره‌های دارای بار عاطفی تغییر می‌کند.

اگر سیستم پردازنده‌ی بار عاطفی چهره دچار اختلال شود، توهم‌های عجیب و غریبی در مورد افراد پیرامون بیمار حاصل می‌شود. مثلاً یک نمونه‌ی مشهور آن نشانگان فرگولی[۴] است. این نشانگان برای نخستین بار در فردی دیده شد که همه را با لئوپولد فرگولی -هرپیشه‌ی ایتالیایی- اشتباه می‌گرفت. نمونه‌ی دیگر آن در زنی دیده شده است که مدعی بود سارا برنارد -هنرپیشه‌ی فرانسوی- مرتب با تغییر قیافه‌های ماهرانه او را تعقیب می‌کند!

مورد دیگری از اختلالات وابسته به این سیستم، نشانگان کاپراس[۵] است که ۲۰۰ مورد از آن تا به حال شرح داده شده. نخستین مبتلای بررسی شده در این مورد زنی پنجاه ساله بود که مدعی بود تمام اطرافیانش با شیاطینی که تغییر قیافه داده‌اند عوض شده‌اند. حالت خفیفتر این بیماری با نام نشانگان دگردیسی[۶] مشهور است. این نمونه برای بار نخست در زن دیگری دیده شد که فکر می‌کرد شوهرش با مرد همسایه عوض شده‌اند. او متوجه بود که مرد همسایه قیافه‌ای جوانتر و متفاوت دارد، ولی کماکان چهره‌ی او را با شوهرش اشتباه می‌گرفت (**Sapir.- 1992**)[۲۷۷].

درک چهره در بیماران مبتلا به **Prosopagnosia** تا حدودی انجام می‌گیرد و حتی گاهی واکنشهای عاطفی مناسب هم در موردشان انجام می‌گیرد، اما نکته‌ی مهم اینجاست که این درک به حالت خودآگاه در نمی‌آید. یعنی فرد توانایی گزارش دادن آن را ندارد. برخی از نظریات جدیدتر، کورچهرگی را ناشی از پردازش ناقص اطلاعات بینایی نمی‌دانند، بلکه آن را محصول اختلال در خودآگاه شدن نتایج این پردازش فرض می‌کنند (**Sergent & Signiiret.- 1992**)[۲۸۳].

۱- **dorsal**

۲- **ventral**

۳- **prosopagnosia**: این واژه از ریشه‌یی یونانی **prosopon** به معنای چهره و **gnosis** به معنای شناختن مشتق شده است.

۴- **Fregoli syndrome**: فرگولی نام یک هنرپیشه‌ی مشهور ایتالیایی است.

۵- **Capras syndrome**

۶- **intermatamorphosis syndrome**

۴- ۷) رشد و تکوین دو نوع پردازش در نوزاد انسان:

تا اینجای کار با دو نوع پردازش معمول در سیستم بینایی آشنا شدیم، حالا وقت آن است که کمی در مورد چگونگی پیدایش و سازماندهی آن بحث کنیم.

یکی از مهمترین مباحثی که در عصب‌شناسی بینایی وجود دارد، عبارت است از بررسی چگونگی تکوین و تغییرات شناخت بینایی در افراد. چنانکه گفتیم، محرکهای بینایی از پویاترین و متغیرترین منابع اطلاعاتی شناخته شده محسوب می‌شوند، و چشم هم تنها سیستم حسی در انسان است که به دستگاه‌های هدفگیری[۱] محسوس و پیچیده مجهز شده است[۲]. علاوه بر تمام این حرفها، چشم مرتب در حال دگرگون شدن است و همراه با آن تغییراتی هم در شاخصهای اصلی پردازش اطلاعات بینایی به وجود می‌آید. به عنوان مثال، درک عمق که از راه اختلاف منظر صورت می‌گیرد، در سنین کودکی همواره در معرض خطر مخابره‌ی اطلاعات نادرست قرار دارد. چراکه به طور مرتب صورت و خودکره‌ی چشم در حال رشد هستند و بنابراین فاصله‌ی بین دو شبکیه و زاویه‌شان نسبت به هم مرتباً تغییر می‌کند. در اینجا مجال کافی برای پرداختن به تمام مباحث مرتبط با سازگاری سیستم بینایی وجود ندارد، پس بر طبق روال معمول خود، تنها نگاهی گذرا به مباحث و مفاهیم برجسته‌ی این قلمرو می‌اندازیم.

در اواسط قرن هفدهم، ریاضیدان و فیلسوف فرانسوی دکارت، در مورد چگونگی شکل‌گیری تفاسیر مغزی از اطلاعات ورودی بینایی، نظریه‌ای داد که بعدها به **nativism** مشهور شد. دکارت معتقد بود که اصولی مانند قوانین هندسه به صورت پیش‌تنیده در ذهن آدمیان وجود دارد و این اصول *برنامه‌ریزی* شده در روح، به تدریج که تجربه‌ی نوزاد از جهان پیرامونش بیشتر می‌شود، کاربرد بیشتری پیدا می‌کنند و تعابیر دقیقتری را در مورد محیط برایش پدید می‌آورند. بنا بر نظر دکارت، مفهومی مانند عمق، از راه درک اختلاف زاویه‌ی موجود در بین دوکره‌ی چشم، به هنگام نشانه رفتن به سوی جسم خاص حاصل می‌شود، و این معادلات هندسی ساده‌ی مربوط به درک عمق در ذهن هر نوزادی به ودیعه نهاده شده‌اند(**Descartes.- 1638**)[۹۷]. به تعبیر امروزی و علمی‌تر، دیدگاه او مثل این بود که برنامه‌ریزی ژنومی را برای پردازش اطلاعات ورودی بینایی کافی بداند، و به انباشته شده اطلاعات تجربی و کارگشا بودنشان در امر تحلیل اطلاعات جدیدتر، قائل نباشد.

حدود نیم قرن پس از دکارت، فیلسوف انگلیسی جورج بارکلی دیدگاه دیگری را در مقابل این نظریه مطرح کرد. او معتقد بود که ذهن نوزاد به هنگام تولد از هر شناختی نسبت به جهان خارج خالی است، و این تجربه است که زمینه‌ی لازم برای تفسیر ورودی‌های حسی را برایش فراهم می‌کند. او به نظریه‌ی دکارت این ایراد را وارد می‌کرد که هیچگاه کسی به هنگام درک عمق خط و زاویه‌ای که مورد ادعای دکارت بود نمی‌بیند، و همه خیلی طبیعی و بی واسطه مفهوم عمق را درک می‌کنند. به نظر او، تجربیات بینایی ما، به ویژه پس از همراه شدن با رفتارهای حرکتی‌مان، امکان شناخت محیط و درک عمق را برایمان فراهم می‌کند. یعنی تنها راه درک عمق از راه محسوسات بینایی، این است که فرد چندین بار در برابر محرکهای گوناگون برای برداشتن اشیای قابل‌مشاهده اش تلاش کند تا اینکه این بازخوردهای حرکتی به

۱- **calibration**

۲- البته می‌توان گوش نیز کردن -انقباض عضله‌ی **stapedius**- را هم به عنوان نوعی هدفگیری شنوایی برای بسامدهای ویژه فرض کرد. اما پیچیدگی این دو سیستم تنظیم‌گر با هم قابل‌مقایسه نیست.

ورودی‌های حسی مفهوم دهد (**Berkeley.- 1709**)[۵۲]. بارکلی به این ترتیب از نخستین کسانی بود که از زاویه‌ی دید تجربه‌گرایان[۱] به موضوع نگاه کرده بود.

بحث یاد شده در بین این دو متفکر، دامنه یافت و موافق و مخالف فراوانی یافت. در این میان هرمان فون هلمهولتز -یکی از درخشان‌ترین مغزهای قرن نوزدهم- هم به نوبه‌ی کوشید تا برگه‌هایی دقیقتر به دست آورد. او بر چشم افرادبالغ، عدسی‌هایی را سوار کرد که اشیا را کمی به سمت چپ یا راست منحرف می‌کرد، و پس از مدتی مشاهده کرد که آزمودنیهایش موفق شدند به این وضع جدید عادت کنند و بار دیگر رفتاری عادی و موفق را در محیط از خود ظاهر کنند (**Helmholtz.- 1866**)[۱۵۶]. به عبارت دیگر، امکان تجربه به این داوطلبان اجازه داده بود تا خطاهای تفسیر محرکهای بینایی خود را تصحیح کنند. این نتایج با آنچه که بارکلی می‌گفت شباهت فراوان داشت و به همین دلیل هم شاهدی در تأیید تجربه‌گرایی محسوب شد.

دفاعی که پیروان دکارت در مقابل این تجربه از نظرش کردند، بر این مبنا بود که درک مکان بازوها را به جای درک بینایی مهم شناختند. به نظر این دانشمندان، آنچه که در جریان استفاده از عینک خاص دگرگون کننده‌ی جهان خارج تغییر می‌کرد، درک فرد از محیط نبود، که درک فرد از مکان بازویش در جهان خارج بود (**Harris.- 1980**)[۱۴۹].

در یک آزمون، داوطلبانی با عینکی مجهز شدند که تمام اشیای محیط را کمی به سمت راست منحرف می‌کرد. این افراد وظیفه‌ی برداشتن و اشاره کردن به اشیای پیرامون خود را با دست راست تمرین کردند و پس از مدتی به دقت و قابلیت بالایی در این راستا دست یافتند. اما نکته‌ی جالب اینکه همین کارها را با دست چپ نمی‌توانستند انجام دهند. به عبارت دیگر به نظر می‌رسید که سیستم حرکتی در برابر این تغییر محرک نوری آموخته شده باشد، نه کل سیستم شناخت بینایی (**Harris et al.- 1963**)[۱۴۸].

در آزمایشی دیگر، آزمودنی‌ها عینکهایی به چشم زدند که اختلاف منظرشان را نسبت به اشیای گوناگون تغییر می‌داد. بعد از ایشان خواسته شد تا عمل درک شکل یک جسم چرخنده (درک ریخت از روی حرکت) را تمرین کنند. این افراد در نهایت توانستند بخشی از توانایی دید **stereoscopic** خود را بازیابند. اما درک ریخت از حرکتشان تغییری نکرد (**Wallace et al.- 1976**)[۱۹۳]. شواهد نشان می‌دهد که این درک اخیر پس از دوران بلوغ، دیگر تغییر نمی‌کند و بنابر این بیشتر در چهارچوب نظریات دکارتی می‌گنجد.

در مجموعه‌ی جالب دیگری از آزمایشات نشان داده شد که اگر آزمودنیِ دارای دید مغشوش، هیچ حرکتی نکند -و حتی سرش را هم حرکت ندهد- باز هم عمل تصحیح صورت می‌گیرد. این یافته آشکارا با فرضیات بارکلی در تضاد است که حرکت بازوها و عمل در محیط را زمینه‌ی تصحیح و یادگیری بینایی می‌پنداشت.

آزمایش جالب دیگری به تازگی انجام گرفته که جنبه‌های دیگری از خصلت سخت‌هنجار پردازشگرهای بینایی را نشان می‌دهد. در این تجربیات، سه نوع تغییر بر میدان بینایی آزمودنی‌ها انجام گرفت. در یک دسته، میدان بینایی به چپ یا راست منحرف شد. در دسته‌ی دوم اشیای موجود در منظره نسبت به حالت پایه بزرگتر یا کوچکتر شدند، و در گروه سوم بخشهای مختلف میدان بینایی به صورت تصادفی از بخشهای دیگری از جهان خارج اطلاعات دریافت می‌کردند. یعنی در مورد اخیر، اطلاعات ورودی به شبکیه کاملاً نامنظم و کاتوره‌ای شده بود. نتیجه اینکه مغز از پس تصحیح دو مشکل نخست برآمد، اما نتوانست خود را با حالت سوم سازگار کند (**Bedford et al.- 1989**)[۵۰]. نتیجه این که مغز بالغ، تنها از عهده‌ی تصحیح ایراداتی برمی‌آید که با حالت طبیعی و آموخته شده‌ی معمولی *رابطه‌ای*

۱- **empiricism**

خطی داشته باشند.

در کنار این شواهد انسانی، تجربیات زیادی هم بر روی سایر جانوران انجام گرفته است. مثلاً نشان داده شده که تمام نوزادان پستانداران، رفتار موسوم به *ترس از دره*[1] را از خود نشان می‌دهند. یعنی هرگاه در کنار خطی قرار بگیرند که دو سطح دارای اختلاف ارتفاع زیاد را از هم جدا می‌کند، از آن خط دور می‌شوند (**Gibson & Walk.- 1960**)[۱۳۱]. ناگفته پیداست که برای انجام این واکنش، داشتن درکی ابتدایی از عمق لازم است. به نظر می‌رسد که این توانایی -قدرت درک عمق سطح زیر پا- وابسته به آموزه‌های حسی نباشد و به طور پیش‌تنیده در مغز پستانداران کدگذاری شده باشد. به عنوان مثال، نوزادان موش صحرایی از هفته‌ی چهارم پس از تولد می‌توانند حرکت کنند و بنابراین می‌توانند از این سن مورد آزمایش واقع شوند. اگر نوزادان مورد بحث را از هنگام تولد تا سه ماهگی در تاریکی بزرگ کنیم، طوری که هیچ محرک بینایی دریافت نکنند، باز هم به محض قرارگرفتن در مقابل یک دره، این رفتار را از خود نشان می‌دهند.

در مورد نوزاد انسان، جمع‌آوری اطلاعات در مورد درجه‌ی تحلیل اطلاعات بینایی دشوارتر است، چراکه نوزاد انسان تا هفت ماهگی حرکت نمی‌کند و در یکجا می‌خوابد. با این همه، نشان داده شده که همین نوزادان یکجانشین هم از پنج ماهگی قادر به ردیابی یک جسم در فضا هستند و می‌توانند پس از تشخیص مکان اجسام اطرافشان، آنها را با دست بگیرند (**vonHofsten et al.- 1986**)[۱۶۴].

همچنین نوزادان خیلی پیش از این سن حرکت و جهت را تشخیص می‌دهند. یک نوزاد سه ماهه می‌تواند بازتابهای دفاعی مشخصی را از خود نشان دهد. یعنی در صورت نزدیک شدن یک جسم به سر و چشمش، پلکش را می‌بندد و یا سرش را از مسیر ضربه‌ی احتمالی دور می‌کند (**Yonas & Granrud.- 1984**)[۳۳۴]. این شاهد پشتیبان این فرضیه است که درک عمق از راه مشاهده‌ی محرک متحرک، با درک عمق در حالت عام تفاوت دارد و به طور پیش تنیده در مغز نوزادان وجود دارد.

در مورد چگونگی تکوین درک عمق دوچشمی در نوزادانی که هنوز حرکت نمی‌کنند و با اشیای محیطشان برخورد ندارند، دو نظریه‌ی اصلی وجود دارد. گروهی معتقدند اطلاعات عمقی به دست آمده از راه حرکت -که به طور پیش تنیده وجود دارد،- به عنوان پایه‌ای برای تفسیر داده‌های بعدی بینایی عمل می‌کند و در نهایت امکان نتیجه‌گیری درک عمق عام را برای مغز فراهم می‌کند. دیدگاه دوم بر این مبناست که مغز اطلاعات عمقی دریافتی از راه حرکت اجسام را به ورودی‌های بازخوردی دید دوچشمی تعمیم می‌دهد و بنابراین اختلاف منظر را هم با عمق مربوط می‌سازد. به این ترتیب این دو دیدگاه را به طور خلاصه می‌توان اینطور خلاصه کرد: گروهی درک عمق عام را -که مربوط به اختلاف منظر موجود در دید دوچشمی است- ناشی از بسط اطلاعات ناشی از اجسام متحرک می‌دانند، و گروهی هم تعمیم همین اطلاعات به اختلاف منظر اولیه را کلید معما می‌دانند.

در هر صورت، درک عمق از راه دید دوچشمی وبرگه‌های مربوط به اختلاف منظر، از چهار ماهگی در نوزاد آغاز می‌شود (**Bank & Salapatek.- 1983**)[۴۱]. این سن، ظاهراً با زمان بالغ شدن قشر مخ در انسان و میمون منطبق است (**Held et al.- 1985**)[۱۵۵].

دو دیدگاه رقیب یاد شده، چنانکه گفتیم برای بیش از دو قرن پهلو به پهلوی دیگر بر فضای فکری علاقمندان به چگونگی تکوین شناخت بینایی حکمرانی کردند. برداشتهای این دو دیدگاه، با وجود دگرگون شدن، هنوز هم در متون

۱- **cliff avoidance**

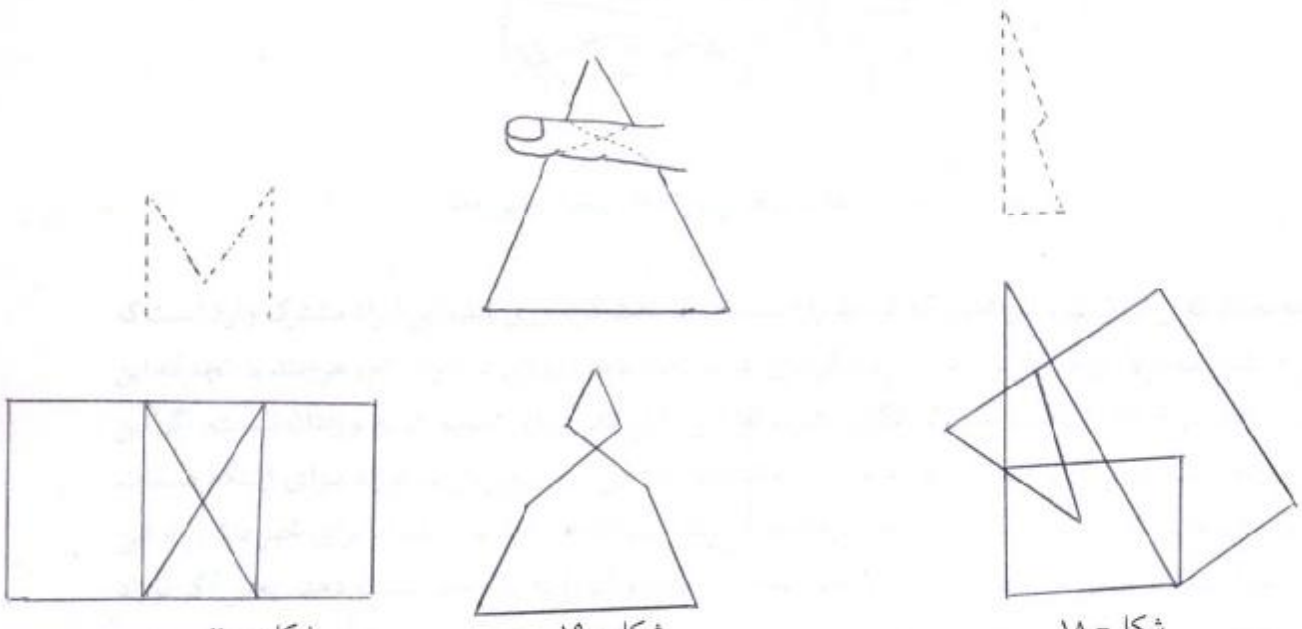
مربوطه یافت می‌شود. تجربه‌انگاران، چنانکه گفتم، معتقد بودند نوزاد در ابتدای زندگیش، تنها توده‌ای رنگین و درهم از محرکهای نوری را درک می‌کند و برگه‌ای برای جداکردن اشیا از زمینه ندارد. این توانایی بعدها در اثر اندرکنش فرد با محیط پدیدار می‌شوند (**Helmholtz.- 1866**)[۱۵۶].

در برابر این دیدگاه، در اوایل قرن حاضر جریان نیرومند روانشناسی گشتالت قد علم کرد که معتقد بود علاقه‌ی مغز به رسیدن به حالت تعادلی یک ویژگی درونی و پیشینی است. بر اساس این دیدگاه، مغزی که اشیا را تشخیص می‌دهد، این کار را بر مبنای الگوهایی اولیه و پیش‌تنیده انجام می‌دهد، و این الگوها بیانی حسی از همان حالت تعادل مطلوبش هستند. مثلاً پیش‌فرض تعلق محرکهای دارای رنگ و بافت و سطح مشابه، به یک جسم یکتا، نتیجه‌ی طبیعی این نوع نگرش است (**Koffka.- 1935,** [۱۸۸]**Kohler.- 1947**[۱۸۹]).

این دیدگاه، همان بود که در نهایت به تکوین فرضیه‌ی شکل خوب انجامید، و برخی از اشکال را از نظر دستگاه پردازشی مغز مطلوب‌تر و ساده‌تر فرض کرد. در این بستر آزمایشهایی هم انجام گرفت و برخی از آنها هنوز هم اعتبار خود را حفظ کرده‌اند. مثلاً اگر شکلی پیچیده را به آزمودنی‌ها نشان دهیم و بعد عناصر موجود در آن را به طور منفرد به ایشان نشان دهیم، از میان آنها فقط برخی راکه شکل خوبی دارند به یاد می‌آورند (**Gottschaldt et al.- 1926**)[۱۳۶]. مثلاً اگر ترکیبی از اشکال متنوع هندسی به فرد نشان داده شود و بعد عنصری غیرسرراست (بخوانید غیرخوب) از آن را نشانش دهند، آن را به عنوان شکلی آشنا به جا نمی‌آورد. حتی اگر این کار برای بیش از صدبار هم تکرار شود! (شکل - ۱۸).

یک آزمون ساده‌ی دیگر این است که شکل نامنتظمی مثل (شکل - ۱۹) را به فرد نشان دهیم و بعد با انگشت روی بخش ناخوب آن را بپوشانیم. فرد با وجود اینکه به یاد می‌آورد که شکل اولیه مثلث نبوده، اما آن را به عنوان یک شکل ساده‌ی خوب (یعنی مثلث) تفسیر می‌کند (**Michotte et al.- 1964**[۲۳۰]).

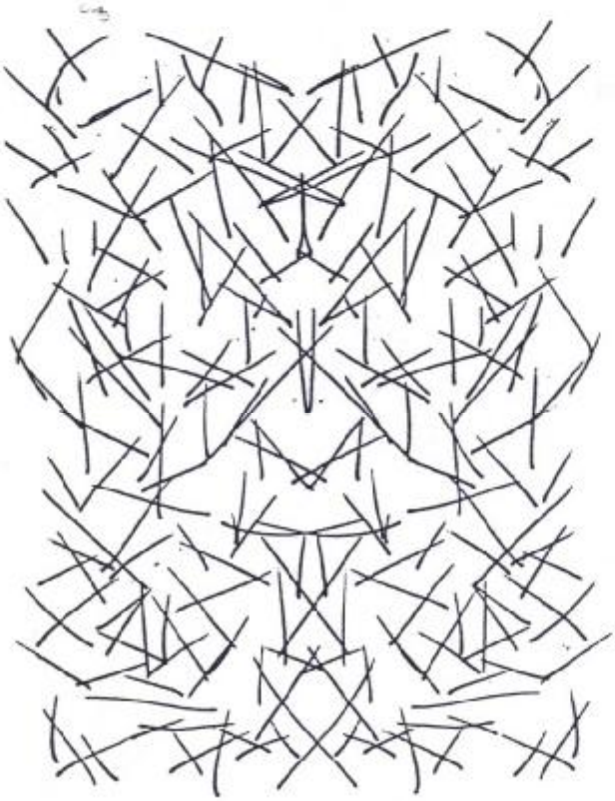
همچنین اگر شکلی ساده مانند (شکل - ۲۰) را به آزمودنی نشان دهیم، بیشتر تمایل دارد تا به جای درک عناصر آشنایی مثل حروف **M** و **W**، عناصر آشناتری مانند منحنی و مربع را درک کند (**Wertheimer et al.- 1923**).



شکل - ۱۸ شکل - ۱۹ شکل - ۲۰

اشکال دارای شکل خوب: بخشهای مورد تأکید سیستم پردازنده با خط پیوسته نشان داده شده‌اند.

همچنین می‌توان نشان داد که چشم وجود تقارن را در اشکال پیچیده و بی‌معنی به سرعت تشخیص می‌دهد، یعنی ساختاری که به طور خاص برای تشخیص تقارن تخصص داشته باشد در مغز تکامل یافته است (Ullman et al.- 1990)[۳۳۵]. (شکل-۲۱) نمونه‌ای از اشکال مورد استفاده در این نوع آزمونها را نشان میدهد. می‌بینید که وجود تقارن دو طرفی در آن را می‌توان بدون تلاش و تحلیل زیادی دریافت.

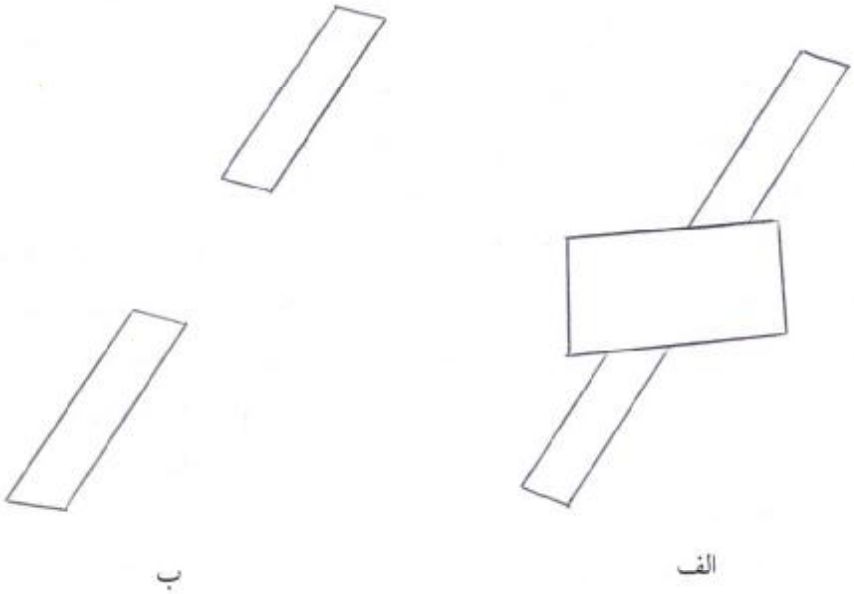


شکل-۲۱: تشخیص تقارن دوطرفی در اشکال پیچیده‌ی بی معنا.

ناگفته نماند که بر تمام انبوه شواهدی که توسط روانشناسان گشتالت گردآوری شد، این ایراد مشترک وارد است که آزمودنی‌هایشان معمولاً افراد بالغ بودند. تعمیم الگوهای تفسیر اطلاعات ورودی در افراد بالغ، هرچند با آنچه که این دانشمندان ادعا می‌کردند شباهت غیرقابل انکاری دارد، اما این دلیل کافی برای تعمیم آن به نوزادان نیست. اگر این نوع نگاه را بخواهیم به نوزادان هم تعمیم دهیم، با یک تسلسل منطقی روبرو می‌شویم. نوزاد برای اینکه صفات مختلف ورودی را به یک جسم یکتا نسبت دهد، باید ابتدا از یکتا بودن آن خبر داشته باشد، اما برای خبر داشتن از این امر، باید ابتدا صفات حسی مربوط به آن را در یک دسته گرد آورد و آن را به یک چیز نسبت دهد. یعنی اگر نوزاد بخواهد بفهمد که چه چیزهایی وجوه مختلف یک جسم هستند، باید ابتدا از یک جسم بودن آن خبردار باشد و این تسلسل اشکال‌برانگیز است.

برای آزمودن توانایی‌های شناختی نوزادان، یک روش مشهور وجود دارد به نام روش خوگیری / خوزدایی[۱]. این روش بر این مبنا استوار شده که نوزاد به اشیایی که به نظرش آشنا باشند، کمتر نگاه می‌کند و محرکهای بینایی تازه نظرش را بیشتر به خود جلب می‌کند. به این ترتیب با اندازه‌گیری مدت خیره شدن نوزاد به اشیای گوناگون، می‌توان فهمید آن شیء را به عنوان پدیده‌ای تازه درک می‌کند یا آشنا و قدیمی. این روش جالب برای آزمودن موجوداتی که کمینه‌ی رفتار را از خود نشان می‌دهند، در اوایل دهه‌ی شصت میلادی توسط دانشمندی به نام فنتز[۲] ابداع شد.

به کمک همین روش نشان داده شده که نوزاد پنج یا شش ماهه، بر هم‌افتادگی اشیای متحرک را به عنوان رابطه‌ی طبیعی بین دو جسم دارای عمق‌های متفاوت تعبیر می‌کنند. یعنی اگر وسط میله‌ای متحرک را توسط کارتی بپوشانیم، کودک چنین فرض می‌کند که میله در پشت کارت هم ادامه دارد و آن را به عنوان دو تکه‌ی جدا از هم فرض نمی‌کند. گویا مهمترین برگه‌ی مورد نیاز برای این فرض عبارت باشند از حرکت هم‌جهت و هم‌مقدار. جالب این که نوزادان یاد شده در برخورد با اشیای ساکن دارای برهم افتادگی این درک پیوسته را از مفاهیم ندارند و در مورد منظره‌ی پیش رویشان تحلیل خاصی نمی‌کنند. به بیان دیگر در (شکل - ۲۲) به هر دو گزینه‌ی الف و ب به مدتی برابر نگاه می‌کنند. ظاهراً رشد روند درک بینایی در مورد اجسام ساکن تا دو سالگی ادامه می‌یابد و تنها پس از آن است که درک درستی از اشیای ساکن حاصل می‌شود (**Schmidt et al.- 1985**)[۳۲۲].



شکل-۲۲: ترجیح بینایی نوزاد باروش خوگیری/خوزدایی.

نتیجه آنکه نوزاد در برخوردهای اولیه با جهان خارج مدلی از جهان را در ذهن خود می‌سازد که در آن شاخصهایی مانند پیوستگی و حرکت اهمیت اساسی دارند. آنچه که نوزاد از محیط خارج درک می‌کند، نه تنها بر اساس داده‌های حسی، بلکه به کمک پردازش این داده‌ها که به کمک این مدل جهانشمول پشتیبانی می‌شود، انجام می‌گیرد. و این تا حدودی نشانگر این اصل است که بازنمایی را باید به عنوان عاملی مستقل از خودآگاهی در نظر گرفت. به عبارت دیگر، این مفهوم بازنمایی -که همان مدل‌سازی از جهان را معنا می‌دهد- پدیده‌ای دودویی نیست و در هر سیستمی

۱- habituation/ dishabituation

۲- Fentz

به فراخور پیچیدگیش در سطحی وجود دارد.

ویلیام جیمز و پیاژه، معتقد بودند که نوزادان به هنگام تولد فاقد توانایی مربوط کردن محرکهای گوناگون وابسته به یک پدیده‌ی خارجی به هم هستند. به عبارت دیگر، بنابر نظر این دانشمندان، مشکل پیوستگی[1] در مورد نوزادان قابل تعریف نبود. در مدل این افراد، چنین فرض می‌شد که نوزاد ابتدا حواسی پراکنده و مستقل دارد و به تدریج با آموختن همراهی برخی از محرکها با یکدیگر، بین آنها پیوستگی برقرار می‌کند و مجموعه‌ای از محرکها (مثل بو و مزه و رنگ سرخ) را به یک پدیده‌ی خارجی (مثل سیب) نسبت می‌دهد.

چنان که دیدیم، شواهدی که در این دو سه دهه‌ی اخیر در مورد رشد آگاهی نوزادان جمع‌آوری شده است، نشان می‌دهد که این دیدگاه چندان هم درست نیست. نوزادی که تازه به دنیا می‌آید می‌تواند بین محرک بینایی ناشی از تصویر یک پستانک با شکل خاص، و محرک پساوایی ناشی از همان محرک هنگامی که در دهانش است، ارتباط برقرار کند. همچنین مفاهیمی مانند تداوم در فضا و زمان و پیوستگی فضا را هم در سنین خیلی پایین -به ترتیب چهار و هشت ماهه- درک می‌کند (**Mandler.- 1990**)[۲۱۷]. به بیان دیگر، یکتا بودن بازنمایی مربوط به یک پدیده‌ی یکتا در مغز نوزاد، ظاهراً مبانی پیش‌تنیده‌ی ژنومی دارد (**Mandler.- 1985**)[۲۱۶].

با اینهمه چنان که در مورد نوزادگربه دیدیم، رشد و تکوین سیستم پیچیده‌ی پردازش اطلاعات بینایی بی‌تردید در اثر محرکهای محیطی تعیین می‌شود. هوبل و ویسل در جریان آزمایشهای مشهور خود در دهه‌ی هفتاد -که منجر به بردن جایزه‌ی نوبل هم شد- نشان داده بودند که محرومیت چشم از محرک بینایی (حتی به مدت چند هفته و حتی فقط در یک چشم) اگر در دوران نوزادی جانور رخ دهد، منجر به اختلال در شکل‌گیری ساختاری گیرنده‌ها و پردازنده‌های سطح پایین بینایی می‌شود. به عنوان مثال، چنین محرومیتی می‌تواند به تغییر کردن الگوی قرارگیری اعصاب **V4** بر روی جسم زانویی کناری منجر شود. این شواهد را می‌توان چنین تعبیر کرد که آکسون‌های نورون‌های برنده‌ی طلاعات بینایی در سنین پایین برای جایگیری بر **LGB** با یکدیگر رقابت می‌کنند و یکی از عوامل تعیین کننده‌ی شایستگی آنها برای موفقیت در این رقابت مفید بودنشان است. ناگفته پیداست که ساده‌ترین معیار برای سنجش فایده‌ی یک گیرنده، شمردن تعداد تحریکاتی است که به مغز مخابره می‌کند.

آزمونهای دیگری که توسط استرایکر و هریس بر سازماندهی شیمیایی نورون‌ها انجام شد، نشان داد که تأثیر سم تترودوتوکسین[2] بر گانگلیون شبکیه‌ای می‌تواند باعث تغییر الگوی جایگیری آکسون‌های مربوطه در قشر بینایی شود. همچنین تولید پتانسیل‌های عمل مصنوعی در تمام نورون‌های عصب بینایی به طور همزمان، مانع تقسیم‌بندی[3] اعصاب بینایی می‌شود (**Shatz.- 1992**)[۲۸۵]. یعنی کارکرد و تجربه تا حدود زیادی بر ماده‌ی خام تولید شده بر اساس الگوهای ژنومی تأثیر می‌کند و حتی می‌تواند در سازماندهی آناتومیک کلان آن نیز منشأ اثر شود.

۱- **binding problem**

۲- **Tetrodotoxin**: سمی که ایجاد پتانسیل فعالیت در نورون‌ها را مهار می‌کند.

۳- **segregation**: تقسیم شدن اعصاب خروجی از چشم و تبدیلشان به دسته‌هایی با بازنمایی بخشهای مختلف میدان بینایی. هریک از این دسته‌ها اطلاعات بخش مشخصی از شبکیه را منتقل می‌کنند و این اطلاعات را به نقاط مشخصی از جسم زانویی کناری مخابره می‌کنند.

۴-۸) تصویرسازی ذهنی:

از دیگر حوزه‌های مهم مطرح در عصب‌شناسی بینایی، قلمرو تصویرسازی ذهنی[۱] است.
به نظر می‌رسد که هر مغز سالم انسانی، دارای این توانایی‌های پایه باشد:
۱) می‌تواند تصاویری را -مستقل از محرک‌هایی که به آن وارد می‌شوند- در خود بازنمایی کند.
۲) می‌تواند عناصر این تصویر ذهنی را تحلیل کند یا به دنبال چیز خاصی در آن بگردد.
۳) می‌تواند این تصویر را تا زمان مورد نظرش در ذهن نگه دارد.
۴) می‌تواند بخشهای مختلف این تصویر را به صورت جزئی یا کلی تغییر دهد.
به مجموعه‌ی این توانایی‌های مغز، که گویا در قشر مخ کد می‌شوند، تصویرسازی ذهنی می‌گویند. در این بخش، به برخی از ویژگیهای این تصویرسازی اشاره خواهد شد.

نخستین تجربیات علمی انجام شده در مورد تصویر ذهنی، توسط روانشناسان گشتالت انجام گرفت. این پژوهشگران، مجموعه‌ای از آزمونهای وابسته به حافظه را طراحی کردند که در نهایت -چنانکه گفتیم- به خلق مفهوم *شکل* خوب انجامید. بر اساس این آزمایش‌ها، الگوهای رایج در ذهن افراد برای حفظ کردن یک تصویر در خود مورد سنجش قرار گرفت. مثلاً در یکی از این آزمونها تصویری ساده را برای مدت کوتاهی روی شبکیه‌ی افراد می‌تاباندند و بعد از مدت کوتاهی یکی از عناصر وجود در همان شکل را بار دیگر به همان افراد نمایش می‌دادند و از آنها در مورد آشنا بودن آن پرسش می‌کردند. این تجربیات نشان داد که مغز اشکال ساده را بر اساس قواعد ساده‌ای به بخشهای خوب می‌شکند و آنها را به عنوان مصالح خام حفظ در حافظه یا بازآفرینی ذهنی مورد استفاده قرار می‌دهد. مثلاً در (شکل- ۱۰) ستاره‌ی داوود، مثلث عنصر خوب، و متوازی‌الاضلاع بخش بد را تشکیل می‌دهد (**Reed et al.- 1974**)[۲۶۷]. به این ترتیب عناصر باز زاینده‌ی تصاویر ذهنی، مانند اشکال هندسی ساده به عنوان ژئون‌های اولیه و ابتدایی در نظر گرفته شدند.

از آن زمان به بعد شواهد زیادی گرد آمده‌اند که از اشتراک عمل سیستم‌های پردازنده‌ی حسی با سیستم‌های تولید کننده‌ی تصورات مربوط به آن حس حکایت می‌کنند. به عنوان مثال اگر از آزمودنی خواسته شود تا تصویری را در ذهن نگه دارد، و در همین حال انجام عملی در مورد تشخیص یک عنصر بینایی را از او بخواهیم، می‌بینیم که داشتن تصویر ذهنی با درک تصویر خارجی تداخل می‌کند و انجام آن را مختل می‌سازد. این در حالی است که همین فرد می‌تواند بدون اشکال یک عمل تشخیص شنوایی را انجام دهد. گویا این امر در مورد همه‌ی حواس درست باشد. یعنی تکرار کردن یک صدای خاص در ذهن هم با تشخیص شنوایی تداخل می‌کند، اما اثری بر درک بینایی ندارد (**Segal et al.- 1970**)[۲۸۲].

تجربیات اولیه در زمینه‌ی این پدیده، به روشنی نشان دادند که امکان ترکیب کردن عناصر (کلی یا جزئی) بی‌ربط با هم وجود دارد (**Pylyshyn et al.- 1973**)[۲۶۲]. مثلاً همه‌ی ما می‌توانیم انشتین را در حالی که سوار بر شتر است، یا هیتلر را با سبیل پهن شبیه استالین تصور کنیم. این توانایی در توافق کامل با نظریه‌ی میشکین است که دو سیستم **کجا؟** و **چی؟** را در دو بخش متفاوت از مغز -به ترتیب آهیانه‌ای پشتی و گیجگاهی زیرین- فرض می‌کرد. در این نظریه، بخشهای متفاوتی از مغز وظیفه‌ی بازشناسی اشیا و درک روابط بین آنها را بر عهده دارند.

۱- **mental imagery**

شواهد دیگری در دست است که نشان می‌دهد مغز با یک تصویر ذهنی، درست شبیه به یک تصویر واقعی برخورد می‌کند. اگر از آزمودنی سالمی خواسته شود که زنبوری را در اندازه‌ی طبیعی مجسم کند، و بعد از او سوالی جزئی در مورد این موجود بپرسیم[۱]، معمولاً فرد نوعی بزرگ‌کردن تصویر[۲] را گزارش می‌دهد. این اتفاق در صورتی که زنبور از ابتدا در اندازه‌ای ده برابر عادی مجسم شده باشد، نمی‌افتد. همچنین درست مثل تصاویر واقعی، تحلیل تصاویر ذهنی ریز مجسم شده، زمانی بیشتر از تصاویر درشت‌تر می‌گیرد (**Kosslyn et al.- 1983**)[۱۹۳].

در سیستم بینایی جذب و بازآفرینی اطلاعات از الگویی مشابه پیروی می‌کند. به این معنا که چشم به هنگام جذب اطلاعات مربوط به یک شکل، حرکاتی را با مکثها و تمرکزهایی در نقاط مختلف تصویر موجود در پیش رویش انجام می‌دهد، که در نهایت تعدادی تصویر متفاوت[۳] را با اختلاف زمانی مشخصی به مغز مخابره می‌کند. این تصاویر در پردازش نهایی مغزی در کنار هم قرار گرفته و تصویری یکتا از محیط پیرامون ما را به دست می‌دهد. به نظر می‌رسد مکانیسم بازخوانی اطلاعاتی از این دست هم الگویی مشابه را در خود داشته باشد. به عنوان مثال، راه معمول برای خواندن و هجی کردن یک واژه، این است که در جهت خاصی[۴] به کدهای پیاپی تشکیل دهنده‌ی واژه نگاه کنیم و بعد ترکیبشان را به عنوان یک واژه‌ی منفرد درک کنیم. جالب اینکه بازآفرینی واژه‌ای مشابه در ذهن هم از چهارچوبی مشابه پیروی می‌کند. یعنی هجی کردن یک واژه‌ی فارسی در ذهن، هنگامی که بخواهیم حروف آن را از راست به چپ بخوانیم ساده‌تر است تا از چپ به راست (**Hebb.- 1968**)[۱۵۱].

ویژگی‌ها یاد شده، اصول پایه‌ای هستند که باید به هنگام اندیشیدن در مورد تصویرسازی ذهنی به آنها توجه کرد. حالا بد نیست برخی از راهکارهای آزمایشی و نتایج به دست آمده در مورد این پدیده را با تفصیل بیشتری مورد بررسی قرار دهیم.

یک مجموعه از جالبترین یافته‌ها در مورد تصویر ذهنی، به آزمونهایی مربوط می‌شود که بر روی بیماران مبتلا به نشانگان نادیده‌انگاری[۵] انجام گرفته است. در این آزمونها، از بیمار خواسته می‌شد تا خیابانی را که پیش از آسیب مغزی و بروز نشانگان با آن آشنایی کامل داشته در ذهن مجسم سازد و آن را توصیف کند. بیمار پس از انجام این کار، تنها بخش راست تصویر را توصیف می‌کند و از کوچه‌ها و ساختمانهای موجود در سمت راست نام می‌برد. جالب این که اگر از همین بیمار بخواهیم در سوی دیگر همان خیابان خود را مجسم کند و بار دیگر عمل توصیف را انجام دهد، درست عکس عمل قبلی را انجام خواهد داد، یعنی این بار هم چپ را نادیده گرفته و به ساختمانهای سمت راست اکتفا خواهد کرد، اما اینبار به دلیل مشترک بودن تصویر خیابان، عناصر موجود در توصیف قبلی را از قلم خواهد انداخت و مناظر مکمل آن را توصیف خواهد کرد. درست مثل اینکه به راستی منظره را ببیند و از تحلیل نیمی از آن ناتوان باشد (**Bisiach et al.- 1978**)[۵۵].

همچنین افرادی که به دلیل آسیب عصبی دچار بینایی‌پریشی (**Agnosia**[۶]) هستند، همان اختلال را در درک تصاویر

۱-مثلاً در مورد رنگ شاخک یا شکل آرواره‌اش سوال کنیم.

۲-**zoom**

۳-به دلیل حرکت چشم و افتادن بخشهای مختلف تصویر بر لکه‌ی زرد، تصاویر متفاوتی به مغز مخابره می‌شود.

۴-از راست به چپ در فارسی یا چپ به راست در زبانهای اروپایی.

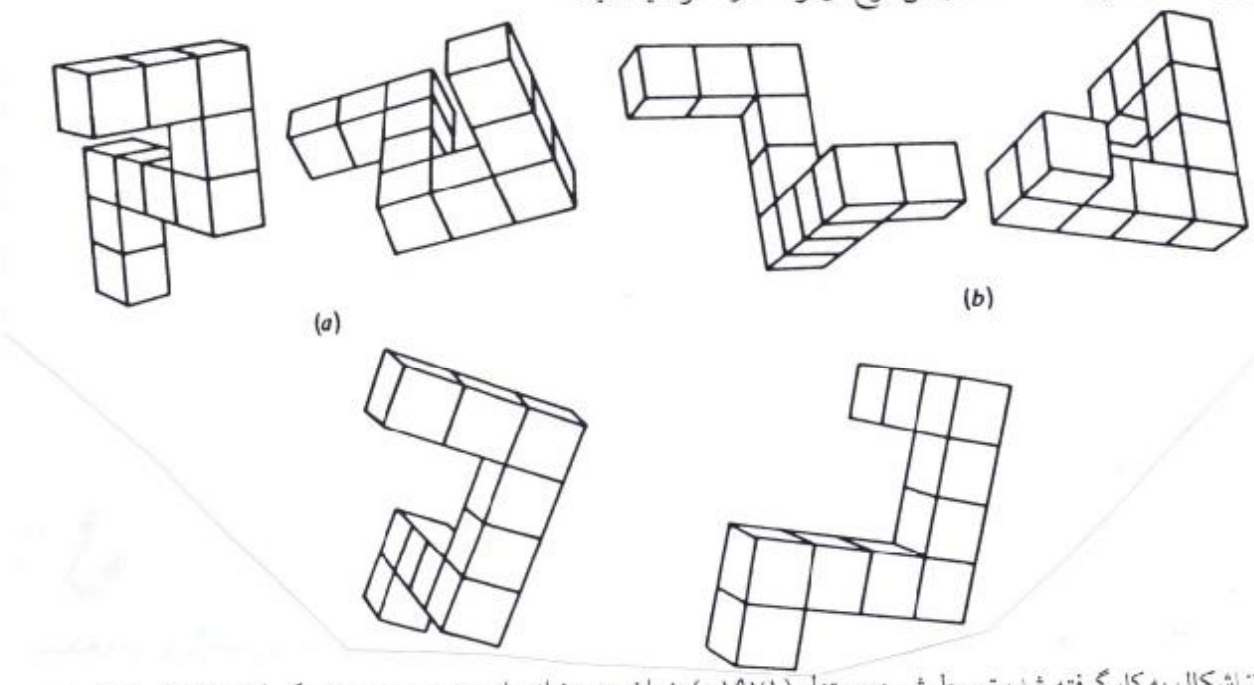
۵-**Neglect syndrome**: نشانگان خاصی که در اثر آسیب به نیمکره‌ی راست بروز می‌کند. مبتلایان به این بیماری از درک محرکهای حسی موجود در نیمه‌ی چپ بدن خود ناتوانند.

۶-یعنی ناتوانی در تشخیص و بازشناخت عناصر دیده شده، به دلیل ناتوانی از پردازش عالی اطلاعات بینایی در مغز.

ذهنی خود هم نشان می‌دهند (**Levine et al.- 1985**)[۲۰۵]. به عنوان مثال بیماری که دچار کورچهرگی است، نمی‌تواند با تصور کردن چهره‌ی یک فرد مشهور -مثلاً علامه دهخدا- عناصر چهره‌ی او -مثلاً داشتن یا نداشتن ریش- را توصیف کند.

امروز آزمایشهای بسیار پیچیده‌تری بر روی آزمودنی‌های سالم انجام می‌شود تا الگوهای عصبی درگیر در تصویرسازی ذهنی را تحلیل کنند. مثلاً در یک آزمون از افراد خواسته شد تا در ذهنشان یک نوار متحرک مار مانند را مجسم کنند، که از در جهاتی دیکته شده حرکت کند. بعد از آن چند دنباله‌ی طولانی از جهات به آزمودنی داده شد. نتایج نشان داد که اگر پیچیدگی این تصویر ذهنی از حد خاصی بگذرد، افراد آن را به چند توالی دو یا سه‌تایی می‌شکنند و در حالیکه قادرند این تکه‌های گسسته را به یاد آورند، از بازسازی کل مجموعه ناتوانند. نگارنده هم با روشی مشابه آزمونهایی انجام داده است که در انتهای این رساله به تفصیل خواهد آمد.

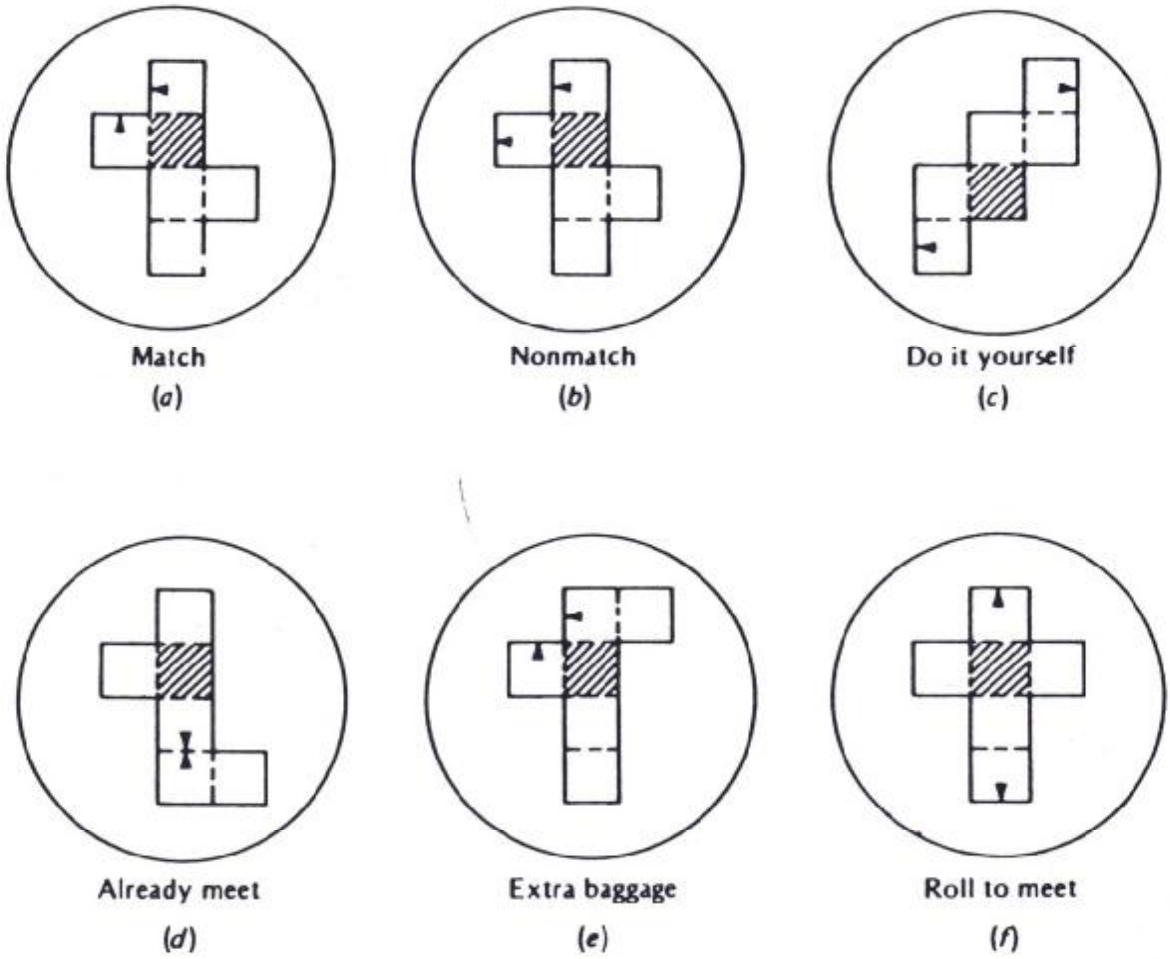
در اوایل دهه‌ی هفتاد میلادی، آزمونهای دیگری با عنوان چرخش ذهنی[۱] پیشنهاد شد که نتایج چشمگیر و جالب دیگری را به بایگانی اطلاعات به دست آمده در مورد تصویر ذهنی افزود. در جریان این آزمایشات مجموعه‌ای از تصاویر ساده‌ی فضایی به فرد نشان داده می‌شد که یک رشته از مکعبهای ساده را نشان می‌داد که با ترتیب خاصی به دنبال هم قرارگرفته بودند. بعد از آزمودنی خواسته می‌شد تا از بین چند گزینه‌ی شکلی، موردی را که با نمونه‌ی اولیه یکسان است جدا کند. این گزینه‌ی مورد نظر هم در واقع عبارت بود از همان شکل فضایی اولیه، که در جهت خاصی در فضا چرخشی کرده باشد. نتایج دور اول این آزمایشات نشان داد که زمان مورد نیاز برای تشخیص یکسان بودن دو شکل فضایی -در واقع زمان لازم برای چرخاندن یکی در ذهن، و تبدیلش به دیگری- با زاویه‌ی چرخش در فضا نسبتی خطی دارد (**Shepard & Metzler.- 1972,** [۲۸۷] **Shepard & Cooper.- 1982** [۲۸۸]). در (شکل-۲۳) نمونه‌ای از اشکال مورد استفاده در این نوع آزمون‌ها را خواهید دید.



شکل-۲۳: اشکال به کار گرفته شده توسط شپرد و متزلر (۱۹۷۱.م). زمان مورد نیاز برای تصمیم در مورد یکسان بودن هر جفت حجم فضایی با بیشتر شدن مقدار چرخش فضایی مورد نیاز برای تطبیقشان بر هم افزایش می‌یابد.

۱- **mental rotation**

در آزمون دیگری از داوطلبان خواسته می‌شد تا به یک مکعب باز شده -یعنی شش مربع متصل به هم- نگاه کنند و با توجه به فلشهایی که در کناره‌های مکعبها گذاشته شده بود، بگویند این فلشها پس از بسه شدن مکعب با هم برخورد می‌کنند یا نه. نتایج نشان داد که زمان پاسخگویی به این پرسش با تعداد سطوحی که باید برای بسته شدن مکعب در ذهن حرکت داده می‌شدند، رابطه‌ی خطی دارد (**Shepard & Feng.- 1972**)[۲۸۷]. در (شکل-۲۴) نمونه‌ای از اشکال مربوط به پرسشهای یاد شده را خواهید دید.



شکل-۲۴: نمونه‌ای از مکعبهای باز شده‌ی طراحی شده توسط متزلر و فِنگ (۱۹۷۲.م). زمان مورد نیاز برای پاسخگویی به وضعیت فلش‌ها نسبت به هم پس از بسته شدن مکعب، با بیشتر شدن تعداد وجوهی که باید حرکت داده شوند بیشتر می‌شود.

همچنین در آزمون دیگری، از افراد خواسته می‌شد تا مشابهت یا عدم مشابهتِ بین دو تصویر دارای تفات ابعاد را تشخیص دهند. تجربیات نشان داد که زمان مورد نیاز برای تشخیص یکسان بودن دو شکلِ دارای ابعاد متفاوت،

رابطه‌ای خطی با تفاوت اندازه‌شان دارد (Bundesen & Larsen.- 1975)[۶۷].

از دید آناتومیک، شواهدی در دست است که تخصص یافتن نیمکره‌های چپ و راست را در مورد تصویرسازی‌های گوناگون تأیید می‌کند. آزمایش بر افراد دارای مغز دوپاره نشان داده که نیمکره‌ی راست نسبت به نیمکره‌ی چپ در چرخاندن اشیای ذهنی توانایی بیشتری دارد. به عبارت دیگر، آسیب به نیمکره‌ی راست می‌تواند باعث ایجاد اختلال در این کنش ذهنی شود، اما آسیب به نیمکره‌ی چپ چنین اثری ندارد (Ratcliffe et al.- 1979)[۱۹۲]. البته آزمونهای بعدی نشان داد که نیمکره‌ی چپ هم در عمل چرخش ذهنی وظایفی فرعی را بر عهده دارد (Kosslyn et al.- 1985)[۱۹۲].

آزمونهای دیگری که بر روی بیماران دارای مغز دوپاره انجام گرفته، نشان داده است که توانایی تولید تصاویر ذهنی از اجسام منفرد، و مقایسه‌ی این تک تصاویر با هم به طور متقارن در هر دو نیمکره قرار گرفته‌اند. اما تغییر دادن بخشهای متفاوت موجود در یک تصویر فقط به نیمکره‌ی چپ ارتباط دارد. یعنی اگر از بیمار بخواهیم میمونی را با گوش گربه تصور کند، تنها در صورتی می‌تواند این کار را انجام دهد که نیمکره‌ی چپ مغزش فعال باشد (Kosslyn et al.- 1984,[۱۱۱] Farah et al.- 1985[۱۹۲]). به بیان دیگر اگر نیمکره‌ی چپ فرد با مغز دوپاره را توسط پنتوتال سدیم از کار بیندازیم، توانایی تولید تصاویر ذهنی ترکیبی در او از بین می‌رود.

شگفت‌انگیز اینکه شواهد فراوانی در این زمینه وجود دارد که بخش کمی از جمعیت انسانی، اصولاً توانایی تولید تصویر ذهنی خودآگاه را ندارند! اولین شاهد در این مورد توسط دانشمند مشهور فرانسیس گالتون[۱] ارائه شده است. او در اواخر قرن نوزدهم می‌زیست و در یک آزمون نه چندان آماری، از اطرافیانش خواست تا عناصر موجود بر سر میز صبحانه‌شان را در صبح همان روز به یاد آورند. او با حیرت دریافت که ۱۲٪ از افراد مورد آزمایش، قادر به تولید تصویر ذهنی در مورد خواسته شده نیستند. به عبارت دیگر این افراد نمی‌توانستند منظره‌ی میز مورد نظر را در ذهن بازآفرینی کنند و بعد به پرسشهای انجام گرفته در این مورد پاسخ دهند (Galton.- 1883)[۱۲۵].

آمارهای جدیدتر نشان داده که در کل ۳٪ افراد جمعیت شهرنشین جوامع صنعتی فاقد توانایی یاد شده هستند. این ناتوانی در برخی از گروههای قومی و فرهنگی با بسامد بسیار بالاتری دیده می‌شود. به عنوان مثال درصد بالایی از مردم قبیله‌ی مِنسا[۲]، با وجود کسب نمرات هوشبهر خوب و زیاد، فاقد این توانایی عصبی هستند (McKeller et al.- 1965)[۱۹۲].

این مطالب در ابتدا به نظر ضد و نقیض می‌رسند، چراکه هوشبهر ظاهراً باید رابطه‌ی معکوسی با این ناتوانی داشته باشد. ولی تحلیلهای جدیدتر نشان داده که می‌توان همه را در چهارچوبی سازگار و معنادار گنجاند. در واقع باطلنمای یاد شده به این دلیل پدید می‌آید که پیش‌فرض ساده‌انگارانه‌ی یگانه بودن توانایی تجسم ذهنی درست فرض شده است. در واقع توانایی بازنمایی تصاویر موهوم، یک پدیده‌ی خاص نیست، و در واقع مجموعه‌ای از قابلیت‌های پردازشی قشر مخ را در بر می‌گیرد. آزمونهای یاد شده، در واقع تنها بخشی از این توانایی‌ها را محک می‌زدند و به همین دلیل هم در سازگار کردنشان با مفاهیمی مانند هوشبهر و ادراک بینایی ناتوان می‌ماندند. با در نظرگرفتن این واقعیت که تصویرسازی ذهنی مجموعه‌ای از پردازشهای درونی وابسته به سیستم بینایی است، آشکار می‌شود که این مقوله انحصاری با یک سیستم مشخص و محدود عصبی، و حتی با یک نیمکره‌ی تنها هم ندارد (Kosslyn et al.- 1978)[۱۹۴]، و بنابراین نقص بخشی از آن، به معنای خراب بودن کل سیستم یاد شده نیست.

۱- Francis Galton

۲- Mensa

گروهی از پژوهشگران، توانایی چرخاندن تصاویر در ذهن و بازسازی تصاویر را کارکردی مربوط به زندگی خاص نخستیهای درخت‌زی و شکارچی می‌دانند، و به این ترتیب ریشه‌ای تکاملی برای آن پیشنهاد می‌کنند. بر اساس تحلیل این دانشمندان، مردان به دلیل خوی‌شکارگری و پیشینه‌ی تکاملی شکارچی بودنشان در دودمان نخستی‌ها باید توانایی بیشتری در تولید و تغییر تصاویر ذهنی داشته باشند. در واقع هم آزمونهایی وجود دارند که نشان می‌دهند قدرت چرخاندان تصاویر در ذهن در زنان و مردان متفاوت است و مردان در آزمونهای مربوط با این توانایی نمره‌ی بیشتری -با انحراف معیار در حد یک- کسب می‌کنند (**Collins & Kimura.- 1997**)[۸۲]. با اینهمه این دیدگاه تکاملی در مورد تصویر ذهنی مورد اعتراض شدید پژوهشگران زنگرا[۱] است.

۴- ۹) چگونگی بازنمایی تصاویر ذهنی:

هرنوع بازنمایی، دست کم نیازمند به دو نوع چهارچوب درونی است. نخست دستور[۲]،و دیگری معنا[۳].
دستور، عبارت است از مجموعه قوانینی که ارتباط درونی کدهای تشکیل دهنده‌ی الگوهای بازنمایی شده را تعیین می‌کند. به بیان دیگر، قواعدی که چینش و رابطه‌ی درونی بین نمادهای سازنده‌ی مدل از جهان خارج را معین می‌کنند، دستور آن فرض می‌شوند. بگذارید برای روشن‌تر شدن مفهوم مثالی بزنم. زبان طبیعی[۴] یک نمونه مشهورترین سیستم‌های بازنمایی شناخته شده است. این سیستم از مجموعه‌ای از کدها تشکیل شده که جهان خارج را به ترتیبی ویژه بازنمایی می‌کند. به عنوان مثال، مجموعه‌ی سه کد صوتی **ق، ل، و م** در کنار یکدیگر پدیده‌ای -مانند قلم- را در جهان خارج بازنمایی می‌کنند. همچنین مجموعه‌ی پیچیده‌تری از همین کدها، می‌تواند مفهومی پیچیده‌تر را مدل‌سازی کند. مثلاً: **قلم من روی میز است.**
حالا پاسخ این پرسش که *برای شکل‌گیری مدل‌های مزبور چه قواعدی باید بر ترکیب این کدها حاکم باشند؟*، دستور سیستم بازنمایی ما را می‌سازد. مثلاً در دستور زبان فارسی -به عنوان یک مدل بازنمایی،- قرار گرفتن فاعل قبل از مفعول و فعل در آخر جمله یک دستور است. عدم امکان فرارگیری بیش از سه حرف بی‌صدا در پشت سر یکدیگر هم دستور دیگری محسوب می‌شود. به این ترتیب تمام الگوهای آرایش قابل تشخیص در یک زبان -در تعریف مورد نظر ما- قواعدی را تشکیل می‌دهند که می‌تواند دستور آن زبان خوانده شود.

در مورد ساز و کار مغز هم این دستورها وجود دارند. دستورهای رایج در سیستم بازنمایی عصبی، از سطوحی بسیار ساده آغاز می‌شوند و به مراتب پیچیده‌تر منتهی می‌گردند. به عنوان مثال این امر که در سیستم شبکیه پدیده‌ی مهار جانبی با آن شروط و شرایط خاص خود انجام شود، یک دستور است، و ایجاد نوارهای جداکننده‌ی مک[۵] در اطراف اشیا هم یک دستور محسوب می‌شود. بخش عهده‌ی دستورات حاکم بر سیستم پردازنده‌ی مغز هنوز شناخته نشده‌است و تمام مدل‌های مورد بحث ما در اینجا، و تلاش نهایی همین رساله، دستیابی به برخی از این دستورات سطح بالاست.

معنا، عنصری به همین اندازه -و حتی به قول گروهی بیشتر از این اندازه- مهم است. معنا عبارت است از وجود

۱- **feminist**
۲- **syntax**
۳- **semantic**
۴- **natural language**
۵- **Mac bands**

محتوا در مجموعه کدهای تعبیر شده در یک مدل بازنمایی. یعنی اگر باز به مثال زبانی خود برگردیم، این امر که **قلم** چیزی در جهان خارج را مشخص می‌کند، اما **لمق** این کار را انجام نمی‌دهد، یک امر مربوط به معناست. معنا، در واقع مربوط می‌شود به محتوای اطلاعاتی مجموعه‌ای از کدها، برای سیستم پردازنده و بازنمایی کننده. اگر کدهای مزبور برای سیستم دارای محتوای اطلاعاتی باشند، آنگاه می‌گوییم کدها معنا دارند.
بر این اساس، دو نوع بازنمایی در دستگاه عصبی ما قابل تصور است:

۴-۹-الف) بازنمایی گزاره‌ای[۱]:

در این نوع بازنمایی، مدل ساخته شده از جهان خارج، به صورت مجموعه‌ای از گزاره‌ها در دستگاه عصبی ما شکل می‌گیرد. در این نوع بازنمایی، دستور سه ویژگی دارد:
نخست آنکه اشیای جهان خارج، صفات آنها، و روابط بین‌شان توسط مجموعه‌ای از کدهای پایه دسته‌بندی می‌شوند. درست مثل زبان که در آن مجموعه‌ای از کدها مفاهیمی مانند *قلم*، *سیاه*، و زیر را بازنمایی می‌کنند.
دوم آنکه هر گزاره‌ی بازنمایی شده در این سیستم حتماً دست کم یک رابطه با سایر پدیده‌های همسایه‌اش را در خود دارد. یعنی گزاره‌ای مانند *قلم میز* در این سیستم ناقص محسوب می‌شود و لزوماً رابطه‌ای از نوع زیر هم در این میان لازم است تا دستور پایه‌ی گزاره‌های بازنمایانده شده را کامل کند.
سوم این که برخی از روابط یاد شده دارای محدودیتها و قواعد خاص مربوط به خود هستند. مثلاً زیر لزوماً باید در مجاورت دو پدیده‌ی ملموس به کار رود. یعنی گزاره‌ای مانند *قلم زیر هم* در سیستم بازنمایی کامل محسوب نمی‌شود.
در بازنمایی گزاره‌ای، معنا دارای چهار ویژگیست:
نخست این که معنای کدهای منسوب به جهان خارج تعاریفی شبکه‌ای[۲] و نادقیق دارد یعنی شباهتی با تعریف لغت‌نامه‌ای واژگان دارد که معمولاً پس از طی چرخه‌ای دوباره به روی خود برمی‌گردند.
دوم این که گزاره‌های پدید آمده از این واژگان پایه‌ی نسبی، بر خلاف گزاره‌های زبانهای طبیعی، روشن و دقیقند و ابهام در آنها راه ندارد. مثلاً بر خلاف زبان طبیعی‌ای مانند فارسی، "*آن یکی شیر است اندر بادیه*" -اگر نوعی گزاره‌ی بازنماینده در آن سیستم باشد- تنها بر یک معنا دلالت می‌کند.
سوم این که این مفهوم بازنمایی شده، حالتی انتزاعی دارد. بیان این خاصیت را می‌توان به سه بخش تحویل کرد:
۱) در سیستم مورد نظر ما ممکن است برخی از ماهیتهای ذهنی -که بازنمایی هم می‌شوند و معنا هم دارند- فاقد تصویر ذهنی خام باشند. مثل مفهوم محبت.
۲) گاه معنای بازنمایانده شده به یک پدیده‌ی خارجی تنها اشاره نمی‌کند، بلکه مجموعه‌ای از پدیده‌ها را در بر می‌گیرد. مثل مفهوم ماهی.
۳) معانی بازنمایی شده گاه فاقد ارتباط با کیفیتی[۳] خاص هستند. یعنی به یک کانال حسی خاص مثل بینایی وابسته نیستند. مثل مفهوم عجیب.

۱- propositional representation
۲- arbitrary
۳- modality

۴-۹-ب) بازنمایی نقشه‌ای[۱]:

در این مدل از بازنمایی، تصاویر برداشت شده از جهان خارج به همان شکل مصور و نقشه مانند در دستگاه عصبی ثبت می‌شوند و در صورت لزوم به همان ترتیب هم بازخوانی می‌شوند. این نوع بازنمایی، بر خلاف مورد قبل ابهام بیشتری دارد و کدهایی مجزا از خود تصاویر در آن قابل تعریف نیست. دستور در این نگرش دارای سه ویژگی است:
نخست این که نمادها تنها از نقطه یا فضای خالی تشکیل یافته‌اند. یعنی تنها دو کد برای آن وجود دارد. (بر خلاف مدل گزاره‌ای که کدهای متنوع عصبی -هم ارز حروف الفبایی- برایش قابل فرض بود.)
دوم این که این نقاط یا حالت پراکنده دارند و یا با هم متصلند، که در حالت اخیر خطوط و سطح و احجام را می‌سازند. (یعنی بر خلاف مدل قبل روابط بین کدها هم حالت صفر و یکی[۲] دارد.)
سوم این که قانون مربوط به ترکیب نقاط یک قاعده‌ی کمینه است و به هر نقطه‌ای آزادی نامحدود می‌دهد که در هر مختصاتی از فضای بازنمایی شده حضور یابد. یعنی احتمال حضور یک نقطه‌ی معنی‌دار در بخشهای گوناگون فضای فاز بازنمایی شده وجود دارد.

در بازنمایی نقشه‌ای، معنا دارای دو ویژگی مهم است:
نخست این که فاقد معنای نسبی و شبکه‌ای است. یعنی معنای خارج از تصویر ثبت شده در سیستم بازنمایی نمی‌شود.
دوم این که رابطه‌ی بین معانی توسط قوانین ترکیبی خاص بیان نمی‌شوند، بلکه برعکس رابطه‌ای یک به یک بین تصویر ثبت شده و معنایش وجود دارد.

دقت داشته باشید که در هر دو مدل یاد شده از بازنمایی، کدها عبارتند از فعالیتهای تکرارپذیر عصبی، و دستورات عبارتند از قوانین پیش‌تنیده یا آموخته شده‌ی حاکم بر پویایی سیستم عصبی. معنای مورد نظر ما هم چیزی خارج از سیستم نیست و تنها شبکه‌ای از فعالیتهای نورونی است که وجود یا عدم وجود گزاره‌ای با معنای خاص را در سیستم نشان می‌دهد. ابزارهای استفاده شده در بازنمایی گزاره‌ای در مغز با آنچه که در زبانهای طبیعی می‌بینیم کاملاً متفاوت است، اگرچه ما در اینجا برای شرح مفهوم اولی از دومی استفاده کردیم.

دو نوع بازنمایی معرفی شده، به لحاظ ویژگی‌هایی که ذکر شد، با یکدیگر متفاوتند. این تفاوت به حدی است که گرهی از صاحبنظران معتقدند این دو نوع پدیده را در یک سیستم یکتا نمی‌توان همزمان مشاهده کرد. با توجه این تعارضات. تلاشهای زیادی صورت گرفته تا خصلت گزاره‌ایی یا تصویری بازنمایی عصبی بر دیگری ترجیح داده شود. یکی از نخستین آثار کلاسیک در این زمینه کتاب "چیزهایی که چشمِ ذهن به مغزِ ذهن می‌گوید." بود که در دهه‌ی هفتاد توسط پیلیشین نوشته شد (**Pylyshyn.- 1973**)[۲۶۲]. این دانشمند در این کتاب ادعا کرده بود که بازنمایی در سیستم بینایی مغز ما، به صورت گزاره‌ای انجام می‌گیرد و برای حرف خود شواهد فراوانی هم ذکر کرده بود. یکی از این شواهد این تجربه بود که شمردن تعداد خطهای بدن یک ببر یا گورخر تجسم شده، برای آزمودنی انسانی سالم ناممکن است. به گفته‌ی پیلیشین، آنچه که در مغز بازنمایی می‌شود، صورت گزاره‌ای دارد و تصوری که ما از درک آن به صورت تصویر داریم، تنها یک پدیده‌ی فرعی[۳] بی‌اهمیت است.

۱- **depictive representation**

۲- **binery**

۳- **epiphenomenon**

به زودی برای پشتیبانی از دیدگاه بازنمایی نقشه‌ای هم شواهدی دست و پا شد. در طی یک تجربه‌ی جالب، نشان داده شد که بازنمایی نقشه‌ای هم دست کم در برخی از موارد در مغز انجام می‌گیرد. در این آزمایشها، مجموعه‌ای از تصاویر ساده‌ی نقاشی شده به آزمودنی‌ها نشان داده شد، که نیمی از آنها در محور عمودی (مثل برج) و نیم دیگر در محور افقی (مثل کشتی) کشیده شده بود.

به آزمودنی زمان کافی داده می‌شد تا این تصاویر را حفظ کند. بعد از او خواسته می‌شد تا در ذهن خود یک تصویر را ثابت نگهدارد و نگاه ذهنی خود را به یک انتهای شکل متمرکز کند. بعد در همین حال آرایه‌ای از واژگان به او ارائه می‌شد که نیمی از آنها ربطی به تصویر نداشت، اما نیم دیگر نام بخشهای گوناگون موجود در تصویر بود (مثلاً لنگر و سکان برای شکل کشتی). وظیفه‌ی او این بود که تشخیص دهد کدام واژه به بخشهای شکل مربوط می‌شود. در ضمن واژگان یاد شده، بخشی به عناصر ابتدای شکل، برخی به وسط شکل، و گروهی به انتهای شکل مربوط بودند. پیش‌فرض مورد آزمون این بود: اگر بازنمایی به صورت تصویری انجام گیرد، باید زمان لازم برای تشخیص عنصری در نزدیک محل تمرکز نگاه ذهنی، کوتاهتر از تشخیص عنصری در انتهای دیگر تصویر باشد. در مقابل اگر بازنمایی گزاره‌ای باشد، این دو مورد نباید تفاوت زمانی محسوسی را پدید آورند، چرا که در این حالت درک تصویری تنها توهمی ذهنی خواهد بود. این آزمایش انجام گرفت و نتیجه این بود که در واقع هم زمان لازم برای تشخیص عناصر دورتر بیشتر از عناصر نزدیکتر بود (**Kosslyn et al.- 1978**)[۱۹۴].

با وجود جالب بودن طرح این آزمون، نتایج حاصل از آن در مدل بازنمایی گزاره‌ای هم قابل‌توجیه است. در صورتی که بازنمایی گزاره‌ای تصاویر مورد نظر به صورت شبکه‌ای از گزاره‌های نمادین بیانگر عناصر موجود در آنها انجام شود، باز هم زمان بیشتری برای تشخیص عناصر دورتر لازم خواهد بود. در این مدل گزاره‌ای، تصویر توسط مجموعه گره‌هایی درک می‌شود که هر گره ارتباط چند عنصر را با هم برقرار می‌کند. در این حالت هرچه تعداد گره‌های طی شده بیشتر باشد، زمان بیشتری هم مورد نیاز خواهد بود (**Barlow.- 1973**)[۱۹۵].

این ایرادات منجر به این شد که آزمایش اولیه با تفاوت ظریفی تکرار شود. در این شکل جدید، تعداد عناصری که در بین بخشهای دور و نزدیک قرار گرفته بودند، یکسان نگداشته شده بودند، و تنها عامل متغیر فاصله‌ی خام عناصر از یکدیگر بود. بنابر نظر منتقدان معتقد به بازنمایی گزاره‌ای در این شرایط باید تشخیص به صورت همزمان در مورد عناصر دور و نزدیک انجام شود –چون تعداد گره‌ها یکسان است–، اما نتیجه خلاف این را ثابت کرد. یعنی حتی در شرایط برابری تعداد عناصر قرار گرفته بین نامهای مورد تشخیص دور و نزدیک، باز هم برای تشخیص دورترها زمان بیشتری مورد نیاز است (**Kosslyn et al.- 1978**)[۱۹۴].

البته ناگفته نماند که این نتیجه‌ی دوم هم باز با یک تغییر در سیستم بازنمایی گزاره‌ای قابل‌توجیه است. و آن هم این که فرض شود گزاره‌های خاصی برای نشانه‌گذاری و کدگزاری فواصل موجود بر تصاویر به کار گرفته می‌شوند. یعنی فاصله هم به عنوان عاملی که می‌تواند به تنهایی آن گره‌های گزاره‌ای را تولید کند در نظر گرفته می‌شود.

با وجود تمام مقاومتهای سرسختانه‌ی دیدگاه گزاره‌ای، شواهدی که بعد از آن تاریخ جمع آوری شده است، نشان می‌دهد که در نهایت باید نوعی از بازنمایی نقشه‌ای در مغز را پذیرفت. مثلاً یکی از این شواهد اینکه تشخیص مسافت به تنهایی بر روی تصویر، زمان اضافی نمی‌طلبد (در تضاد با توجیه اخیر)، بلکه فقط در حضور عناصر اضافی است که این فاصله‌ی بیشتر زمان اضافی می‌طلبد. به بیان دیگر، تشخیص فاصله به تنهایی –بدون توجه به نام عناصر شکل– تغییری در زمان تشخیص تصویر نمی‌دهد. همچنین شاهد دیگری وجود دارد در این مورد که تشخیص عناصر کوچکتر بر تصویر زمان بیشتری را طلب می‌کند، و این به هیچ عنوان با زمینه‌ی گزاره‌ای قابل‌توجیه نیست

(Kosslyn.- 1990)[۱۹۵].

همچنین در آزمونهای دیگری به داوطلب کارتی با چند نقطه‌ی تصادفی بر رویش نشان داده می‌شد، و بعد از برداشتنش از پیش روی او، فلشی در همان صفحه برایش به نمایش در می‌آمد. وظیفه‌ی آزمودنی این بود که بگوید فلش با نقاط اولی برخورد خواهد کرد یانه. نتایج نشان داد که در اینجا هم با افزایش فاصله‌ی نقطه از فلش -بدون تغییر راستا- زمان لازم برای پاسخگویی زیاد می‌شود (Finke & Pinker.- 1982, 1983)[۱۱۵،۱۱۶]. این یافته هم در سازگاری با دیدگاه بازنمایی نقشه‌ای قرار دارد. در ضمن فراموش نکنیم که بازنمایی نقشه‌ای به شکل دیگری در مغز کاملاً شناخته شده است. آن را در قشر حسی و حرکتی اولیه‌ی مخ می‌بینیم، و نمونه‌ی دیگری از آن را هم بر جسم زانویی کناری (LGB) و برجستگی‌های چهارگانه‌ی زبرین[۱] داریم. همه‌ی این بازنمایی‌های نقشه‌مانند از جهان خارج -یا در واقع از شبکیه- نمونه‌هایی از حضور بازنمایی نقشه‌ای در مغز هستند.

همه‌ی شواهدی که ذکر شد، گویای حقیقی یکتا در مورد طبیعت عمل دستگاه عصبی ما هستند. شواهد یاد شده، نشان می‌دهد که سیستم بازسازی تصاویر بینایی در مغز، که وظیفه‌ی بازنمایی تصاویر موهوم -یا به عبارت دیگر تجسم- را بر عهده دارد، به عنوان یک سازمان تقلید کننده‌ی رفتار فیزیکی اشیاء عمل می‌کند. دستگاه عصبی ما، بدون آنکه توسط محدودیت سخت‌افزاری خاصی در تنگنا باشد، رفتارهای مادی مربوط به جهان خارج را بر اساس قواعدی بازسازی می‌کند که با روابط قابل مشاهده در طبیعت سازگار باشد. وقتی مغز برای بازسازی حرکت در ذهن، زمانی می‌طلبد که همان حرکت در جهان خارج نیاز دارد، وقتی قوانینی مانند قانون ماند -قانون نیوتون- را برای پیش‌بینی حرکت اجسام در فضا به عنوان پیش‌فرض می‌پذیرد، و وقتی معایب حسی -مثل نشانگان نادیده‌انگاری- را به تصاویر ذهنی هم بسط می‌دهد، در واقع مشغول بازسازی حقایق مربوط به جهان خارج است. به بیان دیگر، *سیستم بازنمایی تصاویر موهوم (تجسم) در مغز، طوری تکامل یافته که از محدودیتهای چهارچوب رفتاری مواد واقعی پیروی کند. این امر تنها یک توجیه ساده می‌تواند داشته باشد و آن هم این است که این سیستم در اصل برای پیش‌بینی وقایع جهان خارج، و استفاده از آنها در راستای رفتارهای پایه‌ی زیستی به وجود آمده است، نه ادراک واقعیات موجود در جهان خارج.*

۴-۹-پ) مشکل همبستگی:

در ادامه‌ی آنچه که گذشت، یک نکته‌ی مهم دیگر باقی مانده است که باید مورد بررسی قرار گیرد. در مورد بازنمایی پدیده‌ها در مغز (چه به شکل نقشه‌ای و چه گزاره‌ای) نکته‌ی مبهم دیگری وجود دارد، با عنوان مشکل همبستگی[۲] مشهور است. این مشکل به زبان ساده عبارت از این است که چطور محرکهای متفاوتی مانند رنگ سرخ و بویی خاص و ... به یک پدیده‌ی یکتای موجود در جهان خارج (مثل سیب) نسبت داده می‌شود.

یکی از راه‌حل‌های جالب در این مورد، به کشفیاتی برمی‌گردد که در اوایل این دهه در انستیتو ماکس پلانک توسط ولف سینگر[۳] انجام گرفت. او توانست نشان دهد که موجهایی الکتریکی با بسامد ۴۰ هرتز در قشر مخ وجود دارند. این امواج بنا بر مبانی فیزیولوژیک، می‌بایست مربوط به شلیک همزمان گروههای بزرگ نورونی باشند. در جریان

۱- superior colliculus

۲- binding problem

۳- Wolf Singer

همین آزمونها نشان داده شد که یک گربه در زمان دیدن یک شیء مشخص در میدان بینایی‌اش، امواجی با همین بسامد را در کل قشر پس‌سری‌اش تولید می‌کند. پیش از آن، این پیشنهاد شده بود که تنها راه حل فیزیولوژیک مشکل همبستگی، این است که نوعی همزمانی[۱] را در شلیک نورون‌های مربوط به بخشهای مختلف مغز بپذیریم (Van Der Malsburg.- 1981)[۴۲].

سینگر و همکارانش توانستند در عمل چنین چیزی را در مغز گربه نشان دهند. آنها نشان دادند که در مغز گربه‌ی بیهوش، با انداختن تصویر جسمی بر شبکیه، می‌توان شلیکهایی همزمان را در بین ابرستونهای دارای فاصله باهم در قشر پس‌سری ثبت کرد. تفاوت فاصله‌ی بین ستونهای پاسخ‌دهنده به این محرکها، می‌توانست تا هفت میلی‌متر هم برسد. بعد از او راینهارد اکبورن[۲] هم شواهدی چشمگیرتر در همین راستا را گزارش کرد. او همزمانی‌هایی با همین بسامد را در بین مناطقی با فاصله‌ی زیاد -مثل قشر بینایی و ناحیه‌ی ۱۸ برودمن- ثبت کرده بود (Van Der Malsburg.- 1981)[۴۲].

از سوی دیگر نشان داده شده که امواجی با بسامد مشابه به هنگام دَم (بوکشیدن) در قشر و پیاز بویایی مغز خرگوش تولید می‌شود (Bressler.- 1987)[۶۴]. همچنین امواج مشابهی درگستره‌ی بالایی در مغز میمون ثبت شده است. اگر محرکی به میمون نشان داده شود که ناچار باشد در مقابل آن رفتار خاصی انجام دهد، امواج گاما در قشر بینایی، قشر پساوایی[۳]، و شیار بالایی گیجگاه[۴] وی پدیدار می‌شوند (Freeman & Van Dijk.- 1987)[۱۲۰].

آزمونهای جدیدتری که پتانسیل میدان موضعی (LFP)[۵] مغز را اندازه می‌گیرند، هم در میمونهای انجام دهنده‌ی یک کار بینایی، چنین همزمانی وسیعی را نشان داده‌اند (Bressler. et al- 1993)[۶۳].

در یک آزمون جدیدتر، یک شبکه‌ی عصبی موضعی از قشر مخ جدا شد و در محلولی مغذی زنده نگداشته شد. این نورون‌ها، همگی GABAergic بودند و از بخشهای دارای سیناپسهای مهاری هیپوکامپ و قشرنوی مخ جدا شده بودند، شواهد الکتریکی نشان داد که این شبکه‌ی عصبی مجزا از کل مخ هم با نوسانات ۴۰ هرتزی مشخصی شلیک می‌کند (Wittingstone et al.- 1995)[۳۳۳]. همچنین شواهد دیگری وجود دارد که پدیدار شدن چنین امواجی را در لوب بینایی حشراتی مانند مگس هم نشان می‌دهد (Kirschfeld.- 1992)[۱۸۷].

البته ناگفته نماند که ادعای ارتباط این امواج همزمان با آگاهی مخالفان بزرگی هم دارد. کخ[۶] این امواج را ناشی از تغییر فاز در سیستم توجه بینایی می‌داند و این نکته را خاطرنشان می‌کند که تغییر توجه بینایی به زمانی نیاز دارد که نوسانی با بسامد مشابه را نتیجه می‌دهد. هوبل هم این امواج جنجال‌برانگیز را نوعی پدیده‌ی جانبی[۷] می‌داند و اهمیت زیادی را برایشان قایل نیست (Barinaga.- 1990)[۴۲]. این امواج جنجالی، امروز با عنوان امواج گاما خوانده می‌شوند و نام امواج ۴۰ هرتزی هم گاه در موردشان به کار می‌رود. البته نشان داده شده که همزمانی یاد شده لزوماً در مقدار ۴۰ هرتز تثبیت نشده و دامنه‌ای (بین ۸۰-۳۰ هرتز) را در بر می‌گیرد.

چنانکه خواهیم دید، در مدل پیشنهاد شده در این رساله، بازنمایی در سطوح گوناگون شبکه‌ی عصبی کلید اصلی آگاهی تلقی خواهد شد. با توجه به اینکه بازنمایی یک پدیده‌ی یگانه در سطوح گوناگون سلسله مراتب و سیستم‌های

۱- synchronization

۲- Reinhard Eckborn

۳- somatosensory cortex

۴- superior temporal sulcus

۵- Local Field Potential

۶- Koch

۷- epiphenomenon

متفاوت پردازشی (مثل بویایی و بینایی) کلید حل مشکل همبستگی است، به نظر می‌رسد که امواج گاما با شواهد فراوانی که در موردش وجود دارد، راهکاری مناسب برای حل این مشکل باشد. در مدل هم‌افزایانه‌ی آگاهی، نوسانات هم‌دامنه‌ی همزمان[۱] در بخشهای مختلف سیستم پردازنده می‌تواند به مسئله‌ی همبستگی پاسخ دهد.

۴-۱۰) توجه و کارکردهای بالا به پایین:

تا اینجای کار از سازماندهی پردازشی و بازنمایی اطلاعات بینایی در مغز تا حدودی آگاه شدیم. هدف از این بخش، پرداختن به مکانیسم توجه و گزینش اطلاعاتی است که قرار است توسط مغز مورد پردازش قرار گیرند. با وجود اینکه قبلاً گفتیم اطلاعات ورودی از راه بینایی به نسبت اندک است و به کار بازسازی دقیق جهان خارج نمی‌آید، اما همین مقدار کم هم آنقدر هست که هر سیستم پردازنده‌ی پیچیده‌ای را گیج کند. بنابراین چالشی که در برابر سیستم اعصاب قرار دارد، این است که بخشهای مهم این اطلاعات ورودی را دستچین کند و برای پردازش دقیقتر -و احتمالاً خودآگاه- مورد استفاده قرار دهد. خواهید دید که مدل مورد علاقه‌ی من، به این گزینش اطلاعات به عنوان راهکاری عمده در پیدایش آگاهی نگاه می‌کند، و بنابراین فکر می‌کنم همین کارکرد -اگرخوب تحلیل شود- اطلاعات جالبی را در مورد آگاهی به دست دهد.

نخستین صافی قابل تصور برای اطلاعات ورودی به چشم، خود کره‌ی چشم است. گفتیم که هر چشم مجهز به یک پرده‌ی گیرنده‌ی نور است، که تنها درگستره‌ی محدودی ازکل میدان قابل مشاهده‌ی روبروی فرد عمل می‌کند. حرکت کردن این پرده‌ی گیرنده و تمرکزش بر بخشهای مورد علاقه از میدان بینایی، به کمک عضلات شش‌گانه‌ی حرکت دهنده‌ی چشم انجام می‌گیرد. سیستم ردگیری هدفهای بینایی در محیط را در فیزیولوژی حرکات تونیک چشم، یا ساکاد[۲] می‌نامند. این حرکات با بسامدی حدود سه یا چهار بار در هر ثانیه انجام می‌شود و هر حرکت کره‌ی چشم در جریان آن حدود ۱۰ هزارم ثانیه به طول می‌انجامد.

چنانکه گفتیم، بخش عمده‌ی این حرکات -بخش ناخودآگاه آن- در جفت بالای برجستگی‌های چهارگانه‌ی بالایی[۳] کنترل می‌شود. این بخش چنانکه گذشت، دارای سه نقشه از میدان بینایی، حرکات سر و گردن، و وضعیت بدن است و به کمک این بازنمایی نقشه‌ای سه گانه، وضعیت کره‌ی چشم در هر لحظه را تعیین می‌کند. علاوه بر این سیستم پایه‌ی کنترل حرکت چشم، یک مکانیسم پیچیده‌تر خودآگاه هم برای توجه کردن وجود دارد که بیشتر باید در موردش بدانیم.

یکی از ابتدایی‌ترین پرسشهایی که می‌تواند در مورد توجه خودآگاه مطرح شود، این است که سازمان پردازنده و واکنشگر مربوطه به این رفتار، در چه وازه‌های زمانی‌ای فعالیت می‌کند؟ برای سنجش واحدهای زمانی موجود در زیربنای رفتار توجه، راهکارهای جالبی وجود دارد.

مثلاً در جریان یک آزمون، حروفی بر ستونهایی در نقاط مختلف میدان دید آزمودنی‌ها نمایش داده شد، و پس از وقفه‌ی کوتاهی صدایی زیر، بم، یا بینابینی برای فرد پخش شد. آزمودنی می‌بایست ببیند حروف مورد نظر درکجای

۱- synchronized

۲- Saccade. برای این واژه برابرنهاد فارسی ذکر نشده است. پس در متن نام رایج اروپاییش را ذکر می‌کنم.

۳- superior colliculus

میدان دید ظاهر می‌شوند، و در این راه می‌توانست از صدای یاد شده استفاده کند. در این روند صدای بم نشانگر بالا، صدای زیر نشانگر پایین، و صدای بینابینی نشانگر وسط میدان دید بود. آزمایشها نشان داده است که اگر این صدای راهنما با وقفه‌ای کمتر از ۲۰۰ هزارم ثانیه نسبت به محرک بینایی پخش شود، اثر مفید خود را در کمک به ردیابی چشم از دست می‌دهد (Sperling et al.- 1960)[۲۹۲]. به عبارت دیگر، چشم برای واکنش نشان دادن به محرک بینایی راهنما به زمانی در این حدود نیاز دارد.

در تجربه‌ای دیگر، آرایه‌ای از حروف با بسامد ۱۳/۴-۴/۶ حرف بر ثانیه در سمت چپ میدان بینایی آزمودنی به نمایش در می‌آمد، و آزمودنی می‌بایست با دیدن یک حرف قرارداد شده، حرف بعدی را ببیند و اعلام کند. این کار مستلزم این بود که کره‌ی چشم به محض رسیدن پیام قرارداد شده (حرف خاص) حرکتی هدف‌مند را در جهت چپ انجام دهد، اما این حرکت با بسامد بالای ظهور حروف تداخل می‌کرد و معمولاً یک یا دو حرف جابه‌جا خوانده می‌شد. با کمک این تجربه هم نشان داده شد که زمان لازم برای حرکت ردیاب چشم، حدود ۲۰۰ هزارم ثانیه است (Reeves et al.- 1986)[۲۶۸].

گروه دیگری از آزمایشها برای نشان دادن سطوح بالاتری از توجه بینایی طرح‌ریزی شده‌اند. به عنوان مثال در یک آزمایش، دو نوع هدف برای آزمودنی به نمایش گذارده شد. یک نوع، هدفی را در بر می‌گرفت که عناصرش در زمینه‌ای به صورت ترکیبهای متفاوت وجود داشت. مثلاً تشخیص یک مربع سپید در میان زمینه‌ای از مربعهای سیاه و دایره‌های سپید مورد نظر بود. در نوع دوم، هدف با عناصر محیطی و زمینه‌ای تفاوت ریختی مشخص داشت. مثلاً در همان زمینه‌ی سابق، می‌بایست یک مثلث سپید را تشخیص دهد. شواهد به دست آمده نشان می‌دهد که تشخیص هدفهایی از نوع نخست، به دلیل تجزیه و تحلیل خطی و بیشتری که نیاز دارد، زمان بیشتری را هم می‌طلبد. یعنی در مورد اول، هرچه تعداد عناصر مخدوش کننده‌ی موجود در زمینه بیشتر باشد، زمان مورد نیاز برای پیدا کردن هدف مورد نظر -که در میان آنها پنهان شده- بیشتر خواهد بود. اما تشخیص اهداف نوع دوم، مستقل از تعداد عناصر متفاوت زمینه، به زمان پایه‌ی کوتاهتری نیاز دارد.

این تفاوت زمانی تا حدودی به این دلیل است که در آزمونهای نوع نخست، باید دو کیفیت موازی -مثلاً رنگ سپید و شکل مربع- ابتدا ردیابی شده و بعد با هم ارتباط یابند. اما در نوع دوم این کار تنها در یک مرحله -تشخیص مثلث- انجام می‌گیرد (Treisman et al.- 1980)[۲۳۹]. به عبارت دیگر، چنین به نظر می‌رسد که مغز در مراحل پیاپی شاخصهای ریختی گوناگون -شکل، رنگ و...- را در عناصر مورد توجهش مقایسه می‌کند و به کمک این مقایسه نتیجه‌ی مطلوب را استخراج می‌کند. البته قضیه این سادگی‌ها هم نیست و موارد نقضی بر مدل ساده‌انگارانه‌ی یاد شده وجود دارد. مثلاً نشان داده شده که در زمینه‌ای از دایره‌های رنگی متحرک، این قاعده‌ی مرحله‌ای بودن تشخیص هدف نقض می‌شود. مثلاً اگر در زمینه‌ای از دایره‌های سبز بالارو، و قرمزِ پایین‌رو، بخواهیم یک دایره‌ی قرمز بالارو را پیدا کنیم، نیاز به زمان پایه‌ای داریم که با زیاد شدن عناصر اضافی موجود در زمینه تغییر نمی‌کند (Nakayama et al.- 1986)[۲۳۹].

یک نمونه‌ی دیگر از کارکردهای مربوط به توجه، پدیده‌ای موسوم به گربه‌ی چشایر[۱] است. این پدیده در شرایطی رخ می‌دهد که میدان بینایی دو چشم از هم تفکیک شده باشند و توجه یکی از چشمها با داده‌های مربوط به چشم دیگر تداخل کند. یک راه ساده‌ی تجربه کردن این پدید این است که آینه‌ای را در بین دو چشم بگذاریم به شکلی که

۱- **Cheshire cat**: نام یکی از شخصیتهای داستان آلیس در سرزمین عجایب. در این داستان گربه‌ای بوده که مرتب غیب و ظاهر می‌شده است.

یکی از چشمها منظره‌ی روبرو و دیگری فقط انعکاس زمینه‌ی تصویر روبروی را بگیرد. در این حالت اگر دست خود را -یا هرچیز متحرک دیگر را- در برابر چشم دارای تصویر آینه تکان دهیم، به طوری که از جلوی تصویر روبروی چشم بگذرد، مشاهده می‌کنیم که حرکات دستمان مثل پاک‌کنی تصویر روبرویی را محو می‌کند. مکانیسم این اثر این است که حرکت یک جسم در میدان بینایی توجه چشم مربوطه را به خود جلب می‌کند و چون این چشم تنها زمینه‌ی تصویر را (از طریق آینه) دریافت می‌کند، همان به مغز مخابره می‌شود. از آنجا که میدان بینایی دو چشم از یکدیگر تفکیک شده است، این زمینه‌ی مورد توجه قرار گرفته در مغز با اطلاعات ورودی از چشم دیگر تداخل می‌کند و بر مبنای اثر تسخیر[۱] -که پدیده‌ای سیستمی است- خودآگاه شدن محرک اخیر را مهار می‌کند (**Crick & Koch.- 1997**)[۸۵].

توجه یکی از عوامل مهم تعیین کننده‌ی نوع و شدت پاسخ به محرک در سطوح بالاتر پردازش عصبی هم هست. می‌دانیم که میدان گیرندگی در ناحیه‌ی **V_4** و **IT** بیشینه است. در این دو ناحیه علاوه بر گستردگی میدان گیرندگی نورون‌ها، تخصص بالایی هم در پاسخدهی به محرک‌های ویژه دیده می‌شود. نشان داده شده است که تمرکز توجه بر محرکی که خارج از میدان گیرندگی یک نورون قرار دارد، می‌تواند حتی در زمان حضور محرک در آن میدان گیرندگی، منجر به نادیده گرفته شدنش شود. یعنی توجه نوعی اثر مهاری در مورد پاسخ به محرکهای غیرمهم در میدان بینایی دارد. اثری که منجر به برجسته شدن نقش عنصر مهم -یعنی عنصری که در مرکز توجه قرار دارد- می‌شود. با توجه به اینکه میدان گیرندگی در **V_4** کمتر و در حد چند درجه است، و اینکه همین میدان در **IT** بسیار بزرگ می‌شود[۲]، می‌توان چنین فرض کرد که توجه بینایی در **V_4** آغاز می‌شود و در **IT** کارکرد نهایی خود را انجام می‌دهد. گویا ردپای این توجه را در مراحل ابتدایی‌تر پردازش بینایی (**V_1** و **V_2**) نتوان سراغ کرد (**Wise et al.- 1988**)[۳۳۱].

برخی از پژوهشگران بنابر شواهد به دست آمده از شیوه‌های عکسبرداری **PET**، هسته‌ی **Pulvinar** در تالاموس را به عنوان مرکز توجه بینایی در نظر می‌گیرند.

توجه، مشهورترین کارکرد بالا به پایینی[۳] است که می‌توان در سیستم بینایی سراغ کرد، اما تنها پدیده از این دست نیست. یکی از این شواهد، آزمونی است که بر روی نورون‌های ناحیه‌ی **V_4** میمون انجام گرفته است (**Morane et al.- 1985**)[۲۳۵]. می‌دانیم که نورون‌های این ناحیه در تمام نخستی‌ها به محرکهای ویژه‌ای در نواحی مشخصی از شبکیه پاسخ می‌دهند. به عنوان مثال، یک تک نورون خاص در این بخش به خطی با زاویه‌ی 45° نسبت به افق پاسخ می‌دهد که در بخش چپ میدان بینایی واقع شده باشد. با همین آزمونها شواهد بسیار جالبی در مورد عمل کل‌گرایانه‌ی وابسته به توجه در مورد این نورون‌ها به دست آمده است. به عنوان مثال نشان داده شده که این نورون‌ها، در صورتی که پنجره‌ی توجه میدان بینایی بر محرک خاصشان متمرکز نباشد، به آن پاسخ نمی‌دهند. یعنی اگر به میمونی یاد دهیم که نگاه خود را بر نقطه‌ی خاصی از میدان بینایی متمرکز کند، و اگر محدوده‌ی ردیابی نورون خاصی خارج از این میدان توجه باشد، آن نورون نسبت به حضور محرک ویژه‌اش در مکان مناسبش بی‌تفاوت خواهد ماند. در نظر داشته باشید که این در حالی است که محرک در میدان گیرندگی[۴] خاص نورون یاد شده هم قرار دارد.

۱- **capture**

۲- میدان گیرندگی برخی از نورون‌های این ناحیه تا تمام میدان دید یک چشم گسترده می‌شوند.

۳- کارکردهای بالا به پایین یعنی رفتارهایی که در آن کل سیستم بر عناصر جزئی‌تر اثر می‌گذارد و رفتار آن را تعیین می‌کند و این درست مسیر عکس علیتی است که در دیدگاه‌های تحویل‌گرا فرض می‌شود.

۴- **receptive field**

توجه، علاوه بر کارکردهای جالب‌توجهی که تا اینجا ذکر شد، از جنبه‌ی دیگری هم اهمیت دارد. این رفتار، یکی از پدیده‌هایی است که وجود رفتارهای هم افزایانه و سیستمی را در دستگاه عصبی تأیید می‌کند. چنانکه می‌دانیم، یکی از مهمترین نمودهای رفتارهای هم‌افزا، وجود علیت بالا به پایین[1] در سیستم است.

می‌دانیم که بر طبق دیدگاه‌های تحویل‌گرای کلاسیک، رفتار سطوح خرد سیستم رفتارهای کلان را تعیین می‌کنند. تفاوت نگرش سیستمی با این برداشت یکطرفه، این است که نوعی علیت بالا به پایین را هم در مجموعه دخیل میداند. اگر برخی از رفتارهای سطوح پایین پیچیدگی سیستم، توسط رفتارهای سطح بالاتر از خود تعیین شوند، آنگاه در سیستم علیت بالا به پایین وجود خواهد داشت، که خود یکی از نمودهای مهم هم‌افزایی است. یک مثال مشهور در این مورد، به پوپر منسوب است که مرگ یاخته‌های زنده‌ی موجود در بدن یک جانور تازه کشته شده را مثالی از این نوع علیت می‌بیند (Popper & Ecclse.- 1989)[۲۵۸].

یکی از راه‌های نشان دادن اثرات بالا به پایین در سیستم پردازش اطلاعات بینایی، تصویر کردن تأثیر بازخوردهایی است که پردازش تصاویر اولیه بر توجه و درک تصاویر بعدی می‌گذارد. به عنوان مثال در یک آزمون تصویر مشهور گلدان/چهره به آزمودنی نشان داده شد و از او خواسته شد تا شکل و زمینه را از هم تفکیک کند. میدانیم که این تفکیک به دو شکل در این تصویر دوپهلو ممکن است. یعنی عده‌ای دو چهره را به عنوان شکل درک می‌کنند و گروهی دیگر گلدان را به عنوان شکل در نظر می‌گیرند. بعد از مشخص شدن چگونگی درک شکل، خطی با چند درجه انحراف به آزمودنی نشان داده شد و از او خواسته شد تا بگوید کج شدنش به سمت راست است یا چپ، نتیجه این بود که آزمودنی‌ها جهت انحراف خط را زمانی که در زمینه‌ی مفروضشان قرار داشت، سه بار بهتر از زمانی درک می‌کردند که در شکل قرار گرفته بود. همچنین نشان داده شده که تصاویر دقیق و روشن هنگامی که در محدوده‌ی شکل قرار گیرند بهتر تشخیص داده می‌شوند و اشکال مبهم و دارای کناره‌ی محو هنگامی که در زمینه باشند بهتر پردازش می‌شوند (Weisstein & Wong.- 1990)[۳۲۱]. این مثالها نشانگر اثرات بالا به پایین در سیستم بینایی هستند. به این معنا که قرار گرفتن در یکی از دو فاز متفاوت شکل/زمینه، پردازشگرهای متفاوتی را با صافیهای گوناگون فعال می‌کند. در همین زمینه آزمونی توسط نگارنده هم انجام گرفته است که در ضمیمه‌ی آخر رساله خواهد آمد.

شکل-۲۵: خلق تصویر یک سگ از لکه‌های سیاه و سفید. نمونه‌ای از کارکردهای تصفیه کننده‌ی توجه.

۱- top- down causation

۴-۱۰-الف) اختلالات رایج در بازنمایی اطلاعات در مغز:

چنانکه گفتیم، رابطه‌ی تنگاتنگی بین آگاهی و توجه وجود دارد و این ارتباط به حدی است که برخی از پژوهشگران کشف مفهوم آگاهی را تنها در سایه‌ی درک چگونگی عملکرد توجه ممکن می‌دانند. برخی از اشکالات رایج در دستگاه بینایی وجود دارد که یا مستقیماً به توجه مربوط می‌شود و یا به نوعی با آگاهی مرتبط است. از آنجاکه اشاره به این شواهد می‌تواند در شکل‌دهی و تأیید مدلی که برای آگاهی خواهد آمد روشنگر باشد، در اینجا به طور خلاصه به نمونه‌هایی از این ناهنجاریهای حسی و پردازشی می‌پردازم. از آنجاکه در این رساله حس بینایی به عنوان نمادی از پردازش در سیستم عصبی انسان به کار گرفته شد و تحلیلهای اصلی در آن مورد ارائه شد، در این بخش هم بیشتر شواهدی راکه می‌خواهم در چهارچوب مدل داده شده تفسیر کنم، از این حس وام خواهم گرفت. البته این نکته روشن است که شواهد فراوان دیگری در مورد حواس دیگر هم وجود دارد که گاه به آنها هم اشاره خواهم کرد.

یکی از مشهورترین اختلالات مغزی مربوط به حس بینایی، بینایی‌پریشی[۱] یا **Agnosia** است که شهرت زیادی در متون عصب‌شناسی دارد و در اثر آسیب به سیستم‌های مغزی پردازنده‌ی بینایی بروز می‌کند. تا مدتها تصور می‌شد کسانی که دچار این بیماری هستند، اصولاً از درک اشیا ناتوانند و هیچ نوع پردازشی بر داده‌های بینایی انجام نمی‌دهند. امروز به خوبی آشکار شده که بینایی‌پریشی عارضه‌ای مدرج و پیوسته است که در طیفی با دامنه‌ی زیاد تغییر می‌کند. خیلی از بیمارانی که به دلیل آسیب به لوب پس سری خود از درک اشیای پیچیده ناتوانند، همچنان پردازش سطح پایین داده‌های بینایی را انجام می‌دهند. مثلاً مواردی مشاهده شده که درک درخشش، رنگ، عمق و بافت تصاویر به خوبی انجام می‌گرفته اما گزارش زبانی آنچه که دیده شده یا ادراک مفهوم آن دچار مشکل بوده است. یک نکته‌ی جالب اینکه خصلت خود محرک هم در حدی که پردازش می‌شود تأثیر دارد. مثلاً اگر محرک شیئی متحرک باشد، امکان درک آن بیشتر از زمانی وجود دارد که همان شیء به صورت ثابت نگریسته شود.

شواهد به دست آمده در مورد این بیماری نشان می‌دهد که در مغز این افراد پردازش سطح پایین در مورد اطلاعات بینایی انجام می‌شود ولی این اطلاعات هرگز به سطوح عالیتر خودآگاه نمی‌رسند و حتی گاهی مواقع پردازش ملکولی در سطح شبکه‌ای هم بازنمایی نمی‌کند.

در افراد مبتلا به بی‌حافظگی شدید[۲] هم دیده شده که با وجود مختل شدن ظاهری حافظه‌ی بلند مدت، برخی از رفتارهای نیازمند حافظه -مثل یادگیری مهارت حرکتی، یادگیری تشخیص بینایی، یادآوری اشکال و لغات و آرایه‌ی حروف- در این افراد باقی می‌ماند (**Weiskranz.- 1979**)[۳۱۹]. در این موارد هم به نظر می‌رسد نوعی گسستگی در بازنمایی اطلاعات سطح پایین و بالا، در این افراد دیده شود. یعنی اطلاعات وارد شده به سطح شبکه‌ای -که حافظه را درست می‌کند- در سطح خودآگاهانه بازنمایی نشده و بنابراین فرد از حضور آن ناآگاه می‌ماند.

یکی از مواردی دیگری که فرد بدن خود را به طور کامل بازنمایی نمی‌کند، در نشانگان نادیده‌انگاری[۳] دیده می‌شود. بیماران دارای نشانگان مورد نظر به آسیب عصبی نیمکره‌ی راست مبتلا هستند. درک و بازشناسی اشیا و تکلم و درک و انجام اعمال ریاضی در این افراد دست نخورده باقی می‌ماند، اما جالب اینکه فقط نیمی از بدن بیمار

۱-به جای این واژه بهتر نیست ازکوربینی استفاده کنیم؟ ۲-**amnesia**

۳-**Neglect syndrome**

-نیمه‌ی راست- توسط خودش درک می‌شود. مردان مبتلا به این بیماری موقع اصلاح فقط نیمی از صورت خود را اصلاح می‌کنند و بر نیمه‌ی راست بدن خود لباس می‌پوشند. تنها از یک نیمه‌ی بشقاب غذا می‌خورند و بر محرکهای موجود در نیمه‌ی راست میدان بینایی خود آگاهی دارند (**Bisiach et al.- 1985**)[۵۶]. در حالات حاد، این افراد نیمه‌ی چپ بدن خود را به عنوان اندامی متعلق به دیگران شناسایی می‌کند. لوریا در آثار خود گزارشی از سربازی را ثبت کرده که نیمکره‌ی راست مغزش گلوله خورده بود و با شکایت از پرستار می‌خواست تا غریبه‌ای را که در تختش خوابیده را بیرون بیندازد. این غریبه البته نیمه‌ی چپ بدن خودش بود. این بیمار گویا یکی دوبار هم تلاش کرده بود دست چپ خودش را به عنوان غریبه دور بیندازد. اگر این بیماران به حال خود گذاشته شوند، کم‌کم بهبود می‌یابند. اما به این شکل که محرکهای سمت چپ خود را درک می‌کنند و آن را به قسمت راست نسبت می‌دهند. اگر در میدان بینایی چیز مشخصی را ببینند، آن را به سمت راست نسبت می‌دهند و با شنیدن صدا از چپ به راست برمی‌گردند. گویا علت اصلی بروز این نشانگان آسیب به منطقه‌ی **inferior parietal** نیمکره راست باشد (**Heilman & Watson.- 1977**)[۱۵۲].

نشانگان مشهور دیگری که به این مورد شباهت دارد، بیماری خاصی است که کوربینی[۱] نامیده می‌شود. کوربینی در موقعی پدیدار می‌شود که فرد به دلیل اختلال در سیستم پردازنده‌ی بینایی، رفتاری شبیه به افراد کور را از خود نشان می‌دهد و درک هیچ نوری را هم گزارش نمی‌کند، اما از بیرون نمودهای رفتاری‌ای دارد که وجود بینایی را اثبات می‌کند. مثلاً هنگام حرکت کردن به اشیای مقابلش برخورد نمی‌کند و اگر مجبور شود شکل و رنگ و فاصله‌ی اشیای اطرافش را به طور تصادفی -به نظر خودش- حدس بزند، در بیش از ۸۰ ٪ موارد درست جواب می‌دهد. البته خود فرد از اینکه روش جواب دادنش چیست ناآگاه است و عمیقاً معتقد است که جوابها تصادفی درست درمی‌آیند. نشان داده شده که بخش عمده‌ای از نقاط کور ایجاد شده در اثر آسیب به ناحیه‌ی اول بینایی در قشر پس‌سری، با نقطه‌ی کور فیزیولوژیک -محل خروج عصب بینایی- تفاوت دارند و درجاتی از ادراک محرکهای نوری را از خود نشان می‌دهند (**Weiskranz.- 1993**)[۳۲۰]. تفاسیر گوناگون و متنوعی از مکانیسم فیزیولوژیک این پدیده وجود دارد که بخش مهمی از آن با رویکرد سلسله مراتبی به مفهوم خودآگاهی همخوانی دارد (**Campion et al.- 1983**)[۷۰].

شواهدی مبنی بر این وجود دارند که مفهوم کوربینی را می‌توان به میمونها هم نسبت داد. در یک آزمون، قشر پس‌سری چهار میمون ماکاک شرطی شده به اشیایی خاص را تخریب کردند و بعد واکنش آنها را در برابر همان محرکها سنجیدند، نتیجه این بود که کوربینی در این جانوران هم وجود دارد و نتایج به دست آمده در جانوران به انسان هم قابل تعمیم است (**Coway & Stoerig.- 1995**)[۸۳].

حالت مشابه کوربینی، در سایر حواس هم وجود دارد. مثلاً کورلمسی[۲] حالت مشابهی است که در نقایص مراکز پردازنده‌ی اطلاعات پساوایی دیده می‌شود (**Paillard.- 1983**)[۲۵۳]. حالات مشابه دیگری هم در این زمینه وجود دارند که برخی برعکس کوربینی عمل می‌کنند. مثلاً یک بیماری به نام نشانگان آنتون[۳] وجود دارد که فرد ایراد حسی خود را -مثلاً کوری خود را- به طور خودآگاه انکار می‌کند. این ایرادات چنان که گفتیم معمولاً در اثر آسیب به نیمکره‌ی راست پدید می‌آیند.

یک مورد دیگر که در انسانهای سالم وجود دارد و حالتی شبیه به موارد پاتولوژیک یاد شده را ایجاد می‌کند،

۱- **blindsight**

۲- **blind touch**

۳- **Anton syndrome**

پدیده‌ای به نام ادراک زیرآستانه است. در صورتی که محرکی نورانی درکمتر از زمان آستانه‌ای به سیستم بینایی افراد ارائه شود، ادراک آن به مرحله‌ی خودآگاه نمی‌رسد اما پردازشش انجام می‌گیرد و ر رفتار فرد اثر می‌گذارد. یعنی مثلاً اگر رنگی را در ۵۰ هزارم ثانیه بر شبکیه بیندازیم و بعد آن را با محرکی بی‌اثر ماسک کنیم، و از آزمودنی بپرسیم چه دیده، معمولاً به طور خودآگاه منکر دیدن چیزی می‌شود، اما اگر از او بخواهیم رنگی را به طور تصادفی نام برد، در بیشتر از ۸۰ ٪ موارد با نامیدن همان رنگی که دیده پاسخ درست به پرسش ما می‌دهد.

در مورد این پدیده تعداد آزمونها و حجم شواهد موجود بسیار زیادند. به عنوان مثال به یکی از آزمونهای مشهور و جدید اشاره می‌کنم که در انگلستان انجام گرفته است. در این آزمون، در بین یک برنامه‌ی تلویزیونی شبکه‌ی **BBC** که دو بچه را در حال بازی با مردی نشان می‌داد، چهره‌ی خندان زنی در زمان کمتر از آستانه‌ی درک خودآگاه پخش شد. این برنامه‌ی دستکاری شده برای قسمهای غربی انگلستان پخش شد و همزمان با آن همان فیلم به صورت خام و بدون محرک زیرآستانه برای بخشهای شرقی پخش شد. در انتهای فیلم از مردم خواسته شد تا از طریق تلفن احساس غم یا شادی خود را از فیلم نشان داده شده گزارش دهند. نتیجه این شد که پخش تصویر یاد شده به شکلی معنی‌دار باعث القای احساس شادی در افراد می‌شد (**Underwood.- 1994**)[۳۱۲].

این پدیده را در ساخت فیلمهای ترسناکی مانند جن‌گیر هم به کار برده‌اند. در بین هر دوازده تصویر از این فیلم چهره‌ی ترسناک صورتی شبیه به جسد نمایش داده شده است که بدون ایجاد ردپایی آگاهانه، استرس فیلم را افزایش می‌دهد (**Gould & Gould.- 1994**)[۱۳۷]. همچنین از این روش برای تبلیغات هم استفاده می‌شود.

گروه دیگری از آزمونها که در این زمینه انجام گرفته‌اند، به کارهای مارسل مربوطند. این دانشمند توانسته نشان دهد که ادراک زیرآستانه‌ی محرک‌های زبانی (مثل الفبا و واژگان) می‌تواند نحوه‌ی دسته‌بندی و درک محرک‌های بعدی را تعیین کند. یعنی اگر واژگانی با سرعت خیلی زیاد به آزمودنی‌هایی نشان داده شوند، و بلافاصله بعد از آن از ایشان خواسته شود تا واژگان دیگری را که با سرعت بالای آستانه نمایش داده می‌شود دسته بندی مفهومی کنند، در صورتی که واژگان اولیه به محرک دوم مربوط باشند، این کار با دقت و درستی بیشتری انجام می‌گیرد (**Marcel.- 1983**)[۲۱۸]. همچنین نشان داده شده که اگر دو نور متفاوت (مثلاً سبز و قرمز) را به مدتی کوتاهتر از آستانه‌ی ادراک (مثلاً ۲۰ هزارم ثانیه) بر شبکیه بیندازیم، ادراک خودآگاهی که در فرد ایجاد می‌شود به نوری با رنگ ترکیبی (مانند زرد) مربوط خواهد شد. رابرت افرون[۱] که این آزمونها را انجام داده است، از این نتایج چنین استنتاج کرده که زمان پایه برای پردازش اطلاعات خودآگاه بینایی، چیزی در حدود ۷۰-۶۰ هزارم ثانیه است.

نمونه دیگری که از اختلالات آگاهی وجود دارد، ناراحتی‌های هیستریک است. در هیستری، فرد بدون اینکه دچار آسیب عضوی مشخص باشد، به دلایل روانی بخشی از اطلاعات پردازش شده را در سطح خودآگاه خود بازنمایی نمی‌کند و بنابراین علائم نقص مربوطه را از خود نشان می‌دهد. مثلاً در فلج هیستریک، می‌بینیم که فرد با وجود دارا بودن سیستم عصبی/عضلانیِ سالم، تنها به این دلیل که در سطح خودآگاه پذیرفته که فلج است، تمام علائم فلج -حتی علائم فیزیولوژیک- را از خود نشان می‌دهد.

از همه‌ی این شواهد، این نتیجه حاصل می‌شود که پردازش اطلاعات در سطوح گوناگون سلسله مرتب می‌تواند بلوکه شود و به سطح بالایی خود راه نیابد. این شواهد در واقع تأییدی بر دو فرض بنیادی ما هستند. نخست سلسله مراتبی بودن پردازش اطلاعات و بازنمایی آنها، و دوم اهمیت نقش بازنمایی سطح بالا در خودآگاهی.

۱- **Robert Efron**