مقاله پژوهشی

مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی
مرکز تحقیقات انفورماتیک پزشکی
دوره نهم شماره اول. ص ۱۱-۱، ۱۴۰۱

ارزیابی یک ابزار پوشیدنی مبتنی بر واقعیت مجازی برای بیماران دارای اختلال حرکتی در مچ پا

مجید اسلامی[1*]، ایمان موسویان[2]، فریده اسکندری فارسانی[3]، ریحانه دادگستر[3]، محمد عرفان اسداللهی[3]، نگار رحیمی[3]، عاطفه حاتمی[3]، سمانه محمدخانی[3]

• دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۱۳ • پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۳/۸

مقدمه: انجام اقدامات توانبخشی یکی از اولویت‌هایی است که بایستی بر روی بیماران دچار صدمات ناشی از سکته مغزی و یا تصادفات منجر به ناتوانی انجام گردد. هدف از این پژوهش ارزیابی تجهیزات ساخته شده و محیط طراحی شده واقعیت مجازی در بهبود شرایط درمان بیماران دارای مشکل حرکتی در بخش پایین تنه (مچ پا) است.

روش: پژوهش شامل سه بخش اساسی است که در بخش مکانیک یک مکانیزم حرکتی پس از طراحی، ساخته شد و با کمک تجهیزات الکترونیکی و آردوینو(Arduino)، حرکات اندازه‌گیری و در نهایت با طراحی محیط واقعیت مجازی در نرم‌افزار یونیتی، ارتباط با بخش سخت‌افزاری، پردازنده‌ها و سنسورها فراهم گردید.

نتایج: توجه به جذابیت گرافیکی، ترغیب کاربران به استفاده مجدد از سیستم، یکی از نتایج مطلوب اجرای این طرح می‌باشد که می‌تواند در ایجاد انگیزه کاربردی کاربران مؤثر واقع گردد. ضمن این که با توجه به وجود مقادیر مسافت و زمان حرکت در محیط واقعیت مجازی که به نوعی به حرکات کاربر در محیط واقعی وابسته است می‌توان به صورت هوشمندانه، میزان پیشرفت بیمار را بر اساس تعداد جلسات و مسافت طی شده ارزیابی نمود.

نتیجه‌گیری: روش‌های توانبخشی مبتنی بر واقعیت مجازی می‌تواند با توجه به جذابیت گرافیکی موجود در این محیط تأثیر مناسبی در فرآیند درمان داشته باشد و در کنار سایر روش‌های توانبخشی، در بهبود سریع‌ترِ افراد نیازمند به توانبخشی به شرایط عادی زندگی مؤثر واقع شود و زمان رسیدن به شرایط عادی را کاهش دهد.

کلیدواژه‌ها: واقعیت‌مجازی، یونیتی(Unity)، سنسور سنجش حرکت، توانبخشی مچ پا، آردوینو

ارجاع: اسلامی مجید، موسویان ایمان، اسکندری فارسانی فریده، دادگستر ریحانه، اسداللهی محمد عرفان، رحیمی نگار و دیگران. ارزیابی یک ابزار پوشیدنی مبتنی بر واقعیت مجازی برای بیماران دارای اختلال حرکتی در مچ پا. مجله انفورماتیک سلامت و زیست پزشکی ۱۴۰۱؛ ۹(۱): ۱۱-۱.

۱. دکتری تخصصی مکانیک، گروه مهندسی پزشکی، واحد خمینی‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی‌شهر، اصفهان، ایران
۲. دکتری تخصصی مهندسی پزشکی، استادیار، گروه مهندسی پزشکی، واحد خمینی‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی‌شهر، اصفهان، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی مهندسی پزشکی، گروه مهندسی پزشکی، واحد خمینی‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی‌شهر، اصفهان، ایران

* **نویسنده مسئول:** مجید اسلامی
آدرس: اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خمینی‌شهر
• **شماره تماس:** ۰۳۱۳۳۶۶۰۰۱۲ • **Email:** Majid.eslami@iaukhsh.ac.ir

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-11-09]

مقدمه

توسعه دانش در حوزه‌های رباتیک و رایانه نقش شایسته‌ای در پیشرفت بشر ایفا نموده است. کاربرد این فناوری‌ها به ویژه در حوزه پزشکی، به دلیل شرایط خاص و محدودیت‌های موجود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بخش بزرگی از بیماران به‌ویژه بیماران سکته مغزی، با این معضلات خاص، از جمله مشکل حرکتی در ناحیه مچ پا روبه‌رو هستند [۱]. در شرایط درمانی و کلینیکی به منظور کمک به بازگشت سریع‌تر بیمار به شرایط عادی تمرینات ویژه‌ای با نظر متخصصان طراحی و اجرا می‌شود. انجام این تمرینات اغلب به دلیل وضعیت و شرایط بیمار با سختی‌ها و دشواری‌هایی همراه است [۲]. استفاده از ربات‌های پوشیدنی به‌دلیل وسعت کاری و راحتی در کاربرد باعث شد پژوهش‌های زیادی در جهت استفاده از این فناوری‌ها در توانبخشی تعریف و اجرایی گردد [۵-۳]. همچنین می‌توان توسعه فناوری گرافیکِ رایانه‌ای را یکی از دستاوردهای مهم دانش بشری، جهت کمک به حوزه پزشکی دانست چرا که با کمک این فناوری بشر توانست وارد حوزه جدیدی از درمان شده و از روش‌های نوین جهت ارتقاء اقدامات درمانی استفاده نماید.

ظهور فناوری واقعیت مجازی به نوعی به انتهای قرن بیستم و گسترش و توسعه ریزپردازنده‌ها برمی‌گردد [۶]. تعاریف مختلفی از واقعیت مجازی ارائه شده است و یک تعریف مناسب می‌تواند به این صورت باشد: یک محیط شبیه‌سازی رایانه‌ای دارای قابلیت تعامل با انسان [۷].

واقعیت مجازی به عنوان یک فناوری نوین توانسته است در بهبود شرایط توانبخشی بیماران نقش شایسته‌ای را ایفاء نماید. اسلامی و همکاران [۸] در راستای کاربردی نمودن این دانش نوین در حوزه توانبخشی پنجه، با ترکیب واقعیت مجازی و یک دستکش پوشیدنی نتایج مطلوبی را به‌دست آوردند. همچنین در مطالعه دیگری [۹] یک تابلو کنترل هوشمند، به منظور کنترل محیط واقعیت مجازی طراحی نمودند تا بتوانند شرایط کاربردی استفاده از فناوری واقعیت مجازی را تسهیل بخشیده و ارزیابی کاربردی از این فناوری داشته باشند که در نهایت نتایج مطلوبی از این تحقیق کسب کردند. در زمینه بازی درمانی با استفاده از واقعیت مجازی نیز تحقیقات فراوانی صورت گرفته که می‌توان به پژوهش Getso و Bakon [۱۰] اشاره نمود که بر توسعه این فناوری نوین و نقش شایسته آن در تمام حوزه‌های آموزش و درمانی تأکید نموده است.

فناوری واقعیت مجازی در کنار سایر توانمندی‌های بشر توانست توسعه کاربردی علم را در برداشته باشد. استفاده هوشمندانه واقعیت مجازی و رباتیک توانست کاربرد این فناوری را در حوزه‌های مهمی چون توانبخشی توسعه دهد. از این جمله می‌توان به تلاش Frisoli و همکاران در طراحی یک ربات سبک پوشیدنی متصل به واقعیت مجازی که نتایج مناسبی در ارزیابی کسب نموده است، اشاره نمود [۱۱]. همچنین Boian و همکاران در یک مطالعه به بررسی نقش واقعیت مجازی و دستکش‌های پوشیدنی لمسی بر روی بیماران دچار عارضه سکته مغزی و بهبود نسبی شرایط بیماران در بخش پنجه پرداختند [۱۲]. de Rooij و همکاران نیز در یک پژوهش، کاربردی بودن نقش این فناوری در بهبود شرایط حرکتی بیماران دچار عارضه سکته مغزی را نشان دادند [۱۳].

یکی از نیازهای اساسی در بحث توانبخشی، کمک به بهبود شرایط بیمارانی است که در اثر سکته مغزی دچار اسپاسم شده‌اند. این بیماران در ناحیه مچ پا یا دست با اختلالات حرکتی مواجه می‌شوند. همچنین آسیب‌های ناشی از پیچ‌خوردگی مچ پا نیز در بروز این اختلالات بدون تأثیر نیست. در این زمینه Gómez-Espinosa و همکاران [۱۴] سعی در طراحی و ساخت یک مکانیزم سنجش اندازه حرکت با کمک سنسور جایرو (Gyro) نمودند که می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کاربردی در حوزه توانبخشی مفید باشد. قابلیت حسگرها جهت سنجش حرکت و نیاز به پردازنده‌ها در مرحله مدل‌سازی منجر به استفاده از تجهیزات و بردهای الکترونیکی از جمله آردوینو شده است که از این جمله می‌توان به بهره‌گیری Kutlu و همکاران [۱۵]، Polygerinos و همکاران [۱۶] و اسلامی و همکاران [۱۷] از این تجهیزات در پردازش و تحلیل اطلاعات دریافتی در فرآیند کاربردی رباتیک و واقعیت مجازی اشاره نمود. همچنین مولایی و همکاران [۱۸] توانستند در یک پژوهش دانشگاهی از این تجهیزات الکترونیکی در فرآیند طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم پزشکی از راه دور به منظور مدیریت و نظارت بر بیماران مبتلا به پای دیابتی استفاده نموده و نتایج مطلوبی را به دست آورند.

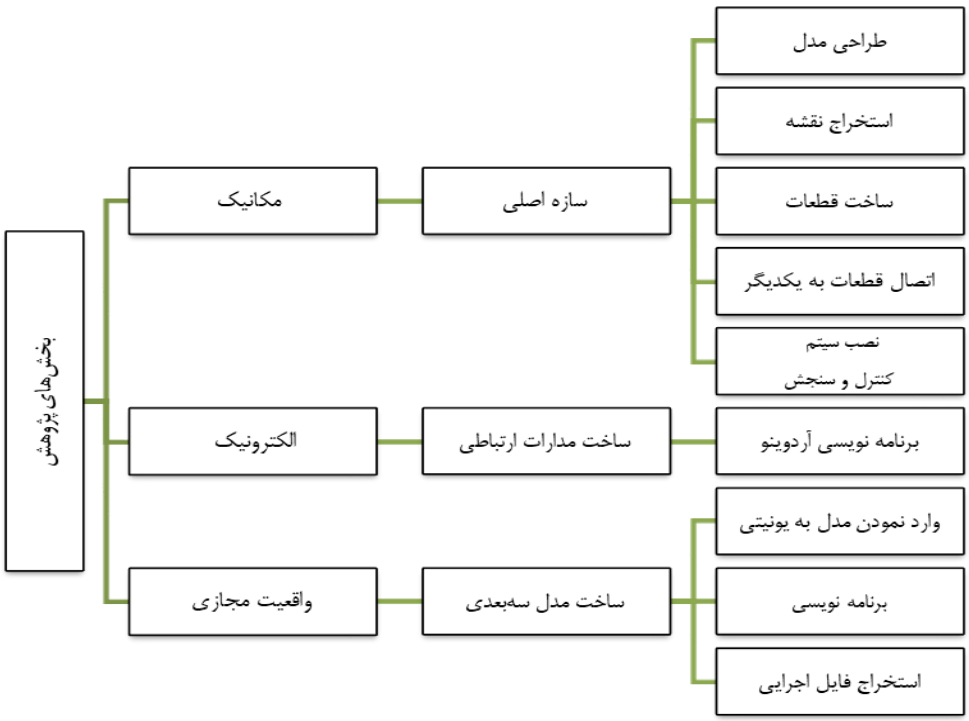
پس از تحقیقات میدانی، مراجعات کلینیکی، مشاوره و نیازسنجی، بر لزوم طراحی و تولید محصولی جهت توانبخشی در ناحیه مچ پا بیش از پیش توسط متخصصان تأکید گردید. این نیاز می‌تواند با استفاده از قابلیت تعاملی و ارتباطی یک مکانیزم حرکتی در محیط واقعی و حرکت مشابه در محیط واقعیت مجازی به بهترین شکل ممکن پاسخ داده شود. هدف از اجرای پژوهش حاضر را می‌توان دستیابی به یک مکانیزم

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-11-09]

کاربردی با قابلیت تعامل با محیط واقعیت مجازی در توانبخشی پایین تنه (مچ پا) به منظور کمک به بهبود سریع‌تر بیماران دانست. در راستای این هدف ابتدا مدل سخت‌افزاری و مکانیکی سیستم در نرم‌افزار سالیدورکس (SolidWorks) طراحی و سپس نمونه آزمایشگاهی با کمک متریال فولاد ساخته شد و در نهایت یک محیط واقعیت مجازی، پس از مدل‌سازی در نرم‌افزار تری‌دی‌مکس (3DMAX) و یونیتی طراحی گردید. همچنین به منظور سنجش میزان حرکات فرد در محیط واقعی و انتقال آن به محیط مجازی از یک پردازنده آردینو مدل مگا ۲۵۶۰ (MEGA2560) استفاده شد. یکی از مهم‌ترین بخش‌ها در پژوهش‌های مرتبط با واقعیت مجازی، همان طراحی محیط واقعیت مجازی و گرافیک به کار گرفته شده در این محیط و نحوه روش اجرای برنامه است که می‌تواند بین پژوهش‌های انجام شده اختلاف به وجود آورد. ضمن این که سادگی مکانیزم مکانیکی و نحوه تشخیص و اندازه‌گیری حرکات نیز در این پژوهش مهم و قابل توجه است.

روش

مطالعه پژوهشی حاضر در سه بخش مکانیک، الکترونیک و واقعیت مجازی انجام شد و وضعیت استفاده از مکانیزم حرکتی و ارتباط بین سخت‌افزار مکانیکی با محیط واقعیت مجازی مورد ارزیابی قرار گرفت. در بخش مکانیک ابتدا روش‌ها و مکانیزم‌های مورد نظر جهت استفاده راحت‌تر کاربر در نظر گرفته شد تا علاوه بر سادگی در استفاده، بتوان درجات آزادی مطلوب در ناحیه مچ پا را پوشش داد. در قسمت الکترونیک نیز این مهم با استفاده از مدارات الکترونیکی و سنسور جایرو در نظر گرفته شد تا بتوان با نصب سنسور جایرو بر روی مچ پای فرد، سطح و اندازه حرکات را در محیط واقعی سنجیده و به محیط واقعیت مجازی انتقال داد. در راستای ایجاد جذابیت گرافیکی، محیط واقعیت مجازی با هدف ارتباط با بخش الکترونیک و تبدیل داده‌های ورودی به یک حرکت مجازی طراحی گردید. فرآیند کلی اجرای پژوهش در شکل ۱ نمایش داده شده است.

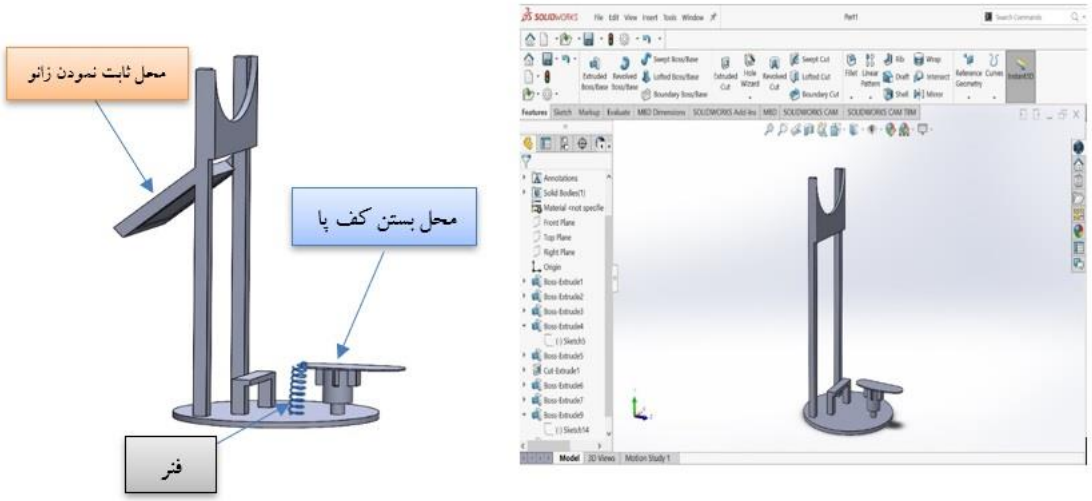


شکل ۱: فرآیند اجرای پژوهش

بخش مکانیک

با توجه به درجات آزادی ناحیه مچ پا (دو درجه) بایستی طراحی به گونه‌ای در نظر گرفته شود که هم بتوان تمام درجات آزادی را پوشش داد و هم به نوعی فرد در استفاده از ابزار طراحی شده هیچ‌گونه محدودیتی نداشته باشد. هم‌چنین کاربر با پوشیدن این ابزار و ثابت نمودن محل پای خود در قسمت ران، به راحتی بتواند حرکات مورد نظر در ناحیه مچ پا را اجرا نماید. در این پژوهش جهت طراحی مدل سه بعدی دستگاه از نرم‌افزار سالیدورکس استفاده شد (شکل ۲).

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-11-09]



شکل ۲: مدل طراحی شده در نرم‌افزار سالیدورکس

همان‌طور که در تصویر مشخص است (شکل ۳) با توجه به وضعیت قرارگیری مچ پا و نوع تمرین، نیاز به استفاده از یک فنر در مکانیزم ضروری است. این کار باعث برگشت صفحه متصل به کف پا به حالت اولیه شده و همچنین می‌تواند کاربر را در موقعیت اعمال نیروی بیشتر جهت انجام حرکات قرار دهد. در واقع با انتخاب فنر مناسب و قابلیت تنظیم مقاومت فنر، می‌توان شدت انجام حرکات و تمرین را بسته به نظر کار درمان تغییر داد. پس از طراحی مدل و استخراج نقشه‌های ساخت، مدل نهایی با استفاده از فولاد ساخته شد (شکل ۳). مکانیزم در حالت کلی از یک سازه اصلی تشکیل شده است که دارای محل قرارگیری و ثابت نگه داشتن زانوی کاربر است تا بتوان صرفاً حرکات بخش مچ پا را در نظر گرفت. پس از ثابت نمودن قسمت زانو، مچ پا در محل موردنظر قرار گرفته و با کمک بست‌های مربوطه به مفصل متحرک و دوار متصل می‌گردد. بر روی این مفصل متحرک دوار، یک سنسور جایرو متصل است که حرکات را دریافت و اندازه حرکات را به مدار الکترونیکی و پردازنده ارسال می‌نماید. در نهایت این حرکات به محیط واقعیت مجازی منتقل و متناسب با آن یک حرکت در این محیط اجرا می‌شود.



شکل ۳: نمونه آزمایشگاهی مدل ساخته شده

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-11-09]

بخش واقعیت مجازی

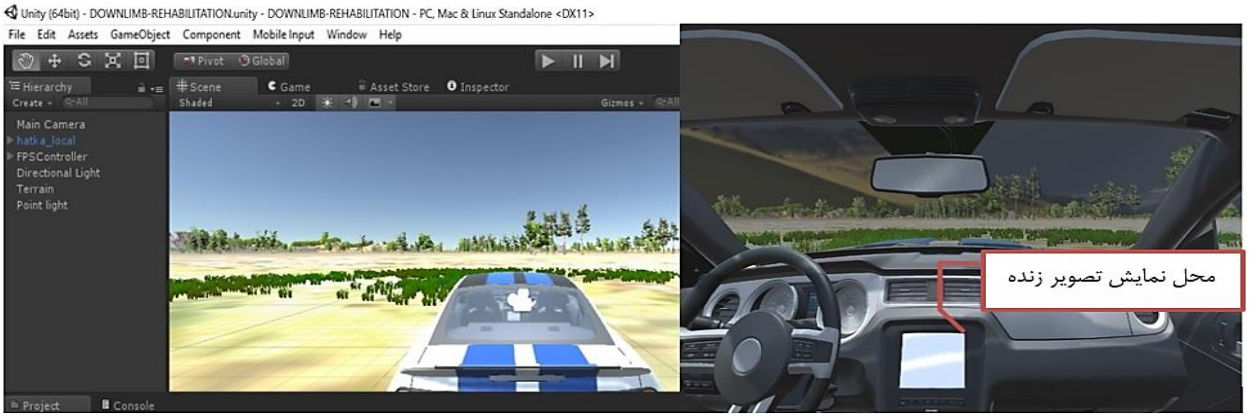
در بخش واقعیت مجازی بایستی شرایط محیطی و طراحی مدل‌ها به گونه‌ای باشد که گرافیک نهایی و تصویر استخراج شده به محیط واقعی نزدیک باشد. در این قسمت ابتدا مدل‌ها با توجه به تعریف و روش اجرای طرح در نظر گرفته شده، در نرم افزار تری‌دی‌مکس (3DMAX) طراحی و پس از استخراج وارد محیط نرم‌افزار یونیتی (5.3.5f1) گردید. سپس کدهای مورد نیاز به منظور شبیه‌سازی محیط گرافیکی موردنظر متناسب با رفتار هر مدل، نوشته شد و پس از آن فایل اجرایی با شکل ویندوز استخراج گردید.

موتور یونیتی قابلیت استخراج فایل اجرایی بر اساس سخت‌افزارهای متفاوتی را دارد و این قابلیت‌ها متناسب با نوع سخت‌افزار می‌تواند با تنظیمات اندازه صفحه نمایش یا شکل خروجی تصویر نمایشگر و همچنین امکان شبکه شدن بر اساس آدرس و سایر مزایای این نرم‌افزار به کار گرفته شود. در پروژه حاضر با توجه به نوع تحقیق و نمایشگر شکل خروجی ویندوز و نمایشگر رایانه در نظر گرفته شد و فایل اجرایی با دیتای مربوطه در یک پوشه برای اجرا بر روی هر رایانه تولید گردید (شکل ۴).



شکل ۴: شکل‌های خروجی نرم‌افزار یونیتی

در شکل ۵ محیط واقعیت‌مجازی طراحی شده در نرم‌افزار یونیتی نشان داده شده است. در طراحی این پروژه، کاربر می‌تواند با حرکت دادن مچ پای خود در شرایط واقعی، نسبت به جابه‌جایی مدل موجود در فضای محیط واقعیت مجازی اقدام نماید. هم‌چنین امکان نمایش تصویر زنده از طریق یک دوربین و ارسال بر روی نمایشگر محیط واقعیت مجازی یکی از تکنیک‌هایی است که با کمک کدنویسی در این پژوهش اجرا گردید. از لحاظ عملکردی، ارسال تصویر پزشک یا کار درمان، در حین اجرای فرآیند درمان می‌تواند تأثیر بسزایی در آموزش یا افزایش سطح روحی کاربر داشته باشد.

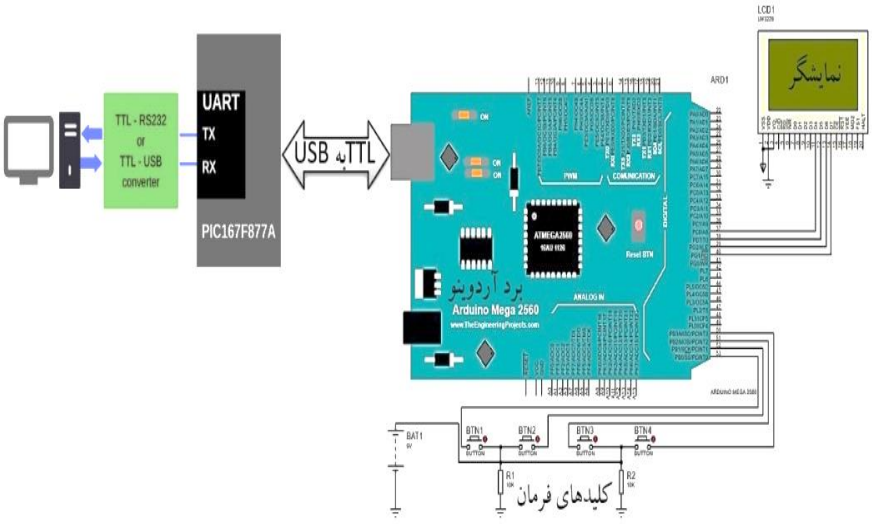


شکل ۵: تصویری از محیط واقعیت‌مجازی طراحی شده

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-11-09]

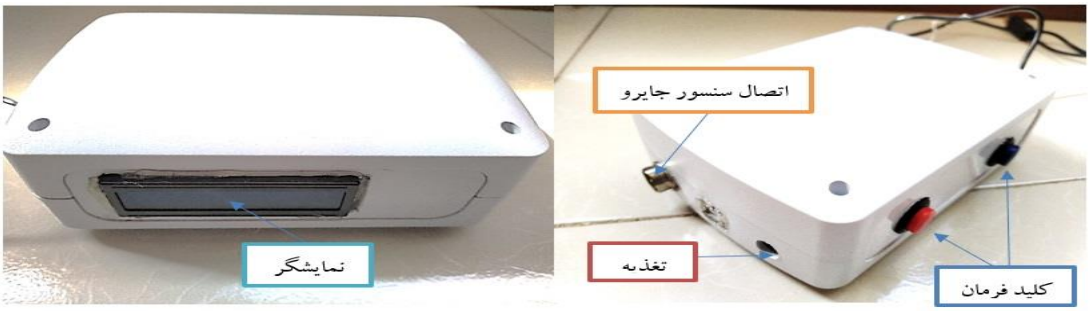
بخش الکترونیک

در این بخش که وظیفه اصلی پردازش سیگنال‌ها و اطلاعات ورودی و خروجی را بر عهده دارد از یک پردازنده آردوینو مدل ۲۵۶۰ (Arduino Mega2560) استفاده شد. این پردازنده با برخورداری از پایه‌های ورودی–خروجی متعدد، در بسیاری از پژوهش‌های تحقیقاتی و صنعتی به عنوان یک ابزار کاربردی ایفای نقش نموده و اساساً یکی از نقاط قوت این سخت‌افزار سرعت بالای پردازش در آن است. جهت اجرای فرامین از کلیدها و یک نمایشگر گرافیکی استفاده شد تا بتوان از وضعیت فرامین اجرایی مطلع گردید و جهت ارسال اطلاعات سنسور جایرو به پردازشگر، به دلیل نوع پروتکل ارتباطی از مبدل یواس‌بی (USB) به تی‌تی‌ال (TTL) استفاده شد.



شکل ۶: ساختار ورودی و خروجی سیستم

به منظور استفاده سریع‌تر کاربر، مجموعه قطعات در یک جعبه قرار گرفت که با نصب نمایشگر دیجیتال و کلیدها و تأمین یک منبع تغذیه شرایط جهت کاربردی نمودن این محصول فراهم شد (شکل ۷).



شکل ۷: جعبه کنترل و فرمان

همان‌طور که اشاره شد، به منظور سنجش سطح اندازه حرکت مچ پا از دو محور X و Y سنسور جایرو و شتاب‌سنج مدل MPU-6050 که یک سنسور سنجش حرکتی است استفاده شد. با توجه به وجود خطا در سنسور جایرو و ورود اطلاعات و داده‌های این سنسور به محیط برنامه‌نویسی واقعیت مجازی، بهینه‌سازی و بهبود سطح جابه‌جایی کاراکتر در این محیط، با کمک امکانات برنامه‌نویسی یونیتی انجام شد. ارزیابی و تحلیل حرکات کاربر در استفاده از تجهیز طراحی شده، پس از اتصال ماژول جایرو به برد آردوینو و در نهایت اتصال این پنل به رایانه و محیط مجازی صورت گرفت که بایستی متناسب با حرکات مچ پا، سطح حرکات محیط مجازی نیز تغییر می‌کرد.

با توجه به سناریو حرکت یک خودرو در محیط واقعیت مجازی و تحت کنترل کاربر در محیط واقعی، برخوردهای فیزیکی مدل متحرک در محیط یک پارامتر مهم می‌باشد. در

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-11-09]

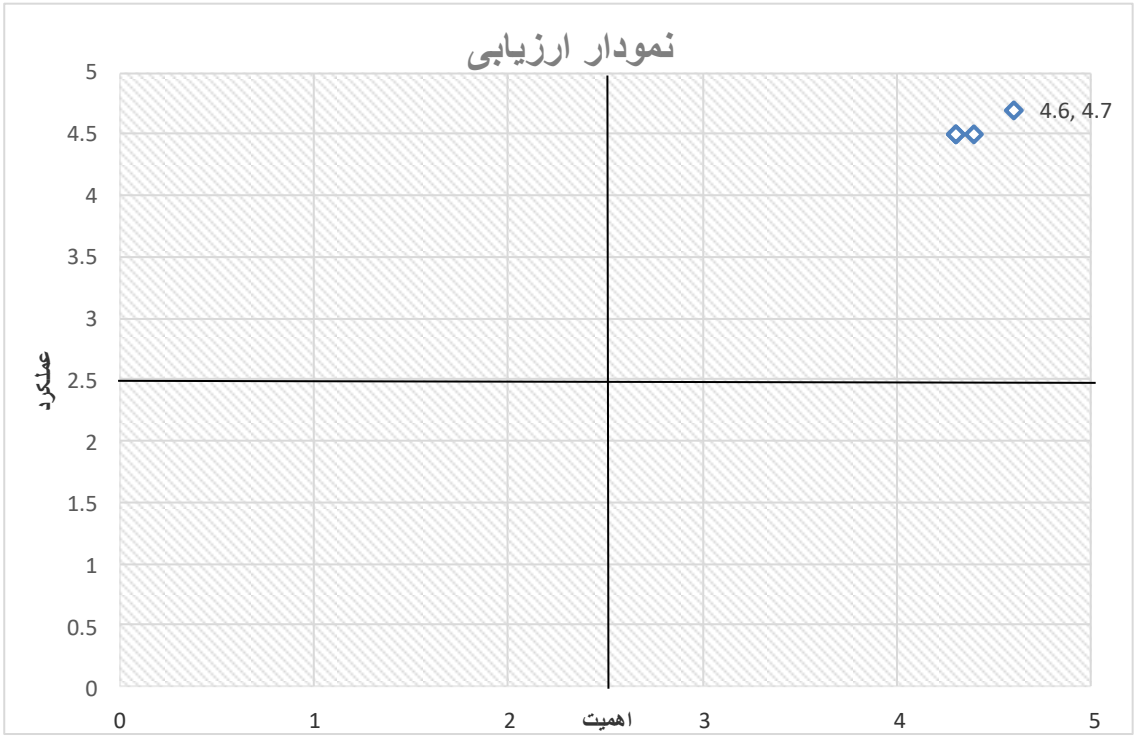
یونیتی قابلیت تعریف انواع برخوردهای فیزیکی با اشیاء موجود در محیط با استفاده از کدنویسی امکان‌پذیر است؛ لذا طراحی محیط با کمک ابزارهای موتور یونیتی به گونه‌ای انجام شد که کاربر بایستی یک مسیر نسبتاً مارپیچ را دنبال نماید تا به درخت و اشیاء موجود در محیط برخورد ننماید. در موتور برنامه‌نویسی یونیتی از زبان برنامه‌نویسی جاوا (Java) یا سی‌شارپ (C#) استفاده شده است که با نوشتن کدهای مورد نیاز برخورد مدل محرک با اشیاء تعریف و متناسب با هر برخورد یک هشدار صوتی پخش می‌شود.

نتایج

با توجه به نوع پژوهش، نتایج این روش نشان می‌دهد واقعیت مجازی با توجه به نوع گرافیک و جذابیت موجود می‌تواند نقش بسزایی در افزایش رغبت کاربران به استفاده از این فناوری در موضوعات مختلفی از جمله درمان داشته باشد. نوآوری‌های این پژوهش شامل طراحی یک محیط واقعیت مجازی و مکانیزم حرکتی مرتبط است که پس از ارزیابی‌های انجام شده، افزایش سطح رغبت کاربران به استفاده از این روش درمانی مشاهده شد و نتایج مطلوبی را به همراه داشت. مطالعه و ارزیابی در سه بخش مکانیک، الکترونیک و واقعیت مجازی بروی پنج نفر با مشکلات حرکتی در ناحیه مچ پا (دارای حداقل توانایی در جابجایی صفحات مکانیکی متصل به مچ پا) و طی ۱۰ جلسه انجام شد.

با توجه به این که فرآیند پژوهش برای سنجش حرکت یا تشخیص حرکت می‌باشد، سنسور بایستی تشخیص دهد که مچ پای بیمار به کدام جهت (جلو، عقب، چپ یا راست) حرکت نموده است که این تحلیل و تشخیص، در حرکت دادن خودروی موجود در محیط واقعیت‌مجازی مورد استفاده قرار گرفت.

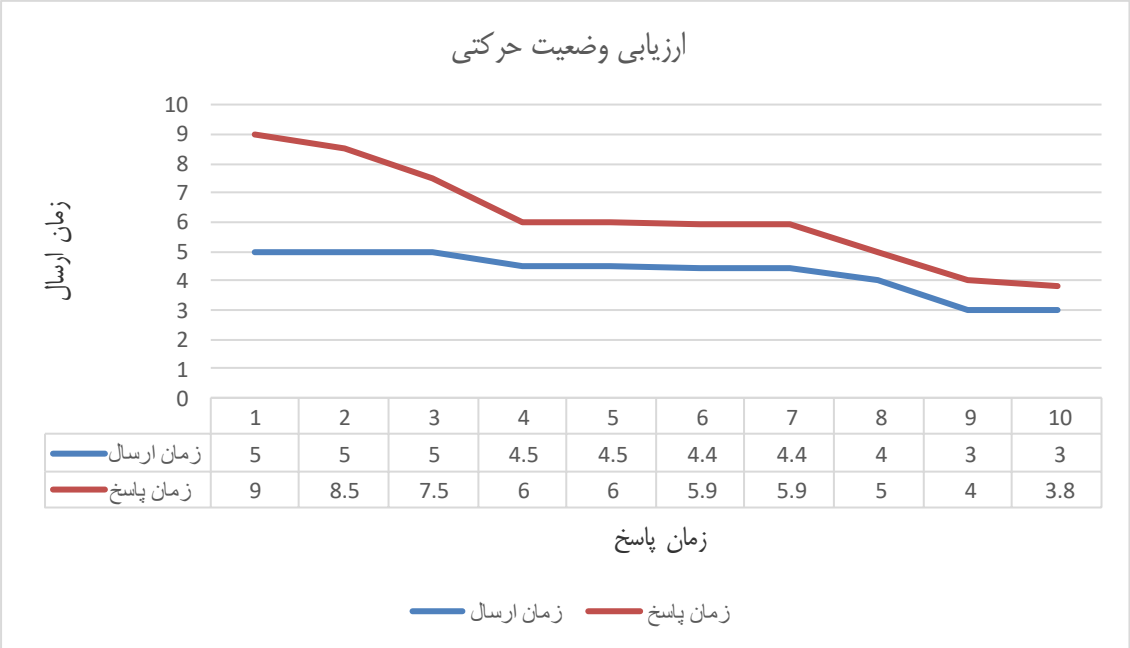
ارزیابی و بررسی سیستم ارائه شده بر اساس دو شاخصِ عملکرد و اهمیت سنجیده شد که در بخش اهمیت و عملکرد از معیار ارزیابی مارتیلا و جیمز استفاده گردید [۱۹]. اصولاً در معیار مارتیلا و جیمز چهار ناحیه مجزا وجود دارد که ناحیه اول دارای رضایت و اهمیت بالا و ناحیه دوم شامل رضایت کم و اهمیت زیاد است. ناحیه سوم نیز اهمیت کم و رضایت کم و در نهایت ناحیه چهارم اهمیت کم و رضایت زیاد را شامل می‌شود. بر اساس این معیار می‌توان میزان رضایت کاربر از کاربردی بودن محصول و خدمات ارائه شده را سنجید و علاقه یا عدم تمایل به ادامه دادن فرآیند درمان را مورد ارزیابی قرار داد.



شکل ۸: نمودار ارزیابی سطح رضایت‌مندی

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-11-09]

همچنین با توجه به ماهیت دستگاه و وجود تجهیزات الکترونیکی، در ارزیابی حرکات از معیار واکنش زمانی بین ارسال و دریافت از سطح مطلوبِ ۱۰ میلی‌ثانیه استفاده شد که با اصلاحات انجام شده در برنامه‌نویسی و کاهش تعداد کدهای موجود در بخش یونیتی و آردوینو این زمان به طور نسبی به میزان مطلوب نزدیک شد. نمودار ۹ به نوعی نمایش دهنده تأثیر تأخیر، در فعالیت فیزیکی کاربر و اجرای حرکت در محیط مجازی است که به سخت‌افزار رایانه از جمله کارت گرافیکی مرتبط است.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
زمان ارسال	5	5	5	4.5	4.5	4.4	4.4	4	3	3
زمان پاسخ	9	8.5	7.5	6	6	5.9	5.9	5	4	3.8

شکل ۹: نمودار ارزیابی و سنجش نسبیِ بهبود زمان ارسال و دریافت

نتایج به دست آمده در این پژوهش را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

۱-اصولاً بایستی برنامه‌نویسی و طراحی‌های انجام شده با هدف راحتی در استفاده کاربر و متخصص انجام گردد به این معنی که تغییر زوایای دوربین و یا جابه‌جایی و تنظیمات ساده باشد.

۲-مکانیزم ساخته شده و نوع فنر مورد استفاده قرار گرفته در این پژوهش بایستی متناسب با سطح و وضعیت حرکتی بیمار قابلیت تغییر داشته باشد و بتوان به نسبت پیشرفت بیمار این فنر را تغییر داد تا سطح نیروی لازم جهت جابه‌جایی مکانیزم افزایش یا کاهش یابد. فنر استفاده شده در این پژوهش یک فنر کششی با قابلیت تغییر طول تا سه سانتی‌متر است که در حالت ابتدایی در وضعیت نرمال قرار دارد و پس از شروع تمریناتِ کاربر و فشار بر روی صفحه مربوطه، فنر در وضعیت کششی قرار می‌گیرد که متناسب با این وضعیت، کاربر بایستی از طریق ناحیه مچ پا نیروی بیشتری را جهت جابه‌جایی صفحه و در نهایت جابه‌جایی کارکتر در محیط واقعیت مجازی اعمال نماید. متناسب با میزان پیشرفت کاربر می‌توان از فنرهای دیگری با قطر و ضخامت بیشتر استفاده نمود.

۳-کدنویسی و زمان تأخیر در بازخوردگیری از سیستم مهم بوده و بایستی حداقل تعداد خطوط و کمترین زمان تأخیر را در برنامه‌نویسی استفاده نمود.

۴-به منظور ارزیابی وضعیت کیفی سیستم از معیار مارتیلا و جیمز استفاده شد که نشان دهنده این مهم بود که به کارگیری این سیستم توانست نتایج مطلوبی را در افزایش رغبت کاربران به استفاده مجدد از تجهیزات داشته باشد.

۵-با توجه به ارتباط بین سخت‌افزار و نرم‌افزار بدیهی است که تأخیراتی در فرآیند فرمان تا اجرا وجود دارد که با هدف کاهش این تأخیرات طی چند مرحله آزمایش، این تأخیرات با کاهش تعداد خطوط کدهای نوشته شده یا تغییر در نوع کدها و فرامین بهبود یافت.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از اجرای این پژوهش، طراحی یک مکانیزم حرکتی و

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-11-09]

محیط واقعیت مجازی جهت توانبخشی ناحیه مچ پا بود. ابتدا یک مکانیزم حرکتی غیرفعال طراحی و ساخته شد و سپس در نرم‌افزار یونیتی، محیط واقعیت مجازی متناسب با الگوی حرکتی، طراحی و بر اساس سیستم عامل ویندوز خروجی نرم‌افزاری تهیه شد. ارتباط بین محیط واقعی (مکانیزم حرکتی ساخته شده) و محیط واقعیت مجازی از طریق برنامه‌نویسی و ساخت یک پنل کنترل هوشمند با کمک برد آردوینو برقرار شد. محدودیت‌های پژوهش را می‌توان به‌نوعی وابسته به دسته‌بندی بیماران دانست چراکه بایستی با توجه به سطح توانمندی حرکت بیمار در ناحیه مچ پا، نوع فنر و اندازه حرکت تغییر نماید. با توجه به ماهیت پژوهشِ اجرایی، می‌توان دستیابی به دانش بومی و تخصصی فناوری طراحی محیط واقعیت مجازی را از دستاوردهای مهم این پژوهش دانست. قابلیت استفاده از این فناوری در مکان‌هایی به غیر از کلینیک یکی از امتیازات این فناوری نوین است که می‌تواند در افزایش سطح تمایل کاربر به استفاده از این تجهیزات بسیار اثرگذار باشد. هم‌چنین سادگی در مکانیزم ساخته شده و هزینه پایین آن می‌تواند در افزایش رغبت به استفاده از این فناوری مؤثر واقع گردد. ارزیابی مکانیزم مکانیکی طراحی شده در محیط واقعی به دلیل ساده بودن در استفاده توانست نقش اساسی را در ارتباط کاربر با محیط واقعیت مجازی ایفاء نماید. ساخت پنل کنترل و فرمان جهت تغییر زوایای دید کاربر و دریافت و ارسال اطلاعاتِ سنسورهای متصل به بخش فیزیکی باعث شد که کاربر بتواند به راحتی از این تجهیز استفاده نماید.

با دستیابی به این دانش، بخش بزرگی از بیماران می‌توانند از قابلیت‌های ویژه این محصول در فرآیند توانبخشی بهره‌مند شوند. همچنین ماهیت گرافیکی محصول می‌تواند تأثیرات روحی مناسبی در حین استفاده از این فناوری داشته باشد. از دیگر قابلیت‌های این فناوری با توجه به ابعاد و اندازه کوچک آن، می‌توان به امکان انجام فرآیند درمان در منزل اشاره نمود. همچنین با توجه به ساده بودن مکانیزم کاربردی، می‌توان به استفاده از این فناوری در نقاط کمتر برخوردار به خصوص مراکز درمانی روستایی امیدوار بود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تأثیر واقعیت مجازی بر روند اجرای یک فعالیت درمانی، مؤثر و یکی از نقاط قوت درمان محسوب می‌گردد. تأثیر و جذابیت کاربردی و گرافیکی پژوهش حاضر بر اساس معیار مارتیلا و جیمز مورد ارزیابی قرار گرفت که تمام ۵ کاربر شرکت‌کننده در ارزیابی، نمره مناسبی را به کاربردی بودن تجهیز دادند. در این ارزیابی نتایج بر اساس اهمیت و عملکرد مورد سنجش قرار گرفت و ترغیب کاربران به ادامه فرآیند یا استفاده از تجهیزات در جلسه بعدی مطلوب بود. هم‌چنین با توجه به استفاده از تجهیزات الکترونیکی در سنجش و انتقال وضعیت حرکت، نقش کدنویسی و تعداد خطوط برنامه نوشته شده در ایجاد تأخیر بین حرکت انجام شده در محیط واقعی و اجرای حرکتی متناسب با آن، در محیط واقعیت مجازی بسیار مهم بود که با کاهش تعداد خطوط سعی در رفع این تأخیرات شد. با توجه به تأیید توسط متخصصان حوزه توانبخشی، این محصول برای بخشی از بیماران دچار آسیب در ناحیه مچ پا محصولی کاملاً کاربردی است. همچنین با توجه به سادگی در استفاده و ارسال بازخورد بصری مناسب به کاربر، قابلیت به کارگیری در مراکز درمان روستایی و منازل را ایجاد می‌کند.

تعارض منافع

نویسندگان با یکدیگر تعارض منافع نداشتند.

References

1. Kim TH, Yoon JS, Lee JH. The effect of ankle joint muscle strengthening training and static muscle stretching training on stroke patients' Cop sway amplitude. Journal of Physical Therapy Science 2013;25(12):1613-6.

2. Jeon SN, Choi JH. The effects of ankle joint strategy exercises with and without visual feedback on the dynamic balance of stroke patients. Journal of Physical Therapy Science 2015;27(8):2515-8.

3. Kitano Y, Tanzawa T, Yokota K. Development of wearable rehabilitation device using parallel link mechanism: rehabilitation of compound motion combining palmar/dorsi flexion and radial/ulnar deviation. Robomech Journal 2018;5(1):1-8.

4. Xiao F, Gao Y, Wang Y, Zhu Y, Zhao J. Design of a wearable cable-driven upper limb exoskeleton based on epicyclic gear trains structure. Technology and Health Care 2017;25(S1):3-11. doi: 10.3233/THC-171300

5. Kim H, Shin YJ, Kim J. Design and locomotion control of a hydraulic lower extremity exoskeleton for mobility augmentation. Mechatronics 2017;46:32-45.

6. Mazuryk T, Gervautz M. History, applications, technology and future. Virtual Reality; 1996. p.72.

7. Mandal S. Brief introduction of virtual reality & its challenges. International Journal of Scientific & Engineering Research 2013;4(4):304-9.

8. Eslami M, Mokhtarian A, Pirmoradian M, Seifzadeh SA, Rafiaei SM. Designing and creating a virtual reality environment and a wearable glove with control and evaluation capability to rehabilitate patients. Journal of Health and Biomedical Informatics 2020;7(2):161-70. [In Persian]

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-11-09]

9. Eslami M, Pirmoradian M, Mokhtarian A, Seifzadeh SA, Rafiaei SM. Investigating the Effect of Virtual Reality Environment and Intelligent Control Panel on the Rehabilitation of Upper Limb. Journal of Health and Biomedical Informatics 2020;7(3):293-303.
10. Getso MM, Bakon KA. Virtual reality in education: the future of learning. International Journal of Information System and Engineering 2017;5(2):30-9. doi: 10.24924/ijise/2017.04/v5.iss2/30.39
11. Frisoli A, Bergamasco M, Carboncini MC, Rossi B. Robotic assisted rehabilitation in virtual reality with the L-EXOS. InAdvanced Technologies in Rehabilitation. IOS Press; 2009. p. 40-54.
12. Boian R, Sharma A, Han C, Merians A, Burdea G, Adamovich S, et al. Virtual reality-based post-stroke hand rehabilitation. Medicine Meets Virtual Reality. IOS Press; 2002. p. 64-70. doi: 10.3233/978-1-60750-929-5-64
13. de Rooij IJ, van de Port IG, Visser-Meily J, Meijer JW. Virtual reality gait training versus non-virtual reality gait training for improving participation in subacute stroke survivors: study protocol of the ViRTAS randomized controlled trial. Trials 2019;20(1):1. https://doi.org/10.1186/s13063-018-3165-7
14. Gómez-Espinosa A, Espinosa-Castillo N, Valdés-Aguirre B. Foot-mounted inertial measurement units-based device for ankle rehabilitation. Applied Sciences 2018;8(11):2032.
15. Kutlu M, Freeman CT, Hallewell E, Hughes AM, Laila DS. Upper-limb stroke rehabilitation using electrode-array based functional electrical stimulation with sensing and control innovations. Medical Engineering & Physics 2016;38(4):366-79.
16. Polygerinos P, Galloway KC, Savage E, Herman M, O'Donnell K, Walsh CJ. Soft robotic glove for hand rehabilitation and task specific training. IEEE international conference on robotics and automation (ICRA) 2015 May 26; Seattle, WA, USA: IEEE; 2015. p. 2913-19. doi: 10.1109/ICRA.2015.7139597
17. Eslami M, Mokhtarian A, Pirmoradian M, Seifzadeh A, Rafiaei M. Design and fabrication of a passive upper limb rehabilitation robot with adjustable automatic balance based on variable mass of end-effector. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 2020;42(12):1-8.
18. Moulaei K, Malek M, Sheikhtaheri A. A smart wearable device for monitoring and self-management of diabetic foot: a proof of concept study. International Journal of Medical Informatics 2021;146:104343. https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2020.104343
19. Silva FH, Fernandes PO. Importance-performance analysis as a tool in evaluating higher education service quality: the empirical results of ESTiG (IPB). 17th International Business Information Management Association Conference 2011. Milan, Italy: University of Pavia; 2011. p. 306-15.

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-11-09]

Original Article

Journal of Health and Biomedical Informatics
Medical Informatics Research Center
2022; 9(1): 1-11

Evaluation of a Virtual Reality-Based Wearable Device for Patients with Ankle Movement Disorders

Eslami Majid[1]*, Mousavian Iman[2], Eskandari Farsani Farideh[3], Dadgostar Reyhane[3], Asadollahi Mohamad[3], Rahimi Negar[3], Hatami Atefeh[3], Mohammadkhani Samaneh[3]

• **Received:** 4 Mar 2022 • **Accepted:** 29 May 2022

Introduction: Rehabilitation is one of the priorities that should be performed on patients with stroke injuries or accidents leading to disability. This study aimed to evaluate the equipment and designed virtual reality environment to improve the treatment of patients with mobility problems in the lower torso (ankle).

Method: The research consisted of three basic parts. In the section of mechanics, a movement mechanism was developed after design, and with the help of electronic equipment and Arduino (1.18.5), movements were measured. And finally, by designing a virtual reality environment in Unity software, communication with hardware, processors, and sensors was provided.

Results: Paying attention to graphic attractiveness and encouraging users to reuse the virtual reality system is one of the desirable results of this project, which can be effective in motivating users. In addition, considering the existence of distance and time of movement in a virtual reality environment, which depends on the user's movements in the real environment, it is possible to intelligently assess the patient's progress based on the number of sessions and distance traveled.

Conclusion: Virtual reality-based rehabilitation methods can have a good effect on the treatment process due to the graphic attractiveness in this environment, and along with other rehabilitation methods, can be effective in faster recovery of people who need rehabilitation services. This method can help patients return to normal living conditions and reduce the time of this process.

Keywords: Virtual Reality, Unity, Motion Sensor, Ankle Rehabilitation, Arduino

• **Citation:** Eslami M, Mousavian I, Eskandari F, Dadgostar R, Asadollah M, Rahimi N, et al. Evaluation of a Virtual Reality-Based Wearable Device for Patients with Ankle Movement Disorders. Journal of Health and Biomedical Informatics 2022; 9(1): 1-11. [In Persian]

1. Ph.D. in Mechanical Engineerin, Department of Biomedical Engineering, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University, Khomeinishahr/Isfahan, Iran
2. Ph.D. in Biomedical Engineering, Assistant Professor, Department of Biomedical Engineering, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University, Khomeinishahr/Isfahan, Iran
3. BSc Student of Biomedical Engineering, Department of Biomedical engineering, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University, Khomeinishahr/Isfahan, Iran

***Corresponding Author**: Majid Eslami
Address: Islamic Azad University, Khomeinishahr/Isfahan, Iran
• **Tel:** 03133660012 • **Email:** Majid.eslami@iaukhsh.ac.ir

[Downloaded from jhbmi.ir on 2026-11-09]