

طراحی و بهینه‌سازی حسگرهای پیزوالکتریک برای کاربرد در کفش‌های هوشمند

تارخ طاهری طباطبائی^۱ / روح‌اله باقرزاده^۱ / علی اکبر مراتی^۱ / امیررضا علیزاده مقدم^۱



چکیده

در این پژوهش، طراحی و ارزیابی حسگرهای پیزوالکتریک برای استفاده در کفش‌های هوشمند مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی، توسعه حسگرهایی با دقت و کارایی بالا جهت اندازه‌گیری نیروهای مکانیکی تحت شرایط فیزیکی مختلف بوده است. این مطالعه با نصب حسگرهای پیزوسرامیکی و الکتروریسی شده $PVDF-TiO_2$ در نقاط مختلف کفش و انجام آزمایش‌های متعدد به نتایج ارزشمندی دست یافت. نتایج نشان داد که حسگرهای پیزوسرامیکی به دلیل تولید ولتاژ بالاتر و دقت بیشتر، برای کاربردهایی که نیازمند اندازه‌گیری‌های حساس هستند مناسبند. از سوی دیگر، حسگرهای الکتروریسی شده با داشتن انعطاف‌پذیری بالا و قابلیت تحمل بارهای سبک، برای طراحی کفش‌های سبک و راحت مطلوب به نظر می‌رسند. این تحقیق می‌تواند گامی مؤثر در مسیر توسعه نسل جدیدی از کفش‌های هوشمند با عملکرد دقیق‌تر و تطبیق‌پذیری بیشتر باشد و برای استفاده در زمینه‌های مختلف ورزشی و پزشکی نیز مناسب است.

۱- مقدمه

در دنیای امروز، با پیشرفت سریع فناوری‌های پوشیدنی، کفش‌های هوشمند به عنوان یکی از نوآوری‌های قابل توجه در بهبود کیفیت زندگی و ارتقای ایمنی فردی مورد توجه قرار گرفته‌اند. این کفش‌ها با ترکیب طراحی‌های ارگونومیک، فناوری‌های پیشرفته حسگرها و تحلیل داده‌ها، امکاناتی فراتر از پوشش ساده پا ارائه می‌دهند. از پایش حرکات بدن گرفته تا نظارت بر وضعیت سلامتی، کفش‌های هوشمند موفق شده‌اند جایگاه ویژه‌ای در حوزه‌های مختلفی از جمله ورزش، توانبخشی، و مراقبت از سالمندان پیدا کنند. یکی از اجزای اصلی این کفش‌ها حسگرهای پیشرفته‌ای هستند که قادر به شناسایی و اندازه‌گیری دقیق نیروهای مکانیکی



وارد بر پا می‌باشند.

حسگرهای پیزوالکتریک، که می‌توانند نیروهای مکانیکی را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل کنند، در این راستا نقش کلیدی ایفا می‌کنند. این حسگرها با دقت بالا قادرند اطلاعاتی از جمله الگوهای حرکت، میزان فشار و شدت نیروهای وارده را ثبت کنند و این اطلاعات می‌تواند برای پیشگیری از آسیب‌ها، تحلیل عملکرد ورزشی، و حتی ارائه توصیه‌های بهبود دهنده در فعالیت‌های روزمره استفاده شود.

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی عملکرد حسگرهای پیزوالکتریک در کفش‌های هوشمند انجام شده است. در این مطالعه، دو نوع حسگر شامل حسگرهای پیزوسرامیکی و حسگرهای الکترورسی شده $PVDF-TiO_2$ بررسی شده‌اند. انتخاب این حسگرها بر اساس ویژگی‌های خاص آنها از جمله حساسیت، انعطاف‌پذیری و توانایی تحمل شرایط مختلف محیطی صورت گرفته است. علاوه بر شناسایی مزایا و محدودیت‌های این حسگرها، این تحقیق به دنبال تعیین بهترین موقعیت برای نصب آنها در کفش و ارائه راهکارهایی برای بهینه‌سازی عملکرد سامانه کفش هوشمند است. نتایج این پژوهش می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای طراحی نسل جدید کفش‌های هوشمند ارائه دهد و به توسعه محصولات با دقت بیشتر و تطبیق‌پذیری بالاتر در حوزه‌های ورزشی، پزشکی و زندگی روزمره کمک کند.

این مطالعه همچنین دیدگاه‌های جدیدی در خصوص امکان برداشت انرژی مکانیکی و افزایش کارایی سامانه‌های پوشیدنی ارائه می‌دهد که می‌تواند مسیر پژوهش‌های آینده را هموارتر سازد.

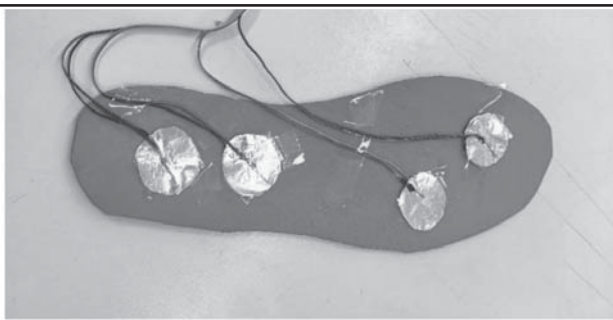
۲- مواد و روش‌ها

در این بخش به مواد و روش‌های مورد استفاده در پژوهش اشاره شده است.

۲-۱- مواد مورد استفاده

برای انجام این پژوهش، از دو نوع حسگر پیزوالکتریک استفاده شد: حسگرهای پیزوسرامیکی سکه‌ای و حسگرهای الکترورسی شده $PVDF-TiO_2$.

*حسگرهای پیزوسرامیکی: این حسگرها به دلیل ساختار سرامیکی خود دارای حساسیت بسیار



شکل ۱. چینش حسگرها الکترورسی شده $PVDF-TiO_2$ در کفی کفش

بالا هستند و توانایی تولید ولتاژهای خروجی بالا را دارند. از ویژگی‌های دیگر آنها می‌توان به پایداری مکانیکی و حرارتی بالا اشاره کرد که استفاده از آنها را در شرایط سخت محیطی ممکن می‌سازد

*حسگرهای $PVDF-TiO_2$: این حسگرها با استفاده از روش الکترورسی تولید شده‌اند و به دلیل وزن سبک، انعطاف‌پذیری بالا، و تطبیق‌پذیری مکانیکی، برای کاربردهای پوشیدنی مناسب است. همچنین حضور نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم در ساختار این حسگرها باعث بهبود خواص الکتریکی آنها شده است.

این حسگرها به عنوان گزینه‌ای مناسب برای طراحی سامانه‌های انعطاف‌پذیر و سبک در کفش‌های هوشمند انتخاب شدند.

۳-۲- شاخصه‌های مورد ارزیابی

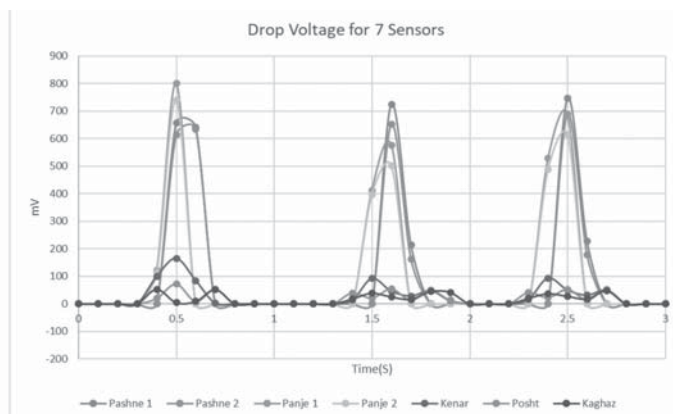
*ولتاژ خروجی: میزان ولتاژ تولیدی حسگرها در پاسخ به نیروهای مکانیکی وارد شده.

*پایداری: توانایی حسگرها در حفظ عملکرد خود در طول زمان و در شرایط مختلف محیطی مانند تغییر دما و رطوبت.

*انعطاف‌پذیری و تطبیق‌پذیری: قابلیت استفاده

۲-۲- روش آزمایشگاهی

*نقاط نصب حسگرها: حسگرها در چهار نقطه کلیدی کفش نصب شدند که شامل دو نقطه در ناحیه پاشنه و دو نقطه در ناحیه پنجه بود (شکل ۱) این نقاط بر اساس میزان فشار و نیروی وارد بر



شکل ۱. نمودار ولتاژ حسگرهای پیزوالکتریک سکه‌ای در شرایط سقوط از ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر



دهد. این موضوع به دلیل میزان تماس بیشتر این نقاط با زمین و نیروهای مکانیکی وارد شده است. طراحی بهینه جایگاه حسگرها می‌تواند دقت سامانه کفش هوشمند را به طور قابل توجهی افزایش دهد و تجربه کاربری بهتری ارائه دهد.

بر اساس نتایج این پژوهش، ترکیب حسگرهای پیزوسرامیکی و $PVDF-TiO_2$ می‌تواند منجر به طراحی کفش‌های هوشمندی شود که هم دقت بالا و هم راحتی بیشتری ارائه می‌دهند. در تحقیقات آینده، بررسی مواد جدید و استفاده از نانوکامپوزیت‌ها می‌تواند به بهبود ویژگی‌های حسگرها کمک کند.

علاوه بر این، ادغام سامانه‌های بی‌سیم و فناوری‌های اینترنت اشیا (IoT) می‌تواند امکان پایش داده‌ها در زمان واقعی و تحلیل پیشرفته‌تر را فراهم کند. همچنین این، تحقیق در مورد دوام و عمر مفید حسگرها در شرایط واقعی می‌تواند به بهبود بیشتر این فناوری‌ها منجر شود.

این بحث جامع، تصویری واضح از نقاط قوت و محدودیت‌های حسگرها ارائه می‌دهد و مسیرهای جدیدی برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌کند.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که ترکیب حسگرهای پیزوسرامیکی و $PVDF-TiO_2$ می‌تواند در طراحی و توسعه کفش‌های هوشمند نقش بسزایی ایفا کند.

حسگرهای پیزوسرامیکی برای کاربردهای نیازمند دقت بالا و حسگرهای الکترورسی‌شده برای طراحی‌های سبک و منعطف مناسبند. همچنین جایابی مناسب حسگرها در نواحی کلیدی کفش می‌تواند دقت و عملکرد سامانه را به طور چشمگیری بهبود بخشد.

یافته‌های این تحقیق می‌تواند به توسعه فناوری‌های پوشیدنی در زمینه‌های ورزشی، پزشکی، و زندگی روزمره کمک کنند.

در نهایت، این مطالعه پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده، از جمله بررسی مواد جدید و ارزیابی عملکرد حسگرها در شرایط پیچیده‌تر ارائه می‌دهد.

پی‌نوشت:

۱- دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

پایداری عملکرد در دماهای مختلف و مقاومت در برابر تغییرات محیطی، گزینه مناسبی برای استفاده در کفش‌های هوشمند محسوب می‌شوند.

اگرچه ولتاژ خروجی حسگرهای $PVDF-TiO_2$ کمتر از حسگرهای پیزوسرامیکی بود (در محدوده ۰/۸ تا ۲/۲ ولت) اما انعطاف‌پذیری و وزن سبک آنها مزایای چشمگیری را ارائه داد.

این حسگرها در شرایطی که نیروهای مکانیکی کمتر و متناوب اعمال می‌شدند، عملکرد مطلوبی داشتند و توانستند داده‌های دقیق و سازگاری بیشتری با طراحی کفش‌های سبک ارائه دهند.

همچنین، این حسگرها در حالت‌های راه رفتن معمولی و دویدن معمولی عملکردی پایدار و قابل اعتماد داشتند. نمودار ولتاژ در برابر زمان برای حالت سقوط از ارتفاع ۵۰ سانتیمتری در شکل ۲ آورده شده است.

بررسی‌ها نشان داد که نقاط پاشنه و پنجه کفش بهترین مکان‌ها برای نصب حسگرها هستند. این نقاط، به دلیل تماس بیشتر با سطح زمین و تحمل نیروهای فشاری بالاتر، داده‌های دقیق‌تر و قابل اعتمادتری تولید کردند.

حسگرهای نصب‌شده در ناحیه پاشنه توانستند نیروهای شدیدتر مانند سقوط و دویدن را با دقت بیشتری ثبت کنند، در حالی که حسگرهای نصب‌شده در ناحیه پنجه در تحلیل حرکات ملایم‌تر مؤثر بودند.

جایابی مناسب حسگرها در کفش، نقش بسیار مهمی در دقت داده‌ها و کارایی سامانه دارد. نتایج این تحقیق نشان داد که نصب حسگرها در نواحی پاشنه و پنجه می‌تواند بهترین خروجی‌ها را ارائه



از حسگرها در طراحی‌های متنوع و سازگاری آنها با ساختار کفش.

***دقت داده‌ها:** میزان صحت و دقت داده‌های جمع‌آوری‌شده توسط حسگرها در شرایط مختلف.

۲-۴- روش‌های تحلیلی

***تحلیل آماری داده‌ها:** داده‌های ثبت‌شده با استفاده از نرم‌افزار متلب پردازش و تحلیل شدند. تحلیل‌ها شامل مقایسه ولتاژ خروجی حسگرها در شرایط مختلف و ارزیابی میزان انحراف داده‌ها بود. ***شبیه‌سازی عملکرد حسگرها:** برای ارزیابی دقیق‌تر عملکرد حسگرها، از مدل‌سازی و شبیه‌سازی عددی استفاده شد.

این شبیه‌سازی‌ها به درک بهتر رفتار حسگرها در شرایط مختلف و بهینه‌سازی جایابی آنها در کفش کمک کرد.

۲-۵- طراحی و ساخت نمونه اولیه

در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش برای ساخت یک نمونه اول به کفش هوشمند استفاده شد.

این نمونه اولیه شامل حسگرهای انتخاب‌شده و سامانه پایش داده‌ها بود که توانایی ثبت و تحلیل داده‌های حرکتی در زمان واقعی را داشت. سامانه طراحی شده به گونه‌ای بود که بتواند داده‌های حسگرها را به صورت بی‌سیم به دستگاه‌های خارجی منتقل کند.

این روش‌شناسی جامع امکان ارزیابی دقیق مزایا و محدودیت‌های حسگرهای مورد استفاده را فراهم کرد و زمینه‌ساز بهبود طراحی سامانه‌های آینده است.

۳- نتایج و بحث

حسگرهای پیزوسرامیکی در تمامی حالت‌های آزمایش عملکرد قابل توجهی از خود نشان دادند. این حسگرها قادر بودند ولتاژهای خروجی بالاتری در مقایسه با حسگرهای $PVDF-TiO_2$ تولید کنند، به‌ویژه در شرایطی که نیروهای مکانیکی شدیدتری مانند دویدن سریع و سقوط از ارتفاع به کفش وارد می‌شد.

ولتاژ خروجی این حسگرها در محدوده ۲/۵ تا ۴/۸ ولت ثبت شد. همچنین، این حسگرها به دلیل