

Perceptual decision-making in the presence of natural stimulus: A behavioral study

Hadiseh Hajimohammadi¹ , Sajjad Zabbah², Javad Hatami³, Reza Ebrahimpour^{4*} 

1. Cognitive Science Modeling, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2. Post-Doctoral Researcher, Institute for Research in Fundamental Sciences, School of Cognitive Sciences, Tehran, Iran

3. Associate Professor, Psychology Department, Faculty of Psychology, University of Tehran, Tehran, Iran & Institute for Cognitive Science Studies, Pardis, Iran

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

Abstract

Received: 16 Mar. 2021

Revised: 10 May. 2021

Accepted: 18 Jul. 2021

Keywords


Perceptual decision-making
Spatial information
Perfect accumulator assumption

Corresponding author

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

Email: Rebrahimpour@sru.ac.ir



 doi.org/10.30514/icss.23.3.119

Introduction: The quantitative study of the multiple-spatial information effect on perceptual decision-making has remained mostly unknown due to the complexity in controlling this information in natural stimuli. This study aims to compute the weights of spatial information of local features and compare their effect quantitatively on face discrimination using a systematically well-controlled task. The importance of this study is to address complex natural stimuli in the context of perceptual decision-making.

Methods: We designed a systematically well-controlled multiple-spatial information task (eyes, nose, mouth) in which faces have morphed. The stimuli either had three or one informative spatial information fluctuating in time that combined with a mask. The stimuli were randomly presented in different levels of morph. Participants were instructed to report if the stimuli were more similar to the first prototype or the second one during a free-response task.

Results: The positive amplitudes of the psychophysical kernels for each feature indicated that the decisions are made based on the integration of spatial information for both three and one informative feature trial. The averages of psychophysical kernels amplitude in 3-features trials were significantly different from zero for all features, which showed that the presence of eye information intensified the extraction of information from nose and mouth. Only linear coefficients have a significant effect rather than multiplicative terms relating to the interaction of features. The present study showed that considering each feature's effective weight could extend the perfect accumulator assumption to explain the experimental accuracy for three-informative feature trials.

Conclusion: Findings suggest that a modified perfect accumulator can quantitatively explain the mechanism of perceptual decision-making in the presence of natural stimuli. This study provides an extension of perceptual decision-making in the presence of simple stimuli with uniform spatial information.

Citation: Hajimohammadi H, Zabbah S, Hatami J, Ebrahimpour R. Perceptual decision-making in the presence of natural stimulus: A behavioral study. *Advances in Cognitive Sciences*. 2021;23(3):119-134.

Extended Abstract

Introduction

Perceptual decision-making studies have widely focused on simple stimuli with uniform distribution of spatial information, say Random Dot Motion to address the accumulation of sensory evidence resulting in a bina-

ry decision. However, the real-world stimuli are mostly complex containing a non-uniform distribution of spatial information. Hence perceptual decision-making process in the presence of natural stimuli has remained unknown,

likely because of the complexity in controlling the multiple pieces of information over time to study their effect on decisions. Recently, a novel framework has been introduced to broaden perceptual decision-making studies into multi-spatial stimuli by a face discrimination task with controlled fluctuating local features (eyes, nose, and mouth) as multiple spatial information. Another importance of this task is to bridge the perceptual decision studies and object recognition, which will be expected to improve the understanding in either area. Using the main essence of this framework, we design our own experiment by applying more control on the spatial information resulting in a decision. In fact, this experiment design consists of both the single spatial information and multiple ones. This study aims to investigate the effect of each piece of spatial information on the decision individually, as well as to study the effect of combining this information on the decision. Consequently, this experiment design enables us to quantitatively predict the behavior of multiple informative trials from single ones. In particular, this research tends to study the combination and interaction of single information and their weights to address behavior in the presence of multiple spatial information in making a binary decision. This research hypothesizes that the perfect accumulator assumption might explain the integration of spatial information.

Methods

Having developed a customized algorithm, neutral human faces have been geometrically morphed such that -100% and +100% represent the first prototype, the second one, respectively. 0% morph depicts the middle face, which is half of the morph stream between the prototypes. The trials were designed to stimuli either have three informative features (eyes, mouth, nose simultaneously) or only one informative feature (eyes, mouth, and nose individually) fluctuating in time. These stimuli enabled us to control

the featural information independently to study the impact of multiple spatial and temporal information in making the decision. The 3-informative and 1-informative trials were randomly interleaved in a block. Seven human subjects (24-39 years old, four women) participated in this study with normal or corrected-to-normal vision. All procedures were approved by the Ethics Committee of the Iran University of Medical Sciences. Stimuli were created and controlled in MATLAB and presented using routines from the psychophysics Toolbox extension. The subjects got familiar with the prototypes before taking part in the main experiment and also the structure of the task and its environment. After passing the training phases by reaching the required accuracy and speed, the participants were invited to the main phase of the experiment. They were instructed to maintain their gaze on the red fixation point in the center of the screen and report if the stimuli displayed on the side of the fixation point were more similar to the first prototype or the second one. Each participant completed a total of 1568 trials on average in eight blocks of 196 trials.

Results

Logistic regression analysis revealed that the subjects were not biased toward any of the choices. The reaction time decreased, and the probability of correct answers increased with the stimulus strength (morph %), showing that the subject confirmed their decision as expected based on the strength of perceived evidence. Another measure of the accumulation of evidence that this design of the experiment allowed us to compute was the psychophysical kernels for 0% morph trials. The positive amplitudes of the psychophysical kernels indicated that the decisions are made based on the integration of spatial information yet with unequal weight. Eyes weighed more for both 3-featural, which is inconsistent with the previous findings for neutral faces and 1-featural trials.

The averages of psychophysical kernels amplitudes for only-nose and only-mouth trials were positive but not statistically significant, while these averages in 3-featural trials were calculated statistically significant. This finding showed that the presence of eye information in 3-featural trials intensified the extraction of information from nose and mouth in consistency with the reliability of the information in multiple sources of information studies. To quantify the contribution of each feature in the decision, we used logistic regression. The results showed that only linear coefficients relating to eye, nose, and mouth information have a statistically significant effect on the decision rather than multiplicative terms representing the interaction of features. The psychometric function and psychophysical kernels led us to use the integration model to predict the probability of corrects achieved in 3-featural trials from the evidence calculated from the 1-featural trials. To this end, the evidence contained in each one-informative feature trial was calculated and linearly summed up with each other based on the regression model finding. Therefore, using the perfect linear accumulation assumption, we computed the expected accuracy from the result of 1-informative feature trials to predict the accuracy in three-informative feature trials. The present study showed that only considering the effective weight for each feature could extend the perfect accumulator assumption to explain the experimental accuracy for three-informative feature trials.

Conclusion

The present study's findings suggest that the presence of multiple featural information simultaneously improved the extracting of information from less reliable features. This was shown by statistically significant weights of the nose and mouth in psychophysical kernels of 3-informative feature trials compared to 1-featural trials. Furthermore, the mechanism of perceptual decision-making

in the presence of natural stimuli can be quantitatively explained by an extension of the perfect accumulator assumption by considering the informative featural weights. Considering the effective weight of each feature, the perfect accumulator assumption explains such a decision-making process in the presence of complex natural stimuli. This also might address the holistic effect quantitatively. Finally, taking advantage of perceptual decision-making findings can enhance our understanding of natural stimuli processing by paving the way for using neural imaging for further investigation of brain activities during such complex processes.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

The present study consisted of experimental protocols approved by the Ethics Committee of the Iran University of Medical Sciences (IR.IUMS.REC.1399.1281). Written informed consent was obtained from all participants. The collected data would remain confidential and would be used only for scientific purposes. The participants were allowed to leave the experiment at any phase.

Authors' contributions

Hadiseh Hajimohammadi: conceptualization, data collection, analysis, visualization, writing original draft-review, and editing. Sajjad Zabbah: conceptualization, supervision, writing review, and editing. Javad Hatami: Supervision, writing-review and editing. Reza Ebrahimpour: conceptualization, supervision, writing review, and editing.

Funding

This study was funded by Iran Cognitive Sciences & Technologies Council (9990). Data were recorded in the Cognitive Science Laboratory of Shahid Rajaei University.

Acknowledgments

We would like to thank all the participants in this study. The special thanks go to knowledgeable colleagues and open science for providing us helpful comments and

technical supports where it was needed.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.



تصمیم‌گیری ادراکی در حضور محرک طبیعی: یک مطالعه رفتاری

حدیثه حاجی‌محمدی^۱، سجاد ذباح^۲، جواد حاتمی^۳، رضا ابراهیم‌پور^{۴*}

۱. مدل‌سازی شناختی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. محقق پسادکتر، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، پژوهشکده علوم شناختی، تهران، ایران
۳. دانشیار، گروه روان‌شناسی، دانشکده روان‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران و موسسه آموزش عالی علوم شناختی، پردیس، ایران
۴. استاد، گروه هوش مصنوعی، دانشکده کامپیوتر، دانشگاه تربیت دبیر رجایی، تهران، ایران

چکیده

مقدمه: بررسی کمی تاثیر اطلاعات چندگانه مکانی در تصمیم‌گیری ادراکی، به دلیل پیچیدگی کنترل این اطلاعات در محرک‌های طبیعی کمتر مورد توجه بوده است. در این پژوهش با کنترل نظام‌مند تعداد و حجم اطلاعات مکانی در یک محرک طبیعی، به مقایسه کمی وزن این اطلاعات و تاثیر آن در تفکیک چهره‌های خنثی پرداخته می‌شود. اهمیت این مسئله در مطالعه کمی یک محرک پیچیده طبیعی در بستر تصمیم‌گیری ادراکی است.

روش کار: آزمونی با قابلیت کنترل نظام‌مند اطلاعات چندگانه مکانی (ناحیه چشم، بینی و دهان) با ادغام تصاویر چهره طراحی و اجرا شد. این تصاویر متشکل از یک یا سه مولفه حاوی اطلاعات مکانی متغیر در زمان بودند که با ماسک ترکیب و به صورت تصادفی با سطوح سختی متفاوت نمایش داده می‌شدند. از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا شباهت بیشتر محرک به یکی از دو نمونه چهره را به صورت پاسخ آزاد اعلام کنند.

یافته‌ها: دامنه مثبت کرنل‌های روان‌فیزیک برای هر مولفه، نشان می‌دهد اخذ تصمیم با جمع‌آوری اطلاعات مکانی صورت می‌گیرد. دامنه کرنل برای تمام مولفه‌ها در آزمایش‌های سه مولفه‌ای تفاوت معناداری از صفر دارد که حاکی از اثر تقویت‌کننده وزن اطلاعات مولفه‌ها در راهبردهای تصمیم است. جمع‌آوری اطلاعات چندگانه مکانی را می‌توان به صورت عمدتاً خطی و با وزن موثر هر مولفه با مدل جمع‌آوری بی‌نقص شواهد توضیح داد.

نتیجه‌گیری: ساز و کار تصمیم‌گیری ادراکی در حضور محرک طبیعی با جمع‌آوری بی‌نقص اطلاعات مکانی-زمانی قابل توصیف است. این پژوهش توسعه‌ای از مطالعات پیشین در حضور محرک‌های ساده است که حاوی اطلاعات یکنواخت مکانی بوده‌اند.

دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۶

اصلاح نهایی: ۱۴۰۰/۰۲/۲۰

پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۷

واژه‌های کلیدی

تصمیم‌گیری ادراکی
اطلاعات چندگانه مکانی
فرضیه جمع‌آوری بی‌نقص اطلاعات

نویسنده مسئول

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

ایمیل: Rebrahimpour@sru.ac.ir



doi.org/10.30514/icss.23.3.119

مقدمه

تصمیم‌گیری یک فرآیند عالی شناختی است که به انتخاب قطعی یک گزینه از بین دو یا چند گزینه منجر می‌شود (۱، ۲). نیاز به تصمیم‌گیری با سطوح پیچیدگی متفاوت و انواع مختلفی در زندگی ما مطرح می‌شود؛ از شرکت در انتخابات گرفته تا عبور از خیابان یا تشخیص افراد. آن دسته از تصمیم‌هایی که تنها با تکیه بر جمع‌آوری اطلاعات حسی گرفته می‌شوند (۳، ۴) به عنوان تصمیم‌گیری ادراکی

(Perceptual decision making) شناخته می‌شوند (۵). مطالعات تصمیم‌گیری ادراکی، عمدتاً به بررسی جمع‌آوری شواهد حسی در حضور محرک‌های ساده با قابلیت کنترل اطلاعات مکانی یکنواخت اختصاص داشته‌اند برای مثال حرکت تصادفی نقاط متحرک (۱، ۳، ۶) یا میله‌هایی با جهت‌گیری متغیر (۷، ۸). این درحالیست که، محرک‌های دنیای واقعی غالباً پیچیده‌اند و حاوی اطلاعات غیریکنواخت مکانی

در واقع، در بخشی از این مطالعه، مولفه‌های چهره به صورت جداسازی شده (Isolated) خارج از زمینه یک چهره مطالعه شدند (۹) که به نظر می‌رسد با آن چه در زندگی روزمره تجربه می‌کنیم فاصله دارد و منجر به سوگیری انتخابی افراد می‌شود (۲۲). به عبارت دیگر، در هنگام تشخیص یک چهره ممکن است افراد به یک مولفه توجه بیشتری نشان دهند اما سایر مولفه‌ها نیز در پس‌زمینه حضور دارند که بر فرآیند تشخیص تاثیر می‌گذارد (۱۹، ۲۰).

برای پاسخ به این مسئله، در مطالعه حاضر، با استفاده از چارچوب معرفی شده به جای نمایش جداسازی شده مولفه‌های چهره، آنها را در یک چهره میانگین‌گیری شده از دو تصویر نمایش می‌دهیم. به این ترتیب، در شرایطی نزدیک‌تر به آنچه در دنیای واقعی اتفاق می‌افتد بی آن که سوگیری در توجه انتخابی افراد با طراحی آزمایش ایجاد شده باشد (۲۲)، با کنترل بر روی تعداد و حجم اطلاعات چندگانه مکانی، به مطالعه تاثیر هر مولفه در تصمیم و چگونگی ترکیب این اطلاعات به صورت نظام‌مند می‌پردازیم. به بیان دقیق‌تر، با اعمال تغییرات در تنها یکی از مولفه‌های چهره و مقایسه آن با تغییر هم‌زمان سه مولفه می‌توان پاسخ کمی به چند سوال مطرح در این حوزه ارائه کرد: (۱) حضور اطلاعات چندگانه مکانی متغیر در زمان چگونه و با چه وزنی در انتخاب افراد تاثیر می‌گذارد؟ (۲) راهبرد افراد در جمع‌آوری اطلاعات مکانی با توجه به تغییرات نامحسوس در تنها یک مولفه یا چند مولفه چگونه تغییر می‌کند؟ (۳) نمایش مولفه‌ها به صورت هم‌زمان چه تغییری در وزن‌دهی آنها ایجاد می‌کند؟ در پایان نشان می‌دهیم لازم است وزن‌های موثر برای هر مولفه مکانی در جمع‌آوری این اطلاعات در نظر گرفته شود تا بتوان نتایج به دست آمده از آزمایش را با مدل‌های مبتنی بر جمع‌آوری بدون نقص اطلاعات توضیح داد.

روش کار

طبق مطالعات رایج در این حوزه (۹، ۱۲، ۱۹، ۲۰، ۲۳)، هفت نفر (میانگین سنی ۳۱ در بازه ۲۴ تا ۳۹ سال، چهار خانم) با روش نمونه در دسترس، پس از اعلام عمومی در این مطالعه شرکت کردند. از هر فرد ۱۵۶۸ آزمایش (Trial) معادل با هشت بلوک (Block) ۱۹۶ تایی و در مجموع ۱۰۹۷۶ آزمایش از تمام آزمودنی‌ها با شرکت در یک آزمون رایانه‌ای جمع‌آوری شد. این افراد به لحاظ عصبی سالم و با دید کامل یا اصلاح شده با عینک در این مطالعه حضور یافتند. ابتدا دستورالعمل انجام آزمون رایانه‌ای به شرکت‌کنندگان داده شد و سپس با گذراندن مراحل آموزشی وارد، مرحله اصلی آزمون شدند. مراحل آزمایش در کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی ایران با شناسه IR.IUMS.REC.1399.1281

می‌باشند. بنابراین، گسترش مطالعات تصمیم‌گیری ادراکی با استفاده از محرک‌های طبیعی در شرایطی نزدیک به آن چه در زندگی روزمره تجربه می‌کنیم امری ضروری است که خود با چالش‌هایی روبه‌رو است (۹) از جمله کنترل میزان اطلاعات مکانی در محرك طبیعی.

برای این منظور، مطالعاتی با استفاده از نمایش محرک‌های طبیعی نظیر تصاویر چهره، خانه یا ماشین در این حوزه انجام شده است (۱۰، ۱۱)، اما عدم توجه به کنترل اطلاعات مکانی در این محرک‌ها مانع از بررسی تاثیر کمی این اطلاعات بر تصمیم افراد بوده است. زیرا این که کدام اطلاعات در محرك و به چه میزان منجر به بروز رفتار (تصمیم) در افراد شده مغفول مانده است که خود سوال مهمی برای گسترش این حوزه به محرک‌های دنیای واقعی به شمار می‌رود (۱۲). از این رو، معرفی یک محرك طبیعی و چگونگی کنترل اطلاعات مکانی آن، برای پاسخ به چنین پرسش‌هایی گامی اساسی در مطالعات تصمیم‌گیری ادراکی می‌باشد.

از آنجا که چهره به راحتی امکان تغییر و اعمال کنترل بر مقدار اطلاعات چندگانه حسی را در زمان و مکان می‌دهد، بستر مناسبی برای گسترش چنین مطالعاتی در حوزه تصمیم‌گیری ادراکی فراهم می‌کند (۹، ۱۳). با این حال، مطالعه چهره بیشتر در قالب بازشناسی اشیا مورد توجه بوده است (۱۴-۱۶) که محور اصلی این مطالعات، تاکید بر جنبه‌های کنش سریع در تفکیک (Discrimination) و دسته‌بندی (Categorization) می‌باشد. از این رو، به جنبه‌های رایج‌تر حضور این محرك در زندگی روزمره نظیر شناسایی افراد که مبتنی بر جمع‌آوری و تامل در اطلاعات برای تصمیم می‌باشند کمتر پرداخته شده است (۱، ۱۳، ۱۷، ۱۸). بررسی نظام‌مند تاثیر مولفه‌های چهره در حوزه ادراک چهره، به دلیل سختی کنترل اطلاعات در چهره طبیعی با استفاده از تصاویر مصنوعی انجام شده است (۱۹، ۲۰). این نتایج پیشنهاد می‌دهند در حالی که پردازش کل‌گرایانه (Holistic) احتمالاً راهبرد غالب در ادارک چهره است اما این پردازش بر اساس مولفه نیز انجام می‌شود که با شواهد به دست آمده از مطالعات fMRI منطبق است (۲۱). با این حال، امکان بررسی تاثیر این مولفه‌های مکانی در تصمیم و راهبرد جمع‌آوری این اطلاعات در گذر زمان فراهم نبوده است (۱۹، ۲۰).

در این راستا، Okazawa و همکاران چارچوبی جدید برای چنین مطالعاتی معرفی کردند (۹، ۱۲). در چارچوب معرفی شده تصویر دو چهره با یکدیگر ادغام می‌شوند و مولفه‌های چشم، بینی و دهان که حاوی اطلاعات مکانی هستند در زمان تغییر می‌کنند. اما نکته‌ای که در مطالعه مذکور از نظر دور مانده است، بررسی نظام‌مند تاثیر جداگانه مولفه‌های چهره در تصمیم در شرایطی نزدیک به دنیای واقعی است.

اطلاعات چندگانه مکانی با قابلیت کنترل باشد را می‌توان با ادغام تصویر دو چهره و سپس ایجاد تصویری با درصدهای ادغام متفاوت از اجزای آن تولید کرد (۹، ۱۲). برای ایجاد فریم‌های ادغام با اطلاعات قابل کنترل مکانی (مولفه‌های چشم، بینی و دهان)، یک الگوریتم شخصی‌سازی شده به کمک نرم‌افزار MATLAB با استفاده از جزئیات پیشنهاد شده (۱۲) توسعه داده شد. به طور خلاصه، درصدهای ادغام چشم، بینی و دهان در هر آزمایش به طور مستقل از توزیع‌های تصادفی گاوسی با میانگین برابر و انحراف معیار یکسان، انتخاب و تصاویر با ماسک‌هایی از جنس بهم ریختگی فاز چهره میانی بین دو تصویر پوشیده می‌شدند (۹، ۱۲). آزمودنی‌ها تصمیم خود درباره شباهت محرک نمایش داده شده به یکی از چهره‌ها را به صورت زمان پاسخ آزاد با صفحه کلید اعلام کردند، شکل (۱ الف). تا زمانی که فرد تصمیم خود را اعلام نکرده باشد، درصدهای ادغام جدیدی از توزیع‌های گاوسی مستقل با همان میانگین و انحراف معیار تولید و به شیوه قبل با ماسک جدید از همان جنس ترکیب و نمایش داده می‌شدند، شکل (۱ ب). زمان پاسخ از لحظه نمایش محرک تا اعلام پاسخ ثبت شد. لازم به ذکر است تغییرات چشم، بینی و دهان به گونه‌ای نامحسوس (Subliminal) انجام شد. ماسک‌ها و تمرکز نگاه بر روی نقطه مرکزی این اطمینان را می‌دهند که شرکت‌کنندگان تغییرات کم در مولفه‌های حاوی اطلاعات را به صورت هوشیارانه در طول آزمایش ادراک نمی‌کردند. بعد از انجام آزمون، شرکت‌کنندگان اظهار کردند که یک چهره را در هر آزمایش مشاهده کردند که با الگوهای ابری در طول زمان پوشیده می‌شده است. بنابراین، اطمینان حاصل شد که تغییر مولفه‌ها موجب برهم خوردن توجه افراد نشده است.

آزمون رفتاری اصلی: آزمایشی شامل نمایش تصادفی آزمایش‌هایی با تغییر هم‌زمان سه مولفه چهره (سه مولفه‌ای) و آزمایش‌هایی با تغییر تنها یکی از مولفه‌های چهره (تک مولفه‌ای) طراحی شد و مابقی نواحی با تصویر میانی ادغام دو چهره جایگزین شد (بدون اطلاعات)، شکل (۱ ب). در یک بلوک ۱۹۶ تایی، تعداد مساوی از آزمایش‌های سه مولفه‌ای و تک مولفه‌ای به صورت تصادفی نمایش داده شد. لازم به ذکر است که آزمودنی‌ها از تفاوت بین آزمایش‌ها در یک بلوک بی‌اطلاع بودند و پس از انجام آزمایش نیز از آن آگاه نشدند به طوری که در انتهای آزمایش فقط افزایش سختی در بعضی آزمایش‌ها را گزارش کردند. سختی محرک در هفت سطح انتخاب شد، $14 \pm$ ، $30 \pm$ ، $50 \pm$ (علامت منفی در جهت انتخاب چهره شماره یک و علامت مثبت چهره شماره دو است). تا نمودار روان‌فیزیک قابل قبولی برای آزمایش‌های سه مولفه‌ای حاصل

مصوب گردید و نمونه‌گیری در آزمایشگاه علوم شناختی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی انجام گرفت.

در طول آزمون‌ها، شرکت‌کنندگان بر روی یک صندلی قابل تنظیم در یک اتاق نیمه تاریک در مقابل یک صفحه نمایش CRT (۱۷ اینچ) با فرکانس ۷۵ هرتز در فاصله ۵۷ سانتی‌متر از آن نشستند. نمایش محرک با جعبه ابزار سایک‌تولباکس و نرم‌افزار MATLAB کنترل و ثبت پاسخ با صفحه کلید به همراه بازخورد صوتی انجام شد. این آزمون‌ها در دو بخش آزمون‌های آموزشی و آزمون اصلی طراحی شدند که در ادامه با جزئیات آنها پرداخته می‌شود.

مرحله آموزش: آزمودنی‌ها پیش از ورود به مرحله اصلی آزمون، مراحل آموزشی را طی کردند. این مراحل، شامل یادگیری چهره‌های مورد استفاده در آزمون اصلی با نگاه مستقیم و سپس بازشناسی آنها با نگاه غیرمستقیم بود. برای اطمینان از خنثی بودن احساس منتقل شده به شرکت‌کنندگان از تصاویر خنثی موجود در پایگاه داده به آدرس <http://www.macbrain.org/resources.htm> استفاده شد (۲۴). بیش از ۷۰ درصد از شرکت‌کنندگان در مطالعه مذکور، احساس خنثی در مواجهه با این تصاویر گزارش کرده‌اند (۲۴). به علاوه، شرکت‌کنندگان در مطالعه حاضر نیز احساس خنثی در مواجهه با آنها اعلام کردند. هدف از این مرحله، یادگیری چهره‌های مورد استفاده در آزمایش اصلی است تا اثرات ناشی از به خاطر آوردن چهره‌ها کنترل شود. در مطالعه حاضر، مولفه‌های خارجی از جمله مو، گوش‌ها از تصاویر کنار گذاشته شده و تنها مولفه‌های داخلی (از جمله چشم‌ها، بینی و دهان) در یک قاب بیضی شکل با اندازه برابر برای چهره‌ها نمایش داده شده است، شکل (۱ الف).

در مرحله دوم، تصاویر در کنار نقطه مرکزی با فاصله $1/5$ درجه بینایی نمایش داده شد. آزمودنی‌ها با حفظ نگاه بر نقطه مرکزی و بدون نگاه مستقیم تصمیم خود را ثبت کردند. هدف از انجام این مرحله، تمرین نگه داشتن نگاه بر روی نقطه مرکزی و ثبت پاسخ درست بود. هر بار پس از انجام این مرحله از میزان موفقیت فرد در حفظ نگاه بر روی نقطه مرکزی سوال پرسیده می‌شد تا جایی که فرد با کنترل نگاه بتواند در بیشتر از ۹۰ درصد موارد چهره نمایش داده شده در خارج از مرکز را به درستی تشخیص دهد.

مرحله اصلی

آماده‌سازی محرک: طبق مطالعات انجام شده، محرکی که به محرک‌های مشاهده شده در دنیای واقعی نزدیک باشد، به علاوه حاوی

افراد از مدل‌های رگرسیونی مختلفی استفاده شده است. در این مدل‌ها $\text{Logit}[P]$ به عنوان خلاصه‌ای از $\log\left(\frac{P}{1-P}\right)$ نمایش داده شده و ضرایب برازش با β نام‌گذاری شده‌اند. برازش با روش بیشینه احتمال با مدل خطای دو جمله‌ای محاسبه شده است. اثر قدرت محرك بر احتمال انتخاب یک گزینه با استفاده از رگرسیون لجستیک با رابطه زیر برازش شده است:

$$\text{Logit}[P_{\text{face1}}] = \beta_0 + \beta_1 C_{\pm} \quad (1)$$

روان‌فیزیک چگونگی وزن‌دهی به اطلاعات حسی منجر به تصمیم را تخمین می‌زند (۲۵، ۲۶). بنابراین، برای کمی کردن اثر تغییرات محرك در مکان و زمان (مولفه‌های چهره) بر روی انتخاب استفاده شده‌اند (۱۲). برای یک آزمون دو گزینه‌ای تصمیم‌گیری، دو کرنل از تحلیل‌ها به دست می‌آید که هر کدام مربوط به یک انتخاب هستند (۲۷، ۲۸). بنابراین، متداول است با کم کردن این دو کرنل از یکدیگر، نتیجه به صورت زیر نمایش داده شود:

$$K(t) = E[s(t) | \text{choice1}] - E[s(t) | \text{choice2}] \quad (2)$$

بررسی اثرات خطی و غیرخطی مولفه‌ها: برای کمی کردن اثرات خطی و غیرخطی در انتخاب، از رگرسیون لجستیک زیر استفاده شده است:

$$\text{Logit}[P(\text{choice2})] = w_e s_e + w_n s_n + w_m s_m + w_{e,n} s_e s_n + w_{n,m} s_n s_m + w_{m,e} s_m s_e + w_{e,n,m} s_e s_n s_m \quad (3)$$

مدل جمع آوری بدون نقص اطلاعات: در این مدل فرض بر این است که آزمودنی تمام شواهد حاصل از مولفه‌های مجزا را بدون نقص جمع‌آوری می‌کند. به این ترتیب، عملکرد مورد انتظار برای آزمایش‌های سه مولفه‌ای از ترکیب شواهد به دست آمده از آزمایش‌های تک مولفه‌ای محاسبه می‌شود که هر کدام از یک توزیع نرمال با انحراف معیار یک تولید شده‌اند (۲۳):

$$ef = \Phi^{-1}(P_f, \theta, I) \quad (4)$$

احتمال پاسخ درست مورد انتظار محاسبه شده، P_{expected} برای آزمایش‌های سه مولفه‌ای از شواهد تک مولفه‌ای، ef ، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{\text{expected}} = 1 - \Phi(0, a * e_{\text{eye}} + b * e_{\text{nose}} + c * e_{\text{mouth}}, \sqrt{3}) \quad (5)$$

شود. به عبارت دیگر، در قدرت محرك بالا در بیشتر از ۹۰ درصد پاسخ درست و در قدرت محرك پایین کمی بالاتر از ۵۰ درصد پاسخ درست ثبت شود.

روش تحلیل

مدل‌های رگرسیونی: برای ارزیابی و تحلیل اثر محرك بر تصمیم

که در آن C_{\pm} درصد ادغام مربوط به نمونه چهره ۱ (+) و نمونه چهره ۲ (-) است. β_0 سوگیری انتخاب و β_1 شیب تابع روان‌فیزیک را مشخص می‌کند. فرض صفر این است که آزمودنی‌ها نسبت به چهره‌های نمایش داده شده سوگیری ندارند ($H_0: \beta_0 = 0$).

کرنل‌های روان‌فیزیک (Psychophysical Kernels): کرنل‌های

که در آن $E[s(t) | \text{choice1}]$ نشان‌دهنده میانگین آزمایش‌های محرك در زمان t به شرط انتخاب گزینه ۱، $s(t)$ محرکی است که از یک تابع تصادفی با نویز متقارن (گاوسی) به دست آمده و $K(t)$ مقدار کرنل روان‌فیزیک در زمان t است.

که در آن s_e, s_n, s_m ، قدرت‌های محرك متناظر با فریم‌های جداگانه محرك به ترتیب برای چشم، بینی و دهان است. در این رگرسیون، بازه جملات خطی و غیرخطی مقیاس‌بندی شده‌اند تا جملات غیرخطی با جملات خطی قابل مقایسه باشد. تمام فریم‌های محرك در آزمایش‌های با درصد ادغام صفر استفاده شد (۹).

که در آن، P_f ، احتمال پاسخ درست برای هر یک از مولفه‌های چهره است. Φ یک توزیع جمع‌کننده نرمال است و Φ^{-1} معکوس این تابع است.

محاسبه شده از مولفه‌های مجزا، $P_{expected}$ ، برابر با عملکرد به دست آمده از آزمایش‌های سه مولفه‌ای باشد، $(H_0: P_{expected} = P_{experiment}) P_{experiment}$. برای آزمودن این فرضیه از مدل لجستیک رگرسیونی استفاده شده است:

$$\text{Logit}[P_{experiment}] = \text{Logit}(P_{expected}) + \beta$$

صفر) معنادار نیست ($P > 0.1$) که می‌تواند نشان از افزایش توجه فرد و اختصاص زمان بیشتر برای جمع‌آوری اطلاعات به دلیل سختی محرک در رسیدن به تصمیم باشد. با این حال، به دلیل حضور سه مولفه حاوی اطلاعات متغیر در زمان (سه منبع اطلاعاتی) در حالت ترکیبی مقدار زمان پاسخ از سایر مولفه‌ها پایین‌تر است.

نمودارهای روان‌فیزیک به دست آمده از برازش پاسخ‌های درست به درصد ادغام با رابطه (۱)، نشان می‌دهند که پاسخ‌های صحیح بیشتری با افزایش قدرت محرک هم در آزمایش‌های سه مولفه‌ای و هم تک مولفه‌ای ثبت شده‌اند، شکل (۱ د). این الگوها با سازوکارهای جمع‌آوری شواهد منطبق هستند که تصمیم‌های ادراکی با محرک‌های ساده‌تر را توضیح می‌دهند (۲۹). نمودار روان‌فیزیک، معیاری از انجام درست آزمون توسط آزمودنی‌ها است که می‌تواند نشان از جمع‌آوری شواهد برای رسیدن به تصمیم باشد (۳۰) هرچند که در آزمون‌هایی بدون جمع‌آوری داده نیز این الگو مشاهده شده است (۹). برای اطمینان حاصل کردن از تاثیر مولفه‌ها و همین‌طور وزن آنها از کرنل‌های روان‌فیزیک استفاده خواهیم کرد.

کرنل‌های روان‌فیزیک اختلاف بین تغییرات مولفه بسته به انتخاب یک گزینه را محاسبه می‌کنند. برای این منظور، از افت و خیزهای (Fluctuations) چشم، بینی و دهان در آزمایش‌هایی با درصد ادغام صفر (۱۵۸۰ آزمایش) طبق رابطه ۲ استفاده شده است، شکل (۲ الف، ب، ج، د). در آزمایش‌های تک مولفه‌ای، مقدار میانگین دامنه کرنل فقط برای چشم به صورت معنادار بیشتر از صفر بود، ($P = 0.0091$) و دو مولفه دیگر تفاوت معناداری از صفر نداشتند ($P > 0.2$)، شکل (۲ الف). اما در آزمایش‌های سه مولفه‌ای، انتخاب متاثر از بیش از یک مولفه است زیرا مولفه‌ها دامنه کرنل مثبت با تفاوت معنادار از صفر دارند (غیر از بینی)، (برای چشم، $P = 0.0071$ ، برای بینی $P = 0.1$)، برای دهان ($P = 0.001$) شکل (۲ ب). این نتایج پیشنهاد می‌دهند که آزمودنی‌ها از مولفه‌های چندگانه برای دسته‌بندی مولفه‌های چهره استفاده می‌کنند اما این مولفه‌ها سهم غیریکنواختی در تصمیم داشته‌اند و سهم موثر آنها در آزمون‌های مختلف متفاوت است.

کرنل‌های روان‌فیزیک دینامیک غنی‌ای دارند. با توجه به مقدار دامنه کرنل مولفه چشم در چند صد میلی‌ثانیه اول، به نظر می‌رسد افراد ابتدا

ضرایب a ، b ، c به عنوان وزن موثر برای شواهد در نظر گرفته می‌شوند. با برابر یک قرار دادن ضرایب، وزن شواهد برای تمام مولفه‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود. انتظار داریم، عملکرد حاصل از ترکیب شواهد

(۶)

در صورتی که β یک عدد مثبت با مقدار پی (p-value) بیشتر از 0.05 محاسبه شود، این فرضیه رد خواهد شد. برای این منظور، $P_{expected}$ به صورت زیر از آزمایش‌های تک مولفه‌ای محاسبه شده است. لازم به ذکر است تمامی تحلیل‌ها در نرم‌افزار MATLAB انجام گرفته و برای مقایسه نتایج از آزمون‌های آماری پارامتری (آزمون تی، ANOVA با تصحیح Bonferroni)، غیرپارامتری (Kruskal Wallis) و واریسی اعتبار (Cross validation) استفاده شده است.

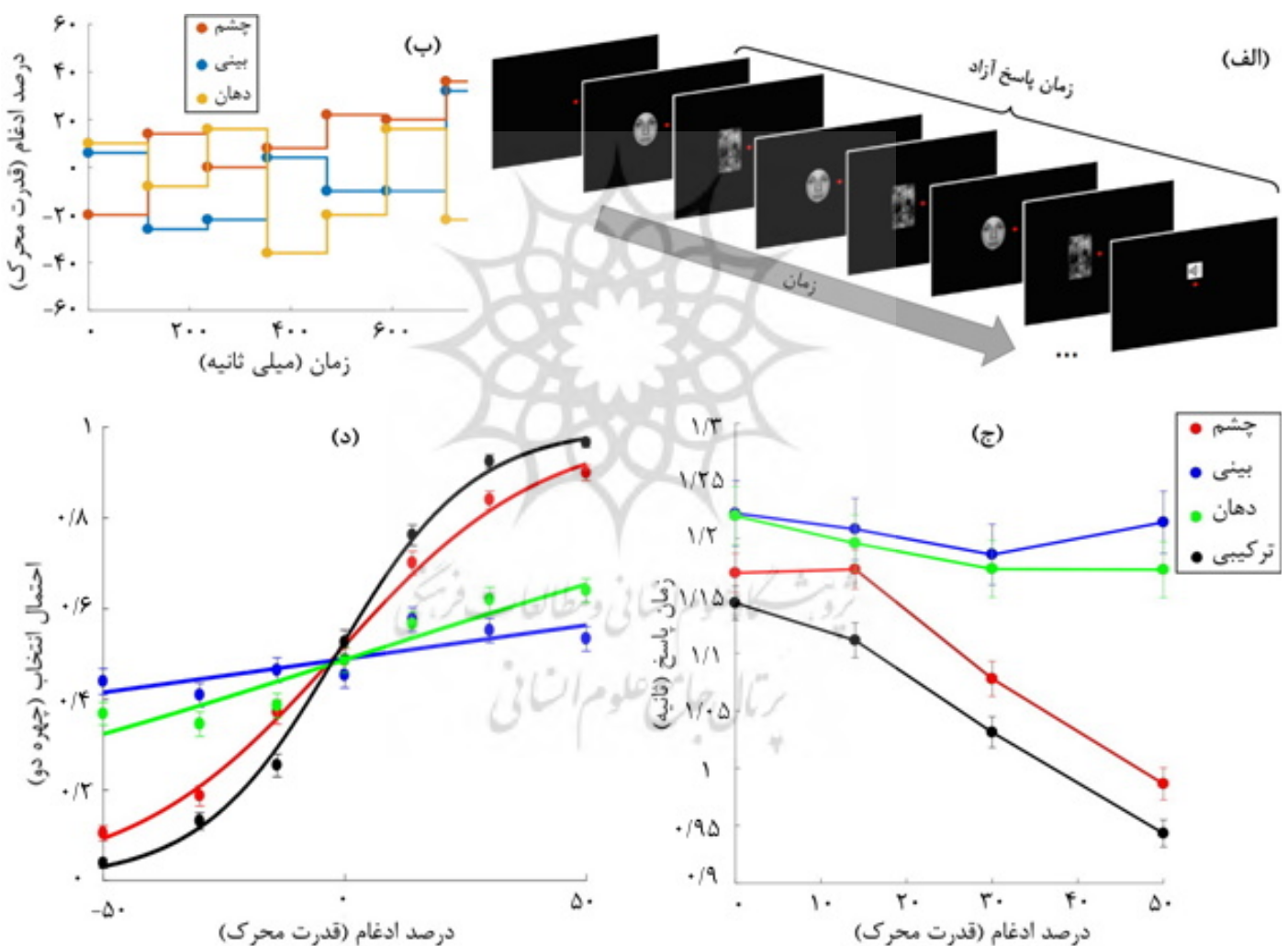
یافته‌ها

شرکت‌کنندگان پس از طی کردن مرحله آموزش وارد مرحله اصلی آزمون شدند. ابتدا، فرضیه سوگیری آزمودنی‌ها طبق رابطه (۱) مورد سنجش قرار گرفت (چشم، $P = 0.1$ ، بینی، $P = 0.057$ ، دهان، $P = 0.11$ ، حالت ترکیبی، $P = 0.1$). بنابراین، با رد نشدن فرضیه صفر می‌توان نتیجه گرفت سوگیری معناداری در انتخاب چهره در داده‌ها مشاهده نشده است. از این پس، داده‌های به دست آمده روی هم ریخته شده و نتایج گزارش شده در ادامه از ترکیب داده‌هاست. اما نتایج برای هر آزمودنی نیز بررسی شده است تا مطمئن شویم اثر مشاهده شده از روی هم ریختن داده‌ها نباشد.

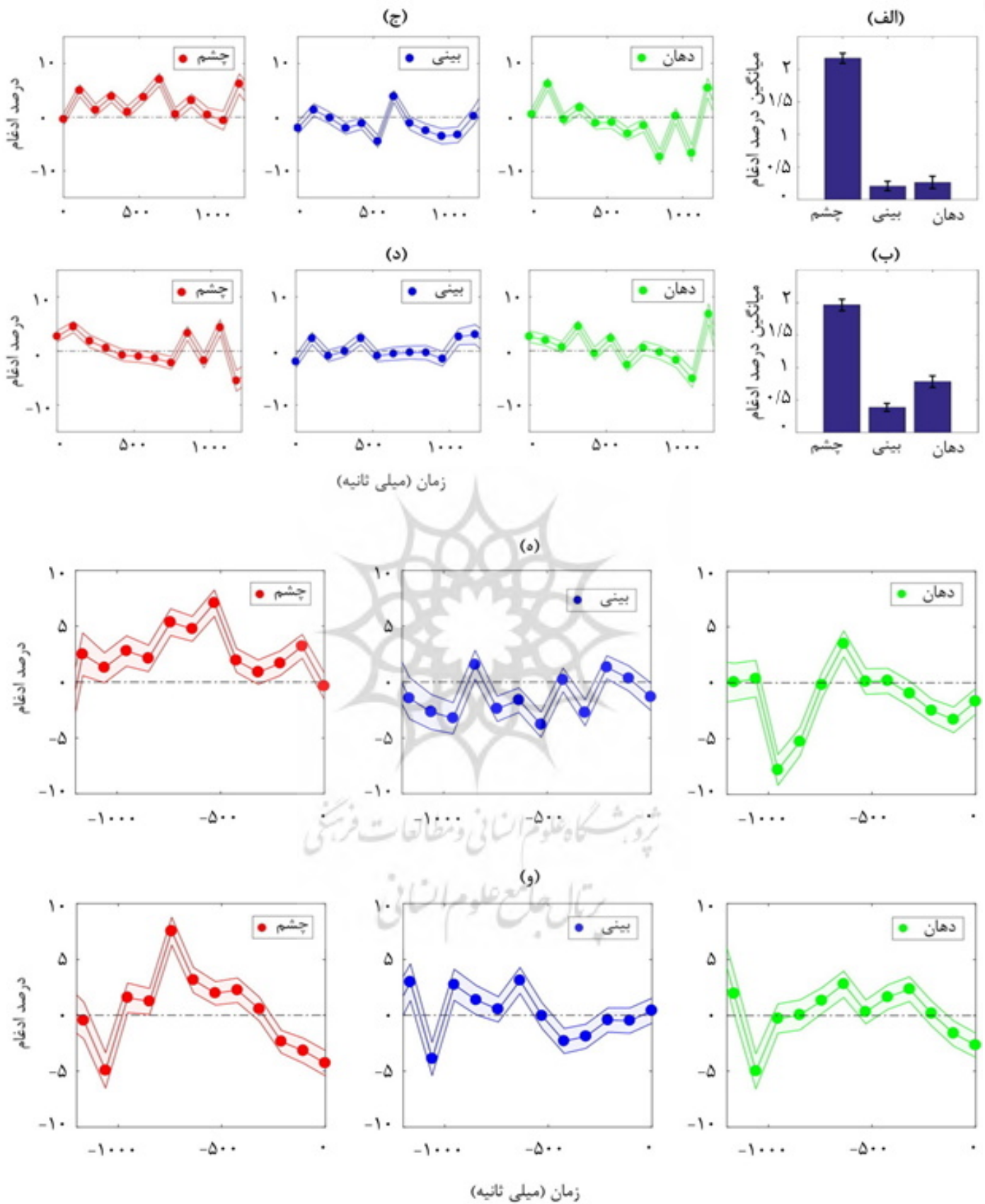
نمودارهای زمان پاسخ برحسب درصد ادغام در شکل (۱ ج) نمایش داده شده است. طبق ویژگی مورد انتظار از تصمیم‌گیری ادراکی، با افزایش درصد ادغام مدت زمان پاسخ برای حالت سه مولفه‌ای و مولفه چشم کاهش می‌یابد. به علاوه، اخذ تصمیم در نمایش هم‌زمان سه مولفه به دلیل وجود سه منبع اطلاعات مکانی با دقت و سرعت بیشتری انجام گرفته است که مطابق انتظار است. آزمون‌های آماری غیرپارامتری انجام شده (کروسکال-والیس) بر روی زمان‌های پاسخ نشان می‌دهند که آزمایش‌های سه مولفه‌ای و تک مولفه‌ای تفاوت معناداری با یکدیگر دارند ($P < 0.00001$). برای مقایسه تمام داده‌های تک مولفه‌ای چشم، بینی، دهان با سه مولفه‌ای، تصمیم‌ها در حضور مولفه چشم در مقایسه با دو مولفه دیگر سریع‌تر گرفته شده‌اند. در میان آزمایش‌های تک مولفه‌ای تنها چشم تفاوت معناداری با دو مولفه دیگر در زمان پاسخ دارد ($P = 0.0043$). اما این اختلاف در قدرت محرک (درصد ادغام

نمایش داده شده‌اند، شکل (۲ ه). این بیشینه برای درصدهای ادغام چشم با دامنه بیشتر و در فاصله زمانی بیشتری از زمان پاسخ قابل مشاهده است که می‌تواند نشان‌دهنده اولویت دادن به این مولفه در تصمیم‌گیری باشد (شکل ۲ و). همچنین، می‌تواند نشان از یکسان بودن راهبردهای آزمودنی‌ها در اولویت وزن‌دهی به مولفه‌های چهره باشد. اما برای کمی کردن این تاثیر از تحلیل‌های رگرسیونی بهره خواهیم گرفت.

به مولفه چشم و با گذر زمان به مولفه دهان وزن بیشتری اختصاص می‌دهند، شکل (۲ ج، د). این امر در نمودارهای کرنل رسم شده بر اساس زمان پاسخ با وضوح بیشتری قابل مشاهده است، شکل (۲ ه، و). بیشینه‌ای در چند صد میلی‌ثانیه قبل از پاسخ در نمودارهای کرنل روان‌فیزیک برای آزمایش‌های تک مولفه‌ای مشاهده می‌شود که برای چشم دامنه بیشتری از صفر دارد. اما ارتباطی بین این بیشینه‌ها در بین مولفه‌ها نمی‌توان برقرار کرد زیرا مولفه در این آزمایش‌ها به تنهایی



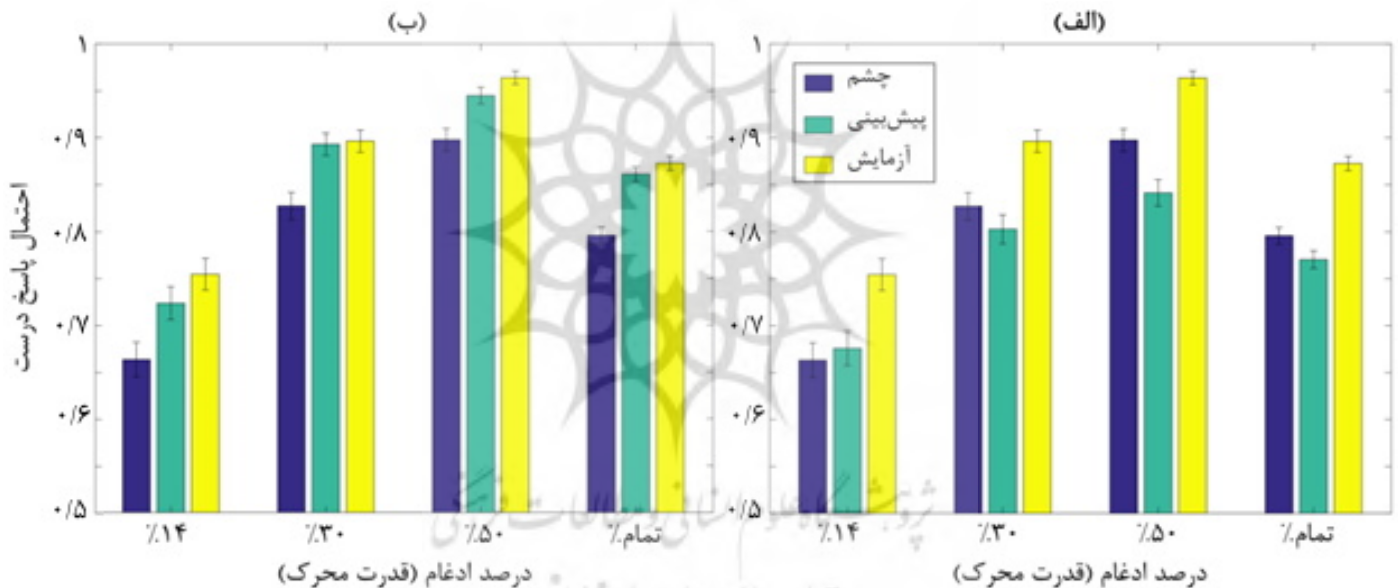
شکل ۱. آزمایش اصلی. الف) محرک‌های سه مولفه‌ای و یک مولفه‌ای با نسبت برابر در یک بلوک از آزمایش‌ها حضور دارند. ب) در آزمایش‌های سه مولفه‌ای. هر ۱۰۶/۷ میلی‌ثانیه برابر با هشت فریم، از سه توزیع مستقل با میانگین‌های برابر درصد ادغام جدیدی برای مولفه‌ها انتخاب می‌شود. ج) زمان پاسخ و احتمال پاسخ بر حسب درصد ادغام. د) زمان پاسخ با افزایش درصد ادغام برای آزمایش‌های حالت ترکیبی و چشم کاهش می‌یابد. د) برای بررسی سوگیری احتمال پاسخ به هر کدام از چهره‌ها بر اساس درصد ادغام با استفاده از رگرسیون لجستیک رسم شده است. نشانگرهای خطا، میزان خطای استاندارد را نشان می‌دهند.



شکل ۲. کرنل روان فیزیک از زمان نمایش محرک برای درصد ادغام صفر. (الف، ب) میانگین دامنه کرنل‌ها. (ج) کرنل روان فیزیک برای آزمایش‌های تک مولفه‌ای از زمان نمایش محرک تا میانه زمان پاسخ (د) کرنل روان فیزیک برای آزمایش‌های سه مولفه‌ای از زمان نمایش محرک تا میانه زمان پاسخ. (ه، و) کرنل روان فیزیک از زمان پاسخ به قبل برای درصد ادغام صفر. (ه) کرنل روان فیزیک برای آزمایش‌های تک مولفه‌ای از زمان پاسخ به قبل (و) کرنل روان فیزیک برای آزمایش‌های سه مولفه‌ای از زمان پاسخ به قبل. نشانگرهای خطا، میزان خطای استاندارد را نشان می‌دهند.

مدل جمع‌آوری بدون نقص اطلاعات: ابتدا این مدل را با در نظر گرفتن وزن یکسان $a=b=c=1$ در رابطه (۵) برای هر مولفه متناظر با آنچه برای محرک‌های ساده‌تر مورد استفاده قرار گرفته بود بر داده‌ها برآزش می‌کنیم. احتمال پاسخ مورد انتظار برای آزمایش‌های سه مولفه‌ای از محاسبه شواهد برای هر مولفه (رابطه ۴) و سپس استفاده از رابطه (۵) به دست آمده است، شکل (۳ الف). با استفاده از رابطه (۶) فرضیه ما مبنی بر برابری عملکردهای حاصل از آزمایش $P_{experiment}$ و عملکرد محاسبه شده از جمع‌آوری بدون نقص شواهد، $P_{expected}$ بدون در نظر گرفتن وزن مولفه‌ها، چه در تمام درصدهای ادغام $P=5/9 \text{Exp}(-44)$ و چه به صورت جداگانه برای هر درصد ادغام به صورت معنادار رد می‌شود (درصد ادغام ۱۴ درصد، $P=2/8 \text{Exp}(-10)$ ، درصد ادغام ۳۰ درصد، $P=4/4 \text{Exp}(-15)$ ، درصد ادغام ۵۰ درصد، $P=0/01$).

دامنه کرنل‌های روان‌فیزیکی اطلاعاتی درباره حساسیت کلی انتخاب به تغییرات مولفه‌ها در محرك چهره به دست می‌دهد. اما برای کمی کردن سهم خطی و غیرخطی مولفه‌ها، رگرسیون خطی بر روی انتخاب‌ها را با استفاده از ترکیب‌های خطی و ضریبی غیرخطی قدرت‌های محرك انجام می‌دهیم. رابطه (۳) ضرایب مدل رگرسیون، مقادیر مثبت معناداری برای اثرات خطی برای تمام مولفه‌های چهره در حالت ترکیبی نشان می‌دهد (برای چشم، $P=1/8 \text{Exp}(-10)$ ، برای بینی، $P=0/73$ ، و برای دهان، $P=0/036$) اما برای جملات غیرخطی این اثرات معنادار نیستند (برای چشم-دهان، $P=0/64$ ، برای چشم-بینی، $P=0/88$ ، و برای بینی-دهان، $P=0/65$)، برای چشم-بینی-دهان، $P=0/26$). حال وزن موثر این اطلاعات مکانی در انتخاب مورد سوال است.



شکل ۳. مدل جمع‌آوری بدون نقص اطلاعات. بارهای زرد نتایج به دست آمده از آزمایش برای آزمایش‌های سه مولفه‌ای، بارهای آبی برای مولفه چشم و بارهای میانی پیش‌بینی مدل از احتمال پاسخ مورد انتظار را نمایش می‌دهد. (الف) بدون در نظر گرفتن وزن مولفه. (ب) با در نظر گرفتن وزن مولفه. نشانگرهای خطا، میزان خطای استاندارد را نشان می‌دهند.

شده است، این ضرایب به گونه‌ای محاسبه می‌شود که میانگین مربع خطای (MSE) محاسبه شده از نتایج مدل و نتایج آزمایش کمینه شود. برای تضمین آماری نتایج، اعتبارسنجی و مراحل محاسبه ضرایب ۱۰۰۰ بار دیگر این مرحله تکرار شد. در نهایت مقادیر میانگین‌گیری شده این وزن‌های موثر به ترتیب برای مولفه چشم، بینی و دهان برابر با $a=2 \pm 0/2$ ، $B=0/3 \pm 0/08$ ، $c=0/5 \pm 0/04$ در بازه اطمینان (CI) $0/05$ به دست آمد. با جای‌گذاری این مقادیر در رابطه (۵) و با استفاده مجدد از رابطه (۶) برای مقایسه پیش‌بینی مدل با ضرایب وزنی و داده‌های آزمایش، فرضیه ما مبنی بر برابری عملکردهای حاصل از آزمایش

خطی بودن جمع‌آوری اطلاعات مکانی این اجازه را می‌دهد تا شواهد مکانی مربوط به یک محرك به صورت وزن‌دار با یکدیگر جمع شوند (۹). این بار با در نظر گرفتن ضرایبی برای وزن موثر مربوط به هر مولفه محاسبات را تکرار می‌کنیم (رابطه ۵). ابتدا با بهره‌گیری از روش‌های یادگیری ماشینی از جمله واری اعتبار (Cross validation) و برای اجتناب از Overfitting داده‌های آزمایش را به ۵ قسمت تقسیم می‌کنیم، چهار قسمت برای آموزش و یک قسمت برای تست. سپس، با در نظر گرفتن بازه‌ای برای تغییر ضرایب a, b, c و استفاده از الگوریتم SIMPLEX که در نرم‌افزار MATLAB پیاده‌سازی

پردازش کل‌گرایانه عموماً به صورت جمع‌آوری مولفه‌های منفرد در قالب یک نمایش بهم پیوسته اجزا توصیف می‌شود (۱۵، ۳۲). یک پردازش کل‌گرایانه مانع از استخراج اطلاعات درباره مولفه‌های جداگانه چهره کامل می‌شود (۳۳).

در مطالعات پیشین، ترکیب اطلاعات مکانی تنها با مقایسه آستانه تفکیک برای نمایش جداسازی‌شده هر مولفه با حالت ترکیبی یا نمایش در میان اجزای چهره غیرمرتبط به صورت نظام‌مند با تصاویر مصنوعی از چهره انجام شده است اما چگونگی جمع‌آوری این اطلاعات مکانی و تغییر وزن‌ها در حضور مولفه‌ها مورد مطالعه نبوده است (۱۹، ۲۰، ۲۹، ۳۴، ۳۵). مطالعات انجام شده در این زمینه غالباً تنها با بررسی احتمال پاسخ درست برای چهره‌های غیرطبیعی و قابل کنترل در حوزه ادراک چهره پرداخته‌اند.

این درحالیست که با طراحی آزمایش به گونه‌ای که قابلیت رصد کردن این اطلاعات در زمان نیز وجود داشته باشد و زمان پاسخ شرکت‌کنندگان نیز ثبت شود می‌توان درک بهتری از دینامیک این فرآیند داشت که از ویژگی‌های محرک مورد استفاده در مطالعه حاضر است. از این رو، در این پژوهش به کمک کرنل‌های روان‌فیزیک به مطالعه چگونگی ترکیب این اطلاعات در طول زمان و راهبرد افراد نیز پرداخته شد. نشان دادیم آزمایش‌هایی که در چند صد میلی‌ثانیه اول، اطلاعات بیشتری در ناحیه چشم داشتند به پاسخ‌های درست‌تری منجر شده‌اند در غیر این صورت به نظر می‌رسد آزمودنی با نیافتن اطلاعات در ناحیه چشم به جستجوی سایر نواحی می‌پردازند و زمان را در جمع‌آوری اطلاعات از سایر نواحی از دست می‌دهند. در نهایت، با نیافتن اطلاعات خود را مجبور به اخذ تصمیم با اطلاعات کمتر می‌کند. به عبارت دیگر، این مطالعه بستری برای بررسی نتایج با مدل‌سازی بر اساس مدل رانش انتشار (Drift diffusion) فراهم می‌کند که پیش‌تر میسر نبود. به این ترتیب، یافته‌های ما راهی به سوی درک بهتر این فرآیند و مدل‌سازی‌های بیشتر بر اساس بهینه‌سازی هم‌زمان احتمال پاسخ و زمان پاسخ در این مطالعات پیشنهاد می‌دهد.

به علاوه، در این مطالعه برخلاف مطالعات قبل، تفکیک چهره‌ها در شرایطی نزدیک به دنیای واقعی انجام شود که تمام بخش‌های چهره به فرد نمایش داده می‌شود و تنها یک یا سه ناحیه از آن حاوی اطلاعات متغیر در زمان است. این نحوه نمایش، به تجربه ما در زندگی روزمره شباهت بیشتری دارد نسبت به زمانی که تنها یک ناحیه خاص چهره به صورت جداسازی شده نمایش داده می‌شود. مطالعات انجام شده بر روی توجه انتخابی نشان می‌دهند یافتن اطلاعات مورد نیاز در حضور اطلاعات دیگر بر روی دقت و سرعت واکنش نسبت به آن تاثیر

$P_{experiment}$ و عملکرد محاسبه‌شده از جمع‌آوری بدون نقص شواهد، $P_{expected}$ رد نمی‌شود، چه در تمام درصدهای ادغام، $(P=0/49)$ و چه به صورت جداگانه برای هر درصد ادغام برای ۱۴ درصد، $P=0/51$ ، ۳۰ درصد، $P=0/4$ ، برای ۵۰ درصد، $P=0/31$ ، شکل (۳ ب). بنابراین، با در نظر گرفتن ضرایبی برای مدل وزن موثر مربوط به هر مولفه، با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی راهکاری برای بهبود عملکرد مدل جمع‌آوری بدون نقص اطلاعات پیشنهاد دادیم.

بحث

هدف از انجام این پژوهش بررسی کمی تاثیر اطلاعات چندگانه مکانی در اخذ تصمیم با بررسی نظام‌مند تاثیر هر مولفه در شرایطی نزدیک به دنیای واقعی است. با بهره‌گیری از یک چارچوب جدید برای نمایش یک محرک طبیعی حاوی اطلاعات چندگانه مکانی متغیر در زمان به مطالعه تاثیر این اطلاعات در انتخاب افراد پرداختیم. به صورت کمی نشان دادیم چشم‌ها در تصمیم افراد وزن بیشتری داشته‌اند اما افراد تنها با استفاده از اطلاعات چشم به تفکیک دو چهره نپرداخته‌اند بلکه حضور سایر مولفه‌ها موجب بهبود عملکرد هم در زمان پاسخ و هم در احتمال پاسخ شده است.

از مقایسه وزن‌های به دست آمده برای بازه‌های زمانی اولیه موثر در تصمیم می‌توان نتیجه گرفت حضور اطلاعات چندگانه مکانی به ویژه اطلاعات چشم کمک می‌کند تا سایر اطلاعات با وزن بیشتری جمع‌آوری شوند وزن‌های به دست آمده برای بینی و دهان در آزمایش‌های سه مولفه‌ای تفاوت معناداری با وزن به دست آمده برای این مولفه‌ها در آزمایش‌های تک مولفه‌ای دارد. این امر را می‌توان با حضور اطلاعات قابل اتکا (۳۱) توضیح داد که تاثیر بیشتری در تصمیم دارند. توجه به این نکته در مطالعات پیشین از نظر دورمانده بود. در قدم بعد به چگونگی وزن‌دهی به این اطلاعات به کمک رگرسیون لجستیک پرداختیم. نتایج حاکی از آن است که وزن جملات خطی به لحاظ آماری معنادار و جملات ضربی که نشان از برهم‌کنش اطلاعات این مولفه‌ها با یکدیگر دارند قابل صرف نظر کردن بود که با یافته مطالعه پیشین همخوانی دارد (۹).

جمع‌آوری اطلاعات مکانی را با فرض جمع‌آوری بی‌نقص اطلاعات سنجدیدیم و دریافتیم این مدل به تنهایی قادر به توضیح این پدیده نمی‌باشد و لازم است وزن‌های موثر مربوط به هر مولفه نیز در نظر گرفته شود. شاید این امر را بتوان توضیحی برای اثر بسیار مشاهده شده کل‌گرایانه و نحوه تاثیر حضور اطلاعات چندگانه مکانی در بهبود عملکرد در مقایسه با نمایش جداسازی شده این اطلاعات دانست.

هر مولفه می‌توان توسعه داد. به این ترتیب می‌توان توضیح قابل قبولی از تاثیر کمی مولفه‌ها در تصمیم با حضور محرك طبيعى ارائه داد.

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.REC.1399.1281 به تصویب کمیته اخلاقی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه علوم پزشکی ایران رسیده است. از داده‌های جمع‌آوری شده صرفاً در مطالعات علمی بدون ذکر نام شرکت‌کنندگان استفاده خواهد شد.

مشارکت نویسندگان

حدیثه حاجی محمدی: طراحی مطالعه، گردآوری داده‌ها، تحلیل و تفسیر داده‌ها، تهیه پیش‌نویس مقاله، اصلاح مقاله؛ سجاد ذباح: طراحی مطالعه، نظارت، اصلاح مقاله؛ جواد حاتمی: نظارت، اصلاح مقاله؛ رضا ابراهیم‌پور: طراحی مطالعه، نظارت، اصلاح مقاله.

منابع مالی

این پژوهش از پایان‌نامه با عنوان "بررسی سازوکار نوروئی تصمیم‌گیری ادراکی در حضور محرك طبيعى" مورد حمایت ستاد علوم شناختی با شماره ۹۹۹۰ و با پشتیبانی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی استخراج شده است.

تشکر و قدردانی

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

معناداری می‌گذارد. بنابراین، اگر هدف بررسی این فرآیند نزدیک به دنیای واقعی باشد می‌بایست مولفه مورد مطالعه را در یک بستر پیش‌زمینه‌ای مشابه نمایش داد.

عدم استفاده از ابزارهایی نظیر Eye Tracker از جمله محدودیت‌های این مطالعه می‌باشد. زیرا این ابزار می‌تواند موجب ارتقای ویژگی نظام‌مند این مطالعه در کنترل نگاه شرکت‌کنندگان در آزمون شود. به این ترتیب، اطمینان کمی از کنترل نگاه شرکت‌کنندگان در جریان آزمایش با حذف یکی از مراحل آموزشی انجام می‌شود و بهتر است در طراحی‌های بعدی در نظر گرفته شود. به علاوه، هرچند تعداد افراد شرکت‌کننده در آزمون و در نظر گرفتن حجم بالای داده اخذ شده از آنها از اعتبار آماری خوبی برای هر آزمودنی و ترکیب داده‌های به دست آمده از آنها با مطالعات معتبر مشابه در این حوزه هماهنگی دارد، افزایش تعداد افراد به انجام تحلیل‌های آماری متنوع بر روی نتایج به دست آمده از افراد از جمله جنسیت و سن در مطالعات بعدی کمک خواهد کرد.

این مطالعه، پس از ارائه تحلیل‌های آماری، پیشنهاد می‌دهد تا به کمک مدل‌سازی‌های رایج در تصمیم‌گیری ادراکی توضیح جامع‌تری از سازوکار این فرآیند ارائه شود و ضرایب معرفی شده به عنوان وزن موثر به مفاهیم شناختی ارتباط داده شوند. همچنین استفاده از مدل‌هایی که بتوانند یک سازوکار زیستی از طریق اتصالات مهاری و تحریکی نوروها در مغز ارائه دهند نیز برای تحلیل بیشتر توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

تصمیم‌گیری ادراکی در حضور محرك طبيعى با ترکیب اطلاعات غیریکنواخت مکانی به صورت عمدتاً خطی انجام می‌شود. به علاوه، فرضیه بهینگی بر اساس جمع‌آوری بدون نقص شواهد که بیشتر برای محرك‌های ساده‌تر مطرح شده بود را با در نظر گرفتن وزن مربوط به

References

- Gold JJ, Shadlen MN. The neural basis of decision making. *Annual Review of Neuroscience*. 2007;30:535-574.
- Philiastides M, Diaz J, Gherman S. Spatiotemporal characteristics and modulators of perceptual decision-making in the human brain. *Decision neuroscience: An Integrative perspective*. Cambridge, Massachusetts:Academic Press;2017. pp. 137-147.
- Shadlen MN, Kiani R. Decision making as a window on cognition. *Neuron*. 2013;80(3):791-806.
- O'Connell RG, Shadlen MN, Wong-Lin K, Kelly SP. Bridging neural and computational viewpoints on perceptual decision-making. *Trends in Neurosciences*. 2018;41(11):838-852.
- Hauser CK, Salinas E. Perceptual decision making. In: Jae-

- ger D, Jung R, editors. Encyclopedia of computational neuroscience. New York:Springer;2014.
6. Wimmer K, Compte A, Roxin A, Peixoto D, Renart A, De La Rocha J. Sensory integration dynamics in a hierarchical network explains choice probabilities in cortical area MT. *Nature Communications*. 2015;6(1):1-13.
 7. Drugowitsch J, Wyart V, Devauchelle A-D, Koechlin E. Computational precision of mental inference as critical source of human choice suboptimality. *Neuron*. 2016;92(6):1398-1411.
 8. Mareschal I, Dakin SC, Bex PJ. Dynamic properties of orientation discrimination assessed by using classification images. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2006;103(13):5131-5136.
 9. Okazawa G, Sha L, Kiani R. Linear integration of sensory evidence over space and time underlies face categorization. bioRxiv. 2020.
 10. Heekeren HR, Marrett S, Bandettini PA, Ungerleider LG. A general mechanism for perceptual decision-making in the human brain. *Nature*. 2004;431(7010):859-862.
 11. Philiastides MG, Sajda P. Temporal characterization of the neural correlates of perceptual decision making in the human brain. *Cerebral Cortex*. 2006;16(4):509-518.
 12. Okazawa G, Sha L, Purcell BA, Kiani R. Psychophysical reverse correlation reflects both sensory and decision-making processes. *Nature Communications*. 2018;9(1):3479.
 13. Waskom ML, Okazawa G, Kiani R. Designing and interpreting psychophysical investigations of cognition. *Neuron*. 2019;104(1):100-112.
 14. Barraclough NE, Perrett DI. From single cells to social perception. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2011;366(1571):1739-1752.
 15. Rossion B. Understanding face perception by means of human electrophysiology. *Trends in Cognitive Sciences*. 2014;18(6):310-318.
 16. Tsao DY, Livingstone MS. Mechanisms of face perception. *Annual Review of Neuroscience*. 2008;31:411-437.
 17. Ratcliff R, Rouder JN. Modeling response times for two-choice decisions. *Psychological Science*. 1998;9(5):347-356.
 18. Palmer J, Huk AC, Shadlen MN. The effect of stimulus strength on the speed and accuracy of a perceptual decision. *Journal of Vision*. 2005;5(5):376-404.
 19. Logan AJ, Gordon GE, Loffler G. Contributions of individual face features to face discrimination. *Vision Research*. 2017;137:29-39.
 20. Logan AJ, Gordon GE, Loffler G. From individual features to full faces: Combining aspects of face information. *Journal of Vision*. 2019;19(4):23.
 21. Henriksson L, Mur M, Kriegeskorte N. Faciotopy-A face-feature map with face-like topology in the human occipital face area. *Cortex*. 2015;72:156-167.
 22. Zhaoping L. A new framework for understanding vision from the perspective of the primary visual cortex. *Current Opinion in Neurobiology*. 2019;58:1-10.
 23. 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.
 24. Tottenham N, Tanaka JW, Leon AC, McCarry T, Nurse M, Hare TA, et al. The NimStim set of facial expressions: Judgments from untrained research participants. *Psychiatry Research*. 2009;168(3):242-249.
 25. Ahumada AJ. Classification image weights and internal noise level estimation. *Journal of Vision*. 2002;2(1):121-131.
 26. Knoblauch K, Maloney LT. Estimating classification images with generalized linear and additive models. *Journal of Vision*. 2008;8(16):1-19.
 27. Watson AB, Null CH. Digital images and human vision. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press;1997.
 28. Kiani R, Hanks TD, Shadlen MN. Bounded integration in parietal cortex underlies decisions even when viewing duration is dictated by the environment. *Journal of Neuroscience*. 2008;28(12):3017-3029.
 29. Gold JM, Mundy PJ, Tjan BS. The perception of a face is no more than the sum of its parts. *Psychological Science*. 2012;23(4):427-434.

30. Waskom ML, Kiani R. Decision making through integration of sensory evidence at prolonged timescales. *Current Biology*. 2018;28(23):3850-3856.
31. Fetsch CR, Kiani R, Newsome WT, Shadlen MN. Effects of cortical microstimulation on confidence in a perceptual decision. *Neuron*. 2014;83(4):797-804.
32. Maurer D, Le Grand R, Mondloch CJ. The many faces of configural processing. *Trends in Cognitive Sciences*. 2002;6(6):255-260.
33. Sinha P, Balas B, Ostrovsky Y, Russell R. Face recognition by humans: Nineteen results all computer vision researchers should know about. *Proceedings of the IEEE*. 2006;94(11):1948-1962.
34. Shen J, Palmeri TJ. The perception of a face can be greater than the sum of its parts. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2015;22(3):710-716.
35. Gold JM. A perceptually completed whole is less than the sum of its parts. *Psychological Science*. 2014;25(6):1206-1217.

