Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Wood and Forest Science and Technology

Print ISSN: 2322-2077
Online ISSN: 2322-2786

(OPEN ACCESS)

Assessment and Comparison of Machine Operators' Working Posture in Forest logging

Elahe Mohammadi Shahrestani[1], Mehrdad Nikooy[*2], Ramin Naghdi[3], Mahmood Heidari[4], Petros A. Tsioras[5]

1. Ph.D. Student of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran. E-mail: ----------
2. Corresponding Author, Professor, Dept. of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran. E-mail: nikooy@guilan.ac.ir
3. Professor, Dept. of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh Sara, Iran. E-mail: ----------
4. Associate Prof., Dept. of Occupational Health, School of Health, Guilan University of Medical Sciences, Rasht, I. R. Iran. E-mail: ----------
5. Assistant Prof., Lab of Forest Utilization, Faculty of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, POB 227, Thessaloniki, Greece. E-mail: ----------

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 02.19.2026
Revised: ----------
Accepted: 06.03.2026

Keywords:
Forest operation,
Machine operators,
Musculoskeletal disorder,
OWAS,
Working posture

ABSTRACT

Background and Objectives: Although mechanization of timber harvesting reduces costs and increases productivity, it exposes machine operators to musculoskeletal disorders (MSDs) caused by awkward working postures, prolonged sitting, and whole-body vibration. MSDs are among the most significant occupational health problems affecting forest machine operators and may lead to reduced productivity, work delays, and increased healthcare costs. Given the lack of comprehensive research in Iran on the assessment of working postures among logging machine operators, this study aimed to evaluate and compare the working postures of operators of two logging machines, the Timberjack 450C rubber-tired skidder and the ITM 285 agricultural tractor, in plantation forests of western Guilan Province, Iran.

Materials and Methods: This cross-sectional observational study was conducted during the summer of 2024. Logging operations using the rubber-tired skidder were performed in Compartment 12 of Pilambra Forest, while tractor data were collected from Compartment 5 of Haft-Daghanan District. Operators' working postures during different operational phases, including travel unloaded, maneuvering, winching, travel loaded, unloading, and sorting/piling (for the skidder), as well as travel unloaded, load collection, travel loaded, and unloading (for the tractor), were recorded using video cameras. Postures were evaluated using the snapshot sampling method and the Ovako Working Posture Analysis System (OWAS). A total of 2,652 images were analyzed for the skidder and 5,539 images for the tractor. The Postural Risk Index (PRI) was calculated based on the frequency distribution of postures across action categories.

Uncorrected Proof

Results: For both machines, the highest proportion of working postures was classified at Action Level 2, accounting for 67.08% for the skidder and 73.06% for the tractor. Action Level 1 comprised 32.67% for the skidder and 24.68% for the tractor. Action Level 3 represented 0.15% for the skidder and 2.26% for the tractor, while no postures were classified at Action Level 4 for either machine. The PRI was 167 for the skidder and 177 for the tractor, indicating a higher postural risk for the tractor operator. The skidder operator adopted nine distinct working postures, whereas the tractor operator adopted twelve. In skidder operations, posture codes 2111 (1,360 observations) and 3111 (762 observations) were the most frequent. For the tractor, posture code 2111 (3,577 observations) was the most frequent across all operational phases.

Conclusion: Although both machines presented moderate postural risk levels, the specialized cabin design of the skidder, stable seated posture, and ergonomic control layout contributed to more favorable working postures and a lower PRI. In contrast, the agricultural tractor, due to its non-specialized design, absence of a standard cabin, and frequent transitions between seated and standing positions, was associated with greater postural variability and higher risk. Implementing preventive measures such as scheduled rest breaks, stretching exercises, ergonomic training, improved seat design, and reduced continuous working time is recommended to mitigate MSDs.

Cite this article: Mohammadi Shahrestani, Elahe, Nikooy, Mehrdad, Naghdi, Ramin, Heidari, Mahmood, A. Tsioras, Petros. 2026. Assessment and Comparison of Machine Operators' Working Posture in Forest logging. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 33 (1), 91-109.

© The Author(s).
DOI:
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Uncorrected Proof

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸۶

ارزیابی و مقایسه وضعیت بدنی اپراتورهای ماشین‌آلات در عملیات خروج چوب از جنگل

الهه محمدی شهرستانی[۱]، مهرداد نیکوی*[۲]، رامین نقدی[۳]، محمود حیدری[٤]، پتروس سایروس[٥]

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: ----------
۲. نویسنده مسئول، استاد گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: nikooy@guilan.ac.ir
۳. استاد گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: ----------
٤. دانشیار گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران. رایانامه: ----------
٥. استادیار آزمایشگاه بهره‌برداری از جنگل، دانشکده جنگلداری و محیط زیست طبیعی، دانشگاه ارسطو (Aristotle)، یونان. رایانامه: ----------

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۱۱/۳۰
تاریخ ویرایش: --------
تاریخ پذیرش: ۱٤۰٥/۰۳/۱۳

واژه‌های کلیدی:
بهره‌برداری جنگل،
رانندگان ماشین‌آلات جنگل،
سیستم تحلیل وضعیت کاری اوواکو،
مشکلات اسکلتی- عضلانی،
موقعیت‌های کاری

چکیده

سابقه و هدف: مکانیزاسیون برداشت چوب اگرچه به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری کمک می‌کند، اما رانندگان ماشین‌آلات را در معرض اختلالات اسکلتی- عضلانی ناشی از وضعیت‌های نامناسب بدنی، نشستن طولانی‌مدت و ارتعاش تمام بدن قرار می‌دهد. اختلالات اسکلتی- عضلانی یکی از مهم‌ترین مشکلات شغلی در میان اپراتورهای ماشین‌آلات جنگلداری است که می‌تواند منجر به کاهش بهره‌وری، افزایش تأخیرهای کاری و هزینه‌های درمانی شود. با توجه به این‌که تاکنون مطالعه جامعی در زمینه ارزیابی وضعیت بدنی رانندگان ماشین‌آلات چوبکشی در ایران انجام نشده است، این پژوهش با هدف ارزیابی و مقایسه وضعیت بدنی رانندگان دو ماشین چوبکشی شامل اسکیدر چرخ‌لاستیکی Timber jack 450C و تراکتور کشاورزی ITM 285 در جنگل‌کاری‌های غرب استان گیلان انجام شد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه از نوع مقطعی- مشاهده‌ای بود و داده‌های میدانی در تابستان ۱٤۰۳ جمع‌آوری شد. جمع‌آوری داده‌ها برای اسکیدر چرخ‌لاستیکی در قطعه ۱۲ سری پیلمبرا و برای تراکتور کشاورزی در قطعه ۵ سری هفت دغنان انجام شد. وضعیت بدنی اپراتورها در مراحل مختلف کاری شامل حرکت بدون بار، استقرار، وینچ کردن بار، حرکت با بار، باز کردن بار و مرتب‌سازی و انباشت برای اسکیدر و مراحل حرکت بدون بار، جمع‌آوری بار، حرکت با بار و تخلیه برای تراکتور با دوربین فیلم‌برداری ثبت شد. سپس با روش نمونه‌برداری لحظه‌ای و سیستم تحلیل وضعیت کاری اوواکو (OWAS) مورد ارزیابی قرار گرفت. درمجموع برای

Uncorrected Proof

اسکیدر ۲٦٥۲ تصویر و برای تراکتور ٥٥۳۹ تصویر تحلیل شد. شاخص خطر وضعیت بدنی (PRI) نیز بر اساس فراوانی موقعیت بدن در سطوح اقدام اصلاحی محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیش‌ترین فراوانی وضعیت‌های بدنی برای رانندگان اسکیدر و تراکتور در سطح اقدام ۲ (نیاز به اصلاح در آینده نزدیک) به ترتیب برابر با ٦۷/۰۸ درصد و ۷۳/۰٦ درصد بود. سطح اقدام ۱ (بدون نیاز به اصلاح) برای اسکیدر ۳۲/٦۷ درصد و برای تراکتور ۲٤/٦۸ درصد مشاهده شد. سطح اقدام ۳ (نیاز به اصلاح سریع) برای اسکیدر ۰/۱٥ درصد و برای تراکتور ۲/۲٦ درصد بود و سطح اقدام ٤ (نیاز به اصلاح فوری) برای هیچ‌یک از ماشین‌آلات مشاهده نشد. شاخص خطر وضعیت بدنی برای اسکیدر ۱٦۷ و برای تراکتور ۱۷۷ محاسبه شد که نشان‌دهنده ریسک بالاتر در تراکتور است. راننده اسکیدر ۹ وضعیت بدنی مختلف و راننده تراکتور ۱۲ وضعیت بدنی مختلف اتخاذ کردند. در عملیات با اسکیدر، بیش‌ترین فراوانی موقعیت‌های بدن مربوط به کد ۲۱۱۱ (حرکت با بار) با ۱۳٦۰ مورد و کد ۳۱۱۱ (وینچ کردن بار) با ۷٦۲ مورد بود. در تراکتور، بیش‌ترین فراوانی مربوط به کد ۲۱۱۱ در مراحل مختلف با ۳٥۷۷ مورد بود. بررسی وضعیت اندام‌ها نشان داد که در اسکیدر، تنه در مراحل مختلف عمدتاً در وضعیت‌های ۲ و ۳ قرار داشت، بازوها بیش‌تر در وضعیت ۱ بودند و پاها به دلیل نشسته بودن اپراتور عمدتاً در وضعیت ۱ قرار داشتند. در تراکتور، تنه در مراحل مختلف تنوع بیش‌تری داشت و پاها گاهی در وضعیت‌های ۲ و ۳ (ایستاده) نیز مشاهده شدند.

نتیجه‌گیری: اگرچه هر دو ماشین در سطح ریسک متوسط قرار دارند، اما طراحی تخصصی‌تر کابین اسکیدر، وضعیت نشسته پایدار و تمرکز بیشتر بر کنترل‌های داخل کابین منجر به وضعیت‌های بدنی مطلوب‌تر و شاخص خطر وضعیت بدنی پایین‌تر شده است. در مقابل، تراکتور کشاورزی به دلیل طراحی غیرتخصصی، نبود کابین استاندارد و نیاز به جابه‌جایی مکرر بین وضعیت‌های نشسته و ایستاده، وضعیت‌های بدنی متنوع‌تر و پرخطرتری را به همراه داشته است. اجرای اقداماتی مانند استراحت‌های کوتاه‌مدت، حرکات کششی، آموزش وضعیت بدنی مناسب، بهبود طراحی صندلی‌ها و کاهش مدت‌زمان کار مداوم برای کاهش اختلالات اسکلتی- عضلانی پیشنهاد می‌شود.

استناد: محمدی شهرستانی، الهه، نیکوی، مهرداد، نقدی، رامین، حیدری، محمود، سایروس، پتروس (۱۴۰۵). ارزیابی و مقایسه وضعیت بدنی اپراتورهای ماشین‌آلات در عملیات خروج چوب از جنگل. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۳۳ (۱)، ۱۰۹-۹۱.

DOI:

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

Uncorrected Proof

مقدمه

مکانیزاسیون یکی از راه‌های کاهش هزینه‌های برداشت چوب از جنگل است. بااین‌حال، مکانیزاسیون جنگل باید بدون آن‌که سلامت و ایمنی شغلی کارگران را به خطر بیندازد، اجرا شود (۱). تولید چوب فرایندی پیچیده و متشکل از مراحل مختلف است که عموماً در محیط‌های باز و با شرایط نامساعد آب‌وهوایی و توپوگرافی انجام می‌شود. انجام عملیات برداشت چوب علاوه بر خطرات ذاتی، رانندگان ماشین‌آلات چوبکشی را در معرض عواملی مانند سر و صدا، گردوغبار و لرزش نیز قرار می‌دهد (۲) به‌دلیل سطح پایین فناوری یا عدم دسترسی به فناوری‌های مدرن در برخی کشورها، بسیاری از فعالیت‌های جنگل‌داری هنوز به‌صورت دستی یا نیمه‌مکانیزه انجام می‌شود. در ایران مانند بسیاری از کشورهای دیگر، قطع و تبدیل نیمه‌مکانیزه در جنگل‌کاری‌های صنعتی و شخصی متداول‌ترین روش برداشت چوب است. مقطوعات عرصه‌های تحت بهره‌برداری عموماً توسط اسکیدرهای چوبکشی و یا تراکتورهای کشاورزی به محل‌های دپو منتقل می‌شوند. باوجود پیشرفت‌های اخیر در فناوری برداشت چوب، اسکیدرهای چوبکشی و تراکتورهای کشاورزی مجهز به تجهیزات برداشت چوب هم‌چنان به‌عنوان بدنه اصلی ماشین‌آلات چوبکشی در عرصه‌های جنگل‌کاری‌شده در غرب استان گیلان استفاده می‌شوند (۳، ٤). در این فرآیندهای کاری، کارگران در معرض سطح بالایی از استرس فیزیولوژیکی- فیزیکی و اختلالات اسکلتی- عضلانی احتمالی قرار دارند (۵). اختلالات اسکلتی- عضلانی معمولاً به‌دلیل تکرار حرکات یکسان، استفاده طولانی‌مدت از ابزارهای ارتعاشی و وضعیت بدنی غیر ارگونومیک هنگام کار رخ می‌دهد و باعث کاهش بهره‌وری، افزایش تأخیرهای کاری و هزینه‌های درمانی می‌شود. اگرچه این اختلالات ممکن است ناشی از شرایط سخت محیطی مانند دمای هوا و توپوگرافی نامناسب نیز باشند، اما در این مطالعه تمرکز اصلی بر پیامدهای وضعیت بدنی ناشی از مکانیزاسیون است.

با جایگزینی کارگران در کابین ماشین‌آلات به‌جای فعالیت دستی احتمال بروز انواع جدیدی از آسیب‌ها و بیماری‌ها، مانند سندرم حرکت تکراری درنتیجه اختلال اسکلتی- عضلانی وجود دارد (٦). رانندگان ماشین‌آلات جنگلی اغلب از دردهای مرتبط با اختلالات اسکلتی- عضلانی در ناحیه گردن، کمر و شانه‌ها رنج می‌برند (۷، ۸) و نتایج برخی پژوهش‌ها نشان داده است که علی‌رغم کاهش فعالیت بدنی، استفاده از این ماشین‌آلات می‌تواند تأثیر نامطلوبی بر سلامت رانندگان داشته باشد (٦). پژوهش‌های ارگونومیک اغلب با هدف یافتن تعادل بهینه بین توانایی انسان و شرایط کاری انجام می‌شوند. ارزیابی ارگونومیک وضعیت بدنی کارگر در حین کار می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای بهبود چیدمان داخلی کابین، دسترسی به کنترل‌ها و طراحی ابزار کار ارائه دهد که درنهایت به بهبود عملکرد کاری و کاهش استرس اسکلتی- عضلانی کمک می‌کند (۹، ۱۰). ماشین‌آلات چوبکشی از نظر طراحی کابین، وضعیت نشستن، نوع کنترل‌ها و میزان مواجهه با ارتعاش تمام بدن با یکدیگر تفاوت دارند (۱۱). اسکیدرهای تخصصی چوبکشی معمولاً دارای کابین بسته، صندلی ارگونومیک و کنترل‌های هیدرولیک هستند، درحالی‌که تراکتورهای کشاورزی فاقد چنین ویژگی‌هایی بوده و اپراتور را مجبور به تغییر وضعیت مکرر بین نشسته و ایستاده می‌کنند (۱۲).

Uncorrected Proof

با به‌کارگیری روش‌های ارگونومی در عملیات برداشت چوب، طیف وسیعی از مطالعات در ارتباط با بارکار فیزیکی (۱۳، ۱٤)، بارکار ذهنی (۱۵)، حوادث کار و مسائل ایمنی (۱٦، ۱۷) و ارزیابی موقعیت بدن در حین کار در ایران (۱۵، ۱۸) انجام شده است. عمده فعالیت‌های انجام‌شده در ارتباط با ارزیابی موقعیت بدن در حین کار در ایران متمرکز بر کار قطع (۱۵، ۱۹) و بارگیری دستی (۱۸، ۲۰) بوده است.

با وجود مطالعات متعدد در زمینه ارزیابی ارگونومیکی عملیات جنگل در ایران تمامی این پژوهش‌ها متمرکز بر عملیات دستی (قطع با اره موتوری و بارگیری دستی) بوده است. تاکنون مطالعه‌ای به مقایسه مستقیم وضعیت بدنی رانندگان اسکیدرهای تخصصی چوبکشی با تراکتورهای کشاورزی (به‌عنوان ماشین‌آلات جایگزین و رایج در کشورهای درحال‌توسعه) پرداخته نشده است هم‌چنین، در ایران با وجود استفاده گسترده از تراکتورهای کشاورزی در عملیات چوبکشی، هیچ مطالعه ارگونومیکی برای ارزیابی و مقایسه این ماشین با اسکیدرهای تخصصی گزارش نشده است ازاین‌رو، نوآوری این مطالعه در مقایسه دو سیستم ماشین‌آلات با سطح طراحی متفاوت در شرایط عملیاتی مشابه و هم‌چنین ارائه اولین گزارش از شاخص خطر وضعیت بدنی برای رانندگان تراکتورهای کشاورزی در ایران خلاصه می‌شود. با توجه به موارد فوق، این پژوهش با هدف ارزیابی و مقایسه وضعیت بدنی رانندگان اسکیدر چرخ‌لاستیکی Timber jack 450C و تراکتور کشاورزی ITM 285 در عملیات خروج چوب در جنگل‌کاری‌های غرب استان گیلان انجام شد.

روش‌شناسی پژوهش

معرفی مناطق مورد مطالعه: این مطالعه در دو منطقه مجزا در جنگل‌کاری‌های غرب استان گیلان انجام شد (جدول ۱). دلیل انتخاب دو منطقه متفاوت، عدم دسترسی هم‌زمان به هر دو نوع ماشین چوبکشی (اسکیدر چرخ‌لاستیکی و تراکتور کشاورزی) در یک قطعه به دلیل محدودیت‌های عملیاتی و مالکیتی بود. بااین‌حال، شرایط محیطی و توده‌های درختی دو منطقه از نظر شاخص‌های کلیدی قابل‌مقایسه انتخاب شدند تا تأثیر عامل منطقه بر نتایج به حداقل برسد.

منطقه اول: عملیات با اسکیدر چرخ‌لاستیکی در قطعه ۱۲ سری پیلمبرا واقع در غرب استان گیلان انجام شد. مساحت قطعه ۱۷/٦ هکتار، به‌طور خالص با گونه کاج تدا (*Pinus taeda*) پوشیده شده بود. میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۲ متر، شیب متوسط ۵–۱۰ درصد، فاقد جهت عمومی مشخص و پستی‌وبلندی محدود بود. میانگین دمای منطقه در فصل تابستان ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد گزارش شد. تراکم تاج‌پوشش ۷۵ درصد و نوع خاک لومی- شنی بود.

منطقه دوم: عملیات با تراکتور کشاورزی در قطعه ۵ سری هفت دغنان در جنوب جنگل‌کاری‌های هفت دغنان انجام شد. مساحت منطقه ٦۵/۱ هکتار، با گونه صنوبر (*Populus deltoides*) جنگل‌کاری شده بود. میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۵ متر، شیب متوسط ۱۲–۸ درصد، جهت عمومی جنوب غربی داشت. میانگین دمای منطقه در فصل تابستان ۲٤ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ٦۸ درصد بود. تراکم تاج‌پوشش ۷۰ درصد و نوع خاک لومی بود.

Uncorrected Proof

جدول ۱- مشخصات دو منطقه مورد مطالعه (٤).

Table 1. Characteristics of the two study areas.

مشخصه Parameter	منطقه اول (اسکیدر) First Region (Skidder)	منطقه دوم (تراکتور) Second Region (Tractor)
شیب متوسط (درصد) Average Slope (%)	5-10	8-12
تراکم تاج‌پوشش (درصد) Canopy Cover Density (%)	75	70
نوع خاک Soil Type	لومی- شنی Loamy-sand	لومی Loamy
میانگین دمای تابستان (°C) Average Summer Temperature (°C)	25	24
میانگین رطوبت نسبی (درصد) Average Relative Humidity (%)	70	68
ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation (m above sea level)	12	15
گونه درختی غالب Dominant Tree Species	کاج تدا *Pinus taeda*	صنوبر دلتوئیدس *Populus deltoides*

ماشین‌آلات موردمطالعه: دو نوع ماشین چوبکشی اسکیدر چرخ‌لاستیکی (Timberjack 450C) و تراکتور کشاورزی (ITM 285) مجهز به یدک‌کش بارگیری مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصات فنی تراکتور کشاورزی ITM 285 و اسکیدر Timberjack 450C (۳).

Table 2. Technical specifications of ITM 285 agricultural tractor and Timberjack 450C skidder.

مشخصات Specifications	اسکیدر چرخ لاستیکی rubber-tired skidder Timberjack 450C	تراکتور کشاورزی Farm tractor ITM285
تعداد سیلندر Number of cylinders	6	4
حداکثر قدرت موتور (اسب بخار) Maximum engine power (hp)	177	72
وزن روی محور جلو (کیلوگرم) Front axle weight (kg)	8682	1710
وزن روی محور عقب (کیلوگرم) Rear axle weight (kg)	4588	1770
وزن کل دستگاه (کیلوگرم) Total machine weight (kg)	10275	3480

روش جمع‌آوری داده‌ها: مطالعه از نوع مقطعی- مشاهده‌ای بود و طی آن راننده‌های تراکتور کشاورزی و اسکیدر چرخ لاستیکی از لحاظ موقعیت بدن مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای ارزیابی موقعیت بدن با استفاده از روش تحلیل وضعیت کاری اوواکو OWAS[1] ۱۰۰ نوبت‌کاری در خروج چوب با اسکیدر چرخ لاستیکی و ۱۲۵ نوبت خروج چوب با تراکتور کشاورزی مورد ارزیابی قرار گرفت (۲۱، ۲۲).

1- Ovako working posture assessment system

Uncorrected Proof

روش تحلیل وضعیت بدنی: برای ارزیابی وضعیت بدنی اپراتورها از سیستم تحلیل وضعیت کاری اوواکو استفاده شد. این روش چهار ناحیه از بدن را کدگذاری می‌کند (جدول ۳).

جدول ۳- کدگذاری اندام‌ها در روش OWAS.

Table 3. Coding of body parts in the OWAS method.

ناحیه بدن Body Region	کد Code	وضعیت Position	ناحیه بدن Body Region	کد Code	وضعیت Position
تنه Trunk	1	کشیده و صاف Back straight	بازوها Arms	1	هر دو دست پایین‌تر از شانه Both arms below shoulder level
	2	خمیده به جلو یا عقب Back bent forward or backward		2	یک دست بالاتر یا در حد شانه One arm is at or above the shoulder level
	3	چرخش یا خمیدگی به طرفین Back twisted or bent sideways		3	هر دو دست بالاتر یا در حد شانه Both arms are at or above the shoulder level
	4	چرخش توأم با خمیدگی Back bent and twisted or back bent forward and sideways	نیرو / بار Force/Load	1	کم‌تر از ۱۰ کیلوگرم Weight or force needed is less than 10 kg
پاها Legs	1	نشسته Sitting		2	۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم Weight or force needed exceeds 10 but is less than 20 kg
	2	ایستاده روی هر دو پا (کشیده) Standing with both legs straight		3	بیش‌تر از ۲۰ کیلوگرم Weight or force needed exceeds 20 kg
	3	ایستاده، وزن روی یک‌پا Standing with the weight on one straight leg	پاها Legs	6	نشسته روی یک یا هر دو زانو Kneeling on one or both knees
	4	ایستاده، هر دو زانو خمیده Standing or squatting with both knees bent		7	راه رفتن Walking or moving
	5	ایستاده، یک زانو خمیده Standing or squatting with one knee bent			

کد نهایی یک عدد چهاررقمی است (مثلاً ۲۱۱۱ به معنای: تنه خمیده، بازوها پایین‌تر از شانه، پاها نشسته، نیروی کم‌تر از ۱۰ کیلوگرم). مثلاً کد ۲۱۱۱ در مرحله «حرکت با بار» برای اسکیدر، راننده با تنه خمیده به جلو (کد ۲ تنه)، بازوها پایین‌تر از شانه (کد ۱ بازوها)، در حالت نشسته (کد ۱ پاها) و با نیروی کم‌تر از ۱۰ کیلوگرم (کد ۱ نیرو) مشاهده شد که کد ۲۱۱۱ ثبت شد (۲۳)

تعیین سطح خطر با در نظر گرفتن اثر ترکیب موقعیت‌های بدن اندام‌های بدن انجام گرفت در این ارزیابی با توجه به کدهای به‌دست‌آمده از موقعیت اندام‌های مختلف بدن و مقدار وزن بار (نیروی اعمال‌شده)، سطح خطر و اولویت اقدام اصلاحی تعیین شد (جدول ٤).

Uncorrected Proof

جدول ٤- تعیین سطح خطر و اولویت اقدام اصلاحی.

Table 4. Determination of risk level and corrective action priority.

پشت Back	بازوها Arms	پاها Legs																				
		1			2			3			4			5			6			7		
		استفاده از نیرو Use of force																				
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	3	3	2
	2	2	2	4	3	3	3	2	4	4	4	4	4	3	3	3	2	3	2	2	4	3
	3	2	2	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	2	2	4	4
3	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	3	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	3	3	3
	3	2	2	3	2	1	1	3	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	4	4	4
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	2	2	2	4	4	4
	2	3	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	4	4	4
	3	4	4	4	3	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	2	2	2	4	4	4

تعیین سطح اقدام اصلاحی: بر اساس ترکیب کدهای چهارگانه، سطح خطر و اولویت اقدام اصلاحی تعیین شد (جدول ٥).

جدول ٥- توصیف سطوح خطر یا اولویت اقدامات اصلاحی در روش OWAS.

Table 5. Description of risk levels or corrective action priorities in the OWAS method.

سطح اقدام Action Level	شرح اولویت Description	اقدام اصلاحی Corrective Action
1	موقعیت‌های بدن طبیعی و بدون اثر آسیب‌زا بر دستگاه اسکلتی- عضلانی Normal posture with no harmful effects on the musculoskeletal system	اقدام اصلاحی نیاز نیست No corrective action needed
2	موقعیت‌های بدن ممکن است که اثر آسیب‌زا بر دستگاه اسکلتی- عضلانی Posture may have harmful effects on the musculoskeletal system	اقدام اصلاحی در آینده نزدیک باید اعمال شود Corrective action should be taken in the near future
3	موقعیت‌های بدن دارای اثر آسیب‌زا بر دستگاه اسکلتی- عضلانی Posture has harmful effects on the musculoskeletal system	اقدام اصلاحی هر چه سریع‌تر باید به عمل آید Corrective action should be taken as soon as possible
4	موقعیت‌های بدن بسیار آسیب‌زا است Posture is extremely harmful	اقدام اصلاحی باید بلافاصله اعمال گردد. Corrective action should be taken immediately

Uncorrected Proof

شاخص خطر وضعیت بدنی[1]: برای محاسبه شاخص خطر وضعیت بدنی از رابطه ۱ استفاده شد (۲۱، ۲۲).

$$PRI = [(a \times 1) + (b \times 2) + (c \times 3) + (d \times 4)] \times 100 \quad (۱)$$

که در آن، a درصد فراوانی موقعیت‌های بدن در سطح اقدام ۱، b درصد فراوانی موقعیت‌های بدن در سطح اقدام ۲، c درصد فراوانی موقعیت‌های بدن در سطح اقدام ۳ و d درصد فراوانی موقعیت‌های بدن در سطح اقدام ٤ است.

تحلیل آماری و مقایسه: پس از تعیین کدهای OWAS و سطح اقدام برای هر تصویر، محاسبه فراوانی مطلق و نسبی هر کد موقعیت بدن به تفکیک مراحل کاری، تعیین درصد فراوانی هر سطح اقدام اصلاحی برای هر ماشین، محاسبه شاخص خطر وضعیت بدنی برای اسکیدر و تراکتور به‌طور جداگانه و مقایسه دو ماشین از نظر تعداد موقعیت‌های بدنه متفاوت اتخاذشده، توزیع فراوانی سطوح اقدام و مقدار شاخص خطر وضعیت بدنی انجام شد. تمامی محاسبات با استفاده از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۹ انجام شد .برای مقایسه توزیع فراوانی موقعیت‌های بدن دو ماشین از آزمون کای اسکوار در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ (سطح معنی‌داری ۰/۰۵) استفاده شد.

یافته‌های پژوهش و بحث

نتایج نشان داد که بیش‌ترین فراوانی موقعیت‌های بدن برای رانندگان هر دو ماشین در سطح اقدام ۲ (نیاز به اصلاح در آینده نزدیک) قرار داشت. این میزان برای اسکیدر ٦٧/٠٨ درصد و برای تراکتور ٧٣/٠٦ درصد بود. سطح اقدام ۱ (بدون نیاز به اصلاح) برای اسکیدر ٣٢/٦٧ درصد و برای تراکتور ٢٤/٦٨ درصد مشاهده شد. سطح اقدام ۳ (نیاز به اصلاح سریع) برای اسکیدر ۰/۱۵ درصد و برای تراکتور ۲/۲٦ درصد بود و سطح اقدام ٤ (نیاز به اصلاح فوری) برای هیچ‌یک از ماشین‌آلات مشاهده نشد. شاخص خطر وضعیت بدنی برای اسکیدر ١٦٧ و برای تراکتور ۱۷۷ محاسبه شد که نشان‌دهنده ریسک بالاتر در تراکتور است. راننده اسکیدر ۹ وضعیت بدنی مختلف و راننده تراکتور ۱۲ وضعیت بدنی مختلف اتخاذ کردند. غلبه سطح اقدام ۲ در هر دو ماشین نشان‌دهنده ریسک متوسط اما نیازمند توجه است. این یافته با نتایج لاندکیک و همکاران (۲۰۱۸) که ٨٢/١٤ درصد موقعیت‌های بدن راننده هاروستر را در سطح اقدام ۱ گزارش کردند، تفاوت دارد (٢٤). هم‌چنین با نتایج فیدلر و همکاران (۲۰۱۵) در بارگیری دستی که ۳۹/۲۱ درصد موقعیت‌های بدن در سطح اقدام ۳ بودند، قابل‌مقایسه است (۲۵). بالاتر بودن شاخص خطر وضعیت بدنی در تراکتور (۱۷۷ در مقابل ١٦٧) و تعداد بیش‌تر موقعیت‌های بدن مختلف (۱۲ در مقابل ۹) بیانگر طراحی نامناسب‌تر تراکتور از نظر ارگونومیکی است (٢٦، ٢٧). اگرچه هر دو ماشین در محدوده ریسک متوسط قرار دارند، اما مدت زمان مواجهه مداوم رانندگان با موقعیت‌های بدن سطح اقدام ۲ در یک شیفت کاری ۸ ساعته حدود ۵/۵ ساعت برآورد شد که از آستانه توصیه‌شده در استانداردهای ارگونومی (حداکثر ٤ ساعت) فراتر است (۲۸). این موضوع نشان‌می‌دهد که حتی موقعیت‌های بدن با ریسک متوسط در صورت تداوم طولانی‌مدت می‌توانند منجر به اختلالات مزمن اسکلتی– عضلانی شوند (٦، ٨).

1- Posture risk index

Uncorrected Proof

اسکیدر چرخ‌لاستیکی

فراوانی موقعیت‌های بدن به تفکیک مراحل کاری: درمجموع ۲٦٥۲ تصویر مربوط به خروج چوب با اسکیدر چرخ‌لاستیکی برای مؤلفه‌های کاری مختلف به‌دقت آمد. بیش‌ترین تعداد تصاویر مربوط به مرحله حرکت با بار و کم‌ترین مربوط به مرحله باز کردن بار بود که نشان‌دهنده طولانی‌ترین و کوتاه‌ترین مراحل کاری در یک نوبت چوبکشی است. تنوع تعداد تصاویر در مراحل مختلف، منعکس‌کننده مدت زمان واقعی هر مرحله در عملیات میدانی است. مرحله حرکت با بار طولانی‌ترین مرحله است و به همین دلیل بیش‌ترین فرصت برای بروز موقعیت‌های بدن نامطلوب را فراهم می‌کند. این یافته با نتایج ووشیک و همکاران (۲) در مورد توزیع زمانی مراحل چوبکشی همخوانی دارد.

وضعیت اندام‌ها: تنه: در مراحل حرکت با بار (۹۱ درصد)، وینچ کردن بار (۱۰۰ درصد) و مرتب‌سازی و انباشت (۸۸/۵ درصد)، تنه عمدتاً در وضعیت‌های ۲ و ۳ (خمیده یا چرخیده) قرار داشت. تنها در مرحله استقرار، ٥/٤ درصد وضعیت تنه در حالت کشیده و صاف (کد ۱) مشاهده شد.

بازوها: در تمام مراحل کاری، بازوها عمدتاً در وضعیت ۱ (پایین‌تر از شانه) قرار داشتند. تنها در مرحله باز کردن بار، ۳۳/٦ درصد بازوها در وضعیت ۳ (هر دو دست بالاتر از شانه) و در مرحله استقرار، ٦/٤ درصد در وضعیت ۲ (یک دست بالاتر از شانه) مشاهده شد.

پاها: به دلیل نشسته بودن اپراتور در تمام مراحل کاری اسکیدر، پاها عمدتاً در وضعیت ۱ (نشسته) قرار داشتند. تنها در مرحله باز کردن بار، ٦٤/٤ درصد پاها در وضعیت ۲ (ایستاده) و ۳۳/٦ درصد در وضعیت ۷ (راه رفتن) مشاهده شد که نشان‌دهنده پیاده شدن راننده از کابین در این مرحله است. وضعیت مطلوب بازوها (کد ۱ در اکثر مراحل) نشان‌دهنده طراحی نسبتاً مناسب کنترل‌ها در اسکیدر است (۲۸، ۲۹). بااین‌حال، خمیدگی و چرخش مکرر تنه (به‌ویژه در مراحل حرکت با بار و وینچ کردن) یک عامل خطر مهم برای کمردرد محسوب می‌شود (۷، ۸). پیاده شدن راننده در مرحله باز کردن بار، اگرچه کوتاه است، باعث تغییر ناگهانی الگوی موقعیت‌های بدن می‌شود. نتایج مشابهی توسط آب و همکاران (۲۸) در ارزیابی وضعیت بدنی رانندگان اسکیدرهای چرخ‌لاستیکی گزارش شده است.

سطوح اقدام اصلاحی: در مراحل مختلف کاری اسکیدر، بیش‌ترین فراوانی موقعیت‌های بدن در سطح اقدام ۲ قرار داشت. سطح اقدام ۱ عمدتاً مربوط به وضعیت‌های طبیعی بازوها و پاها بود. سطح اقدام ۳ تنها در ۰/۱٥ درصد موارد مشاهده شد و سطح اقدام ٤ دیده نشد. بیش‌ترین نسبت موقعیت‌های بدن سطح اقدام ۲ مربوط به مراحل حرکت با بار و مرتب‌سازی و انباشت بود که نشان‌دهنده ریسک بالاتر در این مراحل است عدم مشاهده سطح اقدام ٤ و سهم بسیار کم سطح اقدام ۳ (۰/۱٥ درصد) نشان‌دهنده طراحی نسبتاً ایمن اسکیدر از نظر موقعیت‌های بدن بسیار پرخطر است. این یافته با نتایج لاندلیک و همکاران (۲٤) که هیچ موقعیت‌های بدنی در سطوح ۳ و ٤ برای رانندگان هاروستر و فورواردر گزارش نکردند، همخوانی دارد. بااین‌حال، غلبه سطح اقدام ۲ (٦۷/۰۸ درصد) نشان می‌دهد که ریسک متوسط در این ماشین غالب است و در بلندمدت می‌تواند منجر به آسیب‌های تجمعی شود.

کدهای موقعیت بدن: بیش‌ترین فراوانی موقعیت‌های بدن در اسکیدر مربوط به کد ۲۱۱۱ (حرکت با بار) با ۱۳٦۰ مورد و کد ۳۱۱۱ (وینچ کردن بار) با ۷٦۲

Uncorrected Proof

مورد بود. کد ۲۱۱۱ (تنه خمیده، بازوها پایین، نشسته، نیروی کم) نشان‌دهنده وضعیت غالب راننده در حین حرکت با بار است. این وضعیت اگرچه حاد نیست، اما تداوم آن در طولانی‌مدت می‌تواند به خستگی عضلات ناحیه کمر منجر شود (۲۹). کد ۳۱۱۱ (تنه چرخیده) در مرحله وینچ کردن بار نشان‌دهنده نیاز به چرخش تنه برای مشاهده بار پشت سر است که یک عامل خطر شناخته‌شده برای دیسک کمر می‌باشد (۸، ۳۰). نتایج مشابهی توسط آب و همکاران (۲۸) در ارزیابی رانندگان اسکیدرهای چرخ‌لاستیکی در برزیل گزارش شده است.

جدول ٦- فراوانی تجمعی ناراحتی هر یک از اندام‌ها و سطح اقدامات اصلاحی به تفکیک مؤلفه‌های کاری در خروج چوب با اسکیدر چرخ لاستیکی بر اساس روش OWAS.

Table 6. Cumulative frequency of discomfort for each body part and corrective action levels by work phases in logging operation with rubber-tired skidder based on OWAS method.

		حرکت بدون بار Travel empty		استقرار Stationary		وینچ کردن بار Winching		حرکت با بار Travel loaded		باز کردن بار Release		مرتب کردن و انباشت Sorting and pilling		مجموع Total	
	کد Code	فراوانی Frequency	اقدام اصلاحی Action level	فراوانی Frequency	اقدام اصلاحی Action level	فراوانی Frequency	اقدام اصلاحی Action level	فراوانی Frequency	اقدام اصلاحی Action level	فراوانی Frequency	اقدام اصلاحی Action level	فراوانی Frequency	اقدام اصلاحی Action level	فراوانی Frequency	اقدام اصلاحی Action level
تنه Back	1	0	–	11	1	0	–	0	–	۹۶	1	0	–	107	1
	2	495	3	0	–	0	–	542	2	47	2	323	3	1407	2
	3	0	–	89	2	744	3	154	2	0	–	42	1	762	2
	4	49	2	102	3	211	3	14	1	0	–	0	–	376	2
بازوها Arms	1	544	1	188	1	688	1	710	1	95	1	365	1	2591	۱
	2	0	–	13	1	0	–	0	–	0	–	0	–	13	1
	3	0	–	0	–	0	–	0	–	48	2	0	–	48	1
پاها Legs	1	544	2	202	2	688	2	710	2	0	–	365	1	2509	1
	2	0	–	0	–	0	–	0	–	95	1	0	–	95	2
	3	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–
	4	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–
	5	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–
	6	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–	0	–
	7	0	-	0		0		0		48	1	0	–	48	1

Uncorrected Proof

جدول ۷- میزان فراوانی و درصد موقعیت‌های بدن ترکیبی، اقدامات اصلاحی مربوط به هرکدام همراه با شاخص خطر وضعیت بدنی در خروج چوب با اسکیدر چرخ لاستیکی.

Table 7. Frequency and percentage of combined postures, corresponding corrective actions, and Postural Risk Index in logging operation with rubber tire skidder.

مؤلفه‌های کار Work element	کد موقعیت بدن Body posture code	کد اصلاحی Action level	شاخص خطر وضعیت بدنی Posture risk index
حرکت بدون بار Travel empty	2111(495), 4111(49)	2111(2), 4111(2)	200
استقرار Stationary	1111(2),1211(9),3111(89), 4111(98),4211(4)	1111(1),1211(1),3111(1), 4111(2),4211(3)	152
وینچ کردن بار Winching	3111(477),4111(211)	3111(1),4111(2)	130
حرکت با بار Travel loaded	2111(542),3111(154),4111(14)	2111(2),3111(1),4111(2)	178
باز کردن بار Release	1171(48),1321(48),2121(47)	1171(1),1321(1),2121(2)	132
مرتب کردن و انباشت Sorting and pilling	2111(323),3111(42)	2111(),3111(1)	188
مجموع Total 2652	1111(2),1171(48)1211(9),1321(48), 2111(1360),2121(47),3111(762) 4111(372),4211(4)	1111(1),1171(1)1211(1), 1321(1),2111(2),2121(2), 3111(1)4111(2),4211(3)	167

تراکتور کشاورزی

فراوانی موقعیت‌های بدن به تفکیک مراحل کاری: درمجموع ۵۵۳۹ تصویر مربوط به خروج چوب با تراکتور کشاورزی به‌دست آمد. بیش‌ترین تعداد تصاویر مربوط به مرحله حرکت با بار و سپس جمع‌آوری بار بود که نشان‌دهنده طولانی‌ترین مراحل کاری در چوبکشی با تراکتور است. تعداد تصاویر در تراکتور (۵۵۳۹) بیش از دو برابر اسکیدر (۲۶۵۲) است که نشان‌دهنده مدت زمان بیش‌تر چوبکشی با تراکتور است. مرحله جمع‌آوری بار در تراکتور (۱۸۵۲ تصویر) بسیار طولانی‌تر از مرحله وینچ کردن در اسکیدر (۶۸۸ تصویر) است که نشان‌دهنده تفاوت اساسی در روش کار دو ماشین می‌باشد. این یافته با گزارش‌های قبلی در مورد زمان‌بر بودن بارگیری دستی در تراکتورهای کشاورزی همخوانی دارد (۳، ٤).

وضعیت اندام‌ها: تنه: تنه در مراحل مختلف تنوع بیش‌تری نسبت به اسکیدر داشت. در مرحله حرکت بدون بار، ۹٦/۱ درصد تنه در وضعیت خمیده (کد ۲) قرار داشت. در مرحله جمع‌آوری بار، ۵۵/٤ درصد خمیده و ۱۱/۲ درصد چرخیده (کد ۳) مشاهده شد. در مرحله تخلیه، ۷٤/۳ درصد تنه در حالت کشیده (کد ۱) بود. وضعیت چرخش توأم با خمیدگی (کد ٤) تنها در مراحل حرکت بدون بار (۳/۹ درصد) و حرکت با بار (۱/۷ درصد) مشاهده شد.

بازوها: بازوها در تمام مراحل عمدتاً در وضعیت ۱ قرار داشتند. تنها در مرحله تخلیه، ۲۵/۷ درصد بازوها در وضعیت ۲ مشاهده شد.

Uncorrected Proof

پاها: برخلاف اسکیدر، پاهای راننده تراکتور گاهی در وضعیت‌های ۲ و ۳ (ایستاده یا نیمه‌ایستاده) مشاهده شد. در مرحله جمع‌آوری بار، ۲۲/۱ درصد پاها در وضعیت ۲ و ۱۱/۱ درصد در وضعیت ۳ قرار داشتند. در مرحله تخلیه، ۲۶ درصد پاها در وضعیت ۳ مشاهده شد.

تنوع بیش‌تر وضعیت تنه در تراکتور (حضور کدهای ۱، ۲، ۳ و ٤) در مقایسه با اسکیدر (عمدتاً کدهای ۲ و ۳) نشان‌دهنده طراحی غیر ارگونومیک و نیاز به تغییر وضعیت مکرر است (۲٦، ۲۷). حضور کد ٤ (چرخش توأم با خمیدگی) که خطرناک‌ترین وضعیت برای ستون فقرات است (۷)، تنها در تراکتور مشاهده شد. هم‌چنین، تغییر وضعیت پاها بین نشسته و ایستاده در تراکتور (برخلاف اسکیدر که همیشه نشسته بود) نشان‌دهنده فعالیت ترکیبی و خستگی بیش‌تر راننده است. گرلستد و وینکل (۲۰۰٦) نیز به مشکلات مشابه در رانندگان تراکتورهای کشاورزی اشاره کرده‌اند (۱).

سطوح اقدام اصلاحی: همانند اسکیدر، بیش‌ترین فراوانی موقعیت‌های بدن در تراکتور در سطح اقدام ۲ (۷۳/۰٦ درصد) قرار داشت. بااین‌حال، سطح اقدام ۳ در تراکتور (۲/۲٦ درصد) به‌طور محسوسی بیش‌تر از اسکیدر (۰/۱۵ درصد) بود که نشان‌دهنده ریسک بالاتر در تراکتور است. بیش‌ترین نسبت موقعیت‌های بدن‌های سطح اقدام ۳ مربوط به مراحل حرکت بدون بار و حرکت با بار بود. سهم ۲/۲٦ درصد سطح اقدام ۳ در تراکتور، اگرچه عدد کوچکی به نظر می‌رسد، اما به معنای وجود ۱۲۵ موقعیت‌های بدن بسیار پرخطر (از مجموع ۵۵۳۹ تصویر) است که در صورت تکرار روزانه می‌تواند منجر به آسیب‌های جدی شود. در اسکیدر، تنها ٤ موقعیت‌های بدن سطح اقدام ۳ (از ۲٦۵۲ تصویر) مشاهده شد که نشان‌دهنده برتری طراحی اسکیدر است. این نتایج با یافته‌های اسپینلی و همکاران (۲۰۱۸، 2021) مورد ریسک بالاتر موقعیت‌های بدن در ماشین‌آلات غیرتخصصی همخوانی دارد (۱۲، ۲۵).

کدهای موقعیت بدنی: بیش‌ترین فراوانی موقعیت‌های بدن در تراکتور مربوط به کد ۲۱۱۱ در مراحل مختلف با ۳۵۷۷ مورد بود. کد ۲۱۱۱ در تراکتور (۳۵۷۷ مورد) بسیار بیش‌تر از اسکیدر (۱۳٦۰ مورد) است که نشان‌دهنده شیوع بالاتر وضعیت (تنه خمیده + نشسته) در تراکتور است. حضور کدهای ۲۳۱۱ و ۲۳۲۱ (ایستاده روی یک‌پا یا زانو خمیده) (که در اسکیدر دیده نشد) نشان‌دهنده نیاز به فعالیت فیزیکی بیش‌تر و تغییر وضعیت در تراکتور است (۲۷). کد ۳۱۱۱ (تنه چرخیده) در تراکتور (۲۰۸ مورد) کم‌تر از اسکیدر (۷٦۲ مورد) بود که احتمالاً به دلیل تفاوت در نحوه وینچ کردن بار بین دو ماشین است.

Uncorrected Proof

جدول ۸- میزان فراوانی و درصد موقعیت‌های بدن ترکیبی، اقدامات اصلاحی مربوط به هرکدام همراه با شاخص خطر وضعیت بدنی در خروج چوب با تراکتور کشاورزی.

Table 8. Frequency and percentage of combined postures, corresponding corrective actions, and Postural Risk Index in logging operation with farm tractor.

		حرکت بدون بار Travel empty		جمع‌آوری بار Load collecting		حرکت با بار Travel load		تخلیه unloading		مجموع Total	
	کد Code	فراوانی Frequency	اقدام اصلاحی Action level	فراوانی Frequency	اقدام اصلاحی Action level	فراوانی Frequency	اقدام اصلاحی Action level	فراوانی Frequency	اقدام اصلاحی Action level	فراوانی Frequency	اقدام اصلاحی Action level
تنه Back	1	0	-	618	1	21	1	520	1	1159	1
	2	518	3	1026	2	2385	2	180	1	4109	2
	3	0	-	208	1	0	-	0	-	208	1
	4	21	1	0	-	42	1	0	-	63	1
بازوها Arms	1	518	1	1442	1	2302	1	520	1	4782	1
	2	0	-	204	1	0	-	180	2	384	1
	3	21	1	206	1	146	1	0	-	373	1
پاها Legs	1	532	1	1442	1	2427	2	420	1	4821	1
	2	7	1	410	1	21	1	98	1	536	1
	3	0	-	0	-	0	-	182	1	182	1
	4	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
	5	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
	6	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
	7	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-

جدول ۹- میزان فراوانی و درصد موقعیت‌های بدن ترکیبی، اقدامات اصلاحی مربوط به هرکدام همراه با شاخص خطر وضعیت بدنی در خروج چوب با تراکتور کشاورزی.

Table 9. Frequency and percentage of combined postures, corresponding corrective actions, and Postural Risk Index in logging operation with farm tractor.

مؤلفه‌های کار Work element	کد موقعیت بدن Body posture code	کد اصلاحی Action level	شاخص خطر وضعیت بدنی Posture risk index
حرکت بدون بار Travel empty	2111(497),2311(14),2321(7)4111(21)	2111(2),2311(3),2321(3)4111(2)	203
جمع‌آوری بار Load collecting	1111(414),1221(204),2111(820), 2321(206), 3111(208)	1111(1),1221(1),2111(2), 2321(2), 3111(1)	155
حرکت با بار Travel loaded	1311(21),2111(2260),2311(104), 2321(21).4111(42)	1311(1),2111(2),2311(3), 2321(2).4111(2)	203
تخلیه Unloading	1111(420),1121(38),1131(62), 2221(60),2231(120)	1111(1),1121(1),1131(1), 2221(2),2231(2)	125
مجموع Total 5539	1111(834),1121(38),1131(62),1221(204), 1311(21),2111(3577),2221(60),2231(120), 2311(118),2321(234),3111(208),4111(63)	1111(1),1121(1),1131(1), 1221(1),1311(1),2111(2),2221(2), 2231(2),2311(3),2321(3),3111(1),4111(2)	177

Uncorrected Proof

مقایسه آماری دو ماشین: برای مقایسه توزیع فراوانی سطوح اقدام اصلاحی بین دو ماشین، از آزمون کای اسکوار استفاده شد. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین اسکیدر و تراکتور از نظر توزیع سطوح اقدام وجود دارد (χ^2=۱۸/٦٤، df=۲، P<۰/۰۰۱). این تفاوت عمدتاً ناشی از سهم بالاتر سطح اقدام ۳ و سهم پایین‌تر سطح اقدام ۱ در تراکتور است.

جدول ۱۰- خلاصه مقایسه یافته‌های دو ماشین به همراه نتایج آزمون آماری.

Table 10. Summary comparison of findings for both machines with statistical test results.

شاخص Indicator	اسکیدر Skidder	تراکتور Tractor	مقدار P P-value	آزمون Test
تعداد کل تصاویر تحلیل‌شده	2652	5539	-	-
تعداد وضعیت‌های بدنی مختلف	9	12	-	-
سطح اقدام ۱ (درصد) Action Level 1 (%)	32.67	24.68	< 0.001	کای‌دو Chi-square
سطح اقدام ۲ (درصد) Action Level 2 (%)	67.08	73.6	< 0.001	کای‌دو Chi-square
سطح اقدام ۳ (درصد) Action Level 3 (%)	0.15	2.26	< 0.001	کای‌دو Chi-square
سطح اقدام ٤ (درصد) Action Level 4 (%)	0	0	-	-
شاخص خطر وضعیت بدنی Body posture risk index	167	177	-	-

آزمون کای‌دو برای مقایسه توزیع فراوانی سطوح اقدام اصلاحی بین دو ماشین انجام شد. تفاوت معنی‌دار (P=۰/۰۰۱) نشان می‌دهد که تراکتور به‌طور معنی‌داری دارای موقعیت‌های بدن پرخطرتر (سطح اقدام ۳ بیش‌تر) و موقعیت‌های بدن ایمن‌تر (سطح اقدام ۱ کم‌تر) نسبت به اسکیدر است. به‌طورکلی، اگرچه هر دو ماشین در سطح ریسک متوسط قرار دارند، اما تراکتور کشاورزی به‌دلیل طراحی غیرتخصصی، نبود کابین استاندارد و نیاز به جابه‌جایی مکرر بین وضعیت‌های نشسته و ایستاده، وضعیت‌های بدنی متنوع‌تر و پرخطرتری شاخص خطر وضعیت بدنی بالاتر، سطح اقدام ۳ بیش‌تر و تفاوت معنی‌دار آماری به همراه داشته است. اسکیدر تخصصی با طراحی کابین بسته، وضعیت نشسته پایدار و تمرکز بیش‌تر بر کنترل‌های داخل کابین، وضعیت‌های بدنی مطلوب‌تر و شاخص خطر وضعیت بدنی پایین‌تری نشان داد. با توجه به این‌که بیش از ٦٧ درصد موقعیت‌های بدن در هر دو ماشین در سطح اقدام ۲ قرار دارند و مدت مواجهه مداوم با این موقعیت‌های بدن از آستانه توصیه‌شده (٤ ساعت) فراتر است (۲۸)، اجرای اقدامات اصلاحی حتی برای موقعیت‌های بدن با ریسک متوسط ضروری به‌نظر می‌رسد (٦، ۸). تفاوت معنی‌دار آماری بین دو ماشین (P<۰/۰۰۱) تأیید می‌کند که انتخاب نوع ماشین تأثیر واقعی و غیرتصادفی بر ریسک ارگونومیکی دارد. این یافته‌ها با نتایج مطالعات قبلی در ایران (۱۵، ۱۸، ۲۰) و جهان (۲٤، ۲۵، ۲٦) همخوانی دارد و نشان می‌دهد که مکانیزاسیون تخصصی اگرچه هزینه‌بر است، اما

Uncorrected Proof

می‌تواند به‌طور معنی‌داری سلامت شغلی اپراتورها را بهبود بخشد (۹، ۱۰).

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف ارزیابی و مقایسه وضعیت بدنی رانندگان دو ماشین چوبکشی اسکیدر چرخ‌لاستیکی Timberjack 450C و تراکتور کشاورزی ITM 285 در جنگل‌کاری‌های غرب استان گیلان و با استفاده از روش OWAS انجام شد. یافته‌ها نشان داد اگرچه هر دو ماشین در سطح ریسک متوسط (اقدام اصلاحی ۲) قرار دارند، اما تراکتور کشاورزی به‌طور معنی‌داری دارای موقعیت‌های بدن پرخطرتر (شاخص خطر وضعیت بدنی بالاتر، سطح اقدام ۳ بیش‌تر و تنوع وضعیت بدنی بیش‌تر) نسبت به اسکیدر تخصصی است. این تفاوت عمدتاً به دلیل طراحی غیرتخصصی کابین تراکتور، نبود صندلی ارگونومیک استاندارد و نیاز به جابه‌جایی مکرر بین وضعیت‌های نشسته و ایستاده می‌باشد؛ بنابراین، در شرایطی که امکان انتخاب بین دو ماشین وجود دارد، اولویت دادن به اسکیدرهای تخصصی چوبکشی می‌تواند ریسک اختلالات اسکلتی- عضلانی را در رانندگان کاهش دهد. در صورت ناگزیر بودن استفاده از تراکتورهای کشاورزی، اجرای مداخلاتی مانند استراحت‌های کوتاه‌مدت، حرکات کششی، آموزش وضعیت بدنی مناسب، بهبود طراحی صندلی و کاهش مدت زمان کار مداوم توصیه می‌شود.

منابع

1. Gellerstedt, S., & Winkel, J. (2006). Health and performance in mechanized forest operations. In *IEA World Conference of Ergonomics* (p. XX). Elsevier. **https://doi.org/10.1016/j.ergon.2006.07.001.**
2. Vusić, D., Šušnjar, M., Marchi, E., Spina, R., Zečić, Ž., & Picchio, R. (2013). Skidding operations in thinning and shelterwood cut of mixed stands: Work productivity, energy inputs and emissions. *Ecological Engineering*. 61, 216-223. **https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.09.006.**
3. Razdari Talesh, M., Naghdi, R., Nikooy, M., & Tavankar, F. (2025). Evaluation of wood extraction with an agricultural tractor in the whole-tree method of poplar clear-felling operations. *Forest and Wood Products*. 77(4), 439-451. **https://doi.org/10.22059/jfwp.2024.375123.1245.**
4. Calvo, A. (2009). Musculoskeletal disorders (MSD) risks in forestry: A case study to propose an analysis method. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 11(4), 1-9.
5. Østensvik, T., Nilsen, P., & Veiersted, K. B. (2008). Muscle activity patterns in the neck and upper extremities among machine operators in different forest vehicles. *International Journal of Forest Engineering*. 19(2), 11-20. **https://doi.org/10.1080/14942119.2008.10702562.**
6. Hanse, J. J., & Winkel, J. R. (2008). Work organization constructs and ergonomic outcomes among European forest machine operators. *Ergonomics*. 51(7), 968-981. **https://doi.org/10.1080/00140130801961893.**
7. Rehn, B., Nilsson, T., Lundström, R., Hagberg, M., & Burström, L. (2009). Neck pain combined with arm pain among professional drivers of forest machines and the association with whole-body vibration exposure. *Ergonomics*. 52(10), 1240-1247. **https://doi.org/10.1080/00140130902939899.**
8. Axelsson, S. A. (1998). The mechanization of logging operations in Sweden and its effect on occupational safety and health. *Journal of Forest Engineering*. 9(2), 25-31. **https://doi.org/10.1080/08435243.1998.10702714.**

Uncorrected Proof

9. Lindroos, O., La Hera, P., & Häggström, C. (2017). Drivers of advances in mechanized timber harvesting: A selective review of technological innovation. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 38(2), 243-258.
10. Visser, R., & Obi, O. F. (2021). Automation and robotics in forest harvesting operations: Identifying near-term opportunities. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 42(1), 13-24. **https://doi.org/10.5552/crojfe.2021.883.**
11. Spinelli, R., Magagnotti, N., & Visser, R. (2021). A survey of skidder fleet of Central, Eastern and Southern Europe. *European Journal of Forest Research*. 140, 873-886. **https://doi.org/10.1007/s10342-021-01374-z.**
12. Safarzadeh, B., Nikooy, M., Tsioras, P. A., Arman, Z., & Tavankar, F. (2023). Assessing the impact of log manual loading on the physiological load in forest workers. *Forest Research and Development*. 9(2), 175-187. **https://doi.org/10.30466/jfrd.2023.54428.1684.**
13. Arman, Z., Nikooy, M., Tsioras, P. A., Heidari, M., & Majnounian, B. (2021). Physiological workload evaluation by means of heart rate monitoring during motor-manual clearcutting operations. *International Journal of Forest Engineering*. 32(2), 91-102. **https://doi.org/10.1080/14942119.2021.1879645.**
14. Arman, Z., Nikooy, M., Tsioras, P. A., Heidari, M., & Majnounian, B. (2022). Mental workload, occupational fatigue and musculoskeletal disorders of forestry professionals: The case of a Loblolly plantation in Northern Iran. *Croatian Journal of Forest Engineering*. 43(2), 403-424. **https://doi.org/10.5552/crojfe.2022.1818.**
15. Rahimi, F., Nikooy, M., & Ghajar, I. (2018). Ranking the dangers of working with chainsaw during felling operation. *Forest Research and Development*. 4(3), 401-413. **https://doi.org/10.30466/jfrd.2018.29053.**
16. Nikooy, M., Nourozi, Z., & Naghdi, R. (2016). Survey of felling and bucking operation's safety in Shafaroud watershed. *Forest Research and Development*. 1(3), 209-219. **https://doi.org/10.30466/jfrd.2016.20462.**
17. Khajavi, N., Jourgholami, M., & Majnounian, B. (2025). Evaluation of work-related musculoskeletal disorders (WMSDs) in manual loading laborers in poplar forestry using an occupational ergonomics approach. *Forest and Wood Products*. 78(1), 37-49. **https://doi.org/10.22059/jfwp.2024.374625.1236.**
18. Arman, Z., Nikooy, M., Heidari, M., & Majnounian, B. (2019). Ergonomic evaluation of the musculoskeletal disorders risk by QEC method in forest harvesting. *Iranian Journal of Forest*. 10(4), 517-530. **https://doi.org/10.22034/ijf.2019.109642.**
19. Safarzadeh, B., Nikooy, M., Tsioras, P. A., & Arman, Z. (2022). Ergonomic study of manual loading of log in private poplar plantation in the east of Guilan province. *Forest and Wood Products*. 75(2), 119-130. **https://doi.org/10.22059/jfwp.2022.341009.1230.**
20. Justavino, F. C., Ramirez, R. J., Perez, N. M., & Borz, S. A. (2015). The use of OWAS in forest operations postural assessment: Advantages and limitations. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry• Wood Industry Agricultural Food Engineering*. 8(2), 7-16.
21. Enez, K., & 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.**
22. Chander, D. S., & Cavatorta, M. P. (2017). An observational method for postural ergonomic risk assessment (PERA). *International Journal of Industrial Ergonomics*. 57, 32-41. **https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.11.005.**

Uncorrected Proof

23. Landekić, M., Katuša, S., Mijoč, D., & 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/seefor.19-05.**
24. Fiedler, N. C., Alexandre Filho, P. C. R. T., Gonçalves, S. B., Carmo, F. D. A. D., & Lachini, E. (2015). Biomechanical analysis of manual charge and discharge of eucalyptus wood. *Floresta e Ambiente*. 22(4), 553-560. **https:// doi.org/ 10.1590/ 2179-8087. 121914.**
25. Spinelli, R., Marchi, E., Visser, R., Harrill, H., Gallo, R., Cambi, M., Neri, F., Lombardini, C., & Magagnotti, N. (2018). Postural risk assessment of small-scale debarkers for wooden post production. *Forests*. 9(3), 111. **https://doi.org/10.3390 / f9030111.**
26. Gellerstedt, S. (2000). Ergonomic guidelines for forest machines. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 44(36), 477-480. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications. **https://doi.org/10.1177/154193120004403614.**
27. Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics*. 31(2), 201-205. **https:// doi.org/ 10.1016/ S0003-6870 (99) 00039-3.**
28. Dvořák, J., Kováč, J., & Krilek, J. (2020). *Ergonomic operational working aspects of forest machines*. Cambridge Scholars Publishing.
29. Cheţa, M., Marcu, M. V., & Borz, S. A. (2018). Workload, exposure to noise, and risk of musculoskeletal disorders: A case study of motor-manual tree feeling and processing in poplar clear cuts. *Forests*. 9(6), 300. **https://doi.org/10. 3390 / f9060300.**
30. Ab, M., Es, L., Mb, P., Nc, F., & Fm, O. (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/10.1080/14942119.2020.1774316.**

Uncorrected Proof

Uncorrected Proof