نشریهٔ علمی باغ نظر، ۲۳(۱۵۵)، ۴۳-۵۶/ اردیبهشت ۱۴۰۵
DOI:10.22034/bagh.2026.519648.5805

ترجمهٔ انگلیسی این مقاله نیز با عنوان:
The Effect of Speed and Scale on Movement Behaviors in Virtual Environments
در همین شمارهٔ مجله به‌چاپ رسیده است.

مقالهٔ پژوهشی

تأثیر سرعت و مقیاس بر رفتارهای حرکتی در محیط‌های مجازی

زهرا ترکمن[۱]، آرش حسینی علمداری[۱*]، سیده فائزه اعتماد شیخ الاسلامی[۱]

۱. گروه مهندسی معماری، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۰۱

چکیده

بیان مسئله: موفقیت در طراحی محیط‌های مجازی نیازمند به حداکثر رساندن کیفیت تجربهٔ انسانی کاربران در محیط مجازی است. این محیط‌ها همچنین امکان تنظیم خصوصیات بنیادی محیط ازجمله سرعت آواتار و مقیاس فضا را فراهم می‌کنند؛ لذا توجه و درک اثر تغییر این متغیرهای بنیادین بر رفتار کاربر محیط و به‌خصوص رفتارهای حرکتی ضروری به نظر می‌رسد.

هدف پژوهش: در این راستا، هدف این پژوهش بررسی اثر سرعت آواتار، مقیاس ساختار محیط و همچنین چگالی اطلاعات محیطی بر راهبردهای حرکتی کاربران است. امید است این مطالعه نتایج مفیدی برای کاربردهای مختلف، از طراحی بازی گرفته تا محیط‌های مجازی توان‌بخشی داشته باشد.

روش پژوهش: پارادایم این پژوهش پسااثبات‌گرا است و به‌لحاظ هدف جزو پژوهش‌های کاربردی است. داده‌های پژوهش ازطریق مشاهدهٔ رفتار کاربران - شامل ۱۸ شرکت‌کننده با تجربهٔ بازی‌های کامپیوتری - در حین جستجو در محیط مجازی و استخراج رفتارهای آن‌ها توسط نه کاربر دیگر به دست آمد. اعتبارسنجی یافته‌های این بخش ازطریق آزمون دلفی انجام شد. داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از آزمون‌های رگرسیون برای هر متغیر وابسته به‌صورت مجزا تجزیه‌وتحلیل شد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که سرعت، مقیاس و چگالی اطلاعات محیطی بر رفتارهای حرکتی اتخاذشده توسط کاربران محیط مجازی تأثیر دارند. سرعت و چگالی اطلاعات محیطی به‌خصوص بر رفتارهای مبتنی‌بر استراتژی حرکتی مانند طول پیمودهشده در مسیرهای مستقیم اثر دارند و مقیاس بیشتر بر رفتارهای مرتبط با ساختار فضایی مانند فاصلهٔ ترجیحی از دیوار و لبه‌ها متأثر است. کارایی فرد در جستجو نیز متأثر از چگالی اطلاعات محیطی است.

واژگان کلیدی: *سرعت حرکت آواتار، مقیاس ساختار فضایی، چگالی اطلاعات محیطی، رفتارهای حرکتی، محیط مجازی.*

مقدمه و بیان مسئله

واقعیت مجازی درحال‌حاضر به‌عنوان یکی از پرپتانسیل‌ترین بسترهای فناوری آینده شناخته می‌شود. رشد روزمرهٔ دنیای دیجیتال و ظهور عناصر سخت‌افزاری پیشرفته‌تر مانند هدست‌های واقعیت مجازی با کیفیت بالاتر و سبک‌تر، بازخورد لمسی در کنترل‌کننده‌های واقعیت مجازی، راه‌حل‌های واقعیت مجازی بی‌سیم و دیگر پیشرفت‌های فناوری، روزبه‌روز دنیای دیجیتال را برای انسان‌ها به شکلی واقعی‌تر نمایش می‌دهد و ظهور دنیاهای یکپارچهٔ دیجیتال - متاورس - را به واقعیت نزدیک‌تر می‌کند. برای جدی‌گرفتن این دنیای مجازی کافی است توجه شود، تخمین زده می‌شود که شرکت‌های سهام خصوصی و سرمایه‌گذاران خطرپذیر جمعاً ۱۲۰ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری‌های مرتبط با متاورس در شش ماه اول سال ۲۰۲۳ انجام داده‌اند که ۲۴ برابر فروش نفت ایران در همین دوره است.

درحال‌حاضر اغلب فضاهای مجازی به‌وسیلهٔ متخصصین رایانه ساخته شده‌اند، بسیاری از آن‌ها حالتی آزمایشی دارند؛ اما بدیهی است که با بلوغ این فناوری، این طراحان محیطی و به‌خصوص معماران هستند که باید طراحی این محیط‌ها را به عهده بگیرند و محیط‌هایی مناسب برای تجربهٔ انسانی بسازند. ازسوی‌دیگر، زمانی که طراح با طراحی این محیط‌ها روبه‌رو می‌شود، متوجه می‌شود که بسیاری از محدودیت‌های دنیای واقعی در این محیط‌ها وجود ندارد و لذا طراح می‌تواند با دستی بسیار باز به طراحی فضا و تجربهٔ فضایی بپردازد. اما این امکانات گسترده سؤالات جدیدی را برای طراح مطرح می‌کند. دو متغیر

* نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۲۷۹۴۰۰۸۶، a.hosseini@malayeru.ac.ir

بسیار مهم و به‌هم‌تنیده که طراح محیط مجازی باید در مورد آن‌ها تصمیم‌گیری کند، سرعت حرکت فرد در محیط و مقیاس عناصر فضاست. به‌طورکلی محیط‌های مجازی در بسیاری از موارد سرعت و مقیاس واقعی فرد در محیط را شبیه‌سازی نمی‌کنند و باهدف ایجاد محیط‌های جذاب‌تر و همچنین ایجاد دسترسی سریع‌تر فرد به تنوع محیطی، این متغیرها را به میزان زیادی تغییر می‌دهند.

هدف این مقاله بررسی چگونگی تأثیر این دو عامل بر راهبردهای حرکتی کاربران در محیط‌های مجازی است و بررسی می‌کند که:

- چگونه تغییرات در سرعت و مقیاس در فضای مجازی می‌تواند بر رفتار و تصمیم‌گیری کاربر تأثیر بگذارد؟

- براساس چه معیارها و نیازهایی می‌توان به سرعت و مقیاس بهینه برای یک محیط مجازی رسید؟

چارچوب مفهومی این پژوهش بر مبانی نظریهٔ ادراک -عمل[1] استوار شده است. براساس این پارادایم، محیط‌های مجازی نه به‌عنوان مجموعه‌ای از داده‌های خنثی، بلکه به‌عنوان میدانی از «امکان‌های عمل»[2] می‌شوند که به‌طور مستقیم رفتار حرکتی کاربر را هدایت می‌کنند. در این راستا، متغیرهای مستقل پژوهش، شامل سرعت آواتار، مقیاس ساختار محیط و چگالی اطلاعات محیطی، به‌عنوان عوامل بنیادین و قابل تنظیم توسط طراح در نظر گرفته می‌شوند که ادراک فضایی و امکانات حرکتی کاربر را در محیط مجازی دگرگون می‌سازند. فرض بر این است که تغییر در این پارامترها، به‌طور نظام‌مند بر راهبردهای حرکتی کاربر به‌عنوان متغیرهای وابسته، شامل راهبردهای مبتنی‌بر مسیر (مانند طول پیموده‌شده در مسیر مستقیم) و راهبردهای مبتنی‌بر ساختار فضایی (مانند فاصلهٔ ترجیحی هنگام گذر از لبه‌ها)، تأثیر می‌گذارد.

چارچوب حاضر، این روابط را در قالب یک مدل علّی-توصیفی تبیین می‌کند که در آن، کیفیت تجربهٔ انسانی به‌عنوان هدف غایی طراحی، متأثر از کارایی این راهبردهای حرکتی است. این مدل پیش‌بینی می‌کند که سرعت و چگالی اطلاعات، عمدتاً بر جنبه‌های پویا و خطی ناوبری اثرگذارند، درحالی‌که مقیاس محیط، بیشتر بر تعامل کاربر با هندسه و مرزهای فضا تأثیر می‌نهد.

این پژوهش، نوآوری روش‌شناختی و مفهومی دارد؛ چراکه برای نخستین‌بار به بررسی نظام‌مند و هم‌زمان سه متغیر بنیادین طراحی محیط‌های مجازی -سرعت آواتار، مقیاس فضا و چگالی اطلاعات محیطی- بر راهبردهای حرکتی کاربر می‌پردازد. درحالی‌که مطالعات پیشین غالباً این عوامل را به‌صورت مجزا بررسی کرده‌اند، این پژوهش با ارائهٔ یک چارچوب یکپارچه، به واکاوی تعامل پیچیدهٔ این متغیرها و تأثیر متمایز هر یک بر انواع خاصی از رفتارهای حرکتی می‌پردازد. این رویکرد، درک دقیق‌تری از چگونگی شکل‌گیری رفتار مسیریابی در ذهن کاربر در پاسخ به تغییرات مختص محیط مجازی فراهم می‌کند و بینش‌های تجربی ارزشمندی را برای بهینه‌سازی تجربهٔ کاربری در حوزه‌های کاربردی مانند بازی‌های ویدئویی و محیط‌های واقعیت مجازی توان‌بخشی ارائه می‌کند.

پیشینه و مبانی نظری

تفاوت‌ها و شباهت‌های محیط‌های واقعی و مجازی به‌طور گسترده بررسی شده است. تحقیقی با عنوان «شباهت‌ها و تفاوت‌های بین واقعیت مجازی فراگیر، دنیای واقعی و صفحه‌نمایش رایانه» با غربالگری ۱۰۸۳ مقاله و انتخاب ۵۶ مقاله برای تجزیه‌وتحلیل کیفی به جمع‌بندی این موضوع می‌پردازد و نشان می‌دهد که رفتارهای انسان در محیط‌های مجازی ایجادشده با هدست واقعیت مجازی[3] شباهت زیادی به رفتارهای فرد در دنیای واقعی دارند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که نتایج رفتاری حاصل در این محیط‌ها به‌طور قابل‌توجهی قابل‌تعمیم به دنیای واقعی هستند و می‌توانند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تکرار سناریوهای دنیای واقعی در تحقیقات روان‌شناختی عمل می‌کنند (Hepperle & Wölfel, 2009; Nolé et al.,2024).

باوجود شباهت بنیادین، باید توجه داشت که در دنیای واقعی محدودیت‌های فیزیکی هستند که بسیاری از خصوصیات محیط و همچنین تجربهٔ فضایی را شکل می‌بخشند، اما دست طراحان دنیاهای مجازی در طراحی دلخواه بسیاری از این متغیرها باز است. آن‌ها می‌توانند در دنیای مجازی از خصوصیات بنیادی آواتار مانند سرعت و ابعاد و ارتفاع تا اساسی‌ترین متغیرهای محیطی مانند جاذبه و سرعت پدیده‌ها را به‌دلخواه تنظیم کنند. اینکه تغییر این متغیرها چه تأثیری بر تجربهٔ فضایی محیط ایجاد می‌کند موضوع بسیاری از پژوهش‌ها بوده است. برای مثال مطالعات نیس و کلودیا (van Nes & Yamu, 2021) نشان می‌دهد شرکت‌کنندگان در یک باشگاه واقعیت مجازی زمان را سریع‌تر می‌گذرانند و مدت زمان بیشتری را تخمین می‌زنند. این نتایج نشان می‌دهد که سرعت حرکت آواتار و عناصر محیطی تجربهٔ ذهنی زمان را ازطریق افزایش تحریک زمانی تغییر می‌دهد.

حرکت و سرعت آواتار در محیط مجازی

پشتوانهٔ نظری رابطهٔ بین سرعت حرکت و ادراک فضایی، فراتر از مطالعات مستقیم در محیط‌های مجازی است و در ریشه‌های عمیق‌تر روان‌شناسی ادراک و علوم اعصاب ریشه دارد. از منظر نظریهٔ ادراک گیبسون، حرکت ابزار اصلی کشف «امکان‌های عمل» در محیط است و سرعت حرکت، نرخ این اکتشاف را مشخص می‌کند. این ایده توسط یافته‌های علوم اعصاب در مورد سلول‌های موقعیتی و شبکه‌ای تقویت می‌شود که نشان می‌دهند مغز انسان‌ها برای کدگذاری فضایی به سیگنال‌های حرکتی وابسته است.

سرعت حرکت آواتار در محیط مجازی یکی از متغیرهای قابل تنظیمی است که تأثیرات گسترده‌ای در تجربهٔ فضایی فرد دارد. بوزگیکلی و همکاران (Bozgeyikli et al., 2016) یک تحلیل مقایسه‌ای از جهش مکانی[4]، حرکت به کمک دستهٔ بازی[5] و راه‌رفتن با تغییر مسیر[6] انجام و نشان دادند که سرعت حرکت به‌طور قابل‌توجهی بر عملکرد و راحتی کاربر در محیط مجازی تأثیر می‌گذارد. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد که سرعت غیرطبیعی

آواتار ممکن است منجر به سردرگمی یا کاهش کارایی کاربر در انجام فعالیت‌ها شود. به‌طور مشابه، لانگبن و همکاران (Langbehn et al., 2017) نقش سرعت راه‌رفتن را در حفظ حس حضور[۷] بررسی کردند و نشان دادند که اختلاف بین سرعت حرکت واقعی و مجازی می‌تواند احساس حضور در فضا را مختل کند.

رادل و لسلز (Ruddle & Lessels, 2009) نشان دادند که حرکت سریع‌تر (مثلاً پرواز یا راه‌رفتن سریع) یادگیری فضایی را کاهش می‌دهد، زیرا کاربران به‌جای رمزگذاری و به‌خاطرسپاری نشانه‌های محیطی، به مسیریابی اکتشافی متکی می‌شوند. پژوهش‌های بیشتر توسط ژی و همکاران (Xie et al., 2018) یک بده‌بستان بین سرعت و دقت را آشکار کرد: درحالی‌که سرعت‌های بالاتر زمان پیمایش را کاهش می‌دهند، نرخ برخورد با موانع را افزایش می‌دهند. آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که کاربرانی که با سرعت ۱/۵ برابر سرعت راه‌رفتن در دنیای واقعی در محیط مجازی حرکت می‌کنند، در محیط‌های پیچیده ۳۰ درصد خطای بیشتری نسبت به سرعت‌های پایه نشان می‌دهند. برعکس، سرعت‌های کمتر از ۰/۷ برابر معادل‌های دنیای واقعی منجر به فشار روانی و افزایش بار شناختی می‌شوند. پژوهش‌های جدیدتر سیستم‌های سرعت تطبیقی را برای ایجاد تعادل بین کارایی و سرعت جابه‌جایی بررسی کرده‌اند. به‌عنوان‌مثال، سینف و همکاران (Singh et al., 2021) مقیاس‌بندی سرعت پویا را بررسی کردند که در آن سرعت آواتار براساس پیچیدگی محیطی تنظیم می‌شود (مثلاً در فضاهای شلوغ کند می‌شود). نتایج آن‌ها بهبود ۲۲ درصدی در زمان تکمیل کار را بدون ازدست‌دادن آگاهی فضایی نشان داد. البته باید توجه داشت که سخت‌افزار موردنیاز برای ایجاد سرعت متغیر درحال حاضر پیچیده و گران است و اغلب کاربران به آن دسترسی ندارند.

تمامی این پژوهش‌ها نشان از این واقعیت دارند که قدرت درک انسان از محیط محدود است و زمانی که سرعت حرکت از محدوده طبیعی فراتر می‌رود، همان‌طور که نظریهٔ بار شناختی پیش‌بینی می‌کند، سیستم ادراکی انسان با حجم اطلاعاتی بیش از آنچه توانایی تحلیل و درک آن را دارد، روبه‌رو می‌شود (سرریز[۸] اطلاعاتی) و لذا برخی فرایندهای ذهنی مانند یادگیری فضایی مختل می‌شوند.

• اثر مقیاس محیط

واقعیت مجازی با نادیده‌گرفتن محدودیت‌های دنیای واقعی امکان دست‌کاری بی‌سابقه در مقیاس فضایی را نیز فراهم می‌کند که می‌تواند تأثیر عمیقی بر شناخت، رفتار حرکتی و حالات عاطفی انسان داشته باشد. براساس مطالعات انجام‌شده بهترین واقع‌نمایی در مقیاس ۱:۱ رخ حاصل می‌شود (Slater et al., 2010). همچنین افراد می‌توانند بدن‌های مجازی را که اندازهٔ آنها به طور قابل توجهی با بدن فیزیکی‌شان متفاوت است، تجربه کنند که نشان‌دهندهٔ انعطاف‌پذیری ادراک خود در محیط‌های مجازی است (Piryankova et al., 2014). بااین‌وجود، بسیاری از محیط‌های مجازی از امکانات احساسی خاصی که تغییر مقیاس در اختیار طراحی قرار می‌دهد، استفاده می‌کنند.

مقیاس‌های گسترده باعث ایجاد حس شگفتی و وسعت ادراک‌شده می‌شوند و نواحی قشر پیشانی مرتبط با تجربیات متعالی را فعال می‌کنند (Chirico et al., 2018). فضاهای مجازی عظیم (مثلاً سقف‌های ۵۰ متری) باعث افزایش فعالیت الکترودرمال (EDA) ۴۰ درصد) و کاهش ضربان قلب (۸ ضربه در دقیقه) می‌شوند که با فیزیولوژی تجربهٔ هیبت و شگفت‌زدگی سازگار است (Carbone et al., 2024). فضاهای مجازی با مقیاس بیش از حد (مثلاً نسبت‌های ۱۰ برابر دنیای واقعی) به‌دلیل نشانه‌های عمق تحریف‌شده، دقت مسیریابی و موقعیت‌یابی را ۲۳ تا ۴۱ درصد کاهش می‌دهند (Ruddle & Lessels, 2009).

ازسوی‌دیگر، در مقیاس‌های فشرده، هنگامی‌که مرزهای محیط مجازی محدودهٔ فضای شخصی را نقض می‌کنند، پاسخ‌های کلاستروفوبیک تشدید می‌شود و بار شناختی را برای اجتناب از برخورد افزایش می‌یابد (Francová et al., 2023). ازسوی‌دیگر فشرده‌سازی فضا با مقیاس زیر ۰/۷ برابر معیارهای دنیای واقعی، ادراک و رمزگذاری حافظهٔ فضایی را مختل می‌کند (Lhuillier et al., 2024).

علاوه‌بر تأثیراتی احساسی که مقیاس به‌طور مستقل ایجاد می‌کند. این متغیر ارتباط مستقیمی نیز با «چگالی اطلاعات محیطی» دارد. وقتی مقیاس بالا می‌رود محیط می‌تواند حجم بالاتر از اطلاعات را در خود جای دهد. ازسوی‌دیگر -در محیط‌هایی که اطلاعات بنیادی ساختار فضایی است- حرکت فرد تغییرات کمتری در محوطهٔ قابل‌دیدن او (ایزوویست) ایجاد می‌کند و نرخ «چگالی اطلاعات محیطی» می‌تواند کاهش بیابد. در عمل طراح فضای محیطی باید هر سه متغیر مقیاس، سرعت و «چگالی اطلاعات محیطی» را برای تجربهٔ بهتر فضای مجازی به‌طور هماهنگ و هم‌زمان تنظیم و طراحی کند.

• چگالی اطلاعات محیطی

مجموعه‌ای جدید و روبه‌رشد از نظریه‌ها محیط اطراف انسان را به‌عنوان منبعی غنی از داده‌ها در نظر می‌گیرد و حرکت انسان (به‌ویژه راه‌رفتن) هم به‌عنوان وسیله‌ای برای جمع‌آوری و دسترسی به این داده‌ها در نظر گرفته می‌شود. در این پرادایم نرخ دریافت این اطلاعات به سرعت انسان در محیط وابسته است و سرعت بالاتر دسترسی سریع‌تر به اطلاعات را به‌دنبال دارد. انسان به‌گونه‌ای تکامل می‌یابد که بتواند با حداکثر سرعت فیزیکی خود در محیط حرکت کند و هم‌زمان اطلاعاتی را که از محیط، غالباً به‌صورت بصری، دریافت می‌کند، تجزیه‌وتحلیل کند. اما محیط مجازی این امکان را فراهم می‌کند که سرعت حرکت در محیط بیش از این افزایش یابد و لذا نرخ اطلاعاتی که فرد در واحد زمان دریافت می‌کند نیز می‌تواند بیشتر از آن باشد که مغز برای تجزیه‌وتحلیل

آن تکامل‌یافته است (Saelens & Handy, 2008; Christman et al., 2020; Zhang et al., 2024).

درواقع این پژوهش‌ها نشان از وجود متغیری محیطی دارند که در تحقیقات جدید با نام «نرخ آنتروپی اطلاعات» «information entropy rate»[9] یا «چگالی اطلاعات محیطی»[10] شناخته می‌شود. این متغیر بیان می‌کند که داده‌های جدید و مفید با چه سرعتی در هنگام حرکت فرد در محیط در دسترس او قرار می‌گیرند (Carlson et al., 2012; Rondinel-Oviedo, & Keena. 2023; Netto et al., 2025). در حرکت با سرعت‌های بالا فرد به‌سرعت زوایای جدیدی از محیط را می‌بینید و با مجموعهٔ جدیدی از اطلاعات محیطی روبرو می‌شود و لذا «چگالی اطلاعات محیطی» بالاتر است؛ اما با سرعت پایین‌تر و یا محیط‌های وسیع‌تر و با جزئیات کمتر این روند دسترسی به اطلاعات کندتر می‌شود و فرد زمانی بیشتری برای درک و به‌خاطر سپردن کلیت و جزئیات محیط دارد و لذا «چگالی اطلاعات محیطی» پایین‌تر است. قابل توجه است که این «چگالی اطلاعات محیطی» اطلاعات قابل‌دسترس در واحد مکان نیست، بلکه اطلاعات قابل‌دسترس در واحد زمان و در زمان حرکت است. برای درک بهتر «چگالی اطلاعات محیطی»، درک مفهوم ایزوویست می‌تواند مفید باشد. ایزوویست محدوده‌ای است که فرد در هر لحظه در فضا می‌تواند ببیند. ایزوویست درواقع محدوده‌ای است که فرد می‌تواند از آن اطلاعات محیطی دریافت کند (Daneshjo et al., 2022). تغییر این محوطه به معنی دسترسی به اطلاعات جدید محیطی است و زمانی که اطلاعات ساختار فضایی مدنظر است، چگالی اطلاعات محیطی را می‌توان شتاب تغییر این محوطه (ایزوویست) در طول زمان را که با حرکت فرد حاصل می‌شود در نظر گرفت.

• جستجو در محیط

از زمان پیدایش انسان‌های اولیه، توانایی یافتن منابع غذایی، شناسایی خطرات و پیمایش مؤثر در محیط‌های پیچیده، عامل تعیین‌کننده‌ای در موفقیت تکاملی بوده و انسان را به جستجو و کشف محیط خود وا داشته است. رفتار جستجو در تکامل انسانی شامل تصمیم‌گیری‌های متوالی است که در آن‌ها فرد باید بین حرکت در جهت‌های مختلف برای اکتشاف مناطق جدید و بهره‌برداری از مناطق شناخته‌شده توازن برقرار کند (Moura & Menezes, 2021). مطالعات اخیر نشان می‌دهند که حرکت انسان در طول جستجو توسط محدودیت‌های متعدد، ازجمله محدودیت‌های فیزیولوژیکی، شناختی و محیطی، شکل می‌گیرد. استراتژی‌های جستجو تحت کنترل هموستاتیک در مغز قرار دارند و با عوامل مختلف ازجمله نیاز به حرکت، انرژی موجود و ویژگی‌های محیط ارتباط دارند (Stults-Kolehmainen, 2023). جستجو در محیط با درک محیط اطراف شروع می‌شود. سپس، مغز انسان شروع به ساختن نقشهٔ شناختی از محیط می‌کند؛ این نقشه ترکیبی از اطلاعات جدید محیط، تجربه‌های قبلی و شواهد بصری موجود است (Epstein et al., 2017). در محیط‌های آشنا، هر بار ورود یا عبور از بخش‌های مختلف موجب بهبود و تکمیل این نقشهٔ ذهنی می‌شود و افراد آشنا با محیط، سریع‌تر و با خطای کمتر به هدف می‌رسند (Dijkstra et al., 2014). حافظهٔ فضایی نقش حیاتی در رفتار جستجوی انسان ایفا می‌کند (New et al., 2011; Kerster et al., 2016). فرضیهٔ «نقشهٔ شناختی» پیشنهاد می‌کند که مغز یک نمایش یکپارچه از محیط فضایی می‌سازد که از حافظهٔ پشتیبانی و عمل آینده را هدایت می‌کند (Maguire et al., 2017; Zhou & Yu, 2021). نقشه‌های شناختی به‌وسیله سلول‌های مکان، سلول‌های شبکه، سلول‌های مرز و سلول‌های جهت سر در هیپوکامپ و ساختارهای مرتبط نمونه‌سازی می‌شوند و سلول‌های شبکه در قشر انتورینال یک نقشهٔ متریک از فضا ارائه می‌دهند (Hafting et al., 2005). این نورون‌های فضایی با هم کار می‌کنند تا یک نمایش شناختی جامع از محیط ایجاد کنند که جستجوی مؤثر را تسهیل می‌کند (Moser et al., 2008). در این راستا، حافظهٔ کوتاه‌مدت برای یادآوری جزئیات مسیر فعلی و حافظهٔ بلندمدت برای شناسایی ویژگی‌های کلی ساختمان فعال می‌شود (Epstein et al., 2017).

• استراتژی‌های حرکتی در جستجوی محیطی

همان‌طور که اشاره شد، تکامل باعث ایجاد استراتژی‌های جهت فعالیت‌های انسانی ازجمله جستجو شده است. استراتژی‌های حرکتی انسان در طول جستجو را می‌توان به دو دستهٔ اصلی طبقه‌بندی کرد: حرکت هدفمند (جستجوی جهان‌شمول) و حرکت پیش‌بینانه (جستجوی محلی). حرکت هدفمند اغلب شامل حرکت مستقیم به سمت مناطقی است که انتظار می‌رود پاداش‌دهنده باشند، درحالی‌که حرکت پیش‌بینانه شامل جابه‌جایی استراتژیک براساس اطلاعاتی است که در حین حرکت در محیط ظهور می‌کنند و تلاش برای دسترسی بهتر به این اطلاعات است (Moura & Menezes, 2021).

مطالعات انجام‌شده روی جمع‌آورندگان شکارچی هادزا از تانزانیای شمالی نشان داد که آن‌ها هنگام جستجو برای منابع غذایی از الگوهایی ریاضی طبیعت می‌کنند که (گام لوی) شناخته می‌شوند. گام لوی (Lévy walk) مجموعه‌ای از الگوهای حرکتی تصادفی را توصیف می‌کنند که در آن‌ها طول‌های گام از توزیع دنبالهٔ ریاضی و توانی پیروی می‌کنند. این الگوها به‌عنوان استراتژی‌های جستجوی بهینه برای اهداف پراکنده و ناهمگن شناخته شده‌اند (Viswanathan et al., 1999; Humphries et al., 2014). این یافته‌ها نشان می‌دهند که گام‌های لوی یک الگوی حرکتی مهم برای انسان‌ها به‌عنوان پیچیده‌ترین جستجوگران روی زمین هستند (Raichlen et al. 2014).

جستجوی محدود به منطقه (Area-Restricted Search; ARS) یک استراتژی جستجوی بنیادین است که در آن جستجوگران

جستجوی خود را برای یافتن منابع به حوضه‌ای متمرکز محدود می‌کنند (Benhamou & Collet, 2015). این الگو شامل کاهش سرعت حرکت و افزایش تغییر جهت پس از رویارویی با یک منبع و یا نشانه‌هایی است که احتمال پیداکردن منابع اضافی در نزدیکی را افزایش می‌دهد (Hills et al., 2013; Benhamou & Collet, 2015). مطالعات آزمایشگاهی روی انسان‌ها نشان داده است که آن‌ها معمولاً استراتژی جستجوی محدود به منطقه را در محیط‌های مجازی اتخاذ می‌کنند. بااین‌حال، زمانی که اهداف به‌طور پراکنده توزیع شده‌اند و محیط گسترده است، انسان‌ها به سمت الگوهای لوی‌گونه (Lévy walk) نیز تمایل دارند. این نشان می‌دهد که انسان‌ها می‌توانند استراتژی جستجوی خود را به‌طور انعطاف‌پذیر براساس توزیع اهداف تنظیم کنند (Hills et al., 2013).

در محیط‌های ساخته شده با توجه به وجود نشانه‌های متعدد، استراتژی انسان‌ها در جستجو تغییر می‌کند. در محیط‌های پیچیده یا ناشناخته (مانند فرودگاه یا بیمارستان)، افراد ابتدا مسیری را که دید بیشتری فراهم می‌کند یا به علائم بیشتری مجهز است انتخاب می‌کنند و در صورت عدم موفقیت با توجه به اطلاعات جدید، مسیر جایگزین برمی‌گزینند (Iftikhar et al., 2021). در حین حرکت، داده‌های محیطی (مانند علائم جدید، تغییر مسیرها یا گره‌های راهروها) به‌روزرسانی می‌شوند و فرد با بازبینی نقشهٔ ذهنی، مسیر خود را اصلاح می‌کند. در فضاهای شلوغ یا چندطبقه، تکرار تجربه موجب بهبود راهبردهای حرکتی و کاهش زمان جستجو می‌شود (Dijkstra et al., 2014; Epstein et al., 2017).

• خرد رفتارهای فرد در محیط مجازی

بعضی از خرد رفتارهای فرد در محیط ساخته‌شده، در پژوهش‌ها بررسی شده‌اند. برای مثال میزان مسافت مستقیمی که افراد بدون تغییر جهت حرکت می‌کنند، به چند عامل کلیدی وابسته است. مهم‌ترین آن‌ها طراحی معماری و وجود موانع فیزیکی است. اطلاعات بصری نیز در این امر بسیار مهم است، اگر شخصی دید مستقیم به‌سوی هدف یا نشانه‌ای شاخص داشته باشد با احتمال بیشتری مسافت بیشتری را در خط مستقیم طی می‌کند. ازسوی‌دیگر، عدم قطعیت دربارهٔ محل هدف، نبود علائم راهنما یا دید محدود معمولاً باعث می‌شود فرد زودتر متوقف شود، جهت خود را اصلاح کند یا مسیر را تغییر دهد. اطمینان شناختی، آشنایی قبلی با محیط و وضوح مسیر نیز باعث افزایش طول متوسط مسیر مستقیم می‌شود (Jansen et al., 2011; Epstein et al., 2017; van der Zee et al., 2024).

فاصلهٔ ترجیحی افراد از دیوار هنگام راه‌رفتن تحت‌تأثیر متغیرهای چندگانه‌ای قرار دارد. مهم‌ترین این متغیرها شامل عوامل فردی، محیطی و عصبی - زیست‌شناختی است. از جنبهٔ فردی، سطوح اضطراب و نوروتیسیسم (Gifford, 2013) و همچنین تجربیات گذشته (مانند قربانی خشونت‌بودن) می‌توانند تمایل به حفظ فاصلهٔ بیشتر برای احساس امنیت را افزایش دهند. از منظر محیطی، عرض راهرو (Passini et al., 1980)، وجود پنجره‌ها یا درهای متعدد به‌عنوان گزینه‌های فرار، و سطح نورپردازی (که بر درک امنیت تأثیر می‌گذارد) به‌طور مستقیم بر این فاصله اثر می‌گذارند. از نگاه عصب‌شناسی، این رفتار ریشه در مکانیسم‌های باستانی بقا دارد، جایی که دیوار به‌عنوان یک «پناهگاه» ادراک می‌شود که فضای نیمه‌بسته، (میدان دید) را محدود و خطر احتمالی را از یک سمت حذف می‌کند و در نتیجه بار شناختی مغز برای نظارت بر تهدیدات را کاهش می‌دهد (LeDoux, 2012)؛ بنابراین، این فاصله یک رفتار انطباقی پویا است که از تعامل بین وضعیت روانی فرد، طراحی فیزیکی محیط و معماری عصبی ذهن برای بقا سرچشمه می‌گیرد.

براساس یافته‌های روان‌شناسی ادراکی، علوم اعصاب شناختی و ارگونومی، فاصله‌ای که یک فرد برای گذر از یک مانع بصری (مانند یک ستون، یک گلدان بزرگ یا یک دیوار کوتاه) ترجیح می‌دهد، حاصل یک ارزیابی پویا و ناخودآگاه از تعامل بین «میدان دید»، «حوزهٔ حریم شخصی» و «احتمال بروز تهدید» است. مشخصات فیزیکی مانع از متغیرهای کلیدی است که بر این فاصلهٔ ترجیحی اثر می‌گذارد. ارتفاع و عرض مانع که میزان «محرومیت بصری»[11] را تعیین می‌کند، بسیارمهم است. یک مانع بلند که به‌طور کامل فضای پشت خود را می‌پوشاند (مانند یک دیوار توپر)، به‌دلیل ایجاد یک «منطقهٔ کور» غیرقابل‌پیش‌بینی، فاصلهٔ عبور ایمن‌تر و در نتیجه بزرگ‌تری را طلب می‌کند (Gibson, 1979). زمینهٔ محیطی از دیگر متغیرهای کلیدی است. وجود فضاهای گریز یا مسیرهای جایگزین در مجاورت مانع، این فاصله را کاهش می‌دهد. همچنین، محیط‌های شلوغ یا کم‌نور که پردازش اطلاعات ادراکی را دشوار می‌کنند، تمایل به حفظ فاصله بیشتر را افزایش می‌دهند. از منظر عصبی - تکاملی، فاصلهٔ ترجیحی هنگام گذر از یک مانع بصری بازتابی از یک مکانیسم نظارتی باستانی است که در آن، مغز به‌طور خودکار احتمال وجود یک شکارگر یا تهدید در پشت یک مانع بصری را محاسبه می‌کند. مدارهای عصبی مرتبط با آمیگدال و قشر، برای ایجاد یک «حاشیهٔ ایمنی» پویا فعال می‌شوند تا زمان و فضای کافی برای یک واکنش بالقوه (مانند دورزدن یا توقف ناگهانی) در صورت ظهور غیرمنتظره یک خطر از پشت مانع فراهم شود (Caminiti et al., 1996). در نتیجه، این فاصلهٔ ترجیحی یک استراتژی انطباقی بهینه برای تأمین ایمنی و حفظ کارآمدی حرکت در محیط‌های پیچیده است.

روش پژوهش

در پژوهش ارتباط سه متغیر محیط مجازی، سرعت آواتار، مقیاس ساختار فضایی محیط و چگالی اطلاعات محیطی که تصور می‌شد، تأثیر بالایی بر رفتاری فرد در محیط داشته باشند، به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. برای متغیر اول -سرعت حرکت آواتر در محیط- سه حالت در نظر گرفته شد: سرعت پایه که برابر

سرعت حرکت فرد در زمان دویدن در دنیای واقعی و در اغلب بازی‌های رایانه‌ای کاربرد دارد، سرعت دوبرابر پایه و سرعت نصف پایه. متغیر دوم مقیاس ساختار فضایی محیط است. منظور از مقیاس در اینجا فاصله و طول دیوارهاست و مبلمان ثابت می‌ماند و با تغییر این مقیاس تغییری نمی‌کند. برای مقیاس هم سه حالت در نظر گرفته شده است. مقیاس پایه که نزدیک به مقیاس‌های فضای ساخته شده است با ارتفاع دیوارهای سه متری، مقیاس دوبرابر پایه و مقیاس نصف پایه. باید توجه داشت که در آزمون‌ها با مقیاس متغیر، سرعت ثابت و برابر سرعت پایهٔ آزمون‌های بالا است. متغیر سوم «چگالی اطلاعات محیطی» است که در مبانی نظری پژوهش معرفی شد. میزان اطلاعاتی جدیدی که در زمان حرکت فرد در محیط در واحد زمان توسط فرد دریافت می‌شود، چگالی اطلاعات محیطی نامیده می‌شود. اساساً یکی از اهداف اصلی حرکت دسترسی به اطلاعات محیطی است. فرد وقتی وارد قسمت جدیدی از فضا می‌شود، به اطلاعات جدیدی دسترسی دارد که شامل ساختار آن بخش از فضا و همچنین اشیا درون آن بخش از فضاست. هرچه فرد با فاصلهٔ زمانی کمتر وارد فضاهای جدید شود، دسترسی او به اطلاعات محیطی سریع‌تر اتفاق می‌افتد. در سرعت‌های بالا و در مقیاس‌های کوچک این روند تندتر و در سرعت‌های پایین و در مقیاس‌های بزرگ این روند کندتر است.

باید توجه داشت که چگالی اطلاعات محیطی متغیر مستقلی از مقیاس و سرعت نیست و ارتباط مستقیمی با این دو متغیر دارد و میزان سرعت فرد و مقیاس محیط اصلی‌ترین متغیرهایی هستند که به چگالی اطلاعات محیطی شکل می‌دهند، لذا در این مقاله نیز این متغیر به شکل یک متغیر مستقل در نظر گرفته نشد، بلکه ترکیبی از دو متغیر سرعت و مقیاس است. هر چند تعریف دقیقی برای اندازه‌گیری چگالی اطلاعات محیطی براساس سرعت و مقیاس در دست نیست، اما تصور شد با دوبرابرشدن سرعت، چگالی اطلاعات محیطی دوبرابر می‌شود و با دوبرابرشدن مقیاس، مقدار این متغیر نصف می‌شود و بلعکس.

پارادایم این پژوهش پسااثبات‌گرا است و به‌لحاظ هدف جزو پژوهش‌های کاربردی است. این پژوهش ترکیبی و شامل سه بخش بوده است. در بخش اول این مقاله رفتار کاربران حین حرکت و جستجو در محیط مجازی راهبردهای اتخاذشده توسط آن‌ها دسته‌بندی شد. درنتیجه تحلیل‌های انجام‌شده در این بخش به روش دلفی، تعداد شش متغیر کمّی از رفتار کیفی فرد در محیط که تصور می‌شد می‌تواند با سرعت و مقیاس در ارتباط باشد استخراج شد. این متغیرها که شامل طول حرکت فرد در مسیر مستقیم، فاصلهٔ ترجیحی از دیوار، فاصلهٔ ترجیحی از لبه‌ها، مدت‌زمان توقف‌ها، میزان چرخش در تغییر مسیر و کارایی کلی جستجو هستند، می‌توانند متغیرهای وابستهٔ پژوهش در نظر گرفته‌شوند.

برای ایجاد پلان محل آزمایش در ابتدا محدوده‌ای شطرنجی با پیچیدگی با ابعاد ۵۰ در ۵۰ به‌عنوان محدودهٔ کلی پژوهش در نظر گرفته شد. تصمیم گرفته شد برای سادگی و همچنین کنترل متغیرهای مداخله‌گر، محیطی ساده با دیوارهای باز و بسته همانند هزارتو در این محدوده طراحی شد که برای جستجو مناسب باشد. برای نیل به این هدف، از دانشجویان رشتهٔ معماری خواسته شد در این محیط شطرنجی و فقط با اضافه و حذف‌کردن دیوارها، فضایی طراحی کنند که حرکت و جستجو را تسهیل کند و درعین‌حال بلافاصله امکان خوانش و درک کامل را نداشته باشد تا فرایند اکتشافی در آن انجام شود. بعد از جمع‌آوری پلان‌های پیشنهادی دانشجویان (جمعاً ۴۳ مورد) تحلیل و بررسی آن‌ها توسط متخصصین -گروهی از اساتید رشتهٔ معماری- انجام شد و نمونه‌ای به‌عنوان محیط اصلی آزمایش‌ها انتخاب شد. این نمونه، سپس در موتور بازی‌سازی یونیتی به‌طور مجازی ساخته شد. سعی شد ساخت محیط به‌گونه‌ای باشد که تنها متغیر اثرگذار که رفتار فرد را شکل می‌دهد، ساختار فضایی باشد تا اثر دو متغیر اصلی سرعت و مقیاس در آزمون برجسته‌تر شود و تا جای امکان اثر متغیرهای مداخله‌گر مانند رنگ و نور کاهش یابد.

برای ایجاد محیط آزمایش بخش دوم پژوهش که رفتار فرد را در محیط ثبت می‌کرد، محدوده‌ای شطرنجی با طول و عرض ۵۰*۵۰ متر مشخص شد. سپس از دانشجویان رشتهٔ معماری خواسته شد محیطی ساده با دیوارهای باز و بسته همانند هزارتو در این محدوده طراحی کنند.

برای ایجاد محیط مجازی در این پژوهش، از عینک واقعیت مجازی[۱۲] استفاده شد. ورودی‌های حرکتی از کاربران به‌وسیلهٔ دستهٔ بازی معمولی دستگاه[۱۳] ایکس باکس دریافت شد. همچنین محیط ایجادشده فاقد صدای محیطی بود و از عنصر صدا در آزمون استفاده نشد.

محیط کوچکی اولیه‌ای نیز به همراه محیط آزمون ساخته شد تا امکان آشنایی بهتر افراد با سخت‌افزارهای مورداستفاده و همچنین یادگیری بهتر حرکت در محیط را فراهم آورد. آزمایش‌شوندگان پس از فعالیت و آشنایی اولیه در این محیط، به‌طور خودکار به محیط اصلی منتقل می‌شدند و در این محیط دست به جستجو می‌زنند (تصویر ۱). جامعهٔ آماری این مطالعه شامل ۱۸ شرکت‌کننده بوده است که از یک جمعیت دانشجویی دانشگاه که سابقهٔ انجام بازی‌های ویدئویی را دارند، انتخاب شدند. شرکت‌کنندگان در محدودهٔ سنی ۱۸ تا ۲۸ سال، با توزیع تقریباً مساوی بین مردان و زنان هستند. از شرکت‌کنندگان خواسته شد در محیط‌های مجازی که به آن‌ها عرضه می‌شود، به‌دنبال یک هدف قابل‌تشخیص (سیب قرمز روی یک پایه) بگردند و رفتار آن‌ها توسط نرم‌افزار ثبت شد.

برای هر کاربر محدودیت زمانی دو دقیقه در نظر گرفته شد. پس از این زمان و یا پس از یافتن سیب، آزمایش‌شونده به نقطهٔ

شروع دیگری از نوع دیگری از محیط (با سرعت آواتار و یا مقیاس متفاوت) منتقل می‌شد و آزمون تکرار شد.

برای ثبت رفتارهای حرکتی، به موتور بازی یونیتی قطعهٔ کدی به زبان سی‌شارپ اضافه شد که با فاصله‌های زمانی ثابت (۰/۵ ثانیه) موقعیت فرد و جهت نگاه او را دریافت و ذخیره می‌کرد. سپس به کل برنامه قطعهٔ کد دیگری اضافه شد که بعد از انجام آزمون، موقعیت‌های ذخیره‌شده را تبدیل به مجموعه‌ای فلش‌ها می‌کرد و نتیجهٔ نهایی رفتار فرد را به‌صورت تصویری که نشان‌دهندهٔ روش جستجوی فرد در محیط بود، ارائه می‌داد (تصویر ۲). درمجموع ۹۰ رفتار از این فرایند استخراج شد که البته معدودی از آن‌ها به‌دلیل عدم شکل‌گیری رفتار جستجو توسط فرد استفاده نشد.

در بخش سوم پژوهش، تصاویر نشان‌دهندهٔ رفتار جستجوگران مرحلهٔ دوم تهیه شد و به مجموعهٔ جدیدی از آزمایش‌شوندگان که نه نفر بودند، ارائه شد. همچنین متنی که متغیرهای رفتاری مورد نظر مقاله -مانند فاصلهٔ ترجیحی هنگام گذر از کنار دیوار- را تعریف می‌کرد به این افراد ارائه شد. از این افراد خواسته شد که ابتدا رفتارهای موردنظر را در تصاویر رفتاری یافتند و سپس براساس ادراک خود میزان این رفتارها را به‌طور کمّی تخمین بزنند. برای مثال، این آزمایش‌شوندگان در ابتدا باید مسیری که فرد جستجوگر در مسیر مستقیم حرکت کرده بود را مشخص می‌درند و سپس طول این مسیر را اندازه می‌گرفتند. این امر امکان استخراج کمّی متغیرهای وابسته ذکرشده را از رفتار جستجوگران براساس درک افراد تحلیل‌گر بخش سوم فراهم می‌آورد (تصویر ۳). داده‌های جمع‌آوری‌شده به‌صورت کمّی و با کمک نرم‌افزار SPSS و تکنیک رگرسیون تجزیه‌وتحلیل شد.

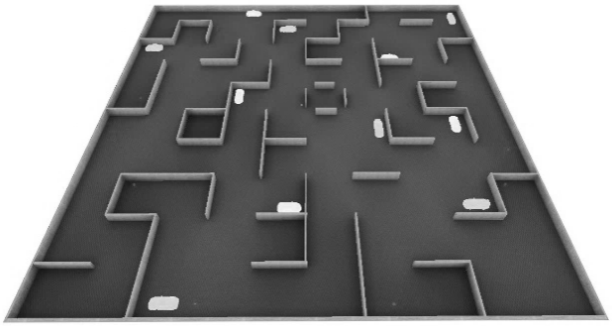
یافته‌ها

خصوصیات رفتاری که در این پژوهش به‌عنوان متغیر وابسته بررسی شده‌اند، شامل شش الگو است که عبارت‌اند از: طول حرکت به‌صورت مستقیم؛ فاصله هنگام گذر از کنار دیوار؛ فاصلهٔ ترجیحی از لبه‌ها؛ مدت‌زمان موردنیاز برای نگاه به اطراف برحسب ثانیه؛ زمان رسیدن به هدف؛ میزان درجهٔ چرخش. ارتباط هر کدام از این شش الگو به‌طور مستقل با متغیرهای مستقل تغییرات سرعت و مقیاس بررسی شد که در ادامه ارائه شده است.

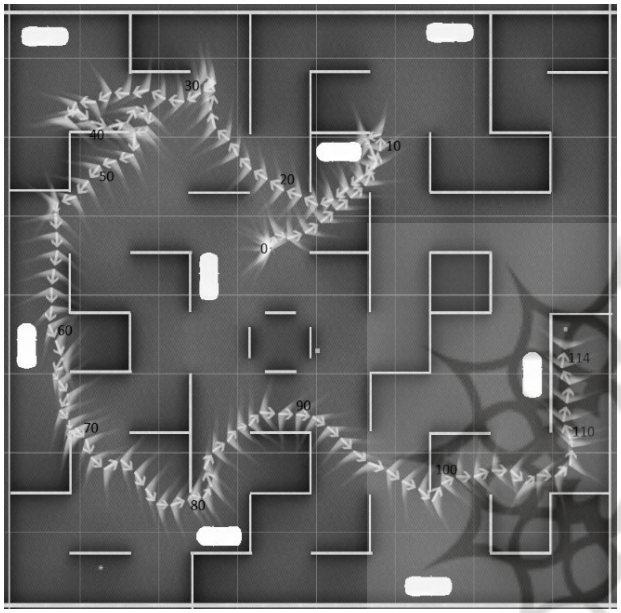
• طول حرکت به‌صورت مستقیم

تعریف متغیر: در بسیاری از موارد می‌توان از حرکت فرد محیط در محیط قطعه، حرکت‌هایی در مسیر راست را استخراج کرد (تصویر ۳). وجود این قطعه حرکت‌های مستقیم نشان از وجود هدف‌گذاری‌های مقطعی در زمان جستجو و پیمایش محیط توسط افراد است. (Dijkstra et al., 2014).

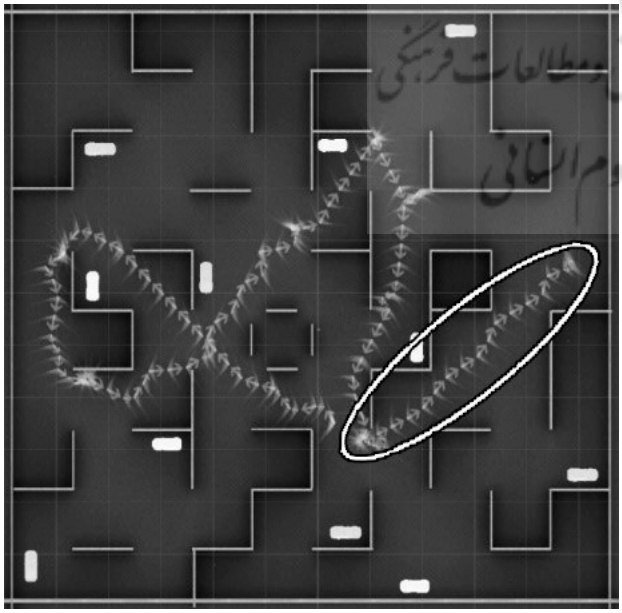
متغیر کلی میزان حرکت به‌صورت مستقیم به سه صورت تحلیل شد. در ابتدا زمان حرکت به‌صورت مستقیم در نظر گرفته شد و



تصویر ۱. نسبت پدیداری سکوت و سکونت پدیدارشناختی (سکوت پدیدارشناختی میدان پدیداری سکونت). مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۲. رفتار فرد در محیط به‌صورت یک تصویر ترجمه شد. در این تصویر فلش‌ها جابجایی و مثلث‌ها جهت نگاه فرد در یک لحظه را نشان می‌دهد. مأخذ: نگارندگان.



تصویر ۳. زمان حرکت فرد در مسیر مستقیم یکی از متغیرهای کمّی استخراج‌شده از رفتار جستجوگران است. این طول براساس نظر آزمایش‌شوندهٔ مرحلهٔ سوم از حرکت در مسیر مستقیم از تصاویر نشان‌دهندهٔ رفتار و براساس تعداد فلش‌های آن -که نشانگر طول زمانی رفتار است- استخراج شد. مأخذ: نگارندگان.

سپس طول این حرکت به‌عنوان متغیر وابسته دیده شد. باید دقت کرد که چون سرعت حرکت آواتار در آزمون متغیر است، زمان حرکت و طول حرکت ارتباط یک‌به‌یک ندارند. درحالت سوم، طول حرکت بر مقیاس محیط (طول حرکت تقسیم‌بر مقیاس) به‌عنوان متغیر مستقل دیده شد. با توجه به رفع اثر مقیاس درحالت سوم، این متغیر بیشترین ارتباط را با ساختار فضایی دارد. همچنین در این حالت مقیاس از متغیرهای مستقل رگرسیون حذف می‌شود.

جدول ۱ نتایج رگرسیون بین زمان حرکت در مسیر مستقیم و متغیرهای مستقل است. نتایج رگرسیون نشان می‌دهد که مدل کلی واریانس بسیار کمی را در متغیر وابسته توضیح می‌دهد (R^2 = 4.2%) و احتمالاً سایر متغیرهای مهم از قلم افتاده است. از میان متغیرهای مستقل بیان‌شده فقط «سرعت» و «چگالی اطلاعات محیطی» از نظر آماری متغیرهای پیش‌بینی‌کنندهٔ معناداری هستند، درحالی‌که «مقیاس» تأثیر معناداری ندارد ($p = 0.4$).

جدول ۲ نشانگر نتایج رگرسیون بین طول در مسیر مستقیم و متغیرهای مستقل است. براساس نتایج به‌دست‌آمده این مدل ۴۴ درصد از واریانس را توضیح می‌دهد که نتیجهٔ نسبتاً خوبی است. «سرعت» متغیر مؤثر غالب با تأثیر مثبت و بزرگ است (بتا = ۱/۰) و «چگالی اطلاعات محیطی» تأثیر منفی کوچک‌تر اما معناداری دارد (بتا = ۰/۲۳-). «مقیاس» در این مدل بی‌معنی به نظر می‌رسد ($p=7.0$) و می‌تواند حذف شود.

نتایج به‌دست‌آمده در رگرسیون بین طول حرکت در مسیر مستقیم به نسبت مقیاس (طول حرکت تقسیم‌بر مقیاس) و متغیرهای مستقل (جدول ۳) نشان‌دهندهٔ رابطهٔ قوی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته است ($R = 0.69$). همچنین مدل ۴۸ درصد از واریانس متغیر وابسته را توضیح می‌دهد که در بسیاری از زمینه‌های پژوهشی قدرت توضیحی قوی در نظر گرفته می‌شود. R^2 تعدیل‌شده (۸/۰) و بسیار نزدیک به R^2 است و نشان می‌دهد که همه متغیرهای مستقل به‌طور معناداری با متغیر وابسته ارتباط دارند. «چگالی اطلاعات محیطی» قوی‌ترین اثر مثبت را دارد (بتا = ۰/۴۹) و پس از آن «سرعت» قرار دارد (بتا = ۰/۲۶). همچنین هر دو متغیر اثرات جهت‌دار واضح دارند و افزایش هر یک از متغیرها، نتیجه را افزایش می‌دهد.

- **فاصلهٔ ترجیحی هنگام گذر از کنار دیوار**

تعریف متغیر: در محیط واقعی و همچنین مجازی یکی از عناصر معمول و شناخته‌شدهٔ دیوار است. بسیار پیش می‌آید که فرد در این محیطها در راستای دیوار حرکت کند. فاصله‌ای از دیوار که

جدول ۱. نتایج رگرسیون بین زمان حرکت در مسیر مستقیم و متغیرهای مستقل. مأخذ: نگارندگان.

	ضرایب (Coefficients)						خلاصهٔ مدل		
	بی (B)	خطای استاندارد	بتا (Beta)	تی (t)	معنی‌داری (Sig.)	آر (R)	مجذور آر (R Square)	مجذور آر تعدیل‌شده	خطای استاندارد برآورد
سرعت	۱/۰۴	۰/۴۲	۰/۲۵	۲/۴۸	۰/۰۱	۰/۲۰۵	۰/۰۴۲	۰/۰۳۵	۱/۹۰۴
مقیاس	-۰/۳۸	-۰/۴۰	-۰/۰۹	-۰/۹۶	-۰/۳۴				
چگالی اطلاعات محیطی	-۱/۱۶	۰/۳۹	-۰/۳۹	-۲/۹۷	۰/۰۰				

جدول ۲. نتایج رگرسیون بین طول حرکت در مسیر مستقیم و متغیرهای مستقل. مأخذ: نگارندگان.

	ضرایب (Coefficients)						خلاصهٔ مدل		
	بی (B)	خطای استاندارد	بتا (Beta)	تی (t)	معنی‌داری (Sig.)	آر (R)	مجذور آر (R Square)	مجذور آر تعدیل‌شده	خطای استاندارد برآورد
سرعت	۵/۰۴	۰/۴۸	۰/۸۱	۱۰/۴۱	۰/۰۰	۰/۶۶	۰/۴۴	۰/۴۴	۲/۱۹
مقیاس	-۰/۲۶	۰/۴۶	-۰/۰۴	-۰/۵۷	۰/۵۷				
چگالی اطلاعات محیطی	-۱/۰۳	۰/۴۵	-۰/۲۳	-۲/۳۱	۰/۰۲				

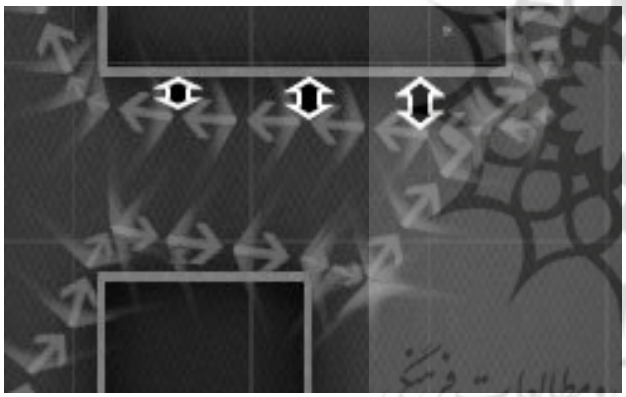
جدول ۳. نتایج رگرسیون بین طول حرکت در مسیر مستقیم به نسبت مقیاس (طول حرکت تقسیم‌بر مقیاس) و متغیرهای مستقل به‌جز مقیاس. مأخذ: نگارندگان.

	ضرایب (Coefficients)						خلاصهٔ مدل		
	بی (B)	خطای استاندارد	بتا (Beta)	تی (t)	معنی‌داری (Sig.)	آر (R)	مجذور آر (R Square)	مجذور آر تعدیل‌شده	خطای استاندارد برآورد
سرعت	۱/۷۲	۰/۳۲	۰/۲۶	۵/۳۹	۰/۰۰	۰/۶۹	۰/۴۸	۰/۴۸	۲/۲۵
چگالی اطلاعات محیطی	۲/۳۲	۰/۲۳	۰/۴۹	۱۰/۰۹	۰/۰۰				

فرد برای حرکت خود انتخاب می‌کند می‌تواند از مجموعه‌ای از متغیرها متأثر باشد (تصویر ۴).
فاصلهٔ ترجیحی نیز مانند حرکت در مسیر مستقیم در این پژوهش از دو زاویه در نظر گرفته شد. این متغیر اول به‌صورت خام و با ابعاد واقعی به‌دست‌آمده (متر) و سپس به‌صورت نسبتی از محیط (تقسیم‌شده به مقیاس) بررسی شد.
نتایج بررسی متغیر فاصلهٔ ترجیحی از دیوار در جدول ۴ بیان شده است. براساس این نتایج، این مدل تنها ۱۸ درصد از واریانس را توضیح می‌دهد که نشان‌دهندهٔ قدرت پیش‌بینی ضعیفی است، هرچند که خطای استاندارد کوچک (۱/۲۰) تخمین‌های دقیقی را نشان می‌دهد. از بین سه متغیر مستقل فقط «مقیاس» ازنظر آماری معنادار است و تأثیری مثبت و متوسط دارد (بتا = ۰/۳۲). اثر «سرعت» و «چگالی اطلاعات محیطی» در مدل ناچیز هستند و معنی‌دار نیستند ($p > 0.05$).
تقسیم فاصلهٔ ترجیحی از دیوار به مقیاس از این منظر معنی‌دار است که میزان فاصلهٔ گرفته‌شده از دیوار به نسبت کل عرض مسیر عبور را نشان می‌دهد. تعریف متغیر به این شکل نتایج رگرسیون جدول ۵ را حاصل می‌کند. براساس نتایج حاصل‌شده مدل کلی واریانس محدودی را توضیح می‌دهد (۱۶ درصد). درحالی‌که هر دو متغیر مستقل بسیار معنادار هستند ($p<0.001$). این دو متغیر اثرات جهت‌دار متضاد دارند. سرعت، نتیجه را کاهش می‌دهد ($\beta=-0.48$) درحالی‌که چگالی اطلاعات محیطی آن را افزایش می‌دهد ($\beta=0.54$). تراکم محیطی همچنین تأثیر کمی قوی‌تری دارد.

- **فاصلهٔ ترجیحی از لبه‌ها هنگام عبور**

تعریف متغیر: بسیار پیش می‌آید که فرد در محیط از کنار مانعی در مسیر حرکت خود عبور می‌کند. در دنیای واقعی فاصله از این مانع هنگام عبور اغلب به‌طور ناخودآگاه و براساس تجربهٔ انسانی انتخاب می‌شود. در دنیای مجازی نیز این فاصله به‌طور ناخودآگاه انتخاب می‌شود (تصویر ۵). متغیر فاصلهٔ ترجیحی از لبه‌ها نیز مانند متغیرهای قبلی به دو صورت خام و تقسیم‌شده بر مقیاس در نظر گرفته شد.
نتایج رگرسیون متغیر فاصلهٔ ترجیحی از لبه‌ها به‌صورت خام در جدول ۶ بیان شده است. با تحلیل جدول می‌توان مشاهده کرد که همبستگی متوسط بین متغیرهای مستقل و وابسته وجود دارد ($r= 0.45$) و مدل قدرت توضیحی متوسطی نیز دارد ($R^2 = 20/0$). مقیاس قوی‌ترین متغیر پیش‌بینی‌کننده است (بتا= 64/0، $p<0.001$)، چگالی اطلاعات محیطی تأثیر متوسطی دارد (بتا=۰/۳۴، $p=0.03$) و سرعت نیز تأثیر معنی‌داری نشان نمی‌دهد ($p=0.35$).
در صورت تعریف فاصلهٔ ترجیحی از لبه‌ها به‌صورت نسبی و تقسیم آن به مقیاس نتایج جدول ۷ حاصل می‌شود. براساس این نتایج مدل تنها ۱۲ درصد از واریانس نتیجه را توضیح می‌دهد که نشان از ضعف آن دارد. چگالی اطلاعات محیطی قوی‌ترین متغیر



تصویر ۴. فاصلهٔ ترجیحی هنگام عبور از کنار دیوار. مأخذ: نگارندگان.

جدول ۴. نتایج رگرسیون بین فاصله، هنگام گذر از کنار دیوار و متغیرهای مستقل. مأخذ: نگارندگان.

	ضرایب (Coefficients)					خلاصهٔ مدل			
	بی (B)	خطای استاندارد	بتا (Beta)	تی (t)	معنی‌داری (Sig.)	آر (R)	مجذور آر (R Square)	مجذور آر تعدیل‌شده	خطای استاندارد برآورد
سرعت	۰/۱۶	۰/۴۱	۰/۰۶	۰/۳۸	۰/۷۰	۰/۴۲	۰/۱۸	۰/۱۶	۱/۲۰
مقیاس	۱/۰۰	۰/۴۹	۰/۳۲	۲/۰۵	۰/۰۴				
چگالی اطلاعات محیطی	-۰/۳۰	۰/۴۳	-۰/۱۵	-۰/۷۰	۰/۴۹				

جدول ۵. نتایج رگرسیون بین فاصلهٔ ترجیحی هنگام گذر از کنار دیوار به نسب مقیاس و متغیرهای مستقل. مأخذ: نگارندگان.

	ضرایب (Coefficients)					خلاصهٔ مدل			
	بی (B)	خطای استاندارد	بتا (Beta)	تی (t)	معنی‌داری (Sig.)	آر (R)	مجذور آر (R Square)	مجذور آر تعدیل‌شده	خطای استاندارد برآورد
سرعت	-۱/۱۵	۰/۲۵	-۰/۴۸	-۴/۶۱	۰/۰۰	۰/۴۰	۰/۱۶	۰/۱۵	۱/۱۶
چگالی اطلاعات محیطی	۱/۰۴	۰/۲۰	۰/۵۴	۵/۱۹	۰/۰۰				

پیش‌بینی‌کننده است (بتا=۰/۴۵، p<0.000) و سرعت نیز سرعت اثر منفی را نشان می‌دهد (بتا=۰/۲۳-، p<0.00).

• مدت‌زمان نگاه به اطراف

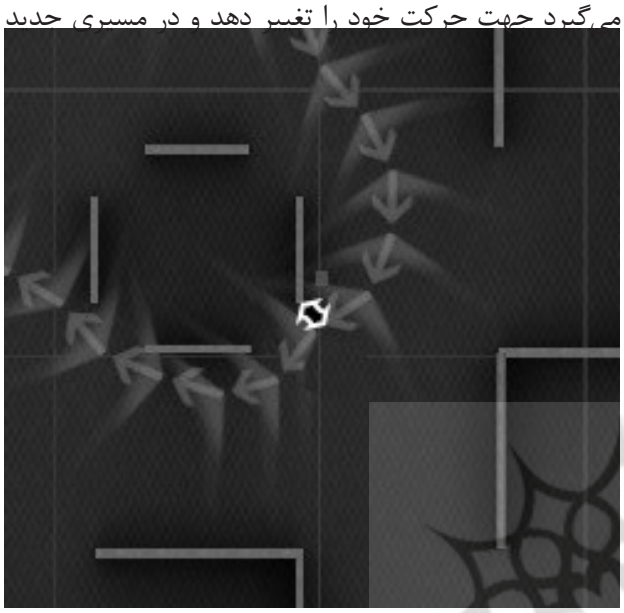
تعریف متغیر: هنگام جستجو در محیط گاهی اتفاق می‌افتاد که فرد نیاز احساس می‌کند که بایستد و قبل از ادامه حرکت اطراف خود را نگاه کند. تصور می‌شد زمانی که فرد صرف مطالعهٔ محیط می‌کند با مقیاس محیط در ارتباط باشد. این متغیر برخلاف متغیرهای قبلی ارتباط معنی‌داری با مقیاس و ساختار فضایی ندارد و لذا به‌صورت اولیهٔ آن و براساس زمان در نظر گرفته شد.

نتایج رگرسیون این متغیر (جدول ۸) نشان می‌دهد مدل تنها ۷ درصد از واریانس را توضیح می‌دهد و بسیار ضعیف است. هیچ متغیر پیش‌بینی‌کنندهٔ معناداری یافت نشد (همهٔ مقادیر $p > 0.5$) درحالی‌که چگالی اطلاعات محیطی بزرگ‌ترین اثر (اما غیر معنادار) را نشان می‌دهد (بتا = ۰/۲۷).

جز زمان هر نگاه به اطراف که به نظر می‌رسد نمی‌تواند به‌طور معنی‌داری از متغیرهای مستقل پژوهش متأثر باشد، تعداد وقوع این نگاه‌ها در هر پروسهٔ جستجو نیز در نظر گرفته شد. نتایج حاصل در جدول ۹ دیده می‌شود. با توجه که با این شیوهٔ مقادیر خلاصه می‌شود، از رگرسیون برای تحلیل آن استفاده نشد. تحلیل آزاد این نتایج نشان می‌دهد ارتباط معنی‌داری بین تعداد نگاه به اطراف و متغیرهای مستقل را نشان نمی‌دهد. به نظر می‌رسد سرعت بالاترین ارتباط را با تعداد ایستادن و نگاه به اطراف دارد.

• میزان درجهٔ چرخش در تغییر مسیر

تعریف متغیر: بسیار اتفاق می‌افتد که فرد در فرایند جستجو در محیط، بعد از طی مسیری که کلیت آن مستقیم است، تصمیم می‌گیرد جهت حرکت خود را تغییر دهد و در مسیری جدید



تصویر ۵. فاصلهٔ ترجیحی از لبه‌ها. مأخذ: نگارندگان.

جدول ۶. نتایج رگرسیون بین فاصلهٔ ترجیحی از لبه‌ها هنگام عبور و متغیرهای مستقل. مأخذ: نگارندگان.

	ضرایب (Coefficients)					خلاصهٔ مدل			
	بی (B)	خطای استاندارد	بتا (Beta)	تی (t)	معنی‌داری (Sig.)	آر (R)	مجذور آر (R Square)	مجذور آر تعدیل‌شده	خطای استاندارد برآورد
سرعت	-۰/۱۲	۰/۲۳	-۰/۱۱	-۰/۹۳	۰/۳۵	۰/۴۵	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۹۰
مقیاس	۱/۴۵	۰/۲۷	۰/۶۴	۵/۱۴	۰/۰۰				
چگالی اطلاعات محیطی	۰/۵۲	۰/۲۴	۰/۳۴	۲/۱۸	۰/۰۳				

جدول ۷. نتایج رگرسیون بین فاصلهٔ ترجیحی از لبه‌ها هنگام عبور به نسبت مقیاس و متغیرهای مستقل. مأخذ: نگارندگان.

	ضرایب (Coefficients)					خلاصهٔ مدل			
	بی (B)	خطای استاندارد	بتا (Beta)	تی (t)	معنی‌داری (Sig.)	آر (R)	مجذور آر (R Square)	مجذور آر تعدیل‌شده	خطای استاندارد برآورد
سرعت	-۰/۴۶	۰/۱۵	-۰/۲۳	-۳/۰۴	۰/۰۰	۰/۳۴	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۹۸
چگالی اطلاعات محیطی	۰/۷۰	۰/۱۲	۰/۴۵	۵/۹۵	۰/۰۰				

جدول ۸. نتایج رگرسیون زمان سپری‌شده در نگاه به اطراف و متغیرهای مستقل. مأخذ: نگارندگان.

	ضرایب (Coefficients)					خلاصهٔ مدل			
	بی (B)	خطای استاندارد	بتا (Beta)	تی (t)	معنی‌داری (Sig.)	آر (R)	مجذور آر (R Square)	مجذور آر تعدیل‌شده	خطای استاندارد برآورد
سرعت	-۰/۰۳	۰/۴۷	-۰/۰۲	-۰/۹۳	۰/۹۵	۰/۲۷	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۹۶
مقیاس	-۰/۰۴	۰/۵۱	-۰/۰۲	۵/۱۴	۰/۹۳				
چگالی اطلاعات محیطی	۰/۳۸	۰/۴۸	۰/۲۷	۰/۷۹	۰/۴۳				

حرکت کند (تصویر ۶). به‌طور معمول مسیر جدید زاویه‌ای با مسیر قبلی دارد. مقدار این زاویه را می‌توان میزان چرخش فرد در هنگام تغییر مسیر نیز در نظر گرفت. در این پژوهش ارتباط میزان چرخش فرد در زمان تغییر مسیر با متغیرهای مستقل پژوهش بررسی شد.

نتایج بررسی این متغیر (جدول ۱۰) نشان می‌دهد. براساس این نتایج ارتباط متغیرهای مستقل و متغیر وابسته بی‌معنی است ($p > 0.05$) و خطاهای استاندارد بسیار بالا است. این نتایج نشان می‌دهد که مدل درمجموع بی‌فایده و بی‌معنی است.

نتایج رگرسیون مدل در این متغیر هم بسیار ضعیف است (R^2 تعدیل‌شده = ۰/۰۱ در مقابل $R^2 = 0.12$) و مدل قدرت توضیحی ضعیفی دارد (جدول ۱۱). همچنین هیچ متغیر پیش‌بینی‌کنندهٔ معناداری وجود ندارد و خطاهای استاندارد نزدیک به اندازهٔ ضرایب هستند که نشان‌دهندهٔ ناپایداری نتایج است ($p > 0.05$).

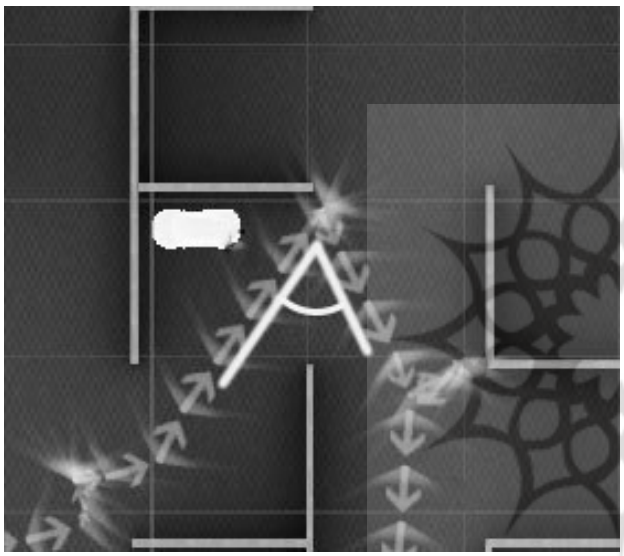
- **زمان رسیدن به هدف (میزان کارایی رفتار جستجو)**

تعریف متغیر: کارایی به میزان موفقیت فرد در یافتن هدف در زمان داده‌شده اشاره دارد و مفهومی کلی است. در آزمون حاضر با توجه به اینکه کارایی تنها متغیر وابستهٔ نبود آزمون به این صورت در نظر گرفته شد که اهداف پس از مدتی از شروع جستجو ظاهر می‌شدند و جستجو حتی در صورت عدم موفقیت آزمایش‌شونده در دو دقیقه پایان می‌یافت. با توجه به این موضوع کارایی به میزان موفقیت در هر حالت در نظر گرفته شد که این میزان در جدول ۱۲ قابل‌مشاهده است.

باتوجه‌به تعداد کم مقادیر از رگرسیون برای تحلیل این جدول استفاده نشد. بااین‌وجود، مقادیر جدول نشان می‌دهد که ارتباط مثبتی بین چگالی اطلاعات محیطی و کارایی فرد در جستجو وجود دارد.

جدول ۹. تعداد متوسط نگاه به اطراف درحالت‌های مختلف. مأخذ: نگارندگان.

سرعت	مقیاس	چگالی اطلاعات محیطی	متوسط تعداد نگاه به اطراف در هر جستجو
۲	۱	۲	۵
۰/۵	۱	۰/۵	۲/۷
۱	۱	۱	۳
۱	۲	۰/۵	۳/۱
۱	۰/۵	۲	۲/۱



تصویر ۶. «میزان درجهٔ چرخش در تغییر مسیر» متوسط زاویه‌ای است که جستجوگر بین مسیر قبلی و مسیر جدید خود انتخاب می‌کند. مأخذ: نگارندگان.

جدول ۱۰. نتایج رگرسیون چرخش در تغییر مسیر و متغیرهای مستقل. مأخذ: نگارندگان.

	ضرایب (Coefficients)					خلاصهٔ مدل			
	بی (B)	خطای استاندارد	بتا (Beta)	تی (t)	معنی‌داری (Sig.)	آر (R)	مجذور آر (R Square)	مجذور آر تعدیل‌شده	خطای استاندارد برآورد
سرعت	۵/۷۸	۱۶/۵۷	۰/۰۵	۰/۳۵	۰/۷۳	۰/۰۷	۰/۰۱	-۰/۰۱	۵۹/۶۲
مقیاس	-۱۷/۳۳	۱۹/۴۶	-۰/۱۱	-۰/۸۹	۰/۳۷				
چگالی اطلاعات محیطی	-۱۲/۵۰	۱۶/۳۵	-۰/۱۴	-۰/۷۶	۰/۴۵				

جدول ۱۱. نتایج رگرسیون تعداد چرخش در تغییر مسیر و متغیرهای مستقل. مأخذ: نگارندگان.

	ضرایب (Coefficients)					خلاصهٔ مدل			
	بی (B)	خطای استاندارد	بتا (Beta)	تی (t)	معنی‌داری (Sig.)	آر (R)	مجذور آر (R Square)	مجذور آر تعدیل‌شده	خطای استاندارد برآورد
سرعت	۱/۸۲	۱/۸۲	۰/۴۴	۱/۰۰	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۱۲	۰/۰۱	۲/۱۳
مقیاس	-۱/۰۹	۱/۷۶	-۰/۲۴	-۰/۶۲	۰/۵۴				
چگالی اطلاعات محیطی	-۰/۵۶	۱/۷۶	-۰/۱۸	-۰/۳۲	۰/۷۵				

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که سرعت آواتار و مقیاس محیط بر مجموعه‌ای از رفتارهای حرکتی تأثیر می‌گذارند و می‌توان با تنظیم این دو متغیر، تجربهٔ فضایی را به آنچه مورد نظر طراح است نزدیکتر کرد. سرعت آواتار با طول حرکت فرد در مسیر مستقیم (هم به‌صورت خالص آن و هم نسبی آن) همبستگی دارد و هرچه سرعت آواتار بالاتر باشد، طول حرکت در مسیر مستقیم نیز بیشتر است. ازسوی‌دیگر «چگالی اطلاعات محیطی» با زمان حرکت در مسیر مستقیم و همچنین طول حرکت در مسیر مستقیم ارتباط معنی‌دار و منفی دارد. درحالی‌که این متغیر با طول نسبی این حرکت، ارتباطی مثبت و مستقیم دارد. این نتایج در کنار هم نشان می‌دهد که جستجوگر زمانی از حرکت در مسیر مستقیم دست می‌کشد که به میزانی از اطلاعات در این مسیر دست یافته باشد یا زمانی را در این مسیر گذرانده باشد. لذا پیچیده‌کردن محیط و کاهش سرعت آواتار می‌تواند مسیری را که جستجوگر به‌طور مستقیم طی می‌کند کاهش دهد و بالعکس.

سرعت آواتار ارتباط معنی‌دار منفی و ضعیفی با فاصلهٔ ترجیحی و نسبی از دیوار را نشان می‌دهد و همچنین ارتباط منفی و قوی با فاصلهٔ ترجیحی و نسبی از لبه‌ها دارد. ارتباط منفی سرعت با این دو متغیر نشان می‌دهد که فرد در سرعت‌های بالاتر، علاقه‌مند است بیشتر به لبه‌های محیط و همچنین دیوارها نزدیک شود. نزدیکی به لبه‌ها و دیوارها عملاً فضای تحت دید فرد (ایزووست) را از یک طرف کاهش می‌دهد و دیدی نسبتاً تونلی ایجاد می‌کند.«چگالی اطلاعات محیطی» هم ارتباط مستقیم و قوی با فاصلهٔ ترجیحی از لبه‌ها را نشان می‌دهد و جستجوگر در محیط ها با «چگالی اطلاعات محیطی» بالا، هنگام عبور از لبه‌ها فاصله می‌گیرد. برای درک این پدیده باید توجه داشت که در صورت عبور از نزدیکی لبه‌ها با سرعت زیاد، محوطهٔ قابل دیدن توسط فرد (ایزووست) به‌طور ناگهانی تغییر می‌کند و فرد به‌طور ناگهانی وارد محیطی جدید می‌شود. این دو پدیده نشان می‌دهد در محیط‌ها با سرعت آواتار و«چگالی اطلاعات محیطی» بالا، جستجوگر سعی می‌کند با کم‌کردن فاصله از دیوارها و فاصله‌گرفتن از لبه‌ها، روند تغییرات محوطه دید (ایزووست) و به طبع دسترسی به اطلاعات محیطی را کنترل کند.

ازسوی‌دیگر، مقیاس ارتباط معنادار و مثبتی با فاصلهٔ ترجیحی هنگام عبور از کنار دیوار و همچنین لبه‌ها دارد. این موضوع به‌روشنی نشان می‌دهد که فاصلهٔ ترجیحی از دیوار و همچنین فاصله از لبه‌ها از مقیاس کل محیط و ساختار فضایی تابعیت می‌کنند و انسان‌ها به‌طورکلی در انتخاب این مقادیر، نسبتی از مقیاس محیط را در نظر می‌گیرند. توجه به اثر متغیرهای بیان‌شده به طراحان کمک می‌کند که حدس بزنند فرد در چه فاصله‌ای از کنار دیوار و لبه‌های محیط رد خواهد شد و تجربهٔ فضایی را بر این اساس ارتقا ببخشند.

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش و مقایسهٔ آن با ادبیات موجود، می‌توان دریافت که درحالی‌که مطالعات پیشین عمدتاً

جدول ۱۲. میزان موفقیت آزمایش‌شوندگان درحالت‌های مختلف. مأخذ: نگارندگان.

درصد موفقیت	چگالی اطلاعات محیطی	مقیاس	سرعت
۷۱	۲	۱	۲
۴۹	۰/۵	۱	۰/۵
۵۷	۱	۱	۱
۶۹	۲	۰/۵	۱
۱۶	۰/۵	۲	۱

به بررسی تأثیر مستقل عوامل مختلف بر ناوبری در محیط‌های مجازی پرداخته‌اند، یافته‌های این پژوهش با واکاوی هم‌زمان سه متغیر بنیادین، درکی جامع‌تر و نظام‌مندتر ارائه می‌دهد. برای نمونه، تأیید ارتباط سرعت آواتار با افزایش پیمایش مسیر مستقیم، با یافته‌های کلاسیک در زمینهٔ روان‌شناسی ادراک - حرکت همسوست؛ اما نوآوری اصلی اینجا آشکار می‌شود: این پژوهش نشان می‌دهد که این اثر را می‌توان با متغیرهای دیگری مانند «چگالی اطلاعات محیطی» تعدیل کرد. این یافته گامی فراتر از پژوهش‌هایی است که تنها به اثرات تک متغیره توجه داشته‌اند و تعامل پیچیدهٔ این عوامل را نادیده گرفته‌اند.

علاوه‌بر این، یافته کلیدی این پژوهش در خصوص «فاصلهٔ ترجیحی از دیوارها و لبه‌ها» آن را از بسیاری از مطالعات متمایز می‌کند. اگرچه مفهوم ایزوویست (محدودهٔ دید) به‌خودی‌خود در ادبیات طراحی فضا شناخته شده است، اما این پژوهش به‌طور کمّی نشان می‌دهد که چگونه کاربران به‌طور فعالانه و با تنظیم فاصلهٔ خود از مرزهای فضا، سعی در کنترل نرخ تغییر ایزوویست و مدیریت بار اطلاعاتی دارند. این راهبرد انطباقی، تبیین می‌کند که چرا در محیط‌های با مقیاس بزرگ‌تر، کاربران فاصلهٔ بیشتری از دیوارها می‌گیرند؛ پدیده‌ای که پژوهش‌های پیشین کمتر به آن پرداخته‌اند. در مجموع، این نتایج نه‌تنها یافته‌های گذشته را تأیید می‌کند، بلکه با نشان‌دادن تعامل پویای متغیرها و مکانیسم‌های علّی پشت رفتارهای حرکتی، چارچوبی پیشرفته‌تر و کاربردی‌تر برای طراحی آگاهانه محیط‌های مجازی در اختیار می‌گذارد.

برای پژوهش‌های آینده، پیشنهاد می‌شود مطالعاتی در ارتباط با چگالی اطلاعات محیطی به‌طور خاص و مستقل از سرعت و مقیاس با ایجاد محیط‌هایی شلوغ و یا خلوت از نظر بصری انجام می‌شود و ارتباط این متغیر به رفتارهای حرکتی بررسی شود. ازسوی‌دیگر، تلاش برای تعریف متغیرهایی استاندارد و همچنین معنی‌دار برای رفتار فرد در محیط می‌تواند راهگشای بسیاری از پژوهش‌هایی در زمینهٔ روان‌شناسی محیطی باشد.

اعلام عدم تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی برای ایشان وجود نداشته است.

پی‌نوشت‌ها

۱. Perception-Action Theory/ ۲. Affordances/ ۳. HMD/

۴. Teleportation/ ۵. Joystick/ ۶. راه‌رفتن با تغییر مسیر (Redirected Walking) یک تکنیک جابه‌جایی واقعیت مجازی است که کاربران را قادر می‌سازد تا دنیای مجازی را که به‌طور قابل‌توجهی بزرگ‌تر از فضای کاری ردیابی شده است، کاوش کنند. با این رویکرد، کاربر ازطریق دست‌کاری‌های اعمال‌شده بر صحنهٔ نمایش‌داده‌شده، هدایت و باعث می‌شود کاربران ناخودآگاه با تغییر موقعیت و/یا جهت‌گیری مجدد خود، حرکت صحنه را جبران کنند./ ۷. Emersion/ ۸. Overload/ ۹. Information Entropy Rate/ ۱۰. Environmental Information Density/ ۱۱. Visual Occlusion/ ۱۲. Oculus Development Kit 2/ ۱۳. XBOX

فهرست‌منابع

• Benhamou, S., & Collet, J. (2015). Ultimate failure of the Lévy foraging hypothesis: Two-scale searching strategies outperform scale-free ones even when prey are scarce and cryptic. *Journal of Theoretical Biology, 387,* 221–227. https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2015.09.034

• Bozgeyikli, E., Raij, A., Katkoori, S., & Dubey, R. (2016). Locomotion in virtual reality for individuals with autism spectrum disorder. *Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 247–248). https://doi.org/10.11452983310.2985763/

• Caminiti, R., Ferraina, S., & Johnson, P. B. (1996). The sources of visual information to the primate frontal lobe: A novel role for the superior parietal lobule. *Cerebral Cortex, 6* (3), 319–328. https://doi.org/10.1093/cercor/6.3.319

• Carbone, F., Bondi, E., Massalha, Y., Anastasi, A., Ferro, A., Pizzolante, M., ... & Maggioni, E. (2024). Exploring brain activity during awe-inducing virtual reality experiences: A multi-metric EEG frequency analysis. In *2024 46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 1–4). IEEE. https://doi.org/10.1109/EMBC53108.2024.10782046

• Carlson, C., Aytur, S., Gardner, K., & Rogers, S. (2012). Complexity in built environment, health, and destination walking: A neighborhood-scale analysis. *Journal of Urban Health, 89* (2), 270–284. https://doi.org/10.1007/s115248-9652-011-

• Chirico, A., Ferrise, F., Cordella, L., & Gaggioli, A. (2018). Designing awe in virtual reality: An experimental study. *Frontiers in Psychology, 8,* 2351. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02351

• Christman, Z. J., Wilson-Genderson, M., Heid, A., & Pruchno, R. (2020). The effects of neighborhood built environment on walking for leisure and for purpose among older people. *The Gerontologist, 60* (4), 651–660. https://doi.org/10.1093/geront/gnz093

• Daneshjo, K., Hoseini Alamdari, A., & Yeganeh, M. (2022). Upgrading isovist models by introducing a new set of variables based on the position of the open edges. *Haft Hesar J Environ Stud, 11* (41), 516-. http://dx.doi.org/10.52547/hafthesar.11.41.3

• Dijkstra, J., de Vries, B., & Jessurun, J. (2014). Wayfinding search strategies and matching familiarity in the built environment through virtual navigation. *Transportation Research Procedia, 2,* 141–148. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.018

• Epstein, R. A., Patai, E. Z., Julian, J. B., & Spiers, H. J. (2017). The cognitive map in humans: Spatial navigation and beyond. *Nature Neuroscience, 20* (11), 1504–1513. https://doi.org/10.1038/nn.4656

• Francová, A., Jablonská, M., & Fajnerová, I. (2023). Design and evaluation of virtual reality environments for claustrophobia. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality, 32*, 23–34. https://doi.org/10.1162/pres_a_00385

• Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception.* Houghton Mifflin.

• Gifford, R. (2013). *Environmental psychology: Principles and practice* (5th ed.). Optimal Books.

• Hafting, T., Fyhn, M., Molden, S., Moser, M.-B., & Moser, E. I. (2005). Microstructure of a spatial map in the entorhinal cortex. *Nature, 436,* 801–806. https://doi.org/10.1038/nature03721

• Hepperle, D., & Wölfel, M. (2023). Similarities and differences between immersive virtual reality, real world, and computer screens: a systematic scoping review in human behavior studies. *Multimodal Technologies and Interaction, 7*(6), 56. https://doi.org/10.3390/mti7060056

• Hills, T. T., Kalff, C., & Wiener, J. M. (2013). Adaptive Lévy processes and area-restricted search in human foraging. *PLOS ONE, 8* (4), e60488. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060488

• Humphries, N. E., Weimerskirch, H., Queiroz, N., Southall, E. J., & Sims, D. W. (2014). Optimal foraging strategies: Lévy walks balance searching and patch exploitation under a very broad range of conditions. *Journal of Theoretical Biology, 358,* 179–193. https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2014.05.032

• Iftikhar, H., Shah, P., & Luximon, Y. (2021). Human wayfinding behaviour and metrics in complex environments: a systematic literature review. *Architectural Science Review, 64*(5), 452–463. https://doi.org/10.108000038628.2020.1777386/

• Jansen, S. E. M., Toet, A., & Werkhoven, P. J. (2011). Human locomotion through a multiple obstacle environment: strategy changes as a result of visual field limitation. *Experimental Brain Research, 212*(3), 449–456. https://doi.org/10.1007/s002211-2757-011-

• Kerster, B. E., Rhodes, T., & Kello, C. T. (2016). Spatial memory in foraging games. *Cognition, 148,* 85–96. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.12.015

• Langbehn, E., Lubos, P., Bruder, G., & Steinicke, F. (2017, March). Application of redirected walking in room-scale VR. In *2017 IEEE Virtual Reality* (VR) (pp. 449–450). IEEE. https://doi.org/10.1109/VR.2017.7892373

• LeDoux, J. E. (2012). Rethinking the emotional brain. *Neuron, 73* (4), 653–676. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.02.004

• Lhuillier, S., Dutriaux, L., Nicolas, S., & Gyselinck, V. (2024). Manipulating objects during learning shrinks the global scale of spatial representations in memory: a virtual reality study. *Scientific Reports, 14*(1), 2656. https://doi: 10.1038/s41598-024-1-53239

• Maguire, E. A., Burgess, N., & O›Keefe, J. (1999). Human spatial navigation: Cognitive maps, sexual dimorphism, and neural substrates. *Current Opinion in Neurobiology, 9*(2), 171–177. https://doi.org/10.1016/S09593-80023(99)4388-

• Moser, E. I., Kropff, E., & Moser, M.-B. (2008). Place cells, grid cells, and the brain›s spatial representation system. *Annual Review of Neuroscience, 31,* 69–89. https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.31.061307.090723

• Moura, B., & Menezes, J. (2021). Behavioural movement strategies in cyclic models. *Scientific Reports, 11,* 6413. https://doi.org/10.1038/s4159885590–021-y

• Netto, V.M., Peres, O.M., Cacholas, C. (2025). Entropy and the city: Origins, trajectories and explorations of the concept in urban science. In Rybski, D. (Ed.), *Compendium of Urban Complexity. Understanding Complex Systems.* Springer. https://

doi.org/10.100712_5-82666-031-3-978/
• New, J., Krasnow, M. M., Truxaw, D., & Gaulin, S. J. C. (2007). Spatial adaptations for plant foraging: Women excel and calories count. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 274* (1626), 2679–2684. https://doi.org/10.1098/rspb.2007.0826]
• Nolé, M. L., Montañana, A., Barranco-Merino, R., Higuera-Trujillo, J. L., & Llinares, C. (2024). Cognitive bias in perceptions of industrialized housing. *Buildings, 14* (9), 2665. https://doi.org/10.3390/buildings14092665
• Passini, R. (1980). Wayfinding in complex buildings: An environmental analysis. *Man-Environment Systems, 10*(1), 31–40. https://doi.org/10.11770013916514550243/
• Piryankova, I. V., Wong, H. Y., Linkenauger, S. A., Stinson, C., Longo, M. R., Bülthoff, H. H., & Mohler, B. J. (2014). Owning an overweight or underweight body: distinguishing the physical, experienced and virtual body. *PLOS ONE, 9*(8), e103428. https://doi.org/ 10.1371/journal.pone.0103428
• Raichlen, D. A., Wood, B. M., Gordon, A. D., Mabulla, A. Z. P., Marlowe, F. W., & Pontzer, H. (2014). Evidence of Lévy walk foraging patterns in human hunter-gatherers. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 111* (2), 728–733. https://doi.org/10.1073/pnas.1318616111
• Rondinel-Oviedo, D. R., & Keena, N. (2023). Entropy and cities: A bibliographic analysis towards more circular and sustainable urban environments. *Entropy, 25* (3), 532. https://doi.org/10.3390/e25030532
• Ruddle, R. A., & Lessels, S. (2009). The benefits of using a walking interface to navigate virtual environments. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 16* (1), 1–18. https://doi.org/10.11451502800.1502805/
• Saelens, B. E., & Handy, S. L. (2008). Built environment correlates of walking: A review. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 40* (7), S550–S566. https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31817c67a4
• Singh, A., Joshi, K., Shuaib, M., Bharany, S., Alam, S., & Ahmad, S. (2022). Navigation and speed regulation aimed at travel through immersive virtual environments: A review. In *2022 IEEE International Conference on Current Development in Engineering and Technology (CCET)* (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/CCET56606.2022.10080751
• Slater, M., Spanlang, B., & Corominas, D. (2010). Simulating virtual environments within virtual environments as the basis for a psychophysics of presence. *ACM Transactions on Graphics, 29* (4), 1–9. https://doi.org/10.11451778765.1778829/
• Stults-Kolehmainen, M. A. (2023). Humans have a basic physical and psychological need to move the body: Physical activity as a primary drive. *Frontiers in Psychology, 14,* 1134049. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1134049
• van der Zee, T. J., Mundinger, E. M., & Kuo, A. D. (2022). A biomechanics dataset of healthy human walking at various speeds, step lengths and step widths. *Scientific Data, 9*(1), 704. https://doi.org/10.1038/s415971-01817-022-
• van Nes, A., & Yamu, C. (2021). Theoretical representations of the built environment. In A. van Nes & C. Yamu (Eds.), *Introduction to space syntax in urban studies* (pp. 171–212). Springer. https://doi.org/10.10076_3-59140-030-3-978/
• Viswanathan, G. M., Buldyrev, S. V., Havlin, S., da Luz, M. G. E., Raposo, E. P., & Stanley, H. E. (1999). Optimizing the success of random searches. Nature, 401, 911–914. https://doi.org/10.103844831/
• Weinstein, B. G., Irvine, L., & Friedlaender, A. S. (2018). Capturing foraging and resting behavior using nested multivariate Markov models in an air-breathing marine vertebrate. *Movement Ecology, 6* (1), 16. https://doi.org/10.1186/s404624-0134-018-
• Xie, X., Paris, R. A., McNamara, T. P., & Bodenheimer, B. (2018). The effect of locomotion modes on spatial memory and learning in large immersive virtual environments: A comparison of walking with gain to continuous motion control. In Creem-Regehr, S., Schöning, J., Klippel, A. (Eds.), *Spatial Cognition XI* (Vol. 11034, pp. 58–73). Springer. https://doi.org/10.10075_3-96385-319-3-978/
• Zhang, Z., Sun, T., Fisher, T., & Wang, H. (2024). The relationships between the campus built environment and walking activity. *Scientific Reports, 14,* 20330. https://doi.org/10.1038/s41598-024-1-60820
• Zhou, Y., & Yu, Y. (2021). Human visual search follows a suboptimal Bayesian strategy revealed by a spatiotemporal computational model and experiment. *Communications Biology, 4,* 34. https://doi.org/10.1038/s420030-01485-020-

COPYRIGHTS
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Bagh-e Nazar Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نحوهٔ ارجاع به این مقاله:
ترکمن، زهرا؛ حسینی علمداری، آرش و اعتماد شیخ الاسلامی، سیده فائزه. (۱۴۰۵). تأثیر سرعت و مقیاس بر رفتارهای حرکتی در محیطهای مجازی. *باغ نظر*، ۲۳ (۱۵۵)، ۴۳-۵۶.

DOI: 10.22034/bagh.2026.519648.5805
URL: https://www.bagh-sj.com/article_240772.html?lang=fa