

Drift-Diffusion Model for One-Choice Motor-Cognitive Dual-Task

Sadeghi Talarposhti, Maryam¹ / Ahmadi-Pajouh, Mohammad Ali^{2*} / Towhidkhah, Farzad³

¹ - Ph.D. Student, Bioelectrics, Biomedical Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

² - Assistant Professor, Bioelectrics, Biomedical Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

³ - Professor, Bioelectrics, Biomedical Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

DOI: 10.22041/IJBME.2021.521212.1653

Received: 16 December 2020

Revised: 28/1/2021 – 7/2/2021

Accepted: 7 February 2021

KEYWORDS

Dual-Task
Motor-Cognitive
Tracking
Auditory
Drift Diffusion
Modeling

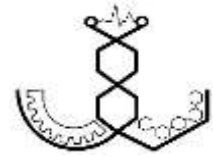
ABSTRACT

Human being is capable of performing more than one task simultaneously. This ability has been investigated in many researches. Performing more than one task at the same time has always been a challenging topic in psychology and human perception fields. The output and the effect of two tasks have been studied in previous researches for understanding the brain's performance and also the disease origin and the symptoms. The influence of different difficulty levels has been explored via discrete-continuous motor-cognitive dual-task (DT). To this aim, a manual tracking task combined with discrete auditory stimuli to establish DT procedure. Twenty-five participants in this paradigm were asked to track the target on screen while reacting to the auditory task at the same time. Two levels of difficulty in manual tracking plus a single auditory task (ST) were considered for the experiment. The variability of output via different difficulties was investigated by analyzing factors of error rate and the response time (RT). For this analysis, a Drift Diffusion Model (DDM) method was used. In this 4-parameter model, the drift parameter is assumed to show the difficulty levels. The results show that by applying different drift rates (the average of 0.5, 0.3, and 0.2), the model is consistent with experimental output RT and the drift factor has the potential to be considered as the difficulty factor in the DT procedure.

***Corresponding Author**

Address	Bioelectrics, Biomedical Engineering Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran		
Postal Code	15875-4413	Tel	+98-21-6454570
E-Mail	pajouh@aut.ac.ir	Fax	+98-21-66468186





مدل رانش-انتشار برای دو وظیفه‌ی توام حرکتی-شناختی تک‌انتخابی

صادقی تالارپشتی، مریم^۱ / احمدی پژوه، محمدعلی^{۲*} / توحیدخواه، فرزاد^۳

^۱ - دانشجوی دکترا، گروه بیوالکتریک، دانشکده‌ی مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

^۲ - استادیار، گروه بیوالکتریک، دانشکده‌ی مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

^۳ - استاد، گروه بیوالکتریک، دانشکده‌ی مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

مشخصات مقاله

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22041/IJBME.2021.521212.1653

پذیرش: ۱۹ بهمن ۱۳۹۹

بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۱۹ - ۱۳۹۹/۱۱/۱۹

ثبت در سامانه: ۲۶ آذر ۱۳۹۹

واژه‌های کلیدی	چکیده
دو وظیفه‌ی توام حرکتی-شناختی	توانایی انسان برای انجام چند وظیفه‌ی هم‌زمان در مطالعات بسیاری مورد بررسی قرار گرفته و انجام دو وظیفه‌ی توام همواره یکی از مهم‌ترین مسایل شناختی و روان‌شناختی بوده است. نحوه‌ی اجرا و تاثیر دو وظیفه‌ی توام روی یک‌دیگر به منظور شناخت کارکرد مغز و تاثیر آن روی خروجی رفتاری در بیماری‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مقاله تاثیر سختی بر اجرای دو وظیفه‌ی توام گسسته-پیوسته و حرکتی-شناختی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور از یک وظیفه‌ی گسسته‌ی شنیداری به همراه وظیفه‌ی پیوسته‌ی حرکتی-شناختی مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان دو وظیفه‌ی توام استفاده شده است. تعداد ۲۵ نفر در این آزمایش شرکت کرده و از آن‌ها خواسته شده است تا به صورت هم‌زمان به تحریک شنیداری پاسخ داده و عمل دنبال کردن حرکتی را نیز انجام دهند. تاثیر سختی روی میزان خطا و زمان پاسخ با استفاده از مدل رانش-انتشار بررسی شده است. در این مدل چهار پارامتری، پارامتر رانش برای بررسی میزان دشواری وظیفه در نظر گرفته شده است. نتایج پارامتر رانش (مقادیر میانگین ۰/۵، ۰/۳ و ۰/۲) در مدل می‌تواند با تغییرات دشواری در سه سطح، در آزمایش هماهنگی خوبی داشته و به عنوان پارامتر دشواری مورد استفاده قرار گیرد.
دنبال کردن شنیداری رانش-انتشار مدل‌سازی	

*نویسنده‌ی مسئول

نشانی گروه بیوالکتریک، دانشکده‌ی مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

تلفن +۹۸-۲۱-۶۴۵۴۵۵۷۰

۱۵۸۷۵-۴۴۱۳

دورنگار +۹۸-۲۱-۶۶۴۶۸۱۸۶

pajouh@aut.ac.ir



۱- مقدمه

انسان در بسیاری از مواقع در زندگی روزمره‌ی خود ناگزیر به انجام چندین وظیفه^۱ به صورت هم‌زمان است. انجام دادن چند عمل به صورت هم‌زمان موجب فعالیت جریان‌های اطلاعاتی مختلف و انتخاب در آن واحد از بین گزینه‌های متفاوت می‌شود اگر چه در توانایی انسان برای انجام این فعالیت‌ها به صورت هم‌زمان محدودیت‌هایی نیز وجود دارد. به عنوان مثال رانندگی و یا راه رفتن در حین صحبت با تلفن مجموعه‌ای از وظایف مختلف هم‌زمان در جهت بر آوردن هدفی واحد است. طبق مطالعات روان‌شناختی توانایی انسان حتی برای انجام دو عمل ساده و یا انتخاب دو گزینه به صورت هم‌زمان نیز زیر سوال بوده و یکی از چالش‌های مطرح در مطالعات روان‌شناختی است [۱، ۲]. اصولاً عمل‌کرد افراد در انجام دو وظیفه‌ی توأم^۲ (DT) با سرعت پایین‌تر و خطای بیش‌تر نسبت به حالت انجام تک‌وظیفه^۳ (ST) همراه است. در حالت کلی برای اجرای بسیاری از اعمال، عمل‌کرد کندتر و پراشتباه‌تر برای هر یک از وظایف DT مشکل خاصی ایجاد نمی‌کند. برای مثال در انجام دو عمل کامپیوتری به طور هم‌زمان حتی اگر اشتباهاتی رخ دهد در بسیاری از مواقع قابل جبران است اما اگر این فرایند در حین رانندگی اتفاق افتد ممکن است خسارات جبران‌ناپذیر جانی و مالی به همراه داشته باشد. از طرف دیگر در بیماری‌های مختلفی مانند بیماری پارکینسون اجرای DT با اختلال بیش‌تری نسبت به افراد سالم همراه است و در نهایت به عمل‌کرد نامناسب و اشتباهات زیاد منجر شده که کل فعالیت فرد را مختل می‌کند [۳-۶]. به صورت ساده در چنین شرایطی برای فرد بیمار معمولاً یکی از وظیفه‌ها از حالت خودکار^۴ خارج شده و به یک فرایند نیازمند توجه^۵ تبدیل می‌شود [۶].

برای تعریف دو وظیفه‌ی توأم (DT) ابتدا لازم است مفهوم وظیفه مشخص شود زیرا این مساله تا حدود زیادی به نحوه‌ی تعریف وظیفه ارتباط پیدا می‌کند. تعاریف مختلفی برای وظیفه وجود دارد و از این رو بیان یک تعریف واحد و کلی برای وظیفه که تمام مطالعات انجام شده را پوشش دهد دشوار است [۷]. از نظر تئوری زمانی که فرد قصد انجام کاری را دارد مجموعه‌ای از پردازش‌های شناختی مرتبط با آن فعال می‌شود. عبارت وظیفه به مجموعه‌ی پردازش‌های شناختی و ذهنی اطلاق شده که فرد را قادر می‌سازد تا ملزومات یک فرایند هدفمند را فراهم

ساخته و آن را به مرحله‌ی اجرا برساند [۷، ۸]. بنابراین با توجه به این تعریف ترتیب انجام وظایف و روند اتخاذ شده در طی انجام DT حائز اهمیت است. زمان‌بندی در DT یکی از مهم‌ترین موارد در مشخص کردن این روند است.

برای انجام DT باید بتوان ترتیب زمانی دو عمل را برای رسیدن به هدف کنترل کرد. در تئوری‌های اخیر در مورد پردازش DT، وجود سیستم کنترل در سیستم شناختی انسان که جریان‌های پردازشی را هماهنگ می‌کند در نظر گرفته شده و به این ترتیب تداخل ذاتی DT به بهره‌ی عمل‌کرد توأم^۶ نسبت داده شده است. در واقع در زمان انجام DT ابتدا برای برقراری هماهنگی انجام هم‌زمان دو وظیفه انرژی بیش‌تری صرف شده که برابر با فعالیت بیش‌تر نواحی مرتبط مغزی بوده و به مرور با افزایش یادگیری الگوی DT مصرف این انرژی بهینه می‌شود. این فرایند به بهره‌ای نسبت داده شده است که به مرور با یادگیری کاهش می‌یابد. بهره‌ی DT بیان‌گر درجه‌ی یادگیری بوده و می‌تواند شاهدی بر میزان فعالیت نواحی مرتبط مغزی باشد [۹-۱۱].

اگر چه فعالیت شناختی انسان از انعطاف عمل‌کردی بالایی برخوردار است اما ظرفیت پردازش اطلاعات شناختی انسان بسیار محدود می‌باشد. زمانی که در انجام DT به پردازش در زمان کوتاه و به صورت موازی و هم‌زمان جریان گسترده‌ای از اطلاعات نیاز است این تداخل عمل‌کردی به صورت تداخل در پاسخ‌های رفتاری بروز پیدا می‌کند. برای مثال نشانه‌های رفتاری ناشی از اضافه بار روی ظرفیت پردازش اطلاعات می‌تواند به صورت کاهش درصد صحت عمل‌کرد و یا تاخیر در پاسخ رفتاری بروز پیدا کند. این تاثیر که با نام تداخل در دو وظیفه‌ی توأم شناخته می‌شود مدرکی معتبر برای نشان دادن محدودیت در ظرفیت پردازش‌گر مرکزی انسان است این محدودیت به فاکتورهای مختلفی مانند حافظه‌ی کاری^۷ و غیره نسبت داده شده است [۱۲]. معمولاً عمل‌کرد افراد در انجام DT کندتر از انجام ST است. بهره‌ی DT در ابتدا ثابت بوده و سپس به تدریج با تکرار کاهش می‌یابد [۱۳].

در تحقیقاتی که با استفاده از روش تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی fMRI^۸ انجام شده نشان داده شده است که ناحیه‌ی IPFC^۹ در فرایند انجام DT دخالت دارد [۱۴، ۱۵]. در این مطالعات نواحی مرتبط با انجام DT از طریق مقایسه با نواحی مرتبط با پردازش ST شناسایی شده که این مقایسه در

^۶ Dual Task Cost^۷ Working Memory^۸ functional Magnetic Resonance Imaging^۹ Lateral Prefrontal Cortex^۱ Task^۲ Dual Task^۳ Single Task^۴ Automatic^۵ Attentional Demand

پیدا می‌کند. برای مثال انجام عمل محاسباتی با صدای بلند در حین راه رفتن ممکن است موجب آهسته شدن سرعت حرکت و یا تاخیر در انجام محاسبات شود. در مدل تقسیم ظرفیت بیان می‌شود که توجه دارای منابع^۵ محدودی بوده و انجام دو یا چند عمل به صورت هم‌زمان باعث بروز اشکال در عمل کرد حداقل یک و یا دو مورد از وظایف شده و کیفیت عمل کرد تمام اعمال انجام شده به صورت هم‌زمان، کاهش می‌یابد [۲۴].

یک فرض مهم در این مساله این است که در هر لحظه از مراحل پردازش مربوط به انجام DT تنها یک سطح پردازش مرکزی^۶، مربوط به انتخاب پاسخ^۷ می‌تواند پردازش شود. البته پردازش ادراکی اولیه^۸ و پس‌پردازش حرکتی^۹ به صورت موازی برای هر دو وظیفه انجام می‌شود [۲۵]. تمام تحلیل‌ها بر پایه‌ی اندازه‌گیری زمان پاسخ^{۱۰} (RT) و دقت پاسخ^{۱۱} با استفاده از محاسبه‌ی خطا انجام می‌شود.

در این مقاله وظیفه‌ی پیوسته به عنوان یک آشفتگی^{۱۲} کوچک در نظر گرفته شده که در روند اجرای وظیفه‌ی گسسته‌ی شنیداری تداخل ایجاد کرده و از طریق تغییر سطح دشواری وظیفه‌ی پیوسته، سطوح متفاوتی از دشواری را در وظیفه‌ی گسسته ایجاد می‌کند [۲۶، ۲۰]. هم‌چنین در این مطالعه سطوح متفاوت دشواری برای وظیفه‌ی پیوسته تعریف شده که در وظیفه‌ی شنیداری تداخل ایجاد کرده و نحوه‌ی تاثیرگذاری وظیفه‌ی پیوسته با بررسی این سطوح متفاوت در خروجی وظیفه‌ی شنیداری مشخص شده است. به منظور بررسی این تاثیرگذاری از تحلیل مدل انتشار^{۱۳} استفاده شده است [۲۷].

۱-۲- مدل رانش-انتشار

از مدل رانش-انتشار^{۱۴} (DDM) برای اندازه‌گیری حساسیت افراد، پیش‌بینی پاسخ‌ها برای وظیفه‌ی حرکت/ایست^{۱۵} و وظیفه‌ی دوانتخابی استفاده شده است. به طور کلی این مدل در زمینه‌ی علوم اعصاب و روان‌شناختی بسیار معروف و محبوب است و برای درک ارتباط بین فیزیولوژی و رفتار انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۸].

تنوع مدل‌های انتشار بسیار زیاد است اما تمام آن‌ها از یک رویکرد اساسی پیروی می‌کنند. مدل انتشار به صورت کلی در

هر صورت ممکن است به دلیل تفاوت‌های موجود در نوع وظیفه‌ها اتفاق افتد. تنها در تعداد اندکی از مطالعات اخیر سعی شده تا نوع تداخل و فرایند کنترلی مرتبط با انجام DT مشخص شود [۱۶-۱۹]. در مطالعات اخیر نقش یک پردازش اضافی مرتبط با کنترل فعال قبل از رسیدن به تئوری گلوگاه^۱ مطرح شده است. بنابراین این مطالعات روی کنترل ترتیب وظیفه‌ها شامل هماهنگی توالی دو وظیفه می‌شود که البته مربوط به زمانی است که برای وظیفه‌ها تحریک وجود داشته باشد [۹].

۱-۱- فرضیه‌های مطرح

تئوری‌های زیادی بر اساس اطلاعات پردازش شده از نتایج آزمون‌های رفتاری برای توضیح اهمیت و نحوه‌ی عمل کرد DT پیشنهاد شده است که از آن جمله می‌توان به تئوری گلوگاه و تئوری تقسیم ظرفیت^۲ اشاره کرد. در تئوری گلوگاه بیان می‌شود که در یک زمان مشخص تنها امکان انجام یک وظیفه وجود داشته و انجام وظیفه‌ی دوم تا زمان اتمام پردازش عمل اول به تاخیر می‌افتد (انجام دو وظیفه‌ی هم‌زمان ممکن نیست). مطالعات مختلف روان‌شناختی نشان داده است که انجام هم‌زمان یک وظیفه‌ی گسسته و یک وظیفه‌ی پیوسته موجب ایجاد اختلال در حداقل یکی از این وظایف می‌شود. یک روش استاندارد در بررسی اختلال DT استفاده از الگوی دوره‌ی بی‌پاسخی روان‌شناختی^۳ (پدیده‌ی PRP) است [۲۱، ۲۰]. وظیفه‌ی گسسته‌ی استاندارد شامل یک تحریک حسی (بینایی، شنیداری و یا حرکتی) است که با یک پاسخ حسی مرتبط دنبال می‌شود. بنابراین می‌توان برای هر تحریک در وظیفه‌ی گسسته یک زمان آغاز و پایان و یک پاسخ مشخص در نظر گرفت.

در شرایط انجام DT پاسخ‌ها با هم تداخل زمانی پیدا می‌کنند اما باید در نظر داشت که در شرایط DT با حالت‌های مختلف^۴ حسی، به دو پاسخ مجزا برای هر وظیفه نیاز است و برای هر تحریک زمان پاسخ مجزا ثبت می‌شود [۲۲، ۲۳]. زمانی که یکی از وظیفه‌ها به صورت وظیفه‌ی پیوسته‌ی دنبال کردن هدف با استفاده از نشان‌گر و یا راه رفتن تعریف می‌شود، زمان شروع تحریک و به تبع آن زمان پاسخ برای وظیفه‌ی پیوسته ثبت نشده و تنها مقایسه‌ی خروجی و صحت اجرای وظایف اهمیت

^۹ Post-Motor Process

^{۱۰} Response Time (RT)

^{۱۱} Accuracy

^{۱۲} Perturbation

^{۱۳} Diffusion Model

^{۱۴} Drift Diffusion Model (DDM)

^{۱۵} Go-No-Go

^۱ Bottleneck

^۲ Central Capacity Sharing

^۳ Psychological Refractory Period (PRP)

^۴ Different Modalities

^۵ Attentional Resources

^۶ Central Processor

^۷ Response Selection

^۸ Primary Perceptual

در این مقاله سعی بر آن است تا تصمیم‌گیری در یک جهت^۵ با الگوی پاسخ تصادفی مورد بررسی قرار گیرد. در این مدل‌سازی در هر زمان برای $\tau > 0$ فرد شواهد را برای تصمیم‌گیری که منجر به رسیدن به حد بالایی $\pm A$ می‌شود، بررسی می‌کند. اگر $|Z_t| \geq A$ باشد فرد در جهت سناریوی وظیفه تصمیم گرفته و اگر $|Z_t| \leq A$ باشد تصمیم می‌گیرد پاسخی نداده و به کار حرکتی دنبال کردن ادامه دهد (در این‌جا انتخاب اجباری و گزینه‌ی جایگزین). در غیر این صورت، شرکت‌کننده شواهد بیشتری از الگوی براونی Z_t را جمع می‌کند. بنابراین اگر یک نرون در نواحی مربوط به حرکت در جهت مشخص شده‌ی خود فعالیت زیادی انجام دهد، یک میانگین بزرگ به دست آمده که تغییرپذیری^۶ آن به انحراف معیار شواهد وابسته است. به دلیل تصادفی بودن روند جمع‌آوری شواهد، تصمیم ممکن است در روش راه رفتن تصادفی^۷ به آستانه‌ی غیرهدف رسیده و به این ترتیب تصمیم غیرهدف انتخاب شود [۲۹].

میانگین پردازش در حال اجرا، شواهد بیشتری را برای رسیدن به تصمیم صحیح جمع می‌کند. این امر موجب رسیدن به آستانه‌ی بالایی تصمیم و انتخاب درست پاسخ می‌شود. از آن‌جا که آستانه‌های تصمیم ممکن است بسیار دورتر از نقطه‌ی شروع فرایند جمع شواهد باشند، احتمال رسیدن به پاسخ نادرست در آستانه‌ی منفی کم‌تر است اما این باعث می‌شود که تصمیم درست در مدت زمان بیش‌تری اتفاق افتد. این پدیده یک حالت مصالحه^۸ بین دقت و سرعت ایجاد می‌کند [۲۶].

مصالحه بین دقت و سرعت را می‌توان با رویکرد میزان تعادل در سرعت و خطا توضیح داد [۸]. مطالعات پیشین روی آزمایش‌های DT، چنین تعادلی را بین خطا و زمان پاسخ نشان داده است [۶]. به عبارت دیگر خطا و زمان پاسخ دو سوی یک سکه هستند. برای درک این مساله باید توجه کرد که در هنگام انجام یک وظیفه همیشه دو سیستم پردازش شامل هدف وظیفه (رسیدن به خروجی مطلوب) و اهمیت کیفیت پاسخ به وظیفه در خروجی آزمایش وجود دارد [۶]. هنگامی که فرد زمان پاسخ را کاهش می‌دهد (پاسخ سریع)، احتمال وقوع خطا افزایش می‌یابد. بنابراین این دو عامل با هم سطح عمل کرد نهایی را نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد تعادل خطا و RT در جهت رسیدن به زمان واکنش بهینه و تعداد خطاهای بهینه باشد. این امر می‌تواند به میزان دشواری وظایف نیز مرتبط باشد طوری که وظیفه‌ی سخت‌تر می‌تواند RT طولانی با نرخ خطای

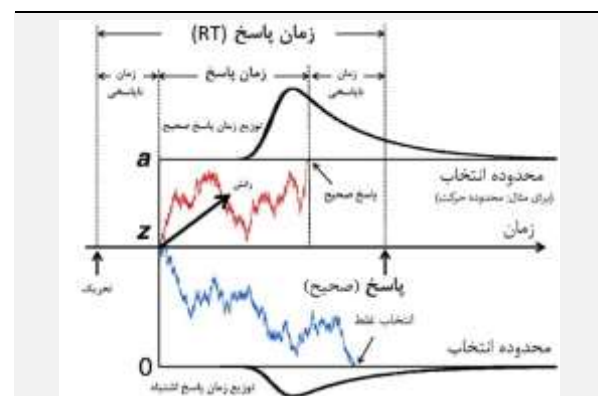
جست‌وجوی متغیر انتخاب‌گر^۱ بوده که در حال جمع‌آوری شواهد برای انتخاب در برابر انتخاب دیگر است. این گزینه‌ها می‌تواند دو پاسخ جایگزین جداگانه بوده یا به سادگی گزینه‌های رفتن/ممنوع یا مانند این مطالعه دو پاسخ حرکتی با محرک شنیداری باشد. متغیر تصمیم متشکل از شواهد لحظه‌ای است که با نویزی که گاوسی فرض شده و در طول زمان انباشته می‌شود تداخل ایجاد می‌کند. این امر باعث می‌شود که متغیر اصلی تصمیم با یک الگوی تصادفی B_t حرکت کند (نمایان‌گر حرکت استاندارد براونی SBM) تا زمانی که به یکی از آستانه‌های تصمیم $a(t)$ با استفاده از رابطه‌ی (۱) برسد [۲۸].

$$Z_t = \delta_t + \alpha B_t \quad (1)$$

در این رابطه Z_t یک SBM با سرعت رانش^۲ δ و ناپایداری α بوده و B_t معرف SBM است. بنابراین با فرض شروع حرکت از صفر ($Z_0=0$)، با رسیدن به اولین آستانه‌ی تصمیم، آن تصمیم انتخاب می‌شود [۲۸]. سپس زمان واکنش از روی زمان رسیدن به آستانه‌ی τ با استفاده از رابطه‌ی (۲) به دست می‌آید [۲۸].

$$\tau = \inf\{t \geq 0: |Z_t| \geq a(t)\} \quad (2)$$

در واقع زمان پاسخ با مقدار مطلق اولین باری که فرایند Z_t به مرز $\pm A$ می‌رسد محاسبه می‌شود [۲۷]. شماتیک این فرایند برای یک آزمایش در شکل (۱) نشان داده شده است. تکامل تدریجی متغیر اصلی با تلفیق الگوهای تصادفی توزیع گوسین^۳ به دست آمده که به سادگی نشان می‌دهد که چه مقدار شواهد از هر بازه جمع‌آوری شده و انحراف استاندارد مربوط به آن بازه با میزان اختلال^۴ مربوط به آن شواهد مرتبط است [۲۹].



شکل (۱) - شماتیک نمایش حدود مدل DDM و مقادیر Z_t در

SBM [۳۰]

^۵ One-Directional

^۶ Variability

^۷ Random Walk

^۸ Trade-Off

^۱ Decision Variable

^۲ Drift Rate

^۳ Gaussian Distribution

^۴ Noise

وظیفه‌ی دنبال کردن پیوسته است. وظیفه‌ی دنبال کردن به طور کلی به دنبال کردن هدف با نشان‌گر (موقعیت موشواره) اشاره دارد. هر دو هدف و مکان‌نما که کوچک‌تر از هدف هستند اشکال مستطیلی با مساحت‌های مختلف بوده و افراد باید سعی کنند مکان‌نما را در داخل هدف قرار دهند.

وظیفه‌ی ST یک وظیفه‌ی شنیداری است که در مطالعات قبلی مورد استفاده قرار گرفته است. این وظیفه تنها از یک تحریک صوتی با فرکانس ۲۰۰۰ هرتز با دامنه‌ی ثابت تشکیل شده است. دستورالعمل برای شرکت‌کنندگان این است که آن‌ها باید به محض شنیدن صدا کلید F را فشار دهند. این آزمایش شامل ۵ مرحله‌ی سه دقیقه‌ای است. بین مراحل فاصله‌ی ۱۰-۱۵ ثانیه‌ای وجود دارد که برای جلوگیری از خستگی لازم است فرد هیچ کاری انجام ندهد و به عضلات دست و چشم استراحت دهد. در آزمایش یک مرحله‌ی شماره‌ی صفر نیز برای تمرین بخش دنبال کردن قرار داده شده و داده‌های این مرحله برای پردازش بعدی جمع‌آوری نشده است. مرحله‌ی شماره‌ی صفر از دو قسمت ۱۸۰ ثانیه‌ای تشکیل شده و بین آن‌ها ۱۰ ثانیه فاصله‌ی استراحت در نظر گرفته شده است.

در شرایط ST، وظیفه‌ی دنبال کردن انجام نشده، تنها تحریک شنیداری در فواصل شبه‌تصادفی اعمال شده و از افراد خواسته شده تا دست راست خود را روی موشواره نگه داشته، آن را حرکت ندهد و با دست چپ به تحریک شنیداری ST پاسخ دهند. دو مرحله‌ی بعدی مربوط به شرایط DT است. در این مراحل ابتدا دنبال کردن با درجه‌ی دشواری آسان به همراه وظیفه‌ی شنیداری و در ادامه وظیفه‌ی دنبال کردن با درجه‌ی دشواری سخت به همراه وظیفه‌ی شنیداری انجام شده است. از شرکت‌کنندگان خواسته شده تا به صورت هم‌زمان به محرک‌های شنیداری پاسخ داده، روی صفحه‌ی نمایش‌گر اهداف چهار برابر بزرگ‌تر از نشان‌گر را دنبال کرده و در مرحله‌ی سوم برای دنبال کردن با درجه‌ی دشواری سخت، علاوه بر پاسخ به محرک‌های شنیداری هدف سه برابر بزرگ‌تر را روی صفحه دنبال کنند.

برای طراحی تابع الگوی دنبال کردن روی صفحه‌ی نمایش‌گر از یک سری توابع مثلثی با مکث‌های جزئی در قسمت قله‌ی منحنی استفاده شده است که قابل مقایسه با مکث زمانی ناشی از تاخیر انسان نیست (کم‌تر از ۱۰۰ میلی‌ثانیه). در عمل کرد تابع دنبال کردن، هر تناوب با سرعت‌های مختلف و دامنه‌های مختلف انجام می‌شود.

بالاتری ایجاد کند. در نمودار دقت-زمان پاسخ، قرار گرفتن یک نقطه در مکانی بالاتر به این معنی است که هر چند وظیفه کند انجام شده اما نتیجه هنوز بهبود نیافته است [۳۱-۳۳].

در این مطالعه سعی شده است تا به این سوال پاسخ داده شود که چگونه سطوح مختلف دشواری وظیفه‌ی پیوسته در وظیفه‌ی DT گسسته-پیوسته، میزان خطا و RT را در خروجی وظیفه‌ی گسسته تغییر می‌دهد. برای دستیابی به این هدف مختلف در وظیفه‌ی دنبال کردن هدف، اندازه‌های مختلف هدف برای DT گسسته-پیوسته اعمال شده تا بررسی شود چگونه رفتار فرد تحت تاثیر عامل دشواری قرار می‌گیرد. این نتیجه را می‌توان با خروجی وظیفه‌ی شنیداری (وظیفه‌ی گسسته) اندازه‌گیری کرد (خطا و RT). در این‌جا وظیفه‌ی دنبال کردن به عنوان عامل اغتشاش و حواس‌پرتی در نظر گرفته شده است. بنابراین تاثیر این حواس‌پرتی بر کارهای شنیداری گسسته قابل اندازه‌گیری و تحلیل است. برای مشخص شدن این مساله از طراحی مدل رانش-انتشار (DDM) استفاده شده تا رویکرد بهتری نسبت به جزئیات پارامترها و عوامل موثر آن‌ها به دست آید.

۲- روش انجام آزمایش‌ها

۲-۱- شرکت‌کننده‌ها

این آزمایش با حضور ۲۵ فرد بزرگسال سالم (۱۰ مرد و ۱۵ زن) با میانگین سنی ۲۷ سال انجام شده است ($SD=4/5$ ، دامنه ۲۰-۳۵). تمام افراد شرکت‌کننده راست‌دست بوده و بیش‌تر آن‌ها از میان دانشجویان انتخاب شده‌اند. از شرکت‌کنندگان در مورد این آزمایش خواسته شده تا در طول آزمایش ST و DT وضعیت دست‌ها و موقعیت صندلی را ثابت نگه دارند. این آزمایش در آزمایشگاه گروه روان‌شناسی دانشگاه مارتین لوتر هاله آلمان^۱ انجام شده است. دانشجویان شرکت‌کننده به عنوان قسمتی از فعالیت ترم دانشگاهی خود و یا در ازای مبلغ ۸ یورو در این آزمایش شرکت نمودند. اجرای پروتکل‌های اخلاقی در آزمایش به تایید دانشکده‌ی روان‌شناسی دانشگاه هاله و تحت مجوز آزمایش‌های رفتاری انجام شده است.

۲-۲- آزمایش

آزمایش از یک وظیفه‌ی ST (وظیفه‌ی شنیداری پاسخ زمانی ساده^۲) و دو وظیفه‌ی DT تشکیل شده است. وظیفه‌ی ST شامل یک وظیفه‌ی شنیداری بوده و دو وظیفه‌ی DT متشکل از وظیفه‌ی شنیداری به همراه دو سطح دشواری متفاوت در

^۱ Simple Response Time (SRT)

^۲ Laboratory of the Psychology Department of the Martin-Luther Halle University of Germany

پارامتر δ بر متوسط سرعت تجمیع شواهد موثر است. حدود A مقدار شواهد مورد نیاز برای ایجاد یک پاسخ را تعریف می‌کند به طوری که افزایش A باعث کندی و تصحیح پاسخ‌ها و کاهش b باعث بروز پاسخ‌های سریع می‌شود اما خطاهای بیش‌تری را به وجود می‌آورد. پارامتر زمان عدم تصمیم‌گیری t_0 زمان اضافی مورد نیاز برای فرایندهای ادراکی و حرکتی یا فرایندهای شناختی بالاتر را در نظر می‌گیرد. مدل کامل DDM شامل پارامترهای بیش‌تری است مانند نقطه‌ی شروع که از آن برای وظیفه‌های انتخابی استفاده می‌شود.

علاوه بر این پارامتر رانش δ ، زمان عدم تصمیم‌گیری t_0 و نقطه‌ی شروع نسبی zI می‌توانند پارامترهای غیرثابتی باشند که در هر آزمایش تغییر می‌کنند. مدل DDM برای توزیع صحت پاسخ‌ها و خطای RT برای برآورد پارامترهای ذکر شده تنظیم شده است [۴۰، ۳۵].

۲-۴- برآورد پارامترهای DDM

یکی از روش‌های بسیار موثر و حل‌کننده‌ی مشکلات بهینه‌سازی، الگوریتم شناخته‌شده‌ی حداکثر همسایگی^۲ (ML) است که برای تخمین پارامتر نیز از آن استفاده می‌شود. در این‌جا در مدل DDM، تجمیع شواهد در خلال تمام آزمایش‌ها (i) و مراحل با توجه به سطوح مختلف دشواری با استفاده از آزمایش‌های از پیش طراحی شده و RT شبیه‌سازی شده، از طریق رابطه‌ی (۳) به دست آمده است [۲۸].

$$L = \sum_{i=1}^n \ln(g(RT_i, k_i)) \quad (3)$$

در این رابطه RT_i زمان پاسخ برای هر آزمایش و n شماره‌ی آزمایش است. با استفاده از روش جست‌وجو مقدار همسایگی لگاریتمی بعدی برای پارامترها به حداکثر می‌رسد. از آن‌جا که روش ML به ویژه برای تعداد آزمایش کوچک بسیار کارآمد و مناسب است و با شرایط این مطالعه مطابقت دارد برای تخمین پارامترها از این روش استفاده شده است [۳۶]. با این حال، خطای روش ML در محدوده‌ی نزدیک آستانه بسیار زیاد است و دقت نتایج را بسیار کاهش می‌دهد [۴۰، ۳۸].

۳- یافته‌ها و بحث

در ادامه نتایج آماری مربوط به ثبت داده‌ها و نتایج مدل رانش انتشار خطا مورد بررسی قرار گرفته است.

پارامترهای مختلف سرعت و دامنه به طور تصادفی بین پنج مقدار ثابت در حال تغییر است. شرایط مختلفی برای سرعت حرکت هدف (بسیار آهسته، آهسته، نرمال، سریع و بسیار سریع) و تغییر دامنه‌ی حرکت عمودی (بسیار کوتاه، کوتاه، عادی، طولانی و بسیار طولانی) تعریف شده است. ترکیب تصادفی این دو پارامتر ۲۵ حالت را تولید کرده که پیش‌بینی تناوب بعدی را عملاً غیرممکن می‌سازد.

۲-۳- پارامترهای مدل رانش-انتشار (DDM)

فرض اصلی DDM این است که شواهد مربوط به پاسخ مورد انتظار با نویز مخلوط شده، با گذشت زمان ادغام شده و هنگامی که از آستانه‌ی تعریف شده عبور کند، پاسخ مربوط به تحریک اتفاق می‌افتد [۳۴-۳۷]. در این‌جا DDM روی چهار پارامتر مدل‌سازی با سه دشواری متفاوت متمرکز شده است. مدل سه‌پارامتری در پژوهش [۳۹] مورد بررسی قرار گرفته است. درجه‌ی پیچیدگی مدل می‌تواند به تعداد پارامترهای انتخاب شده بستگی داشته باشد. زمانی که پارامترهای قابل توجهی نادیده گرفته شود یک مدل ممکن است واقعیت‌ها را بیش از حد ساده کرده و تعمیم داده باشد. این کار باعث گمراه شدن در مورد پارامترهای دیگر شده و منجر به خروجی اشتباه می‌شود. به عنوان مثال اگر نقطه‌ی شروع zI بدون توجه به مقدار بایاس روی مقدار اشتباه تنظیم شود نتایج به میزان سرعت رانش حساس نخواهد شد در حالی که سرعت رانش در واقعیت پارامتر مهمی در مساله است. بنابراین با در نظر نگرفتن نکات جزئی و با اهمیت ممکن است نتایج اشتباهی به دست آید. از این رو DDM باید به ساده‌ترین شکل ممکن و بهینه تعریف شود زیرا بسیاری از پارامترهای آزاد خروجی‌ها را به نتایج بیش از حد ناپایدار و غیرقابل استناد هدایت می‌کند.

در این پژوهش برای مقاوم‌سازی پارامترها^۱ به ویژه برای تعداد کم‌تر نمونه (کم‌تر از ۵۰۰)، تغییرات آزمایش رانش ($s\delta$) و نقطه‌ی شروع (sZI) برابر با صفر در نظر گرفته شده است. تغییرات زمان عدم تصمیم‌گیری^۲ برای مقدار b را نمی‌توان هم‌زمان با zI تخمین زد بنابراین باید یکی از آن‌ها را برای برآورد دیگری مقدار ثابتی در نظر گرفت [۳۸].

در این‌جا آزمایش‌ها شامل سه سطح دشواری در مراحل مختلف است که با توجه به این سطوح انتظار می‌رود مقدار δ تحت تاثیر قرار گیرد [۳۵]. بنابراین پارامتر δ با سطوح مختلف دشواری در مرحله‌های مختلف مقادیر متفاوتی را نشان خواهد داد [۳۸].

^۱ Maximum Likelihood

^۱ Robustness

^۲ Non-Response Time



۳-۱- پردازش آماری خطای آزمایش

عنوان وضعیت ایده‌آل پاسخ رفتاری در نظر گرفته شود، نقطه‌ی مقابل آن یعنی طولانی‌ترین پاسخ و بیش‌ترین درصد خطا ضعیف‌ترین حالت پاسخ رفتاری است. در این نمودار بهترین و بدترین پاسخ به ترتیب در ربع پایین-چپ و ربع بالا-راست صفحه قرار دارد. از این رو ربع بالا-چپ، سرعت بالا و صحت پایین پاسخ و ربع پایین-راست، سرعت پایین و صحت بالا را شامل شده که هر دو پاسخ‌های متوسطی فرض می‌شوند.

در این‌جا پاسخ رفتاری دشواری سطح ۱ در ربع پایین-چپ و زیر نیم‌ساز ربع اول و سوم قرار گرفته است که در وضعیت ایده‌آل پاسخ رفتاری قرار دارد. پاسخ دشواری سطح ۲ و ۳ هر دو در وضعیت متوسط پاسخ رفتاری قرار گرفته که با توجه به دشواری مراحل ۲ و ۳ آزمایش، پاسخ قابل انتظاری است.

با در نظر گرفتن دو عامل نوع وظیفه (ST و DT) و سطح دشواری (D₁، D₂ و D₃) در آزمون rANOVA، تفاوت معنی‌داری بین نوع وظیفه و سطح دشواری در RT شنیداری به دست آمده است ($F_{1,24}=232/8$ ، $p<0/001$ ، $n_p^2=0/91$) - هم‌چنین تفاوت معنادار برای ترکیب فاکتورهای نوع وظیفه و سطح دشواری به دست آمده است ($F_{2,48}=6/34$ ، $p=0/004$ ، $n_p^2=0/21$). مشاهده می‌شود که خطای D₂ به مقدار بالاتری نسبت به D₃ رسیده که نتیجه‌ی غیرمنتظره‌ای بوده و ممکن است ناشی از شوک وارد شده در اولین آزمایش‌های DT در مرحله‌ی اول باشد [۳۲].

به نظر می‌رسد تعادل خطا و زمان پاسخ در جهت بهینه‌سازی زمان پاسخ و نرخ خطا بر می‌آید. هر چه نقاط بالاتر باشند خطا و زمان پاسخ هر دو مقدار بیش‌تری را نشان می‌دهند. بنابراین قرار گرفتن در قسمت‌های بالاتر نمودار نشان می‌دهد که هر چقدر هم که وظیفه کندتر انجام شده باشد، دقت و صحت خروجی هنوز بهبود نیافته است. نتایج مربوط به سطوح مختلف دشواری تفاوت معنی‌داری را بین RT و خطاها نشان می‌دهد که با مطالعات قبلی هماهنگی خوبی دارد [۳۱-۳۳].

۳-۳- مدل رانش انتشار (DDM)

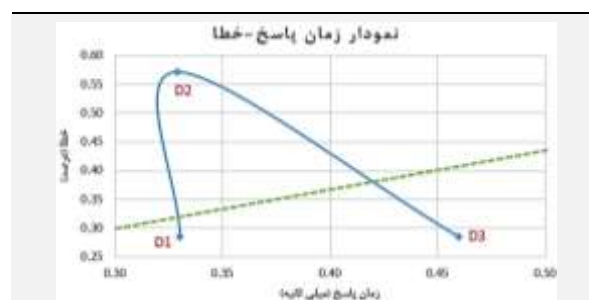
برای مدل انتشار وظیفه‌ی تک‌انتخابی، توزیع معکوس گاوسی و نرخ RT هر مرحله از آزمایش به عنوان یک راه حل مستقیم برای پارامتر رانش δ با مقادیر مثبت مورد استفاده قرار گرفته است. برای انطباق پارامترهای مدل با نتایج، از مقادیر چندک^۲ توزیع RT در شکل (۳) استفاده شده است. در این‌جا برای مقادیر چندک‌ها از مقادیر موجود در مطالعه‌ی [۳۴] استفاده

تعداد متوسط خطاهای شرکت‌کنندگان در پاسخ به وظیفه‌ی شنیداری، بر اساس آزمون rANOVA با اندازه‌گیری‌های مکرر، تفاوت معناداری را در دو سطح نشان می‌دهد. هم‌چنین نتایج بیان‌گر تفاوت معناداری در فاکتور نوع وظیفه (ST، DT) ($F_{1,24}=45/23$ ، $p<0/001$ ، $n_p^2=0/65$) و سطح دشواری (D₁، D₂، D₃) ($F_{2,19}=4/73$ ، $p=0/013$ ، $n_p^2=0/17$) در خطای پاسخ شنیداری است. هم‌چنین تفاوت معناداری در ترکیب فاکتورهای نوع وظیفه‌ی شنیداری و سطح دشواری مشاهده شده است ($F_{2,19}=3/93$ ، $p=0/026$ ، $n_p^2=0/14$).

نتایج حاصل از میزان پاسخ‌های صحیح و خطا نشان می‌دهد که نوع وظیفه عامل مهمی در ترکیب فاکتورها بر میزان خطای پاسخ عمل‌کرد وظیفه‌ی شنیداری است. نتایج آزمون t^۱ نشان می‌دهد که وظیفه‌ی دنبال کردن با سطح دشواری آسان (M=0/08، SD=0/04) در مقابل دنبال کردن با سطح دشواری سخت (M=0/04، SD=0/02) تفاوت قابل توجهی در وظیفه‌ی شنیداری ایجاد نمی‌کند ($t(24)=1$ ، $p=0/33$).

۳-۲- پردازش آماری زمان پاسخ (RT) آزمایش

در هر مرحله RT با آزمون rANOVA و با اندازه‌گیری‌های مکرر بررسی و تحلیل شده است. نتیجه‌ی میانگین RT و خطا در سه سطح مختلف دشواری در شکل (۲) نشان داده شده که به صورت خطا بر اساس زمان پاسخ رسم شده است.



شکل (۲) - نمودار خطای وظیفه‌ی شنیداری بر حسب RT

برای سه سطح دشواری (وظیفه‌ی شنیداری ST، وظیفه‌ی DT با سطح دشواری آسان، و وظیفه‌ی DT با سطح دشواری سخت)، محور افقی: میانگین زمان پاسخ وظیفه‌ی شنیداری، محور عمودی: میانگین درصد میزان خطا، خط‌چین سبز: محور نیم‌ساز ربع اول و سوم محور مختصات

در این‌جا وضعیت درصد خطا و زمان پاسخ قابل بررسی است. اگر وضعیت کوتاه‌ترین زمان پاسخ و پایین‌ترین درصد خطا به

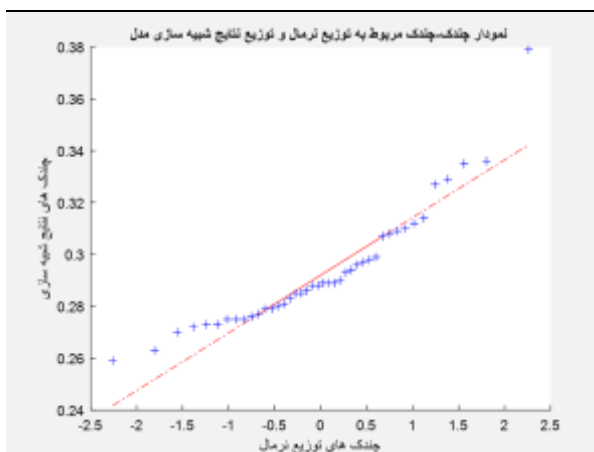
^۲ Quantile

^۱ t-test

^۲ Startling

مقدار در محدوده‌ی مجاز زمان پاسخ نمی‌باشد. پارامتر رانش δ از مقادیر چندک RT برای هر سطح دشواری به صورت جداگانه به دست آمده است.

نمودار چندک-چندک (Q-Q) مانند [۴۱] برای هر فرد به صورت جداگانه رسم شده است. این نمودارها با توجه به احتمال وقوع پاسخ‌های صحیح برای هر فرد نمودار Q-Q متفاوتی را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است تمام نقاط داده در نزدیکی شیب اصلی قرار دارند بنابراین می‌توان یک تناسب خوب برای داده‌های ثبت شده در مقابل خروجی شبیه‌سازی شده‌ی مدل را در نظر گرفت [۳۴، ۳۵].



شکل (۴) - نمودار چندک-چندک برای ۴۲ آزمایش مربوط به مرحله‌ی ۱ تا ۳، پراکندگی نقاط حول خط قرمز مشخص شده نزدیکی نتایج به نمودار چندک-چندک را نشان می‌دهد

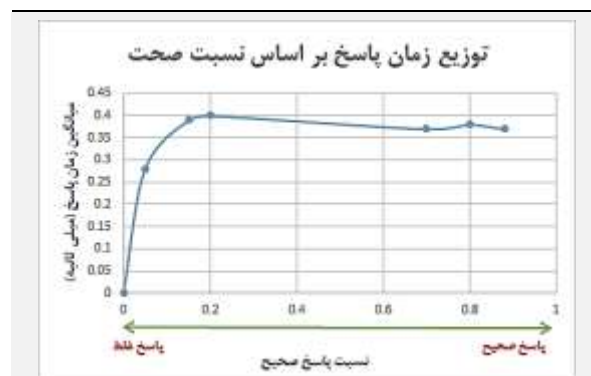
با استفاده از نتایج چندک-چندک فرد به فرد برای مشخصه‌ی RT مقادیر پارامتر رانش برای دشواری‌های مختلف به دست آمده و این مقادیر برای سه سطح D_1 ، D_2 و D_3 همبستگی^۲ کاملی را با داده‌های جمع‌آوری شده نشان می‌دهد. این نتایج در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول (۱) - پارامتر رانش برای میانگین RT، میزان همبستگی نتایج با قرار گرفتن این پارامتر در مدل. همبستگی بالاتر نشان دهنده‌ی انتخاب مناسب مقدار پارامتر در مدل رانش-انتشار است

سطح دشواری	پارامتر رانش (δ)	میزان همبستگی (%)
D_1	۰/۵	۹۸
D_2	۰/۳	۹۲
D_3	۰/۲	۹۵

مقادیر پارامتر رانش برای میانگین RT محاسبه شده است. در حالت ST مقدار رانش بالاتر از سایر حالت‌ها به دست آمده و

شده است (۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹). سپس با استفاده از تقریب حرکت تصادفی^۱ ۲۵۰۰ گام با فواصل ۱ میلی‌ثانیه شبیه‌سازی شده است. نتایج کمی نشان می‌دهد که شرکت کنندگان در پاسخ دادن به تحریک شنیداری بسیار سریع یا بسیار کند عمل کرده زیرا توزیع پاسخ فقط در احتمالات کم و زیاد متمرکز شده است. یک تفسیر از این پدیده سادگی وظیفه‌ی شنیداری است که فرد می‌تواند خیلی سریع آن را انجام دهد و در برخی شرایط باعث حواس‌پرتی و پاسخ نادرست می‌شود. تفسیر دیگر این امر مقدار RT طبیعی و اقدام برای متعادل کردن خطا و سرعت است که موجب بروز آن می‌شود.



شکل (۳) - توزیع RT با استفاده از چندک‌های ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹، چندک هر مقدار ویژگی اصلی توزیع RT را جمع‌آوری کرده و تمام اطلاعات را در توزیع چندک‌ها نشان می‌دهد

پردازش‌گر مدل DDM به عنوان یک جست‌وجوگر پارامتر، تفسیر داده را انجام می‌دهد. برای اعمال DDM در یک مدل روان‌شناختی، پارامترها باید متناسب انتخاب شده تا توزیع‌های RT پیش‌بینی شده‌ی مدل به بهترین وجه با RT ثبت شده هم‌خوانی داشته باشد. برای این کار باید درجه‌ای از تناسب بین این دو توزیع انتخاب شود که روش‌های معمول آن کمینه‌سازی حداکثر همسایگی (ML) یا روش آماری χ^2 است [۳۴].

پارامتر A روی مقدار کم تنظیم شده زیرا انگیزه‌ی شروع پاسخ در آزمایش زیاد است و SRT یکی از ساده‌ترین وظایف بنیادی در تحقیقات علم روان‌شناختی به حساب می‌آید [۳۵]. پارامتر zI با در نظر گرفتن میانگین درصد صحت پاسخ هر سه سطح (۹۶ درصد کل آزمایشات) انتخاب شده است. پاسخ به وظیفه‌ی شنیداری از قبل تعیین شده است بنابراین احتمال پاسخ درست بسیار بیش‌تر از بروز خطا خواهد بود از این رو zI در نزدیکی آستانه‌ی مرز انتخاب صحیح تنظیم می‌شود [۲۹].

پارامتر t_0 بر اساس تعریف مدت زمان تحریک (۳۳۳ میلی‌ثانیه) روی ۲۵۰ میلی‌ثانیه تنظیم شده است که در این آزمایش این

^۲ Correlation

^۱ Random Walk



۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه آزمایشی از دو وظیفه‌ی گسسته-پیوسته با دشواری‌های مختلف برای DT در حال اجرا و نتایج یک وظیفه‌ی شنیداری گسسته با استفاده از مدل انتشار-رانش (DDM) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. میزان همبستگی نشان می‌دهد که مدل در سطوح مختلف دشواری RT ثبت شده هم‌خوانی دارد. هم‌چنین با استفاده از این مدل نشان داده شده که سرعت رانش δ می‌تواند بیان‌گر تاثیر تداخل‌های مختلف DT باشد که با تفسیر روان‌شناختی پارامتر رانش سازگار است [۱۹]. بنابراین می‌توان سطوح مختلف دشواری را به عنوان معیاری از عمل‌کرد فرد در شرایط DT وظایف گسسته-پیوسته در نظر گرفت. هم‌چنین می‌توان با پردازش وظیفه‌ی حرکتی پیوسته از مدل رانش-انتشار برای هر دو وظیفه در شرایط DT استفاده نمود تا برای هر دو تخمین دشواری به دست آید. برای روشن‌تر شدن نتیجه می‌توان از یک وظیفه با پردازش بالاتر مانند وظیفه‌ی انتخابی نیز استفاده کرد [۳۳، ۳۱] تا در تداخل بیش‌تری با وظیفه‌ی حرکتی قرار گرفته و بتواند در یک محدوده‌ی کلی‌تر تخمین دقیقی برای پارامتر دشواری ارائه دهد.

۵- سپاس‌گزاری

از اعضای آزمایشگاه گروه روان‌شناسی دانشگاه مارتین لوتر آلمان و به خصوص دکتر تورستان شوبرت استاد مشاور پروژه، برای کمک‌های بی‌دریغ علمی و حمایت مالی ایشان در طراحی و ثبت داده‌های آزمایش، بسیار سپاس‌گزاریم.

۶- مراجع

- [1] Pashler H, Joliceur P, Dell'Acqua R, Crebolder J, Goschke T, De Jong R, et al, "Task switching and multitask performance, in Control of cognitive processes: Attention and performance," The MIT Press: Cambridge, MA, US. p. 275-423, 2000.
- [2] Welford, A.T., "The psychological refractory period' and the timing of high-speed performance—a review and a theory," British Journal of Psychology, 43: p. 2-19, 1952.
- [3] Yogev G, Giladi N, Peretz C, Springer S, Simon ES, Hausdorff JM, "Dual tasking, gait rhythmicity, and Parkinson's disease: Which aspects of gait are attention demanding?," European Journal of Neuroscience, 22(5): p. 1248-1256, 2005.
- [4] Mofateh R, Salehi R, Negahban H, Mehravar M, Tajali S, "Effects of cognitive versus motor

نشان دهنده‌ی آسانی بالای این مرحله است. در ادامه با افزوده شدن وظیفه‌ی دنبال کردن به وظیفه‌ی شنیداری در سطح D_2 این مقدار کاهش یافته که نشان دهنده‌ی بروز سختی قابل ملاحظه در DT است. نکته‌ی جالب توجه این است که پارامتر رانش در سطح دشواری سوم D_3 تفاوت چندانی نسبت به D_2 پیدا نکرده و نشان دهنده‌ی این است که درجه‌بندی سختی DT نسبت به ST شامل یک بایاس و یا مقدار پایه‌ای بوده که آن‌ها را از هم مجزا می‌کند. پایین‌تر بودن میانگین خطای سطح D_3 نسبت به D_2 در پارامتر رانش تاثیری نداشته و در هر صورت نشان دهنده‌ی دشواری بیش‌تر سطح D_3 نسبت به D_2 است و این تفسیر متعادل‌سازی بین خطا و RT در دو سطح DT را تقویت می‌کند. نتایج RT از خروجی مدل و ثبت داده‌ها برای سه سطح دشواری در شکل (۵) نشان داده شده است.

نتایج شکل (۵) نشان دهنده‌ی تطبیق خوب داده‌ها و نتایج خروجی مدل برای هر سه سطح دشواری است. هم‌چنین از روش مجذور-کای^۱ برای اعتبارسنجی داده‌های ثبت شده با خروجی مدل و از تابع هزینه به معنای مجذور مربعات خطا (RMSE) استفاده شده است. نتیجه‌ی تطابق نتایج برای سه سطح D_1 ، D_2 و D_3 در جدول (۲) ارائه شده است. این نتایج برازش زیادی را با داده‌های تجربی نشان می‌دهد.



شکل (۵) - مقایسه‌ی خروجی مدل و نتایج ثبت داده برای ۴۲ آزمایش در سه مرحله با دشواری‌های مختلف، میزان اختلاف نتایج مدل و داده‌های ثبت شده در نمودار پایین نشان داده شده است، خط‌چین‌ها آزمایش‌های سه مرحله را از هم جدا می‌کنند

جدول (۲) - برازش خروجی مدل با محاسبه‌ی مجذور مربعات خطا برای سه سطح دشواری، مقدار خطای کم‌تر نشان دهنده‌ی برازش بهتر داده‌های ثبت شده با نتایج شبیه‌سازی است

سطح دشواری	مجذور مربعات خطا (RMSE)
D_1	۰/۰۰۷۹
D_2	۰/۰۰۴۸
D_3	۰/۰۰۵۳۱

^۱ Chi-Square



- [18] Szameitat AJ, Lepsien J, Cramon DY, Sterr A, Schubert T, "Task-order coordination in dual-task performance and the lateral prefrontal cortex: an event-related fMRI study," *Psychological Research*, 70(6): p. 541-552, 2006.
- [19] Szameitat AJ, Schubert T, Müller K, Von Cramon DY, "Localization of executive functions in dual-task performance with fMRI," *Journal of cognitive neuroscience*, 14(8): p. 1184-1199, 2002.
- [20] O'Shea, S., M.E. Morris, and R. Iansak, "Dual Task Interference During Gait in People With Parkinson Disease: Effects of Motor Versus Cognitive Secondary Tasks," *Physical Therapy*, 82(9): p. 888-897, 2002.
- [21] Ewolds HE, Bröker L, de Oliveira RF, Raab M, Künzell S, "Implicit and Explicit Knowledge Both Improve Dual Task Performance in a Continuous Pursuit Tracking Task," 8(2241), 2017.
- [22] Tsang, S.N.H. and A.H.S. Chan, "Tracking and discrete dual task performance with different spatial stimulus-response mappings," *Ergonomics*, 58(3): p. 368-382, 2015.
- [23] McNeil MR, Matthews CT, Hula WD, Doyle PJ, Fossett TRD, "Effects of visual-manual tracking under dual-task conditions on auditory language comprehension and story retelling in persons with aphasia," *Aphasiology*, 20(2-4): p. 167-174, 2006.
- [24] Yogeve-Seligmann, G., J.M. Hausdorff, and N. Giladi, "The Role of Executive Function and Attention in Gait. Movement disorders," 23(3): p. 329-342, 2008.
- [25] Tombu, M. and P. Jolicoeur, "A central capacity sharing model of dual-task performance," *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(1): p. 3-18, 2003.
- [26] Janczyk, M., P. Mittelstädt, and C. Wienrich's, "Parallel dual-task processing and task-shielding in older and younger adults: Behavioral and diffusion model results," *J Experimental aging research*, 44(2): p. 95-116, 2018.
- [27] Ratcliff, R., "A theory of memory retrieval," *J Psychological review*, 85(2): p. 59, 1978.
- [28] Fudenberg D, Newey WK, Strack P, Strzalecki T, "Testing the Drift-Diffusion Model," arXiv preprint, 2019.
- [29] Milosavljevic M, Malmaud J, Huth A, Koch C, Rangel A, Making D, "The drift diffusion model can account for the accuracy and reaction time of value-based choices under high and low time pressure," *J Judgment*, 5(6): p. 437, 2010.
- [30] Murata T, Hamada T, Shimokawa T, Tanifuji M, Yanagida T, "Stochastic process underlying emergent recognition of visual objects hidden in degraded images," *J PLoS One*, 9(12): p. e115658, 2014.
- [31] Klapp, S.T., P.A. Kelly, and A. Netick, "Hesitations in continuous tracking induced by a dual-task on spatiotemporal gait parameters in healthy controls and multiple sclerosis patients with and without fall history," *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 18: p. 8-14, 2017.
- [5] Muhle P, Claus I, Labeit B, Ogawa M, Dziewas R, Suntrup-Krueger S, et al, "Effects of cognitive and motor dual-tasks on oropharyngeal swallowing assessed with FEES in healthy individuals," *Scientific Reports*, 10(1): p. 20403, 2020.
- [6] Åhman HB, Cedervall Y, Kilander L, Giedraitis V, Berglund L, McKee KJ, et al, "Dual-task tests discriminate between dementia, mild cognitive impairment, subjective cognitive impairment, and healthy controls – a cross-sectional cohort study," *BMC Geriatrics*, 20(1): p. 258, 2020.
- [7] Rogers, R.D. and S. Monsell, "Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks," *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2): p. 207-231, 1995.
- [8] Kiesel A, Steinhauser M, Wendt M, Falkenstein M, Jost K, Philipp AM, et al, "Control and interference in task switching—A review," *Psychological Bulletin*, 136(5): p. 849-874, 2010.
- [9] Sigman, M. and S. Dehaene, "Dynamics of the central bottleneck: dual-task and task uncertainty," *PLoS biology*, 4(7): p. e220, 2006.
- [10] Meyer, D.E. and D.E. Kieras, "A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 1. Basic mechanisms," *Psychol Rev*, 104(1): p. 3-65, 1997.
- [11] Logan, G.D. and R.D. Gordon, "Executive control of visual attention in dual-task situations," *Psychological Review*, 108(2): p. 393-434, 2001.
- [12] Baddeley, A., "Working Memory: Theories, Models, and Controversies," 63(1): p. 1-29, 2012.
- [13] Buss AT, Wifall T, Hazeltine E, Spencer JP, "Integrating the behavioral and neural dynamics of response selection in a dual-task paradigm: A dynamic neural field model of dux et al. 2009," *Cognitive Neuroscience* 26(2): p. 334-351, 2014.
- [14] D'Esposito M, Detre JA, Alsop DC, Shin RK, Atlas S, Grossman M, "The neural basis of the central executive system of working memory," *Nature*, 378(6554): p. 279-281, 1995.
- [15] Schubert, T. and A.J. Szameitat, "Functional neuroanatomy of interference in overlapping dual tasks: an fMRI study," *Cognitive Brain Research*, 17(3): p. 733-746, 2003.
- [16] Dux PE, Ivanoff J, Asplund CL, Marois R, "Isolation of a Central Bottleneck of Information Processing with Time-Resolved fMRI," *Neuron*, 52(6): p. 1109-1120, 2006.
- [17] Herath P, Klingberg T, Young J, Amunts K, Roland P, "Neural Correlates of Dual Task Interference Can be Dissociated from Those of Divided Attention: an fMRI Study," *Cerebral Cortex*, 11(9): p. 796-805, 2001.

- [37] Höcker A, Speckmayer P, Stelzer J, Tegenfeldt F, Voss H, Voss K, et al, "TMVA - Toolkit for Multivariate Data Analysis," 2007.
- [38] Voss A, Voss J, Klauer KC, "Separating response-execution bias from decision bias: Arguments for an additional parameter in Ratcliff's diffusion model," *British journal of mathematical*, 63(3): p. 539-555, 2010.
- [39] Sadeghi Talarposhti, M., M.A. Ahmadi-Pajouh, and F. Towhidkhal, "Modeling one-choice discrete-continuous dual task," in 27th National and 3rd International Iranian Conference on Biomedical Engineering (ICBME), Tehran, Iran, 2020.
- [40] Voss A, Rothermund K, Voss J, "Interpreting the parameters of the diffusion model: An empirical validation," *J Memory*, 32(7): p. 1206-1220, 2004.
- [41] Ratcliff, R. and P.L. Smith, "Perceptual discrimination in static and dynamic noise: The temporal relation between perceptual encoding and decision making," *J Journal of Experimental Psychology: General*, 139(1): p. 70, 2010.
- concurrent discrete task," *Human factors*, 29(3): p. 327-337, 1987.
- [32] Netick, A. and S.T. Klapp, "Hesitations in manual tracking: A single-channel limit in response programming," *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(4): p. 766-782. 1994.
- [33] Klapp, S.T., D. Maslovat, and R.J. Jagacinski, "The bottleneck of the psychological refractory period effect involves timing of response initiation rather than response selection," *Psychon Bull Rev*, 26(1): p. 29-47, 2019
- [34] Ratcliff, R. and P.L. Smith, "A comparison of sequential sampling models for two-choice reaction time," *J Psychological review*, 111(2): p. 333, 2004.
- [35] Voss, A., J. Voss, and V. Lerche, "Assessing cognitive processes with diffusion model analyses: a tutorial based on fast-dm-30," 6(336), 2015.
- [36] Ulrich R, Schröter H, Leuthold H, Birngruber T, "Automatic and controlled stimulus processing in conflict tasks: Superimposed diffusion processes and delta functions," *Cognitive psychology*, 78: p. 148-174, 2015.