

Research Article

Risk factors for the assessment of musculoskeletal disorders in tree-felling operations using the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) method

Seyedeh Saedieh Mousavi Janbesarai¹ and Mehrdad Nikooy^{2*}

1- M.Sc. in Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, Iran

2* - Corresponding author, Prof., Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, Iran. E-mail: nikooy@guilan.ac.ir

Received: 19.11.2025

Revised: 21.12.2025

Accepted: 29.01.2026

Abstract

Background and Objectives: Although considerable technological and organizational progress has been made in the forest sector over recent decades, the practical contribution of ergonomics to improving the working conditions of forest workers remains limited. Most existing studies have primarily emphasized productivity enhancement, cost reduction, equipment efficiency, and workflow optimization, while comparatively little attention has been given to human-centered challenges such as worker comfort, musculoskeletal health, occupational fatigue, long-term well-being, and injury prevention. Given these concerns, this study aimed to systematically analyze the working postures of chainsaw operators using the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) method and to determine the level of ergonomic risk across different stages of the tree-felling process. Additionally, the study sought to identify necessary ergonomic interventions that could effectively reduce posture-related risks and improve overall occupational safety.

Methodology: The analysis of risk factors associated with tree felling was performed by observing working postures using the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) method during felling operations. The RULA method is an ergonomic analysis tool used to assess potentially harmful physical working postures. In this study, the clear-cutting of poplar trees in Parcel 14, Series 2, Gisum, western Guilan Province, was investigated. A total of 430 photographs of working postures related to the assessment components, including movement between trees, undercutting, backcutting, and the posture of the felling operator, were recorded and evaluated. Scoring of working postures for different body regions was performed in two categories: Group A (arm, forearm, and wrist) and Group B (trunk, neck, and legs). Based on the scores obtained for each examined posture, four action levels were determined: action level one (acceptable), action level two (further investigation and changes may be needed), action level three (changes are required as soon as possible), and action level four (changes are required immediately).

Results: The findings revealed distinct posture patterns across different stages of felling. In the arm posture category, the most frequently observed code during tree evaluation (48.1%), undercutting (47.2%), and movement between trees (66.7%) was code 1, while backcutting postures more often fell under code 4 (27.9%), indicating higher strain. Forearm postures were primarily coded as 2 during evaluation and as 1 during the undercutting, backcutting, and movement stages. Wrist posture analysis showed that code 2 was dominant across all stages. Wrist rotation postures also frequently fell under higher-risk codes, particularly code 2, which occurred



in 89.9% of evaluation, 94.9% of undercutting, 98.4% of backcutting, and 66.7% of movement observations. Neck posture results indicated that code 1 was most common during tree evaluation (49.4%), whereas code 2 was more frequent during undercutting (34.6%), backcutting (50.8%), and movement (40%). Trunk posture was notably problematic; during tree evaluation, code 4—representing a high trunk load—accounted for 65.8% of observations. In contrast, during the undercutting, backcutting, and movement stages, code 1 was most frequent (50%, 37.7%, and 53.3%, respectively). Leg posture was consistently categorized under code 1 across all stages. Final RULA action levels revealed significant differences among tasks, with the highest frequencies occurring at levels 2 and 3, indicating a clear need for corrective actions. The undercutting and backcutting stages showed the greatest proportion of high-risk postures.

Conclusion: The study demonstrates that chainsaw operators are routinely exposed to biomechanically demanding postures that place them at significant risk of developing musculoskeletal disorders. The RULA assessment provides evidence that ergonomic interventions, such as training in safe postural techniques, redesign of tools or workflow, and improved task organization, are needed. Enhancing workers' awareness of correct posture and integrating ergonomic principles into forest operations can substantially reduce risk levels, improve safety, and contribute to sustainable workforce health.

Keywords: Body posture assessment, chainsaw operator, forest ergonomics, observational methods, timber harvesting.

ارزیابی فاکتورهای احتمال خطر اختلالات اسکلتی-عضلانی در عملیات قطع درختان به روش ارزیابی سریع اندام فوقانی (RULA)

سیده سعیده موسوی جنبه سربابی و مهرداد نیکوی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. پست الکترونیک: nikooy@guilan.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۰۹

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۴/۱۰/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: علی‌رغم پیشرفت‌های دهه‌های اخیر، سهم ارگونومی در بهبود شرایط کاری انسان در بخش جنگل هنوز ناچیز است. زیرا پژوهش‌ها هنوز هم بر جنبه‌های پهنه‌سازی کار، کاهش هزینه، بهره‌وری و بازده ماشین‌آلات و تجهیزات در محل کار متمرکز هستند و موضوعاتی مانند تأمین آسایش کارکنان، حفظ سلامت و رفاه آنان، کاهش خطرات حوادث و بهبود کیفیت کار، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. این پژوهش با هدف بررسی وضعیت‌های کاری در موقعیت‌کاری به روش ارزیابی سریع اندام فوقانی (RULA) و انجام مداخلات ارگونومیکی مناسب مورد نیاز برای کمینه کردن خطرات انجام شد.

مواد و روش‌ها: تجزیه و تحلیل عوامل خطر مرتبط با قطع درختان با مشاهده وضعیت‌های کاری با استفاده از روش RULA در حین کار انجام گرفت. روش RULA در تحلیل ارگونومیک، ابزاری برای ارزیابی وضعیت‌های نامناسب بدنی کارگران است. در این پژوهش، عملیات قطع یکسره درختان صنوبر در پارسل ۱۴ سری دو گیسوم در غرب استان گیلان بررسی شد. ۴۳۰ عکس از وضعیت‌های کاری مربوط به مؤلفه‌های ارزیابی، حرکت بین درختان، بن‌زنی و بن‌بری ثبت و موقعیت بدن کارگر قطع مشاهده و ارزیابی شد. امتیازدهی به وضعیت‌های کاری برای نواحی مختلف بدن در دو دسته گروه A (بازو، ساعد و مچ) و گروه B (تنه، گردن و پاها) انجام گرفت. براساس نمره‌های کسب‌شده برای هریک از وضعیت‌های بررسی‌شده، چهار سطح اقدام شامل اقدام یک (قابل قبول)، اقدام دو (ضروری)، اقدام سه (در آینده نزدیک ضروری) و اقدام چهار (ضروری هر چه زودتر) تعیین شد.

نتایج: یافته‌های حاصل از بررسی امتیازهای مربوط به موقعیت بازو نشان داد که بیشترین حالت تکرار شده در مراحل ارزیابی درخت (۴۸/۱ درصد)، بن‌زنی (۴۷/۲ درصد) و حرکت بین درختان (۶۶/۷ درصد) متعلق به کد یک (انحراف بازو ۰°-۲۰° به سمت جلو یا عقب در راستای محور ساجیستال) و در مرحله بن‌بری (۲۷/۹) مربوط به کد چهار (انحراف بازو بیشتر از ۹۰° به سمت جلو در راستای محور ساجیستال) بود. در موقعیت ساعد، بیشترین درصد فراوانی در مرحله ارزیابی به کد دو (ساعد در راستای سطح ساجیستال بازو و زاویه کمتر از ۶۰° رو به عقب یا بیشتر از ۱۰۰° رو به جلو) تعلق داشت، درحالی‌که بیشینه درصد فراوانی در مراحل بن‌زنی، بن‌بری و حرکت بین درختان متعلق به کد یک (ساعد در راستای سطح ساجیستال بازو و زاویه ۱۰۰°-۶۰° نسبت به بازو) بود. در بررسی امتیازهای مربوط به موقعیت مچ در هر چهار مرحله، کد دو (هنگامی که مچ دست تحت زاویه ۱۵°-۰° بالا یا پایین شود) بیشینه درصد فراوانی را به خود اختصاص داد. در موقعیت مربوط به چرخش مچ دست، بیشینه درصد فراوانی در کد دو (مچ چرخش داشته باشد) در چهار مرحله ارزیابی درخت (۸۹/۹ درصد)، بن‌زنی (۹۴/۹ درصد)، بن‌بری (۹۸/۴ درصد) و حرکت بین درختان (۶۶/۷ درصد) مشاهده شد. در موقعیت گردن در مرحله ارزیابی درخت، بیشترین درصد فراوانی به کد یک (حرکت گردن تحت زاویه ۱۰°-۰° باشد) (۴۹/۴ درصد) تعلق داشت، درحالی‌که بیشترین درصد فراوانی در مراحل بن‌زنی (۳۴/۶ درصد)، بن‌بری (۵۰/۸ درصد) و حرکت بین درختان (۴۰ درصد)، متعلق به کد دو (حرکت گردن تحت زاویه ۲۰°-۱۰° باشد) بود. بررسی موقعیت تنه نشان داد که در مرحله ارزیابی درخت، کد چهار (تنه با زاویه بیشتر از ۶۰° خم شده باشد) دارای بیشترین فراوانی (۶۵/۸ درصد) است، درحالی‌که در مراحل بن‌زنی، بن‌بری و حرکت بین درختان، بیشترین فراوانی به کد یک (تنه با زاویه ۰° به حالت ایستاده یا نشسته باشد) به ترتیب با مقادیر ۳۷/۷ و

۵۳/۳ درصد تعلق داشت. ارزیابی موقعیت پاها نشان داد که کد یک (پاها در حالت ایستاده و متعادل یا نشسته و متعادل قرار دارند) در همه اجزای قطع دارای بیشترین فراوانی بود. فراوانی مشاهده‌ها در سطوح مختلف اقدام، تفاوت معنی‌داری را نشان داد. بیشترین مقدار فراوانی اقدام در سطح دو (ضروری) و کمترین آن در سطح یک (قابل قبول) مشاهده شد. بیشترین فراوانی سطح اقدام برای مراحل ارزیابی و حرکت بین درختان، متعلق به سطح دو (ضروری) و برای مراحل بن‌زنی و بن‌بری مربوط به سطح سه (در آینده نزدیک ضروری) بودند. نتایج نشان داد که بین فراوانی‌های مشاهده‌شده در سطوح مختلف اقدام، تفاوت معنی‌داری وجود دارد. نتیجه‌گیری کلی: طبق RULA، در پژوهش پیش‌رو، وضعیت‌های بدنی در طی مراحل قطع تاحد زیادی در دسته پرخطر طبقه‌بندی شدند. به این معنی که کارگران اره‌موتورچی در معرض خطر زیاد اختلالات اسکلتی-عضلانی قرار دارند. در نتیجه، مداخلات ارگونومیک مورد نیاز است. تشخیص وضعیت‌های نادرست و نامناسب بدن از طریق RULA نقش مهمی در کاهش مشکلاتی که کارگران اره‌موتورچی با آن مواجه هستند، ایفا می‌کند. آموزش و آگاه‌سازی این کارگران در مورد وضعیت‌های صحیح بدن می‌تواند بسیاری از وضعیت‌های نادرست بدن را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی موقعیت بدن، ارگونومی جنگل، برداشت چوب، روش‌های مشاهده‌ای، کارگر اره‌موتورچی.

مقدمه

تولید چوب، یک بخش صنعتی مهم با پتانسیل کمتر شناخته شده برای دستیابی به اهداف اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی پایدار است. این صنعت همراه با آلودگی زیستی کم، پتانسیل آن را برای یک اقتصاد زیستی تجدیدپذیر، ایجاد فرصت‌های شغلی به‌ویژه در مناطق روستایی و مشارکت در تولید ناخالص جهانی، ملی و منطقه‌ای فراهم می‌کند (Forkuo et al., 2025). در این زمینه، عملیات جنگل‌داری، نقشی چالش‌برانگیز ایفا می‌کند. زیرا تصمیم‌های اتخاذشده و عملیات اجراشده باید جنبه‌های اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی را متعادل کنند (Marchi et al., 2014). به‌علاوه، روش‌های مختلفی برای برداشت چوب وجود دارد که می‌توان آن‌ها را تحت شرایط محلی یکسان اعمال کرد. در دسترس بودن نیروی کار ارزان، ویژگی‌های مدیریت جنگل محلی و فقدان سیستم‌های برداشت کاملاً مکانیزه و پیشرفته به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، اغلب به تسلط نیروی کار دستی در چنین عملیاتی منجر می‌شود (Szewczyk et al., 2020). از سوی دیگر، برداشت چوب به‌صورت دستی و نیمه‌مکانیزه، چالش‌های قابل‌توجهی را از دیدگاه ارگونومی و ایمنی ایجاد می‌کند (Barbosa et al., 2014). در این عملیات، شیوع زیادی از اختلالات اسکلتی-عضلانی مرتبط با کار وجود دارد که عواقب اقتصادی جدی دارند (Gómez-Galán et al., 2017; Rahimi et al., 2024)، بنابراین ارزیابی‌های عینی برای

بررسی ارتباط میان وقوع اختلالات اسکلتی-عضلانی با عوامل خطر مرتبط ضروری است. هدف این رویکرد، فراهم‌سازی تصمیم‌گیری آگاهانه برای ارزیابی وضعیت بدن به‌عنوان یک ابزار پیشگیرانه است. با این حال، تنوع در آنتروپومتری (Borz et al., 2019)، عادت‌های کاری (Corella Justavino et al., 2015)، ویژگی‌های اشیاء کاری و شرایط محلی (Neitzel & Yost, 2002)، همراه با روش‌های متنوع موجود برای کاربرد (David, 2005)، ارزیابی‌های عینی از شرایط وضعیتی در سطح جمعیت را پیچیده می‌کند.

با وجود افزایش مکانیزاسیون برداشت چوب در جنگل، کار در جنگل به‌ویژه برای کارگران فاقد آموزش کافی همچنان از خطرناک‌ترین فعالیت‌های شغلی به‌شمار می‌آید (Klun & Medved, 2007). مطابق با پژوهش‌های Enez و Nalbantoğlu (۲۰۱۹) و Grzywiński و همکاران (۲۰۱۶)، خطرات زیادی، کارگران جنگل را تهدید می‌کند که مشکلات اسکلتی-عضلانی، یکی از آن‌ها است. مشکلات اسکلتی-عضلانی، یکی از مهم‌ترین بیماری‌های شغلی است که کارگران جنگل در محیط کاری جنگل در معرض آن قرار دارند. این اختلال به هر نوع آسیب بافتی که به سیستم عضلانی، اسکلتی و اعصاب وارد شود و سبب مختل شدن هر یک از آن‌ها شود، اطلاق می‌شود. از نتایج این اختلالات، عملکرد دردناک در قسمت‌های مختلف بدن مانند مچ، کمر، گردن، شانه، مفصل ران

مورد نیاز کمک می‌کند. روش RULA برای شناسایی اختلالات وضعیتی اندام فوقانی، گردن و پشت در رابطه با عملکرد عضلانی و بارهای خارجی اعمال شده به بدن پیشنهاد می‌شود. این روش در استاندارد بین‌المللی ارزیابی فاکتورهای احتمال خطر شغلی ارجاع شده و در بین ابزارهای انتخابی برای پیشگیری از اختلالات اسکلتی-عضلانی مرتبط با کار (WMSDs) طبق انجمن بین‌المللی ارگونومی (IEA) و سازمان بهداشت جهانی (WHO) ذکر شده است. باتوجه به ماهیت وظایف قطع درخت که اغلب شامل وضعیت‌های نامناسب و حرکات تکراری در اندام فوقانی است، روش RULA نسبت به روش‌های REBA و OWAS مناسب‌تر است. زیرا این روش، حساسیت بیشتری در ارزیابی وضعیت‌های بازو، ساعد و مچ دارد. RULA و REBA ابزارهای کاربردی در بخش‌های کشاورزی و جنگلداری هستند. استفاده از این ابزارها به این دلیل رایج است که ارزیابی خطر اضافه بار بیومکانیکی در این مشاغل به دلیل تنوع زیاد وظایف، شرایط آب و هوایی متغیر و نیز عدم استانداردسازی دقیق، کاری بسیار پیچیده و دشوار است. در ارزیابی وضعیت ارگونومیکی اندام‌های فوقانی رانندگان دو ماشین برداشت شامل هاروستر چرخ‌زنجیری و چرخ‌لاستیکی در عملیات تنک کردن درختان کاج تدا نشان داد که وضعیت موقعیت بدن راننده هاروستر چرخ‌زنجیری به شدت نامطلوب است و به اقدامات اصلاحی فوری نیاز دارد، درحالی‌که هاروستر چرخ‌لاستیکی، بهترین و مناسب‌ترین وضعیت ارگونومیکی را برای کارگر فراهم کرده بود (Martins et al., 2020). مقایسه بین دو روش RULA و REBA در تغذیه دستی یک چوب خردکن نشان داد که RULA روش محافظه‌کارانه‌تری برای محافظت از سلامت اپراتور در طول وظایف هدفمند است (Micheletti Cremasco et al., 2019). در مقایسه روش‌های تحلیل خطر ارگونومیک برای وضعیت‌های کاری کارگران نهالستان جنگلی با استفاده از سه روش شامل REBA، RULA و OWAS گزارش شد که روش RULA در مقایسه با روش‌های OWAS و REBA نتایج دقیق‌تری به همراه دارد (Yaylı & Çalışkan, 2019). توسعه نیافتگی درجه مکانیزاسیون در سیستم بهره‌برداری جنگل‌های ایران به‌ویژه در مراحل برداشت چوب سبب کاهش

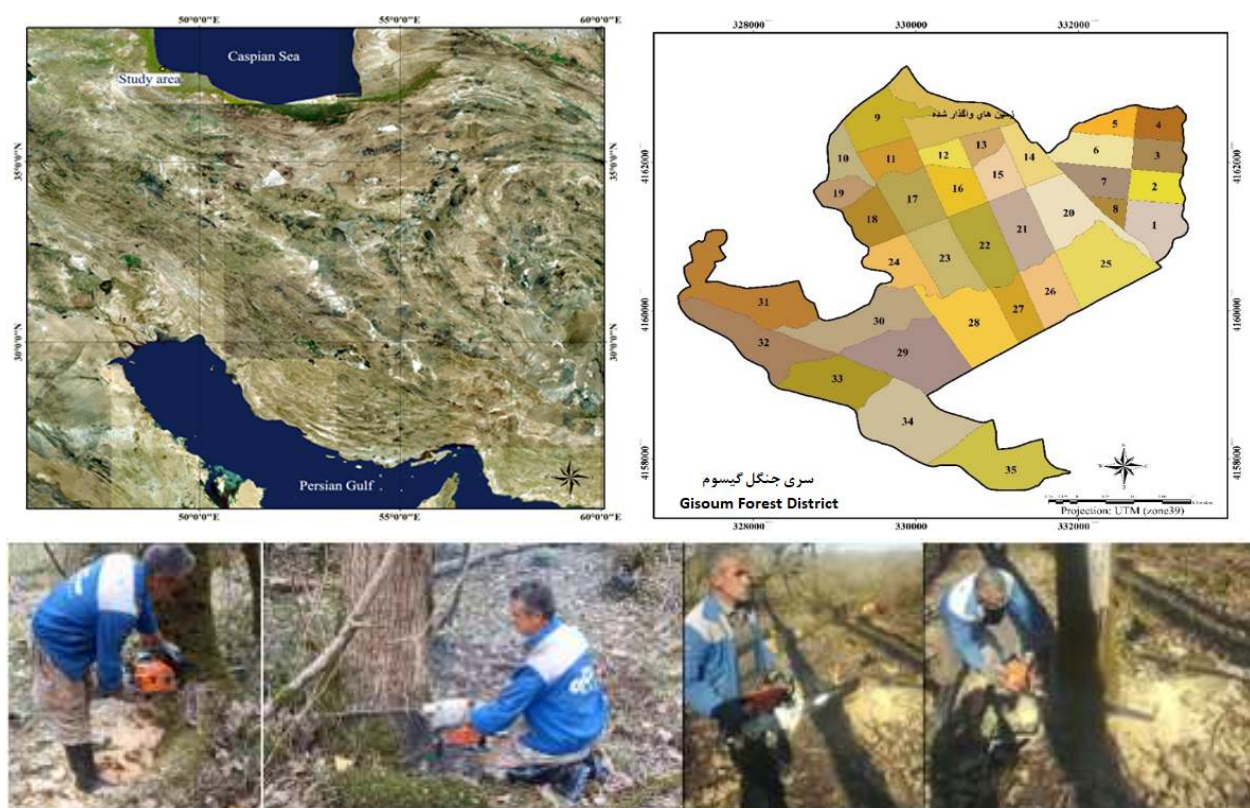
و آرنج است. تکراری بودن کارها، مصرف زیاد انرژی و نرخ زیاد حوادث کار، مشکلات اسکلتی-عضلانی را به همراه دارد. به دلیل پرداخت هزینه‌های سنگین درمانی، کاهش کیفیت زندگی و بهره‌وری، آسیب‌های اسکلتی-عضلانی، یکی از بزرگ‌ترین معضلات بهداشت شغلی در کشورهای صنعتی و در حال توسعه هستند. براساس طبقه‌بندی بیماری‌ها و عوارض ناشی از کار، سازمان بهداشت جهانی، اختلالات اسکلتی-عضلانی را در رتبه دوم پس از بیماری‌های تنفسی قرار داده است (Kumar, 2001). اختلالات اسکلتی-عضلانی حدود ۴۰ درصد از کل هزینه‌های جهانی مربوط به حوادث و بیماری‌های شغلی را شامل می‌شود (ILO, 2015). برای مدیریت و پیشگیری از اختلالات اسکلتی-عضلانی، ارزیابی چگونگی قرارگیری در معرض عوامل خطر این اختلالات و اجرای برنامه‌های مداخله‌ای که بار را تا سطوح قابل قبول برای کارگران کاهش می‌دهد، بسیار مهم است (David, 2005; Roman-Liu, 2013)، بنابراین ارگونومیست‌ها و متخصصان از ابزارهای مختلفی برای تعیین کمیت سطوح در معرض بیماری‌های اسکلتی-عضلانی استفاده می‌کنند. از روش‌های مختلف ارزیابی، تکنیک‌های مشاهده‌ای بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از روش‌های مشاهده‌ای مانند ارزیابی سریع اندام فوقانی (RULA: Rapid Upper Limb Assessment) (McAtamney & Corlett, 1993)، روش ارزیابی کلی بدن (REBA: Rapid Entire Body Assessment) (Hignett & McAtamney, 2000) و سیستم تحلیل وضعیت بدنی کاری (OWAS: Ovako Working Posture Analysis System) به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است (Lowe et al., 2019).

ارزیابی سریع اندام فوقانی (RULA) روشی آسان برای ارزیابی خطر وضعیت شغلی است. پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که روش‌های مشاهده‌ای در ارزیابی اضافه بار مربوط به کار بیومکانیکی در مقایسه با کارهای آزمایشگاهی، متنوع‌تر، کم‌هزینه‌تر و سریع‌تر هستند. RULA با ارائه یک شاخص عددی، امکان تعیین میزان کمی خطری را فراهم می‌کند که کارگر در طول فعالیت کاری در معرض آن قرار می‌گیرد. همچنین، این شاخص به استخراج سطح اولویت برای مداخلات و اقدامات

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، کارگر اره‌موتورچی حاضر در عملیات قطع یکسره درختان صنوبر (*Populus deltoides* W.Bartram ex Marshall) در قطعه ۱۴ سری دو گیسوم در غرب استان گیلان بررسی شد. این منطقه در شمال شهرستان رضوانشهر در محدوده عرض جغرافیایی ۳۷ درجه، ۳۹ دقیقه و ۵۰ ثانیه شمالی و طول ۴۸ درجه، ۵۹ دقیقه و ۲۴ ثانیه شرقی قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و موقعیت بدن کارگر مورد مطالعه در هنگام کار

Figure 1. The location of the studied areas and felling worker boy posture during operation

روش پژوهش

متر مکعب، تعداد در هکتار ۶۶۹ اصله، سن درختان حدود ۳۵ سال و فاصله بین درختان حدود ۱۵ متر بود. اره‌موتورچی شرکت‌کننده در این پژوهش دارای ۴۲ سال سن، ۱۶۸ سانتی‌متر قد و ۱۲ سال سابقه فعالیت در عملیات برداشت

قطع درختان با استفاده از اره‌موتوری STIHLMS 382 انجام شد (جدول ۱). در این عملیات، درختان نشانه‌گذاری شده صنوبر با میانگین طول ۲۱/۱ متر و میانگین قطر ۳۸/۵۲ سانتی‌متر قطع شدند. حجم درختان قطعه ۱۵۹

محسوس بهره‌وری شده است. در نتیجه، سیستم عملیات برداشت چوب در این جنگل‌ها درکل به نیروی کار انسانی وابسته است (Nikooy et al., 2017). وابستگی شدید به کاردستی، کارگران را در معرض خطرات و آسیب شغلی (به ویژه اختلالات اسکلتی-عضلانی) قرار می‌دهد و حوادث زیادی را تجربه می‌کنند. از این رو، پژوهش پیش‌رو با هدف ارزیابی دقیق وضعیت‌های کاری بدن این کارگران با استفاده از روش RULA و تعیین مداخلات ارگونومیکی لازم برای کمینه‌سازی این خطرات شغلی انجام شد.

نزدیک بررسی شدند. از روش آنالیز عکاسی برای تعیین زاویه‌های تشکیل شده توسط اندام کارگران در وضعیت کار استفاده شد. با تعیین زاویه‌های وضعیت‌های کاری بدن، سه نقطه روی عکس با استفاده از ماوس به صورت چشمی تعیین و زاویه بین سه نقطه محاسبه شد. در اجرای همه روش‌ها از تکنیک مشاهده استفاده شد (Micheletti Cremasco et al., 2019). تصاویر ویدئویی و عکس‌های ضبط شده در محیط کار با مکث در فاصله‌های زمانی معین برای تعیین انواع وضعیت‌های کاری بدن و مدت آن‌ها بررسی شد. پس از آن، وضعیت‌های کاری مطابق با روش RULA ارزیابی شدند. در مجموع ۴۳۰ عکس بررسی و تجزیه و تحلیل شد.

چوب بود. برای کاهش تنوع بین فردی در اتخاذ وضعیت‌های بدنی مورد نظر، فقط یک شرکت‌کننده در پژوهش شرکت داشت. اره‌موتورچی مورد مطالعه، کارگر رسمی شرکت سهامی جنگل سفارود بود و سابقه قبلی حوادث شغلی یا اختلالات اسکلتی-عضلانی برای وی گزارش نشده بود. عملیات قطع به چهار مؤلفه شامل حرکت بین درختان، ارزیابی درخت، بن‌زنی و بن‌بری تقسیم شد. برای ارزیابی مناسب وضعیت‌های کاری بدن کارگر و تعیین مدت برای هر وضعیت، از فیلم‌های ضبط شده (چهار ساعت) در هر مرحله از پژوهش استفاده شد. ویدئوهای ضبط شده در رایانه شخصی ذخیره و با دستورات افزایش/کاهش سرعت و بزرگ/کوچک کردن از

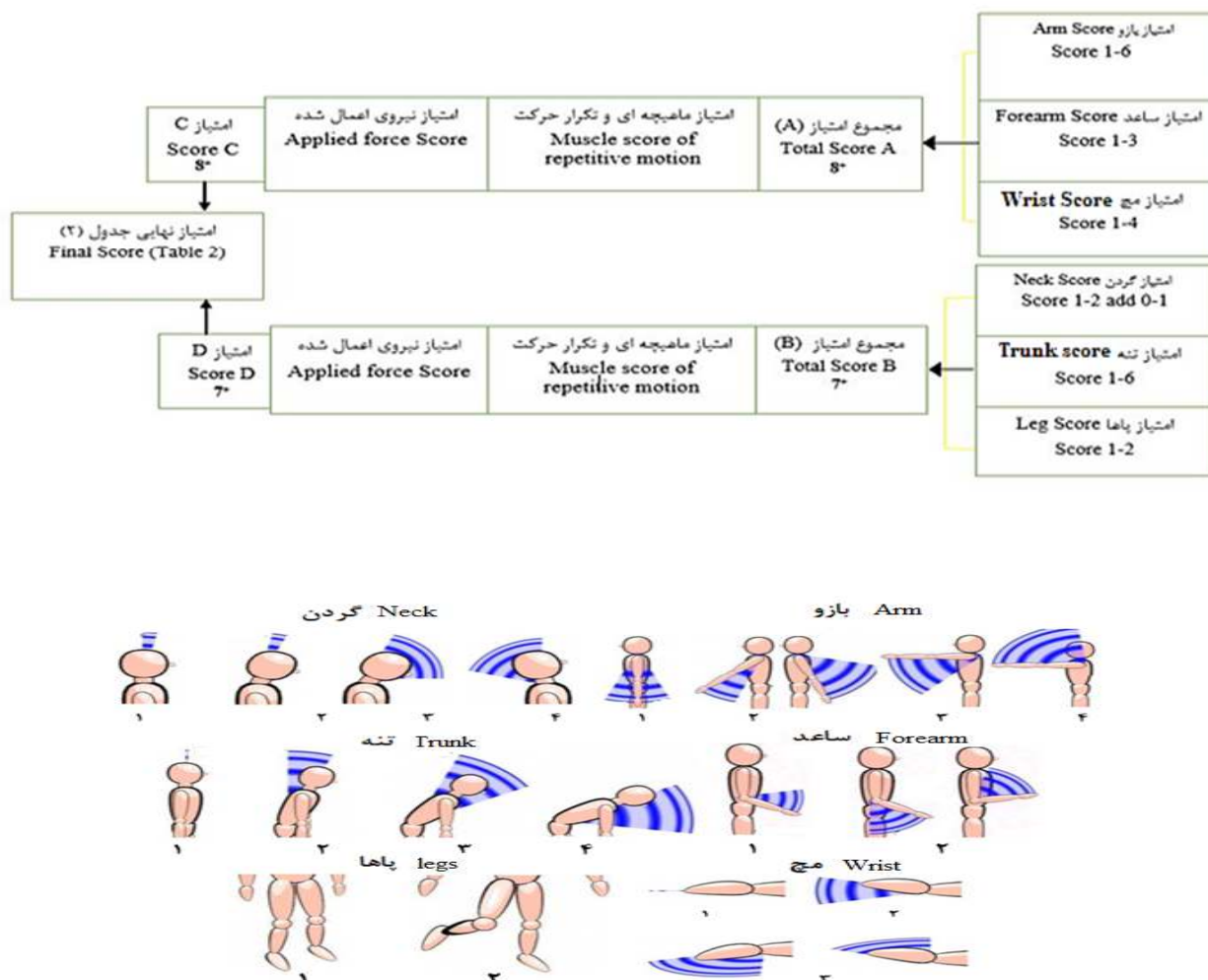
جدول ۱- مشخصات اره‌موتوری STIHLMS 382 مورد استفاده در این مطالعه

Table 1. Specifications of the Stihl MS 382 chainsaw used in this study

Net weight (kg)	6.2
Fuel tank capacity (liters)	0.65
Oil tank capacity (liters)	0.36
Bare length (cm)	50.8
Cylinder displacement (cubic centimeters)	72.2
Output power (kW)	3.9
Sound pressure (dB)	106

خطر است (جدول ۲). سطح یک با امتیاز نهایی یک تا دو به این معنی است که اگر وضعیت‌های کاری بدن برای مدت طولانی ثابت نماند یا به شدت تکرار نشود، قابل قبول است. سطح دو با امتیاز نهایی سه تا چهار به معنی مطالعه بیشتر در این زمینه و ایجاد تغییرات و مداخله ارگونومیک ضروری است. سطح سه با امتیاز نهایی پنج تا شش، لزوم مطالعه بیشتر، ایجاد تغییرات و مداخله ارگونومیک در آینده نزدیک را ضروری می‌داند. در نهایت، سطح چهار با امتیاز نهایی هفت و بیشتر بیانگر لزوم مطالعه بیشتر، ایجاد تغییرات و مداخله ارگونومیک به صورت فوری است. به منظور مقایسه میانگین فراوانی بین کدهای مورد مطالعه از آزمون کای اسکوار و برای بررسی تفاوت بین کدها از تحلیل باقی‌مانده‌های استاندارد شده استفاده شد. آزمون فیشر نیز برای مقایسه کدهای با فراوانی کم به کار برده شد.

در روش RULA بدن به بخش‌های مختلفی تقسیم می‌شود که در دو گروه A و B قرار می‌گیرند: گروه A شامل بازو، ساعد و میچ دست اندام‌های راست و چپ است. گروه B نیز گردن، تنه و پاها را شامل می‌شود. در این روش، اختصاص امتیاز به هر بخش به وضعیت بدنی بستگی دارد. چنانچه امکان دستیابی به دو امتیاز متمایز (A و B) از طریق استفاده از جدول‌های عددی فراهم می‌شود. این امتیازها نشان‌دهنده سطح بار وضعیتی سیستم اسکلتی-عضلانی است که با ترکیب وضعیت‌های کل بدن تعیین می‌شود. سپس، امتیاز ماهیچه‌ای تکرار حرکت و امتیاز نیروی اعمال شده به امتیازهای A و B اضافه می‌شوند تا دو امتیاز جدید (C و D) به دست آید که از طریق جدول ۲، امکان دستیابی به امتیاز نهایی را فراهم می‌کنند (شکل ۲). براساس ترکیب مناسب نمره‌ها، نمره نهایی می‌تواند بین یک تا هفت باشد. نمره نهایی مربوط به چهار سطح اقدام و چهار سطح فاکتورهای احتمال



شکل ۲- مراحل مربوط به محاسبه امتیازهای روش RULA
Figure2. Steps involved in calculating RULA method score

نتایج

نتایج بررسی امتیازهای موقعیت بازو حاصل از روش RULA در جدول ۳ نشان داد که بیشترین حالت تکرار شده در مرحله ارزیابی درخت به کد یک با فراوانی ۴۸/۱ درصد تعلق دارد. بیشترین حالت تکرار شده در بخش بن زنی نیز

متعلق به کد یک با فراوانی ۴۷/۲ درصد بود. در بخش بن بری، این مقدار برای کد چهار با فراوانی ۲۷/۹ درصد و در حرکت بین درختان، بیشترین تکرار در کد یک با فراوانی ۶۶/۷ درصد مشاهده شد.

جدول ۲- امتیازهای نهایی روش RULA

Table 2. Final score of RULA method

	Score D						
	1	2	3	4	5	6	7 ⁺
Score C	1	1	2	3	3	4	5
	2	2	2	3	4	4	5
	3	3	3	3	4	4	6
	4	3	3	3	4	5	6
	5	4	4	4	5	6	7
	6	4	4	5	6	6	7
	7	5	5	6	6	7	7
	8 ⁺	5	5	6	7	7	7

Action level 1, with a final score of 1-2, indicates that the working posture is acceptable if it is not maintained for a prolonged period or repeated frequently. Action level 2, with a final score of 3-4, indicates that further investigation is required and ergonomic changes or interventions may be necessary. Action level 3, with a final score of 5-6, indicates that further investigation is required and ergonomic changes or interventions should be implemented in the near future. Action level 4, with a final score of 7 or higher, indicates that further investigation is required and ergonomic changes or interventions should be implemented immediately.

جدول ۳- فراوانی اجزای مختلف قطع درخت با آنالیز وضعیت اندام بازو

Table 3. Frequency of different tree felling components with arm posture analysis

Code	Evaluation		Undercut		Backcut		Moving between trees	
	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent
1	38 ^a	48.1	101 ^a	47.2	23 ^a	18.9	10 ^a	66.7
2	11 ^b	13.9	33 ^b	15.4	25 ^a	20.5	3 ^b	20
3	15 ^b	19	43 ^b	20.1	32 ^a	26.2	0 ^b	0
4	8 ^b	10.1	26 ^c	12.1	34 ^a	27.9	2 ^b	13.3
Others	7 ^b	8.9	11 ^d	5.2	8 ^b	6.5	0	0
Total	79	100	214	100	122	100	15	100
<i>p</i>	0.00		0.00		0.00		0.00	

Different lowercase letters within each column indicate significant differences among code frequencies based on the chi-square test and standardized residuals ($P < 0.05$).

بخش‌های بن‌زنی، بن‌بری و حرکت بین درختان به ترتیب با ۶۱/۲، ۵۲/۵ و ۵۳/۳ به کد یک تعلق داشت (جدول ۴).

در موقعیت ساعد، بیشترین فراوانی در مرحله ارزیابی مربوط به کد دو (۵۱/۹ درصد) بود، اما بیشینه فراوانی برای

جدول ۴- فراوانی اجزای مختلف قطع درخت در آنالیز وضعیت اندام ساعد

Table 4. Frequency of different tree cutting components in forearm posture analysis

Code	Evaluation		Undercut		Backcut		Moving between trees	
	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent
1	34 ^b	43	131 ^a	61.2	64 ^a	52.5	8 ^a	53.3
2	41 ^a	51.9	70 ^b	32.7	39 ^b	32	7 ^a	46.7
3	4 ^c	5.1	13 ^c	6.1	19 ^c	15.6	0	0
Total	79	100	214	100	122	100	15	100
<i>p</i>	0.00		0.00		0.00		0.00	

Different lowercase letters within each column indicate significant differences among code frequencies based on the chi-square test and standardized residuals ($P < 0.05$).

امتیازهای مربوط به چرخش مچ در روش RULA نشان داد که بیشینه فراوانی در هر چهار مرحله ارزیابی درخت (۸۹/۹ درصد)، بن‌زنی (۹۴/۹ درصد)، بن‌بری (۹۸/۴ درصد) و حرکت بین درختان (۶۶/۷ درصد) به کد دو تعلق داشت (جدول ۶).

بررسی موقعیت مچ به روش RULA نشان داد که در همه مراحل عملیات، کد دو بیشترین فراوانی را داشت. به‌طوری‌که این کد در مرحله ارزیابی ۴۹/۴ درصد، در بن‌زنی ۵۳/۳ درصد، در بن‌بری ۶۰/۷ درصد و در حرکت بین درختان ۵۳/۳ درصد از مشاهده‌ها را به‌خود اختصاص داد (جدول ۵).

جدول ۵- فراوانی اجزای مختلف قطع درخت در آنالیز وضعیت اندام مچ دست

Table 5. Frequency of different tree-trunk components in wrist posture analysis

Code	Evaluation		Undercut		Backcut		Moving between trees	
	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent
1	9 ^b	11.4	14 ^b	6.5	2 ^b	1.6	5	33.3
2	39 ^a	49.4	114 ^a	53.3	74 ^a	60.7	8	53.3
3	31 ^a	39.2	86 ^b	40.2	46 ^b	37.7	2	13.3
4	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	79	100	214	100	122	100	15	100
<i>p</i>	0.00		0.00		0.00		>0.05	

Different lowercase letters within each column indicate significant differences among code frequencies based on the chi-square test and standardized residuals ($P < 0.05$).

جدول ۶- فراوانی اجزای مختلف قطع درخت در آنالیز وضعیت اندام چرخش مچ

Table 6. Frequency different tree-trunk components in wrist rotation posture analysis

Code	Evaluation		Undercut		Backcut		Moving between trees	
	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent
1	8 ^b	10.1	11 ^a	5.1	2 ^b	1.6	5	33.3
2	71 ^b	89.9	203 ^b	94.9	120 ^a	98.4	10	66.7
Total	79	100	214	100	122	100	15	100
<i>p</i>	0.00		0.00		0.00		0.197	

Different lowercase letters within each column indicate significant differences among code frequencies based on the chi-square test and standardized residuals ($P < 0.05$).

در بررسی گردن در مرحله ارزیابی درخت، بیشترین فراوانی به کد یک (۴۹/۴ درصد) تعلق داشت، درحالی که بیشترین فراوانی در مراحل بن زنی (۳۴/۶ درصد)، بن بری

(۵۰/۸ درصد) و حرکت بین درختان (۴۰ درصد) به کد دو اختصاص یافت (جدول ۷).

جدول ۷- فراوانی اجزای مختلف قطع درخت در آنالیز وضعیت اندام گردن

Table 7. Frequency of different tree cutting components in neck posture analysis

Code	Evaluation		Undercut		Backcut		Moving between trees	
	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent
1	39 ^a	49.4	51 ^b	23.8	26 ^b	21.3	3	20
2	35 ^a	44.3	74 ^a	34.6	62 ^a	50.8	6	40
3	4 ^b	5.1	35 ^f	16.4	19 ^b	15.6	5	33.3
4	1 ^b	1.3	42 ^c	19.6	13 ^c	10.7	1	6.7
5	0	0	12 ^c	5.6	2 ^c	1.6	0	0
Total	79	100	214	100	122	100	15	100
<i>P</i>	0.00		0.00		0.00		>0.05	

Different lowercase letters within each column indicate significant differences among code frequencies based on the chi-square test and standardized residuals ($P < 0.05$).

نتایج مربوط به بررسی موقعیت تنه بدن نشان داد که در مرحله ارزیابی درخت، بیشترین فراوانی (۶۵/۸ درصد) برای کد چهار به دست آمد، درحالی که در مراحل بن زنی، بن بری و حرکت بین درختان، بیشترین درصد فراوانی متعلق به کد یک به ترتیب با ۵۰، ۳۷/۷ و ۵۳/۳ درصد بود (جدول ۸).

نتایج در سنجش پاها نشان داد که کد یک در همه اجزای قطع دارای بیشترین مقدار درصد فراوانی بود. به طوری که مقدار آن در مرحله ارزیابی درخت ۹۳/۷ درصد، در بن زنی ۷۶/۲ درصد، در بن بری ۸۶/۱ درصد و در مرحله حرکت بین درختان ۹۳/۳ درصد به دست آمد (جدول ۹).

جدول ۸- فراوانی اجزای مختلف قطع درخت در آنالیز وضعیت اندام تنه

Table 8. Frequency of different tree felling components in trunk posture analysis

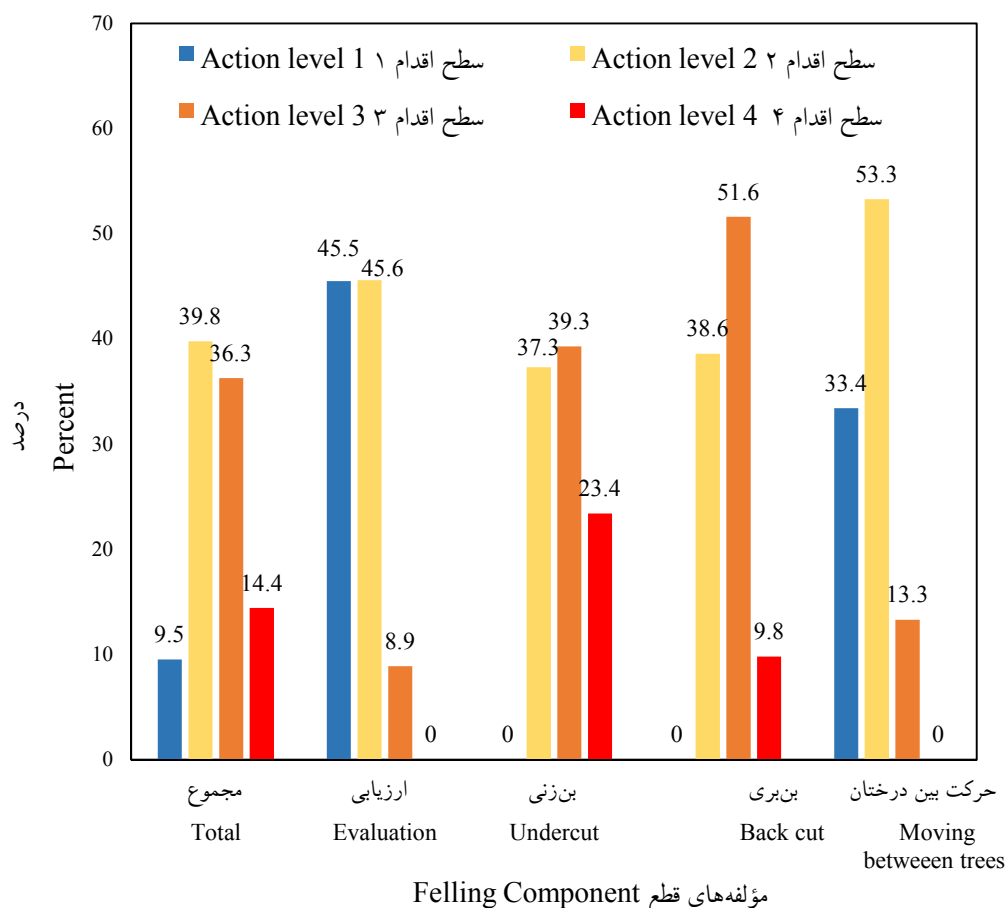
Code	Evaluation		Undercut		Backcut		Moving between trees	
	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent
1	0	0	107	50	46	37.7	8	53.3
2	11	13.9	40	18.7	19	15.6	1	6.7
3	16	20.3	24	11.2	11	9	3	20
4	52	65.8	33	15.4	16	13.1	1	6.7
5	0	0	10	4.7	30	24.6	2	13.3
6	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	79	100	214	100	122	100	15	100

Different lowercase letters within each column indicate significant differences among code frequencies based on the chi-square test and standardized residuals ($P < 0.05$).

جدول ۹- فراوانی اجزای مختلف قطع درخت در آنالیز وضعیت اندام پاها

Table 9. Frequency of different tree cutting components in legs posture analysis

Code	Evaluation		Undercut		Backcut		Moving between trees	
	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent
1	74 ^a	93.7	163 ^a	76.2	105 ^a	86.1	14 ^a	93.3
2	5 ^b	6.3	51 ^b	23.8	17 ^b	13.9	1 ^b	6.7
Total	79	100	214	100	122	100	15	100

Different lowercase letters within each column indicate significant differences among code frequencies based on the chi-square test and standardized residuals ($P < 0.05$).

شکل ۳- توزیع درصد فراوانی سطوح اقدامات حاصل از روش RULA در مؤلفه‌های مختلف قطع درخت در کل (مجموع) و به تفکیک

Figure 3. The distribution of the frequency Percentage of action levels resulting from the RULA method in different components of tree cutting, overall (total) and separately

بدن در مرحله حرکت بین درختان، ۴۵/۶ درصد در مرحله ارزیابی، ۳۸/۶ درصد در مرحله بن‌بری، ۳۷/۳ درصد در مرحله بن‌زنی و ۳۹/۸ درصد کل موقعیت‌های بدن در سطح اقدام دو قرار داشتند. به این معنی که از نظر ارگونومیک به بررسی‌های بیشتر و تغییرات و مداخلات ارگونومیک لازم برای اصلاح شرایط و وضعیت‌های کاری نیاز دارند. همچنین، ۵۱/۶ درصد از موقعیت‌های بدن در مرحله بن‌بری، ۳۹/۳ درصد در بن‌زنی، ۱۳/۳ درصد در حرکت بین درختان، ۸/۹ درصد در مرحله ارزیابی و ۳۶/۳ درصد مجموع موقعیت‌های بدن در سطح اقدام سه قرار داشتند. در این حالت، بررسی‌ها و تدابیر اصلاحی باید به‌زودی برای این موقعیت‌ها مورد توجه قرار گیرد. زیرا در این موقعیت‌ها، پتانسیل ابتلا به اختلالات اسکلتی-عضلانی وجود دارد. سطح اقدام چهار فقط در ۱۴/۴ درصد کل موقعیت‌های بدن مشاهده شد. در این حالت رسیدگی، بررسی و ایجاد تغییرات در موقعیت بدن در سریع‌ترین زمان ممکن ضروری است. فراوانی سطح اقدام چهار در مراحل بن‌زنی و بن‌بری به‌ترتیب ۲۳/۴ و ۹/۸ درصد به‌دست آمد، اما این سطح برای مراحل حرکت بین درختان و ارزیابی مشاهده نشد.

در ارزیابی فاکتورهای احتمال خطر اختلالات اسکلتی-عضلانی در کارگران جنگل به‌روش Dimou, RULA و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که حدود ۱/۲۵ درصد از موقعیت‌های بدن در سطح دو، ۲۱/۲۵ درصد در سطح سه و ۷۷/۵ درصد در سطح چهار قرار داشتند، درحالی‌که براساس یافته‌های پژوهش پیش‌رو، ۳۹/۸ درصد موقعیت‌های بدن در سطح اقدام دو، ۳۶/۳ درصد در سطح اقدام سه و ۱۴/۴ درصد در سطح اقدام چهار قرار دارند. Micheletti Cremasco و همکاران (۲۰۱۹) در ارزیابی فاکتورهای احتمال خطر اختلالات اسکلتی-عضلانی در کارگران ماشین چوب‌خردکن با روش RULA و REBA به‌چندین مشکل وضعیتی انجام‌های فوقانی اشاره و عنوان کردند که RULA یک روش احتیاطی‌تر برای محافظت از سلامت کارگران در طول وظایف مورد نظر است. نتایج پژوهش آن‌ها، بدترین نمره‌های مربوط به RULA را برای فعالیت‌های مدنظر بین سه تا هفت نشان

نتایج دیگر نشان داد که بین فراوانی‌های مشاهده‌شده در سطوح مختلف اقدام، تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($X^2=119/786$, $df=3$, $Sig=0/000$). به‌طوری‌که بیشترین فراوانی متعلق به سطح اقدام دو و کمترین مقدار مربوط به سطح اقدام یک بود. ۴۵/۵، ۴۵/۶ و ۸/۹ درصد موقعیت‌های بدن به‌ترتیب مربوط به مرحله‌های ارزیابی در سطح اقدام یک، دو و سه بودند. در مرحله بن‌زنی و بن‌بری، بیشترین موقعیت‌های بدن در سطح اقدام سه قرار داشتند (به‌ترتیب ۳۹/۳ و ۵۱/۶ درصد). همچنین، سطح چهار، ۹/۸ درصد از موقعیت‌های بدن در مؤلفه بن‌بری را به‌خود اختصاص داد. در مرحله حرکت بین درختان نیز ۵۳/۳ درصد از موقعیت‌های بدن در سطح دو قرار گرفت. به‌طورکلی، ۹/۵ درصد از وضعیت‌های بدن در سطح اقدام یک، ۳۹/۸ درصد در سطح اقدام دو، ۳۶/۳ درصد در سطح اقدام سه و ۱۴/۴ درصد در سطح اقدام چهار قرار گرفتند (شکل ۳).

بحث

ارگونومیست‌ها و متخصصان ارگونومی از ابزارهای مختلفی برای ارزیابی موقعیت بدن کارگران استفاده می‌کنند. در حال حاضر، استفاده از روش‌های مشاهده‌ای مانند ارزیابی سریع اندام فوقانی (RULA)، ارزیابی سریع کل بدن (REBA) و سیستم تجزیه و تحلیل وضعیت کاری اوواکو (OWAS) به دلایلی مانند راحتی استفاده، ارزان و منعطف بودن و عدم تداخل با وظایف کارگران مورد استقبال قرار گرفته است (Kee, 2022). جمع‌بندی منابع مرتبط با تکنیک‌های ارزیابی موقعیت بدن نشان می‌دهد که در ۶۴ درصد پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه ارگونومی از روش RULA برای ارزیابی استفاده شده است (Joshi & Deshpande, 2019). نتایج ارزیابی موقعیت بدن کارگران در روش RULA در پژوهش پیش‌رو نشان داد که ۴۵/۵ درصد از موقعیت‌های بدن در مرحله ارزیابی، ۳۳/۴ درصد در مرحله حرکت بین درختان و ۹/۵ درصد از وضعیت‌های بدن در مجموع در سطح اقدام یک قرار داشتند. این وضعیت بدن مورد قبول است و به اقدام اصلاحی خاصی نیاز ندارد. ۵۳/۳ درصد از موقعیت‌های

بدون صرف هزینه زیاد و در مدت کم ارزیابی کرد تا در صورت غیرقابل قبول بودن آن، با به کارگیری اقدامات و تدابیر ارگونومیکی نسبت به کنترل و پیشگیری اختلالات فوق اقدام کرد. برای کاهش اختلالات سیستم اسکلتی-عضلانی شغلی باید آگاهی کارگران قطع در ارتباط با وضعیت های کاری و ارگونومی افزایش یابد. کارگران باید در طول روز تمریناتی را انجام دهند تا از ماندن طولانی مدت در یک وضعیت ثابت اجتناب کنند. همچنین، وضعیت بدن کارگران باید در فاصله های زمانی مشخص بررسی شود و سمینارها و جلسه های مختلف برای کارگران در ارتباط با وضعیت صحیح شانه، بالای کمر، بازوها و پاها برگزار شود.

استفاده از RULA در فعالیتهای مربوط به قطع درخت نشان داد که اصول کار ارگونومیک رایج را می توان برای نیروی کار در شرایط هوای آزاد به کار برد. کارگران اره موتوری با انواع وظایف و نیز کار با اره موتوری در ارتباط هستند و به روش های موردی برای ارزیابی خطر وضعیتی نیاز دارند. پژوهش پیش رو نشان داد که روش RULA برای ارزیابی اضافه بار وضعیتی در تعامل کارگر و اره موتوری مربوط به قطع درختان مناسب است. زیرا شاخص هایی را نشان می دهد که با سطح فاکتورهای احتمال خطر بیشتری مطابقت دارد. همچنین، ضروری است که این روش ارزیابی در سایر فعالیتهای جنگل داری نیز به کار گرفته شود تا خطرات ایمنی و بهداشت شغلی و وضعیت های کاری رایج به ویژه از نظر اختلالات اسکلتی-عضلانی شناسایی شوند. یافته های این پژوهش و پژوهش های آینده می توانند به تعیین بار فیزیکی ناشی از وضعیت های کاری بدن طی عملیات قطع درختان کمک کنند و در طراحی ابزارها و ماشین آلات برای کاهش بار فیزیکی و خطر ابتلا به اختلالات اسکلتی-عضلانی مؤثر باشند. در همه وظایف مشاهده شده، مستقل از شکل و اندازه، RULA به عنوان یک روش پیشگیرانه تر می تواند برای محافظت از سلامت اره موتوری به کار برده شود. با این حال، ملاحظات بیشتر در مورد خطر وضعیتی عملیات قطع باید نه تنها بر وضعیت بدن اپراتورها، بلکه بر استانداردهای ایمنی متمرکز شوند.

نتایج پژوهش پیش رو تأیید کرد که وضعیت های نامناسب بدنی در عملیات قطع درخت به طور قابل توجهی،

داد. براساس یافته های پژوهش پیش رو، بدترین نمره ها برای روش RULA بین سه تا شش بودند. با این حال، با توجه به وضعیت های کاری مشاهده شده، اجرای مداخلات ارگونومیکی ضروری به نظر می رسد. این مداخلات شامل آموزش اصول صحیح وضعیت بدنی، اصلاح تکنیک های کاری، کاهش حرکت های تکراری اندام فوقانی، استفاده از تجهیزات با طراحی ارگونومیک و برنامه ریزی وقفه های استراحت مناسب است. اجرای این اقدامات می تواند به کاهش فاکتورهای احتمال خطر اختلالات اسکلتی-عضلانی و بهبود ایمنی شغلی اپراتورها کمک کند. مقایسه روش های ارگونومیک آنالیز فاکتورهای احتمال خطر برای وضعیت های کاری کارگران نهالستان های جنگلی در ترکیه نشان داد که سطح فاکتورهای احتمال خطر کلاسه خیلی خطرناک در ارزیابی RULA ۲۰ درصد است (Yaylı & Çalışkan, 2019). Üner Okan و همکاران (۲۰۱۷) در تعیین وضعیت بدنی هنگام کار با روش های مختلف ارزیابی فاکتورهای احتمال خطر ارگونومیک در کارگران جنگل، روش RULA را به دلیل حساسیت زیاد در ارزیابی موقعیت اندام های فوقانی بدن به عنوان یک روش مناسب تشخیص دادند. همچنین، نتایج آن ها نشان داد که بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد موقعیت بدن در ارزیابی این روش در وضعیت سطح اقدام های سه و چهار قرار دارند. ساعت های کاری زیاد، اتخاذ موقعیت های نامناسب بدن همراه با عدم توجه به خستگی کارگر می تواند به فشار و استرس کاری منجر شود و اثر منفی بر سلامتی کارگر بگذارد (Landekić et al., 2019).

در سایر موقعیت های مورد مطالعه نیز احتمال بروز اختلالات اسکلتی-عضلانی وجود دارد، بنابراین با بررسی های بیشتر اقدامات، تدابیر کنترلی و پیشگیرانه در دو قالب توصیه های مدیریتی و مهندسی برای اصلاح موقعیت های کاری به خصوص برای اندام های تنه، گردن، بازو و مچ لازم و ضروری است. وضعیت کاری بدن، عوامل بیومکانیکی و برخی از فاکتورهای احتمال خطر، از جمله مؤلفه های مهم در بروز و ابتلا به اختلالات اسکلتی-عضلانی هستند. از این رو، با استفاده از روش RULA می توان آن را

مدیرعامل محترم شرکت سهامی جنگل شفارود که زمینه انجام این پژوهش را فراهم کردند، قدردانی می‌کنند. همچنین، از بخش تحقیقات شرکت سهامی جنگل شفارود، جناب آقای مهندس حسینی که با فراهم‌سازی دسترسی به عرصه و ارائه پشتیبانی‌های لازم در مراحل مختلف اجرای پژوهش همکاری کردند، صمیمانه تشکر می‌شود. نویسندگان مراتب قدردانی و سپاس خود را از بخش ایمنی شرکت سهامی جنگل شفارود و کارگر اره‌موتورچی که با همکاری صمیمانه در فرایند برداشت داده‌ها و انجام مشاهده‌های میدانی نقش اساسی داشتند، ابراز می‌دارند.

فاکتورهای احتمال خطر زیادی دارند. شیوع وضعیت‌های نامناسب بدنی، ضرورت مداخله ارگونومی مناسب برای درک و سپس، توسعه محیط کار و روش‌های انجام کار بهتر برای حل مشکلات را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش باید به صورت گام به گام به همه ذی‌نفعان به‌ویژه کارگران قطع درخت آموزش داده شود تا آن‌ها بتوانند خطرات کار موجود را درک کنند و البته برای آینده قادر و مایل باشند که روش‌های انجام کار را بهتر، ایمن، مؤثر و کارآمدتر انجام دهند.

سپاسگزاری

نویسندگان از حمایت‌های جناب سرهنگ صفاتی

References

- Barbosa, R.P., Fiedler, N.C., do Carmo, F.C.A., Minette, L.J. and Silva, E.N., 2014. Analysis of posture in semi-mechanized forest harvesting in steep areas. *Revista Árvore*, 38(4): 733-738. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000400016>
- Borz, S.A., Talagai, N., Cheța, M., Chiriloiu, D., Gavilanes Montoya, A.V., Castillo Vizuet, D.D. and Marcu, M.V., 2019. Physical strain, exposure to noise and postural assessment in motor-manual felling of willow short rotation coppice: Results of a preliminary study. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 40(2): 377-388. <https://doi.org/10.5552/crojfe.2019.550>
- Corella Justavino, F., Jimenez Ramirez, R., Meza Perez, N. and Borz, S.A., 2015. The use of OWAS in forest operations postural assessment: Advantages and limitations. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, 8(57): 7-16.
- David, G.C., 2005. Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine*, 55(3): 190-199. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqi082>
- Dimou, V., Basilios, M. and Kitikidou, K., 2022. Evaluation of musculoskeletal disorders risks in forestry. *Work*, 72(1): 373-393. <https://doi.org/10.3233/WOR-213640>
- Enez, K. and Nalbantoğlu, S.S., 2019. Comparison of ergonomic risk assessment outputs from OWAS and REBA in forestry timber harvesting. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 70: 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.01.009>
- Forkuo, G.O., Marcu, M.V., Kaakkurivaara, N., Kaakkurivaara, T. and Borz, S.A., 2025. Human and machine reliability in postural assessment of forest operations by OWAS method: Level of agreement and time resources. *Forests*, 16(5): 759. <https://doi.org/10.3390/fl6050759>
- Gómez-Galán, M., Pérez-Alonso, J., Callejón-Ferre, Á.J. and López-Martínez, J., 2017. Musculoskeletal disorders: OWAS review. *Industrial Health*, 55(4): 314-337. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2016-0191>
- Grzywiński, W., Wandycz, A., Tomczak, A. and Jelonek, T., 2016. The prevalence of self-reported musculoskeletal symptoms among loggers in Poland. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 52: 12-17. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.07.003>
- Hignett, S. and McAtamney, L., 2000. Rapid entire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2): 201-205. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3)
- International Labour Organization (ILO), 2015. World Day for Safety and Health at Work, 28 April 2015: Global trends on occupational accidents and diseases. Retrieved May 20, 2021, from https://webapps.ilo.org/static/english/osh/en/story_content/external_files/fs_st_1-ILO_5_en.pdf
- Joshi, M. and Deshpande, V., 2019. A systematic review of comparative studies on ergonomic assessment techniques. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 74: 102865. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.102865>
- Kee, D., 2022. Systematic comparison of OWAS, RULA, and REBA based on a literature review. *International Journal of Environmental Research and Public*

- Health, 19(1): 595.
<https://doi.org/10.3390/ijerph19010595>
- Klun, J. and Medved, M., 2007. Fatal accidents in forestry in some European countries. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28(1): 55-62.
 - Kumar, S., 2001. Theories of musculoskeletal injury causation. *Ergonomics*, 44(1): 17-47.
<https://doi.org/10.1080/00140130120716>
 - Landekić, M., Katuša, S., Mijoč, D. and Šporčić, M., 2019. Assessment and comparison of machine operators' working posture in forest thinning. *South-east European Forestry*, 10(1): 29-37.
<https://doi.org/10.15177/seefer.19-02>
 - Lowe, B.D., Dempsey, P.G. and Jones, E.M., 2019. Ergonomics assessment methods used by ergonomics professionals. *Applied Ergonomics*, 81: 102882.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102882>
 - Marchi, E., Picchio, R., Spinelli, R., Verani, S., Venanzi, R. and Certini, G., 2014. Environmental impact assessment of different logging methods in pine forests thinning. *Ecological Engineering*, 70: 429-436.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.06.019>
 - Martins, A.B., Lopes, E.S., Pagnussat, M.B., Fiedler, N.C. and Oliveira, F.M., 2020. Upper limb posture and movement during tracked versus wheeled harvester operation on Pinus thinning. *International Journal of Forest Engineering*, 31(3): 263-271.
<https://doi.org/10.1080/14942119.2020.1822663>
 - McAtamney, L. and Corlett, E.N., 1993. RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2): 91-99. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(93\)90080-S](https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90080-S)
 - Micheletti Cremasco, M., Giustetto, A., Caffaro, F., Colantoni, A., Cavallo, E. and Grigolato, S., 2019. Risk assessment for musculoskeletal disorders in forestry: A comparison between RULA and REBA in the manual feeding of a wood-chipper. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(5): 793. <https://doi.org/10.3390/ijerph16050793>
 - Neitzel, R. and Yost, M., 2002. Task-based assessment of occupational vibration and noise exposures in forestry workers. *AIHA Journal*, 63(5): 617-627.
<https://doi.org/10.1080/15428110208984748>
 - Nikooy, M., Shekarsary, E. and Sayadi, A., 2017. Occupational health and safety assessment of forestry workers (case study: Shafaroud forest company). *Forest and Wood Products*, 70(2): 261-272 (In Persian with English summary).
<https://doi.org/10.22059/jfwp.2017.62483>
 - Rahimi, F., Nikooy, M., Heidari, M. and Tsioras, P.A., 2024. Noise assessment of motor-manual felling of poplar plantations using MASHOUF PSI 9700 chainsaw. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 31(4): 267-276 (In Persian with English summary).
<https://doi.org/10.22092/ijfpr.2023.362992.2112>
 - Roman-Liu, D., 2013. External load and the reaction of the musculoskeletal system – A conceptual model of the interaction. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 43(4): 356-362.
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2013.04.002>
 - Szewczyk, G., Spinelli, R., Magagnotti, N., Tylek, P., Sowa, J.M., Rudy, P. and Gaj-Gielarowicz, D., 2020. The mental workload of harvester operators working in steep terrain conditions. *Silva Fennica*, 54(3): 10355.
<https://doi.org/10.14214/sf.10355>
 - Ünver Okan, S., Acar, H.H. and Kaya, A., 2017. Determination of work postures with different ergonomic risk assessment methods in forest nurseries. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12): 7362-7371.
 - Yaylı, D. and Çalışkan, E., 2019. Comparison of ergonomic risk analysis methods for working postures of forest nursery workers. *European Journal of Forest Engineering*, 5(1): 18-24.
<https://doi.org/10.33904/ejfe.556997>