

An extra short duration cue improves both accuracy and decision metacognition beyond expectations

Zahra Azizi¹, Sajjad Zabbah², Azra Jahanitabesh³, Reza Ebrahimpour^{4,5*} 

1. PhD Student of Cognitive Science, Department of Cognitive Modeling, Institute for Cognitive Science Studies, Tehran, Iran

2. Post-Doctoral Associate, School of Cognitive Sciences, Institute for Research in Fundamental Sciences (IPM), Tehran, Iran

3. Department of Psychology, University of California, Davis, California, United States

4. Professor of Artificial Intelligence, Department of Artificial Intelligence, Faculty of Computer Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

5. School of Cognitive Sciences (SCS), Institute for Research in Fundamental Sciences (IPM), Tehran, Iran

Abstract

Received: 3 Dec. 2020

Revised: 26 Feb. 2021

Accepted: 6 Mar. 2021

Keywords

Perceptual decision-making

Computational modeling

Confidence


Metacognition

Corresponding author

Reza Ebrahimpour, Professor of Artificial Intelligence, Department of Artificial Intelligence, Faculty of Computer Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

Email: Ebrahimpour@ipm.ir



 doi.org/10.30514/icss.23.2.8

Introduction: In real-life decision-making, in many cases, evidence becomes available separately over time. Individuals are able to integrate evidence well and make a decision after receiving double brief information pieces. However, it is not clear how confidence is formed in such circumstances. The present study aims to investigate the confidence of participants after receiving an extra piece of information.

Methods: In order to create a perceptual decision-making situation, an experiment was designed with random-dot-motion stimuli. In each trial, one or two information pieces were displayed to the participants, and participants had to declare their decision and confidence simultaneously. In order to understand the effect of the time interval between information pieces, the second piece was displayed to participants immediately or at most one second after the offset of the first piece. In addition to analyzing behavioral data, computational models were used to explain the integration of evidence and confidence formation.

Results: Accordingly, although the participants' accuracy in the experiments containing double-piece trials improved more than expected, the confidence in these trials was not much different from the single-piece trials and was less than the prediction. Also, the metacognitive sensitivity of individuals, which indicates the coordination of accuracy and confidence, improved more than expected in double-piece trials.

Conclusion: These results revealed that providing brief and gradual information leads to more confident and sustainable decisions despite the time gap between presenting evidence. These results are applicable to marketing and behavioral economics.

Citation: Azizi Z, Zabbah S, Jahanitabesh A, Ebrahimpour R. An extra short duration cue improves both accuracy and decision metacognition beyond expectations. *Advances in Cognitive Sciences*. 2021;23(2):103-119.

Extended Abstract

Introduction

In many cases, when making real-life decisions, the evidence does not come to a human on a continuous basis; instead, the individual receives separate pieces of evidence during a period. While previous studies supported

the ability of humans to integrate information perfectly from separate pieces of evidence to improve their accuracy, confidence formation is controversial. Decisions are often accompanied by confidence, which is closely

related to changes of mind, attentional bias, and error prediction. Furthermore, a more confident individual can impact others' decisions. A decision is held when the accumulated evidence for one option, called a decision variable, crosses a threshold or bound. In addition, confidence originates by mapping between the decision variable and the probability that a decision relying on this decision variable will be correct. The computational description of confidence in decision-making is significantly controlled by the attendance of both decision and confidence performance.

Consequently, suboptimalities in confidence could be caused by noise. When we need to make a decision based on discrete pieces of evidence, the decision is determined by integrating the decision variable of cues. As a result, the confidence can be estimated as the likelihood that the decision is correct based on gathering discrete pieces of evidence, but a theoretical prediction is that the temporally separated sources of evidence will affect confidence.

Methods

To specify confidence formation in the presence of discrete pieces of evidence, we tested 12 healthy adults using a Random Dot Motions (RDM) paradigm. Participants had to distinguish the predominant direction of moving dots by saccadic eye movement after receiving one or two pieces of 120ms of information (cue). The interval of two pieces was selected randomly from 0, 120, 360, and 1080ms. The direction and the strength of the motion stimulus changed randomly trial by trial. However, the direction of both pieces in double-piece trials was the same, and participants were aware of that. While on single-piece trials, motion coherence was randomly selected from these following values, 0, 3.2%, 6.4%, 12.8%, 25.6%, 51.2%, on double-piece trials, motion strength of each piece was randomly chosen from, 3.2%, 6.4%, 12.8%. Color-coded targets helped subjects, indicating

confidence simultaneously. Altogether there were 200 trials in each block and four blocks for each participant. In addition to empirical analysis, this study applied a set of computational models to discuss how accuracy and confidence have changed receiving two brief RDM stimuli. In binary decisions, signal detection theory has provided a simple yet powerful methodology for distinguishing between an observer's ability to categorize the stimulus and the behavioral responses. Moreover, it can also provide a method to characterize how well the observer performs to report confidence ratings. Accordingly, the present study uses this model here too. First, we fitted a standard signal detection model to participants' choices and confidence to directly estimate each participant's evidence sensitivity (d'), confidence criteria, and metacognition sensitivity (meta- d'). Second, based on the task's nature and considering the single-piece trials' data, a perfect accumulator model and an optimized model were fitted to participants' choices and confidence. These models were used to predict the accuracy, confidence, and metacognition of double-piece trials. The current study evaluated the models both quantitatively —Maximum Likelihood Estimation— and qualitatively —parameter recovery exercises in which data were simulated from models' parameters.

Results

The results showed that participants integrate the decision evidence invariant to gap interval to form their decision and confidence after receiving the second piece of information. To address accuracy variation in double-piece trials compared to single-piece trials, the present study consider the accuracy of each coherence in single-piece trials as a baseline and measure the accuracy variation of any corresponding sequence in double-piece trials. Generally, in all combinations, accuracy increased. In contrast, when considering all the trials, confidence increased whenever the other piece was a strong piece but decreased or not

changed significantly while the other piece was weak. We separate correct and incorrect trials and do the same analysis for each separately. In correct-choice trials, the increasing effects were more considerable. Nevertheless, interestingly, in incorrect trials, the confidence decreased in all sequences. Although previous studies showed a positive relationship between accuracy and confidence, double-piece trials' confidence did not improve along with improved accuracy in the current study. This is in line with the concept of metacognition sensitivity, which means higher confidence ratings with correct responses and lower ratings with incorrect responses. The obtained data suggested that receiving an extra short piece of information improves participants' confidence in correct choices, but worsens participants' confidence in incorrect decisions. To discuss the metacognitive sensitivity across double versus single piece trials, we use signal detection theory. Results from computational models showed that the perfect accumulator could not predict the confidence of double-piece trials. Moreover, by optimizing the perfect accumulator, the model could predict the confidence in double-piece trials well. The evaluation of the models both quantitatively and qualitatively confirmed the superiority of the latter model. Based on the reported data and computational modeling results, participants reallocate their confidence criteria slightly after receiving the second piece to report their confidence more accurately.

Conclusion

The investigations indicated that although participants integrate the decision evidence perfectly and improve their accuracy and decision metacognition, their confidence did not improve significantly. In that way, providing brief information over time is more effective in persuading participants to make a more sustainable choice and prevent changes in decisions. These findings have implications for many areas such as marketing and behavioral eco-

nomics; providing limited information over time helps people make more stable choices in purchasing goods or receiving services. Also, in situations such as elections, if the information presented in favor of a candidate is offered over time and in several phases, it can have a more significant impact and improve decision stability.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

In order for the test conditions to be stable, instructions on how to perform the test were provided to the participants. The ethics committee of the Iran University of Medical Sciences (IR.IUMS.REC1399648) approved the experimental protocol. Written informed consent was obtained from all participants. They were assured that all information would remain confidential and would only be used for research purposes. The details of the participants were not recorded for privacy reasons. They were also allowed to leave the study at any time.

Authors' contributions

Zahra Azizi: Conceptualization, data acquisition, analysis, visualization, writing original draft - review and editing; Sajjad Zabbah: Conceptualization, supervision, writing - review and editing; Azra Jahanitabesh: Supervision, writing - review and editing; Reza Ebrahimpour: Conceptualization, supervision, writing - review and editing.

Funding

This research was financially supported by Iran Cognitive Sciences & Technologies Council (code 8066). Data were recorded in the Cognitive Science Laboratory of Shahid Rajaei University.

Acknowledgments

We thank all our participants, and finally, special thanks to the open science movement and generous researchers

whom we had their helpful comments during the implementation and analysis.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.



بهبود فراتر از انتظار صحت و فراشناخت تصمیم با افزودن پالس اطلاعاتی کوتاه

زهرا عزیزی^۱، سجاد ذباح^۲، عدرا جهانی تابش^۲، رضا ابراهیم‌پور^{۳،۴} *^۵ ID

۱. دانشجوی دکتری علوم شناختی، گروه مدل‌سازی شناختی، پژوهشکده علوم شناختی، تهران، ایران
۲. محقق پسا دکتری، پژوهشکده علوم شناختی، پژوهشگاه علوم بنیادی، تهران، ایران
۳. دانشکده روان‌شناسی، دانشگاه کالیفرنیا، دیویس، کالیفرنیا، ایالات متحده آمریکا
۴. استاد هوش مصنوعی، گروه هوش مصنوعی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۵. پژوهشکده علوم شناختی، پژوهشگاه علوم بنیادی، تهران، ایران

چکیده

مقدمه: هنگام تصمیم‌گیری در زندگی واقعی، در بسیاری از موارد، شواهد به مرور و در طول زمان در دسترس افراد قرار می‌گیرند. افراد قادر هستند بعد از دریافت دو پالس اطلاعاتی کوتاه، شواهد را به خوبی با هم ادغام کرده و به تصمیم برسند؛ اما مشخص نیست که قطعیت افراد در این‌گونه شرایط چگونه شکل می‌گیرد. هدف از مطالعه حاضر، بررسی قطعیت افراد پس از دریافت پالس اطلاعاتی جدید بود.

روش کار: به منظور ایجاد موقعیت تصمیم‌گیری ادراکی، آزمایشی با محرک نقاط تصادفی طراحی شد. در هر یک از آزمایش‌های این آزمایش، یک و یا دو پالس اطلاعاتی به افراد نمایش داده می‌شد و شرکت‌کنندگان می‌بایست بر مبنای اطلاعات دریافتی، به طور همزمان، تصمیم و قطعیت تصمیم خود را اعلام می‌کردند. به منظور درک تأثیر فاصله زمانی بین پالس‌های اطلاعاتی، پالس دوم بلافاصله و یا حداکثر یک ثانیه بعد از اتمام پالس اول به افراد نمایش داده می‌شد. به منظور توضیح ادغام شواهد و شکل‌گیری قطعیت، علاوه بر تحلیل داده‌های رفتاری، مدل‌های محاسباتی نیز به کار گرفته شد.

یافته‌ها: بر اساس داده‌های این پژوهش، با آن که صحت شرکت‌کنندگان در آزمایش‌های حاوی دوپالس اطلاعاتی، بیش از آنچه انتظار می‌رفت، بهبود یافت اما قطعیت در این آزمایش‌ها، تفاوت چندانی با آزمایش‌های تک‌پالس نداشت و از پیش‌بینی مدل کمتر بود. همچنین، حساسیت فراشناخت افراد که نشان‌دهنده هماهنگی صحت و قطعیت است، در آزمایش‌های دوپالس، بیش از انتظار، بهبود یافت.

نتیجه‌گیری: این نتایج نشان می‌دهد که ارائه اطلاعات اندک و تدریجی با وجود وقفه زمانی بین ارائه شواهد، افراد را به تصمیم‌های پایدارتری سوق می‌دهد. این نتایج در بازاریابی و اقتصاد رفتاری کاربرد دارد.

دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۳

اصلاح نهایی: ۱۳۹۹/۱۲/۰۸

پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۶

واژه‌های کلیدی

تصمیم‌گیری ادراکی
مدل‌سازی محاسباتی
قطعیت
فراشناخت

نویسنده مسئول

رضا ابراهیم‌پور، استاد هوش مصنوعی، گروه هوش مصنوعی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

ایمیل: Ebrahimpour@ipm.ir



doi.org/10.30514/icss.23.2.8

مقدمه

برای مطالعه این فرایند پیچیده به شمار می‌رود (۱، ۲). در تصمیم‌گیری ادراکی یک گزینه بر مبنای اطلاعات حسی موجود انتخاب می‌شود. اطلاعات حسی دریافتی، تفسیر شده و به رفتار تبدیل می‌شود (۱). برای مثال، آزمایش حرکت نقاط تصادفی (Random Dot Motion) که به اختصار RDM نامیده می‌شود، نمونه‌ای از آزمایش‌های تصمیم‌گیری ادراکی به شمار می‌رود (۳). در این آزمایش، تعدادی نقطه در حال

تصمیم‌گیری در انسان، طیف وسیعی از تصمیمات را در بر می‌گیرد، از تصمیم برای توقف در پشت چراغ قرمز گرفته تا تصمیمات پیچیده‌تری مانند انتخاب رشته دانشگاهی. تصمیم‌گیری یکی از پیچیده‌ترین فرایندهای شناختی محسوب می‌شود و برای مطالعه آن، چالش‌ها و پیچیدگی‌های زیادی وجود دارد. از این رو، تصمیم‌گیری ادراکی که امکان ساده‌سازی شرایط تصمیم‌گیری را فراهم می‌کند، روش مطلوبی

تصمیم‌گیری در چنین شرایطی، تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. برای درک نحوه شکل‌گیری قطعیت، علاوه بر بررسی مقدار گزارش شده آن، از پارامترهای دیگری مانند فراشناخت (Metacognition) در تصمیم استفاده می‌شود. فراشناخت در تصمیم، هماهنگی تصمیم و قطعیت است (۲۴). حساسیت بالای فراشناخت نشان می‌دهد، تصمیمات درست همراه با قطعیت بالاتر و تصمیمات نادرست همراه با قطعیت کمتری هستند.

در مطالعه حاضر، برای درک چگونگی شکل‌گیری قطعیت در شرایط گسسته دریافت اطلاعات، آزمایش تصمیم‌گیری ادراکی با محرک RDM در دوپالس و تک‌پالس طراحی و پیاده‌سازی شد. علاوه بر ثبت داده‌های رفتاری شرکت‌کنندگان و تحلیل آن، از مدل‌سازی SDT و شبیه‌سازی حالت دوپالس با استفاده از نتایج آزمایش‌های تک‌پالس استفاده کردیم. سپس پیش‌بینی مدل با داده‌های رفتاری مقایسه شد. نتایج نشان داد، شرکت‌کنندگان قادر به ادغام اطلاعات پالس‌ها برای تصمیم هستند؛ اما دریافت پالس اضافی به آنها کمک می‌کند تا قطعیت خود را به درستی تنظیم نمایند.

روش کار

شرکت‌کنندگان: ۱۲ نفر (۱۰ خانم؛ بین ۲۱ تا ۳۸ سال، میانگین سنی ۳۰/۶۰ و انحراف معیار ۵۱/۴۱) به روش نمونه‌گیری در دسترس از میان داوطلبین انتخاب و در آزمایش شرکت کردند. تمامی شرکت‌کنندگان بینایی سالم یا اصلاح شده داشتند و فاقد هر گونه سابقه اختلال عصبی و روان‌پزشکی بودند.

قبل از آزمایش اصلی، به منظور آشنایی با الگوی RDM شرکت‌کنندگان در مراحل آموزشی این مطالعه شرکت کردند. در نهایت، تنها شرکت‌کنندگانی به مرحله آزمون اصلی رسیدند که (۱) قادر بودند در زمان مناسب، قطعیت و پاسخ را به صورت هم‌زمان گزارش کنند و (۲) کارائی آنها متناسب با استاندارد تعریف شده در مقالات بود (۱۸).

اجرای آزمایش: در این آزمایش، شرکت‌کنندگان جهت حرکت غالب نقاط (چپ یا راست) را با نگاه کردن به یکی از دو هدف مشخص می‌کردند. آنها در اتاقی نیمه‌تاریک، در فاصله ۵۷ سانتی‌متری، روبروی نمایشگری به اندازه ۱۷ اینچ با وضوح تصویر ۶۰۰ × ۸۰۰ پیکسل و با فرکانس ۷۵ هرتز قرار گرفتند. همچنین، چانه و پیشانی‌شان ثابت نگاه داشته می‌شد. محرک بینایی در این آزمایش، نقاط متحرک سفید رنگ در سایز ۲ در ۲ پیکسل، در زمینه سیاه با میانگین تراکم ۱۶/۷ نقطه بر مربع درجه بینایی در هر ثانیه بود (جزئیات پیاده‌سازی محرک در

حرکت که تنها بخشی از آنها جهت حرکت یکسانی دارند به آزمودنی که می‌تواند انسان و یا میمون باشد، نشان داده می‌شود و از آزمودنی می‌خواهند که جهت نقاط همسو را گزارش کند. به کارگیری آزمایش RDM حائز اهمیت روش شناختی است زیرا این روش امکان جمع‌آوری شواهد در طول زمان را فراهم می‌کند (۳).

زمان پاسخ، صحت پاسخ و قطعیت (Confidence) سه پارامتری هستند که با استفاده از آنها عملکرد افراد در یک تصمیم سنجیده می‌شود (۲). زمان تصمیم مدت زمانی است که طول می‌کشد تا گزینه‌ای انتخاب شود و صحت تصمیم، درستی تصمیم بر مبنای شواهد است. قطعیت تصمیم‌گیری نیز، توانایی داشتن قضاوت بر روی صحت تصمیم است. این توانمندی در تصمیم‌گیری حیاتی است و به فرد کمک می‌کند تا بلافاصله تصمیم بگیرد و یا به جمع‌آوری داده‌های بیشتر به فرایند تصمیم‌گیری ادامه دهد (۴، ۵). همچنین، قطعیت افراد در پایداری تصمیم تاثیر دارد. برای مثال، قطعیت کمتر به معنی احتمال بیشتر تغییر تصمیم است (۶).

بررسی‌های رفتاری، محاسباتی و نوروفیزیولوژی نشان می‌دهند که قطعیت، ارتباط محکمی با صحت و زمان پاسخ دارد (۱۰-۷). توصیف محاسباتی قطعیت، با در نظر گرفتن صحت تصمیم در کنار گزارش قطعیت افراد محاسبه می‌شود (۱۱). ثبت نورونی از میمون‌ها در حین آزمایش نشان داده است که قطعیت با فعالیت نوروهای ناحیه آهیانه‌ای داخلی جانبی (lateral Intraparietal cortex) در ارتباط است (۹). این نتایج هم‌راستا با مطالعات دیگر (۱۲، ۱۳) این ایده را تقویت می‌کند که قطعیت بخش جدائی‌ناپذیری از فرآیند تصمیم‌گیری است. با این وجود، فرآیند شکل‌گیری قطعیت همراه با نویز است (۱۴)؛ این نویز می‌تواند منجر به قطعیت بیش از حد انتظار و یا قطعیت کمتر از انتظار شود (۱۵، ۱۶). برای درک شکل‌گیری قطعیت از مدل‌سازی‌های محاسباتی نیز استفاده می‌شود. تئوری تشخیص سیگنال (Signal Detection Theory)، به اختصار SDT، مدلی ساده و در عین حال قدرتمند برای تمایز توانایی شرکت‌کننده در طبقه‌بندی محرک است. به علاوه، در آزمایش‌هایی که در آنها قطعیت مورد سوال قرار می‌گیرد، از SDT برای توصیف عملکرد قطعیت شرکت‌کننده نیز استفاده می‌شود (۱۷).

در بسیاری از تصمیمات دنیای واقعی، افراد با دریافت مجزای قطعات اطلاعات، قادر هستند با ادغام شواهد حاصل از قطعه‌ها، صحت تصمیم خود را نسبت به شرایطی که در آن تنها یک قطعه اطلاعاتی دریافت می‌کنند، بیش از آنچه انتظار می‌رود، بهبود بخشند (۲۲-۱۸). همچنین، یافته‌های قبلی بر اهمیت ترتیب رسیدن این قطعات تاکید داشتند (۲۳). علی‌رغم کاربرد یافته‌های فوق، چگونگی شکل‌گیری قطعیت در

تغییر یابد (۲۷). پس از اتمام نمایش محرک، نشانه پاسخ، پس از مدت زمان کوتاهی ظاهر می‌شد و در نهایت، شرکت‌کننده، پاسخ و قطعیت خود از آن پاسخ را اعلام می‌کرد. برای مثال، برای گزارش جهت حرکت چپ با قطعیت پائین، شرکت‌کننده به منتهی‌الیه پائین هدف سمت چپ نگاه می‌کرد. پارادایم این مطالعه، مشابه با پارادایم معرفی شده در مطالعات قبلی بود (شکل الف؛ (۱۸، ۲۳)). شرکت‌کنندگان پس از پاسخ، بازخورد شنیداری دریافت می‌کردند.

طرح آزمایش: این پژوهش از نوع مطالعات آزمایشی با طرح درون‌آزمودنی بود. شرکت‌کنندگان در سه تا پنج بلاک با ۲۰۰ آزمایش شرکت می‌کردند. برای بررسی تغییرات صحت و قطعیت در آزمایش‌های دوپالس نسبت به آزمایش‌های تک‌پالس، صحت و قطعیت هر شدت محرک در آزمایش‌های تک‌پالس (۳/۲ درصد، ۶/۴ درصد و ۱۲/۸ درصد) با مقادیر قطعیت و صحت در آزمایش‌های دوپالس با مقادیر پایه مشابه مقایسه می‌شدند (شکل ب). در مورد قطعیت، این روند برای آزمایش‌های درست و یا نادرست تکرار می‌شد. همچنین، آزمایش‌های دوپالس براساس چهار فاصله زمانی تقسیم‌بندی شده و روند ذکر شده، برای هر دسته تکرار می‌شد.

تحلیل آماری داده‌های رفتاری: از آنجا که هدف، مقایسه تغییرات قطعیت و صحت در تک‌پالس پایه با قطعیت و صحت پس از دریافت یک پالس دیگر در شرایط مختلف بود، در تحلیل آماری داده‌های رفتاری از آزمون ویلکاکسون رنک‌سام (Wilcoxon rank-sum test) استفاده شد.

مدل‌سازی SDT کلاسیک: در تصمیم‌گیری بین دو گزینه، شرکت‌کنندگان باید محرک d_1 را از محرک d_2 تمایز دهند. بر اساس SDT، مغز در هر بار نمایش محرک، شواهدی به نفع گزینه‌های موجود استخراج می‌کند. در شکل ب، محور افقی، شواهد استخراج شده توسط مغز و محور عمودی احتمال استخراج این شواهد را نشان می‌دهد. فرض بر این است که شواهد استخراج شده هر یک از محرک‌ها به علت وجود نویز از یک توزیع نرمال پیروی می‌کند. زیرا در بیشتر مواقع، شواهد استخراج شده برابر با مقدار واقعی شواهد است؛ اما ممکن است گاهی کمتر و گاهی بیشتر از مقدار واقعی درک گردد (۲۸). فاصله بین این دو توزیع (d') نشان می‌دهد که شرکت‌کنندگان تا چه حد می‌توانند محرک d_1 و d_2 را از هم تمیز دهند. هر قدر این فاصله بیشتر باشد، تمیز محرک‌ها برای شرکت‌کنندگان ساده‌تر است. شاخص c' ، مرز انتخاب گزینه d_1 و d_2 را مشخص می‌کند. اگر شواهد استخراجی از

مطالعات پیشین ارائه شده است. برای مثال، (۲۵)). هر مرحله از آزمایش، با ظاهر شدن یک دایره قرمز رنگ به قطر ۰/۳ درجه بینائی در مرکز صفحه با هدف ثابت نگه داشتن تمرکز شرکت‌کننده در طی اجرای آزمایش شروع می‌شد. پس از تمرکز ۵۰۰ میلی‌ثانیه‌ای بر روی دایره، در چپ و راست صفحه، دو مستطیل (اهداف) ظاهر می‌شد. هر یک از اهداف به طول ۹ و عرض ۰/۵ درجه بینائی و به صورت طیف رنگی (قرمز به سبز؛ پائین به بالا) بودند. طیف رنگی اهداف، به شرکت‌کننده امکان می‌داد که علاوه بر پاسخ، میزان قطعیت از صحت پاسخ را نیز اعلام نماید. بعد از مدت زمان کوتاهی (تصادفی از توزیع نمائی در بازه ۵۰۰-۲۰۰ میلی‌ثانیه)، محرک (نقاط تصادفی متحرک) نمایش داده می‌شد (شکل الف). از آنجایی که حاکم بودن توزیع نمایی بر زمان رخداد یک اتفاق در آزمایش روان‌فیزیک، قدرت پیش‌بینی مغز در وقوع آن رخداد را به حداقل می‌رساند (۲۶)؛ در مطالعه حاضر، نمایش محرک بر اساس توزیع نمائی و در فواصل زمانی متفاوتی صورت می‌گرفت. در هر مرحله از آزمون یک و یا دو پالس به شرکت‌کننده نمایش داده می‌شد و شرکت‌کنندگان از تک‌پالس یا دوپالس بودن آزمایش بی‌اطلاع بودند. در حالت دوپالس، پالس‌ها با یک فاصله زمانی نمایش داده می‌شدند. همانند مطالعات پیشین (۱۸، ۱۹)، فاصله زمانی بین دو پالس به صورت تصادفی از بین یکی از مقادیر مشخص صفر، ۱۲۰، ۳۶۰ و یا ۱۰۸۰ میلی‌ثانیه انتخاب می‌شد. مدت زمان کوتاه بین پالس‌ها منجر به فراموش شدن شواهد دریافت شده از پالس اول نمی‌شد. از طرف دیگر زمان بین صفر تا یک ثانیه به صورت لگاریتمی به ۴ قسمت تقسیم می‌شد تا تغییر در ادراک شرکت‌کنندگان به صورت خطی تغییر کند (۲۷). همچنین، شدت محرک (درصد نقاطی که به یکی از جهت‌ها حرکت می‌کردند) در آزمایش‌های دوپالس از بین شدت محرک‌های ۳/۲، ۶/۴ و ۱۲/۸ درصد و در آزمایش‌های تک‌پالس، از بین شدت محرک‌های صفر، ۳/۲، ۶/۴، ۱۲/۸، ۲۵/۶ و ۵۱/۲ درصد، به صورت تصادفی انتخاب می‌شد. علت استفاده از شدت محرک‌های نسبتاً ضعیف در آزمایش‌های دوپالس این بود که پس از مشاهده یک پالس، شرکت‌کننده عموماً قادر به اخذ تصمیم نباشد و منتظر ارائه پالس بعدی بماند. در مقابل، شدت محرک‌ها در آزمایش‌های تک‌پالس در بازه‌ای قرار داشت که فضای عملکرد شرکت‌کننده بین ۵۰ درصد (انتخاب بر اساس شانس) تا ۱۰۰ درصد (انتخاب کاملاً درست) را پوشش دهد. این بازه همچنین، امکان مقایسه داده‌های آزمایش‌های تک‌پالس با آزمایش‌های دوپالس و داده‌های حاصل از مطالعات پیشین را فراهم می‌کرد. به علاوه، تغییر قدرت محرک به صورت لگاریتمی صورت می‌پذیرفت تا مطابق با اصل Fechner ادراک به صورت خطی

S_2 باشد (انتخاب موفق)، شواهد از توزیع مرتبط به S_2 آمده‌اند و نرخ موفقیت قطعیت ($\text{Prob}(\text{conf} = "h" | \text{correct})$)، محاسبه می‌شود، که منظور از $\text{conf} = "h"$ انتخاب قطعیت بالا است. اما اگر گزینه S_1 درست باشد، به این معنی است که هر چند دسته‌بندی درستی در مورد محرک صورت نگرفته؛ اما قطعیت بالا انتخاب شده است. در این حالت، مثبت کاذب قطعیت ($\text{Prob}(\text{conf} = "h" | \text{incorrect})$) رخ داده است. جایجائی شاخص $CR_{2, "S1"}$ و $CR_{2, "S2"}$ بر روی محور تصمیم می‌تواند مقادیر مختلفی از نرخ موفقیت و مثبت کاذب قطعیت را برای هر یک از محرک‌ها ایجاد نماید. نحوه محاسبه نرخ موفقیت و نرخ مثبت کاذب قطعیت، با استفاده از پاسخ‌های رفتاری شرکت‌کننده در اینجا ارائه شده است:

CR بیشتر باشند، محرک به‌عنوان محرک S_2 و اگر کمتر از این شاخص باشند، به عنوان محرک S_1 دسته‌بندی می‌شوند. همچنین، برای تعیین قطعیت در مورد تصمیم، دو شاخص برای هر یک از محرک‌ها در نظر گرفته می‌شود. شاخص $CR_{2, "S1"}$ برای محرک S_1 و شاخص $CR_{2, "S2"}$ برای محرک S_2 ، در دو طرف شاخص تصمیم قرار می‌گیرد (شکل ۱ب). وقتی تصمیم به نفع گزینه S_1 اخذ می‌شود، برای جواب همراه با قطعیت بالا، علاوه بر این که شواهد باید از CR کمتر باشد تا تصمیم به نفع S_1 باشد، شواهد باید از شاخص $CR_{2, "S1"}$ نیز کمتر باشد (به عبارت دیگر اولاً شواهد از CR کمتر و ثانیاً قدر مطلق شواهد از قدر مطلق $CR_{2, "S1"}$ بیشتر باشد) (شکل ۱ب، (۱۷، ۲۸)). برای مثال، تنها مراحل از آزمایش را در نظر بگیرید که شرکت‌کننده محرک را S_2 اعلام کند، اگر گزینه درست،

$$\text{HitRate2} = \text{Prob}(\text{conf} = "h" | \text{stim} = \text{resp}) = \frac{n(\text{highconfcorrect})}{n(\text{correct})},$$

معادله ۱

$$\text{FalseAlarmRate2} = \text{Prob}(\text{conf} = "h" | \text{stim} \neq \text{resp}) = \frac{n(\text{highconfincorrect})}{n(\text{incorrect})},$$

شرکت‌کننده است. در مدل SDT، نرخ موفقیت تصمیم (HitRate1) و نرخ مثبت کاذب تصمیم (FalseAlarmRate1) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$n(\text{cond})$ تعداد مراحل است که هر یک از شرایط را تأمین می‌کند. $\text{conf} = "h"$ به معنی انتخاب قطعیت بالا، stim دسته‌بندی محرک و resp پاسخ

$$\text{HitRate1} = \frac{n(\text{resp} = S_i, \text{stim} = S_i)}{n(\text{stim} = S_i)}, i = 1, 2$$

معادله ۲

$$1\text{FalseAlarmRate} = \frac{n(\text{resp} = S_i, \text{stim} = S_j)}{n(\text{stim} = S_j)}, i = 1, j = 2 \text{ یا } i = 2, j = 1$$

دسته‌بندی زیاده باشد، اما شرکت‌کننده آن را نادرست و i انتخاب کرده باشد. هنگامی است که محرک از دسته‌بندی i باشد و شرکت‌کننده به درستی آن را i انتخاب کرده باشد. نرخ مثبت کاذب تصمیم هنگامی است که محرک از

مقادیر i و j معرفی‌کننده دسته‌بندی محرک (S_i) هستند. نرخ موفقیت تصمیم هنگامی است که محرک از دسته‌بندی i باشد و شرکت‌کننده به درستی آن را i انتخاب کرده باشد. نرخ مثبت کاذب تصمیم هنگامی است که محرک از

$$d' = \Phi^{-1}(\text{HitRate1}) - \Phi^{-1}(\text{FalseAlarmRate1})$$

معادله ۳

$$cr = -0.5 * [\Phi^{-1}(\text{HitRate1}) + \Phi^{-1}(\text{FalseAlarmRate1})]$$

و دو شاخص $CR_{2, "S1"}$ و $CR_{2, "S2"}$ (شکل ۱ب)، مطابق با معادلات زیر نرخ موفقیت و مثبت کاذب قطعیت به صورت تئوریک محاسبه می‌شود (۲۸):

Φ^{-1} معکوس تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد برای احتمال هر کدام از مقادیر نرخ موفقیت و مثبت کاذب تصمیم است. با جای‌گذاری d' و cr

$$\text{Prob}(\text{conf} = "h" | \text{stim} = S_1, \text{resp} = "S1") = \text{HitRate2}_{"S1"} = \frac{\Phi\left(CR_{2, "S1"}, -\frac{d'}{2}\right)}{\Phi\left(cr, -\frac{d'}{2}\right)}$$

$$\text{Prob}(\text{conf} = "h" | \text{stim} = S2, \text{resp} = "S1") = \text{FalseAlarmRate}_{S1} = \frac{\Phi\left(\text{cr}_{2, "S1"}, \frac{d'}{2}\right)}{\Phi\left(\text{cr}, \frac{d'}{2}\right)}$$

معادله ۴

$$\text{Prob}(\text{conf} = "h" | \text{stim} = S1, \text{resp} = "S2") = \text{HitRate}_{S2} = \frac{1 - \Phi\left(\text{cr}_{2, "S2"}, \frac{d'}{2}\right)}{1 - \Phi\left(\text{cr}, \frac{d'}{2}\right)}$$

$$\text{Prob}(\text{conf} = "h" | \text{stim} = S2, \text{resp} = "S2") = \text{FalseAlarmRate}_{S2} = \frac{1 - \Phi\left(\text{cr}_{2, "S2"}, -\frac{d'}{2}\right)}{1 - \Phi\left(\text{cr}, -\frac{d'}{2}\right)}$$

پارامتر بیشتر باشد، با احتمال بیشتری می‌توان ادعا کرد که پاسخ‌های درست همراه با قطعیت بالا و پاسخ‌های نادرست همراه با قطعیت پائین هستند. برای محاسبه این پارامتر، فرآیند بهینه‌سازی بر روی d' انجام شد تا مدل با میزان هماهنگی موجود بین پاسخ تصمیم و قطعیت در داده‌های رفتاری مطابقت پیدا کند. جزئیات روش مورد استفاده در (۲۸) آورده شده است. به منظور شبیه‌سازی آزمایش‌های دوپالس، تغییراتی بر روی مدل کلاسیک SDT اعمال شد. این تغییرات در ادامه آورده شده است.

مدل جمع‌کننده کامل: در مدل جمع‌کننده کامل، فرض بر این بود که شواهد تصمیم هر آزمایش دوپالس، از ادغام کامل شواهد دو پالس حاصل می‌شود. بنابراین، صحت مورد انتظار $P_{e(\text{correct})}$ برای آزمایش‌های دوپالس مطابق با فرمول زیر محاسبه شد (۱۸):

$$P_{e(\text{correct})} = 1 - \Phi\left(0, e_1 + e_2, \sqrt{2}\right),$$

معادله ۵

هر یک از پالس‌ها در آزمایش‌های دوپالس بر اساس فرمول زیر محاسبه می‌شدند:

$$e_i = \Phi^{-1}(p_i, 0, 1), i = 1, 2$$

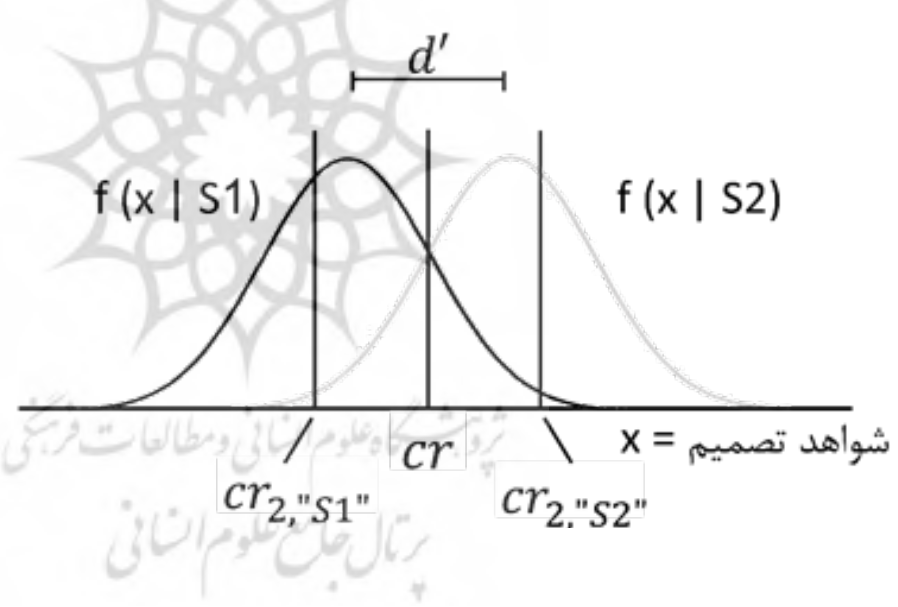
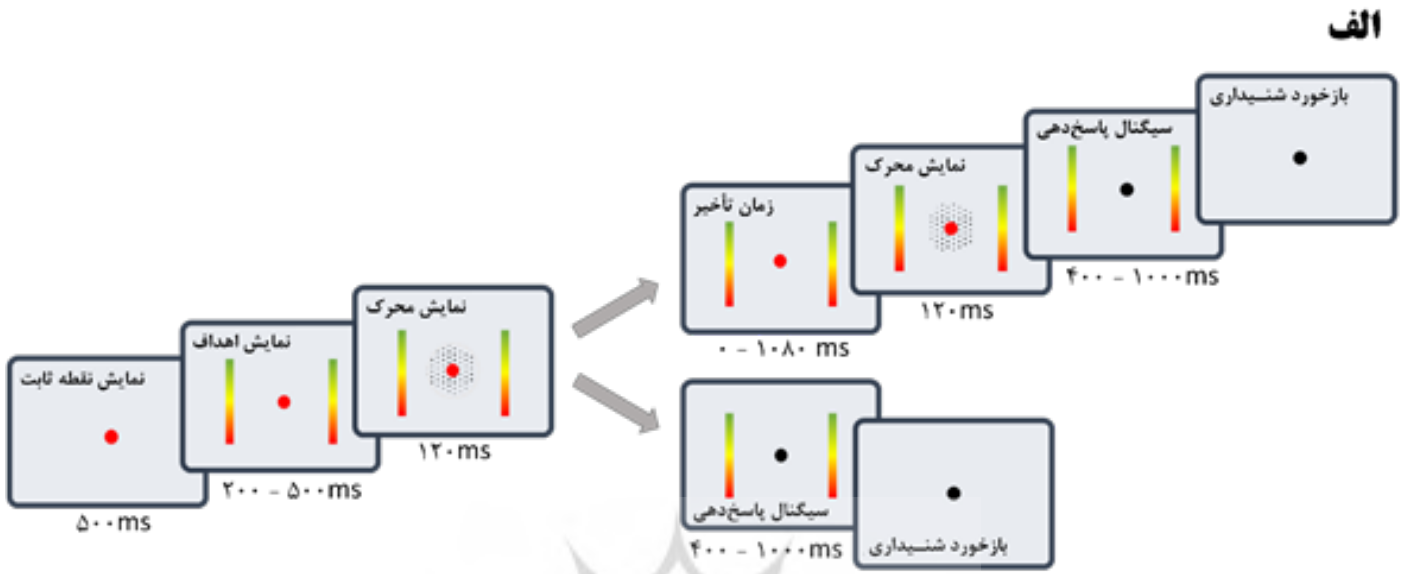
معادله ۶

محاسبه شد. نرخ موفقیت و مثبت کاذب تصمیم حاصل از ادغام شواهد برای آزمایش‌های دوپالس، با روند مشابه معادله ۵، محاسبه شد. سپس، مدل بر اساس برآورد قطعیت شرکت‌کننده در تک‌پالس‌های مرتبط (محاسبه شده به کمک معادله ۱) تنظیم گردید. پارامترهای مدل شامل

در SDT، روش‌های مختلفی برای تنظیم مدل با داده‌های رفتاری وجود دارد. در مطالعه حاضر، با جمع‌آوری صحت پاسخ‌ها در تمامی آزمایش‌ها، d' و cr از روی عملکرد شرکت‌کنندگان محاسبه شد (معادله ۳). سپس، به منظور ساده‌تر کردن محاسبات بعدی، مقدار cr را مبدا (نقطه صفر) در نظر گرفته و نمودارهای توزیع مربوط به هر یک از پاسخ‌ها را بر روی محور شواهد جابجا کردیم. مقادیر بهینه دو شاخص قطعیت، با استفاده از روش تخمین حداکثر احتمال (Maximum likelihood estimation)، به اختصار MLE و معادلات ۱ و ۴ محاسبه شد. در اینجا، d' و cr ثابت قرار داده شد و دو شاخص به نحوی جابجا شدند که احتمال مشاهده قطعیت شرکت‌کننده‌ها در مدل حداکثر شود. با تنظیم مدل بر روی داده‌های شرکت‌کنندگان، علاوه بر دو شاخص قطعیت، پارامتر $meta-d'$ نیز محاسبه شد. این پارامتر نشان‌گر میزان حساسیت فراشناخت افراد است؛ هر چه مقدار این

که در آن e_1 و e_2 شواهدی بودند که بر اساس صحت در آزمایش‌های تک‌پالس معادل

Φ^{-1} معکوس تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد برای احتمال هر کدام از مقادیر p_1 و p_2 (صحت در آزمایش‌های تک‌پالس معادل) بود. به منظور پیش‌بینی قطعیت در این مدل، d' بر اساس نرخ موفقیت و مثبت کاذب حاصل از ادغام شواهد (معادله ۳)، و با فرض مقدار صفر برای cr



شکل ۱. پارادایم آزمایش و مدل SDT. (الف) چهارچوب انجام آزمایش RDM به منظور بررسی دریافت پالس اضافی. در این پارادایم، محرک RDM در یک یا دو پالس نمایش داده شد، فاصله زمانی بین دو پالس، تصادفی و از بین ۴ مقدار متفاوت (صفر تا یک ثانیه) انتخاب می‌شد. (ب) بر اساس SDT، در هر آزمایش، شواهدی به نفع گزینه‌های موجود استخراج می‌شود. محور افقی، شواهد استخراج شده توسط مغز و محور عمودی احتمال استخراج این شواهد را نشان می‌دهد. شواهد استخراج شده از هر یک از محرکها به صورت یک توزیع نرمال نمایش و فاصله‌ی بین این توزیع‌ها d' است که توانایی تمیز محرک‌ها توسط شرکت‌کنندگان است. CR شاخص تصمیم و CR_2 شاخص گزارش قطعیت در مورد هر یک از دو گزینه‌هاست (۲۸).

کمی، از MLE استفاده شد. بدین منظور، تعداد برابر از آزمایش‌های هر شرکت‌کننده را به دفعات انتخاب و هر مدل را بر روی داده‌ها تنظیم کردیم. سپس از مقدار MLE‌های محاسبه شده، میانگین گرفتیم. این مقادیر را برای تمامی مدل‌ها با هم مقایسه نمودیم. در روش کیفی از بازیابی مدل بر اساس پارامترهای محاسبه شده، استفاده کردیم. در این روش، مطابق با معادلات ۴ و بر اساس پارامترهای محاسبه شده مدل برای هر شرکت‌کننده، قطعیت برای تمامی ترکیب شدت محرک‌ها محاسبه گردید. سپس، با استفاده از رگرسیون زیر، مقادیر پیش‌بینی قطعیت با مقادیر حاصل از مشاهدات مقایسه شدند:

$$P_{high} = \beta_1 P_{e(high)} + \beta_0 \quad \text{معادله ۷}$$

(شکل ۲ب؛ $P=0/06$) می‌شد. به علاوه، وجود پالس ضعیف‌تر نسبت به پالس پایه، منجر به تغییرات معنادار قطعیت نمی‌شود (شکل ۲ب؛ $P=0/20$). همین مشاهدات در مورد آزمایش‌های درست نیز مشاهده شد، به استثنای آنکه افزایش قطعیت با وجود پالس قوی‌تر نسبت به پالس پایه بیشتر بود (شکل ۲ج). با این وجود، در آزمایش‌های دوپالس نادرست، قطعیت در مقایسه با آزمایش‌های نادرست تک‌پالس، برای همه ترکیبات شدت محرک‌ها کاهش می‌یافت (شکل ۲د؛ $P<0/0001$). به عبارت دیگر، قطعیت شرکت‌کنندگان در آزمایش‌های دوپالس کاهش، اما در آزمایش‌های درست، افزایش می‌یافت. این نتیجه، با تعریف حساسیت فراشناخت همسو است؛ حساسیت فراشناخت بالاتر منجر به گزارش قطعیت بالاتر در پاسخ‌های درست و قطعیت پایین‌تر در پاسخ‌های نادرست می‌شود. به علاوه، این نتایج، صرف‌نظر از فاصله زمانی بین نمایش دو پالس، در تمامی شرایط آزمایش‌ها مشاهده شد (شکل ۲ب، ج، د؛ خطوط رنگی).

در ادامه برای بررسی تغییرات صحت، قطعیت و فراشناخت در آزمایش‌های دوپالس نسبت به آزمایش‌های تک‌پالس از مدل SDT و دو مدل تغییر داده شده بر پایه SDT استفاده کردیم. مدل SDT به خوبی می‌تواند بر روی داده‌های رفتاری آزمایش‌های تک‌پالس و دوپالس تنظیم شود و حساسیت تصمیم (d') و حساسیت فراشناخت ($meta-d'$) را محاسبه نماید (شکل ۳ب). بازیابی مدل کلاسیک SDT نیز، پیش‌بینی قابل قبولی از قطعیت را ارائه می‌کرد (شکل ۳الف، نمودار سبز در آزمایش‌های دوپالس؛ معادله ۷؛ $P<0/0001$ ، $\beta_1=1/04 \pm 0/07$).

با استفاده از مدل جمع‌کننده کامل، صحت و قطعیت را در آزمایش‌های دوپالس، بر اساس عملکرد شرکت‌کنندگان در آزمایش‌های تک‌پالس، شبیه‌سازی کردیم (شکل ۳ج). هم‌راستا با مطالعات قبلی، نتایج مطالعه

دو شاخص مربوط به قطعیت (با استفاده از MLE و معادلات ۴) به همراه $meta-d'$ برای این مدل محاسبه شد.

مدل بهبودیافته قطعیت: در مدل بهبودیافته قطعیت، شواهد تصمیم بر اساس ادغام کامل دو پالس محاسبه شد؛ اما محاسبه دو شاخص قطعیت برحسب نتایج رفتاری آزمایش‌های دوپالس بهینه‌سازی شد. در این مدل، هدف مورد نظر بررسی این سوال بود که چرا مدل جمع‌کننده کامل قادر نیست که قطعیت را به درستی پیش‌بینی کند.

ارزیابی مدل‌ها: ارزیابی مدل‌ها با دو روش صورت گرفت. در روش

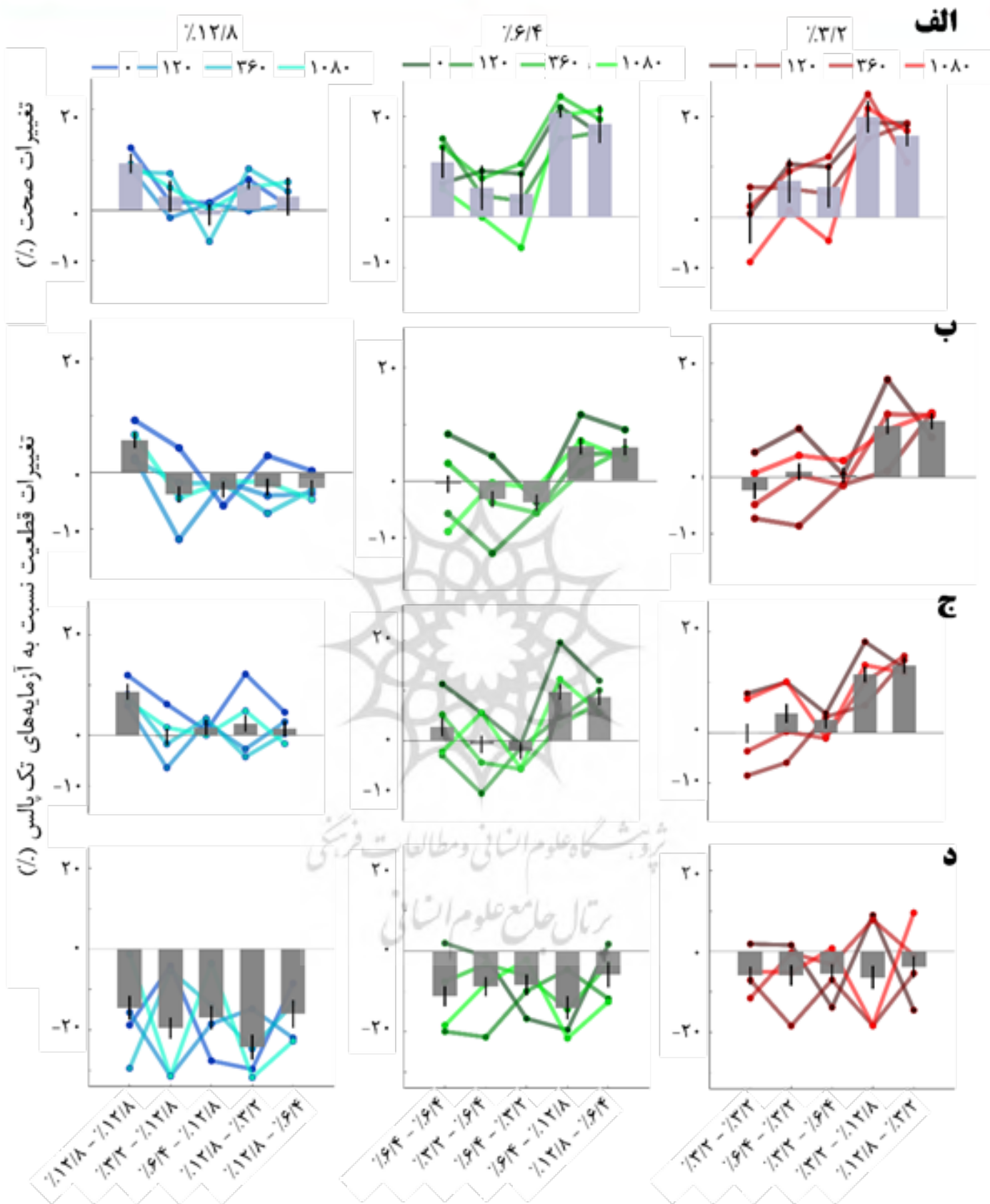
در حالی که $P_{e(high)}$ احتمال تخمینی هر مدل برای قطعیت و P_{high} احتمال مشاهده قطعیت بالا است. β_1 ضریب تنظیم شده و فرض صفر $(H_0: \beta_1=0)$ بود. اگر فرض صفر برقرار باشد بدین معنی است که پیش‌بینی قطعیت با داده‌های مشاهده شده ارتباطی ندارد. در مقابل، هر قدر مقدار β_1 بزرگتر باشد، قطعیت پیش‌بینی شده توسط مدل و داده مشاهده شده ارتباط بیشتری خواهند داشت.

ثابت داده‌های چشمی: پاسخ چشمی به کمک دستگاه EyeLink ۱۰۰۰ (SR-Research) ثبت شد. در ابتدا با نمایش نه هدف در وسط، کناره‌ها و گوشه‌های صفحه نمایش گر، سیستم کالیبره و اعتبارسنجی می‌شد.

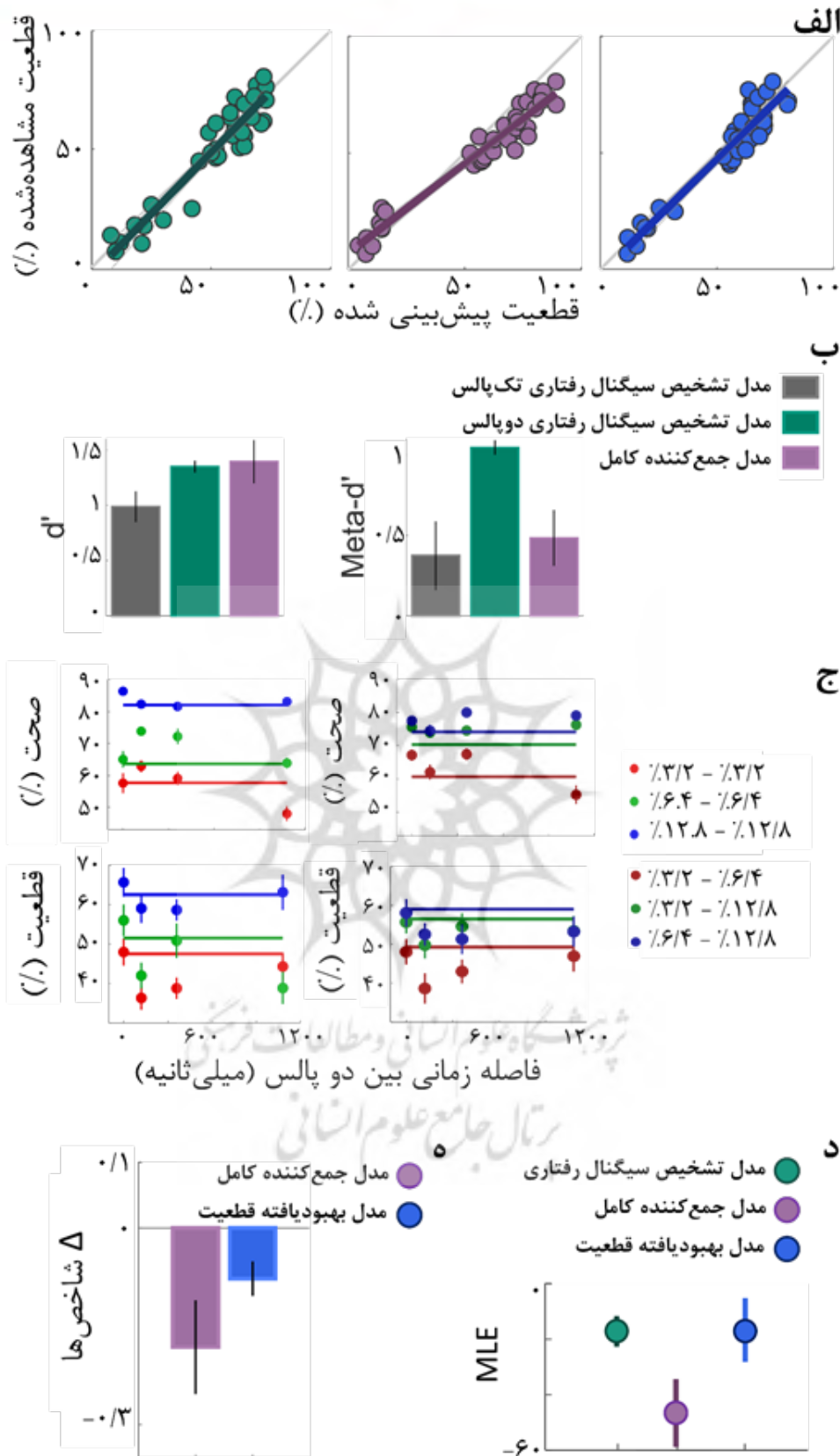
یافته‌ها

آزمایش انجام شده، شامل شرایط مختلفی بود تا بتوانیم داده‌های رفتاری را در شرایط مختلف مقایسه کنیم: (۱) دریافت تک‌پالس در مقابل دریافت یک پالس اضافی، (۲) شدت‌های متفاوت از محرک و (۳) چهار فاصله زمانی قبل از نمایش پالس دوم. در آزمایش‌هایی دوپالس، صحت پاسخ‌ها بیشتر از آزمایش‌های تک‌پالس بود (شکل ۲الف؛ $P<0/0001$). فاصله زمانی نمایش پالس دوم تاثیری بر صحت پاسخ‌ها نداشت. به عبارتی دیگر، چه هنگامی که بلافاصله پالس دوم ارائه می‌شد و چه زمانی که پالس دوم با یک ثانیه تأخیر ارائه می‌شد، تفاوتی در صحت پاسخ شرکت‌کنندگان مشاهده نمی‌شد (شکل ۲الف، خطوط رنگی، $P<0/05$).

مقایسه قطعیت آزمایش‌های دوپالس با تک‌پالس نشان داد که وجود پالس قوی‌تر نسبت به پالس پایه، منجر به افزایش جزئی (Partial) قطعیت



شکل ۲. تغییرات صحت و قطعیت در آزمایش‌های دوپالس و تک‌پالس. در هر ستون، صحت و یا قطعیت یکی از شدت محرک‌ها (۲/۳ درصد، ۴/۶ درصد و ۸/۱۲ درصد) به عنوان مقدار پایه در نظر گرفته شد. تفاوت صحت و یا قطعیت گزارش شده در تمامی ترکیبات در آزمایش‌های دوپالس با این مقادیر پایه محاسبه و نمایش داده شد. (الف) صحت در آزمایش‌های دوپالس در تمامی ترکیب‌ها بهبود می‌یابد. (ب) با در نظر گرفتن تمام آزمایش‌ها، قطعیت در مقایسه با مقدار پایه، در ترکیب با پالس‌های قوی‌تر بهبود و با پالس ضعیف‌تر، کاهش می‌یابد. (ج) در آزمایش‌های درست، افزایش اثر پالس‌های قوی‌تر بیشتر است. (د) در آزمایش‌ها با پاسخ نادرست، قطعیت در هر شرایطی در مقایسه با مقدار آن در تک‌پالس کاهش می‌یابد. خطوط رنگی، نتایج را در مورد داده‌های تقسیم‌بندی شده بر اساس فاصله زمانی‌های متفاوت نشان می‌دهد. در تمامی نمودارها، نشانگرهای خطا بیانگر میزان خطای استاندارد از میانگین هستند.



شکل ۳. مقایسه مدل و داده‌های رفتاری. (الف) مطابقت بین قطعیته مشاهده شده و قطعیته پیش‌بینی شده هر یک از مدل‌ها، مدل تشخیص سیگنال رفتاری دوپالس (سبز)، مدل جمع‌کننده کامل (بنفش) و مدل بهبود یافته (آبی)، خطوط رنگی بهترین شیب تحلیل رگرسیون خطی را نشان می‌دهد. هر نقطه، داده‌های جمع شده از توابع مختلف هر شرکت‌کننده است. (ب) حساسیت محرک (d') و حساسیت فراشناخت ($meta-d'$)، تخمین زده شده برای آزمایش‌های تک‌پالس، دوپالس و در مدل جمع‌کننده کامل. (ج) صحت (ردیف بالا) و قطعیته (ردیف پایین) در داده‌های رفتاری در مقایسه با پیش‌بینی مدل جمع‌کننده کامل. هر نقطه حاصل ترکیبات مختلف شدت محرک است. خطوط افقی مقدار تخمینی صحت و یا قطعیته در مدل را نشان می‌دهد. (د) مقایسه مدل‌ها به روش حداکثر شباهت. (ه) تغییر در شاخص قطعیته در مقایسه با آزمایش‌های تک‌پالس در مدل جمع‌کننده کامل، مدل تنظیم‌شده بر داده رفتاری دوپالس و مدل بهبود یافته قطعیته. در ب، ج، د و ه، نشانگرهای خطا بیانگر میزان خطای استاندارد از میانگین هستند.

این موضوع پرداخت که چگونه افراد اطلاعات اندک را در طول زمان با هم ترکیب می‌کنند تا قطعیت خود را شکل دهند. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که فارغ از فواصل زمانی بین پالس‌ها، افراد شواهد موجود در طول زمان را با هم ادغام می‌کنند. بر خلاف صحت، قطعیت شرکت‌کنندگان در حالت دوپالس نسبت به قطعیت در آزمایش‌های تک‌پالس افزایش چندانی نمی‌یافت؛ بلکه شرکت‌کنندگان قطعیت خود را پس از دریافت پالس دوم اصلاح می‌کردند. به علاوه، داده‌ها نشان داد که حساسیت فراشناخت و هماهنگی بین گزارش قطعیت با صحت، در عمل، از پیش‌بینی مدل جمع‌کننده کامل که در آن فرض می‌شود شواهد در طول زمان به صورت کامل ادغام می‌شود بالاتر است (۱۸، ۱۹، ۲۹). به نظر می‌رسد، وجود شواهد اندک در آزمایش‌های تک‌پالس، منجر به گزارش غیردقیق از قطعیت شده باشد، بنابراین مدل‌سازی بر اساس آزمایش‌های تک‌پالس، پیش‌بینی دقیقی برای حالت دوپالس ارائه نمی‌کند. قطعیت با دو رویکرد آشکار و ضمنی تعریف می‌شود (۳۰، ۳۱)؛ منظور از قطعیت آشکار، قطعیتی است که افراد گزارش می‌دهند و قطعیت ضمنی، حالت درونی افراد است و مؤید اطمینانی است که آنها از تصمیم خود درک می‌کنند. مطالعات نشان می‌دهد که قطعیت آشکار و ضمنی می‌تواند برای هر فرد متفاوت باشد (۳۰، ۳۱). قطعیت ضمنی به کمک ابزارهایی مانند نوار مغزی (Electroencephalography (EEG)) و ردیابی چشم بررسی می‌شود و فعالیت مغزی افراد در ناحیه میانی لوب آهیانه‌ای (Centroparietal) با قطعیت گزارش شده، ارتباط دارد (۱۰، ۳۲). همچنین، تغییرات قطر مردمک چشم افراد در میزان قطعیت‌های مختلف متفاوت است (۳۱، ۳۳، ۳۴). با این که این داده‌های این مطالعه احتمال ارتباط مجزا بین قطعیت آشکار و ضمنی با فراشناخت تصمیم در افراد را مطرح می‌کند؛ اما پیشنهاد می‌شود تا با استفاده از ثبت داده‌های EEG و تغییرات قطر مردمک چشم در آزمایش‌های مشابه، به صورت عمیق‌تر به قطعیت ضمنی افراد و هماهنگی آن با فراشناخت پرداخته شود.

عدم هماهنگی بین قطعیت و صحت ممکن است منجر به تغییر تصمیم افراد شود. به علاوه، ارائه اطلاعات به صورت گسسته نه تنها می‌تواند به اخذ تصمیم کمک کند؛ بلکه احتمال تغییر تصمیم در افراد را کاهش می‌دهد. بنابراین ارائه اطلاعات محدود اما تدریجی می‌تواند در بازاریابی ارائه خدمات و کالا، همچنین، شرایطی مانند انتخابات که در آن تغییر تصمیم افراد، هزینه‌های تبلیغاتی را غیرمؤثر می‌کند، کاربرد داشته باشد.

نتیجه‌گیری

مطابق یافته اصلی این پژوهش، افراد برای اخذ تصمیم و گزارش

حاضر نشان داد که صحت تصمیم شرکت‌کنندگان در آزمایش‌های دوپالس حتی از پیش‌بینی مدل جمع‌کننده کامل نیز بیشتر است (شکل ۳ج، ردیف بالا؛ $P < 0.05$). با این وجود، با آنکه قطعیت و صحت با هم در ارتباط هستند؛ اما قطعیت از پیش‌بینی مدل جمع‌کننده کامل بیشتر نبود (شکل ۳ج، ردیف پایین؛ $P = 0.32$).

همچنین، d' در آزمایش‌های دوپالس بیشتر از آزمایش‌های تک‌پالس بود (شکل ۳ب، چپ؛ $P < 0.05$ ، البته، با آن که d' محاسبه شده توسط مدل جمع‌کننده کامل از d' آزمایش‌های دوپالس بیشتر بود؛ اما این تفاوت در سطح معنادار نبود (شکل ۳ب، $P = 0.12$). به نظر می‌رسد با تخمین تصمیم در مدل جمع‌کننده کامل بر اساس آزمایش‌های تک‌پالس، انحراف معیار بیشتری در حساسیت تصمیم مشاهده می‌شود. در مورد $meta-d'$ پیش‌بینی مدل جمع‌کننده کامل بسیار کمتر از داده‌های رفتاری در آزمایش‌های دوپالس بود (شکل ۳ب، راست). بنابراین، با بهینه‌سازی مدل جمع‌کننده کامل با استفاده از حساسیت فراشناخت حاصل از داده‌های آزمایش‌های دوپالس، به بررسی تغییر شاخص‌های قطعیت نسبت به مدل جمع‌کننده کامل پرداختیم. همان‌طور که در (شکل ۵ه) مشخص است، تغییر شاخص‌های قطعیت نسبت به حالت تک‌پالس، در این مدل، نزدیک‌تر دوپالس و برخلاف تغییرات در مدل جمع‌کننده کامل است. پیش‌بینی نامناسب از تغییر شاخص قطعیت در مدل جمع‌کننده کامل، عاملی در تخمین نامناسب قطعیت در آزمایش‌های دوپالس است. مقایسه بین مدل‌ها، به صورت کمی (شکل ۳الف) و کیفی (شکل ۵د) نیز نشان داد که این مدل پیش‌بینی بهتری در تخمین قطعیت دارد.

در مجموع، داده‌های مطالعه حاضر نشان داد که شرکت‌کنندگان از هر دو پالس برای تصمیم‌گیری در مورد قطعیت استفاده می‌کنند؛ اما نه بدین معنی که قطعیت بالاتری را گزارش دهند. قطعیت شرکت‌کنندگان پس از دریافت پالس دوم اصلاح می‌شود و حساسیت فراشناخت افزایش می‌یابد. بعلاوه، یافته‌ها نشان می‌دهد که اصلاح قطعیت با فاصله زمانی بین پالس‌ها ارتباطی ندارد. در مجموع، با دریافت پالس دوم، توانایی فراشناخت هم‌راستا با صحت شرکت‌کنندگان بهبود می‌یافت و سطح ارتقا در فراشناخت، حتی از مقادیر پیش‌بینی شده در مدل جمع‌کننده کامل نیز بیشتر بود.

بحث

با آن که پیش از این به صحت در تصمیم‌گیری‌ها در محیط گسسته پرداخته شده بود؛ اما قطعیت در این‌گونه محیط‌ها مطالعه نشده بود. مطالعه حاضر با استفاده از پارادایم تصمیم‌گیری ادراکی، به بررسی

زمان، مطالعه را ترک کنند.

مشارکت نویسندگان

زهرا عزیزی: طراحی مطالعه، گردآوری داده‌ها، تحلیل و تفسیر داده‌ها، تهیه پیش‌نویس مقاله، اصلاح مقاله؛ سجاد ذباج: طراحی مطالعه، نظارت، اصلاح مقاله؛ عذرا جهانی‌تابش: نظارت، اصلاح مقاله؛ رضا ابراهیم‌پور: طراحی مطالعه، نظارت، اصلاح مقاله.

منابع مالی

پژوهش حاضر برگرفته از پایان‌نامه و با حمایت مالی ستاد علوم و فناوری‌های شناختی با کد طرح ۸۰۶۶ است. این پژوهش با حمایت دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی انجام شده است.

تشکر و قدردانی

از تمامی شرکت‌کنندگان و کسانی که در اجرای پژوهش یاری کردند، قدردانی می‌شود.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

قطعیت، فارغ از فاصله بین پالس‌ها، شواهد دریافت شده در طول زمان را با هم ادغام می‌کنند. در مقایسه با آزمایش‌های تک‌پالس، قطعیت در آزمایش‌های دوپالس افزایش چندانی نمی‌یافت؛ اما حساسیت فراشناخت و هماهنگی بین گزارش قطعیت با صحت پاسخ، هم‌راستا با صحت، بهبود می‌یافت؛ با آن که پس از دریافت پالس دوم، افراد قطعیت خود را اصلاح می‌کردند؛ اما لزوماً قطعیت بالاتری را گزارش نمی‌کردند. از این رو، به نظر می‌رسد که ارائه اطلاعات اندک و تدریجی، می‌تواند افراد را به اخذ تصمیم‌های پایدارتری ترغیب کند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق در پژوهش

به منظور ثابت بودن شرایط آزمایش، دستورالعملی از چگونگی انجام آزمایش در اختیار شرکت‌کنندگان قرار گرفت. این پژوهش با کد IR.IUMS.REC1399648 به تصویب کمیته اخلاق معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم پزشکی ایران رسیده است. کلیه شرکت‌کنندگان با رضایت آگاهانه در پژوهش مشارکت داشتند. این اطمینان به آنها داده شده بود که تمام اطلاعات محرمانه خواهد ماند و فقط برای امور پژوهشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور رعایت حریم خصوصی، مشخصات شرکت‌کنندگان ثبت نشد. همچنین آنها می‌توانستند در هر

References

- Heekeren HR, Marrett S, Ungerleider LG. The neural systems that mediate human perceptual decision making. *Nature Reviews Neuroscience*. 2008;9(6):467-479.
- Pleskac TJ, Busemeyer JR. Two-stage dynamic signal detection: A theory of choice, decision time, and confidence. *Psychological Review*. 2010;117(3):864-901.
- Newsome WT, Pare EB. A selective impairment of motion perception following lesions of the middle temporal visual area (MT). *Journal of Neuroscience*. 1988;8(6):2201-2211.
- Fleming SM, Huijgen J, Dolan RJ. Prefrontal contributions to metacognition in perceptual decision making. *Journal of Neuroscience*. 2012;32(18):6117-6125.
- Yeung N, Summerfield C, Urai AE, Pfeiffer T. Metacognition in human decision-making: Confidence and error monitoring. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 2012;367(15):1310-1321.
- Atiya NAA, Rano I, Prasad G, Wong-Lin KF. A neural circuit model of decision uncertainty and change-of-mind. *Nature Communications*. 2019;10:2287.
- Van Den Berg R, Anandalingam K, Zylberberg A, Kiani R, Shadlen MN, Wolpert DM. A common mechanism underlies changes of mind about decisions and confidence. *Elife*. 2016;5:e12192.
- Fetsch CR, Kiani R, Newsome WT, Shadlen MN. Effects of cortical microstimulation on confidence in a perceptual decision. *Neuron*. 2014;83(4):797-804.
- Kiani R, Shadlen MN. Representation of confidence associated with a decision by neurons in the parietal cortex. *Science*. 2009;324(5928):759-764.
- Vafaei Shoostari S, Esmaily Sadrabadi J, Azizi Z, Ebra-

- himpour R. Confidence representation of perceptual decision by EEG and eye data in a random dot motion task. *Neuroscience*. 2019;406:510-527.
11. Balsdon T, Wyart V, Mamassian P. Confidence controls perceptual evidence accumulation. *Nature Communications*. 2020;11:1753.
 12. Vickers D. Decision processes in visual perception. Cambridge, Massachusetts:Academic Press;2014.
 13. Gold JI, Shadlen MN. The neural basis of decision making. *Annual Review of Neuroscience*. 2007;30:535-574.
 14. Kiani R, Corthell L, Shadlen MN. Choice certainty is informed by both evidence and decision time. *Neuron*. 2014;84(6):1329-1342.
 15. Zylberberg A, Roelfsema PR, Sigman M. Variance misperception explains illusions of confidence in simple perceptual decisions. *Consciousness and Cognition*. 2014;27(1):246-253.
 16. Hecce Castanon S, Moran R, Ding J, Egnér T, Bang D, Summerfield C. Human noise blindness drives suboptimal cognitive inference. *Nature Communications*. 2019;10(1):1719.
 17. Maniscalco B, Lau H. A signal detection theoretic approach for estimating metacognitive sensitivity from confidence ratings. *Consciousness and Cognition*. 2012;21(1):422-430.
 18. Kiani R, Churchland AK, Shadlen MN. Integration of direction cues is invariant to the temporal gap between them. *Journal of Neuroscience*. 2013;33(42):16483-16489.
 19. Waskom ML, Kiani R. Decision making through integration of sensory evidence at prolonged timescales. *Current Biology*. 2018;28(23):3850-3856.
 20. Tohidi-Moghaddam M, Zabbah S, Olianezhad F, Ebrahimipour R. Sequence-dependent sensitivity explains the accuracy of decisions when cues are separated with a gap. *Attention Perception & Psychophysics*. 2019;81(8):2745-2754.
 21. Kira S, Yang T, Shadlen MN. A neural implementation of Wald's sequential probability ratio test. *Neuron*. 2015;85(4):861-873.
 22. Tsetsos K, Speekenbrink M, Summerfield C. Optional stopping in a heteroscedastic world. *psyArXiv [Internet]*. 2020; Available from: <https://psyarxiv.com/t7dn2/>.
 23. Tohidi-Moghaddam M, Zabbah S, Ebrahimipour R. The role of the primary information on importance of the last information in decision making. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*. 2016;4(4):26-34. (Persian)
 24. Fleming SM, Lau HC. How to measure metacognition. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014;8:443.
 25. Shadlen MN, Newsome WT. Neural basis of a perceptual decision in the parietal cortex (area LIP) of the rhesus monkey. *Journal of Neurophysiology*. 2001;86(4):1916-1936.
 26. Janssen P, Shadlen MN. A representation of the hazard rate of elapsed time in macaque area LIP. *Nature Neuroscience*. 2005;8(2):234-241.
 27. Fechner G. Elements of psychophysics. Vol. I. New York:Holt, Rinehart and Winston;1966.
 28. Maniscalco B, Lau H. Signal detection theory analysis of type 1 and type 2 data: Meta-d', response-specific meta-d', and the unequal variance SDT model. In: Fleming S, Frith C, editors. *The cognitive neuroscience of metacognition*. Berlin, Heidelberg:Springer;2014. pp. 25-66.
 29. Prat-Ortega G, Wimmer K, Roxin A, De La Rocha J. Flexible categorization in perceptual decision making. *Nature Communications*. 2021;12:1283.
 30. Logan GD, Crump MJC. Cognitive illusions of authorship reveal hierarchical error detection in skilled typists. *Science*. 2010;330(6004):683-686.
 31. Lempert KM, Chen YL, Fleming SM. Relating pupil dilation and metacognitive confidence during auditory decision-making. *PLoS One*. 2015;10(5):e0126588.
 32. Tagliabue CF, Veniero D, Benwell CSY, Cecere R, Savazzi S, Thut G. The EEG signature of sensory evidence accumulation during decision formation closely tracks subjective perceptual experience. *Scientific Reports*. 2019;9(1):4949.
 33. Allen M, Frank D, Schwarzkopf DS, Fardo F, Winston JS, Hauser TU, et al. Unexpected arousal modulates the influence of sensory noise on confidence. *Elife*. 2016;5:e18103.
 34. Urai AE, Braun A, Donner TH. Pupil-linked arousal is driven by decision uncertainty and alters serial choice bias. *Nature Communications*. 2017;8:14637.