Investigating Decision-Making with Insufficient Evidence Using Behavioral Modeling

Kimia Darparnian[1], Zahra Azizi[2], Reza Ebrahimpour*[1,3]

[1]Department of Artificial Intelligence, Faculty of Computer Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
[2]Department of Cognitive Modeling, Institute for Cognitive Science Studies, Tehran, Iran
[3]Institute for Convergent Science and Technology, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

Article Info:

Received: **25 June 2022** ***Revised:*** **31 Aug 2022** ***Accepted*****: 6 Sep 2022**

ABSTRACT

Introduction: Obliging to make decisions with only limited and sometimes insufficient evidence is one of the challenges that we face. Previous studies have examined the effect of evidence on performance, confidence, and response time. The question of what leads to a decision with insufficient evidence is still shrouded in ambiguity. This research tries to find an answer by experimenting with random dot motion tasks and using behavioral modeling. ***Materials and Methods:*** A random dot motion psychophysics experiment was designed and 10 participants were asked to indicate the direction of dots and the degree of their confidence after observing the movement of the dots. In this experiment, the duration of stimulus display was variable and, in each trial, randomly had one of the six specified durations (80 to 720 milliseconds). As the stimulus display time varied, participants were exposed to sufficient and insufficient evidence to make a decision. The results of the participants' behavioral data were analyzed by psychometric functions and the participants' behavior was modeled using the drift-diffusion model. ***Results:*** Our behavioral data indicate that the duration of stimulus display has a significant impact on increasing accuracy and confidence as well as on reducing response time. Behavioral modeling results also showed that the decision components (i.e., threshold separation, drift rate, and none-decision time) are affected by changes in stimulus duration, and threshold separation is significantly affected. The threshold separation increases significantly as the stimulus shows increases. ***Conclusion***: Our investigation supports the hypothesis that the brain changes the decision threshold and adapts to the situation when making decisions based on insufficient evidence.

Keywords:

1. Decision Making
2. Psychophysics
3. Reaction Time

***Corresponding Author:** Reza Ebrahimpour

Email: *ebrahimpour@ipm.ir*

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.52547/shefa.10.4.10]

بررسی تصمیم‌گیری با شواهد ناکافی با استفاده از مدل‌سازی رفتاری

کیمیا دارپرنیان[۱]، زهرا عزیزی[۲]، رضا ابراهیم پور*[۱،۳]

[۱]گروه هوش مصنوعی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه تربیت معلم شهید رجایی، تهران، ایران
[۲]گروه مدل‌سازی شناختی، پژوهشکده علوم شناختی، تهران، ایران
[۳]پژوهشکده علوم شناختی، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:
دریافت: ۴ تیر ۱۴۰۱ اصلاحیه: ۹ شهریور ۱۴۰۱ پذیرش: ۱۵ شهریور ۱۴۰۱

چکیده

مقدمه: الزام به تصمیم‌گیری تنها با شواهدی محدود و بعضا ناکافی یکی از چالش‌هایی است که ناگزیر از مواجهه با آن هستیم. در مطالعات پیشین تاثیر میزان شواهد در میزان عملکرد، قطعیت و زمان پاسخ بررسی شده است. اما این سوال که با شواهد ناکافی، چه عواملی منجر به اخذ تصمیم می‌شود، در هاله‌ای از ابهام است. این پژوهش با کمک آزمایش نقاط متحرک تصادفی و استفاده از مدل‌سازی رفتاری، سعی در پاسخ‌دهی به آن دارد. **مواد و روش‌ها:** آزمایش روان- فیزیک نقاط متحرک تصادفی طراحی شد و از ۱۰ شرکت‌کننده خواسته شد پس از مشاهده‌ی حرکت نقاط، جهت حرکت و میزان قطعیت خود را اعلام نمایند. در این آزمایش مدت‌زمان نمایش محرک متغیر بوده و در هر آزمایه به‌طور تصادفی یکی از شش مدت‌زمان تعیین‌شده (از ۸۰ تا ۷۲۰ میلی‌ثانیه) را داشته است. با متغیر بودن زمان نمایش محرک، شرکت‌کنندگان در معرض شواهد کافی و ناکافی جهت تصمیم‌گیری قرار گرفتند. نتایج داده‌های رفتاری شرکت‌کنندگان با توابع روان‌سنجی مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از مدل رانش- انتشار رفتار شرکت‌کنندگان، مدل‌سازی شد. **یافته‌ها:** داده‌های رفتاری ما نشان می‌دهد که مدت‌زمان نمایش محرک، تاثیر معنی‌داری در افزایش میزان دقت و قطعیت و همچنین در کاهش زمان پاسخ‌گویی دارد. نتایج مدل‌سازی رفتاری نیز نشان داد که مؤلفه‌های تصمیم (آستانهٔ تصمیم، نرخ رانش، و مولفهٔ غیر تصمیم) تحت تأثیر تغییر مدت‌زمان نمایش محرک هستند و آستانهٔ تصمیم به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. آستانهٔ تصمیم با افزایش مدت‌زمان نمایش محرک به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. **نتیجه‌گیری:** پژوهش‌های ما، این فرضیه که مغز هنگام تصمیم‌گیری بر مبنای شواهد ناکافی، آستانهٔ تصمیم را تغییر داده و با شرایط سازگار می‌شود را تقویت می‌کند.

واژه‌های کلیدی:
۱-تصمیم‌گیری
۲-روان-فیزیک
۳-زمان‌پاسخ

***نویسنده مسئول:** رضا ابراهیم‌پور

پست الکترونیک: *ebrahimpour@ipm.ir*

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.52547/shefa.10.4.10]

مقدمه

ادامهٔ حیات بشر همواره وابسته به هزاران انتخابی بوده که در طی روز با آن مواجه می‌شود. بخش اعظمی از این تصمیم‌گیری‌ها، تصمیم‌های ادراکی[1] هستند که بر پایه‌ی اطلاعات دریافتی از طریق حواس شکل می‌گیرند و گزینهٔ انتخابی به رفتار ترجمه می‌شود (۱). گاهی چالش‌هایی این تصمیم‌گیری را سخت‌تر می‌کند. فرض کنید در روزی بارانی در حال رانندگی هستید. اطلاعات بصری که از مسیر پیش‌رو دریافت می‌کنید، در مقایسه با اطلاعات بصری در روزی با هوای صاف و آفتابی همراه با نویز بیشتری است. وجود مه نیز ممکن است منجر به کاهش دید شود. در این شرایط، باوجود اطلاعات ناکافی، برای جهت‌دهی اتومبیل تصمیم‌گیری خواهید کرد. بااینکه بسیاری از تصمیم‌گیری‌ها (مانند مثال اخیر)، با شواهد[2] ناکافی اخذ می‌شود اما کمتر به بررسی آن‌ها پرداخته شده است. مسئلهٔ تصمیم‌گیری در دهه‌های اخیر از جنبه‌های مختلف موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته است (رجوع به مقاله ۲) و آزمایش‌هایی در چارچوب انتخاب یک گزینه از میان دو گزینه[3] با الگوهای متفاوت طراحی شدند (۳). مطالعات نشان داده‌اند که در الگوی آزمایش مدت‌زمان ثابت[4]، شرکت‌کنندگان از تمامی شواهدی که در طول زمان دریافت می‌کنند، برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند؛ این موضوع در تحقیقات نوروفیزیولوژی و بررسی نقش نواحی LIP[5] و MT[6] و مخچه[7] در تصمیم‌گیری و یا در بررسی نشتی بودن جمع‌آوری شواهد[8] نشان داده شده است (۷-۴). همچنین دقت شرکت‌کنندگان در الگوی مدت‌زمان متغیر[9] نمایش محرک با افزایش مدت‌زمان نمایش بهبود می‌یابد؛ در تحقیقات نوروفیزیولوژی بررسی قطعیت تصمیم (میزان اطمینان فرد از تصمیم اخذشده)، بررسی فعالیت‌های نواحی LIP و MIP[10] در تصمیم‌گیری، بررسی تجمیع شواهد، این موضوع نشان داده شده است (۱۲-۸). درنهایت، در الگوی پاسخ آزاد[11] نشان داده شده است که زمان پاسخ در تصمیم‌های سخت‌تر، طولانی‌تر است؛ برای مثال در تحقیقات نوروفیزیولوژی در تصمیم‌هایی با بیش از دو گزینه، بررسی فعالیت‌های ناحیه LIP در تصمیم‌گیری، مدل‌سازی ارتباط دقت و زمان پاسخ این موضوع نمایش داده شده است (۱۵-۱۳). افزون بر این، قطعیت تصمیم در این آزمایش‌ها، یکی از پارامترهایی است که بخش اعظمی از آن ارتباط مستقیمی با میزان شواهد در دسترس دارد و بخشی را عوامل درونی فرد تعیین می‌کند (۱۶، ۸). قطعیت بالا در تصمیم، به افراد کمک می‌کند تا تصمیم خود را تغییر ندهند (۱۷). در سال‌های اخیر، مدل‌های محاسباتی برای فهم بهتر فرآیند تصمیم‌گیری ارائه شده است؛ یکی از مدل‌های پرکاربرد برای تعریف رفتار آزمودنی، مدل جمع‌آوری شواهد[12] است (۱۸). در این مدل، آزمودنی شواهد مرتبط با گزینه‌ها را جمع می‌کند و زمانی که به حد آستانهٔ تصمیم برسد، تصمیم اخذ می‌شود. مطالعات نوروفیزیولوژی انجام‌شده بر روی آزمودنی میمون بیان‌گر وجود چنین الگویی در ناحیه‌ای در مغز است (۱۹). مدل رانش- انتشار[13]، یکی از نمونه‌های مدل جمع‌آوری شواهد تا آستانه‌ی تصمیم است. این مدل، به دلیل توجه به داده‌های رفتاری نظیر توزیع زمان پاسخ در پاسخ‌های صحیح و نادرست و همین‌طور مرتبط بودن نتایج آن با فعالیت‌های نورونی، در دو دهه‌ی اخیر موردتوجه قرار گرفته است (۲۰). در این مدل، میزان تفاوت در شواهد جمع‌آوری‌شده به نفع هریک از گزینه‌ها در نظر گرفته می‌شود که ازلحاظ رفتاری، عملکردی نزدیک به نورون‌های ناحیه LIP مغز دارد که نقش مهمی در تصمیم‌گیری ایفا می‌کند (۲۲، ۲۱). در عموم مواقع مدل رانش- انتشار به‌خوبی بر روی داده‌های رفتاری تنظیم می‌شود اما اینکه پارامترهای تصمیم‌گیری در شرایطی که شواهد ناکافی و همراه با نویز در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌گیرد، چطور تغییر می‌کند، مشخص نیست (۲۳). در این پژوهش، به‌منظور بررسی تاثیر شواهد ناکافی و همراه با نویز در تصمیم‌گیری، از محرک نقاط متحرک تصادفی (RDM)[14] استفاده شد. میزان شواهد دریافتی فرد از طریق کنترل مدت‌زمان نمایش و قدرت محرک به نفع یکی از گزینه‌ها (درصد انسجام[15] نقاط) کنترل شد. علاوه بر بررسی درستی پاسخ افراد، قطعیت آن‌ها نیز به‌عنوان یکی از خروجی‌های تصمیم بررسی شد. همچنین با به‌کارگیری مدل‌سازی رفتاری رانش- انتشار، پارامترهای اخذ تصمیم باوجود شواهد کافی و ناکافی، بررسی و مقایسه شد. پیش‌بینی کردیم که در شرایط همراه با شواهد ناکافی، حداقل یکی از مولفه‌های اصلی تصمیم (شامل نقطه شروع، آستانه تصمیم، نرخ جمع‌آوری شواهد و زمان مرتبط با عواملی غیر از فرایند تصمیم) متغیر باشد و ازآنجاکه مطالعات نشان داده‌اند که افراد می‌توانند آستانهٔ تصمیم را بر اساس تاکید بر دقت و یا زمان پاسخ در آزمایش تغییر دهند (۲۳، ۳)، این فرضیه مطرح شد

[1] Perceptual decisions
[2] Evidence
[3] Two alternatives forced choice (2AFC)
[4] Fixed stimulus duration (FSD)
[5] Lateral intraparietal
[6] Middle temporal
[7] Cerebellum
[8] Leaky evidence accumulation
[9] Variable stimulus duration (VSD)
[10] Medial intraparietal
[11] Free response
[12] Evidence
[13] Drift-diffusion model (DDM)
[14] Random dot motion (RDM)
[15] Coherency

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.10]

که برای رسیدن به تصمیم با میزان ناکافی شواهد، آستانهٔ تصمیم کاهش یافته تا تصمیم گرفته شود. در این مقاله به بررسی این فرضیه با استفاده از داده‌های رفتاری و مدل‌سازی با مدل رانش- انتشار پرداختیم.

مواد و روش‌ها

شرکت‌کننده‌ها

در این آزمایش، ۱۰ شرکت‌کننده (شش خانم، ۲۵ تا ۳۹ سال سن (میانگین سنی ۳۲ سال)) به روش نمونه‌گیری در دسترس از میان داوطلبین انتخاب و در آزمایش شرکت کردند. تمامی شرکت‌کنندگان راست‌دست و از سلامت بینایی برخوردار بودند و یا با کمک عینک طبی، بینایی کامل داشتند. همچنین فاقد سابقهٔ اختلال عصبی و روانپزشکی بودند. شرکت‌کنندگان از طریق شرکت در جلسات آموزشی با نحوهٔ انجام آزمایش، آشنایی پیدا کردند. در طی این جلسات، شرکت‌کنندگان به عملکرد قابل قبول رسیدند و قادر به برقراری تعادل میان دقت و زمان پاسخ‌گویی بودند. در آزمایش اصلی از هر فرد سه جلسه و در هر جلسه، چهار بلوک ۲۰۰ آزمایه‌ای (۲۴۰۰ آزمایه برای هر شرکت‌کننده) داده اخذ شد. در ابتدای هر جلسه نحوهٔ انجام آزمایش برای شرکت‌کنندگان شرح داده می‌شد. قبل از برگزاری آزمایش نیز، شرکت‌کنندگان برگهٔ رضایت‌نامه کتبی را خوانده و امضا کردند. آزمایش توسط کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی ایران با شناسه اخلاق IR.IUMS.REC.1399.1282 تایید شد.

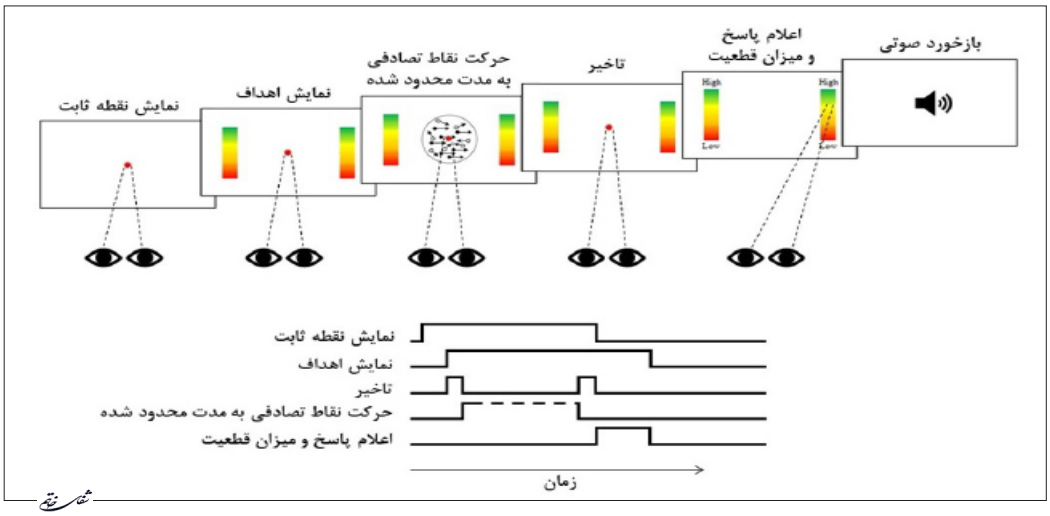
محرک بینایی

در آزمایش انجام‌شده، از محرک بینایی RDM با زمان ثابت استفاده شد (تصویر ۱). در هر آزمایه، در مرکز تصویر تعدادی نقطهٔ متحرک به رنگ سفید بر روی زمینهٔ سیاه‌رنگ در دایره‌ای به قطر ۵ درجه بینایی به جهات مختلف و تصادفی به حرکت در می‌آمدند (۲۴). اندازه‌ی این نقاط ۲ × ۲ پیکسل (به‌اندازهٔ ۰/۰۸۸ درجهٔ بینایی برای هر ضلع) و میانگین تراکم آن نیز ۱۶/۷ نقاط بر مربع درجهٔ بینایی در هر ثانیه بود. قدرت محرک در هر مرحله به‌صورت تصادفی یکی از مقادیر ۰، ۳/۲، ۶/۴، ۱۲/۸ و ۲۵/۶ و ۵۱/۲ درصد بود. پاسخ صحیح در تمامی آزمایه‌ها یکی از جهات راست و یا چپ بود. در آزمایه‌هایی با قدرت محرک ۰ درصد، به‌صورت تصادفی سمت راست و یا سمت چپ در نظر گرفته می‌شد. زمان نمایش محرک محدود بود و در هر آزمایه به‌صورت تصادفی از توزیع یکنواخت یکی از مقادیر ۸۰، ۱۲۰، ۲۴۰، ۳۶۰، ۴۸۰ و ۷۲۰ میلی‌ثانیه انتخاب می‌شد.

چگونگی انجام آزمایش

آزمایش در اتاقی نیمه‌تاریک، با استفاده از یک نمایشگر CRT به قطر ۱۷ اینچ انجام شد. شرکت‌کننده بر روی یک صندلی با قابلیت تنظیم ارتفاع، نشسته و از فاصله‌ی ۵۷ سانتی‌متری از صفحه‌ی نمایشگر به محرک نگاه می‌کرد. جهت اطمینان از حفظ فاصله، از تکیه‌گاه چانه استفاده شد. آزمایش RDM زمان ثابت توسط جعبه‌ابزار Psychtoolbox در محیط متلب پیاده‌سازی شد (۲۵). در ابتدای هر مرحله از این آزمایش نقطهٔ قرمزی به قطر ۰/۳ درجهٔ بینایی در مرکز صفحه‌ی نمایشگر ظاهر و تا پایان نمایش محرک، نشان داده شد. ردیاب چشمی Eyelink 1000 Plus (SR-Research) نیز حرکت مردمک چشم شرکت‌کننده را ردیابی می‌کرد و پس از تایید خیره ماندن او (به نقطهٔ قرمز) به مدت ۵۰۰ میلی‌ثانیه، آزمایه شروع می‌شود. شروع هر آزمایه با تاخیری تصادفی از توزیع نمایی در بازه‌ی زمانی ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌ثانیه همراه بود. دو مستطیل با طیف رنگی از قرمز به سبز با ارتفاع ۹ درجهٔ بینایی و عرض ۰/۵ درجهٔ بینایی نیز از قبل از نمایش محرک به‌صورت عمودی در طرفین محرک نمایش داده شدند. محرک بینایی در وضوح تصویر ۶۰۰ × ۸۰۰ با فرکانس ۷۵ هرتز بر روی صفحهٔ نمایشگر به شرکت‌کننده نشان داده شد. در شش مدت‌زمان مشخص، نقاط در دایره‌ای در مرکز تصویر نمایشگر به حرکت در می‌آمدند. شرکت‌کننده تا اتمام نمایش محرک ملزم به خیره ماندن به نقطهٔ قرمز بود. پس از خاتمهٔ نمایش محرک، ناپدید شدن نقطهٔ قرمز با تاخیری تصادفی از توزیع نمایی بریده‌شده در بازه‌ی زمانی ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌ثانیه، زمان اعلام پاسخ را به شرکت‌کننده نشان می‌داد. شرکت‌کننده پاسخ خود و میزان قطعیتی که از تصمیم داشت را با نگاه کردن و خیره ماندن به مدت ۵۰۰ میلی‌ثانیه به نقطه‌ای از طیف رنگی مستطیل جهت مطلوبش که بیانگر میزان قطعیتش بود (و یا پیرامون آن به عرض ۰/۲۵ درجه بینایی) اعلام داشت. رنگ قرمز بیانگر پایین‌ترین میزان قطعیت و رنگ سبز بیانگر میزان قطعیت بالا بود که با دو کلمهٔ Low و High در پایین و بالای طیف رنگی هر دو جهت برای شرکت‌کننده مشخص شده بود. پس از اعلام تصمیم، بازخورد صوتی مبنی بر درستی (با فرکانس ۲۵۰ هرتز) و یا نادرستی پاسخ (با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز) پخش می‌شد.

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.10]



تصویر ۱- طراحی آزمایش. از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا پس از خیره ماندن به نقطه قرمز مرکز صفحه و شروع آزمایه، تا پایان نمایش نقطهٔ قرمز به آن خیره بمانند. و پس از ناپدید شدن نقطه قرمز، با نگاه کردن و خیره شدن به نوار رنگی سمت متناظر با جواب صحیح، پاسخ درست و میزان قطعیت خود را هم‌زمان اعلام کنند. رنگ قرمز نوار نمایانگر پایین‌ترین میزان قطعیت و رنگ سبز نوار، بالاترین میزان قطعیت و طیف رنگی مقادیر میان این دو را نشان می‌داد. سیر زمانی روند آزمایش در تصویر پایین قابل‌مشاهده است. پس از نمایش نقطه ثابت، اهداف نمایان می‌شود و با تاخیری حرکت نقاط تصادفی شروع شد. با تاخیری پس از نمایش نقاط، با محو شدن نقطهٔ ثابت، زمان اعلام پاسخ و میزان قطعیت اعلام می‌شود.

تحلیل مدل رانش- انتشار

بر اساس نظریه بازیابی حافظه[16]، اخذ تصمیم حاصل فرآیند مقایسه هم‌زمان شواهد به نفع دو گزینه در طی زمان است و سرعت و دقت تصمیم‌هایی که نیاز به بازخوانی از حافظه دارند، استوار بر الگوی تحلیل دنباله‌ای[17] است که در آن تجمیع شواهد در طی زمان رخ می‌دهد و فرض می‌شود بخشی از فرآیند تصمیم‌گیری صرف انتخاب گزینه و بخشی به‌دنبال مشخص کردن زمان خاتمه تصمیم است در مدل رانش- انتشار، شواهد به‌تدریج جمع شده و به سمت یکی از دو مرز متناظر با دو گزینه پیش می‌رود (۲۶، ۱۸). فرض می‌شود زمانی که اختلاف شواهد به مرز آستانه برسد، تصمیم اخذ خواهد شد. با فرض اینکه احتمال اولیه انتخاب دو گزینه برابر است، (vt) (شواهد جمع‌آوری‌شده)، به‌صورت معادله (۱) محاسبه می‌شود (۳):

$$dv(t) = \mu dt + \sigma dW, v(0) = 0 \quad (۱)$$

که در آن dv بیانگر تغییرات v در فواصل کوتاه زمانی، mudt بیانگر نرخ رانش[18] (میانگین افزایش شواهد به نفع گزینهٔ صحیح در واحد زمان) و σdW بیانگر مفهوم انتشار است که نویز سفیدی از توزیع گوسی با میانگین صفر و واریانس σ2dt است. بر اساس تعریف مذکور، V=0 به معنای برابری شواهد به نفع هر دو گزینه است. اگر پیش از تصمیم‌گیری، تمایل به یکی از گزینه‌ها بیشتر/کمتر نباشد، نقطهٔ شروع[19] جمع‌آوری شواهد در z/2 قرار خواهد داشت که z میزان آستانهٔ تعیین‌شده را نشان می‌دهد. زمان پاسخ در این مدل بر اساس معادله (۳) محاسبه می‌شود.

$$DT = \frac{z}{\mu} tanh\left(\frac{\mu z}{\sigma^2}\right) \quad (۲)$$
$$RT = DT + T_0 \quad (۳)$$

که در آن DT میانگین زمان فرایند تصمیم‌گیری و T_0 مرتبط با فرایندهای حسی و حرکتی (مانند کدگذاری محرک در مغز و یا فرایند حرکتی اعلام پاسخ) است. مجموع این دو، متغیر RT را می‌سازد که بیانگر زمان پاسخ خواهد بود.

در این پژوهش، از نرم‌افزار Fast-dm استفاده شد (۲۸، ۲۷). این نرم‌افزار امکان تخمین پارامترهای مدل رانش-انتشار را با داشتن نتایج عملکردی و زمان پاسخ شرکت‌کنندگان فراهم می‌کند. جهت بررسی فرضیهٔ مطرح‌شده (متغیر بودن آستانهٔ تصمیم)، آستانهٔ تصمیم، نرخ رانش و زمان مرتبط با فرایندهای حسی و حرکتی، به‌صورت پارامتر آزاد تعریف شدند.

تحلیل آماری داده‌ها

به‌طور مجموع ۲۴۰۰۰ آزمایه از شرکت‌کنندگان اخذ و آزمایه‌هایی که مدت‌زمان پاسخ آن به‌عنوان داده‌ی پرت تشخیص داده شدند، حذف گردید (۱/۹۲ درصد از مجموع داده‌ها). بازه‌ی (میانه±3MAD)

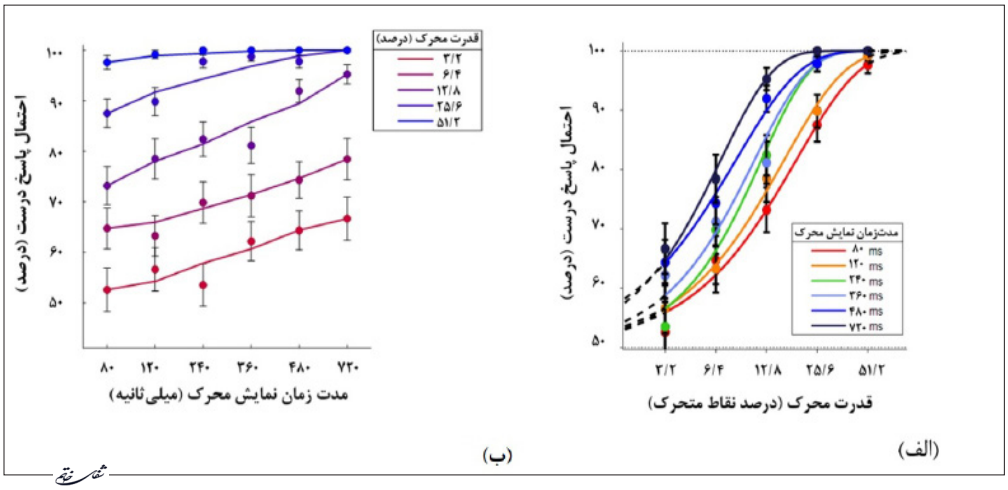
[16] Memory retrieval theory
[17] Sequential analysis
[18] Drift rate
[19] Starting point

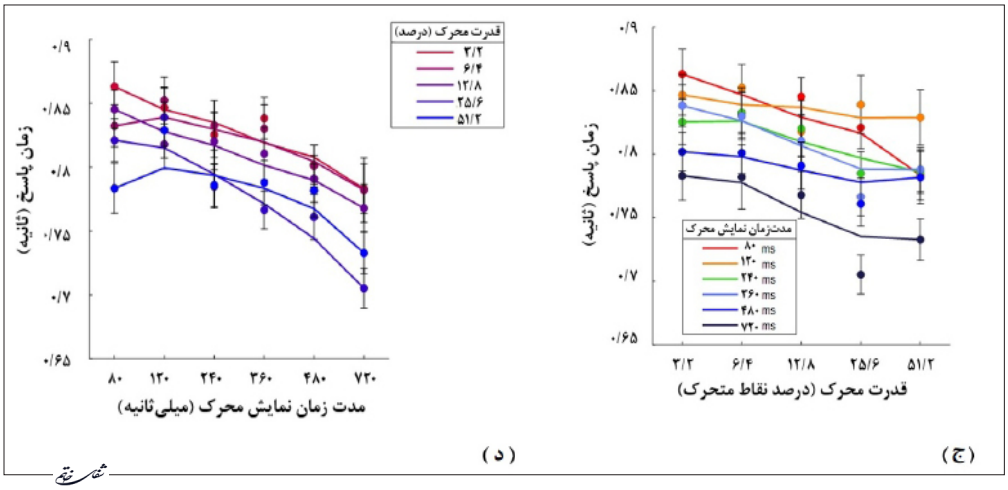
[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.10]

جهت تشخیص داده‌های پرت در نظر گرفته شد. MAD میانهٔ قدر مطلق انحراف‌های تمام داده‌ها از میانه است و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود

$$MAD = Median\ (|X_i - Median(X)|) \quad (۴)$$

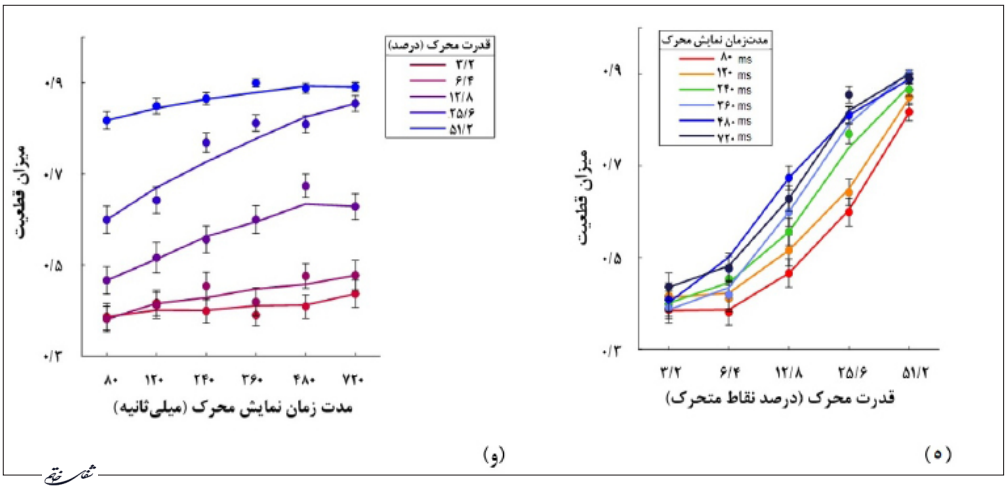
که در آن X_i معرف هر داده است. جهت بررسی تاثیر میزان نمایش محرک، با توجه به افزایش میزان نمایش محرک بر اساس افزایش قدرت محرک (تصویر ۲ (الف-ج-ه)) و بالعکس افزایش میزان قدرت محرک بر اساس افزایش میزان نمایش محرک (تصویر ۲ (ب-د-و)) عملکرد، زمان پاسخ و میزان قطعیت شرکت‌کنندگان محاسبه شد. همچنین از آزمون ویلکاکسون[20] با مقدار آلفای ۰/۰۵ برای مقایسهٔ گروه داده‌های مرتبط با دو مدت‌زمان نمایش و یا دو قدرت محرک استفاده شد. در تحلیل همبستگی تصویر ۲ (ب-د-و) از آزمون همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن[21] استفاده شد. در مدل‌سازی رانش- انتشار داده‌های هر شرکت‌کننده، از نرم‌افزار Fast-dm با تابع بهینه‌سازی کولموگروف- اسمیرنوف[22] استفاده شد. این روش، برای مجموعه داده‌های کوچک، نسبت به سایر روش‌ها، از دقت بالایی برخوردار است. علاوه بر آنکه، تمام و نه بخشی از توزیع زمان پاسخ را در نظر می‌گیرد و همچنین حساسیت کمتری نسبت به داده‌های پرتی که ممکن است حذف نشده باشند دارد (۲۸). جهت بررسی تاثیر مدت‌زمان‌های نمایش محرک بر مولفه‌های تصمیم در نتایج مدل رانش- انتشار، از تحلیل واریانس اندازه مکرر و آزمون لاندای ویلکز[23] استفاده شد. تحلیل‌های آماری داده‌های رفتاری در





[20] Wilcoxon signed-rank test
[21] Spearman's rank correlation test
[22] Kolmogorov–Smirnov
[23] Wilks Lambda

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.10]



تصویر ۲- نتایج تحلیل داده‌های رفتاری تمامی شرکت‌کنندگان در شش مدت‌زمان نمایش محرک و پنج قدرت محرک مختلف در آزمایش RDM. الف) میانگین دقت شرکت‌کنندگان. ج) میانگین زمان پاسخ‌گویی پس از اتمام نمایش محرک شرکت‌کنندگان. ه) میانگین میزان قطعیت اعلام‌شده همراه با پاسخ شرکت‌کنندگان. ب-د-و) تغییرات سه مولفهٔ دقت، زمان پاسخ و قطعیت بر اساس تغییرات مدت‌زمان نمایش و قدرت محرک. میزان خطا با SEM رسم شده است.

نرم‌افزار متلب نسخه R2018b و تحلیل‌های آماری مدل رانش- انتشار در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

یافته‌ها

در جهت پاسخ به این سوال که «چگونه در شرایط خاص کمبود شواهد کافی و همراه با نویز بودن شواهد موجود، تصمیم اخذ می‌شود و در این شرایط چه پارامترهایی از تصمیم تغییر می‌کنند؟» آزمایش RDM زمان ثابت به‌صورتی طراحی شد که در آن ۱۰ شرکت‌کننده به‌صورت تصادفی با شش مدت‌زمان متفاوت نمایش محرک مواجه می‌شدند (تصویر ۱). در تحلیل داده‌ها فقط از آزمایه‌هایی استفاده شد که تاخیر قبل از اعلام پاسخ شرکت‌کنندگان بین ۴۰۰ میلی‌ثانیه و ۵۰۰ میلی‌ثانیه بود.

با تحلیل داده‌های رفتاری شرکت‌کنندگان، بر اساس قدرت محرک و مدت‌زمان نمایش محرک، تصویر ۲ به دست آمد. تصویر ۲- الف نشان‌دهنده‌ی میزان دقت شرکت‌کنندگان با توجه به‌سختی آزمایش در شش مدت‌زمان نمایش محرک است. منحنی رسم شده بر روی میانگین داده‌ها، تابع توزیع تجمعی وایبول[24] است. با افزایش زمان نمایش محرک، افزایش معنی‌داری[25] در میزان دقت (تصویر ۲- الف) در تمامی جفت مدت‌زمان‌ها به‌جز مابین دو مدت‌زمان متوالی (مانند ۱۲۰ و ۲۴۰ میلی‌ثانیه) مشاهده شد ($P<10^{-2}$). افزایش زمان نمایش محرک نیز موجب کاهش معنی‌دار زمان پاسخ (تصویر ۲-ج) شد ($P<0/05$) اما زمان پاسخ شرکت‌کنندگان در بین مدت‌زمان‌های ۸۰ و ۱۲۰ و همچنین بین سه مدت‌زمان ۲۴۰ و ۳۶۰ و ۴۸۰ میلی‌ثانیه نزدیک به یکدیگر بود. افزایش معنی‌دار میزان قطعیت (تصویر ۲-ه) نیز با افزایش زمان نمایش محرک در مقایسهٔ سه مدت‌زمان ۸۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ میلی‌ثانیه مشاهده شد ($P<0/05$). به‌طورکلی رفتار شرکت‌کنندگان (دقت، زمان پاسخ و میزان قطعیت) در دو مدت‌زمان نمایش ۳۶۰ و ۴۸۰ میلی‌ثانیه تقریبا مشابه بود و تفاوت معنی‌داری نداشت. تغییرات دقت، زمان پاسخ و همچنین میزان قطعیت شرکت‌کنندگان با افزایش قدرت محرک بر اساس افزایش مدت‌زمان نمایش محرک نیز تحلیل شد. با افزایش قدرت محرک میزان دقت به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد ($P<10^{-5}$) و در زمان پاسخ شرکت‌کنندگان نیز (به‌جز در میان دو میزان قدرت ۳/۲ و ۶/۴ درصد و در میان دو میزان قدرت ۲۵/۶ و۵۱/۲ درصد) کاهش معنی‌داری دیده شد ($P<0/05$). افزایش میزان قطعیت شرکت‌کنندگان نیز (به‌جز در میان دو میزان قدرت ۳/۲ و ۶/۴ درصد) معنی‌دار بود ($P<10^{-14}$).

همبستگی نتایج رفتاری شرکت‌کنندگان حاکی از تاثیر بیش‌تر قدرت محرک ($r=0/40885$، $P<10^{-192}$) در مقایسه با مدت‌زمان نمایش محرک ($r=0/1098$، $P<10^{-14}$) است. به این معنا که در آزمایه‌های سخت، افزایش مدت‌زمان نمایش محرک کمک زیادی به بهبود احتمال پاسخ درست شرکت‌کنندگان نکرده است. این تاثیر بیش‌تر افزایش قدرت محرک نسبت به افزایش مدت‌زمان نمایش محرک، در بهبود زمان

[24] Weibull cumulative distribution
[25] Significant

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.10]

پاسخ و قطعیت شرکت‌کنندگان نیز دیده می‌شود.

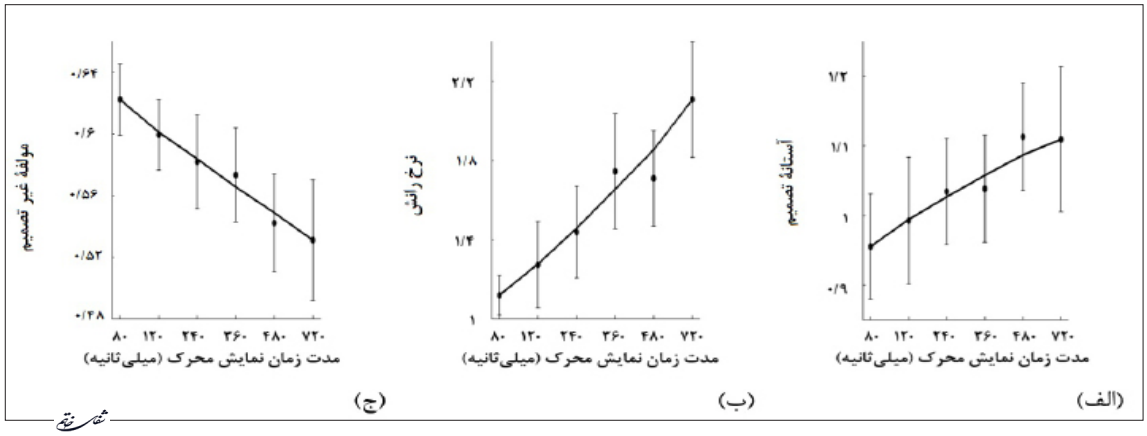
با توجه به داده‌های رفتاری، دیده شد که اخذ تصمیم درست در آزمایه‌هایی با شواهد ناکافی و مدت‌زمان نمایش محرک بسیار کوتاه (۸۰ و ۱۲۰ میلی‌ثانیه)، احتمال کمتری داشت. در این آزمایه‌ها شواهد به حدی نبود که فرد قادر به تصمیم‌گیری باشد اما نهایتا تصمیم خود را بالاتر از حد شانس[۲۶] اعلام داشته است. به نظر می‌رسد در این‌دست تصمیم‌ها تغییر یکی از مولفه‌های اصلی تصمیم دخیل است. فرض اولیه، ازآنجاکه آستانهٔ تصمیم تنها مولفهٔ قابل‌تغییر به‌واسطهٔ شرکت‌کننده است، امکان متغیر بودن آستانهٔ تصمیم است. بر اساس نتایج مدل‌سازی رانش- انتشار (تصویر ۳) دیده شد که با افزایش مدت‌زمان نمایش محرک نه‌تنها آستانهٔ تصمیم (تصویر ۳-الف) به‌طور معنی‌داری افزایش یافته ($F(5،5)=5/525$، $P=0/04$)، بلکه نرخ رانش (تصویر ۳-ب) نیز افزایش ($F(5،5)=1/817$، $P=0/26$) و مولفه غیرتصمیم (تصویر ۳-ج) کاهش یافته است ($F(5،5)=2/472$، $P=0/17$).

بنابراین احتمال می‌رود که در شرایطی که فرد تصمیم‌گیرنده، شواهد کافی در راستای تصمیم خود در اختیار نداشته است اما ملزم به پاسخ‌گویی بوده، میزان آستانه کاهش داده شده باشد و هم‌زمان نرخ رانش و تجمیع اطلاعات نیز افزایش پیدا کند.

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به‌منظور یافتن پاسخی برای نحوهٔ تصمیم‌گیری در شرایط خاص کمبود شواهد کافی، آزمایش RDM به‌گونه‌ای طراحی شد تا شرکت‌کنندگان در هر مرحله از آزمایش، به‌صورت تصادفی با شواهد کافی و یا ناکافی مواجه شوند تا بتوان تغییرات عملکردی شرکت‌کنندگان را در شرایط کافی و ناکافی بررسی کرد و با استفاده از مدل‌سازی رفتاری تخمینی از تغییر مولفه‌های تصمیم به دست آورد. با تحلیل نتایج رفتاری (تصویر ۲) مشاهده شد که میزان دقت، قطعیت و زمان پاسخ شرکت‌کنندگان در دو حالت مواجهه با شواهد کافی و ناکافی، به‌طور معنی‌داری متفاوت است. در تصمیم‌های آسان (میزان قدرت محرک بالا و مدت‌زمان نمایش طولانی شواهد)، فرد تصمیم‌گیرنده سریع‌تر و با قطعیت بیشتری تصمیم می‌گیرد و احتمال انتخاب گزینهٔ صحیح نیز بالاتر و این یافته منطبق با (۹، ۱۲، ۲۹، ۳۰) است. با مقایسه دقت، زمان پاسخ و قطعیت شرکت‌کنندگان در دو معیار مدت‌زمان نمایش محرک و قدرت محرک، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تاثیر افزایش قدرت محرک در بالا بردن احتمال پاسخ درست، زمان پاسخ و قطعیت شرکت‌کنندگان بیش‌تر از افزایش میزان زمانی است که شرکت‌کننده در معرض محرک قرار داشته است. این یافته می‌تواند نشان از اهمیت داشتن نرخ شواهد برای تصمیم‌گیری باشد.

جهت به دست آوردن دید جامع‌تری از چگونگی تغییر مولفه‌ها که منجر به تصمیم‌گیری در شرایط خاص کمبود شواهد می‌شود، از مدل رانش- انتشار استفاده شد (تصویر ۳). از آنجاکه جهت حرکت نقاط در آزمایش طراحی شده به‌صورت تصادفی در هر مرحله سمت راست و یا سمت چپ انتخاب می‌شود و شرکت‌کننده



تصویر ۳- نتایج مدل‌سازی رفتاری. الف) آستانه تصمیم. ب) نرخ رانش. ج) مولفه غیرتصمیم. میزان خطا با SEM رسم شده است.

[26] Chance level

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-23]
[DOI: 10.52547/shefa.10.4.10]

احتمال برابر به رخداد دو گزینه پاسخ می‌داد، بنابراین از نگاه مدل رانش- انتشار، علت تفاوت رفتار در تصمیم‌های آسان و سخت، تفاوت در مولفه‌ای غیر از نقطه شروع خواهد بود (۳۱). همان‌طور که در بخش یافته‌ها گفته شد، شرکت‌کنندگان در دو مدت‌زمان نمایش ۳۶۰ و ۴۸۰ میلی‌ثانیه رفتار تقریبا مشابهی ازنظر دقت، زمان پاسخ و میزان قطعیت نشان دادند. با بررسی بیش‌تر با مدل‌سازی بر اساس آستانهٔ تصمیم و نرخ رانش در این دو مدت‌زمان (در تصویر ۳- الف و تصویر ۳- ب) می‌توان مشاهده کرد با این‌که آستانه‌ی تصمیم در ۴۸۰ میلی‌ثانیه بالاتر است اما نرخ رانش تقریبا یکسانی دارند. می‌توان این‌چنین نتیجه‌گیری کرد که تفاوت نرخ رانش عامل معنی‌داری تفاوت در داده‌های رفتاری شرکت‌کنندگان است. در تصمیم‌های سخت که میزان شواهد جمع‌آوری‌شده کم است، مقدار آستانهٔ تصمیم نیز کاهش می‌یابد تا تصمیم (باوجود شواهد محدود) اخذ شود. این تغییر میزان آستانه‌ی تصمیم معنی‌دار است و بنابراین فرض مقاله مبنی بر تغییر و کاهش آستانهٔ تصمیم در شرایط مواجهه با شواهد ناکافی در تصمیم‌گیری، تایید می‌شود. نکته قابل‌توجه اینکه یافتهٔ مقاله با استناد به نتایج مدل‌سازی رانش- انتشار، تغییر معنی‌دار آستانه تصمیم به همراه تغییر نرخ رانش و تجمیع اطلاعات با افزایش مدت‌زمان نمایش شواهد است. در مطالعات آتی می‌توان با استفاده از داده‌های چشمی و الکتروانسفالوگرافی[27] پیگیری کرد که در شرایط مشابه چه تغییراتی در سیگنال‌های چشمی و مغزی رخ می‌دهد (۳۲). به‌علاوه، این یافته را با استفاده از نتایج مدل‌سازی رفتاری بر اساس آستانهٔ ریزشی[28] می‌توان تکمیل کرد. در آستانهٔ ریزشی با گذر زمان، سطح آستانهٔ تصمیم در هر مرحله کاهش پیدا می‌کند تا روند تصمیم‌گیری در شرایط سخت که میزان اختلاف شواهد، قدرت کافی به آستانه رسیدن را ندارد آسان کند (۳۳). همچنین، استفاده از مدل‌سازی نورونی در سطح نورونی می‌تواند کمک کند تا تخمین بهتری ازآنچه در مغز اتفاق می‌افتد، داشته باشیم (۳۴). درنهایت، با در نظر گرفتن این موضوع که آستانهٔ تصمیم برحسب میزان شواهد می‌تواند متغیر باشد، می‌توان سازوکار تصمیم‌گیری را در دیگر شرایط تصمیم‌گیری مانند تصمیم‌های گروهی و میزان تاثیرپذیری فرد از آزمایه قبل در آزمایه‌های سخت مذکور، در مقایسه با آزمایه‌های آسان مورد پژوهش قرار گیرد (۳۶، ۳۵). یافته‌های این مطالعه می‌تواند کمکی به پاسخ‌گویی به این سوال باشد که در شرایط تصمیم‌گیری با شواهد ناکافی در زندگی واقعی، تصمیم چگونه اخذ می‌شود.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی به شماره قرارداد ۲۸۳۰۶ انجام گردیده است.

منابع

1. Heekeren HR, Marrett S, Ungerleider LG. The neural systems that mediate human perceptual decision making. Nat Rev Neurosci. 2008; 9: 467.

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

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

4. Katz LN, Yates JL, Pillow JW, Huk AC. Dissociated functional significance of decision-related activity in the primate dorsal stream. Nature. 2016; 535(7611): 285–8.

5. Yates JL, Park IM, Katz LN, Pillow JW, Huk AC. Functional dissection of signal and noise in MT and LIP during decision-making. Nat Neurosci. 2017; 20(9): 1285.

6. Deverett B, Koay SA, Oostland M, Wang SSH. Cerebellar involvement in an evidence-accumulation decision-making task. Elife. 2018; 7: e36781.

7. Odoemene O, Pisupati S, Nguyen H, Churchland AK. Visual evidence accumulation guides decision-making in unrestrained mice. J Neurosci. 2018; 38(47): 10143–55.

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

9. de Lafuente V, Jazayeri M, Shadlen MN. Representation of accumulating evidence for a decision in two parietal areas. J Neurosci. 2015; 35(10): 4306–18.

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

11. Gold JI, Shadlen MN. Representation of a perceptual decision in developing oculomotor commands. Nature. 2000; 404(6776): 390–4.

12. Brunton BW, Botvinick MM, Brody CD. Rats and humans can optimally accumulate evidence for decision-making. Science. 2013; 340(6128): 95–8.

13. Churchland AK, Kiani R, Shadlen MN.

[27] Electroencephalography (EEG)
[28] Collapsing boundary

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.52547/shefa.10.4.10]

Decision-making with multiple alternatives. Nat Neurosci. 2008; 11(6): 693–702.

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

15. Palmer J, Huk AC, Shadlen MN. The effect of stimulus strength on the speed and accuracy of a perceptual decision. J Vis. 2005; 5(5): 1.

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

17. Resulaj A, Kiani R, Wolpert DM, Shadlen MN. Changes of mind in decision-making. Nature. 2009; 461(7261): 263–6.

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

19. Kiani R, Hanks TD, Shadlen MN. Bounded integration in parietal cortex underlies decisions even when viewing duration is dictated by the environment. J Neurosci. 2008; 28(12): 3017–29.

20. Ratcliff R, Smith PL, Brown SD, McKoon G. Diffusion decision model: Current issues and history. Trends Cogn Sci. 2016; 20(4): 260–81.

21. Ratcliff R, Rouder JN. Modeling response times for two-choice decisions. Psychol Sci. 1998; 9(5): 347–56.

22. O'Reilly JX. Time-dependent influence of prior probability: a problem for the drift-diffusion model? J Neurosci. 2011; 31(39): 13697–8.

23. Ratcliff R, McKoon G. The diffusion decision model: theory and data for two-choice decision tasks. Neural Comput. 2008; 20(4): 873–922.

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

25. Kleiner M, Brainard D, Pelli D. What's new in Psychtoolbox-3? 2007.

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

27. Voss A, Voss J. Fast-dm: A free program for efficient diffusion model analysis. Behav Res Methods. 2007; 39(4): 767–75.

28. Voss A, Voss J, Lerche V. Assessing cognitive processes with diffusion model analyses: A tutorial based on fast-dm-30. Front Psychol. 2015; 6: 336.

29. Vafaei S, Ebrahimpour R, Zabbah S. The Relationship Between Pupil Diameter Data and Confidence in Multi-Stage Decisions. The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam. 2020; 8(4): 70-9.

30. Yeung N, Summerfield C. Shared mechanisms for confidence judgements and error detection in human decision making. In: The cognitive neuroscience of metacognition. Springer; 2014. P. 147–67.

31. Mulder MJ, Wagenmakers E-J, Ratcliff R, Boekel W, Forstmann BU. Bias in the brain: a diffusion model analysis of prior probability and potential payoff. J Neurosci. 2012; 32(7): 2335–43.

32. Vafaei S, Esmaily J, Azizi Z, Ebrahimpour R. Confidence Representation of Perceptual Decision by EEG and Eye Data in a Random Dot Motion Task. Neuroscience. 2019; 406: 510-27.

33. Hawkins GE, Forstmann BU, Wagenmakers E-J, Ratcliff R, Brown SD. Revisiting the evidence for collapsing boundaries and urgency signals in perceptual decision-making. J Neurosci. 2015; 35(6): 2476–84.

34. Wong K-F, Wang X-J. A recurrent network mechanism of time integration in perceptual decisions. J Neurosci. 2006; 26(4): 1314–28.

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

36. Olianezhad F, Zabbah S, Tohidi-Moghaddam M, Ebrahimpour R. Residual information of previous decision affects evidence accumulation in current decision. Frontiers in behavioral neuroscience. 2019; 13: 9.

[Downloaded from shefayekhatam.ir on 2026-11-23]

[DOI: 10.52547/shefa.10.4.10]