The Influence of Past Decision Information on Decision Making in the Present

Farzaneh Olianezhad[1, 2], Sajjad Zabbah[2], Reza Ebrahimpour[3*]

[1]Faculty of Electrical Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

[2]School of Cognitive Sciences, Institute for Research in Fundamental Sciences (IPM), Tehran, Iran

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

Article Info:

Received: **22 Dec 2015** ***Accepted*****: 17 Feb 2016**

ABSTRACT

Introduction: Decision process is an accumulation-to-bound mechanism, in which momentary sensory evidence is accumulated over time toward a criterion level. This bounded evidence accumulation is represented in the activity of neurons in the lateral intraparietal (LIP) cortex. Whether the firing rate of LIP neuron contains post decision information (PDI) or returns to baseline level as soon as decision made needs to be clarified. ***Materials and Methods:*** To investigate this issue, we conducted behavioral experiments based on the two forced-choice discrimination of motion direction. Human subjects reported the net direction of stochastic random dot motion by pressing a key of specified keys associated with the two possible directions of motion. Trials were separated by different time gaps. ***Results:*** Results showed that there is a preference in subjects to make a same decision as their pervious decision, especially in weak stimuli. ***Conclusion:*** Our findings suggest that the value of decision variable (DV) after crossing the bound (named PDI) may accumulate with DV for the next decisions.

Key words:

1. Decision Making
2. Psychophysics
3. Neurosciences

***Corresponding Author:** Reza Ebrahimpour

E-mail: *rebrahimpour@srttu.edu*

تأثیر اطلاعات تصمیم پیشین بر تصمیم‌گیری در زمان حاضر

فرزانه علیانژاد[۱،۲]، سجاد ذبّاح[۲]، رضا ابراهیم‌پور[۳*]

[۱]دانشکده مهندسی برق، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

[۲]پژوهشکده علوم شناختی، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران، ایران

[۳]دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱ دی ۱۳۹۴

تاریخ پذیرش: ۲۸ بهمن ۱۳۹۴

چکیده

مقدمه: فرایند تصمیم‌گیری یک سازوکار جمع‌آوری تا حد آستانه است، که شواهد حسی لحظه ای در طی زمان تا رسیدن به یک حد آستانه جمع‌آوری می‌شوند. این جمع‌آوری محدود شواهد در فعالیت نورون‌ها در قشر بین آهیانه‌ای جانبی بازنمایی می‌شود. اینکه آیا نرخ فعالیت نورون بین آهیانه‌ای جانبی حاوی اطلاعات تصمیم قبلی است یا به محض اخذ تصمیم به مبدا خود باز می‌گردد، نیاز به روشن شدن دارد. **مواد و روش‌ها:** برای بررسی این موضوع، آزمایش‌های رفتاری تشخیص جهت حرکت بر اساس الگوی انتخاب اجباری بین دو گزینه انجام شده است. افراد جهت نقاطی که به صورت تصادفی حرکت می‌کردند را با فشردن کلیدهای مشخص شده گزارش کردند. آزمایه‌ها توسط فاصله‌های زمانی متفاوت جدا شدند. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد که یک اولویت در افراد جهت اخذ یک تصمیم یکسان مشابه با تصمیم قبلیشان به خصوص در محرک‌های ضعیف وجود دارد. **نتیجه‌گیری:** یافته‌های ما نشان می‌دهد که مقدار متغیر تصمیم پس از عبور از حد آستانه ممکن است با متغیر تصمیم برای تصمیمات بعدی جمع شود.

کلید واژه‌ها:

۱. تصمیم‌گیری
۲. علم روابط میان روان و فیزیک
۳. علوم اعصاب

* **نویسنده مسئول:** رضا ابراهیم پور

آدرس الکترونیکی: *rebrahimpour@srttu.edu*

مقدمه

در فرایند تصمیم‌گیری بین دو گزینهٔ انتخابی به ازای هر گزینه شواهد و اطلاعات مختلفی جمع‌آوری می‌گردد. بسیاری از این تصمیمات مبتنی بر ادغام شواهد در طی زمان است. همچنین این فرایند دارای سازوکار جمع‌آوری اطلاعات تا رسیدن به باند تصمیم است، به طوری که شواهد حسی در طی زمان تا رسیدن به یک حد آستانه جمع‌آوری می‌شوند (۲، ۱). در واقع این جمع‌آوری محدود شواهد، فعالیت نورون‌های ناحیهٔ LIP[1] را بازنمایی می‌کند (۴، ۳). با وجود پیشرفت‌های گسترده در عرصهٔ تصمیم‌گیری، دانش کافی در مورد سازوکار عصبی و چگونگی ادغام شواهد وجود ندارد. همان‌طور که در مطالعات گذشته بیان گردیده است، ادغام شواهد می‌تواند توسط یک سیستم پویا اجرا شود. در این راستا مدل‌های تصمیم‌گیری مختلفی ارائه شده است. با وجود اینکه این مدل‌ها از اصل «جمع‌آوری اطلاعات تا رسیدن به حد آستانهٔ تصمیم‌گیری» پیروی می‌کنند، همچنان این سؤال مطرح است که آیا شواهد و اطلاعات جمع‌آوری شده تا حد آستانهٔ تصمیم، پس از اخذ تصمیم در فعالیت نورون تصمیم‌گیرنده باقی می‌ماند؟ یا اینکه نرخ فعالیت نورون تصمیم‌گیرنده پس از اخذ تصمیم، بلادرنگ به مبدأ[2] خود بازمی‌گردد؟

روانشناسان تجربی مدل‌های محاسباتی را برای فهم بهتر فرایند تصمیم‌گیری در آزمایش‌های 2AFC[3] ارائه داده‌اند. اخیراً فعالان حوزهٔ نوروفیزیولوژی به ارائهٔ مدل‌هایی مانند آنچه برای آزمایش‌های 2AFC ارائه شده بود، پرداخته‌اند؛ هدف[4] آن‌ها از ارائهٔ این مدل‌ها، بررسی چگونگی فعالیت نورون‌ها در فرایند تصمیم‌گیری است. تئوری مبتنی بر فرایند انتشار[5]، یکی از اصلی‌ترین ساختارهای مدل‌سازی محاسباتی تصمیم‌گیری است (۶، ۵). این مدل‌ها شباهت‌هایی با یکدیگر دارند، ازجملهٔ آن‌ها می‌توان به داشتن فرضیه‌های مشترک، پیاده‌سازی ویژگی‌های کلیدی یکسان و پاسخگویی به سؤالات مشابه اشاره کرد.

مدل‌های انتشاری، مبتنی بر سه فرضیهٔ اساسی هستند که توسط بُگَسز[6] و همکارانش در سال ۲۰۰۶ میلادی ارائه شده است. اول اینکه شواهد به نفع هر کدام از دو گزینه در طی زمان جمع‌آوری می‌شود. دوم، این اطلاعات جمع‌آوری شده به صورت نوسانات تصادفی یا همان «نویز» هستند. سوم، زمانی که اطلاعات کافی برای انتخاب یک گزینه جمع‌آوری شود، تصمیم گرفته می‌شود. فرضیهٔ اول می‌تواند مبتنی بر فرضیهٔ سازوکار نورونی فرایند تصمیم‌گیری باشد. به این صورت که اطلاعات حسی[7] لحظه‌ای[8] توسط نورون یا گروهی از نورون‌ها تفسیر می‌شود، دو گروه نورونی، مسئول جمع‌آوری اطلاعات ورودی حسی مربوط به دو گزینهٔ متفاوت هستند (۷). سپس فعالیت حاصل از این گروه‌های نورونی به سازوکار تصمیم‌گیرندهٔ مغز فرستاده می‌شود. ناحیهٔ تصمیم‌گیرنده، مبتنی بر نوع مدل، برای اخذ تصمیم به دو صورت عمل می‌کند: یا اطلاعات به نفع هر گزینه را به صورت مستقل تفسیر می‌کند و یا اینکه تفاوت اطلاعات جمع‌آوری شده را مقایسه کرده و تصمیم نهایی را اخذ می‌کند.

مطابق با نظر اِسمیس[9] و رتکلیف[10]، برای داشتن یک مدل قابل قبول دو ویژگی باید تائید شود. به‌عنوان اولین ویژگی، مدل باید در مرحله‌هایی با محرک‌هایی با سختی‌های متفاوت، نرخ موفقیت و زمان پاسخ شرکت‌کننده را بیان کند. دوم اینکه مدل باید بتواند تفاوت رفتار شرکت‌کننده را بین حالت‌هایی با انتخاب غلط و درست پیش‌بینی کند. با آغاز فعالیت نوروفیزیولوژیست‌ها در حوزهٔ تصمیم‌گیری، ویژگی سومی نیز پدیدار شد. بر اساس این ویژگی، مدل ارائه شده باید الهام گرفته شده از سازوکار نورونی تصمیم‌گیری در مغز باشد (۸).

در نهایت اینکه این مدل‌ها به سؤالات کلیدی مختلفی در مورد تصمیم‌گیری پاسخ می‌دهند. یک سؤال این است که آیا شواهد به نفع هر گزینه به صورت جدا و توسط جمع کننده‌های متفاوت جمع می‌شوند. یا اینکه شواهد جمع‌آوری شده برای اخذ تصمیم، همان تفاوت شواهد مربوط به هر گزینه است. منطبق بر ویژگی‌های آزمایش RDM[11]، مدل‌های 2AFC معمولاً بر اساس این فرضیه ارائه می‌شوند که اطلاعات نویزی مربوط به هر گزینه در طول زمان جمع‌آوری می‌شوند، این جمع‌آوری اطلاعات تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که شواهد کافی برای اخذ تصمیم موجود باشد (۹).

در این مقاله، با بهره‌گیری از شواهد بیولوژی در ادبیات موضوع و همچنین آزمایش‌های روان –فیزیک، به مطالعه و استخراج ویژگی جدیدی در فرایند اخذ تصمیم در مغز پرداخته شده است 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 نشان می‌دهند که در رفتار انسان اطلاعاتی مربوط به تصمیم قبلیش (PDI)[12]، موجود است. در واقع اثر تصمیم گذشته بر روی تصمیم در لحظهٔ فعلی تا حد قابل توجهی باقی می‌ماند.

مواد و روش‌ها

شرکت‌کنندگان

در آزمایش روان -فیزیک طراحی شده از شش شرکت‌کنندهٔ انسان، شامل سه آقا و سه خانم در

[1] Lateral intra-parietal
[2] Base line
[3] Two alternative forced choice
[4] Targets
[5] Diffusion
[6] Bogacz
[7] Sensory
[8] Momentary
[9] Smith
[10] Ratcliff
[11] Random dot motion
[12] Post decision information

محدودهٔ سنی ۲۳ تا ۲۹ سال، استفاده شد. غیر از دو نفر از آن‌ها، بقیه از هدف آزمایش اطلاعی نداشتند. تمامی شرکت‌کنندگان دارای صحت بینایی[13] بودند. قبل از شروع آزمایش از تمامی شرکت‌کنندگان رضایت‌نامهٔ کتبی دریافت شد. طراحی آزمایش‌ها با استفاده از جعبه ابزار سایک‌تولباکس[14] در نرم‌افزار متلب[15] صورت گرفته است.

بخش آموزش

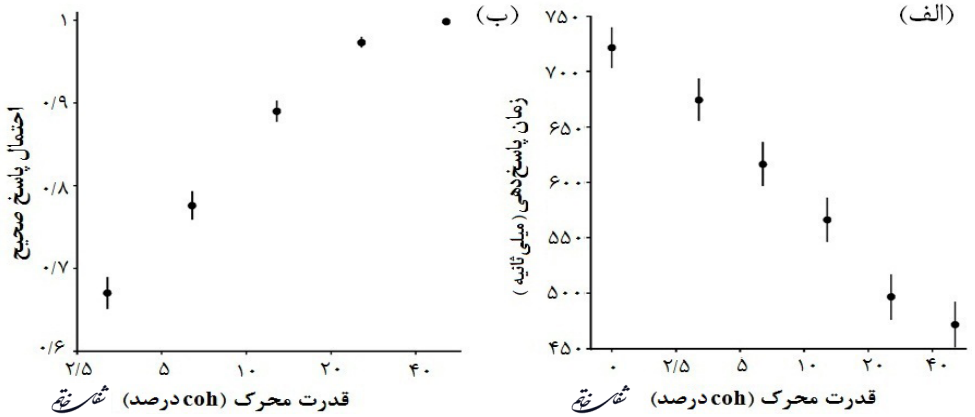
بخش آموزش[16] برای آشنایی شرکت‌کنندگان با چگونگی الگوی RDM و آموزش آن‌ها برای رساندن آستانهٔ تصمیم‌گیریهایشان به محدودهٔ استاندارد این الگو، طراحی شده بود. بخش آموزش، خود شامل دو قسمت بود. یک بخش آموزش کارایی[17] و دیگری، بخش آموزش زمان پاسخ‌دهی[18] که در ادامه شرح داده خواهند شد. در واقع در هر یک از این بخش‌ها، سعی شده تا شرکت‌کننده تعادلی میان دقت و سرعت عمل انتخاب خود برقرار نماید. نمودار ۱ نتایج حاصل از بخش آموزش شرکت‌کنندگان و تابع روانسنجی آن‌ها را نشان می‌دهد (برای برآورد میزان نزدیکی میانگین نمونه به میانگین جمعیت از روش خطای استاندارد میانگین (SEM)[19] استفاده شده بود). قبل از شروع آموزش، یک متن راهنما در مورد ساختار[20] هر دو بخش آموزش کارایی و آموزش زمان پاسخ‌دهی در اختیار شرکت‌کنندگان قرار داده می‌شد.

بخش آموزش کارایی

در این بخش محرک‌هایی با قدرت‌های ۰ درصد، ۳/۲ درصد، ۶/۴ درصد، ۱۲/۸ درصد، ۲۵/۶ درصد و ۵۱/۲ درصد، هر کدام به مدت زمان یک ثانیه نمایش داده می‌شدند. به مدت پنج ثانیه به شرکت کنندگان فرصت داده می‌شد تا با فشردن کلید مربوط به جهت درک شده از محرک روی صفحه کلید، پاسخ خود را اعلام کنند (سیگنال پاسخ)[21]. بعد از هر پاسخ در طول بلوک[22]، به شرکت‌کنندگان از صحت، عدم صحت و یا از دست دادن زمان برای پاسخ، فیدبک داده می‌شد. برای مرحله‌ها با قدرت محرک صفر درصد، فیدبک غلط یا درست به صورت تصادفی با احتمال رخداد برابر، ارائه می‌شد. در واقع در این بخش از آموزش، سعی می‌شد تا شرکت‌کننده میزان دقت خود را تا حد مطلوب نگه دارد و معیار تصمیم‌گیری خود را در حالت مناسب تنظیم کند. این بخش به صورت یک دوره[23] که شامل سه بلوک است به شرکت‌کنندگان ارائه می‌شد. هر بلوک شامل ۲۰۰ مرحله[24] بود. از شرکت‌کنندگان خواسته می‌شد که تا حد امکان با دقت و سرعت بالا به مرحله‌ها، پاسخ دهند. در انتهای هر بلوک، کارایی آزمایش‌هایشان روی صفحهٔ نمایش نشان داده می‌شد. هر شرکت‌کننده در هر روز، یک یا دو دوره از آزمایش را انجام می‌داد تا میزان کارایی او به حد مطلوب ۸۰ درصد برسد.

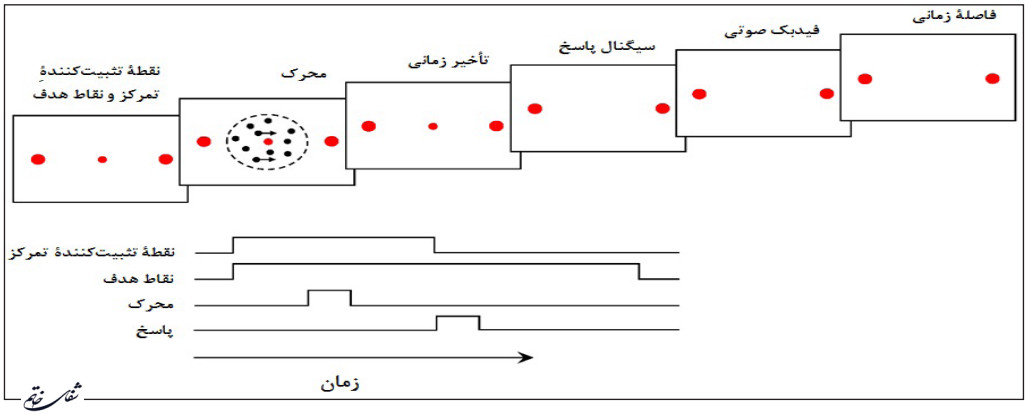
بخش آموزش زمان پاسخ‌دهی

در این بخش محرک‌هایی با قدرت‌های ۰ درصد، ۳/۲ درصد، ۶/۴ درصد، ۱۲/۸ درصد، ۲۵/۶ درصد و ۵۱/۲ درصد، هر کدام به مدت زمان پنج ثانیه نمایش داده می‌شدند. در طی نمایش محرک، هرگاه شرکت‌کنندگان جهت حرکت را تشخیص می‌دادند، می‌توانستند پاسخ خود را با فشردن کلید مربوط به جهت درک شده از محرک روی صفحه کلید، اعلام کنند. بعد از هر پاسخ در طول بلوک، به شرکت‌کنندگان از صحت، عدم صحت



نمودار ۱- تابع روانسنجی تمامی شرکت‌کنندگان در بخش آموزش. (الف) تابع روانسنجی تمامی شرکت‌کنندگان در بخش آموزش زمان پاسخ‌دهی. محور عمودی زمان پاسخ‌دهی شرکت‌کنندگان را برحسب میلی‌ثانیه و محور افقی قدرت محرک‌ها را نشان می‌دهند. (ب) تابع روانسنجی تمامی شرکت‌کنندگان در مرحلهٔ آموزش کارایی. محور عمودی احتمال صحت پاسخ شرکت‌کنندگان و محور افقی قدرت محرک‌ها را نشان می‌دهند. نوار خطا مقدار SEM را نشان می‌دهد.

[13] Corrected-to-normal vision
[14] Psychtoolbox
[15] Mat lab
[16] Training phase
[17] Performance
[18] Reaction time
[19] Standard error of the mean
[20] Task structure
[21] Go signal
[22] Block
[23] Session
[24] Trial



تصویر ۱- روند آزمایش تشخیص ادراکی جهت حرکت در الگوی RDM. شرکت‌کنندگان در این آزمایش باید جهت نقاطی که به صورت تصادفی حرکت می‌کنند را تشخیص دهند. محرک‌ها با قدرت حرکت‌های متفاوت به صورت تصادفی با هم ترکیب شده‌اند. پس از فیدبک صوتی تا شروع دورهٔ جدید، فواصل زمانی مختلفی در نظر گرفته شده است (در بخش مرحلهٔ آزمایش به تفصیل شرح داده شده است).

و یا از دست دادن زمان برای پاسخ، فیدبک داده می‌شد. برای مرحله‌ها با قدرت محرک صفر درصد، فیدبک غلط یا درست به صورت تصادفی با احتمال رخداد برابر، ارائه می‌شدند. در واقع در این بخش از آموزش، سعی می‌شد تا شرکت‌کننده میزان سرعت عمل خود را تا حد مطلوب نگه دارد و معیار تصمیم‌گیری خود را در حالت مناسب تنظیم کند. این بخش نیز مانند بخش آموزش کارایی، به صورت یک دوره که شامل سه بلوک بود به شرکت‌کنندگان ارائه می‌شد. در ضمن هر بلوک شامل ۲۰۰ مرحله بود. از شرکت‌کنندگان خواسته می‌شد که تا حد امکان با دقت و سرعت بالا به مرحله‌ها، پاسخ دهند. در انتهای هر بلوک، کارایی و زمان پاسخ‌دهی آزمایشهایشان روی صفحهٔ نمایش نشان داده می‌شد. هر شرکت‌کننده در هر روز، یک یا دو دوره از آزمایش را انجام می‌داد تا زمان پاسخ‌دهی او در محرک‌ها با قدرت حرکت صفر درصد به صورت میانگین به حد مطلوب ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه برسد.

بخش آزمایش اصلی

این بخش برای استخراج ویژگی مورد مطالعه در فرایند تصمیم‌گیری، طراحی شده بود که در ادامه به شرح کامل آن در بخش‌های محرک بینایی، فیدبک، آزمایش رفتاری و چگونگی جمع‌آوری داده می‌پردازیم. پیش از شروع بخش آزمایش نیز، یک متن راهنما در مورد ساختار کلی آن، در اختیار شرکت‌کنندگان قرار داده می‌شد.

محرک بینایی

آزمایش در یک اتاق نیمه تاریک و ایزوله شده در برابر نور و صدا انجام شده بود. به این صورت که شرکت‌کننده روی یک صندلی قابل تنظیم به فاصلهٔ ۵۷ سانتیمتر از یک صفحهٔ نمایش CRT[25] با ابعاد ۱۷ اینچ[26]، فرکانس ۷۵ هرتز و با وضوح تصویر ۶۰۰ در ۸۰۰ پیکسل[27] قرار می‌گرفت. هر مرحله با ظاهر شدن یک نقطهٔ قرمز رنگ به قطر ۰/۳ درجهٔ[28] بینایی در مرکز صفحهٔ نمایش به‌منظور ثابت نگه داشتن تمرکز شرکت‌کننده در طی اجرای آزمایش و دو نقطهٔ قرمز رنگ دیگر هر کدام به قطر ۰/۵ درجهٔ بینایی در سمت راست و چپ صفحهٔ نمایش برای نشان دادن جهات هدف مورد نظر برای پاسخ (هر کدام به فاصلهٔ ۱۰ درجهٔ بینایی از مرکز تصویر قرار دارند) شروع می‌شد. در تصویر ۱ یک مرحلهٔ کامل از ابتدا تا انتها نمایش داده شده است. بعد از یک تأخیر زمانی ۲۰۰ میلی‌ثانیه‌ای، محرک RDM در یک دایره به قطر ۵ درجهٔ بینایی در مرکز تصویر، حول نقطهٔ تثبیت‌کنندهٔ تمرکز[29] ظاهر می‌شد.

نمایش محرک RDM به مدت ۱۲۰، ۴۰۰ یا ۷۲۰ میلی‌ثانیه به طول می‌انجامید. نقاط متحرک سفید رنگ هر کدام در اندازهٔ ۲ در ۲ پیکسل (۰/۰۸۸ درجهٔ بینایی در هر ضلع) روی زمینهٔ مشکی رنگ با میانگین تراکم ۱۶/۷ نقطه بر مربع درجهٔ بینایی در هر ثانیه[30] قرار می‌گرفتند (۱۱، ۱۰، ۳). محرک شامل مجموعه‌های مستقل[31] از نقاط متحرک بود که به صورت فریم‌های ویدیویی[32] پی در پی ارائه می‌شدند. هر مجموعه شامل سه فریم به مدت ۴۰ میلی‌ثانیه بود و حرکت نقاط به سوی جهات هدف در مجموعه‌های مستقل، به صورت پیوسته[33] صورت می‌گرفت. به بیانی دیگر، نقاط تعیین شده در هر فریم برای حرکت به سوی جهت هدف پس از سه فریم، مجدداً روی صفحه پدیدار می‌شدند در حالی که بقیهٔ نقاط به صورت تصادفی[34] حرکت می‌کردند. بعد از اتمام نمایش RDM، مجدداً نقاط تثبیت‌کنندهٔ تمرکز و هدف‌ها به مدت ۱۲۰ میلی‌ثانیه روی صفحهٔ نمایش نشان داده می‌شدند. سپس با حذف نقطهٔ تثبیت‌کنندهٔ

[25] Cathode ray tube
[26] Inch
[27] Pixel
[28] Angle
[29] Fixation point
[30] Dots/degree2/s
[31] Independent sets
[32] Video frames
[33] Coherently
[34] Randomly

تمرکز از روی صفحهٔ نمایش، زمان پاسخ‌دهی به مدت حداکثر ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه (یک ثانیه) برای شرکت‌کننده آغاز می‌شد. در این زمان شرکت‌کننده با فشردن یکی از دو کلید معین شده روی صفحه کلید برای هدف‌های راست و چپ، پاسخ خود را اعلام می‌کرد.

فیدبک

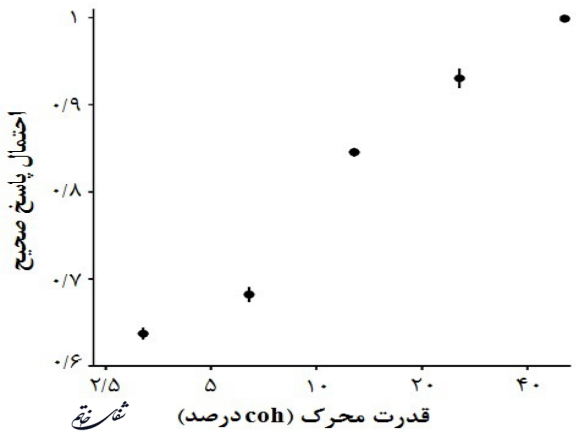
شرکت‌کنندگان، فیدبک صوتی[35] پاسخ خود را با شنیدن بیپ[36] دریافت می‌کردند. به این صورت که اگر پاسخ شرکت‌کننده اشتباه بود یک بیپ با فرکانس[37] ۱۰۰۰ هرتز از طریق هدفون[38] به او ارائه می‌شد و اگر پاسخ او درست بود، به همان روش قبل یک بیپ با فرکانس ۲۵۰ هرتز پخش می‌شد. همچنین شرکت‌کنندگان برای مرحله‌هایی که از دستشان می‌دادند و پاسخی اعلام نمی‌کردند، فیدبک صوتی دریافت می‌کردند، این فیدبک شامل دو بیپ کوتاه پی در پی با فرکانس ۵۰۰ هرتز بود (شایان ذکر است که شرکت‌کنندگان در بخش آموزش با انواع این فیدبک‌ها آشنا می‌شدند). هر فیدبک صوتی به مدت زمان ۱۰۰ میلی‌ثانیه برای شرکت‌کننده پخش می‌شد، برای مرحله‌ها با قدرت محرک صفر درصد، فیدبک غلط یا درست به صورت تصادفی با احتمال رخداد برابر، ارائه می‌شد.

آزمایش رفتاری

حرکت نقاط که در بخش محرک بینایی شرح داده شده، دارای شش قدرت مختلف اعم از ۰ درصد، ۳/۲ درصد، ۶/۴ درصد، ۱۲/۸ درصد، ۲۵/۶ درصد و ۵۱/۲ درصد بودند که به صورت تصادفی با هم ترکیب شده بودند. این درصدها تعداد نقاطی که به سوی جهت هدف حرکت می‌کردند را مشخص می‌ساختند. البته به‌منظور بررسی هدف این مطالعه، قدرت محرک در مرحله‌های فرد و زوج کنترل شده بودند. به این صورت که مرحله‌های فرد دارای قدرت‌های حرکت ۰ درصد، ۳/۲ درصد، ۱۲/۸ درصد و ۵۱/۲ درصد بودند و مرحله‌های زوج دارای قدرت‌های حرکت ۳/۲ درصد، ۶/۴ درصد، ۱۲/۸ درصد بودند. همان‌طور که دیده می‌شود، وجود قدرت حرکت ۲۵/۶ درصد در مرحله‌های فرد و زوج حائز اهمیت نبوده و تنها از این قدرت حرکت برای داشتن تابع روانسنجی استاندارد (نمودار ۲) که میزان توجه و آموزش صحیح شرکت‌کنندگان را نشان می‌دهد، استفاده شده بود. هر جفت مرحله‌های فرد و زوج پشت سرهم با فاصله‌های زمانی ۰، ۱۲۰ و ۱۲۰۰ میلی‌ثانیه از هم جدا شده بودند.

جمع‌آوری داده

همهٔ انواع مرحله‌های ذکر شده به صورت یک دوره که شامل چهار بلوک بود به شرکت‌کنندگان ارائه



نمودار ۲- تابع روانسنجی صحت پاسخ برای تمامی شرکت‌کنندگان در مرحلهٔ آزمایش. محور عمودی احتمال صحت پاسخ شرکت‌کنندگان و محور افقی قدرت محرک‌ها را نشان می‌دهند. نوار خطا مقدار SEM را نشان می‌دهد.

می‌شد. در ضمن، هر بلوک شامل ۱۵۰ مرحله بود. از شرکت‌کنندگان خواسته می‌شد که تا حد امکان با دقت و سرعت بالا به مرحله‌ها پاسخ دهند. در انتهای هر بلوک، کارایی آزمایشهایشان روی صفحهٔ نمایش نشان داده می‌شد. هر شرکت‌کننده در هر روز یک یا دو دوره از آزمایش را انجام می‌داد تا دادهٔ جمع‌آوری شده برای او به تعداد ۳۶۰۰ مرحله برسد. کارایی شرکت‌کنندگان در این آزمایش به صورت میانگین ۸۰ درصد بود که دستیابی به این میزان کارایی در این نوع آزمایش بسیار دشوار بود. ویژگی یافت شده در نتایج حاصل از تحلیل داده‌های این آزمایش که در بخش بعدی به شرح آن پرداخته خواهد شد، به خوبی قابل رؤیت است.

تحلیل داده‌ها و بررسی آماری

پس از بررسی و مطالعهٔ ویژگی‌های فرایند تصمیم‌گیری و اجرای یک پیش آزمایش روان -فیزیک (مشابه با آزمایش اصلی)، دریافتیم که کارایی هر مرحله به مرحلهٔ پیش از خود وابسته است. به این صورت که وقتی مرحله‌های مشابه (مرحله‌های مشابه، دو مرحلهٔ پشت سرهمی هستند که شرکت‌کننده برای آن‌ها تصمیم مشابه گرفته است. به‌عنوان مثال: جهت محرک را برای هر دو مرحلهٔ پشت سرهم، راست تشخیص داده است)، پشت سرهم قرار می‌گیرند نتایج کاملاً متفاوتی نسبت به زمانی که مرحله‌های نامشابه (مرحله‌های نامشابه، دو مرحلهٔ پشت سرهمی هستند که شرکت‌کننده برای آن‌ها تصمیم متفاوت گرفته است. به‌عنوان مثال: جهت محرک را برای یک مرحله، راست و برای مرحلهٔ بعدی آن، چپ تشخیص داده است)، پشت سرهم قرار می‌گیرند، نمایان می‌شوند.

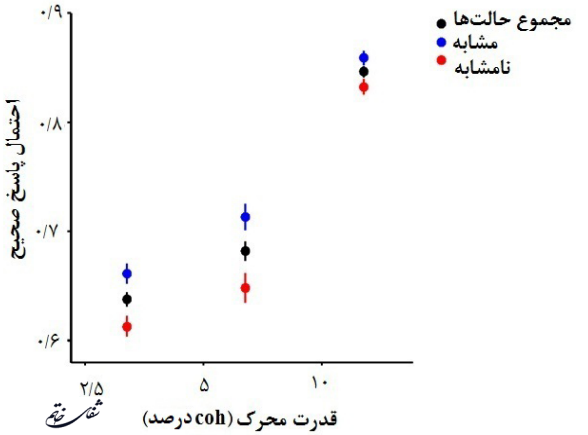
فرض اولیه این است که اطلاعات تصمیم‌گیری از مرحلهٔ قبلی باقی می‌مانند و روی تصمیم‌گیری در مرحلهٔ جدید تأثیر می‌گذارند. به همین دلیل در طراحی آزمایش اصلی

[35] Auditory feedback
[36] Beep
[37] Frequency
[38] Headphone

مدنظر قرار داده‌ایم از محرک‌هایی با قدرت حرکت پایین مانند ۰ درصد و ۳/۲ درصد در مقایسه با محرک‌هایی با قدرت حرکت بالا مانند ۱۲/۸ درصد و ۵۱/۲ درصد در مرحله‌های فرد استفاده کنیم تا تأثیر متفاوت این دو نوع مرحله را در تصمیم‌گیری مرحلهٔ زوج نشان دهیم. همچنین، به‌منظور جلوگیری از تنظیم مجدد[39] نورون‌های LIP تا نمایش مرحلهٔ بعدی، از فاصله‌های زمانی کوتاه‌مدت بین مرحله‌ها استفاده می‌کنیم. برای سنجش معنی‌داری تمامی نتایج، از روش آزمون مجموع رتبه‌های ویلکاکسون[40] (۱۱) در نرم‌افزار متلب استفاده شده است.

یافته‌ها

ابتدا برای آنکه تغییرات کلی پاسخ رفتاری شرکت‌کنندگان را نسبت به تصمیم قبلی آنها نشان دهیم، تابع روانسنجی تمامی دوره‌های آزمایش شرکت‌کنندگان را برای مرحله‌های زوج آزمایش به تفکیک قدرت محرک رسم می‌نماییم. تابع روانسنجی مورد نظر برای سه شرایط متفاوت زیر رسم شده است. حالت اول، زمانی است که شرکت‌کننده‌ها در دوره‌های فرد و زوج پشت سرهم تصمیم مشابه گرفته‌اند. حالت دوم، زمانی است که شرکت‌کننده‌ها در دوره‌های فرد و زوج پشت سرهم تصمیم نامشابه گرفته‌اند. حالت سوم، مجموع دو حالت اول و دوم است. این حالت‌ها به ترتیب با رنگ‌های آبی، قرمز و مشکی در نمودار ۳ نشان داده شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تابع روانسنجی حالت تصمیم مشابه، بالای تابع روانسنجی مجموع حالت‌ها قرارگرفته است که رشد صحت پاسخ شرکت‌کنندگان را نشان می‌دهد و تابع روانسنجی حالت تصمیم نامشابه، پایین تابع روانسنجی مجموع حالت‌ها قرارگرفته است که افت صحت پاسخ شرکت‌کنندگان

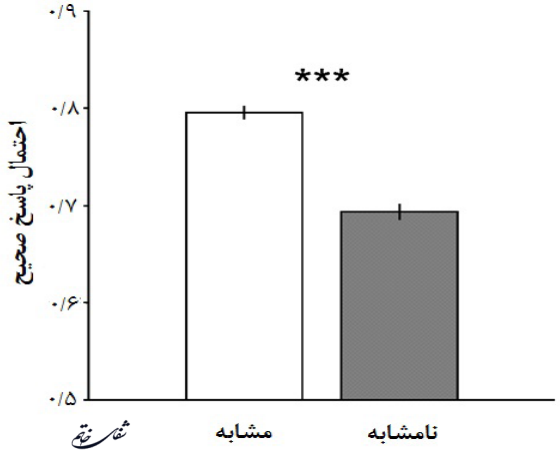


نمودار ۳- تابع روانسنجی صحت پاسخ برای تمامی شرکت‌کنندگان در مرحله‌های زوج آزمایش به تفکیک قدرت محرک. محور عمودی احتمال صحت پاسخ شرکت‌کنندگان در مرحله‌های زوج و محور افقی قدرت محرک‌های مرحله‌های زوج را نشان می‌دهند. این تابع برای سه شرایط تصمیم مشابه در دو مرحلهٔ فرد و زوج پشت سرهم (رنگ آبی)، تصمیم نامشابه در دو مرحلهٔ فرد و زوج پشت سرهم (رنگ قرمز) و مجموع حالت‌ها (رنگ مشکی) رسم شده است. نوار خطا مقدار SEM را نشان می‌دهد.

را نشان می‌دهد. موضوع جالب توجه آن است که این تفاوت پاسخ رفتاری نسبت به تصمیم پیشین، در هر سه قدرت محرک مرحلهٔ زوج قابل رؤیت است.

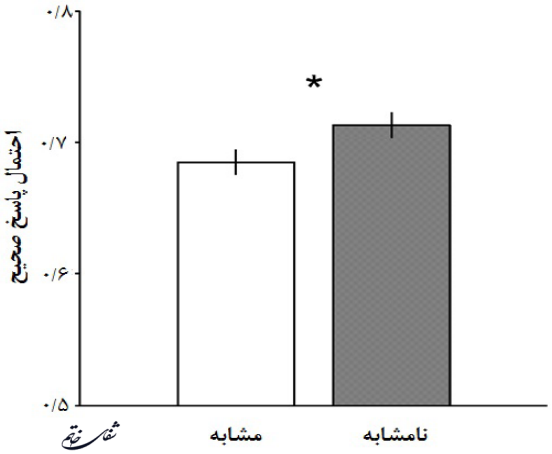
نتایج حاصل از تحلیل داده‌های به دست آمده از آزمایش روان -فیزیک نشان می‌دهند که اطلاعات حاصل از شواهد پیشین بر روی فرایند تصمیم‌گیری در لحظهٔ فعلی تأثیر می‌گذارند. همان‌طور که نمودار کارایی مرحله‌های زوج آزمایش که شامل محرک‌هایی با قدرت حرکت‌های ۳/۲ درصد، ۶/۴ درصد و ۱۲/۸ درصد هستند (نمودار ۴) نشان می‌دهد، هنگامی‌که مرحله‌های فرد پیشین شامل محرک‌هایی با قدرت حرکت پایین مانند ۰ درصد و ۳/۲ درصد هستند، همهٔ شرکت‌کنندگان نسبت به تصمیم پیشین بایاس[41] می‌شوند و با احتمال بیشتری در مرحلهٔ بعدی، تصمیم مشابه می‌گیرند. در این قسمت درست یا اشتباه پاسخ دادن شرکت‌کننده در مرحلهٔ فرد پیشین مدنظر نبوده است و این نتیجه مربوط به تمامی مرحله‌های فرد است.

همان‌طور که نمودار کارایی مرحله‌های زوج آزمایش که شامل محرک‌هایی با قدرت حرکت‌های ۳/۲ درصد، ۶/۴ درصد و ۱۲/۸ درصد هستند (نمودار ۵) نشان می‌دهد، هنگامی‌که مرحله‌های فرد پیشین شامل محرک‌هایی با قدرت حرکت بالا مانند ۱۲/۸ درصد و ۵۱/۲ درصد هستند، همهٔ شرکت‌کنندگان نسبت به جهت این محرک اثر سازگاری دفعی[42] نشان می‌دهند و با احتمال بیشتری در مرحلهٔ بعدی، تصمیم نامشابه می‌گیرند. تأثیر دیده شده در این تحلیل، کاملاً برعکس حالتی است که محرک‌های



نمودار ۴- مقایسهٔ کارایی در دو حالت تصمیم مشابه و تصمیم نامشابه وقتی قدرت حرکت محرک پیشین کم است. این نمودار کارایی تمامی شرکت‌کنندگان را در مرحله‌های زوج با قدرت حرکت‌های ۳/۲ درصد، ۶/۴ درصد و ۱۲/۸ درصد، هنگامی‌که مرحله‌های فرد پیشین آن‌ها شامل محرک‌هایی با قدرت حرکت پایین، مانند ۰ درصد و ۳/۲ درصد، نشان می‌دهد. نمودار میله‌ای خاکستری رنگ میزان احتمال تصمیم‌گیری مشابه را نشان می‌دهد و نمودار میله‌ای طوسی رنگ میزان احتمال تصمیم‌گیری نامشابه را نشان می‌دهد. محور عمودی احتمال صحت پاسخ شرکت‌کنندگان در مرحله‌های زوج و محور افقی تصمیم مشابه و تصمیم نامشابه را نشان می‌دهند. نوار خطا مقدار SEM را نشان می‌دهد (***$P<0.001$).

[39] Reset
[40] Wilcoxon rank sum test
[41] Bias
[42] Repulsive adaptation



نمودار ۵- مقایسهٔ کارایی در دو حالت تصمیم مشابه و تصمیم نامشابه وقتی قدرت حرکت محرک پیشین زیاد است. این نمودار کارایی تمامی شرکت‌کنندگان را در مرحله‌های زوج با قدرت حرکت‌های ۳/۲ درصد، ۶/۴ درصد و ۱۲/۸ درصد، هنگامی‌که مرحله‌های فرد پیشین آن‌ها شامل محرک‌هایی با قدرت حرکت بالا، مانند ۱۲/۸ درصد و ۵۱/۲ درصدند، نشان می‌دهد. نمودار میله‌ای خاکستری رنگ میزان احتمال تصمیم‌گیری مشابه را نشان می‌دهد و نمودار میله‌ای طوسی رنگ میزان احتمال تصمیم‌گیری نامشابه را نشان می‌دهد. محور عمودی احتمال صحت پاسخ شرکت‌کنندگان در مرحله‌های زوج و محور افقی تصمیم مشابه و تصمیم نامشابه را نشان می‌دهند. نوار خطا مقدار SEM را نشان می‌دهد (*$P<۰/۰۵$).

مرحله‌های فرد پیشین با قدرت حرکت پایین در نظر گرفته شده بودند. این بدین معناست که وقتی قدرت حرکت محرک کم است دیگر نمی‌تواند اثر سازگاری داشته باشد و تنها تصمیم ناشی از آن در مرحلهٔ بعد اثرگذار خواهد بود (PDI). در این قسمت درست یا اشتباه پاسخ دادن شرکت‌کننده در مرحلهٔ فرد پیشین مدنظر نبوده است و این نتیجه مربوط به تمامی مرحله‌های فرد است.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات پیشین در حوزهٔ علوم اعصاب شناختی نشان می‌دهند که حافظهٔ ضمنی[43] انسان به خاطر قرار گرفتن در معرض یک محرک، واکنش در مورد محرک دیگر را تحت تأثیر خودش قرار می‌دهد، این پدیده، برانگیختگی (تداعی) معانی مرتبط[44] نام دارد. به بیان دیگر برانگیختگی معانی مرتبط، حالت ناخودآگاه حافظهٔ انسان است که با درک کلمات و اشیاء ارتباط دارد. به‌عنوان مثال، شما پس از دیدن کلمهٔ "زرد"، خیلی سریع‌تر کلمهٔ "موز" را تشخیص می‌دهید. به دلیل وجود ارتباط تنگاتنگ دو کلمهٔ "زرد" و "موز" در حافظهٔ انسان، این اتفاق رخ می‌دهد. جالب آنکه پدیدهٔ تداعی معانی مرتبط در علم روانشناسی به دو روش مثبت و منفی برای آموزش حافظهٔ انسان به کار می‌رود.

حال این فرضیه مطرح می‌شود که ویژگی معرفی شده در این مقاله، با عنوان تأثیر اطلاعات تصمیم پیشین در فرایند تصمیم‌گیری نیز می‌تواند حاصل رخداد تداعی معانی مرتبط در مغز آدمی باشد؛ اما باید توجه داشت که آزمایش روان -فیزیک طراحی شده در اینجا، دارای محرک‌های بینایی کوتاه‌مدت، در بازهٔ زمانی ۱۲۰ تا ۷۲۰ میلی‌ثانیه است، درحالی‌که گزارش‌ها حاکی از تحت تأثیر قرار گرفتن حافظهٔ ضمنی در مدت زمان‌هایی بیش از این زمان است. در واقع نتایج حاصل از این مطالعه سازوکاری برای این پدیده پیشنهاد می‌کنند که مبتنی بر اطلاعات مانده از تصمیم پیشین است.

منابع

1. Mazurek ME, Roitman JD, Ditterich J, Shadlen MN. A role for neural integrators in perceptual decision making. Cereb Cortex. 2003; 13(11): 1257-69.

2. Lo CC, Wang XJ. Cortico-basal ganglia circuit mechanism for a decision threshold in reaction time tasks. Nat Neurosci. 2006; 9(7): 956-63.

3. Roitman JD, Shadlen MN. Response of neurons in the lateral intraparietal area during a combined visual discrimination reaction time task. J Neurosci. 2002; 22(21): 9475-89.

4. Gold JI, Shadlen MN. The neural basis of decision making. Annu Rev Neurosci. 2007; 30: 535-74.

5. Ratcliff R. A theory of memory retrieval. Psychol Rev. 1978; 85(2): 59-108.

6. Smith PL, Ratcliff R. Psychology and neurobiology of simple decisions. Trends Neurosci. 2004; 27(3): 161-8.

7. Gold JI, Shadlen MN. Neural computations that underlie decisions about sensory stimuli. Trends Cogn Sci. 2001; 5(1): 10-6.

8. Ditterich J. Stochastic models of decisions about motion direction: behavior and physiology. Neural Netw. 2006; 19(8): 981-1012.

9. Bogacz R, Brown E, Moehlis J, Holmes P, Cohen JD. The physics of optimal decision making: a formal analysis of models of performance in two-alternative forced-choice tasks. Psychol Rev. 2006; 113(4): 700-65.

10. Shadlen MN, Newsome WT. Neural basis of a perceptual decision in the parietal cortex (area LIP) of the rhesus monkey. J Neurophysiol. 2001; 86(4): 1916-36.

11. Kiani RC, Churchland AK, Shadlen MN. Integration of direction cues is invariant to the temporal gap between them. J Neurosci. 2013; 33(42): 16483-9.

[43] Implicit memory
[44] Priming