Investigation of Certainty in High-Level Decisions by Analyzing Behavioral Data

Leyla Yahyaie[1], Reza Ebrahimpour[2*], Abbas Koochari[3]

[1]Department of Computer Engineering, Salmas Branch, Islamic Azad University, Salmas, Iran
[2]Faculty of Computer Engineering, Tarbiat Dabir Shahid Rajaei University, Tehran, Iran
[3]Department of Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Article Info:

Received: **18 Aug 2021** ***Revised:*** **1 Dec 2021** ***Accepted*****: 16 Feb 2022**

ABSTRACT

Introduction: Certainty is one of the parameters of hierarchical decisions. In hierarchical decisions, decisions at different levels are generally accompanied by uncertainty. After decision-making, the response can be positive or negative feedback. The reason for the negative feedback is unclear. Humans try to resolve this ambiguity by evaluating their certainty, so calculations of hierarchical decisions based on certainty are debatable. The complexity of computation for these types of decisions has made it more important to use other types of information in addition to behavioral data. Since decision processes are mapped to eye responses, this study analyzes the pupil diameter, in addition to behavioral data in the context of hierarchical decisions. In this research, pupil diameter size has been used as a valuable source for predicting hierarchical decision certainty. ***Materials and Methods:*** In a hierarchical experiment, the subjects were asked to repeat the direction of the displayed moving points (left or right) at the top or bottom of the screen (top/bottom of the environment), as well as their certainty relative to the selected points, simultaneously. Subjects received auditory positive feedback when they reported both the direction of moving points and the environment correctly. During the experiment, the subjects' eye data were recorded by an eye-tracker device. ***Results:*** In hierarchical decisions, high-level decisions depend on the subject's degree of certainty in low-level decisions, and changes in pupil diameter are significantly associated with certainty. ***Conclusion:*** This study revealed that in high-level decisions, the average size of the pupil diameter predicts the certainty of decisions and reflects the subject's strategy in complex conditions.

Keywords:

1. Decision Making
2. Pupil
3. Humans

***Corresponding Author:** Reza Ebrahimpour

Email: *ebrahimpour@ipm.ir*

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.52547/shefa.10.1.56]

بررسی قطعیت در تصمیمات سطح بالا با تحلیل داده‌های رفتاری

لیلا یحیایی[۱]، رضا ابراهیم‌پور[۲*]، عباس کوچاری[۳]

[۱]گروه مهندسی کامپیوتر، واحد سلماس، دانشگاه آزاد اسلامی، سلماس، ایران
[۲]دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
[۳]گروه مهندسی کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:
دریافت: ۲۷ مرداد ۱۴۰۰ اصلاحیه: ۱۰ آذر ۱۴۰۰ پذیرش: ۲۷ بهمن ۱۴۰۰

چکیده

مقدمه: قطعیت یکی از پارامترهای تصمیم‌گیری‌های سلسله مراتبی است. در تصمیم‌گیری‌های سلسله مراتبی، عموما تصمیمات اخذ شده در سطوح مختلف با عدم قطعیت توأم هستند. پس از اخذ تصمیم‌ها پاسخ دریافتی می‌تواند یک بازخورد مثبت یا یک بازخورد منفی باشد. علت دریافت بازخورد منفی نامشخص است. انسان‌ها سعی می‌کنند این ابهام را با ارزیابی قطعیت خود حل کنند. هدف این مطالعه بررسی رابطهٔ قطعیت آزمودنی با قدرت محرک به‌عنوان یک پارامتر تنظیم استراتژی در تصمیمات سلسله مراتبی است. پیچیدگی‌های محاسباتی مربوط به این نوع تصمیمات علاوه بر داده‌های رفتاری استفاده از انواع دیگری از اطلاعات را مهم‌تر کرده است. در این پژوهش اندازه قطر مردمک به‌عنوان یک منبع ارزشمند برای پیش‌بینی قطعیت تصمیم سلسله مراتبی استفاده شده است. **مواد و روش‌ها:** در یک آزمایش سلسله مراتبی از آزمودنی‌ها خواسته شد به صورت همزمان جهت حرکت نقاط متحرک نمایش داده شده (چپ یا راست) در بالا یا پایین صفحه نمایش (محیط بالا یا پایین) و همچنین قطعیت خود را نسبت به نقاط انتخابی، را تعیین کنند. هنگامی که آزمودنی‌ها هم جهت حرکت نقاط متحرک و هم محیط را درست گزارش دادند، بازخورد مثبت شنیداری دریافت کردند. در طول آزمایش داده‌های حرکت چشمی آزمودنی‌ها توسط دستگاه ردیاب چشمی ثبت گردید. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد در تصمیم‌های سلسله مراتبی، تصمیمات سطح بالا به میزان قطعیت آزمودنی در تصمیمات سطح پائین وابسته است و از طرفی نتایج نشان داد تغییرات قطر مردمک به صورت معنی‌داری با قطعیت در ارتباط هستند. **نتیجه‌گیری:** این پژوهش مشخص می‌کند که در تصمیمات سطح بالا، میانگین اندازه قطر مردمک، قطعیت تصمیم را پیش‌بینی می‌کند و بازتاب استراتژی فرد تحت شرایط پیچیده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:
۱- تصمیم‌گیری
۲- مردمک چشم
۳- انسان‌ها

***نویسنده مسئول:** رضا ابراهیم‌پور

پست الکترونیک: *ebrahimpour@ipm.ir*

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.52547/shefa.10.1.56]

مقدمه

تصمیم‌گیری از مهم‌ترین کارکردهای شناختی است که به انتخاب یک گزینه از بین چندین گزینه موجود اطلاق می‌شود (۳-۱). در فرآیند تصمیم‌گیری شواهد حسی- تصادفی در طول زمان جمع‌آوری می‌شود و به گزینه‌های موجود در تصمیم وزن داده می‌شود و در نهایت یک گزینه انتخاب می‌شود. از این رو بررسی چگونگی شناخت مغز و رفتار انسان در استخراج اطلاعات و جمع‌آوری آن‌ها در جهت تصمیم‌گیری بهینه از دیرباز مورد توجهٔ دانشمندان علوم اعصاب شناختی بوده و به‌عنوان یک فعالیت شناختی حائز اهمیت است (۶-۴). در تصمیم‌گیری، پارامترهای زیادی دخیل هستند که آنالیز آن‌ها را پیچیده می‌کند. برای کاهش پیچیدگی معمولاً از آزمایش‌های ادراکی در محیط آزمایشگاهی استفاده می‌شود که از پرکاربردترین آن‌ها می‌توان به آزمایش نقاط متحرک تصادفی اشاره کرد.[1] RDM یک آزمایش ادراکی است که مبتنی بر متغیرهای حسی است و آزمودنی از اطلاعات گیرنده‌های حسی خود، در مورد محرک استفاده می‌کند. بر این اساس، در این نوع آزمایش‌ها اثر متغیرهای زیادی از جمله جنسیت، مذهب، فرهنگ و غیره حذف می‌گردد که باعث می‌شود مطالعهٔ فرآیند تصمیم‌گیری ساده‌تر و قابل اندازه‌گیری گردد. خروجی‌های حاصل از این آزمایش‌ها می‌توانند از طریق روش‌های تهاجمی یا غیرتهاجمی از جمله ثبت داده‌های رفتاری، داده‌های چشمی یا سیگنال‌های مغزی باشد که سعی دارند که چگونگی جمع آوری شواهد حسی– تصادفی تا رسیدن به یک حد آستانهٔ تصمیم را بازنمایی کنند (۱۱-۷). به علاوه پارامترهای تصمیم از جمله قطعیت انتخاب، دقت، زمان تصمیم‌گیری، تعداد گزینه‌های موجود در تصمیم‌گیری و دریافت بازخورد از جمله موضوعات مورد بررسی در انواع تصمیم‌گیری‌های ادراکی است (۱۵-۱۲). با وجود بررسی‌ها و پیشرفت‌های گسترده در حوزهٔ تصمیم‌گیری ادراکی، همچنان دانش کافی در مورد عملکرد و راهبرد انسان در تصمیمات پیچیده و سطح بالای دنیای واقعی از جمله تصمیمات سلسله مراتبی وجود ندارد. اخیراً سعی شده است، تحقیقات در زمینه تصمیم‌گیری ادراکی به مسائل دنیای واقعی و تصمیم‌های سطح بالا نزدیک‌تر شود. تصمیمات زندگی روزمره، طیف وسعی از تصمیمات موازی، چند گزینه‌ای و چند مرحله‌ای، گسسته در زمان را در بر می‌گیرد (۱۹-۱۶). در برخی موارد تصمیمات می‌توانند شامل چندین زیر تصمیم باشند که این زیر تصمیم‌ها می‌توانند به هم وابسته باشند. خروجی زیر تصمیم‌ها نتایج در تصمیم‌های سطح بالاتر را تعیین می‌کنند که در این موارد نتیجه نهایی به تعامل سلسله مراتبی زیر تصمیم‌ها بستگی خواهد داشت (۲۰). درک اساس فرآیند اخذ تصمیم سلسله مراتبی در مغز و ساز و کار نورونی این نوع تصمیمات از جمله مواردی است که توجه محققان را در سال‌های اخیر جلب کرده است (۲۲-۲۱). از آنجائی که در تصمیمات سلسله مراتبی پیچده، نتایج تصمیم در سطح بالا، نشأت گرفته از خروجی تصمیم‌های سطح پایین خواهد بود، هم نتایج تصمیمات سطح بالا و هم خروجی تصمیمات سطح پایین، با عدم قطعیت توأم هستند. پورسل و همکارانش در سال ۲۰۱۶ با یک آزمایش RDM سلسله مراتبی دو سطحی این نوع تصمیمات را بررسی کردند (۱۵). تصمیمات سلسله مراتبی دارای سه پارامتر قطعیت، قدرت محرک و بازخورد منفی هستند. یکی از موضوعات چالش برانگیز در مطالعه این تصمیمات اداراکی پیچده سطح بالا، بررسی نقش این سه پارامتر است. قطعیت یک درجه باور ذهنی نسبت به انتخاب صحیح است که بر روی عملکردی‌های شناختی تاثیر می‌گذارد. قطعیت به‌عنوان یکی از پارامترهای کلیدی تصمیم‌گیری در تصمیمات سلسله مراتبی اهمیت خاصی دارد. زمانی که آزمودنی در تصمیم سطح بالا بازخورد منفی دریافت می‌کند علت دریافت بازخورد منفی نامشخص و مبهم است چون که مشخص نیست بازخورد منفی به علت اشتباه در تصمیم سطح پایین است یا استراتژی انتخاب تصمیم سطح بالا اشتباه بوده است. در این موارد قطعیت، می‌تواند به‌عنوان یک رابط بین سطوح مختلف عمل کند. قطعیت به همراه تاریخچه‌ای از بازخوردهای منفی به‌عنوان شاهدی برای حل ابهام خواهد بود. به این صورت که اگر تصمیم‌گیرنده، در مورد تصمیم سطح پایین، قطعیت بالایی داشته باشد می‌تواند استنباط کند که بازخورد منفی به خاطر انتخاب نادرست در تصمیم سطح بالاتر بوده است. ترکیب مسئله می‌تواند درک جامع‌تری از چگونگی شکل‌گیری تصمیم سلسله‌مراتبی ارائه دهد که تجمیع شواهد بازخوردهای منفی متوالی وزن‌گذاری شده با قطعیت منجربه شکل‌گیری متغیر تغییرتصمیم سطح بالا می‌شود. زمانی که مقدار این متغیر به یک حد آستانه می‌رسد تصمیم سطح بالا تغییر می‌کند (۲۲-۲۱). قطعیت یک باور ذهنی است، از این رو بررسی پارامترهای آن در انواع تصمیم‌گیری‌ها سخت است در نتیجه استفاده از انواع داده‌ها می‌تواند این موضوع را آشکارتر کند (۲۴-۲۳). یکی از روش‌های تخمین قطعیت، استفاده از داده‌های رفتاری در راستای تشخیص چگونگی شکل‌گیری تصمیم‌گیری سلسله مراتبی است (۲۱). با توجه به رابطهٔ بین قطعیت و

[1] Random Dot Motion

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.52547/shefa.10.1.56]

قدرت محرک، قطعیت فرد از روی قدرت محرک تخمین زده می‌شود (۲۵). تصمیم گیرندگان ممکن است در آزمایه‌های با قدرت محرک یکسان، تصمیمات متفاوتی گزارش دهند، این گوناگونی گزارش می‌تواند نشات گرفته شده از قطعیت متفاوت افراد از قدرت محرک (انسجام نقاط)، هویت محرک (بالا یا پایین) در شرایط یکسان باشد. این امر بیان می‌کند که قطعیت مستقل از قدرت محرک عمل می‌کند (۲۶). همچنین در برخی تصمیم‌گیری‌های پیچده و سطح بالا به منظور ایجاد وقفه در توالی تصمیمات، گزارش قطعیت در بین مراحل امکان ندارد (۱۸). در نتیجه ارائه روشی برای پیش بینی قطعیت تصمیم سطح پایین، بدون بررسی و تحلیل ویژگی‌های پنهان با داده‌های رفتاری حائز اهمیت است. فعالیت‌های چشمی از جمله اندازه قطر مردمک با فرایندهای تصمیم‌گیری در ارتباطاند (۲۷). در یک مطالعه نشان داده شده است که پاسخ‌های مردمک قبل از دریافت بازخورد می‌توانند قطعیت شکل گرفته شده را بازنمایی کنند (۲۸). همچنین ارتباط بین پاسخ‌های مردمک در آزمایه‌های با دریافت بازخورد مثبت و منفی نیز مورد مطالعه قرار گرفته است (۲۶). بنابراین اگر پاسخ‌های مردمک بتوانند با دقت بالایی قطعیت را در تصمیمات سطح بالا پیش‌بینی کنند نه تنها ضعف و محدودیت روش‌های قبلی را جبران کرده بلکه نشان می‌دهند اطلاعات مربوط به تصمیمات سطح بالا و پیچیده می‌توانند در داده‌های غیرارادی چشمی نمایان شود. یکی از پارامترهای بسیار مهم، در تنظیم استراتژی تصمیم‌های سطح بالا قطعیت است. برای بررسی نقش کلیدی قطعیت، داده‌های رفتاری و داده‌های چشمی و قطعیت گزارش شده توسط آزمودنی ثبت گردید. تحلیل‌ها نشان دهنده رابطه قطعیت گزارش شده با قدرت محرک و بازخوردهای منفی در داده‌های رفتاری است. برای اثبات این مسئله که قطعیت گزارش شده، همان نقش قطعیت را ایفا میکند، استفاده از انواع داده‌ها حائز اهمیت است. از آنجایی که داده‌های غیر ارادی چشمی از جمله اندازه قطر مردمک، مرتبط با فرایندهای تصمیم‌گیری است، در این تحقیق رابطه اندازه قطر مردمک با قطعیت گزارش شده، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ثبت داده‌های چشمی

به منظور ثبت داده‌های چشمی آزمودنی‌ها، از دستگاه ردیاب چشمی EyeLink ۱۰۰۰ plus (SRResearch) استفاده شد که فرکانس نمونه‌برداری آن ۱۰۰۰ هرتز است. عمل اعتبارسنجی و تنظیم، در ابتدای هر بلاک از آزمایش انجام پذیرفت: به این صورت که در روی نمایشگر دستگاه و نمایشگر آزمودنی نه نقطه ظاهر می‌شد و آزمودنی با حرکات چشم نقاط نمایش داده شده را دنبال می‌کرد و چشم خود را بروی نقاط به مدت کوتاه ثابت نگه می‌داشت. به منظور محاسبه خطای چشم بیشینه ۷۵ درصد درجهٔ بینایی و میانگین نیم درجهٔ بینایی به ازای ۹ نقطه اعتبارسنجی نمایش داده شده، به‌عنوان خطای قابل قبول پذیرفته شد. پس از اتمام مراحل مطرح شده، آزمایش اصلی شروع می‌شود. آزمایه‌ها در یک فایل قابل بازیابی در نرم‌افزار متلب ذخیره شدند. در کلیهٔ تحلیل‌ها حرکت‌های پلک با روش درونیابی حذف شده است.

آزمودنی‌ها

۹ آزمودنی (۷ زن: همه راست دست) آزمایش تصمیم‌گیری سلسله مراتبی را اجرا کردند. تمام آزمودنی‌ها یک دید طبیعی یا تصحیح شده طبیعی داشتند و هیچ کدام از آن‌ها سابقه بیماری روانی و مشکل عصبی نداشتند. تمامی آزمودنی‌ها قبل از شروع آزمایش رضایتنامه کتبی دریافت کردند. افرادی در این آزمایش شرکت کردند که قبلاً با آزمایش RDM آشنا بودند. آزمودنی‌ها برای ورود به مراحل اصلی تصمیم‌گیری سلسله مراتبی چند مرحلهٔ آموزشی را به‌منظور تنظیم معیار تصمیم‌گیری خود در حالت مناسب و همچنین برقراری تعادل خوبی میان دقت و سرعت عمل انتخاب در آزمایش‌ها، پشت سر گذاشتند. سپس مراحل اصلی آزمایش شروع شد. شایان ذکر است که، قبل از انجام هر آزمایش دستورالعمل انجام آزمایش به صورت فایل کتبی برای آزمودنی‌ها شرح داده شده است.

محرک بینایی

طراحی آزمایش استفاده شده در این تحقیق، از پژوهش پورسل و همکاران الهام گرفته شده است و به دلیل تمرکز بر ویژگی قطعیت، طرح آزمایش تغییر داده شده است (تصویر ۱). آزمایش زمانی شروع می‌شود که یک نقطهٔ ثابت قرمز رنگ به دایره قطر ۰/۳ درجه بینایی در مرکز صفحه نمایش به‌منظور ثابت نگه داشتن تمرکز آزمودنی ظاهر می‌شد. پس از یک تاخیر زمانی به مدت ۲۰۰ الی ۵۰۰ میلی ثانیه‌ای برای گزارش مستقیم قطعیت به طول ۷ درجه بینایی در دو طرف مخالف، خارج از حول نقطه تثبیت کننده ظاهر می‌شود. پس از یک تاخیر زمانی به مدت ۵۰۰ - ۲۰۰ میلی ثانیه‌ای دیگر نقاط متحرک سفید رنگ مربعی شکل در یک دایره به قطر ۵ درجه بینایی در مرکز تصویر حول نقطه تثبیت‌کننده تمرکز ظاهر می‌شد. نقاط متحرک سفید رنگ هر کدام در سایز ۴×۴ پیکسل (هر ضلع

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.52547/shefa.10.1.56]

به اندازه ۰/۰۹۶ درجه بینایی) روی زمینهٔ مشکی رنگ با میانگین تراکم ۱۶/۷ نقطه بر درجه بینایی در واحد مربع در هر ثانیه قرار می‌گرفتند. تمامی آزمایش‌ها در یک اتاق نیمه تاریک و عایق در برابر نور و صدا انجام شده است. آزمودنی‌ها روی یک صندلی قابل تنظیم با ثابت کننده چانه و پیشانی به فاصلهٔ ۵۷ سانتیمتر از صفحه نمایش CRT با قطر ۱۵ اینچ و وضوح تصویر ۸۰۰ در ۶۰۰ با فرکانس ۷۵ هرتز قرار گرفتند. در این آزمایش دو تصمیم‌گیری ادراکی سطح پایین و سطح بالا همزمان انجام شد. تصمیم‌گیری سطح پایین مربوط به انتخاب جهت نقاط حرکتی(چپ یا راست) است و تصمیم‌گیری سطح بالا در مورد انتخاب محیط بالا یا پایین است. نقاط متحرک با ۶ قدرت محرک (۵۱/۲ درصد،۲۵/۶ درصد،۱۲/۸ درصد،۶/۴ درصد،۳/۲ درصد،۰ درصد) تعبیه شده و مدت زمان نمایش آنها ۱۰۰ الی ۹۰۰ میلی‌ثانیه و میانگین ۳۳۰ است که با توزیع‌نمایی بریده شده مشخص گردید. محیط برای چندین آزمایه مطابق یک توزیع هندسی بریده شده در محدود ۲ الی ۲۰ آزمایه با میانگین ۶ ثابت می‌ماند. حائز اهمیت است که تغییرات محیط بدون علامت است. آزمودنی‌ها پاسخ‌های خود را در اسرع وقت با حرکت چشمی، همزمان تصمیم خود را برای جهت حرکت نقاط محرک، محیط بالا یا پایین و میزان قطعیت اعلان می‌کردند. دو جفت میله رنگی که به منزله انتخاب محیط بالا و پایین و گزارش مستقیم قطعیت است. در میله‌ها از رنگ سبز به رنگ قرمز مقدار عددی قطعیت از ۰ به ۱ بیشتر می‌شود (تصویر ۱). درست یا نادرست بودن تصمیم توسط دو صدای بوق (فرکانس پایین برای پاسخ درست و فرکانس بالا برای پاسخ نادرست) به آزمودنی اعلام می‌گردید. در صورتی که هر دو تصمیم صحیح بود سیگنال به منزله بازخورد مثبت و در غیر این صورت به منزله بازخورد منفی بود. بازخورد برای قدرت محرک ۰ درصد به صورت تصادفی اعلام می گردید. آزمایه بعدی بدون تاخیر بلافاصله بعد از آزمایه قبلی شروع می‌شد. هر بلاک آزمایش شامل ۲۰۰ آزمایه است که هر آزمودنی در ۴ الی ۸ بلاک آزمایش شرکت کرده بود.

آنالیز و تحلیل آماری داده‌ها

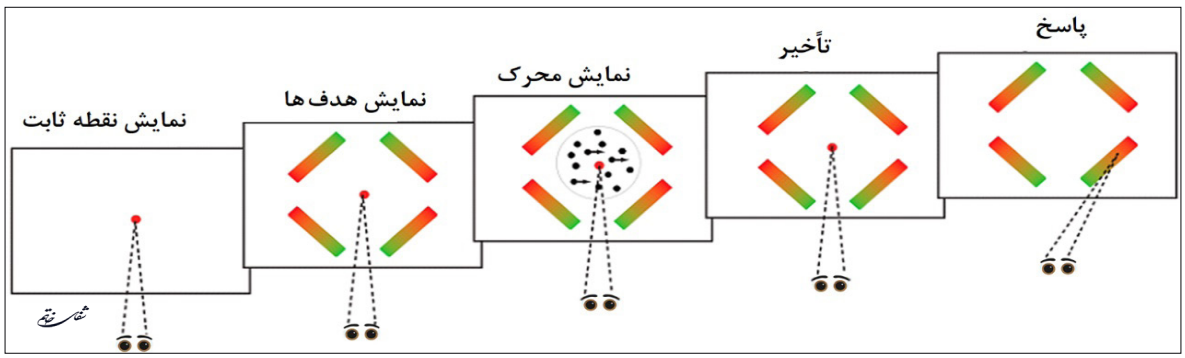
به‌منظور ارزیابی تاثیر بازخوردهای منفی متوالی در بازه پس از تصمیم– بازخورد بر روی تغییرات مردمک از آزمون کروسکال والیس[2] استفاده شده است. از آزمون آماری ناپارامتری من ویتنی[3] برای محاسبهٔ رابطه قطعیت گزارش شده و قدرت محرک استفاده شده است. همچنین به‌منظور بررسی تاثیر قدرت‌های محرک و قطعیت فرد بر تغییرات قطر مردمک از رگرسیون خطی[4] استفاده شده است. در تحلیل داده‌های رفتاری، برای گزارش فاصله اطمینان از خطای استاندارد میانگین[5] استفاده شده است. کلیهٔ شبیه‌سازی‌ها و مقایسات آماری در محیط نرم‌افزار متلب R2019a انجام پذیرفته است.

یافته‌ها

تحلیل‌ها در دو بخش بررسی داده‌های رفتاری و ارزیابی داده‌های چشمی انجام شده است.

بخش ۱- داده‌های رفتاری

در قدم اول برای بررسی چگونگی تاثیرگذاری ویژگی‌های بازخورد منفی و قدرت محرک در تصمیمات سلسله مراتبی، به تحلیل داده‌های رفتاری به دست آمده از آزمایش روان- فیزیک پرداخته شد. تصویر ۲- الف رابطه بین قدرت محرک در یک آزمایه قبل و احتمال تغییر محیط را به طور جداگانه در آزمایه‌های با پاسخ درست و نادرست نشان می‌دهد. در آزمایه‌های با پاسخ درست، که با رنگ سبز نشان داده شده است. از آنجایی که آزمودنی‌ها از انتخاب‌های تصمیم سطح بالا و تصمیم سطح پایین خود مطمن هستند تمایلی برای تغییر محیط ندارند ولی در آزمایه‌های نادرست که منجربه دریافت بازخوردمنفی شده است، به منظور تلاش برای دریافت بازخورد مثبت در آزمایه‌های بعدی با افزایش قدرت محرک در مورد جهت نقاط انتخابی، احتمال تغییر تصمیم سطح بالا، بیشتر می‌شود. علت دریافت بازخورد منفی در تصمیمات سلسله مراتبی مبهم است، زیرا آزمودنی نمی‌داند که آیا بازخورد منفی را



تصویر ۱- طراحی آزمایش سلسله مراتبی. دو جفت میله رنگی در بالا و پایین نقطه تثبیت‌کننده نشان دهندهٔ محیط بالا و پایین است. اهداف چپ یا راست در هر محیط جهت حرکت نقاط متحرک را تعیین می‌کنند. آزمودنی‌ها تصمیم سطح بالا و تصمیم سطح پایین و قطعیت خود را همزمان با حرکت چشمی گزارش می‌کردند. جهت حرکت نقاط متحرک و قدرت محرک و مدت زمان نمایش آن‌ها در آزمایه‌ها متفاوت بود.

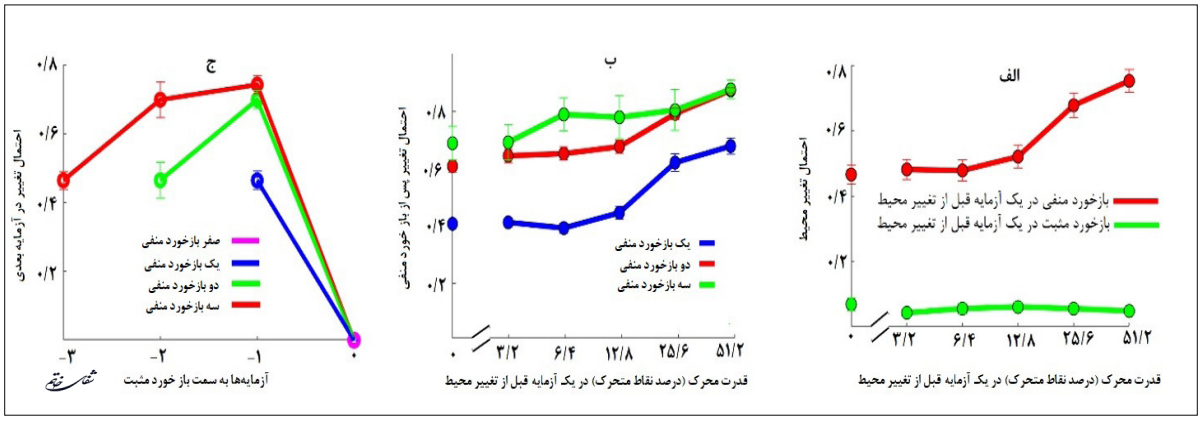
[2] Kruskal Wallis Test
[3] Wilcoxon Rank Sum Test
[4] linear Regression
[5] Standard Error of the Mean

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.52547/shefa.10.1.56]

بخاطر نادرست بودن جهت نقاط انتخابی دریافت کرده است و یا علت آن انتخاب نادرست تصمیم سطح بالا است. تصویر ۲- ب نشان می‌دهد که قدرت محرک بالا به همراه تاریخچه‌ای از بازخوردهای منفی به‌عنوان شاهدی برای حل ابهام بازخورد منفی خواهد بود. مشخص است که با افزایش تعداد بازخوردهای منفی احتمال تغییر محیط افزایش خواهد یافت (P<۰/۰۵ آزمون Kruskal-Wallis). تصویر ۲-ج نیز نشان می‌دهد که احتمال تغییر محیط پس از دریافت بازخورد منفی متوالی افزایش می یابد ولی ، علارغم دریافت هر تعداد از بازخوردهای منفی قبل از یک بازخورد مثبت، احتمال تغییر صفر خواهد بود. در این پژوهش آزمودنی‌ها قطعیت خود را در حین اخذ تصمیم بر روی میله رنگی به صورت پیوسته گزارش می‌کردند. برای بررسی رابطه قطعیت با ویژگی‌های دیگر، قطعیت گزارش شده با تقسیم بازهٔ ۰ تا ۱ به ۵ بخش -[۰،۰/۲)، ، [۰/۲،۰/۴)، [۰/۴، ۰/۶)، [۰/۶،۰/۸)، [۰/۸،۱) - به داده‌های گسسته تبدیل شدند. سپس هر بازه به ترتیب با مقادیر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد برچسب گذاری شدند (۲۵). درتصویر ۳- الف میزان و نوع رابطه بین قطعیت و قدرت محرک نشان داده شده است. نمودار نشان دهنده یک رابطه مستقیم است و بازگو می‌کند که با افزایش میزان قدرت محرک، قطعیت نیز افزایش می‌یابد (Wilcoxon Ranksum P<۰/۰۴). در تصویر ۳-ب ارتباط قطعیت با احتمال تغییر تصمیم سطح بالا در آزمایه‌های با بازخورد منفی و مثبت بررسی شده است. با افزایش قطعیت تصمیم سطح پایین احتمال تغییر محیط افزایش می‌یابد در حالی که بازخورد مثبت احتمال ثابتی دارد. همان طور که انتظار می‌رفت با توجه به رابطه مستقیم بین قطعیت و قدرت محرک نتایج مشابه تصویر ۲- ب حاصل شده است. در این تصویر رنگ قرمز نشان دهندهٔ آزمایه‌های بازخوردهای منفی و رنگ سبز نشان دهنده آزمایه‌های بازخوردهای مثبت است. در تصویر ۳-ج تاثیر توالی بازخورهای منفی (یک بازخوردمنفی رنگ آبی،دو بازخورد منفی، رنگ قرمز، سه بازخورد منفی رنگ سبز) وزن گذاری شده با قطعیت، بررسی شده است. در نتیجه تجمع شواهد مربوط به چندین آزمایه، بار اطلاعاتی متغیر تغییر تصمیم افزایش می‌یابد و نهایتا منجربه افزایش احتمال تغییر تصمیم سطح بالا می‌شود. هر چقدر آزمودنی تعداد بیشتری آزمایه در یک محیط باقی بماند، میزان تجمیع بازخورد منفی وزن گذاری شده با قطعیت در تعداد بیشتری آزمایه انجام می‌پذیرد و در نتیجه احتمال تغییر نیز افزایش می‌یابد. (P<۰/۰۳ آزمون Kruskal-Wallis).

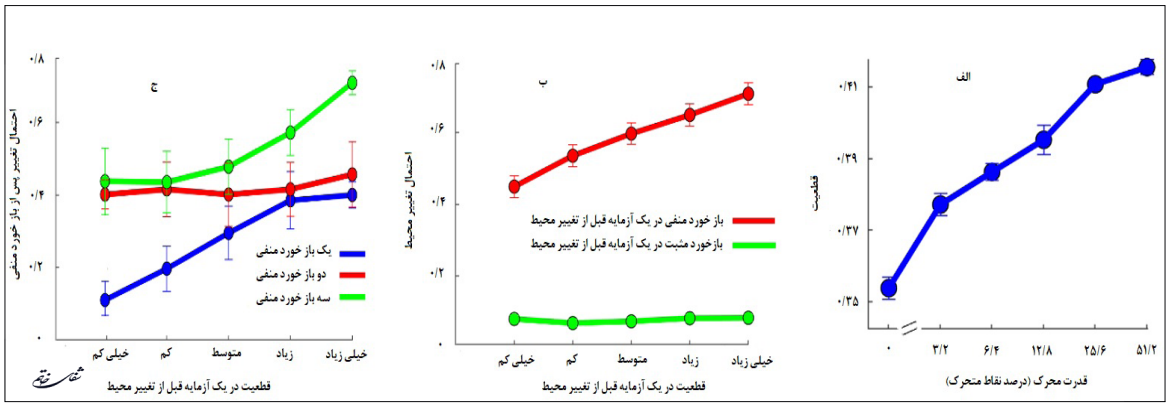
بخش۲- داده‌های چشمی

به‌منظور تحلیل تاثیر ویژگی قطعیت در اندازه قطر مردمک در تصمیمات سلسله مراتبی، میانگین اندازه قطر مردمک در آزمایه‌های با بازخورد منفی در بازهٔ پس از بازخورد- تصمیم استخراج شده‌اند. بازهٔ پس از بازخورد- تصمیم از لحظه گزارش تصمیم توسط آزمودنی تا ۲۰۰۰ میلی ثانیه پس از آن در نظر گرفته شده است. در ابتدا بررسی کردیم که آیا رابطه‌ای معنی‌داری بین قدرت‌های محرک و اندازه قطر مردمک وجود دارد یا نه. همانگونه که در تصویر ۴-الف مشاهده می‌شود، اندازه قطر مردمک همبستگی مثبت و معنی‌داری با قدرت‌های محرک دارند (R^2=۰/۹، P<۰/۰۱۲) همچنین رابطه مستقیم و معنی‌داری بین قطعیت و اندازه قطر مردمک با بالاترین همبستگی بین قطعیت و میانگین اندازه قطر مردمک در تصویر ۴-ب مشاهده می‌شود (R^2=۰/۹۷، P<۰/۰۰۱).

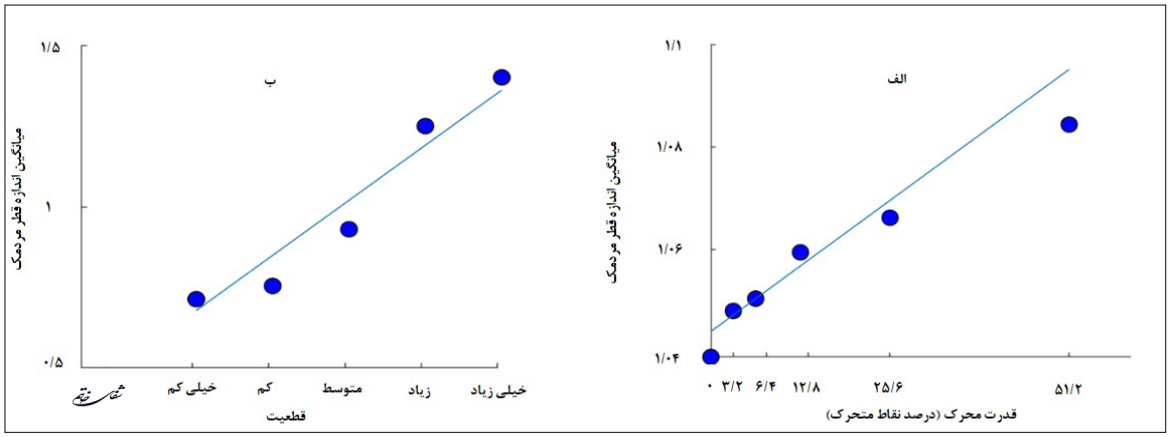


تصویر ۲- نتایج رفتاری. الف) احتمال تغییر محیط در آزمایه‌های با پاسخ نادرست و درست در قدرت‌های محرک.ب) احتمال تغییر محیط در آزمایه‌های با بازخورد منفی متوالی درقدرت‌های محرک ج) احتمال تغییر محیط پس از دریافت بازخورد مثبت. (یافتهٔ اصلی پورسل و همکاران در تمامی قسمت‌ها دایره‌ها میانگین داده‌ها و خطوط خطا، خطای استاندارد میانگین است (۲۱).

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.52547/shefa.10.1.56]



تصویر ۳- ویژگی‌های قدرت محرک، قطعیت گزارش شده، بازخورد منفی. الف) رابطه قدرت محرک و قطعیت گزارش شده، ب) احتمال تغییر محیط در آزمایه‌های با پاسخ نادرست و درست با قطعیت گزارش شده ج) احتمال تغییر محیط در آزمایه‌های با بازخوردهای منفی متوالی(یک، دو و سه) با قطعیت‌های گزارش شده.



تصویر ۴- میانگین انداز قطر مردمک وابسته به قدرت محرک و قطعیت. الف) رابطه میانگین اندازه قطر مردمک با قدرت‌های محرک، ب) رابطه میانگین اندازه قطر مردمک با قطعیت گزارش شده.

بحث و نتیجه‌گیری

برای انتخاب‌های عاقلانه و درست، فرد باید یک استراتژی تصمیم مناسب اتخاذ کند (۳۰-۲۹). قطعیت به‌عنوان یک پارامتر مهم در تغییر رفتار و استراتژی انسان در انواع تصمیمات سطح بالای چند مرحله‌ای و متوالی و گروهی مورد بررسی قرار گرفته است (۳۱، ۱۸-۱۷). تغییرات در تصمیمات سطح بالا ممکن است پنهان باشد در نتیجه عدم تشخیص تغییرات در این نوع تصمیم‌ها، یک منبع اضافه عدم قطعیت در دنیایی واقعی است (۳). به‌دنبال یک نتیجه نادرست، دو منبع بالقوه دریافت بازخورد منفی (استراتژی ناقص موجود در تصمیم‌های سطح بالا و یا عملکرد نادرست در اخذ تصمیم سطح پایین) باید متمایز شوند تا عملکرد در آینده بهبود یابد. نتایج داده‌های رفتاری نشان دادند ابهام‌زدایی از علت دریافت بازخورد منفی نیاز به یک استنتاج فعال دارد. برای استنتاج، بازخوردهای منفی انتخاب‌های گذشته با قطعیت مربوط به تصمیم‌های سطح پایین وزن‌گذاری می‌شود تا یک اطمینان در مورد تغییر یا عدم تغییر تصمیم سطح بالا بدست بیاید (۲۲-۲۱). از آنجایی که تغییرات مربوط به قطعیت، در تصمیمات سطح بالا، در تخمین و پیش‌بینی چالش برانگیز است، استفاده از داده‌های چشمی مد نظر قرار گرفته است (۱۸،۲۸). در نتیجه در این پژوهش در کنار تحلیل داده‌های رفتاری، به مطالعه و بررسی داده‌های مردمک چشم و ارتباط آن‌ها با قدرت محرک و قطعیت گزارش شده در تصمیم‌های سلسله مراتبی پرداخته شد. ابتدا نشان داده شدکه رابطه معنی‌داری بین قطعیت گزارش شده و ویژگی قدرت محرک وجود دارد (تصویر ۳ – الف) و تاییدی بر رابطه این دو ویژگی در دیگر مطالعات در انواع تصمیمات بود (۲۵، ۱۷). سپس نشان داده شده قطعیت گزارش شده همراه با بازخوردهای

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.52547/shefa.10.1.56]

منفی می‌توانند همانند قدرت محرک و بازخوردهای منفی پیش‌بینی‌کننده تغییر استراتژی در تصمیمات سطح بالا باشد (تصویر ۳-ب). این مسئله برای توالی بازخوردهای منفی در قطعیت‌های مختلف نیز بررسی شد. عامل توالی بازخوردهای منفی همراه با، قطعیت گزارش شده مربوط به تصمیم سطح پایین به دلیل جمع‌آوری اطلاعات بیشتر از انتخاب‌های پیشین منجربه افزایش بار اطلاعاتی مربوط تغییر تصمیم می‌شود، و زمانی که این متغیر به حد آستانه می‌رسد تغییر استراتژی در تصمیمات سطح بالا رخ می‌دهد (تصویر ۳- ج).از آنجایی که فرآیندهای تصمیم به پاسخ‌های چشمی نگاشت می‌شود، در این مطالعه همچنین نشان داده شده که میانگین اندازه قطر مردمک نه تنها می‌توانند به‌عنوان ابزاری برای بازنمایی و پیش‌بینی قطعیت معرفی گردد، بلکه می‌توانند به‌عنوان ابزاری مفید و کارا برای مطالعهٔ چگونگی شکل‌گیری تصمیم‌های سلسله مراتبی نیز مورد استفاده قرار بگیرد (۳۲، ۹). در مطالعاتی بررسی شده است که قطر مردمک به‌عنوان ابزاری برای پیش‌بینی تصمیمات متوالی مورد استفاده قرار می‌گیرد و نشان داده شده است زمان بیشینه شدن قطر مردمک در لحظهٔ پاسخ به صورت معنی‌داری با قطعیت تصمیم در ارتباط است و اندازهٔ مردمک چشم انسان در تصمیم فعلی بر اساس قطعیت تصمیم قبلی تغییر میکند (۲۸، ۱۸). همچنین در پژوهشی نشان داده شده است که اندازه قطر مردمک در حالت کلی در بازخورد منفی بزرگتر از بازخورد مثبت است (۳۳). ولی هیچ کدام از این مطالعات تعامل بین قطعیت، قدرت محرک و بازخورد منفی را در تصمیمات سلسله مراتبی بررسی نکردند. در تصویر ۴- الف و ب نشان داده شد که در آزمایه‌های منفی زمانی که قدرت محرک پایین (قطعیت کم) است، شواهد بیشتری جهت اخذ تصمیم درست جمع‌آوری نشده است در نتیجه مقدار میانگین اندازه قطر مردمک کوچکتر است. ولی در قدرت محرک بالاتر که در آزمایه آسان بازخورد منفی دریافت می‌شود، به احتمال زیاد به علت قطعیت بالا، تصمیم سطح پایین درست انتخاب شده است و آزمودنی سعی کرده است با جمع‌آوری شواهد بیشتر محیط را درست انتخاب کند که این امر منجرب افزایش میانگین اندازه قطر مردمک شده است. نکته حائز اهمیت این است که در مقایسه با تحلیل داده‌های رفتاری حاصل از مطالعه پورسل و همکاران نشان دادیم که قطعیت نقش قدرت محرک را برای تغییر استراتژی تصمیم سطح بالا ایفا می‌کند. همچنین نشان داده شد که مقادیر قطعیت تغییر معنی‌داری در میانگین اندازه قطر مردمک ایجاد می‌کند (۲۱). بدین ترتیب می‌توان از مدل مبتنی بر مردمک به دست آمده در این تحقیق به‌عنوان ابزاری برای پیش بینی قطعیت گزارش شده در تصمیم‌های سطح بالا استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش از پایان‌نامه مورد حمایت ستاد علوم شناختی با شماره ۹۱۱۴ استخراج شده است و این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی به شماره قرارداد ۱۸۸۴۳ انجام گردیده است.

منابع

1. Fernandez-Vargas J, Tremmel C, Valeriani D, Bhattacharyya S, Cinel C, Citi L, et al. Subject-and task-independent neural correlates and prediction of decision confidence in perceptual decision making. Journal of Neural Engineering. 2021; 18(4): 046055.

2. Hanks TD, Summerfield C. Perceptual decision making in rodents, monkeys, and humans. Neuron. 2017; 93(1): 15-31.

3. Murphy PR, Wilming N, Hernandez-Bocanegra DC, Prat-Ortega G, Donner TH. Adaptive circuit dynamics across human cortex during evidence accumulation in changing environments. Nature Neuroscience. 2021: 1-11.

4. Peixoto D, Verhein JR, Kiani R, Kao JC, Nuyujukian P, Chandrasekaran C, et al. Decoding and perturbing decision states in real time. Nature. 2021; 591(7851): 604-9.

5. Stine GM, Zylberberg A, Ditterich J, Shadlen MN. Differentiating between integration and non-integration strategies in perceptual decision making. Elife. 2020; 9: e55365.

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

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

8. Van Maanen L, Grasman RP, Forstmann BU, Keuken MC, Brown SD, Wagenmakers E-J. Similarity and number of alternatives in the random-dot motion paradigm. Attention, Perception, & Psychophysics. 2012; 74(4): 739-53.

9. Strauch C, Greiter L, Huckauf A. Pupil dilation but not microsaccade rate robustly reveals decision formation. Scientific reports. 2018; 8(1): 1-9.

10. Mognon A, Jovicich J, Bruzzone L, Buiatti M. ADJUST: An automatic EEG artifact detector based on the joint use of spatial and temporal features. Psychophysiology. 2011; 48(2): 229-40.

11. Lempert KM, Chen YL, Fleming SM. Relating pupil

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.52547/shefa.10.1.56]

dilation and metacognitive confidence during auditory decision-making. PLoS One. 2015; 10(5): e0126588.

12. Kiani R, Corthell L, Shadlen MN. Choice certainty is informed by both evidence and decision time. Neuron. 2014; 84(6): 1329-42.

13. Fetsch CR, Kiani R, Newsome WT, Shadlen MN. Effects of cortical microstimulation on confidence in a perceptual decision. Neuron. 2014; 83(4): 797-804.

14. Shadlen MN, Kiani R. Decision making as a window on cognition. Neuron. 2013; 80(3): 791-806.

15. Purcell BA, Kiani R. Neural mechanisms of post-error adjustments of decision policy in parietal cortex. Neuron. 2016; 89(3): 658-71.

16. Lorteije JA, Zylberberg A, Ouellette BG, De Zeeuw CI, Sigman M, Roelfsema PR. The formation of hierarchical decisions in the visual cortex. Neuron. 2015; 87(6): 1344-56.

17. Van den Berg R, Zylberberg A, Kiani R, Shadlen MN, Wolpert DM. Confidence is the bridge between multi-stage decisions. Current Biology. 2016; 26(23): 3157-68.

18. Vafaei S, Ebrahimpour R, Zabbah S. The Relationship Between Pupil Diameter Data and Confidence in Multi-Stage Decisions. Neurosci J Shefaye Khatam. 2020: 70-9.

19. Rezanejad AA, Issazadegan A, Mikaeli MF. The Effect of Manipulation of Neural Activity of Dorsolateral Prefrontal Cortex on Cognitive Flexibility Deficit. Neurosci J Shefaye Khatam 2016;4(2):1-0.

20. Zylberberg A, Lorteije JA, Ouellette BG, De Zeeuw CI, Sigman M, Roelfsema P. Serial, parallel and hierarchical decision making in primates. Elife. 2017; 6: e17331.

21. Purcell BA, Kiani R. Hierarchical decision processes that operate over distinct timescales underlie choice and changes in strategy. Proceedings of the national academy of sciences. 2016; 113(31): E4531-E40.

22. Sarafyazd M, Jazayeri M. Hierarchical reasoning by neural circuits in the frontal cortex. Science. 2019; 364(6441).

23. Kiani R, Shadlen MN. Representation of confidence associated with a decision by neurons in the parietal cortex. science. 2009; 324(5928): 759-64.

24. Boldt A, Schiffer A-M, Waszak F, Yeung N. Confidence predictions affect performance confidence and neural preparation in perceptual decision making. Scientific reports. 2019; 9(1): 1-17.

25. Majdabadi F, Ebrahimpour R. The role of explicit and implicit confidence in multi-stage decisions. Advances in Cognitive Science 2020: 10-37.

26. Colizoli O, de Gee JW, Urai AE, Donner TH. Task-evoked pupil responses reflect internal belief states. Scientific reports. 2018; 8(1): 1-13.

27. Joshi S, Gold JI. Pupil size as a window on neural substrates of cognition. Trends in cognitive sciences. 2020; 24(6): 466-80.

28. Shooshtari SV, Sadrabadi JE, Azizi Z, Ebrahimpour R. Confidence representation of perceptual decision by eeg and eye data in a random dot motion task. Neuroscience. 2019; 406: 510-27.

29. Olianezhad F, Zabbah S, Ebrahimpour R. The influence of past decision information on decision making in the present. Shefaye Khatam. 2016; 4(3): 1-8.

30. Tohidi-Moghaddam M, Zabbah S, Ebrahimpour R. The role of the primary information on importance of the last information in decision making. Neurosci J Shefaye Khatam. 2016; 4: 26-34.

31. Esmaily J, Ebrahimpour R, Zabbah S. Changing in the Reaction Time Causes the Confidence Matching in Group Decision Making. Neurosci J Shefaye Khatam. 2019; 7(4): 61-70.

32. Laeng B, Sirois S, Gredebäck G. Pupillometry: A window to the preconscious? Perspectives on psychological science. 2012; 7(1): 18-27.

33. Cohen Hoffing RA, Lauharatanahirun N, Forster DE, Garcia JO, Vettel JM, Thurman SM. Dissociable mappings of tonic and phasic pupillary features onto cognitive processes involved in mental arithmetic. PloS one. 2020; 15(3): e0230517

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.52547/shefa.10.1.56]