نمایش باورپذیر بازخورد تصویری در سامانهٔ توان‌بخشی با استفاده از انسداد تصویر در نگاشت ویدیو

یونس سخاوت* **و محمدصادق نعمانی**

دانشکده چندرسانه‌ای، دانشگاه هنراسلامی تبریز، تبریز، ایران

چکیده

کیفیت بازخورد تصویری و نمایش مناسب آن تأثیر به‌سزایی در انجام درست حرکات توان‌بخشی با استفاده از سامانه‌های توان‌بخشی حرکتی دارند. یکی از مشکلات اساسی سامانه‌های معمول مبتنی بر واقعیت مجازی آن است که محل وقوع حرکت بر روی زمین و یا تردمیل بوده، درحالی‌که محل نمایش بازخورد این حرکت در صفحه‌نمایش روبه‌روی بیمار است. در این مقاله، روشی جدید برای نمایش بازخوردهای حرکت با استفاده از نگاشت ویدیو بر روی صفحه تردمیل ارائه شده که سعی در کم‌کردن فاصله میان محل وقوع حرکت و محل نمایش بازخورد آن حرکت برای دریافت بهتر بازخورد دارد. در این روش، بازخورد تصویری با استفاده از ویدیوپروژکتور بر روی صفحه تردمیل نمایش داده می‌شود. ویژگی مهم این روش در مقایسه با کارهای قبلی، ارایه روشی برای باورپذیرکردن بازخورد با استفاده از انسداد تصویر است. پس از طراحی و پیاده‌سازی سامانه بازخورد با انسداد تصویر و بدون انسداد تصویر، یک مطالعه کاربری برای ارزیابی سامانه و مقایسه آنها انجام شد. در این مطالعه، از ۲۴ نفر از شرکت‌کنندگان بدون مشکل حرکتی خواسته شد تا تمرین‌های قدم‌زدن و عبور از موانع بر اساس پروتکل طراحی‌شده انجام دهند. با توجه به اینکه هدف این مقاله تنها ارایه روشی برای بهبود کیفیت نمایش بازخورد حرکتی بوده و نه بررسی تأثیر سامانه ارایه‌شده بر روی بهبود و توانبخشی بیماران، از شرکت‌کنندگان بدون مشکل حرکتی برای ارزیابی این مطالعه استفاده شده است. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که اختلاف معنادار آماری میان نرخ خطای سامانهٔ نگاشت ویدیو مبتنی بر انسداد تصویر و سامانه بدون انسداد تصویر در تمرین قدم‌زدن ($p=0.0031$) و عبور از موانع ($p=0.021$) وجود دارد. از لحاظ شهودی‌بودن بازخورد بر اساس خوداظهاری شرکت‌کنندگان در پژوهش، نتایج حاصل بیان‌گر برتری معنادار آماری ($p=0.011$) سامانه نگاشت ویدیو با انسداد تصویر در مقایسه با سامانه بدون انسداد تصویر است.

واژگان کلیدی: نگاشت ویدیو، بازخورد تصویری، سامانه‌های توان‌بخشی، انسداد تصویر، واقعیت مجازی

Believable Visual Feedback in Motor Learning Using Occlusion-based Clipping in Video Mapping

Yoones A. Sekhavat* & Mohammad Sadegh Namani

Faculty of Multimedia, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran

Abstract

Gait rehabilitation systems provide patients with guidance and feedback that assist them to better perform the rehabilitation tasks. Real-time feedback can guide users to correct their movements. Research has shown that the quality of feedback is crucial to enhance motor learning in physical rehabilitation. Common feedback systems based on virtual reality present interactive feedback in a monitor in front of a user. However, in this technique, there is a gap between where the feedback is presented and where the actual movement occurs. In particular, there is a discrepancy between where the actual movement occurs (e.g., on a treadmill) and the place of presenting feedback (e.g., a screen in front of the user). As a result, the feedback is not provided in the same location, which requires users perform additional cognitive processing to understand and apply the feedback. This discrepancy is misleading and can consequently result in

* Corresponding author

*نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۲۶ • تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۸ • تاریخ انتشار: ۱۳۹۹/۰۹/۱۵ • نوع مطالعه: پژوهشی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]

difficulties to adapt the changes in rehabilitation tasks. In addition, the occlusion problem is not well handled in existing feedback systems that results in misleading the users to assume that the obstacle is on the foot. To address this problem, we need to make an illusion of putting a foot on the obstacle. In this paper, we propose a visual feedback system based on video mapping to provide a better understanding of the relationship between body perception and movement kinematics. This system is based on Augmented Reality (AR) in which visual cues in the form of light are projected on the treadmill using video projectors. In this system, occlusion-based clipping is used to enhance the believability of the feedback. We argue that this system contributes to the correct execution of rehabilitation exercises by increasing patients' awareness of gait speed and step length. We designed and implemented two prototypes including the video projection with occlusion-based clipping (OC) and a prototype with no occlusion-based clipping (NOC). A set of experiments were performed to assess and compare the ability of unimpaired participants to detect real-time feedback and make modifications to gait using our feedback system. In particular, we asked 24 unimpaired participants to perform stepping and obstacle avoidance tasks. Since the focus of the paper is the quality of the feedback than the effect of feedback on training in long-term, unimpaired participants were recruited for this study. In the experiments, a motion capture device was used to measure the performance of participants. We demonstrated that our system is effective in terms of steps to adapt changes, obstacles to adapt changes, normalized accumulative deviation, quality of user experience, and intuitiveness of feedback. The results showed that projection-based AR feedback can successfully guide participants through a rehabilitation exercise. In particular, the results of this study showed statistically significant differences between the fault-rate of participants using OC and NOC prototypes in the stepping (p=0.0031) and obstacle avoidance (0.021) tasks. In addition, participates rated OC more intuitive than NOC in terms of the quality of feedback. Our feedback system showed a significant improvement in participants' ability to adapt the changes while walking on the treadmill.

Keywords: Video mapping, real-time feedback, motor learning, augmented reality

۱- مقدمه

توان‌بخشی فیزیکی و شناختی همواره یکی از مهم‌ترین روش‌های درمان بیماری‌های حرکتی با منشأ عصبی بوده است [4-1]. تعامل مناسب میان درمان‌گر و بیمار در قالب ارائه بازخورد حرکات انجام‌شده شرطی کلیدی در موفقیت تمرین‌های توان‌بخشی است. بازخوردی که می‌تواند به‌شکل دیداری (نمایش نحوه صحیح انجام حرکت)، صوتی (گفتن نحوه درست انجام حرکت)، لمسی (تصحیح فیزیکی حرکت در حین انجام آن حرکت) و یا ترکیبی از انواع بازخوردها باشد. فهم ارتباط میان حرکت انجام‌شده و دریافت مغز نسبت به نحوه انجام این حرکت از طریق بازخوردهای ارائه‌شده برای اثربخشی آن حرکت لازم و ضروری است [5, 6]. پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه حاکی از اثر مثبت بازخوردهای صحیح و مناسب حرکات توان‌بخشی در نرخ بهبود حرکتی بیماران است [9-7].

از بازخورد تصویری [11, 14] و بازخورد صوتی [12, 13] به‌صورت گسترده‌ای برای بهبود تعادل در ایستادن و راه‌رفتن استفاده شده است. در این روش، حرکات بدن بیمار بر روی حرکات آواتاری در صفحه نمایش نگاشته می‌شود. از ربات‌هایی با بازخورد لمسی و صوتی نیز برای بهبود حرکات بدن در راه‌رفتن استفاده شده [15, 16]. در این روش ربات‌های پوشیدنی روی بدن بیمار نصب می‌شوند که به‌ازای حرکات صحیح یا اشتباه کاربر بازخورد لمسی (مانند لرزش) ایجاد می‌کنند. هدف تمامی این سامانه‌ها ارائه بازخوردی صحیح و مناسب از صحت و کیفیت حرکات انجام‌شده در جهت بهبود نحوه انجام حرکت‌های توان‌بخشی است. مشاهده هم‌زمان حرکت انجام‌شده و بازخورد نحوه انجام‌شدن آن حرکت می‌تواند بر غنای توان‌بخشی حرکت بیفزاید [17]. همچنین بررسی این پژوهش‌ها حاکی از آن است که بازخورد تصویری، کارایی بهتری نسبت به سایر انواع بازخورد در درک اطلاعات فضای حرکت دارد [18]. در [19] بازخورد تصویری از نمای روبه‌رو، پشتی و جانبی مورد بررسی قرار گرفته و کارایی نمای روبه‌رو نشان داده شده است. این روش درک بهتری را از نحوه انجام‌شدن حرکات در ذهن کاربر ایجاد می‌کند. پژوهش‌های انجام‌شده توسط [20] نشان داده است که تمرین تصویرسازی ذهنی و نوروفیدبک می‌تواند بر تعادل سالمندان مؤثر باشد.

در سامانه‌های مبتنی بر واقعیت افزوده، اطلاعات گرافیکی مجازی (مانند مدل گرافیکی، عکس و یا متن) بر روی صحنه واقعی نمایش داده می‌شوند. برای مثال، زمانی که با دوربین واقعیت افزوده به یک ساختمان نگاه می‌کنیم، اطلاعات تکمیلی در مورد آن ساختمان برروی قسمت‌های مختلف تصویر واقعی نشان داده می‌شود. در روش واقعیت افزوده مبتنی بر نگاشت ویدیو، این اطلاعات مجازی از طریق پروژکتورهای نوری بر روی یک سطح به‌نحوی تابانده

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]

می‌شود که احساس می‌شود این اشیا به‌طورواقعی بر روی آن سطح قرار دارند. در سال‌های اخیر استفاده از این روش در سامانه‌های توان‌بخشی جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. در [19] روشی ارائه شده است که در آن مسیر تجویزشده حرکت دست توسط درمان‌گر با استفاده از این روش بر روی صفحه‌نمایش در جلوی بیمار تابانده می‌شود؛ سپس، با حرکت دست مسیر واقعی حرکت دست در کنار مسیر تجویزشده نمایش داده شده و فرد از میزان صحت حرکت انجام‌شده اطلاع پیدا می‌کند. در [20] با استفاده از دستگاه ثبت حرکات بدن کلیه اجزای بدن به یک اسکلت مجازی که با استفاده از ویدیوپروژکتور در صفحه‌نمایش دیده می‌شود، نگاشته می‌شود. در سامانه AR-Rehab [21]، روشی مبتنی بر واقعیت افزوده ارایه شده است تا محیطی سرگرم‌کننده برای بیماران در حین فرایند توان‌بخشی فراهم کند. در این روش، اشیای قابل لمسی در اختیار بیماران قرار داده می‌شود که مدل‌های مجازی بر روی آن‌ها نشان داده شده و بدین‌ترتیب امکان تعامل با اشیای مجازی و اشیای واقعی به صورت هم‌زمان در توان‌بخشی فراهم می‌شود.

در روش دیگری تحت عنوان آینه مجازی، کاراکتر مجازی بدن شخص بر روی صفحه مقابل شخص همانند آینه‌ای نشان داده می‌شود [19]. با این تفاوت که میزان حرکت عضو تعیین‌شده متفاوت از میزان حرکت واقعی آن عضو است. این تغییر مقیاس می‌تواند به‌خاطر تشویق به‌اندازه حرکت بیشتر در بیماران با محدودیت‌های حرکتی (مبالغه در اندازه حرکت) و یا جلوگیری از انجام یک حرکت با یک الگوی خاص باشد. این تغییر مقیاس که از آن به‌عنوان تحریف بازخورد نیز نام برده می‌شود، امکاناتی در جهت کنترل جهت و شدت حرکات توان‌بخشی فراهم می‌کند.

ارائه بازخورد تصویری در سامانه‌های توان‌بخشی مبتنی بر واقعیت مجازی که در آن بازخورد تصویری جلوی بیمار در صفحه‌نمایش نمایش داده می‌شود، محدودیت‌هایی دارد که ممکن است، استفاده از این فناوری را درعمل با مشکل مواجه کند. مهم‌ترین مسأله در این میان وجود فاصله میان محل واقعی رخ‌دادن یک حرکت و محل نمایش بازخورد مربوط به آن است. برای مثال، در سامانه‌های واقعیت مجازی (مانند محصول ارائه‌شده به‌وسیلهٔ شرکت زبریس[1]) محل وقوع حرکت بر روی تردمیل و محل نمایش بازخورد حرکتی بر روی صفحه‌نمایش روبه‌روی تردمیل است. در این سامانه حرکات بیمار به یک کاراکتر مجازی در صفحه‌نمایش نگاشت می‌شود، به‌نحوی‌که هر حرکت کاربر منجر به حرکت عضو متناظر آن کاراکتر می‌شود. وجود این فاصله میان محل وقوع حرکت و محل نمایش بازخورد آن حرکت می‌تواند باعث ایجاد مشکلاتی در درک بازخورد و به‌کارگیری لحظه‌ای آن بازخورد شود.

برای حل مشکل فاصله میان محل واقعی رخ‌دادن حرکت و نمایش بازخورد مربوط به آن در [22] روشی مبتنی بر واقعیت افزوده از نوع نگاشت ویدیو ارائه شده است. نگاشت ویدیو در زمره روش‌های پیاده‌سازی واقعیت افزوده قرار می‌گیرد که در آن نیازی به سربندهای واقعیت افزوده و یا تلفن‌های هوشمند برای مشاهده اطلاعات نیست. در این روش، بازخورد حرکت انجام‌شده توسط کاربر بر روی سطح تردمیل و از طریق پروژکتورهای نوری نمایش داده می‌شود. در این حالت، سطح تردمیل به صفحه‌نمایشی برای به تصویرکشیدن بازخورد حرکات تبدیل می‌شود (شکل‌های ۱ و ۲). این در حالی است که در سامانه مبتنی بر واقعیت مجازی، حرکات پاهای کاربر بر روی صفحه‌نمایش و با استفاده از مدل پای مجازی نمایش داده می‌شود (شکل‌های ۳ و ۴).

در NeuroR که سامانه‌ای برای توان‌بخشی بیماران سکته قلبی است، از فناوری واقعیت افزوده استفاده شده است [23]. در این سامانه، یک دست مجازی جایگزین دست معلول می‌شود که بر روی تصویر فردی که جلوی نمایش‌گر است، نمایش داده می‌شود. هدف این سامانه اجرای ذهنی حرکات توسط بیمار بدون درگیرکردن واقعی حرکت است.

پژوهش‌های قبلی انجام‌شده در این زمینه حاکی از موفقیت استفاده از روش نگاشت ویدیو در پیاده‌سازی دستگاه‌های توان‌بخشی حرکتی است [22]؛ بااین‌حال، مشکل مهم روش‌های قبلی عدم توجه به موانع موجود در فاصله میان منبع نور و سطح تردمیل است؛ برای مثال، هنگامی‌که مانعی مجازی بر روی سطح تردمیل نمایش داده شده و پای فرد بر روی مانع قرار می‌گیرد، تصویر مجازی مانع بر روی پای فرد نمایش داده می‌شود. این مسأله باعث ایجاد حس قرارگرفتن مانع بر روی پا می‌شود؛ درحالی‌که هدف ایجاد توهم قرارگرفتن پای فرد بر روی مانع است. در این مقاله، راه‌کاری برای حل این مشکل مهم با استفاده از انسداد تصویر در جهت ارائه یک سامانه بازخورد مؤثر و بی‌درنگ ارائه شده است. با توجه به اینکه هدف این مقاله بررسی کیفیت بازخورد ارائه‌شده به‌وسیلهٔ بازخورد حرکتی واقعیت افزوده مبتنی بر نگاشت ویدیو و نه تأثیر آن در درمان

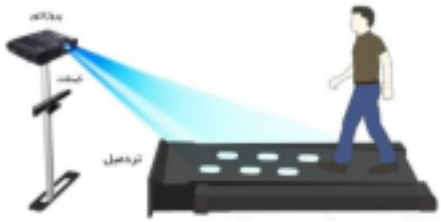
[1] https://www.zebris.de/medizin/produkte-loesungen/

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]

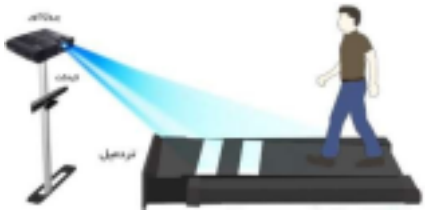
طولانی‌مدت بیماران حرکتی است، از شرکت‌کنندگان بدون مشکل حرکتی برای ارزیابی این مطالعه استفاده شده است. بدین منظور، کارایی شرکت‌کنندگان ازلحاظ میزان وفق‌دادن بدن با حرکات تجویزشده در روش ارایه‌شده مبتنی بر نگاشت ویدیو با انسداد تصویر بررسی‌شده و با سامانه بازخورد بدون انسداد تصویر [22] مقایسه شده است. یافته‌های این مقاله را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

- طراحی و پیاده‌سازی سامانه بازخورد حرکتی با استفاده از واقعیت افزوده مبتنی بر نگاشت ویدیو؛
- ارائه راه‌کاری برای نمایش باورپذیر بازخورد حرکتی در تمرین‌های توان‌بخشی با استفاده از انسداد تصویر؛
- اجرای مطالعه کاربری برای ارزیابی روش ارایه‌شده و مقایسه آن با سامانه بازخورد بدون انسداد تصویر



(شکل-۱): ارائه بازخورد درروش نگاشت ویدیو از طریق نمایش بازخوردهای حرکتی بر روی سطح تردمیل در تمرین قدم‌زدن

(Figure-1): Presenting feedback on the treadmill in form of video mapping for the stepping task

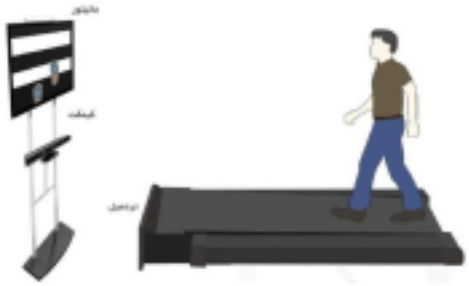


(شکل-۲): ارائه بازخورد درروش نگاشت ویدیو از طریق نمایش بازخوردهای حرکتی بر روی سطح تردمیل در تمرین عبور از موانع مجازی

(Figure-2): Presenting feedback on the treadmill in form of video mapping for the obstacle avoidance task

(شکل-۳): ارائه بازخورد درروش واقعیت مجازی از طریق نمایش بازخوردهای حرکتی بر روی صفحه نمایش‌گر جلوی بیمار در تمرین قدم‌زدن

(Figure-3): Presenting feedback on the treadmill in form of monitor presentation for the stepping task



(شکل-۴): ارائه بازخورد درروش واقعیت مجازی از طریق نمایش بازخوردهای حرکتی بر روی صفحه نمایش‌گر جلوی بیمار در تمرین عبور از موانع

(Figure-4): Presenting feedback on the treadmill in form of monitor presentation for obstacle avoidance task

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معماری سامانه ارایه‌شده

سامانه‌ای که در این مقاله برای نمایش بازخورد حرکتی با استفاده از نگاشت ویدیو طراحی شده است، از دستگاه ثبت حرکات بدن برای ره‌گیری پاهای کاربر و محل قرارگرفتن آن بر روی زمین استفاده می‌کند. با توجه به اینکه هدف، استفاده خانگی از این دستگاه توان‌بخشی است، از دستگاه کینکت[1] (نسخه یک) که باوجود قیمت به‌نسبه پایین (حدود دویست دلار آمریکا) قابلیت‌های خوبی دارد، استفاده شده است. این دستگاه مجهز به دوربین تشخیص عمق است که امکان اندازه‌گیری فاصله اجسام از دوربین و به‌تبع آن امکان ره‌گیری حرکات را فراهم می‌کند. با توجه به اینکه سامانه ساخته‌شده در محیط موتور بازی یونیتی[2] طراحی و پیاده‌سازی شده، از ماژول مربوط به استفاده از کینکت[3] در این محیط استفاده شده است. سیگنال‌های دریافتی از این دستگاه ثبت حرکات برای تشخیص موقعیت اعضای بدن و به‌تبع آن تعیین حرکت انجام‌شده توسط کاربر استفاده شده است.

بخش دوم سامانه ارائه‌شده قسمت نمایش اطلاعات است که مبتنی بر نگاشت ویدیو است. در این روش، صفحه تردمیل به‌منزله صفحه‌نمایشی است که در آن اطلاعات مربوط به مکان قدم‌گذاشتن و نیز بازخورد حرکات از طریق پروژکتور ویدیویی بر روی آن صفحه‌نمایش داده می‌شود (شکل ۱ و شکل ۲).

[1] Microsoft Kinect
[2] Unity
[3] Kinect wrapper Unity Package version 1.7

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]

فرآیندهای کلی انجام‌شده در سامانه بازخورد مبتنی بر نگاشت ویدیو در شکل (۵) نمایش داده شده است. در قسمت پیکربندی سامانه، ویژگی‌های حرکات تجویزشده توسط درمان‌گر برای سامانه معرفی می‌شود. این اطلاعات از طریق رابط کاربری وارد سامانه می‌شود. در تمرین قدم‌زدن، اطلاعاتی از قبیل میانگین اندازه قدم، اندازه پا، متوسط سرعت و فاصله میان پای چپ و راست ازجمله اطلاعاتی است که برای سامانه تعریف می‌شود. این اطلاعات بر اساس ویژگی‌های فردی بیمار و همچنین شرایط بیماری و مهارت‌های حرکتی بیمار تنظیم می‌شوند. در قسمت مربوط به پردازش حرکت، کلیه محاسبات لازم برای نحوه ارائه بازخورد بر اساس اختلاف میان حرکت تجویزشده و حرکت واقعی انجام‌شده انجام می‌شود؛ درنهایت در قسمت مربوط به نمایش اطلاعات، بازخورد ایجادشده در قالب نگاشت ویدیو به نمایش گذاشته می‌شود. در این میان، قسمت تنظیم سختی، میزان دشواری حرکات را با استفاده از روش یاقوت [23] تعیین می‌کند که خارج از بحث این مقاله است.

(شکل-۵): فرآیندهای کلی نمایش بازخورد در سامانه ارائه‌شده
(Figure-5): The overall process in feedback presentation

۲-۲- تمرین‌های حرکتی و بازخورد حرکات

دو نوع تمرین قدم‌زدن عادی و عبور از موانع که از تمرین‌های رایج در توان‌بخشی حرکتی هستند [18] برای بررسی کیفیت سامانه بازخورد پیاده‌سازی و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در تمرین قدم‌زدن عادی، محل قرارگیری پاها به‌عنوان راهنما نمایش داده شده و از کاربران خواسته می‌شود تا پاهای خود را به‌طوردقیق بر روی مکان‌های مشخص‌شده قرار دهند. این محل‌های مشخص‌شده بر اساس حرکت تجویزشده به‌صورت خودکار ایجاد می‌شود. از کاربران خواسته می‌شود تا در هنگام راه‌رفتن پای خود را بر روی جای پاهای مشخص‌شده قرار دهند. نمایش هم‌زمان محل تعیین‌شده برای قرارگرفتن پا و محل واقعی قرارگیری پا در هنگام قدم‌برداشتن درواقع بازخوردی از میزان انحراف حرکت واقعی از حرکت تجویزشده به‌وسیلهٔ سامانه است. نمایش جای پاها بر روی سطح تردمیل است.

در تمرین عبور از موانع، از کاربر خواسته می‌شود تا از برخورد با موانع مجازی دوری کند. این موانع با اندازه‌های مختلف و در طول فواصل زمانی متفاوت بر روی تردمیل ظاهر شده و کاربر می‌بایست با تنظیم سرعت حرکت و اندازه گام‌های خود از برخورد با این موانع مجازی جلوگیری کند. ازلحاظ شناختی، توجه مغز به بازخورد دریافتی از سامانه توان‌بخشی برای تصحیح حرکات انجام‌شده گامی مهم در بازیابی توانایی حرکتی بیماران است.

۲-۳- پروتکل ثبت

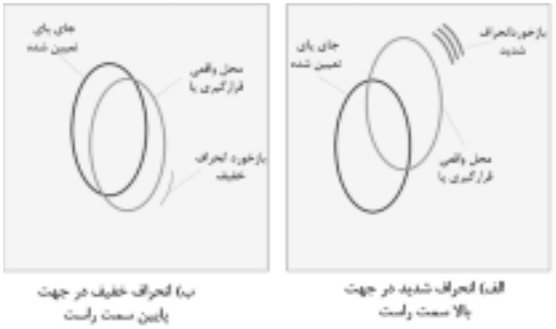
آنچه در نمایش بازخورد حرکتی مهم است، درنظرگرفتن میزان انحراف از حرکت واقعی در کنار جهت انحراف است. بدین‌منظور روشی برای نمایش انحراف در هر دو تمرین قدم‌زدن و همچنین عبور از موانع ارائه شده است. در تمرین قدم‌زدن، خطوط قرمزرنگ نمایش‌دهندهٔ انحراف از محل قدم‌گذاری تعیین شده است؛ به‌نحوی‌که محل نمایش خطوط نشان‌دهنده جهت انحراف (برای مثال در شکل ۶-الف انحراف به سمت پایین و راست است) و ضخامت خطوط و همچنین تعداد آن‌ها بیان‌گر میزان انحراف است (شکل ۶-ب). از سویی دیگر، در تمرین عبور از موانع سطح مانع به دو قسمت تقسیم می‌شود. به این صورت که قسمتی از پا که با مانع هم‌پوشانی دارد، به‌رنگ قرمز در آمده و بقیه آن به‌صورت سبزرنگ نمایش داده می‌شود. هرچه قسمت قرمزرنگ بیشتر شود، نشان از میزان انحراف بیشتر و هم‌پوشانی بیشتر محل قرارگرفتن پا با مانع مجازی است (شکل ۷).

اعتقاد ما بر این است که این روش نمایش بازخورد با جزئیات مربوط به جهت انحراف و میزان انحراف اطلاعات خوبی برای بهبود حرکت بیمار به‌صورت بی‌درنگ فراهم می‌کند که می‌تواند برای تصحیح حرکات بعدی و درنتیجه افزایش کارایی توان‌بخشی مفید باشد.

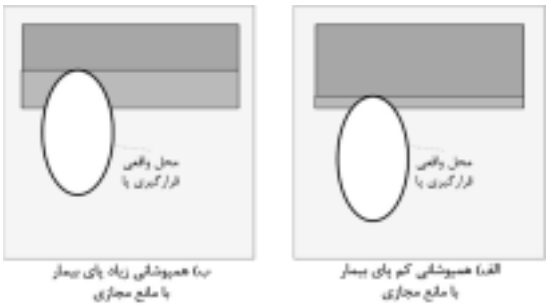
با توجه به این‌که ثبت حرکات ممکن است با خطاهایی همراه باشد (که به‌طورمعمول ناشی از شرایط محیط مانند نور محل است)، در سامانه محاسبه بازخورد تا حدی در محاسبه اختلاف میان حرکت تعیین‌شده و حرکت انجام‌شده چشم‌پوشی شده است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]



(شکل-۶): نحوه نمایش بازخورد در تمرین قدم زدن
(Figure-6): Presenting stepping task feedback



(شکل-۷): نحوه نمایش بازخورد در تمرین عبور از موانع مجازی
(Figure-7): Presenting obstacle avoidance feedback

۴-۲- نمایش باورپذیر بازخورد با استفاده از انسداد تصویر

یکی از معیارهای ارزیابی سامانه‌های واقعیت افزوده که به باورپذیرترکردن اطلاعات نمایش داده‌شده کمک می‌کند، پیاده‌سازی صحیح تعامل میان اشیای مجازی و محیط واقعی است [26]. در این میان، ارائه تصویری واقع‌گرایانه امری ضروری است که منجر به ایجاد توهم حضور اشیای مجازی در دنیای واقعی می‌شود. یک سامانه واقعیت افزوده ازلحاظ بصری، زمانی موفق است که بتواند این توهم را در بینندگان به‌نحو احسن ایجاد کند.

یکی از روش‌هایی که برای پیاده‌سازی صحیح تعامل میان اشیای مجازی و محیط واقعی استفاده می‌شود، استفاده از مسأله انسداد است. برای مثال، عدم نمایش قسمتی از یک شیء مجازی که در پشت یک شیء واقعی قرار دارد، می‌تواند ایجادکننده این توهم باشد که آن شیء مجازی به‌طورواقعی دورتر از آن شیء واقعی در محیط قرار گرفته است. گرچه این روش در واقعیت افزوده مبتنی تلفن‌های هوشمند و همچنین سربندهای واقعیت افزوده مورد استفاده قرار گرفته است، بنابر پژوهش‌های ما این مسأله در نگاشت ویدیو موردتوجه قرار نگرفته است. عدم توجه به این نکته در سامانه‌های توان‌بخشی می‌تواند منجر به ایجاد سیگنال‌های نادرست در قالب بازخورد و به‌تبع آن راهنمایی نادرست بیمار در حین انجام حرکات توان‌بخشی شود.

در حالت نگاشت ویدیوی بدون انسداد تصویر، فارغ از اینکه پای فرد بر روی جا پای مشخص‌شده (در تمرین قدم‌زدن) و یا مانع (در تمرین عبور از موانع) قرار دارد یا نه، نور مربوط به جای پا و یا مانع مجازی بر روی پای فرد که بر روی تردمیل قرار دارد، تابانده می‌شود. این مسأله می‌تواند این توهم را ایجاد کند که جای‌پا و یا مانع مجازی بر روی پا قرار دارند؛ این درحالی است که هدف ما ایجاد توهم قرارگرفتن پا بر روی مانع و یا جای‌پا است. برای حل این مسأله، روشی در این مقاله ارائه شده است که بر اساس آن قسمتی از پا که با مانع و یا جای پا هم‌پوشانی دارد بریده شده و بر روی صفحه تردمیل نمایش داده نمی‌شود. به عقیده ما این روش حس بهتری از قرارگرفتن پا بر روی جای‌پا و یا مانع مجازی ایجاد می‌کند. روش ارائه‌شده بر اساس انسداد تصویر برای تمرین‌های قدم‌گذاری و عبور از موانع در شکل‌های (۸ و ۹) نمایش داده شده است.

بریده‌شدن تصویر براثر انسداد جای پا توسط پا نیازمند محاسبه هم‌پوشانی میان محل واقعی قرارگرفتن پا بر روی تردمیل و محل نمایش جای پا است. با توجه به اینکه نمایش جای پا در محیط دوبعدی صورت می‌گیرد، محاسبه این هم‌پوشانی می‌تواند به‌صورت مسأله هم‌پوشانی دو بیضی مطرح شود که در آن بیضی نخست مربوط به محل نمایش جای‌پا و بیضی دوم مربوط به نمایش محل واقعی قرارگیری پا بر روی تردمیل است. در این مقاله، برای حل این مسأله از روش ارائه‌شده در [27] که ساده‌شده روش تجمیع مونت‌کارلو (روشی کلاسیک برای محاسبه هم‌پوشانی دو بیضی) است، استفاده شده است [28]. در این روش، هم‌پوشانی میان دو بیضی از طریق شکستن بیضی به بخش‌های کوچک‌تر و محاسبه هم‌پوشانی بین این بخش‌ها انجام می‌شود. از منظر پیاده‌سازی، به‌جای استفاده از معادلات پیچیده برای محاسبه شکل نهایی جای‌پا، پس از درنظرگرفتن انسداد توسط پا، جاپایی با رنگ سیاه و همان اندازه با درنظرگرفتن انحراف از مکان در نظر گرفته‌شده پا بر روی تردمیل به تصویر کشیده می‌شود. در این حالت، جای‌پا به‌صورت بریده مشاهده می‌شود. نسخه اولیه این سامانه درقبل توسط مؤلفان این مقاله در [28] ارایه شده است. این مقاله نسخه بهبودیافته کار قبلی است که آزمایش‌های تکمیلی دیگری روی آن انجام شده است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]

(شکل-۸): تعامل میان پا و مانع مجازی در حالت بدون انسداد (شکل سمت چپ) و با در نظر گرفتن انسداد تصویر (شکل سمت راست) در تمرین عبور از موانع

(Figure-8): The interaction between foot and virtual obstacle with (right picture) and without (left picture) in the obstacle avoidance task

۵-۲- روش تحلیل داده‌ها

ارائه بازخورد صحیح به کاربر در حین انجام حرکات توان‌بخشی نیازمند محاسبه درست مقدار انحراف پای کاربر از حرکت صحیح تعریف‌شده برای آن کاربر است. در این مقاله از مقدار انحراف به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی کارایی کاربر در انجام صحیح حرکات توان‌بخشی استفاده شده است. دو روش برای اندازه‌گیری میزان انحراف در تمرین قدم‌زدن موردتوجه قرار گرفته است. در حالت دودویی فقط درست یا غلط‌بودن حرکت و در حالت عددی، مقدار انحراف مورد توجه بوده است. در حالت دودویی تعداد قدم‌هایی که به‌صورت صحیح انجام نشده، به‌عنوان نرخ خطا (*FaultRate*) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$FaultRate = \sum_{n}((wrong)/(wrong+right)) \qquad (۱)$$

در محاسبه عددی مقدار انحراف، برای ساده‌ترشدن محاسبات در تمرین قدم‌زدن فرض شده اکه محل قرارگیری پا با یک بیضی فرضی محاط شده است؛ در این حالت، مقدار انحراف میان بیضی محل واقعی پا و بیضی جای پای نمایش داده‌شده فاصله اقلیدسی مرکز این دو بیضی است که انحراف در محور X و محور Y را به‌صورت هم‌زمان در نظر می‌گیرد. میانگین انحراف در n قدم به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Avg_Dev = \sum_{n}(\sqrt{(x_n - x_0)^2 + (y_n - y_0)^2})/n \qquad (۲)$$

بایستی توجه داشت که میزان انحراف برای پای چپ و راست به‌صورت مجزا محاسبه می‌شود. در تمرین عبور از موانع نیز میزان انحراف از حرکات تعریف‌شده به‌صورت دودویی و همچنین عددی محاسبه می‌شود. در حالت دودویی، نرخ برخورد (*HitRate*) با موانع معیاری برای میزان انحراف است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود (n تعداد موانع نمایش داده شده است):

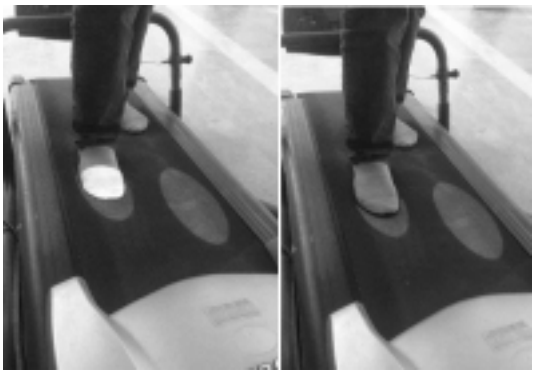
$$HitRate = \sum_{n}(ObstacleOverlap)/n \qquad (۳)$$

در محاسبه عددی، مقدار انحراف در تمرین عبور از موانع متوسط طول هم‌پوشانی با موانع به‌صورت زیر محاسبه شده است که در آن n تعداد موانع نمایش داده شده است.

$$Avg_Dev = \sum(overlapLength/ObstacleSize)/n \qquad (۴)$$

۶-۲- تنظیم اعوجاج تصویر در نگاشت ویدیو

با توجه به اینکه در روش نگاشت ویدیو سطح تردمیل به‌عنوان صفحه‌نمایش استفاده می‌شود، بهترین مکان برای قراردادن ویدیوپروژکتور برای جلوگیری از اعوجاج تصویر بالای سر بیمار و بر روی تردمیل به‌صورت عمودی است. از سویی دیگر، در این حالت بدن فردی که بر روی تردمیل حرکت می‌کند، می‌تواند مانع نمایش تصاویر بر روی سطح تردمیل شود؛ ازاین‌رو، در پروژه ما ویدیوپروژکتور روبه‌روی فرد و بالای دستگاه کینکت قرار داده شده است. در این حالت، با توجه به اینکه تصویر به‌صورت عمودی بر روی سطح تردمیل تابانده نمی‌شود، قسمت‌هایی که در فاصله دورتری از منبع نور ویدیوپروژکتور قرار دارند، به‌صورت کشیده‌تر نمایش داده می‌شوند. برای حل این مسأله، در این مقاله از روش ارائه‌شده در [14] استفاده شده که در آن از معادله انتقال نگاشت استفاده شده است (جزئیات در [14] قابل‌مشاهده است).



(شکل-۹): تعامل میان پا و مانع مجازی در حالت بدون انسداد (شکل سمت چپ) و با درنظرگرفتن انسداد تصویر (شکل سمت راست) در تمرین قدم‌زدن

(Figure-9): The interaction between foot and virtual obstacle with (right picture) and without (left picture) in the stepping task.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]

۷-۲- مشخصات فنی

نمونه اولیه سامانه بازخوردهای حرکتی با استفاده از نگاشت ویدیو در محیط Unity 5.3.4 پیاده‌سازی شده و از Kinect Developer Toolkit 1.8.0 و KinectSDK v.1.8.0 برای اتصال بازی به دستگاه کینکت استفاده شده است. کلیه اسکریپت‌های مربوط به تنظیم درجه سختی بازی و همچنین کنترل کاراکتر بازی با زبان #C پیاده‌سازی شده که از تارنمای آزمایشگاه واقعیت افزوده www.carlab.ir دانشگاه هنر اسلامی تبریز قابل دریافت است. از پروژکتور نوری Hitachi ۱۰۸۰*۹۲۰ برای نمایش تصویر بر روی صفحه تردمیل استفاده شده است. محل قرارگیری پروژکتور نوری در روش نگاشت ویدیو در شکل (۱) نمایش داده شده است. دستگاه ثبت حرکات جلوی کاربر قرار داده می‌شود.

۳- ارزیابی

دو مجموعه آزمایش برای بررسی سامانه‌های ارائه‌شده و همچنین مقایسه آن‌ها ارائه شده است. مجموعه نخست شامل بررسی دقت سامانه در دریافت حرکت کاربر و مطابقت آن با الگوی از پیش تعیین شده است. سامانه ارایه‌شده در سامانه ارایه‌شده، یک رابط کاربری برای تعیین ویژگی‌های حرکت صحیح فراهم شده است. با استفاده از این رابط کاربری، متخصص توانبخشی فاصله بین قدم‌ها، سرعت نمایش جاپاها و اندازه جاپاها را مشخص می‌کند. درصورت استفاده از سامانه خودکار تنظیم دشواری بازی، فاصله بین قدم‌ها و سرعت نمایش جاپاها به‌صورت هوشمندانه به‌روز می‌شود تا سطح دشواری تمرینات نسبت به مهارت کاربر تنظیم شود؛ در غیر این صورت، تنظیمات دستی که توسط درمان‌گر یا کاربر تعیین شده است، اعمال می‌شود. با توجه به این‌که سامانه ارائه‌شده در این مقاله از سامانه ثبت حرکات کینکت استفاده می‌کند که شرایط نور محیطی در دقت آن تأثیرگذار است، ازاین‌رو لازم است تا شاخصی از میزان خطاهای این سامانه استخراج شده و در هنگام مطابقت با الگوی حرکتی موردتوجه قرار گیرد.

هدف مجموعه دوم از آزمایش‌ها بررسی و مقایسه سامانه نگاشت ویدیو مجهز به ماژول انسداد تصویر (OC) با سامانه بدون انسداد تصویر(NOC) [22] ازنقطه‌نظر کیفیت بازخورد ارائه شده است. بدین‌منظور، کارایی شرکت‌کنندگان ازلحاظ میزان وفق‌دادن بدن با حرکات تجویزشده با استفاده از نگاشت ویدیوی مبتنی بر انسداد تصویر بررسی شده و با سامانه بدون انسداد تصویر مقایسه شده است. مبنا و معیار وفق‌دادن حرکات بدن با حرکات تجویزشده، میزان کارایی کاربر در حین تغییر حرکات تجویز شده است. این معیار بر اساس حرکات صحیح و اشتباه کاربر در حین تغییر سرعت نمایش جاپاها و تغییر اندازه قدم‌های تجویزشده تعیین می‌شود که در ادامه و در بخش طراحی آزمایش‌ها و پروتکل اجرا شرح داده شده است.

۳-۱- شرکت‌کنندگان در پژوهش

با توجه به این‌که هدف از این سلسله‌آزمایش‌ها تنها بررسی کارایی بازخورد ارائه‌شده و نه بررسی اثر آن بر روی توان‌بخشی است، از ۲۴ نفر از شرکت‌کنندگان بدون مشکل حرکتی برای این مطالعه استفاده شده است. کلیه شرکت‌کنندگان در پژوهش از دانشجویان دانشگاه هنر اسلامی تبریز با میانگین سنی ۲۱/۵ سال انتخاب شدند که پانزده نفر از آن‌ها آقا و نُه نفر بقیه خانم بودند. این شرکت‌کنندگان از طریق نصب اطلاعیه در دانشگاه برای انجام آزمایش به‌صورت داوطلبانه انتخاب شدند.

۳-۲- طراحی آزمایش‌ها و پروتکل اجرا

برای جلوگیری از اثر یادگیری و بررسی سامانه‌ها به‌صورت مستقل از روش بین گروهی برای تقسیم‌بندی شرکت‌کنندگان استفاده شده است. به این صورت که دوازده نفر از شرکت‌کنندگان از سامانه نگاشت ویدیو با انسداد تصویر (OC) و دوازده نفر بقیه از سامانه بدون انسداد تصویر (NOC) برای انجام کار مشخص تعیین‌شده استفاده کردند. کارهای خواسته‌شده از دو گروه به‌طورکامل مشابه هم بوده (ازلحاظ سرعت حرکت، اندازه مانع و سایر پارامترها) و تنها تفاوت در نوع نمایش بازخورد به کاربر بوده است. در این آزمایش‌ها نوع سامانه به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده که شامل بازخورد مبتنی بر نگاشت ویدیو با انسداد تصویر (OC) و نگاشت ویدیو بدون انسداد تصویر (NOC) است. نرخ برخورد و نرخ خطا نیز به‌عنوان متغیرهای وابسته اندازه‌گیری شده‌اند.

با توجه به اینکه هدف بررسی توانایی کاربران در میزان وفق‌دادن بدن با تغییر در حرکات تجویزشده با استفاده از بازخوردهای نمایشی مختلف است، تغییر در سرعت نمایش جای پاها و موانع و همچنین تغییر در اندازه طول قدم به‌عنوان پارامترهای قابل‌تغییر در تمرین قدم‌زدن

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]

استفاده شده است؛ همچنین، تغییر در سرعت نمایش موانع مجازی و تغییر فاصله بین موانع به‌عنوان پارامترهای تمرین عبور از موانع موردتوجه قرار گرفته‌اند. ازلحاظ سرعت، سه حالت سریع، متوسط و آهسته و ازلحاظ فاصله سه فاصله کوتاه، متوسط و بلند موردتوجه قرار گرفتند. برای جلوگیری از پیچیده‌شدن تعداد حالت‌ها و ترکیب همه آن‌ها، تغییر در سرعت و فاصله به‌صورت مستقل موردبررسی قرار گرفتند. با توجه به وجود دوازده نفر در هر گروه، ترکیب هر یک از حالت‌ها توسط دو نفر به‌صورتی‌که در شکل (۱۰) نمایش داده شده صورت گرفت. برای تمرین قدم‌زدن، در حالت FSS پارامتر سرعت و در حالت FV، پارامتر اندازه قدم به‌عنوان متغیر موردبررسی قرار گرفتند. از سویی دیگر، برای تمرین عبور از موانع مجازی در حالت FOS، پارامتر سرعت و در حالت FV، پارامتر اندازه مانع به‌عنوان متغیر موردبررسی قرار گرفتند.

از هر فرد خواسته شد تا هر دو کار تعریف‌شده برای تمرین قدم‌زدن و عبور از موانع مجازی را انجام دهد. همچنین از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا تمرینات خواسته‌شده را برای سه بار انجام داده و میانگین نتایج آن‌ها در این سه دور موردبررسی قرار گرفت. شرکت‌کنندگان این امکان را داشتند که قبل از شروع تمرین‌ها به مدت دو دقیقه به‌صورت آزاد با سامانه تمرین کنند تا در درک کارهای خواسته‌شده در طول آزمایش ابهامی نداشته باشند. کلیه آزمایش‌ها در محل دانشکده چندرسانه‌ای واقع در دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام شده است؛ همچنین بایستی توجه داشت که به‌منظور ثابت نگاه‌داشتن پارامترهای حرکتی، ماژول تنظیم خودکار سختی در بررسی کارایی سامانه غیرفعال شده است.

(شکل-۱۰): نحوه چینش ۲۴ شرکت‌کننده در پژوهش در دو حالت FV و FSS

(Figure-10): Setting 24 participants in the fixed velocity (FV) and fixed step size (FSS) modes

۳-۳- نتایج

در تمرین قدم‌زدن، آزمایش‌ها برای حالت‌هایی از که در آن اندازه قدم ثابت است (FSS[1]) و نیز سرعت تردمیل ثابت است (FV[2]) انجام شد. در تمرین عبور از موانع نیز حالت‌هایی که در آن سرعت ثابت بوده (FV) و نیز حالتی که اندازه مانع ثابت است (FOS[3]) به‌صورت جداگانه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند.

۱-۳-۳- دقت سامانه ارائه‌شده

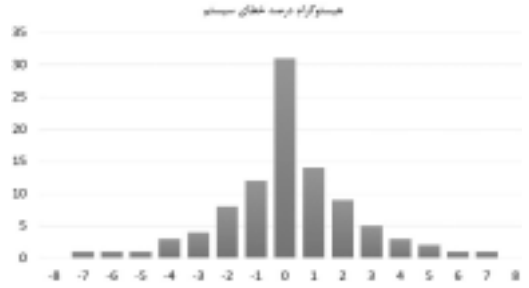
آگاهی از دقت سامانه ارائه‌شده در ثبت حرکات و همچنین مطابقت با الگوی حرکتی تعیین‌شده قبل از بررسی کارایی بازخورد ارائه‌شده در هر یک از روش‌های نمایش بازخورد ضروری است. به‌منظور ارزیابی دقت سامانه ارائه‌شده در این مقاله، مکان‌های ثابتی با استفاده از نور تابانده‌شده بر روی تردمیل مشخص شده و از کاربران خواسته شد تا با دقت کافی بدون محدودیت زمان پای خود را به‌طوردقیق بر روی مکان مشخص‌شده قرار دهند. اختلاف میان جلوترین نقطه پای تشخیص داده‌شده به‌وسیلهٔ دستگاه ثبت حرکت (p_0) و جلوترین نقطه واقعی پا نسبت به کینکت (p_1) به‌عنوان معیار اندازه‌گیری دقت در نظر گرفته شده و مقدار $|p_0-p_1|/w$ به‌عنوان خطای سامانه اندازه‌گیری شد. به‌طورکلی میانگین خطای ۶/۸۹ درصد در سامانه مشاهده شد که مربوط به دقت و تنظیمات سامانه ثبت حرکات، شرایط نور محیط و سایر عواملی است که به‌صورت کلی اندازه‌گیری شده است. گرچه محیط آزمایش از وجود نورهای اضافی و همچنین اشیایی که ممکن است باعث انعکاس اضافی شوند، زدوده شده بود، این خطا با توجه به ابزار استفاده‌شده برای ثبت حرکات (کینکت) که کم‌هزینه بوده و استفاده خانگی دارد، غیرقابل‌اجتناب بوده است. با این حال، استفاده از دستگاه‌های ثبت حرکات پیشرفته‌تر (مانند vicon) می‌تواند این میزان خطا را تا حد زیادی (البته با صرف هزینه بسیار بالاتری نسبت به دستگاه کینکت) کاهش دهد.

همان‌طور که در هیستوگرام موجود در شکل (۱۱) نمایش داده شده است، توزیع به‌نسبه نرمالی در خطاها وجود داشته و ازاین‌رو امکان انتقال مکان به مقدار ثابت به جلو و یا عقب وجود ندارد. پس از به‌دست‌آوردن این نتایج و به‌منظور کم‌کردن اثر این خطا، حرکاتی با تلورانس بیشینه

[1] Fixed Step Size
[2] Fixed Velocity
[3] Fixed Obstacle Size

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]

۸٪ خطا در مکان قرارگرفتن پا نسبت به نقطه تعیین‌شده در الگوی حرکتی همچنان به‌عنوان حرکات صحیح در نظر گرفته شده‌اند. با جایگزینی دستگاه کینکت با نمونه‌های پیشرفته‌تر ثبت حرکات، این میزان خطا می‌تواند به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یابد.



(شکل-۱۱): هیستوگرام خطاهای رخ‌داده در سامانه ثبت حرکات

(Figure-11): The histogram of faults in the motion capture system

۲-۳-۳- کارایی بازخورد در تمرین قدم زدن

معیار نرخ خطا (*FaultRate*) به‌عنوان معیاری برای ارزیابی کارایی هریک از سامانه‌های نمایش بازخورد مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به این‌که اعتبار نتایج بسیاری از آزمون‌های آماری وابسته به برقراری شرط توزیع نرمال مشاهدات است، قبل از بررسی و مقایسه نتایج ازلحاظ آماری، ابتدا نرمال‌بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. از سویی دیگر، به توجه به تعداد کم نمونه‌ها (دوازده نفر برای هرگروه) بررسی نرمال‌بودن توزیع مشاهدات می‌بایست آزموده می‌شد. برای این منظور از آزمون برازش توزیع نرمال[1] استفاده شد. در این روش، فرض صفر مبتنی بر این‌که توزیع داده‌ها نرمال است، در سطح خطای ۵٪ بررسی شد. با توجه به مقدار $p >$ ۰/۰۵ برای هر چهار گروه (*p=0.41428* برای گروه NOC در قدم ثابت، *p=0.6542* برای گروه NOC در سرعت ثابت، *p=0. 2588* برای گروه OC در قدم ثابت و *p=0.8154* برای گروه OC در سرعت ثابت)، دلیلی برای رد فرض صفر وجود نداشته و بنابراین از آزمون تحلیل واریانس[2] برای هر دو حالت سرعت ثابت و قدم ثابت استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که بیشترین نرخ خطا در حالت FSS مربوط به تغییر از سرعت‌های پایین به سرعت‌های بالا بوده، درحالی‌که برای تغییر از سرعت بالا به سرعت کمتر خطاهای کمتری مشاهده شده است (جدول ۱). در حالت FV نیز بیشترین مقدار خطا در تغییر از قدم‌های کوتاه به‌اندازه قدم‌های بلند مشاهده شده است (جدول ۲).

(جدول-۱): مقایسه بازخورد مبتنی بر انسداد تصویر (OC) و بدون انسداد تصویر (NOC) در حالت FSS در تمرین قدم‌زدن با استفاده از تحلیل واریانس

(S:Slow, M: Medium, F:Fast)

(Table-1): Comparison between the feedback based on occlusion (OC) and with no occlusion (NOC) in the constant step size (FSS) mode in the stepping task using ANOVA test (S: Slow, M: Medium, F: Fast).

مقایسه نمونه‌ها	نتایج تحلیل واریانس
S→ F: NOC (M=50.12) vs. OC(M=32.16)	p = 0.0004 *
S→ M: NOC (M=41.26) vs. OC(M=33.24)	p = 0.0284 *
M→ S: NOC (M=43.25) vs. OC(M=33.14)	p = 0.2433
M→ F: NOC (M=45.21) vs. OC(M=31.27)	p = 0.0021 *
F→ S: NOC (M=36.24) vs. OC(M=35.12)	p = 0.1782
F→ M: NOC (M=35.26) vs. OC(M=33.78)	p = 0.2533

(جدول-۲): مقایسه بازخورد مبتنی بر انسداد تصویر (OC) و بدون انسداد تصویر (NOC) در حالت FV در تمرین قدم زدن با استفاده از تحلیل واریانس

(S:Short, M: Medium, L:Long)

(Table-2): Comparison between the feedback based on occlusion (OC) and without occlusion (NOC) in the fixed velocity mode (FV) in the stepping task using ANOVA test (S: Slow, M: Medium, F: Fast).

مقایسه نمونه‌ها	نتایج تحلیل واریانس
S→ L: NOC (M=43.21) vs. OC(M=33.11)	p = 0.0041 *
S→ M: NOC (M=40.21) vs. OC(M=31.54)	p = 0.0124 *
M→ S: NOC (M=45.33) vs. OC(M=39.25)	p = 0.0325 *
M→ L: NOC (M=45.14) vs. OC(M=31.24)	p = 0.0011 *
L→ S: NOC (M=37.84) vs. OC(M=36.54)	p = 0.1133
L→ M: NOC (M=42.41) vs. OC(M=38.76)	p = 0.0001

نتایج حاصل از آزمون تی بر روی داده‌های تجمعی با درنظرگرفتن توأمان سرعت ثابت و اندازه قدم ثابت حاکی از آن است که اختلاف معنادار آماری میان نرخ خطای سامانه نگاشت ویدیوی مبتنی بر انسداد تصویر (میانگین ۳۴/۷۶ و انحراف معیار ۴/۰۸) و سامانه بدون انسداد تصویر (میانگین ۴۵/۵۴ و انحراف معیار ۳/۱۲) وجود دارد (*p=0.0031*).

[1] Shapiro-Wilk Test
[2] ANOVA

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]

۳-۳-۳- کارایی بازخورد در تمرین عبور از موانع

در تمرین عبور از موانع مجازی، معیار نرخ برخورد به‌عنوان معیاری برای ارزیابی کارایی هریک از سامانه‌های نمایش بازخورد مورد مطالعه قرار گرفت. برای تحلیل نتایج این تمرین نیز از آزمون آماری تحلیل واریانس برای هر دو حالت FV و FOS استفاده شد. نتایج حاکی از آن است که بیشترین نرخ خطا در حالت FSS مربوط به تغییر از سرعت‌های پایین به سرعت‌های بالا است؛ درحالی‌که برای تغییر از سرعت زیاد به سرعت کمتر خطاهای کمتری مشاهده شده است (جدول ۳). در حالت سرعت ثابت اختلاف فاحشی میان دو سامانه ازلحاظ معیار نرخ برخورد وجود ندارد (جدول ۴). از نظر نویسندگان این مقاله دلیل این عدم اختلاف‌داشتن زمان کافی برای درک اندازه مانع و تصمیم‌گیری برای حرکت متناسب با آن است.

(جدول-۳): مقایسه بازخورد مبتنی بر انسداد تصویر (OC) و بدون انسداد تصویر (NOC) در حالت FSS در تمرین عبور از موانع با استفاده از تحلیل واریانس

(S:Slow, M: Medium, F:Fast)

(Table-3): Comparison between the feedback based on occlusion (OC) and without occlusion (NOC) in the fixed step size (FSS) mode in the obstacle avoidance task using ANOVA test (S: Slow, M: Medium, F: Fast).

مقایسه نمونه‌ها	نتایج تحلیل واریانس
S→ F: NOC (M=47.25) vs. OC(M=31.14)	p = 0.0154 *
S→ M: NOC (M=46.87) vs. OC(M=32.19)	p = 0.0354 *
M→ S: NOC (M=41.36) vs. OC(M=39.24)	p = 0.2415
M→ F: NOC (M=49.24) vs. OC(M=33.24)	p = 0.0001 *
F→ S: NOC (M=45.21) vs. OC(M=39.89)	p = 0.3896
F→ M: NOC (M=39.21) vs. OC(M=36.47)	p = 0.0101

(جدول-۴): مقایسه بازخورد مبتنی بر انسداد تصویر (OC) و بدون انسداد تصویر (NOC) در حالت FV در تمرین عبور از موانع با استفاده از تحلیل واریانس

(S:Short, M: Medium, L:Long)

(Table-4): Comparison between the feedback based on occlusion (OC) and without occlusion (NOC) in the fixed velocity (FV) mode in the obstacle avoidance task using ANOVA test (S: Slow, M: Medium, F: Fast).

مقایسه نمونه‌ها	نتایج تحلیل واریانس
S→ L: NOC (M=38.21) vs. OC(M=34.28)	p = 0.4778
S→ M: NOC (M=41.24) vs. OC(M=38.42)	p = 0.3633
M→ S: NOC (M=42.75) vs. OC(M=41.67)	p = 0.5114
M→ L: NOC (M=38.24) vs. OC(M=41.24)	p = 0.6247
L→ S: NOC (M=41.29) vs. OC(M=39.47)	p = 0.2450
L→ M: NOC (M=43.25) vs. OC(M=37.24)	p = 0.0824

مشابه آنچه که در تمرین قدم انجام شد، قبل از بررسی و مقایسه نتایج ازلحاظ آماری، ابتدا نرمال‌بودن داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مقدار $p > ۰/۰۵$ برای هر چهار گروه نرمال‌بودن نمونه‌ها تأیید شد. به‌صورت کلی، نتایج حاصل از آزمون تی بر روی داده‌های تجمعی با درنظرگرفتن توأمان FV و FOS نشان‌دهنده اختلاف معنادار آماری ($p=0.021$) میان سامانه OC (میانگین ۳۳/۷۴ و انحراف معیار ۳/۰۱) و سامانه NOC (میانگین ۴۲/۱۸ و انحراف معیار ۲/۶۵) است. مشابه تمرین قدم‌زدن، این نتایج نیز نشان‌دهنده برتری کیفیت بازخورد ارائه‌شده در نگاشت ویدیوی مبتنی بر انسداد تصویر نسبت به سامانه بدون انسداد تصویر در تمرین عبور از موانع مجازی است.

علاوه‌بر اندازه‌گیری کارایی واقعی شرکت‌کنندگان در تمرین‌های توان‌بخشی، از آن‌ها خواسته شد تا در پایان انجام تمرین‌ها نظر خود را در مورد کیفیت بازخورد ارائه‌شده به‌صورت عددی بین صفر تا ده بیان کنند که از آن به‌عنوان معیاری برای شهودی بودن بازخورد استفاده شده است. نتایج حاصل از آزمون تی نشان‌دهنده اختلاف معنادار آماری ($p=0.011$) میان روش سامانه نگاشت ویدیو با انسداد تصویر (میانگین ۸/۲۴ و انحراف معیار ۰/۹۸) و سامانه بدون انسداد تصویر (میانگین ۶/۸۹ و انحراف معیار ۱/۶۵) است.

۴- نتیجه‌گیری و کارهای آینده

کیفیت بازخورد ارائه‌شده در سامانه‌های توان‌بخشی برای انجام صحیح حرکت و همچنین تصحیح اشتباهات انجام‌شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ارائه بازخوردهای تصویری مناسب به‌ویژه برای سامانه‌های توان‌بخشی خانگی که درمان‌گر به‌صورت مستمر حضور ندارد، ضروری است. در این مقاله، با بررسی سامانه‌های واقعیت مجازی که در آن بازخورد ارائه‌شده بر روی صفحه نمایش‌گر جلوی بیمار نمایش داده می‌شود، یکی از مشکلات موجود وجود فاصله بین محل وقوع واقعی حرکت (که بر روی تردمیل اتفاق می‌افتد) و محل نمایش بازخورد (که بر روی صفحه نمایش گر است) عنوان شده است. برای حل این مشکل، روش نمایش بازخورد مبتنی بر واقعیت افزوده با استفاده از نگاشت ویدیو ارائه شده است که در آن بازخورد ایجادشده از حرکت

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]

بیمار بر روی تردمیل و با استفاده از پروژکتور نوری انجام می‌شود. نوآوری عمده این مقاله ایجاد توهم قدم‌گذاشتن پا بر روی مانع مجازی و جای پا با استفاده از انسداد تصویر است. در این روش، قسمتی از تصویر مانع یا جای پا که در زیر پا قرار می‌گیرد، بریده شده و بر روی پا نمایش داده نمی‌شود.

نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام‌شده نشان‌دهندهٔ برتری محسوس روش نگاشت ویدیو با انسداد تصویر در مقایسه با روش بدون انسداد تصویر در کارایی بیماران برای وفق‌دادن حرکات خود نسبت تغییرات ایجادشده در سرعت حرکت، اندازه قدم و اندازه موانع در تمرین‌های مختلف قدم‌زدن و عبور از موانع است. یافته‌های این مقاله تنها نشان‌دهندهٔ افق روشن استفاده از روش بازخورد تصویری واقعیت افزوده مبتنی بر نگاشت ویدیو است. این در حالی است که بررسی کارایی واقعی سامانه ارائه‌شده نیازمند طراحی آزمایش‌هایی با بیماران واقعی در طولانی‌مدت است. برای کارهای آینده، هدف ما بررسی تأثیر استفاده از روش ارائه‌شده بر روی بیماران حرکتی ناشی از اماس است که مراحل اولیه این پژوهش نیز از قبل آغاز شده است.

ملاحظات

سامانه ارایه‌شده در این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با عنوان "بررسی و توسعه بازی‌های توان‌بخشی حرکتی با استفاده از فناوری واقعیت افزوده" در دانشگاه هنر اسلامی تبریز بوده و حایز رتبه دوم نخستین جشنواره ملی بازی‌های جدی در دانشگاه علم و صنعت ایران شده است.

5- References ۵- مراجع

[۱]حاجی زاده مریم, هاشمی اسکویی علیرضا, قالیچی فرزان, قابلیت اطمینان پارامترهای سینماتیکی زانو و نیروی عکس العمل پا در افراد با آسیب لیگامان متقاطع قدامی در بالا رفتن از پله, *مجله مهندسی پزشکی زیستی*, دوره ۱۱ ،شماره ۳، صفحات ۳۱-۱۷ ،۱۳۹۶.

[1] M. Hajizadeh, A. Hashemi Oskouei, F. Ghalichi, "The Reliability of Knee Kinematics and Ground Reaction Force During Stair Negotiation", *Iranian journal of Biomedical Engineering*, vol.11. No. 3, pp.17-31, 2017.

[۲]زمانی حمید، دادگو مهدی، ابراهیمی تکامجانی اسماعیل، تأثیر دو ماه آموزش راه رفتن همراه با حمایت وزن روی تردمیل بر تعادل و کیفیت زندگی بیماران ضایعه نخاعی ناکامل, *مجله توانبخشی*، دوره ۱۸ ،شماره ۴، صفحات ۳۱-۱۷ ،۱۳۹۶

[2] H. Zamani, M. Dadgoo, I. Ebrahimi Takamjani, E. Hajouj, A. Jamshidi Khorneh , "The Effects of Two Months Body Weight Supported Treadmill Training on Balance and Quality of Life of Patients With Incomplete Spinal Cord Injury", *jrehab*, vol.18, No.4, 328-337, 2018.

[۳] شمسی گوشکی اسما، نظام آبادی پور حسین، سریزدی سعید، کبیر احسان اله. روشی برای بازخورد ربط براساس بهبود تابع شباهت در بازیابی تصویر بر اساس محتوا. *پردازش علائم و داده‌ها*، دوره ۱۱ شماره ۲ صفحات ۴۳-۵۵، ۱۳۹۳.

[3] A. Shamsi gooshki, H. Nezamabadi-pour, S. Saryazdi, E. Kabir, "a relevance feedback approach based on similarity refinement in content based image retrieval", *JSDP*, vol. 11, No.2, pp. 43-55, 2015.

[4] R. Sigrist, G. Rauter, R. Riener, & P. Wolf, "Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: a review" *Psychonomic bulletin & review*, vol. 20. No.1, pp.21-53, 2013.

[5] J. Lee, Y. Kim, & G. J.Kim, "Effects of Visual Feedback on Outof-Body Illusory Tactile Sensation When Interacting with AugmentedVirtual Objects", *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol.47, No.1, pp. 101-112, 2017.

[6] E. Kearney, S. Shellikeri, R. Martino, & Y. Yunusova, "Augmented visual feedback-aided interventions for motor rehabilitation in Parkinson's disease: a systematic review", *Disability and rehabilitation*, pp.1-17, 2018.

[7] L. E. Sucar, F. Orihuela-Espina, R.L. Velazquez, D.J. Reinkensmeyer, R. Leder, & J. Hernandez-Franco, "Gesture therapy: An upper limb virtual reality-based motor rehabilitation platform", *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 22, No. 3, pp.634-643, 2014.

[8]L. Y. Liu, S.Sangani, & A. Lamontagne, "A real-time visual feedback protocol to improve symmetry of spatiotemporal factors of gait in stroke survivors: In Virtual Rehabilitation (ICVR)", *2017 International Conference on*, 2017, pp. 1-2.

[9] T. T. James, "Effect of Gaming Assisted Visual Feedback on Functional Standing Balance among Acute Hemiparetic Stroke Patients", "Indian

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]

[10] L.M. Muratori, E.M. Lamberg, L. Quinn, & S. V. Duff, "Applying principles of motor learning and control to upper extremity rehabilitation", *Journal of Hand Therapy*, vol. 26, No.2, pp.94-103, 2013.

[11] S. N. Omkar, & D. K. Ganesh, "Stability training and measurement system for sportsperson (P84)", *In the Engineering of Sport 7* , pp. 435-442, 2008.

[12] M. Y. Lee, C.F.Lin, & K.S. Soon, "Balance control enhancement using sub-sensory stimulation and visual-auditory biofeedback strategies for amputee subjects. Prosthetics and orthotics international", vol. 3, No.4, pp.342-352, 2007.

[13] E. Ivanova, M. Schrader, K.Lorenz, & M. Minge, "Developing motivational visual feedback for a new telerehabilitation system for motor relearning after stroke", *In Proceedings of the 31st British Computer Society Human Computer Interaction Conference , BCS Learning & Development Ltd*, 2017, pp. 75.

[14] HK.Wu, H. R. Chen, & C. H.Yu, "Development of posterior walker with adjustable visual cues to improve gait performance for patients with Parkinson's disease", *In IECON 2010-36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, 2010, pp. 1512-1516.

[15] J. Lieberman, & C. Breazeal, "TIKL: Development of a wearable vibrotactile feedback suit for improved human motor learning", *IEEE Transactions on Robotics*, vol.23 (5), pp.919-926, 2007.

[16] P. Celnik, K.Stefan, F. Hummel, J. Duque, J. Classen, L.G. Cohen, "Encoding a motor memory in the older adult by action observation", *Neuroimage*, vol. 29(2), pp. 677-684, 2006.

[17] R. Saegusa, K. Shigematsu, K. Terashima, "Audiovisual feedback for cognitive assistance toward walk training: In Robotics and Biomimetics (ROBIO)", *2014 IEEE International Conference*, pp. 925-930, 2014.

[18] D. Freides, "Human information processing and sensory modality: Cross-modal functions, information complexity, memory, and deficit", *Psychological bulletin*, vol.81, No. 5, pp.284, 2008.

[۱۹]زمانی حمید، دادگو مهدی، ابراهیمی تکامجانی اسماعیل، اصلاح الگوی راه رفتن در قطع عضو زیر زانو از طریق بازخورد همزمان بصری، *مجله بیومکانیک ورزشی*، دوره ۱ ،شماره ۳، صفحات ۳۲-۲۵، ۱۳۹۴

[19] H. Zamani, M. Dadgoo, E. Ebrahimi, "Trans-Tibial Amputee Gait Correction through Real-Time Visual Feedback", vol. 1(3), pp. 25-32, 2015.

[۲۰]مشرف رضوی سیما، سهرابی مهدی، ستوده محمد صابر، تأثیر مداخلات نوروفیدبک و تصویرسازی ذهنی بر تعادل سالمندان، *مجله سالمندی ایران*، دوره ۱۲ ،شماره ۳، صفحات ۲۹۹-۲۸۸، ۱۳۹۶

[20] S. Moshref-Razavi, M. Sohrabi, M. S. Sotoodeh, "Effect of Neurofeedback Interactions and Mental Imagery on the Elderly's Balance", *sija*, vol.12 (3), pp.288-299, 2017.

[21] R. Tang, H. Alizadeh, A. Tang, S. Bateman, J.A. Jorge, " Physio@ Home: design explorations to support movement guidance", *In Proceedings of the extended abstracts of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems*, 2014, pp. 1651-1656.

[22] M. W.van Ooijen, M. Roerdink, M. Trekop, T.W. Janssen, & P. J. Beek, " The efficacy of treadmill training with and without projected visual context for improving walking ability and reducing fall incidence and fear of falling in older adults with fall-related hip fracture: a randomized controlled trial", *BMC geriatrics*, vol.16(1), pp. 215, 2014.

[۲۳]سخاوت یونس، زارعی حسین، تنظیم خودکار سختی بازی‌های توانبخشی با استفاده از روش یادگیری تقویتی چندتناوبی (یاقوت)، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۸ ،شماره ۱، صفحات ۷۰-۶۲، ۱۳۹۷.

[23] Y. Sekhavat, H. Zarei, "Dynamic Difficulty Adjustment of Rehabilitation Games using Reinforcement Learning", vol. 48(1), pp.62-70, 2018.

[24] F. Anderson, T. Grossman, J. Matejka, G. Fitzmaurice, "YouMove: enhancing movement training with an augmented reality mirror", *In Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 311-320, 2013.

[25] A.Alamri, J. Cha, A. El Saddik, "AR-REHAB: An augmented reality framework for poststroke-patient rehabilitation", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol.59 (10), pp.2554-2563, 2010.

[26] E. Velloso, A. Bulling, H. Gellersen," MotionMA: motion modelling and analysis by demonstration", *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2013, pp. 1309- 1318.

[27] Y.Tian, Y. Long, D. Xia, H. Yao, J. Zhang, "Handling occlusions in augmented reality

based on 3D reconstruction method", *Neurocomputing*, vol.156, pp.96-104, 2013.

[28] Y.A.Sekhavat, M.S. Namani, " Projection-based AR: Effective visual feedback in gait rehabilitation", *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol.48(6), pp.626-636, 2018.

[29] F. Clemente, S. Dosen, L. Lonini, M. Markovic, D. Farina, C. Cipriani, " Humans can integrate augmented reality feedback in their sensorimotor control of a robotic hand", *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol.47(4), pp.583-589, 2016.

یونس سخاوت مدرک دکترا و پسادکترای خود را در رشته علوم رایانه به‌ترتیب از دانشگاه‌های مموریال کانادا در سال ۱۳۹۲ و دانشگاه آلبرتای کانادا در سال ۱۳۹۳ اخذ کرده است. ایشان مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را نیز در رشته مهندسی رایانه را از دانشگاه امیرکبیر و دانشگاه علم و صنعت دریافت کرده است. در حال حاضر ایشان عضو هیأت علمی دانشگاه هنر اسلامی تبریز هستند. زمینه اصلی پژوهشی ایشان طراحی بازی‌های جدی، هوش مصنوعی بازی‌های رایانه‌ای و هنرهای چندرسانه‌ای است. ایشان مدیر آزمایشگاه واقعیت افزوده شناختی (CARLab) در دانشکده چندرسانه‌ای دانشگاه هنر اسلامی تبریز هستند.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

sekhavat@tabriziau.ac.ir

محمدصادق نعمانی مدرک کارشناسی خود را در رشته چندرسانه‌ای از دانشگاه هنر اسلامی تبریز و از دانشکده چندرسانه‌ای در سال ۱۳۹۶ دریافت کرده است. زمینه اصلی پژوهشی ایشان بازی‌های رایانه‌ای جدی برای توانبخشی و همچنین برنامه‌های کاربردی موبایل و وب است. ایشان عضو آزمایشگاه واقعیت‌افزوده شناختی در دانشکده چندرسانه‌ای دانشگاه هنر اسلامی تبریز هستند. ایشان برنده جایزه دوم نخستین جشنواره ملی بازی‌های جدی برای سامانه ارایه‌شده در این مقاله شده‌اند.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

ms.namani@tabriziau.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-05-26]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.3.87]