DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3270 Published by Vesnu Publications

طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی دستگاه سنجش بار کاری فیزیکی و ارزیابی میزان کاربردپذیری آن در محیط‌های کاری

مینا صالحی[۱]، احسان‌اله حبیبی[۲]، قاسم یادگارفر[۳]، علی طاهری[۴]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: شاخص درصد VO_{2max}، استاندارد طلایی طبقه‌بندی بار کاری فیزیکی می‌باشد که به دلیل دشواری اندازه‌گیری، در محیط‌های کاری واقعی کاربرد ندارد. به‌تازگی روشی جهت تخمین درصد VO_{2max} از روی سه شاخص ضربان قلب استراحت، ضربان قلب کار و وزن، بر مبنای یک شبکه عصبی- فازی در نرم‌افزار MATLAB ارایه شد. هدف از انجام مطالعه حاضر، طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی دستگاه طبقه‌بندی بار کاری فیزیکی بر مبنای این روش بود.

روش‌ها: برنامه‌نویسی دستگاه با استفاده از نرم‌افزار Arduino و به زبان C++ در برد توسعه AVR نوشته شد و توسط برنامه‌نویس به IC انتقال یافت. خروجی سنسور سنجش ضربان قلب نیز از طریق پروتکل I2C به برد وارد شد. نمره کاربردپذیری دستگاه توسط ۲۰ کارشناس بهداشت حرفه‌ای شاغل در صنعت تعیین گردید و با طبقه‌بندی بار کاری فیزیکی به صورت دستی، مورد مقایسه قرار گرفت.

یافته‌ها: میانگین نمره کاربردپذیری این سیستم، ۷/۳ ± ۸۴/۶ به دست آمد که در طبقه B با کاربردپذیری خیلی خوب قرار گرفت. همچنین، زمان صرف شده جهت طبقه‌بندی بار کاری فیزیکی با روش دستی، حدود دو برابر زمان مورد نیاز جهت تعیین آن با دستگاه ساخته شده بود.

نتیجه‌گیری: سیستم استنتاجی فازی تطبیقی (Adaptive neuro-fuzzy inference system یا ANFIS) برای تخمین بار کاری فیزیکی و در قالب یک دستگاه جهت به کارگیری در صنعت ارایه گردید. با توجه به عدم دقت کافی شاخص‌های رایج جهت تخمین بار کاری فیزیکی از جمله ضربان قلب، دستگاه ساخته شده جایگزین مناسبی برای روش‌های قبلی می‌باشد. کاربردپذیری بالا و زمان مورد نیاز کم، از جمله مزایای دستگاه به شمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی: طبقه‌بندی، بار کاری، اکسیژن مصرفی

ارجاع: صالحی مینا، حبیبی احسان‌اله، یادگارفر قاسم، طاهری علی. **طراحی و ساخت نمونه آزمایشگاهی دستگاه سنجش بار کاری فیزیکی و ارزیابی میزان کاربردپذیری آن در محیط‌های کاری.** مجله تحقیقات نظام سلامت ۱۳۹۷؛ ۱۴ (۲): ۲۲۶-۲۲۱

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۸/۱۱ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۲ تاریخ چاپ: ۱۳۹۷/۴/۱۵

مقدمه

با وجود پیشرفت سریع ربات‌ها و ماشین‌آلات و تلاش برای جایگزینی آن‌ها با انسان در محیط‌های کاری، همچنان حدود ۲۵-۲۰ درصد از نیروی کار در کشورهای صنعتی، جهت فعالیت در مشاغلی با نیازمندی فیزیکی بالا به کار گرفته می‌شوند. این آمار در کشورهای غیر صنعتی و در حال توسعه بیش از این مقدار است (۱). تحقیقات زیادی بر این مطلب تأکید کرده‌اند که بار کاری فیزیکی زیاد و زمان‌های کار- استراحت ناکافی، دو عامل اصلی ایجاد خستگی در میان کارگران می‌باشد که مشکلات عدیده‌ای از جمله کاهش سودآوری، انگیزه، کیفیت کار، رضایت شغلی، اتلاف انرژی و زمان و افزایش حوادث و جراحات شغلی و بروز اختلالات اسکلتی- عضلانی را به دنبال خواهد داشت (۴-۲). این در حالی است که بسیاری از مطالعات بر این باور هستند که ایجاد یک برنامه منظم کار- استراحت و ایجاد تعادل میان ظرفیت فیزیولوژیکی کارگر و نیازمندی فیزیکی کار، دو عامل کلیدی جهت کاهش خستگی، ارتقای ایمنی و سلامت و افزایش نرخ تولید در محیط‌های کاری می‌باشند.(۶، ۵، ۲). در این میان، همواره بر روی طبقه‌بندی بار کاری فیزیکی توجه ویژه‌ای شده است؛ به طوری که از سال ۱۹۶۴ تاکنون، پژوهشگران همواره در حال تلاش برای ارایه روش‌ها و استانداردهای مربوط به طبقه‌بندی بار کاری بوده‌اند. طبقه‌بندی بار کاری علاوه بر ایجاد یک نگاه کلی از میزان فشار فیزیکی و بدنی وارد شده به افراد و بررسی لزوم مداخلات مرتبط با مهندسی شاخص‌های انسانی، کاربردهای ویژه خود از جمله تعیین حدود مجاز مواجهه با گرما و سرما و حتی برخی مواد شیمیایی مانند ازن را دارد (۷).

روش‌های طبقه‌بندی بار کاری را می‌توان در دو گروه اصلی شامل شاخص‌های مطلق و شاخص‌های نسبی قرار داد. Christensen در سال ۱۹۶۴ مشاغل را بر حسب میزان انرژی مصرفی در دقیقه، به پنج گروه «خیلی سبک،

۱- کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۳- دانشیار، گروه اپیدمیولوژی و آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۴- کارشناس ارشد، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
نویسنده مسؤول: احسان‌اله حبیبی
Email: habibi@hlth.mui.ac.ir

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.13.5]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3270]

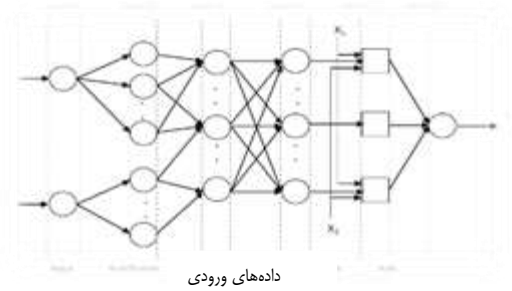
سبک، متوسط، سنگین و خیلی سنگین» تقسیم‌بندی نمود (۱). Astrand و Rodahl نیز در سال ۱۹۸۶، مقادیری از لیتر اکسیژن مصرفی را جهت طبقه‌بندی بار کاری مشاغل مورد استفاده قرار دادند (۱). سازمان بهداشت صنعتی آمریکا (American International Health Alliance یا AIHA) در سال ۱۹۷۱ مشاغل را بر پایه کیلوکالری مصرفی در دقیقه به هفت رده تقسیم کرد (۸). همین سازمان و Hetlinger در سال‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۷۱، میزان کیلوکالری مصرف شده در طی یک شیفت کامل کاری را مبنای رده‌بندی مشاغل قرار دادند (۸، ۱). یکی دیگر از پرکاربردترین شاخص‌های سنجش بار کاری فیزیکی، ضربان قلب است که به دلیل سادگی بسیار مورد توجه می‌باشد. Christensen، AIHA و Astrand هر کدام در سال‌های ۱۹۶۴، ۱۹۷۱ و ۱۹۸۶، ضربان قلب را مبنای تقسیم‌بندی بار کاری فیزیکی قرار دادند (۸، ۱).

بعد از دهه ۸۰، این بحث مطرح شد که طبقه‌بندی بار کاری فیزیکی بر مبنای شاخص‌های مطلق از جمله ضربان قلب و اکسیژن مصرفی، از صحت و دقت کافی برخوردار نیست؛ چرا که اختلافات بین فردی حین این رده‌بندی‌ها لحاظ نشده است. به عنوان مثال، طبق مدل Astrand، شغلی که مستلزم ۱/۵–۱ لیتر اکسیژن مصرفی در دقیقه است، جزء مشاغل سنگین محسوب می‌شود؛ در حالی که برای فردی با حداکثر توان هوازی (VO_{2max}) بالاتر از حدود طبیعی جامعه، در واقع کار چندان سنگینی نیست. پس از آن، موضوع به کاربری مقادیر نسبی که معقول‌تر از مقادیر مطلق به نظر می‌رسید، مطرح گردید. در این روش‌ها نسبتی از حداکثر توان هوازی فرد (درصد VO_{2max}) مبنای طبقه‌بندی بار کاری فیزیکی مشاغل قرار می‌گیرد. وزارت بهداشت و خدمات انسانی ایالت متحده آمریکا در سال ۱۹۹۶ و کالج پزشکی ورزشی آمریکا در سال ۲۰۰۶ از این نسبت‌ها جهت رده‌بندی بار کاری فیزیکی مشاغل در پنج گروه استفاده کردند (۱۰، ۹).

آنچه امروزه به عنوان استاندارد جهانی تعیین بار کاری فیزیکی مشاغل پذیرفته شده است، درصد VO_{2max} می‌باشد (۱)؛ بدین معنی که اکسیژن مصرف شده حین یک فعالیت چند درصد از حداکثر توان مصرف اکسیژن فرد است. اگرچه این مقدار دقیق‌ترین روش برآورد بار کاری است، اما رسیدن به صورت این کسر یعنی حجم اکسیژن مصرف شده حین یک فعالیت، نیازمند حسگرها و آنالیزورهای گرانقیمت اندازه‌گیری اکسیژن مصرفی و مخرج آن نیازمند اندازه‌گیری حداکثر توان اکسیژن مصرفی کارگر با تست‌های ماکزیمال و ساب ماکزیمال اندازه‌گیری VO_{2max} همراه است که اغلب زمان‌بر و نیازمند تلاش زیاد کارگران وگاهی برای آن‌ها خطرناک است (۱۱). Kolus و همکاران روش جدیدی جهت طبقه‌بندی بار کاری مشاغل بر پایه سیستم استنتاجی فازی تطبیقی (Adaptive neuro-fuzzy inference system یا ANFIS) ارایه دادند (۱۲). در این روش، میزان درصد VO_{2max} بر مبنای سه شاخص ساده ضربان قلب حین کار، ضربان قلب استراحت و وزن فرد و به وسیله یک شبکه عصبی- فازی که یکی از سیستم‌های شبیه‌سازی هوش مصنوعی است، تخمین زده می‌شود (۱). نتایج مطالعه Kolus و همکاران نشان داد که روش ارایه شده با دقت بسیار بالایی می‌تواند مقدار VO_{2max} را تخمین بزند و ما را به یک طبقه‌بندی صحیح از بارکاری فیزیکی برساند (۱۲). با این حال، پیاده‌سازی روش مذکور مستلزم دانش نرم‌افزاری و واردسازی کدهای شبکه مذکور به نرم‌افزار برنامه‌نویسی MATLAB و یا واردسازی مجموعه‌ای از فرمول‌های محاسباتی پیچیده به نرم‌افزار Excel می‌باشد و در عمل امر زمان‌بری است. از طرف دیگر، با تکیه بر تکنولوژی‌های جدید از جمله سنسورهای اندازه‌گیری ضربان قلب و سیستم‌های پردازشگر همچون بردهای Raspberry، می‌توان به راحتی مجموعه مراحل مربوط را در قالب یک دستگاه که بر مبنای روش Kolus و همکاران (۱۲) برنامه‌نویسی شده است و ما را به طور مستقیم به طبقه‌بندی بار کاری فیزیکی می‌رساند، ارایه داد. بنابراین، هدف از انجام پژوهش حاضر، طراحی و ساخت دستگاهی با امکان سنجش مستقیم ضربان قلب و تخمین بار کاری فیزیکی بر مبنای روش جدید ارایه شده توسط Kolus و همکاران بود.

روش‌ها

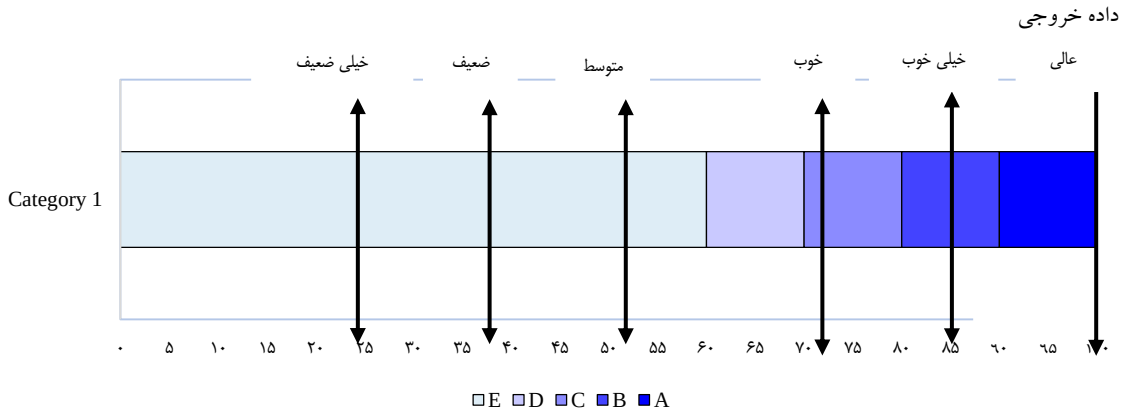
این تحقیق از نوع کاربردی بود و با هدف طراحی و ساخت دستگاه سنجش بار کاری فیزیکی انجام شد. برنامه‌نویسی برد مربوط مطابق با روش ارایه شده توسط Kolus و همکاران (۱۲) صورت گرفت. مطابق با این روش، سه شاخص وزن، ضربان قلب استراحت فرد و ضربان قلب حین کار که به صورت درصدی از حداکثر ضربان قلب مطرح می‌شود، به عنوان ورودی‌های مدل به شبکه مربوطه وارد شدند. شبکه مذکور از ۵ لایه تشکیل شده است و در هر لایه یک ند وجود دارد که توصیف‌کننده معادله ند می‌باشد. ورودی هر لایه از ند لایه قبلی حاصل می‌شود. شکل ۱ ساختار یک شبکه عصبی برای سیستمی با M ورودی، هر ورودی دارای N تابع عضویت، یک نقش فازی بر پایه R قانون و یک خروجی به نام Y را نشان می‌دهد. در هر کدام از این لایه‌ها طی یک سری الگوریتم‌های مبنا، وقایعی رخ می‌دهد که در نهایت، ما را از ورودی به خروجی می‌رساند (۱۳).



شکل ۱. نمای شماتیک شبکه عصبی
(ANFIS) Adaptive neuro-fuzzy inference system

شبکه ارایه شده توسط Kolus و همکاران (۱۲) بر مبنای یک مجموعه داده حاصل از تست‌های گرفته شده در آزمایشگاه، به نحوی برنامه‌نویسی و آموزش داده شده است تا با وارد نمودن سه ورودی مذکور، تخمین بزند که اکسیژن مصرف شده توسط فرد حین انجام کار مربوطه چند درصد از حداکثر توانایی آن فرد در مصرف اکسیژن می‌باشد و این مقدار در واقع همان درصد VO_{2max} است که جهت طبقه‌بندی بار کاری استفاده می‌گردد. در این روش، هر کدام از سه ورودی در ابتدا در هشت معادله جداگانه قرار می‌گیرند و در نتیجه، هشت عدد به دست می‌آید (در مجموع ۲۴ عدد). اعداد حاصل شده در هر کدام از سه سطح، در یکدیگر ضرب و به هشت عدد دیگر تبدیل می‌شود.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.13.5]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3270]



شکل ۲. مقیاس ارزیابی نمره کاربردپذیری سیستم

هرکدام از این اعداد در یک ضریب ضرب و وزن‌دهی میشود. جمع هشت عدد وزن‌دهی شده خروجی مدل است.

در مطالعه حاضر، جهت افزایش دقت محاسبات و انعطاف‌پذیری سخت‌افزار، از برد توسعه Arduino نسخه UNO استفاده شد. مزیت این نسخه، داشتن پورت ورودی Analog-to-digital converter (ADC) جهت پردازش سیگنال‌های آنالوگ می‌باشد. همچنین، جهت تشخیص ضربان قلب، از IC شمارنده تعداد ضربان قلب به وسیله امواج مادون قرمز (Infrared یا IR) استفاده گردید. مزیت این IC، در کاربری راحت آن می‌باشد. به صورتی که با قرارگیری انگشت دست در گیره مخصوص، ثبت ضربان قلب برای دستگاه امکان‌پذیر می‌گردد. همچنین، جهت وارد نمودن سایر ورودی‌ها یعنی وزن و سن نیز از کلیدهای فشاری استفاده شد. پس از تعیین دقیق مجموعه فرمول‌ها و محاسبات مربوط، مراحل برنامه‌نویسی برد در نرم‌افزار Arduino آغاز گردید. صفحات مورد نظر برای نمایش بر روی LCD و محاسبات مربوط به برآورد بار کاری فیزیکی در برنامه گنجانده شد. در نهایت، برنامه به کمک درگاه USB بر روی برد مربوط پروگرم شد.

پس از اتمام مراحل ساخت دستگاه، کاربردپذیری آن با مقیاس کاربردپذیری سیستم (System Usability Scale یا SUS) مورد بررسی قرار گرفت. این مقیاس توسط Brooke در سال ۱۹۹۶ ارایه شد و مطابق با آن، مشارکت‌کنندگان پس از کار با سیستم یا وسیله مورد نظر، پرسش‌نامه مربوط را تکمیل می‌کنند. سپس بر اساس پاسخ‌های مربوط، نمره کاربردپذیری سیستم استخراج می‌گردد (۱۴).

پرسش‌نامه SUS شامل ۱۰ سؤال پنج گزینه‌ای و امتیاز هر سؤال عددی بین صفر تا ۴ است. جهت محاسبه امتیاز نهایی، یک واحد از امتیازات سؤالات فرد یعنی ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ کم و امتیاز سؤالات زوج یعنی ۲، ۴، ۶ و ۸ از عدد ۵ کسر می‌گردد. سپس کلیه اعداد با هم جمع و عدد به دست آمده در ۲/۵ ضرب می‌شود. جهت ارزیابی کیفی، عدد نهایی SUS در شکل ۲ نشان داده شده است (۱۵).

پایایی و روایی نسخه فارسی مقیاس SUS توسط دیانت و همکاران مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است (۱۶). روند کار جهت مقایسه میزان بهبود کاربردپذیری سیستم بدین صورت بود که از ۲۰ نفر از کارشناسان بهداشت حرفه‌ای صنایع درخواست شد یک کار معین و تعریف شده با بازه زمانی ۱۰ دقیقه‌ای که توسط یک فرد انجام می‌شد را یک بار به صورت دستی مطابق با مدل Kolus و همکاران (۱۲) و بار دیگر به وسیله دستگاه ساخته شده، از نظر بار کاری مورد بررسی قرار دهند. فاصله زمانی بین دو آزمون نیز ۱ هفته تعریف شد. مراحل کار به این صورت بود که در طی تست اول، کارشناس مربوط داده‌های مورد نیاز شامل ضربان قلب استراحت، وزن و سن را ثبت می‌نمود. سپس فرد مشغول به کار می‌شد. با اتمام کار، متوسط ضربان قلب کار در این بازه زمانی توسط کارشناس از روی ضربان‌سنج دور سینه‌ای قرائت و ثبت می‌گردید. در نهایت، درصد حداکثر ضربان قلب (ضربان قلب کار بخش بر ضربان قلب استراحت) به صورت دستی محاسبه و همراه با دو شاخص دیگر یعنی ضربان قلب زمان استراحت و وزن وارد نرم‌افزار MATLAB شد و درصد VO_{2max} از آن استخراج گردید. کلیه فرمول‌ها و محاسبات لازم از قبل توسط شخص متخصص وارد نرم‌افزار شده بود و فایل آن به صورت آماده در اختیار کارشناسان قرار داده شد. در تست دوم (کار با دستگاه ساخته شده) کارشناس مربوط با تعریف آزمودنی جدید در دستگاه، وزن و سن نمونه را وارد دستگاه نمود. سپس با قراردهی سنسور ضربان قلب در دست فرد، از وی درخواست گردید که به مدت ۲ دقیقه در وضعیت راحت بنشیند تا دستگاه، ضربان قلب استراحت وی را ثبت نماید. سپس با زدن دکمه Start، آزمودنی مشغول به فعالیت می‌شد. پس از ۱۰ دقیقه با اتمام کار و زدن دکمه Stop، دستگاه متوسط ضربان قلب کار را ثبت می‌کرد، بار کاری فیزیکی را تخمین می‌زد و آن را روی صفحه نمایش می‌داد. در هر دو حالت پس از اتمام آزمون، از کارشناسان درخواسته می‌شد تا به سؤالات پرسش‌نامه SUS پاسخ دهند. علاوه بر جمع‌آوری و محاسبه امتیاز پرسش‌نامه‌ها، میزان زمان طی شده در طی هر کدام از تست‌های مربوط نیز مورد اندازه‌گیری و مقایسه قرار گرفت.

یافته‌ها

شکل ۳، دستگاه طبقه‌بندی‌کننده بار کار فیزیکی بر مبنای سیستم ANFIS را نمایش می‌دهد. تصویر حاصل از انجام یکی از تست‌های مربوط با دستگاه را می‌توان در شکل ۴ مشاهده نمود.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.13.5]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3270]

جدول ۱. مقایسه مدت زمان مورد نیاز جهت طبقه‌بندی بار کاری فیزیکی و امتیاز کلی System Usability Scale (SUS) در دو سیستم

روش	متغیر	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	انحراف معیار
روش دستی طبقه‌بندی بارکاری فیزیکی با شبکه ANFIS	زمان	۱۹	۲۵	۲۲/۵	۳/۲۵
روش دستگاهی طبقه‌بندی بارکاری فیزیکی با شبکه ANFIS		۴۳	۶۴	۵۹/۹	۶/۷۰
روش دستی طبقه‌بندی بارکاری فیزیکی با شبکه ANFIS	امتیاز کلی	۱۳	۱۶	۱۴/۸	۱/۹۸
روش دستگاهی طبقه‌بندی بارکاری فیزیکی با شبکه ANFIS	SUS	۷۹	۹۵	۸۴/۶	۷/۳۰

ANFIS: Adaptive neuro-fuzzy inference system; SUS: System Usability Scale



شکل ۳. دستگاه سنجش بار کاری فیزیکی

جدول ۱، دو روش برآورد درجه بار کاری فیزیکی به وسیله دستگاه و با روش دستی را از نظر امتیاز کاربردپذیری سیستم و مدت زمان مورد نیاز مقایسه می‌کند. بیشترین و کمترین امتیاز کاربردپذیری ثبت شده برای دستگاه ساخته شده به ترتیب ۷۹ و ۹۵ و میانگین نمره کاربردپذیری این سیستم برابر با ۸۴/۶ برآورد گردید که مطابق با شکل ۲، درمحدوده B و کاربردپذیری خیلی خوب قرار گرفت؛



شکل ۴. نمونه‌ای از نتیجه نهایی ارایه شده توسط دستگاه سنجش بار کاری فیزیکی

در حالی که متوسط نمره کاربردپذیری ثبت شده جهت برآورد بار کاری فیزیکی با شبکه ANFIS به صورت دستی، معادل ۵۹/۹ محاسبه شد که در محدوده متوسط تا خوب قرار داشت. همچنین، زمان مورد نیاز جهت طبقه‌بندی فعالیت مربوط با دستگاه ساخته شده، حدود نصف زمان مورد نیاز برای انجام این کار به صورت دستی بود.

بحث

هدف از انجام مطالعه حاضر، طراحی و ساخت یک دستگاه ساده و کاربردی جهت طبقه‌بندی بار کاری فیزیکی مشاغل در چهار گروه خیلی سبک، سبک، متوسط و سنگین بود. هرچند روش ارایه شده توسط Kolus و همکاران (۱۲) شامل محاسبات پیچیده و بر مبنای شبکه عصبی فازی استنتاجی ANFIS بود، اما آوردن این روش در قالب یک دستگاه که ورودی‌های مرتبط با مدل را به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌کند و با واردسازی آن‌ها در محاسبات تعریف شده، خروجی مربوط را ارایه می‌نماید، آن را به یک روش کاربردی و ساده جهت پیاده‌سازی در صنایع تبدیل کرده است. کاربردپذیری بالای این دستگاه نشان دهنده آن است که دستگاه طراحی شده تا حد زیادی باعث تسهیل طبقه‌بندی بار کاری فیزیکی از روی مدل Kolus و همکاران (۱۲) شد.

طبقه‌بندی بار کاری فیزیکی همواره یکی از چالش‌های پیش روی متخصصان بهداشت حرفه‌ای و ارگونومی بوده است و دارای کاربردهای متنوعی از جمله ارزیابی تنش‌های سرمایی و گرمایی و تعیین حدود مجاز شاخص Wet-bulb globe temperature (WBGT) درمحیط‌های صنعتی می‌باشد. اگرچه کالج پزشکی ورزشی آمریکا ظرفیت هوازی اشغال شده را دقیق‌ترین معیار سنجش بار کاری فیزیکی اعلام نموده است (۱۰)، اما به دلیل دشواری اندازه‌گیری مستقیم این شاخص، محققان همواره تلاش کرده‌اند تا از روش‌های جایگزین مانند ضربان قلب و مقیاس Borg جهت تخمین بار کاری فیزیکی استفاده نمایند. مطالعات زیادی در جهت اعتباربخشی این روش‌ها جهت تعیین بار کاری فیزیکی انجام شده است (۱۸، ۱۷) که نتایج به دست آمده نشان می‌دهد ضربان قلب به تنهایی نمی‌تواند شاخص مناسبی جهت تعیین بار کاری فیزیکی باشد؛ چرا که رابطه ضربان قلب و بار کاری فیزیکی یک رابطه خطی نیست و به شدت می‌تواند تحت تأثیر انواع بیماری‌ها، میزان آمادگی جسمانی فرد، سن، جنسیت، شرایط محیطی همچون دما، رطوبت، مصرف دارو و... قرار گیرد (۱۹). در روش Kolus و همکاران، با به کار بردن یک شبکه عصبی فازی و استفاده از سه شاخص ضربان قلب استراحت، درصد ضربان قلب کار و وزن، می‌توان شاخص درصد VO_{2max} را تخمین زد (۱۲).

در مطالعه حاضر، توانایی شبکه‌های عصبی در تخمین دقیق شاخص‌ها، با تکنولوژی موجود در زمینه اندازه‌گیری ضربان قلب با یکدیگر تلفیق و منجر به ساخت دستگاهی شد که می‌تواند ضربان قلب را به طور مستقیم حین فعالیت ثبت کند و با مجموعه محاسبات برنامه‌نویسی شده بر روی برد (بر مبنای شبکه ANFIS) شاخص درصد VO_{2max} را تخمین بزند و بر مبنای آن بار کاری فیزیکی را تعیین نماید. از محدودیت‌های این روش می‌توان گفت که این مدل بر مبنای داده‌های حاصل از تست‌های آزمایشگاهی گروهی از مردان پدید آمد؛ بنابراین، نمی‌تواند جهت طبقه‌بندی بار کاری فیزیکی در زنان مورد استفاده قرار گیرد. هرچند بیشتر مشاغل نیازمند تلاش فیزیکی بالا از جمله آتش‌نشانی، کار در معدن، جنگل‌بانی،

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.13.5]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3270]

کارهای ساختمانی و... مختص مـردان مـی‌باشـد، امـا ارایـه مـدل‌هـای مشـابه در مطالعات آینده برای جامعه زنان پیشنهاد می‌گردد. جهت ثبت تعداد ضربان قلـب در دقیقه، از سنسور ثبت ضربان قلب با تکنولـوژی مـادون قرمـز اسـتفاده شـد. بـرای افزایش دقت دستگاه می‌تـوان از سنسـور Healthy PI و بردهـای Raspberry PI استفاده نمود. با توجه به عدم وجـود ایـن نـوع سنسـور در ایـران، بهینـه‌سـازی دستگاه در مطالعات آینده با سنسور مذکور پیشنهاد می‌گردد.

نتیجه‌گیری

وجود یک سیستم طبقه‌بندی صـحیح و علمـی جهـت بـار کـاری فیزیکـی مشاغل، از جمله نیازهای اصلی و مهم حیطه ارگونومی و بهداشت شغلی به شمار می‌رود. استفاده از قدرت شبکه‌های عصبی و هوش نرم در شبیه‌سازی و برآورد درصد VO_{2max} که توسط Kolus وهمکاران (۱۲) انجام شد، امر بسیار ارزشمندی بود که پیاده‌سـازی ایـن روش در قالـب یـک دسـتگاه در مطالعه حاضر، باعث سهولت به کارگیری وکاهش زمـان مـورد نیـاز بـرای استفاده از روش مذکور شد.

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر برگرفته از طرح تحقیقـاتی بـا شـماره ۳۹۴۷۹۶، مصـوب دانشـگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد. بدین وسیله از دانشگاه مذکور به جهـت حمایـت مالی از طرح، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Kolus A. Techniques based on adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS) for estimating and evaluating physical demands at work using heart rate [PhD Thesis]. Montreal, Canada: Polytechnique Montréal; 2013.
2. Abdelhamid TS, Everett JG. Physiological demands of concrete slab placing and finishing work. J Constr Eng Manag 1997; 125(1): 47-52.
3. Habibi EA, Kazemi M, Safari S, Hassanzadeh A. The relationship between lifting capacity with the NIOSH equation and the risk of musculoskeletal disorders with the RULA method in health service personal of Isfahan. J Health Syst Res 2012; 8(1): 37. [In Persian].
4. Habibi E, Dehgan H, Zeinodini M, Yousefi H, Hasanzadeh A. The relation between work ability index and physical work capacity based on fox equation for VO2 max in male nursing staff of Isfahan Hospitals, Iran. J Health Sys Res 2011; 7(5): 606-14. [In Persian].
5. Dempsey PG, Ciriello VM, Maikala RV, O'Brien NV. Oxygen consumption prediction models for individual and combination materials handling tasks. Ergonomics 2008; 51(11): 1776-89.
6. Habibi E, Parvari R, Khodarahmi B, Dehghan HA, Hosseini M, Esmaili H. Assessment of the relationship between work schedule and fatigue among the emergency personnel of Isfahan, Iran using the check list individual strength standard method. J Health System Res 2012; 7(6): 1288-97. [In Persian].
7. Center for Excellence of Occupational Health. Occupational exposure limits. Hamadan, Iran: Daneshjo Publications; 2016. [In Persian].
8. Ergonomics Guide to assessment of metabolic and cardiac costs of physical work. Am Ind Hyg Assoc J 1971; 32(8): 560-4.
9. Surgeon General's report on physical activity and health. From the Centers for Disease Control and Prevention. JAMA 1996; 276(7): 522.
10. Whaley MH, Brubaker PH, Otto RM, Armstrong LE. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
11. Siconolfi SF, Cullinane EM, Carleton RA, Thompson PD. Assessing VO2max in epidemiologic studies: modification of the Astrand-Rhyming test. Med Sci Sports Exerc 1982; 14(5): 335-8.
12. Kolus A, Imbeau D, Dube PA, Dubeau D. Classifying work rate from heart rate measurements using an adaptive neuro-fuzzy inference system. Appl Ergon 2016; 54: 158-68.
13. Pashaie P, Jafari M, Baseri H, Farhadi M. Nusselt number estimation along a wavy wall in an inclined lid-driven cavity using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). International Journal of Engineering-Transactions A: Basics 2012; 26(4): 383-92.
14. Brooke J. SUS-A quick and dirty usability scale. Usability evaluation in industry 1996; 189(194): 4-7.
15. Motamedzade M, Moradpour Z, Gorjizadeh H, Hesam G, Moghim Beigi A. Design and fabrication of a personal digital assistant (pda) prototype for postural assessment using the rula, reba and qec techniques. J Ergo 2015; 2(4): 32-40. [In Persian].
16. Dianat I, Ghanbari Z, AsghariJafarabadi M. Psychometric properties of the Persian language version of the system usability scale. Health Promot Perspect 2014; 4(1): 82-9.
17. Moghiseh M, Habibi E, Hasanzadeh A, Khorvash MK, Aramesh N, Poorrahmatian A H. Evaluation of the relationship between subjective and physiological understanding in tough jobs among workers of a metal industry in Isfahan. Occup Med 2014; 6(1): 9-16. [In Persian].
18. Daneshmandi H, Choobineh AR, Rajaee Fard A. Validation of BORG'S RPE 6-20 scale in male industrial workers of shiraz city based on heart rate. Jundishapur Sci Med J 2012; 11(1): 1-10. [In Persian].
19. Eizadi M, Dooaly H, Seyedhoseini MA, Khorshidi D. Maximal oxygen consumption percentage in relation to maximal heart rate percentage during cycling in obese males. Eur J Exp Biol 2011; 1(4): 206-9. [In Persian].

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.13.5]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3270]

DOI: *10.22122/jhsr.v14i2.3270* *Published by Vesnu Publications*

Journal of Health System Research **Vol. 14, No. 2, Summer**

Received: 02.11.2017 Accepted: 22.01.2018 Published: 06.07.2018

Design and Fabrication of a Laboratory Model of Physical Workload Classification Tool and Evaluation of Its Usability in the Real Work Environment

Mina Salehi[1], Ehsanollah Habibi[2], Ghasem Yadegarfar[3], Ali Taheri[4]

Original Article

Abstract

Background: $\%VO_{2max}$ index is the gold standard of physical workload classification. Because of difficulty of this index measurement, it is not a practical method in the real work places. Recently, a new method was proposed for estimating $\%VO_{2max}$ through three parameters of resting heart rate, working heart rate, and weight based on a neuro-fuzzy network in MATLAB software. The goal of this study was designing and fabricating a laboratory model of physical workload classification tool based on the mentioned method.

Methods: The programming of the device was performed with the Arduino software and in C++ language in the AVR microcontroller; then, it was entered into integrated circuit (IC) by the programmer. The output of heart rate sensor was entered into the microcontroller through I2c protocol. The usability score of the device was evaluated by 20 occupational health experts employed in the industry and was compared with manual physical workload classification.

Findings: The mean usability score of this system was 84.6 ± 7.3 and was ranked in B category. It means that the usability of the system is very good. The required time for physical workload classification using this tool was approximately half of the required time for this work without the tool.

Conclusion: The adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) was presented for estimating physical workload in the form of a practical tool in order to be used in the industry. Regarding the lack of sufficient accuracy of current indexes for estimating physical workload such as heart rate, this fabricated tool is a proper substitute for the former methods. High usability and low required time are two main advantages of the proposed tool.

Keywords: Classification, Workload, Oxygen consumption

Citation: Salehi M, Habibi E, Yadegarfar G, Taheri A. **Design and Fabrication of a Laboratory Model of Physical Workload Classification Tool and Evaluation of Its Usability in the Real Work Environment.** J Health Syst Res 2018; 14(2): 221-6.

1- Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3- Associate Professor, Department of Biostatistics and Epidemiology, School of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
4- Department of Electrical Engineering, School of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Ehsanollah Habibi, Email: habibi@hlth.mui.ac.ir

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-11-17]
[DOR: 20.1001.1.17352363.1397.14.2.13.5]
[DOI: 10.22122/jhsr.v14i2.3270]