

Ergonomic Assessment and Design of the Tower Crane Cabin Based on Anthropometric Dimensions of Iranian Operators

Mohammadreza Jannati¹, Hamed Aghaei², Taleb Askaripoor^{*3,4}, Mehdi Khazaei⁴,
Ehsan Bayat Khalaji⁴, Elahe Kazemi⁴

1. Student Research Committee, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Health, Arak University of Medical Sciences, Arak, Iran
3. Assistant Professor, Research Center for Health Sciences and Technologies, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran
4. Department of Occupational Health and Safety Engineering, Faculty of Health, Semnan University of Medical Sciences, Semnan, Iran

Article Info

Received: 2020/05/30;
Accepted: 2020/07/17;
ePublished: 2020/10/15

doi: [10.30699/jergon.8.2.26](https://doi.org/10.30699/jergon.8.2.26)

Use your device to scan
and read the article online



Corresponding Author

Taleb Askaripoor

Assistant Professor, Research
Center for Health Sciences and
Technologies, Semnan
University of Medical Sciences,
Semnan, Iran

Tel: 09126961728

Email:

askaripoor@semums.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objectives: Despite the main role of cranes in advancing construction operations, however, accidents and occupational injuries resulting from their activities have become a critical issue. Recent evidence suggests that the cause of these problems may be associated with the absence of design of the interior space of the crane cabin, and the tasks of the operators, based on ergonomic principles. This study was conducted to assess the ergonomic risk of the tower crane operator's activities and redesigning the dimensions and interior space of these cranes, based on the anthropometric dimensions of Iranian operators.

Methods: In this descriptive cross-sectional study, 30 male tower crane operators working on three major construction projects in Tehran were investigated. Initially, a multi-step approach was applied to define the problem, including: observing the working statuses, interviewing operators, Nordic Musculoskeletal Disorder Questionnaire, and rapid upper limb assessment (RULA) method. Then, using anthropometric data, the dimensions and interior space of the crane chamber were redesigned.

Results: The results of the rapid upper limb assessment method showed that the activities of tower crane operators were at high and very high-risk levels. Also, 85% and 38.5% of these people reported pain and discomfort in one of the nine areas of their body in the last 12 months and 7 days, respectively. In this study, the dimensions of the interior space of the redesigned tower crane cabin were obtained 160.8×144.1×199.7.

Conclusion: Based on the results of the study, it can be concluded that the current interior design of the tower crane cabin does not fulfill the needs of the operators. Hence, redesigning it appears essential to enhance human-machine compatibility, improve safety and productivity, and prevent musculoskeletal disorders (MSD).

Keywords: Tower Crane, Rapid upper limb assessment (RULA), Nordic Questionnaire, Anthropometry

How to Cite This Article:

Jannati M, Aghaei H, Askaripoor T, Khazaei M, Bayat Khalaji E, Kazemi E. Ergonomic Assessment and Design of the Tower Crane Cabin Based on Anthropometric Dimensions of Iranian Operators. Iran J Ergon. 2020; 8 (2): 26-38

ارزیابی ارگونومی و طراحی اتاقک جرثقیل برجی براساس ابعاد آنتروپومتری اپراتورهای ایرانی

محمد رضا جنتی^۱، حامد آقائی^۲، طالب عسکری پور^{۳،۴}، مهدی خزائی^۴،
احسان بیات خلجی^۴، الهه کاظمی^۴

۱. کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران
۲. استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران
۳. استادیار، مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران
۴. گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران

اطلاعات مقاله	خلاصه
دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۷ انتشار آنلاین: ۱۳۹۹/۰۷/۲۴	زمینه و هدف: با وجود نقش اصلی جرثقیل‌ها در پیشبرد عملیات ساختمانی، حوادث و صدمات شغلی ناشی از فعالیت آن‌ها به یک موضوع مهم تبدیل شده است. شواهد اخیر نشان داده است علت این مشکلات می‌تواند به عدم طراحی فضای داخلی اتاقک جرثقیل و وظایف اپراتورها براساس اصول ارگونومی مرتبط باشد. این پژوهش، با هدف ارزیابی ریسک ارگونومی فعالیت اپراتورهای جرثقیل برجی و بازطراحی ابعاد و فضای داخلی اتاقک این جرثقیل‌ها براساس ابعاد آنتروپومتری اپراتورهای ایرانی انجام شد.
نویسنده مسئول: طالب عسکری پور استادیار، مرکز تحقیقات علوم و فناوری‌های بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران. تلفن: ۰۹۱۲۶۹۶۱۷۲۸	روش کار: در این مطالعه توصیفی مقطعی، ۳۰ اپراتور مرد جرثقیل برجی، شاغل در سه پروژه ساخت‌وساز بزرگ شهر تهران مورد بررسی قرار گرفتند. در ابتدا، با هدف تعریف مشکل از یک رویکرد چند مرحله‌ای شامل مشاهده شرایط کاری، مصاحبه با اپراتورها، پرسش‌نامه اختلالات اسکلتی عضلانی نوردیک و روش ارزیابی سریع اندام فوقانی (رولا) استفاده شد. در ادامه، با استفاده از داده‌های آنتروپومتری، بازطراحی ابعاد و فضای داخلی اتاقک جرثقیل انجام گرفت.
پست الکترونیک: askaripoor@semums.ac.ir	یافته‌ها: نتایج روش ارزیابی سریع اندام فوقانی نشان داد فعالیت‌های اپراتورهای جرثقیل برجی در سطح ریسک بالا و بسیار بالا قرار داشته است. همچنین، ۸۵ درصد و ۳۸/۵ درصد از افراد، به ترتیب در ۱۲ ماه و ۷ روز گذشته در یکی از نواحی نه‌گانه بدن خود احساس درد و ناراحتی را گزارش کرده‌اند. در این پژوهش، ابعاد فضای داخلی اتاقک جرثقیل برجی بازطراحی شده $۱۶۰/۸ \times ۱۴۴/۱ \times ۱۹۹/۷$ سانتی‌متر به دست آمد.
برای دانلود این مقاله، کد زیر را با موبایل خود اسکن کنید.	نتیجه گیری: براساس نتایج مطالعه می‌توان نتیجه گرفت طراحی موجود در فضای داخلی اتاقک جرثقیل برجی، نیازهای اپراتورها را برآورده نمی‌کند. بنابراین، بازطراحی آن، جهت افزایش تطابق بین انسان و ماشین، بهبود سطح ایمنی و بهره‌وری و پیشگیری از آسیب‌های اسکلتی عضلانی ضروری به نظر می‌رسد.
	کلیدواژه‌ها: جرثقیل برجی، ارزیابی سریع اندام فوقانی (رولا)، پرسش‌نامه نوردیک، آنتروپومتری

مقدمه

جرثقیل‌ها به‌ویژه جرثقیل‌های برجی^۱، جرثقیل‌های سقفی دروازه‌ای و جرثقیل‌های موبایل (نصب‌شده بر وسایل نقلیه)، به‌عنوان یکی از کلیدی‌ترین تجهیزات در عملیات و پروژه‌های ساختمانی شناخته می‌شوند [۱-۳]. با وجود نقش اصلی جرثقیل‌ها در پیشبرد عملیات ساختمانی، تلفات و صدمات شغلی ناشی از فعالیت آن‌ها به یک مشکل عمومی

جدی تبدیل شده است [۴، ۵]. برخی شواهد حاکی از آن است که جرثقیل‌ها در بیش از یک‌سوم از کل حوادث ساخت‌وساز و نگهداری مشارکت داشته‌اند [۶-۸]. همچنین، جرثقیل‌های برجی در حدود ۱۶ درصد از حوادث نقش مستقیمی داشته‌اند [۹]. با توجه به ابعاد و قدرت جرثقیل‌های مورد استفاده در پروژه‌های ساختمانی، وقوع حوادث در این

1- Tower Crane

از جمله فاکتورهای انسانی و ابعاد آنتروپومتری استفاده کنند [۱۷]؛ نتیجه این فرایند می‌تواند ضمن افزایش راحتی و حفظ سلامت افراد باعث کاهش خطا و بهبود سطح ایمنی شود. اگرچه باتوجه به اینکه طراحی اتاقک جرثقیل‌ها عمدتاً مربوط به دهه ۱۹۶۰ است، بنابراین، در طراحی آن‌ها به فاکتورهای انسانی و ابعاد آنتروپومتری کمتر توجه قرار کرده‌اند [۱۱]. همچنین، تحقیقات بسیار کمی در زمینه ارزیابی راحتی و تناسب اتاقک‌ها با جمعیت اپراتورها تاکنون در سطح دنیا انجام شده است [۱۸]. باتوجه به وارداتی بودن اکثر جرثقیل‌های برجی در کشور ما و نبود انجام مطالعه‌ای در زمینه بررسی طراحی اتاقک جرثقیل از دیدگاه ارگونومی، این پژوهش به عنوان یک مطالعه اولیه با هدف ارزیابی ریسک ارگونومی فعالیت اپراتورهای جرثقیل برجی و بازطراحی ابعاد فضای داخلی اتاقک این جرثقیل‌ها براساس ابعاد آنتروپومتری اپراتورهای ایرانی در سه پروژه ساخت‌وساز بزرگ در شهر تهران انجام گرفته است.

روش کار

این پژوهش یک مطالعه موردی از نوع توصیفی مقطعی است که در سال ۱۳۹۸ انجام شد. در این مطالعه، همه اپراتورهای جرثقیل برجی شاغل در سه پروژه ساخت‌وساز بزرگ شهر تهران که شرایط ورود به مطالعه را داشتند مورد بررسی قرار گرفتند. در این پژوهش، ۳۰ شرکت‌کننده مرد با میانگین و انحراف معیار سن $37/8 \pm 8/5$ شرکت داشته‌اند. معیارهای ورود به مطالعه شامل داشتن حداقل یک سال سابقه کار و اشتغال تمام‌وقت به عنوان اپراتورهای جرثقیل برجی و عدم ابتلای به اختلالات اسکلتی عضلانی قبل از شروع به فعالیت در این شغل بوده است. معیارهای خروج از مطالعه شامل تمایل نداشتن افراد به شرکت در مطالعه بود. ضمن توضیح اهداف پژوهش برای همه شرکت‌کنندگان قبل از آغاز مطالعه تمامی افراد فرم رضایت آگاهانه را امضا، پروتکل مطالعه با کد IR.SEMUMS.REC.1398.227 به تأیید کمیته اخلاق دانشگاه رسید. در این پژوهش، با هدف شناسایی و تعریف مشکل و ارائه راه‌کارهای اصلاحی از یک رویکرد چند مرحله‌ای استفاده گردید. ابتدا جهت شناسایی و تعریف دقیق مشکل از روش‌های جمع‌آوری داده‌ها همچون روش مشاهده‌ای (مشاهده وضعیت بدنی و شرایط کاری)، مصاحبه (مصاحبه با اپراتورها و مسئولین مربوطه جمع‌آوری اطلاعات درمورد شرایط کاری و

پروژه‌ها علاوه بر تهدید ایمنی و سلامت کارگران می‌تواند آسیب‌های جانی برای افراد خارج از پروژه مثل رهگذران و عابران پیاده نیز به همراه داشته باشد [۶].

در سال‌های اخیر افزایش کیفیت فنی جرثقیل‌ها باعث شده متغیرهایی همچون ناپایداری جرثقیل^۲، عدم ثبات در جابه‌جایی^۳ و بی‌ثباتی تجهیزات بالابردن بار^۴، نقش کمتری در حوادث مرتبط با جرثقیل داشته باشند [۱۰]. از سوی دیگر، براساس گزارش دفتر آمار کار^۵ [۱۰، ۲]، ۵۱ درصد از حوادث رخ داده در پروژه‌های ساختمانی در اثر علل ناشناخته بوده است. علاوه بر این، اپراتورهای جرثقیل طی یک نوبت کاری، وظایف مختلف و بسیار تکراری از جمله نظارت مداوم بر فرایند حمل‌ونقل، بارگیری و تخلیه مصالح ساختمانی، جابه‌جایی صفحات فولادی سنگین و تنظیم عملکرد نهایی با استفاده از اهرم‌های کنترل خاص انجام می‌دهند. همچنین، فعالیت برای کل نوبت کاری (حدود ۶ تا ۸ ساعت) در فضای محدود اتاقک در کنار مواجهه آن‌ها با شرایط محیطی همچون گرما، سرما و درخشندگی می‌تواند بار ذهنی و تنش زیادی بر این افراد تحمیل کند [۱۱، ۱۲]. همچنین، یافته‌های مطالعات دیگر نشان می‌دهد در اتاقک جرثقیل، اپراتورها دارای یک پوسچر استاتیک با حالت دست‌های ثابت روی کنترل‌ها، چرخش بدن به منظور دید و کنترل بهتر، خمش‌های زیاد و بعضاً شدید و مواجهه با ارتعاش هستند که این عوامل می‌توانند به آسیب به کمر و ناحیه پشتی اپراتورها منجر شوند [۱۳-۱۶]. علاوه بر این، در مطالعه Kittusamy و Buchholz گزارش شد که پوسچرهای نامناسب هنگام کار با تجهیزات تخصصی و سنگین ساخت‌وساز در نتیجه عدم طراحی صحیح اتاقک، محدودیت فضای داخلی اتاقک، دید محدود، نیروی زیاد جهت جابه‌جایی اهرم‌ها و طراحی نامناسب صندلی‌ها بوده است [۱۶]. بنابراین، فاکتورهای انسانی و طراحی نامناسب فضای اتاقک جرثقیل می‌تواند از علل مرتبط با وقوع حوادث و مشکلات مرتبط با ایمنی و سلامت کارکنان در صنعت ساخت‌وساز در نظر گرفته شود و بررسی جامع این موضوع و اقدامات اصلاحی دارای اهمیت زیادی است [۱۱].

براساس شواهد موجود چنانچه یک محصول برای پاسخگویی به نیازهای گروه خاصی از کاربران طراحی شده باشد، طراحان محصول باید از اطلاعات مختص آن گروه

⁵ - Bureau of Labor Statistics

⁶ - Awkward Posture

² - Crane instability

³ - Jib instability

⁴ - Hoisting equipment instability

(طراحی ابعاد اتاقک و فضای داخلی) از داده‌های آنترپومتری جمعیت مورد مطالعه، استانداردهای طراحی در زمینه ساخت ماشین‌آلات و مدل‌سازی استفاده شد. مراحل انجام مطالعه و متدلوژی آن به شرح زیر است (شکل ۱):

وضعیت‌های بدنی و بررسی مستندات)، پرسش‌نامه استاندارد اسکلتی عضلانی نوردیک (جهت جمع‌آوری اطلاعات در مورد نرخ شیوع اختلالات اسکلتی عضلانی اندام‌ها)، روش ارزیابی پوسچر (جهت ارزیابی ریسک بروز اختلالات اسکلتی عضلانی) استفاده گردید. در ادامه، برای بازطراحی ایستگاه کاری اپراتورهای جرثقیل

بررسی وضعیت موجود

مشاهده، مصاحبه و بررسی مستندات، ارزیابی وضعیت‌های کاری با استفاده از روش ارزیابی سریع اندام فوقانی (RULA) و بررسی میزان شیوع اختلالات اسکلتی عضلانی با استفاده از پرسش‌نامه استاندارد نوردیک

انتخاب روش و جمع‌آوری داده‌ها برای طراحی

مشخص کردن روش بازطراحی
تعیین ابعاد متناظر و صدک‌های مورد نیاز برای طراحی
جمع‌آوری ابعاد آنترپومتری اپراتورها
تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده
بازطراحی اتاقک براساس ابعاد آنترپومتری و استانداردها و دستورالعمل‌های ارائه شده در زمینه استفاده از ابعاد آنترپومتری در طراحی ماشین‌آلات
مدل‌سازی اتاقک طراحی شده با استفاده از برنامه مدل‌سازی سه‌بعدی

طراحی نهایی

تکمیل و آماده‌سازی مدل نهایی اتاقک پیشنهادی

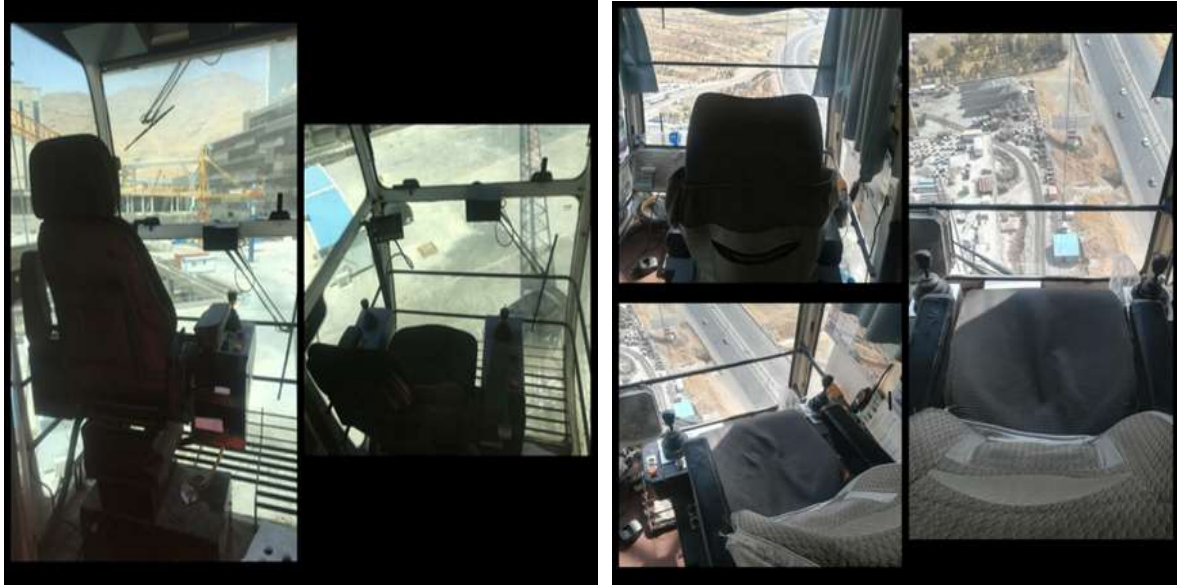
شکل ۱. مراحل انجام و روش کار در مطالعه

مرحله اول: بررسی وضعیت موجود

برای به دست آوردن تصویری دقیق از وضعیت و مشکلات موجود، تعیین نقاط بحرانی و لزوم انجام مداخله در کنار مشاهده و بررسی میدانی شرایط کاری، مصاحبه با همه اپراتورها و مسئولین مربوطه و بررسی مستندات، وضعیت کاری اپراتورهای جرثقیل در تمام فعالیت‌های مربوط به این شغل با استفاده از روش ارزیابی پوسچر سریع اندام فوقانی رولا (RULA⁷) ارزیابی شد. در ادامه نیز میزان شیوع اختلالات اسکلتی عضلانی با استفاده از پرسش‌نامه استاندارد نوردیک مورد ارزیابی قرار گرفت. روش ارزیابی پوسچر سریع اندام فوقانی (RULA) روشی است که در سال ۱۹۹۳ ارائه شد. در این روش، وضعیت بدنی، نیروی کاری به کاررفته و فعالیت ماهیچه‌ها در اندام‌های فوقانی و مشاغل نشسته با استفاده از امتیازبندی عددی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. امتیاز نهایی در این روش به صورت ۱ تا ۲ (سطح قابل قبول)، امتیاز نهایی

۳ تا ۴ (امکان ضرورت ایجاد تغییرات و مداخله ارگونومی-نیاز به مطالعه بیشتر)، امتیاز نهایی ۵ تا ۶ (نیاز به انجام تغییرات و مداخله ارگونومی در آینده) و امتیاز نهایی ۷ (نیاز فوری به ایجاد تغییرات و مداخله ارگونومی) طبقه‌بندی می‌گردد [۱۹، ۲۰]. قابل ذکر است که این روش در مطالعات مختلفی استفاده شده و روایی و پایایی آن تأیید شده است [۲۱-۲۳]. برای ارزیابی وضعیت اختلالات اسکلتی عضلانی در بین اپراتورهای مورد مطالعه از پرسش‌نامه عمومی نوردیک استفاده شد. این پرسش‌نامه برای ثبت درد و اختلالات اسکلتی-عضلانی در نواحی نه‌گانه بدن شامل گردن، شانه، پشت، کمر، ساعد، دست و مچ دست، ران، زانوها و پاها به کار می‌رود [۲۴]. روایی و پایایی این پرسش‌نامه در مطالعات قبلی به تأیید رسیده است [۲۵-۲۷]. نمونه اتاقک جرثقیل‌های بررسی شده در مطالعه حاضر، در شکل ۲ نمایش داده شده است.

⁷ Rapid Upper Limb Assessment (RULA)



شکل ۲. فضای داخلی اتاقک جرثقیل‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر

مرحله سوم: بازطراحی اتاقک جرثقیل برجی براساس ابعاد آنتروپومتری جمعیت مورد مطالعه

در این مرحله برای بازطراحی اتاقک جرثقیل برجی براساس ابعاد آنتروپومتری جمعیت مورد مطالعه از استانداردهای موجود در زمینه طراحی ماشین‌آلات، دستورالعمل‌های ارائه شده در زمینه استفاده از ابعاد آنتروپومتری در طراحی ماشین‌آلات [۲۹، ۳۲، ۳۳] و مطالعات قبلی در زمینه طراحی اتاقک جرثقیل [۳۰، ۷، ۱۸] استفاده شد. در این مطالعه، ابعاد فضای داخل اتاقک^۸ جرثقیل شامل طول، عرض و ارتفاع و ابعاد در ورودی اتاقک در کنار فضای داخلی آن مانند ابعاد صندلی اپراتور، ابعاد تکیه‌گاه آرنج، استراحتگاه پا، طول، عرض و ارتفاع پانل کنترل بازطراحی گردید. در پایان نیز از نرم‌افزار مدل‌سازی سه‌بعدی ۲/۸۲ Blender برای شبیه‌سازی طراحی انجام شده استفاده گردید. برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ (SPSS Inc., Chicago, Ill., USA) و آمار توصیفی استفاده کردیم.

یافته‌ها

نتایج حاصل از روش ارزیابی پوسچر رولا (RULA) در بررسی سه وظیفه اصلی اپراتورهای جرثقیل برجی شامل نصب و جابه‌جایی سازه در محدوده ۳۶۰ درجه، نصب و جابه‌جایی سازه در محدوده زیر اتاقک و با فاصله کمتر از ۴ متر از اسکلت سازه برپایی و ایستایی جرثقیل (سکشن) و

مرحله دوم: تعیین و جمع‌آوری داده‌های آنتروپومتری جمعیت مورد مطالعه

در این مطالعه با هدف طراحی ابعاد و فضای داخلی اتاقک جرثقیل ضمن بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینه طراحی اتاقک جرثقیل برجی، استانداردها و راهنماهای موجود در مورد طراحی از دیدگاه ارگونومی و دستورالعمل‌های ارائه شده در زمینه استفاده از ابعاد آنتروپومتری در طراحی ماشین‌آلات، ابعاد آنتروپومتری مرتبط با طراحی در مطالعه حاضر تعیین گردید. اندازه‌گیری ابعاد آنتروپومتری در حالت پوشش معمول اپراتورها (لباس کار و کفش کار روتین) انجام گرفت. در این مطالعه، ابعادی همچون طول پا، طول کف‌رکبی، پهنای کفل، طول بازو، عرض شانه، طول ساعد، ارتفاع رکبی، ارتفاع آرنج در حالت نشسته، فاصله آرنج تا آرنج، ارتفاع چشم در حالت نشسته اندازه‌گیری گردید [۳۰-۲۸، ۷، ۱۸، ۳۰]. اندازه‌گیری همه ابعاد در حالت استاندارد سنجش ابعاد استاتیک و با استفاده از ابزار استاندارد همچون متر نواری و کولیس انجام گرفت. مفهوم حالت استاندارد یعنی اندازه‌گیری در موقعیت درست هنگام نشستن روی صندلی قابل تنظیم ارگونومی و به‌گونه‌ای که تنه در زاویه ۹۰ درجه نسبت به ران و ران در زاویه ۹۰ درجه با ساق پا قرار گرفته باشد [۳۱، ۲۸، ۱۱، ۷، ۳۰]. در این مطالعه، براساس اصول بیومکانیک و برای تأمین حداکثر حد راحتی اپراتورها اندازه‌گیری ابعاد بین صدک‌های ۵ و ۹۵ انجام گرفت [۳۰، ۱۸].

⁸ Dimensions of the interior space

نصب و جابه‌جایی سازه در محدوده ارتفاعی اتاقک و فاصله بیشتر از ۴ متر از اسکلت سازه برپایی و ایستایی جرثقیل نشان داد که نیاز به انجام تغییرات و مداخله ارگونومی ضروری بوده است (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج ارزیابی وضعیت‌های کاری به روش رولا (RULA)

اندام چپ		اندام راست		نوع فعالیت		
میزان امتیاز نهایی ریسک	میزان امتیاز نهایی رولا	میزان امتیاز نهایی ریسک	میزان امتیاز نهایی رولا			
نیاز به انجام تغییرات و مداخله ارگونومی در آینده	بالا	۶	نیاز به انجام تغییرات و مداخله ارگونومی در آینده	بالا	۶	نصب و جابه‌جایی سازه و بار در محدوده ۳۶۰ درجه
"	بالا	۵	"	بالا	۵	نصب و جابه‌جایی سازه و بار در محدوده ارتفاعی اتاقک و بافاصله بیشتر از ۴ متر از اسکلت سازه برپایی و ایستایی جرثقیل (سکشن)
نیاز فوری به ایجاد تغییرات و مداخله ارگونومی	بسیار بالا	۷	نیاز فوری به ایجاد تغییرات و مداخله ارگونومی	بسیار بالا	۷	نصب و جابه‌جایی سازه و بار در محدوده زیر اتاقک و بافاصله کمتر از ۴ متر از اسکلت سازه برپایی و ایستایی جرثقیل (سکشن)

براساس یافته‌های مطالعه حاضر، به ترتیب ۸۵ درصد و ۳۸/۵ درصد از اپراتورهای مورد مطالعه در ۱۲ ماه گذشته و در ۷ روز گذشته در یکی از نواحی بدن شامل گردن، شانه، پشت، کمر، ساعد، دست و مچ دست، ران، زانوها یا پاها احساس درد و ناراحتی را گزارش کرده‌اند. توزیع فراوانی شیوع اختلالات اسکلتی عضلانی در افراد مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. توزیع فراوانی شیوع اختلالات اسکلتی عضلانی براساس پرسش‌نامه نوردیک

فراوانی (درصد)			اندام
بازماندگی از کار ناشی از درد و ناراحتی در ۱۲ ماه گذشته	احساس درد و ناراحتی در ۷ روز گذشته	احساس درد و ناراحتی در ۱۲ ماه گذشته	
-	-	۲۳/۱	گردن
-	-	۷/۷	شانه
-	-	۷/۷	ساعد
-	۷/۷	۱۵/۴	دست و مچ دست
-	۷/۷	۳۸/۵	پشت
۷/۷	۱۵/۴	۶۱/۵	کمر
۲۳/۱	-	-	یک یا هر دو ران
-	۱۵/۴	۳۸/۵	یک یا هر دو زانو
۷/۷	-	-	یک یا هر دو پا و یا مچ پا

گردید. میانگین، انحراف معیار و صدک‌های ۵ و ۹۵ این ابعاد در جدول ۳ آمده است. در ادامه، براساس این ابعاد، ابعاد فضای

در این مطالعه با هدف طراحی اتاقک جرثقیل، ابعاد آن‌روپومتری اپراتورهای ایرانی مرتبط با طراحی جمع‌آوری

کلی اتاقک طراحی شده براساس خروجی نرم افزار مدل سازی سه بعدی Blender در شکل ۴ نشان داده شده است.

داخل اتاقک و تجهیزات داخل آن بازطراحی شد. نتایج بازطراحی مربوط به تجهیزات داخل اتاقک در جدول ۴ و شکل ۳ نمایش داده شده است. همچنین، ابعاد فضای اتاقک و نمای

جدول ۳. میانگین، انحراف معیار و صدک های ۵ و ۹۵ ابعاد آنترپومتری جمعیت مورد مطالعه

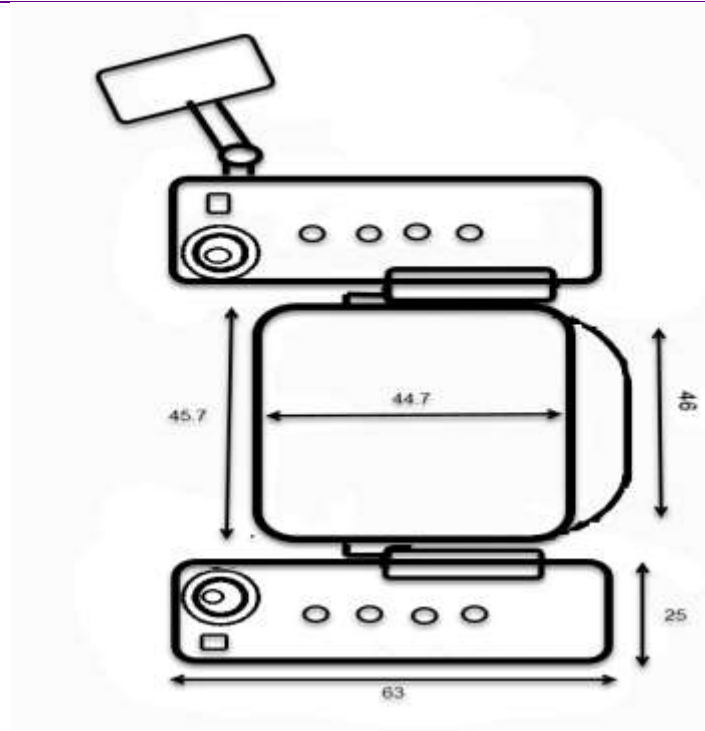
ابعاد آنترپومتری		میانگین	انحراف معیار	صدک ۵	صدک ۹۵
فاصله شانه تا نوک انگشت میانی در حالت نشسته	۷۴/۵	۴/۱	۶۷/۲۸	۸۸/۲۳	
فاصله پشت آرنج تا نوک انگشت میانی در حالت نشسته	۳۹/۸	۱/۴	۳۷/۵	۴۲/۱	
پهنای سر	۲۴/۱	۱/۹	۲۰/۹۸	۲۷/۲۳	
فاصله سر تا شانه	۲۷/۴	۲/۶	۲۳/۱	۳۱/۷	
ارتفاع شانه در حالت نشسته	۱۰۹/۳	۶/۲	۹۹/۱۳	۱۱۹/۴۷	
ارتفاع آرنج از زمین در حالت نشسته	۶۹/۸	۲/۸	۶۵/۲۱	۷۴/۳۹	
ارتفاع چشم در حالت نشسته	۱۲۵/۷	۶/۳	۱۱۵/۳۷	۱۳۶/۰۳	
طول ساعد	۲۲/۵	۱/۵	۲۰/۰۴	۳۴/۹۶	
عرض کف پا	۱۱/۲	۱	۹/۵۶	۱۲/۸۴	
طول کف پا	۲۹	۱/۷	۲۶/۲۱	۳۱/۷۸	
فاصله آرنج تا آرنج	۵۲/۵	۲/۸	۴۷/۹	۵۷/۰۹	
ارتفاع رگبی	۴۴	۲	۴۰/۷۲	۴۷/۲۸	
طول کفل - رگبی	۵۰	۳/۲	۴۴/۷۵	۵۵/۲۵	
طول بازو	۸۱/۴	۴/۷	۷۳/۶۹	۸۹/۱	
پهنای کفل	۴۱/۱	۲/۸	۳۶/۵	۴۵/۶۹	
عرض سر شانه	۴۳/۲	۱/۷	۴۰/۴۱	۴۵/۹۸	
طول پا	۱۰۲/۱	۵/۳	۹۳/۴	۱۱۰/۷۹	
قد	۱۷۹	۶/۵	۱۶۸/۳۴	۱۸۹/۶۶	

جدول ۴. نتایج طراحی مربوط به تجهیزات فضای داخلی اتاقک بر مبنای ابعاد آنترپومتری جمعیت مورد مطالعه

مقدار به دست آمده (سانتی متر)	معیار طراحی	بعد مورد طراحی
۴۰/۷-۴۷/۳	صدک ۵ تا صدک ۹۵ ارتفاع رگبی	ارتفاع صندلی اپراتور از کف اتاقک
۴۵/۷	صدک ۹۵ پهنای کفل	عرض کف صندلی
۴۴/۷	صدک ۵ طول کفل رگبی	عمق کف صندلی
۴۶	صدک ۹۵ عرض سر شانه	عرض پشتی صندلی
۶۶/۱	صدک ۹۵ ارتفاع شانه از سطح صندلی	ارتفاع پشتی صندلی
۳-۷ درجه نسبت به کف صندلی	استاندارد ISO ۸۵۶۶-۵	زاویه پشتی صندلی
۰-۱۰ شیب مثبت	استاندارد ISO ۸۵۶۶-۵	زاویه نشیمن صندلی
۲۳/۱-۳۱/۷	صدک ۵ تا صدک ۹۵ فاصله سر تا شانه	ارتفاع تکیه گاه سر

مقدار به دست آمده (سانتی متر)	معیار طراحی	بعد مورد طراحی
۲۷/۲	صدک ۹۵ پهنای سر	پهنای تکیه‌گاه سر
۲۴/۵-۲۷/۱	صدک ۵ تا صدک ۹۵ ارتفاع آرنج تا سطح صندلی	ارتفاع تکیه‌گاه آرنج تا سطح صندلی
۲۰	صدک ۵ طول ساعد	طول تکیه‌گاه آرنج
۴۷/۹	صدک ۵ فاصله آرنج تا آرنج	فاصله بین دو تکیه‌گاه آرنج
۹/۲	اختلاف صدک ۵ فاصله آرنج تا آرنج تا صدک ۹۵ فاصله آرنج تا آرنج	پهنای تکیه‌گاه آرنج
۶۵/۲-۷۴/۴	صدک ۵ تا صدک ۹۵ ارتفاع آرنج در حالت نشسته	ارتفاع پانل کنترل (از سطح کف اتاقک)
۲۵	استاندارد ISO ۸۵۶۶-۵	عرض پانل کنترل
۶۳	استاندارد ISO ۸۵۶۶-۵	طول پانل کنترل
۱۱۵/۱۳۶-۴/۱	صدک ۵ تا صدک ۹۵ ارتفاع ارتفاع چشم در حالت نشسته	ارتفاع مونیتر راهنما از کف اتاقک
۶۱	استاندارد ISO ۸۵۶۶-۵	دامنه حرکت مونیتر راهنما (سیستم پایش الکترونیک) ^۹
معادله $D = B + \sqrt{P^2 - H^2} + F$		
D: فاصله افقی بین باسن تا نوک انگشتان پا		
B: طول باسن-رکبی	۸۷/۵	فضای مورد نیاز برای جلوی پا (Pedaling)
P: ارتفاع رکبی		
F: طول کف پا		
H: ارتفاع نشسته		
صدک ۵ فاصله پشت آرنج تا نوک انگشت میانی در حالت نشسته	۳۷/۵	محدوده دسترسی کوتاه (Elbow-fingertip length) برای تعیین چیدمان پانل کنترل و تجهیزات آن
صدک ۵ فاصله شانه تا نوک انگشت میانی در حالت نشسته	۶۷/۳	محدوده دسترسی بلند (Shoulder to fingertip length) برای تعیین فاصله چیدمان مونیتر راهنما و سیستم پایش الکترونیک

^۹ - Electronic Monitoring System-EMS



شکل ۳. ابعاد بازطراحی تجهیزات فضای داخلی اتاقک



شکل ۴. نمای کلی و ابعاد اتاقک جرثقیل برجی طراحی شده براساس خروجی نرم افزار مدل سازی سه بعدی Blender

بحث

مداخله ارگونومی است. باتوجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در سطح کشور به بررسی وضعیت‌های کاری اپراتورهای جرثقیل برجی نپرداخته، امکان مقایسه نتایج پژوهش حاضر با سایر مطالعات در کشور ایران وجود ندارد. در پژوهش‌های انجام شده در سایر کشورها همچون مطالعه Veljković و همکاران نشان داد اکثر وضعیت‌های کاری و طراحی فضای داخلی اتاقک‌های جرثقیل مورد بررسی در کشور صربستان در سطح غیرقابل قبول

این پژوهش با هدف ارزیابی ریسک ارگونومی فعالیت اپراتورهای جرثقیل برجی و بازطراحی ابعاد و فضای داخلی اتاقک این جرثقیل‌ها براساس ابعاد آنتروپومیک اپراتورهای ایرانی در سه پروژه ساخت و ساز بزرگ شهر تهران انجام گرفت. نتایج ارزیابی وضعیت‌های کاری به روش رولا نشان داد فعالیت‌های اپراتورهای جرثقیل برجی در سطح ریسک بالا و بسیار بالا قرار داشته که نشان دهنده لزوم انجام تغییرات و

طراحی نامناسب اتاقک جرثقیل باشد. باتوجه به اینکه مهندسی فاکتورهای انسانی (ارگونومی)، علم مطالعه تعامل انسان و ماشین در محل کار است که هدف اصلی آن سازگاری انسان و ماشین برای بهبود عملکرد کارگران، کاهش استرس و خستگی است [۱۱]. بنابراین، انجام مداخلات ارگونومی همچون بازطراحی ایستگاه کاری اپراتورها براساس ابعاد آنتروپومتری جمعیت هدف و نه جمعیت عمومی و بازنگری در وظایف اپراتورهای جرثقیل ضروری به نظر می‌رسد [۳۱]. نتیجه این فرایند می‌تواند باعث پیشگیری از آسیب‌ها و تلفات جانی مرتبط باکار، بهبود سطح ایمنی و بهره‌وری شود.

در این پژوهش براساس ابعاد آنتروپومتری اپراتورهای ایرانی، ابعاد اتاقک جرثقیل برجی بازطراحی شد. بر این اساس، ابعاد اتاقک بازطراحی شده $۱۶۰/۸ \times ۱۴۴/۱ \times ۱۹۹/۷$ سانتی‌متر به دست آمد که با ابعاد توصیه‌شده توسط استاندارد ISO ۸۵۶۶-۵ نسخه سال ۲۰۱۷ ($۱۶۰ \times ۱۳۰ \times ۲۰۰$ سانتی‌متر) اندکی متفاوت است [۳۳]. همچنین، در مطالعه Brkić و همکاران براساس داده‌های آنتروپومتری اپراتورهای جرثقیل صربستانی، ابعاد اتاقک بازطراحی شده $۱۰۹/۵ \times ۱۱۵ \times ۱۸۶/۵$ سانتی‌متر گزارش شد [۱۸]. علاوه بر این، در پژوهش Essdai و همکاران، ابعاد اتاقک بازطراحی شده $۱۱۷/۴ \times ۱۰۸ \times ۱۸۶/۵$ سانتی‌متر به دست آمد [۳]. بنابراین، می‌توان گفت استاندارد ISO ۸۵۶۶-۵ در زمینه ابعاد اتاقک، چندان متناسب با ابعاد آنتروپومتری برخی جوامع نیست و نیاز به بازنگری دارد [۳]. همچنین، دلیل تفاوت ابعاد به دست آمده در پژوهش حاضر با سایر مطالعات ذکر شده می‌تواند به دلیل اختلاف ابعاد آنتروپومتری در جوامع مختلف و صدک‌های مورد استفاده در این مطالعات باشد. در مطالعه حاضر با هدف تأمین راحتی حداکثری اپراتورها از صدک ۵ و ۹۵ استفاده شد. علاوه بر این، در مطالعات اشاره‌شده و استاندارد مذکور، جمعیت مورد مطالعه، زنان و مردان بوده، از ابعاد آنتروپومتری زنان در تعیین برخی ابعاد اتاقک استفاده شده است. ولی در مطالعه حاضر به دلیل تفاوت‌های فرهنگی کشور ما و عدم اشتغال زنان به عنوان اپراتور جرثقیل فقط از ابعاد آنتروپومتری مردان استفاده گردید که این فاکتور نیز می‌تواند تفاوت اندازه‌های به دست آمده با سایر مطالعات را تبیین کند. ارتفاع اتاقک‌های موجود در پروژه‌های مورد بررسی در پژوهش حاضر ۲۳۷ و ۱۹۰ سانتی‌متر بود که نیاز به بازنگری در استفاده از اتاقک‌های با ارتفاع کمتر از مقدار به دست آمده در مطالعه حاضر (۱۹۹/۷ سانتی‌متر) است. اگرچه اندازه‌های ابعاد دیگر

قرار داشته که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد [۳۴]. همچنین، در مطالعه Buchholz و Kittusamy گزارش شد که وضعیت‌های کاری (پوسچر) نامطلوب در اپراتورهای ماشین‌های سنگین ساختمانی از جمله جرثقیل‌ها، بیشتر مربوط به طراحی نامناسب اتاقک و نوع وظایف این افراد است. همچنین، در این پژوهش محدودیت دید هنگام انجام وظیفه، فضای محدود اتاقک، نیروی بیش‌ازحد مورد نیاز برای حرکت دادن اهرم‌ها و پدال‌ها و طراحی نامناسب صندلی به عنوان ویژگی‌های طراحی ضعیف اتاقک جرثقیل اشاره شده است [۱۶]. در برخی مطالعات دیگر به فاکتورهایی همچون محدودیت دید، ابعاد نامناسب اتاقک، استقرار نادرست تنظیم‌کننده‌ها و نشانگرها به عنوان مهم‌ترین ریسک فاکتورهای ارگونومی ایستگاه کاری جرثقیل و مرتبط با پوسچر نامطلوب در اتاقک جرثقیل و به تبع آن کاهش سطح ایمنی و بهره‌وری اشاره شده است [۳۰، ۳۱]. براساس یافته‌های مطالعه حاضر مشخص شد که ۸۵ درصد از افراد مورد مطالعه در ۱۲ ماه گذشته در یکی از نواحی نه‌گانه بدن شامل گردن، شانه، پشت، کمر، ساعد، دست و مچ دست، ران، زانوها و یا پاها احساس درد و ناراحتی را گزارش کرده‌اند. همچنین، بیشترین میزان شیوع درد مربوط به کمر با $۶۱/۵$ درصد و سپس زانوها و پشت با $۳۸/۵$ درصد بوده است. همسو با این یافته‌ها، مطالعه Kushwaha و Kane نشان داد که تقریباً همه اپراتورهای جرثقیل‌های حمل‌ونقل صنعت فولاد کشور هند به‌طور مداوم از یک نوع اختلال اسکلتی‌عضلانی در یک سال گذشته از زمان بررسی رنج می‌بردند [۱۱]. همچنین، در مطالعه Muthukumar و همکاران اپراتورهای جرثقیل ۶۰ درصد در گردن، ۵۰ درصد در کمر و $۵۷/۱۴$ درصد در شانه احساس درد و ناراحتی کرده‌اند [۳۵]. علاوه بر این، براساس مطالعه Bovenzi و همکاران حدود ۶۰ درصد از اپراتورها مبتلا به کمردرد^{۱۰} بوده‌اند که با یافته‌های مطالعه حاضر مطابقت دارد [۱۵]. همچنین، در مطالعه Kushwaha و Kane گزارش شد که همه اپراتورهای جرثقیل مورد بررسی از یک نوع اختلال اسکلتی‌عضلانی به‌طور مداوم رنج می‌بردند. همچنین، در این پژوهش درد در گردن، کمر، ران / لگن و زانو به عنوان شایع‌ترین اختلالات اسکلتی‌عضلانی گزارش شده که با یافته‌های مطالعه حاضر تقریباً همخوانی دارد [۱۱]. براساس یافته‌های مطالعه حاضر در مورد ارزیابی وضعیت‌های کاری به روش رولا و شیوع اختلالات اسکلتی‌عضلانی و نتایج سایر پژوهش‌ها ریشه مشکل می‌تواند به دلیل در نظر نگرفتن فاکتورهای مهندسی انسانی و

¹⁰ Lower back pain

ابعاد فضای داخلی اتاقک استفاده شده است ولی در مطالعه حاضر به دلیل اشتغال نداشتن زنان به عنوان اپراتور جرثقیل فقط از ابعاد آنتروپومتری مردان استفاده گردید که این متغیر می تواند تفاوت ابعاد به دست آمده با استاندارد ذکر شده را تبیین کند.

در مقایسه میدانی ابعاد به دست آمده برای تجهیزات فضای داخلی اتاقک با وضعیت اتاقک های مورد استفاده در پروژه های مورد بررسی در پژوهش حاضر می توان گفت برخی از متغیرهای فضای داخلی، متناسب ابعاد آنتروپومتری جمعیت هدف نیست. بنابراین، برای بهبود وضعیت ارگونومی فضای داخلی جرثقیل، مداخلات اصلاحی زیر پیشنهاد می گردد. به کارگیری این مداخلات می تواند ضمن افزایش راحتی اپراتورها به کاهش درد و آسیب های ناشی از کار و در نهایت به بهبود سطح ایمنی و بهره وری در پروژه های ساختمانی کمک شایانی کند.

- دامنه حرکت صندلی های موجود در محور عمودی کم بوده و فاقد قابلیت حرکت افقی (حرکت به جلو عقب) است که لزوم اصلاح این متغیرها ضروری به نظر می رسد [۳۶].

- ابعاد برخی صندلی ها همچون عرض و عمق نشیمنگاه صندلی، ابعاد پشتی و ابعاد تکیه گاه آرنج، متناسب با ابعاد آنتروپومتری جمعیت هدف نبوده و تعویض آن ها با صندلی های استاندارد مطابق با ابعاد به دست آمده در مطالعه حاضر توصیه می گردد.

- ثابت بودن تکیه گاه آرنج صندلی های موجود و لزوم در نظر گرفتن قابلیت تنظیم ارتفاع برای تکیه گاه آرنج

- مانیتورهای راهنمای موجود (مورد استفاده برای بهبود دید در سیستم پایش الکترونیک)، علاوه بر ثابت بودن دارای ابعاد بسیار کوچکی هستند. بنابراین، استفاده از مانیتورهایی با ابعاد بزرگ تر و دارای قابلیت تنظیم زاویه و دامنه حرکت پیشنهاد می شود. انجام این مداخله ارگونومی ضمن بهبود دید می تواند از چرخاندن سر به چپ یا راست بیش از ۳۰ درجه و حرکت آن بیش از ۵ درجه به سمت بالا و بیش از ۲۵ درجه به سمت پایین پیشگیری کند [۳۷].

- به طور کلی، استفاده از مانیتور راهنما و سیستم پایش الکترونیک می تواند ضمن کاهش فشارهای جسمی و روحی بر اپراتورها به بهبود سطح ایمنی و بهره وری در پروژه های ساختمانی کمک زیادی کند [۳۸].

- تعبیه استراحتگاه پا با قابلیت تنظیم شیب و ارتفاع

اتاقک های موجود همچون طول و عرض اتاقک و ارتفاع و عرض درب ورودی اتاقک، بزرگ تر از مقادیر به دست آمده در پژوهش حاضر بوده، مشکلی در این زمینه مشاهده نمی شود. بنابراین، ریشه مشکلات مرتبط با وضعیت های کاری و آسیب های اسکلتی عضلانی اپراتورهای جرثقیل مورد بررسی می تواند کمتر با ابعاد اتاقک های موجود مرتبط بوده، مشکلات موجود می تواند به نوع وظایف این افراد یا طراحی تجهیزات فضای داخلی اتاقک ارتباط داشته باشد. در این پژوهش براساس ابعاد آنتروپومتری جمعیت مورد مطالعه برخی از تجهیزات فضای داخلی اتاقک بازطراحی گردید. در مقایسه ابعاد بازطراحی به دست آمده در مطالعه حاضر با مطالعات مشابه و استانداردهای موجود می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- محدوده تنظیم ارتفاع صندلی در سمت بالا و پایین در حدود ۶/۶ سانتی متر به دست آمد که در محدوده توصیه شده از دیدگاه ارگونومی (۹ سانتی متر) قرار دارد [۱۸].

- براساس استاندارد ISO ۸۵۶۶-۵ اندازه عرض نشیمنگاه صندلی در محدوده ۴۳ تا ۵۰ سانتی پیشنهاد شده است که در پژوهش حاضر، اندازه عرض صندلی ۴۵/۷ سانتی متر برآورد گردید که با استاندارد مذکور مطابقت دارد [۳۳].

- مقدار به دست آمده برای عمق نشیمنگاه صندلی در مطالعه حاضر (۴۴/۷ سانتی متر)، متفاوت با استاندارد ISO ۸۵۶۶-۵ بوده است [۳۳]. همچنین، در مطالعه Brkić و همکاران، مقدار متفاوت با استاندارد ذکر شده پیشنهاد شده است که با یافته های مطالعه حاضر همخوانی دارد [۱۸].

- در مطالعه حاضر، ارتفاع و عرض پشتی صندلی به ترتیب ۶۶/۱ و ۴۶ سانتی متر به دست آمد که متفاوت با محدوده توصیه شده در استاندارد ISO ۸۵۶۶-۵ (۵۰/۸ تا ۳۸/۱) و (۳۶ تا ۳۰ سانتی متر) است [۳۳]. در مطالعه Brkić و همکاران مقادیر متفاوت با استاندارد مذکور پیشنهاد شده که هم راستا با یافته های مطالعه حاضر است [۱۸].

- در این مطالعه، محدوده تنظیم ارتفاع تکیه گاه آرنج در بازه ۲۴/۵ تا ۲۷/۱ سانتی متر به دست آمد که با مقادیر توصیه شده استاندارد ISO ۸۵۶۶-۵ (۱۹ تا ۲۹/۷) همخوانی دارد. همچنین، طول تکیه گاه آرنج در پژوهش حاضر ۲۰/۱ سانتی متر محاسبه شد که با مقدار پیشنهادی استاندارد مذکور (۲۰/۳ سانتی متر) مطابقت دارد [۳۳].

همان گونه که قبلاً اشاره گردید در استاندارد ISO ۸۵۶۶ از ابعاد آنتروپومتری زنان در تعیین برخی از

نتیجه گیری

براساس نتایج مطالعه از دیدگاه ارزیابی ریسک ارگونومی، فعالیت‌های اپراتورهای جرثقیل برجی در سطح ریسک بالا قرار داشتند و درصد شیوع اختلالات اسکلتی-عضلانی در بین آن‌ها زیاد بود. بنابراین، طراحی فضای داخلی اتاقک‌های جرثقیل، نیازهای اپراتور را برآورده نمی‌کند و به‌کارگیری مداخلات اصلاحی و بازطراحی مجدد، جهت افزایش تطابق بین انسان و ماشین، بهبود سطح ایمنی و پیشگیری از آسیب‌های اسکلتی-عضلانی ضروری به نظر می‌رسد.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی مصوب کمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی سمنان است. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از کمیته تحقیقاتی دانشجویی دانشگاه، مدیران پروژه‌های ساختمانی و تمامی مشارکت‌کنندگان در این مطالعه تشکر و قدردانی کنند.

تعارض منافع

بین نویسندگان هیچ‌گونه تعارضی در منافع وجود ندارد.

منابع مالی

منابع مالی این مطالعه توسط نویسندگان تامین شده است.

References

- Labor B. Employed Persons by Detailed Industry, Sex, Race, and Hispanic or Latino Ethnicity, 2012. Bureau Lab Stat. 2013a.; 2013.
- Labor B. Census of Fatal Occupational Injuries Summary, 2012. Bureau Lab Stat; 2013.
- Essdai A, Spasojević Brkić VK, Golubović T, Brkić A, Popović V. Crane cabins' interior space multivariate anthropometric modeling. *Work*. 2018; 59(4):557-70. [DOI:10.3233/WOR-182706] [PMID]
- Lee UK, Kang KI, Kim GH, Cho HH. Improving tower crane productivity using wireless technology. *Comp-Aid Civil Infrastruct Engin*. 2006; 21(8):594-604. [DOI:10.1111/j.1467-8667.2006.00459.x]
- Raviv G, Fishbain B, Shapira A. Analyzing risk factors in crane-related near-miss and accident reports. *Safety Sci*. 2017; 91:192-205. [DOI:10.1016/j.ssci.2016.08.022]
- Neitzel RL, Seixas NS, Ren KK. A review of crane safety in the construction industry. *Appl Occup Environ Hygiene*. 2001; B16(12):1106-17. [DOI:10.1080/10473220127411] [PMID]
- Spasojević Brkić VK, Veljković ZA, Golubović T, Brkić AD, Kosić Šotić I. Workspace design for crane cabins applying a combined traditional approach and the Taguchi method for design of experiments. *Int J Occup Safety Erg*. 2016; 22(2):228-40. [DOI:10.1080/10803548.2015.1111713] [PMID]
- Sertysilisik B, Tunstall A, McLoughlin J. An investigation of lifting operations on UK construction sites. *Safety Sci*. 2010; 48(1):72-9. [DOI:10.1016/j.ssci.2009.06.001]
- Yow P, Rooth R, Fry K. A report of the crane unit of the division of occupational safety and health. California: Division of Occupational Safety and Health California Department of Industrial Relations; 2000.
- Swuste P. A 'normal accident' with a tower crane? An accident analysis conducted by the Dutch Safety Board. *Safety Sci*. 2013; 57:276-82. [DOI:10.1016/j.ssci.2013.03.002]
- Kushwaha DK, Kane PV. Ergonomic assessment and workstation design of shipping crane cabin in steel industry. *Int J Ind Erg*. 2016;52:29-39. [DOI:10.1016/j.ergon.2015.08.003]

¹²-Physical load

¹¹ Waterfall edges

12. Fung IW, Tam VW, Sing C, Tang K, Ogunlana SO. Psychological climate in occupational safety and health: the safety awareness of construction workers in South China. *Int J Cons Manag.* 2016; 16(4):315-25. [DOI:10.1080/15623599.2016.1146114]
13. Beavers JE, Moore J, Rinehart R, Schriver W. Crane-related fatalities in the construction industry. *J Const Eng Manag.* 2006; 132(9):901-10. [DOI:10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:9(901)]
14. Shapira A, Elbaz A. Tower crane cycle times: case study of remote-control versus cab-control operation. *J Const Eng Manag.* 2014; 140(12):05014010. [DOI:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000904]
15. Bovenzi M, Pinto I, Stacchini N. Low back pain in port machinery operators. *J Sound Vibrat.* 2002; 253(1):3-20. [DOI:10.1006/jsvi.2001.4246]
16. Kittusamy NK, Buchholz B. Whole-body vibration and postural stress among operators of construction equipment: A literature review. *J Safety Res.* 2004; 35(3):255-61. [DOI:10.1016/j.jsr.2004.03.014] [PMID]
17. Committee H. Guidelines for using anthropometric data in product design: Human Fact Erg Soc; 2004.
18. Brkić VS, Klarin M, Brkić AD. Ergonomic design of crane cabin interior: The path to improved safety. *Safety Sci.* 2015; 73:43-51. [DOI:10.1016/j.ssci.2014.11.010]
19. Kamalinia M, Saraji GN, Kee D, Hosseini M, Choobineh A. Postural loading assessment in assembly workers of an Iranian telecommunication manufacturing company. *Int J Occup Safety Erg.* 2013; 19(2):311-9. [DOI:10.1080/10803548.2013.11076988] [PMID]
20. McAtamney L, Corlett EN. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Appl Erg.* 1993; 24(2):91-9. [DOI:10.1016/0003-6870(93)90080-S]
21. Dockrell S, O'Grady E, Bennett K, Mullarkey C, Mc Connell R, Ruddy R, et al. An investigation of the reliability of Rapid Upper Limb Assessment (RULA) as a method of assessment of children's computing posture. *Appl Erg.* 2012; 43(3):632-6. [DOI:10.1016/j.apergo.2011.09.009] [PMID]
22. Levanon Y, Lerman Y, Gefen A, Ratzon NZ. Validity of the modified RULA for computer workers and reliability of one observation compared to six. *Ergonomics.* 2014; 57(12):1856-63. [DOI:10.1080/00140139.2014.952350] [PMID]
23. Ghasemkhani M, Azam K, Aten S. Evaluation of ergonomic postures of assembling unit workers by Rapid Upper Limb Assessment. *Hakim Res J.* 2007; 10(2):28-33.
24. Dickinson C, Campion K, Foster A, Newman S, O'rourke A, Thomas P. Questionnaire development: an examination of the Nordic Musculoskeletal Questionnaire. *Appl Erg.* 1992; 23(3):197-201. [DOI:10.1016/0003-6870(92)90225-K]
25. Dawson AP, Steele EJ, Hodges PW, Stewart S. Development and test-retest reliability of an extended version of the Nordic Musculoskeletal Questionnaire (NMQ-E): a screening instrument for musculoskeletal pain. *J Pain.* 2009; 10(5):517-26. [DOI:10.1016/j.jpain.2008.11.008] [PMID]
26. De Barros E, Alexandre NMC. Cross-cultural adaptation of the Nordic musculoskeletal questionnaire. *Int Nurs Rev.* 2003; 50(2):101-8. [DOI:10.1046/j.1466-7657.2003.00188.x] [PMID]
27. Dormohammadi A, Zarei E, Normohammadi MR, Sarsangi V, Amjad SH, Asghari M. risk assessment of computer user upper musculoskeletal limb disorders in a power company by means of rula method and NMQ in 1390. *J Sabzevar Uni Med Sci.* 2014; 20(4):521-9.
28. European Committee for Standardization (CEN). Safety of machinery - Human body measurements - Part 3: Anthropometric data (Standard No. EN 547-3:1996+A1:2008). Brussels: European Committee for Standardization.
29. Human Factors and Ergonomics Society. HFES 300: Guidelines for Using Anthropometric Data in Product Design. California: Human Factors and Ergonomics Society; 2004.
30. Nordin F, Olsson S. Development of driver environment in crane cabin. MA thesis. Luleå: Luleå University of Technology; 2008.
31. Zunjic A, Brkic VS, Klarin M, Brkic A, Krstic D. Anthropometric assessment of crane cabins and recommendations for design: A case study. *Work.* 2015; 52(1):185-94. [DOI:10.3233/WOR-152042] [PMID]
32. Actuators (Standard No. EN 894-4:2010). Brussels, Belgium: CEN; 2010.
33. International Standards Organizatio, 2017. Cranes - Cabins - Part 1-5. ISO 8566.
34. Veljković Z, Spasojević-Brkić V, Brkić A. Crane cabins' safety and ergonomics characteristics evaluation based on data collected in Sweden port. *J Appl Eng Sci.* 2015; 13(4):299-306. [DOI:10.5937/jaes13-9564]
35. Muthukumar K, Sankaranarayanan K, Ganguli A. Study on Discomfort in Mobile Crane Operation. *Ace.* 2017; 35:13.
36. Chandler F. Human Factors Engineering Guidelines For Overhead Cranes. 2001. Report No.: Report No. SC-YA-5436.
37. Barron PJ, Owende PM, McDonnell KP, Ward SM. A method for assessment of degradation of task visibility from operator cabins of field machines. *Int J Indust Erg.* 2005; 35(7):665-73. [DOI:10.1016/j.ergon.2005.02.001]
38. Dondur N, Spasojević-Brkić V, Brkić A. Crane cabins with integrated visual systems for the detection and interpretation of environment-economic appraisal. *J Appl Eng Sci.* 2012; 10(4):191-6. [DOI:10.5937/jaes10-2516]