The Time Course of Visual Processing on Different Levels of Object Categorization with the Same Stimulus: A Behavioral Study

Fatemeh Fallah, Reza Ebrahimpour*

Faculty of Computer Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

Article Info:

Received: **27 May 2017** ***Revised:*** **2 Sep 2017** ***Accepted*****: 18 Oct 2017**

ABSTRACT

Introduction: Human visual system is able to recognize the objects relevant information in natural images rapidly and efficiently. In the recognition process, an object can belong to different levels of abstraction (superordinate, basic, and subordinate) in a hierarchical structure. However, it remains unclear whether different questions at levels of object categorization for identical stimulus create different activation responses in the brain or not. ***Materials and Methods:*** In order to investigate the relation between brain function and human behavior, three behavioral experimental studies have been designed with help of psychophysics' toolbox in MATLAB R2015a. During these experiments, the participants asked to record animate, face, and animal face images as target images respect to the superordinate, basic, and subordinate levels, respectively. The experiments include seven blocks of 96 trials in superordinate (four blocks), basic (two blocks), and subordinate (one block) levels. Totally each subject has done 672 trials. ***Results:*** We observed that subjects' reaction time were task dependent for the same images in contrast to previous studies. That is, images in the superordinate level were observed in the early component of reaction time whereas basic and subordinate levels emerged relatively late. In all levels, only a set of 48 target images (animal face) was analyzed. These target images were randomly mixed with other ones. ***Conclusion:*** The results showed that superordinate level is well separated from the other two levels. In other words, this level needs more general information for object recognition process than other levels. These findings suggest that categorization of objects at different levels has done by three distinct neuronal circuits. Moreover, these results indicate that there are some top-down signals which change the information processing path respect to the questions.

Key words:

1. Psychophysics
2. Neurosciences
3. Reaction Time

***Corresponding Author:** Reza Ebrahimpour

E-mail: *rebrahimpour@srttu.edu*

بررسی زمان پردازش بینایی در سطوح مختلف دسته‌بندی اشیاء با محرک‌های یکسان: یک مطالعهٔ رفتاری

فاطمه فلاح، رضا ابراهیم‌پور*

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۶ خرداد ۱۳۹۶ **اصلاحیه:** ۱۱ شهریور ۱۳۹۶ **تاریخ پذیرش:** ۲۶ مهر ۱۳۹۶

چـــــکیده

مقدمه: دستگاه بینایی انسان قادر است اطلاعات مربوط به اشیایی که در تصاویر طبیعی وجود دارند را با سرعت و کارایی بازشناسی کند. در این فرایند بازشناسی، یک شی قابلیت قرار گرفتن در سطوح مختلف انتزاع (مافوق، بنیادی و مادون) در یک ساختار سلسله مراتبی را دارا می‌باشد. اگرچه مشخص نیست که آیا سؤال‌های مختلف در سطوح دسته‌بندی اشیاء برای محرک‌های یکسان، پاسخ‌های فعالسازی مختلفی را در مغز ایجاد می‌کنند یا خیر. ***مواد و روش‌ها:*** به‌منظور بررسی رابطهٔ بین عملکرد مغز و رفتار انسان، سه مطالعهٔ آزمایشی رفتاری به کمک جعبه ابزار روان–فیزیک متلب R2015a طراحی شده است. در طی این آزمایشات، از افراد شرکت کننده خواسته شد تصاویر جاندار، چهره و چهرهٔ حیوان را به ترتیب به‌عنوان تصاویر هدف با توجه به سطوح مافوق، بنیادی و مادون گزارش کنند. آزمایش‌ها شامل ۷ بلوک ۹۶ مرحله‌ای در سطح مافوق (۴ بلوک)، بنیادی (۲ بلوک) و مادون (۱ بلوک) است. در مجموع هر شرکت‌کننده ۶۷۲ مرحله را انجام داد. ***یافته‌ها:*** ما مشاهده کردیم که مدت زمان پاسخ افراد شرکت‌کننده به ازای تصاویر یکسان بر خلاف مطالعات قبلی در سطوح مختلف با هم متمایز شده است. به این معنی که تصاویر در سطح مافوق در بخش‌های اولیهٔ زمان پاسخ مشاهده می‌شوند در حالی که در سطوح بنیادی و مادون زمان واکنش نسبتاً دیرتر خواهد بود. در تمام سطوح، تنها ۴۸ تصویر از مجموعه تصاویر هدف (چهرهٔ حیوان) مورد ارزیابی قرار گرفتند. این تصاویر به صورت تصادفی با تصاویر دیگر هدف مخلوط شدند. ***نتیجه‌گیری:*** نتایج نشان داد که سطح مافوق از دو سطح دیگر به خوبی تفکیک شده است. به عبارت دیگر این سطح برای فرایند بازشناسی اشیاء به اطلاعات کلی‌تری نسبت به سطوح دیگر نیاز دارد. این یافته‌ها پیشنهاد می‌دهد که دسته‌بندی اشیاء در سطوح مختلف در سه مدار نورونی مجزا انجام می‌شوند. علاوه بر این، این نتایج نشان می‌دهند که برخی سیگنال‌های بالا به پایینی وجود دارند که مسیر پردازش اطلاعات را متناسب با سؤالات تغییر می‌دهند.

کلید واژه‌ها:

۱. روان- فیزیک
۲. علوم اعصاب
۳. زمان پاسخ

* **نویسنده مسئول:** رضا ابراهیم‌پور

آدرس الکترونیکی: *rebrahimpour@srttu.edu*

مقدمه

علی‌رغم تحقیقات گسترده در علوم اعصاب شناختی، سازوکاری که در پردازش بینایی برای دسته‌بندی اشیاء وجود دارد همچنان یک معماست (۱). در پیرامون ما تعداد بسیار زیادی شی وجود دارد که شناسایی و دسته‌بندی آن‌ها از جمله کارهای پیچیده‌ای است که سیستم بینایی با سرعت و دقت بالا و همچنین صرف مدت زمان کمی انجام می‌دهد. سیستم بینایی قادر است در شرایطی که اشیاء در موقعیت، مقیاس، زاویهٔ دید و روشنایی مختلف قرار دارند به راحتی خود را برای شناسایی آن‌ها وفق دهد. نحوهٔ بازنمایی و زمان پردازش اشیاء در قشر بینایی مغز یکی از مباحث جذاب برای محققین عرصهٔ علوم اعصاب شناختی است که می‌توان از آن به‌عنوان ابزاری برای مطالعهٔ لایه‌های مختلف قشر بینایی و نحوهٔ عملکرد آن‌ها در دسته‌بندی اشیاء استفاده کرد. ضرورت و اهمیت این مسأله را در موارد بسیاری از جمله سامانهٔ ارتباط مغز و رایانه (BCI)[1] با قابلیت دسته‌بندی بالا می‌توان مشاهده نمود. راهکارها و روش‌های متعددی برای ارزیابی و بررسی موارد فوق وجود دارد که هر یک ویژگی‌های به خصوصی دارند. یکی از روش‌های بررسی زمان پردازش محرک‌های بینایی در مغز، ثبت زمان پاسخ‌دهی در آزمایش روان -فیزیک[2] بینایی است. آزمایش‌های روان -فیزیک به تنهایی و یا به صورت ترکیبی با سایر روش‌ها همانند ثبت فعالیت‌های مغزی، کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف علوم اعصاب و به‌خصوص تشخیص‌های اختلالات شناختی دارند (۲).

یک شی را می‌توان در سطح مافوق[3] (حیوان)، بنیادی[4] (سگ) و مادون[5] (سگ شکاری) دسته‌بندی کرد. به عبارت دیگر هرچه در این طبقه‌بندی پایین‌تر می‌رویم به جزئیات بیشتری می‌رسیم. سرعت و دقت ما در دسته‌بندی سطوح مختلف انتزاعی با یکدیگر متفاوت است. سؤال اینجاست که آیا این تفاوت را می‌توان نشانه‌ای از تفاوت مسیر نورون‌های مسئول این سطوح دسته‌بندی دانست.

در این زمینه نظریه‌ها و ادعاهای متفاوتی وجود دارد که از جملهٔ آن‌ها می‌توان به نظریهٔ سطح ورودی[6] اشاره کرد. در این نظریه دسته‌بندی اشیاء بر اساس پردازش سلسله مراتبی (مرحله به مرحله) نورون‌های مسیر بینایی صورت می‌پذیرد. پردازش خودکار سطح بنیادی انتزاع در برابر سایر سطوح از دیگر ویژگی‌های سطح ورودی است، از این‌رو سطح بنیادی نسبت به تغییراتی از قبیل دشواری آزمایش مقاوم است در حالی که سایر سطوح به پردازش معنایی بیشتری نیاز دارند (۳). این نظریه بر اساس یافته‌های راش[7] و این استدلال که سریع‌ترین مرحله نخستین مرحله است، طراحی شده است (۴).

در سال ۲۰۰۵ کانویشر[8] و گریل اسپکتر[9] بر پایهٔ این ادعا سعی نمودند به این سؤال پاسخ دهند که آیا همزمان با شناسایی اشیاء دسته‌بندی نیز صورت می‌پذیرد؟ آن‌ها متوجه شدند شرکت‌کنندگان برای «شناسایی» و «دسته‌بندی اشیاء در سطح بنیادی» زمان تقریباً یکسانی صرف می‌کنند. بنابراین نتیجه گرفتند که اشیاء همزمان با شناسایی شدن در سطح بنیادی دسته‌بندی نیز می‌شوند (۵). ادعایی که بعداً توسط مک[10] و پالمری[11] به چالش کشیده شد (۶). مک از سه روش جداگانهٔ به کارگیری دامنه‌های متفاوت، تخریب تصاویر و معکوس کردن آن‌ها برای پاسخ به سؤال فوق (مقایسهٔ زمانی شناسایی و دسته‌بندی اشیاء در سطح بنیادی) استفاده نمود. او متوجه شد شناسایی اشیاء در برابر دسته‌بندی اشیاء در سطح بنیادی واکنش‌های متفاوتی نسبت به این تغییرات دارند. نتیجه شکست فرضیهٔ کانویشر بود یعنی این دو کارکرد توسط یک مسیر نورونی یکسان انجام نمی‌شوند.

در سال ۲۰۰۹ مک و پالمری نظریهٔ سطح ورودی را نیز به چالش کشیدند و این سؤال را مطرح نمودند که آیا لزوماً سریع‌تر انجام شدن یک آزمایش به معنای پردازش زودتر آن در مغز است؟ برای پاسخ به این سؤال، آن‌ها با طراحی یک آزمون دریافتند که سریع‌تر بودن پردازش نورون‌ها لزوماً به معنی اول بودن نیست و این امکان وجود دارد که مراحل پردازش دیرتر آغاز شده اما صرفاً سریع‌تر پردازش شده باشند. آن‌ها سه پارامتر جدید به مراحل آزمایش اضافه نمودند. از نظر آن‌ها دسته‌بندی اشیاء در سطوح مختلف ممکن است در زمان‌های متفاوتی آغاز شوند، با روند متفاوتی رشد کنند و در زمان متفاوتی به ماکزیمم کارایی[12] برسند و آنچه تا به حال به‌عنوان برتری سطح بنیادی به سطح مافوق گزارش شده است، تنها برتری میانگین زمانی در نمودار توزیع پاسخ زمانی‌ها است (۷). مک به تازگی ادعا کرده است دسته‌بندی اشیاء حاصل یک پردازش ایستا و مرحله به مرحله نمی‌باشد بلکه آن را دارای سازوکاری پویا می‌داند که کاملاً انعطاف‌پذیر بوده و سه عامل سطح انتزاعی دسته‌بندی، زمان رمزگذاری ادراکی[13] و زمینهٔ دسته‌بندی[14] در شکل‌گیری آن نقش مؤثر دارند (۸).

[1] Brain-computer interface
[2] Psychophysics
[3] Superordinate level
[4] Basic level
[5] Subordinate level
[6] Entry level
[7] Rosch
[8] Kanwisher
[9] Grill Spector
[10] Mack
[11] Palmeri
[12] Performance
[13] Encoding perceptual
[14] Context category

زمان نمایش تصاویر یکی از عوامل تأثیرگذار بر سازوکار دسته‌بندی اشیاء است که در مطالعات متعددی مورد بررسی قرار گرفته است (۹، ۱۰). هر چند ماهیت این مطالعات و تأکید بر نسبت دادن تفاوت حاصله در نحوهٔ پردازش تصاویر به زمان نمایش آن‌ها توسط ون رولن[15] به چالش کشیده شده است (۱۱). همچنین تأثیر زمان نمایش توسط دو گروه با سابقهٔ تورپ[16] و پاتر[17] به دفعات مورد بررسی قرار گرفته است. پاتر با ابداع روش نمایش سریع تصاویر (RSVP)[18] نشان داد محدود کردن زمان نمایش تا ۱۳ میلی‌ثانیه تأثیری بر برتری سطح بنیادی نسبت به سایر سطوح ندارد. اما ابداع آزمایش‌های دسته‌بندی فوق سریع توسط سایمون تورپ معادلات حاکم را تا حدودی تغییر داد (۱۲). او و همکارانش نشان دادند کاهش زمان نمایش تصاویر برتری سطح بنیادی به سطح مافوق را متحول می‌کند (۱۳).

در برخی دیگر از مطالعات برخلاف کارهای گذشته برتری سطح مافوق به سطح بنیادی به دست آمد که هستهٔ شناسایی اشیاء نامیده شد. مک در سال ۲۰۰۹ این برتری زمانی را ۵۰ میلی‌ثانیه اندازه‌گیری کرد و با این کار به تناقض موجود بین برتری سطح مافوق و بنیادی رسمیت بخشید (۱۴).

در این مقاله، با بهره‌گیری از شواهد بیولوژی در ادبیات موضوع و همچنین آزمایش‌های روان -فیزیک، به تحلیل و بررسی نحوهٔ بازنمایی اطلاعات مربوط به سطوح دسته‌بندی اشیاء در سیستم بینایی انسان پرداخته شد تا بتوان به توسعه و بهبود مدل‌های موجود در این حوزه کمک شایانی نمود. نتایج حاصل از تحلیل داده‌های به دست آمده از آزمایش روان -فیزیک که نتایج مطالعات قبلی را تأیید می‌کنند، نشان می‌دهند که سطح مافوق نسبت به دو سطح دیگر انتزاع، به زمان پردازش کمتری نیاز دارد.

مواد و روش‌ها

روش تحقیق

روان -فیزیک، رشته‌ای علمی است که در حوزهٔ روانشناسی مطرح بوده و هدف آن، مطالعهٔ کمّی ظرفیت‌ها و قابلیت‌های ادراکی -شناختی مغز به وسیلهٔ اندازه‌گیری پاسخ انسان و موجودات زنده قابل آزمایش است.

از روش‌های بررسی زمان پردازش محرک‌های بینایی در مغز، ثبت زمان واکنش در آزمایش روان -فیزیک بینایی است. در دانش روان -فیزیک بینایی، مغز انسان یک جعبهٔ سیاه[19] در نظر گرفته می‌شود که می‌توان با کمک تغییرات خصوصیات فیزیکی محرک‌ها، کارایی و زمان پاسخ‌دهی شرکت‌کننده[20] را سنجید و بر اساس آن تحلیل کرد که مغز احتمالاً از چه سازوکارهایی برای پردازش این اطلاعات استفاده می‌کند. به عبارت دیگر در این روش به طور غیر مستقیم و از طریق رفتار و عملکرد شرکت‌کننده می‌توان سیستم بینایی را مورد ارزیابی قرار داد.

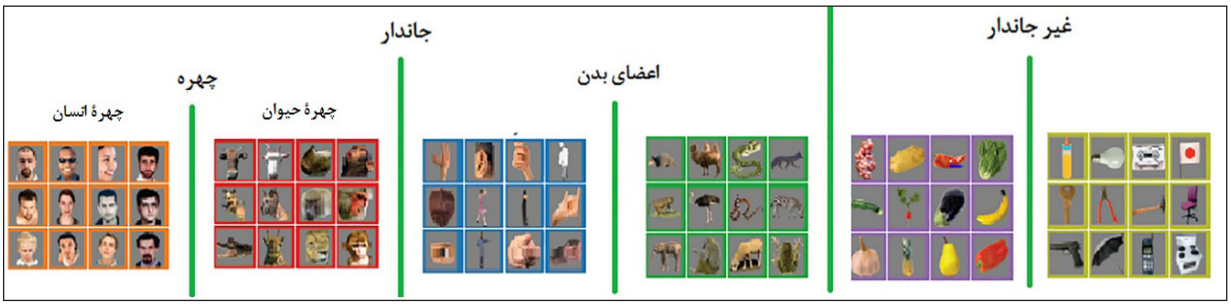
شرکت‌کنندگان

در سه آزمایش که در سطوح مختلف دسته‌بندی اشیاء (مافوق، بنیادی و مادون) انجام شد از ۱۰ شرکت‌کننده شامل چهار خانم و شش آقا که در محدودهٔ سنی ۲۴ تا ۲۷ سال قرار داشتند، استفاده شده است. افراد شرکت‌کننده از نظر بینایی سالم و یا اصلاح شده (با استفاده از عینک) بودند. قبل از شروع آزمایش‌ها از تمامی شرکت‌کنندگان رضایت‌نامهٔ کتبی دریافت شده است. در آزمایش کنترلی که شامل یک بلوک ۲۴ مرحله‌ای برای هر یک از سطوح طبقه‌بندی است، شرکت‌کننده‌ها آموزش می‌بینند و بعد از ارزیابی کارایی و زمان پاسخ آن‌ها، آزمایش اصلی را انجام می‌دهند. هر شرکت‌کننده هر تصویر را تنها یک بار در طی آزمایش‌ها مشاهده می‌کند. در این مطالعه، آزمایش‌های رفتاری به کمک جعبه ابزار روان -فیزیک[21] نرم‌افزار متلب R2015a پیاده‌سازی شده است. به‌منظور ثابت بودن شرایط آزمایش‌ها برای تمامی شرکت‌کنندگان، یک دستورالعمل مشخص از چگونگی انجام آزمایش در اختیار شرکت‌کنندگان قرار گرفته است و تمامی شرکت‌کنندگان قبل از شروع آزمایش اصلی دستوالعمل چگونگی انجام آزمایش را مطالعه کرده‌اند.

محرکِ بینایی

در این آزمایش‌ها از تصاویر صحنه‌های طبیعی که از مجموعه داده (Corel Stock Photo Library) گرفته شده است، استفاده می‌شود. اندازهٔ تصاویر به نمایش درآمده ۱۷۵ در ۱۷۵ پیکسل[22] است که با احتساب فاصلهٔ شرکت‌کنندگان از صفحهٔ نمایش (که ۵۷ سانتی‌متر انتخاب شد) تولید تصویری به اندازهٔ حدود ۶/۵ در ۷ درجه بینایی بر روی شبکیهٔ افراد می‌نمود. همان‌طور که در تصویر ۱ نشان داده شده است تصاویر به شش دسته شامل تصاویر جاندار (انسان و حیوان) و غیر جاندار (طبیعی و دست‌ساز بشر)، چهره و اجزای بدن و همچنین چهرهٔ انسان و چهرهٔ حیوان تقسیم‌بندی می‌شوند. محرک‌ها در اولین سطح دسته‌بندی به دستهٔ جاندار در مقابل غیر جاندار به‌عنوان سطح مافوق تقسیم‌بندی می‌شوند. تصاویر جاندار سپس به دو دسته چهره در مقابل اجزای بدن مجزا خواهند شد و در سطح آخر نیز تصاویر چهرهٔ انسان در مقابل چهرهٔ حیوان قرار می‌گیرند. تصاویر به صورت رنگی بر روی صفحه نمایش خاکستری ظاهر می‌شوند.

[15] Van Rullen
[16] Thorpe
[17] Potter
[18] Rapid serial visual presentation
[19] Black box
[20] Subject
[21] Psychometric toolbox
[22] Pixel



تصویر ۱- مجموعه تصاویر استفاده شده در آزمایش (۱۶، ۱۵). ۳۸۴ تصویر استفاده شده در این مطالعه شامل ۱۹۲ تصویر از تصاویر جاندار و غیر جاندار، ۹۶ تصویر از تصاویر چهره و اعضای بدن و همچنین ۴۸ تصویر از تصاویر چهرهٔ انسان و چهرهٔ حیوان می‌باشند.

چگونگی انجام آزمایش

آزمایش‌ها در یک اتاقِ نیمه‌تاریک و عایق در برابرِ نور و صدا انجام شده است. به این صورت که شرکت‌کنندگان بر روی یک صندلی به فاصلهٔ ۵۷ سانتی‌متر از یک صفحه نمایش CRT با ابعادِ ۱۷ اینچ[23]، فرکانس ۷۵ هرتز و با وضوح تصویرِ ۶۰۰ در ۸۰۰ پیکسل آزمایش خود را شروع می‌کردند. برای شروع یک بلوک از تصاویر، شرکت‌کنندگان باید انگشت خود را بر روی کلید معین شده بر روی صفحه کلید قرار دهند. سپس در طی هر مرحله از آزمایش یک علامت (+) تمرکز به فرد سفید رنگ به قطر ۰/۷۶ در ۰/۷۶ درجهٔ بینایی به مدت ۳۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌ثانیه در مرکزِ صفحه نمایش به‌منظور ثابت نگه‌داشتنِ تمرکزِ شرکت‌کننده ظاهر می‌شود و به دنبال آن تصاویر اشیاء به مدت ۲۶ میلی‌ثانیه (دو فریم) نمایش داده می‌شوند. شرکت‌کنندگان با مشاهدهٔ تصاویر هدف تا حد امکان با سرعت و دقت بالا، انگشت خود را از روی کلید بر می‌دارند (Go response) و در صورتی که پاسخ آن‌ها بیشتر از ۱ ثانیه طول بکشد به‌عنوان No Go response محسوب می‌شود. بعد از یک تأخیر زمانی ۳۰۰ میلی‌ثانیه‌ای (که در این فاصله صفحه نمایش مجدداً مشکی رنگ می‌شد)، نقطهٔ تمرکز به فرد دوباره برای یک مدت زمان متغییر ظاهر می‌شود که در مجموع به صورت تصادفی بین ۱۶۰۰ تا ۲۲۰۰ میلی‌ثانیه فاصلهٔ زمانی بین نمایش محرک‌ها وجود دارد. بدیهی است در صورتی که تصاویر اشیاء جزء تصاویر هدف نباشند، شرکت‌کننده می‌بایست انگشت خود را حداقل به مدت ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه بر روی کلید مشخص، نگه دارد.

آزمایش‌های انجام شده شامل هفت بلوک ۹۶ مرحله‌ای است که چهار بلوک آن مربوط به سطح مافوق، دو بلوک آن مربوط به سطح بنیادی و یک بلوک آن مربوط به سطح مادون است. سطوحی که تصاویر در آن دسته‌بندی می‌شوند به صورت تصادفی قرار می‌گیرند (هر شرکت‌کننده هر هفت بلوک را با یک ترتیب تصادفی انجام می‌دهد) همچنین وضعیت تصاویر (هدف یا غیر هدف بودن آن‌ها) بستگی به سطحی است که تصاویر در آن دسته‌بندی می‌شوند ولی در نهایت در هر بلوک تعداد تصاویر هدف با تصاویر غیر هدف برابر است.

در سطح مافوق، تصاویر جاندار به‌عنوان تصاویر هدف دسته‌بندی می‌شوند سپس دو سطح دیگر به صورت سلسله مراتبی قرار می‌گیرند به این ترتیب که تصاویر سطح بنیادی از بین ۱۹۲ تصویرِ هدفی که در سطح مافوق قرار داشتند، انتخاب می‌شوند و نیمی از آن‌ها به‌عنوان تصاویر هدف و نیمی دیگر به‌عنوان تصاویر غیر هدف می‌باشند (تصاویر چهره در مقابل تصاویر بدن). تمامی ۹۶ تصویر سطح مادون نیز به همین روش از بین تصاویر هدفِ سطح بنیادی انتخاب می‌شوند و ۴۸ تصویر چهرهٔ انسان در مقابل ۴۸ تصویر چهرهٔ حیوان قرار خواهند گرفت (تصویر ۲). بنابراین تصاویر چهرهٔ حیوان در هر سه سطح به صورت یکسان وجود دارند که به‌عنوان تصاویرِ هدف نهایی مورد تحلیل قرار می‌گیرند و امکان مقایسه بین سطوح را فراهم می‌آورند.

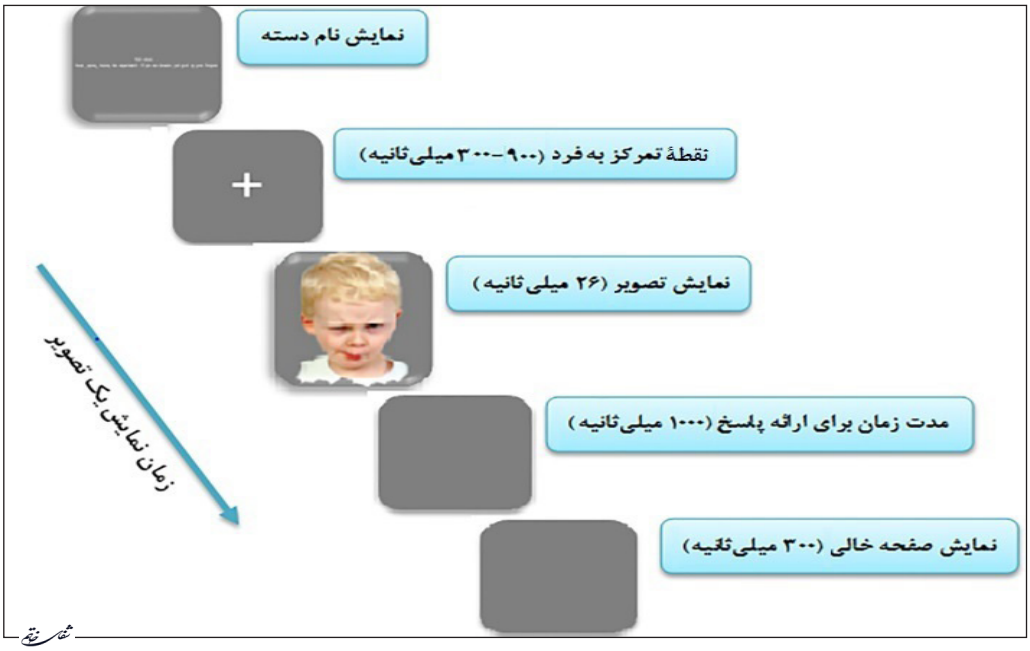
تحلیل آماری داده‌ها

در این مطالعه به تحلیل و بررسی نحوهٔ بازنمایی اطلاعات مربوط به سطوح دسته‌بندی اشیاء با استفاده از آزمایش‌های روان -فیزیک پرداخته شد. همچنین ویژگی‌های این سطوح از منظر کارایی، پردازش زمانی و نحوهٔ بازنمایی پیچیدگی محرک ارزیابی شدند. در این مطالعه نتایج حاصل از آزمایش‌های روان -فیزیک با استفاده از روش آزمون تی استیودنت[24] مورد تحلیل و پردازش قرار گرفت که سطوح دسته‌بندی دارای سطح معنی‌داری $P<0/05$ می‌باشد. تحلیل داده‌های این آزمایش به کمک نرم‌افزار متلب R2015a انجام شده است. همچنین برای تحلیل‌هایی که در ادامه آمده است از توابع آمادهٔ این نرم‌افزار استفاده شده است.

یافته‌ها

قبل از شروع آزمایش اصلی، شرکت‌کنندگان آزمایش کنترلی را تا زمانی انجام می‌دهند که کارایی و زمان

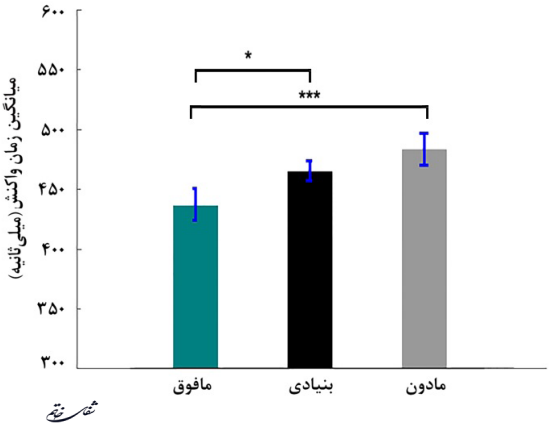
[23] Inch
[24] T-student test



تصویر ۲- روند آزمایش‌های دسته‌بندی اشیاء در سطوح مختلف انتزاع. فواصل زمانی مختلفی که در طی نمایش یک تصویر در نظر گرفته شده است. بدین صورت که در ابتدا نام دستهٔ مورد نظر (جاندار، چهره و چهرهٔ حیوان) نشان داده می‌شود. بعد از نمایش علامت سفید رنگ در مرکز صفحه به‌منظور ثابت نگه داشتن تمرکز شرکت‌کننده، تصاویر به مدت ۲۶ میلی‌ثانیه نمایش داده می‌شوند و شرکت‌کننده‌ها مدت ۱ ثانیه زمان برای پاسخ دارند. سپس با نمایش صفحه خالی به مدت ۳۰۰ میلی‌ثانیه، این روند برای هر تصویر تکرار خواهد شد.

پاسخ سطح بالایی را کسب کنند. در هر بلوک از آزمایش اصلی نیز تصاویر هدف به صورت تصادفی با تصاویر غیر هدف ترکیب شده و نشان داده می‌شوند. بعد از اتمام آزمایش‌های رفتاری، تحلیل‌هایی بر روی ۴۸ تصویر مشترک که در هر سه سطح دسته‌بندی انتزاعی به صورت یکسان وجود دارد انجام شد. در واقع تحلیل‌های انجام شده در راستای پاسخ به این مسئله که آیا سؤال‌های مختلف در سطوح دسته‌بندی اشیاء به ازای ورودی‌های یکسان، پاسخ متفاوتی ایجاد می‌کنند، انجام شده است. پاسخ و زمان پاسخ افراد در آزمایش‌های بازشناسی اشیاء ثبت شد. نتایج حاصل از تحلیل داده‌های به دست آمده از آزمایش روان -فیزیک نشان می‌دهند که کارایی سطوح دسته‌بندی اشیاء در سه سطح مافوق، بنیادی و مادون، درصد میزان پاسخ‌های صحیح را نشان می‌دهد. در تمامی سطوح میزان کارایی مجموع شرکت‌کنندگان، دارای مقادیر بالایی است، به عبارت دیگر شرکت‌کنندگان هر سه سطح را به خوبی پاسخ می‌دهند که میزان این کارایی در سه سطح مافوق، بنیادی و مادون برای مجموع شرکت‌کنندگان به ترتیب ۹۹/۲۱ درصد، ۹۷/۱۳ درصد، ۹۹/۷۳ درصد است.

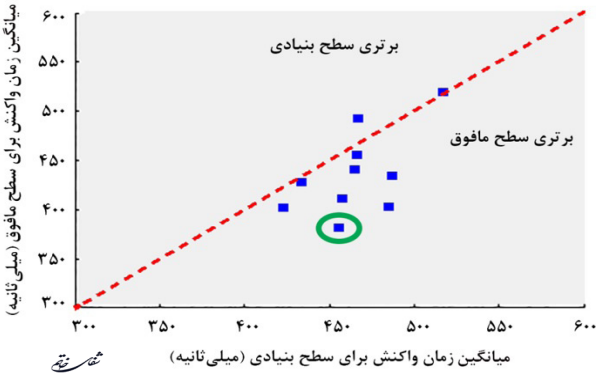
یکی دیگر از مواردی که با استفاده از آزمایش‌های رفتاری قابل تحلیل می‌باشد، ثبت زمان پاسخ‌دهی شرکت‌کنندگان است که با توجه به آن می‌توان سرعت پردازش اشیاء مختلف در مغز را مورد بررسی قرار داد. در ادامه برای ارزیابی زمان پردازش محرک از میانگین زمانی پاسخ‌ها استفاده شد. میانگین زمان واکنش برای مجموع ۱۰ شرکت‌کننده در سطوح مافوق ، بنیادی و مادون بین زمان‌های ۴۰۰ تا ۵۵۰ میلی‌ثانیه در نمودار ۱ نشان داده شده است. با دقت در نمودار مشاهده می‌شود سطح مافوق که شامل تصاویر جاندار است و در سطح بالایی سلسله مراتب دسته‌بندی اشیاء قرار دارد سریع‌تر از دو سطح دیگر پردازش شده و به زمان پردازش کمتری نیاز دارد در حالی که سطوح بنیادی و مادون به مدت زمان بیشتری برای فرایند پردازش در سیستم بینایی مغز نیاز دارند.



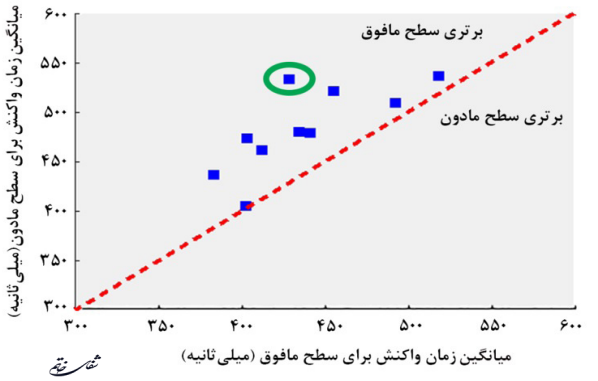
نمودار ۱- میانگین زمان پاسخ‌دهی شرکت‌کنندگان در سطوح دسته‌بندی اشیاء که سطح مافوق سریع‌تر از سطح بنیادی و سطح مادون پردازش می‌شود. * بیانگر $P<0/05$ و *** بیانگر $P<0/001$ است، نشانگرهای خطا (Error bars) بیانگر میزان خطای استاندارد از میانگین (Standard error of the mean (SEM) هستند.

در نمودارهای ۲ تا ۴ نتایج میانگین زمان واکنش برای دو به دوی سطوح نسبت به یکدیگر با جزئیات بیشتر نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است برتری سطح مافوق نسبت به سطح بنیادی، برتری سطح مافوق نسبت به سطح مادون و برتری سطح بنیادی نسبت به سطح مادون به تفکیک در نمودارها نشان داده شده است به طوری که سطح برتر در هر نمودار دارای میانگین زمان واکنش بین ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌ثانیه است و سطح دیگر که در تقابل با آن قرار دارد میانگین زمان واکنشی حدود ۵۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌ثانیه را داراست.

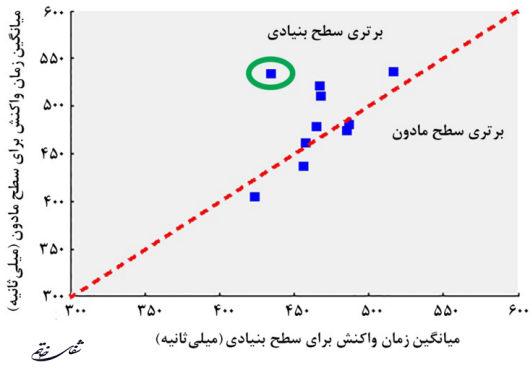
همچنین در این مطالعه با استفاده از آزمایش‌های رفتاری، به تفاوت‌های موجود در روند پردازشی سطوح مختلف پاسخ داده شد. به این منظور نمودار ۵ توزیع درصد پاسخ‌های صحیح[25] برای زمان‌های واکنش برای سطوح دسته‌بندی اشیاء را نشان می‌دهد که البته در تمامی سطوح تنها ۴۸ تصویر یکسان چهرهٔ حیوان مورد ارزیابی قرار گرفته است که مدت زمان توزیع این



نمودار ۲- برتری سطح مافوق نسبت به سطح بنیادی برای میانگین زمان واکنش. همان‌طور که مشاهده می‌شود حدود هشت شرکت‌کننده دارای میانگین زمانی بالاتری در سطح مافوق نسبت به سطح بنیادی می‌باشند. به‌عنوان مثال برای شرکت‌کننده‌ای که در تصویر مشخص شده است میانگین زمان واکنش برای سطح مافوق حدود ۴۶۰ میلی‌ثانیه است در حالی که همین مقدار برای سطح بنیادی حدود ۳۸۰ میلی‌ثانیه می‌باشد.

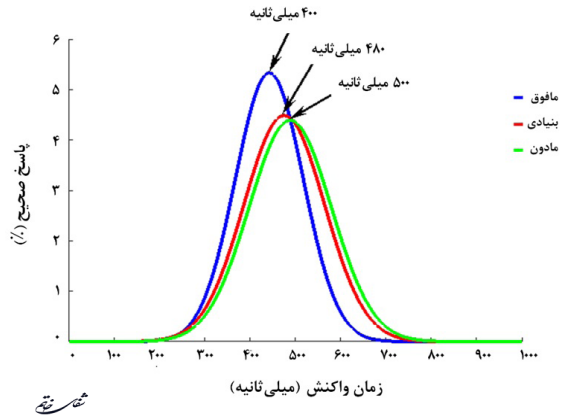


نمودار ۳- برتری سطح مافوق نسبت به سطح مادون برای میانگین زمان واکنش. همان‌طور که مشاهده می‌شود ۱۰ شرکت‌کننده دارای میانگین زمانی بالاتری در سطح مافوق نسبت به سطح مادون می‌باشند. به‌عنوان مثال برای شرکت‌کننده‌ای که در تصویر مشخص شده است میانگین زمان واکنش برای سطح مافوق حدود ۴۳۰ میلی‌ثانیه است در حالی که همین مقدار برای سطح مادون حدود ۵۴۰ میلی‌ثانیه می‌باشد.



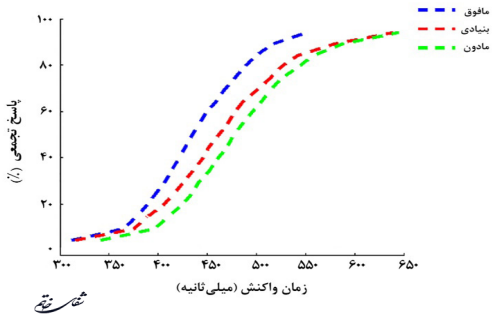
نمودار ۴- برتری سطح بنیادی نسبت به سطح مادون برای میانگین زمان واکنش. همان‌طور که مشاهده می‌شود حدود شش شرکت‌کننده دارای میانگین زمانی بالاتری در سطح بنیادی نسبت به سطح مادون می‌باشند. به‌عنوان مثال برای شرکت‌کننده‌ای که در تصویر مشخص شده است میانگین زمان واکنش برای سطح بنیادی حدود ۴۳۰ میلی‌ثانیه است در حالی که همین مقدار برای سطح مادون حدود ۵۴۰ میلی‌ثانیه می‌باشد.

تصاویر به ترتیب برای سطوح مافوق، بنیادی و مادون افزایش می‌یابد به عبارت دیگر پیک نمودار سطح مافوق قبل از پیک نمودارهای دو سطح بنیادی و مادون در زمان سریع‌تری اتفاق می‌افتد. در ادامه با توجه به نمودار ۶ میزان تفکیک شدن این سه فرایند پردازشی در سه سطح دسته‌بندی اشیاء مشاهده می‌شود. میزان پاسخ شرکت‌کنندگان در زمان‌های مختلف به صورت (۵ درصد چندک[26]) محاسبه شده است که شیب این نمودارها نشان می‌دهد که میزان تغییرات در کدام بازه‌های زمانی بیشتر بوده و در زمان‌هایی که نمودار یکنواخت‌تر است میزان تغییرات چندانی در روند پردازشی مشاهده نمی‌شود. با مقایسهٔ تأخیر زمانی سه سطح، این روند را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که سطح مادون و بنیادی نسبت به سطح مافوق آهسته‌تر پردازش می‌شوند در حالی که اشیاء در سطح مافوق با سرعت بیشتری تشخیص داده می‌شوند.



نمودار ۵- توزیع درصد فراوانی پاسخ‌های صحیح در زمان‌های پاسخ‌دهی ۰-۱۰۰۰ میلی‌ثانیه که با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که درصد پاسخ‌های صحیح در سطح مافوق بیشتر از دو سطح دیگر است. یعنی شرکت‌کنندگان دو سطح بنیادی و مادون را در مدت زمان بیشتری نسبت به سطح مافوق پاسخ می‌دهند (پیک زمانی در سطح مافوق در زمان ۴۰۰ میلی‌ثانیه اتفاق می‌افتد در حالی که پیک سطوح بنیادی و مادون به ترتیب در زمان‌های ۴۸۰ میلی‌ثانیه و ۵۰۰ میلی‌ثانیه رخ می‌دهند).

[25] Correct go response
[26] Quantile



نمودار ۶- درصد پاسخ تجمعی شرکت‌کنندگان در سطوح دسته‌بندی اشیاء که شیب این نمودار میزان تغییرات را در طی زمان نشان می‌دهد. در بازهٔ زمانی ۴۰۰-۵۰۰ میلی‌ثانیه بیشترین میزان تغییرات به ترتیب در سه سطح مافوق، بنیادی و مادون مشاهده می‌شود، مدت زمان توزیع تصاویر هدف به ترتیب برای سطح مافوق، بنیادی و مادون افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان این رخداد را این‌گونه توجیه کرد که سطح مادون و بنیادی برای پردازش اشیاء به اطلاعات جزئی‌تری نیاز دارند و مدارات نورونی ریزتری را درگیر می‌کنند در حالی که سطح مافوق اطلاعات کلی‌تری را برای پردازش در نظر می‌گیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

نورون‌ها در نواحی پردازشی بالاتر مستقل از ویژگی‌های یکسان محرک بسته به سؤالی که پرسیده می‌شود ویژگی‌های مختلفی از تصویر استخراج می‌کنند که برای پردازش اطلاعات در پاسخ به آن سؤال مورد نیاز است. این تفاوت در پاسخ، به دلیل مسیر پردازشی متفاوتی است که هر سؤال فعال می‌کند. نتیجه و یافتهٔ مطالعهٔ پیش‌رو نشان می‌دهد که تفاوت نسبت به سؤال‌های مختلف در نواحی مختلف مغز، پاسخ متفاوتی ایجاد می‌کند در حالی که در سطح سنسوری ورودی‌های یکسانی وجود دارد. همان‌طور که اشاره شد طبق مطالعات پیشین نظریه‌های متفاوتی در مورد سطوح مختلف دسته‌بندی اشیاء وجود دارد که در برخی برتری سطح مافوق به بنیادی و در برخی دیگر برتری سطح بنیادی به مافوق گزارش شده است. اما در واقع سیستم بینایی انسان یک سیستم سلسله مراتبی واحد است و روند یکسانی در مغز برای پردازش و دسته‌بندی اشیاء در نظر گرفته می‌شود. سرعت و کارایی این پردازش بینایی می‌تواند هم به وسیلهٔ روش‌های تهاجمی که از سطح قشر مغز فعالیت‌ها ثبت می‌شوند و هم از طریق روش‌های غیر تهاجمی که فعالیت‌ها از سطح پوست سر ثبت می‌شوند، بررسی گردد. به طور کلی بخش وسیعی از دانش ما در حوزهٔ علوم اعصاب شناختی، به کمک روش‌های غیر تهاجمی به‌ویژه آزمایش‌های روان -فیزیک به دست می‌آیند. روان -فیزیک در ترکیب با سایر روش‌های تصویربرداری و ثبت فعالیت‌های عصبی نیز می‌تواند به کار گرفته شود. برای نمونه فردی را تصور کنید که در حال انجام یک آزمایش روان -فیزیک، از او ثبت نوار مغزی گرفته می‌شود. به این ترتیب روان -فیزیک از زمان‌های گذشته تاکنون، به‌عنوان یکی از پایه‌ای‌ترین روش‌های مطالعهٔ شناخت، به تنهایی و در ترکیب با سایر روش‌ها، به دانشمندان این حوزه کمک کرده است.

حال سؤال اینجاست که با وجود یک سیستم واحد، چگونه سرعت و زمان واکنش برای شناسایی اشیاء متفاوت است. عوامل متعددی از جمله زمان نمایش تصاویر، همگن یا غیرهمگن بودن دستهٔ تصاویر هدف، تفاوت در زاویه، شکل، موقعیت و یا ویژگی‌های سطح پایین تصاویر و غیره در این اختلاف نظر تأثیرگذار می‌باشند.

هرچند فابرتورپ[27] در مطالعه‌ای با دستکاری زمان نمایش تصاویر، تنوع دستهٔ تصاویر هدف و نوع پاسخ ادعا کرده بود که برتری سطح مافوق از این عوامل تأثیر نمی‌گیرد (۱۷). افزایش زمان نمایش تصاویر، تنها کارایی را برای دسته‌بندی اشیاء طبیعی افزایش می‌دهد و بر روی تأخیر زمانی پاسخ‌ها بی‌تأثیر است. او نشان داد که گوناگونی دستهٔ تصاویر هدف و یا به عبارت دیگر تفاوت بین دستهٔ تصاویر هدف و غیر هدف بر روی زمان پردازش تأثیرگذار بوده ولی موجب برتری سطح بنیادی بر مافوق نمی‌شود. فابرتورپ در عین حال تفاوت‌های موجود در میزان برتری سطح مافوق بین دامنه‌های مختلف را به عامل دیگر به نام همگن بودن گروه هدف و غیر هدف نسبت داد و نشان داد به میزانی که گروه هدف از نظر همگن بودن یکنواخت‌تر باشد، زمان پاسخ‌دهی فارغ از سطح انتزاعی آن دسته، کاهش خواهد یافت. او علت این افزایش سرعت را کاهش تعداد ویژگی‌های معتبر برای انجام آزمایش دانست. این در حالی است که فابرتورپ چهار سال قبل نیز ادعا کرده بود که دسته‌بندی سطح مافوق احتمالاً توسط مسیر ماگنو انجام می‌شود و از آنجایی‌که این مسیر سریع‌تر و البته نادقیق‌تر است، کوتاه کردن زمان نمایش تصاویر با محدود کردن اطلاعات ورودی، آسیب کمتری می‌بینند (۱۰). اما دسته‌بندی سطح بنیادی و مادون توسط مسیر کند و دقیق پاروو انجام می‌شود و به همین دلیل حساسیت بیشتری به میزان اطلاعات ورودی دارد. پیشنهاد آن‌ها کافمن[28] را ترغیب کرد تا با کمک فیلتر فرکانس فضایی نقش متمایز فرکانس فضایی اطلاعات، در این دو سطح معنایی را بررسی کند. طبق پیش‌بینی تورپ سیستم بینایی ما خواهد توانست بدون کمترین مشکلی تصاویر با فرکانس فضایی پایین (LSF)[29] را در سطح مافوق دسته‌بندی کند اما دسته‌بندی در سطوح دیگر (بنیادی و مادون) را با مشکل مواجه خواهد کرد.

اما برای کنترل عوامل فوق در این مطالعه، از مجموعه تصاویر هدف یکسان در سه سطح دسته‌بندی استفاده

[27] Fabre-Thorpe
[28] Kauffmann
[29] Low spatial frequency

شد. بنابراین با یکسان انتخاب کردن تصاویر ورودی در سه سطح انتزاع، تنها تأثیر سؤال‌های مختلف که باعث پردازش‌های متفاوت در سطوح می‌شود مورد بررسی قرار داده شد. به عبارت دیگر، تفاوت کار ما با کارهای قبلی در یکسان انتخاب کردن مجموعه تصاویر هدف در هر سه سطح انتزاع بود در حالی که در کارهای گذشته از دسته تصاویر متفاوتی استفاده می‌شود و اختلاف بین پاسخ‌ها می‌توانست از تفاوت در زاویه، شکل، موقعیت و یا ویژگی‌های سطح پایین نشأت گیرد.

به طور کلی پردازش اطلاعات بینایی در دو مسیر پیشرو و بازگشتی[30] قابل انجام می‌باشد. مجموعهٔ زیادی از داده‌های نوروفیزیولوژیک و فیزیولوژیک نیز حاکی از آن است که شناسایی اشیاء آن‌قدر سریع انجام می‌شود که در یک مسیر پیشرو از فعالیت‌ها در سیستم بینایی قابل انتشار است (۱۹، ۱۸، ۹). علاوه بر این، در مطالعات اخیر نظریه‌پردازان معتقد می‌باشند که شناسایی اشیاء و پردازش اطلاعات افزون بر مسیر پیشرو به پردازش‌های بازخوردی قشر مغز نیز بستگی دارد تا بازنمایی در سطوح پایین‌تر و بالاتر به صورت موازی ابهام زدایی شود (۲۴-۱۹). در این راستا می‌توان به مطالعهٔ کویستو[31] اشاره کرد که نشان داد آزمایش فوق سریع علی‌رغم ادعای تورپ به پردازش بازگشتی وابستگی دارد. او نشان داد بازخوردهای قشر جانبی پس‌سری (LOC)[32] به V1 - V2 بیان‌کنندهٔ علت این امر هستند. او در آزمایشی دیگر در سال ۲۰۱۴ نشان داد این مسیر بازگشتی نقش حیاتی در شناسایی دسته‌بندی سطوح را بر عهده دارد (۲۵). زمان پردازش متمایز میان سطح مافوق و بنیادی توسط مک را می‌توان در راستای کار کویستو و مطالعهٔ پیش‌رو ارزیابی کرد، چرا که بر احتمال وجود پردازش بازگشتی در دسته‌بندی فوق سریع تأکید دارند و البته یافتهٔ مک احتمال آن را در سطح بنیادی بیشتر می‌داند. بنابراین زمان پاسخ‌دهی و کارایی در آزمایش دسته‌بندی اشیاء در سطوح مختلف انتزاعی به سه عامل زمان نمایش تصاویر، زمان پردازش اطلاعات و پیچیدگی تصویر بستگی دارد. مک و پالمری در مطالعات اخیر در سال ۲۰۱۵ نشان دادند تفاوت موجود در آزمایش دسته‌بندی کلاسیک و فوق‌سریع تورپ ناشی از زمان نمایش و یکسان بودن سطح انتزاعی هدف است. این یافته‌ها مشکل دسته‌بندی سطوح مختلف اشیاء را وارد مرحلهٔ جدیدی نمود.

نتایج حاکی از آزمایش به این صورت بود، سطح مافوق که برای پردازش اشیاء به اطلاعات کلی‌تری نیاز دارد زمان کمتری نسبت به سطوح بنیادی و مادون که اطلاعات بیشتر و جزئی‌تری برای پردازش و شناسایی اشیاء نیاز دارند، صرف خواهد کرد. به عبارت دیگر مغز برای انجام آزمایش پیچیده‌تر، حجم نورونی بیشتری را در مغز درگیر می‌کند. همچنین در مورد روند پردازشی سطوح مختلف دسته‌بندی می‌توان به این یافته اشاره نمود که تأخیری که در زمان واکنش در سه سطح دسته‌بندی اشیاء وجود دارد، به دلیل بار محاسباتی[33] است که شرکت‌کنندگان در طول آزمایش برای تشخیص اشیاء متحمل می‌شوند. همان‌طور تورپ و همکارانش در مطالعهٔ اخیری که در سال ۲۰۱۷ انجام شد (۲۶) نشان دادند که تشخیص و دسته‌بندی چهره در سطح مافوق نسبت به سایر سطوح در مدت زمان کمتری انجام می‌شود. این نتیجه با فرضیهٔ برتری سطح مافوق که پردازش کل به جزء (بالا به پایین) را دلیل برتری این فرضیه می‌دانند، همخوانی دارد. همچنین در مطالعهٔ دیگری نشان داده شده است که پردازش اشیاء و مفاهیم مربوط به سطح بنیادی در فضایی گسترده انجام می‌شود که شامل مناطق حساس حرکتی مغز و محتوای معنایی دقیق و انتزاعی است. علاوه بر این مفاهیم سطح مادون در زمینه‌های ادراکی متمرکز است ولی به گستردگی مفاهیم سطح بنیادی نمی‌باشد. در نتایج این مطالعه که در سال ۲۰۱۷ انجام شده است (۲۷)، به شباهت دسته‌بندی اشیاء در سطح بنیادی با دسته‌بندی اشیاء در سطح مادون اشاره شده است، همان‌طور که در نتایج مطالعهٔ حاضر نیز شباهت دسته‌بندی بین دو سطح بنیادی و مادون را مشاهده می‌کنیم.

امروزه دو نگرش تبیین نقش ویژگی‌های سطح پایین بینایی در سطوح مختلف دسته‌بندی اشیاء و همچنین راهبردهای مختلف شرکت‌کنندگان در چگونگی آغاز و ادامهٔ مراحل پردازش ویژگی‌ها تا زمان اخذ تصمیم، مسئلهٔ مورد بررسی در حوزهٔ دسته‌بندی اشیاء است. نیاز است که در آینده با انجام آزمایش‌های بیشتر به بررسی دیگر عوامل درگیر در سطوح مختلف دسته‌بندی پرداخته شود به امید آن که نتایج حاصل از این آزمایش‌ها کمک شایانی در جهت توسعه و بهبود شناسایی اشیاء و مدل‌های تشخیص اشیاء مبتنی بر سیستم بینایی کند.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی به شمارهٔ قرارداد ۱۲۲۶۷ انجام گردیده است.

[30] Reentrance
[31] Koivisto
[32] Lateral occipital cortex
[33] Demand

منابع

1. Johnson JS, Olshausen BA. Timecourse of neural signatures of object recognition. J Vis. 2003; 3(7): 499-512.

2. Wagenbreth C, Zaehle T, Galazky I, Voges J, Guitart-Masip M, Heinze H-J, et al. Deep brain stimulation of the subthalamic nucleus modulates reward processing and action selection in Parkinson patients. J Neurol. 2015; 262(6): 1541-7.

3. Jolicoeur P, Gluck MA, Kosslyn SM. Pictures and names: making the connection. Cogn Psychol. 1984; 16(2): 243-75.

4. Rosch E, Mervis C, Gray W, Johnson D, Boyes-Braem P. Basic objects in natural categories. Cogn Psychol. 1976; 8(3): 382-439.

5. Grill-Spector K, Kanwisher N. Visual recognition: as soon as you know it is there, you know what it is. Psychological Science. 2005; 16(2): 152-60.

6. Mack ML, Palmeri TJ. Decoupling object detection and categorization. J Exp Psychol Hum Percept Perform. 2010; 36(5): 1067-79.

7. Mack ML, Wong AC-N, Gauthier I, Tanaka JW, Palmeri TJ. Time course of visual object categorization: fastest does not necessarily mean first. Vision Res. 2009; 49(15): 1961-8.

8. Palmeri TJ, Mack ML. How experimental trial context affects perceptual categorization. Front Psychol. 2015; 6: 180. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00180.

9. Fukushima K, Miyake S, Ito T. Neocognitron: a neural network model for a mechanism of visual pattern recognition. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1983; 13(5): 826-34.

10. Fabre-Thorpe M. The characteristics and limits of rapid visual categorization. Front Psychol. 2011; 2: 1-12.

11. Vanrullen R, Thorpe SJ. The time course of visual processing: from early perception to decision-making. J Cogn Neurosci. 2001; 13(4): 454-61.

12. Thorpe S, Fize D, Marlot C. Speed of processing in the human visual system. Nature. 1996; 381(6582): 520-2.

13. Fabre-Thorpe M, Delorme A, Marlot C, Thorpe S. A limit to the speed of processing in ultra-rapid visual categorization of novel natural scenes. J Cogn Neurosci. 2001; 13(2): 171-80.

14. Macé MJ-M, Joubert OR, Nespoulous J-L, Fabre-Thorpe M. The time-course of visual categorizations: you spot the animal faster than the bird. Plos One. 2009; 4(6): e5927. doi: 10.1371/journal.pone.0005927.

15. Kaneshiro B, Guimaraes MP, Kim H-S, Norcia AM, Suppes P. A representational similarity analysis of the dynamics of object processing using single-trial EEG classification. Plos One. 2015; 10(8): e0135697. doi: 10.1371/journal.pone.0135697.

16. Cichy RM, Pantazis D, Oliva A. Resolving human object recognition in space and time. Nat Neurosci. 2014; 17(3): 455-62.

17. Poncet M, Fabre-Thorpe M. Stimulus duration and diversity do not reverse the advantage for superordinate-level representations: the animal is seen before the bird. Eur J Neurosci. 2014; 39(9): 1508-16.

18. Boutet I, Lemieux CL, Goulet M-A, Collin CA. Faces elicit different scanning patterns depending on task demands. Atten Percept Psychophys. 2017; 79(4): 1050-63.

19. Riesenhuber M, Poggio T. Hierarchical models of object recognition in cortex. Nat Neurosci. 1999; 2(11): 1019-25.

20. VanRullen R, Thorpe SJ. Surfing a spike wave down the ventral stream. Vision Res. 2002; 42(23): 2593-615.

21. Ullman S. High-level vision: object recognition and visual cognition. MIT Press Cambridge: MA. 1996.

22. Rao RP, Ballard DH. Predictive coding in the visual cortex: a functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects. Nat Neurosci. 1999; 2(1): 79-87.

23. Mel BW. SEEMORE: combining color, shape, and texture histogramming in a neurally inspired approach to visual object recognition. Neural Comput. 1997; 9(4): 777-804.

24. Vanmarcke S, Calders F, Wagemans J. The time-course of ultrarapid categorization: the influence of scene congruency and top-down processing. Iperception. 2016; 7(5): 2041669516673384.

25. Koivisto M, Kastrati G, Revonsuo A. Recurrent processing enhances visual awareness but is not necessary for fast categorization of natural scenes. J Cogn Neurosci. 2014; 26(2): 223-31.

26. Besson G, Barragan-Jason G, Thorpe SJ, Fabre-Thorpe M, Puma S, Ceccaldi M, et al. From face processing to face recognition: comparing three different processing levels. Cognition. 2017; 158: 33-43.

27. Bauer AJ, Just MA. A brain-based account of "basic-level" concepts. Neuroimage. 2017; 161: 196-205.