

## تأثیر خستگی فکری بر زمان پاسخ و نرخ خطای فعالیت‌های سیکلی در معماری شناختی ACT-R

نوشین آتشفشان  
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع،  
دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد  
حمیده رضوی\*  
دانشیار مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی،  
دانشگاه فردوسی مشهد

\*نشانی تماس: دانشکده مهندسی، دانشگاه  
فردوسی، مشهد، ایران.  
h-razavi@um.ac.ir

**هدف:** بررسی تأثیرات خستگی فکری بر زمان و صحت انجام کار تکراری با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی شده در معماری شناختی ACT-R (Adaptive Control of Thought-Rational). از آنجا که در تحقیقات پیشین، اثر خستگی بر فعالیت‌های پرتکرار با سیکل کوتاه و در زمان طولانی در نظر گرفته نشده است، نمونه‌ای از کار فکری یکنواخت و تکراری در محیط نرم‌افزاری معماری شناختی ACT-R مدل شد. **روش:** در یک بار اجرای این مدل، میانگین زمان پاسخ برای هر سیکل از تقسیم زمان کل پاسخ بر تعداد تکرارها و نرخ کلی خطا نیز از تقسیم تعداد پاسخ‌های نادرست بر تعداد تکرارها، پس از حذف تکرارهای فاز یادگیری، به دست می‌آید. سپس با بررسی آثار خستگی بر ACT-R، ضریب افزایش در مدل شبیه‌سازی شده تعریف و اضافه شد. این ضریب برای تعریف میزان تمرکز فکری به کار می‌رود و چون با کاهش آن، زمان پاسخ و نرخ خطا افزایش می‌یابد ضریب افزایش نامیده می‌شود. با اجرای این مدل برای افراد داوطلب، داده‌های واقعی جمع‌آوری و با استفاده از روش آماری ANOVA (Analysis of Variance) با خروجی‌های مدل مقایسه شد. پس از صحت‌گذاری مدل، تأثیر ضرایب افزایش بر زمان پاسخ و نرخ خطا تحلیل شد. **یافته‌ها:** با آزمون F در سطح درصد  $\alpha = 5$  ثابت شد که بین داده‌های مجازی و داده‌های واقعی تفاوت معناداری وجود ندارد و مدل ارائه شده معتبر است. سپس مدل برای سیکل سه ثانیه با تعداد تکرارهای مختلف و در دفعات متعدد اجرا شد که با مد نظر قراردادن عامل خستگی فکری، افزایش در میانگین زمان پاسخ تا ۰/۵ ثانیه برای هر سیکل و افزایش در میانگین نرخ خطا تا ۱۲ درصد به دست آمد. **نتیجه‌گیری:** پس از هزار سیکل، میانگین زمان پاسخ برای هر سیکل به طور تقریبی به میزان ۰/۴۳ ثانیه و میانگین نرخ خطا به اندازه‌ی ۸ درصد افزایش می‌یابد که شاهدهی است بر اثر منفی خستگی فکری. این اثر را می‌توان با راه‌کارهایی مانند استراحت به موقع کنترل کرد و کاهش داد.

**کلیدواژه‌ها:** خستگی فکری، زمان پاسخ، نرخ خطا، معماری شناختی ACT-R

## The Effect of Mental Fatigue on the Response-Time and Error-Rate of Cyclic Tasks in ACT-R Cognitive Architecture

**Introduction:** This study was designed to investigate the effect of mental fatigue on response-time and error-rate of cyclic tasks using a simulated model in ACT-R cognitive architecture. **Method:** The effects of fatigue on cyclic tasks with high frequency and long duration have not thus far been systematically studied. In the present study, an unvarying cyclic task was modeled in ACT-R (Adaptive Control of Thought-Rational) environment. For each run, the average response-time per cycle and total error-rate were obtained through dividing the total working time and total number of incorrect responses, respectively by the total number of cycles after eliminating the learning phase. Then, the effect of mental fatigue was studied in the cognitive architecture and a fatigue-based multiplier was incorporated into the model. This multiplier was a concentration index which was declined when response-time and error-rate increased. Next, real data were collected through experiments on volunteers and compared with simulated results using analysis of variance (ANOVA). After validation of the model, the impact of fatigue-based multipliers on the response-time and error-rate were analyzed for different iteration numbers. **Results:** Using an *F* test at  $\alpha=0.05$ , no significant disagreement between virtual and real data and the validity of the model was shown. Final results for 3-sec cycle tests revealed up to 0.5 sec increase in the average response-time for each cycle and 12% in the average error-rate. **Conclusion:** After 1000 iterations of the sample task, the average response-time for each cycle and the average error-rate are increased by 0.43 sec and 8%, respectively. This confirms the negative impact of mental fatigue on such indices. Such an effect can be administered and controlled by proper rest breaks.

**Keywords:** Mental fatigue, Response-time, Error-rate, ACT-R cognitive architecture.

Nooshin Atashfeshan  
MSc student in Industrial  
Engineering, Engineering Faculty,  
Ferdowsi University of Mashhad  
Hamideh Razavi\*  
Associate Professor in Industrial  
Engineering, Engineering Faculty,  
Ferdowsi University of Mashhad

Corresponding Author:  
Email: h-razavi@um.ac.ir

## مقدمه

توجه به ساختار فیزیکی و کارکردی ذهن، رفتار انسان را مدل کرده و نحوه‌ی عملکرد او را در واحد زمان و همراه با جزئیات لازم پیش‌بینی کند. این تکنیک تا به امروز کاربردهای زیادی در توجه دیداری، کنترل ترافیکی هوایی، حل مسایل ریاضی و رانندگی داشته است (۱۳-۱۷).

جانگمن از نخستین افرادی است که خستگی فکری را در معماری ACT-R بررسی کرده است (۱۸). او مدل مربوط به فعالیت جست‌وجوی حافظه‌ی استرنبرگ (۱۹) را در نظر گرفته و آثار خستگی را با تغییرات گسسته‌ی پارامترهای ACT-R برای دو خروجی زمان پاسخ و نرخ خطا تحلیل کرده است. جانگمن عوامل ایجادکننده‌ی خستگی از قبیل تکرار، یکنواختی و طولانی بودن را در مدل خود اعمال نکرده و فقط با مقاردهی متفاوت عوامل مربوط به خستگی در ACT-R، آثار آنها را بر خروجی فعالیت تحلیل کرده‌است. سپس، گنزالز و همکاران، آثار هم‌زمان یادگیری و خستگی فکری را بر فعالیت‌های تکراری بررسی کرده‌اند (۲۰). مدل آن تحقیق، مربوط به آزمایش‌های هیلی (۲۱) در مورد فعالیت تایپ اطلاعات در رایانه است که با تغییرات پیوسته‌ی پارامترها در هر تکرار، آثار هم‌زمان یادگیری و خستگی فکری را بر زمان پاسخ و نرخ خطا ارزیابی می‌کند. تنوع زیاد در فعالیت مورد بررسی برای مثال به تأخیر افتادن بروز خستگی در شخص است. علاوه بر این، بر اساس نتیجه‌گیری‌های گنزالز، خستگی بر زمان پاسخ تأثیری ندارد و فقط بر نرخ خطا می‌افزاید. در حالی که در پژوهش‌های قبلی، بر افزایش زمان پاسخ پس از انجام فعالیت‌های تکراری به مدت طولانی تأکید شده است (۱، ۲۲-۲۵). از سوی دیگر، در برخی فعالیت‌های سیکلی مانند عملیات تولیدی و کنترلی، زمان انجام کار و نرخ خطا اهمیت بیشتری می‌یابد. در این فعالیت‌ها، سیکل کاری کوتاه با فرکانس بالا تکرار شده و تعداد آن در یک مقطع زمانی پیوسته بالغ بر چند صد و یا حتی چند هزار تکرار خواهد شد. با توجه به اینکه در تحقیقات قبلی، شبیه‌سازی فعالیت‌های پر تکرار با سیکل کوتاه و در زمان طولانی مد نظر قرار نگرفته و اثر خستگی بر آنها بررسی نشده است، در این تحقیق، یک نمونه از چنین فعالیت‌هایی با معماری شناختی ACT-R مدل شده است. اساس این مدل، یک عملیات کنترلی واقعی شبیه‌سازی شده و برگرفته از مدل‌های نرم‌افزاری استانداردشده‌ی موجود نیست. سپس با تغییر پارامترهای مدل، تأثیر خستگی بر دو

با پیشرفت فن‌آوری و ارتقای سطح اتوماسیون، حجم فعالیت‌های فکری در مقایسه با فعالیت‌های دستی و فیزیکی به شدت افزایش و در نتیجه، بررسی این نوع فعالیت‌ها اهمیت بسزایی یافته است (۱). از جمله عواملی که می‌تواند بر کیفیت خروجی فعالیت‌های فکری اثر گذارد، خستگی فکری است که می‌توان با کارسنجی علمی آثار آن را تا حدودی کاهش داد؛ به طوری که رضایت شغلی فرد، کاهش خطاها و در نهایت بهبود عملکرد سیستم را در پی داشته باشد (۲).

خستگی فکری احساسی است که فرد در حین و یا بعد از فعالیت‌های شناختی طولانی، پرتکرار و یکنواخت تجربه می‌کند. بارلت خستگی فکری را عامل کاهش ظرفیت‌های شناختی به منظور انجام کار ذهنی تعریف می‌کند (۳). این نوع خستگی بسیار رایج است و در پردازش‌های شناختی از جمله تمرکز و تصمیم‌گیری آثار منفی بر جای می‌گذارد (۴-۶). با توجه به تحقیقات بوکسم و یانگ، افرادی که در طول فعالیت فکری دچار خستگی می‌شوند، در ارائه‌ی پاسخ، تمرکز، نادیده‌گرفتن اطلاعات زائد و تصمیم‌گیری با مشکل برمی‌خورند (۷، ۴). با وجود این یافته‌ها، که اهمیت خستگی در تحلیل فعالیت‌های فکری را تأیید می‌کنند، اطلاعات مربوط به منابع ایجادکننده‌ی خستگی و تأثیرات آن بر عملکرد در کارهای سیکلی و پرتکرار همچنان بسیار کم است. علاوه بر این، خستگی فکری ممکن است آثاری فراتر از کاهش عملکرد به دنبال داشته‌باشد (۱).

برای تحلیل آثار خستگی فکری بر کارکرد ذهنی، می‌توان از انواع معماری شناختی از قبیل ACT-R، EPIC<sup>۱</sup> (۸) و Soar (۹)، که قابلیت شبیه‌سازی رفتار شناختی انسان را دارند، استفاده کرد. معماری‌های شناختی SOAR و EPIC، مانند ACT-R بر قوانین شرطی پایه‌گذاری شده‌اند؛ با این تفاوت که در SOAR و EPIC به دلیل اجرای هم‌زمان و موازی قوانین شرطی، امکان وقوع واکنش‌های متضاد وجود دارد و از این رو به تعریف قوانین کنترل‌کننده برای فعالیت مورد نظر نیاز است که همین نیز باعث پیچیده و زمان‌بر شدن فرایند مدل‌سازی می‌شود. همچنین در سیستم EPIC، فاز یادگیری در نظر گرفته نمی‌شود (۱۰-۱۲). در این تحقیق، معماری ACT-R به دلیل کاربردهای متنوع، نوع خروجی و قابلیت‌های برنامه‌نویسی (اجرای مدل به وسیله‌ی افراد داوطلب) مورد استفاده قرار گرفته است. این معماری شناختی، از رایج‌ترین روش‌های معماری شناختی است که می‌تواند با

1. Executive Process/Interactive Control



شکل ۱- بخشی از خروجی مدل فرضی اجرا شده در ACT-R

معماری و پودمان‌های آن ضروری است. پودمان‌های اخباری<sup>۲</sup> و رویه‌ای<sup>۳</sup> از مهمترین پودمان‌های ACT-R هستند. پودمان رویه‌ای شامل اطلاعات رویه‌ای است. در علوم شناختی، علم رویه‌ای شامل اطلاعاتی است که فرد ناآگاهانه در رفتارهای خود از آنها استفاده می‌کند؛ مثل علم مربوط به راه رفتن و یا صحبت کردن (۲۷). این اطلاعات به صورت قوانین شرطی<sup>۴</sup> (اگر - آن‌گاه<sup>۵</sup>) در این معماری شناختی مطرح می‌شوند. وظیفه‌ی پودمان رویه‌ای پردازش این نوع قوانین است؛ به عبارت دیگر، این پودمان بررسی می‌کند که در صورت برقراری شرایط خاص، چه عملی باید انجام شود.

وظیفه‌ی پودمان اخباری، پردازش اطلاعات اخباری است. علم اخباری، مانند جمع ریاضی " $4+3=7$ "، دانشی است که فرد از وجودش آگاهی دارد و آن را یاد می‌گیرد و یا به خاطر می‌سپارد. این اطلاعات در ACT-R به صورت قطعات اطلاعاتی و یا "چانک"<sup>۶</sup>ها در حافظه‌ی اخباری جای می‌گیرند؛ بنابراین پودمان اخباری شامل چانک‌هایی است که در یادآوری اطلاعات و تکمیل فعالیت مورد نظر به مدل کمک می‌کند (۲). دلیل تأکید بر این دو پودمان، تأثیرات عواملی نظیر یادگیری و خستگی بر آنها است. به عبارت دیگر، به دلیل یادگیری، پودمان رویه‌ای با ادغام قوانین شرطی می‌تواند در زمان کوتاه‌تر و مراحل کمتر اطلاعات مورد نظر را پردازش کند. خستگی نیز بر پودمان اخباری اثر می‌گذارد و به ایجاد تأخیر در فراخوانی مطالب مورد نظر و یا عدم فراخوانی در بازه‌ی تعیین شده می‌انجامد.

ACT-R در دو سطح نمادین<sup>۷</sup> و زیر نمادین<sup>۸</sup> دانش مورد

عامل زمان و نرخ خطا تحلیل شد. در مدل جدید، فاز یادگیری نیز مد نظر قرار گرفت ولی چون گذرا و در شرایط پایدار مدل بی‌تأثیر بود، در محاسبات نهایی حذف و در تحلیل‌ها به آن پرداخته نشد.

در ادامه، پس از توضیح متدولوژی پژوهش، چگونگی اعمال خستگی فکری در معماری شناختی ACT-R بررسی و تکنیک پیشنهادی با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایش‌های تجربی ارائه شد. پس از آن، با اجرای مدل جدید در محیط نرم‌فزاری ACT-R و تغییر پارامترهای آن در هر مرحله، تأثیرات خستگی از نظر زمان پاسخ و نرخ خطا به صورت کمی محاسبه و در شرایط متفاوت کاری (از نظر تکرار) مقایسه شد.

## روش

روش این پژوهش شامل مراحل متوالی زیر است:

- تعیین زمان پاسخ و نرخ خطا با استفاده از معماری شناختی ACT-R؛
- بررسی تأثیر خستگی فکری در ACT-R؛
- اعمال تغییرات در مدل ACT-R، به منظور تأثیر دادن عامل خستگی؛
- ارائه‌ی مدل شبیه‌سازی شده و اجرای آن؛
- انجام آزمایش مربوط به مدل روی افراد مختلف؛
- مقایسه و نتیجه‌گیری.

## تعیین زمان پاسخ و نرخ خطا در معماری شناختی

ACT-R: ساختار معماری ACT-R مشابه ساختار عصبی مغز انسان و به صورت پودمانی<sup>۱</sup> طراحی شده است. آخرین نسخه‌ی موجود ACT-R 6.0 از هشت پودمان تشکیل شده که هر یک اطلاعات خاصی را پردازش می‌کنند (۲۶). برای تعیین زمان پاسخ و نرخ خطا، آشنایی کلی با ساختار این

- |                     |                 |
|---------------------|-----------------|
| 1. Modular          | 5. IF-Then      |
| 2. Declarative      | 6. Chunk        |
| 3. Procedural       | 7. Symbolic     |
| 4. Production Rules | 8. Sub-symbolic |

برانگیختگی بیشتری داشته باشد، احتمال فراخوانی آن بیشتر خواهد بود. تعداد دفعات فراخوانی چانک و آخرین زمان استفاده از آن (که این دو عامل را با عنوان برانگیختگی پایه<sup>۲</sup> می‌شناسند) و نیز ارتباط چانک (از نظر تداعی معانی) و شباهتش با محیط اطراف، عواملی هستند که بر مقدار برانگیختگی مؤثرند. مقدار برانگیختگی یک چانک از رابطه‌ی ۶ به دست می‌آید (۱۰، ۱۳).  
(رابطه‌ی ۶)

$$A_i = B_i + \sum_j w_j S_{ij} - D_i + \varepsilon$$

در این رابطه،  $A_i$  مقدار برانگیختگی چانک  $i$ ،  $B_i$  مقدار برانگیختگی پایه‌ی چانک  $i$  و  $S_{ij}$  ارتباطی است که عامل  $j$  در محیط با چانک  $i$  دارد و به تداعی معنای چانک  $i$  کمک می‌کند.  $w_j$  مقدار توجهی<sup>۳</sup> است که در محیط به عامل  $j$  می‌شود (وزن عامل  $j$ ) و از رابطه‌ی ۷ به دست می‌آید.  $D_i$  نیز جریمه‌ای است که میزان شباهت چانک  $i$  و اطلاعات موجود در حافظه را نشان می‌دهد. این شباهت باعث افزایش احتمال به یادآوری چانک‌های مشابه می‌شود که با افزایش خطا همراه است؛ به عبارت دیگر، شباهت چانک  $i$  و اطلاعات موجود در حافظه، مقدار برانگیختگی چانک  $i$  را کاهش می‌دهد.  $\varepsilon$  هم مقدار خطای در نظر گرفته شده است.

$$w_j = \frac{W}{n} \quad (\text{رابطه‌ی ۷})$$

در رابطه‌ی ۷،  $n$  را می‌توان تعداد عوامل ایجادکننده‌ی توجه و  $W$  را هم مقدار کلی توجهی که فرد برای فراخوانی مطلب در نظر می‌گیرد، تعریف کرد که این مقادیر در افراد مختلف متفاوت است. البته آن را می‌توان به نوعی پارامتر مربوط به تمرکز دانست، بنابراین مقادیر زیاد آن نشان‌دهنده‌ی عملکرد بهتر حافظه است (۲۰). برای مثال، چنانچه فرد قصد یادآوری شی‌بی با دو ویژگی رنگ و نوع را داشته باشد، دو عامل محیطی به فراخوانی چانک  $i$  کمک می‌کنند و  $n = 2$  است. حال اگر  $W$  را که نشان‌دهنده‌ی میزان کل توجه فرد است، ۱ در نظر بگیریم، آن گاه بین دو مشخصه‌ی رنگ و نوع به نسبت مساوی تقسیم و بصورت زیر خواهد شد.

$$w_{\text{نوع}} = w_{\text{رنگ}} = \frac{1}{2}$$

تفاوت تأثیرات هر کدام از عوامل نوع و رنگ بر مقدار فعال‌سازی چانک مربوطه، به پارامتر  $S_{ij}$  بستگی دارد. به این

نیاز را بررسی می‌کند. در سطح نمادین بر مشخصات ساختار فیزیکی مغز تأکید و نحوه‌ی کدگذاری و یک‌پارچه‌سازی اطلاعات مشخص می‌شود؛ به عبارت دیگر، زمان و ترتیب اجرای کارها به وسیله‌ی پودمان‌ها در این سطح بیان می‌شود. در این سطح می‌توان به فعالیت پودمان‌ها در هر ثانیه و زمان کلی پردازش هر یک از آنها بعد از اجرای کامل مدل پی برد. همان‌طور که در شکل ۱ نیز مشخص است، در خروجی ACT-R، نحوه‌ی اجرای هر پودمان بیان شده و مدت زمان صرف شده به صورت تجمعی (بر حسب ثانیه) ارائه می‌شود. در سطح زیرنمادین، تمرکز بیشتر بر کارکردهای ذهن است. از طریق این سطح، نحوه‌ی فراخوانی چانک‌های موجود در حافظه‌ی اخباری و یا نحوه‌ی اجرای قوانین در پودمان رویه‌ای مشخص می‌شود. اگر این سطح در نظر گرفته نشود، ارائه‌ی پاسخ و زمان‌های مختلف برای حل یک معادله به وسیله‌ی افراد متفاوت توجیه‌پذیر نیست (۲۸). علاوه بر این، تأثیرات عواملی نظیر یادگیری و خستگی را می‌توان با این سطح بررسی کرد.

زمان کل پاسخ در ACT-R از لحظه‌ی شروع تا پایان هر اجرا (اتمام سیکل‌ها) با استفاده از روابط ۱ و ۲ به دست می‌آید. همچنین، میانگین زمان پاسخ برای هر سیکل پس از اجرای مدل به دفعات لازم با کمک رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود. نرخ کلی خطا در هر اجرا از رابطه‌ی ۴ و میانگین نرخ خطا نیز از رابطه‌ی ۵ به دست می‌آید.

اگر زمان سیکل < (زمان سیری شده توسط پودمان  $i$ )؛  $\sum_i$  (زمان سیری شده توسط پودمان  $i$ )؛ زمان پاسخ در یک سیکل (رابطه‌ی ۱) در غیربصورت زمان سیکل

(رابطه‌ی ۲)  $\text{زمان کل پاسخ در سیکل } k = \sum_k \text{ زمان کل پاسخ برای یک اجرا}$

(رابطه‌ی ۳)  $\text{میانگین زمان پاسخ برای اجرای } m = \frac{\sum_m m}{\text{تعداد تکرار} \times \text{تعداد اجرا}}$

(رابطه‌ی ۴)  $\text{نرخ کلی خطای نادرست} = \frac{\text{تعداد کل جویلهای نادرست}}{\text{تعداد تکرار}}$

(رابطه‌ی ۵)  $\text{نرخ کلی خطا در اجرای } m = \frac{\sum_m m}{\text{تعداد اجرا}}$

### تأثیر خستگی فکری بر معماری شناختی ACT-R:

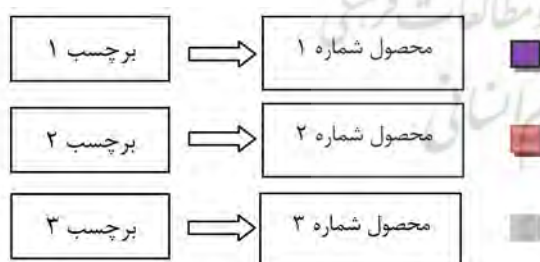
وجود هر چانک در پودمان اخباری لزوماً به معنای فراخوانی آن نیست، بلکه ممکن است چانکی از زمان‌های قبل در حافظه ایجاد شده اما هرگز مورد استفاده قرار نگرفته باشد؛ بنابراین احتمال فراخوانی چنین چانکی بسیار کم است. در پودمان اخباری ACT-R، به هر چانک مقداری تحت عنوان عامل برانگیختگی<sup>۱</sup> نسبت داده می‌شود. چانکی که

1. Activation
2. Base-level learning
3. Attentional weighting

چسب کالا، انطباق آن را با محصول کنترل می‌کند. فرض می‌شود که محصول مورد نظر دارای سه نوع مختلف است و هر نوع محصول با یک رنگ خاص تعیین می‌شود؛ بنابراین اطلاعاتی نظیر "محصول نوع ۱ به رنگ بنفش"، "محصول نوع ۲ به رنگ قرمز" و "محصول نوع ۳ به رنگ خاکستری" به عنوان ورودی به مدل داده می‌شود. برای هر نوع محصول نیز برچسب مخصوص تعریف شده است. لذا برچسب ۱ مربوط به محصول نوع ۱، برچسب ۲ مربوط به محصول نوع ۲ و برچسب ۳ مربوط به محصول نوع ۳ است که این موارد نیز به عنوان اطلاعات ورودی برای مدل تعریف می‌شود. این نوع اطلاعات ورودی که به صورت شماتیک در شکل ۲ نشان داده شده، در حافظه‌ی مدل که همان پودمان اخباری است، ذخیره می‌شود.

این فرایند تحت عنوان "آزمون کنترلی"، در معماری شناختی ACT-R، به وسیله‌ی زبان برنامه‌نویسی LISP کدنویسی و مدل شد. برنامه‌ی نرم‌افزاری آزمون کنترلی، این قابلیت را ایجاد می‌کند تا علاوه بر امکان اجرای خودکار مدل رایانه، که "آزمون مجازی" نام‌گذاری شد، روی افراد داوطلب به صورت "آزمون تجربی" نیز قابل پیاده کردن باشد. برای افزایش دقت، اجرای آزمون مجازی برای هر تعداد سیکل مشخص به دفعات معین تکرار می‌شود.

در زمان اجرا با توجه به تعداد تکرارهای تعیین شده، پس از اتمام زمان سیکل (مقدار پیش‌فرض سه ثانیه است)، محصول جدید با رنگ و برچسب تصادفی از بین حالت‌های تعریف شده‌ی فوق، تولید و روی صفحه‌ی مانیتور نمایش داده می‌شود (شکل ۳). در طی این زمان، فرایند پاسخ مطابق



شکل ۲- اطلاعات ورودی مدل به طور شماتیک



شکل ۳- نمونه‌ای از پنجره‌ی ظاهر شده در هنگام اجرای مدل

ترتیب، خستگی فکری را می‌توان از طریق تنظیم پارامتر  $W$  به عنوان یک ضریب افزایشدهنده در مدل ACT-R تأثیر داد. آشکار شدن عارضه‌ی خستگی در تکرارهای بالا، بدین معناست که مقدار پارامتر  $W$  کاهش یافته‌است؛ به عبارت دیگر، میزان تمرکز مدل بر عوامل کم و در نهایت منجر به افزایش زمان پاسخ و نرخ خطا در مدل می‌شود. به همین دلیل، ضریب فوق را افزایشدهنده می‌نامیم (۲۰). از طرف دیگر، تبادل زیاد اطلاعات نیز می‌تواند باعث افزایش احتمال بروز خستگی فکری در فرد شود (۱) که این امر را می‌توان با افزایش پارامتر  $n$  و کاهش  $W_j$  ها تفسیر کرد. در هر دو مورد، خستگی فکری به کاهش مقدار فعال‌سازی چانک مربوطه می‌انجامد.

### ضریب افزایشدهنده در مدل ACT-R برای در نظر

**گرفتن خستگی:** برای اعمال اثر خستگی در مدل مورد نظر، لازم است پارامتر  $W$  به میزان مشخصی کاهش یابد. در این پژوهش، اثر منفی خستگی به صورت پله‌ای در هر سیکل و به ازای واحد زمان به مقدار ثابت  $\theta$  اعمال شد. مقدار  $\theta$ ، از طریق فرایند کالیبراسیون و با مقایسه‌ی داده‌های حاصل از آزمون مجازی توسط آزمون واقعی و روش‌های نیکویی برازش ( $r$  و RMSE) تعیین و  $0.015$  در نظر گرفته شده است (۲۹)؛ بنابراین مقدار  $W$  در سیکل  $i$ ام از رابطه‌ی ۸ به دست می‌آید:

$$W_i = W_0 - \theta \times t_i \quad (\text{رابطه‌ی ۸})$$

در رابطه‌ی ۸،  $W_0$  مقدار اولیه پارامتر  $W$  است که به طور پیش‌فرض در تنظیمات ACT-R یک در نظر گرفته می‌شود.  $\theta$  درصدی به منظور کاهش پارامتر  $W$  در هر سیکل و مقدار آن  $0.015$  است. مقدار زمان سپری شده از اول تا پایان سیکل  $i$ ام با  $t_i$  نشان داده می‌شود. ایده‌ی کاهش ضریب افزایشدهنده (خطی و پله‌ای) را گزینش به منظور اعمال خستگی در مدل تایپ اطلاعات هیلی مطرح کرد (۲۰، ۲۱) که با توجه به داده‌های تجربی به دست آمده و انطباق کلی آنها با داده‌های مجازی، رابطه‌ی خطی کاهش ضریب افزایشدهنده تأیید و از آن استفاده شد.

### مدل شبیه‌سازی: مدل مورد بررسی در این پژوهش، یک

نمونه‌ی رایج از فعالیت‌های کنترلی در خطوط پیوسته‌ی تولیدی در صنعت و یا خدمات پستی و ارسال کالا است. در خطوط تولیدی، محصولاتی مانند بطری‌های نوشابه یا کارتن‌های کاشی و سرامیک به طور متوالی و به سرعت از مقابل دیدگان اپراتور عبور می‌کنند و او ضمن مشاهده‌ی بر

محصول"، که از پودمان اخباری برای فراخوانی اطلاعات استفاده می‌کنند، تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در این صورت، مدل یا قادر به پاسخ‌گویی در زمان تعیین شده نیست و یا جواب‌های نادرست می‌دهد؛ به عبارت دیگر، زمان پاسخ و یا نرخ خطا متأثر از عامل خستگی افزایش می‌یابد.

**اجرای آزمون تجربی:** برای جمع‌آوری داده‌های تجربی، مدل شبیه‌سازی شده روی تعدادی از افراد داوطلب (۱۰ مرد و ۱۰ زن با میانگین سنی ۲۳/۸) اجرا شد. این افراد فعالیت تعریف‌شده در بخش مدل شبیه‌سازی را با برنامه‌ی آزمون کنترلی در ۲۵۰ تکرار و یا ۱۲/۵ دقیقه (سیکل ۳ ثانیه) روی رایانه اجرا کردند. در آزمون مورد نظر، هر محصول سه ثانیه روی صفحه‌ی نمایشگر ظاهر می‌شود، اما پردازش شخص ممکن است بیشتر یا کمتر از این طول بکشد. در صورتی که پردازش بیشتر از ۳ ثانیه طول بکشد، فرض این است که فرد در این بازه‌ی زمانی قادر به پاسخ‌گویی نبوده و زمان پاسخ برای پردازش محصول مورد نظر سه ثانیه در نظر گرفته می‌شود. اگر زمان پردازش کمتر از ۳ ثانیه باشد، همان مقدار به عنوان زمان پاسخ آن پردازش در نظر گرفته می‌شود. در انتهای آزمون، مجموع زمان‌های پاسخ برای ۲۵۰ تکرار، معادل زمان کل پاسخ منظور خواهد شد.

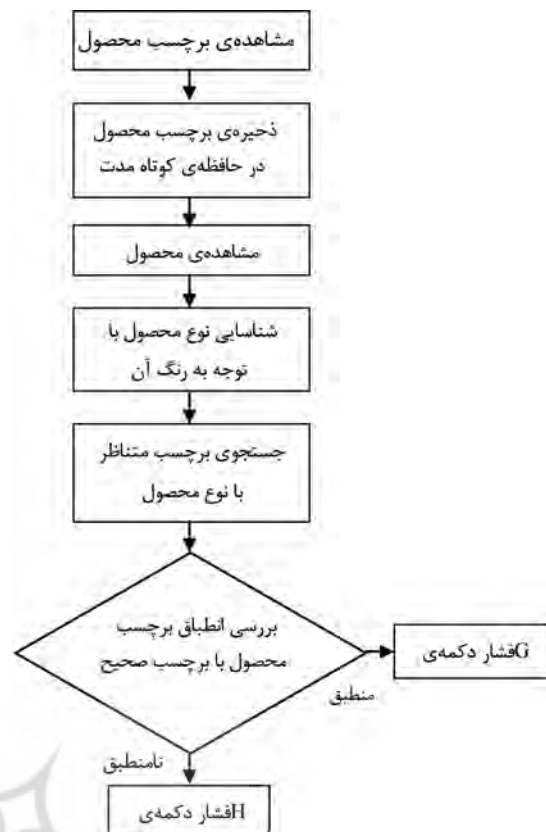
### یافته‌ها

#### یافته‌های آزمون تجربی

نتایج اجرای واقعی آزمون، شامل زمان کل پاسخ و نرخ کلی خطا (رابطه‌ی ۴) با ۲۵۰ تکرار روی افراد داوطلب در جدول ۲ خلاصه شده است.

#### یافته‌های آزمون مجازی

مدل شبیه‌سازی شده در دو مرحله، به شرح زیر و به طور خودکار، اجرا شد.



شکل ۴- فلوجارت فعالیت فکری مدل

فلوجارت شکل ۴ است. ابتدا باید با توجه به رنگ محصول، نوع آن تشخیص داده و سپس برچسب متناظر آن از حافظه فراخوانی و با برچسب محصول مقایسه شود. در دو آزمون تجربی و مجازی، پس از اجرای کامل فرایند مقایسه و تصمیم‌گیری، انطباق صحیح با فشار دادن دکمه‌ی G و عدم انطباق با فشار دادن دکمه‌ی H صفحه کلید مشخص می‌شود. جدول ۱، قوانین شرطی مهم این مدل را نشان می‌دهد.

در صورت بروز و تشدید خستگی، به تدریج قوانین "بازیابی نوع محصول" و "بازیابی شماره‌ی برچسب متناظر

جدول ۱- قوانین شرطی اصلی مدل

عنوان قانون شرطی	گزاره‌ی شرط (اگر ...)	گزاره‌ی عملگر (آن‌گاه ...)
بازیابی نوع محصول	هدف، پی بردن به نوع محصول است و محصول مشاهده شده دارای رنگ X است.	نوع محصول با رنگ X را فراخوانی کن.
بازیابی شماره‌ی برچسب متناظر محصول	هدف پی بردن به شماره‌ی برچسب مناسب است و جسمی با مشخصات رنگ X و نوع Y در حافظه موجود است.	شماره‌ی برچسب متناظر با نوع Y (برچسب مناسب) را فراخوانی کن.
بررسی تطابق برچسب‌ها	هدف، بررسی تطابق برچسب‌هاست و شماره برچسب محصول و همچنین شماره‌ی برچسب متناظر در حافظه موجود است.	تطابق برچسب محصول با برچسب متناظر را بررسی کن.
پاسخ‌گویی در حالت تطابق	هدف، پاسخ‌گویی است و برچسب محصول و برچسب متناظر یکسان‌اند.	دکمه‌ی G را فشار بده.
پاسخ‌گویی در حالت عدم تطابق	هدف، پاسخ‌گویی است و برچسب محصول و برچسب متناظر یکسان نیستند.	دکمه‌ی H را فشار بده.

جدول ۲- زمان کل پاسخ و نرخ کلی خطا در آزمون تجربی برای ۲۵۰ تکرار

کد داوطلب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
زمان کل پاسخ (دقیقه)	۵/۹۹	۳/۹۹	۵/۰۶	۶/۶۲	۶	۷/۰۲	۶/۶۰	۶/۲۹	۵/۸۴	۵/۹۸
نرخ کلی خطا(درصد)	۰/۰۷۲	۰/۵۲	۰/۰۳۲	۰/۰۸	۰/۰۷۶	۰/۱۷۲	۰/۰۲۴	۰/۰۶۸	۰/۱۳۶	۰/۱
کد داوطلب	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
زمان کل پاسخ (دقیقه)	۵/۸	۴/۹۱	۵/۸۴	۶/۶۹	۱۱/۳۱	۶/۳۹	۶/۰۹	۷/۷۲	۸/۱۸	۸/۳۳
نرخ کلی خطا(درصد)	۰/۰۶۸	۰/۱۰۴	۰/۱۳۶	۰/۱۲۸	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۵	۰/۱۷۶	۰/۱۹۶	۰/۲۵۲

جدول ۳- میانگین زمان پاسخ و نرخ خطای ایجاد شده در آزمون مجازی برای ۲۵۰ تکرار

اجرا	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
زمان کل پاسخ (دقیقه)	۵/۹۹	۶/۲۲	۶/۵۱	۶/۳۵	۶	۵/۹۳	۷	۶/۱۹	۶/۱۰	۶/۶۶
نرخ کلی خطا(درصد)	۰/۰۶	۰/۰۹۲	۰/۱۱۶	۰/۰۸۴	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۱۷۶	۰/۰۸	۰/۰۹۲	۰/۱۳۶
اجرا	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
زمان کل پاسخ (دقیقه)	۰/۹۹	۶/۱۴	۶/۳۳	۶/۷۷	۶/۳۸	۶/۱۸	۶/۲۷	۶/۱۸	۶/۱۸	۶/۱۷
نرخ کلی خطا(درصد)	۰/۱۸۸	۰/۰۹۲	۰/۱۱۶	۰/۱۴۴	۰/۱۰۴	۰/۰۴۸	۰/۰۹۶	۰/۰۹۲	۰/۰۹۲	۰/۰۷۲

### مرحله ۱- صحنه‌گذاری مدل

نسبت داد. به همین دلیل مقادیر پراکندگی پاسخ‌ها در آزمون مجازی به مراتب کمتر است.

### مرحله ۲ - اجرای مدل با تغییر پارامترها

برای بررسی آثار خستگی بر زمان پاسخ و نرخ خطا در تعداد تکرارهای متفاوت، مدل اعتبار سنجی شده به کار رفت. بدین منظور، مدل در سطح تکرارهای ۱۰۰، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ و برای هر سطح ۳۰ مرتبه اجرا شد. اطلاعات به دست آمده در نمودارهای ۱ و ۲ خلاصه شده‌اند که به ترتیب تأثیرات خستگی بر میانگین زمان پاسخ برای هر سیکل و میانگین نرخ خطا را نشان می‌دهند. در این نمودارها، دو حالت الف: "همراه با خستگی فکری" و یاب: "بدون خستگی فکری" به ترتیب با کاهش پله‌ای پارامتر W به ازای هر سیکل در طول اجرا و یا ثابت ماندن مقدار W ارزیابی می‌شود.

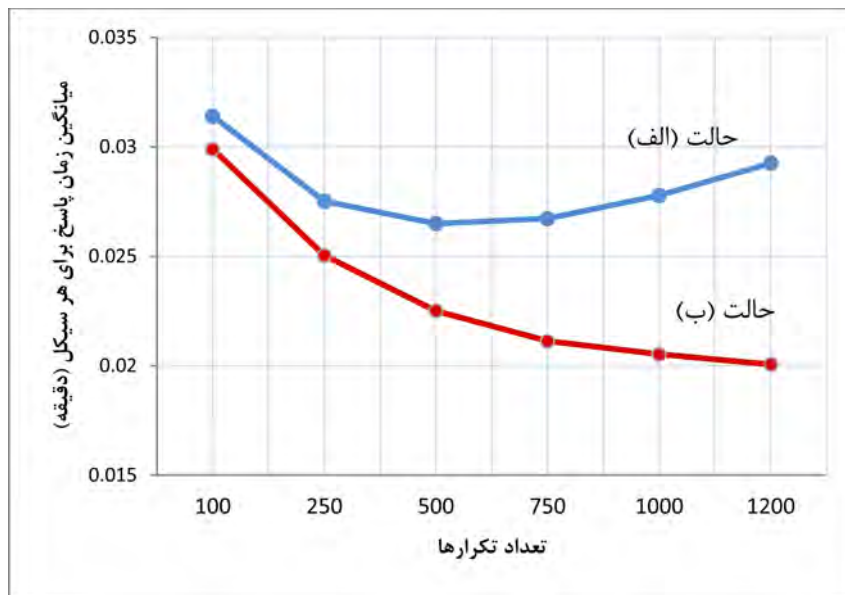
نمودار ۱ بیانگر میانگین زمان پاسخ برای هر سیکل است. در این نمودار، هر نقطه روی دو منحنی "الف" و "ب"، میانگین زمان پاسخ در ۳۰ مرتبه اجراست که بر تعداد تکرار مربوطه تقسیم شده‌است (رابطه ۳). نمودار ۲، میانگین نرخ خطا در ۳۰ بار اجرای مدل و در تکرارهای مختلف را نشان می‌دهد که نقاط مربوطه از رابطه ۵ به دست می‌آیند. همان طور که در نمودارهای ۱ و ۲ مشخص است، آثار خستگی باعث افزایش زمان پاسخ و نرخ خطا در تکرارهای زیاد می‌شود و بدون در نظر گرفتن خستگی، این مقادیر با افزایش تکرارها به صفر میل می‌کنند که این امر در آزمون واقعی ناممکن است.

بدین منظور، مدل به تعداد داوطلبان (۲۰ مرتبه) و به صورت خودکار اجرا و در هر اجرا، زمان کل پاسخ (از روابط ۱ و ۲) و نرخ کلی خطا (از رابطه ۴) برای ۲۵۰ تکرار بررسی شد. خلاصه‌ی اطلاعات به دست آمده در جدول ۳ نشان داده شده است. با استفاده از تکنیک ANOVA، وجود تفاوت معنادار بین دو آزمون تجربی و مجازی (جدول ۲ و ۳) برای دو خروجی زمان کل پاسخ و نرخ کلی خطا بررسی شد. با توجه به اینکه روابط ۹ و ۱۰ برای  $\alpha=5\%$  برقرار است، می‌توان ادعا کرد که تفاوت داده‌های حاصل از آزمون مجازی و تجربی معنادار نیست و مدل ارائه شده پذیرفتنی و معتبر است.

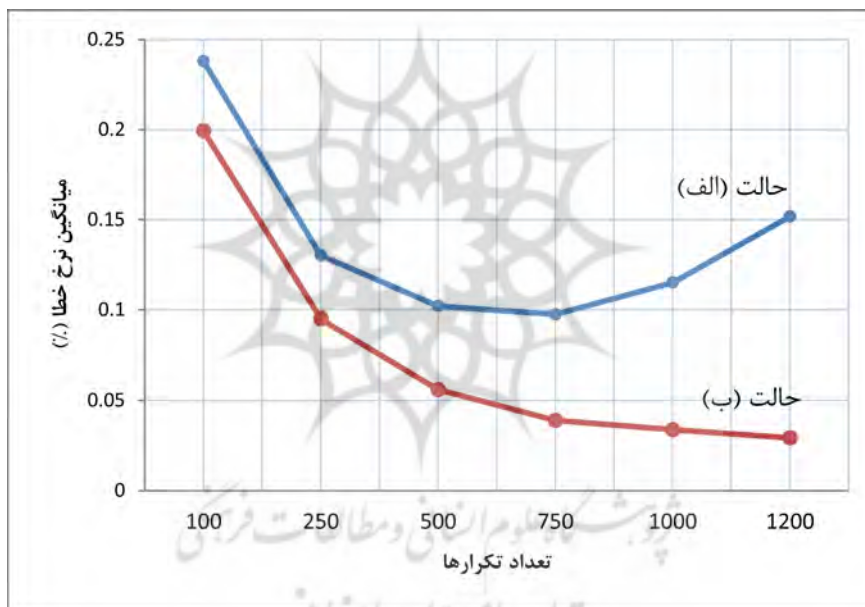
$$F(۱,۳۸) = ۲/۷۴ < F(\alpha,۱,۳۸) = ۴/۰۹ \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$F(۱,۳۸) = ۰/۳۳ < F(\alpha,۱,۳۸) = ۴/۰۹ \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

به منظور مقایسه‌ی پراکندگی نتایج جداول ۲ و ۳، انحراف معیار آن برای دو آزمون تجربی و مجازی محاسبه شد. برای یکسان شدن واحد اندازه‌گیری با مقادیر اصلی به جای واریانس، انحراف معیار به کار رفت. در آزمون تجربی، انحراف معیار زمان کل پاسخ ۱/۵۳ و نرخ کلی خطا ۰/۱۳ و در آزمون مجازی، انحراف معیار زمان کل پاسخ ۱/۲۱ و نرخ کلی خطا ۰/۰۳ به دست می‌آید. اختلاف نه چندان چشمگیر حاصل از مقایسه‌ی مقادیر انحراف معیار در دو حالت تجربی و مجازی (۰/۳۱ مربوط به زمان و ۰/۰۹ مربوط به نرخ خطا) را می‌توان به تفاوت‌های فردی داوطلبان (مانند بهره‌ی هوشی و تأثیر حالات روانی که در آزمون مجازی وجود ندارد)



نمودار ۱- میانگین زمان پاسخ برای هر سیکل (دقیقه) نسبت به تعداد تکرارها در دو حالت الف: در نظر گرفتن خستگی و ب: نادیده گرفتن خستگی



نمودار ۲- میانگین نرخ خطا نسبت به تعداد تکرارها در دو حالت الف: در نظر گرفتن خستگی و ب: نادیده گرفتن خستگی

حالت "ب" زمان صرف می‌کند. علاوه بر این، میانگین زمان پاسخ برای هر سیکل در حالت "الف" نسبت به حالت "ب" همواره بیشتر است و همان طور که از نمودار ۱ نیز مشخص است، نمودار حالت "ب" پایین نمودار حالت "الف" قرار می‌گیرد. همچنین، در حالت "الف" با افزایش تعداد تکرارها به دلیل در نظر گرفتن آثار خستگی، میانگین زمان پاسخ به طور تقریبی از سیکل ۶۲۰ به بعد افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده آثار منفی خستگی بر مدل است؛ اما در حالت "ب" که خستگی در نظر گرفته نمی‌شود، این عامل با

## بحث و نتیجه‌گیری

انتظار می‌رود که در شروع یک کار فکری سنگین و خسته‌کننده، قبل از ظهور آثار خستگی، دو حالت "الف" و "ب" تفاوت چندانی نداشته باشند. این امر در نمودار ۱ نیز مشخص و تفاوت میانگین زمان پاسخ برای هر سیکل در دو حالت تنها ۰/۰۹ ثانیه است؛ اما با افزایش تعداد تکرارها تفاوت بین این دو حالت کاملاً مشهود و بر مقدار افزوده می‌شود؛ به طوری که با توجه به نمودار ۱ در ۱۲۰۰ تکرار، برای هر پردازش، حالت "الف" حدود ۰/۵۵ ثانیه بیشتر از



شده که متصدی کنترل برای پردازش هر محصول، فقط سه ثانیه وقت دارد؛ به عبارت دیگر، درصد خطای مجاز یا محصول نامنطبق ۶ درصد تعریف شده‌است. با اجرای مدل پیشنهادی و نتایج آن در نمودار ۳، می‌توان پیش‌بینی کرد که خستگی فکری بعد از سیکل ۸۰۶، یعنی پس از حدود ۴۰ دقیقه، بر عملکرد تأثیر گذاشته و نرخ خطا را به تدریج افزایش می‌دهد. البته باید توجه کرد که نمودار ۳، روند تغییرات، نرخ خطا را تا ۱۲۰۰ تکرار نشان می‌دهد و مقادیر آن در هر مرحله از رابطه‌ی ۴ با محاسبه‌ی نرخ خطا تا تکرار انجام شده، به دست می‌آید. در حالی که در نمودار ۲، میانگین نرخ خطا به صورت کلی برای تعداد کل تکرارها محاسبه می‌شود. اگر آزمودنی، همچنان به کار خود ادامه دهد، در سیکل ۱۱۰۰ یعنی پس از حدود ۵۵ دقیقه، نرخ خطا از ۱۰ درصد فراتر رفته و ۴ درصد محصول به صورت ضایعات در می‌آید. یکی از راه‌کارهای پیشنهادی برای جلوگیری از این امر، در نظر گرفتن زمان مناسب برای استراحت شخص است (نمودار ۳).

در نمودار ۳، در تکرارهای اولیه (تا سیکل صدم) افت سریع در نرخ خطا به دلیل اثر یادگیری است که در تحلیل‌های این پژوهش در نظر گرفته نمی‌شود. در عمل می‌توان با آموزش کافی قبل از شروع کار و اجرای فاز آزمایشی برای تمرین فرد، قبل از شروع به کار در پست اصلی، طول فاز یادگیری و نرخ خطای مربوط به آن را کاهش داد.

کوتاه سخن اینکه، در این پژوهش تأثیر خستگی بر دو متغیر زمان پاسخ و نرخ خطا روی کارهای فکری تکراری با سیکل کوتاه بررسی و با استفاده از معماری شناختی ACT-R این نوع فعالیت مدل‌سازی و برنامه‌نویسی شد و خروجی‌ها در دو

افزایش تعداد تکرار، کاهش می‌یابد. نکته‌ی قابل توجه دیگر در نمودار ۱ این است که برای یک حالت خاص در تکرارهای کم (۱۰۰ و یا ۲۰۰ تکرار) زمان پاسخ بیشتر از سایر تکرارهاست؛ به عبارت دیگر، منحنی به شکل سهمی کاو یا مقعر است که می‌توان آن را این‌گونه توجیه کرد که در ابتدای آزمون و در فاز یادگیری، زمان بیشتری صرف پردازش می‌شود.

در نمودار ۲ نیز آثار منفی خستگی باعث افزایش نرخ خطا در تعداد تکرارهای زیاد می‌شود، به طوری که در تکرار ۱۲۰۰، میانگین نرخ خطا در حالت "الف" حدود ۱۲ درصد بیشتر از حالت "ب" است؛ اما اگر خستگی در نظر گرفته نشود، افزایش تعداد تکرار باعث کاهش نرخ خطا می‌شود و در تکرارهای بسیار زیاد، نرخ خطا به صفر میل می‌کند که در حالت واقعی ناممکن است. همچنین برای حالت "الف" یا "ب"، به دلیل یادگیری فرد در اوایل آزمون، میانگین نرخ خطا در تعداد تکرارهای کم بیش از سایر مقادیر است.

از مدل ارائه شده در این تحقیق می‌توان در مرحله‌ی برنامه‌ریزی عملیات و تعیین زمان‌های استراحت در شیف‌های کاری برای فعالیت‌های فکری استفاده کرد. با توجه به درصد پذیرفتنی خطا (مانند نرخ مجاز برای محصول معیوب یا نامنطبق) که برای خط تولید یا مرحله‌ی کنترلی مورد نظر تعریف می‌شود، می‌توان برنامه‌ی زمانی کار را طوری تعریف کرد که درصد خطا از حد مجاز بیشتر نشود. همچنین از نظر کارکرد فکری فشار زیادی بر فرد وارد نشود و تا جای ممکن از بروز آثار خستگی بر عملکرد وی جلوگیری شود. در مسأله‌ی موردی تعریف شده در این پژوهش، سرعت عبور محصول یا سرعت خطی تنظیم



نمودار ۳- نرخ خطا نسبت به تعداد تکرارها به منظور تعیین زمان استراحت

افراد نیز استفاده کرد. در ادامه‌ی این پژوهش می‌توان طول دوره‌ی زمانی لازم برای استراحت و بازیابی قوای فکری را بررسی و راه‌کارهای جایگزین مثل استفاده از عوامل آرام‌بخش (مانند پخش موزیک ملایم) را در حین کار آزمود. همچنین روش‌های دیگری از قبیل تعریف ضریب فزاینده‌نمایی برای اعمال تأثیر خستگی فکری بر معماری شناختی ACT-R و انواع دیگر معماری شناختی را تعریف و آنها را باهم مقایسه کرد.

حالت و با در نظر گرفتن اثر خستگی و نادیده گرفتن آن تحلیل شدند. این اثر با استفاده از تغییر ضریب تمرکز به صورت پله‌ای اعمال می‌شود و مقدار آن با آزمایش‌های تجربی به دست می‌آید. اجرای آزمون‌های تجربی روی افراد داوطلب نیز اعتبار مدل نرم افزاری را تأیید کرده است.

پس از کسب اطمینان از صحت مدل، از آن می‌توان برای اجرای کارهای پرتکرار به دفعات و با تغییر پارامترها استفاده کرد. در این پژوهش و برای مسأله‌ی موردی حل شده، با اعمال تأثیرات خستگی، میانگین زمان پاسخ برای هر سیکل به طور تقریبی به میزان ۰/۴۳ ثانیه و میانگین نرخ خطا به اندازه‌ی ۸ درصد افزایش می‌یابد. از نتایج به دست آمده می‌توان برای کارسنجی انواع کار فکری در مراحل برنامه‌ریزی و زمان‌بندی، تعیین سرعت خط و میزان خطای مجاز و همچنین تعیین زمان‌های مجاز استراحت و یا چرخش

دریافت: ۹۲/۱۰/۱ ؛ پذیرش: ۹۳/۷/۶

### منابع

- Mital A, Bishu RR, Manjunath SG. Review and evaluation of techniques for determining fatigue allowances. *International Journal of Industrial Ergonomics* 1991;8:165-78.
- Seongsik Jo, Myung R, Yoon D. Quantitative prediction of mental workload with the ACT-R cognitive architecture. *International Journal of Industrial Ergonomics* 2012;42:359-70.
- Bartlett M. Approximate confidence intervals. *Biometrika* 1953;40:12-19.
- Yang B, Xiao W, Lio X, Wu Sh, Miao D. Mental fatigue impairs pre-attentive processing: A MMN study. *Neuroscience Letters* 2013; 532:12-16.
- Dalakas M, Mock V, Hawkins M. Fatigue: definitions, mechanisms, and paradigms for study. *Seminars in Oncology* 1998;25:48-53.
- Ream E, Richardson A. Fatigue: a concept analysis. *International Journal of Nursing Studies* 1996;33:519-29.
- Boksem M, Lorist M, Meijman T. Effects of mental fatigue on attention: an ERP study. *Cognitive Brain Research* 2005;25:107-16.
- Kieras D, Meyer D. An overview of the EPIC architecture for cognition and performance with application to human-computer interaction. *Human-Computer Interaction* 1997;12:391-438.
- Laird JE, Newell A, Rosenbloom P. Soar: an architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence* 1987;33:1-64.
- J R. Anderson. *How Can the Human Mind Occur in the Physical Universe?*, Oxford University Press; 2007.
- Comparative Table of Cognitive Architecture. Web site <http://bicasociety.org/cogarch/architectures.htm>. Updated June 18, 2012. Accessed October 27; 2009.
- Muller TJ, Heuvelink A, Both F. Implementing a Cognitive Model in Soar and ACT-R: A Comparison. *Cognitive Modelling 2008*.
- Bothell D, ACT-R. Carnegie Mellon University. Web Site <http://actr.psy.cmu.edu/actr6/reference-manual.pdf>. Updated December 22; 2014.
- Anderson JR, Matessa M, Lebiere C. ACT-R: a theory of higher level cognition and its relation to visual attention. *Human Computer Interaction* 1997;12(4):439-62
- Lebiere CJ. A theory-based model of cognitive workload and its applications. Proceedings of the 2001 Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference (I/ITSEC); NDIA, Arlington, VA; 2001.
- Anderson JR. Human symbolic manipulation within an integrated cognitive architecture. *Cognitive Science* 2005;29(3):313-41.
- Salvucci D. Modeling driver behavior in a cognitive architecture. *Human Factors* 2006; 48(2):362-80.
- Jongman G. How to fatigue ACT-R? In Proceedings of the 2nd European conference on cognitive modeling. Nottingham: Nottingham University Press; 1998.
- Sternberg S. Memory scanning: Mental processes revealed by reaction time experiments. *American Scientist* 1969;57:421-57.
- Gonzalez C, Best B, Healy AF, Kole JA, Bourne L. A cognitive modeling account of simultaneous learning and fatigue effects. *Cognitive Systems Research* 2011;12:19-32.
- Healy A, Kole J, Buck-Gengler C, Bourne L. Effects of prolonged work on data entry speed

- and accuracy. *Journal of Experimental Psychology* 2004;10:188-99.
22. Steinborn M, Flehmig H, Westhoff K, Langner R. Differential effects of prolonged work on performance measures in self-paced speed tests. *Advances in Cognitive Psychology* 2009;5:105-13.
23. Bertelson P, Joffe R. Blockings in prolonged serial responding. *Ergonomics* 1963;6:109-16.
24. Sanders A, Hoogenboom W. On effects of continuous active work on performance. *Acta Psychologica* 1970;33:414-31.
25. Bunce D, Warr P, Cochrane T. Blocks in choice responding as a function of age and physical fitness. *Psychology and Aging* 1993;8:26-33.
26. Anderson JR, Bothell D, Byrne MD, Douglass S, Lebiere CJ, Qin Y. An integrated theory of mind. *Psychological Review* 2004;111:1036-60.
27. Fantl J. "Knowledge How" the standford Encyclopedia of philosophy; 2012.
28. Oaksford M, Chater N. *Rational Models of Cognition*. Oxford, New york, Tokyo; 1998.
29. Atashfeshan N, Razavi H. Evaluation of Mental Fatigue effects and determination of Rest Times by ACT-R Technique. Engineering Departement: Ferdowsi Univ.; 2014. [Persian].

