Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 4, Issue 3, Autumn 2017, Pages: 17-25

Original Article

doi: ------

Ergonomic Evaluation of Welders' Posture and Biomechanical Analysis of Loads on the Spine by CATIA Software in Iran Gas Transmission Company

Reza Tahmasebi[1], Mehrdad Anbarian[2], Sadaf Torkashvand[3], Majid Motamedzade[4,*], Maryam Farhadian[5]

[1] *MSc Student, Department of Ergonomics, School of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[2] *Professor, Department of Sports Biomechanics, Faculty of Physical Education, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran*
[3] *MSc Student, School of Health, Safety, and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[4] *Professor, Department of Ergonomics, School of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[5] *Assistant Professor, Department of Biostatistics, Modeling of Noncommunicable Diseases Research Center, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*

**** Corresponding Author:*** *Majid Motamedzade, Department of Ergonomics, School of Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. E mail: motamedzade@yahoo.com*

Received: 02/07/2017
Accepted: 14/10/2017

How to Cite this Article:
Tahmasebi R, Anbarian M, Torkashvand S, Motamedzade M, Farhadian M. Ergonomic Evaluation of Welders' Posture and Biomechanical Analysis of Loads on the Spine by CATIA Software in Iran Gas Transmission Company. *J Occup Hyg Eng*. 2017; 4(3): 17-25. DOI: ------

Abstract

Background and Objective: Nowadays, observational methods based on video recording of work processes and its analysis by using computer software are widely used. Therefore, we attempted to assess welders' posture and its biomechanical analysis by using computer aided three-dimensional interactive application (CATIA) software.

Materials and Methods: This study was performed among welders of Iranian Gas Transmission Company. The evaluated postures, which included three postures, were determined from photos and videos, which were recorded during the welding process. After determining the target postures, digital human models were simulated in the CATIA software. Then, rapid upper limb assessment (RULA) method and biomechanical analysis of forces were performed on the human digital models.

Results: The analytical results were directly extracted from the CATIA software. The final scores of the three postures evaluated using RULA method indicated that for two postures, immediate corrective action is required, and for one posture, corrective action should be taken in the near future. In addition, biomechanical analysis of forces in one of those postures revealed forces higher than the recommended limit by the National Institute for Occupational Safety and Health.

Conclusion: CATIA software provides a better assessment of workers' conditions in workplaces. Analysis using RULA method is a significant measure in evaluation and redesign of workstations.

Keywords: Biomechanical Analysis; Digital Human Modeling; Ergonomics; Posture Assessment; Welding Posture

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.17]

Copyright © 2017 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (*http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/*) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

مقاله پژوهشی

doi: ----------

ارزیابی ارگونومیک پوسچر جوشکاران و آنالیز بیومکانیکی بارهای وارد بر ستون فقرات با استفاده از نرم‌افزار CATIA در شرکت انتقال گاز ایران

رضا طهماسبی[۱]، مهرداد عنبریان[۲]، صدف ترکاشوند[۳]، مجید معتمدزاده[۴،*]، مریم فرهادیان[۵]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه ارگونومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۲] استاد، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
[۴] استاد، گروه ارگونومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
[۵] استادیار، گروه آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

* **نویسنده مسئول:** مجید معتمدزاده، گروه ارگونومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.
ایمیل: motamedzade@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۱
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۲۲

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: امروزه روش‌های مشاهده‌ای بر پایه فیلم‌برداری از فرآیند کار و تجزیه و تحلیل آن با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این راستا هدف از پژوهش حاضر ارزیابی پوسچر جوشکاران و آنالیز بیومکانیکی آن با استفاده از نرم‌افزار طراحی سه بعدی در محیط نرم‌افزار CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در ارتباط با جوشکاران منطقه هفت عملیات انتقال گاز انجام شد. پوسچرهای مورد ارزیابی که شامل سه پوسچر بودند از طریق فیلم‌ها و عکس‌های گرفته‌شده از جوشکاران در هنگام کار تعیین شدند. پس از تعیین پوسچرهای مورد ارزیابی، مدل دیجیتالی پوسچر فرد در محیط نرم‌افزار CATIA شبیه‌سازی گردید. سپس ارزیابی سریع اندام فوقانی با استفاده از روش RULA (Rapid Upper Limb Assessment) و آنالیز بیومکانیکی نیروها روی مدل انسانی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌طور مستقیم از نرم‌افزار CATIA جمع‌آوری گردید. امتیاز نهایی سه پوسچر مورد ارزیابی با استفاده از روش RULA نشان داد که برای دو پوسچر نیاز به اقدام فوری بوده و برای پوسچر دیگر تغییرات در آینده نزدیک لازم است. همچنین آنالیز بیومکانیکی نیروها بیانگر آن بود که در یکی از پوسچرها میزان نیروها بالاتر از حد توصیه‌شده توسط NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) می‌باشد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از نرم‌افزار CATIA می‌توان ارزیابی بهتری را از شرایط کارگران در محیط کار انجام داد. شایان ذکر است که تجزیه و تحلیل به روش RULA یک اقدام مهم در ارزیابی و طراحی مجدد ایستگاه‌های کاری می‌باشد.

واژگان کلیدی: ارزیابی پوسچر؛ ارگونومی؛ آنالیز بیومکانیکی؛ پوسچر جوشکاری؛ مدل‌سازی دیجیتالی انسان

مقدمه

اختلالات اسکلتی- عضلانی مرتبط با کار (WMSDs: Work-related Musculoskeletal Disorders) نشان‌دهنده بخش عمده‌ای از بیماری‌های مرتبط با کار است که به‌طور عمده در اندام‌های فوقانی، کمر و گردن نمایان می‌شود [۱]. این اختلالات علاوه بر به خطر انداختن سلامت کارگران باعث کاهش عملکرد آن‌ها در انجام وظایف می‌شود [۲،۳]. مطالعات انجام‌شده حاکی از آن است که عملکرد پایین کارگران می‌تواند عواقب اقتصادی و اجتماعی قابل‌توجهی را در پی داشته باشد [۴-۷]. بسیاری از کارگرانی که در محیط‌های صنعتی کار می‌کنند در معرض ناراحتی و دردهای ناشی از کار هستند. ریسک‌فاکتورهای شغلی، مهم‌ترین عامل تهدیدکننده سلامت کارگران در صنایع می‌باشند [۸]. مطالعات متعددی ارتباط بین بیماری‌های ناشی از کار و ریسک‌فاکتورهای فیزیکی در محل کار را شناسایی نموده‌اند [۹،۱۰]. عدم آگاهی کارگران از اصول ارگونومی در

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.17]

بسیاری از صنایع باعث می‌شود که کارگران در هنگام کار، پوسچر نامناسبی به خود بگیرند [۱۱،۱۲]. جوشکارانی که در خطوط انتقال گاز کار می‌کنند، با توجه به شرایط کار مجبور هستند در حالت‌های مختلفی به جوشکاری بپردازند که این پوسچرهای نامناسب باعث بروز اختلالات اسکلتی- عضلانی در جوشکاران می‌شود [۱۳،۱۴].

برای تجزیه و تحلیل وظایف شغلی می‌توان از پرسش‌نامه، مصاحبه و تصاویر ویدئویی استفاده کرد. علاوه‌براین از روش‌های ارزیابی شناخته‌شده دیگری نیز برای ارزیابی فعالیت‌های شغلی بر حسب بخش‌های مختلف بدن و نوع فعالیت استفاده می‌شود. در این ارتباط، روش‌هایی که بیشتر در ارزیابی‌های ارگونومیک مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارت هستند از: RULA (Rapid Upper Limb Assessment)، REBA (Rapid Entire Body Assessment)، OWAS (Ovako Working Posture Analysing System)، LUBA (Loading Upper Body Assessment) و QEC (Quick Exposure Check) [۱،۱۵]. RULA یکی از روش‌های مشاهده‌ای رایج در ارزیابی ارگونومیک ریسک اختلالات اسکلتی- عضلانی مرتبط با کار است [۱۶،۱۷] که به ارزیابی سریع حالت‌های گردن، تنه و اندام‌های فوقانی همراه با عملکرد عضله و بارهای خارجی می‌پردازد [۱۸،۱۹].

امروزه روش‌های مشاهده‌ای بر پایه فیلم‌برداری از فرآیند کار و تجزیه و تحلیل آن با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری با توجه به عملی و اقتصادی‌بودن و نیز نتایج دقیق حاصل از تجزیه و تحلیل به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۰]. در طراحی محیط کار نیز از مدل‌سازی دیجیتالی انسان (DHM: Digital Human Modeling) برای تجزیه و تحلیل ارگونومیکی وظایف و تجسم و استقرار کاربر در محیط کار استفاده می‌شود [۱۵]. این تکنولوژی به طراح یا ارگونومیست اجازه می‌دهد که در مراحل اولیه طراحی بدون نیاز به اندازه‌گیری مستقیم ابعاد بتواند الزامات ارگونومیکی را در طراحی اعمال کند و حالت‌های مختلف شخص در هنگام استفاده از ابزار یا هنگام کارکردن را مورد ارزیابی قرار دهد. نرم‌افزار CATIA یکی از ابزارهای مفید در این زمینه است که کاربرد فراوانی در مطالعات و ارزیابی‌های ارگونومیکی دارد. این نرم‌افزار با برخورداری از ابزارها و روش‌های ارزیابی ارگونومیک مختلف می‌تواند تمامی عوامل دخیل در تعامل انسان- ماشین و حالت‌هایی که شخص در هنگام کار در محیط کاری دارد را تجزیه و تحلیل نماید و راه‌حل‌های مناسبی را ارائه دهد. مطالعات انجام‌شده بیانگر آن است که نرم‌افزار CATIA ابزاری بسیار کاربردی برای ارزیابی پوسچرهای کاری، نیروهای بیومکانیکی وارد بر فرد، طراحی ارگونومیک محصولات، طراحی محیط کاری و تعامل انسان- ماشین می‌باشد [۲۱-۲۳].

به‌طور کلی هدف از پژوهش حاضر ارزیابی پوسچر غالب جوشکاران در هنگام جوشکاری و آنالیز بیومکانیکی بارهای واردشده بر آن‌ها در خطوط انتقال گاز بود. در این پژوهش پس از شبیه‌سازی پوسچر جوشکاران در محیط نرم‌افزار CATIA V5R20، از روش RULA برای تجزیه و تحلیل پوسچر استفاده گردید و از آنالیز بیومکانیکی نیروها برای تجزیه و تحلیل نیروهای واردشده بر جوشکاران در هنگام جوشکاری بهره گرفته شد. ذکر این نکته ضرورت دارد که مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که نتایج به‌دست‌آمده از DHM نسبت به سایر روش‌ها دقیق‌تر بوده است؛ از این رو نسبت به استفاده از این روش در ارزیابی پوسچر در مشاغل مختلف تأکید می‌شود [۲۴].

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر روی جوشکاران منطقه هفت عملیات انتقال گاز انجام شد. پوسچرهای مورد ارزیابی حالت‌هایی بودند که جوشکاران اغلب هنگام جوشکاری از آن‌ها استفاده می‌کردند. این پوسچرها از طریق فیلم‌ها و عکس‌های گرفته‌شده از جوشکاران هنگام کار تعیین شدند. باید عنوان نمود که با توجه به متغیربودن قطر لوله بین ۱۸ تا ۵۶ اینچ و ارتفاع جوشکاری در مناطق مختلف، جوشکاران در هنگام جوشکاری پوسچرهای مختلفی داشتند که از بین این پوسچرها سه حالت که بیشترین تکرار و استفاده را داشتند، انتخاب شدند. پس از تعیین پوسچرهای مورد ارزیابی، مدل دیجیتالی پوسچر فرد در محیط نرم‌افزار CATIA V5R20 شبیه‌سازی شد. سپس ارزیابی به روش RULA صورت گرفت و آنالیز بیومکانیکی نیروهای واردشده بر فرد بر روی مدل انسانی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

CATIA یک نرم‌افزار طراحی در محیط کامپیوتر است که شامل ابزارهای ابتدایی و پیشرفته مهندسی برای طراحی و تجزیه و تحلیل ارگونومیک می‌باشد. با استفاده از بخش مدل‌سازی انسان در محیط نرم‌افزار به‌راحتی می‌توان تجزیه و تحلیل ارگونومیک را روی مدل شبیه‌سازی‌شده با استفاده از روش‌هایی چون RULA انجام داد. از داده‌های حاصل از RULA می‌توان در تجزیه و تحلیل ارگونومیکی در فرایند طراحی استفاده نمود. از دیگر امکانات CATIA در بخش ارگونومی می‌توان به تجزیه و تحلیل هل‌دادن، کشیدن و حمل بار اشاره کرد. برای پیاده‌سازی و استفاده از امکانات ارگونومی در محیط CATIA چهار بخش تعریف شده است که عبارت هستند از: مدل‌سازی انسان، ویرایشگر ابعاد انسان، تجزیه و تحلیل پوسچر انسان و تجزیه و تحلیل فعالیت انسانی. در بخش مدل‌سازی انسان می‌توان شبیه‌سازی بسیار دقیقی از انسان در محیط کار و تعامل فرد با محصول برای اطمینان از مناسب‌بودن محیط کار و وظیفه انجام داد. این

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.17]

بخش به‌طور خاص بر مدل‌سازی دیجیتالی انسان برای تجزیه و تحلیل تعامل انسان با وظیفه و یا محصول تمرکز دارد. با استفاده از ابزارهای گوناگون موجود در این نرم‌افزار می‌توان مدل دیجیتالی انسان را بر اساس جنسیت، نژاد و صدک‌های مختلفی که به‌صورت پیش‌فرض در نرم‌افزار وجود دارد، ایجاد کرد. همچنین می توان پوسچر شخص را در محیط کامپیوتری برای تجزیه و تحلیل‌های پیشرفته به‌صورت دقیق شبیه‌سازی نمود که این کار با تغییر زاویه مفاصل مانکن به‌صورت دستی و یا واردکردن زاویه موردنظر به‌صورت عدد در منوی مربوطه اعمال می‌شود. از سوی دیگر بخش ویرایشگر ابعاد انسان به‌طور خاص بر ایجاد مدل دیجیتالی انسان بر اساس ابعاد آنتروپومتری دلخواه متمرکز است. علاوه بر ابعاد آنتروپومتری هفت جمعیت مختلف که به‌صورت پیش‌فرض روی نرم‌افزار وجود دارد، با استفاده از این بخش می‌توان با واردکردن ۱۰۳ متغیر آنتروپومتریکی، هر انسانی را به‌صورت مدل دیجیتالی شبیه‌سازی کرد. در این قسمت به دو صورت می‌توان تغییرات لازم را روی مانکن اعمال نمود. در حالت اول اعداد مربوط به ابعاد در منوی مربوطه وارد می‌شود و در حالت دوم با حرکت‌دادن قسمت‌های مختلف مانکن می توان تغییرات را اعمال کرد. در بخش تجزیه و تحلیل پوسچر انسان می‌توان تجزیه و تحلیل کمی و کیفی را روی تمام بخش‌های پوسچر مانکن انجام داد. پس از شبیه‌سازی پوسچر روی مدل، امکان تجزیه و تحلیل فراهم می‌شود. با استفاده از دستور تجزیه و تحلیل وضعیت می‌توان محدودیت‌های زاویه‌ای برخی از بخش‌های بدن را روی مانکن ویرایش کرد. پس از اعمال تمامی محدودیت‌های زاویه‌ای برای کل بخش‌ها، آنالیز پوسچر انجام می‌شود و امتیاز کلی وضعیت و جزئیات بخش‌های مختلف مانکن نمایش داده می‌شود. در بخش تجزیه و تحلیل فعالیت انسانی می‌توان تنش‌های واردشده، میزان خستگی و ارزیابی پوسچر در هنگام کار برای یک اپراتور انسانی را با استفاده از روش ارزیابی RULA و آنالیز بیومکانیکی بارهای واردشده مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. همچنین می‌توان حداکثر بار مجاز برای حمل‌کردن، هل‌دادن و کشیدن برای یک اپراتور خاص را بر اساس معیارهای NIOSH 1991، NIOSH 1981 و Snook and Ciriello 1991 ارزیابی نمود. شایان ذکر است که برای انجام این تحلیل باید وضعیت بدن در حالت ابتدایی و انتهایی به سیستم معرفی شود.

یکی از روش‌های ارزیابی مورد استفاده در این پژوهش روش RULA بود. از این روش برای تجزیه و تحلیل اندام‌های فوقانی بر اساس پارامترهایی نظیر فاصله، وزن و فرکانس استفاده می‌شود. نمونه دیجیتالی انسان از جنبه‌های مختلفی بر اساس متغیرهای مختلف و داده‌های کاربر مانند وضعیت قرارگیری اندام‌های مختلف بدن، مدت زمان فعالیت، وزن جسم و فرکانس کار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. حمایت خارجی از مانکن، تعادل مانکن و جهت‌گیری بازوها در هنگام کار نیز در نظر گرفته می‌شود. بر اساس امتیاز نهایی RULA از ارزیابی پوسچر که بین ۱ تا ۷ می‌باشد، نرم‌افزار پیشنهاداتی را در مورد وضعیت ارزیابی‌شده ارائه می‌دهد که عبارت است از: "وضعیت قابل‌قبول است؛ بیشتر مورد بررسی قرار گیرد؛ تغییرات به‌زودی اعمال شود؛ تغییرات بلافاصله اعمال گردد" [۲۵]. لازم به ذکر است که این امتیازات به‌صورت مقیاس رنگی و متغیر بین رنگ‌های سبز تا قرمز بر حسب سطح ریسک گزارش می‌شود (جدول ۱). این گزارش امتیاز شامل دو حالت پایه و پیشرفته یا دقیق می‌باشد که در حالت پایه تنها امتیاز نهایی گزارش می‌شود؛ اما در حالت دوم امتیازها به تفکیک بخش‌های مختلف بدن گزارش می‌گردند. امتیاز، رنگ و معنای آن‌ها برای حالت پیشرفته در جدول ۲ ارائه شده است. در مجموع می‌توان گفت که تجزیه و تحلیل RULA به بهینه‌سازی وضعیت مانکن کمک می‌کند و این امر در نهایت موجب طراحی بهتر محصولات و محل کار می‌شود [۲۶،۲۷].

جدول ۱: تفسیر امتیاز نهایی RULA

امتیاز	رنگ	معنی
۱ و ۲	سبز	پوسچر قابل‌قبول است.
۳ و ۴	زرد	بررسی بیشتر مورد نیاز است و تغییرات ممکن است لازم باشد.
۵ و ۶	نارنجی	بررسی و تغییرات به‌زودی انجام شود.
۷	قرمز	بررسی و ایجاد تغییرات بلافاصله انجام شود.

جدول ۲: دامنه امتیاز هر بخش در RULA

قسمت	محدوده نمره	نمره با رنگ نشان‌دهنده سطح ریسک					
		۱	۲	۳	۴	۵	۶
بازو	۱ تا ۶						
ساعد	۱ تا ۳						
مچ دست	۱ تا ۴						
پیچش مچ دست	۱ تا ۲						
گردن	۱ تا ۶						
تنه	۱ تا ۶						

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.17]

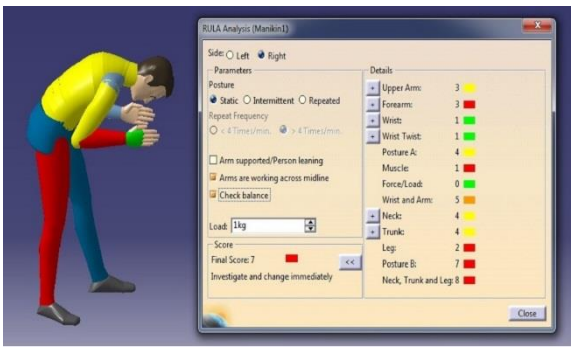
جدول ۲ نشان‌دهنده دامنه امتیازات برای هر بخش به‌همراه رنگ مشخص‌شده برای سطح ریسک می‌باشد. از میانگین این نمرات و رنگ‌ها برای گزارش امتیاز نهایی RULA استفاده می‌شود.

تجزیه و تحلیل بیومکانیکی نیروها روش ارزیابی دیگری بود که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. این ارزیابی بر روی مدل انسانی شبیه‌سازی‌شده در محیط نرم‌افزار صورت می‌گیرد و خروجی آن اطلاعاتی در مورد وضعیت بیومکانیکی فرد از قبیل بارهای واردشده بر ستون فقرات، نیرو و گشتاور اعمال‌شده بر مفاصل مانکن را شامل می‌شود. تمام خروجی‌هایی که این ارزیابی ارائه می‌دهد بر اساس نتایج و الگوریتم‌های منتشرشده توسط مراجع علمی است [۲۸]. باید توجه داشت که امکان محاسبه نیروهای واردشده بر مانکن به واسطه حمل بار به وسیله دست در تجزیه و تحلیل بیومکانیکی وجود دارد. این نیروها ممکن است در نتیجه حمل، هل‌دادن و یا کشیدن به مانکن وارد شود.

یافته‌ها

نتایج تجزیه و تحلیل داده‌های این پژوهش به‌طور مستقیم از نرم‌افزار CATIA جمع‌آوری شد. جهت انجام پژوهش، مدل دیجیتالی انسان مطابق با پوسچر جوشکاران در هنگام جوشکاری در محیط نرم‌افزار شبیه‌سازی گردید و آنالیزهای لازم روی مدل دیجیتالی انجام شد. بدین‌منظور با استفاده از مصاحبه و فیلم‌برداری، پوسچر غالب جوشکاران در هنگام جوشکاری که شامل سه وضعیت مختلف بود، تعیین گردید. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل RULA به‌همراه بخش‌هایی از بدن که در وضعیت مناسبی نیستند در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳: آنالیز پوسچر جوشکاران با روش RULA در محیط نرم‌افزار CATIA

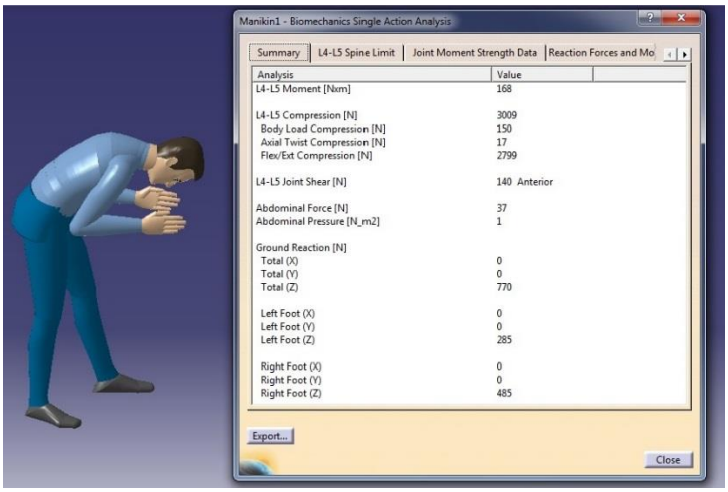
پوسچر	پوسچر واقعی هنگام کار	مدل دیجیتالی انسان
پوسچر ۱		
پوسچر ۲		
پوسچر ۳		

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.17]

مطابق با جدول ۳، جوشکاران هنگام جوشکاری قسمت‌های بالایی لوله، تنه خود را تا حد زیادی به سمت جلو خم می‌کنند و حالتی مطابق با پوسچر ۱ را به خود می‌گیرند. امتیاز نهایی این پوسچر از تجزیه و تحلیل RULA، ۷ و رنگ قرمز بود. این امر به آن معنا است که بررسی و تغییرات فوری در پوسچر مورد نظر لازم می‌باشد. در این ارتباط قسمت‌هایی که بیشتر تحت فشار بوده و در وضعیت نامناسبی قرار داشتند شامل: پا، ساعد، بازو و گردن بودند. علاوه‌براین در هنگام جوشکاری قسمت‌های کناری لوله، جوشکاران حالت چمباتمه (مشابه با پوسچر ۲) را به خود می‌گیرند. نتایج تجزیه و تحلیل RULA نشان می‌دهد که امتیاز نهایی برای این پوسچر، ۶ و رنگ نارنجی بود که بیانگر انجام بررسی بیشتر و اعمال تغییرات در آینده نزدیک است. قسمت‌هایی که در این پوسچر بیشتر درگیر بوده و نیازمند تغییر می‌باشند عبارت هستند از: گردن، ساعد و مچ دست. پوسچر ۳ نیز مربوط به حالتی است که جوشکاران لوله‌هایی با قطر زیاد را جوش می‌دهند. در این حالت جوشکاران خمش و چرخش زیادی را بر تنه خود اعمال می‌کنند. امتیاز نهایی حاصل از تجزیه و تحلیل برای این پوسچر، ۷ و رنگ قرمز می‌باشد که نیازمند بررسی و اقدام فوری است. در این پوسچر گردن، بازو، پا و تنه در وضعیت نامناسبی قرار گرفته بودند.

مواردی که در تجزیه و تحلیل بیومکانیکی فعالیت فرد مورد ارزیابی قرار گرفتند، عبارت بودند از: فشار نقطه‌ای وارد بر دیسک L4-L5، نیروی فشاری وارد بر دیسک L4-L5، نیروی ناشی از پیچش محوری، نیروی ناشی از فلکشن و اکستنشن، نیروی برشی وارد بر دیسک L4-L5، نیروی شکمی و نیروی عکس‌العمل زمین. در شکل ۱ به‌عنوان نمونه، تجزیه و تحلیل بیومکانیکی پوسچر ۱ ارائه شده است و در جدول ۴ نتایج حاصل از آنالیز بیومکانیکی سه پوسچر به‌صورت خلاصه مشاهده می‌شود.



شکل ۱: نتایج تجزیه و تحلیل بیومکانیکی پوسچر ۱

جدول ۴: آنالیز بیومکانیکی پوسچرهای مورد ارزیابی

موارد مورد ارزیابی	پوسچر ۱	پوسچر ۲	پوسچر ۳
فشار نقطه‌ای وارد بر دیسک L4-L5	۱۶۸	۳۹	۱۶۳
نیروی فشاری وارد بر دیسک L4-L5	۳۰۰۹	۱۰۶۷	۳۵۸۹
نیروی ناشی از پیچش محوری	۱۷	۰	۹۸
نیروی ناشی از فلکشن و اکستنشن	۲۷۹۹	۶۵۵	۲۷۱۴
نیروی برشی وارد بر دیسک L4-L5	۱۴۰ قدامی	۲۶ خلفی	۳۷ قدامی
نیروی شکمی	۳۷	۸	۴۰
نیروی عکس‌العمل زمین			
کل (Z)	۷۷۰	۷۷۰	۷۷۰
پای چپ (Z)	۲۸۵	۳۸۵	۳۵۱
پای راست (Z)	۴۸۵	۳۸۵	۴۱۹

مطابق با جدول ۴، آنالیز بیومکانیکی پوسچرهای مورد ارزیابی نشان می‌دهد که فشار نقطه‌ای وارد بر دیسک L4-L5 در پوسچر ۲ نسبت به دو پوسچر دیگر کمتر بوده و برابر با ۳۹ می‌باشد. بر مبنای نتایج بیشترین فشار مربوط به پوسچر ۱ با ۱۶۸ نیوتن است. همچنین کمترین نیروی فشاری وارد بر دیسک L4-L5 در بین پوسچرها مربوط به پوسچر ۲ با ۱۰۶۷

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.21859/johe.4.3.17]

نیوتن بوده و بیشترین مقدار آن مربوط به پوسچر ۳ با ۳۵۸۹ نیوتن می‌باشد. لازم به ذکر است که حد استاندارد توصیه‌شده توسط NIOSH، ۳۴۳۳ نیوتن و حداکثر حد مجاز آن ۶۳۷۶ نیوتن می‌باشد که بر این مبنا عدد به‌دست‌آمده برای پوسچر ۳ بالاتر از حد استاندارد توصیه‌شده است. از سوی دیگر نیروی ناشی از پیچش محوری با توجه به عدم پیچش تنه در پوسچر ۲ معادل ۰ بوده و در پوسچر ۱ و ۳ به ترتیب برابر با ۱۷ و ۹۸ نیوتن می‌باشد. نیروی ناشی از فلکشن و اکستنشن نیز در پوسچر ۲ به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای از دو پوسچر دیگر کمتر بوده و برابر با ۶۵۵ نیوتن است. همچنین، نیروی برشی وارد بر دیسک L4-L5 در پوسچر ۲ در جهت خلفی و معادل ۲۶ نیوتن بود؛ اما در پوسچر ۱ و ۳ به ترتیب برابر با ۱۴۰ و ۳۷ نیوتن و در جهت قدامی محاسبه گردید. علاوه‌براین بر مبنای نتایج بیشترین نیروی واردشده بر شکم مربوط به پوسچر ۳ با ۴۰ نیوتن است و کمترین مقدار آن مربوط به پوسچر ۲ با ۸ نیوتن می‌باشد.

از سوی دیگر نیروی کلی عکس‌العمل زمین که در راستای محور Z وارد می‌شود برابر با ۷۷۰ نیوتن می‌باشد که در پوسچر ۲ به‌طور مساوی بین دو پا تقسیم شده است؛ اما در پوسچر ۱ و ۳ توزیع نیرو بین دو پا یکسان نبوده و نیروی بیشتری به پای راست اعمال شده است. شایان ذکر است که این نیرو در پوسچر ۱ و ۳ به ترتیب معادل ۴۸۵ و ۴۱۹ نیوتن می‌باشد؛ بنابراین نسبت به پای چپ که نیرویی معادل ۲۸۵ و ۳۵۱ نیوتن بر آن وارد می‌شود، پای راست فشار بیشتری را تحمل می‌کند.

بحث

هدف از پژوهش حاضر تعیین پوسچر غالب جوشکاران هنگام جوشکاری در خطوط انتقال گاز و ارزیابی پوسچرهای تعیین‌شده در محیط نرم‌افزار CATIA با استفاده از روش RULA و ارزیابی بارهای بیومکانیکی واردشده بر ستون فقرات جوشکاران هنگام جوشکاری بود. یکی از دلایل اصلی بروز اختلالات اسکلتی- عضلانی در محیط‌های کاری، پوسچر نامناسب در هنگام کار است؛ از این رو ارزیابی پوسچرهای کاری از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد. یافته‌های حاصل از تجزیه و تحلیل پوسچرهای مورد ارزیابی به روش RULA در پژوهش حاضر بیانگر آن است که حالت‌های تنه خمیده به سمت جلو (پوسچر ۱) و حالت زانوزده (پوسچر ۳) دارای سطح ریسک قرمز بوده و نیازمند اقدامات فوری می‌باشد. سطح ریسک بالا در این دو پوسچر به دلیل کار در شرایط استاتیک، ایجاد خمش و پیچش در قسمت‌های مختلف بدن و به‌طور ویژه کمر، گردن و مچ دست و زاویه نامناسب مفاصل بدن بود. مطالعات انجام‌شده در این زمینه نیز ریسک فاکتورهای ذکرشده را به‌عنوان عوامل ایجادکننده سطح ریسک بالا شناسایی کرده‌اند [۲۹،۳۰]. بر مبنای نتایج حالت چمباتمه‌زده (پوسچر ۲) دارای سطح ریسک نارنجی بود. پایین‌بودن سطح ریسک در پوسچر ۲ نسبت به دو پوسچر دیگر از پیچش و خمش کم در قسمت‌های مختلف بدن ناشی می‌شد. تغییر زاویه در مفاصل مدل شبیه‌سازی‌شده در محیط نرم‌افزار نشان داد که با حفظ عملکرد و حدود دسترسی می‌توان سطح ریسک را تا حد زیادی کاهش داد که این امر نیازمند آموزش زوایای مناسب مفاصل و پوسچرهای مناسب جوشکاری به جوشکاران می‌باشد [۳۱].

از ارزیابی بیومکانیکی برای بررسی بارهای وارد بر ستون فقرات فرد در هنگام کار استفاده می‌شود. با شبیه‌سازی مدل دیجیتالی انسان به‌همراه اعمال شرایط کاری در محیط نرم‌افزار می‌توان تجزیه و تحلیل بیومکانیکی انجام داد. نتایج حاصل از آنالیز بیومکانیکی نشان داد که در پوسچر ۲ نسبت به دو پوسچر دیگر بارهای کمتری به فرد تحمیل می‌شود که یکی از دلایل این امر توزیع متوازن نیرو بین دو پای فرد بود. در ارتباط با دلیل دیگر آن نیز می‌توان به کمتربودن نیروی برشی وارد بر دیسک L4-L5 به دلیل انحراف کمتر تنه و همچنین اعمال نیروی برشی در جهت خلفی اشاره کرد؛ زیرا نسبت به اعمال نیرو در جهت قدامی، فشار کمتری را بر ستون فقرات وارد می‌کند. این یافته با نتایج سایر مطالعات انجام‌شده در این زمینه مطابقت دارد [۳۲]. مقایسه نیروی وارد بر ستون فقرات با استانداردهای ارائه‌شده توسط NIOSH نشان داد که در پوسچر ۳ پیچش زیاد تنه باعث واردشدن نیروی زیادی به ستون فقرات شده و نیروی فشاری وارد بر دیسک L4-L5 بالاتر از حد استاندارد توصیه‌شده توسط NIOSH بوده است. علاوه‌براین، ارزیابی پوسچرهای مورد بررسی بیانگر آن بود که سطح ریسک پوسچرهای جوشکاران بالا بوده و آن‌ها بارهای وضعیتی زیادی را هنگام کار تحمل می‌کنند. مطالعات نشان داده‌اند که این امر می‌تواند در آینده باعث بروز اختلالات اسکلتی- عضلانی شود [۲۷]. برای جلوگیری از بروز WMSDs و بهبود کارایی جوشکاران به انجام مداخلات ارگونومیکی و آموزش پوسچرهای کاری مناسب به جوشکاران در خطوط انتقال گاز نیاز می‌باشد. مطالعات صورت‌گرفته در این زمینه بیانگر آن هستند که بهبود در پوسچر و ایستگاه کاری باعث افزایش تولید و بهره‌وری می‌شود [۳۳].

از مزیت‌های تجزیه و تحلیل در محیط نرم‌افزار، کاهش قابل‌توجه در مدت زمان لازم برای ارزیابی است که در این روش تنها چند دقیقه به‌طول می‌انجامد. همچنین با ایجاد تغییر در پوسچرهای مورد ارزیابی و ایستگاه کاری در محیط مجازی می‌توان به بهینه‌سازی محل کار و پوسچرهای مورد استفاده پرداخت. از سوی دیگر در ارتباط با محدودیت‌های این روش می‌توان به شبیه‌سازی پوسچرها در محیط نرم‌افزار از روی عکس‌ها و فیلم‌های تهیه‌شده اشاره کرد؛ زیرا ممکن است نتایج استخراج‌شده از ارزیابی در محیط نرم‌افزار با ارزیابی در یک محیط طبیعی متفاوت باشد. در پژوهش حاضر سه پوسچری که

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.21859/johe.4.3.17]

بیشـترین استفاده را در خطوط انتقال گاز داشتند، مورد ارزیابی قرار گرفتند؛ با این‌حال جوشکاران از پوسچرهای دیگری نیز در جوشکاری استفاده می‌کنند که می‌توان در مطالعات بعدی آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داد.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با استفاده از نرم‌افزار CATIA می‌توان ارزیابی جامع و سیستماتیکی از شرایط کارگران در محیط کاری انجام داد. همچنین می‌توان از ابزارهایی مانند ارزیابی RULA و تجزیه و تحلیل بیومکانیک برای تجزیه و تحلیل دقیق تجهیزات و ایستگاه‌های کاری به منظور شناسایی نقاط ضعف و پوسچرهای نامناسب استفاده کرد. این روش یک مرور کلی بر قسمت‌های مختلف بدن اپراتور را فراهم می‌کند که بر مبنای آن با توجه به امتیاز و رنگ بخش‌های مختلف بدن در محیط نرم‌افزار می‌توان تصمیمات مناسبی را برای انجام مداخلات مؤثر به منظور بهبود شرایط و دستیابی به بهترین حالت گرفت. در این پژوهش سه پوسچر جوشکاران که بیشترین کاربرد را در خطوط انتقال گاز داشتند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که سطح ریسک هر سه پوسچر مورد ارزیابی بالا بوده و جوشکاران بارهای وضعیتی زیادی را در هنگام کار تحمل می‌کنند که این امر نیازمند مداخله و آموزش پوسچرهای کاری مناسب به منظور کاهش سطح ریسک مواجهه با شرایط نامناسب در جوشکاران است.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد ارگونومی با شماره مصوب ۹۴۰۹۲۴۵۱۸۱ در دانشگاه علوم پزشکی همدان می‌باشد. بدین‌وسیله نویسندگان مراتب تقدیر و تشکر خود را از بخش HSE (Health and Safety Executive) منطقه ۷ عملیات انتقال گاز به‌ویژه آقایان مهندس مهدی علیزاده و مهندس صادق افشون به دلیل همکاری صمیمانه خود اعلام می‌نمایند. همچنین از جوشکاران محترم این شرکت که در گردآوری داده‌ها همکاری داشتند کمال تقدیر و تشکر را ابراز می‌داریم.

REFERENCES

1. De Magistris G, Micaelli A, Evrard P, Andriot C, Savin J, Gaudez C, et al. Dynamic control of DHM for ergonomic assessments. *Int J Indust Ergon*. 2013;**43**(2):170-80. DOI: 10.1016/j.ergon.2013.01.003
2. Mali S, Vyavahare R. RULA analysis of work-related disorders of foundry industry worker using digital human modeling (DHM). *Int Res J Engin Technol*. 2015;**2**(5): 1373-8.
3. Motamedzade M, Ashuri MR, Golmohammadi R, Mahjub H. Comparison of ergonomic risk assessment outputs from rapid entire body assessment and quick exposure check in an engine oil company. *J Res Health Sci*. 2011;**11**(1):26-32. PMID: 22911944
4. Taieb-Maimon M, Cwikel J, Shapira B, Orenstein I. The effectiveness of a training method using self-modeling webcam photos for reducing musculoskeletal risk among office workers using computers. *Appl Ergon*. 2012;**43**(2):376-85. PMID: 21745654 DOI: 10.1016/j.apergo.2011.05.015
5. Punnett L, Wegman DH. Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *J Electromyogr Kinesiol*. 2004;**14**(1):13-23. PMID: 14759746 DOI: 10.1016/j.jelekin.2003.09.015
6. Aptel M, Aublet-Cuvelier A, Cnockaert JC. Work-related musculoskeletal disorders of the upper limb. *Joint Bone Spine*. 2002;**69**(6):546-55. DOI:10.1016/S1297-319X(02)00450-5
7. Deyhim S, Babaei M, Motamedzade M. Ergonomic evaluation of pressurized irrigation equipment factotry operators using an easy posture assessment. *J Occup Hygiene Engin*. 2016;**3**(2):56-63.
8. Halim I, Omar AR, Saad NH. Ergonomic assessment to identify occupational risk factor in metal stamping industry. Conference: NAME, Malaysia; 18-20 May 2005.
9. Kao SY. Carpal tunnel syndrome as an occupational disease. *J Am Board Fam Pract*. 2003;**16**(6):533-42. PMID: 14963080
10. Bernard BP, Putz-Anderson V. Musculoskeletal disorders and workplace factors; a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back. Washington, D.C: National Institute for Occupational Safety and Health; 1997.
11. Ansari NA, Sheikh MJ. Evaluation of work posture by RULA and REBA: a case study. IOSR *J Mechan Civil Engin*. 2014;**11**(4):18-23.
12. Motamedzade M, Mohseni M, Golmohammadi R, Mahjoob H. Ergonomics intervention in an Iranian television manufacturing industry. *Work*. 2011;**38**(3):257-63. DOI: 10.3233/WOR-2011-1129
13. Chaudhary R, Ajit MK, Verma M, Srivastava R. Combined study of welding work and ergonomics risk analysis process. International Journal of Computer Science and Communication Engineering IJCSCE Special issue on Emerging Trends in Engineering. Rajasthan, India; 2013. P. 56-9.
14. Krüger K, Petermann C, Pilat C, Schubert E, Pons-Kühnemann J, Mooren FC. Preventive strength training improves working ergonomics during welding. *Int J Occupational Saf Ergon*. 2015;**21**(2):150-7. PMID: 26323773 DOI: 10.1080/10803548.2015.1029290
15. Vignais N, Miezal M, Bleser G, Mura K, Gorecky D, Marin F. Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing. *Appl Ergon*. 2013;**44**(4):566-74. PMID: 23261177 DOI: 10.1016/j.apergo.2012.11.008
16. Meksawi S, Tangtrakulwanich B, Chongsuvivatwong V. Musculoskeletal problems and ergonomic risk assessment in rubber tappers: a community-based study in southern Thailand. *Int J Indust Ergon*. 2012;**42**(1):129-35. DOI:10.1016/j.ergon.2011.08.006
17. Rahman CM. Study and analysis of work postures of workers working in a ceramic industry through rapid upper limb assessment (RULA). *Int J Engin*. 2014;**5**(03):8269.
18. McAtamney L, Corlett EN. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Appl Ergon*. 1993;**24**(2):91-9. PMID: 15676903
19. 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 Ergon*. 2012;**43**(3):632-6. PMID: 22018838 DOI: 10.1016/j.apergo.2011.09.009
20. David GC. Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occup Med*. 2005;**55**(3):190-9. PMID: 15857898 DOI: 10.1093/occmed/kqi082
21. Cichański A, Wirwicki M. Ergonomics analysis of anthropo-technical system In the environment of CATIA program. *J Polish Cimac*. 2010;**5**(3):19-25.
22. Kushwaha DK, Kane PV. Ergonomic assessment and workstation design of shipping crane cabin in steel industry. *Int J Indust Ergon*. 2016;**52**:29-39. DOI:10.1016/j.ergon.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.17]

2015.08.003
23. Ye Z, Li X, Li Y. The virtual prototyping design and evaluation of ergonomic gymnastic based on CATIA. *Int J Hybrid Inform Technol*. 2013;**6**(5):67-78. DOI:10.14257/ijhit.2013.6.5.07
24. Lämkull D, Hanson L, Örtengren R. A comparative study of digital human modelling simulation results and their outcomes in reality: a case study within manual assembly of automobiles. *Int J Indust Ergon*. 2009;**39**(2):428-41. DOI: 10.1016/j.ergon.2008.10.005
25. Vyavahare RT, Kallurkar SP. Ergonomic evaluation of maize sheller cum dehusker. *Int J Curr Eng Technol*. 2015; **5**(3):1881-6.
26. Karmakar S, Agarwal H, Patil CD. Designing and ergonomic evaluation of a shoe-rack in CAD environment. *Int J Computer Appl*. 2012;**49**(20):38-41.
27. Chen JD, Falkmer T, Parsons R, Buzzard J, Ciccarelli M. Impact of experience when using the rapid upper limb assessment to assess postural risk in children using information and communication technologies. *Appl Ergon*. 2014;**45**(3):398-405. DOI:10.1016/j.apergo.2013.05.004
28. Said MA, Kadir AM, Wennedy BH, Yassin A, Islam MS, Shazali ST, et al. Modeling compact driver car seat and analysis of its ergonomic for driver postural using Catia software. *J Sci Res Dev*. 2015;**2**(14):125-31.
29. Drinkaus P, Sesek R, Bloswick D, Bernard T, Walton B, Joseph B, et al. Comparison of ergonomic risk assessment outputs from Rapid Upper Limb Assessment and the Strain Index for tasks in automotive assembly plants. *Work*. 2003;**21**(2):165-72.
30. Nishanth R, Muthukumar M, Arivanantham A. Ergonomic workplace evaluation for assessing occupational risks in multistage pump assembly. *Int J Computer Appl*. 2015; **113**(9):1-6.
31. Massaccesi M, Pagnotta A, Soccetti A, Masali M, Masiero C, Greco F. Investigation of work-related disorders in truck drivers using RULA method. *Appl Ergon*. 2003;**34**(4):303-7. PMID: 12880740 DOI:10.1016/S0003-6870(03)00052-8
32. Chaffin DB. On simulating human reach motions for ergonomics analyses. *Hum Factors Ergon Manufact Serv Indust*. 2002;**12**(3):235-47. DOI: 10.1002/hfm.10018
33. Vink P, Koningsveld EA, Molenbroek JF. Positive outcomes of participatory ergonomics in terms of greater comfort and higher productivity. *Appl Ergon*. 2006;**37**(4):537-46. PMID: 16759626 DOI: 10.1016/j.apergo.2006.04.012

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.21859/johe.4.3.17]