پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۱۰، شماره ۱، صفحه ۱۸-۱، (۱۴۰۳)
DOI: https://doi.org/10.30466/jfrd.2023.54770.1675
DOR: https://dorl.net/20.1001.1.24763551.1403.10.1.1.3

مقالهٔ پژوهشی

ارزیابی تولید و هزینهٔ عملیات قطع با استفاده از ارهموتوری MASHOUF PSI 9700 در جنگلکاری‌های صنوبر در غرب استان گیلان

فرشته رحیمی بی‌تم[۱]، مهرداد نیکوی*[۲]، محمود حیدری[۳] و پتروس سایروس[٤]

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. (fereshtehrahimi2000@gmail.com)
۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. (nikooy@guilan.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران. (mheidari1360@gmail.com)
٤- استادیار، آزمایشگاه بهره‌برداری جنگل، دانشکده جنگلداری و محیط زیست طبیعی، دانشگاه Aristotle، یونان. (ptsioras@for.auth.gr)

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰٤/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۰۷/۲۵

چکیده

مقدمه و هدف: امروز، ارههای موتوری به دلیل کاربردهای چندمنظوره و سرمایه‌گذاری مالی نسبتاً کم، ابزار اصلی برداشت چوب از جنگل‌ها در جهان هستند. ارههای موتوری کارایی بالایی دارند تا بتوانند بازده و بهره‌وری را افزایش دهند که منجر به کاهش هزینه‌های قطع می‌شود. قطع درختان صنوبر در غرب استان گیلان به‌صورت نیمه‌مکانیزه با استفاده از ارهموتوری و با اعمال سامانه برداشت چوب قطع یکسره انجام می‌شود. بهره‌وری و هزینه دو عامل اصلی هستند که بر انتخاب سامانه‌های برداشت چوب تأثیر می‌گذارند و قطع درختان یک عنصر اساسی در این زمینه است. اثرات قطع درختان بر کیفیت بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌شدت به مدت زمان این فعالیت بستگی دارد. هدف از این پژوهش ارزیابی بهره‌وری و هزینه عملیات برش در یک صنوبر واقع در غرب استان گیلان با استفاده از ارهموتوری مدل MASHOUF PSI 9700 بود.

مواد و روش‌ها: این تحقیق در جنگلکاری‌های منطقه تنیان واقع در غرب استان انجام شد. یک گروه کاری متشکل از یک ارهموتورچی و یک کمک ارهموتورچی انتخاب شدند. گروه کاری انتخاب شده معرف میانگین سطح کاری کارگران منطقه بود. ارهموتوری انتخاب شده برای این تحقیق حدود ۲۰۰۰ ساعت عمر مفید داشت که میانگین عمر مفید ارههای موتوری از این نوع است. در طول سال‌ها، تحقیقات در مورد زمان صرف شده به‌ویژه بر ایجاد رابطه بین راندمان کاری و بهره‌وری انجام شده با ابزارهای مختلف قطع و خصوصیات مختلف رویشگاه برداشت متمرکز شده است. تجزیه‌وتحلیل ساختار زمان کار و بهره‌وری در عملیات قطع با ارهموتوری یک نگرانی مهم مدیریت برداشت پایدار چوب است. بنابراین، از بررسی زمانی

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۳۳۸۸۳۰۵

برای محاسبه تولید ساعتی گروه قطع استفاده شد. زمان قطع به دو دسته زمان تولید و زمان تأخیر طبقه‌بندی شد. زمان مؤثر شامل (الف) حرکت به سمت درخت، (ب) آمادگی برای قطع کردن، (ج) بن‌زنی، (د) بن‌بری و (ه) سوخت‌گیری بود، درحالی‌که زمان تأخیر شامل (الف) زمان استراحت یا زمان شخصی، (ب) زمان تأخیرهای عملیاتی و (ج) زمان تأخیرهای فنی بود. پس از تعیین قیمت اره‌موتوری، کل هزینه ثابت از مجموع ارزش سرمایه‌گذاری سالانه، استهلاک، بیمه و مالیات به‌دست آمد. هزینه‌های متغیر نیز از مجموع هزینه ساعتی سوخت، هزینه نگهداری، هزینه زنجیر و اسپراکت و غیره محاسبه شد. مجموع هزینه‌ها شامل هزینه‌های ثابت، متغیر و هزینه‌های پرسنلی بود. داده‌ها با استفاده از نرم‌فزار Excel 2013 پردازش و با استفاده از SPSS نسخه ۱۸ مورد تحلیل آماری قرار گرفتند. علاوه بر این، متغیرهای تأثیرگذار بر هر یک از عناصر کار با استفاده از رگرسیون چند متغیره گام‌به‌گام تعیین شدند.

یافته‌ها: در مجموع ۱۳۳ اصله درخت به حجم ۱۰۹/۰٦ مترمکعب قطع شد. کل زمان کار لازم برای قطع درختان در مناطق مورد بررسی ۵۰۰/۲۱ دقیقه بود. ٤۱/٤۲ درصد از زمان به زمان کار اصلی اختصاص داشت. ۸/۸٤ درصد از زمان قطع به کارهای تکمیلی مانند جابجایی بین درختان، گوه‌زنی، ۱۵/۲۹ درصد به کارهای مقدماتی مانند جابجایی بین محل کار، آمادگی برای کار، ۹/٦۰ درصد برای زمان تعمیر، ۱۵/۷٤ درصد برای تأخیرها و توقف‌های کاری و ۹/۰۹ درصد زمان غیرمرتبط با کار بود. ۷۱ درصد تأخیرها مربوط به تأخیرهای شخصی بود که ۸۰/۷ درصد مربوط به زمان صرف ناهار و ۱۹/۹۳ درصد مربوط به دیگر تأخیرهای شخصی بود. سهم تأخیرهای عملیاتی و فنی از کل تأخیرها به ترتیب ۱۰ و ۱۹ درصد بود. با افزایش قطر، تولید ساعتی (بدون تأخیر) و زمان قطع (بدون تأخیر) افزایش یافت. همچنین رابطه بین قطر و هزینه واحد تولید نشان داد که با افزایش قطر، هزینه واحد تولید کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که میانگین زمان صرف شده (خالص–ناخالص) برای قطع هر درخت به ترتیب ۳/۷۵– ۲/۷۳ دقیقه و مقدار تولید ساعتی با و بدون احتساب زمان‌های تأخیر به ترتیب ۱۳/٤٤ و ۱۷/۲۸ مترمکعب در ساعت و هزینه واحد تولید (با و بدون احتساب زمان‌های تأخیر) ۰/۳۲ و ۰/۲۵ دلار بود. تحلیل داده‌ها همبستگی بسیار معنی‌داری را بین زمان کار (دقیقه) و قطر درخت در ارتفاع سینه (سانتی‌متر)، حجم درخت (مترمکعب) و فاصله بین درختان (متر) نشان داد.

نتیجه‌گیری کلی: با ایجاد مدل‌های ریاضی زمان کار برای انواع اره‌های موتوری می‌توان عملکرد گروه قطع را افزایش داد و دستمزد معقول‌تری به کارگران جنگل پرداخت کرد. علاوه بر این، از نتایج این پژوهش می‌توان برای تعیین نرخ کار، برنامه‌ریزی کاری و برآورد هزینه استفاده کرد. به‌طورکلی ، مدل‌ها و نتایج ارائه شده در این تحقیق می‌تواند به مدیران جنگل کمک کند تا عوامل مؤثر بر بهره‌وری و هزینه در مراحل مختلف کار را بهتر درک کنند. همچنین می‌توان از آن برای سازماندهی مجدد و برنامه‌ریزی کار جنگل برای رفع نگرانی‌های اقتصادی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تولید چوب، جنگل‌کاری صنوبر، زی‌توده، برداشت چوب، پژوهش زمانی.

مقدمه

چوب یکی از پرمصرف‌ترین مواد صنعتی است که به توسعه و رشد اقتصادی یک کشور کمک می‌کند و در عین‌حال فرصت‌های شغلی بسیاری را فراهم می‌کند (Safarzadeh et al., 2023). در استان گیلان در حدود ۸۳۵ کارگاه مصرف‌کننده چوب وجود دارد که در حدود نیمی از چوب‌آلات تولیدشده در استان را مورد مصرف قرار می‌دهد و زمینه اشتغال ۱۸۰۳۰ نفر را فراهم کرده‌اند (Nikooy et al., 2021). از نقطه نظر عملیاتی و برای تحویل به بازارهای مصرف تغییراتی در شکل و ماهیت اولیه چوب به‌وجود می‌آید که آن را به یک محصول میانی یا نهایی تبدیل می‌کند. بخش زیادی از این تحولات ارزش‌افزوده در جنگل‌ها با استفاده از سیستم‌های برداشت مختلف صورت می‌گیرد که سطح مکانیزاسیون آنها به عوامل متعددی مانند وضعیت اقتصادی یک منطقه یا کشور معین بستگی دارد (Moskalik et al., 2017; Rauch et al., 2015). درحالی‌که فناوری بسیار مکانیزه در کشورهای توسعه‌یافته وجود دارد، استفاده از آن به دلایل مختلفی مانند سطح کم جنگلکاری‌ها (Borz et al., 2014)، برداشت در مناطق کوچک و شدت کم برداشت در ایران مقدور نیست. در این شرایط، بخش مهمی از کار برداشت چوب به‌صورت دستی و با ارهموتوری به دلایلی مانند هزینه‌های خرید و عملیات قابل قبول، طول عمر به‌نسبت طولانی (Calvo et al., 2014)، سازگاری با زمین‌های شیب دار، سازگاری با طیف گسترده‌ای از اندازه‌ها و گونه‌های درخت (Borz et al., 2014) و شدت برداشت (Borz et al., 2013) کم انجام می‌شود. قطع درختان و پردازش دستی با ارهموتوری هنوز یکی از پرکاربردترین گزینه‌ها در عملیات برداشت چوب است (Borz et al., 2014). پژوهش تولید، هزینه و عوامل مؤثر بر زمان قطع درختان در ایران سابقه‌ای طولانی دارد. Sobhani et al. (2007) در تحقیق خود در جنگل آموزشی پژوهشی خیرودکنار نوشهر بخش پاتم با عنوان بررسی مقدار تولید و هزینه‌های قطع درختان مدل ریاضی زمان یک نوبت قطع را تهیه کردند که این مدل فقط تابعی از متغیر مستقل قطر برابرسینه درخت بود. Naghdi et al. (2010) در تحقیقی تحت عنوان ارزیابی بهره‌وری گروه‌های قطع در جنگل‌های تحت سرپرستی شرکت جنگل شفارود در استان گیلان نشان دادند عواملی مانند قطر درخت در ارتفاع برابرسینه، فاصله بین درختان، شیب طولی و شیب عرضی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در مقدار تولید ساعتی گروه‌های قطع به‌حساب می‌آیند. Jourgholami et al. (2012) در بررسی‌های خود برای ارزیابی روش سنتی تبدیل چوب درجنگل گرازبن خیرود نشان دادند که مقدار تولید با و بدون زمان‌های تأخیر ۰/۶۹ و ۰/۹۳ مترمکعب در ساعت و هزینهٔ واحد تولید با و بدون زمان های تأخیر ۲۴۵۹۵۰و ۱۸۳۱۴۰ ریال است. Rizvandi and Jourgholami (2012) با مقایسهٔ تولید و هزینهٔ قطع درخت با ارهموتوری در دو روش مرسوم و هدایت‌شده (مطالعهٔ موردی: جنگل خیرود) نشان دادند که معادلهٔ رگرسیون چندمتغیرهٔ زمان قطع در روش مرسوم، تابعی از متغیر قطر و فاصلهٔ بین درختان و در روش هدایت‌شده تابعی از قطر و برای انداختن درخت است. در این پژوهش مقدار تولید ساعتی قطع در روش مرسوم با درنظر گرفتن زمان‌های تأخیر و بدون آن، به ترتیب ٤٦/٤ و ٦٥/٦ مترمکعب در ساعت و در روش هدایت‌شده با درنظر گرفتن زمان‌های تأخیر و بدون آن، به‌ترتیب ٤٤/٤ و ٥٩/١ مترمکعب در ساعت بود. نتایج تحقیق همچنین نشان داد که با افزایش قطر، مقدار تولید در هر دو روش مرسوم و هدایت‌شده به‌صورت رابطهٔ توانی افزایش و هزینهٔ واحد تولید در قطع با ارهموتوری در دو روش

مرسوم و هدایت‌شده با افزایش قطر به‌صورت توانی کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که عملیات قطع درخت به روش هدایت‌شده از روش مرسوم گران‌تر است. Hamedi Ghazi et al. (2016) با بررسی تولید، هزینه قطع و تبدیل اولین عملیات تنک‌کردن در توده جنگلکاری‌شده (بررسی موردی: جنگل تیروم‌رود) دریافتند که مدت زمان کل قطع تابعی از مؤلفه‌های تأثیرگذار شامل قطر، حجم و فاصله درختان از یکدیگر بوده است. همچنین مقدار تولید ساعتی برای تمام گونه‌ها به‌طور میانگین ۲/۸ مترمکعب در ساعت و هزینهٔ واحد تولید نیز به‌طور متوسط ٦١٥٢٢ ریال بر مترمکعب به‌دست آمد. نتایج پژوهش نشان داد که هزینهٔ واحد تولید در عملیات قطع تا حد زیادی به اندازه درختان موردنظر و وضعیت شاخه‌دوانی درختان بستگی دارد.Klepac and Rummer (2002) دو سیستم بهره‌برداری شامل قطع درخت با اره‌موتوری و هاروستر را از نظر مقدار تولید، هزینه‌ها مقایسه کردند. نتایج نشان داد که با افزایش قطر درخت، زمان یک نوبت قطع درخت افزایش می‌یابد. Wang et al. (2004) به بررسی مقدار تولید و هزینه‌های سیستم برداشت قطع با اره‌موتوری و چوبکشی با اسکیدر در توده‌های پهن‌برگ آپالچین غرب ورجینیا در آمریکا پرداختند. نتایج نشان داد که اثرگذارترین عوامل در زمان قطع هر درخت، قطر و فاصله بین درختان قطع شده است و مقدار تولید ساعتی گروه قطع ۱۰/۲۵ مترمکعب و هزینهٔ ساعتی در ساعات کار مفید ۲۸/۹۹ دلار بود. Li et al. (2006) به بررسی تولید و هزینه سه سیستم بهره‌برداری پرداختند و بیان کردند که عوامل مؤثر بر زمان قطع با اره‌موتوری، قطر درخت و فاصله بین درختان است. Dimou et al. (2019) بهره‌وری تولید در اره‌موتوری دستی را با اره‌موتوری باتری‌دار مورد ارزیابی قرار دادند؛ نتایج نشان داد که تولید ساعتی در اره‌موتوری باتری‌دار با تأخیر و بدون تأخیر به ترتیب ۳/۳۵ و ۳/٤٨ مترمکعب در ساعت، تولید ساعتی در اره موتوری معمولی با تأخیر و بدون تأخیر به ترتیب ۳/٤۲ و ۳/۹۱ مترمکعب در ساعت است. در نهایت مدت زمان متوسط در دقیقه موردنیاز برای تولید به ترتیب ۲۸/۲۷ و ۲٤/۲۱ دقیقه برای اره‌موتوری باتری‌دار و معمولی است. Ghaffariyan (2021) پژوهش مروری بر روی تولید و قطع درخت با اره‌موتوری بر روی درختان سرپای اکالیپتوس انجام داد. نتایج نشان داد که عوامل اصلی بر روی تولید و قطع درخت با اره‌موتوری شامل قطر در ارتفاع برابرسینه، مسافت طی‌شده تا درختان، تراکم پوشش کف جنگل، شیب زمین و همچنین تجربه اپراتور نقش مهم و کلیدی در تولید عملیات قطع است. دامنه تولید در نواحی مختلف از ۰/٦ تا ٤٨/۹ مترمکعب در ساعت گزارش شد. Suhartana et al. (2022) با بررسی زمان کار، بهره‌وری، و هزینهٔ قطع در یک جنگل استوایی در پاپوآ غربی اندونزی نشان دادند که حداقل و حداکثر زمان قطع هر درخت بین ۱۵/۳ تا ۱۸/۳ دقیقه برای هر درخت با میانگین ١٦/۷ دقیقه برای هر درخت بود. کل زمان قطع تحت‌تأثیر متغیرهای مختلفی شامل قطر درخت، ارتفاع امتداد ریشه و شیب طولی بود. بهره‌وری گروه قطع بین ١٤/۹۰١ تا ١٧/٠٦٧ مترمکعب در ساعت (به‌طور متوسط ۱۵/۷۷۸ مترمکعب در ساعت) محاسبه شد. برای بهبود اثربخشی زمان قطع، ارتقاء مهارت‌های اپراتورها از طریق آموزش و تهیه نقشه پراکنش درختان مقطوعه پیشنهاد شد. Latterini et al. (2022) با ارزیابی بهره‌وری گروه قطع درختان با اره‌موتوری در عملیات تنک‌کردن درختان کاج بروسیا دریافتند که بهره‌وری گروه قطع برابر با ۱۰/۳درخت در هر ساعت (۱۱/۲ مترمکعب در ساعت) و با در نظر گرفتن یک روز کاری هشت ساعت، بهره‌وری برابر با ٤١ درخت برای هر کارگر (٤٤/۸ مترمکعب چوب برای هر کارگر) بود.

Borz et al. (2019) در نتایج مقدماتی تحقیق قطع یکسره نهال‌های تندرشد بید با اره‌موتوری Husqvarna 545 RX در کشور رومانی نشان دادند که کارایی سیستم قطع ۰/۱ هکتار در ساعت است. Mousavi et al. (2011) با بررسی زمان مصرف، تولید، و تجزیه و تحلیل هزینهٔ اره‌دستی در قطع و پردازش درخت در جنگل هیرکانی در ایران نشان دادند که مقدار تولید در قطع با و بدون زمان تأخیر ۹/۷ و ۱۱/٦٥ مترمکعب در ساعت و میانگین هزینهٔ تولید با و بدون تأخیر ۱/۲۱ و ۱/٤٥ دلار بود. میانگین تولید در پردازش ۳۵ مترمکعب در ساعت و هزینهٔ پردازش ۰/۲۲ دلار بود.

پژوهش‌های مربوط به تولید و هزینهٔ اره‌موتوری در ایران عموماً بر روی مدل‌های مختلف اره‌موتوری اشتیل انجام شده و دیگر اره‌های مورداستفاده برای قطع کمتر موردبررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. اره‌موتوری ماشوف از اره‌های موتوری جدیدی است که برای عملیات برداشت چوب در جنگل‌کاری‌های استان گیلان مورداستفاده قرار می‌گیرد. این پژوهش با هدف ارزیابی تولید و هزینه عملیات قطع درختان با اره‌موتوریMASHOUF در عملیات قطع یکسره درختان جنگل‌کاری‌شده انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در جنگل‌های سری دو تنیان در حومه شهرستان صومعه‌سرا انجام شد. برای جلوگیری از اثر ویژگی‌های دموگرافیک کارگران و تأثیر آنها بر تحقیق از یک اره‌موتورچی برای این پژوهش استفاده شد (Kanawaty, 1992). اره‌موتوری MASHOUF PSI 9700 برای این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات فنی اره‌موتوری MASHOUF PSI 9700 مورداستفاده در این پژوهش

Table 1. Technical specifications of MASHOUF PSI 9700 chainsaw used in this study

مشخصه Feature	کمیت Quantity
وزن خالص (کیلوگرم) Pure weight (Kg)	5.1
حجم باک سوخت (میلی‌لیتر) Fuel tank volume (ml)	520
حجم باک روغن (میلی‌لیتر) Oil tank volume (ml)	260
طول تیغه (سانتی‌متر) Blade length (cm)	50
جابجایی سیلندر (سانتی‌مترمکعب) Cylinder displacement (cm^3)	54
توان خروجی (کیلوات) Output power (kw)	2.2
طول عمر (ساعت) Longevity (h)	2000

زمان بر حسب ثانیه با استفاده از روش بررسی زمان پیوسته Mousavi and Nikooy (2014) و با استفاده از دوربین دیجیتال کانن مدل EOS 77D به همراه لنز ۱۸-۱۳۵ میلی‌متر IS USM با دقت ۲٤/۲

مگاپیکسل اندازه‌گیری شد. از یک زمان‌سنج و یک ساعت مچی برای اندازه‌گیری زمان با ثبت شروع و پایان هر عملیات، مرحله یا فعالیت در طول یک شیفت کاری استفاده شد. شیفت کاری از لحظه‌ای شروع می‌شود که تیم قطع کارگاه را ترک می‌کند و در هنگام بازگشت به همان مکان به پایان می‌رسد. تمام اندازه‌گیری‌های مربوط به زمان کار توسط یک گروه سه نفره انجام شد. به‌منظور عدم ایجاد اختلال در روند کار، متغیرهای مربوط به درختان و دیگر نمونه‌های مورد تجزیه و تحلیل توسط نفر دوم اندازه‌گیری شد. تمام اندازه‌گیری‌ها در یک روز کاری انجام شد. فاصله بین درختان و ارتفاع درخت با متر لیزری و بر روی زمین (پس از قطع) و قطر در ارتفاع برابر سینه با استفاده از کالیپر اندازه‌گیری شد. برای اولین درخت فاصله از ورودی منطقه قطع اندازه‌گیری شد. تعداد اندازه‌گیری‌های لازم با رابطهٔ پیشنهادی Kanawaty (1992) و (2017) Ciubotaru and Câmpu با استفاده از رابطهٔ ۱ به‌دست آمده که در آن n=حداقل نمونه لازم برای محاسبه ، p=درصد زمان غیرتولیدی، q=درصد زمان تولیدی، t=ارزش عددی توزیع استیودنت و e=حداکثر خطای پذیرفته شده است. در جدول۳ کمینه تعداد محاسبه‌شده و تعداد اندازه‌گیری‌های انجام‌شده ارائه شده است. تعداد زیادی اندازه‌گیری برای عادی‌سازی توزیع مقادیر اندازه‌گیری شده و به حداقل رساندن اثر هاثورن مدنظر قرار گرفت. بعد از مشخص کردن اجزای هر یک از بخش‌های قطع، مؤلفه‌های تأثیرگذار بر مدت زمان هریک از این اجزای عملیات با استفاده از رگرسیون خطی چندعامله به روش گام به گام تعیین شد. ۱۳۳ نمونه قطع درخت از گونه صنوبر انتخاب و زمان‌سنجی شد.

$$n = \frac{p \times q \times t^2}{e^2}$$ رابطهٔ (۱)

جدول ۲- ساختار زمانی عملیات قطع درختان در منطقه مورد بررسی

Table 2. The time structure of tree felling operations in the study area

اجزاء کار قطع Felling work components	شروع Start	پایان Finish
حرکت به سمت درخت Moving toward the tree	هنگامی که اره‌موتورچی به سمت درختی که قرار است بریده شود حرکت می‌کند When the chainsaw operator moves towards the tree to be fell	زمانی که اره‌موتورچی به درخت می‌رسد When the chainsaw operator reaches the tree
آمادگی برای قطع Preparation for felling	زمانی که اره‌موتورچی شروع به تمیز کردن اطراف درخت، انتخاب مسیر افت و غیره می‌کند When the chainsaw operator starts cleaning around the tree, choosing the route of the fall, etc.	زمانی که اره‌موتورچی نوک تیغه را بر روی درخت برای انجام بن‌زنی می‌گذارد When the chainsaw operator puts the tip of the blade on the tree to under cut
بن‌زنی Under cut	زمانی که اره‌موتورچی شروع به بن‌زنی می‌کند When the chainsaw operator starts under cut	زمانی که اره‌موتورچی قطاع (قاچ) را از داخل درخت بیرون می‌کشد When the chainsaw operator pulls the cut out of the tree

ادامهٔ جدول ۲.

Continued table 2.

اجزاء کار قطع Felling work components	شروع Start	پایان Finish
بن‌بری Back cut	زمانی که اره‌موتورچی شروع به بن‌بری می‌کند When the chainsaw operator starts back cut	زمانی که درخت شروع به افتادن می‌کند When the tree starts to fall
سوخت‌گیری Refueling	زمانی که اره‌موتورچی شروع به سوخت‌گیری می‌کند When the chainsaw operator starts refueling	زمانی که سوخت‌گیری به پایان می‌رسد When refueling ends
تأخیرهای فنی Technical delays	زمانی که عملیات قطع به دلیل عواملی مانند تعویض تیغه و زنجیر، تعمیر و تعویض فیلتر هوا، تنظیم زنجیر و غیره متوقف می‌شود When the felling operation is stopped due to factors such as changing the blade and chain, repairing and replacing the air filter, adjusting the chain, etc	زمانی که تأخیر به پایان رسیده و کارگر به عملیات قطع باز می‌شود When the delay ended and the worker returns to the felling operation
تأخیرهای اجرایی Operational delays	زمانی که عملیات قطع به دلیل عواملی مانند جابجایی بین گروه‌های کاری، تداخل کاری ناشی از عدم سازماندهی و غیره متوقف می‌شود When the felling operation is stopped due to factors such as moving between work groups, work interference due to lack of organization, etc	زمانی که تأخیر به پایان رسیده و کارگر به عملیات قطع باز می‌شود When the delay ended and the worker returns to the felling operation
تأخیرهای شخصی Personal delays	زمانی که عملیات قطع به دلیل عواملی مانند تغذیه، کشیدن سیگار، سرویس بهداشتی و غیره متوقف می‌شود When the felling operation stops due to factors such as nutrition, smoking, going to the bathroom, etc	زمانی که تأخیر به پایان رسیده و کارگر به عملیات قطع باز می‌شود When the delay ended and the worker returns to the felling operation

جدول ۳- کمینه تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده برای پژوهش

Table 3. Minimum number of measured samples for the study

عملیات Operation	محل انجام کار Place of work	تعداد در پلات آزمایشی Number in experimental plot	ارزش شاخص‌های پژوهش The value of study parameters		تعداد اندازه گیری‌شده Measured number	
			درصد زمان تولید Productive time percent	درصد زمان غیرتولید Nonproductive time percent	محاسبه شده Calculated	واقعی Real
قطع Felling	محوطه قطع Felling area	100	53	47	123	133

محاسبه هزینه ساعتی

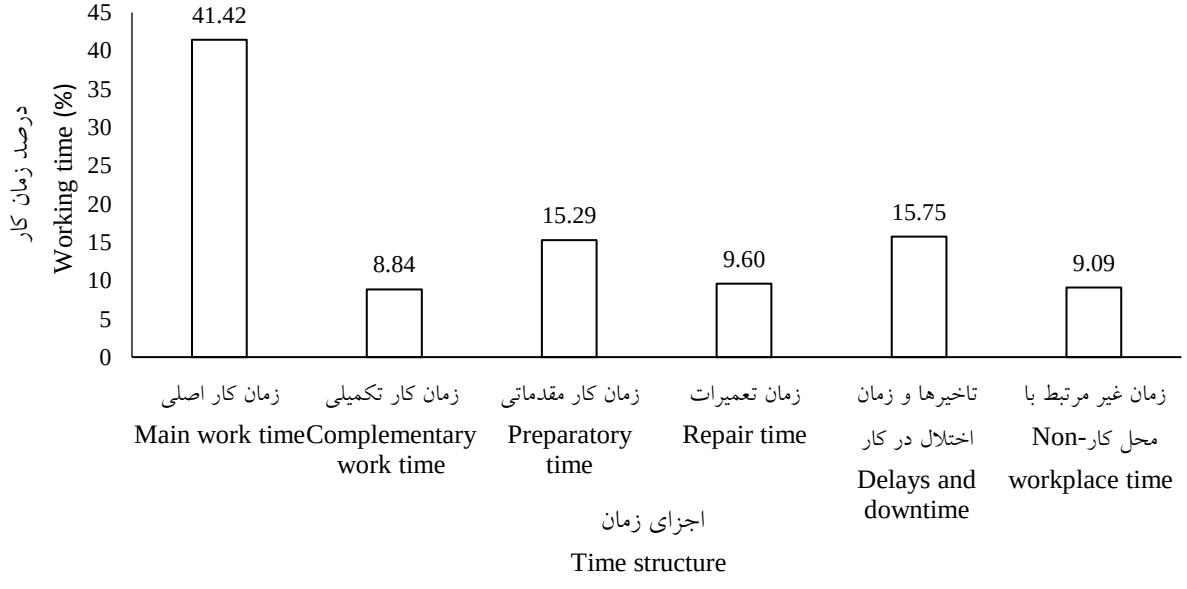
بعد از تعیین قیمت اره‌موتوری، هزینهٔ ثابت کل از مجموع هزینه‌های بهره مالکانه سالیانه، استهلاک، بیمه و مالیات به‌دست آمد. هزینه‌های متغیر هم از جمع ساعتی هزینهٔ سوخت، تعمیر و نگهداری، زنجیر و تیغه، اسپراکت و غیره محاسبه شد. جمع کل هزینه‌ها شامل هزینه‌های ثابت، متغیر و هزینهٔ کارگری بود (Hamedi Ghazi et al., 2016).

نتایج

تولید و هزینهٔ قطع درخت

٤١/٤٢ درصد از زمان کار به عملیات قطع درختان اختصاص داده‌شد، در این مرحله کارگر اره‌موتورچی به موضوع قطع درختان و فعالیت بر روی آن پرداخت. ٨/٨٤ درصد از زمان قطع به کارهای تکمیلی مانند حرکت بین درختان، گوه‌زنی، ١٥/٢٩ درصد به کارهای مقدماتی مانند انتقال بین محل کار، آمادگی برای انجام کار، ٩/٦٠ درصد برای تعمیرات، ١٥/٧٤ درصد برای تأخیرها و زمان اختلال در کار و ٩/٠٩ درصد برای زمان غیرمرتبط با محل کار صرف شد (شکل ١).

در زمان کار تولیدی ٤٥ درصد برای بن‌زنی، ١٩ درصد برای بن‌بری، ١٣ درصد برای آمادگی برای قطع و ٢٣ درصد برای حرکت به سمت درخت صرف شد. ٧١ درصد تأخیرها به تأخیرهای شخصی اختصاص داده شد که ٨٠/٧ درصد آن مربوط به زمان صرف ناهار و ١٩/٩٣ درصد به دیگر تأخیرهای شخصی مربوط بود. سهم تأخیرهای اجرایی و فنی در مجموع تأخیرها به ترتیب ١٠ و ١٩ درصد بود. در جدول ٤ توصیف آماری مربوط به مؤلفه‌های قطع درختان در منطقه موردبررسی آمده است. در جدول ٥ زمان و مقدار تولید خالص و ناخالص نشان داده شده است.



شکل ١- ساختار زمان کار در قطع درختان

Figure 1. Work time structure in tree felling

جدول ٤- میانگین، کمترین، بیشترین و انحراف معیار فازهای مختلف قطع درخت

Table 4. The average, minimum, maximum and standard division of different phases of tree felling

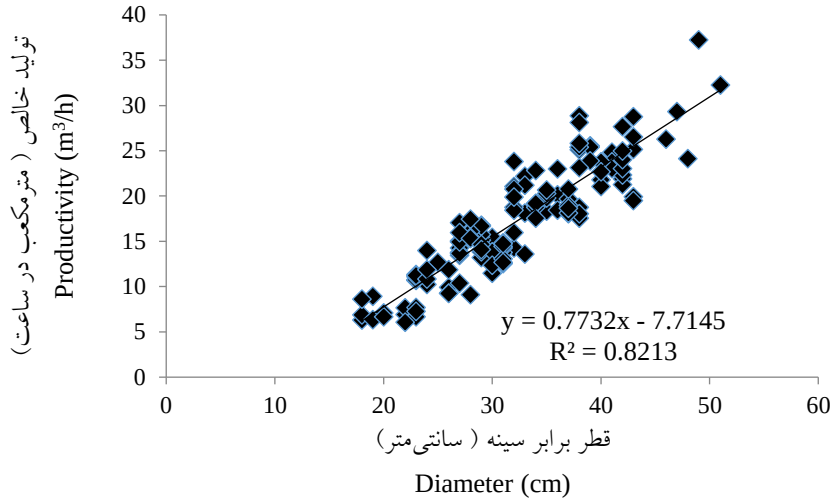
انحراف از معیار Std.dev.	بیشترین Max	کمترین Min	میانگین Mean	تعداد Number	
10.55	55	16	38.33	133	حرکت به سمت درخت Moving toward the tree
4.58	30	15	22.16	133	آمادگی برای قطع Preparation for felling
21.07	125	35	73.29	133	بن‌زنی Under cut
5.01	42	17	30.54	133	بن‌بری Back cut
60.07	336	0	11.81	133	سوخت‌گیری Refueling
323.59	3682	0	67.44	133	تأخیرها Delays

جدول ٥- میانگین، کمترین، بیشترین و انحراف از معیار متغیرهای موردبررسی

Table 5. The average, minimum, maximum and standard division of the studied variables

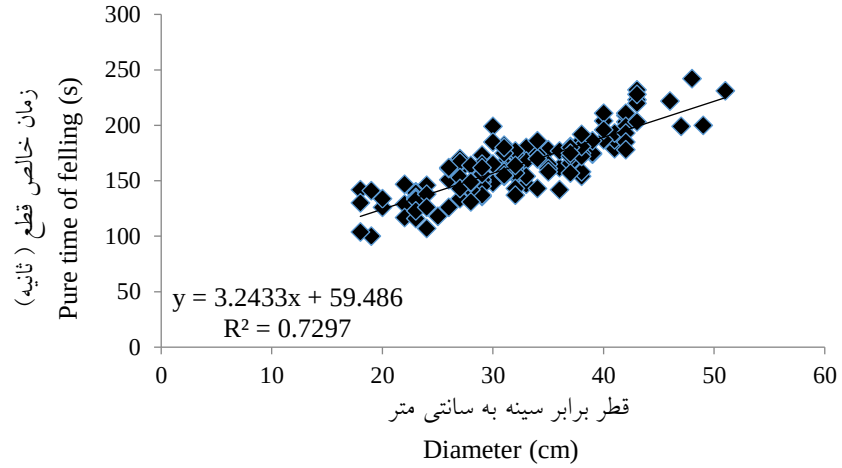
انحراف از معیار Std.dev.	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	تعداد Number	
7.29	32.33	51	18	133	قطر (سانتی‌متر) Diameter (cm)
8.95	39.72	55.3	25.6	133	فاصله (متر) Distance (m)
27.71	164.34	242	100	133	زمان خالص (ثانیه) Pure time (s)
96.05	225.66	613.68	127.6	133	زمان ناخالص (ثانیه) Gross time (s)
0.39	0.820	2.069	0.248	133	حجم (مترمکعب) Volume (m^3)
6.22	17.28	37.24	6.07	133	تولید خالص (مترمکعب) Productivity (m^3/h)
5.30	13.44	28.793	2.07	133	تولید ناخالص (مترمکعب) Gross productivity (m^3/h)

رابطه متغیر قطر با تولید ساعتی خالص و زمان خالص قطع در شکل ۲ و ۳ نمایش داده شده است. براساس نتایج به‌دست آمده با افزایش قطر، تولید ساعتی و زمان خالص قطع افزایش معنی‌داری یافت. همچنین رابطه بین قطر و هزینهٔ واحد تولید نشان داد که با افزایش قطر، هزینهٔ واحد تولید کاهش می‌یابد.



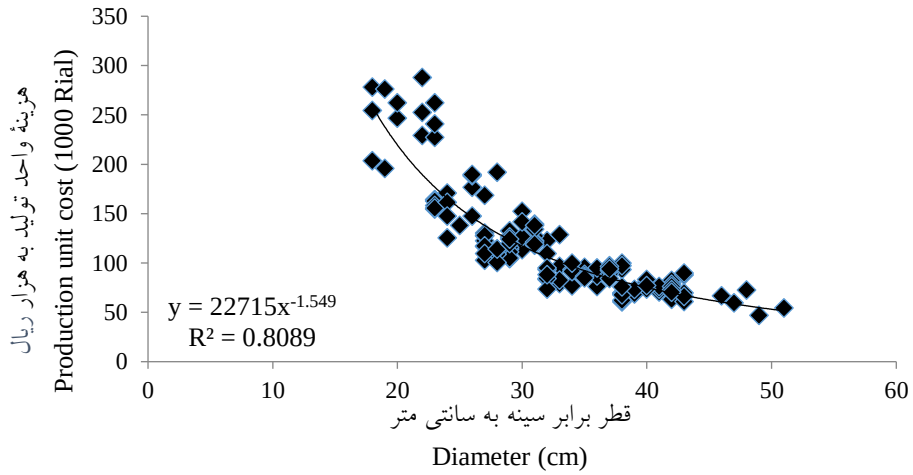
شکل ۲- اثر قطر برابرسینه درخت بر تولید ساعتی خالص در منطقه مورد بررسی

Figure 2. The effect of tree diameter on productivity in the study area



شکل ۳- اثر قطر برابرسینه درخت بر زمان خالص در منطقه موردبررسی

Figure 3. The effect of tree diameter on pure time in the study area



شکل ٤- اثر قطر برابرسینه درخت بر هزینهٔ واحد تولید در منطقه موردبررسی

Figure 4. The effect of tree diameter on unit cost of production in the study area

معادله رگرسیون خطی به تفکیک اجزای قطع به شکل زیر است. در اجزایی که رابطه معنی‌داری شکل نگرفته‌است میانگین زمان صرف‌شده در آن اجزا بیان شده‌است.

حرکت به سمت درخت (t_1): $t_1 = 8.341 + 0.819x_d$

زمان تصمیم‌گیری (t_2): میانگین زمان تصمیم‌گیری برای قطع درخت ۲۲/۱۷ ثانیه بود.

بن‌زنی (t_3): $t_3 = -10.786 + 2.061x_d$

بن‌بری (t_4): $t_4 = 11.156 + 0.600x_d$

سوخت‌گیری (t_5): میانگین زمان لازم برای سوخت‌گیری ۱۱/۸۱ ثانیه است.

تأخیرها (t_6): میانگین زمان صرف‌شده برای تأخیرها ٥٤/٤٢ ثانیه بود.

زمان خالص (t_t): $t_t = 116.58 + 58.239x_d$

زمان کل (t_{tot}): $t_{tot} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6$

تولید ساعتی: $p_r = 4.907 + 15.093\ x_v$

جزئیات آماری مربوط به مدل‌های رگرسیونی نمایش داده‌شده در مرحله قطع در جدول ٦ نمایش داده‌شده‌است. x_d و x_v در مدل‌های بالا به ترتیب فاصله بین دو درخت به متر و حجم درخت به مترمکعب است.

در جدول ۷ مقدار هزینه‌ها بر اساس قیمت سال ١٤٠٠ نشان داده‌شده‌است.

جدول ٦- جزئیات مربوط به مدل‌های رگرسیونی ارائه‌شده

Table 6. Details of regression models presented

مدل Model	متغیر وابسته Dependent variable	R^2	F-Test F-Value	F-Test P	تعداد Number	متغیرها Variables	اشتباه معیار Estimated std. error	T- test T-Value	T- test P
حرکت به سمت درخت Moving toward the tree	t_1	0.93	1744.14	0.00	132	ثابت Constant	0.779	10.70	0.00
						فاصله Distance	0.020	41.76	0.00
بن‌زنی Under cut	t_3	0.615	208.96	0.00	132	ثابت Constant	7.06	-3.88	0.00
						قطر Diameter	0.228	14.45	0.00
بن‌بری Back cut	t_4	0.812	564.95	0.00	132	ثابت Constant	3.62	-2.97	0.003
						قطر Diameter	0.109	23.76	0.00
زمان خالص Pure time	t_t	0.684	283.86	0.00	132	ثابت Constant	3.14	37.10	0.00
						قطر Diameter	3.45	16.84	0.00
تولید ساعتی Hourly production	t_{tot}	0.910	1325.85	0.00	132	ثابت Constant	0.377	13.02	0.00
						حجم Volume	0.414	36.41	0.00

جدول ۷- مقدار مربوط به هزینه‌های ثابت، متغیر و کارگری در پژوهش

Table 7. The amount related to fixed, variable and labor costs in the study

مقدار هزینه (ریال) Cost amount (Rials)	عامل هزینه Cost factor
60000000	سرمایه‌گذاری اولیه Purchase price
6000000	ارزش اسقاطی Salvage value
٤ سال 4 years	عمر مفید Service life Years
۱۵۰۰ ساعت 1500 hours	کارکرد سالیانه Annual use
۱۸ درصد 18 percent	نرخ بهره Interest
6912000	ارزش سرمایه‌گذاری سالیانه Annual investment value
10800000	استهلاک Depreciation
2430000	بیمه و مالیات Tax and Insurance
20142000	هزینه ثابت سالیانه Fixed annual cost
123250000	تعمیر و نگهداری (شامل هزینهٔ تعمیر و تعویض تیغه، زنجیر، اسپراکت، شمع و دیگر تجهیزات مانند شکستگی موردی دسته و غیره) Maintenance (including the cost of repairing and replacing blades, chains, sprockets, spark plugs and other equipment such as broken handles and etc.)
306000000	روغن و سوخت Fuel and lubricant
429250000	هزینهٔ متغیر سالیانه Annual variable cost
89878400	هزینهٔ بالاسری (۲۰ درصد مجموع هزینه‌ها) Overhead and profit (20% of the total costs)
2100000000	دستمزد کارگر (اره‌موتورچی و کمک اره‌موتورچی) Labour cost (Chainsaw operator and assistant chainsaw operator)
1747514	هزینهٔ واحد تولید در ساعات کار تولید Production unit cost in production hours
1310635	هزینهٔ تولید در ساعات کار برنامه ریزی‌شده Production cost in scheduled working hours
13.44 – 17.28	تولید ساعتی ناخالص/ خالص (مترمکعب) Gross productivity / productivity (m^3)
101129 – 130023 0.32-0.25	هزینهٔ واحد تولید خالص/ ناخالص (ریال/دلار) Productivity/gross productivity unit cost (Rial/dollar)

بحث

قطع درخت با اره موتوری یک فعالیت بسیار مخاطره‌آمیز و پیچیده محسوب می‌شود که به عنوان شروع چرخه بهره‌برداری از جنگل بسیار مهم بوده و نیازمند توجه ویژه بخش مدیریت جنگل در این قسمت است (Rahimi et al., 2018; Nikooy et al., 2016)، چون هرگونه کوتاهی در این بخش دیگر عملیات بهره‌برداری را تحت‌تأثیر خود قرار می‌دهد.

توسعه مدل‌های ریاضی برای تعیین بهره‌وری کار قطع درختان با اره‌موتوری به مدیران جنگل کمک می‌کند تا منابع انسانی و مادی موردنیاز برای برنامه‌ریزی عملیات برداشت چوب را فراهم نمایند تا فرآیند برداشت چوب در زمان مناسب و با حداقل تأثیر بر بوم‌سازگان جنگل انجام شود (Campu and Ciubotaru, 2017). مدل تولید و هزینه و ساختار زمان کار مورداستفاده در این پژوهش در شبیه‌سازی عملیات قطع در شرایط یکسان مفید بوده و راهنمای مناسبی برای آموزش اره‌موتورچی‌ها خواهد بود. در این پژوهش از یک گروه قطع استفاده شده است و به همین دلیل اثر تغییر نیروی انسانی بر متغیرهای تحقیق حذف شده است. یافته‌های قبلی پژوهش تولید و هزینه نشان داده بود که در شرایط کاری یکسان گروه‌های کاری مختلف به نتایج متفاوتی دست پیدا می‌کنند و کارگران جنگل تأثیر زیادی بر روی بهره‌وری در بیشتر کارهای مربوط به جنگل دارند (Gullberg, 1995). در این پژوهش متغیرهایی مانند قطر درختان، حجم درختان و فاصله بین درختان بر روی زمان مراحل مختلف قطع درخت تأثیرگذار بودند. Hamedi Ghazi et al. (2016)، Nikooy et al. (2008)، Sobhani et al. (2007)، Wang et al. (2004) و Uotila et al. (2014) هم در تحقیقات خود اثر قطر برابرسینه، فاصله بین درختان، شدت برداشت و نوع گونه را بر روی زمان قطع مؤثر دانسته‌اند. پردازش هر جزء از قطع درخت نسبت به متغیر مستقل قطر برابرسینه درخت نشان داد که مراحل بن‌زنی و بن‌بری بیشترین مقدار تغییرات را با افزایش قطر نشان داده‌اند. نتایج پژوهش Lortz et al. (1997) نشان داد که با افزایش قطر درخت، تولید ساعتی گروه قطع افزایش می‌یابد. با توجه به رابطه مستقیم قطر و حجم درخت با افزایش قطر، حجم درخت هم افزایش یافته و موجب افزایش تولید ساعتی سیستم می‌شود. نتایج فوق در پژوهش Lortz et al. (1997)، (2007) Session و Wang et al. (2004) مورد تأکید قرار گرفته است. فاصله بین درختان از متغیرهایی است که با افزایش آن زمان فاصلهٔ طی‌شده بین درختان افزایش می‌یابد و در مجموع بر روی زمان کل قطع تأثیر می‌گذارد (Soenarno et al. 2022). et l. (2013) Jourgholami هم به نقش فاصله در زمان قطع درخت اشاره کرده است. بخش مهمی از زمان کار به تأخیرهای فنی مانند تیز کردن زنجیر اره‌موتوری، پاره شدن زنجیر و نیاز به زنجیر یدک، خارج شدن زنجیر از شیار تیغه، تأخیرهای اجرایی مانند مدیریت و سازماندهی کار، نظارت، فراهم نبودن وسایل لوازم و ابزار کار و تأخیرهای شخصی اره‌موتورچی مانند تلفن‌زدن، استراحت‌های فیزیولوژیک، سیگار کشیدن، خوردن میان‌وعده‌های غذایی، نوشیدن آب و غیره اختصاص یافت. تأخیرهایی مربوط به تعمیر و نگهداری اره موتوری و همچنین سوخت‌گیری به گروه قطع در انجام بهینه عملیات قطع کمک می‌کند و درنتیجه بخش مهمی از کل زمان کار هستند و به سختی می‌توان آنها را کاهش داد. تعمیر و نگهداری و سوخت‌رسانی تضمین می‌کند که اره‌موتوری به‌صورت بهینه کار کند. برخی از تأخیر فنی، اجرایی و شخصی را می‌توان با سازماندهی و برنامه‌ریزی بهتر عملیات کاهش داد (Câmpu and Ciubotaru, 2017). مقدار تولید ساعتی خالص و

ناخالص به ترتیب ۱۳/٤٤ و ۱۷/۲۸ مترمکعب در ساعت و هزینهٔ واحد تولید خالص و ناخالص به ترتیب ۰/۲۵ دلار و ۰/۳۲ دلار) بود. Hamedi Ghazi et al. (2016) با بررسی تولید، هزینهٔ قطع و تبدیل اولین عملیات تنک‌کردن در توده جنگلکاری‌شده (بررسی موردی: جنگل تیروم‌رود) دریافتند که مقدار تولید ساعتی به‌طور میانگین ۲/۸ مترمکعب در ساعت و هزینهٔ واحد تولید نیز به‌طور متوسط ٦۱۵۲۲ ریال (۰/۲ دلار) بر مترمکعب به‌دست آمد. نتایج پژوهش نشان داد که هزینهٔ واحد تولید در عملیات قطع تا حد زیادی به اندازه درختان موردنظر و وضعیت شاخه‌دوانی درختان بستگی دارد. Nikooy et al. (2008) در پژوهش خود هزینه و تولید گروه قطع در جنگل‌های اسالم را موردارزیابی قرار دادند نتایج نشان داد که تولید ساعتی گروه قطع به‌صورت خالص و ناخالص به ترتیب ۸٤/۲ و ٦٦/۵ مترمکعب در ساعت و هزینهٔ قطع هر درخت با و بدون احتساب زمان‌های تأخیر به ترتیب ۲۳۳٤۳ و ۱۸٤۲٤ ریال (۰/۲۵ دلار و ۰/۲۰ دلار) بود. Sobhani et al. (2007) در تحقیق خود در جنگل آموزشی پژوهشی خیرودکنار نوشهر (بخش پاتم) با عنوان بررسی مقدار تولید و هزینه‌های قطع درختان به‌طور متوسط مقدار تولید ساعتی برای اکیپ سه نفره قطع هفت اصله درخت در ساعت و هزینهٔ روزانه آنها ۳۰۹۷۸۵ ریال (۳/۳۳ دلار) برآورد کردند.

نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی کار گروه قطع با اره‌موتوری MASHOUF PSI 9700 نشان داد که حداقل زمان لازم برای قطع درختان (با قطر ۷/۲۹±۳۲/۳۳) با اره‌موتوری مورد بررسی با و بدون احتساب زمان‌های تأخیر به ترتیب ۳/۷۵ و ۲/۷۳ دقیقه بود. بن‌زنی (۳۰/۰۸ درصد)، حرکت بین درختان (۱٦ درصد) و تأخیرهای شخصی بیشترین زمان یک نوبت قطع را به خود اختصاص دادند. با توجه به اینکه انجام برش بن‌زنی با دو برش فوقانی و تحتانی انجام می‌شود؛ بالا بودن سهم این جزء از عملیات قطع منطقی به نظر می‌رسد ولی انجام بن‌زنی‌های عمیق زمان این جزء را اندکی افزایش داد. مخروبه بودن عرصه جنگلکاری همراه با وجود درختچه‌هایی مانند ازگیل، ولیک و رویش تمشک، آقطی شرایط را برای تردد اره‌موتورچی سخت کرده و زمان حرکت بین درختان را افزایش داد. مهم‌ترین دلیل افزایش تأخیرهای شخصی، نظارت نامناسب و ناهماهنگی در بخش‌های مختلف است که با نظارت درست می‌توان مقدار آن را کاهش داد. تولید خالص و ناخالص ساعتی اره‌موتوری موردبررسی به ترتیب ٦/۲۲±۱۷/۲۸ و ۵/۳۰±۱۳/٤٤ مترمکعب در ساعت بود. زمان یک نوبت قطع بیشتر تحت‌تأثیر قطر درختان مقطوعه بود. هزینهٔ واحد تولید خالص و ناخالص به ترتیب ۷٤٦۱٦ و ۱۲٤۳۷۸ ریال (۰/۱۸ دلار و ۰/۳ دلار) بود. روش پژوهش مورداستفاده در این مقاله مبتنی بر استفاده از یک گروه کاری قطع بود و ساختار زمان کار هم رویکرد جدیدی را به این مشکل نشان داد و هم امکان شناسایی عوامل مؤثر بر زمان قطع و عوامل تأثیرگذار بر آن را مشخص کرد. توسعه مدل‌های ریاضی برای تعیین بهره‌وری کار در طول عملیات قطع درختان می‌تواند به مدیران جنگل کمک کند تا منابع انسانی و مواد مورنیاز برای برنامه‌ریزی کار را انتخاب نمایند. مدل‌ها و نتایج ارائه‌شده در این پژوهش می‌تواند به‌طورکلی به مدیران جنگل کمک کند تا عوامل مؤثر بر بهره‌وری و هزینه در مراحل مختلف کاری را بهتر درک کنند. می‌توان از آن برای سازماندهی مجدد و برنامه‌ریزی کار جنگل برای پاسخگویی به نگرانی‌های اقتصادی استفاده کرد.

References

Borz, S.A.; Birda, M.; Ignea, G.; Popa, B.; Campu, V.R.; Iordache, E.; Derczeni, R.A., Efficiency of a Woody 60 processor attached to a Mounty 4100 tower yarder when processing coniferous timber from thinning operations. *Annals of Forest Research* **2014**, *57*, 333–345.

Borz, S.A.; Dinulica, F.; Birda, M.; Ignea, G.; Ciobanu, V.D.; Popa, B., Time consumption and productivity of skidding silver fir (*Abies alba* Mill.) round wood in reduced accessibility conditions (a case study: in windthorw salvage logging from Romanian Carpathians). *Annals of Forest Research* **2013**, *56*, 363–375.

Borz, S.A.; Talagai, N.; Cheţa, M.; Chiriloiu, D.; Gavilanes Montoya, A.V.; Castillo Vizuete, D.D.; and Marcu, M.V., 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: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering* **2019**, *40* (2), 377-388.

Calvo, A.; Deboli, R.; Preti, C.; De Maria, A., Daily exposure to hand arm vibration by different electric olive beaters. *Journal of Agricultural Engineering*, **2014**, *45* (3), 103-110.

Câmpu, V.R.; Ciubotaru, A., Time consumption and productivity in manual tree felling with a chainsaw (a case study of resinous stands from mountainous areas). *Silva Fennica* **2017**, *51* (2), p.1657.

Dimou, V.; and Symeonidou, M., Evaluating the effectiveness productivity of motor-manual felling with a catalytic chainsaw. *International Scietific publication* **2019**, *13*,187-198.

Ghaffariyan, M.R., Review of studies on motor-manual felling productivity in eucalypt stands. *Silva Balcanica* **2021**, 22(1),77-87.

Gullberg T., Evaluating operator-machine interactions in comparative time studies. *Journal of Forest Engineering* **1995**, *7* (1): 51–61

Hamedi Ghazi, P.; Mousavi Mirkala, S.; & Samadi, A., Study on production, felling and processing costs of first thinning operation in a reforested stand (case study: Tyrum rood). *Forest Research and Development* **2016**, *2* (2), 153-165. (In Persian)

Jourgholami, M.; Majnounian, B.; & Zargham, N., Performance, capability and costs of motor-manual tree felling in Hyrcanian hardwood forest. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering* **2013**, *34* (2), 283-293. (In Persian)

Jourgholami, M.; Majnounian, B.; and Eghtesadi, A., Traditional wood processing (Lumber) method in forest; production, costs and value loss (case study: Namkhaneh District). *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2012**, *18* (4), 111-130. (In Persian)

Kanawaty G., Introduction to work study (4th edition). International Labour Office, Geneva **1992**, 524 p.

Klepac, J.F.; and Rummer, R.B., Smallwood Logging Production and Costs–Mechanized vs Manual. In 2002 ASAE Annual Meeting **2002**, (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Latterini, F.; Venanzi, R.; Stefanoni, W.; Sperandio, G.; Suardi, A.; Civitarese, V.; and Picchio, R., Work Productivity, Costs and Environmental Impacts of Two Thinning Methods in Italian Beech High Forests. *Sustainability* **2022**, *14* (18), p.11414.

Li, Y.; Wang, J.; Miller, G.; and McNeel, J., Production economics of harvesting small-diameter hardwood stands in central Appalachia. *Forest Products Journal* **2006**, *56* (3): 81-86, 56(3).

Lortz, D., Kluender, R., McCoy, W., Stokes, B., and Klepac, J., Manual felling time and productivity in southern pine forests. *Forest Products Journal*, **1997,** *47* (10), 59.

Moskalik, T., Borz, S. A., Dvořák, J., Ferencik, M., Glushkov, S., Muiste, P.; and Styranivsky, O., Timber harvesting methods in Eastern European countries: A review. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering* **2017**, *38* (2), 231-241.

Mousavi, R., Nikouy, M. and Uusitalo, J., Time consumption, productivity, and cost analysis of the motor manual tree felling and processing in the Hyrcanian Forest in Iran. *Journal of Forestry Research* **2011**, *22* (4), 665-669.

Mousavi, S.R.; and Nikooy, M., Evaluation of tree forwarding by farm tractor in patch cutting of poplar plantations in Northern Iran. *Small-scale forestry* **2014**, *13* (4), 527-540.

Naghdi, R.; Nikooy, M.; Mohammadi Limaie, S.; & Shormage, Y., Evaluation of felling

productivity in Shafarood forest (Guilan province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2010**, *18* (3), 425-417. (In Persian)

Nikooy, M., Hajatnia, M., Sotoudeh Foumani, B., and Mohammadi, E., Assessment of the log smuggling causes in Caspian forests, north of Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences* **2021**, *20* (2), 243-251.

Nikooy, M.; Sobhani, H.; Majnonian, B.; Marvi Mohajer, M.R.; Feghhi, J., Study of Cost Production of Felling using Chainsaw in, Asalem Forest-Guilan, *Iranian Journal of Natural Resources* **2008**, *60* (4),1357-1371. (In Persian)

Nikooy, M; Nourozi, Z; Naghdi, R., Survey of felling and bucking operation's safety in Shafarood watershed. *Forest Research and Development* **2016**, *1* (3), 209-219. (In Persian)

Rahimi, F; Nikooy, M; Ghajar, I., Ranking the dangers of working with chainsaw during felling operation. *Forest Research and Development*, **2018**, *4* (3), 401-413. (In Persian)

Rauch, P.; Wolfsmayr, U.J.; Borz, S.A.; Triplat, M.; Krajnc, N.; Klock, M.; Oberwimmer, R.; Ketikidis, C.; Vasiljevic, A.; Stauder, M.; et al., SWOT analysis and strategy development for forest fuel supply chains in South East Europe. *Forest Policy and Economics* **2015**, *61*, 87–94.

Rizvandi, V.; and Jourgholami, M., Production and cost comparison of conventional and directional tree felling (Case study: in Kheyrud forest). *Iranian Journal of Forest* **2012**, *4* (1), 1-11. (In Persian)

Safarzadeh, B., Nikooy, M., Petros, A. T., Arman, Z., & Tavankar, F. Assessing the impact of log manual loading on the physiological load in forest wokers. *Forest Research and Development* **2023**, *9* (2), 175-187. (In persian)

Sessions, J. Harvesting operations in the tropics. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. **2007**; 170.

Sobhani, H.; Ghaffarian, M.R.; and Khakzade Rostamim m.J., Study of the Production and Cost of Tree Felling in Patom Section at Kheyroudkenar Forest Education and Research Station, *Journal of the Iranian Natural Resources* **2007**, *60* (2), 485-491. (In Persian)

Soenarno, Dulsalam, Yuniawati, Suhartana, S.; Gandaseca, S.; Rochmayanto, Y.; & Andini, S., Working Time, Productivity, and Cost of Felling in a Tropical Forest (A Case Study from Wijaya Sentosa's Forest Concession Area, West Papua, Indonesia). *Forests* **2022**, *13* (11), 1789.

Suhartana, S.; Gandaseca, S.; Rochmayanto, Y.; Supriadi, A.; and Andini, S., Working Time, Productivity, and Cost of Felling in a Tropical Forest (A Case Study from Wijaya Sentosa's Forest Concession Area, West Papua, Indonesia). *Forests* **2022**, *13* (11), p.1789.

Uotila K.; Saksa T.; Rantala J.; Kiljunen N., Labour consumption models applied to motormanual pre-commercial thinning in Finland. *Silva Fennica* **2014**, *48* (2),1-14.

Wang, J.; Long, C.; McNeel, J.; and Baumgras, J., Productivity and cost of manual felling and cable skidding in central Appalachian hardwood forests. *Forest Products Journal* **2004**, *54* (12): 45-51.

Productivity and cost of clear-cutting operations utilizing the MASHOUF PSI 9700 chainsaw model in a poplar plantation located in the western part of Guilan Province

Fereshteh Rahimi Bitam[1], Mehrdad Nikooy[*2], Mahmoud Heidari[3] and Petros A. Tsioras[4]

1- Ph.D. Student of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, I. R. Iran. (fereshtehrahimi2000@gmail.com)
2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, I. R. Iran. (nikooy@guilan.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Occupational Health, School of Health, Guilan University of Medical Sciences, I. R. Iran. (mheidari1360@gmail.com)
4- Asistant professor, Lab of Forest Utilization, Faculty of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, POB 227, Thessaloniki, Greece. (ptsioras@for.auth.gr)

Received: 28 June 2023 Accepted: 17 October 2023

Abstract

Background and objectives: Nowadays, chainsaws remain the primary main tool for wood harvesting in the world due to their multifunctionality and the relatively low requirements in financial investment. Another reason is that chainsaws provide high workability, enhancing efficiency and productivity, at reduced felling costs. The felling of poplar stands in the west of Guilan Province is carried out semi-mechanically using chainsaws within a clear-cutting silviculture system. Productivity and cost are two main factors that affect the selection of wood harvesting systems, whose tree felling consists an element of paramount importance, most notably its duration. The purpose of this study was to assess the productivity and cost of clear-cutting operations in a poplar plantation located in the western part of the Guilan Province, using the MASHOUF PSI 9700, a short-bladed chainsaw model with a bar length of 50 cm.

Methodology: The research was conducted in the Tanyan district, which is located in the western part of Guilan province. A work team, consisting of a chainsaw operator and a helper, was used during the study. The selected work team was chosen as representative of the average skill level of the workers in the region. The chainsaw selected for this research, the MASHOUF PSI 9700 model featuring a cylinder displacement of 54 cm^3 a power output of 2.2 KW, and a weight of 5.1 kg excluding equipment, had been in operation for about 2000 hours, which is the average life span of a product of this category. Over the years, the research on consumption time has focused especially on establishing the relationship between work efficiency and productivity carried out considering various equipment and wood harvesting factors. Analysis of work time consumption and productivity in chainsaw operations is an important concern of sustainable harvest management. A time study was performed to calculate the hourly productivity rate. Felling time was classified into two categories, namely effective time and delay time. Effective time consisted of (a) Moving towards the tree, (b) Felling preparation, (c) Under cut, (d) Back cut and (e) Refueling. Moreover, the delay times fell into (a) Rest time or personal time, (b) Operational delays, and (c) Technical delays. The total fixed cost was obtained considering the chainsaw purchase value, the sum of the annual investment, the depreciation, the insurance and taxes. Variable costs were also calculated considering the hourly expenditure on fuel cost, maintenance as in the cases of chain and sprocket replacement, etc. The sum total of costs included fixed, variable and labor costs. The data was initially processed using Excel 2013 software and then analyzed using the SPSS statistical software version 18 to determine the distribution and ratio of work interruption time according to the factors affecting it. Regression analysis was conducted to explore the relationship between the factors affecting the total cut-off time.

Results: A total of 133 trees were felled amounting to a volume of 109.06 m^3. The total work time consumed for felling operations was 500.21 minutes. Of the total working time, 41.42% was allocated to main work tasks. Supplementary work, such as moving between trees and driving wedges, accounted

* Corresponding author Tel: +989117815510

for 8.84% of felling time, while preparatory tasks, including moving between workplaces and preparation activities, constituted 15.29%. Repair time accounted for 9.60% of the total time, while delays and downtime occupied 15.74%. Additionally, 9.09% of the time was spent on non-workplace activities. The majority, 71% of the delays were linked to personal delays, of which 80.7% were related to lunchtime breaks and 19.93% to other personal delays. Operational and technical delays accounted for 10% and 19% of total delays, respectively. Increases in the diameter of the felled trees, resulted in increases to both the net felling time and the net production of the felling team. Furthermore, an increase in the diameter decreased the production cost. The results showed that the average time consumed per tree for felling were 2.73 min of effective time vs 3.75 min of gross time, and net hourly productivity amounted to 17.28 m^3 per hour vs 13.44 m^3 per hour found for the gross hourly productivity, and the unit cost of net production was 0.25 USD vs 0.32 USD for the gross production, respectively. The statistical analysis exhibited a highly significant correlation between work element times (measured in minutes) and various factors, including the diameter of the tree at breast height, tree volume (measured in m^3), and the distance between trees (measured in m).

Conclusion: By developing mathematical models of working time for various chainsaw models, chainsaws, the performance of the felling teams can be increased, and a more equitable remuneration of the forest workers is made possible. The results of the present study can support decision making regarding the work rates, work schedules, and cost estimation. The models and results presented in this study can generally assist forest managers to better understand the factors affecting productivity and cost during different work elements with the aim to reorganize and plan forest work to meet economic concerns.

Keywords: Wood production, Poplar plantation, Biomass, Wood harvesting, Time study.